



JAEA-Data/Code

2025-022

DOI:10.11484/jaea-data-code-2025-022

SCALE 6.2.3臨界ベンチマーク計算

Benchmark Analyses of Criticality Calculation on SCALE 6.2.3 Code System

岡本 成利 米野 憲 瀬谷 敦雅 稲葉 秀樹
寺門 信一 樋口 真史

Naritoshi OKAMOTO, Akira KOMENO, Atsumasa SEYA, Hideki INABA
Shinichi TERAKADO and Masashi HIGUCHI

核燃料サイクル工学研究所
MOX燃料技術開発部

MOX Fuel Development Department
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories

March 2026

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Data/Code

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。本レポートはクリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際 ライセンスの下に提供されています。本レポートの成果（データを含む）に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の条件で利用してください。（<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>）
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（<https://www.jaea.go.jp>）より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究開発推進部 科学技術情報課
〒 319-1112 茨城県那珂郡東海村大字村松 4 番地 49
E-mail: ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).

Even if the results of this report (including data) are not copyrighted, they must be used under the same terms and conditions as CC-BY.

For inquiries regarding this report, please contact Library, Institutional Repository and INIS Section, Research and Development Promotion Department, Japan Atomic Energy Agency.

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1112, Japan

E-mail: ird-support@jaea.go.jp

SCALE 6.2.3 臨界ベンチマーク計算

日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所
MOX 燃料技術開発部

岡本 成利、米野 憲、瀬谷 敦雅、稲葉 秀樹*、寺門 信一*、樋口 真史*

(2025 年 12 月 8 日受理)

核燃料サイクル工学研究所のプルトニウム燃料第三開発室等のプルトニウム燃料施設の使用変更許可申請（以下「許認可」という。）において、ウラン・プルトニウム混合酸化物（MOX : Mixed Oxide）を取り扱うグローブボックスおよび設備・機器の臨界安全設計には、様々な臨界計算コードを使用している。最も新しいものでは、SCALE 4.4 コードシステムに内蔵されている 3次元モンテカルロ計算コード KENO-V.a および 27群 ENDF/B-IV の中性子断面積ライブラリを用いている。

SCALE 4.4 は 1998 年に米国オークリッジ国立研究所（以下「ORNL」という。）によってリリースされてから、既に 27 年が経過している。その間も、ORNL は機能の改良等を継続的に行っており、2024 年には SCALE 6.3.2 がリリースされている。

新規の MOX 燃料施設等を設計・建設する場合は、上記のような最新知見を踏まえた臨界計算コードにより許認可を取得することが望ましいが、そのためには信頼性が十分高いことを検証することが必要である。

そこで、2018 年にリリースされた SCALE 6.2.3 のうち、臨界計算シーケンス KENO-V.a および KENO-VI の 2 バージョンについて、252 群 ENDF/B-VII.1 中性子断面積ライブラリ (v7-252n) を用いて、過去に実施された臨界実験体系におけるベンチマーク計算を実施し、推定臨界下限増倍率を算出した。その結果、MOX 燃料施設の臨界安全設計において、信頼度が十分に高い臨界計算コードとして使用できる見通しを得た。

Benchmark Analyses of Criticality Calculation on SCALE 6.2.3 Code System

Naritoshi OKAMOTO, Akira KOMENO, Atsumasa SEYA, Hideki INABA*,
Shinichi TERAKADO* and Masashi HIGUCHI*

MOX Fuel Development Department
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received December 8, 2025)

The Plutonium Fuel Third Development Laboratory of the Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories has applied for a change of use permit (hereinafter referred to as "license") for plutonium fuel facilities. For the criticality safety design of gloveboxes and equipment/instruments handling mixed oxide (MOX), various criticality calculation codes are used. The most recent employs the 3D Monte Carlo calculation code KENO-V.a embedded in the SCALE 4.4 code system, along with the 27-group ENDF/B-IV neutron cross-section library.

SCALE 4.4 was released by the Oak Ridge National Laboratory (ORNL) in the US in 1998, and has now been in use for 27 years. ORNL has continuously improved its functionality, with SCALE 6.3.2 released in 2024.

When designing and constructing new MOX fuel facilities, it is desirable to obtain a license using criticality calculation codes based on the latest knowledge. However, it is necessary to verify that these codes have sufficient reliability.

Therefore, in 2018, benchmark calculations were performed using the 252-group ENDF/B-VII.1 neutron cross-section library (v7-252n) for two versions of the criticality calculation sequences KENO-V.a and KENO-VI from SCALE 6.2.3, based on past criticality experimental setups. The estimated critical-limiting multiplication factor was calculated. The results indicate that these codes can be used with sufficient confidence for criticality safety design of MOX fuel facilities.

Keywords: MOX Fuel Facility, Critical Safety, SCALE Code System, Benchmark Analyses

* NESI Inc.

目次

1. 目的.....	1
2. 臨界ベンチマーク計算の概要.....	2
2.1 臨界安全管理の基本.....	2
2.2 臨界安全に係る規制基準.....	2
2.3 SCALE コードシステム.....	2
2.4 臨界因子と臨界管理因子.....	3
2.5 均質と非均質.....	3
2.6 MOX 燃料製造フローと燃料形態の変化.....	3
2.7 核的制限値.....	4
2.8 単一ユニット.....	4
2.9 推定臨界下限値と推定臨界下限増倍率.....	5
2.10 本臨界ベンチマーク計算における推定臨界下限増倍率.....	5
3. 計算条件および計算モデル.....	10
3.1 MOX 非均質系.....	10
3.1.1 PNL-3313.....	10
3.1.2 EPRI NP-196 Project 348 Volume 1 Final Report.....	54
3.1.3 JAERI 1254.....	83
3.1.4 PNL-5803.....	93
3.1.5 PNL-6559.....	113
3.1.6 Nuclear Science and Engineering Vol.59.....	143
3.1.7 Nuclear Science and Engineering Vol.62.....	150
3.2 MOX 均質系.....	157
3.2.1 BNWL-2129.....	157
3.2.2 Nuclear Science and Engineering Vol.50.....	162
3.2.3 Nuclear Science and Engineering Vol.55.....	169
3.2.4 Nuclear Science and Engineering Vol.61.....	175
3.3 (Pu+U) 均質系.....	180
3.3.1 PNL-5768.....	180
3.3.2 PNL-6327.....	204
3.3.3 PNL-6451.....	234
3.3.4 PNL-6119.....	261
3.4 PuO ₂ 均質系.....	280
3.4.1 Nuclear Applications Vol.6.....	280
3.4.2 Nuclear Technology Vol.11.....	284

3.4.3 Nuclear Technology Vol.15	288
3.5 Pu 均質系	293
3.5.1 Nuclear Science and Engineering Vol.79 球形状容器を用いた実験	293
3.5.2 Nuclear Science and Engineering Vol.79 円筒形状容器を用いた実験	323
4. 計算パラメータ	342
5. 計算結果	344
5.1 MOX 非均質系	344
5.1.1 PNL-3313	345
5.1.2 EPRI NP-196 Project 348 Volume 1 Final Report	350
5.1.3 JAERI 1254	352
5.1.4 PNL-5803	360
5.1.5 PNL-6559	361
5.1.6 Nuclear Science and Engineering Vol.59	362
5.1.7 Nuclear Science and Engineering Vol.62	364
5.2 MOX 均質系	368
5.2.1 BNWL-2129	368
5.2.2 Nuclear Science and Engineering Vol.50	369
5.2.3 Nuclear Science and Engineering Vol.55	370
5.2.4 Nuclear Science and Engineering Vol.61	371
5.3 (Pu+U) 均質系	373
5.3.1 PNL-5768	374
5.3.2 PNL-6327	375
5.3.3 PNL-6451	376
5.3.4 PNL-6119	377
5.4 PuO ₂ 均質系	379
5.4.1 Nuclear Applications Vol.6	380
5.4.2 Nuclear Technology Vol.11	381
5.4.3 Nuclear Technology Vol.15	382
5.5 Pu 均質系	384
5.5.1 Nuclear Science and Engineering Vol.79 球形状容器	385
5.5.2 Nuclear Science and Engineering Vol.79 円筒形状容器	388
6. まとめ	391
6.1 推定臨界下限増倍率の算出	391
6.2 ベンチマーク計算結果	394

参考文献.....	395
付録-1. 諸定数および原子量の根拠.....	398
1.1 アボガドロ定数.....	398
1.2 元素の原子量.....	398
1.3 元素の安定同位体の存在比.....	401
付録-2. 物質の組成と原子個数密度.....	407
2.1 原子個数密度の算出式.....	407
2.2 部材材質の組成.....	408
2.2.1 インコネル 600.....	409
2.2.2 Al-1100.....	409
2.2.3 Al-6061.....	410
2.2.4 Al-5052.....	410
2.2.5 アルミニウム.....	410
2.2.6 ジルカロイ-2 (Zircaloy-2).....	411
2.2.7 SUS316 ステンレス鋼.....	411
2.2.8 SUS304L ステンレス鋼.....	411
2.2.9 Type-347 ステンレス鋼 (SUS347).....	412
2.2.10 ポリプロピレン (C ₃ H ₆) _n	414
2.2.11 クラッド (燃料コンパクト被覆材).....	416
2.2.12 アクリル樹脂 (C ₅ O ₂ H ₈) _n [プレキシガラス].....	418
2.2.13 ポリエチレン (C ₂ H ₄) _n	421
2.2.14 コンクリート.....	422
2.2.15 鉛.....	429
2.2.16 水.....	429
2.2.17 空気.....	433
2.3 SCALE 6.2.3 内蔵ライブラリ (v7-252n) に内蔵された物質.....	435
2.3.1 SS316.....	435
2.3.2 SS304.....	436
2.3.3 H ₂ O.....	436
2.3.4 Al.....	437
2.3.5 Polyethylene.....	437
2.3.6 CARBON STEEL.....	438
2.3.7 ZIRC2.....	438
2.3.8 Ta.....	439
2.3.9 Cd.....	440
2.4 硝酸水溶液中の元素の原子個数密度の算出方法.....	441

2.5	ホウ酸水溶液中の原子個数密度	449
2.6	TBP・NPH 有機溶剤中の原子個数密度	450
2.7	ポリスチレン均質混合物燃料（燃料コンパクト）の原子個数密度	455
2.7.1	PuO ₂ -UO ₂ -ポリスチレン均質混合物燃料（燃料コンパクト）	455
2.7.2	PuO ₂ -ポリスチレン均質混合物燃料（燃料コンパクト）	461
付録-3.	放射性壊変に起因する核種の補正	465
付録-4.	非均質系燃料要素配列の均質化	466
付録-5.	臨界計算モジュールの差による影響	471
5.1	MOX 非均質系	474
5.1.1	MOX 非均質系	474
5.1.2	MOX 非均質 燃料要素格子配列 均質化モデル	480
5.2	MOX 均質系	486
5.3	(Pu+U) 均質系	489
5.4	PuO ₂ 均質系	492
5.5	Pu 均質系	494

Contents

1. Purpose -----1

2. Critical benchmark Overview -----2

 2.1 Fundamentals of criticality safety -----2

 2.2 Regulatory standards for criticality safety-----2

 2.3 SCALE CODE SYSTEM-----2

 2.4 Criticality factors and criticality control Factors -----3

 2.5 Homogeneous and heterogeneous -----3

 2.6 Changes in MOX properties-----3

 2.7 Nuclear limit values -----4

 2.8 Single unit-----4

 2.9 Estimated lower critical limit value and multiplication factor-----5

 2.10 Estimated lower critical limit multiplication factor in critical benchmark calculations -----5

3. Calculation Conditions and Models ----- 10

 3.1 MOX heterogeneous system ----- 10

 3.1.1 PNL-3313 ----- 10

 3.1.2 EPRI NP-196 Project 348 Volume 1 Final Report ----- 54

 3.1.3 JAERI 1254 ----- 83

 3.1.4 PNL-5803 ----- 93

 3.1.5 PNL-6559 ----- 113

 3.1.6 Nuclear Science and Engineering Vol.59 -----143

 3.1.7 Nuclear Science and Engineering Vol.62 -----150

 3.2 MOX homogeneous system -----157

 3.2.1 BNWL-2129 -----157

 3.2.2 Nuclear Science and Engineering Vol.50 -----162

 3.2.3 Nuclear Science and Engineering Vol.55 -----169

 3.2.4 Nuclear Science and Engineering Vol.61 -----175

 3.3 (Pu+U) homogeneous system -----180

 3.3.1 PNL-5768 -----180

 3.3.2 PNL-6327 -----204

 3.3.3 PNL-6451 -----234

 3.3.4 PNL-6119 -----261

 3.4 PuO₂ homogeneous system -----280

 3.4.1 Nuclear Applications Vol.6 -----280

 3.4.2 Nuclear Technology Vol.11 -----284

3.4.3 Nuclear Technology Vol.15 -----	288
3.5 Pu homogeneous system -----	293
3.5.1 Nuclear Science and Engineering Vol.79 Experiments using a spherical container -----	293
3.5.2 Nuclear Science and Engineering Vol.79 Experiments using a cylindrical container -----	323
4. Calculation parameters -----	342
5. Calculation result -----	344
5.1 MOX heterogeneous system -----	344
5.1.1 PNL-3313 -----	345
5.1.2 EPRI NP-196 Project 348 Volume.1 Final Report -----	350
5.1.3 JAERI-1254 -----	352
5.1.4 PNL-5803 -----	360
5.1.5 PNL-6559 -----	361
5.1.6 Nuclear Science and Engineering Vol.59 -----	362
5.1.7 Nuclear Science and Engineering Vol.62 -----	364
5.2 MOX homogeneous system -----	368
5.2.1 BNWL-2129 -----	368
5.2.2 Nuclear Science and Engineering Vol.50 -----	369
5.2.3 Nuclear Science and Engineering Vol.55 -----	370
5.2.4 Nuclear Science and Engineering Vol.61 -----	371
5.3 (Pu+U) homogeneous system -----	373
5.3.1 PNL-5768 -----	374
5.3.2 PNL-6327 -----	375
5.3.3 PNL-6451 -----	376
5.3.4 PNL-6119 -----	377
5.4 PuO ₂ homogeneous system -----	379
5.4.1 Nuclear Applications Vol.6 -----	380
5.4.2 Nuclear Technology Vol.11 -----	381
5.4.3 Nuclear Technology Vol.15 -----	382
5.5 Pu homogeneous system -----	384
5.5.1 Nuclear Science and Engineering Vol.79 Experiments using a spherical container -----	385
5.5.2 Nuclear Science and Engineering Vol.79 Experiments using a cylindrical container -----	388
6. Summary -----	391
6.1 Calculation estimated criticality lower limit multiplication factor -----	391
6.2 Benchmark analyses of criticality calculation results -----	394

References	395
Appendix 1 Basis for constants and atomic weights	398
1.1 Avogadro's number	398
1.2 Atomic weight of an element	398
1.3 Abundance of stable isotopes of an element	401
Appendix 2 Composition and atom number density of the material	407
2.1 Calculation formula of Atom number density of the material	407
2.2 Material composition of the component	408
2.2.1 Inconel 600	409
2.2.2 Al-1100	409
2.2.3 Al-6061	410
2.2.4 Al-5052	410
2.2.5 Aluminum	410
2.2.6 Zircaloy-2	411
2.2.7 SUS316 Stainless steel	411
2.2.8 SUS304L Stainless steel	411
2.2.9 Type-347 Stainless steel (SUS347)	412
2.2.10 Polypropylene (C ₃ H ₆) _n	414
2.2.11 Clad (Fuel compacts cladding)	416
2.2.12 Acrylic Resin (C ₅ O ₂ H ₈) _n [Plexiglas]	418
2.2.13 Polyethylene (C ₂ H ₄) _n	421
2.2.14 Concrete	422
2.2.15 Lead	429
2.2.16 Water	429
2.2.17 Air	433
2.3 Materials stored in the embedded library on SCALE 6.2.3 (v7-252n)	435
2.3.1 SS316	435
2.3.2 SS304	436
2.3.3 H ₂ O	436
2.3.4 Al	437
2.3.5 Polyethylene	437
2.3.6 CARBON STEEL	438
2.3.7 ZIRC2	438
2.3.8 Ta	439
2.3.9 Cd	440

2.4 Method for calculating the atom number density of elements in an aqueous nitric acid solution	441
2.5 Atom number density in a boric acid solution	449
2.6 Atom number density in TBP · NPH organic solvent solution	450
2.7 Atom number density in polystyrene homogeneous fuel mixture	455
2.7.1 PuO ₂ -UO ₂ -polystyrene homogeneous fuel mixture (fuel compacts)	455
2.7.2 PuO ₂ -polystyrene homogeneous fuel mixture (fuel compacts)	461
Appendix 3 Nuclear species correction due to radioactive decay	465
Appendix 4 Convert heterogeneous fuel rod Lattice into homogeneous system	466
Appendix 5 Impact of differences in criticality calculation modules	471
5.1 MOX heterogeneous system	474
5.1.1 MOX heterogeneous system	474
5.1.2 MOX heterogeneous fuel rod Lattice	480
5.2 MOX homogeneous system	486
5.3 (Pu+U) homogeneous system	489
5.4 PuO ₂ homogeneous system	492
5.5 Pu homogeneous system	494

表リスト

Table 2.1	臨界実験レポート	7
Table 2.2	臨界ベンチマークの統計結果	8
Table 3.1.1.1	臨界実験データおよび計算ケース [Nucl.Tech.Vol.44]	12
Table 3.1.1.2	MOX 燃料および UO ₂ インシュレータの諸元 [Nucl.Tech.Vol.44]	12
Table 3.1.1.3	計算に用いた物質の原子個数密度 [Nucl.Tech.Vol.44]	13
Table 3.1.1.4	補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [Nucl.Tech.Vol.44]	15
Table 3.1.1.5	臨界実験データおよび計算ケース [Nucl.Tech.Vol.49]	25
Table 3.1.1.6	MOX 燃料および UO ₂ インシュレータの諸元 [Nucl.Tech.Vol.49]	25
Table 3.1.1.7	計算に用いた物質の原子個数密度 [Nucl.Tech.Vol.49]	26
Table 3.1.1.8	補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [Nucl.Tech.Vol.49]	27
Table 3.1.1.9	臨界実験データおよび計算ケース [Nucl.Tech.Vol.48]	35
Table 3.1.1.10	MOX 燃料、UO ₂ インシュレータ、ガドリニウムの諸元 [Nucl.Tech.Vol.48]	36
Table 3.1.1.11	物質の原子個数密度 [Nucl.Tech.Vol.48]	37
Table 3.1.1.12	補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [Nucl.Tech.Vol.48]	39
Table 3.1.2.1	臨界実験データと計算ケース [EPRI NP-196]	56
Table 3.1.2.2	UO ₂ -2.35wt% ²³⁵ U 燃料、UO ₂ -2wt%PuO ₂ 燃料の諸元 [EPRI NP-196]	56
Table 3.1.2.3	物質の原子個数密度 [EPRI NP-196]	57
Table 3.1.2.4	空気中水分の H と O の原子個数密度 [EPRI NP-196]	60
Table 3.1.2.5	ホウ酸水溶液の原子個数密度 [EPRI NP-196]	60
Table 3.1.2.6	補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [EPRI NP-196]	61
Table 3.1.3.1	臨界実験データおよび計算ケース [JAERI 1254]	84
Table 3.1.3.2	燃料要素諸元 [JAERI 1254]	86
Table 3.1.3.3	計算に用いた物質の原子個数密度 [JAERI 1254]	87
Table 3.1.3.4	補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [JAERI 1254]	88
Table 3.1.4.1	臨界実験データおよび計算ケース [PNL-5803]	95
Table 3.1.4.2	MOX 燃料ペレット、UO ₂ インシュレータの諸元 [PNL-5803]	95
Table 3.1.4.3	計算に用いた物質の原子個数密度 [PNL-5803]	96
Table 3.1.4.4	補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [PNL-5803]	99
Table 3.1.4.5	TBP 中の原子個数密度	108
Table 3.1.4.6	NPH 中の炭化水素	109
Table 3.1.4.7	NPH 中の C、H 原子個数密度	109
Table 3.1.4.8	TBP-NPH 有機溶剤中の不純物について	109
Table 3.1.4.9	NBP-NPH 有機溶剤中の不純物の原子個数密度	110
Table 3.1.4.10	反射体 (水) 中の不純物 [PNL-5803]	111
Table 3.1.4.11	反射体 (水) 中の不純物の原子個数密度 [PNL-5803]	111

Table 3.1.4.12	グリッド板（ポリプロピレン製）中の不純物 [PNL-5803]	112
Table 3.1.5.1	臨界実験データおよび計算ケース [PNL-6559]	115
Table 3.1.5.2	MOX 燃料ペレット、 UO_2 インシュレータの同位体組成 [PNL-6559]	115
Table 3.1.5.3	(Pu+U) 硝酸水溶液中の Pu、U の同位体元素の重量比 [PNL-6559]	116
Table 3.1.5.4	(Pu+U) 硝酸水溶液中の Am-241 濃度 [PNL-6559]	116
Table 3.1.5.5	実験装置の温度条件 [PNL-6559]	117
Table 3.1.5.6	空気中水分の H および O 原子個数密度 [PNL-6559]	117
Table 3.1.5.7	(Pu+U) 硝酸水溶液の原子個数密度 [PNL-6559]	118
Table 3.1.5.8	物質の原子個数密度 [PNL-6559]	125
Table 3.1.5.9	補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度（燃料ペレット） [PNL-6559]	126
Table 3.1.5.10	補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度（硝酸水溶液） [PNL-6559]	127
Table 3.1.5.11	(Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物 [PNL-6559 TABLE E.1]	135
Table 3.1.5.12	(Pu+U) 硝酸水溶液中不純物の原子個数密度 [PNL-6559]	136
Table 3.1.5.13	反射体（水）中の不純物 [PNL-6559]	139
Table 3.1.5.14	反射体（水）の不純物の原子個数密度 [PNL-6559]	140
Table 3.1.6.1	(Pu+U) 硝酸水溶液を用いた臨界実験データ① [Nucl.Sci.Eng.Vol.59]	144
Table 3.1.6.2	Gd 濃度をパラメータとした臨界実験データ② [Nucl.Sci.Eng.Vol.59]	144
Table 3.1.6.3	(Pu+U) 硝酸水溶液中の Pu、U の同位体組成比 [Nucl.Sci.Eng.Vol.59]	144
Table 3.1.6.4	燃料ペレット中の Pu および U の同位体組成比 [Nucl.Sci.Eng.Vol.59]	145
Table 3.1.6.5	各実験で用いた物質の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.59]	145
Table 3.1.6.6	(Pu+U) 硝酸水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.59]	146
Table 3.1.7.1	(Pu+U) 硝酸水溶液を用いた臨界実験データ [Nucl.Sci.Eng.Vol.62]	151
Table 3.1.7.2	(Pu+U) 硝酸水溶液中の Pu、U の同位体組成 [Nucl.Sci.Eng.Vol.62]	151
Table 3.1.7.3	燃料ペレット中の Pu、U の同位体組成 [Nucl.Sci.Eng.Vol.62]	151
Table 3.1.7.4	実験で用いた物質の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.62]	152
Table 3.1.7.5	(Pu+U) 硝酸水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.62]	153
Table 3.2.1.1	臨界実験データおよび燃料コンパクトの配列データ [BNWL-2129]	159
Table 3.2.1.2	計算に用いた物質の原子個数密度 [BNWL-2129]	159
Table 3.2.1.3	補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [BNWL-2129]	160
Table 3.2.1.4	燃料コンパクト寸法 [BNWL-2129]	160
Table 3.2.2.1	臨界実験データおよび燃料コンパクト配列データ [Nucl.Sci.Eng.Vol.50]	164
Table 3.2.2.2	実験時期等の諸データ [Nucl.Sci.Eng.Vol.50]	164
Table 3.2.2.3	計算に用いた物質の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.50]	165
Table 3.2.2.4	補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.50]	166
Table 3.2.2.5	燃料コンパクト寸法 [Nucl.Sci.Eng.Vol.50]	166
Table 3.2.3.1	臨界実験データおよび燃料コンパクトの配列データ [Nucl.Sci.Eng.Vol.55]	170
Table 3.2.3.2	計算に用いた物質の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.55]	171
Table 3.2.3.3	補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.55]	172

Table 3.2.3.4	燃料コンパクトの寸法 [Nucl.Sci.Eng.Vol.55]	172
Table 3.2.4.1	臨界実験データおよび燃料コンパクトの配列データ [Nucl.Sci.Eng.Vol.61]	176
Table 3.2.4.2	計算に用いた物質の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.61]	177
Table 3.2.4.3	燃料コンパクト寸法 [Nucl.Sci.Eng.Vol.61]	178
Table 3.3.1.1	臨界実験データおよび計算ケース [PNL-5768]	182
Table 3.3.1.2	各領域の設定温度と空気中の水分量 [PNL-5768]	182
Table 3.3.1.3	Pu および U 同位体組成比 [PNL-5768]	183
Table 3.3.1.4	(Pu+U) 硝酸水溶液の原子個数密度 [PNL-5768]	184
Table 3.3.1.5	計算に用いた物質の原子個数密度 [PNL-5768]	185
Table 3.3.1.6	空気中水分の H および O の原子個数密度 [PNL-5768]	186
Table 3.3.1.7	分析時期および実験時期 [PNL-5768]	186
Table 3.3.1.8	補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [PNL-5768]	186
Table 3.3.1.9	(Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物 [PNL-5768] (SSMS 分析)	196
Table 3.3.1.10	(Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物 [PNL-6119] (ICP 分析結果)	197
Table 3.3.1.11	(Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物原子個数密度 [PNL-5768]	198
Table 3.3.1.12	反射体 (水) 中の不純物の濃度 [PNL-5768]	202
Table 3.3.1.13	反射体 (水) と不純物の原子個数密度 [PNL-5768]	203
Table 3.3.2.1	臨界実験データおよび計算ケース [PNL-6327]	206
Table 3.3.2.2	各計算ケースにおける設定温度 [PNL-6327]	206
Table 3.3.2.3	各計算ケースにおける Pu、U 同位体元素の組成比 [PNL-6327]	207
Table 3.3.2.4	(Pu+U) 硝酸水溶液の原子個数密度 [PNL-6327]	208
Table 3.3.2.5	その他の物質の原子個数密度 [PNL-6327]	209
Table 3.3.2.6	空気中水分の H と O の原子個数密度 [PNL-6327]	210
Table 3.3.2.7	分析時期および実験時期 [PNL-6327]	210
Table 3.3.2.8	補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [PNL-6327]	211
Table 3.3.2.9	(Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物 [PNL-6327] (SSMS 分析)	221
Table 3.3.2.10	(Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物 [PNL-6327] (ICP 分析)	222
Table 3.3.2.11	(Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物原子個数密度 [PNL-6327]	223
Table 3.3.2.12	反射体 (水) 中の不純物 [PNL-6327]	231
Table 3.3.2.13	反射体 (水) と不純物の原子個数密度 [PNL-6327]	232
Table 3.3.3.1	臨界実験データおよび計算ケース [PNL-6451]	235
Table 3.3.3.2	円筒状容器内の (Pu+U) 硝酸水溶液の臨界実験データ [PNL-6451]	235
Table 3.3.3.3	各計算ケースにおける設定温度と空気中水分量 [PNL-6451]	236
Table 3.3.3.4	各計算ケースにおける Pu、U 同位体元素の重量比 [PNL-6451]	236
Table 3.3.3.5	各計算ケースにおける (Pu+U) 硝酸水溶液中の Am-241 濃度 [PNL-6451]	236
Table 3.3.3.6	(Pu+U) 硝酸水溶液の原子個数密度 [PNL-6451]	237
Table 3.3.3.7	中性子吸収材コンクリートの原子個数密度 [PNL-6451]	239
Table 3.3.3.8	計算に用いた物質の原子個数密度 [PNL-6451]	240

Table 3.3.3.9	空气中水分の H および O の原子個数密度 [PNL-6451]	240
Table 3.3.3.10	補正に用いた分析時期および実験時期 [PNL-6451]	241
Table 3.3.3.11	補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [PNL-6451]	241
Table 3.3.3.12	B-2、B-3 の補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [PNL-6451]	241
Table 3.3.3.13	(Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物 [PNL-6451] (SSMS 分析)	251
Table 3.3.3.14	(Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物 [PNL-6451] (ICP 分析)	252
Table 3.3.3.15	(Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物原子個数密度 [PNL-6451]	253
Table 3.3.3.16	反射体 (水) 中の不純物 [PNL-6451]	255
Table 3.3.3.17	反射体 (水)、不純物の原子個数密度 [PNL-6451]	256
Table 3.3.3.18	B ₄ C コンクリートの成分 [PNL-6451]	260
Table 3.3.3.19	中性子吸収材コンクリートの成分組成 (推定) [PNL-6451]	260
Table 3.3.4.1	臨界実験データおよび計算ケース [PNL-6119]	262
Table 3.3.4.2	円筒状容器内 (Pu+U) 硝酸水溶液の臨界実験データ [PNL-6119]	262
Table 3.3.4.3	実験装置の各領域の設定温度 [PNL-6119]	262
Table 3.3.4.4	各計算ケースにおける Pu、U 同位体元素の重量比 [PNL-6119]	262
Table 3.3.4.5	(Pu+U) 硝酸水溶液の原子個数密度 [PNL-6119]	263
Table 3.3.4.6	計算に用いた物質の原子個数密度 [PNL-6119]	264
Table 3.3.4.7	空气中水分の H および O の原子個数密度 [PNL-6119]	265
Table 3.3.4.8	分析時期および実験時期 [PNL-6119]	265
Table 3.3.4.9	補正した Am-241 および Pu-241 の原子個数密度 [PNL-6119]	265
Table 3.3.4.10	ボトル内燃料 B-1 の補正した Am-241 および Pu-241 の原子個数密度 [PNL-6119]	265
Table 3.3.4.11	(Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物 [PNL-6119] (SSMS 分析)	270
Table 3.3.4.12	(Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物 [PNL-6119] (ICP 分析)	271
Table 3.3.4.13	(Pu+U) 硝酸水溶液中不純物の原子個数密度 [PNL-6119]	272
Table 3.3.4.14	反射体 (水) 中の不純物 [PNL-6119]	277
Table 3.3.4.15	反射体 (水) と不純物の原子個数密度 [PNL-6119]	278
Table 3.4.1.1	臨界実験データおよび燃料コンパクトの配列データ [Nucl.App.Vol.6]	281
Table 3.4.1.2	計算で用いた物質の原子個数密度 [Nucl.App.Vol.6]	281
Table 3.4.1.3	燃料コンパクト寸法 [Nucl.App.Vol.6]	282
Table 3.4.2.1	臨界実験データおよび燃料コンパクトの配列データ [Nucl.Tech.Vol.11]	285
Table 3.4.2.2	計算に用いた物質の原子個数密度 [Nucl.Tech.Vol.11]	285
Table 3.4.2.3	燃料コンパクト寸法 [Nucl.Tech.Vol.11]	286
Table 3.4.3.1	臨界実験データおよび燃料コンパクトの配列データ [Nucl.Tech.Vol.15]	289
Table 3.4.3.2	計算に用いた物質の原子個数密度 [Nucl.Tech.Vol.15]	289
Table 3.4.3.3	燃料コンパクト寸法 [Nucl.Tech.Vol.15]	290
Table 3.5.1.1	臨界実験データ [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、球形状容器]	297
Table 3.5.1.2	球形状容器の材質と寸法条件 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79]	299
Table 3.5.1.3	Pu 同位体組成 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、球形状容器]	301

Table 3.5.1.4	Pu(NO ₃) ₄ 水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、球形状容器]	303
Table 3.5.1.5	計算に用いた物質の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、球形状容器]	317
Table 3.5.2.1	臨界実験データ [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、円筒形状容器]	324
Table 3.5.2.2	臨界実験データ Pu(NO ₃) ₄ 水溶液濃度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、円筒形状容器]	325
Table 3.5.2.3	Pu 同位体組成 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、円筒形状容器]	326
Table 3.5.2.4	Pu(NO ₃) ₄ 水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、円筒形状容器]	327
Table 3.5.2.5	計算で用いた物質の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、円筒形状容器]	334
Table 3.5.2.6	Pu(NO ₃) ₄ 水溶液中の不純物 [HW-24514]	337
Table 3.5.2.7	Pu(NO ₃) ₄ 水溶液中不純物の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79]	338
Table 4.1	計算パラメータ (CSAS5 : KENO-V.a)	342
Table 4.2	計算パラメータ (CSAS6 : KENO-VI)	343
Table 5.1.1.1	MOX 非均質系の臨界計算結果 [PNL-3313、KENO-V.a]	346
Table 5.1.1.2	MOX 非均質系 (均質化モデル) の臨界計算結果 [PNL-3313、KENO-V.a]	347
Table 5.1.1.3	MOX 非均質系の臨界計算結果 [PNL-3313、KENO-VI]	348
Table 5.1.1.4	MOX 非均質系 (均質化モデル) の臨界計算結果 [PNL-3313、KENO-VI]	349
Table 5.1.2.1	MOX 非均質系の臨界計算結果 [EPRI NP-196、KENO-V.a]	350
Table 5.1.2.2	MOX 非均質系 (均質化モデル) の臨界計算結果 [EPRI NP-196、KENO-V.a]	350
Table 5.1.2.3	MOX 非均質系の臨界計算結果 [EPRI NP-196、KENO-VI]	351
Table 5.1.2.4	MOX 非均質系 (均質化モデル) の臨界計算結果 [EPRI NP-196、KENO-VI]	351
Table 5.1.3.1	MOX 非均質系の臨界計算結果 [JAERI 1254、KENO-V.a]	352
Table 5.1.3.2	MOX 非均質系 (均質化モデル) 臨界計算結果 [JAERI 1254、KENO-V.a]	354
Table 5.1.3.3	MOX 非均質系の臨界計算結果 [JAERI 1254、KENO-VI]	356
Table 5.1.3.4	MOX 非均質系 (均質化モデル) 臨界計算結果 [JAERI 1254、KENO-VI]	358
Table 5.1.4.1	MOX 非均質系の臨界計算結果 [PNL-5803、KENO-V.a]	360
Table 5.1.4.2	MOX 非均質系 (均質化モデル) の臨界計算結果 [PNL-5803、KENO-V.a]	360
Table 5.1.4.3	MOX 非均質系の臨界計算結果 [PNL-5803、KENO-VI]	360
Table 5.1.4.4	MOX 非均質系 (均質化モデル) の臨界計算結果 [PNL-5803、KENO-VI]	360
Table 5.1.5.1	MOX 非均質系の臨界計算結果 [PNL-6559、KENO-V.a]	361
Table 5.1.5.2	MOX 非均質系の臨界計算結果 [PNL-6559、KENO-VI]	361
Table 5.1.6.1	MOX 非均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.59、KENO-V.a]	362
Table 5.1.6.2	MOX 非均質系 (均質化モデル) の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.59、KENO-V.a]	362
Table 5.1.6.3	MOX 非均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.59、KENO-VI]	363
Table 5.1.6.4	MOX 非均質系 (均質化モデル) の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.59、KENO-VI]	363
Table 5.1.7.1	MOX 非均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.62、KENO-V.a]	364
Table 5.1.7.2	MOX 非均質系 (均質化モデル) の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.62、KENO-V.a]	364
Table 5.1.7.3	MOX 非均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.62、KENO-VI]	364
Table 5.1.7.4	MOX 非均質系 (均質化モデル) の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.62、KENO-VI]	365
Table 5.2.1.1	MOX 均質系の臨界計算結果 [BNWL-2129、KENO-V.a]	368

Table 5.2.1.2	MOX 均質系の臨界計算結果 [BNWL-2129、KENO-VI]	368
Table 5.2.2.1	MOX 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.50、KENO-V.a]	369
Table 5.2.2.2	MOX 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.50、KENO-VI]	369
Table 5.2.3.1	MOX 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.55、KENO-V.a]	370
Table 5.2.3.2	MOX 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.55、KENO-VI]	370
Table 5.2.4.1	MOX 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.61、KENO-V.a]	371
Table 5.2.4.2	MOX 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.61、KENO-VI]	371
Table 5.3.1.1	(Pu+U) 均質系の臨界計算結果 [PNL-5768、KENO-V.a]	374
Table 5.3.1.2	(Pu+U) 均質系の臨界計算結果 [PNL-5768、KENO-VI]	374
Table 5.3.2.1	(Pu+U) 均質系の臨界計算結果 [PNL-6327、KENO-V.a]	375
Table 5.3.2.2	(Pu+U) 均質系の臨界計算結果 [PNL-6327、KENO-VI]	375
Table 5.3.3.1	(Pu+U) 均質系の臨界計算結果 [PNL-6451、KENO-V.a]	376
Table 5.3.3.2	(Pu+U) 均質系の臨界計算結果 [PNL-6451、KENO-VI]	376
Table 5.3.4.1	(Pu+U) 均質系の臨界計算結果 [PNL-6119、KENO-V.a]	377
Table 5.3.4.2	(Pu+U) 均質系の臨界計算結果 [PNL-6119、KENO-VI]	377
Table 5.4.1.1	PuO ₂ 均質系の臨界計算結果 [Nucl.App.Vol.6、KENO-V.a]	380
Table 5.4.1.2	PuO ₂ 均質系の臨界計算結果 [Nucl.App.Vol.6、KENO-VI]	380
Table 5.4.2.1	PuO ₂ 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Tech.Vol.11、KENO-V.a]	381
Table 5.4.2.2	PuO ₂ 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Tech.Vol.11、KENO-VI]	381
Table 5.4.3.1	PuO ₂ 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Tech.Vol.15、KENO-V.a]	382
Table 5.4.3.2	PuO ₂ 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Tech.Vol.15、KENO-VI]	382
Table 5.5.1.1	Pu 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79 球形状、KENO-V.a]	385
Table 5.5.1.2	Pu 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79 球形状、KENO-VI]	386
Table 5.5.2.1	Pu 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79 円筒形状、KENO-V.a]	388
Table 5.5.2.2	Pu 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79 円筒形状、KENO-VI]	389
Table 6.1	標本 n に対する μ の値 ($\gamma=97.5\%$ $P=2.5\%$) [JAERI-M 87-057]	392
Table 6.2	各体系における推定臨界下限増倍率 [KENO-V.a]	393
Table 6.3	各体系における推定臨界下限増倍率 [KENO-VI]	393
Table 6.4	臨界ベンチマークの統計結果	394
Table 付録- 1.2.1	元素の原子量	398
Table 付録- 1.3.1	元素の同位体存在比と原子量	401
Table 付録- 2.2.1.1	インコネル 600 の成分組成と原子個数密度	409
Table 付録- 2.2.2.1	Al-1100 の成分組成と原子個数密度	409
Table 付録- 2.2.3.1	Al-6061 の成分組成と原子個数密度	410
Table 付録- 2.2.4.1	Al-5052 の成分組成と原子個数密度	410
Table 付録- 2.2.5.1	アルミニウムの原子個数密度	410
Table 付録- 2.2.6.1	ジルカロイ-2 の成分組成と原子個数密度	411
Table 付録- 2.2.7.1	SUS316 の成分組成と原子個数密度	411

Table 付録-2.2.8.1	SUS304L の成分組成と原子個数密度 [JIS G 4303]	412
Table 付録-2.2.8.2	Type-304L ステンレス鋼の成分組成と原子個数密度 [PNL-6559 TABLE2.1]	412
Table 付録-2.2.9.1	Type-347 Stainless steel 成分組成 (Nucl.Sci.Eng.Vol.79)	412
Table 付録-2.2.9.2	SUS347 成分組成 (JIS G 4303)	413
Table 付録-2.2.9.3	Type-347 ステンレス鋼の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79]	413
Table 付録-2.2.9.4	SUS347 の原子個数密度 [JIS G 4303]	413
Table 付録-2.2.10.1	文献中に記載されたポリプロピレンの密度.....	414
Table 付録-2.2.10.2	ポリプロピレンの原子個数密度 密度 0.904g/cm ³ の場合 (pnl_01、pnl_02)	414
Table 付録-2.2.10.3	ポリプロピレンの原子個数密度 密度 0.903g/cm ³ の場合 (pnl_03)	414
Table 付録-2.2.10.4	ポリプロピレン中の不純物	415
Table 付録-2.2.10.5	ポリプロピレンに不純物が含まれる場合の原子個数密度 (PNL-5803)	415
Table 付録-2.2.11.1	文献に記載されたクラッドの原子個数密度.....	416
Table 付録-2.2.11.2	本ベンチマーク計算で採用したクラッドの原子個数密度.....	417
Table 付録-2.2.11.3	文献によるクラッドの原子個数密度.....	417
Table 付録-2.2.11.4	本ベンチマーク計算で採用したクラッドの原子個数密度.....	417
Table 付録-2.2.12.1	アクリル樹脂 密度 1.185g/cm ³ の場合の原子個数密度.....	418
Table 付録-2.2.12.2	文献によるアクリル樹脂 (プレキソガラス) の原子個数密度.....	418
Table 付録-2.2.12.3	文献によるアクリル樹脂の原子個数密度	419
Table 付録-2.2.12.4	MOX 均質系の臨界計算で採用したアクリル樹脂の原子個数密度.....	419
Table 付録-2.2.12.5	文献によるアクリル樹脂の原子個数密度	420
Table 付録-2.2.12.6	PuO ₂ 均質系の臨界計算で採用したアクリル樹脂の原子個数密度.....	420
Table 付録-2.2.13.1	文献によるポリエチレン密度および成分組成.....	421
Table 付録-2.2.13.2	MOX 非均質臨界計算 (PNL-6559) で採用した原子個数密度.....	421
Table 付録-2.2.13.3	(Pu+U) 均質系臨界計算 (PNL-6451) で採用した原子個数密度.....	421
Table 付録-2.2.14.1	標準コンクリートの組成と原子個数密度 [JAERI-M 6928]	422
Table 付録-2.2.14.2	遮蔽コンクリートの組成と原子個数密度 [PNL-3313 TABLE IV]	422
Table 付録-2.2.14.3	中性子吸収材 B ₄ C コンクリートの成分 (PNL-6451 Table F.3)	423
Table 付録-2.2.14.4	コンクリート中の B ₄ C 由来の成分量.....	424
Table 付録-2.2.14.5	コンクリートの水分分析結果 (PNL-6451 Table F.4)	424
Table 付録-2.2.14.6	コンクリート試料 重量増加分酸素重量の計算.....	426
Table 付録-2.2.14.7	コンクリート中の水分 (H、O) 重量の計算.....	426
Table 付録-2.2.14.8	水分以外の酸素含有率.....	427
Table 付録-2.2.14.9	中性子吸収材コンクリートの成分組成	427
Table 付録-2.2.14.10	反射体コンクリートの成分組成と原子個数密度.....	428
Table 付録-2.2.15.1	鉛の原子個数密度.....	429
Table 付録-2.2.16.1	補間式による水密度 (g/cm ³)	429
Table 付録-2.2.16.2	水 (0.9982g/cm ³ , 20°C) の原子個数密度.....	429
Table 付録-2.2.17.1	近似式による飽和蒸気量 (kg/m ³)	434

Table 付録-2.2.17.2	飽和蒸気量 (0.0000173g/cm ³ 、20°C) の原子個数密度	434
Table 付録-2.3.1.1	SS316 原子個数密度	435
Table 付録-2.3.2.1	SS304 原子個数密度	436
Table 付録-2.3.3.1	H ₂ O 原子個数密度	436
Table 付録-2.3.4.1	Al 原子個数密度	437
Table 付録-2.3.5.1	polyethylene 原子個数密度	437
Table 付録-2.3.6.1	CARBON STEEL 原子個数密度	438
Table 付録-2.3.7.1	ZIRC2 原子個数密度	438
Table 付録-2.3.8.1	Ta 原子個数密度 (SCALE 内蔵ライブラリによる密度 16.6g/cm ³ の場合)	439
Table 付録-2.3.8.2	Ta 原子個数密度 (理科年表 2020 年度版による密度 16.6g/cm ³ の場合)	439
Table 付録-2.3.9.1	Cd 原子個数密度	440
Table 付録-2.6.1	TBP-NPH 有機溶剤中の不純物 [PNL-5803 TABLE D.2]	453
Table 付録-2.6.2	NBP-NPH 有機溶剤中の不純物の原子個数密度	454
Table 付録-2.7.1.1	PuO ₂ -UO ₂ -ポリスチレン原子個数密度記載文献	455
Table 付録-2.7.1.2	PuO ₂ -UO ₂ -ポリスチレンの原子個数密度 (2.8 H/(Pu+U))	456
Table 付録-2.7.1.3	PuO ₂ -UO ₂ -ポリスチレンの原子個数密度 (30.6 H/(Pu+U))	457
Table 付録-2.7.1.4	PuO ₂ -UO ₂ -ポリスチレンの原子個数密度 (47.4 H/(Pu+U))	458
Table 付録-2.7.1.5	PuO ₂ -UO ₂ -ポリスチレンの原子個数密度 (51.8 H/(Pu+U))	459
Table 付録-2.7.1.6	PuO ₂ -UO ₂ -ポリスチレンの原子個数密度 (その他の減速条件)	460
Table 付録-2.7.2.1	PuO ₂ -ポリスチレン原子個数密度記載文献	461
Table 付録-2.7.2.2	PuO ₂ -ポリスチレン原子個数密度 (5.0H/Pu)	462
Table 付録-2.7.2.3	PuO ₂ -ポリスチレン原子個数密度 (0.04H/Pu)	463
Table 付録-2.7.2.4	PuO ₂ -ポリスチレン原子個数密度 (49.6H/Pu)	464
Table 付録-4.1	均質化モデル例の設定	468
Table 付録-5.1	臨界計算モジュール (臨界計算コード) の差異	471
Table 付録-5.2	計算条件	472
Table 付録-5.3	計算対象臨界実験	472
Table 付録-5.4	臨界計算モジュールの差による影響比較 (平均実効増倍率 k _{eff})	473
Table 付録-5.1.1.1	臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 Nucl.Tech.Vol.44)	474
Table 付録-5.1.1.2	臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 Nucl.Tech.Vol.49)	475
Table 付録-5.1.1.3	臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 Nucl.Tech.Vol.48)	475
Table 付録-5.1.1.4	臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 EPRI NP-196)	476
Table 付録-5.1.1.5	臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 JAERI 1254)	476
Table 付録-5.1.1.6	臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 PNL-5803)	478
Table 付録-5.1.1.7	臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 PNL-6559)	478
Table 付録-5.1.1.8	臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 Nucl.Sci.Eng.Vol.59)	478
Table 付録-5.1.1.9	臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 Nucl.Sci.Eng.Vol.62)	479
Table 付録-5.1.2.1	臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 均質化 Nucl.Tech.Vol.44)	480

Table 付録- 5.1.2.2	臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 均質化 Nucl.Tech.Vol.49)	481
Table 付録- 5.1.2.3	臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 均質化 Nucl.Tech.Vol.48)	481
Table 付録- 5.1.2.4	臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 均質化 EPRI NP-196)	482
Table 付録- 5.1.2.5	臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 均質化 JAERI 1254)	482
Table 付録- 5.1.2.6	臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 均質化 PNL-5803)	484
Table 付録- 5.1.2.7	臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 均質化 Nucl.Sci.Eng.Vol.59)	484
Table 付録- 5.1.2.8	臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 均質化 Nucl.Sci.Eng.Vol.62)	484
Table 付録- 5.2.1	臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 均質系 BNWL-2129)	486
Table 付録- 5.2.2	臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 均質系 Nucl.Sci.Eng.Vol.50)	487
Table 付録- 5.2.3	臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 均質系 Nucl.Sci.Eng.Vol.55)	487
Table 付録- 5.2.4	臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 均質系 Nucl.Sci.Eng.Vol.61)	488
Table 付録- 5.3.1	臨界計算モジュールの影響比較 ((Pu+U) 均質系 PNL-5768)	489
Table 付録- 5.3.2	臨界計算モジュールの影響比較 ((Pu+U) 均質系 PNL-6327)	490
Table 付録- 5.3.3	臨界計算モジュールの影響比較 ((Pu+U) 均質系 PNL-6451)	490
Table 付録- 5.3.4	臨界計算モジュールの影響比較 ((Pu+U) 均質系 PNL-6119)	490
Table 付録- 5.4.1	臨界計算モジュールの影響比較 (PuO ₂ 均質系 Nucl.App.Vol.6)	492
Table 付録- 5.4.2	臨界計算モジュールの影響比較 (PuO ₂ 均質系 Nucl.Tech.Vol.11)	492
Table 付録- 5.4.3	臨界計算モジュールの影響比較 (PuO ₂ 均質系 Nucl.Tech.Vol.15)	493
Table 付録- 5.5.1	臨界計算モジュールの影響比較 (Pu 均質系 球形状容器)	494
Table 付録- 5.5.2	臨界計算モジュールの影響比較 (Pu 均質系 円筒形状容器)	496

図リスト

Fig. 2.1 MOX 燃料製造フローと臨界ベンチマーク実験の燃料形態との関係..... 9

Fig. 2.2 推定臨界下限増倍率と未臨界判定値との関係 9

Fig. 3.1.1.1 燃料要素 FFTF Type 3.1 および Type3.2 の計算モデル図 [Nucl.Tech.Vol.44] 16

Fig. 3.1.1.2 実験体系の計算モデル図 (X-Z 断面図) [Nucl.Tech.Vol.44] 17

Fig. 3.1.1.3 燃料要素配列図 [pnl_01_01、実験番号 003R] 18

Fig. 3.1.1.4 燃料要素配列図 [pnl_01_02、実験番号 005] 19

Fig. 3.1.1.5 燃料要素配列図 [pnl_01_03、実験番号 029] 20

Fig. 3.1.1.6 燃料要素配列図 [pnl_01_04、実験番号 001] 21

Fig. 3.1.1.7 燃料要素配列図 [pnl_01_05、実験番号 004] 22

Fig. 3.1.1.8 燃料要素配列図 [pnl_01_06、実験番号 006] 23

Fig. 3.1.1.9 燃料要素 FFTF Type 3.2 の計算モデル図 [Nucl.Tech.Vol.49] 28

Fig. 3.1.1.10 臨界実験体系の計算モデル図 (X-Z 断面図) [Nucl.Tech.Vol.49] 29

Fig. 3.1.1.11 燃料要素配列ピッチとコンクリート反射体の間隙 [Nucl.Tech.Vol.49] 30

Fig. 3.1.1.12 燃料要素配列図 [pnl_02_01、実験番号 010] 31

Fig. 3.1.1.13 燃料要素配列図 [pnl_02_02、実験番号 007] 31

Fig. 3.1.1.14 燃料要素配列図 [pnl_02_03、実験番号 012] 32

Fig. 3.1.1.15 燃料要素配列図 [pnl_02_04、実験番号 011] 32

Fig. 3.1.1.16 燃料要素 FFTF Type 3.2 の計算モデル図 [Nucl.Tech.Vol.48] 40

Fig. 3.1.1.17 ガドリニウム (Gd) ピンの計算モデル図 [Nucl.Tech.Vol.48] 41

Fig. 3.1.1.18 中性子吸収材 カドミウム板の計算モデル図 [Nucl.Tech.Vol.48] 42

Fig. 3.1.1.19 中性子吸収材 ボラル板の計算モデル図 [Nucl.Tech.Vol.48] 43

Fig. 3.1.1.20 臨界実験体系の計算モデル図 (X-Z 断面図) [Nucl.Tech.Vol.48] 44

Fig. 3.1.1.21 臨界実験体系の計算モデル図 (Y-Z 断面図) [Nucl.Tech.Vol.48] 45

Fig. 3.1.1.22 中性子吸収材を用いない実験体系の燃料要素配列図 46

Fig. 3.1.1.23 カドミウム板 (端部) を用いた実験体系の燃料要素配列図..... 47

Fig. 3.1.1.24 ボラル板 (端部) を用いた実験体系の燃料要素配列図 48

Fig. 3.1.1.25 ガドリニウムピン (端部) を用いた実験体系の燃料要素配列図..... 49

Fig. 3.1.1.26 カドミウム板 (中央部) を用いた実験体系の燃料要素配列図..... 50

Fig. 3.1.1.27 ボラル板 (中央部) を用いた実験体系の燃料要素配列図 51

Fig. 3.1.1.28 ガドリニウムピン (中央部) を用いた実験体系の燃料要素配列図..... 52

Fig. 3.1.1.29 ガドリニウムピン (分散配置) を用いた実験体系の燃料要素配列図..... 53

Fig. 3.1.2.1 UO₂-2.35wt%²³⁵U 燃料要素 計算モデル図 [epri_01~06] 62

Fig. 3.1.2.2 Mark II Fuel Follower 燃料要素 計算モデル図 [epri_01~06] 63

Fig. 3.1.2.3 UO₂-2wt%PuO₂ 燃料要素 計算モデル図 [epri_07~12] 64

Fig. 3.1.2.4 燃料要素を用いた実験体系 計算モデル図 (X-Y 断面図) [EPRI NP-196] 65

Fig. 3.1.2.5	UO ₂ -2.35wt% ²³⁵ U 燃料要素を用いた実験体系 計算モデル図 (X-Z 断面図)	66
Fig. 3.1.2.6	UO ₂ -2.35wt% ²³⁵ U 燃料要素を用いた実験体系 計算モデル図 (X-Z 断面図)	67
Fig. 3.1.2.7	UO ₂ -2wt%PuO ₂ 燃料要素を用いた実験体系 計算モデル図 (X-Z 断面図)	68
Fig. 3.1.2.8	燃料要素矩形格子型支持板 [epri_01~02、epri_05~12]	69
Fig. 3.1.2.9	燃料要素支持板 (配列ピッチ 1.905cm) [epri_03~04]	70
Fig. 3.1.2.10	燃料要素配列図 [計算ケース : epri_01、実験番号 01]	71
Fig. 3.1.2.11	燃料要素配列図 [計算ケース : epri_02、実験番号 02]	72
Fig. 3.1.2.12	燃料要素配列図 [計算ケース : epri_03、実験番号 03]	73
Fig. 3.1.2.13	燃料要素配列図 [計算ケース : epri_04、実験番号 04]	74
Fig. 3.1.2.14	燃料要素配列図 [計算ケース : epri_05、実験番号 05]	75
Fig. 3.1.2.15	燃料要素配列図 [計算ケース : epri_06、実験番号 06]	76
Fig. 3.1.2.16	燃料要素配列図 [計算ケース : epri_07、実験番号 07]	77
Fig. 3.1.2.17	燃料要素配列図 [計算ケース : epri_08、実験番号 08]	78
Fig. 3.1.2.18	燃料要素配列図 [計算ケース : epri_09、実験番号 09]	79
Fig. 3.1.2.19	燃料要素配列図 [計算ケース : epri_10、実験番号 10]	80
Fig. 3.1.2.20	燃料要素配列図 [計算ケース : epri_11、実験番号 11]	81
Fig. 3.1.2.21	燃料要素配列図 [計算ケース : epri_12、実験番号 12]	82
Fig. 3.1.3.1	実験体系の計算モデル図 (X-Y 断面図) [JAERI 1254]	90
Fig. 3.1.3.2	実験体系の計算モデル図 (X-Z 断面図) [JAERI 1254]	91
Fig. 3.1.3.3	燃料要素 (3.0wt%PuO ₂ -UO ₂) の概要と計算モデル図 [JAERI 1254]	92
Fig. 3.1.4.1	燃料要素 FFTF Type3.1、Type 3.2 の計算モデル図 [PNL-5803]	100
Fig. 3.1.4.2	臨界実験体系の計算モデル図 (X-Z 断面図) [PNL-5803]	101
Fig. 3.1.4.3	臨界実験体系の計算モデル図 (Y-Z 断面図) [PNL-5803]	102
Fig. 3.1.4.4	燃料要素の配列位置と減速材/反射体の計算モデル図 (X-Y 断面) [PNL-5803]	103
Fig. 3.1.4.5	燃料要素配列図 (X-Y 断面図) [pnl5803_01、実験番号 065]	104
Fig. 3.1.4.6	燃料要素配列図 (X-Y 断面図) [pnl5803_02、実験番号 067]	104
Fig. 3.1.4.7	燃料要素配列図 (X-Y 断面図) [pnl5803_03、実験番号 063]	105
Fig. 3.1.4.8	燃料要素配列図 (X-Y 断面図) [pnl5803_04、実験番号 062]	105
Fig. 3.1.4.9	燃料要素配列図 (X-Y 断面図) [pnl5803_05、実験番号 061]	106
Fig. 3.1.4.10	燃料要素配列図 (X-Y 断面図) [pnl5803_06、実験番号 068R]	106
Fig. 3.1.4.11	燃料要素配列図 (X-Y 断面図) [pnl5803_07、実験番号 060]	107
Fig. 3.1.5.1	実験体系の計算モデル図 (X-Y 断面図) [PNL-6559]	128
Fig. 3.1.5.2	実験体系の計算モデル図 (X-Z 断面図) [PNL-6559]	129
Fig. 3.1.5.3	ボイラーチューブ型容器内の燃料要素配列図	130
Fig. 3.1.5.4	ボイラーチューブ型容器概略図	131
Fig. 3.1.5.5	ポリエチレンスペーサの詳細構造図	132
Fig. 3.1.5.6	燃料要素 FFTF Type 3.2 の計算モデル図 [PNL-6559]	133
Fig. 3.1.5.7	円環状容器の概略図 [PNL-6559]	134

Fig. 3.1.6.1	臨界実験体系の計算モデル図 (X-Z 断面図) [Nucl.Sci.Eng.Vol.59]	147
Fig. 3.1.6.2	臨界実験体系の計算モデル図 (X-Y 断面図) [Nucl.Sci.Eng.Vol.59]	148
Fig. 3.1.6.3	燃料要素の模式図と計算モデル図 [Nucl.Sci.Eng.Vol.59]	149
Fig. 3.1.7.1	臨界実験体系の計算モデル図 (X-Z 断面図) [Nucl.Sci.Eng.Vol.62]	154
Fig. 3.1.7.2	臨界実験体系の計算モデル図 (X-Y 断面図) [Nucl.Sci.Eng.Vol.62]	155
Fig. 3.1.7.3	燃料要素の模式図と計算モデル図 [Nucl.Sci.Eng.Vol.62]	156
Fig. 3.2.1.1	燃料コンパクトの計算モデル図	160
Fig. 3.2.1.2	実験体系の計算モデル図 [BNWL-2129]	161
Fig. 3.2.1.3	実験体系の計算モデルイメージ [BNWL-2129]	161
Fig. 3.2.2.1	燃料コンパクトの形状 [Nucl.Sci.Eng.Vol.50]	167
Fig. 3.2.2.2	実験体系の計算モデル図 [Nucl.Sci.Eng.Vol.50]	167
Fig. 3.2.2.3	実験体系の計算モデルイメージ [Nucl.Sci.Eng.Vol.50]	168
Fig. 3.2.3.1	燃料コンパクトの形状 [Nucl.Sci.Eng.Vol.55]	172
Fig. 3.2.3.2	実験体系の計算モデル図 [Nucl.Sci.Eng.Vol.55]	173
Fig. 3.2.3.3	実験体系の計算モデルイメージ [Nucl.Sci.Eng.Vol.55]	174
Fig. 3.2.4.1	燃料コンパクトの形状 [Nucl.Sci.Eng.Vol.61]	178
Fig. 3.2.4.2	実験体系の計算モデル図 [Nucl.Sci.Eng.Vol.61]	179
Fig. 3.2.4.3	実験体系の計算モデルイメージ [Nucl.Sci.Eng.Vol.61]	179
Fig. 3.3.1.1	円筒状容器を用いた臨界実験の計算モデル図 (反射体: 水)	187
Fig. 3.3.1.2	円筒状容器を用いた臨界実験の計算モデル図 (反射体: コンクリート)	188
Fig. 3.3.1.3	円筒状容器を用いた臨界実験の計算モデル図 (反射体: 無し)	189
Fig. 3.3.1.4	円筒状容器 (内径 35.39cm) 概要図 [PNL-5768]	190
Fig. 3.3.1.5	円筒状容器 (外径 68.58cm) 概要図 [PNL-5768]	190
Fig. 3.3.1.6	環状コンクリート反射体 概要図 [PNL-5768]	191
Fig. 3.3.1.7	平板状容器を用いた臨界実験の計算モデル図 (反射体: 無し) [PNL-5768]	192
Fig. 3.3.1.8	平板状容器を用いた臨界実験の計算モデル図 (反射体: 水) [PNL-5768]	193
Fig. 3.3.1.9	平板状容器外側の格子状構造体 [PNL-5768]	194
Fig. 3.3.2.1	臨界実験体系の計算モデル図 (反射体: 無し) [pnl6327_01、06、07]	212
Fig. 3.3.2.2	臨界実験体系の計算モデル図 (反射体: 水) [pnl6327_02、05、08]	213
Fig. 3.3.2.3	臨界実験体系の計算モデル図 (反射体: コンクリート) [pnl6327_03、04、09]	214
Fig. 3.3.2.4	円筒状容器 (内径 35.39cm) 概要図 [PNL-6327 (PNL-5768)]	215
Fig. 3.3.2.5	円筒状容器 (外径 68.58cm) 概要図 [PNL-6327 (PNL-5768)]	215
Fig. 3.3.2.6	環状コンクリート反射体 概要図 [PNL-6327]	216
Fig. 3.3.2.7	平板状容器の計算モデル図 (反射体: 無し) [pnl6327_10、14、15]	217
Fig. 3.3.2.8	平板状容器の計算モデル図 (反射体: 水) [pnl6327_11、12、13、16]	218
Fig. 3.3.2.9	平板状容器外側の格子状構造体 [PNL-6327]	219
Fig. 3.3.3.1	臨界実験体系の計算モデル図 [pnl6451_01、02]	242
Fig. 3.3.3.2	臨界実験体系の計算モデル図 [pnl6451_03~05、07~10]	243

Fig. 3.3.3.3	臨界実験体系の計算モデル図 [pnl6451_06]	244
Fig. 3.3.3.4	臨界実験体系の計算モデル図 [pnl6451_11]	245
Fig. 3.3.3.5	臨界実験体系の計算モデル図 [pnl6451_12]	246
Fig. 3.3.3.6	臨界実験体系の計算モデル図 [pnl6451_13]	247
Fig. 3.3.3.7	円環状容器、円筒状容器（ボトル）概要図 [PNL-6451]	248
Fig. 3.3.3.8	中性子吸収材 概要図 [PNL-6451]	248
Fig. 3.3.3.9	円筒状容器（外径 35.548cm）概要図 [PNL-6451 (PNL-5768)]	249
Fig. 3.3.4.1	円環形状容器を用いた臨界実験の計算モデル図 [PNL-6119]	266
Fig. 3.3.4.2	円環状容器、円筒状容器（ボトル）概要図 [PNL-6119]	267
Fig. 3.3.4.3	環状コンクリート中性子吸収材の概要図 [PNL-6119]	267
Fig. 3.3.4.4	円筒状容器（外径 68.58cm）概要図 [PNL-6119]	268
Fig. 3.4.1.1	燃料コンパクトの計算モデル図 [Nucl.App.Vol.6]	282
Fig. 3.4.1.2	燃料コンパクト配列の計算モデル図 [Nucl.App.Vol.6]	283
Fig. 3.4.1.3	燃料コンパクト配列の計算モデルイメージ [Nucl.App.Vol.6]	283
Fig. 3.4.2.1	燃料コンパクトの計算モデル図 [Nucl.Tech.Vol.11]	286
Fig. 3.4.2.2	燃料コンパクト配列の計算モデル図 [Nucl.Tech.Vol.11]	287
Fig. 3.4.2.3	燃料コンパクト配列の計算モデルイメージ [Nucl.Tech.Vol.11]	287
Fig. 3.4.3.1	燃料コンパクトの計算モデル図 [Nucl.Tech.Vol.15]	290
Fig. 3.4.3.2	燃料コンパクト配列の計算モデル図 [Nucl.Tech.Vol.15]	291
Fig. 3.4.3.3	燃料コンパクト配列の計算モデルイメージ [Nucl.Tech.Vol.15]	292
Fig. 3.5.1.1	球形状容器を用いた計算モデル図（反射体：水） [nse79_sph_01~39]	318
Fig. 3.5.1.2	球形状容器を用いた計算モデル図（反射体：水） [nse79_sph_40~59]	319
Fig. 3.5.1.3	球形状容器を用いた計算モデル図（反射体：無し） [nse79_sph_60~63]	320
Fig. 3.5.1.4	球形状容器を用いた計算モデル図（反射体：無し） [nse79_sph_64~65]	321
Fig. 3.5.1.5	球形状容器を用いた計算モデル図（反射体：無し） [nse79_sph_66~67]	322
Fig. 3.5.2.1	円筒形状容器を用いた計算モデル図 [nse79_cyl01~25]	335
Fig. 3.5.2.2	円筒形状容器を用いた計算モデル図 [nse79_cyl26~34]	336
Fig. 5.1.1	MOX 非均質系の臨界計算結果ヒストグラム [KENO-V.a]	366
Fig. 5.1.2	MOX 非均質系（均質化モデル）の臨界計算結果ヒストグラム [KENO-V.a]	366
Fig. 5.1.3	MOX 非均質系の臨界計算結果ヒストグラム [KENO-VI]	367
Fig. 5.1.4	MOX 非均質系（均質化モデル）の臨界計算結果ヒストグラム [KENO-VI]	367
Fig. 5.2.1	MOX 均質系の臨界計算結果のヒストグラム [KENO-V.a]	372
Fig. 5.2.2	MOX 均質系の臨界計算結果のヒストグラム [KENO-VI]	372
Fig. 5.3.1	(Pu+U)均質系の臨界計算結果のヒストグラム [KENO-V.a]	378
Fig. 5.3.2	(Pu+U)均質系の臨界計算結果のヒストグラム [KENO-VI]	378
Fig. 5.4.1	PuO ₂ 均質系の臨界計算結果のヒストグラム [KENO-V.a]	383
Fig. 5.4.2	PuO ₂ 均質系の臨界計算結果のヒストグラム [KENO-VI]	383
Fig. 5.5.1	Pu 均質系の臨界計算結果のヒストグラム [KENO-V.a]	390

Fig. 5.5.2 Pu 均質系の臨界ベンチマーク計算結果のヒストグラム [KENO-VI]	390
Fig.付録- 4.1 燃料格子配列領域の均質化（正方格子配列）	466
Fig.付録- 4.2 燃料格子配列領域の均質化（三角格子配列）	466
Fig.付録- 4.3 均質化セルの概念図	467
Fig.付録- 4.4 均質化モデル図	469
Fig.付録- 4.5 燃料要素の干渉効果	470
Fig.付録- 5.1.1.1 臨界計算モジュールの影響比較（MOX 非均質系）	479
Fig.付録- 5.1.2.1 臨界計算モジュールの影響比較（MOX 非均質系 均質化モデル）	485
Fig.付録- 5.2.1 臨界計算モジュールの影響比較（MOX 均質系）	488
Fig.付録- 5.3.1 臨界計算モジュールの影響比較（(Pu+U)均質系）	491
Fig.付録- 5.4.1 臨界計算モジュールの影響比較（PuO ₂ 均質系）	493
Fig.付録- 5.5.1 臨界計算モジュールの影響比較（Pu 均質系）	497

1. 目的

核燃料サイクル工学研究所のプルトニウム燃料第三開発室（以下「Pu-3」という。）は、これまでに高速実験炉「常陽」および高速原型炉「もんじゅ」等に供給するウラン・プルトニウム混合酸化物（MOX：Mixed Oxide）燃料に係る研究開発を行ってきた核燃料施設である。Pu-3 の使用変更許可申請（以下「許認可」という。）において、MOX 燃料を取り扱うグローブボックスおよび設備・機器の臨界安全解析に用いた計算コードのうち最も新しいものは、SCALE 4.4 コードシステムの3次元モンテカルロ計算コード KENO-V.a および 27 群 ENDF/B-IV の中性子断面積ライブラリである。

しかし SCALE 4.4 コードシステムは、1998 年に米国オークリッジ国立研究所（以下「ORNL」という。）によってリリースされてから既に 25 年が経過している。その間も、ORNL は機能の改良等を継続的に行っており、2024 年には SCALE 6.3.2 コードシステムがリリースされ、最新の評価済み核データライブラリに基づく断面積ライブラリも利用可能となっている。

MOX 燃料施設を設計・建設する原子力事業者は、可能な限り最新知見を踏まえた臨界計算コードを用いて臨界安全解析を行い、かつ、その計算結果が妥当であることの検証を行った上で、許認可を取得することが望まれる。

上記状況を鑑み、MOX 燃料技術開発部では、2018 年にリリースされた SCALE 6.2.3 コードシステムについて、MOX 燃料施設における臨界安全解析コードとして信頼性が十分高いことを確認するため、過去に実施された Pu および MOX 燃料を用いた臨界実験体系におけるベンチマーク計算を実施する。

本報告書は、SCALE 6.2.3 コードシステムのうち、臨界計算シーケンス KENO-V.a および KENO-VI の 2 バージョンについて、252 群 ENDF/B-VII.1 中性子断面積ライブラリ (v7-252n) を用い、臨界ベンチマーク実験に対応する計算条件および計算モデルおよびその計算結果である推定臨界下限増倍率をまとめたものである。

2. 臨界ベンチマーク計算の概要

臨界安全管理の基本的考え方については、[臨界安全ハンドブック；科学技術庁原子力安全局核燃料規制課；1988¹⁾]に記載されている。以下に、臨界安全管理の基本事項および臨界ベンチマーク計算の概要について述べる。

2.1 臨界安全管理の基本

臨界安全管理の基本は、技術的に想定されるいかなる場合においても臨界を防止することである。このため、施設の臨界安全性は設計、製作、施工および運転の各段階で十分な安全裕度を見込んで確保する。基本的には設計において臨界安全性を担保し、製作、施工において設計条件が満たされていることを確認し、運転において設計どおり臨界安全が維持されるように管理する。

未臨界を計算により確認するにあたっては、計算に使用されるデータおよび手法の信頼性を考慮し十分に安全裕度を見込んで評価する。この場合、使用されるデータおよび計算手法に関しては、評価対象と類似の物理体系の実験データとの比較によりその信頼性を十分に確かめておく。

2.2 臨界安全に係る規制基準

核燃料施設の臨界安全に係る規制側の要求としては、例えば、原子力規制委員会規則「加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」の第二条「核燃料物質の臨界防止」について、「加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」において、「核的制限値を定めるに当たって、参考とする手引書、文献等は、公表された信頼度の十分高いものであり、また、使用する臨界計算コード等は、実験値等との対比がなされ、信頼度が十分高いことが立証されたものであること。」と解釈されている。

以上のように、原子力事業者は核燃料施設の臨界安全設計を行うに当たり、必要な臨界ベンチマーク計算を行い、当該計算コードの信頼性が十分高いことを示すことが求められる。

2.3 SCALE コードシステム

Pu-3 における臨界計算コードの使用変遷は、過去には CITATION や GGC-4-ANISN が用いられ、断面積ライブラリには GGC-4 や Hansen-Roach16 群等が使用されてきた。近年は、SCALE4 コードシステムの 3次元モンテカルロ計算コード KENO-IVおよび 27群 ENDF/B-IVの中性子断面積ライブラリを使用している。

SCALE (Standard Computer Analyses for Licensing Evaluation) コードシステムは、米国原子力規制委員会 (NRC) からの委託により、主に許認可用として、核燃料施設および輸送・貯蔵容器の設計の臨界安全、遮蔽、燃焼・崩壊、熱伝導解析のため、ORNL によって開発・整備されたものである。その後も継続的に改良・整備されてきており、これまでに多くの原子力事業者で臨界安全解析コードとして使用されてきた実績がある。

よって、本臨界ベンチマーク計算でも、最新バージョンに近い SCALE 6.2.3 コードシステムを対象とし、このうち臨界計算シーケンス KENO-V.a および KENO-VI の 2 バージョンについて、252 群 ENDF/B-VII.1 中性子断面積ライブラリ (v7-252n) を用いて実施する。

2.4 臨界因子と臨界管理因子

臨界因子とは、その変化により体系の臨界性に影響を及ぼす因子である。核燃料物質を収納する機器の形状寸法、核燃料物質の質量、取り扱う核燃料物質の物理的・化学的性状および中性子吸収効果、減速条件、反射条件等が含まれる。

臨界管理因子とは、核燃料施設の臨界安全を確保するために、設計上あるいは運転管理上核的制限値を設定する臨界因子である。以下に MOX 燃料施設における代表的な臨界管理因子について述べる。

(1) 質量

同一の核燃料物質に対して臨界となる質量が最も小さいのは球である。球の質量に関する推定臨界下限値を算出（球の体積に関する推定臨界下限値に密度を乗じて算出する）し、核燃料物質がこの値以上にならないように管理することにより、未臨界を確保する方法を質量管理という。一般に MOX 燃料施設では、質量管理による臨界管理が行われる。

(2) 同位体組成

核燃料物質の同位体組成は、中性子増倍率の値に大きく影響する。MOX 燃料中の PuO_2 においては、プルトニウム量が同じであっても核分裂性核種 (Pu-239 や Pu-241) の割合によって臨界に対する影響が変化する。Pu-3 では、Pu-239、Pu-241 および U-235 の合計質量を管理している。

2.5 均質と非均質

核燃料物質の密度の空間分布が、不連続な体系を非均質系という。均質系とは、物理的・化学的性質が全体系にわたって一定、もしくは連続的に変化している体系であり、非均質系とは、水中の燃料棒体系のように物理的・化学的性質が不連続に変化する体系である。MOX 粉末系は多くの場合、均質系と見なすことができる。

2.6 MOX 燃料製造フローと燃料形態の変化

MOX 粉末を取り扱う核燃料施設においては、原料である MOX 粉末から製品である燃料集合体に至るまでの製造フローに伴い、MOX 燃料の形態が変化することが特徴である。MOX 燃料製造フローの概略と実験体系の燃料形態の関係を Fig. 2.1 に示す。

原料受入、混合および成型等のペレット製造工程では、原料である粉末状からセラミックであ

るペレットとする。これらの工程においては、物理的・化学的性質が全体系にわたって一定、もしくは連続的に変化する体系であることから、MOX 均質系および PuO_2 均質系と見なすことができる。

ただし、MOX 粉末中に含まれる不純物量やプルトニウムの質量分析のため、一度、溶液状態にする必要がある分析工程では、Pu 均質系および(Pu+U)均質系を考慮する必要がある。

燃料ペレットは燃料棒に封入された後、何本か束ねて燃料集合体とする。このときの MOX 燃料はラッパ管に収納されるため、このときの体系は MOX 非均質系と見なすことができる。また、SCALE 6.2.3 コードシステムには、燃料要素格子配列等の非均質領域を均質化する機能が備わっている。よって、この機能を利用して非均質領域を均質化するモデル（均質化モデル）による臨界計算を実施する。

このように、各工程において性状が変化することを想定し、その体系に近い臨界ベンチマーク実験を抽出し、その実験体系を模擬した臨界計算モデルを構築した上で、臨界計算を実施する。具体的な計算モデルおよび計算結果を 3 章から 5 章に示す。

この結果、中性子実効増倍率 (k_{eff}) が 1.0 になる場合と臨界ベンチマーク実験との比較により、SCALE 6.2.3 コードシステムの検証を行うとともに、推定臨界下限増倍率の算出を行う。具体的な計算結果を 6.2 節に示す。

2.7 核的制限値

臨界管理を行う体系の未臨界確保のために臨界因子に対して設定する値である。この値は、具体的な機器の設計および運転条件の妥当性の判断を容易かつ確実にを行うために設定するもので、寸法、濃度等直接的に計量可能な値または間接的に管理可能な値である。この値を超えた機器の製作並びに平常時における運転条件の設定は許されない。

2.8 単一ユニット

単一ユニットとは、「臨界管理を考える場合に対象となる」核燃料物質取扱い上のひとつの単位である。「臨界管理を考える場合に対象となる」とは、核的制限値を設定する対象になることを意味する。すなわち、単一ユニットは一組の臨界管理因子について核的制限値が設定できるものでなければならない。言い換えれば、一組の核的制限値が設定でき、それにより臨界管理できるものは単一ユニットの対象となりうる。核的制限値を設定できるということは、臨界安全管理上最も厳しくなる当該単一ユニットの外周条件が設定でき、かつ内部に含まれる核燃料物質およびその他の物質の種類、組成、物理的・化学的性質、量等が指定できるものでなければならない。

単一ユニットの一例として、質量管理されたグローブボックスまたはセル等は単一ユニットと見なすことができる。グローブボックス内に種々の容器があっても、内部の核燃料物質の量、性質等が指定でき、設定された質量制限値以内にグローブボックス内の全核燃料物質の量を管理することにより未臨界を維持することができるからである。

単一ユニットにおいては、その形状寸法、含まれる核燃料物質の濃度・質量・同位体組成、中

中性子吸収材の形状寸法・濃度・材質などの各臨界因子を管理することにより、技術的に想定されるいかなる場合に対しても臨界とならぬように対策を講じなければならない。その際、単一ユニット外周の中性子の吸収効果、減速条件および反射条件なども考慮しなければならない。

本臨界ベンチマークは、単一ユニットの核的制限値の設定について、その未臨界性を検証するために実施する。

2.9 推定臨界下限値と推定臨界下限増倍率

推定臨界下限値とは、この値以下であれば未臨界であると判断される量として定義されている。この値とは、計算コードを用いて臨界になると思われる値（推定臨界値）を推定する際の誤差を考慮して定められる。臨界値を推定する際に使用する臨界計算コードは、あらかじめ、MOX 燃料施設にて取り扱う体系と類似体系の臨界実験データを用いて実施されたベンチマーク計算を実施し、その計算精度を評価する必要がある。この精度評価の結果、未臨界であると判断してよいと考えられる中性子増倍率（実効増倍率または無限増倍率）の上限を推定臨界下限増倍率という。

推定臨界下限増倍率の算出には、対象系と類似な臨界実験データを用いて実施されたベンチマーク計算の結果について、統計処理を行う。その統計処理の方法は、[臨界安全解析コードシステム JACS の計算誤差評価；JAERI-M 87-057；1987²⁾] に記載されており、本ベンチマーク計算もその手法に基づき算出する。具体的な算出方法を 6.1 節に示す。

本臨界ベンチマーク計算の対象とする臨界実験を以下に示す。

ベンチマーク計算の対象とする実験は、核燃料物質にプルトニウムを包含する物質を用いて実施されている実験とする。Table 2.1 に計算対象とする実験レポートとケース数を示す。

2.10 本臨界ベンチマーク計算における推定臨界下限増倍率

臨界安全ハンドブックでは、JACS コードシステムの 137 群 MGSL ライブラリおよび KENO-IV コードの組合せにより推定臨界下限増倍率の算出結果が示されている。ここでは、実際の体系での中性子実効増倍率 k_{eff} が、類似の実験体系での臨界ベンチマーク計算による推定臨界下限増倍率を下回れば、その体系は臨界になることはないとして統計的に判断して良いとしている。

本ハンドブックでは、十分に検証された計算コードによって算出された中性子実効増倍率 k_{eff} が次式を満足することにより単一ユニットの未臨界性を判定できるとしている。

$$k_{\text{eff}} \leq 0.95$$

推定臨界下限増倍率と未臨界判定値との関係を Fig. 2.2 に示す。Fig. 2.2 には中性子実行増倍率の分布とそれより統計的手法により得られる推定臨界増倍率についても示している。

SCALE 6.2.3 コードシステムの 252 群 ENDF/B-VII.1 中性子断面積ライブラリの組合せによるベンチマーク計算結果を Table 2.2 に示す。この結果より、MOX 非均質系を含む全ての実験体系の

推定臨界下限増倍率は 0.96 を上回っていることから、MOX 燃料施設にて取り扱う体系において、中性子実効増倍率 (k_{eff}) が 0.95 以下であれば、未臨界性を判定できると言える。

なお、MOX 非均質系における臨界計算シーケンス KENO-V.a を用いた計算結果では、推定臨界増倍率は 0.99916 (平均)、標準偏差は 0.00356 となり、これから推定臨界下限増倍率は 0.99123 と算出されるが、6.1 節に示すように推定臨界下限増倍率は 0.98 を上回らないことから、当該計算体系の推定臨界下限増倍率は 0.98 と設定している。

これらの結果から、MOX 燃料施設の臨界安全設計において、SCALE 6.2.3 コードシステムは信頼度が十分に高い臨界計算コードとして使用できる見通しを得ている。

3 章以降に本臨界ベンチマーク計算に係る計算条件、計算モデルおよびその結果の詳細について述べる。

Table 2.1 臨界実験レポート

No.	燃料形態	実験レポート名	配列形態	ケース数
1	MOX 非均質系	PNL-3313 ³⁾ Nuclear Technology Vol.44, pp.141-151 ⁴⁾ Nuclear Technology Vol.49, pp.40-46 ⁵⁾ Nuclear Technology Vol.48, pp.128-149 ⁶⁾	正方格子	50
2		EPRI NP-196 Project 348 Vol.1 Final Report ⁷⁾		6 ^{*1}
3		JAERI 1254 ⁸⁾		86 ^{*2}
4		PNL-5803 ⁹⁾		7
5		PNL-6559 ¹⁰⁾		12 ^{*3}
6		Nuclear Science and Engineering Vol.59, pp.21-26 ¹¹⁾		三角格子
7	Nuclear Science and Engineering Vol.62, pp.726-735 ¹²⁾	7		
8	MOX 均質系	BNWL-2129 ¹³⁾	直方体	4
9		Nuclear Science and Engineering Vol.50, pp.115-126 ¹⁴⁾		21
10		Nuclear Science and Engineering Vol.55, pp.51-57 ¹⁵⁾ & pp.58-66 ¹⁶⁾		8
11		Nuclear Science and Engineering Vol.61, pp.370-376 ¹⁷⁾		13 ^{*4}
12	(Pu+U) 均質系	PNL-5768 ¹⁸⁾	円筒／平板	4/6 ^{*5}
13		PNL-6327 ¹⁹⁾		9/7 ^{*5}
14		PNL-6451 ²⁰⁾	円環	13
15	PNL-6119 ²¹⁾	5		
16	PuO ₂ 均質系	Nuclear Applications Vol.6, pp.23-26 ²²⁾	直方体	4
17		Nuclear Technology Vol.11, pp.185-190 ²³⁾		5
18		Nuclear Technology Vol.15, pp.5-13 ²⁴⁾		7
19	Pu 均質系	Nuclear Science and Engineering Vol.79, pp.65-84 ²⁵⁾	球／円筒	67/34 ^{*6}

※1 実験レポートには 12 ケースが提示されているが、本ベンチマーク計算において条件に合致するケースは 6 ケースである。

※2 実験レポートには 88 ケースの実験が提示されているが、一部に条件が重複するケースがあるため、2 ケースを除外し、86 ケースを評価対象とする。

※3 SCALE コードシステムには、燃料要素格子配列等の非均質領域を均質化して計算する機能が備わっている。本ベンチマーク計算でも、この機能を利用して非均質領域を均質化するモデル（格子配列均質化モデル）で臨界計算を実施している。しかし、当該 12 ケースについては、実験体系の条件が本機能の適用外となるため、均質化モデルでの計算を実施しない（詳細は、付録-4 を参照）。

※4 実験レポートには 14 ケースが提示されているが、一部に条件が重複するケースがあるため、13 ケースを対象とする。

※5 ここに示す数値は、計算体系の“円筒形状／平板形状”の計算ケース数を示す。

※6 ここに示す数値は、計算体系の“球形形状／円筒形状”の計算ケース数を示す。

Table 2.2 臨界ベンチマークの統計結果

実験体系	項目	CSAS5 (KENO-V.a)	CSAS6 (KENO-VI)
MOX 非均質系	<ul style="list-style-type: none"> ・ 標本数 ・ 平均値 ・ 標準偏差 ・ 推定臨界下限増倍率 ・ 推定臨界下限増倍率以下のケース数 	184 0.99916 0.00356 0.98 (0.99123) ※1 2	184 0.99887 0.00366 0.98 (0.99069) ※1 2
MOX 非均質系 (均質化モデル)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 標本数 ・ 平均値 ・ 標準偏差 ・ 推定臨界下限増倍率 ・ 推定臨界下限増倍率以下のケース数 	172 1.00048 0.0040 0.98 (0.99153) ※1 2	172 1.00023 0.00415 0.98 (0.99094) ※1 1
MOX 均質系	<ul style="list-style-type: none"> ・ 標本数 ・ 平均値 ・ 標準偏差 ・ 推定臨界下限増倍率 ・ 推定臨界下限増倍率以下のケース数 	46 0.99991 0.01450 0.96270 0	46 1.00002 0.01453 0.96273 0
(Pu+U) 均質系	<ul style="list-style-type: none"> ・ 標本数 ・ 平均値 ・ 標準偏差 ・ 推定臨界下限増倍率 ・ 推定臨界下限増倍率以下のケース数 	44 0.99472 0.00607 0.97903 0	44 0.99464 0.00608 0.97894 0
PuO ₂ 均質系	<ul style="list-style-type: none"> ・ 標本数 ・ 平均値 ・ 標準偏差 ・ 推定臨界下限増倍率 ・ 推定臨界下限増倍率以下のケース数 	16 1.01014 0.00962 0.97931 0	16 1.01032 0.00975 0.97909 0
Pu 均質系	<ul style="list-style-type: none"> ・ 標本数 ・ 平均値 ・ 標準偏差 ・ 推定臨界下限増倍率 ・ 推定臨界下限増倍率以下のケース数 	101 1.00156 0.01048 0.97702 6	101 1.00157 0.01051 0.97698 5

※1 推定臨界下限増倍率が 0.98 を超える値を示す。括弧内は統計処理で算出された推定臨界下限増倍率。

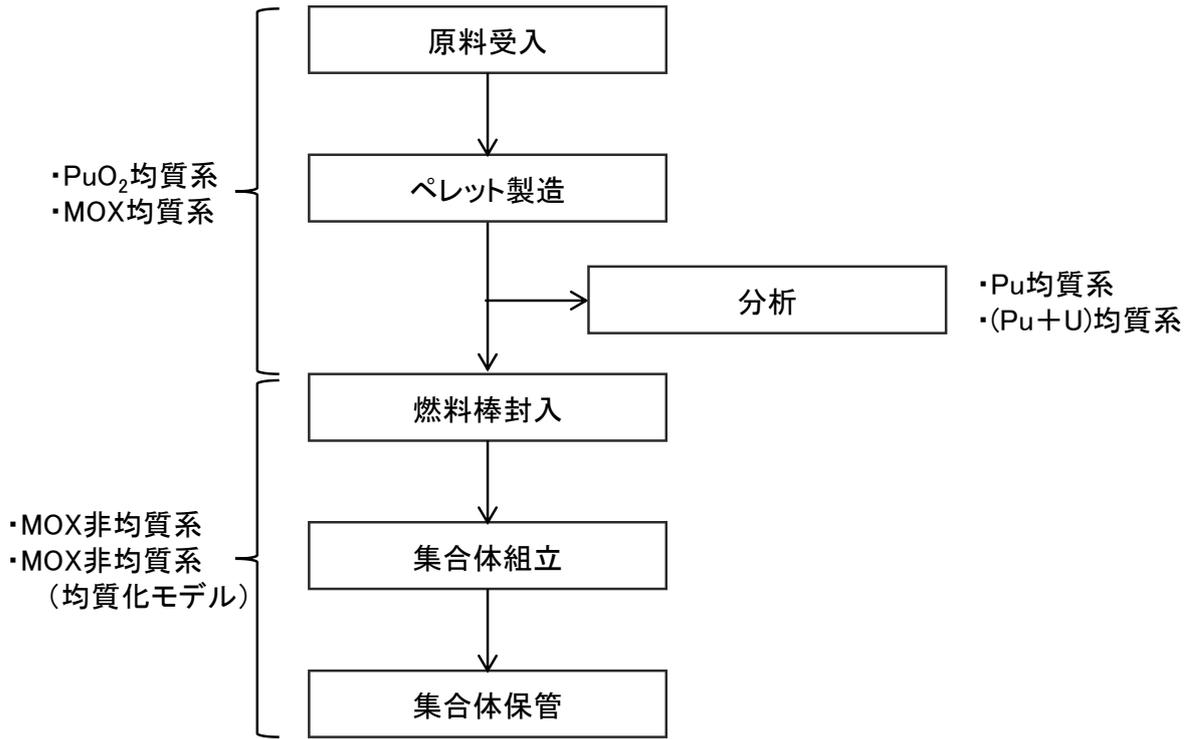


Fig. 2.1 MOX 燃料製造フローと臨界ベンチマーク実験の燃料形態との関係

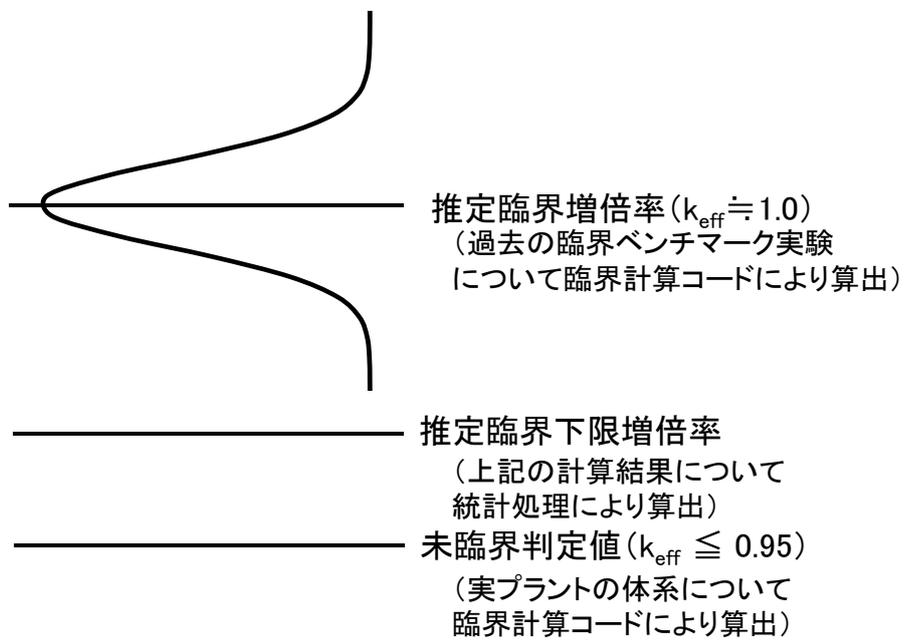


Fig. 2.2 推定臨界下限増倍率と未臨界判定値との関係

3. 計算条件および計算モデル

3.1 MOX 非均質系

非均質系の実験データは、以下に示す文献に記載された臨界実験を計算対象とする。

- ① PNL-3313³⁾
 - ①-1 SECTION II Nuclear Technology Vol.44⁴⁾
 - ①-2 SECTION III Nuclear Technology Vol.49⁵⁾
 - ①-3 SECTION IV Nuclear Technology Vol.48⁶⁾
- ② EPRI NP-196 Project 348 Vol.1 Final Report⁷⁾
- ③ JAERI 1254⁸⁾
- ④ PNL-5803⁹⁾
- ⑤ PNL-6559¹⁰⁾
- ⑥ Nuclear Science and Engineering Vol.59¹¹⁾
- ⑦ Nuclear Science and Engineering Vol.62¹²⁾

いずれの実験においても用いている核燃料は MOX 燃料要素を等間隔に配列した体系である。

⑥および⑦については三角格子配列体系であるが、それ以外については全て正方格子配列である。

また、⑤以外の実験においては、非均質モデルでの計算に加え、燃料要素格子配列領域を均質化したモデル（燃料要素格子配列均質化モデル）での計算を同時に実施する（付録-4を参照）。

3.1.1 PNL-3313

この実験では、以下に示す燃料を用いて実験が行われている。

- (1) 実験ケース 1 (SECTION II) : 水反射条件実験 (6 ケース)
(参考文献 : Nuclear Technology Vol.44, pp.141-151⁴⁾)
- (2) 実験ケース 2 (SECTION III) : コンクリート反射条件実験 (4 ケース)
(参考文献 : Nuclear Technology Vol.49, pp.40-46⁵⁾)
- (3) 実験ケース 3 (SECTION IV) : 各種中性子吸収材を用いた実験 (40 ケース)
(参考文献 : Nuclear Technology Vol.48, pp.128-149⁶⁾)

以下に各計算ケースの計算モデル等について記述する。

(1) 実験ケース 1 (PNL-3313 SECTION II : Nuclear Technology Vol.44)

この実験では、Fast Flux Test Facility (FFTF) の燃料要素 Type 3.1 および燃料要素 Type 3.2 の 2 種類が用いられている。燃料要素 Type 3.1 は、Pu 含有量 (Pu/MOX) 24.39wt%、燃料要素 Type 3.2 は Pu 含有量 (Pu/MOX) 19.84wt%となっている。

実験では、主に燃料要素 Type 3.2 が用いられ、燃料要素 Type 3.1 は一部の実験 (実験番号 003R) において反応度調整用に用いられている。

実験は、減速材と反射体を兼ねて水が使用されている。燃料要素を正方格子配列で配置し、それぞれの配列ピッチ (0.7671cm、0.9525cm、0.9677cm、1.2588cm、1.5342cm、1.9050cm) で実施されている。

Table 3.1.1.1 に臨界実験データを示す。本実験では 6 ケースが実施されている。

Table 3.1.1.2 に MOX 燃料および UO₂ インシュレータの諸元を示す。

Table 3.1.1.3 に計算に用いた物質の原子個数密度を示す。

Table 3.1.1.4 に補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度を示す。

Pu-241 の放射性壊変 (β 崩壊) により、Pu-241 および Am-241 の原子個数密度は、時間の経過とともに Pu-241 は減じ、Am-241 は増加する。このため、分析時期と実験時期との期間を考慮して、Pu-241、Am-241 の原子個数密度を補正する (付録-3)。

Fig. 3.1.1.1 に燃料要素 (FFTF Type3.1/Type3.2) の計算モデル図を示す。

Fig. 3.1.1.2 に実験体系の計算モデル図 (X-Z 断面図) を示す。

Fig. 3.1.1.3~Fig. 3.1.1.8 に実験体系毎の燃料要素配列図を示す。

計算モデルでは、反射体タンク内に燃料要素を支持する支持板 (SUS304L 製格子状グリッド板 2.845cm 厚、ポリプロピレン製スペーサ板 1.368cm 厚、ただし、実験番号 029 においては、全てのステンレス製グリッド板をポリプロピレン製に換える) および燃料要素配列の基部に位置するプレキシガラスベース板 (2.54cm 厚)、それを支えるアルミニウム製チャンネル (高さ 15.3cm×幅 5.08cm×厚さ 0.635cm) を配置する。また、反射体の下部には、反射体タンクの底面板 (炭素鋼製 0.952cm 厚)、床構造材 (コンクリート製 30cm 以上) を配置する。

反射体タンク内には、反射体・減速材として水が燃料要素下端 (プレキシガラスベース板上面) より 127.0cm の高さまで充填されている。また、モデルの水平方向においては、文献に反射体タンクの寸法条件の記載が無く、水平方向の 4 面 ($\pm X$ 、 $\pm Y$ 方向) については、反射体の厚さは、15cm 以上が維持されるとの記述がある。よって、燃料領域 (正方格子に配列された MOX 燃料要素によって形成される直方体状の領域) より、15cm 以内の範囲でモデル化する。

モデル上部は、燃料要素の上端までを考慮しており、反射体 (水) の水位より上の領域は空気雰囲気とする。計算モデルの外側境界条件は真空として設定する。

本実験が記載された文献 [PNL-331³⁾ SECTION II]、[Nuclear Technology Vol.44⁴⁾] においては、温度条件の記載が無い場合、計算に際し実験装置全体を 20°C に設定する。

Table 3.1.1.1 臨界実験データおよび計算ケース [Nucl.Tech.Vol.44]

計算ケース	実験番号	臨界本数	配列ピッチ (cm)	体積比 (Water-to-Fuel)	燃料要素配列領域	燃料要素配列図	実験時期 ^{※2}
pnl 01 01	003R	1037 ^{※3}	0.7671	1.67	36×36	Fig. 3.1.1.3	February 1978
pnl 01 02	005	605	0.9525	3.33	28×28	Fig. 3.1.1.4	February 1978
pnl 01 03 ^{※4}	029	579	0.9677	3.49	28×28	Fig. 3.1.1.5	December 1978
pnl 01 04	001	279	1.2588	6.87	20×20	Fig. 3.1.1.6	February 1978
pnl 01 05	004	205	1.5342 (0.7671) ^{※5}	10.88	36×36	Fig. 3.1.1.7	February 1978
pnl 01 06	006	162	1.9050 (0.9525) ^{※5}	17.53	28×28	Fig. 3.1.1.8	February 1978

※1 文献 [Nuclear Technology Vol.44⁴⁾ p.142 TABLE 1] より引用する。

※2 実験時期については、日付の明記がなされていないため、本ベンチマーク計算では以下のとおりに設定する。

February 1978 →1978/02/01

December 1978 →1978/12/01

※3 燃料要素 Type3.1 : 65 本、燃料要素 Type3.2 : 972 本

※4 ステンレスグリッド板 (2.845cm 厚) をポリプロピレングリッド板 (1.368cm 厚) に換える。

※5 燃料要素は、グリッド板格子へ1つずつ間隔を空けて装荷している。括弧内はグリッド孔間隔。

Table 3.1.1.2 MOX 燃料および UO₂ インシュレータの諸元 [Nucl.Tech.Vol.44]

燃料要素タイプ		Type3.1		Type3.2		
		文献記載	採用値	文献記載	採用値	
MOX 燃料 スタック	密度 (g/cm ³)	9.783±0.318	9.783	9.830±0.320	9.830	
	Pu/MOX (wt%)	24.39	24.3868	19.84	19.8366	
	PuO ₂ 富化度 (wt%)	—	27.5668	—	22.4838	
	O/M 比	—	1.9498	—	1.9954	
	分析時期 ^{※1}	during April and May of 1972	1972/5/1	during April and May of 1972	1972/5/1	
	組成 (wt%)	Pu-238	0.0365 (MAX)	0.0365	0.0297 (MAX)	0.0297
		Pu-239	20.8508±0.1186	20.8508	16.9683±0.0964	16.9683
		Pu-240	2.8046 (BAL)	2.8046	2.2733 (BAL)	2.2733
		Pu-241 ^{※2}	0.6096±0.0035	0.577897	0.4959±0.0028	0.470112
		Pu-242	0.0853 (MAX)	0.0853	0.0694 (MAX)	0.0694
Am-241 ^{※2}		Pu 総量の 0.13wt%	0.031703	Pu 総量の 0.13wt%	0.025788	
U-235		0.4547	0.4547	0.4853	0.4853	
U-238	63.5857	63.5857	67.8638	67.8638		
O	11.5728	11.5728	11.8143	11.8143		
UO ₂ インシュレータ	密度 (g/cm ³)	10.42±0.22	10.42	10.42±0.22	10.42	
	O/M 比	—	2.0	—	2.0	
	組成 ^{※3} (at%)	U-234	天然ウラン	0.0054	天然ウラン	0.0054
		U-235		0.7204		0.7204
		U-238		99.2742		99.2742

※1 文献 [PNL-3313³⁾ Figure 3]、[Nuclear Technology Vol.44⁴⁾ p.143 Fig.2] に記載された分析時期。

本ベンチマーク計算では、1972/5/1 として設定する。

※2 文献 [PNL-3313³⁾ Figure 3]、[Nuclear Technology Vol.44⁴⁾ p.143 Fig.2] には、Pu-241 重量組成比が記載されているが (Type3.1 : 0.6096wt%、Type3.2 : 0.4959wt%)、Am-241 重量組成比の記載はない。ただし、図の注釈に、「Americium-241 content of total plutonium was measured to be 0.13 wt% during April and May of 1972.」とある。

Pu-241 は、時間経過とともに壊変し、Am-241 へと変化する。文献に記載された Pu-241 重量組成比を Pu-241 の壊変前の値と解釈し、時間とともに Pu-241 が Am-241 と変化、Am-241 の分析時には、総 Pu 量の 0.13wt% にあたる Am-241 が存在すると解釈する。

分析時期における Am-241 重量組成比は以下のとおりである。

Type3.1 24.3868wt% (総 Pu 重量比) ×0.13/100=0.031703wt%

Type3.2 19.8366wt% (総 Pu 重量比) ×0.13/100=0.025788wt%

分析時期における Pu-241 重量組成比は、文献記載値より Am-241 重量組成比を差し引いた値である。

Type3.1 0.6096wt% - 0.031703wt% = 0.577897wt%

Type3.2 0.4959wt% - 0.025788wt% = 0.470112wt%

※3 UO₂ インシュレータについて、U 同位体組成比が記載されていないため、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-1.3 を参照)。

U-234 : U-235 : U-238 = 0.0054 : 0.7204 : 99.2742 at%

Table 3.1.1.3 計算に用いた物質の原子個数密度 [Nucl.Tech.Vol.44] [1/2]

使用部材	材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
燃料要素	MOX 燃料 ^{※1} (Type-3.1) Pu/MOX 24.39wt% PuO ₂ 富化度 27.5668wt% O/M 比 1.9498	9.783	Pu-238	0.0365	238.0495614	9.03334E-06
			Pu-239	20.8508	239.0521648	5.13870E-03
			Pu-240	2.8046	240.0538150	6.88312E-04
			Pu-241 ^{※1}	0.577897	241.0568529	1.06918E-04
			Pu-242	0.0853	242.0587440	2.07611E-05
			Am-241 ^{※1}	0.031703	241.0568306	4.20689E-05
			U-235	0.4547	235.0439282	1.13972E-04
			U-238	63.5857	238.0507870	1.57367E-02
			O	11.5728	15.9993744	4.26146E-02
	MOX 燃料 ^{※1} (Type-3.2) Pu/MOX 19.84wt% PuO ₂ 富化度 22.4838wt% O/M 比 1.9954	9.83	Pu-238	0.0297	2238.0495614	7.38573E-06
			Pu-239	16.9683	239.0521648	4.20194E-03
			Pu-240	2.2733	240.0538150	5.60599E-04
			Pu-241 ^{※1}	0.470112	241.0568529	8.73945E-05 (8.39568E-05)
			Pu-242	0.0694	242.0587440	1.69724E-05
			Am-241 ^{※1}	0.025788	241.0568306	3.43864E-05 (3.78240E-05)
			U-235	0.4853	235.0439282	1.22227E-04
	U-238	67.8638	238.0507870	1.68761E-02		
	O	11.8143	15.9993744	4.37129E-02		
	UO ₂ ^{※2} インシュレータ	10.42	U-234	0.00468034	234.0409504	1.25489E-06
			U-235	0.627067787	235.0439282	1.67411E-04
U-238			87.5180773	238.0507870	2.30700E-02	
O			11.85017457	15.9993744	4.64772E-02	
インコネル 600 ^{※3} (反射体)	8.4	C	0.15	12.0106356	6.31765E-04	
		Si	0.5	28.0849993	9.00587E-04	
		Mn	1.0	54.9380432	9.20782E-04	
		P	0.03	30.9737620	4.89956E-05	
		S	0.015	32.0654619	2.36638E-05	
		Ni	74.335	58.6933505	6.40670E-02	
		Cr	15.5	51.9961306	1.50796E-02	
		Fe	8.0	55.8451437	7.24661E-03	
Cu	0.5	63.5460395	3.98026E-04			
SUS316 ^{※4} (端栓/被覆管)	8.03	C	0.08	12.0106356	3.22100E-04	
		Si	1.0	28.0849993	1.72184E-03	
		P	0.045	30.9737620	7.02563E-05	
		Cr	17.0	51.9961306	1.58105E-02	
		Mn	2.0	54.9380432	1.76045E-03	
		Fe	65.375	55.8451437	5.66099E-02	
		Ni	12.0	58.6933505	9.88687E-03	
		Mo	2.5	95.9487771	1.25999E-03	

※1 分析時期と実験時期が異なることから、その期間の壊変を考慮し、Pu-241、Am-241 について補正を行う (Table 3.1.1.4、付録-3 参照)。

計算ケース pnl_01_03 においては、括弧内の数値を用いる。

※2 UO₂ インシュレータについて、U の同位体組成を天然ウランとし、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-1.3 を参照)。

U-234 : U-235 : U-238 = 0.0054 : 0.7204 : 99.2742 at%。

※3 インコネル 600 については、JIS G 4901 NFC600 の組成を引用する (付録-2.2.1 参照)。

※4 SUS316 については、SCALE 6.2.3 コードシステムに内蔵された標準物質 SS316 の組成を引用する (付録-2.2.7、付録-2.3.1 参照)。

Table 3.1.1.3 計算に用いた物質の原子個数密度 [Nucl.Tech.Vol.44] [2/2]

使用部材	材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
グリッド板	SUS304L ^{※4}	7.93	C	0.03	12.0106356	1.19283E-04
			Si	1.0	28.0849993	1.70039E-03
			Mn	2.0	54.9380432	1.73852E-03
			P	0.045	30.9737620	6.93813E-05
			S	0.03	32.0654619	4.46795E-05
			Ni	11.0	58.6933505	8.95010E-03
			Cr	19.0	51.9961306	1.74505E-02
			Fe	66.895	55.8451437	5.72048E-02
スパーサ板	ポリプロピレン ^{※5}	0.904	H	14.37230067	1.0079709	7.76243E-02
			C	85.62769933	12.0106356	3.88121E-02
タンク底板	炭素鋼 ^{※6}	7.8212	Fe	99.0	55.8451437	8.34976E-02
			C	1.0	12.0106356	3.92155E-03
床構造材	コンクリート ^{※7}	2.452	Al	2.32	26.9815384	1.26968E-03
			Ca	7.27	40.0780225	2.67855E-03
			Fe	0.28	55.8451437	7.40362E-05
			Si	34.68	28.0849993	1.82338E-02
			Mg	1.45	24.3057012	8.80909E-04
			K	0.75	39.0983009	2.83253E-04
			Na	0.17	22.9897693	1.09191E-04
			O	52.26	15.9993744	4.82323E-02
			H	0.82	1.0079709	1.20126E-02
			プレキシガラス ベース板	アクリル樹脂 ^{※8}	1.19	H
C	59.98378005	12.0106356				3.57903E-02
O	31.96177094	15.9993744				1.43161E-02
Al製チャンネル	Al-6061 ^{※9}	2.7	Si	0.6	28.0849993	3.47369E-04
			Fe	0.7	55.8451437	2.03811E-04
			Cu	0.275	63.5460395	7.03654E-05
			Mn	0.15	54.9380432	4.43949E-05
			Mg	1.0	24.3057012	6.68970E-04
			Cr	0.195	51.9961306	6.09787E-05
			Zn	0.25	65.3777823	6.21762E-05
			Ti	0.15	47.8667439	5.09533E-05
			Al	96.68	26.9815384	5.82619E-02
			減速材 反射体	水 ^{※10}	0.9982	H
O	88.80984463	15.9993744				3.33677E-02
空気 ^{※11}	0.0000173	H		11.19015537	1.0079709	1.15661E-06
		O		88.80984463	15.9993744	5.78305E-07

※4 SUS304Lについては、JIS G 4303の組成を引用する（付録-2.2.8を参照）。

※5 ポリプロピレンの密度については文献 [Nuclear Technology Vol.44⁴⁾ p.142] に記載された値を引用する（付録-2.2.10を参照）。

※6 炭素鋼については、SCALE 6.2.3 コードシステムに内蔵された標準物質 CARBON STEEL の組成を引用する（付録-2.3.6を参照）。

※7 コンクリートについては、文献 [PNL-3313³⁾ TABLE IV] に記載された組成、密度を引用する（付録-2.2.14を参照）。

※8 アクリル樹脂の密度については、ISO 1183より引用する（付録-2.2.12を参照）。

※9 Al-6061については、JIS H 4000 Al-6061の組成を引用する（付録-2.2.3を参照）。

※10 水の密度については、水温 20°Cの時の密度（理科年表 2022 年度版²⁶⁾より引用）とする（付録-2.2.16を参照）。

※11 空気中の主成分（N₂、O₂等々）については考慮せず、中性子への影響が大きい空気中の水分について考慮する。空気中の水分は、飽和水蒸気量（20°C）に相当する 0.0000173g/cm³とする（付録-2.2.17を参照）。

Table 3.1.1.4 補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [Nucl.Tech.Vol.44]

燃料要素 タイプ	分析時期※1	実験時期※2	考慮期間 (日)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)			
				初期値 (分析時)		補正值 (実験時) ※3	
				Pu-241	Am-241	Pu-241	Am-241
Type3.1	1972/05/01	1978/02/01	2102	1.4124E-04	7.7482E-06	1.06918E-04	4.20689E-05
Type3.2	1972/05/01	1978/02/01	2102	1.15448E-04	6.33280E-06	8.73945E-05	3.43864E-05
	1972/05/01	1978/12/01	2405	1.15448E-04	6.33280E-06	8.39568E-05	3.78240E-05

※1 分析時期 1972/05/01 (during April and May of 1972)

文献 [Nuclear Technology Vol.44⁴⁾ p.143 Fig.2] より引用

※2 実験時期 1978/02/01 (February 1978) [pnl_01_01、02、04、05、06]

1978/12/01 (December 1978) [pnl_01_03]

文献 [Nuclear Technology Vol.44⁴⁾ p.142 TABLE I] より引用する。

※3 Pu-241、Am-241 の補正については、付録-3 を参照。

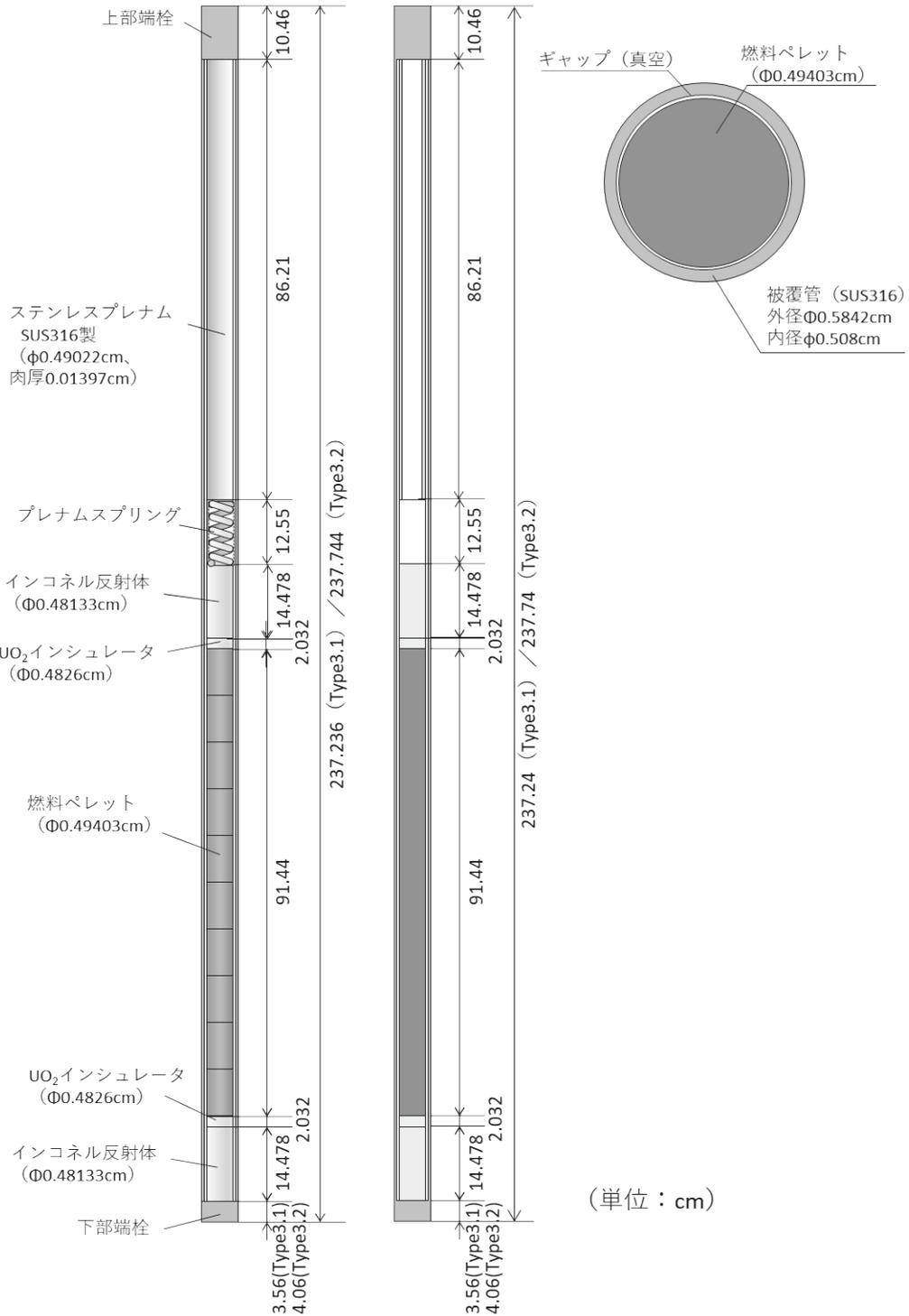


Fig. 3.1.1.1 燃料要素 FFTE Type 3.1 および Type3.2 の計算モデル図 [Nucl.Tech.Vol.44]

- ※ 文献 [Nuclear Technology Vol.44⁴⁾ p.143 Fig.2] を基に作成した。
- ※ 燃料ペレットと被覆管のギャップは、真空としてモデル化する。
- ※ プレナムスプリングの領域については、真空としてモデル化する。
- ※ 燃料要素全長については、Type3.1 : 237.236cm、Type3.2 : 237.744cm の記述があるが、計算モデルにおいては、燃料要素を構成する各寸法の合計値、Type3.1 : 237.24cm、Type3.2 : 237.74cm とする。各部寸法条件は、公差範囲中央値を採用する。

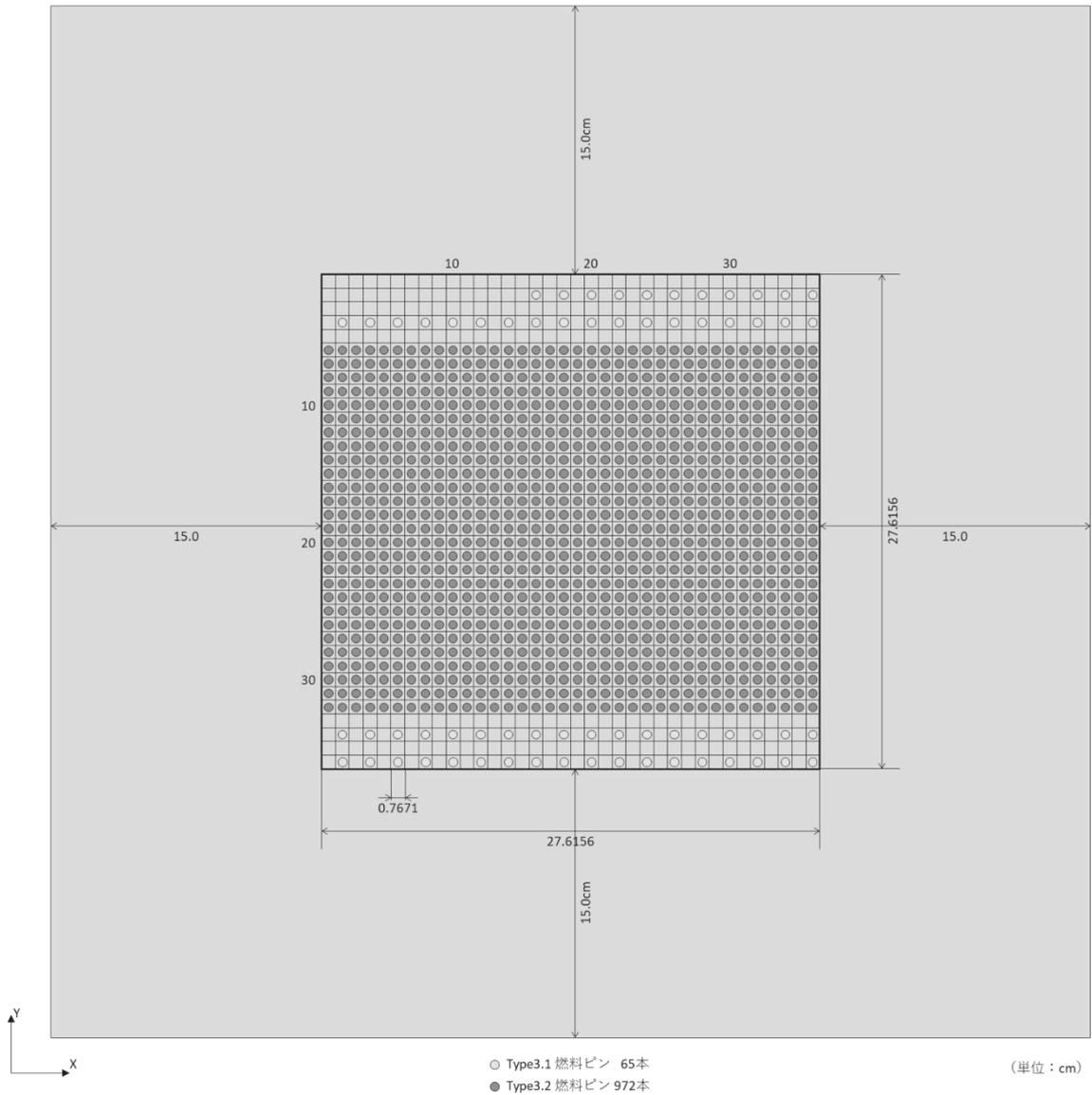


Fig. 3.1.1.3 燃料要素配列図 [pnl_01_01、実験番号 003R]

- ※ 燃料要素支持板（グリッド板、スペーサ板）、プレキシガラスベース板の幅、奥行き寸法については、文献 [PNL-3313³⁾]、[Nuclear Technology Vol.44⁴⁾] に記載が無いいため、配列ピッチ 0.7671cm と燃料要素配列 (36×36) より、27.6156cm×27.6156cm とする。AI-6061 製チャンネルにおいては、チャンネルの奥行き長さを 27.6156cm とし、配置位置をプレキシガラスベース板の最外寸法位置に合わせて配置する。
- ※ 水平方向について、文献 [PNL-3313³⁾]、[Nuclear Technology Vol.44⁴⁾] において、反射体（水）の厚さ 15cm が保たれていると記述されていることから、境界を燃料要素配列領域より 15cm 以内の範囲に設定しモデル化する。

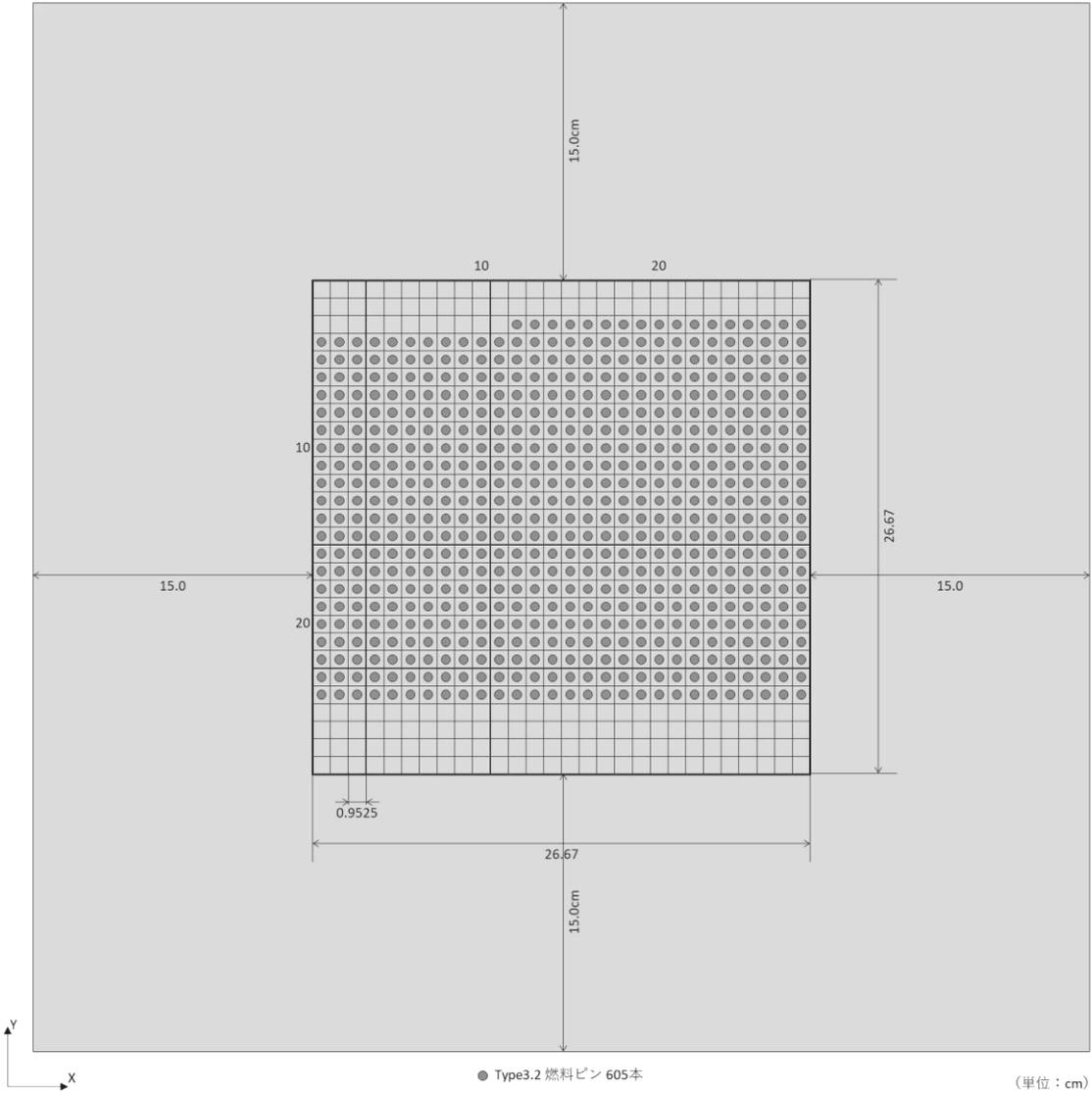


Fig. 3.1.1.4 燃料要素配列図 [pnl_01_02、実験番号 005]

- ※ 燃料要素支持板（グリッド板、スペーサ板）、プレキシガラスベース板の幅、奥行き寸法については、文献 [PNL-3313³⁾]、[Nuclear Technology Vol.44⁴⁾] に記載が無いいため、配列ピッチ 0.9525cm と燃料要素配列 (28×28) より、26.67cm×26.67cm とする。Al-6061 製チャンネルにおいては、チャンネルの奥行き長さを 26.67cm とし、配置位置をプレキシガラスベース板の最外寸法位置に合わせて配置する。
- ※ 水平方向について、文献 [PNL-3313³⁾]、[Nuclear Technology Vol.44⁴⁾] において、反射体（水）の厚さ 15cm が保たれていると記述されていることから、境界を燃料要素配列領域より 15cm 以内の範囲に設定しモデル化する。

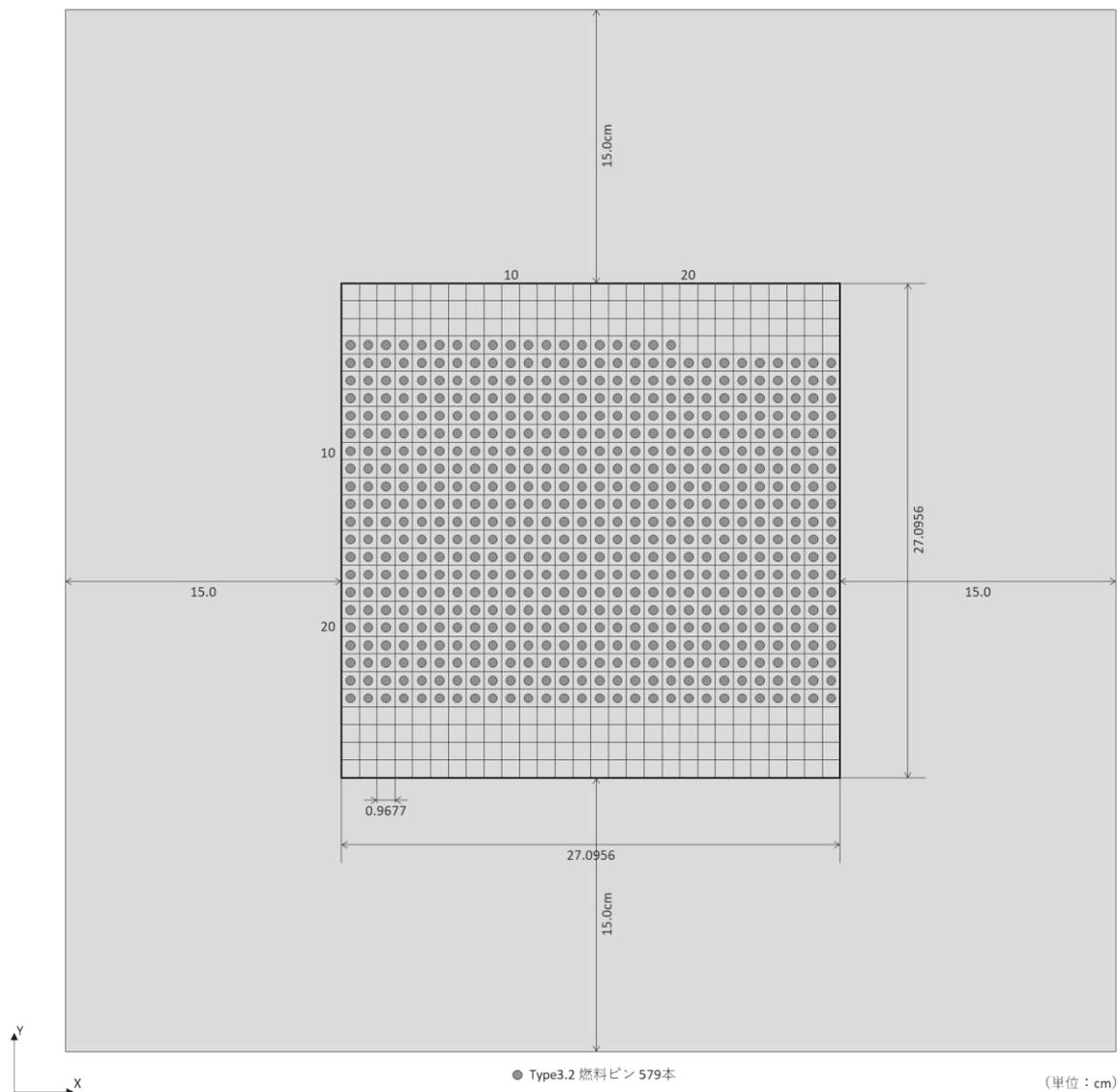


Fig. 3.1.1.5 燃料要素配列図 [pnl_01_03、実験番号 029]

- ※ 燃料要素支持板（スペーサ板）、プレキシガラスベース板の幅、奥行き寸法については、文献 [PNL-3313³⁾]、[Nuclear Technology Vol.44⁴⁾] に記載が無いため、配列ピッチ 0.9677cm と燃料要素配列 (28×28) より、27.0956cm×27.0956cm とする。Al-6061 製チャンネルにおいては、チャンネルの奥行き長さを 27.0956cm とし、配置位置をプレキシガラスベース板の最外寸法位置に合わせて配置する。
- ※ 水平方向について、文献 [PNL-3313³⁾]、[Nuclear Technology Vol.44⁴⁾] において、反射体（水）の厚さ 15cm が保たれていると記述されていることから、境界を燃料要素配列領域より 15cm 以内の範囲に設定しモデル化する。

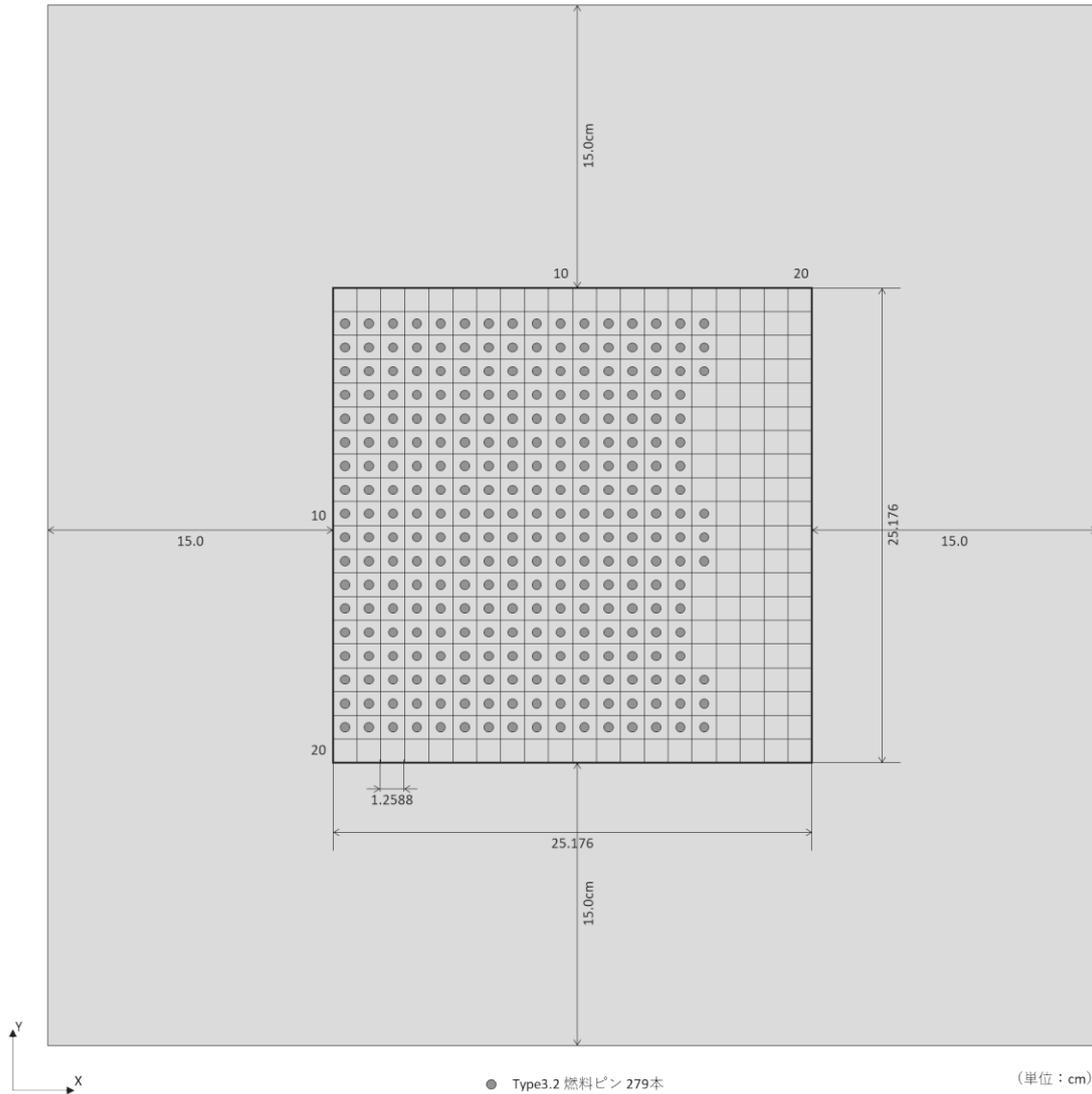


Fig. 3.1.1.6 燃料要素配列図 [pnl_01_04、実験番号 001]

- ※ 燃料要素支持板（グリッド板、スペーサ板）、プレキシガラスベース板の幅、奥行き寸法については、文献 [PNL-3313³⁾]、[Nuclear Technology Vol.44⁴⁾] に記載が無いので、配列ピッチ 1.2588cm と燃料要素配列 (20×20) より、25.176cm×25.176cm とする。Al-6061 製チャンネルにおいては、チャンネルの奥行き長さを 25.176cm とし、配置位置をプレキシガラスベース板の最外寸法位置に合わせて配置する。
- ※ 水平方向について、文献 [PNL-3313³⁾]、[Nuclear Technology Vol.44⁴⁾] において、反射体（水）の厚さ 15cm が保たれていると記述されていることから、境界を燃料要素配列領域より 15cm 以内の範囲に設定しモデル化する。

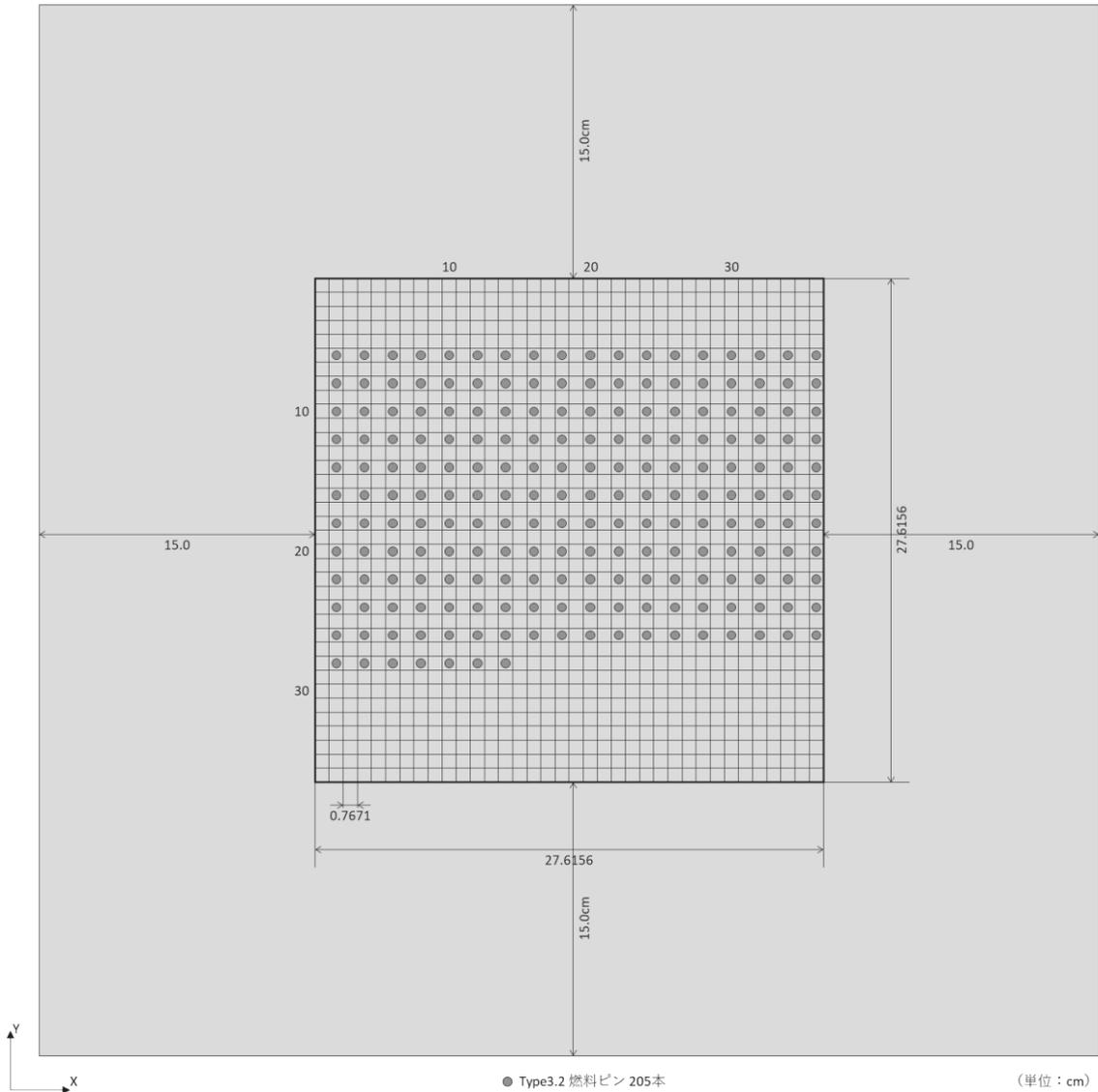


Fig. 3.1.1.7 燃料要素配列図 [pnl_01_05、実験番号 004]

- ※ 燃料要素支持板（グリッド板、スペーサ板）、プレキシガラスベース板の幅、奥行き寸法については、文献 [PNL-3313³⁾]、[Nuclear Technology Vol.44⁴⁾] に記載が無いため、配列ピッチ 1.5342cm (=0.7671cm×2) と燃料要素配列 (36×36) より、27.6156cm×27.6156cmとする。Al-6061 製チャンネルにおいては、チャンネルの奥行長さを 27.6156cm とし、配置位置をプレキシガラスベース板の最外寸法位置に合わせて配置する。
- ※ 水平方向について、文献 [PNL-3313³⁾]、[Nuclear Technology Vol.44⁴⁾] において、反射体（水）の厚さ 15cm が保たれていると記述されていることから、境界を燃料要素配列領域より 15cm 以内の範囲に設定しモデル化する。

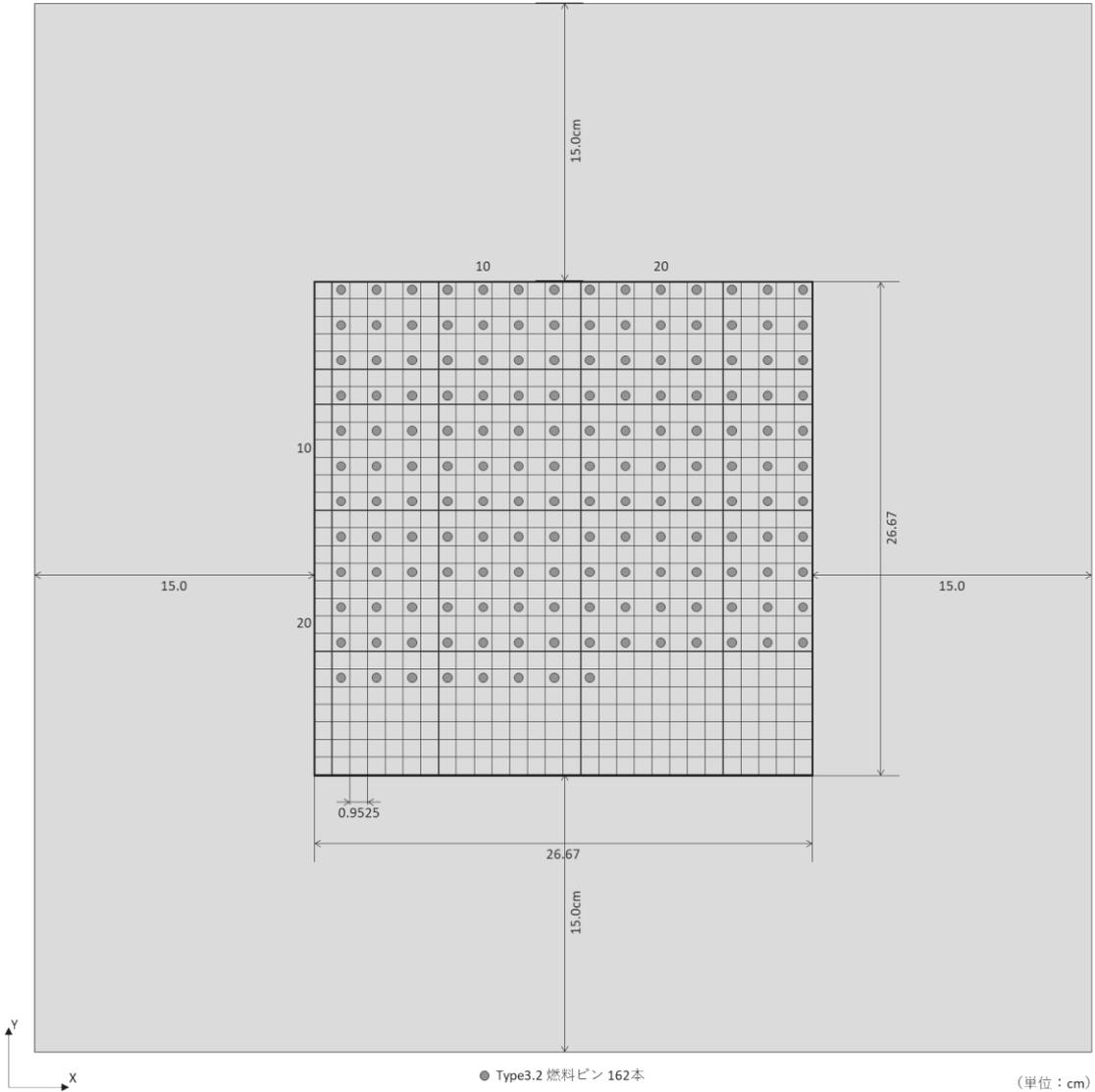


Fig. 3.1.1.8 燃料要素配列図 [pnl_01_06、実験番号 006]

- ※ 燃料要素支持板（グリッド板、スペーサ板）、プレキシガラスベース板の幅、奥行き寸法については、文献 [PNL-3313³⁾、[Nuclear Technology Vol.44⁴⁾] に記載が無いため、配列ピッチ 1.9050cm (=0.9525cm×2) と燃料要素配列 (28×28) より、26.67cm×26.67cm とする。Al-6061 製チャンネルにおいては、チャンネルの奥行き長さを 26.67cm とし、配置位置をプレキシガラスベース板の最外寸法位置に合わせて配置する。
- ※ 水平方向について、文献 [PNL-3313³⁾、[Nuclear Technology Vol.44⁴⁾] において、反射体（水）の厚さ 15cm が保たれていると記述されていることから、境界を燃料要素配列領域より 15cm 以内の範囲に設定しモデル化する。

(2) 実験ケース 2 (PNL-3313 SECTION III : Nuclear Technology Vol.49)

この実験では、Fast Flux Test Facility (FFTF) の燃料要素 Type 3.2 を用いた臨界実験が行われている。燃料要素 Type 3.2 は、Pu 含有量 (Pu/MOX) 19.84wt%となっている。

実験は、反射体にコンクリート、減速材として水が使用され、燃料要素を正方格子配列で配置し、それぞれの配列ピッチ (0.953cm、1.264cm、1.541cm、1.906cm) で実施された。

Table 3.1.1.5 に臨界実験データを示す。本実験では 4 ケースが実施されている。

Table 3.1.1.6 に MOX 燃料および UO_2 インシュレータの諸元を示す。

Table 3.1.1.7 に計算に用いた物質の原子個数密度を示す。

Table 3.1.1.8 に補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度を示す。

Pu-241 の放射性壊変 (β 崩壊) により、Pu-241 および Am-241 の原子個数密度は、時間の経過とともに Pu-241 は減じ、Am-241 は増加する。このため、分析時期と実験時期との期間を考慮して、Pu-241、Am-241 の原子個数密度を補正する (付録-3 を参照)。

Fig. 3.1.1.9 に燃料要素 (FFTF Type3.2) の計算モデル図を示す。

Fig. 3.1.1.10 に実験体系のモデル図 (X-Z 断面図) を示す。

Fig. 3.1.1.11 に燃料要素配列部分から四方のコンクリート反射体までの間隙を示す。

Fig. 3.1.1.12~Fig. 3.1.1.15 に実験体系毎の燃料要素配列を示す。

計算モデルでは、燃料要素を支持するグリッド板 (ポリプロピレン製 1.37cm 厚)、減速材として水、反射体として燃料要素配列を囲むコンクリート (40.6cm 厚) を配置する。実験体系の下部には、減速材タンクの底面板 (炭素鋼製 0.952cm 厚) および床構造材 (コンクリート製) を配置する。

減速材タンク内には、減速材 (水) が燃料要素下端から 129.5cm の高さまで充填されている。減速材タンクの寸法条件の記載が無いため、水平方向 4 面 ($\pm X$ 、 $\pm Y$ 方向) については、反射体厚さ 40.6cm までの範囲でモデル化する。

モデル上部は燃料要素上端までを考慮しており、減速材 (水) の水位より上の領域は、空気雰囲気とする。

計算モデルの外側境界条件は真空として設定する。

本実験が記載された文献 [PNL-3313³⁾ SECTION III]、[Nuclear Technology Vol.49⁹⁾] においては、温度条件の記載が無いため、計算に際しては実験装置全体を 20°C に設定する。

Table 3.1.1.5 臨界実験データおよび計算ケース [Nucl.Tech.Vol.49]

計算ケース	実験番号	配列ピッチ (cm)	体積比 (Water-to-Fuel)	臨界本数	燃料要素配列領域 ^{※1}	ピン配列図
pnl 02_01	010	0.953	3.34	554	28×28	Fig. 3.1.1.12 参照
pnl 02_02	007	1.264	6.92	260	18×18	Fig. 3.1.1.13 参照
pnl 02_03	012	1.541	10.99	191	18×18	Fig. 3.1.1.14 参照
pnl 02_04	011	1.906	17.55	152	14×14	Fig. 3.1.1.15 参照

※1 この配列数は、燃料要素が配列可能な最大本数の領域を示しており、臨界時の配列寸法とは異なる。
 ※2 実験は、September 1978 に実施された。日付の明記がなされていないため、本ベンチマーク計算では以下のとおりに設定する。
 September 1978 →1978/09/01

Table 3.1.1.6 MOX 燃料および UO₂ インシュレータの諸元 [Nucl.Tech.Vol.49]

燃料要素タイプ		Type3.2		
		文献記載	採用値	
MOX 燃料 スタック	密度 (g/cm ³)	9.830±0.320	9.830	
	Pu/MOX (wt%)	19.84	19.8366	
	PuO ₂ 富化度 (wt%)	—	22.484	
	分析時期 ^{※1}	during April and May of 1972	1972/05/01	
	組成 (wt%)	Pu-238	0.0297 (MAX)	0.0297
		Pu-239	16.9683±0.0964	16.9683
		Pu-240	2.2733 (BAL)	2.2733
		Pu-241 ^{※2}	0.4959±0.0028	0.470112
		Pu-242	0.0694 (MAX)	0.0694
		Am-241 ^{※2}	Pu 総量の 0.13wt%	0.025788
U-235		0.4853	0.4853	
U-238		67.8638	67.8638	
UO ₂ インシュレータ	密度 (g/cm ³)	10.42±0.22	10.42	
	組成 ^{※3} (at%)	U-234	天然ウラン	0.0054
		U-235		0.7204
		U-238		99.2742
		O/M 比		—

※1 文献 [PNL-3313³⁾ Figure 3]、[Nuclear Technology Vol.49⁵⁾ p.41 Fig.1] に記載された分析時期。
 本ベンチマーク計算では、1972/05/01 として設定する。
 ※2 文献 [PNL-3313³⁾ Figure 3]、[Nuclear Technology Vol.49⁵⁾ p.41 Fig.1] には、Pu-241 重量組成比が記載されているが (Type3.2 : 0.4959wt%)、Am-241 重量組成比の記載はない。ただし、図の注釈に、「²⁴¹Am CONTENT OF TOTAL PLUTONIUM WAS MEASURED TO BE 0.13 wt% DURING APRIL AND MAY OF 1972. EXPERIMENTS PERFORMED SEPTEMBER 1978.」とある。
 Pu-241 は、時間経過とともに壊変し、Am-241 へと変化する。文献に記載された Pu-241 重量組成比を Pu-241 の壊変前の値と解釈し、時間とともに Pu-241 が Am-241 と変化、Am-241 の分析時には、総 Pu 量の 0.13wt%にあたる Am-241 が存在すると解釈する。
 分析時期における Am-241 重量組成比は以下のとおりである。
 Type3.2 19.8366wt% (総 Pu 重量比) ×0.13/100=0.025788wt%
 分析時期における Pu-241 重量組成比は、文献記載値より Am-241 重量組成比を差し引いた値である。
 Type3.2 0.4959wt% - 0.025788wt% = 0.470112wt%
 ※3 UO₂ インシュレータについて、U 同位体組成比が記載されていないため、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-1.3 参照)。
 U-234 : U-235 : U-238 = 0.0054 : 0.7204 : 99.2742 at%

Table 3.1.1.7 計算に用いた物質の原子個数密度 [Nucl.Tech.Vol.49]

使用部材	材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
燃料要素	MOX 燃料 ^{※1} (Type-3.2) Pu/(Pu+U) 19.84wt% PuO ₂ 富化度 22.484wt% O/M 比 1.995	9.83	Pu-238	0.0297	238.0495614	7.38573E-06
			Pu-239	16.9683	239.0521648	4.20194E-03
			Pu-240	2.2733	240.0538150	5.60599E-04
			Pu-241 ^{※1}	0.470112	241.0568529	8.49748E-05
			Pu-242	0.0694	242.0587440	1.69724E-05
			Am-241 ^{※1}	0.025788	241.0568306	3.68061E-05
			U-235	0.4853	235.0439282	1.22227E-04
			U-238	67.8638	238.0507870	1.68761E-02
	UO ₂ インシュレータ	10.42	O	11.8143	15.9993744	4.37129E-02
			U-234	0.00468034	234.0409504	1.25489E-06
			U-235	0.627067787	235.0439282	1.67411E-04
			U-238	87.5180773	238.0507870	2.30700E-02
	インコネル 600 ^{※2} (反射体)	8.4	O	11.85017457	15.9993744	4.64772E-02
			C	0.15	12.0106356	6.31765E-04
			Si	0.5	28.0849993	9.00587E-04
			Mn	1.0	54.9380432	9.20782E-04
P			0.03	30.9737620	4.89956E-05	
S			0.015	32.0654619	2.36638E-05	
Ni			74.335	58.6933505	6.40670E-02	
Cr			15.5	51.9961306	1.50796E-02	
SUS316 ^{※3} (端栓/被覆管)	8.03	Fe	8.0	55.8451437	7.24661E-03	
		Cu	0.5	63.5460395	3.98026E-04	
		C	0.08	12.0106356	3.22100E-04	
		Si	1.0	28.0849993	1.72184E-03	
		P	0.045	30.9737620	7.02563E-05	
		Cr	17.0	51.9961306	1.58105E-02	
		Mn	2.0	54.9380432	1.76045E-03	
		Fe	65.375	55.8451437	5.66099E-02	
スペーサ板	ポリプロピレン ^{※4}	0.904	H	14.37230067	1.0079709	7.76243E-02
			C	85.62769933	12.0106356	3.88121E-02
タンク底板	炭素鋼 ^{※3}	7.8212	Fe	99.0	55.8451437	8.34976E-02
			C	1.0	12.0106356	3.92155E-03
反射体 床材	コンクリート ^{※5}	2.452	Al	2.32	26.9815384	1.26968E-03
			Ca	7.27	40.0780225	2.67855E-03
			Fe	0.28	55.8451437	7.40362E-05
			Si	34.68	28.0849993	1.82338E-02
			Mg	1.45	24.3057012	8.80909E-04
			K	0.75	39.0983009	2.83253E-04
			Na	0.17	22.9897693	1.09191E-04
			O	52.26	15.9993744	4.82323E-02
減速材	空気 ^{※6}	0.0000173	H	11.19015537	1.0079709	1.15661E-06
			O	88.80984463	15.9993744	5.78305E-07
	水 ^{※7}	0.9982	H	11.19015537	1.0079709	6.67354E-02
			O	88.80984463	15.9993744	3.33677E-02

※1 分析時期と実験時期が異なることから、その期間の壊変を考慮し、Pu-241、Am-241 について補正を行う (Table 3.1.1.8、付録-3 を参照)。

※2 インコネル 600 については、JIS G 4901 NFC600 の組成を引用する (付録-2.2.1 を参照)。

※3 SUS316、炭素鋼については、SCALE 6.2.3 コードシステムに内蔵された標準物質 SS316、CARBON STEEL の組成、密度を引用する (付録-2.2.7、付録-2.3.1、付録-2.3.6 を参照)。

※4 ポリプロピレンの密度については、文献 [Nuclear Technology Vol.49⁵⁾] に記載された値を引用する (付録-2.2.10 を参照)。

※5 コンクリートについては、文献 [PNL-3313³⁾ TABLE IV] に記載された組成を引用する (付録-2.2.14 を参照)。

※6 空気中の主成分 (N₂、O₂ 等々) については考慮せず、中性子への影響が大きい空気中の水分について考慮する。空気中の水分は、飽和水蒸気量 (20°C) に相当する 0.0000173g/cm³ とする (付録-2.2.17 を参照)。

※7 水の密度については、水温 20°C の時の密度 (理科年表 2022 年度版²⁶⁾) とする (付録-2.2.16 を参照)。

Table 3.1.1.8 補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [Nucl.Tech.Vol.49]

元素名	分析時期※1	実験時期※2	考慮期間 (日)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	
				初期値 (分析時)	補正值 (実験時)
Pu-241	1972/05/01	1978/09/01	2314	1.15448E-04	8.49748E-05
Am-241				6.33280E-06	3.68061E-05

※1 分析時期 1972/05/01 (during April and May of 1972)

文献 [Nuclear Technology Vol.49⁵⁾ p.41 Fig.1] より引用

※2 実験時期 1978/09/01 (September 1978)

文献 [Nuclear Technology Vol.49⁵⁾ p.41 Fig.1] より引用

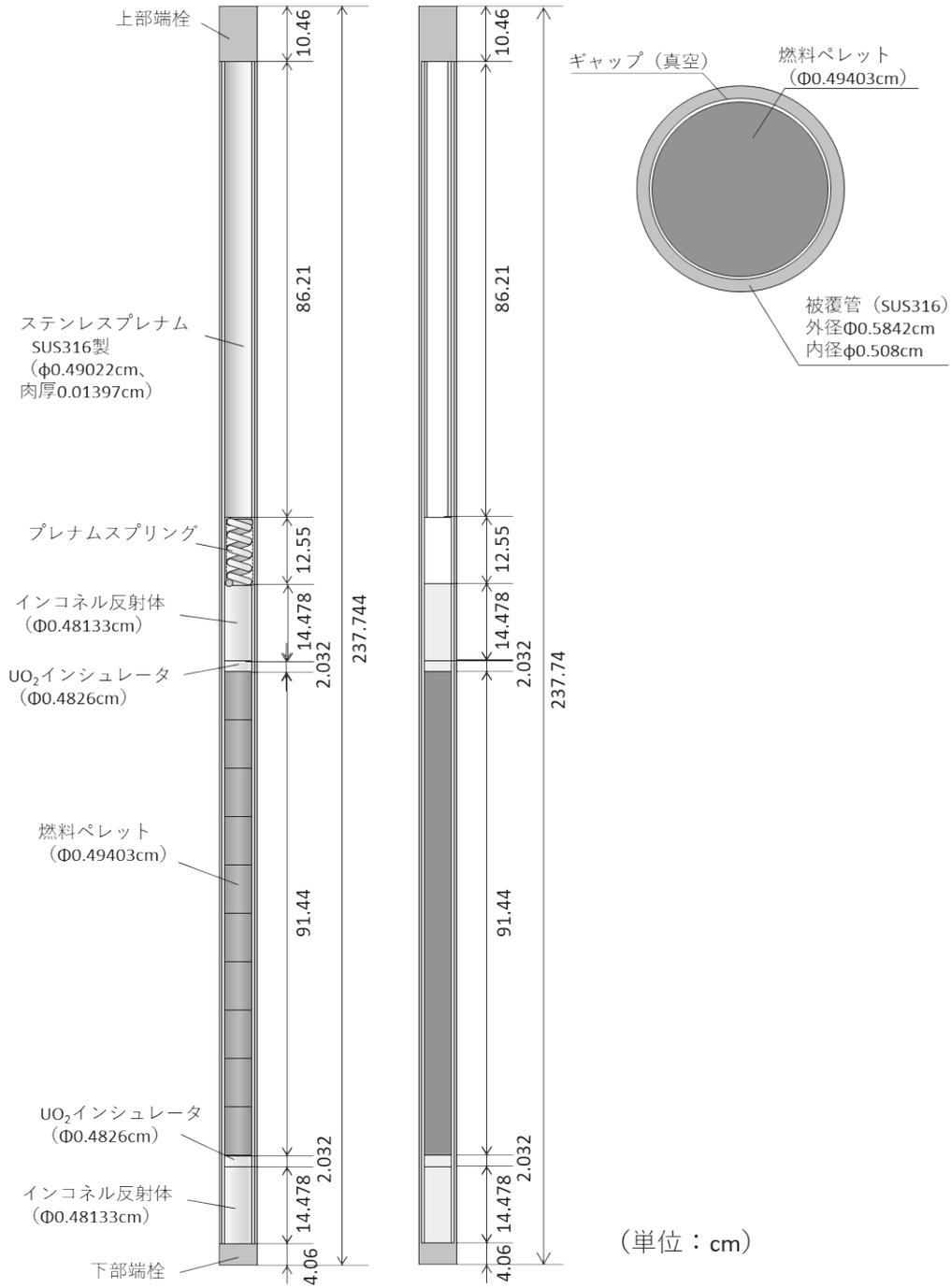


Fig. 3.1.1.9 燃料要素 FFTF Type 3.2 の計算モデル図 [Nucl.Tech.Vol.49]

- ※ 文献 [Nuclear Technology Vol.49⁵⁾ p.41 Fig.1] を基に作成した。
- ※ 燃料ペレットと被覆管のギャップは、真空としてモデル化する。
- ※ プレナムスプリングの領域については、真空としてモデル化する。
- ※ 燃料要素全長については、237.744cmの記述があるが、計算モデルにおいては、燃料要素を構成する各寸法の合計値 237.74cmとする。各部寸法条件は、公差範囲中央値を採用する。

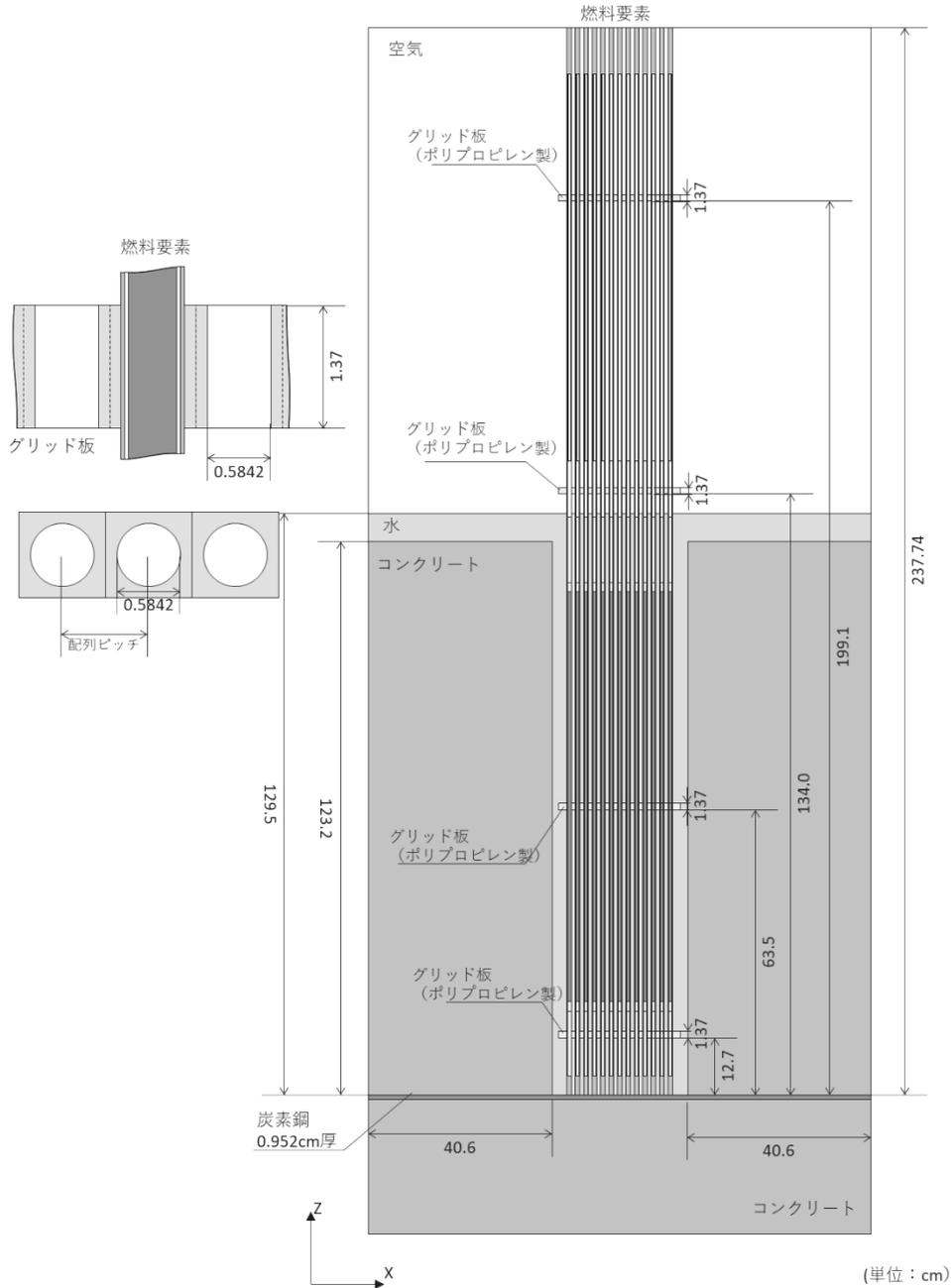
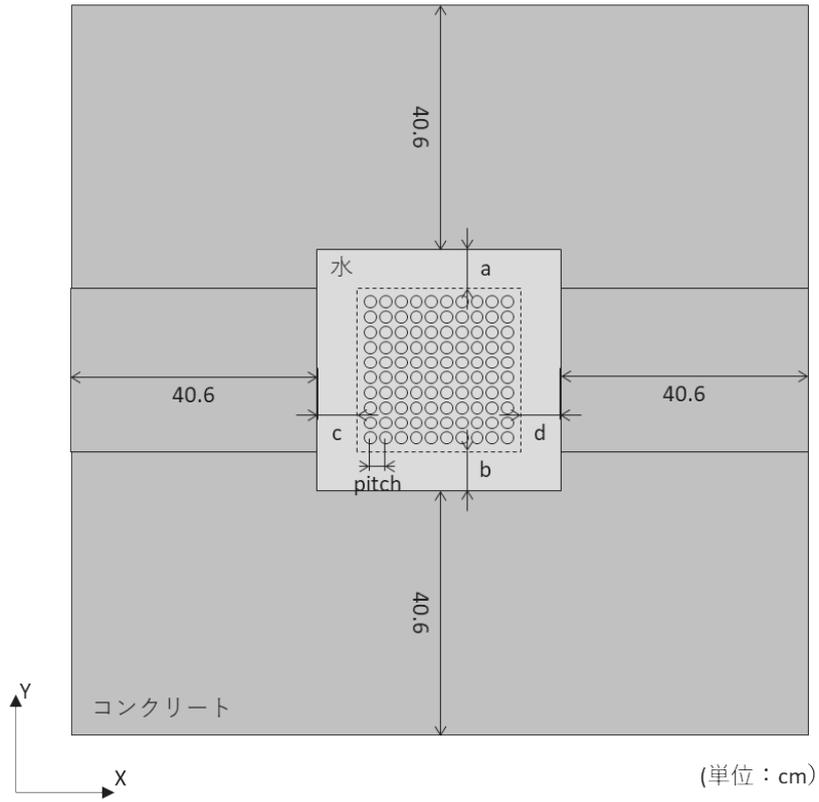


Fig. 3.1.1.10 臨界実験体系の計算モデル図 (X-Z 断面図) [Nucl.Tech.Vol.49]

- ※ グリッド板の孔の直径については、文献 [PNL-3133³⁾]、[Nuclear Technology Vol.49⁵⁾] に記述が無いため、燃料要素外径 (0.5842cm) と同値とする。
- ※ グリッド板の幅、奥行き寸法については、文献 [PNL-3313³⁾]、[Nuclear Technology Vol.49⁵⁾] に記述が無いため、燃料要素配列ピッチと燃料要素配列数より、幅と奥行き寸法を決定する。



計算ケース	実験番号	配列ピッチ (cm)	臨界本数	燃料要素配列	間隙寸法 (cm)				燃料要素配列図
					a	b	c	d	
pnl 02 01	010	0.953	554	28×28	2.022	2.148	2.022	2.033	Fig. 3.1.1.12 参照
pnl 02 02	007	1.264	260	18×18	1.909	1.594	1.867	1.878	Fig. 3.1.1.13 参照
pnl 02 03	012	1.541	191	18×18	3.200	2.206	1.728	1.739	Fig. 3.1.1.14 参照
pnl 02 04	011	1.906	152	14×14	2.349	2.148	1.545	1.556	Fig. 3.1.1.15 参照

Fig. 3.1.1.11 燃料要素配列ピッチとコンクリート反射体の間隙 [Nucl.Tech.Vol.49]

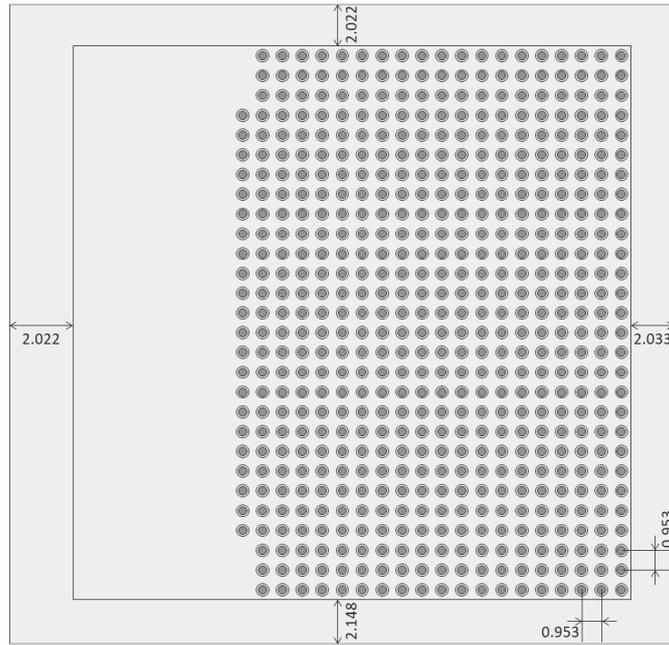


Fig. 3.1.1.12 燃料要素配列図 [pnl_02_01、実験番号 010]

※ 燃料要素支持板（グリッド板）の幅、奥行き寸法については、文献 [PNL-3313³⁾] に記載が無いため、配列ピッチ 0.953cm と燃料要素配列（28×28）より、26.684cm×26.684cm とする。

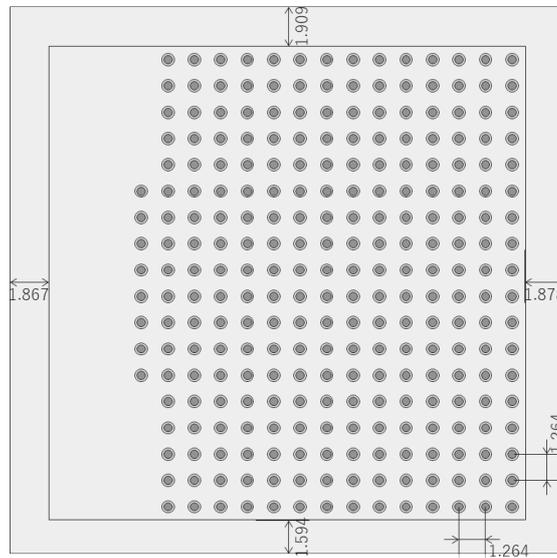


Fig. 3.1.1.13 燃料要素配列図 [pnl_02_02、実験番号 007]

※ 燃料要素支持板（グリッド板）の幅、奥行き寸法については、文献 [PNL-3313³⁾] に記載が無いため、配列ピッチ 1.264cm と燃料要素配列（18×18）より、22.752cm×22.752cm とする。

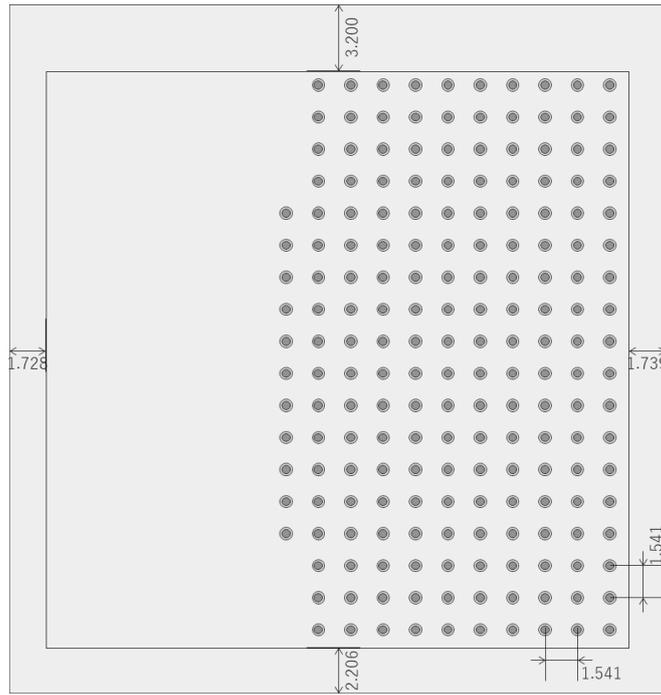


Fig. 3.1.1.14 燃料要素配列図 [pnl_02_03、実験番号 012]

※ 燃料要素支持板（グリッド板）の幅、奥行き寸法については、文献 [PNL-3313³⁾] に記載が無いため、配列ピッチ 1.541cm と燃料要素配列（18×18）より、27.738cm×27.738cm とする。

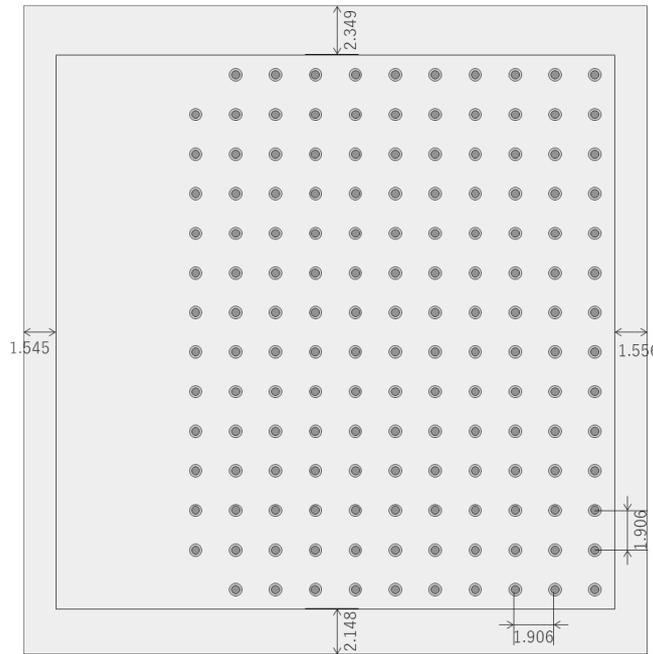


Fig. 3.1.1.15 燃料要素配列図 [pnl_02_04、実験番号 011]

※ 燃料要素支持板（グリッド板）の幅、奥行き寸法については、文献 [PNL-3313³⁾] に記載が無いため、配列ピッチ 1.906cm と燃料要素配列（14×14）より、26.684cm×26.684cm とする。

(3) 実験ケース 3 (PNL-3313 SECTION IV : Nuclear Technology Vol.48)

この実験では、Fast Flux Test Facility (FFTF) の燃料要素 Type 3.2 を用いた臨界実験が行われている。燃料要素 Type 3.2 は、Pu 含有量 (Pu/MOX) 19.84wt%となっている。

実験には、減速材および反射体に水が用いられている。燃料要素の配列は、縦方向に最大 25 本の燃料要素を配列し、横方向に燃料要素を増やしながら臨界実験が行われている。燃料要素の配列は正方格子配列で、それぞれの配列ピッチ (0.968、1.242、1.537、1.935、2.487cm) で実施されている。

それぞれの配列ピッチ毎に実施された実験において、中性子吸収材を用いた実験 7 種と用いていない実験 1 種の計 8 種を実施しており、5 種類の配列ピッチ毎、全体で計 40 ケースの実験が実施されている。

中性子吸収材には、板状カドミウム (Cd 板)、板状ボラル (ボラル板)、ピン状のガドリニウムピン (Gd ピン) がそれぞれ用いられており、燃料要素の端部や中央部に配置されて実験が行われている。

文献に記載された配列本数 (横方向) は、最終配列本数が平均化された本数が示されていることから、実本数を算出し、計算モデルを構築する。

Table 3.1.1.9 に臨界実験データを示す。

Table 3.1.1.10 に MOX 燃料および UO_2 インシュレータ、ガドリニウムの諸元を示す。

Table 3.1.1.11 に計算に用いた物質の原子個数密度を示す。

Table 3.1.1.12 に補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度を示す。

Pu-241 の放射性壊変 (β 崩壊) により、Pu-241 および Am-241 の原子個数密度は、時間の経過とともに Pu-241 は減じ、Am-241 は増加する。このため、分析時期と実験時期との期間を考慮して、Pu-241、Am-241 の原子個数密度を補正する (付録-3 を参照)。

Fig. 3.1.1.16 に燃料要素 (FFTF Type3.2) の計算モデル図を示す。

Fig. 3.1.1.17 に中性子吸収材 (Gd ピン) の計算モデル図を示す。

Fig. 3.1.1.18 に中性子吸収材 (カドミウム板) の計算モデルを示す。

Fig. 3.1.1.19 に中性子吸収材 (ボラル板) の計算モデル図を示す。

Fig. 3.1.1.20 に臨界実験体系の計算モデル図 (X-Z 断面図) を示す。

Fig. 3.1.1.21 に臨界実験体系の計算モデル図 (Y-Z 断面図) を示す。

Fig. 3.1.1.22 に中性子吸収材を用いない実験体系での燃料要素配列図を示す。

Fig. 3.1.1.23 にカドミウム板 (端部) を用いた実験体系の燃料要素配列図を示す。

Fig. 3.1.1.24 にボラル板 (端部) を用いた実験体系の燃料要素配列図を示す。

Fig. 3.1.1.25 に Gd ピン (端部) を用いた実験体系の燃料要素配列図を示す。

Fig. 3.1.1.26 にカドミウム板 (中央部) を用いた実験体系の燃料要素配列図を示す。

Fig. 3.1.1.27 にボラル板（中央部）を用いた実験体系の燃料要素配列図を示す。

Fig. 3.1.1.28 に Gd ピン（中央部）を用いた実験体系の燃料要素配列図を示す。

Fig. 3.1.1.29 に Gd ピン（分散配置）を用いた実験体系の燃料要素配列図を示す。

計算モデルでは、燃料要素を支持する支持板（ポリプロピレン製グリッド板 厚さ 1.31cm もしくは、1.33cm）および燃料要素配列の基部に位置するプレキシガラスベース板（厚さ 2.54cm もしくは 1.9cm）、それを支えるアルミニウム製チャンネル（高さ 15.3cm×幅 5.08cm、構造材厚さ 0.635cm）を配置する。

モデル下部には、反射体タンクの底面板（炭素鋼製 0.952cm 厚）と床構造材（コンクリート）を配置する。

反射体タンクには、反射体および減速材として水が燃料要素下端（プレキシガラスベース板上面）より 128.5cm の高さまで充填されている。また、モデルの水平方向においては、文献に反射体タンクの寸法条件の記載が無く、水平方向の反射体（水）の厚さ 15cm が維持されるとの記述があることから、プレキシガラスベース板寸法（幅 58.4cm×奥行 35.2cm もしくは、幅 60.8cm×奥行 59.7cm）より、15cm 以内の範囲でモデル化する。

モデル上部は、燃料要素の上端までを考慮しており、反射体（水）の水位より上の領域は、空気雰囲気とする。

計算モデルの外側境界条件は真空として設定する。

本実験が記載された文献 [PNL-3313³⁾ SECTION IV]、[Nuclear Technology Vol.48⁶⁾] においては、温度条件の記載が無いので、計算に際し、実験装置全体を 20°C に設定する。

Table 3.1.1.9 臨界実験データおよび計算ケース [Nucl.Tech.Vol.48]

計算ケース	実験番号	配列ピッチ (cm)	中性子吸収材	配列本数 (縦方向)	配列本数 (横方向)	臨界本数	燃料要素配列図
pnl 03 01	021	0.968	なし	25	22.88	571.9	Fig. 3.1.1.22 参照
pnl 03 02	022		Cd板 (端部)	24	27.12	650.8	Fig. 3.1.1.23 参照
pnl 03 03	023		Boral板 (端部)	24	27.77	666.6	Fig. 3.1.1.24 参照
pnl 03 04	026		Gdピン (端部)	24	27.08	648.0	Fig. 3.1.1.25 参照
pnl 03 05	024		Cd板 (中央)	24	29.80	715.2	Fig. 3.1.1.26 参照
pnl 03 06	025		Boral板 (中央)	24	37.32	895.7	Fig. 3.1.1.27 参照
pnl 03 07	027		Gdピン (中央)	24	31.93	766.4	Fig. 3.1.1.28 参照
pnl 03 08	028		Gdピン (分散)	25	29.82	715.5	Fig. 3.1.1.29 参照
pnl 03 09	043	1.242	なし	20	14.70	293.9	Fig. 3.1.1.22 参照
pnl 03 10	045		Cd板 (端部)	19	16.49	313.3	Fig. 3.1.1.23 参照
pnl 03 11	046		Boral板 (端部)	19	16.91	321.2	Fig. 3.1.1.24 参照
pnl 03 12	044		Gdピン (端部)	19	16.45	312.6	Fig. 3.1.1.25 参照
pnl 03 13	048		Cd板 (中央)	18	21.87	393.6	Fig. 3.1.1.26 参照
pnl 03 14	049		Boral板 (中央)	18	27.01	486.1	Fig. 3.1.1.27 参照
pnl 03 15	047		Gdピン (中央)	18	21.89	394.0	Fig. 3.1.1.28 参照
pnl 03 16	050		Gdピン (分散)	20	17.51	338.3	Fig. 3.1.1.29 参照
pnl 03 17	013	1.537	なし	15	13.11	196.7	Fig. 3.1.1.22 参照
pnl 03 18	014		Cd板 (端部)	14	15.26	213.6	Fig. 3.1.1.23 参照
pnl 03 19	015		Boral板 (端部)	14	15.77	220.8	Fig. 3.1.1.24 参照
pnl 03 20	041		Gdピン (端部)	14	15.22	213.1	Fig. 3.1.1.25 参照
pnl 03 21	016		Cd板 (中央)	14	21.94	307.2	Fig. 3.1.1.26 参照
pnl 03 22	020		Boral板 (中央)	14	28.29	396.1	Fig. 3.1.1.27 参照
pnl 03 23	042		Gdピン (中央)	14	20.91	292.7	Fig. 3.1.1.28 参照
pnl 03 24	040		Gdピン (分散)	15	15.94	230.1	Fig. 3.1.1.29 参照
pnl 03 25	032	1.935	なし	15	11.01	165.1	Fig. 3.1.1.22 参照
pnl 03 26	034		Cd板 (端部)	14	12.15	170.1	Fig. 3.1.1.23 参照
pnl 03 27	035		Boral板 (端部)	14	12.30	172.2	Fig. 3.1.1.24 参照
pnl 03 28	033		Gdピン (端部)	14	12.07	169.1	Fig. 3.1.1.25 参照
pnl 03 29	039		Cd板 (中央)	14	19.07	267.0	Fig. 3.1.1.26 参照
pnl 03 30	038		Boral板 (中央)	14	23.00	322.0	Fig. 3.1.1.27 参照
pnl 03 31	037		Gdピン (中央)	14	17.34	242.8	Fig. 3.1.1.28 参照
pnl 03 32	036		Gdピン (分散)	15	12.87	187.0	Fig. 3.1.1.29 参照
pnl 03 33	051	2.487	なし	20	10.40	208.0	Fig. 3.1.1.22 参照
pnl 03 34	054		Cd板 (端部)	18	11.10	199.8	Fig. 3.1.1.23 参照
pnl 03 35	055		Boral板 (端部)	18	11.17	201.0	Fig. 3.1.1.24 参照
pnl 03 36	053		Gdピン (端部)	18	11.06	199.2	Fig. 3.1.1.25 参照
pnl 03 37	057		Cd板 (中央)	18	17.31	311.5	Fig. 3.1.1.26 参照
pnl 03 38	058		Boral板 (中央)	18	18.89	340.0	Fig. 3.1.1.27 参照
pnl 03 39	056		Gdピン (中央)	18	15.81	284.6	Fig. 3.1.1.28 参照
pnl 03 40	052		Gdピン (分散)	20	12.54	242.8	Fig. 3.1.1.29 参照

Table 3.1.1.10 MOX 燃料、UO₂インシュレータ、ガドリニウムの諸元 [Nucl.Tech.Vol.48]

燃料要素タイプ		Type3.2		ガドリニウムピン ^{※4}		
		文献記載	採用値	文献記載	採用値	
MOX 燃料 スタック	密度 (g/cm ³)	9.830±0.320	9.830	—	—	
	Pu/MOX (wt%)	19.84	19.8366	—	—	
	PuO ₂ 富化度 (wt%)		22.484	—	—	
	分析時期 ^{※1}	during April and May of 1972	1972/05/01	—	—	
	組成 (wt%)	Pu-238	0.0297 (MAX)	0.0297	—	—
		Pu-239	16.9683±0.0964	16.9683	—	—
		Pu-240	2.2733 (BAL)	2.2733	—	—
		Pu-241 ^{※2}	0.4959±0.0028	0.470112	—	—
		Pu-242	0.0694 (MAX)	0.0694	—	—
		Am-241 ^{※2}	Pu 総量の 0.13wt%	0.025788	—	—
U-235		0.4853	0.4853	—	—	
U-238		67.8638	67.8638	—	—	
O	11.8143	11.8143	—	—		
UO ₂ インシュレータ	密度 (g/cm ³)	10.42±0.22	10.42	—	—	
	組成 ^{※3} (at%)	U-234	天然ウラン	0.0054	—	—
		U-235		0.7204	—	—
		U-238		99.2742	—	—
O/M 比		—		2.0	—	—
ガドリニウム	密度 (g/cm ³)	—	—	7.928±0.058	7.928	
	組成 ^{※4} (wt%)	Gd	—	99.985	99.99	
		Yb	—	—	<0.005	—
		Ca	—	—	0.005	0.005
		Ni	—	—	0.005	0.005

※1 文献 [PNL-3313³ Figure 3]、[Nuclear Technology Vol.48⁶ p.129 Fig.1] に記載された分析時期。
本ベンチマーク計算では、1972/05/01 として設定する。

※2 文献 [PNL-3313³ Figure 3]、[Nuclear Technology Vol.48⁶ p.129 Fig.1] には、Pu-241 重量組成比が記載されているが (Type3.2 : 0.4959wt%)、Am-241 重量組成比の記載はない。ただし、図の注釈に、「²⁴¹Am CONTENT OF TOTAL PLUTONIUM WAS MEASURED TO BE 0.13 wt% DURING APRIL AND MAY OF 1972. EXPERIMENTS PERFORMED NOVEMBER, DECEMBER 1978 AND JANUARY 1979.」とある。

Pu-241 は、時間経過とともに壊変し、Am-241 へと変化する。文献に記載された Pu-241 重量組成比を Pu-241 の壊変前の値と解釈し、時間とともに Pu-241 が Am-241 と変化、Am-241 の分析時には、総 Pu 量の 0.13wt%にあたる Am-241 が存在すると解釈する。

分析時期における Am-241 重量組成比は以下のとおりである。

$$\text{Type3.2} \quad 19.8366\text{wt}\% (\text{総 Pu 重量比}) \times 0.13/100 = 0.025788\text{wt}\%$$

分析時期における Pu-241 重量組成比は、文献記載値より Am-241 重量組成比を差し引いた値である。

$$\text{Type3.2} \quad 0.4959\text{wt}\% - 0.025788\text{wt}\% = 0.470112\text{wt}\%$$

※3 UO₂インシュレータについて、U 同位体組成比が記載されていないため、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する。(付録-1.3 を参照)。

$$\text{U-234} : \text{U-235} : \text{U-238} = 0.0054 : 0.7204 : 99.2742 \text{ at}\%$$

※4 文献 [PNL-3313³ Figure. 20]、[Nuclear Technology Vol.48⁶ Fig.4] より引用する。

Yb については、断面積ライブラリ v7-252n に断面積データが収蔵されていないため、本ベンチマーク計算においては、考慮しない。このため、Gd の組成比については 99.985wt%ではなく 99.99wt%とする。

Table 3.1.1.11 物質の原子個数密度 [Nucl.Tech.Vol.48] [1/3]

使用部材	材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
燃料要素	MOX 燃料 ^{※1} (Type-3.2) Pu/(Pu+U) 19.84wt% PuO ₂ 富化度 22.484 O/M 比 1.995	9.83	Pu-238	0.0297	238.0495614	7.38573E-06
			Pu-239	16.9683	239.0521648	4.20194E-03
			Pu-240	2.2733	240.0538150	5.60599E-04
			Pu-241	0.470112	241.0568529	8.39568E-05
			Pu-242	0.0694	242.0587440	1.69724E-05
			Am-241	0.025788	241.0568306	3.78240E-05
			U-235	0.4853	235.0439282	1.22227E-04
			U-238	67.8638	238.0507870	1.68761E-02
	O	11.8143	15.9993744	4.37129E-02		
	UO ₂ インシュレータ	10.42	U-234	0.00468034	234.0409504	1.25489E-06
			U-235	0.627067787	235.0439282	1.67411E-04
			U-238	87.5180773	238.0507870	2.30700E-02
			O	11.85017457	15.9993744	4.64772E-02
	インコネル 600 ^{※2}	8.4	C	0.15	12.0106356	6.31765E-04
			Si	0.5	28.0849993	9.00587E-04
			Mn	1.0	54.9380432	9.20782E-04
P			0.03	30.9737620	4.89956E-05	
S			0.015	32.0654619	2.36638E-05	
Ni			74.335	58.6933505	6.40670E-02	
Cr			15.5	51.9961306	1.50796E-02	
Fe			8.0	55.8451437	7.24661E-03	
Cu	0.5	63.5460395	3.98026E-04			
SUS316 ^{※3} (端栓/被覆管)	8.03	C	0.08	12.0106356	3.22100E-04	
		Si	1.0	28.0849993	1.72184E-03	
		P	0.045	30.9737620	7.02563E-05	
		Cr	17.0	51.9961306	1.58105E-02	
		Mn	2.0	54.9380432	1.76045E-03	
		Fe	65.375	55.8451437	5.66099E-02	
		Ni	12.0	58.6933505	9.88687E-03	
		Mo	2.5	95.9487771	1.25999E-03	
Gd ピン	ガドリニウム ^{※4}	7.928	Gd	99.99	157.2521299	3.03581E-02
			Yb	—	—	—
			Ca	0.005	40.0780225	5.95632E-06
			Ni	0.005	58.6933505	4.06720E-06
	SUS304L ^{※5} (端栓)	7.93	C	0.03	12.0106356	1.19283E-04
			Si	1.0	28.0849993	1.70039E-03
			Mn	2.0	54.9380432	1.73852E-03
			P	0.045	30.9737620	6.93813E-05
			S	0.03	32.0654619	4.46795E-05
			Ni	11.0	58.6933505	8.95010E-03
	SUS316 ^{※3} (被覆管)	8.03	Cr	19.0	51.9961306	1.74505E-02
			Fe	66.895	55.8451437	5.72048E-02
C			0.08	12.0106356	3.22100E-04	
Si			1.0	28.0849993	1.72184E-03	
P			0.045	30.9737620	7.02563E-05	
Cr			17.0	51.9961306	1.58105E-02	
Mn	2.0	54.9380432	1.76045E-03			
Fe	65.375	55.8451437	5.66099E-02			
Ni	12.0	58.6933505	9.88687E-03			
Mo	2.5	95.9487771	1.25999E-03			

※1 分析時期と実験時期が異なることから、その期間の壊変を考慮して Pu-241、Am-241 の量について補正を行う (Table 3.1.1.12、付録-3 を参照)。

※2 インコネル 600 については、JIS G 4901 NFC600 の組成を引用する (付録-2.2.1 を参照)。

※3 SUS316 については、SCALE 6.2.3 コードシステムに内蔵された標準物質 SS316 の組成を引用する (付録-2.2.7、付録-2.3.1 を参照)。

※4 ガドリニウムの組成については、文献 [PNL-3313³⁾ Figure. 20]、[Nuclear Technology Vol.48⁶⁾ Fig.4] に記載された組成、密度を引用する。Yb については、断面積ライブラリ v7-252n に断面積データが収蔵されていないため考慮しない。このため、Gd の組成比については 99.985wt% ではなく 99.99wt% とする。

※5 SUS304L については、JIS G 4303 の組成を引用する (付録-2.2.8 を参照)。

Table 3.1.1.11 物質の原子個数密度 [Nucl.Tech.Vol.48] [2/3]

使用部材	材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)			
カドミウム板	カドミウム ^{※6}	8.65	Cd	99.903	112.4138186	4.62941E-02			
			Gd	0.001	157.2521299	3.31261E-07			
			Pb	0.035	207.2169075	8.79852E-06			
			Sb	0.004	121.7597829	1.71129E-06			
			Sn	0.055	118.7101127	2.41347E-05			
			Cu	0.002	63.5460395	1.63949E-06			
	SUS304L ^{※5} (被覆材)	7.93	C	0.03	12.0106356	1.19283E-04			
			Si	1.0	28.0849993	1.70039E-03			
			Mn	2.0	54.9380432	1.73852E-03			
			P	0.045	30.9737620	6.93813E-05			
			S	0.03	32.0654619	4.46795E-05			
			Ni	11.0	58.6933505	8.95010E-03			
			Cr	19.0	51.9961306	1.74505E-02			
			Fe	66.895	55.8451437	5.72048E-02			
ボラル板	ボラル ^{※7} (B ₄ C)	2.49	Al	64.35	26.9815384	3.57628E-02			
			Fe	1.02543875	55.8451437	2.75343E-04			
			B-10	4.457825635	10.0129369	6.67593E-03			
			B-11	20.04217437	11.0093052	2.72983E-02			
			C	9.8	12.0106356	1.22352E-02			
			Zr	0.3193125	91.2236428	5.24878E-05			
			Sn	0.0047125	118.7101127	5.95270E-07			
			Cr	0.000325	51.9961306	9.37265E-08			
			Ni	0.00017875	58.6933505	4.56675E-08			
	Hf	0.0000325	178.4849814	2.73044E-09					
	Al-1100 ^{※8} (被覆材)	2.71	Si	0.475	28.0849993	2.76019E-04			
			Fe	0.475	55.8451437	1.38812E-04			
			Cu	0.125	63.5460395	3.21027E-05			
			Mn	0.05	54.9380432	1.48531E-05			
			Zn	0.1	65.3777823	2.49626E-05			
			Al	98.775	26.9815384	5.97449E-02			
			グリッド板	ポリプロピレン ^{※9}	0.903	H	14.37230067	1.0079709	7.75384E-02
						C	85.62769933	12.0106356	3.87692E-02
タンク底板			炭素鋼 ^{※10}	7.8212	Fe	99.0	55.8451437	8.34976E-02	
	C	1.0			12.0106356	3.92155E-03			

※5 SUS304Lについては、JIS G 4303の組成を引用する(付録-2.2.8を参照)。

※6 カドミウムの組成および密度は Nuclear Technology Vol.48⁶⁾ Fig.2に記載された値を引用する。

※7 ボラルの組成については、Nuclear Technology Vol.48⁶⁾ Fig.3に記載された組成を引用する。

Al : Fe : B : C : ZIRCALOY = 64.35 : 1.025 : 24.5 : 9.8 : 0.325 (wt%)

ホウ素の同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾より引用する(付録-1.3を参照)。

B-10 : B-11 = 18.1952wt% : 81.8048wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)。

※8 Al-1100については、JIS H 4000 1100の組成を引用する(付録-2.2.2を参照)。SiとFeについては、合算して 0.95 以下となるよう規定されているため、合わせた存在比を 0.475wt%として、それぞれに等分する(0.2375wt%)。

※9 ポリプロピレン(C₃H₆)の密度については、文献[Nuclear Technology Vol.48⁶⁾ p.130]に記載された値を引用する(付録-2.2.10を参照)。

※10 炭素鋼については、SCALE 6.2.3 コードシステムに内蔵された標準物質 CARBON STEELの組成を引用する(付録-2.3.6を参照)。

Table 3.1.1.11 物質の原子個数密度 [Nucl.Tech.Vol.48] [3/3]

使用部材	材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
床構造材	コンクリート ^{※11}	2.452	Al	2.32	26.9815384	1.26968E-03
			Ca	7.27	40.0780225	2.67855E-03
			Fe	0.28	55.8451437	7.40362E-05
			Si	34.68	28.0849993	1.82338E-02
			Mg	1.45	24.3057012	8.80909E-04
			K	0.75	39.0983009	2.83253E-04
			Na	0.17	22.9897693	1.09191E-04
			O	52.26	15.9993744	4.82323E-02
プレキシガラス ベース板	アクリル樹脂 ^{※12}	1.19	H	8.054449009	1.0079709	5.72645E-02
			C	59.98378005	12.0106356	3.57903E-02
Al製チャンネル	Al-6061 ^{※13}	2.7	Si	0.6	28.0849993	3.47369E-04
			Fe	0.7	55.8451437	2.03811E-04
			Cu	0.275	63.5460395	7.03654E-05
			Mn	0.15	54.9380432	4.43949E-05
			Mg	1.0	24.3057012	6.68970E-04
			Cr	0.195	51.9961306	6.09787E-05
			Zn	0.25	65.3777823	6.21762E-05
			Ti	0.15	47.8667439	5.09533E-05
減速材 反射体	空気 ^{※14} (20°C)	0.000173	H	11.19015537	1.0079709	1.15661E-06
	O		88.80984463	15.9993744	5.78305E-07	
	水 ^{※15} (20°C)	0.9982	H	11.19015537	1.0079709	6.67354E-02
	O		88.80984463	15.9993744	3.33677E-02	

※11 コンクリートについては、文献 [PNL-3313³] TABLE IV]に記載された組成を引用する (付録-2.2.14を参照)。

※12 アクリル樹脂の密度については、ISO 1183より引用する (付録-2.2.12を参照)。

※13 Al-6061については、JIS H 4000 Al-6061の組成を引用する (付録-2.2.3を参照)。

※14 空気中の主成分 (N₂、O₂等々)については考慮せず、中性子への影響が大きい空気中の水分について考慮する。空気中の水分は、飽和水蒸気量 (20°C)に相当する0.0000173g/cm³とする (付録-2.2.17を参照)。

※15 水の密度については、水温20°Cの時の密度 (理科年表2022年度版²⁶⁾)とする (付録-2.2.16を参照)。

Table 3.1.1.12 補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [Nucl.Tech.Vol.48]

元素名	分析時期 ^{※1}	実験時期 ^{※2}	考慮期間 (日)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	
				初期値 (分析時)	補正值 (実験時)
Pu-241	1972/05/01	1978/12/01	2405	1.15448E-04	8.39568E-05
Am-241				6.33280E-06	3.78240E-05

※1 分析時期：1972/05/01 (during April and May of 1972)

文献 [Nuclear Technology Vol.48⁶] p.129 Fig.1]より引用する。

※2 実験時期：1978/12/01 (NOVEMBER, DECEMBER 1978 AND JANUARY 1979)

文献 [Nuclear Technology Vol.48⁶] p.129 Fig.1]より引用する。

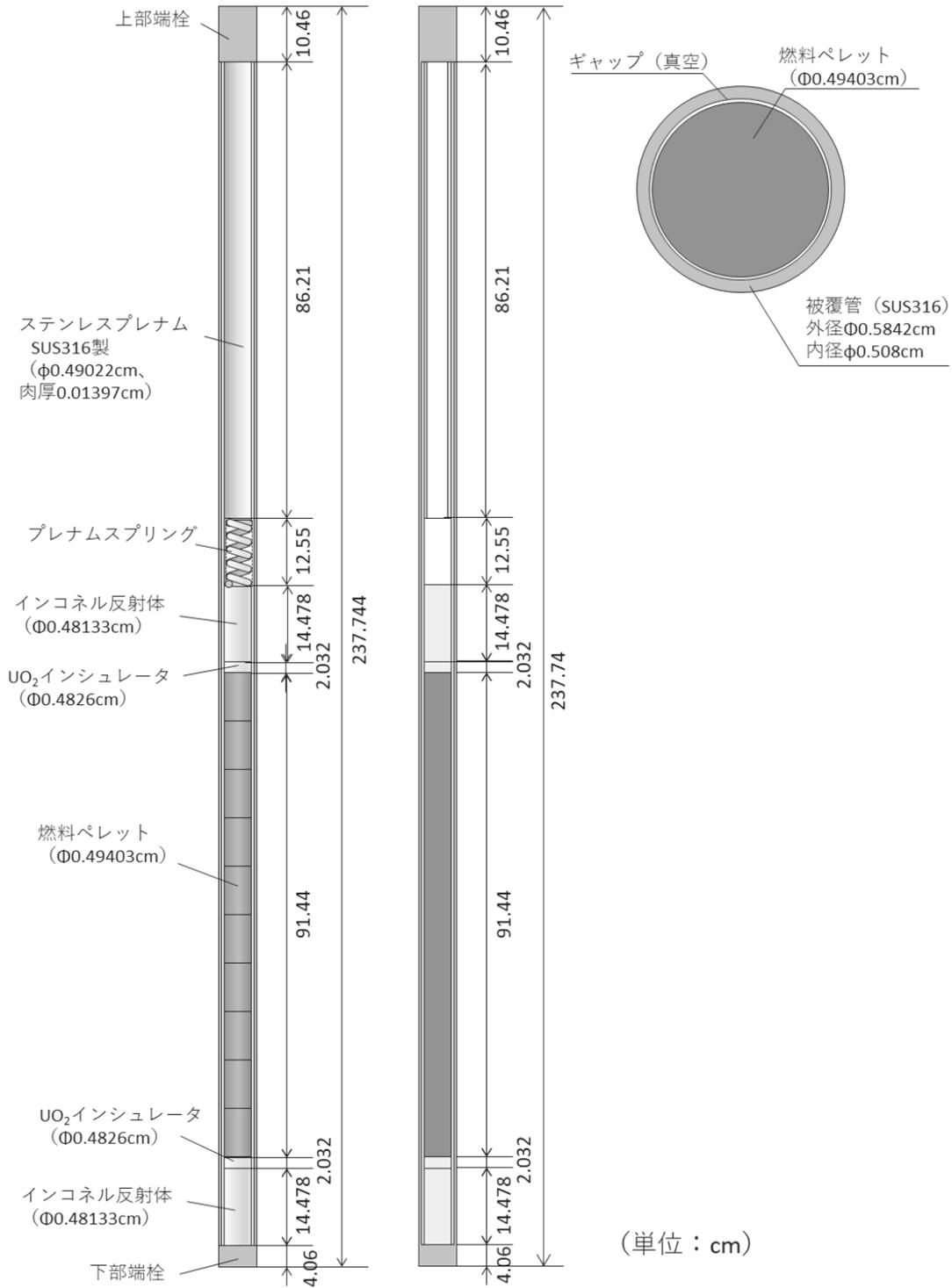


Fig. 3.1.1.16 燃料要素 FFTF Type 3.2 の計算モデル図 [Nucl.Tech.Vol.48]

- ※ 文献 [Nuclear Technology Vol.48⁶⁾ p.129 Fig.1] を基に作成。
- ※ 燃料ペレットと被覆管のギャップは、真空としてモデル化する。
- ※ プレナムスプリングの領域については、真空としてモデル化する。
- ※ 燃料要素全長については、237.744cmの記述があるが、計算モデルにおいては、燃料要素を構成する各寸法の合計値、237.74cmとする。各部寸法条件は、公差範囲中央値を採用する。

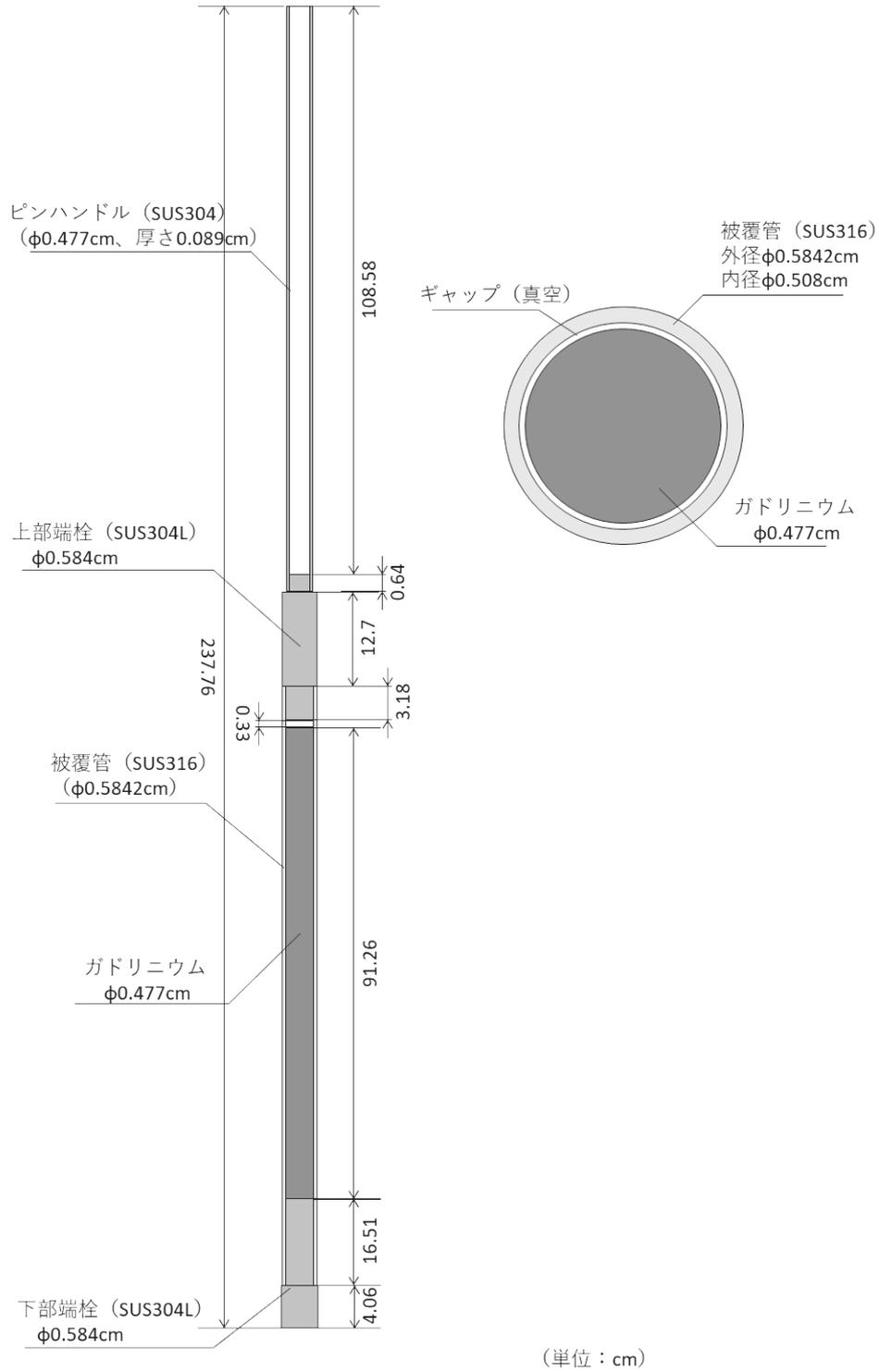


Fig. 3.1.1.17 ガドリニウム (Gd) ピンの計算モデル図 [Nucl.Tech.Vol.48]

- ※ 文献 [Nuclear Technology Vol.48⁶⁾ p.132 Fig.4] より引用する。
- ※ 燃料ペレットと被覆管のギャップは、真空としてモデル化する。
- ※ 各部寸法条件については、公差範囲中央値を採用する。

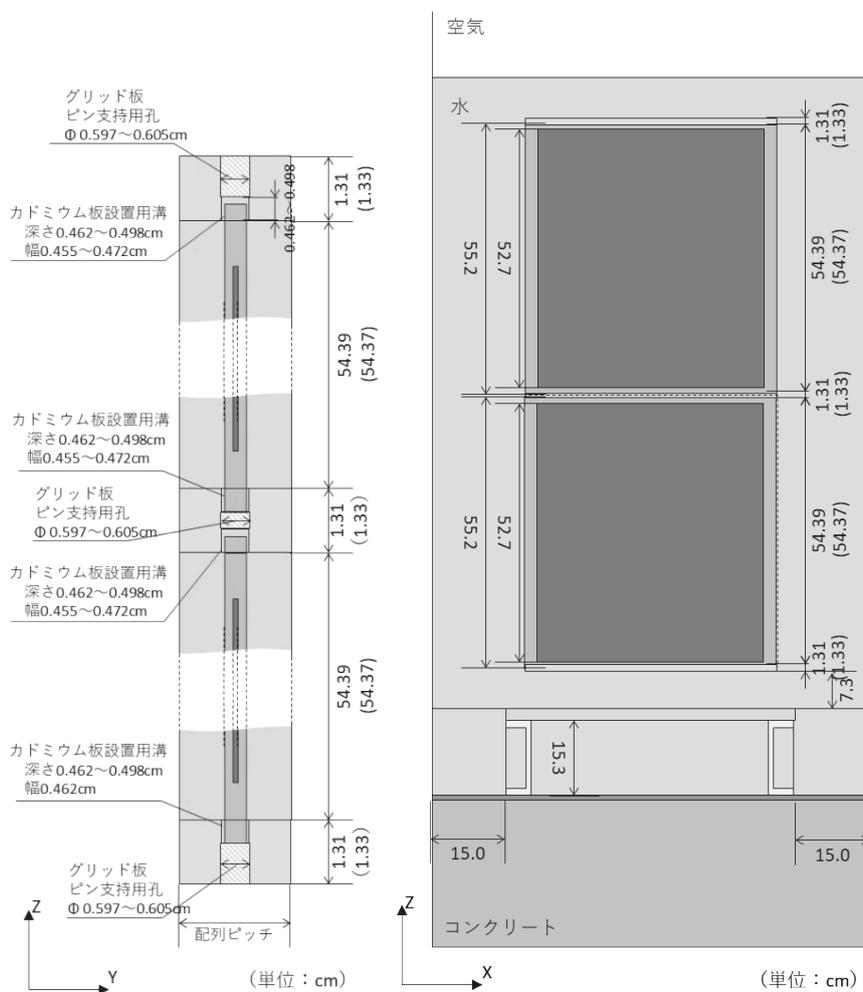
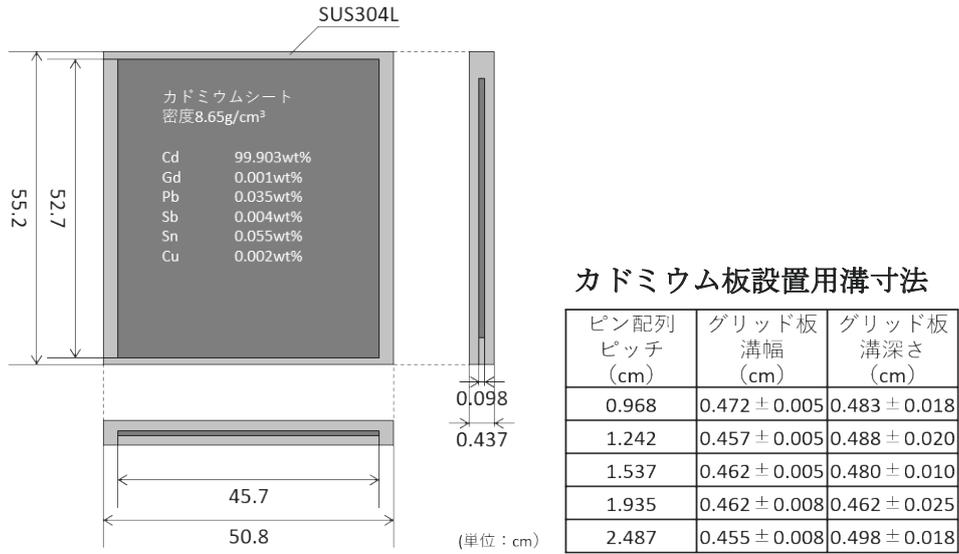
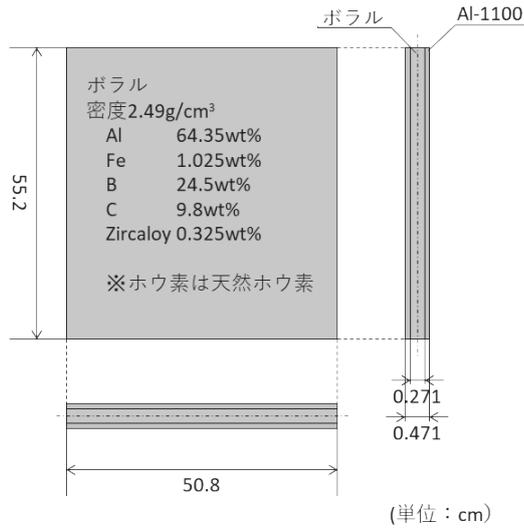


Fig. 3.1.1.18 中性子吸収材 カドミウム板の計算モデル図 [Nucl.Tech.Vol.48]



ボラル板設置用溝寸法

ピン配列 ピッチ (cm)	グリッド板 溝幅 (cm)	グリッド板 溝深さ (cm)
0.968	0.472 ± 0.005	0.483 ± 0.018
1.242	0.457 ± 0.005	0.488 ± 0.020
1.537	0.462 ± 0.005	0.480 ± 0.010
1.935	0.462 ± 0.008	0.462 ± 0.025
2.487	0.455 ± 0.008	0.498 ± 0.018

※ボラル板厚が0.471cmであり、溝の幅がこれより狭い場合は、溝の幅を0.471cmとする。

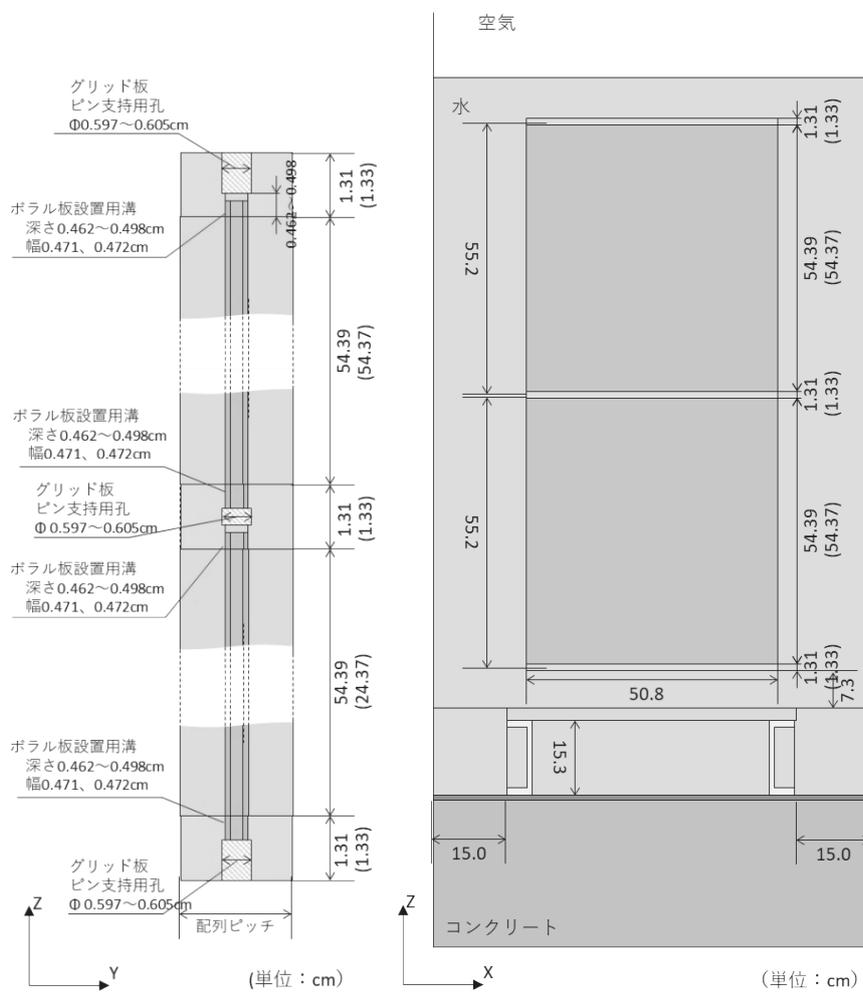


Fig. 3.1.1.19 中性子吸収材 ボラル板の計算モデル図 [Nucl.Tech.Vol.48]

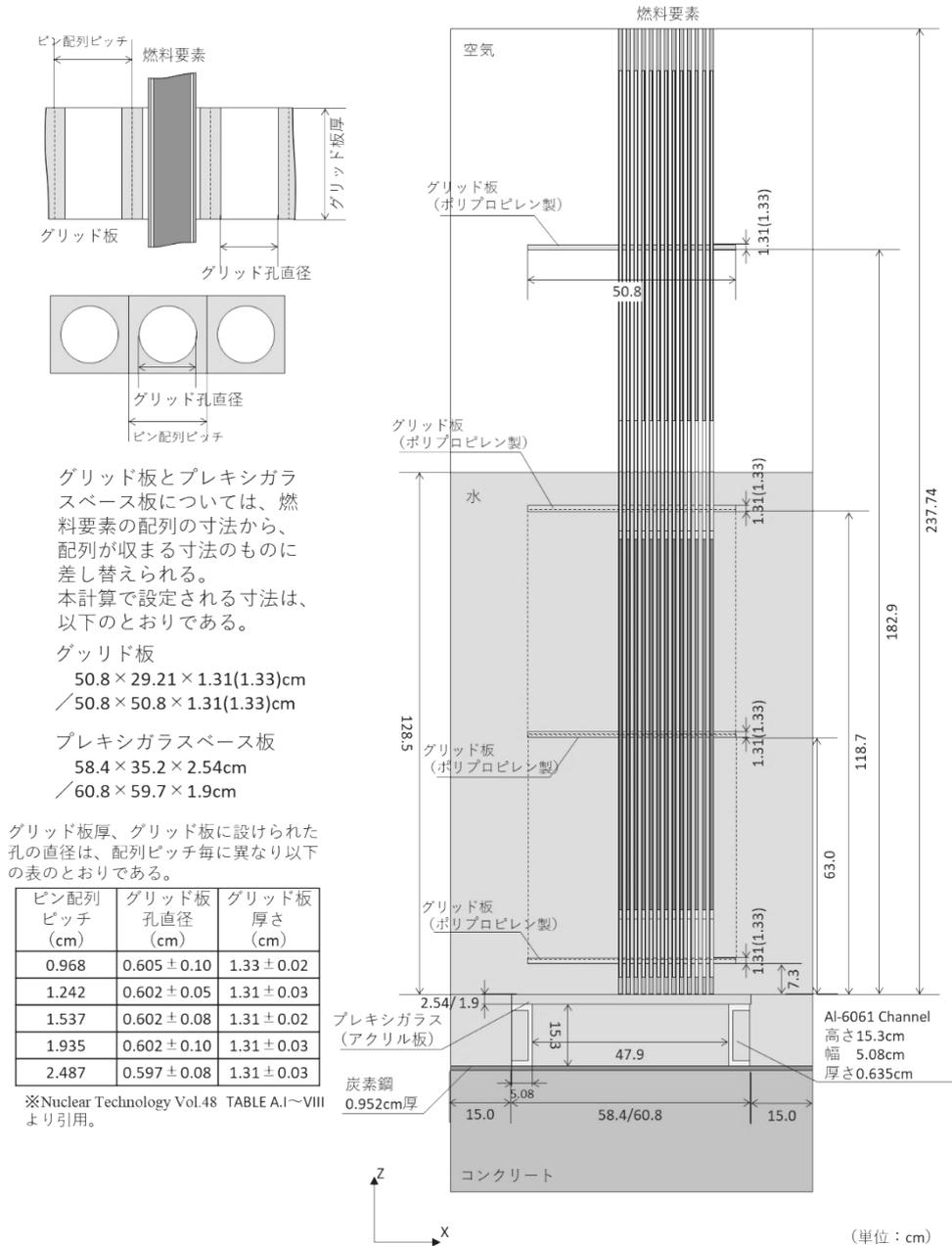


Fig. 3.1.1.20 臨界実験体系の計算モデル図 (X-Z 断面図) [Nucl.Tech.Vol.48]

- ※ グリッド板に寸法条件については、以下のとおりとする。
 - 計算ケース pnl_03_01~08 幅 50.8cm×奥行 29.21cm×厚さ 1.33cm
 - 計算ケース pnl_03_09~32 幅 50.8cm×奥行 29.21cm×厚さ 1.31cm
 - 計算ケース pnl_03_33~40 幅 50.8cm×奥行 50.8cm×厚さ 1.31cm
- ※ プレキシガラススペース板に寸法条件については、以下のとおりとする。
 - 計算ケース pnl_03_01~32 幅 58.4cm×奥行 35.2cm×厚さ 2.54cm
 - 計算ケース pnl_03_33~40 幅 60.8cm×奥行 59.7cm×厚さ 1.9cm
- ※ Al-6061 製チャンネルの奥行方向長さは、プレキシガラススペース板奥行方向長さ (35.2cm もしくは 59.7cm) と同値とする。

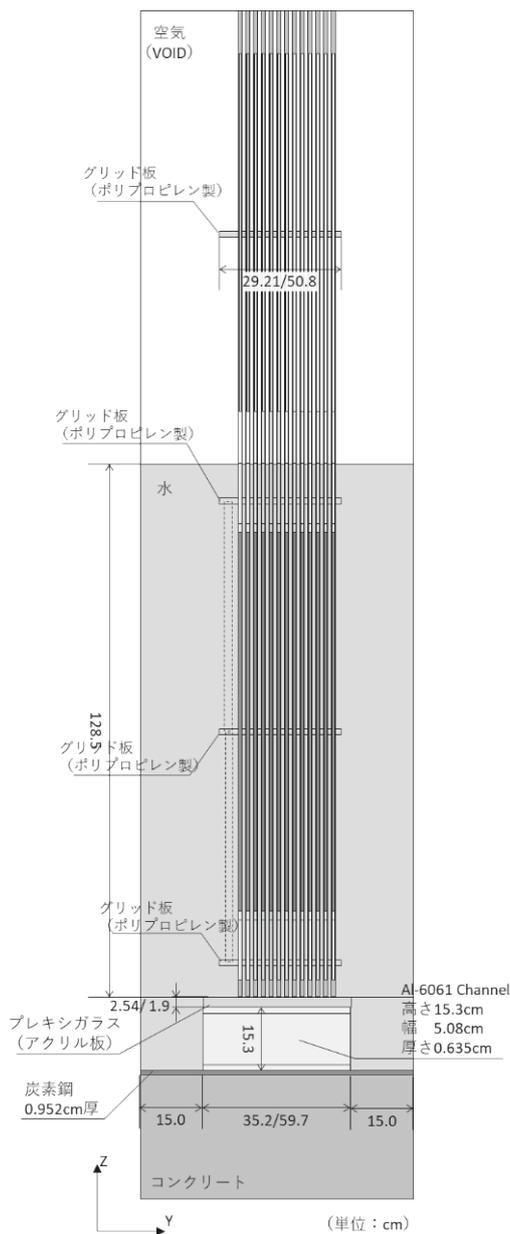
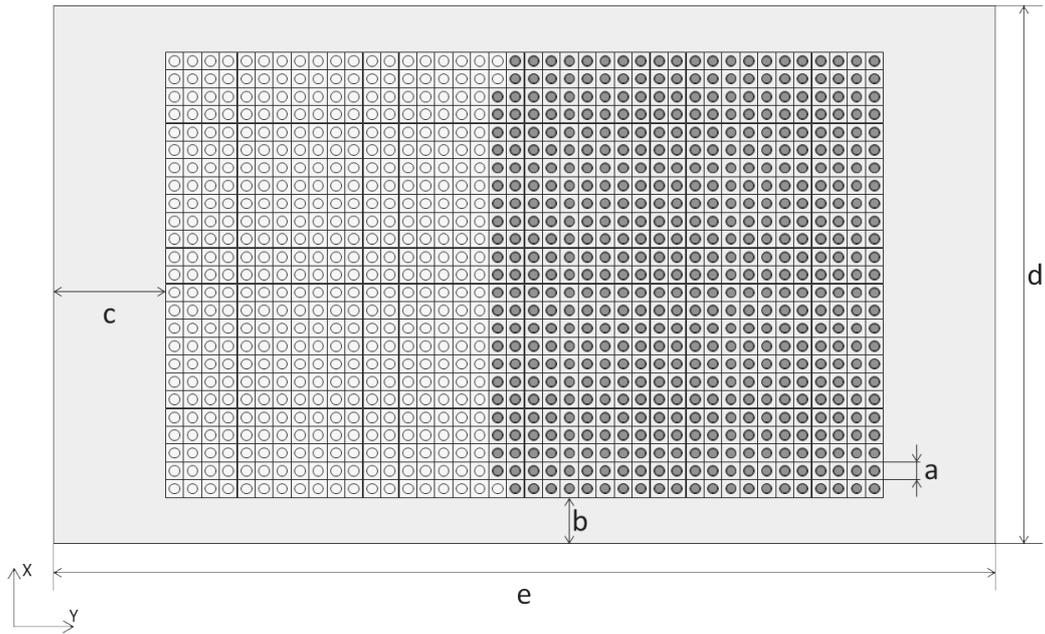


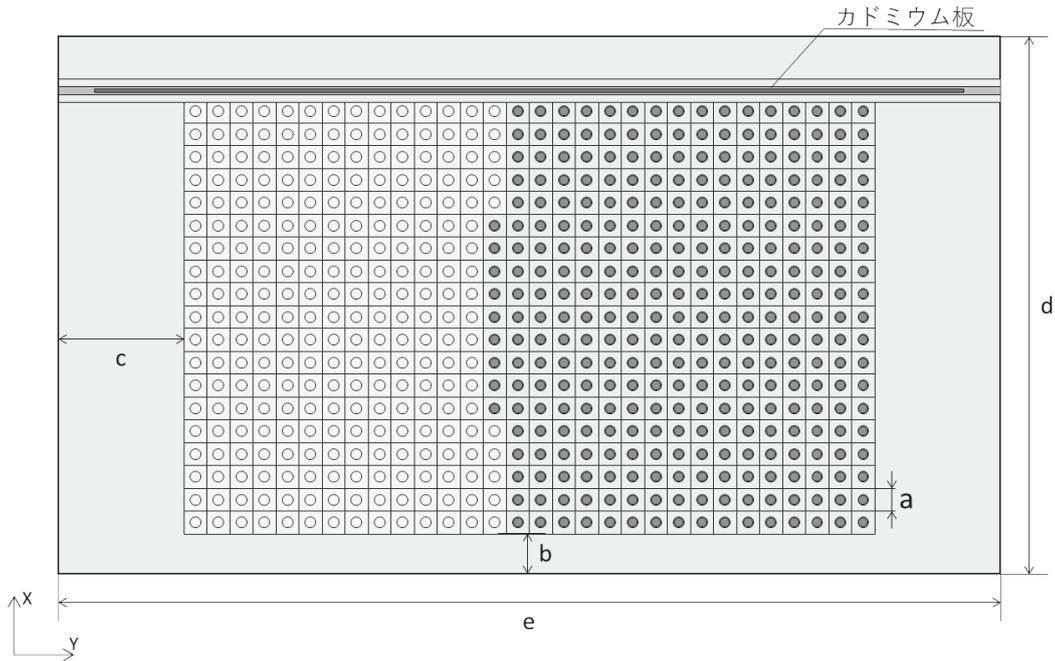
Fig. 3.1.1.21 臨界実験体系の計算モデル図 (Y-Z 断面図) [Nucl.Tech.Vol.48]

- ※ グリッド板に寸法条件については、以下のとおりとする。
 - 計算ケース pnl_03_01~08 幅 50.8cm×奥行 29.21cm×厚さ 1.33cm
 - 計算ケース pnl_03_09~32 幅 50.8cm×奥行 29.21cm×厚さ 1.31cm
 - 計算ケース pnl_03_33~40 幅 50.8cm×奥行 50.8cm×厚さ 1.31cm
- ※ プレキシガラスベース板に寸法条件については、以下のとおりとする。
 - 計算ケース pnl_03_01~32 幅 58.4cm×奥行 35.2cm×厚さ 2.54cm
 - 計算ケース pnl_03_33~40 幅 60.8cm×奥行 59.7cm×厚さ 1.9cm
- ※ Al-6061製チャンネルの奥行方向長さは、プレキシガラスベース板奥行方向長さ (35.2cm もしくは 59.7cm) と同値とする。



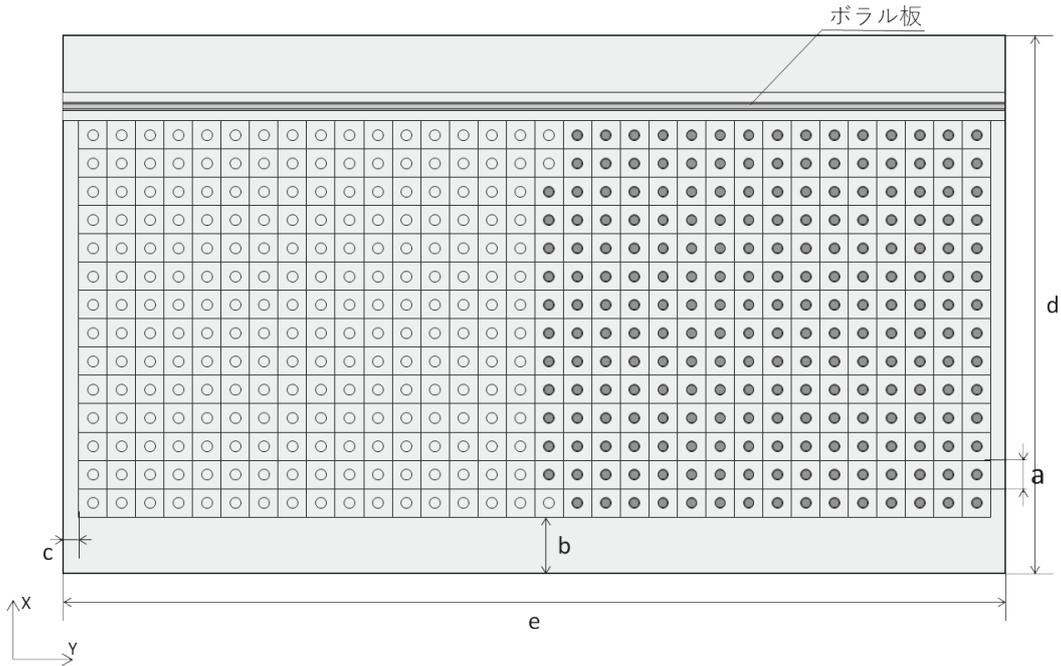
計算 ケース	実験 番号	配列ピッチ a (cm)	グリッド板		グリッド 配列本数 (本)		配列本数 (本)		装荷 本数 (本)	配列外周 マージン (cm)		装置外寸 (cm)	
			孔直径 (cm)	板厚 (cm)	縦	横	縦	横		縦 b	横 c	縦 d	横 e
pnl 03 01	021	0.968	0.605	1.33	25	40	25	22.88	572	2.505	6.04	29.21	50.8
pnl 03 09	043	1.242	0.602	1.31	20	30	20	14.70	294	2.185	6.77	29.21	50.8
pnl 03 17	013	1.537	0.602	1.31	15	32	15	13.11	197	3.0775	0.808	29.21	50.8
pnl 03 25	032	1.935	0.602	1.31	15	25	15	11.01	165	0.0925	1.2125	29.21	50.8
pnl 03 33	051	2.487	0.597	1.31	20	20	20	10.40	208	0.53	0.53	50.8	50.8

Fig. 3.1.1.22 中性子吸収材を用いない実験体系の燃料要素配列図



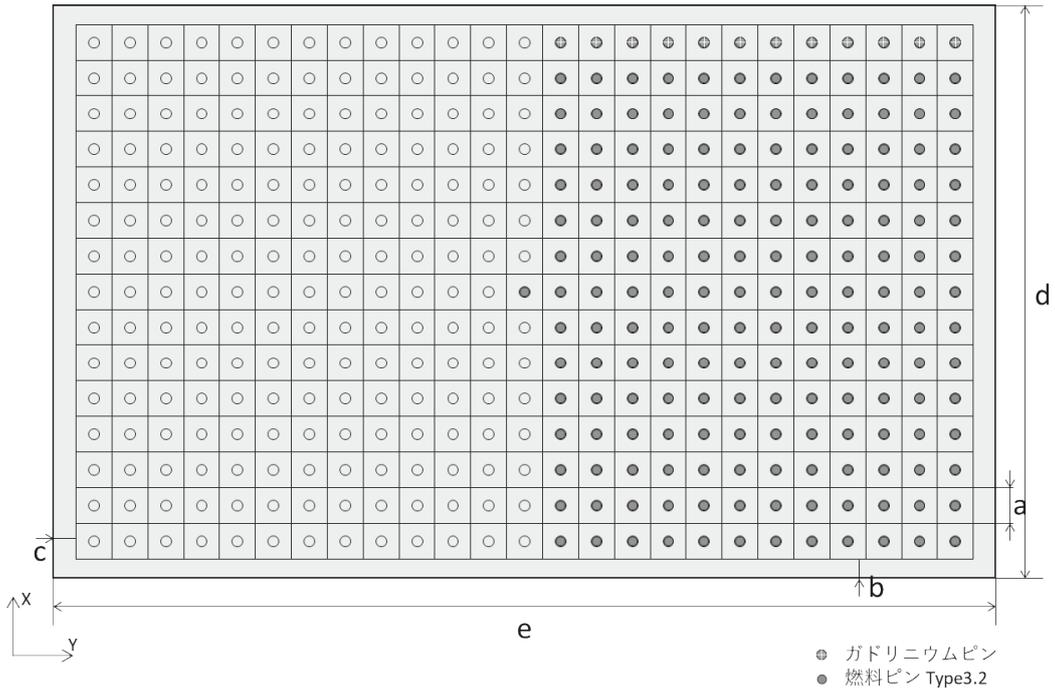
計算 ケース	実験 番号	配列ピッチ a (cm)	グリッド板		グリッド 配列本数 (本)		配列本数 (本)		装荷 本数 (本)	配列外周 マージン (cm)		装置外寸 (cm)	
			孔直径 (cm)	板厚 (cm)	縦	横	縦	横		縦 b	横 c	縦 d	横 e
pnl 03 02	022	0.968	0.605	1.33	25	40	24	27.12	651	2.505	6.04	29.21	50.8
pnl 03 10	045	1.242	0.602	1.31	20	30	19	16.49	313	2.185	6.77	29.21	50.8
pnl 03 18	014	1.537	0.602	1.31	15	32	14	15.26	214	3.0775	0.808	29.21	50.8
pnl 03 26	034	1.935	0.602	1.31	15	25	14	12.15	170	0.0925	1.2125	29.21	50.8
pnl 03 34	054	2.487	0.597	1.31	20	20	18	11.10	200	0.53	0.53	50.8	50.8

Fig. 3.1.1.23 カドミウム板（端部）を用いた実験体系の燃料要素配列図



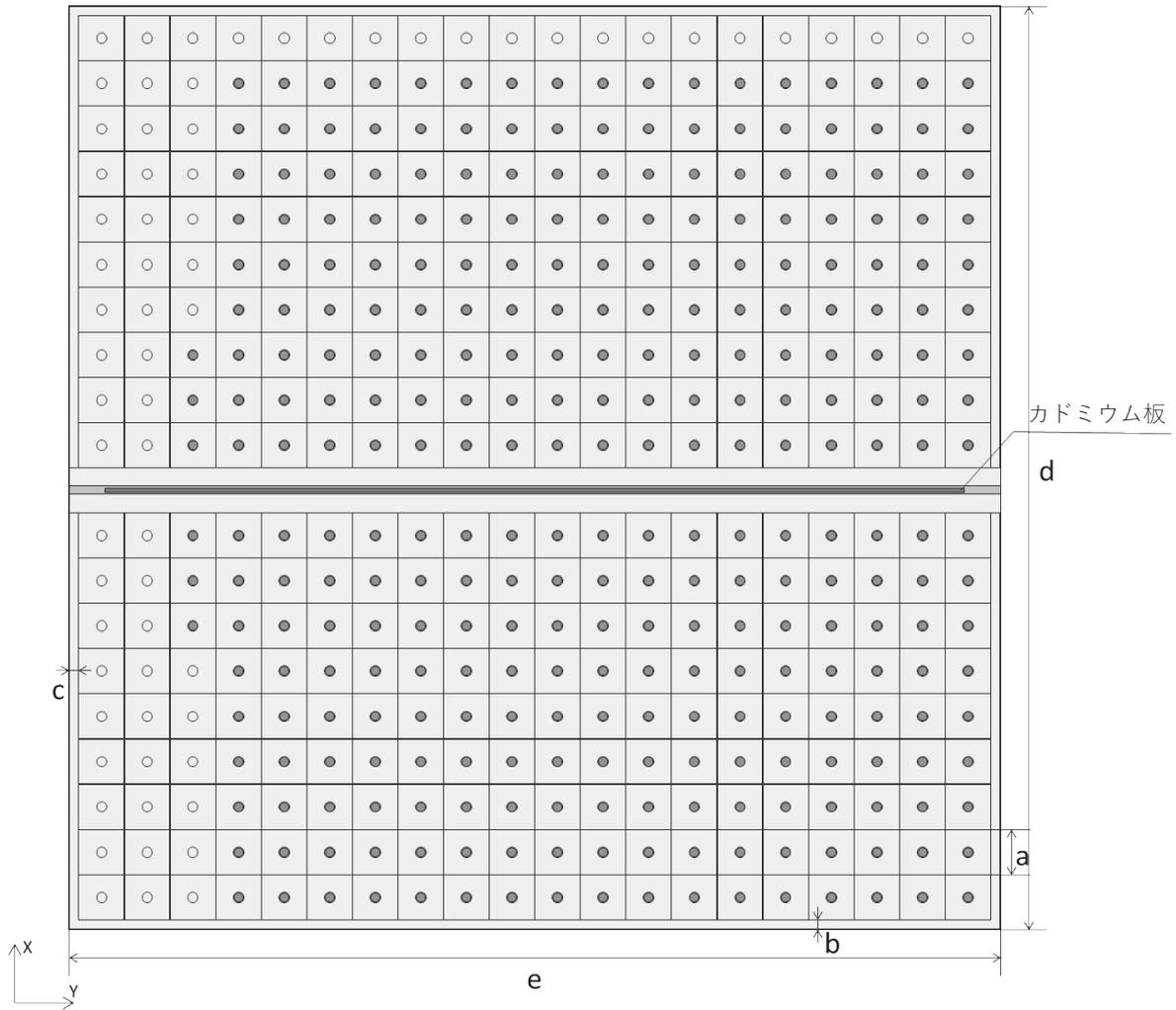
計算 ケース	実験番号	配列ピッチ a (cm)	グリッド板		グリッド 配列本数 (本)		配列本数 (本)		装荷 本数 (本)	配列外周 マージン (cm)		装置外寸 (cm)	
			孔直径 (cm)	板厚 (cm)	縦	横	縦	横		縦 b	横 c	縦 d	横 e
pnl 03 03	023	0.968	0.605	1.33	25	40	24	27.77	667	2.505	6.04	29.21	50.8
pnl 03 11	046	1.242	0.602	1.31	20	30	19	16.91	321	2.185	6.77	29.21	50.8
pnl 03 19	015	1.537	0.602	1.31	15	32	14	15.77	221	3.0775	0.808	29.21	50.8
pnl 03 27	035	1.935	0.602	1.31	15	25	14	12.30	172	0.0925	1.2125	29.21	50.8
pnl 03 35	055	2.487	0.597	1.31	20	20	18	11.17	201	0.53	0.53	50.8	50.8

Fig. 3.1.1.24 ボラル板（端部）を用いた実験体系の燃料要素配列図



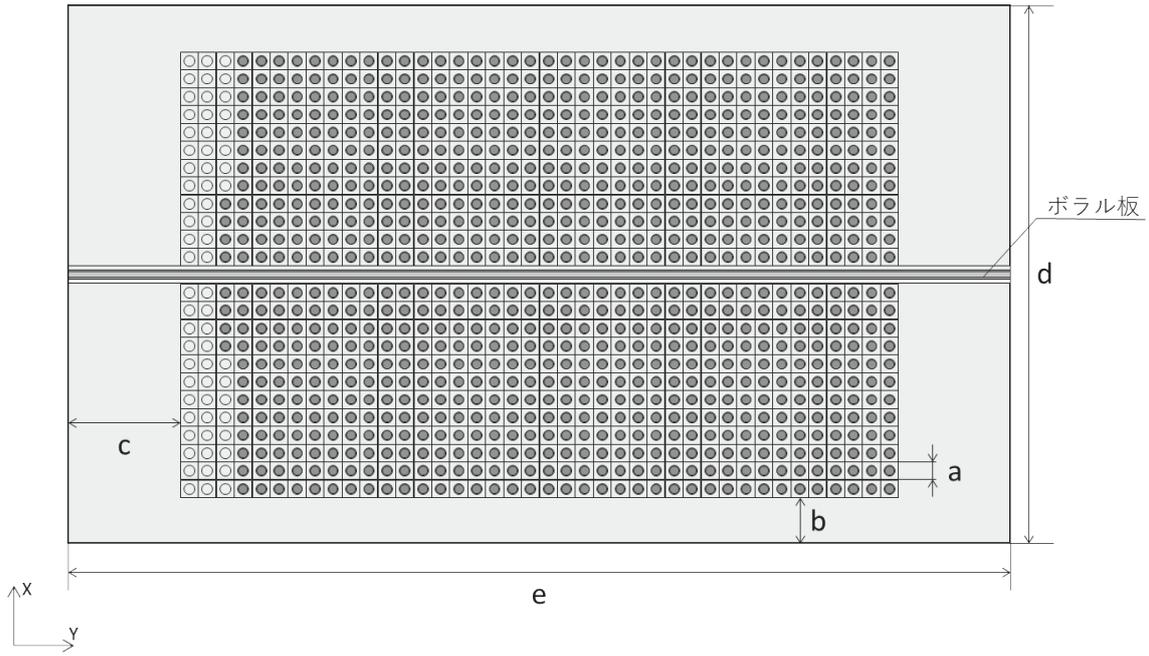
計算 ケース	実験 番号	配列ピッチ a (cm)	グリッド板		グリッド 配列本数 (本)		配列本数 (本)		装荷 本数 (本)	配列外周 マージン (cm)		装置外寸 (cm)		Gd ピン本数
			孔直径 (cm)	板厚 (cm)	縦	横	縦	横		縦 b	横 c	縦 d	横 e	
pnl 03 04	026	0.968	0.605	1.33	25	40	24	27.08	648	2.505	6.04	29.21	50.8	27
pnl 03 12	044	1.242	0.602	1.31	20	30	19	16.45	313	2.185	6.77	29.21	50.8	17
pnl 03 20	041	1.537	0.602	1.31	15	32	14	15.22	213	3.0775	0.808	29.21	50.8	15
pnl 03 28	033	1.935	0.602	1.31	15	25	14	12.07	169	0.0925	1.2125	29.21	50.8	12
pnl 03 36	053	2.487	0.597	1.31	20	20	18	11.06	199	0.53	0.53	50.8	50.8	11

Fig. 3.1.1.25 ガドリニウムピン（端部）を用いた実験体系の燃料要素配列図



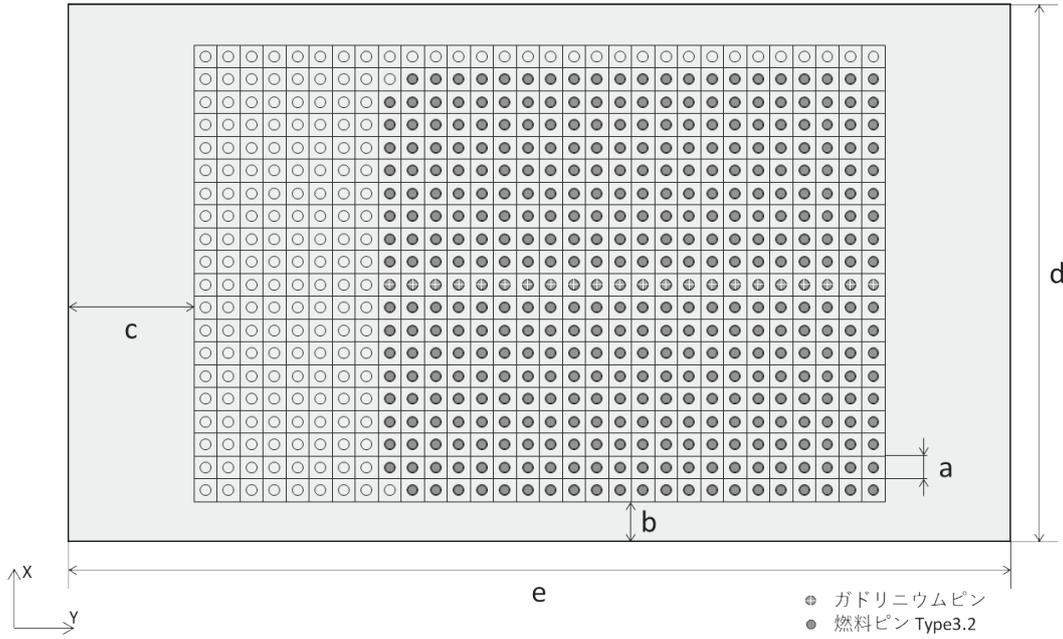
計算 ケース	実験 番号	配列ピッチ a (cm)	グリッド板		グリッド 配列本数 (本)		配列本数 (本)		装荷 本数 (本)	配列外周 マージン (cm)		装置外寸 (cm)	
			孔直径 (cm)	板厚 (cm)	縦	横	縦	横		縦 b	横 c	縦 d	横 e
pnl 03 05	024	0.968	0.605	1.33	25	40	24	29.80	715	2.505	6.04	29.21	50.8
pnl 03 13	048	1.242	0.602	1.31	20	30	18	21.87	394	2.185	6.77	29.21	50.8
pnl 03 21	016	1.537	0.602	1.31	15	32	14	21.94	307	3.0775	0.808	29.21	50.8
pnl 03 29	039	1.935	0.602	1.31	15	25	14	19.07	267	0.0925	1.2125	29.21	50.8
pnl 03 37	057	2.487	0.597	1.31	20	20	18	17.31	312	0.53	0.53	50.8	50.8

Fig. 3.1.1.26 カドミウム板（中央部）を用いた実験体系の燃料要素配列図



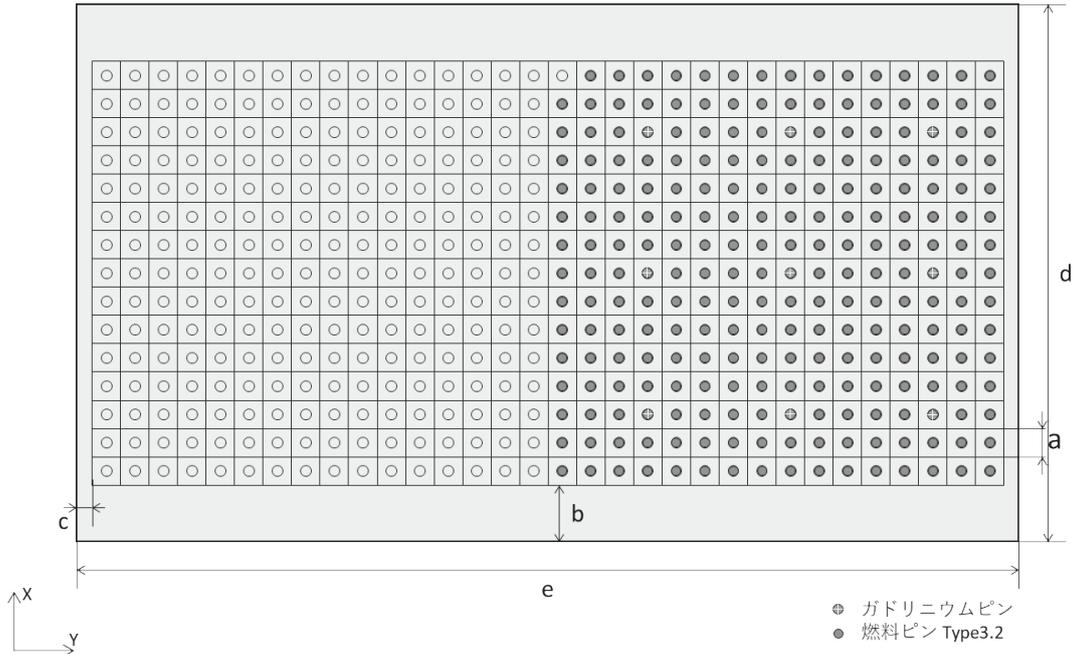
計算 ケース	実験 番号	配列ピッチ a (cm)	グリッド板		グリッド 配列本数 (本)		配列本数 (本)		装荷 本数 (本)	配列外周 マージン (cm)		装置外寸 (cm)	
			孔直径 (cm)	板厚 (cm)	縦	横	縦	横		縦 b	横 c	縦 d	横 e
pnl 03 06	025	0.968	0.605	1.33	25	40	24	37.32	896	2.505	6.04	37.32	50.8
pnl 03 14	049	1.242	0.602	1.31	20	30	18	27.01	486	2.185	6.77	29.21	50.8
pnl 03 22	020	1.537	0.602	1.31	15	32	14	28.29	396	3.0775	0.808	29.21	50.8
pnl 03 30	038	1.935	0.602	1.31	15	25	14	23.00	322	0.0925	1.2125	29.21	50.8
pnl 03 38	058	2.487	0.597	1.31	20	20	18	18.89	340	0.53	0.53	50.8	50.8

Fig. 3.1.1.27 ボラル板（中央部）を用いた実験体系の燃料要素配列図



計算 ケース	実験番号	配列ピッチ a (cm)	グリッド板		グリッド 配列本数 (本)		配列本数 (本)		装荷 本数 (本)	配列外周 マージン (cm)		装置外寸 (cm)		Gdピン 本数
			孔直径 (cm)	板厚 (cm)	縦	横	縦	横		縦 b	横 c	縦 d	横 e	
pnl 03 07	027	0.968	0.605	1.33	25	40	24	31.93	766	2.505	6.04	29.21	50.8	32
pnl 03 15	047	1.242	0.602	1.31	20	30	18	21.89	394	2.185	6.77	29.21	50.8	22
pnl 03 23	042	1.537	0.602	1.31	15	32	14	20.91	293	3.0775	0.808	29.21	50.8	21
pnl 03 31	037	1.935	0.602	1.31	15	25	14	17.34	243	0.0925	1.2125	29.21	50.8	18
pnl 03 39	056	2.487	0.597	1.31	20	20	18	15.81	285	0.53	0.53	50.8	50.8	16

Fig. 3.1.1.28 ガドリニウムピン（中央部）を用いた実験体系の燃料要素配列図



計算 ケース	実験番号	配列ピッチ a (cm)	グリッド板		グリッド 配列本数 (本)		配列本数 (本)		装荷 本数 (本)	配列外周 マージン (cm)		装置外寸 (cm)		Gd ピン 本数
			孔直径 (cm)	板厚 (cm)	縦	横	縦	横		縦 b	横 c	縦 d	横 e	
pnl 03 08	028	0.968	0.605	1.33	25	40	25	29.82	716	2.505	6.04	29.21	50.8	30
pnl 03 16	050	1.242	0.602	1.31	20	30	20	17.51	338	2.185	6.77	29.21	50.8	12
pnl 03 24	040	1.537	0.602	1.31	15	32	15	15.94	230	3.0775	0.808	29.21	50.8	9
pnl 03 32	036	1.935	0.602	1.31	15	25	15	12.87	187	0.0925	1.2125	29.21	50.8	6
pnl 03 40	052	2.487	0.597	1.31	20	20	20	12.54	243	0.530	0.530	50.8	50.8	8

Fig. 3.1.1.29 ガドリニウムピン（分散配置）を用いた実験体系の燃料要素配列図

3.1.2 EPRI NP-196 Project 348 Volume 1 Final Report

この実験では、ウラン濃縮度 2.35wt%の UO_2 燃料要素 (UO_2 -2.35wt% ^{235}U 燃料要素) を用いた実験 6 ケースと Pu 富化度 2wt%の PuO_2 - UO_2 燃料要素 (UO_2 -2wt% PuO_2 燃料要素、Pu/MOX=1.762wt%) を用いた実験 6 ケースの 2 種類の実験が合計 12 ケース実施されている。減速材と反射体を兼ねたホウ酸水溶液中に燃料要素を正方格子状に配列し、その臨界条件を測定している。

Table 3.1.2.1 に臨界実験データを示す。

UO_2 -2.35wt% ^{235}U 燃料要素を用いた実験においては、燃料要素をジルカロイ-2 被覆管で覆い二重被覆管構造とする。燃料要素 (Mark II Fuel Follower 燃料要素) が配列の一部に使用されている。

UO_2 -2wt% PuO_2 燃料要素でも Follower燃料要素の装荷位置が燃料要素配列図 (Fig. 3.1.2.16~Fig. 3.1.2.21) に記述されているが、両者は全く同一のものであるため、本ベンチマーク計算では両者を区別しない。

各燃料要素 (3 種) の計算モデル図を以下に示す。

Fig. 3.1.2.1 UO_2 -2.35wt% ^{235}U 燃料要素の計算モデル図

Fig. 3.1.2.2 Mark II Fuel Follower 燃料要素の計算モデル図

Fig. 3.1.2.3 UO_2 -2wt% PuO_2 燃料要素の計算モデル図 (Follower 燃料要素は、同型であるため区別しない。)

Fig. 3.1.2.4 に実験体系の計算モデル図 (X-Y 断面) を示す。

計算モデルは、内径 182.88cm (=6 フィート)、高さ 274.32cm (=9 フィート) のタンク内に燃料要素配列が正方格子状に配置されるようモデル化する。減速材 (ホウ酸水溶液) は、タンク底面より 269.24cm の高さまで充填されている。文献にタンクの構造材についての記述が無いので、計算モデルでは省略し、減速材タンク内までをモデル化する。また、減速材の水位より上に空間は空気雰囲気とする。

燃料要素は、タンク内に設置された上下 2 枚のアルミニウム合金製の支持板 (Al-6061 製、2.54cm 厚もしくは、1.905cm 厚) により、支持され正方格子配列を維持している。

また、燃料要素の基部には、アルミニウム合金製のプレート (1.905cm、もしくは 2.54cm 厚) とアルミニウム製プレート (0.3175cm 厚) が設置されており、燃料要素を支えている。これらのアルミニウム合金プレートの上面は、タンク底面から 157.1625~161.925cm の高さに位置している。また、上部支持板の上方に鉛遮蔽板 (0.9525cm 厚) が設置されており、タンク底面から 254.889~255.27cm の高さに位置している。

Fig. 3.1.2.5 に UO_2 -2.35wt% ^{235}U 燃料要素を用いた実験体系 (epri_01、02、05、06) の計算モデル図 (X-Z 断面図) を示す。

このモデルにおいては、矩形格子型支持板 (Al-6061 製、Fig. 3.1.2.8) で、燃料要素の配列を支

持っている。このため、一部のケース（epri_01、02）においては、下部支持板の格子には、Mark II Fuel Follower 燃料要素下部端栓先端部分（0.9525cm）だけが収まり、Mark II 燃料要素の垂直方向の位置が、他の燃料要素と比べて 1.905cm 上に位置している。

Fig. 3.1.2.6 に $\text{UO}_2\text{-}2.35\text{wt}\%^{235}\text{U}$ 燃料要素を用いた実験体系 [配列ピッチ 1.905cm]（epri_03、04）の計算モデル図（X-Z 断面図）を示す。

このモデルにおいては、支持板 [ピッチ 1.905cm]（Al-6061 製、Fig. 3.1.2.9）で燃料要素の配列を維持している。下部支持板の形状が、Mark II Fuel Follower 燃料要素の下部端栓部と合致する構造を持つため、Mark II 燃料要素の垂直方向の位置が、他の燃料要素と比べて、3.175cm 上に位置している。

Fig. 3.1.2.7 に $\text{UO}_2\text{-}2\text{wt}\%\text{PuO}_2$ 燃料要素を用いた実験体系（epri_07～12）の計算モデル図（X-Z 断面図）を示す。

このモデルにおいては、矩形格子型支持板（Al-6061 製、Fig. 3.1.2.8）で、燃料要素の配列を支持している。

本実験では、支持板やサポートプレート等を設置するため、減速材タンク内にこれらを支える構造材や、燃料要素交換機、制御用燃料要素等が存在するが、計算モデルでは、これらを省略する。

実験体系の外側境界条件は、真空として設定し計算を行った。

Fig. 3.1.2.8 に燃料要素矩形格子型支持板の概略図を示す。

Fig. 3.1.2.9 に燃料要素支持板 [ピッチ 1.905cm] の概略図を示す。

Fig. 3.1.2.10～Fig. 3.1.2.21 に各実験体系における燃料要素配列図を示す。

Table 3.1.2.2 に $\text{UO}_2\text{-}2.35\text{wt}\%^{235}\text{U}$ 燃料および $\text{UO}_2\text{-}2\text{wt}\%\text{PuO}_2$ 燃料の諸元を示す。

Table 3.1.2.3 に計算に用いた物質の原子個数密度を示す。

Table 3.1.2.4 に空気の飽和水蒸気密度と空気水分中の H と O の原子個数密度を示す。

Table 3.1.2.5 に各実験体系におけるホウ酸水溶液の原子個数密度を示す。

Table 3.1.2.6 に補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度を示す。

Pu-241 の放射性壊変（ β 崩壊）により、Pu-241 および Am-241 の原子個数密度は、時間の経過とともに Pu-241 は減じ、Am-241 は増加する。このため、分析時期と実験時期との期間を考慮して、Pu-241、Am-241 の原子個数密度を補正する（付録-3 を参照）。

Table 3.1.2.1 臨界実験データと計算ケース [EPRI NP-196]

計算ケース	実験番号	燃料	ピッチ (cm)	水/燃料 (v/o)	B含有率 (wppmB)	温度 (°C)	臨界本数	実験時期
epri 01	01	UO ₂ -2.35wt% ²³⁵ U (U濃縮度 2.35wt%)	1.5621	1.196	0.9±0.2	21.9	708	1975/11/04
epri 02	02				463.8±1	24.51	1201	1975/08/19
epri 03	03		1.905	2.408	0.5±0.2	18.0	383	1975/05/02
epri 04	04				568.1±1	21.0	1201	1975/05/15
epri 05	05		2.2098	3.687	0.9±0.2	21.925	342	1975/10/15
epri 06	06				285.8±1	23.4	885	1975/09/26
epri 07	07	UO ₂ -2wt%PuO ₂ (PuO ₂ 富化度 2wt%)	1.778	1.195	1.7±0.2	20.98	469	1976/02/27
epri 08	08				680.9±1	21.9	761	1976/02/11
epri 09	09		2.2098	2.527	0.9±0.2	22.75	195	1975/12/03
epri 10	10				1090.4±1	22.66	761	1975/12/31
epri 11	11		2.5146	3.641	1.6±0.2	22.15	160	1976/03/05
epri 12	12				767.25±1	23.4	689	1976/01/23

※ 文献 [EPRI NP-196⁷⁾ p.2] より引用する。

Table 3.1.2.2 UO₂-2.35wt%²³⁵U 燃料、UO₂-2wt%PuO₂ 燃料の諸元 [EPRI NP-196]

燃料要素タイプ	UO ₂ -2.35wt% ²³⁵ U (U濃縮度 2.35wt%)		UO ₂ -2wt%PuO ₂ (PuO ₂ 富化度 2wt%)	
	文献値 ^{※1}	採用値	文献値 ^{※2}	採用値
燃料密度 (g/cm ³)	9.20 (84%TD.)	9.20	9.54 (87%TD.)	9.54
Pu含有率 (wt%) Pu/MOX	—	—	—	1.762
PuO ₂ 富化度 (wt%)	—	—	2	2.0
O/M比 ^{※3}	825g of UO ₂ Powder/ROD 726g of U/ROD	2.025	Pu/PuO ₂ =88.1wt% U/UO ₂ =88.0wt%	2.019
核種	(wt%)	(wt%)	(at%)	(wt%)
Pu-239	—	—	91.615	91.57897
Pu-240	—	—	7.654	7.68305
Pu-241	—	—	0.701	0.70660
Pu-242	—	—	0.031	0.03138
Am-241	—	—	Not known	0.0
U-234	—	0.0	NATURAL	0.00531
U-235	2.35±0.05	2.35		0.71137
U-238	Bal.	97.65		99.28332
分析時期	—	—	January 1965	1965/01/01

※1 文献 [EPRI NP-196⁷⁾ FIGURE B-1] より引用する。

※2 文献 [EPRI NP-196⁷⁾ FIGURE B-3] より引用する。

U同位体組成については、天然ウランとの記述があるため、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より、U同位体組成を引用する (付録-1.3 参照)。

(U-234 : U-235 : U-238=0.0054 : 0.7204 : 99.2742 at%)

※3 O/M比については、文献 [EPRI NP-196⁷⁾] に記載された酸化物との重量比より求める。

Table 3.1.2.3 物質の原子個数密度 [EPRI NP-196] [1/3]

使用部材	材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
燃料要素 UO ₂ -2.35wt% ²³⁵ U (Fig. 3.1.2.1)	UO ₂ ^{※1} ²³⁵ U/U=2.35wt% O/M比 2.025	9.20	U-235	2.068405234	235.0439282	4.87557E-04
			U-238	85.94883877	238.0507870	2.00036E-02
			O	11.982756	15.9993744	4.14947E-02
	Al-6061 ^{※2} (被覆管)	2.7	Si	0.6	28.0849993	3.47369E-04
			Fe	0.7	55.8451437	2.03811E-04
			Cu	0.275	63.5460395	7.03654E-05
			Mn	0.15	54.9380432	4.43949E-05
			Mg	1.0	24.3057012	6.68970E-04
			Cr	0.195	51.9961306	6.09787E-05
			Zn	0.25	65.3777823	6.21762E-05
			Al	96.68	26.9815384	5.82619E-02
	Al-1100 ^{※3} (上部端栓)	2.71	Si	0.475	28.0849993	2.76019E-04
			Fe	0.475	55.8451437	1.38812E-04
			Cu	0.125	63.5460395	3.21027E-05
			Mn	0.05	54.9380432	1.48531E-05
			Al	98.775	26.9815384	5.97449E-02
Al-5052 ^{※4} (下部端栓)	2.68	Si	0.25	28.0849993	1.43665E-04	
		Fe	0.4	55.8451437	1.15601E-04	
		Cu	0.1	63.5460395	2.53979E-05	
		Mn	0.1	54.9380432	2.93773E-05	
		Mg	2.5	24.3057012	1.66004E-03	
		Cr	0.25	51.9961306	7.75987E-05	
		Zn	0.1	65.3777823	2.46863E-05	
		Al	96.27	26.9815384	5.75851E-02	

※1 UO₂ペレットの諸元については、文献 [EPRI NP-196⁷⁾ FIGURE B-1] に記載された値を引用する。

※2 Al-6061 については、JIS H 4000 6061 の組成を引用する (付録-2.2.3 を参照)。

※3 Al-1100 については、JIS H 4000 1100 の組成を引用する (付録-2.2.2 を参照)。

※4 Al-5052 については、JIS H 4000 5052 の組成を引用する (付録-2.2.4 を参照)。

Table 3.1.2.3 物質の原子個数密度 [EPRI NP-196] [2/3]

使用部材	材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
燃料要素 Mark II Fuel Follower (Fig. 3.1.2.2)	UO ₂ ^{※1} ²³⁵ U/U=2.35wt% O/M 比 2.025	9.20	U-235	2.068405234	235.0439282	4.87557E-04
			U-238	85.94883877	238.0507870	2.00036E-02
			O	11.982756	15.9993744	4.14947E-02
	Al-6061 ^{※2} (被覆管)	2.7	Si	0.6	28.08499935	3.47369E-04
			Fe	0.7	55.84514371	2.03811E-04
			Cu	0.275	63.54603952	7.03654E-05
			Mn	0.15	54.9380432	4.43949E-05
			Mg	1.0	24.30570119	6.68970E-04
			Cr	0.195	51.99613057	6.09787E-05
			Zn	0.25	65.37778234	6.21762E-05
			Ti	0.15	47.86674393	5.09533E-05
	Al-1100 ^{※3} (上部端栓)	2.71	Si	0.475	28.0849993	2.76019E-04
			Fe	0.475	55.8451437	1.38812E-04
			Cu	0.125	63.5460395	3.21027E-05
			Mn	0.05	54.9380432	1.48531E-05
			Zn	0.1	65.3777823	2.49626E-05
	Al-5052 ^{※4} (下部端栓)	2.68	Al	98.775	26.9815384	5.97449E-02
			Si	0.25	28.0849993	1.43665E-04
			Fe	0.4	55.8451437	1.15601E-04
			Cu	0.1	63.5460395	2.53979E-05
			Mn	0.1	54.9380432	2.93773E-05
Mg			2.5	24.3057012	1.66004E-03	
Cr			0.25	51.9961306	7.75987E-05	
ジルカロイ-2 ^{※5} (被覆管/ 上下部端栓)	6.56	Zn	0.1	65.3777823	2.46863E-05	
		Ti	0.03	47.8667439	1.01152E-05	
		Al	96.27	26.9815384	5.75851E-02	
		Zr	98.25	91.2236428	4.25481E-02	
		Sn	1.45	118.7101127	4.82542E-04	
		Cr	0.1	51.9961306	7.59773E-05	
Fe	0.135	55.8451437	9.54999E-05			
Ni	0.055	58.6933505	3.70193E-05			
Hf	0.01	178.4849814	2.21337E-06			

※1 UO₂ペレットの諸元については、文献 [EPRI NP-196⁷⁾ FIGURE B-1、B-2] に記載された値を引用する。

※2 Al-6061 については、JIS H 4000 6061 の組成を引用する (付録-2.2.3 を参照)。

※3 Al-1100 については、JIS H 4000 1100 の組成を引用する (付録-2.2.2 を参照)。

※4 Al-5052 については、JIS H 4000 5052 の組成を引用する (付録-2.2.4 を参照)。

※5 ジルカロイ-2 の組成については、SCALE 6.2.3 コードシステムに内蔵された標準物質 ZIRC2 の組成を引用する (付録-2.2.6、付録-2.3.7 を参照)。

Table 3.1.2.3 物質の原子個数密度 [EPRI NP-196] [3/3]

使用部材	材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
燃料要素 UO ₂ -2wt%PuO ₂ (Fig. 3.1.2.3)	UO ₂ 2wt%PuO ₂ ^{※6} Pu/(Pu+U) 1.762wt% PuO ₂ 富化度 2.0wt% O/M 比 2.019	9.54	Pu-239 Pu-240 Pu-241 Pu-242 Am-241 U-234 U-235 U-238 O	1.613617481 0.135374976 0.012450272 0.000552871 — 0.004581575 0.613835396 85.6712699 11.94831753	239.0521648 240.0538150 241.0568529 242.0587440 241.0568306 234.0409504 235.0439282 238.0507870 15.9993744	3.87799E-04 3.23988E-05 Table 3.1.2.6 参照 1.31221E-07 Table 3.1.2.6 参照 1.12466E-06 1.50038E-04 2.06759E-02 4.29045E-02
	ジルカロイ-2 ^{※5} ・端栓 ・被覆管	6.56	Zr Sn Cr Fe Ni Hf	98.25 1.45 0.1 0.135 0.055 0.01	91.2236428 118.7101127 51.9961306 55.8451437 58.6933505 178.4849814	4.25481E-02 4.82542E-04 7.59773E-05 9.54999E-05 3.70193E-05 2.21337E-06
遮蔽板	鉛 ^{※7}	11.34	Pb	100.0	207.2169075	3.29563E-02
上/下部 支持板	Al-6061 ^{※2}	2.7	Si Fe Cu Mn Mg Cr Zn Ti Al	0.6 0.7 0.275 0.15 1.0 0.195 0.25 0.15 96.68	28.0849993 55.8451437 63.5460395 54.9380432 24.3057012 51.9961306 65.3777823 47.8667439 26.9815384	3.47369E-04 2.03811E-04 7.03654E-05 4.43949E-05 6.68970E-04 6.09787E-05 6.21762E-05 5.09533E-05 5.82619E-02
Al プレート	Al ^{※8}	2.7	Al	100.0	26.9815384	6.02626E-02
アルミニウム 合金プレート	Al-6061 ^{※2}	2.7	Si Fe Cu Mn Mg Cr Zn Ti Al	0.6 0.7 0.275 0.15 1.0 0.195 0.25 0.15 96.68	28.0849993 55.8451437 63.5460395 54.9380432 24.3057012 51.9961306 65.3777823 47.8667439 26.9815384	3.47369E-04 2.03811E-04 7.03654E-05 4.43949E-05 6.68970E-04 6.09787E-05 6.21762E-05 5.09533E-05 5.82619E-02
減速材 反射体	空気 ^{※9}	Table 3.1.2.4 を参照				
	ホウ酸水溶液 ^{※10}	Table 3.1.2.5 を参照				

※2 Al-6061 については、JIS H4000 6061 の組成を引用する (付録-2.2.3 を参照)。

※5 ジルカロイ-2 の組成については、SCALE 6.2.3 コードシステムに内蔵された標準物質 ZIRC2 の組成を引用する (付録-2.2.6、付録-2.3.7 を参照)。

※6 燃料要素内の燃料ペレットにおいて、その諸元は、文献 [EPRI NP-196⁷⁾ FIGURE B-3] より引用する。

Pu-239 : 91.615at%、Pu-240 : 7.654 at%、Pu-241 : 0.701 at%、Pu-242 : 0.031 at%

U の同位体組成 (天然ウラン) は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-1.3 を参照)。

U-234 : 0.0054 at%、U-235 : 0.7204 at%、U-238 : 99.2742 at%

また、分析時期と実験時期が異なることから、その期間の壊変を考慮して Pu-241、Am-241 について補正を行う (Table 3.1.2.6、付録-3 を参照)。

※7 鉛の密度については、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-2.2.15 を参照)。

※8 アルミニウムの密度については、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-2.2.5 を参照)。

※9 空気中の主成分 (N₂、O₂ 等々) については考慮せず、中性子への影響が大きい空気中の水分について考慮する (Table 3.1.2.4、付録-2.2.17 を参照)。

※10 ホウ酸水溶液については、Table 3.1.2.5、付録 2.5 を参照。

Table 3.1.2.4 空気中水分の H と O の原子個数密度 [EPRI NP-196]

ケース名	飽和蒸気密度 (g/cm ³)	温度 (°C)	元素名	重量比 (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
epri_01	0.00001932	21.9	H	11.19015537	1.29155E-06
			O	88.80984463	6.45776E-07
epri_02	0.00002242	24.51	H	11.19015537	1.49891E-06
			O	88.80984463	7.49455E-07
epri_03	0.00001537	18.0	H	11.19015537	1.02789E-06
			O	88.80984463	5.13944E-07
epri_04	0.00001834	21.0	H	11.19015537	1.22603E-06
			O	88.80984463	6.13015E-07
epri_05	0.00001935	21.925	H	11.19015537	1.29341E-06
			O	88.80984463	6.46707E-07
epri_06	0.00002105	23.4	H	11.19015537	1.40747E-06
			O	88.80984463	7.03734E-07
epri_07	0.00001832	20.98	H	11.19015537	1.22461E-06
			O	88.80984463	6.12304E-07
epri_08	0.00001932	21.9	H	11.19015537	1.29155E-06
			O	88.80984463	6.45776E-07
epri_09	0.00002029	22.75	H	11.19015537	1.35618E-06
			O	88.80984463	6.78091E-07
epri_10	0.00002018	22.66	H	11.19015537	1.34921E-06
			O	88.80984463	6.74605E-07
epri_11	0.00001960	22.15	H	11.19015537	1.31028E-06
			O	88.80984463	6.55140E-07
epri_12	0.00002105	23.4	H	11.19015537	1.40747E-06
			O	88.80984463	7.03734E-07

※ 空気中の主成分 (N₂、O₂ 等々) については考慮せず、中性子への影響が大きい空気中の水分について考慮する。空気中の水分は、飽和水蒸気量とする。各ケースにおける体系温度における飽和水蒸気圧から、その水蒸気量を求める (付録-2.2.17 を参照)。

Table 3.1.2.5 ホウ酸水溶液の原子個数密度 [EPRI NP-196]

計算 ケース	溶液温度 (°C)	水密度 ^{※3} (g/cm ³)	B 含有量 (wppm)	原子個数密度 (atoms/barn · cm) ^{※1}			
				H	O	B-10 ^{※2}	B-11 ^{※2}
epri_01	21.9	0.99779	0.9	6.67082E-02	3.33542E-02	9.82717E-09	4.01839E-08
epri_02	24.51	0.99717	463.8	6.67439E-02	3.34106E-02	5.06347E-06	2.07048E-05
epri_03	18.0	0.99860	0.5	6.67623E-02	3.33812E-02	5.46397E-09	2.23425E-08
epri_04	21.0	0.99799	568.1	6.68162E-02	3.34555E-02	6.20789E-06	2.53844E-05
epri_05	21.925	0.99779	0.9	6.67082E-02	3.33542E-02	9.82717E-09	4.01839E-08
epri_06	23.4	0.99744	285.8	6.67323E-02	3.33900E-02	3.12047E-06	1.27598E-05
epri_07	20.98	0.99800	1.7	6.67224E-02	3.33613E-02	1.85664E-08	7.59189E-08
epri_08	21.9	0.99779	680.9	6.68216E-02	3.34676E-02	7.43986E-06	3.04220E-05
epri_09	22.75	0.99760	0.9	6.66955E-02	3.33478E-02	9.82530E-09	4.01762E-08
epri_10	22.66	0.99762	1090.4	6.68786E-02	3.35303E-02	1.19171E-05	4.87298E-05
epri_11	22.15	0.99774	1.6	6.67050E-02	3.33526E-02	1.74697E-08	7.14345E-08
epri_12	23.4	0.99744	767.25	6.68126E-02	3.34703E-02	8.38115E-06	3.42710E-05

※1 ホウ酸水溶液の原子個数密度の算出については、付録-2.5 を参照。

※2 ホウ素の同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-1.3 を参照)。

B-10 : B-11 = 18.1952wt% : 81.8048wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

文献 [EPRI NP-196⁷⁾ p.8] には、¹⁰B = 19.8 ± 0.1 atom percent の記述があるが、本ベンチマーク計算では、上記の数値を引用する。

※3 水密度は、各計算体系の温度における水密度とする (付録-2.2.16 を参照)。

Table 3.1.2.6 補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [EPRI NP-196]

ケース名	分析時期※1	実験時期※2	考慮期間 (日)	核種名	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	
					初期値 (分析時)	補正值 (実験時)
epri_07	1965/01/01	1976/02/27	4074	Pu-241	2.96728E-06	1.72994E-06
				Am-241	0.00000E+00	1.23734E-06
epri_08	1965/01/01	1976/02/11	4058	Pu-241	2.96728E-06	1.73361E-06
				Am-241	0.00000E+00	1.23367E-06
epri_09	1965/01/01	1975/12/03	3988	Pu-241	2.96728E-06	1.74975E-06
				Am-241	0.00000E+00	1.21753E-06
epri_10	1965/01/01	1975/12/31	4016	Pu-241	2.96728E-06	1.74328E-06
				Am-241	0.00000E+00	1.22400E-06
epri_11	1965/01/01	1976/03/05	4081	Pu-241	2.96728E-06	1.72833E-06
				Am-241	0.00000E+00	1.23895E-06
epri_12	1965/01/01	1976/01/23	4039	Pu-241	2.96728E-06	1.73798E-06
				Am-241	0.00000E+00	1.22931E-06

※1 分析時期：1965/01/01 (January 1965)。

文献 [EPRI NP-196⁷⁾ p.31 FIGURE B-3] より引用

※2 実験時期：文献 [EPRI NP-196⁷⁾ p.2 TABLE I] より引用する。

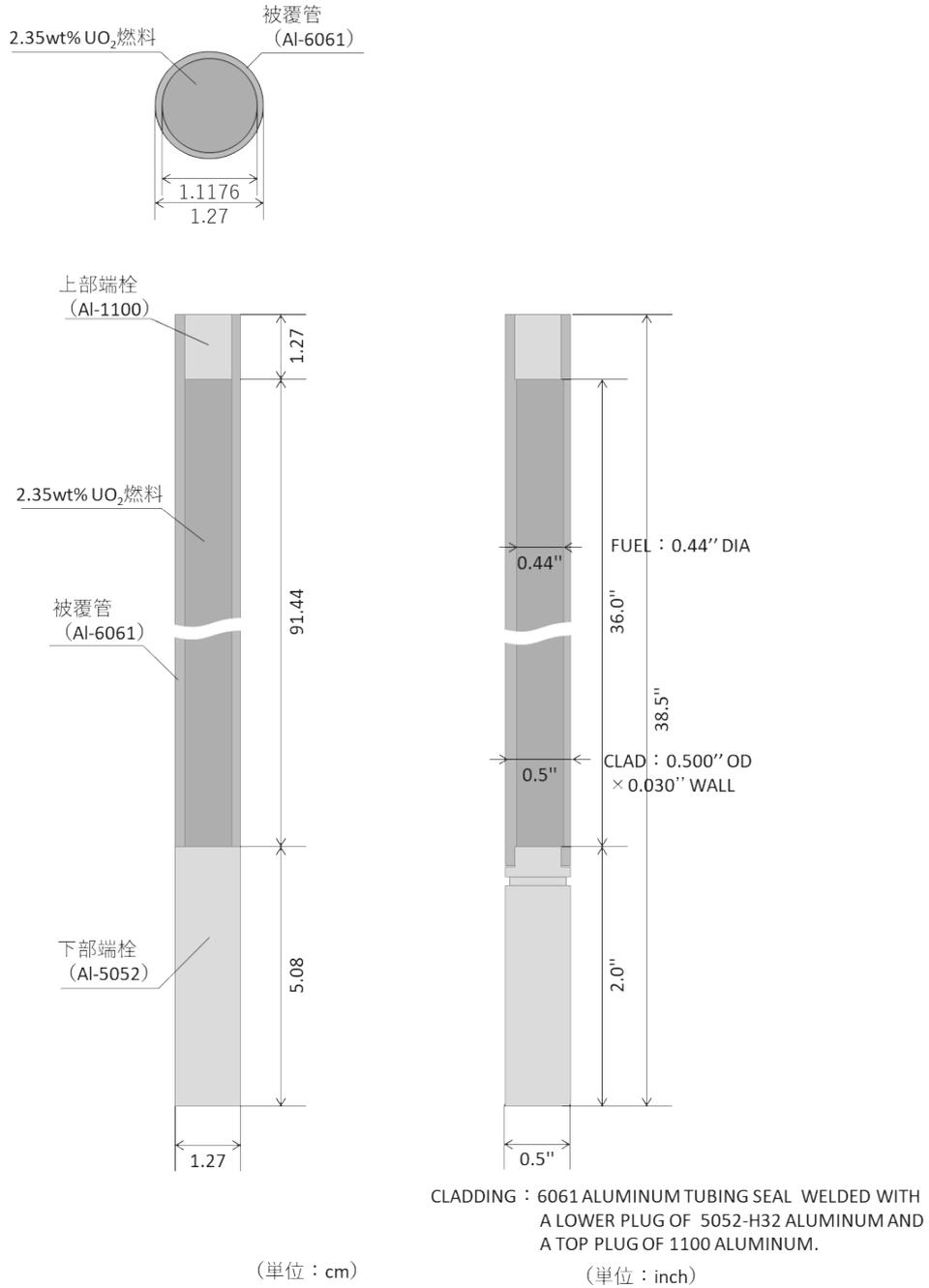


Fig. 3.1.2.1 UO₂-2.35wt%²³⁵U 燃料要素 計算モデル図 [epri_01~06]

燃料密度 : 9.20g/cm³ (84%TD.)
 U濃縮度 (²³⁵U/U) : 2.35±0.05wt%

※ 文献 [EPRI NP-196⁷⁾ FIGURE B-1] より引用する。

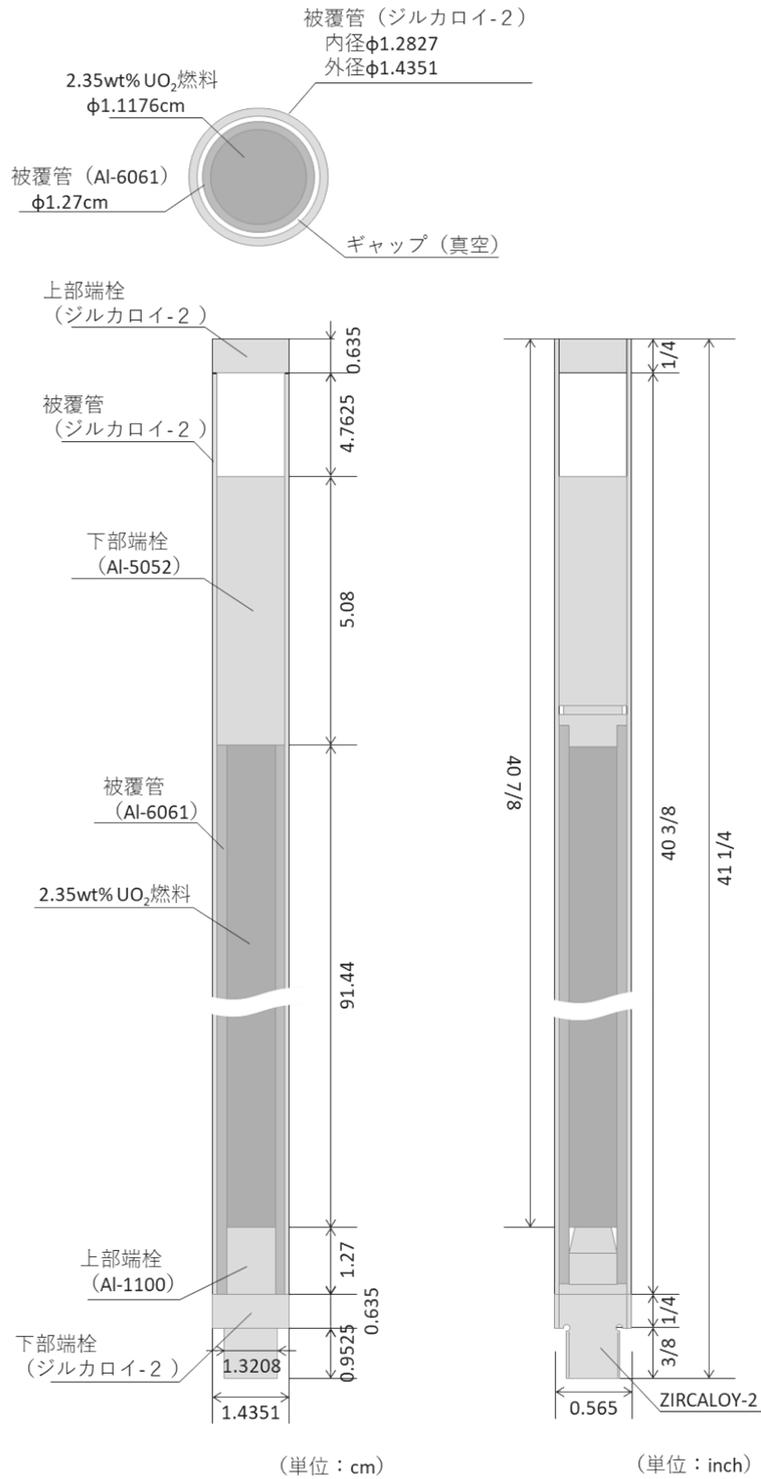
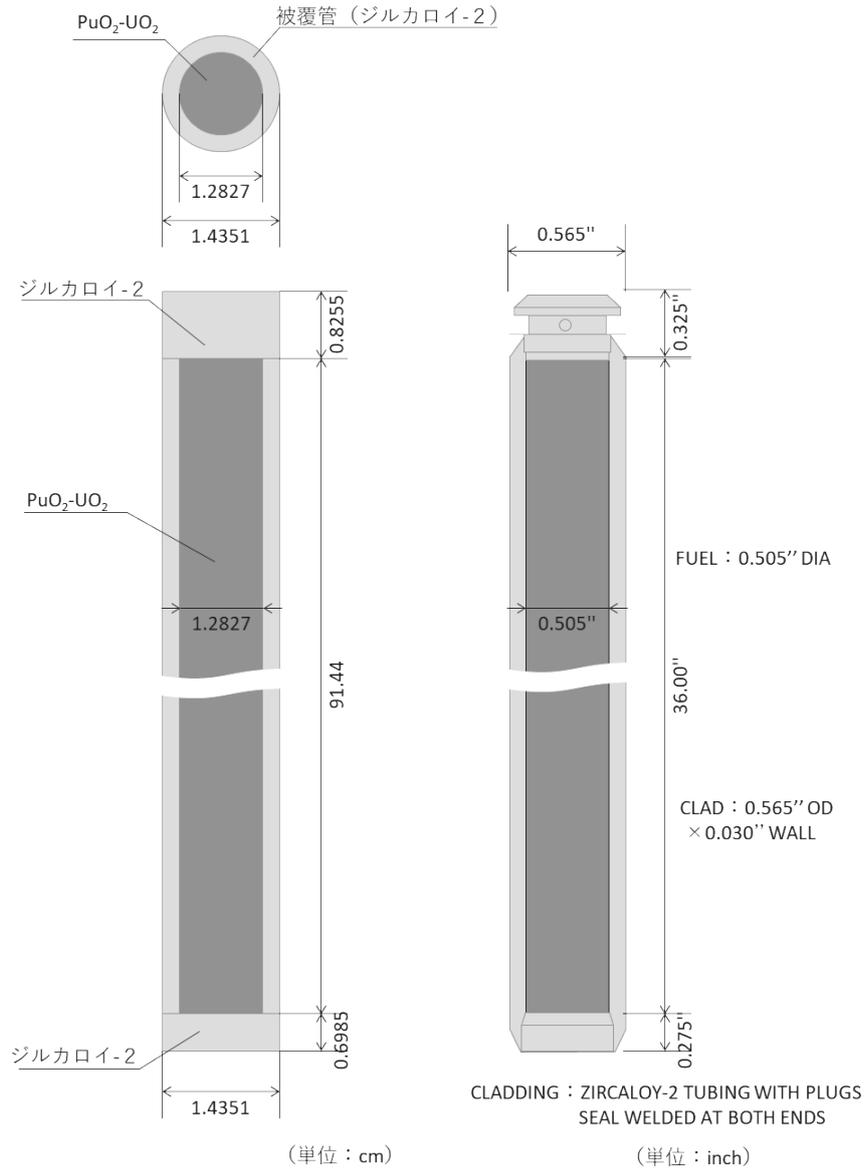


Fig. 3.1.2.2 Mark II Fuel Follower 燃料要素 計算モデル図 [epri_01~06]

※ UO₂-2.35wt%²³⁵U 燃料要素をジルカロイ-2の被覆管で覆った二重被覆管構造。
 ※ 文献 [EPRI NP-196⁷⁾ FIGURE B-2] より引用する。



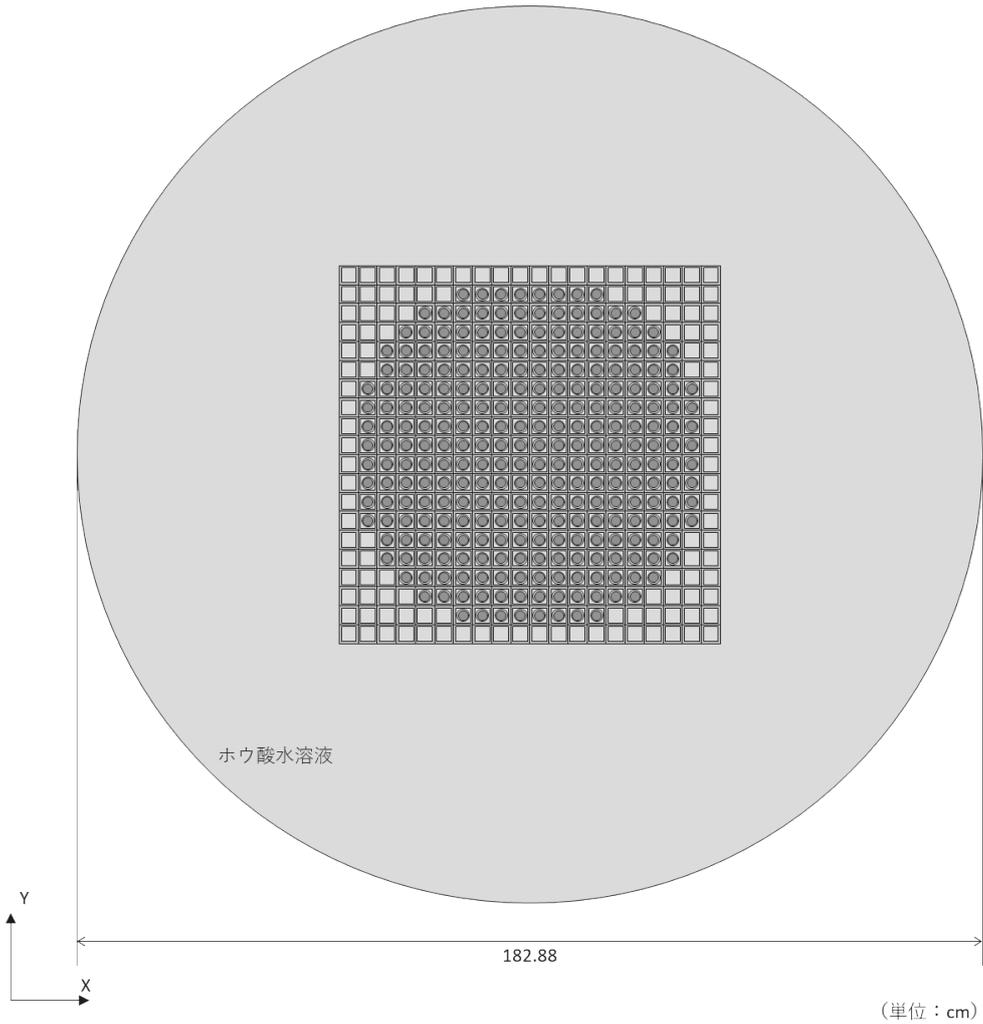
燃料密度 : 9.54g/cm³ (87%TD.)
 PuO₂ 富化度 : 2wt%
²⁴¹Am : not known
 分析時期 : JANUARY 1965
 Pu 同位体組成比 : 8% (NOMINAL) Pu-240

核種	at%	wt%
Pu-239	91.615	91.57897
Pu-240	7.654	7.68305
Pu-241	0.701	0.70660
Pu-242	0.031	0.03138

Fig. 3.1.2.3 UO₂-2wt%PuO₂ 燃料要素 計算モデル図 [epri_07~12]

※ UO₂-2wt%PuO₂ 燃料要素の Follower 燃料要素は、UO₂-2wt%PuO₂ 燃料要素と構造は同じものである。

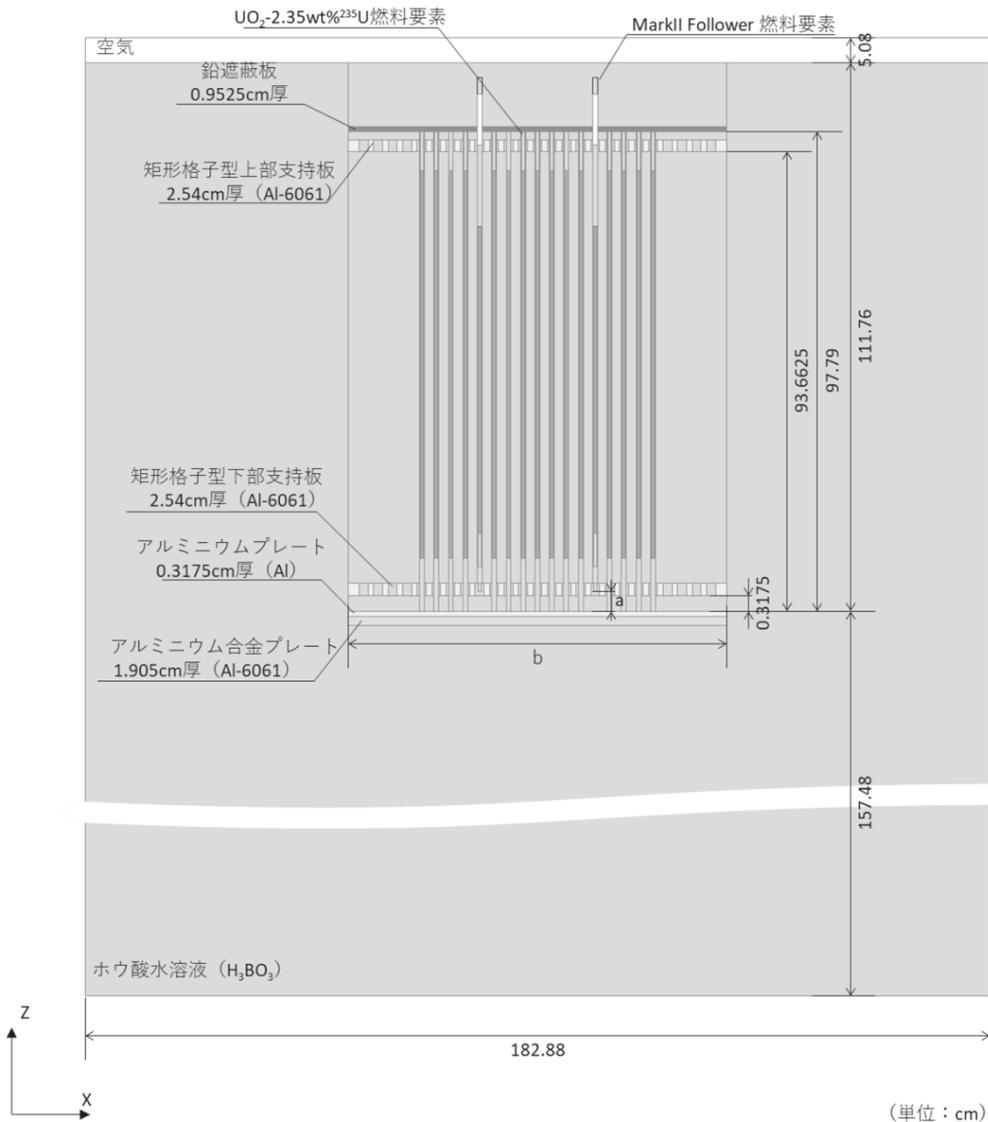
※ 文献 [EPRI NP-196⁷⁾ FIGURE B-3] より引用する。



計算ケース	燃料	ピッチ (cm)	臨界本数	配列数	X-Z 断面図	ピン配列図
epri 01	UO ₂ -2.35wt% ²³⁵ U (U-235 : 2.35wt%)	1.5621	709	49×49	Fig. 3.1.2.5	Fig. 3.1.2.10
epri 02			1201			Fig. 3.1.2.11
epri 03		1.905	383	39×39	Fig. 3.1.2.6	Fig. 3.1.2.12
epri 04			1201			Fig. 3.1.2.13
epri 05		2.2098	342	35×35	Fig. 3.1.2.5	Fig. 3.1.2.14
epri 06			885			Fig. 3.1.2.15
epri 07	UO ₂ -2wt%PuO ₂ (PuO ₂ 富化度 2wt%)	1.778	469	43×43	Fig. 3.1.2.7	Fig. 3.1.2.16
epri 08			761			Fig. 3.1.2.17
epri 09		2.2098	195	35×35		Fig. 3.1.2.18
epri 10			761			Fig. 3.1.2.19
epri 11		2.5146	160	31×31		Fig. 3.1.2.20
epri 12			689			Fig. 3.1.2.21

Fig. 3.1.2.4 燃料要素を用いた実験体系 計算モデル図 (X-Y 断面図) [EPRI NP-196]

※ 文献 [EPRI NP-196⁷⁾ p.3] において、反射体タンク (アルミニウム製、内径6フィート、深さ9フィート) の円筒面にカドミウム被覆材と断熱材が施されているとの記述があるがタンク構造材 (アルミニウム)、被覆材および断熱材の寸法条件の記述が無いので、計算モデルでは省略する。



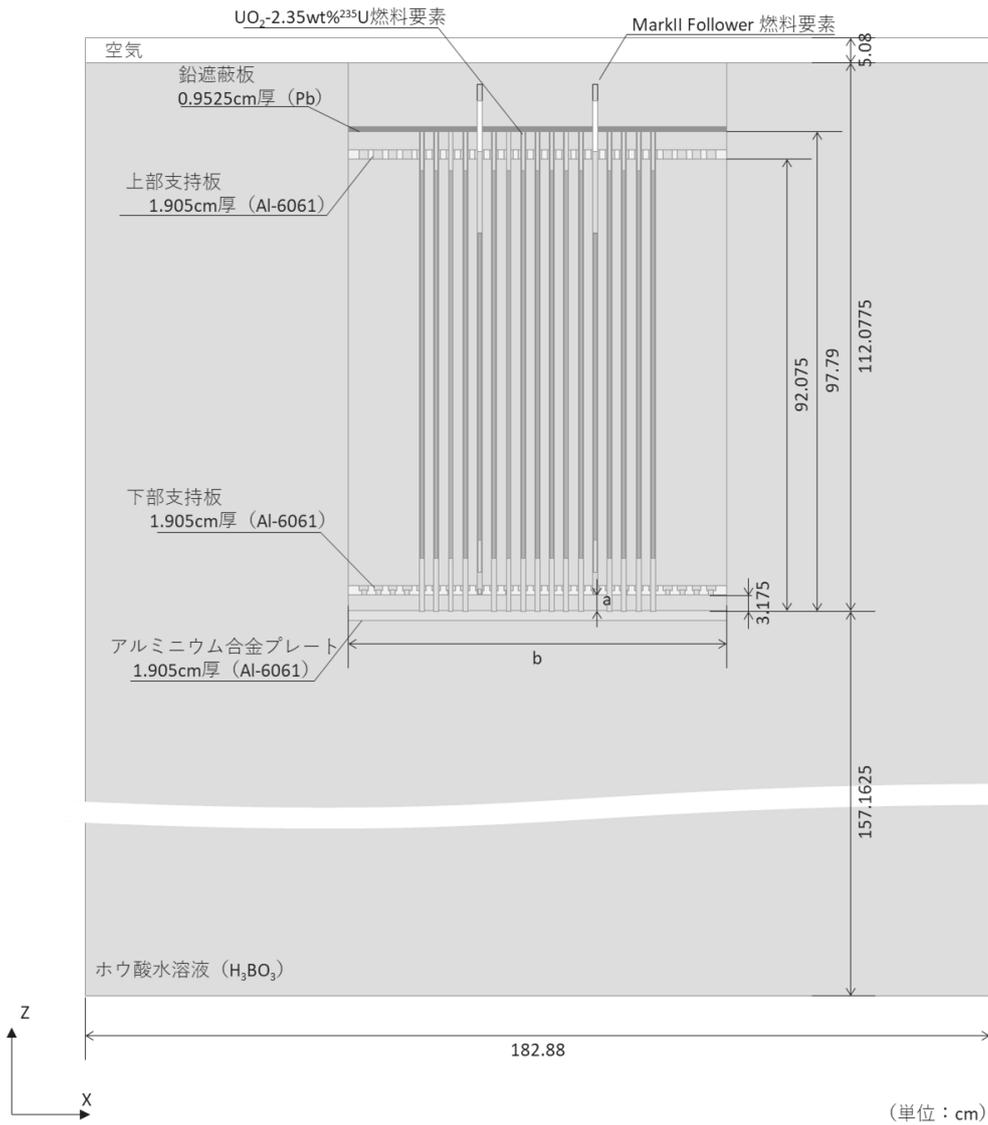
計算ケース	寸法 (cm)			燃料要素配列
	a*	b	燃料要素配列ピッチ	
epri_01、02	1.905	76.5429	1.5621	49×49
epri_05、06	0.0	77.343	2.2098	35×35

※ Mark II Follower 燃料要素においては、下部支持板の格子幅 1.3335cm には、下部端栓先端部 (直径 1.3208cm、高さ 0.9525cm) だけが収まる。矩形格子型支持板については、Fig. 3.1.2.8 を参照。

Fig. 3.1.2.5 UO₂-2.35wt% ²³⁵U 燃料要素を用いた実験体系 計算モデル図 (X-Z 断面図)
(epri_01、02 および epri_05、06)

※ 寸法条件については、文献 [EPRI NP-196⁷⁾ FIGURE A-2] より引用する。

※ 文献 [EPRI NP-196⁷⁾ p.3] において、反射体タンク (アルミニウム製、内径 6 フィート、深さ 9 フィート) の円筒面にカドミウム被覆材と断熱材が施されているとの記述があるが、タンク構造材 (アルミニウム)、被覆材および断熱材の寸法条件の記述が無いため省略する。



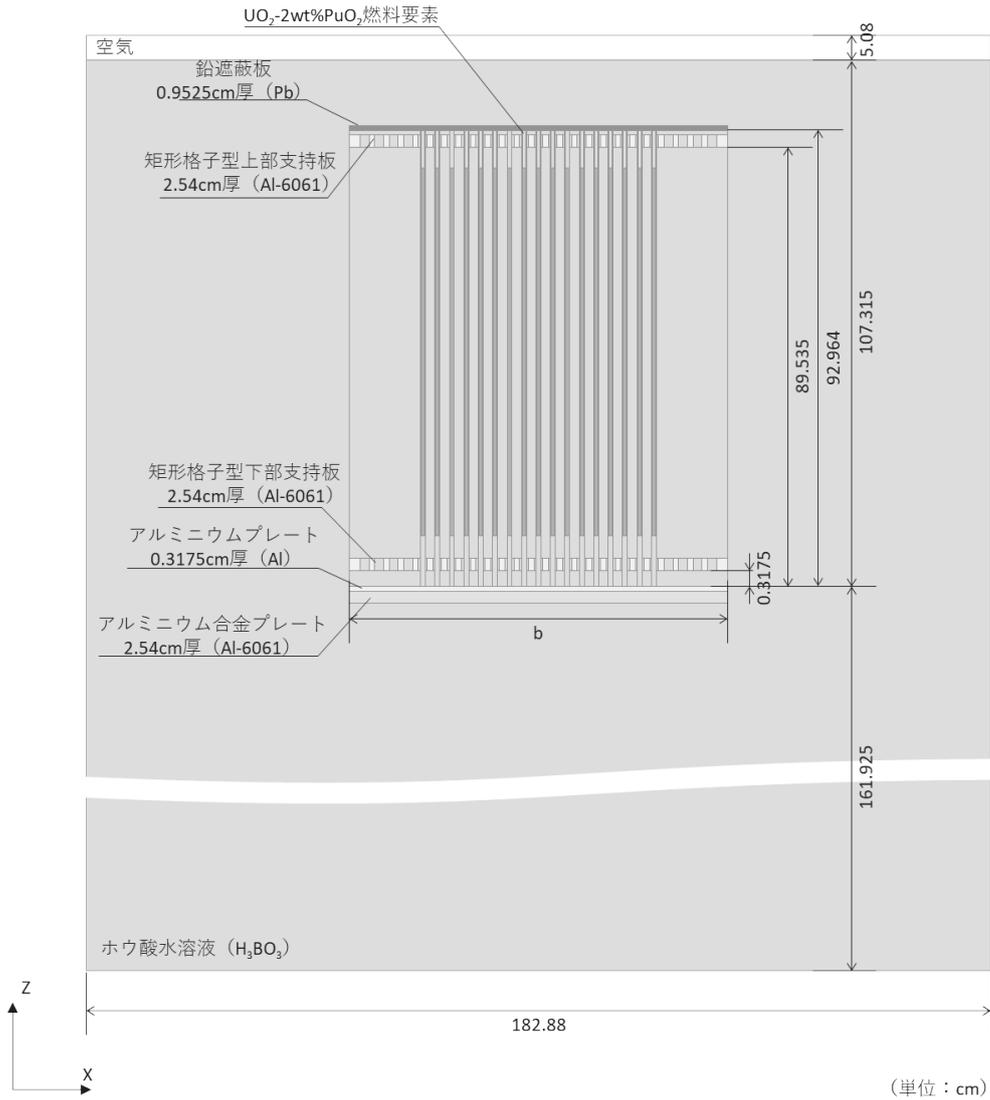
計算ケース	寸法 (cm)			燃料要素配列
	a※	b	燃料要素配列ピッチ	
epri_03、04	3.175	74.295	1.905	39×39

※ Mark II Follower 燃料要素においては、下部支持板には、下部端栓先端部 (直径 1.3208cm、高さ 0.9525cm) が収まる様に設定されている。支持板については、Fig. 3.1.2.9 を参照。

Fig. 3.1.2.6 UO₂-2.35wt%²³⁵U 燃料要素を用いた実験体系 計算モデル図 (X-Z 断面図)
(配列ピッチ 1.905cm)

※ 寸法条件については、文献 [EPRI NP-196⁷⁾ FIGURE A-1] より引用する。

※ 文献 [EPRI NP-196⁷⁾ p.3] において、反射体タンク (アルミニウム製、内径 6 フィート、深さ 9 フィート) の円筒面にカドミウム被覆材と断熱材が施されているとの記述があるが、タンク構造材 (アルミニウム)、被覆材および断熱材の寸法条件の記述が無いため省略する。

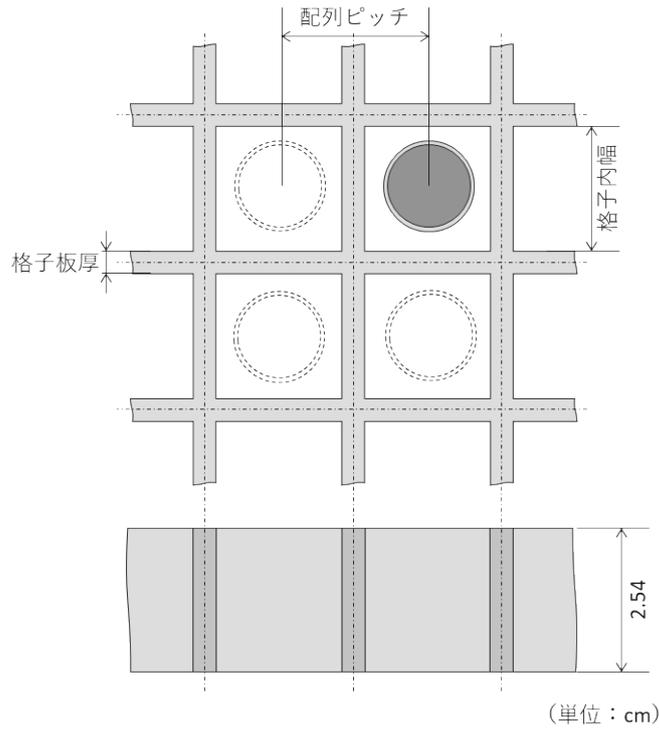


計算ケース	寸法 (cm)		燃料要素配列
	b	ピン配列ピッチ	
epri 07、08	76.454	1.778	43×43
epri 09、10	77.343	2.2098	35×35
epri 11、12	77.9526	2.5146	31×31

※ 矩形格子型支持板については、Fig. 3.1.2.8 を参照

Fig. 3.1.2.7 UO₂-2wt%PuO₂ 燃料要素を用いた実験体系 計算モデル図 (X-Z 断面図)

- ※ 寸法条件については、文献 [EPRI NP-196⁷⁾ FIGURE A-3] より引用する。
- ※ UO₂-2wt%PuO₂ 燃料要素 (PuO₂-UO₂ 燃料要素) でも Follower 燃料要素の装荷位置が記述されているが、両者は全く同一のものであるため区別しない。
- ※文献 [EPRI NP-196⁷⁾ p.3] において、反射体タンク (アルミニウム製、内径 6 フィート、深さ 9 フィート) の円筒面にカドミウム被覆材と断熱材が施されているとの記述があるが、タンク構造材 (アルミニウム)、被覆材および断熱材の寸法条件の記述が無いため省略する。



燃料体系	計算ケース	配列ピッチ (cm)	燃料要素外径 (cm)		格子板厚 (cm)	格子内幅 (cm)
UO ₂ -2.35wt% ²³⁵ U	epri_01	1.5621	1.27/1.4351 ^{※1}	上部支持板	0.08128	1.48082
	epri_02			下部支持板	0.2286	1.3335 ^{※2}
	epri_05	2.2098		上部支持板	0.08128	2.12852
	epri_06			下部支持板	0.2286	1.9812
UO ₂ -2wt%PuO ₂	epri_07	1.778	1.4351	上部支持板	0.3175	1.4605
	epri_08			下部支持板	0.3175	1.4605
	epri_09	2.2098		上部支持板	0.08128	2.12852
	epri_10			下部支持板	0.08128	2.12852
	epri_11	2.5146		上部支持板	0.3175	2.1971
	epri_12			下部支持板	0.3175	2.1971

※1 UO₂-2.35wt%²³⁵U 燃料要素外径 1.27cm、Mark II Follower 燃料要素外径 1.4351cm である。

※2 Mark II Follower 燃料要素においては、下部支持板の格子幅 1.3335cm には、下部端栓先端部（直径 1.3208cm、長さ 0.9525cm）だけが収まる。

Fig. 3.1.2.8 燃料要素矩形格子型支持板 [epri_01~02、epri_05~12]

※ 寸法条件については、文献 [EPRI NP-196⁷⁾ FIGURE A-5] より引用する。

※ 矩形格子型支持板の材質は Al-6061 である。

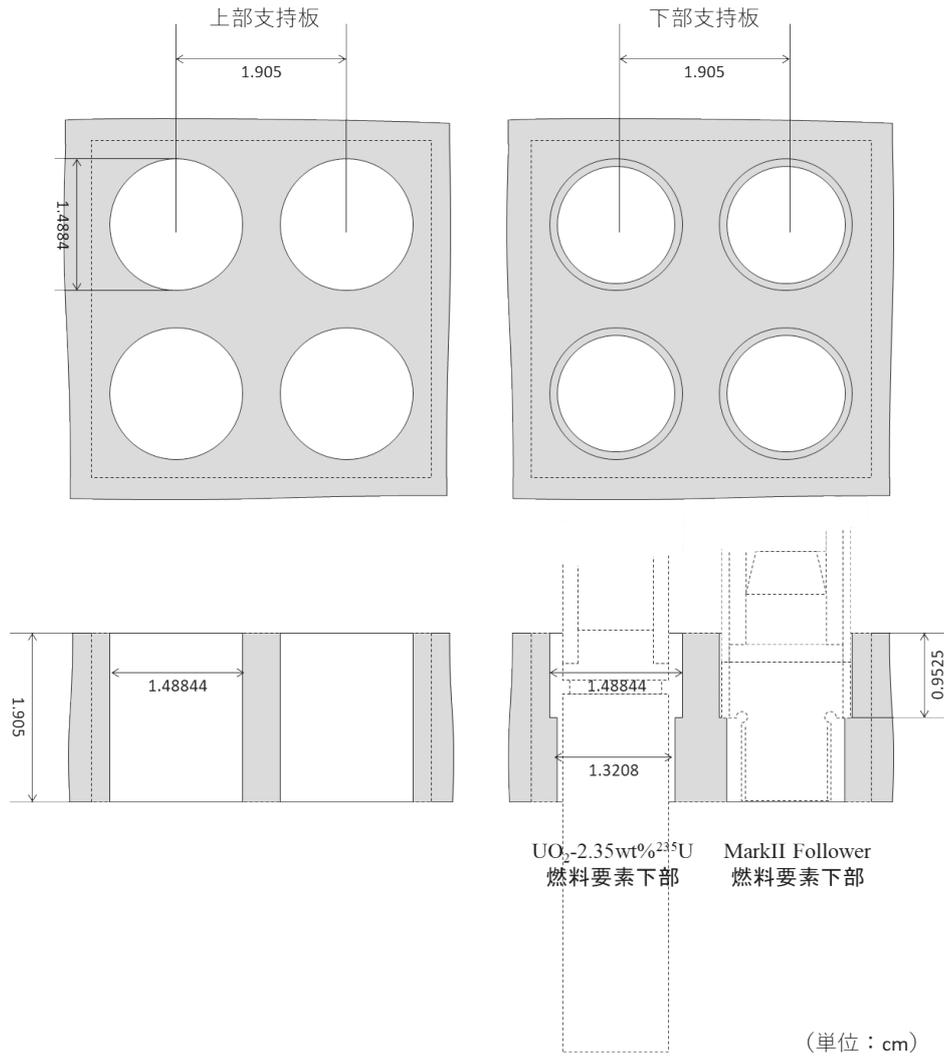
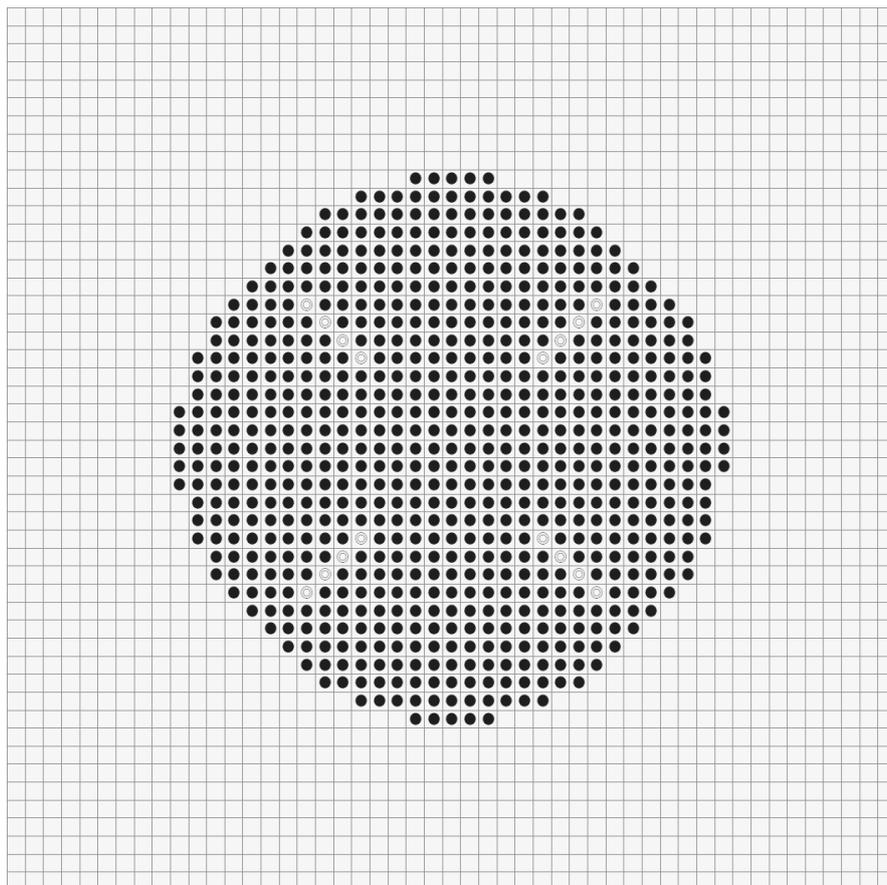


Fig. 3.1.2.9 燃料要素支持板（配列ピッチ 1.905cm） [epri_03~04]

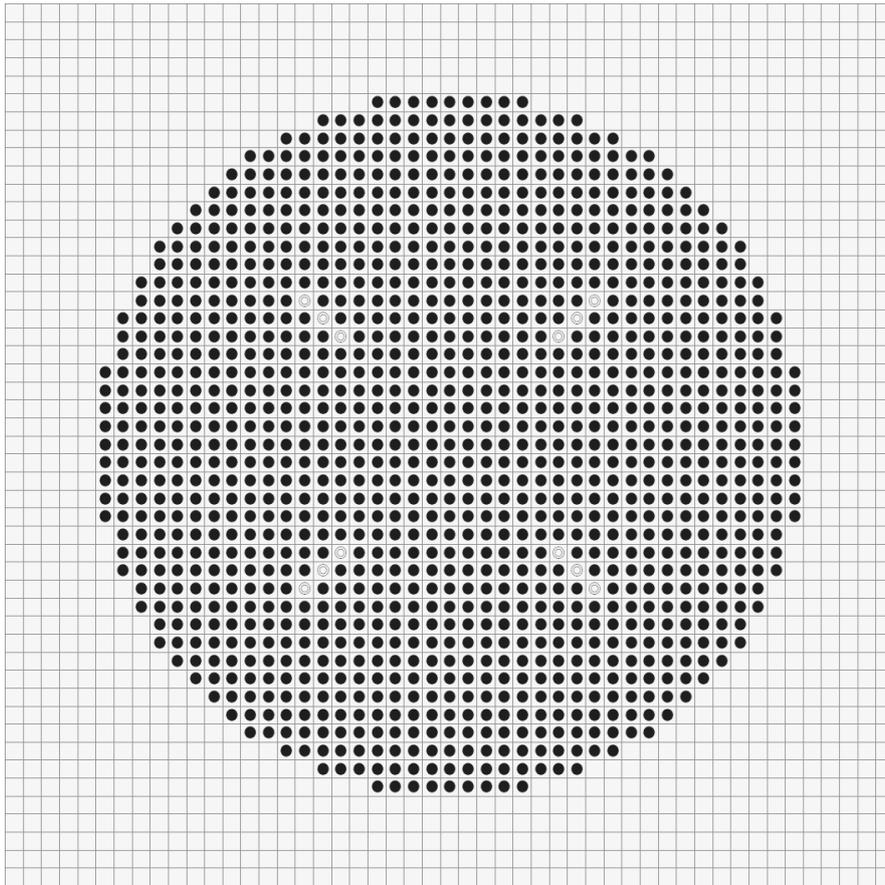
- ※ 下部支持板においては、Mark II Follower 燃料要素下部端栓形状が支持板に収まるように設計されている。
- ※ 寸法条件については、文献 [EPRI NP-196⁷⁾ FIGURE A-4] より引用する。
- ※ 支持板の材質は、Al-6061 である。



● : UO₂-2.35wt%²³⁵U燃料要素
 ◎ : MarkII Fuel Follower燃料要素

計算ケース :	epri_01	
配列ピッチ (cm) :	1.5621	
配列 :	49×49	
臨界本数 :	UO ₂ -2.35wt% ²³⁵ U 燃料要素	692
	MarkII Fuel Follower 燃料要素	16
温度 (°C) :	21.90	
実験時期 :	1975/11/04	

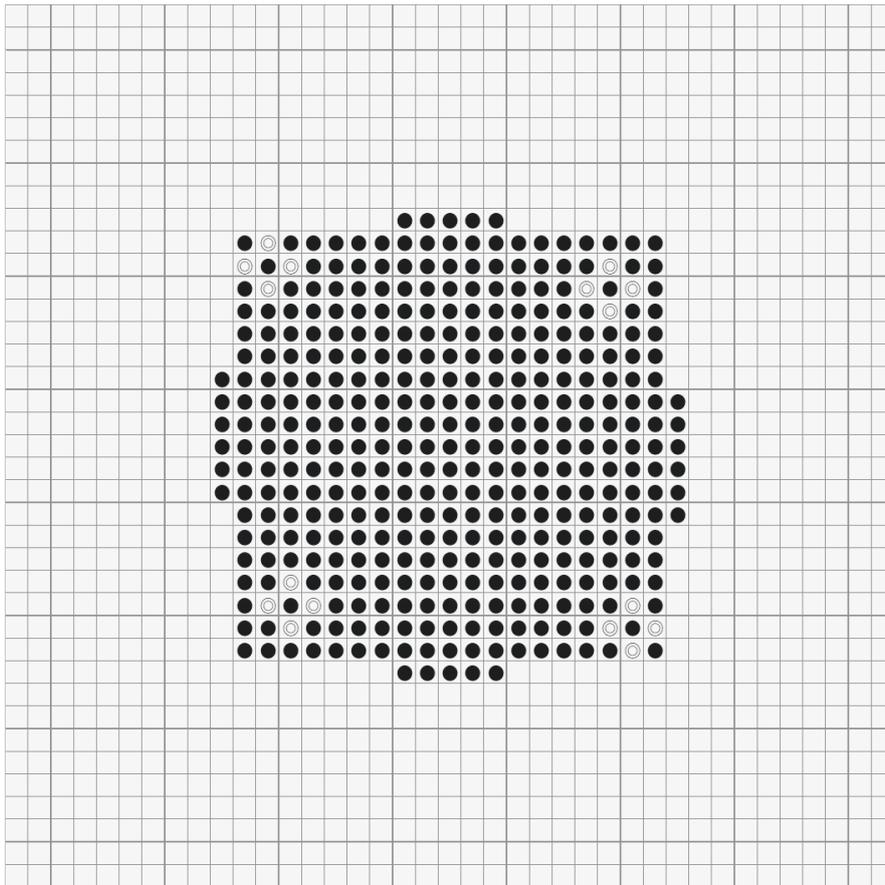
Fig. 3.1.2.10 燃料要素配列図 [計算ケース : epri_01、実験番号 01]



● : UO₂-2.35wt%²³⁵U燃料要素
 ◎ : MarkII Fuel Follower燃料要素

計算ケース :	epri_02	
配列ピッチ (cm) :	1.5621	
配列 :	49×49	
臨界本数 :	UO ₂ -2.35wt% ²³⁵ U 燃料要素	1189
	MarkII Fuel Follower 燃料要素	12
温度 (°C) :	24.51	
実験時期 :	1975/08/19	

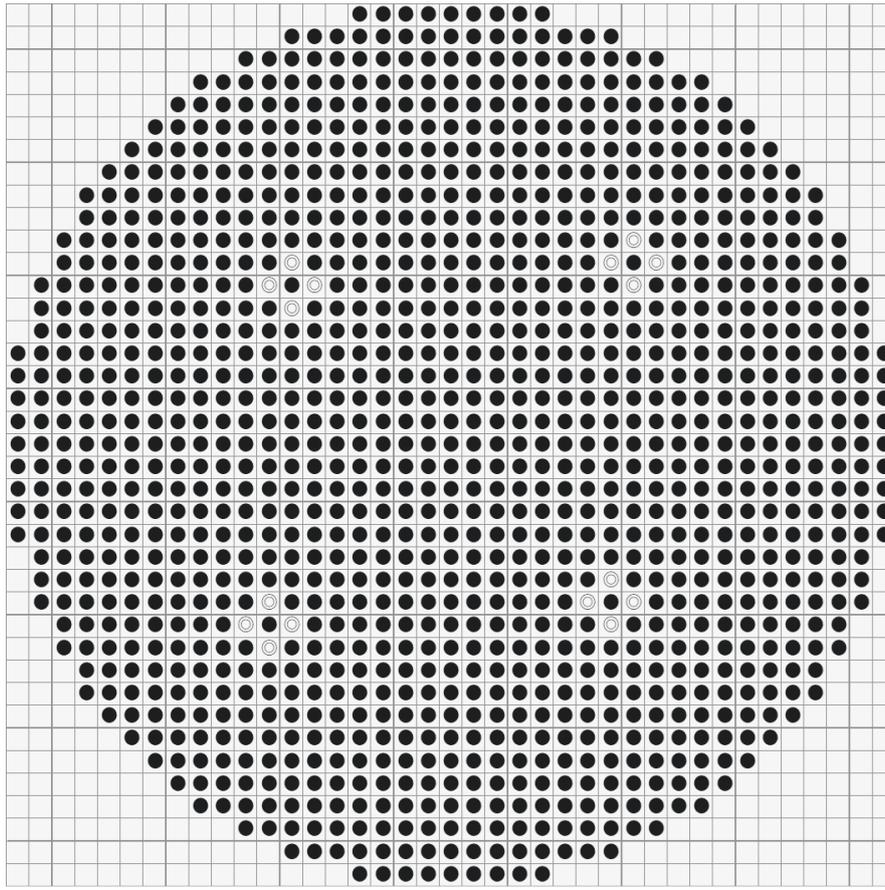
Fig. 3.1.2.11 燃料要素配列図 [計算ケース : epri_02、実験番号 02]



● : UO₂-2.35wt%²³⁵U燃料要素
 ○ : MarkII Fuel Follower燃料要素

計算ケース :	epri_03	
配列ピッチ (cm) :	1.905	
配列 :	39×39	
臨界本数 :	UO ₂ -2.35wt% ²³⁵ U 燃料要素	367
	MarkII Fuel Follower 燃料要素	16
温度 (°C) :	18.0	
実験時期 :	1975/05/02	

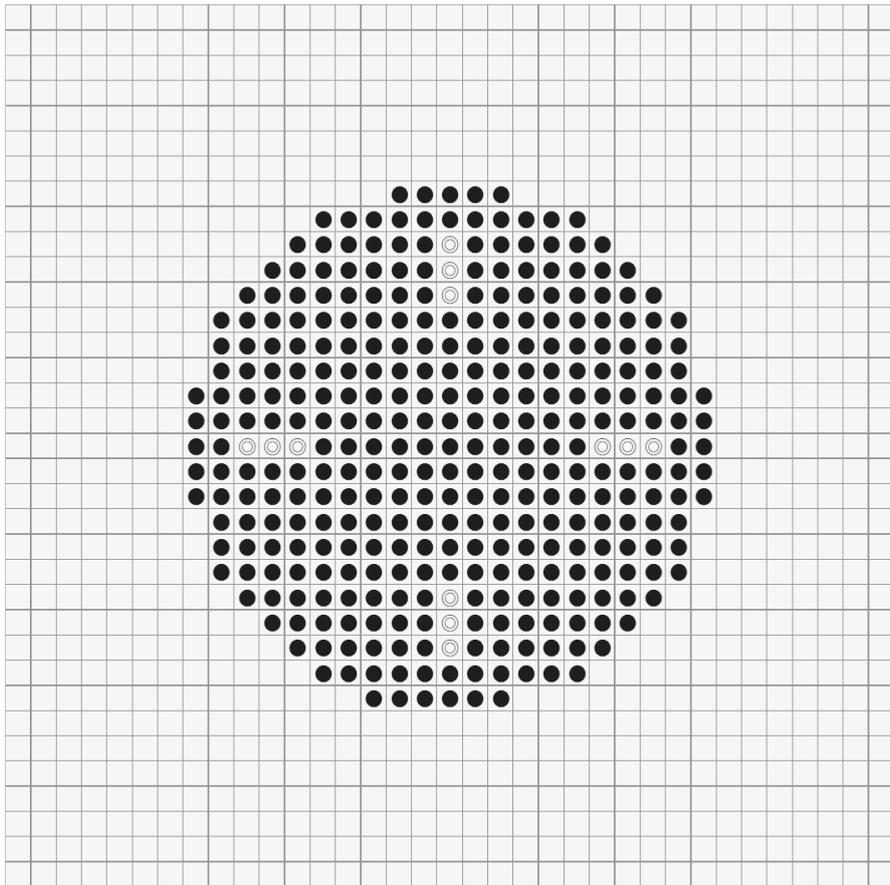
Fig. 3.1.2.12 燃料要素配列図 [計算ケース : epri_03、実験番号 03]



● : $\text{UO}_2\text{-}2.35\text{wt}\%^{235}\text{U}$ 燃料要素
 ◎ : MarkII Fuel Follower燃料要素

計算ケース :	epri_04	
配列ピッチ (cm) :	1.905	
配列 :	39×39	
臨界本数 :	$\text{UO}_2\text{-}2.35\text{wt}\%^{235}\text{U}$ 燃料要素	1185
	MarkII Fuel Follower 燃料要素	16
温度 (°C) :	21.0	
実験時期 :	1975/05/15	

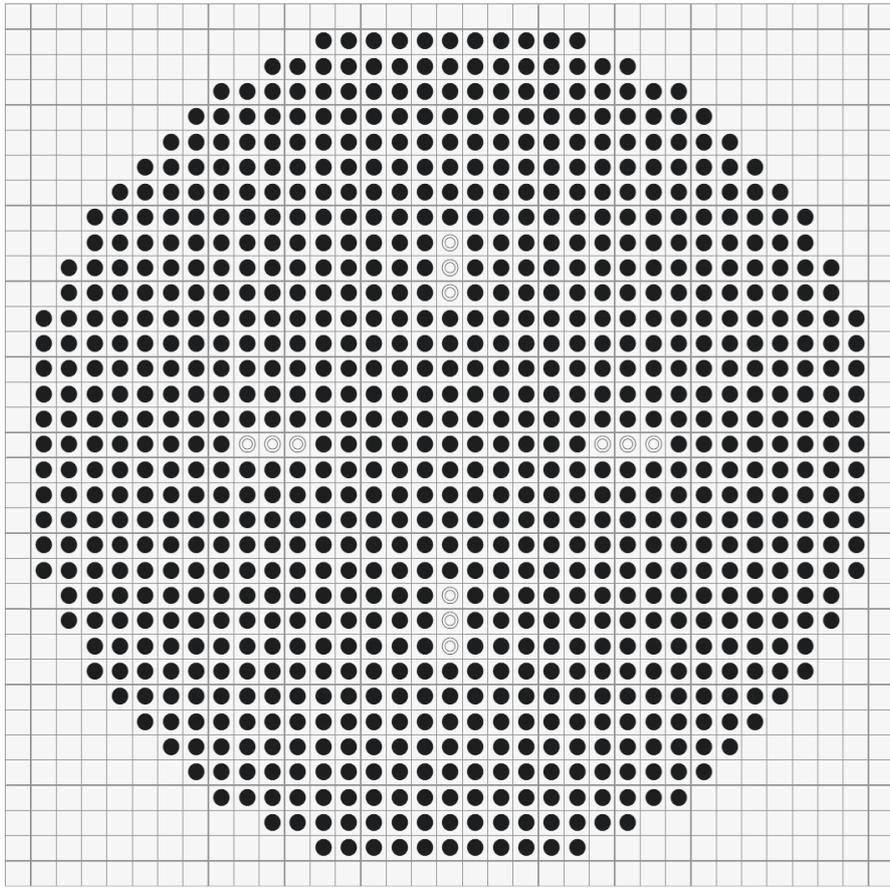
Fig. 3.1.2.13 燃料要素配列図 [計算ケース : epri_04、実験番号 04]



● : $\text{UO}_2\text{-}2.35\text{wt}\%^{235}\text{U}$ 燃料要素
 ◎ : MarkII Fuel Follower燃料要素

計算ケース :	epri_05	
配列ピッチ (cm) :	2.2098	
配列 :	35×35	
臨界本数 :	$\text{UO}_2\text{-}2.35\text{wt}\%^{235}\text{U}$ 燃料要素	330
	MarkII Fuel Follower 燃料要素	12
温度 (°C) :	21.925	
実験時期 :	1975/10/15	

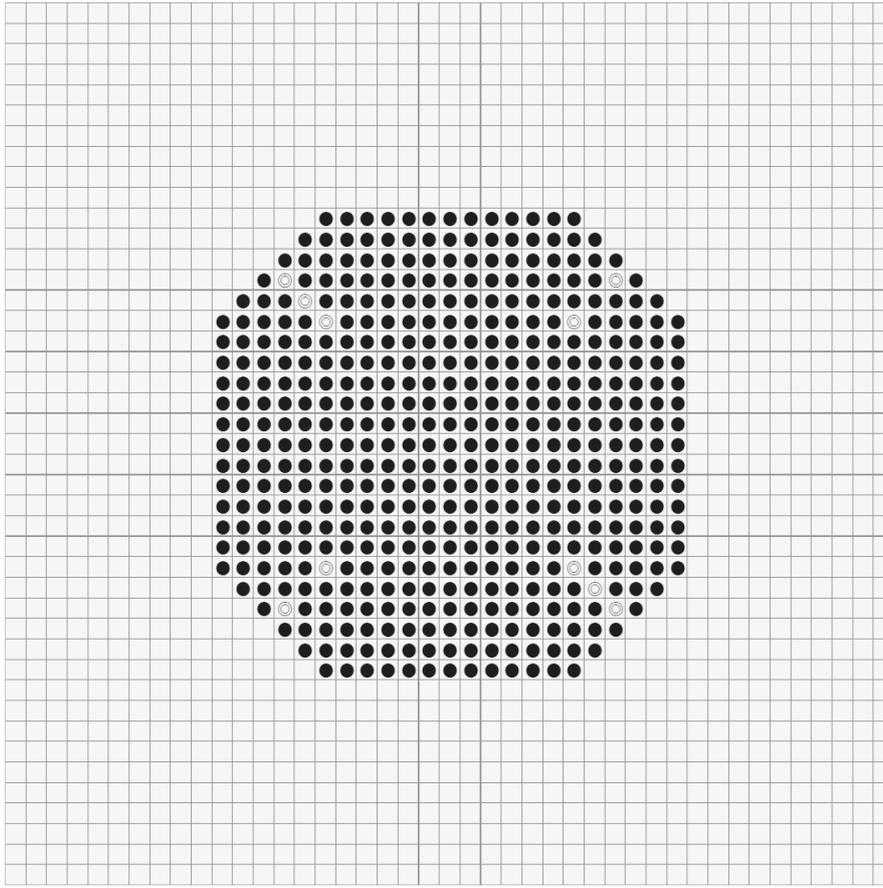
Fig. 3.1.2.14 燃料要素配列図 [計算ケース : epri_05、実験番号 05]



● : UO₂-2.35wt%²³⁵U燃料要素
 ◎ : MarkII Fuel Follower燃料要素

計算ケース :	epri_06	
配列ピッチ (cm) :	2.2098	
配列 :	35×35	
臨界本数 :	UO ₂ -2.35wt% ²³⁵ U 燃料要素	873
	MarkII Fuel Follower 燃料要素	12
温度 (°C) :	23.4	
実験時期 :	1975/09/26	

Fig. 3.1.2.15 燃料要素配列図 [計算ケース : epri_06、実験番号 06]

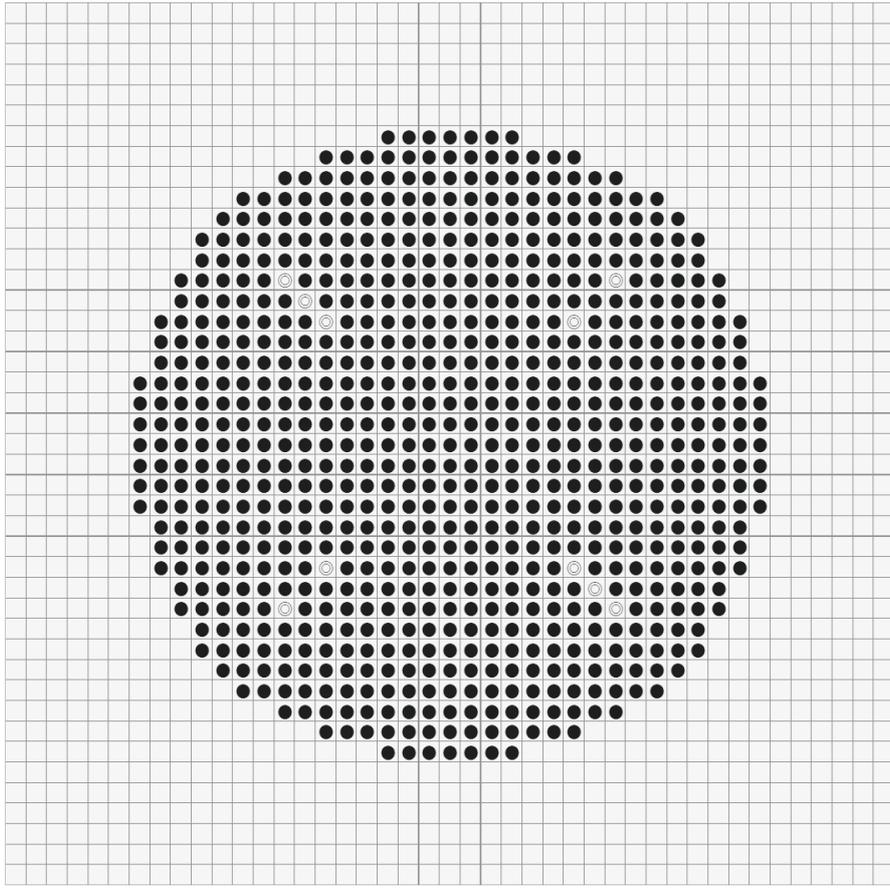


● : $\text{UO}_2\text{-2wt\%PuO}_2$ 燃料要素
 ◎ : Follower燃料要素

計算ケース :	epri_07	
配列ピッチ (cm) :	1.778	
配列 :	43×43	
臨界本数 :	$\text{UO}_2\text{-2wt\%PuO}_2$ 燃料要素	459
	Follower 燃料要素※	10
温度 (°C) :	20.98	
実験時期 :	1976/02/27	

※Follower 燃料要素は $\text{UO}_2\text{-2wt\%PuO}_2$ 燃料要素と同型であるため区別しない。

Fig. 3.1.2.16 燃料要素配列図 [計算ケース : epri_07、実験番号 07]

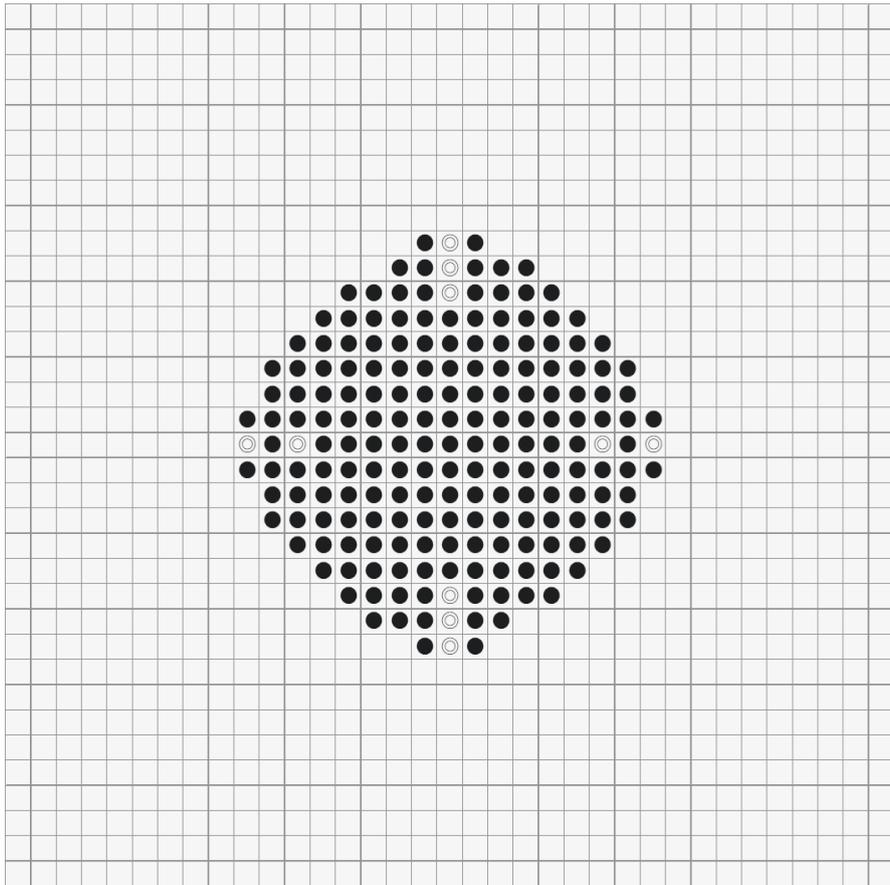


● : UO₂-2wt%PuO₂燃料要素
 ◎ : Follower燃料要素

計算ケース :	epri_08	
配列ピッチ (cm) :	1.778	
配列 :	43×43	
臨界本数 :	UO ₂ -2wt%PuO ₂ 燃料要素	751
	Follower 燃料要素*	10
温度 (°C) :	21.9	
実験時期 :	1976/02/11	

※Follower 燃料要素は UO₂-2wt%PuO₂ 燃料要素と同型であるため区別しない。

Fig. 3.1.2.17 燃料要素配列図 [計算ケース : epri_08、実験番号 08]

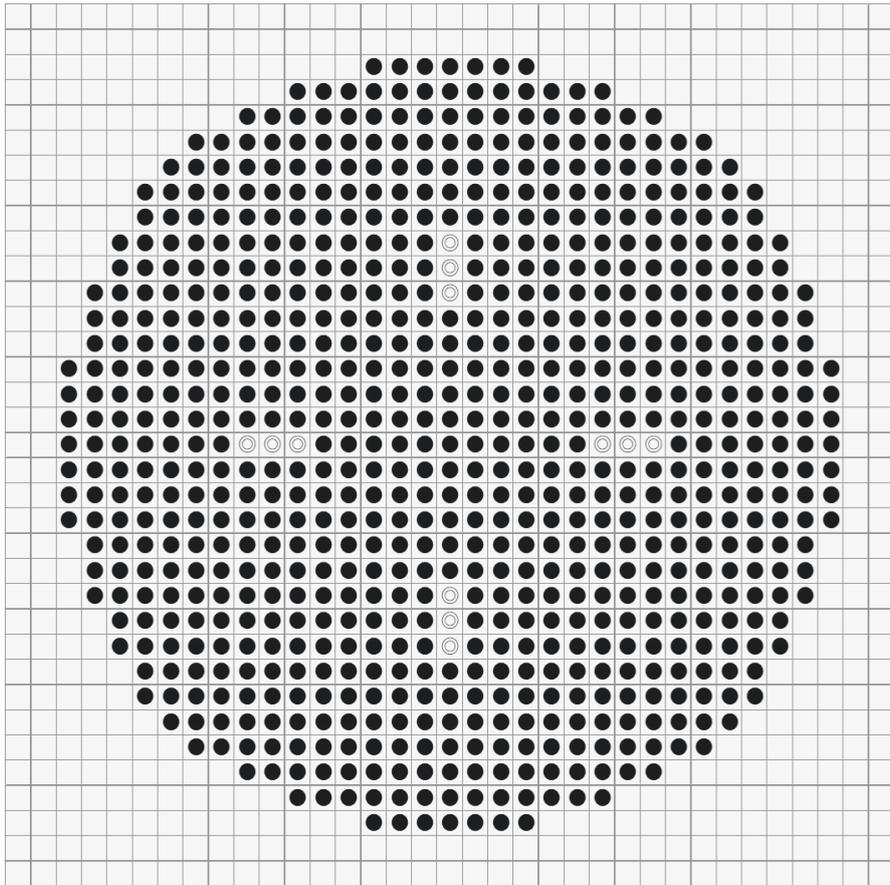


● : $\text{UO}_2\text{-2wt\%PuO}_2$ 燃料要素
 ◎ : Follower燃料要素

計算ケース :	epri_09	
配列ピッチ (cm) :	2.2098	
配列 :	35×35	
臨界本数 :	$\text{UO}_2\text{-2wt\%PuO}_2$ 燃料要素	185
	Follower 燃料要素※	10
温度 (°C) :	22.75	
実験時期 :	1975/12/03	

※Follower 燃料要素は $\text{UO}_2\text{-2wt\%PuO}_2$ 燃料要素と同型であるため区別しない。

Fig. 3.1.2.18 燃料要素配列図 [計算ケース : epri_09、実験番号 09]

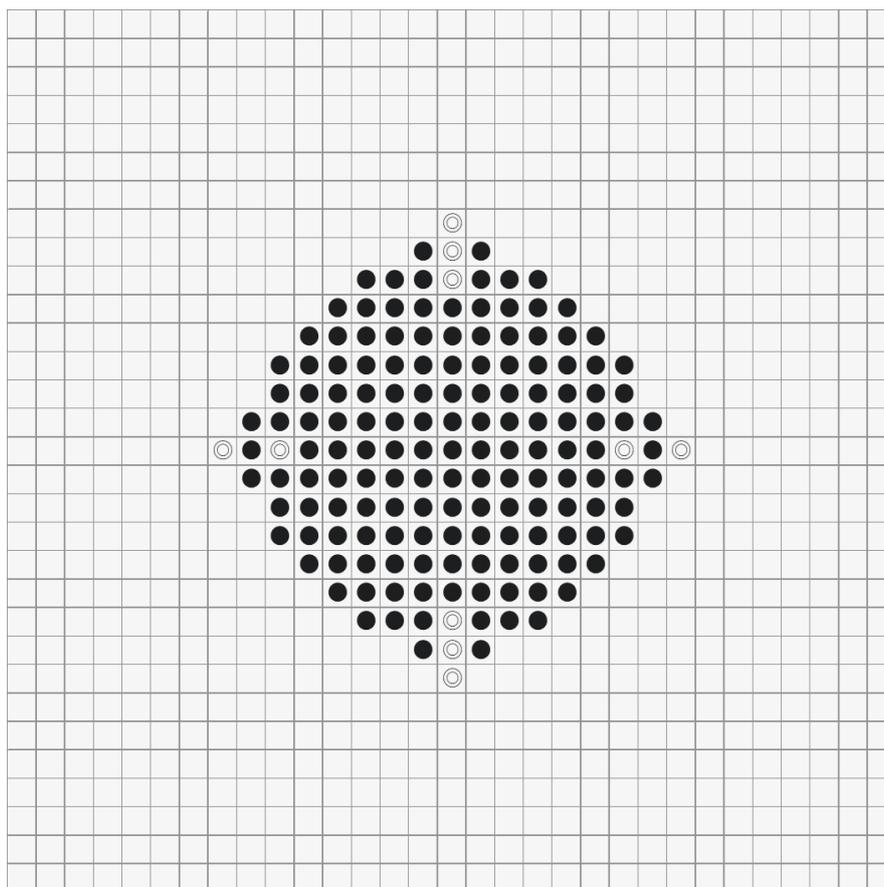


● : UO₂-2wt%PuO₂燃料要素
 ◎ : Follower燃料要素

計算ケース :	epri_10	
配列ピッチ (cm) :	2.2098	
配列 :	35×35	
臨界本数 :	UO ₂ -2wt%PuO ₂ 燃料要素	749
	Follower 燃料要素*	12
温度 (°C) :	22.66	
実験時期 :	1975/12/31	

*Follower 燃料要素は UO₂-2wt%PuO₂ 燃料要素と同型であるため区別しない。

Fig. 3.1.2.19 燃料要素配列図 [計算ケース : epri_10、実験番号 10]

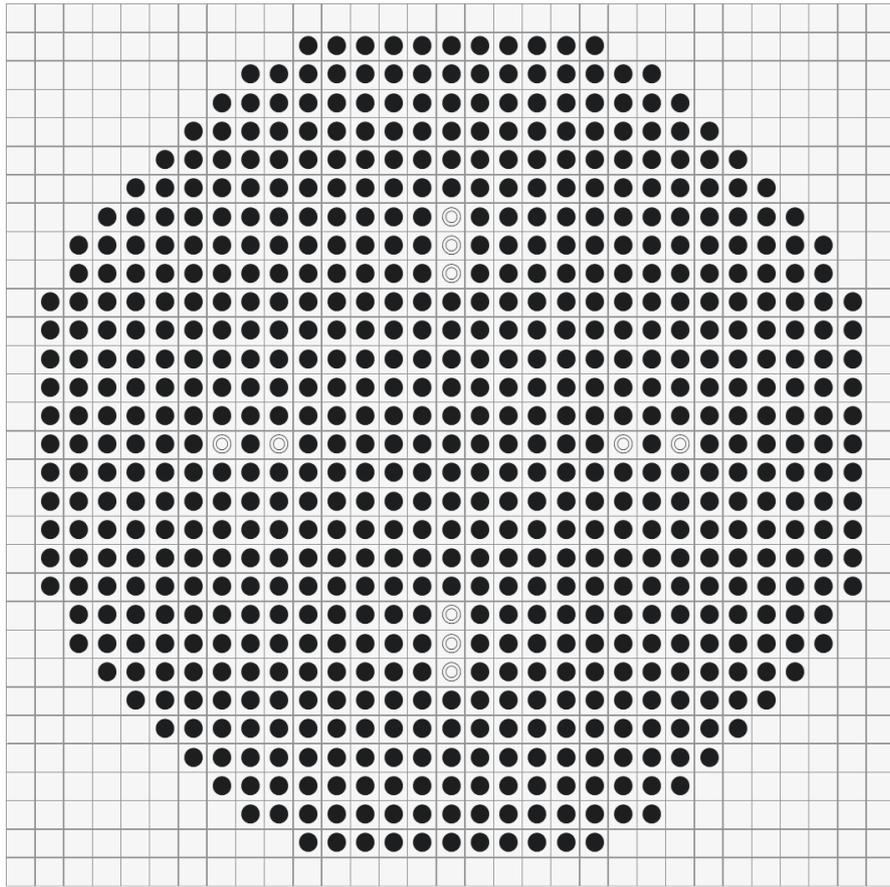


● : UO_2 -2wt% PuO_2 燃料要素
○ : Follower燃料要素

計算ケース :	epri_11	
配列ピッチ (cm) :	2.5146	
配列 :	31×31	
臨界本数 :	UO_2 -2wt% PuO_2 燃料要素	151
	Follower 燃料要素*	10
温度 (°C) :	22.15	
実験時期 :	1976/03/05	

※Follower 燃料要素は UO_2 -2wt% PuO_2 燃料要素と同型であるため区別しない。

Fig. 3.1.2.20 燃料要素配列図 [計算ケース : epri_11、実験番号 11]



● : UO₂-2wt%PuO₂燃料要素
◎ : Follower燃料要素

計算ケース :	epri_12	
配列ピッチ (cm) :	2.5146	
配列 :	31×31	
臨界本数 :	UO ₂ -2wt%PuO ₂ 燃料要素	679
	Follower 燃料要素*	10
温度 (°C) :	13.4	
実験時期 :	1976/01/23	

*Follower 燃料要素は UO₂-2wt%PuO₂燃料要素と同型であるため区別しない。

Fig. 3.1.2.21 燃料要素配列図 [計算ケース : epri_12、実験番号 12]

3.1.3 JAERI 1254

この実験では、日本原子力研究所の軽水臨界実験装置（TCA）を用いて実施され、 ^{235}U 濃縮度 2.6wt%の UO_2 燃料要素を用いた実験と $\text{PuO}_2\text{-U(NAT)O}_2$ 混合燃料を用いた 2 種類の燃料要素を用いた実験が実施された。

このうち、 $\text{PuO}_2\text{-U(NAT)O}_2$ 混合燃料を用いた 86 ケースを計算対象とする（文献 [JAERI 1254⁸] に記載された実験ケースは 88 ケースであるが、そのうち 2 ケースについては他のケースと実験条件が重複するため評価対象外とする）。

また、文献 [JAERI 1254⁸] では、反射体・減速材にホウ酸水溶液（ホウ素 72~554ppm）を用いた実験が実施されているが、 UO_2 燃料要素を用いた実験であり、MOX 燃料要素を用いた実験でないため、評価対象外とする。

実験は、タンク内に燃料要素を格子配列で設置し、減速材と反射体を兼ねた軽水をタンク内に順次注入し、臨界となる水位を測定している。

Table 3.1.3.1 に臨界実験データを示す（86+2 ケース）。

Fig. 3.1.3.1 に計算モデル図（X-Y 断面）を示す。

図中の格子配列ピッチ a 、横方向配列燃料要素の本数 m および横方向配列燃料要素の本数 n については、Table 3.1.3.1 の格子配列ピッチ a 、配列数 横 m および配列数 縦 n に対応する。

Fig. 3.1.3.2 に計算モデル図（X-Z 断面）を示す。

図中の臨界水位 H_f は、Table 3.1.3.1 の臨界水位 H_f に対応する。

水が注入されたタンク（SUS304L ステンレス製、内径 183.2cm、内高さ 207.8cm、厚さ 0.5cm）内に設置された 3 枚のグリッド板（アルミニウム製、外径 137.2cm 厚さ 0.7cm）により、燃料要素は等間隔の正方格子配列が維持されている。燃料要素の格子配列ピッチは、実験により異なり、それぞれ、1.825cm、1.956cm、2.225cm、2.474cm の 4 ケースである。

燃料要素配列の基部には、アルミニウム製の燃料サポート板（1.27cm 厚）が設置されている。

本ベンチマーク計算では、燃料要素配列、グリッド板 3 枚、燃料サポート板および減速材・反射体（水）、ステンレス製タンクまでをモデル化する。また、タンク下には十分な厚さ（30cm）のコンクリートを設定する。タンク内の水位より上の空間は空気雰囲気とする。

計算モデルの外側境界条件は真空として設定する。

Fig. 3.1.3.3 に燃料要素の計算モデル図を示す。

Table 3.1.3.2 に燃料要素の諸元を示す。

Table 3.1.3.3 に計算に用いた物質の原子個数密度を示す。

Table 3.1.3.4 に補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度を示す。

Pu-241 の放射性壊変（ β 崩壊）により、Pu-241 および Am-241 の原子個数密度は、時間の経過とともに Pu-241 は減じ Am-241 は増加する。このため、分析時期と実験時期との期間を考慮して、Pu-241、Am-241 の原子個数密度を補正する（付録-3 を参照）。

本実験が記載された文献 [JAERI 1254⁸⁾] においては、温度条件の記載が無い場合、計算に際し、実験装置全体を 20°C に設定する。

Table 3.1.3.1 臨界実験データおよび計算ケース [JAERI 1254] [1/2]

計算ケース	格子名	配列ピッチ a (cm)	ピン配列パターン			臨界水位 Hf (cm)	実験時期
			パターン 番号	配列数横 m (本)	配列数縦 n (本)		
jaeri_01	2.42PU H/Pu=402	1.825	24	22	22	69.41	1972/06/05
jaeri_02			25	22	23	64.00	1972/06/07
jaeri_03						65.28	1972/11/08
jaeri_04						69.57	1974/05/14
jaeri_05			26	23	23	59.55	1972/06/07
jaeri_06						61.95	1973/05/14
jaeri_07						61.88	1973/05/14
jaeri_08						61.86	1973/05/14
jaeri_09						64.06	1974/05/14
jaeri_10						66.46	1975/05/16
jaeri_11						56.26	1972/06/07
jaeri_12			27	23	24	60.06	1974/05/14
jaeri_13						62.06	1975/05/16
jaeri_14			28	24	24	53.30	1972/06/07
jaeri_15						55.02	1973/05/14
jaeri_16						56.68	1974/05/14
jaeri_17						58.36	1975/05/16
jaeri_18	2.98PU H/Pu=494	1.956	21	20	21	67.10	1972/05/18
jaeri_19			22	21	21	61.50	1972/05/18
jaeri_20						63.35	1972/12/06
jaeri_21						63.63	1973/02/07
jaeri_22						64.00	1973/03/15
jaeri_23						64.12	1973/04/05
jaeri_24						64.10	1973/04/06
jaeri_25						64.39	1973/05/22
jaeri_26						64.41	1973/05/23
jaeri_27*						64.41	1973/05/23
jaeri_28						65.54	1973/06/06
jaeri_29						66.87	1974/05/28
jaeri_30			69.40	1975/05/21			
jaeri_31			23	21	22	57.38	1972/05/18
jaeri_32						59.88	1973/05/22
jaeri_33						60.85	1973/06/06
jaeri_34						61.92	1974/05/28
jaeri_35						63.88	1975/05/21
jaeri_36						56.88	1973/06/06
jaeri_37						57.83	1974/05/28
jaeri_38						59.49	1975/05/21
jaeri_39			24	22	22	54.72	1974/05/28
jaeri_40						56.11	1975/05/21
jaeri_41						51.94	1974/05/28
jaeri_42			25	22	23	53.16	1975/05/21
jaeri_43						49.82	1974/05/28
jaeri_44			26	23	23	50.79	1975/05/21
jaeri_45						47.78	1974/05/28
jaeri_46	48.68	1975/05/21					

* jaeri_27 は jaeri_26 と、jaeri_54 は jaeri_53 と重複する計算モデルとなるため、本計算では評価対象外とする。

Table 3.1.3.1 臨界実験データおよび計算ケース [JAERI 1254] [2/2]

計算ケース	格子名	ピン配列パターン				臨界水位 Hf (cm)	実験時期
		配列ピッチ a (cm)	パターン 番号	配列数横 m (本)	配列数縦 n (本)		
jaeri 47	4.24PU H/Pu=703	2.225	19	19	20	65.39	1972/04/13
jaeri 48						67.79	1973/02/08
jaeri 49						68.67	1973/05/29
jaeri 50						70.04	1973/11/29
jaeri 51						60.32	1972/04/13
jaeri 52						61.65	1972/11/10
jaeri 53			63.01	1973/05/29			
jaeri 54*			63.01	1973/05/29			
jaeri 55			20	20	20	62.95	1973/05/29
jaeri 56						64.05	1973/11/29
jaeri 57						65.63	1974/06/05
jaeri 58						68.18	1975/05/28
jaeri 59						68.14	1975/06/06
jaeri 60						21	20
jaeri 61			61.07	1974/06/05			
jaeri 62			63.13	1975/05/28			
jaeri 63			22	21	21	53.41	1972/04/14
jaeri 64						55.48	1973/05/29
jaeri 65						56.21	1973/11/29
jaeri 66						57.28	1974/06/05
jaeri 67						59.05	1975/05/28
jaeri 68						50.95	1972/04/14
jaeri 69			23	21	22	53.39	1973/11/29
jaeri 70						54.33	1974/06/05
jaeri 71						55.87	1975/05/28
jaeri 72			24	22	22	51.74	1974/06/06
jaeri 73						53.09	1975/05/28
jaeri 74			26	23	23	47.72	1974/06/06
jaeri 75						48.85	1975/05/28
jaeri 76			27	23	24	47.17	1975/05/28
jaeri 77			28	24	24	44.67	1974/06/06
jaeri 78						45.62	1975/05/28
jaeri 79	5.55PU H/Pu=921	2.474	21	20	21	66.05	1972/04/26
jaeri 80						69.16	1973/06/06
jaeri 81			22	21	21	62.05	1972/04/28
jaeri 82						64.51	1973/06/06
jaeri 83			23	21	22	64.54	1973/06/07
jaeri 84						58.73	1972/04/26
jaeri 85			24	22	22	61.10	1973/06/06
jaeri 86						58.08	1973/06/06
jaeri 87	25	22	23	55.69	1973/06/06		
jaeri 88	26	23	23	53.50	1973/06/06		

※ jaeri_27 は jaeri_26 と、jaeri_54 は jaeri_53 と重複する計算モデルとなるため、本計算では評価対象外とする。

Table 3.1.3.2 燃料要素諸元 [JAERI 1254]

		3.0wt% PuO ₂ -UO ₂		
		文献値 ^{※1}	採用値	
燃料	PuO ₂ 富化度 (wt%)	3.01±0.05	3.01	
	同位体組成 (wt%)	Pu-238	0.494 ^{※2}	0.494
		Pu-239	68.18 ^{※2}	68.18
		Pu-240	22.02 ^{※2}	22.02
		Pu-241	7.26 ^{※2}	7.26
		Pu-242	2.04 ^{※2}	2.04
	Am-241 (ppm)	530ppm in PuO ₂ ^{※3}	555.3459ppm (1971/8/19 に補正)	
	同位体組成 (wt%)	U-234	Natural ^{※4}	0.005309528
		U-235		0.711365886
		U-238		99.28332459
不純物含有量	0.90 ^{+0.09} _{-0.12} ppm equivalent boron concentration in PuO ₂ -UO ₂	0.9ppm (B/PuO ₂ -UO ₂)		
O/M 比	2.07	2.07		
ペレット	直径 (mm)	10.65	10.65	
	密度 (g/cm ³)	6.056±0.076	6.056	
	スタック長 (mm)	706±3	703	
被覆管	材質	Zircaloy-2	ジルカロイ-2	
	内径 (mm)	10.83±0.06	10.83	
	肉厚 (mm)	0.70±0.07	0.7	

※1 文献 [JAERI 1254⁸⁾ Table 1] より引用する。

※2 1971/8/19 に分析。

※3 1971/8/16 に分析。

※4 天然ウランの同位体組成比を理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-1.3 を参照)。

U-234 : U-235 : U-238 = 0.0054 : 0.7204 : 99.2742 at%

※5 Am-241 含有量の分析時期 (1971/8/16) と Pu-241 分析時期 (1971/8/19) と異なる。

分析時期 1971/8/16 において、ペレット中の Am-241 は、PuO₂ に対して 530ppm が含有されていることから、分析時期 1971/8/19 における Am-241 の含有量を計算する。

1971/08/16 Pu-241 : 7.262885wt% Am-241 : 530.0ppm (0.06032982wt%)

1971/08/19 Pu-241 : 7.26wt% Am-241 : 555.346ppm (0.06321494wt%)

Table 3.1.3.3 計算に用いた物質の原子個数密度 [JAERI 1254]

使用部材	材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)		
燃料要素	PuO ₂ -UO ₂ ^{※1} Pu/MOX 2.6443 PuO ₂ 富化度 3.01wt% O/M 比 2.07	6.056	Pu-238	0.013062829	238.0495614	2.00127E-06		
			Pu-239	1.802881992	239.0521648	2.75050E-04		
			Pu-240	0.582274296	240.0538150	8.84618E-05		
Pu-241 ^{※1}			0.191975994	241.0568529	Table 3.1.3.4 参照			
Pu-242			0.053943668	242.0587440	8.12749E-06			
Am-241 ^{※1}			0.001671591	241.0568306	Table 3.1.3.4 参照			
U-234			0.004520711	234.0409504	7.04452E-07			
U-235			0.605680948	235.0439282	9.39792E-05			
U-238			84.53317666	238.0507870	1.29507E-02			
O			12.21232424	15.9993744	2.78376E-02			
B-10	1.63757E-05	10.0129369	5.96451E-08					
B-11	7.36243E-05	11.0093052	2.43892E-07					
ジルカロイ-2 ^{※2} ・被覆管	6.56	Zr	98.25	91.2236428	4.25481E-02			
		Sn	1.45	118.7101127	4.82542E-04			
		Cr	0.1	51.9961306	7.59773E-05			
		Fe	0.135	55.8451437	9.54999E-05			
		Ni	0.055	58.6933505	3.70193E-05			
		Hf	0.01	178.4849814	2.21337E-06			
アルミニウム ^{※3} ・端栓 ・ガイドロッド	2.7	Al	100	26.9815384	6.02626E-02			
		グリッド板、 燃料サポート	アルミニウム ^{※3}	2.7	Al	100	26.9815384	6.02626E-02
		燃料サポート、 タンク	SUS304L ^{※4}	7.93	C	0.03	12.0106356	1.19283E-04
Si	1.0				28.0849993	1.70039E-03		
Mn	2.0				54.9380432	1.73852E-03		
P	0.045				30.9737620	6.93813E-05		
S	0.03				32.0654619	4.46795E-05		
Ni	11.0				58.6933505	8.95010E-03		
Cr	19.0				51.9961306	1.74505E-02		
Fe	66.895				55.8451437	5.72048E-02		
減速材、 反射体	コンクリート ^{※5}				2.3	H	0.416	1.0079709
		O	50.74	15.9993744		4.39265E-02		
		Mg	0.115	24.3057012		6.55343E-05		
		Al	0.446	26.9815384		2.28953E-04		
		Si	38.606	28.0849993		1.90397E-02		
		S	0.07	32.0654619		3.02370E-05		
		Ca	6.869	40.0780225		2.37392E-03		
		Fe	2.738	55.8451437		6.79089E-04		
	空気 ^{※6}	0.0000173	H	11.19015537	1.0079709	1.15661E-06		
			O	88.80984463	15.9993744	5.78305E-07		
	水 ^{※7}	0.9982	H	11.19015537	1.0079709	6.67354E-02		
			O	88.80984463	15.9993744	3.33677E-02		

※1 分析時期と実験時期が異なることから、その期間の壊変を考慮し、Pu-241 および Am-241 について補正を行う (Table 3.1.3.4、付録-3 を参照)。

文献 [JAERI 1254⁸⁾] によれば、1971/8/16 において Am-241 は PuO₂ に対して 530ppm が含有されている。分析時期 1971/8/19 における Am-241 の量を計算して以下の値を求める。

1971/08/16 Pu-241 : 7.26289wt% Am-241 : 530.0ppm (0.06033wt%)

1971/08/19 Pu-241 : 7.26wt% Am-241 : 555.346ppm (0.063215wt%)

また、PuO₂-UO₂ 燃料には、不純物として 0.90+0.09/-0.12ppm のホウ素が含まれる。

ホウ素の同位体組成比は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-1.3 を参照)。

B-10 : B-11 = 18.1952wt% : 81.8048wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

※2 ジルカロイ-2 の組成については、SCALE 6.2.3 コードシステムに内蔵された標準物質 ZIRC2 の組成を引用する (付録-2.2.6、付録-2.3.7 を参照)。

※3 アルミニウムの密度については、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-2.2.5 を参照)。

※4 SUS304L については、JIS G 4303 の組成を引用する (付録-2.2.8 を参照)。

※5 コンクリートについては、文献 [JAERI-M 6928²⁷⁾] に記載された ORDINARY CONCRETE の組成を引用する (付録-2.2.14 を参照)。

※6 空気中の主成分 (N₂、O₂ 等々) については考慮せず、中性子への影響が大きい空気中の水分について考慮する。空気中水分は、飽和水蒸気量 (20°C) に相当する 0.0000173g/cm³ とする (付録-2.2.17 を参照)。

※7 水の密度については、水温 20°C の時の密度 (理科年表 2022 年度版²⁶⁾) とする (付録-2.2.16 を参照)。

Table 3.1.3.4 補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [JAERI 1254] [1/2]

計算ケース	格子名	分析時期 ^{※1}	実験時期 ^{※2}	考慮日数	原子個数密度 (atoms/barn・cm)			
					初期値 (分析時)		補正值 (実験時)	
					Pu-241	Am-241	Pu-241	Am-241
jaeri 01	2.42PU		1972/06/05	291	2.90445E-05	2.52899E-07	2.79464E-05	1.35098E-06
jaeri 02			1972/06/07	293			2.79390E-05	1.35838E-06
jaeri 03			1972/11/08	447			2.73750E-05	1.92245E-06
jaeri 04			1974/05/14	999			2.54451E-05	3.85234E-06
jaeri 05			1972/06/07	293			2.79390E-05	1.35838E-06
jaeri 06			1973/05/14	634			2.67053E-05	2.59210E-06
jaeri 07			1973/05/14	634			2.67053E-05	2.59210E-06
jaeri 08			1973/05/14	634			2.67053E-05	2.59210E-06
jaeri 09			1974/05/14	999			2.54451E-05	3.85234E-06
jaeri 10			1975/05/16	1366			2.42379E-05	5.05954E-06
jaeri 11			1972/06/07	293			2.79390E-05	1.35838E-06
jaeri 12			1974/05/14	999			2.54451E-05	3.85234E-06
jaeri 13			1975/05/16	1366			2.42379E-05	5.05954E-06
jaeri 14			1972/06/07	293			2.79390E-05	1.35838E-06
jaeri 15			1973/05/14	634			2.67053E-05	2.59210E-06
jaeri 16			1974/05/14	999			2.54451E-05	3.85234E-06
jaeri 17			1975/05/16	1366			2.42379E-05	5.05954E-06
jaeri 18	2.98PU	1971/8/19	1972/05/18	273	2.90445E-05	2.52899E-07	2.80131E-05	1.28428E-06
jaeri 19			1972/05/18	273			2.80131E-05	1.28428E-06
jaeri 20			1972/12/06	475			2.72736E-05	2.02377E-06
jaeri 21			1973/02/07	538			2.70470E-05	2.25039E-06
jaeri 22			1973/03/15	574			2.69184E-05	2.37904E-06
jaeri 23			1973/04/05	595			2.68436E-05	2.45380E-06
jaeri 24			1973/04/06	596			2.68401E-05	2.45736E-06
jaeri 25			1973/05/22	642			2.66770E-05	2.62038E-06
jaeri 26			1973/05/23	643			2.66735E-05	2.62391E-06
jaeri 27			1973/05/23	643			2.66735E-05	2.62391E-06
jaeri 28			1973/06/06	657			2.66241E-05	2.67332E-06
jaeri 29			1974/05/28	1013			2.53979E-05	3.89948E-06
jaeri 30			1975/05/21	1371			2.42218E-05	5.07558E-06
jaeri 31			1972/05/18	273			2.80131E-05	1.28428E-06
jaeri 32			1973/05/22	642			2.66770E-05	2.62038E-06
jaeri 33			1973/06/06	657			2.66241E-05	2.67332E-06
jaeri 34			1974/05/28	1013			2.53979E-05	3.89948E-06
jaeri 35			1975/05/21	1371			2.42218E-05	5.07558E-06
jaeri 36			1973/06/06	657			2.66241E-05	2.67332E-06
jaeri 37	1974/05/28	1013	2.53979E-05	3.89948E-06				
jaeri 38	1975/05/21	1371	2.42218E-05	5.07558E-06				
jaeri 39	1974/05/28	1013	2.53979E-05	3.89948E-06				
jaeri 40	1975/05/21	1371	2.42218E-05	5.07558E-06				
jaeri 41	1974/05/28	1013	2.53979E-05	3.89948E-06				
jaeri 42	1975/05/21	1371	2.42218E-05	5.07558E-06				
jaeri 43	1974/05/28	1013	2.53979E-05	3.89948E-06				
jaeri 44	1975/05/21	1371	2.42218E-05	5.07558E-06				
jaeri 45	1974/05/28	1013	2.53979E-05	3.89948E-06				
jaeri 46	1975/05/21	1371	2.42218E-05	5.07558E-06				

※1 文献 [JAERI 1254⁸⁾ p.5 TABLE 1] より引用

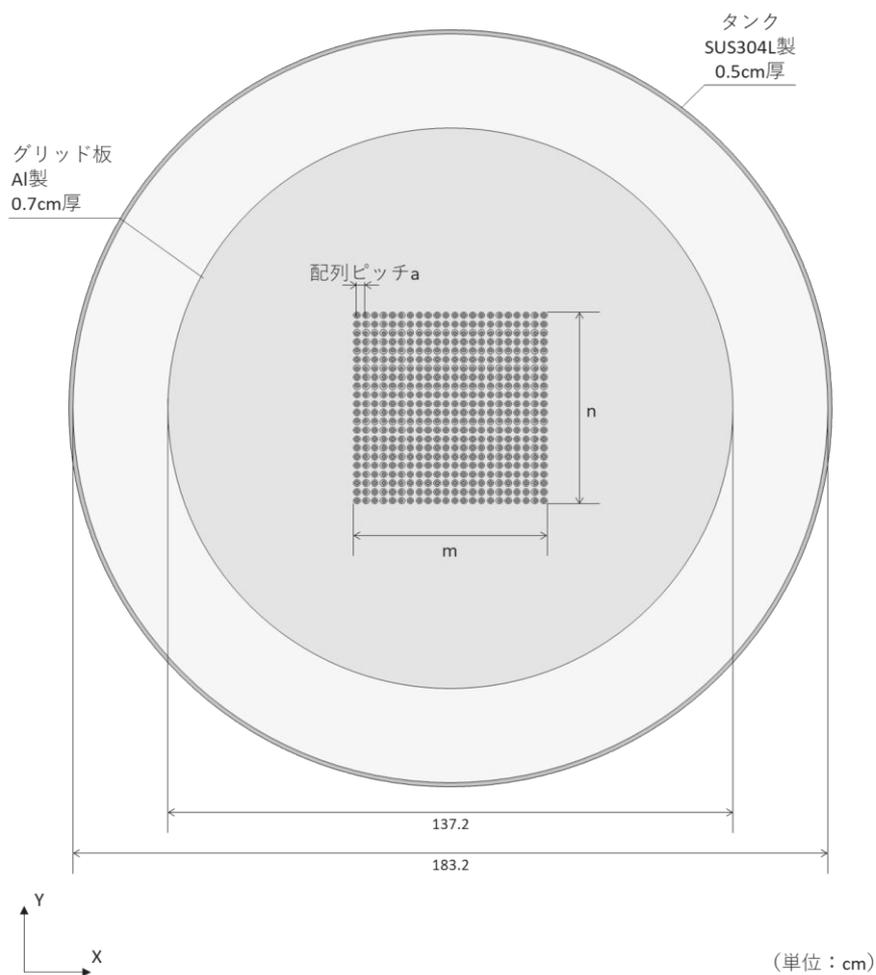
※2 文献 [JAERI 1254⁸⁾ p.13 TABLE 8-2] より引用

※3 補正值算出方法は、付録-3 を参照。

Table 3.1.3.4 補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [JAERI 1254] [2/2]

計算ケース	格子名	分析時期*1	実験時期*2	考慮日数	原子個数密度 (atoms/barn・cm)			
					初期値 (分析時)		補正值 (実験時)	
					Pu-241	Pu-241	Pu-241	Pu-241
jaeri 47	4.24PU	1971/8/19	1972/04/13	238	2.90445E-05	2.52899E-07	2.81433E-05	1.15413E-06
jaeri 48			1973/02/08	539			2.70434E-05	2.25397E-06
jaeri 49			1973/05/29	649			2.66523E-05	2.64510E-06
jaeri 50			1973/11/29	833			2.60107E-05	3.28674E-06
jaeri 51			1972/04/13	238			2.81433E-05	1.15413E-06
jaeri 52			1972/11/10	449			2.73677E-05	1.92970E-06
jaeri 53			1973/05/29	649			2.66523E-05	2.64510E-06
jaeri 54			1973/05/29	649			2.66523E-05	2.64510E-06
jaeri 55			1973/05/29	649			2.66523E-05	2.64510E-06
jaeri 56			1973/11/29	833			2.60107E-05	3.28674E-06
jaeri 57			1974/06/05	1021			2.53710E-05	3.92637E-06
jaeri 58			1975/05/28	1378			2.41994E-05	5.09803E-06
jaeri 59			1975/06/06	1387			2.41706E-05	5.12685E-06
jaeri 60			1972/04/14	239			2.81396E-05	1.15785E-06
jaeri 61			1974/06/05	1021			2.53710E-05	3.92637E-06
jaeri 62			1975/05/28	1378			2.41994E-05	5.09803E-06
jaeri 63			1972/04/14	239			2.81396E-05	1.15785E-06
jaeri 64			1973/05/29	649			2.66523E-05	2.64510E-06
jaeri 65			1973/11/29	833			2.60107E-05	3.28674E-06
jaeri 66			1974/06/05	1021			2.53710E-05	3.92637E-06
jaeri 67			1975/05/28	1378			2.41994E-05	5.09803E-06
jaeri 68			1972/04/14	239			2.81396E-05	1.15785E-06
jaeri 69			1973/11/29	833			2.60107E-05	3.28674E-06
jaeri 70			1974/06/05	1021			2.53710E-05	3.92637E-06
jaeri 71			1975/05/28	1378			2.41994E-05	5.09803E-06
jaeri 72			1974/06/06	1022			2.53677E-05	3.92973E-06
jaeri 73			1975/05/28	1378			2.41994E-05	5.09803E-06
jaeri 74			1974/06/06	1022			2.53677E-05	3.92973E-06
jaeri 75	1975/05/28	1378	2.41994E-05	5.09803E-06				
jaeri 76	1975/05/28	1378	2.41994E-05	5.09803E-06				
jaeri 77	1974/06/06	1022	2.53677E-05	3.92973E-06				
jaeri 78	1975/05/28	1378	2.41994E-05	5.09803E-06				
jaeri 79	5.55PU	1972/04/26	251	2.80949E-05	1.20254E-06			
jaeri 80		1973/06/06	657	2.66241E-05	2.67332E-06			
jaeri 81		1972/04/28	253	2.80874E-05	1.20998E-06			
jaeri 82		1973/06/06	657	2.66241E-05	2.67332E-06			
jaeri 83		1973/06/07	658	2.66206E-05	2.67685E-06			
jaeri 84		1972/04/26	251	2.80949E-05	1.20254E-06			
jaeri 85		1973/06/06	657	2.66241E-05	2.67332E-06			
jaeri 86		1973/06/06	657	2.66241E-05	2.67332E-06			
jaeri 87		1973/06/06	657	2.66241E-05	2.67332E-06			
jaeri 88		1973/06/06	657	2.66241E-05	2.67332E-06			

※1 文献 [JAERI 1254⁸⁾ p.5 TABLE 1] より引用
 ※2 文献 [JAERI 1254⁸⁾ p.13 TABLE 8-2] より引用
 ※3 補正值算出方法は、付録-3 を参照。



m : 配列本数横 (本)

n : 配列本数縦 (本)

a : 配列ピッチ (m)

Fig. 3.1.3.1 実験体系の計算モデル図 (X-Y 断面図) [JAERI 1254]

※ タンクの外径 (184.2cm) は、文献 [JAERI 1166²⁸⁾ p.3] より引用する。

※ グリッド板直径 (137.2cm) は、文献 [JAERI 1234²⁹⁾ Fig.6] より引用する。

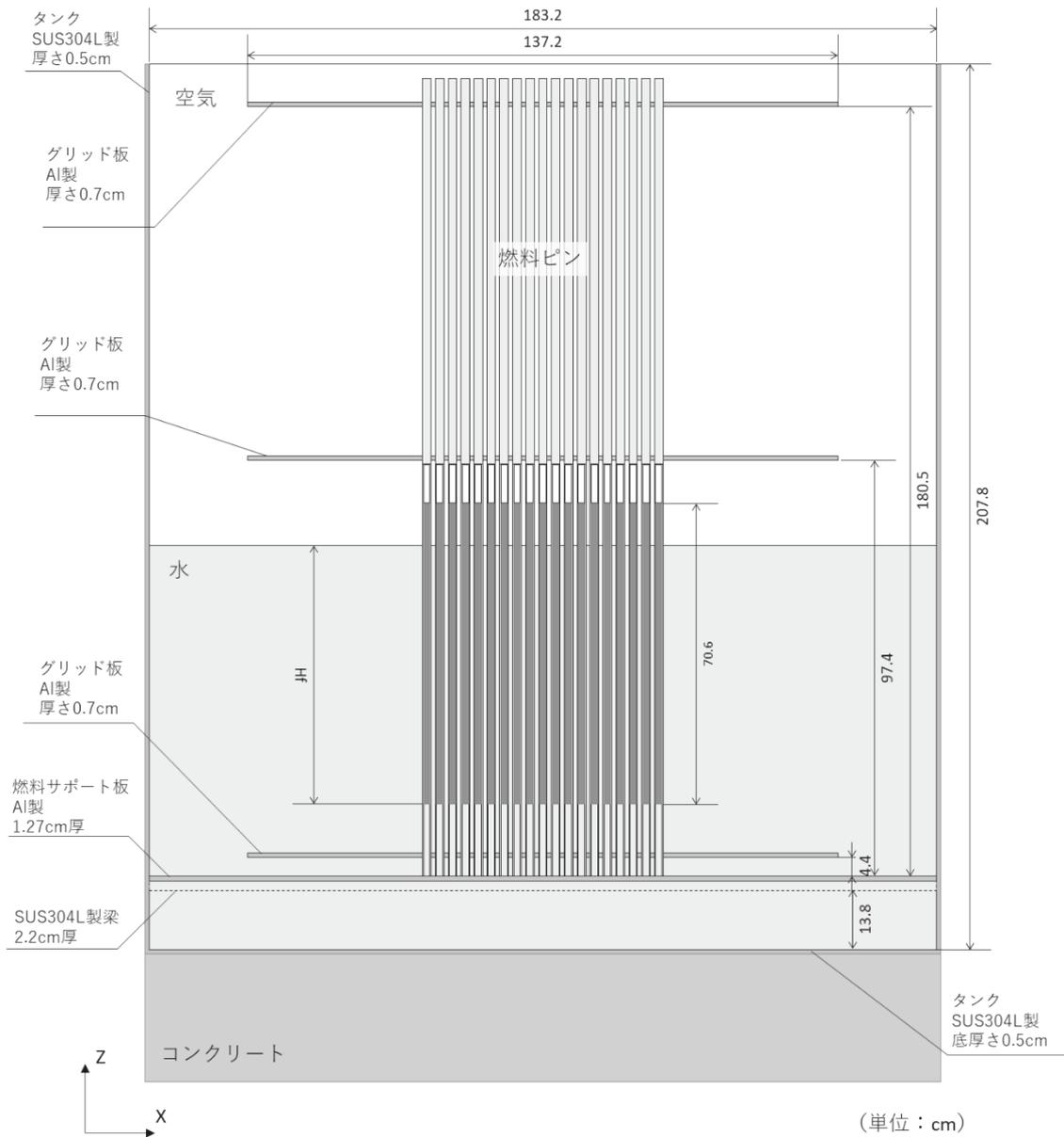


Fig. 3.1.3.2 実験体系の計算モデル図 (X-Z 断面図) [JAERI 1254]

- ※ 臨界水位 H_f は、水面から燃料要素の燃料ペレット下端（燃料サポート板上面から 16.83cm の位置）までの深さ。
- ※ 各部寸法については、文献 [JAERI 1254⁸⁾ Fig.4] より引用する。不明な寸法条件については、以下の文献より引用する。
- ※ タンクの外径 (184.2cm) および高さ (208.3cm) は、文献 [JAERI 1166²⁸⁾ p.3] より引用する。
- ※ グリッド板厚さおよび直径は、文献 [JAERI 1234²⁹⁾ Fig.6] より引用する。
- ※ 燃料サポート板の厚さおよびサポート板下部間隙については、文献 [JAERI-Research 2003-007³⁰⁾ p.6 Fig.2] より引用する。燃料サポート板を支持するステンレス製梁については、その厚さについて記述があるが、詳細な形状の記述が無いため、計算モデルでは省略する。

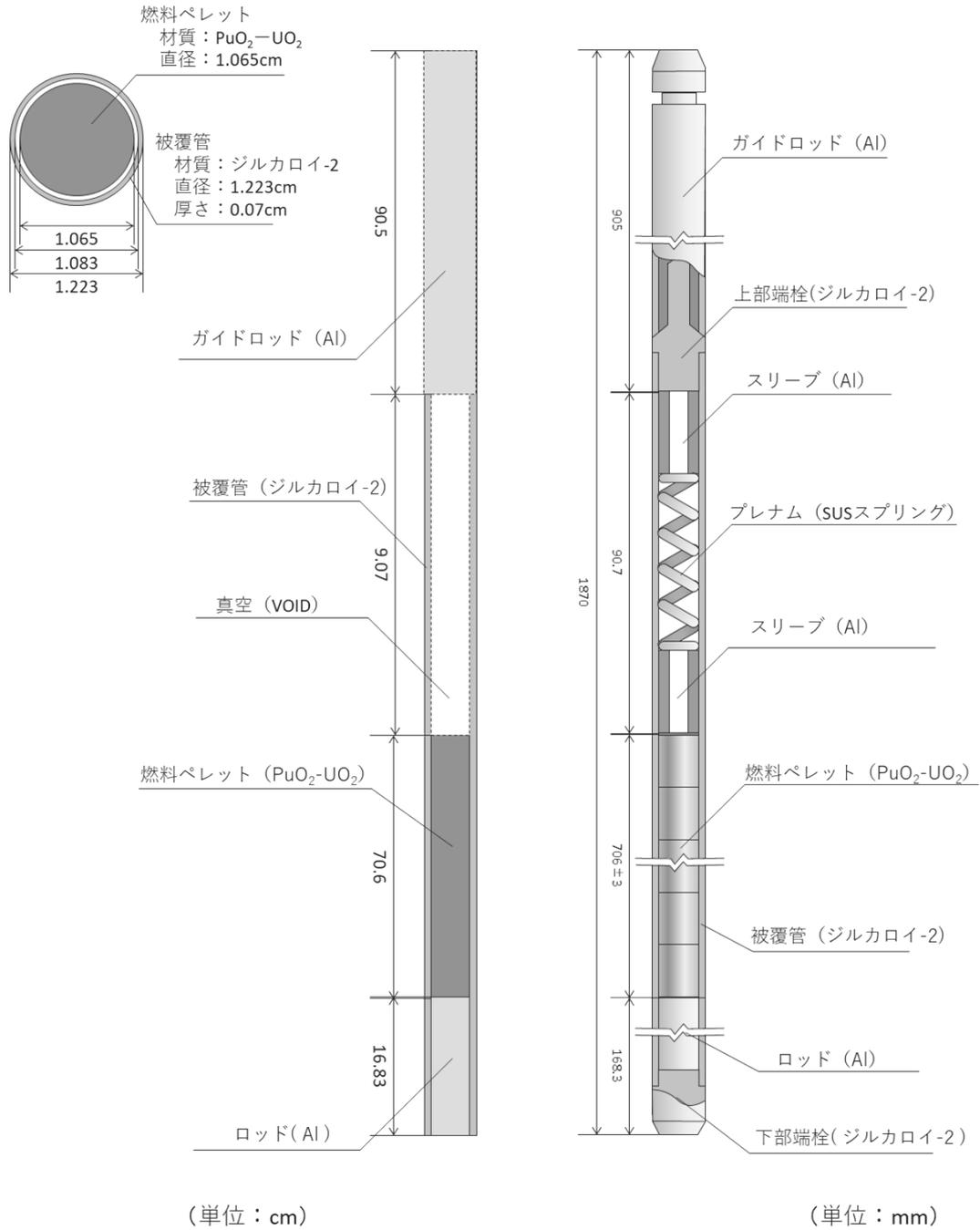


Fig. 3.1.3.3 燃料要素 (3.0wt% $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$) の概要と計算モデル図 [JAERI 1254]

- ※ 各部寸法については、文献 [JAERI 1254⁸⁾ Fig.3] より引用する。
- ※ 燃料ペレットと被覆管のギャップは、真空としてモデル化する。
- ※ アルミニウム製スリーブおよびプレナムスプリングについては、真空としてモデル化する。

3.1.4 PNL-5803

この実験では、Fast Flux Test Facility (FFTF) の燃料要素 Type 3.1 および Type 3.2 の 2 種類燃料要素が用いられている。燃料要素 Type 3.1 では Pu 含有量 (Pu/MOX) が 24.39wt%、燃料要素 Type 3.2 では Pu 含有量 (Pu/MOX) が 19.84wt% である。実験では主に燃料要素 Type 3.2 のみを使用され、一部の实验では、燃料要素 Type 3.2 に加えて燃料要素 Type 3.1 が使用されている。

中性子反射体と中性子減速材を兼ねて TBP・NPH 有機溶剤 (Tributyl phosphate-normal paraffin hydrocarbon) と水の 2 種類を用いており、計 7 ケースの実験が行われている。

Table 3.1.4.1 に臨界実験データを示す。

計算ケース pnl5803_01 (実験番号 065)、pnl5803_03 (実験番号 063)、pnl5803_04 (実験番号 062)、pnl5803_05 (実験番号 061)、pnl5803_07 (実験番号 060) においては、反射体・減速材に TBP・NPH 有機溶剤を使用している。pnl5803_02 (実験番号 067)、pnl5803_06 (実験番号 068R) においては、反射体・減速材に水を用いている。

計算ケース pnl5803_01 (実験番号 065)、および pnl5803_02 (実験番号 067) の燃料要素のピッチが最小である実験 (0.761cm) では、主に燃料要素 Type 3.2 が使用されているが、Type 3.2 の使用限度本数 (972 本) を超えても臨界とならなかったことから、Type 3.1 を Type 3.2 の配列の外側に装荷して (065 : 83 本、067 : 75 本) 実験が行われた。他の実験では、Type 3.2 の使用限度本数を超えることが無かったことから、Type 3.1 は使用していない。

本ベンチマーク計算での実験装置は、反射体・減速材 (TBP・NPH 有機溶剤もしくは水) が 146.7cm の高さまで充填された反射体タンク (炭素鋼製 : 内径 112.0cm、高さ 157.5cm、側面 0.31cm 厚、底面 0.95cm 厚) 内に、燃料要素を支持するアクリルベース板 (幅 50.8cm、奥行 29.8cm もしくは 29.2cm、厚さ 5.08cm) と 4 枚のポリプロピレン製グリッド板 (厚さ 1.31cm) を設置し、グリッド板に穿たれた孔 (直径 0.602cm) に燃料要素を挿入することで正方格子配列が維持されている。

計算モデルでは、これらの臨界実験装置の構成品 (燃料要素、ベース板、グリッド板、反射体タンク) を対象とするとともに、タンク下の床構造材 (コンクリート) から、燃料要素上端までを計算モデルの対象とする。反射体・減速材の水位より上の領域は空気雰囲気とする。タンク内には、上記の構造物以外に格子プレートハンガーや格子支持コラム等が存在するが、本ベンチマーク計算においては省略する。

計算モデルの外側境界条件は真空として設定する。

Fig. 3.1.4.1 に燃料要素 (FFTF Type 3.1/Type 3.2) の計算モデル図を示す。

Fig. 3.1.4.2 に実験体系の計算モデル図 (X-Z 断面) を示す。

Fig. 3.1.4.3 に実験体系の計算モデル図 (Y-Z 断面) を示す。

Fig. 3.1.4.4 に燃料要素の配列位置と減速材および反射体の配置を示す。

Fig. 3.1.4.5～Fig. 3.1.4.11 に、計算ケース毎の燃料要素配列図を示す。

Table 3.1.4.2 に MOX 燃料ペレットおよび UO_2 インシュレータの諸元を示す。

Table 3.1.4.3 に計算に用いた物質の原子個数密度を示す。

Table 3.1.4.4 に補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度を示す。

Pu-241 の放射性壊変 (β -崩壊) により、Pu-241 および Am-241 の原子個数密度は、時間の経過とともに Pu-241 は減じ、Am-241 は増加する。このため、分析時期と実験時期との期間を考慮して、Pu-241、Am-241 の原子個数密度を補正する (付録-3 を参照)。

本実験が記載された文献 [PNL-5803⁹⁾] においては、温度条件の記載が無いため、計算に際し実験装置全体を 20°C に設定する。

Table 3.1.4.1 臨界実験データおよび計算ケース [PNL-5803]

計算ケース	実験番号	燃料要素ピッチ (cm)	臨界本数 (本)			反射体/減速材	実験時期
			文献記載値※	Type 3.1	Type 3.2		
pnl5803 01	065	0.761	1054.8±0.2	83	972	TBP・NPH 有機溶剤	1985/06/05
pnl5803 02	067	0.761	1046.9±0.2	75	972	水	1985/07/17
pnl5803 03	063	0.968	599.2±0.8	—	599	TBP・NPH 有機溶剤	1985/05/21
pnl5803 04	062	1.242	301.8±0.2	—	302	TBP・NPH 有機溶剤	1985/05/15
pnl5803 05	061	1.537	199.5±0.3	—	200	TBP・NPH 有機溶剤	1985/05/14
pnl5803 06	068R	1.537	199.7±0.3	—	200	水	1985/07/25
pnl5803 07	060	1.935	165.3±0.1	—	165	TBP・NPH 有機溶剤	1985/05/08

※ 文献 [PNL-5803⁹⁾ TABLE3.1] より引用

Table 3.1.4.2 MOX 燃料ペレット、UO₂ インシュレータの諸元 [PNL-5803]

燃料要素タイプ		Type3.1		Type3.2		
		文献記載	採用値	文献記載	採用値	
MOX 燃料 ペレット	密度 (g/cm ³)	9.783±0.318	9.783	9.830±0.320	9.830	
	Pu/MOX (wt%)	24.39	24.3868	19.84	19.8366	
	PuO ₂ 富化度 (wt%)	—	27.567	—	22.484	
	分析時期 ^{※1}	January of 1976	1976/1/1	January of 1976	1976/1/1	
	組成 (wt%)	Pu-238	0.0130	0.0130	0.0111	0.0111
		Pu-239	21.0641	21.0641	17.1251	17.1251
		Pu-240	2.8606	2.8606	2.3150	2.3150
		Pu-241	0.3461	0.3461	0.2876	0.2876
		Am-241	0.0504	0.0504	0.0597	0.0597
		Pu-242	0.0526	0.0526	0.0381	0.0381
U-235		0.4547	0.4547	0.4853	0.4853	
U-238		63.5857	63.5857	67.8638	67.8638	
O	11.5728	11.5728	11.8143	11.8143		
UO ₂ インシュレータ	密度 (g/cm ³)	10.42±0.22	10.42	10.42±0.22	10.42	
	組成 ^{※2} (at%)	U-234	天然ウラン	0.0054	天然ウラン	0.0054
		U-235		0.7204		0.7204
		U-238		99.2742		99.2742
		O/M 比		—		2.0

※1 文献 [PNL-5803⁹⁾ Figure 2.5] に記載された分析時期。

本ベンチマーク計算では、1976/1/1 として設定する。

※2 UO₂ インシュレータについて、U 同位体組成比の記述が無い場合、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-1.3 を参照)。

U-234 : U-235 : U-238 = 0.0054 : 0.7204 : 99.2742 at%

Table 3.1.4.3 計算に用いた物質の原子個数密度 [PNL-5803] [1/3]

使用部材	材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
燃料要素	MOX 燃料 ^{※1} (Type-3.1) Pu/MOX 24.39wt% PuO ₂ 富化度 27.567wt% O/M=1.9497	9.783	Pu-238	0.0130	238.0495614	3.21735E-06
			Pu-239	21.0641	239.0521648	5.19126E-03
			Pu-240	2.8606	240.0538150	7.02056E-04
			Pu-241 ^{※1}	0.3461	241.0568529	Table 3.1.4.4 参照
			Pu-242	0.0526	242.0587440	1.28023E-05
			Am-241 ^{※1}	0.0504	241.0568306	Table 3.1.4.4 参照
			U-235	0.4547	235.0439282	1.13972E-04
			U-238	63.5857	238.0507870	1.57367E-02
	O	11.5728	15.9993744	4.26148E-02		
	MOX 燃料 ^{※1} (Type-3.2) Pu/MOX 19.84wt% PuO ₂ 富化度 22.484wt% O/M=1.9953	9.83	Pu-238	0.0111	238.0495614	2.76032E-06
			Pu-239	17.1251	239.0521648	4.24077E-03
			Pu-240	2.3150	240.0538150	5.70883E-04
			Pu-241 ^{※1}	0.2876	241.0568529	Table 3.1.4.4 参照
			Pu-242	0.0381	242.0587440	9.31770E-06
			Am-241 ^{※1}	0.0597	241.0568306	Table 3.1.4.4 参照
			U-235	0.4853	235.0439282	1.22227E-04
			U-238	67.8638	238.0507870	1.68761E-02
	O	11.8143	15.9993744	4.37129E-02		
	UO ₂ インシュレータ	10.42	U-234	0.00468034	234.0409504	1.25489E-06
			U-235	0.627067787	235.0439282	1.67411E-04
U-238			87.5180773	238.0507870	2.30700E-02	
O			11.85017457	15.9993744	4.64772E-02	
インコネル 600 ^{※2}	8.4	C	0.15	12.0106356	6.31765E-04	
		Si	0.5	28.0849993	9.00587E-04	
		Mn	1.0	54.9380432	9.20782E-04	
		P	0.03	30.9737620	4.89956E-05	
		S	0.015	32.0654619	2.36638E-05	
		Ni	74.335	58.6933505	6.40670E-02	
		Cr	15.5	51.9961306	1.50796E-02	
		Fe	8.0	55.8451437	7.24661E-03	
Cu	0.5	63.5460395	3.98026E-04			
SUS316 ^{※3} (端栓/被覆管)	8.03	C	0.08	12.0106356	3.22100E-04	
		Si	1.0	28.0849993	1.72184E-03	
		P	0.045	30.9737620	7.02563E-05	
		Cr	17.0	51.9961306	1.58105E-02	
		Mn	2.0	54.9380432	1.76045E-03	
		Fe	65.375	55.8451437	5.66099E-02	
		Ni	12.0	58.6933505	9.88687E-03	
		Mo	2.5	95.9487771	1.25999E-03	

※1 分析時期と実験時期が異なることから、その期間の壊変を考慮し、Pu-241 および Am-241 について補正を行う (Table 3.1.4.4、付録-3 を参照)。

※2 インコネル 600 については、JIS G 4901 NFC600 の組成を引用する (付録-2.2.1 を参照)。

※3 SUS316 については、SCALE 6.2.3 コードシステムに内蔵された標準物質 SS316 の組成を引用する (付録-2.2.7、付録 2.3.1 を参照)。

Table 3.1.4.3 計算に用いた物質の原子個数密度 [PNL-5803] [2/3]

使用部材	材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
減速材 反射体	TBP・NPH 有機溶剤 ^{※4}	0.8244	H	13.35368275	1.0079709	6.57721E-02
			C	73.00156213	12.0106356	3.01755E-02
			O	9.121847024	15.9993744	2.83054E-03
			P	4.414827593	30.9737620	7.07634E-04
			Al	0.054	26.9815384	9.93610E-06
			Si	0.034	28.0849993	6.01026E-06
			S	0.01225	32.0654619	1.89665E-06
			Cl	0.00265	35.4521388	3.71101E-07
			K	0.000425	39.0983009	5.39660E-08
			Ca	0.000785	40.0780225	9.72416E-08
			Ti	0.00091	47.8667439	9.43836E-08
			V	0.000585	50.9414656	5.70129E-08
			Cr	0.00037	51.9961306	3.53280E-08
			Mn	0.00022	54.9380432	1.98810E-08
			Fe	0.0008525	55.8451437	7.57875E-08
			Co	0.0001035	58.9331937	8.71905E-09
			Ni	0.000071	58.6933505	6.00563E-09
			Cu	0.0002335	63.5460395	1.82426E-08
			Zn	0.000147	65.3777823	1.11629E-08
			Ga	0.000175	69.7230660	1.24609E-08
			Mg	0.00012	24.3057012	2.45111E-08
			Se	0.000024	78.9710815	1.50880E-09
			Pb	0.0000795	207.2169075	1.90472E-09
			As	0.000024	74.9215946	1.59035E-09
			Br	0.0000255	79.9043262	1.58438E-09
			Rb	0.00003	85.4676636	1.74264E-09
水 ^{※5}	0.9982	H	11.19018	1.0079709	6.67356E-02	
		O	88.81124	15.9993744	3.33682E-02	
		C	2.86101E-04	12.0106356	1.43193E-07	
		S	9.36315E-05	32.0654619	1.75531E-08	
		N	2.00361E-05	14.0068578	8.59885E-09	
		F	1.00180E-05	18.9984032	3.16981E-09	
		Cl	6.01082E-05	35.4521388	1.01920E-08	
		Cd	4.80866E-07	112.4138186	2.57142E-11	
		Cu	1.00180E-06	63.5460395	9.47682E-11	
		Cr	1.20216E-04	51.9961306	1.38983E-08	
		Fe	2.40433E-05	55.8451437	2.58807E-09	
		Pb	6.01082E-07	207.2169075	1.74372E-11	
		Mn	1.00180E-06	54.9380432	1.09617E-10	
		Zn	9.61731E-05	65.3777823	8.84284E-09	

※4 TBP-NPH 有機溶剤について、文献 [PNL-5803⁹⁾] に以下の記述がある。

- ・ NPH の重量比 : 62wt%、TBP [(C₄H₉O)₃PO] の重量比 : 38wt%
- ・ NPH に含まれる C₁₁H₂₄~C₁₅H₃₂ の重量比

C₁₁H₂₄ : 0.51wt%、C₁₂H₂₆ : 12.78wt%、C₁₃H₂₈ : 54.55wt%、C₁₄H₃₀ : 31.56wt%、C₁₅H₃₂ : 0.23wt%

TBP-NPH 有機溶剤の原子個数密度の計算については、Table 3.1.4.9、付録-2.6 を参照。

※5 水の密度については、水温 20°C の時の密度を採用する (付録-2.2.16 を参照)。水中の不純物については、Table 3.1.4.11 を参照。

Table 3.1.4.3 計算に用いた物質の原子個数密度 [PNL-5803] [3/3]

使用部材	材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
減速材 反射体	コンクリート ^{※6} (床材)	2.3	H	0.416	1.0079709	5.71642E-03
			O	50.74	15.9993744	4.39265E-02
			Mg	0.115	24.3057012	6.55343E-05
			Al	0.446	26.9815384	2.28953E-04
			Si	38.606	28.0849993	1.90397E-02
			S	0.07	32.0654619	3.02370E-05
			Ca	6.869	40.0780225	2.37392E-03
			Fe	2.738	55.8451437	6.79089E-04
	空気 ^{※7}	0.0000173	H	11.19015537	1.0079709	1.15661E-06
			O	88.80984463	15.9993744	5.78305E-07
グリッド板	ポリプロピレン ^{※8}	0.904	H	14.36648	1.0079709	7.75928E-02
			C	85.59302	12.0106356	3.87964E-02
			Li-6	8.37417E-06	6.0151229	7.57908E-09
			Li-7	1.91626E-04	7.0160034	1.48691E-07
			Be	0.0001	9.0121831	6.04073E-08
			B-10	7.27808E-07	10.0129369	3.95708E-10
			B-11	3.27219E-06	11.0093052	1.61807E-09
			Na	0.003	22.9897693	7.10405E-07
			Mg	0.0006	24.3057012	1.34389E-07
			Al	0.003	26.9815384	6.05304E-07
			Si	0.001	28.0849993	1.93841E-07
			P	0.0005	30.9737620	8.78811E-08
			Cl	0.0001	35.4521388	1.53560E-08
			K	0.004	39.0983009	5.56957E-07
			Ti	0.01	47.8667439	1.13733E-06
			V	0.001	50.9414656	1.06868E-07
			Cr	0.001	51.9961306	1.04700E-07
Mn	0.0002	54.9380432	1.98187E-08			
Cu	0.01	63.5460395	8.56704E-07			
Zn	0.005	65.3777823	4.16351E-07			
As	0.0008	74.9215946	5.81303E-08			
ベース板	アクリル樹脂 ^{※9}	1.185	H	8.054449009	1.0079709	5.70239E-02
			C	59.98378005	12.0106356	3.56400E-02
			O	31.96177094	15.9993744	1.42560E-02
タンク	炭素鋼 ^{※10}	7.8212	Fe	99.0	55.8451437	8.34976E-02
			C	1.0	12.0106356	3.92155E-03

※6 コンクリートについては、文献 [JAERI-M 6928²⁷⁾] に記載された ORDINARY CONCRETE の組成を引用する。(付録-2.2.14を参照)

※7 空気中の主成分 (N₂、O₂ 等々) については考慮せず、中性子への影響が大きい空気中の水分について考慮する。空気中の水分は、飽和水蒸気量 (20°C) に相当する 0.0000173g/cm³ とする (付録-2.2.17を参照)。

※8 ポリプロピレンの密度については、文献 [PNL-5803⁹⁾] に記載された値を引用する。また、ポリプロピレンに含有される不純物を考慮する (Table 3.1.4.12、付録-2.2.10を参照)。

BおよびLiの同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-1.3を参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

※9 アクリル樹脂の密度については、文献 [PNL-5803⁹⁾ p.2.9] に記載された値を引用する。成分組成については、H : C : O = 8 : 60 : 32 (wt%) の記述があるが、原子数比、H : C : O = 8 : 5 : 2 (C₅O₂H₈) より算出する (付録-2.2.12を参照)。

※10 炭素鋼については、SCALE 6.2.3 コードシステムに内蔵された標準物質 CARBON STEEL の成分組成を引用する (付録-2.3.6を参照)。

Table 3.1.4.4 補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [PNL-5803]

計算 ケース	実験 番号	実験時期※1	分析時期※2	考慮期間 (日)	元素名	原子個数密度 (atoms/barn・cm)			
						Type 3.1		Type 3.2	
						初期値 (分析時)	補正值 (実験時)	初期値 (分析時)	補正值 (実験時)
pnl5803_01	065	1985/06/05		3443	Pu-241	8.45873E-05	5.36131E-05	7.06275E-05	4.47651E-05
					Am-241	1.23178E-05	4.32920E-05	1.46609E-05	4.05233E-05
pnl5803_02	067	1985/07/17		3485	Pu-241	8.45873E-05	5.33157E-05	7.06275E-05	4.45168E-05
					Am-241	1.23178E-05	4.35894E-05	1.46609E-05	4.07716E-05
pnl5803_03	063	1985/05/21		3428	Pu-241			7.06275E-05	4.48541E-05
					Am-241			1.46609E-05	4.04342E-05
pnl5803_04	062	1985/05/15	1976/1/1	3422	Pu-241			7.06275E-05	4.48898E-05
					Am-241			1.46609E-05	4.03986E-05
pnl5803_05	061	1985/05/14		3421	Pu-241			7.06275E-05	4.48957E-05
					Am-241			1.46609E-05	4.03926E-05
pnl5803_06	068R	1985/07/25		3493	Pu-241			7.06275E-05	4.44696E-05
					Am-241			1.46609E-05	4.08187E-05
pnl5803_07	060	1985/05/08		3415	Pu-241			7.06275E-05	4.49314E-05
					Am-241			1.46609E-05	4.03569E-05

※1 文献 [PNL-5803⁹⁾ TABLE 3.1] より引用する。

※2 文献 [PNL-5803⁹⁾ Figure 2.5] より引用する。

※3 補正方法については付録-3 を参照。

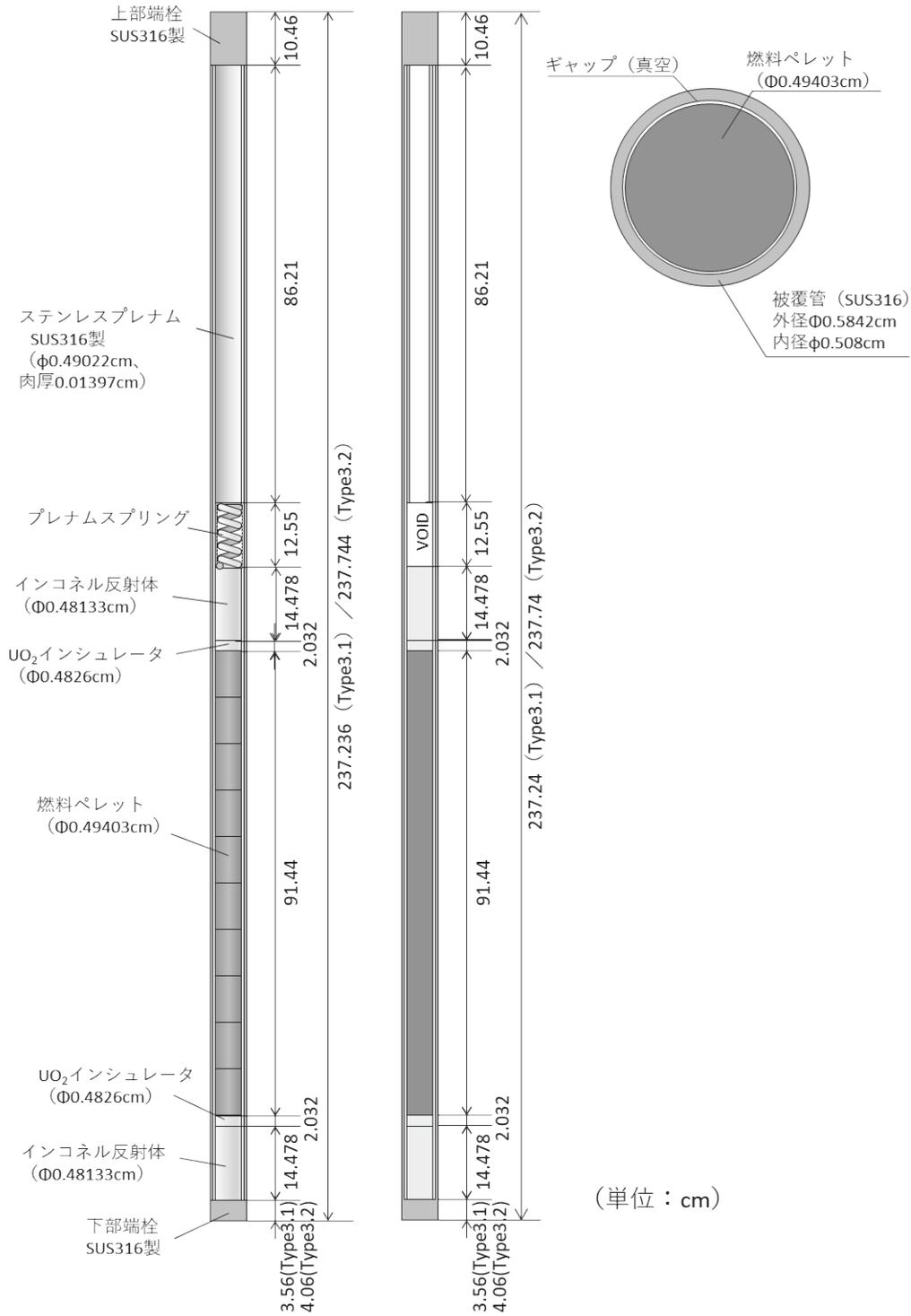


Fig. 3.1.4.1 燃料要素 FFTF Type3.1、Type 3.2 の計算モデル図 [PNL-5803]

- ※ 文献 [PNL-5803⁹⁾ Figure 2.5] を基に作成。
- ※ 燃料ペレットと被覆管のギャップは、真空としてモデル化する。
- ※ プレナムスプリングの領域については、真空としてモデル化する。
- ※ 燃料要素全長については、Type3.1 : 237.236cm、Type3.2 : 237.744cm の記述があるが、計算モデルにおいては、燃料要素を構成する各寸法の合計値、Type3.1 : 237.24cm、Type3.2 : 237.74cm とする。各部寸法条件は、公差範囲中央値を採用する。

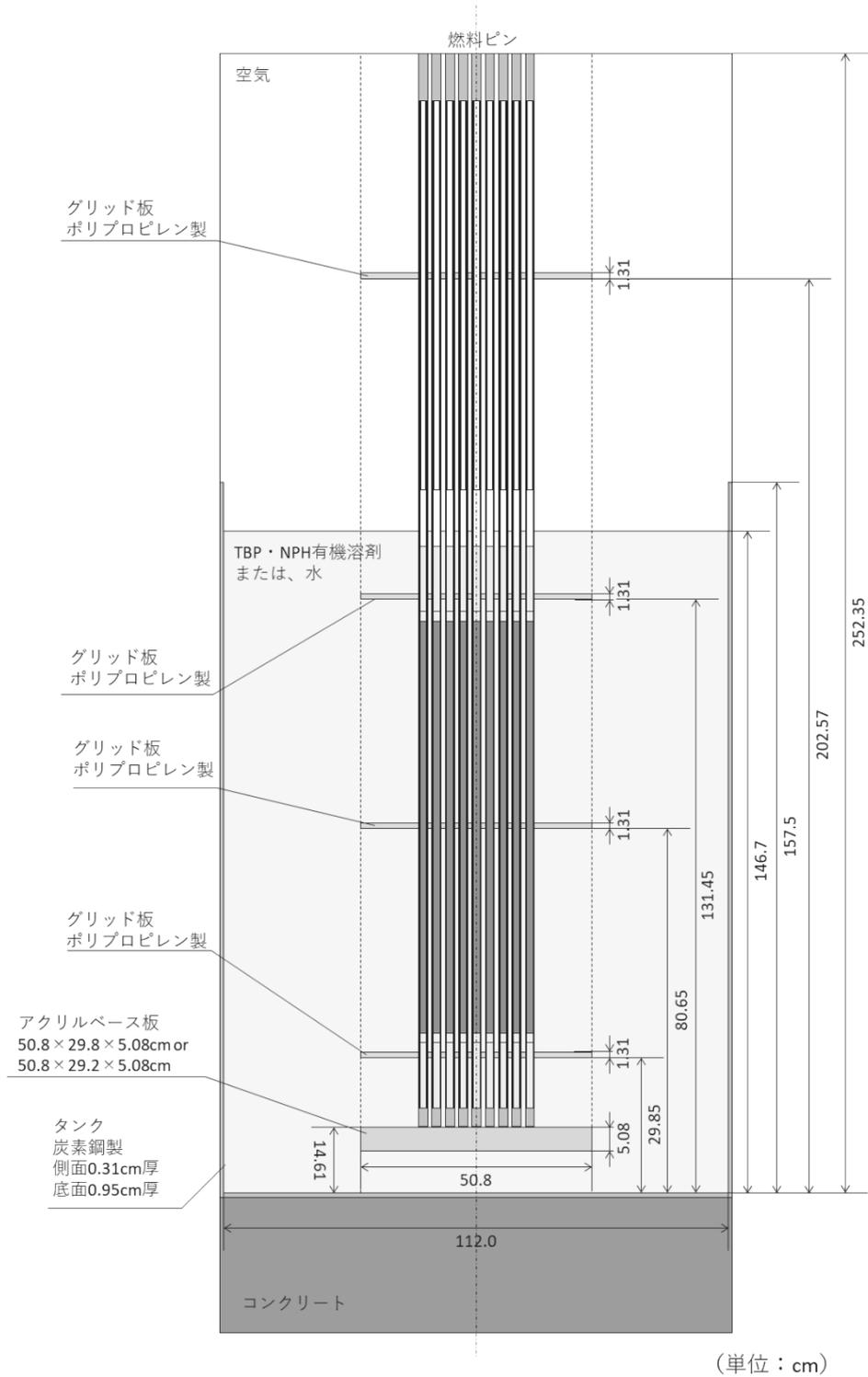


Fig. 3.1.4.2 臨界実験体系の計算モデル図 (X-Z 断面図) [PNL-5803]

※燃料要素配列のレイアウト、グリッド板の寸法、位置およびタンクの寸法は、文献 [PNL-5803⁹⁾ Figure 2.3] より引用する。

※ 反射体について、pnl5803_02 (実験番号 067)、pnl5803_06 (実験番号 068R) においては水を、その他のケースにおいては、TBP・NPH 有機溶剤を充填している。

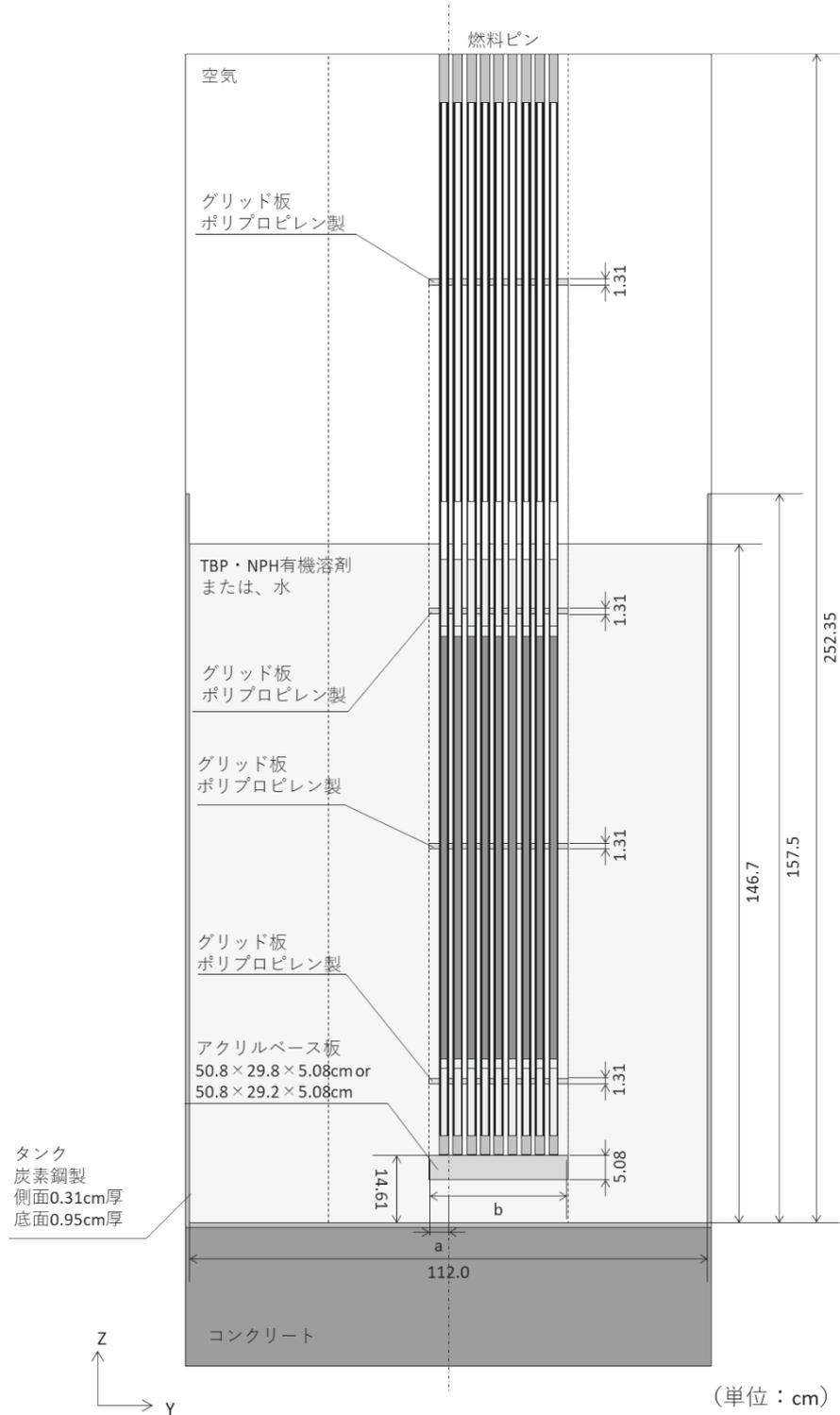
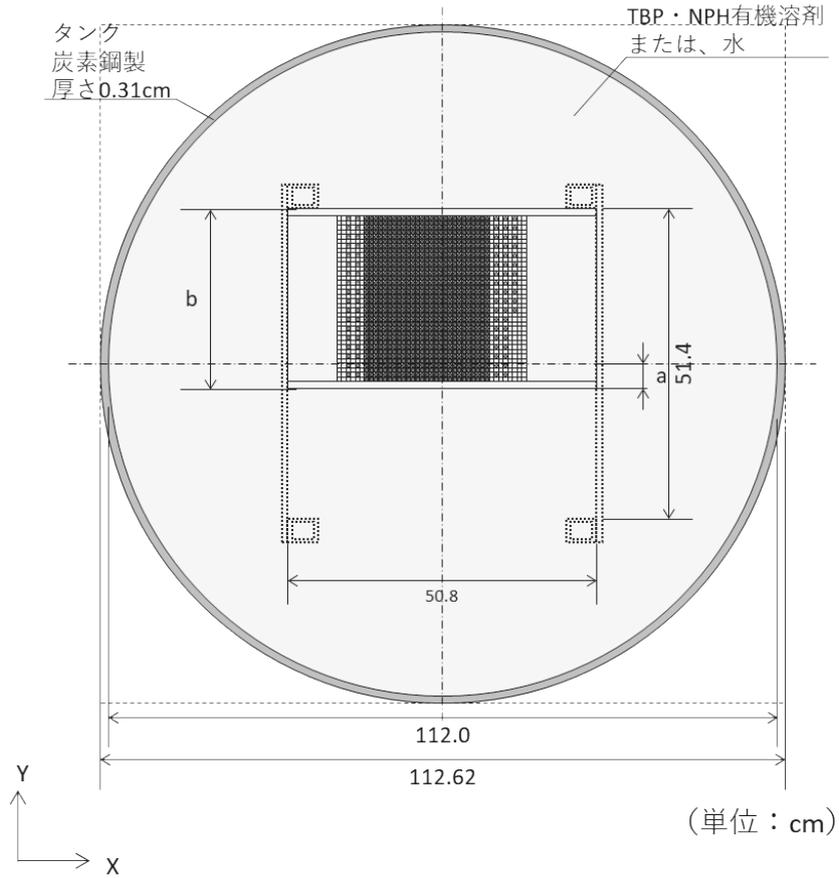


Fig. 3.1.4.3 臨界実験体系の計算モデル図 (Y-Z 断面図) [PNL-5803]

※燃料要素配列のレイアウト、グリッド板の寸法、位置およびタンクの寸法は、文献 [PNL-5803⁹⁾ Figure 2.3] より引用する。図中の寸法 a、b については、Fig. 3.1.4.4 を参照。



計算ケース	実験番号	燃料要素 ピッチ (cm)	反射体/減速材	寸法 a (cm)	寸法 b (cm)	ピン本数		ピン配列図
						Type3.1	Type3.2	
pnl5803 01	065	0.761	TBP・NPH 有機溶剤	4.1	29.8	83	972	Fig. 3.1.4.5
pnl5803 02	067	0.761	水			75	972	Fig. 3.1.4.6
pnl5803 03	063	0.968	TBP・NPH 有機溶剤	3.5	29.2	—	599	Fig. 3.1.4.7
pnl5803 04	062	1.242	TBP・NPH 有機溶剤			—	302	Fig. 3.1.4.8
pnl5803 05	061	1.537	TBP・NPH 有機溶剤			—	200	Fig. 3.1.4.9
pnl5803 06	068R	1.537	水			—	200	Fig. 3.1.4.10
pnl5803 07	060	1.935	TBP・NPH 有機溶剤			—	165	Fig. 3.1.4.11

Fig. 3.1.4.4 燃料要素の配列位置と減速材/反射体の計算モデル図 (X-Y 断面) [PNL-5803]

※ 燃料要素配列のレイアウトおよびタンクの寸法は、文献 [PNL-5803⁹⁾ Figure 2.4] より引用する。

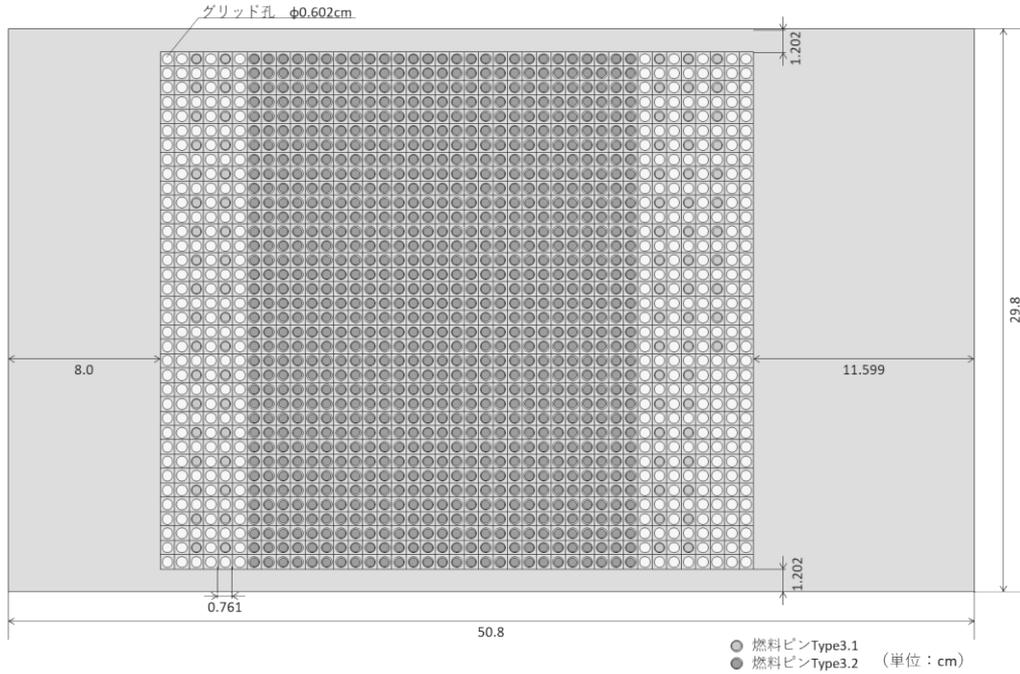


Fig. 3.1.4.5 燃料要素配列図 (X-Y 断面図) [pnl5803_01、実験番号 065]

- ※ 寸法条件は、文献 [PNL-5803⁹⁾ Figure3.1] より引用する。
- ※ Type3.2 972 本、Type3.1 83 本を配列する。
- ※ 配列ピッチ 0.761cm、燃料要素最大配列数 41×36

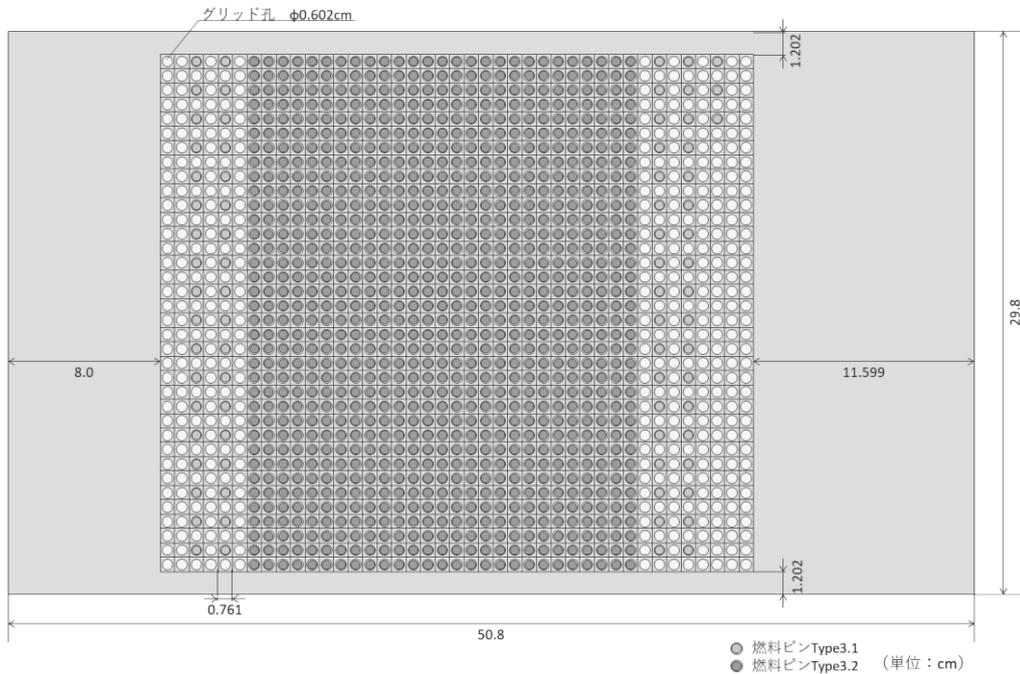


Fig. 3.1.4.6 燃料要素配列図 (X-Y 断面図) [pnl5803_02、実験番号 067]

- ※ 寸法条件は、文献 [PNL-5803⁹⁾ Figure3.2] より引用する。
- ※ Type3.2 972 本、Type3.1 75 本を配列する。
- ※ 配列ピッチ 0.761cm、燃料要素最大配列数 41×36

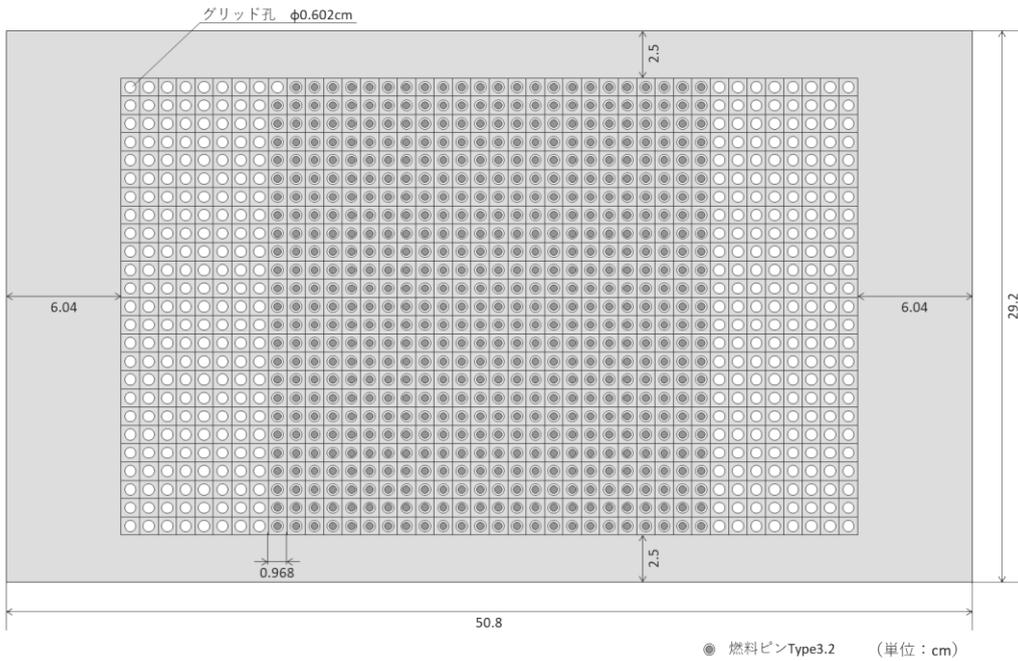


Fig. 3.1.4.7 燃料要素配列図 (X-Y 断面図) [pnl5803_03、実験番号 063]

- ※ 寸法条件は、文献 [PNL-5803⁹⁾ Figure3.3] より引用する。
- ※ Type3.2 599 本を配列する。
- ※ 配列ピッチ 0.968cm、燃料要素最大配列数 40×25

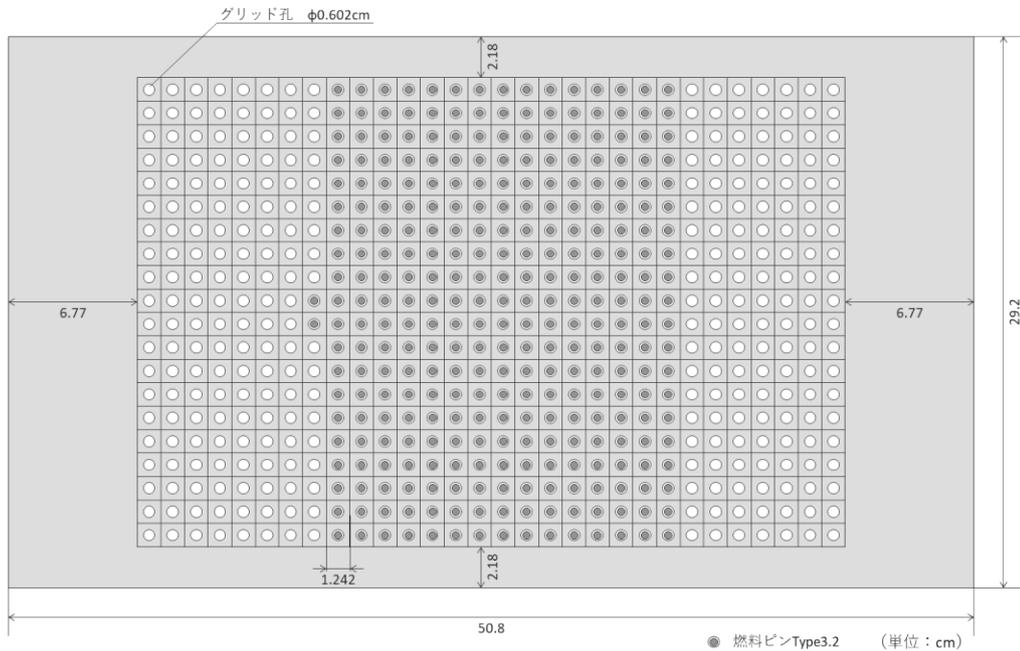


Fig. 3.1.4.8 燃料要素配列図 (X-Y 断面図) [pnl5803_04、実験番号 062]

- ※ 寸法条件は、文献 [PNL-5803⁹⁾ Figure3.4] より引用する。
- ※ Type3.2 302 本を配列する。
- ※ 配列ピッチ 1.242cm、燃料要素最大配列数 30×20

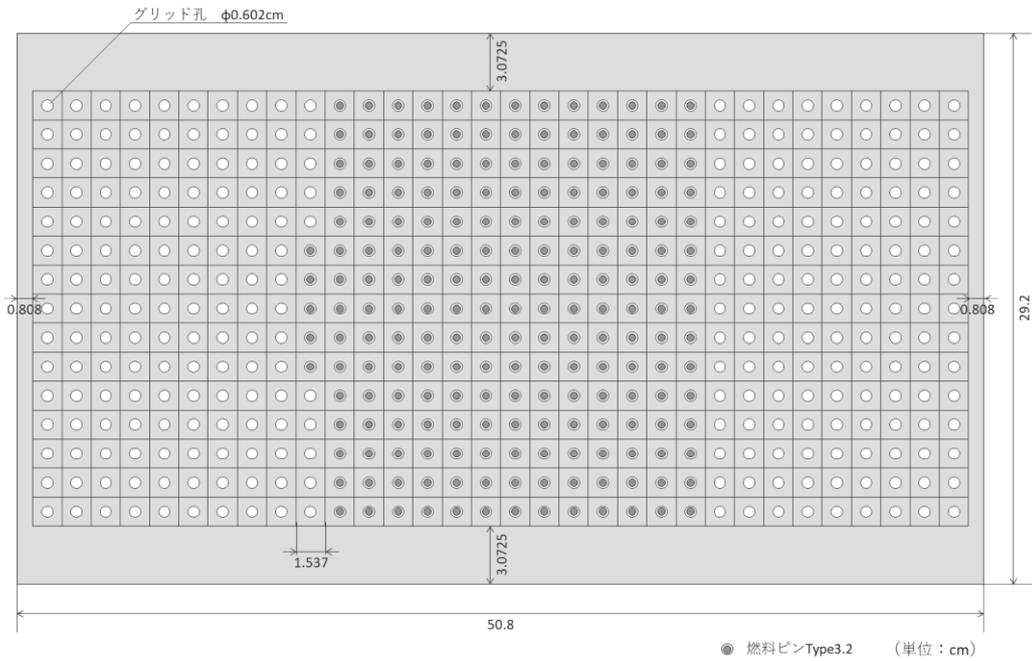


Fig. 3.1.4.9 燃料要素配列図 (X-Y 断面図) [pnl5803_05、実験番号 061]

- ※ 寸法条件は、文献 [PNL-5803⁹⁾ Figure3.5] より引用する。
- ※ Type3.2 200 本を配列する。
- ※ 配列ピッチ 1.537cm、燃料要素最大配列数 32×15

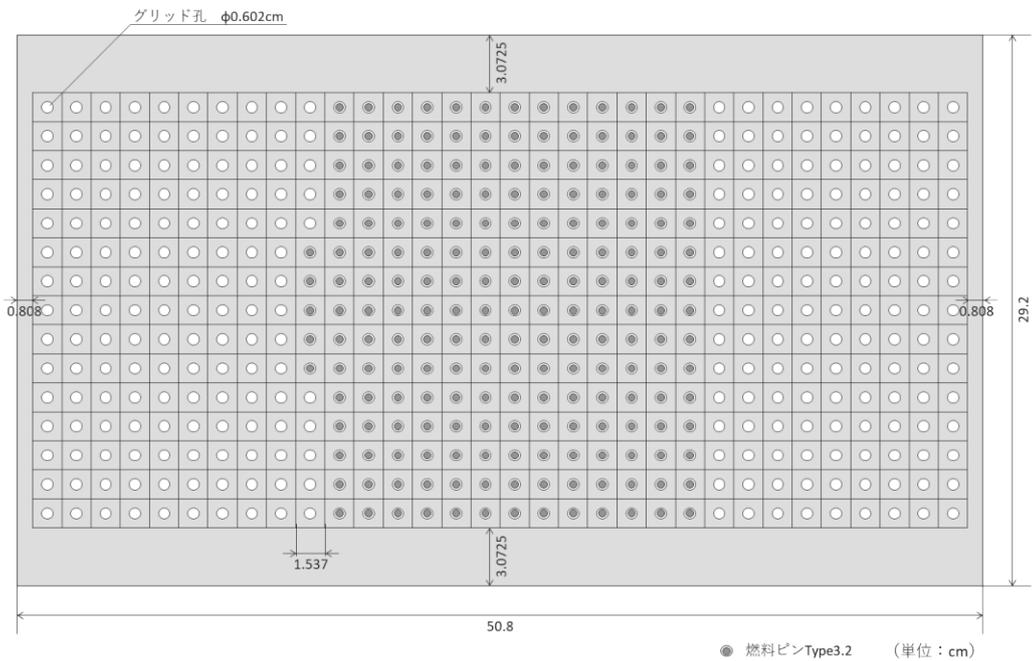


Fig. 3.1.4.10 燃料要素配列図 (X-Y 断面図) [pnl5803_06、実験番号 068R]

- ※ 寸法条件は、文献 [PNL-5803⁹⁾ Figure3.6] より引用する。
- ※ Type3.2 200 本を配列する。
- ※ 配列ピッチ 1.537cm、燃料要素最大配列数 32×15

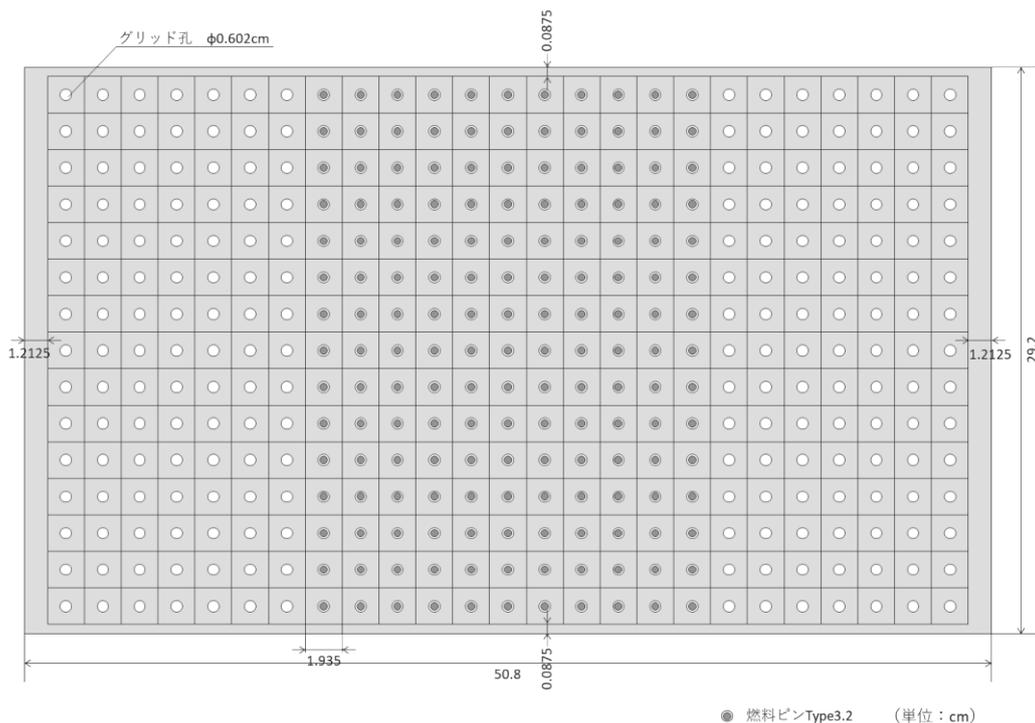


Fig. 3.1.4.11 燃料要素配列図 (X-Y 断面図) [pn15803_07、実験番号 060]

※ 寸法条件は、文献 [PNL-5803⁹⁾ Figure3.7] より引用する。

※ Type3.2 165 本を配列する。

※ 配列ピッチ 1.935cm、燃料要素最大配列数 25×15

• TBP・NPH有機溶剤の原子個数密度の算出方法

本実験において、一部の実験（060、061、062、063、065）では、減速材・反射体にリン酸トリブチル TBP とノーマルパラフィン炭化水素 NPH が混合された溶剤（TBP・NPH 有機溶剤）を用いている（付録-2.6 参照）。

Table 3.1.4.5 に TBP の原子個数密度を Table 3.1.4.7 に NPH の原子個数密度を示す。計算にあたっては、両者の原子個数密度を足し合わせて入力する。

TBP・NPH 有機溶剤については、文献 [PNL-5803⁹⁾] に以下の諸元が示されている。

- NPH の重量比：62wt%、TBP [(C₄H₉O)₃PO] の重量比：38wt(±0.2)%
(文献 [PNL-5803⁹⁾] p.2.8、p.3.5] より引用)
- NPH に含まれる C₁₁H₂₄～C₁₅H₃₂ の重量比

C ₁₁ H ₂₄ ：	0.51	±0.05wt%
C ₁₂ H ₂₆ ：	12.78	±0.23wt%
C ₁₃ H ₂₈ ：	54.55	±0.06wt%
C ₁₄ H ₃₀ ：	31.560	±0.78wt%
C ₁₅ H ₃₂ ：	0.23	±0.04wt%

(文献 [PNL-5803⁹⁾] TABLE D.1] より引用)

ここで、NPH に含まれる分子の重量比の合計が 100wt%にならないため、それぞれ合計量が 100wt%となるよう、重量比を以下のように補正する（Table 3.1.4.6 に NPH 中の炭化水素を示す）。

C ₁₁ H ₂₄ ：	0.51	+0.001894	=0.511894wt%
C ₁₂ H ₂₆ ：	12.78	+0.047462	=12.827462wt%
C ₁₃ H ₂₈ ：	54.55	+0.202585	=54.752585wt%
C ₁₄ H ₃₀ ：	31.560	+0.117206	=31.677206wt%
C ₁₅ H ₃₂ ：	0.23	+0.000854	=0.230854wt%

Table 3.1.4.5 TBP 中の原子個数密度

元素	原子量	原子数比 N_i	TBP 密度※1 ρ_{TBP} (g/cm ³)	単位体積当たりの TBP 分子数 M_{TBP} (mol/cm ³)	元素別密度 (g/cm ³)	単位体積当たり のモル数 M_i (mol/cm ³)	原子個数密度 G_i (atoms/barn・cm)
H	1.007970942	27	0.3129293	1.17505E-03	0.03198	0.03173	1.91061E-02
C	12.01063556	12			0.16936	0.01410	8.49161E-03
O	15.99937443	4			0.07520	0.00470	2.83054E-03
P	30.973762	1			0.03640	0.00118	7.07634E-04

※1 有機溶剤密度 (0.8244－不純物量) (g/cm³) ×38 (wt%) /100

Table 3.1.4.6 NPH 中の炭化水素

NPH 密度※ ρ_{NPH} (g/cm ³)	炭化水素名	分子式	分子量 A_{wi} (g/mol)	重量比 R_{wi} (wt%)	分子数比 R_{ai} (at%)	密度 ρ_i (g/cm ³)	モル密度 M_{di} (mol/cm ³)
0.51058	ウンデカン	C ₁₁ H ₂₄	156.308294	0.511894	6.10616E-01	0.00261	1.67208E-05
	ドデカン	C ₁₂ H ₂₆	170.334871	12.827462	1.40413E+01	0.06549	3.84501E-04
	トリデカン	C ₁₃ H ₂₈	184.361449	54.752585	5.53739E+01	0.27955	1.51633E-03
	テトラデカン	C ₁₄ H ₃₀	198.388026	31.677206	2.97716E+01	0.16174	8.15251E-04
	ペンタデカン	C ₁₅ H ₃₂	212.414604	0.230854	2.02639E-01	0.00118	5.54898E-06

※ 有機溶剤密度 (0.8244 - 不純物量) (g/cm³) × 62 (wt%) / 100

Table 3.1.4.7 NPH 中の C、H 原子個数密度

分子式	C 数 N_{Ci}	H 数 N_{Hi}	モル密度 M_{di} (mol/cm ³)	モル数 (mol/cm ³)		原子個数密度 (atoms/barn · cm)	
				C	H	C	H
C ₁₁ H ₂₄	11	24	1.67208E-05	1.83929E-04	4.01300E-04	1.10765E-04	2.41669E-04
C ₁₂ H ₂₆	12	26	3.84501E-04	4.61401E-03	9.99702E-03	2.77862E-03	6.02035E-03
C ₁₃ H ₂₈	13	28	1.51633E-03	1.97123E-02	4.24573E-02	1.18710E-02	2.55684E-02
C ₁₄ H ₃₀	14	30	8.15251E-04	1.14135E-02	2.44575E-02	6.87338E-03	1.47287E-02
C ₁₅ H ₃₂	15	32	5.54898E-06	8.32347E-05	1.77567E-04	5.01251E-05	1.06934E-04
NPH	13.149	28.298	2.73835E-03	3.60070E-02	7.74907E-02	2.16839E-02	4.66660E-02

● TBP-NPH 有機溶剤の不純物について

文献 [PNL-5803⁹⁾ TABLE D.2] に TBP-NPH 有機溶剤中の不純物についての記述 (PNC-1、PNC-2) がありこれを引用し、サンプル PNC-1 および PNC-2 の平均を採用値とする (Table 3.1.4.8)。

また、TBP-NPH 有機溶剤中の不純物の原子個数密度を Table 3.1.4.9 に示す。

Table 3.1.4.8 TBP-NPH 有機溶剤中の不純物について

元素	重量比 (ppm)		
	PNC-1	PNC-2	採用値
Al	<550.00	<530.00	540
Si	<350.00	<330.00	340
P	47000.00 ± 2400.00	41500.00 ± 2100.00	44250
S	144.00 ± 36.00	101.00 ± 33.00	122.5
Cl	<20.00	330 ± 12.00	26.5
K	<4.60	<3.90	4.25
Ca	8.80 ± 1.80	6.90 ± 1.60	7.85
Ti	<9.70	<8.50	9.1
V	<6.20	<5.50	5.85
Cr	<3.90	<3.50	3.7
Mn	<2.30	<2.10	2.2
Fe	12.4 ± 1.2	4.65 ± 0.01	8.525
Co	<1.10	<0.97	1.035
Ni	<0.76	<0.66	0.71
Cu	2.68 ± 0.36	1.99 ± 0.33	2.335
Zn	0.74 ± 0.23	2.20 ± 0.25	1.47
Ga	<3.30	<0.20	1.75
Mg	<1.20	<1.20	1.2
Se	<0.20	<0.28	0.24
Pb	<0.79	<0.80	0.795
As	<0.24	<0.24	0.24
Br	<0.26	<0.25	0.255
Rb	<0.30	<0.30	0.3

※ 文献 [PNL-5803⁹⁾ TABLE D.2] より引用

※ エネルギー分散型蛍光 X 線分析 (Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Analyses) にて分析

Table 3.1.4.9 NBP-NPH 有機溶剤中の不純物の原子個数密度

核種名	重量比 (wt%)	原子量	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
H	13.35368275	1.00797094	0.110087761	6.57721E-02
C	73.00156213	12.0106356	0.601824878	3.01755E-02
O	9.121847024	15.9993744	0.075200507	2.83054E-03
P	4.414827593	30.973762	0.036395839	7.07634E-04
Al	0.054	26.9815384	4.45176E-04	9.93610E-06
Si	0.034	28.0849993	2.80296E-04	6.01026E-06
P*	4.425	30.973762	3.64797E-02	7.09264E-04
S	0.01225	32.0654619	1.00989E-04	1.89665E-06
Cl	0.00265	35.45213876	2.18466E-05	3.71101E-07
K	0.000425	39.0983009	3.50370E-06	5.39660E-08
Ca	0.000785	40.0780225	6.47154E-06	9.72416E-08
Ti	0.00091	47.8667439	7.50204E-06	9.43836E-08
V	0.000585	50.9414656	4.82274E-06	5.70129E-08
Cr	0.00037	51.9961306	3.05028E-06	3.53280E-08
Mn	0.00022	54.9380432	1.81368E-06	1.98810E-08
Fe	0.0008525	55.8451437	7.02801E-06	7.57875E-08
Co	0.0001035	58.9331937	8.53254E-07	8.71905E-09
Ni	0.000071	58.6933505	5.85324E-07	6.00563E-09
Cu	0.0002335	63.5460395	1.92497E-06	1.82426E-08
Zn	0.000147	65.3777823	1.21187E-06	1.11629E-08
Ga	0.000175	69.723066	1.44270E-06	1.24609E-08
Mg	0.00012	24.3057012	9.89280E-07	2.45111E-08
Se	0.000024	78.9710815	1.97856E-07	1.50880E-09
Pb	0.0000795	207.216907	6.55398E-07	1.90472E-09
As	0.000024	74.9215946	1.97856E-07	1.59035E-09
Br	0.0000255	79.9043262	2.10222E-07	1.58438E-09
Rb	0.00003	85.4676636	2.47320E-07	1.74264E-09

※不純物成分として、文献 [PNL-5803⁹⁾ TABLE D.2] に記載があった P であるが、NBP 分子の中に含まれる P を計数しているため除外する。P を除いた不純物の合計密度は、0.000891016g/cm³ となる。

• 反射体（水）の不純物について

文献 [PNL-5803⁹⁾ TABLE C.1] に反射体の不純物が記載されており、これを引用する (Table 3.1.4.10)。本計算における反射体（水）の温度 20°Cを仮定し、その密度 0.9982g/cm³ (理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用) での原子個数密度を算出し、不純物の原子個数密度を加えて採用している。水の原子個数密度は、Table 3.1.4.3、Table 3.1.4.11 に示す。

Table 3.1.4.10 反射体（水）中の不純物 [PNL-5803]

	PNC-14
pH	6.7
Total alkalinity (mg/litre)	14.7
HCO ₃ alkalinity (mg/litre)	14
CO ₃ alkalinity (mg/litre)	<0.5
Total dissolved solids (mg/litre)	39
Sulfate (mg/litre)	2.8
Nitrate (as N) (mg/litre)	<0.2
Fluoride (mg/litre)	<0.1
Chloride (mg/litre)	0.6
Cadmium (mg/litre)	0.0048
Copper (mg/litre)	<0.01
Chromium (mg/litre)	1.2
Iron (mg/litre)	0.24
Lead (mg/litre)	0.006
Manganese (mg/litre)	<0.01
Zinc (mg/litre)	0.96

※文献 [PNL-5803⁹⁾ TABLE C.1] より引用する。

Table 3.1.4.11 反射体（水）中の不純物の原子個数密度 [PNL-5803]

	核種名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
水 (0.9982g/cm ³)	H	11.19016	1.00797094	1.11700E-01	6.67354E-02
	O	88.80984	15.9993744	8.86500E-01	3.33677E-02
不純物	H	2.31691E-05	1.00797094	2.31274E-07	1.38175E-07
	C	2.86101E-04	12.0106356	2.85586E-06	1.43193E-07
	O	1.39888E-03	15.9993744	1.39636E-05	5.25587E-07
	S	9.36315E-05	32.0654619	9.34630E-07	1.75531E-08
	N	2.00361E-05	14.0068578	2.00000E-07	8.59885E-09
	F	1.00180E-05	18.9984032	1.00000E-07	3.16981E-09
	Cl	6.01082E-05	35.4521388	6.00000E-07	1.01920E-08
	Cd	4.80866E-07	112.413819	4.80000E-09	2.57142E-11
	Cu	1.00180E-06	63.5460395	1.00000E-08	9.47682E-11
	Cr	1.20216E-04	51.9961306	1.20000E-06	1.38983E-08
	Fe	2.40433E-05	55.8451437	2.40000E-07	2.58807E-09
	Pb	6.01082E-07	207.216907	6.00000E-09	1.74372E-11
	Mn	1.00180E-06	54.9380432	1.00000E-08	1.09617E-10
Zn	9.61731E-05	65.3777823	9.60000E-07	8.84284E-09	
合算値 [*]	H	11.19018	1.00797094	1.11700E-01	6.67356E-02
	O	88.81124	15.9993744	8.86514E-01	3.33682E-02

※ H、Oについては、水の原子個数密度に、不純物に含まれる H、Oを加えて入力している。

• グリッド板（ポリプロピレン製）の不純物について

文献 [PNL-5803⁹⁾ APPENDIX E] において、グリッド板の材料であるポリプロピレンの微量の不純物が記載されている (Table 3.1.4.12)。

本ベンチマーク計算においては、ポリプロピレン密度を 0.904g/cm^3 として原子個数密度を計算しているが、不純物を考慮するため、ポリプロピレン C_3H_6 分子 0.9036338g/cm^3 と不純物 0.0003662g/cm^3 がその内訳となる。ポリプロピレンの原子個数密度は Table 3.1.4.3 に示す (付録-2.2.10 を参照)。

Table 3.1.4.12 グリッド板（ポリプロピレン製）中の不純物 [PNL-5803]

元素	Parts per Million by Weight (ppm)
Li [※]	2
Be	1
B [※]	0.04
Na	30
Mg	6
Al	30
Si	10
P	5
CL	1
K	40
Ti	<100
V	10
Cr	<10
Mn	<2
Cu	100
Zn	50
As	8

※ 文献 [PNL-5803⁹⁾ APPENDIX E TABLE E.1] より引用する。

※ SSMS 分析（火花源質量分析：spark source mass spectrographic analysis）による。

※ B および Li の同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する（付録-1.3 を参照）。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

3.1.5 PNL-6559

この実験では、Fast Flux Test Facility (FFTF) の燃料要素 Type 3.2 (Pu/MOX=19.84wt%) 996 本をボイラーチューブ型容器 (SUS304L ステンレス製、直径 53.188cm、高さ 184.119cm) 内に挿入した状態で、容器内に (Pu+U) 硝酸水溶液を順次注入し、臨界状態となった時点での硝酸水溶液の高さ (臨界高さ) を測定している。

実験は、計 13 ケースが実施されているが、このうち実験番号 117 (pnl6559_13) は、燃料要素を取り除いた実験体系であり、非均質体系ではないため、本ベンチマーク計算では評価対象外とする。

Table 3.1.5.1 に臨界実験データを示す (12+1 ケース)。

本計算モデルにおいて、ボイラーチューブ型容器は、反射体 (水) が充填された直方体状の反射体タンク内 (炭素鋼製、幅 (内) 177.5cm、奥行 (内) 92.49cm、高さ (内) 156.865cm) の左側に設置される。ボイラーチューブ型容器の下端は、タンク底板上面より 16cm 上方の高さに位置している。また、ボイラーチューブ型容器に並列して、右側には、円環状容器 (外径 53.34cm、高さ 128.5113cm) がタンク底板上面より 18.9038cm の高さに設置されている。

ボイラーチューブ型容器には、溶液と直接触れることを避けるため、SUS304L ステンレス製のガイドチューブ 996 本が設置されている。また、燃料要素の間隔を一定に保つためにステンレス製のグリッド板と下部にポリエチレン製のスペーサ (ポリエチレンスペーサ) が設置されている。

ガイドチューブは外径 0.6462±0.0028cm、内径 0.6083±0.0013cm となっており、燃料要素は、このガイドチューブの中に挿入される。またグリッド板は、タンクの上部と中央部につけられており、上部のトッププレートは厚さ 1.93cm である。中央部のミドルプレートは直径 52.426cm、厚さ 0.478cm、ガイドチューブの通る孔の直径は 0.675cm である。

ボイラーチューブ型容器下部にはポリエチレンスペーサが設置してあり、ガイドチューブの正方格子間隔を一定に維持するとともに燃料要素の最下部の周囲から、(Pu+U) 硝酸水溶液を排除するための充填材として機能している。燃料要素の MOX 燃料の最下端レベルとポリエチレンスペーサ上面のレベルは、ほぼ同一となっている (燃料スタック下端の高さがポリエチレンスペーサ上面の高さより 0.028cm 下に位置する)。

ポリエチレンスペーサは直径 53.006cm、高さ 21.184cm で、直径 0.701cm の孔が 996 個、正方格子状に設けられている。このような実験装置に据え付けられた燃料要素は、1.4cm の間隔で正方格子状に配置される。

本計算では、ボイラーチューブ型容器 (および支持板、ポリエチレンスペーサ、ガイドチューブ)、円環状容器と反射体 (水) および反射体タンクをモデル化する。反射体 (水) は、ボイラーチューブ型容器の頭頂部より、56.0cm 下の高さまで充填されている。上方においては、燃料要素の頭頂部まで考慮し、反射体水位より上の領域は空気雰囲気とする。計算モデルの外側境界領域は全て真空とする。

Fig. 3.1.5.1 に実験体系の計算モデル図 (X-Y 断面) を示す。

Fig. 3.1.5.2 に実験体系の計算モデル図 (X-Z 断面) を示す。

図中の“Hf”は、臨界となったときの (Pu+U) 硝酸水溶液の高さを示している。この寸法は、Table 3.1.5.1 に示されている臨界高さ寸法を設定する。

Fig. 3.1.5.3 にボイラーチューブ型容器内の燃料要素配列図を示す。

Fig. 3.1.5.4 にボイラーチューブ型容器の概略図を示す。

Fig. 3.1.5.5 にポリエチレンスペーサの詳細構造図を示す。

Fig. 3.1.5.6 に燃料要素 (FFTF Type3.2) の計算モデルを示す。

燃料要素は、ガイドチューブ内に装荷され、水溶液と燃料要素が直接に接触しない構造となっている。

Fig. 3.1.5.7 に円環状容器の計算モデル図を示す。

Table 3.1.5.2 に燃料ペレット中の Pu および U の同位体組成比を示す。

Table 3.1.5.3 に (Pu+U) 硝酸水溶液中 Pu および U の同位体組成比を示す。

Table 3.1.5.4 に (Pu+U) 硝酸水溶液中の Am-241 濃度を示す。

Table 3.1.5.5 に実験装置の温度条件を示す。

Table 3.1.5.6 に空気中水分の H および O 原子個数密度を示す。

Table 3.1.5.7 に (Pu+U) 硝酸水溶液の原子個数密度を示す。

Table 3.1.5.8 に計算に用いた物質の原子個数密度を示す。

Table 3.1.5.9 に燃料ペレット中の補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度を示す。

Table 3.1.5.10 に硝酸溶液中の補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度を示す。

Pu-241 の放射性壊変 (β 崩壊) により、Pu-241 および Am-241 の原子個数密度は、時間の経過とともに Pu-241 は減じ Am-241 は増加する。このため、分析時期と実験時期との期間を考慮して、Pu-241、Am-241 の原子個数密度を補正する (付録-3 を参照)。

Table 3.1.5.1 臨界実験データおよび計算ケース [PNL-6559]

計算 ケース	実験番号	(Pu+U) 硝酸水溶液						臨界高さ (cm)
		Pu (g/litre)	U (g/litre)	Gd (g/litre)	²⁴¹ Am ^{※2} (μg/ml)	酸性度 (mol/litre)	密度 (g/cm ³)	
pnl6559_01	106	0.88	2.7	0.0	4.9533 ^{※1}	0.41	1.0170	18.41
pnl6559_02	106R	0.88	2.7	0.0	4.9533 ^{※1}	0.41	1.0170	18.55
pnl6559_03	107	73.95	254.09	0.0	416.2436 ^{※1}	0.57	1.4833	21.34
pnl6559_04	109	47.50	163.06	0.0	265	0.52	1.3168	20.01
pnl6559_05	110	22.63	77.84	0.0	127.3779 ^{※1}	0.47	1.1577	18.90
pnl6559_06	110R	22.63	77.84	0.0	127.3779 ^{※1}	0.47	1.1577	19.03
pnl6559_07	111	103.7	363.98	0.0	573	0.66	1.6784	23.87
pnl6559_08	112	103.18	360.62	0.49	573	0.65	1.6758	30.28
pnl6559_09	113	102.23	359.69	0.98	573	0.65	1.6746	38.78
pnl6559_10	114	102.65	359.59	1.47	573	0.66	1.6745	51.06
pnl6559_11	115	102.68	359.55	1.97	573	0.65	1.6748	73.08
pnl6559_12	116	103.61	362.45	2.16	573	0.65	1.6790	90.27
pnl6559_13 ^{※3}	117	83.3	286.57	0.0	453	0.90	1.5507	27.42

※1 Am の含有量以外の値は、文献 [PNL-6559¹⁰⁾ TABLE 3.3] より引用する。

※2 Am の含有量は、文献 [PNL-6559¹⁰⁾ TABLE 3.3] に記載された値（実験番号 109、111～116、117）とその値から類推される値（Pu 濃度に対する比により類推）を用いる。詳細は Table 3.1.5.4 を参照。

※3 pnl6559_13（実験番号 117）は、燃料要素を取り除いた実験で非均質体系ではないため、本計算では評価対象外とする。

Table 3.1.5.2 MOX 燃料ペレット、UO₂ インシュレータの同位体組成 [PNL-6559]

		Type3.2		
		文献記載値 ^{※1}	採用値	
MOX 燃料 スタック	密度 (g/cm ³)	9.830±0.320	9.830	
	Pu/MOX (wt%)	19.84	19.8366	
	PuO ₂ 富化度 (wt%)	—	22.4840	
	分析時期	January of 1976	1976/01/01	
	組成 (wt%)	Pu-238	0.0111	0.0111
		Pu-239	17.1251	17.1251
		Pu-240	2.3150	2.3150
		Pu-241	0.2876	0.2876
		Am-241	0.0597	0.0597
		Pu-242	0.0381	0.0381
U-235		0.4853	0.4853	
U-238		67.8638	67.8638	
	O	11.8143	11.8143	
UO ₂ インシュレータ	密度 (g/cm ³)	10.42±0.22	10.42	
	組成 ^{※2} (at%)	U-234	天然ウラン	0.0054
		U-235		0.7204
		U-238		99.2742
		O/M 比		—

※1 文献 [PNL-6559¹⁰⁾ Figure 2.13] より引用する。

※2 UO₂ インシュレータの U 同位体組成比の記載がないため、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する（付録-1.3 を参照）。

U-234 : U-235 : U-238 = 0.0054 : 0.7204 : 99.2742 at%

Table 3.1.5.3 (Pu+U)硝酸水溶液中のPu、Uの同位体元素の重量比 [PNL-6559]

サンプル番号		文献値 ^{※1}		採用値 ^{※2}
		sample1232	sample1235	
同位体重量比 (wt%)	Pu-238	0.046±0.005	0.032±0.004	0.039001
	Pu-239	91.11±0.04	91.12±0.04	91.116367
	Pu-240	8.33±0.04	8.33±0.04	8.330125
	Pu-241	0.419±0.02	0.419±0.02	0.419006
	Pu-242	0.095±0.001	0.096±0.001	0.095501
	U-234	0.008±0.001	0.007±0.01	0.007500
	U-235	0.705±0.008	0.709±0.005	0.706996
	U-236	0.053±0.005	0.053±0.05	0.053000
U-238	99.234±0.008	99.232±0.008	99.232504	

※1 文献 [PNL-6559¹⁰⁾ TABLE 3.4] より引用する。分析時期は1987/12/14である。

※2 本ベンチマーク計算に用いた同位体元素の重量比は、sample1232 と sample1235 の平均値をとり、かつ組成の合計が100wt%となるよう調整する。

Table 3.1.5.4 (Pu+U)硝酸水溶液中のAm-241濃度 [PNL-6559]

計算ケース	実験番号	サンプル番号	Pu濃度 (gPu/litre)	Am-241濃度 ^{※1} ($\mu\text{g}^{241}\text{Am/ml}$)	分析時期
pnl6559_01	106	—	0.88	4.95327 ^{※2}	1987/12/16 ^{※3}
pnl6559_02	106R	—	0.88	4.95327 ^{※2}	1987/12/16 ^{※3}
pnl6559_03	107	—	73.95	416.2436 ^{※2}	1987/12/16 ^{※3}
pnl6559_04	109	sample 1232	47.50	265	1987/12/16
pnl6559_05	110	—	22.63	127.3779 ^{※2}	1987/12/16 ^{※3}
pnl6559_06	110R	—	22.63	127.3779 ^{※2}	1987/12/16 ^{※3}
pnl6559_07	111	sample 1235	103.7	573	1987/12/16
pnl6559_08	112		103.18		
pnl6559_09	113		102.23		
pnl6559_10	114		102.65		
pnl6559_11	115		102.68		
pnl6559_12	116		103.61		
pnl6559_13 ^{※4}	117	sample 1263	83.3	453	1988/04/29

※1 文献 [PNL-6559¹⁰⁾ TABLE 3.3] より引用する。

※2 sample 1232 の分析結果を使用して、プルトニウム濃度に基づく比率から、実験 106、106R、107、110 および 110R の Am-241 濃度を推定する。sample 1232 のプルトニウム濃度は 47.08 (gPu/litre) と記載されている。

※3 実験 106、106R、107、110 および 110R の Am-241 濃度は、sample 1232 より推定しているため、分析時期は不明である。本ベンチマーク計算では、便宜上、Am-241 分析時期を、sample 1232 の分析時期とする。

※4 pnl6559_13 (実験番号 117) は、非均質体系ではないため、本計算では評価対象外とする。

Table 3.1.5.5 実験装置の温度条件 [PNL-6559]

計算 ケース	実験番号	温度 (°C)		
		反射体	溶液 (タンク)	室 温
pnl6559 01	106	24.0	24.1	25.2
pnl6559 02	106R	23.7	24.0	24.2
pnl6559 03	107	23.3	23.9	24.3
pnl6559 04	109	21.4	22.6	24.0
pnl6559 05	110	21.3	22.4	24.1
pnl6559 06	110R	22.1	22.5	23.6
pnl6559 07	111	20.6	24.4	23.6
pnl6559 08	112	19.1	24.7	23.9
pnl6559 09	113	21.9	24.7	23.6
pnl6559 10	114	17.9	24.2	22.7
pnl6559 11	115	17.4	23.4	22.6
pnl6559 12	116	18.1	23.0	22.9
pnl6559 13	117	21.4	22.3	26.2

※ 文献 [PNL-6559¹⁰⁾ TABLE 3.5] より引用する。本ベンチマーク計算においては、タンク内の空気については、溶液 (タンク) 温度、タンク外の空気については反射体温度とする。

Table 3.1.5.6 空気中水分の H および O 原子個数密度 [PNL-6559]

ケース	タンク内空気 (減速材)				タンク外空気 (反射体)			
	温度 (°C)	水分密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)		温度 (°C)	水分密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	
			H	O			H	O
pnl6559 01	24.1	0.00002191	1.46456E-06	7.32278E-07	24.0	0.00002178	1.45628E-06	7.28140E-07
pnl6559 02	24.0	0.00002178	1.45628E-06	7.28140E-07	23.7	0.00002141	1.43170E-06	7.15848E-07
pnl6559 03	23.9	0.00002166	1.44805E-06	7.24023E-07	23.3	0.00002093	1.39947E-06	6.99735E-07
pnl6559 04	22.6	0.00002011	1.34458E-06	6.72289E-07	21.4	0.00001877	1.25479E-06	6.27394E-07
pnl6559 05	22.4	0.00001988	1.32924E-06	6.64620E-07	21.3	0.00001866	1.24754E-06	6.23772E-07
pnl6559 06	22.5	0.00002000	1.33689E-06	6.68445E-07	22.1	0.00001954	1.30652E-06	6.53258E-07
pnl6559 07	24.4	0.00002228	1.48963E-06	7.44813E-07	20.6	0.00001792	1.19784E-06	5.98921E-07
pnl6559 08	24.7	0.00002266	1.51506E-06	7.57532E-07	19.1	0.00001641	1.09706E-06	5.48530E-07
pnl6559 09	24.7	0.00002266	1.51506E-06	7.57532E-07	21.9	0.00001932	1.29155E-06	6.45776E-07
pnl6559 10	24.2	0.00002203	1.47287E-06	7.36436E-07	17.9	0.00001528	1.02179E-06	5.10895E-07
pnl6559 11	23.4	0.00002105	1.40747E-06	7.03734E-07	17.4	0.00001483	9.91772E-07	4.95886E-07
pnl6559 12	23.0	0.00002058	1.37571E-06	6.87857E-07	18.1	0.00001547	1.03402E-06	5.17008E-07
pnl6559 13	22.3	0.00001977	1.32163E-06	6.60814E-07	21.4	0.00001877	1.25479E-06	6.27394E-07

※ 空気中の主成分 (N₂、O₂ 等々) については考慮せず、中性子への影響が大きい空気中の水分について考慮する。空気中の水分は、ボイラータンク型容器内外での温度における飽和水蒸気量を算出し引用する (付録-2.2.17 を参照)。

Table 3.1.5.7 (Pu+U)硝酸水溶液の原子個数密度 [PNL-6559] [1/7]

計算ケース	pnl6559_01		pnl6559_02	
実験番号	106		106R	
水溶液密度 (g/cm ³)	1.017		1.017	
温度 (°C)	24.1		24	
Pu 濃度 (g/litre)	0.88		0.88	
²⁴¹ Am 濃度 (g/litre)	0.004953271		0.004953271	
U 濃度 (g/litre)	2.7		2.7	
Gd 濃度 (g/litre)	0		0	
酸性度 (mol/litre)	0.41		0.41	
実験時期	1987/11/04		1987/11/05	
Pu 分析時期	1987/12/14		1987/12/14	
Am 分析時期	1987/12/16		1987/12/16	
核種名	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 ^{※1} (atoms/barn・cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 ^{※1} (atoms/barn・cm)
Pu-238	3.43205E-07	8.68235E-10	3.43205E-07	8.68235E-10
Pu-239	8.01824E-04	2.01993E-06	8.01824E-04	2.01993E-06
Pu-240	7.33051E-05	1.83898E-07	7.33051E-05	1.83898E-07
Pu-241 ^{※2}	3.70684E-06	9.26052E-09	3.70635E-06	9.25929E-09
Pu-242	8.40413E-07	2.09085E-09	8.40413E-07	2.09085E-09
Am-241 ^{※2}	4.93271E-06	1.23230E-08	4.93320E-06	1.23242E-08
U-234	2.02499E-07	5.21053E-10	2.02499E-07	5.21053E-10
U-235	1.90889E-05	4.89083E-08	1.90889E-05	4.89083E-08
U-236	1.43099E-06	3.65084E-09	1.43099E-06	3.65084E-09
U-238	2.67928E-03	6.77796E-06	2.67928E-03	6.77796E-06
N	6.26674E-03	2.69434E-04	6.26674E-03	2.69434E-04
O	8.96528E-01	3.37452E-02	8.96528E-01	3.37452E-02
H	1.10625E-01	6.60933E-02	1.10625E-01	6.60933E-02
Gd	—	—	—	—
不純物 ^{※3}	Table 3.1.5.12 参照			

※1 (Pu+U)硝酸水溶液の原子個数密度については、付録-2.4を参照。

※2 分析時期と実験時期が異なることから、その期間の壊変を考慮し、Pu-241 および Am-241 について補正を行う (Table 3.1.5.10、付録-3を参照)。

※3 (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物については、Table 3.1.5.11、Table 3.1.5.12、付録-2.4を参照。

Table 3.1.5.7 (Pu+U)硝酸水溶液の原子個数密度 [PNL-6559] [2/7]

計算ケース	pnl6559_03		pnl6559_04	
実験番号	107		109	
水溶液密度 (g/cm ³)	1.4833		1.3168	
温度 (°C)	23.9		22.6	
Pu 濃度 (g/litre)	73.95		47.5	
²⁴¹ Am 濃度 (g/litre)	0.416243628		0.265	
U 濃度 (g/litre)	254.09		163.06	
Gd 濃度 (g/litre)	0		0	
酸性度 (mol/litre)	0.57		0.52	
実験時期	1987/11/09		1987/11/19	
Pu 分析時期	1987/12/14		1987/12/14	
Am 分析時期	1987/12/16		1987/12/16	
核種名	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 ^{※1} (atoms/barn・cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 ^{※1} (atoms/barn・cm)
Pu-238	2.88409E-05	7.29613E-08	1.85253E-05	4.68650E-08
Pu-239	6.73806E-02	1.69743E-04	4.32803E-02	1.09031E-04
Pu-240	6.16013E-03	1.54537E-05	3.95681E-03	9.92630E-06
Pu-241 ^{※2}	3.11295E-04	7.77684E-07	1.99688E-04	4.98866E-07
Pu-242	7.06233E-05	1.75703E-07	4.53632E-05	1.12858E-07
Am-241 ^{※2}	4.14722E-04	1.03607E-06	2.64287E-04	6.60249E-07
U-234	1.90567E-05	4.90349E-08	1.22294E-05	3.14677E-08
U-235	1.79641E-03	4.60264E-06	1.15283E-03	2.95370E-06
U-236	1.34667E-04	3.43571E-07	8.64214E-05	2.20484E-07
U-238	2.52140E-01	6.37856E-04	1.61809E-01	4.09339E-04
N	5.52131E-02	2.37384E-03	3.76026E-02	1.61669E-03
O	1.00143E+00	3.76938E-02	9.65462E-01	3.63398E-02
H	9.86129E-02	5.89164E-02	1.03176E-01	6.16425E-02
Gd	—	—	—	—
不純物 ^{※3}	Table 3.1.5.12 参照			

※1 (Pu+U)硝酸水溶液の原子個数密度については、付録-2.4を参照。

※2 分析時期と実験時期が異なることから、その期間の壊変を考慮し、Pu-241 および Am-241 について補正を行う (Table 3.1.5.10、付録-3を参照)。

※3 (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物については、Table 3.1.5.11、Table 3.1.5.12、付録-2.4を参照。

Table 3.1.5.7 (Pu+U)硝酸水溶液の原子個数密度 [PNL-6559] [3/7]

計算ケース	pnl6559_05		pnl6559_06	
実験番号	110		110R	
水溶液密度 (g/cm ³)	1.1577		1.1577	
温度 (°C)	22.4		22.5	
Pu 濃度 (g/litre)	22.63		22.63	
²⁴¹ Am 濃度 (g/litre)	0.127377867		0.127377867	
U 濃度 (g/litre)	77.84		77.84	
Gd 濃度 (g/litre)	0		0	
酸性度 (mol/litre)	0.47		0.47	
実験時期	1987/11/24		1987/11/25	
Pu 分析時期	1987/12/14		1987/12/14	
Am 分析時期	1987/12/16		1987/12/16	
核種名	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 ^{※1} (atoms/barn・cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 ^{※1} (atoms/barn・cm)
Pu-238	8.82583E-06	2.23275E-08	8.82583E-06	2.23275E-08
Pu-239	2.06196E-02	5.19445E-05	2.06196E-02	5.19445E-05
Pu-240	1.88511E-03	4.72910E-06	1.88511E-03	4.72910E-06
Pu-241 ^{※2}	9.50726E-05	2.37513E-07	9.50600E-05	2.37481E-07
Pu-242	2.16120E-05	5.37681E-08	2.16120E-05	5.37681E-08
Am-241 ^{※2}	1.27101E-04	3.17527E-07	1.27114E-04	3.17559E-07
U-234	5.83797E-06	1.50218E-08	5.83797E-06	1.50218E-08
U-235	5.50326E-04	1.41001E-06	5.50326E-04	1.41001E-06
U-236	4.12550E-05	1.05252E-07	4.12550E-05	1.05252E-07
U-238	7.72426E-02	1.95406E-04	7.72426E-02	1.95406E-04
N	2.10461E-02	9.04859E-04	2.10461E-02	9.04859E-04
O	9.29054E-01	3.49695E-02	9.29054E-01	3.49695E-02
H	1.07130E-01	6.40050E-02	1.07130E-01	6.40050E-02
Gd	—	—	—	—
不純物 ^{※3}	Table 3.1.5.12 参照			

※1 (Pu+U)硝酸水溶液の原子個数密度については、付録-2.4を参照。

※2 分析時期と実験時期が異なることから、その期間の壊変を考慮し、Pu-241 および Am-241 について補正を行う (Table 3.1.5.10、付録-3を参照)。

※3 (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物については、Table 3.1.5.11、Table 3.1.5.12、付録-2.4を参照。

Table 3.1.5.7 (Pu+U)硝酸水溶液の原子個数密度 [PNL-6559] [4/7]

計算ケース	pnl6559 07		pnl6559 08	
実験番号	111		112	
水溶液密度 (g/cm ³)	1.6784		1.6758	
温度 (°C)	24.4		24.7	
Pu 濃度 (g/litre)	103.7		103.18	
²⁴¹ Am 濃度 (g/litre)	0.573		0.573	
U 濃度 (g/litre)	363.98		360.62	
Gd 濃度 (g/litre)	0		0.49	
酸性度 (mol/litre)	0.66		0.65	
実験時期	1987/12/02		1987/12/09	
Pu 分析時期	1987/12/14		1987/12/14	
Am 分析時期	1987/12/16		1987/12/16	
核種名	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 ^{※1} (atoms/barn・cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 ^{※1} (atoms/barn・cm)
Pu-238	4.04436E-05	1.02314E-07	4.02408E-05	1.01801E-07
Pu-239	9.44877E-02	2.38031E-04	9.40139E-02	2.36837E-04
Pu-240	8.63834E-03	2.16707E-05	8.59502E-03	2.15620E-05
Pu-241 ^{※2}	4.35201E-04	1.08723E-06	4.32617E-04	1.08077E-06
Pu-242	9.90350E-05	2.46388E-07	9.85384E-05	2.45152E-07
Am-241 ^{※2}	5.72194E-04	1.42947E-06	5.72599E-04	1.43048E-06
U-234	2.72984E-05	7.02418E-08	2.70464E-05	6.95934E-08
U-235	2.57333E-03	6.59321E-06	2.54957E-03	6.53234E-06
U-236	1.92908E-04	4.92160E-07	1.91128E-04	4.87617E-07
U-238	3.61186E-01	9.13719E-04	3.57852E-01	9.05284E-04
N	7.63766E-02	3.28375E-03	7.58502E-02	3.26112E-03
O	1.04158E+00	3.92049E-02	1.04251E+00	3.92398E-02
H	9.27628E-02	5.54213E-02	9.31536E-02	5.56548E-02
Gd	—	—	4.90000E-04	1.87651E-06
不純物 ^{※3}	Table 3.1.5.12 参照			

※1 (Pu+U)硝酸水溶液の原子個数密度については、付録-2.4を参照。

※2 分析時期と実験時期が異なることから、その期間の壊変を考慮し、Pu-241およびAm-241について補正を行う (Table 3.1.5.10、付録-3を参照)。

※3 (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物については、Table 3.1.5.11、Table 3.1.5.12、付録-2.4を参照。

Table 3.1.5.7 (Pu+U)硝酸水溶液の原子個数密度 [PNL-6559] [5/7]

計算ケース		pnl6559 09		pnl6559 10	
実験番号		113		114	
水溶液密度 (g/cm ³)		1.6746		1.6745	
温度 (°C)		24.7		24.2	
Pu 濃度 (g/litre)		102.23		102.65	
²⁴¹ Am 濃度 (g/litre)		0.573		0.573	
U 濃度 (g/litre)		359.69		359.59	
Gd 濃度 (g/litre)		0.98		1.47	
酸性度 (mol/litre)		0.65		0.66	
実験時期		1987/12/11		1987/12/17	
Pu 分析時期		1987/12/14		1987/12/14	
Am 分析時期		1987/12/16		1987/12/16	
核種名	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 ^{※1} (atoms/barn・cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 ^{※1} (atoms/barn・cm)	
Pu-238	3.98703E-05	1.00863E-07	4.00341E-05	1.01278E-07	
Pu-239	9.31483E-02	2.34657E-04	9.35310E-02	2.35621E-04	
Pu-240	8.51589E-03	2.13635E-05	8.55087E-03	2.14513E-05	
Pu-241 ^{※2}	4.28520E-04	1.07054E-06	4.29939E-04	1.07408E-06	
Pu-242	9.76311E-05	2.42895E-07	9.80322E-05	2.43893E-07	
Am-241 ^{※2}	5.72716E-04	1.43077E-06	5.73057E-04	1.43162E-06	
U-234	2.69766E-05	6.94139E-08	2.69691E-05	6.93946E-08	
U-235	2.54300E-03	6.51550E-06	2.54229E-03	6.51368E-06	
U-236	1.90635E-04	4.86359E-07	1.90582E-04	4.86224E-07	
U-238	3.56929E-01	9.02950E-04	3.56830E-01	9.02699E-04	
N	7.56491E-02	3.25248E-03	7.60068E-02	3.26785E-03	
O	1.04276E+00	3.92494E-02	1.04176E+00	3.92118E-02	
H	9.32884E-02	5.57353E-02	9.30199E-02	5.55749E-02	
Gd	9.80000E-04	3.75302E-06	1.47000E-03	5.62952E-06	
不純物 ^{※3}	Table 3.1.5.12 参照				

※1 (Pu+U)硝酸水溶液の原子個数密度については、付録-2.4を参照。

※2 分析時期と実験時期が異なることから、その期間の壊変を考慮し、Pu-241およびAm-241について補正を行う (Table 3.1.5.10、付録-3を参照)。

※3 (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物については、Table 3.1.5.11、Table 3.1.5.12、付録-2.4を参照。

Table 3.1.5.7 (Pu+U)硝酸水溶液の原子個数密度 [PNL-6559] [6/7]

計算ケース	pnl6559 11		pnl6559 12	
実験番号	115		116	
水溶液密度 (g/cm ³)	1.6748		1.679	
温度 (°C)	23.4		23	
Pu 濃度 (g/litre)	102.68		103.61	
²⁴¹ Am 濃度 (g/litre)	0.573		0.573	
U 濃度 (g/litre)	359.55		362.45	
Gd 濃度 (g/litre)	1.97		2.16	
酸性度 (mol/litre)	0.65		0.65	
実験時期	1987/12/23		1987/12/31	
Pu 分析時期	1987/12/14		1987/12/14	
Am 分析時期	1987/12/16		1987/12/16	
核種名	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 ^{※1} (atoms/barn・cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 ^{※1} (atoms/barn・cm)
Pu-238	4.00458E-05	1.01307E-07	4.04085E-05	1.02225E-07
Pu-239	9.35583E-02	2.35690E-04	9.44057E-02	2.37824E-04
Pu-240	8.55337E-03	2.14575E-05	8.63084E-03	2.16519E-05
Pu-241 ^{※2}	4.29723E-04	1.07354E-06	4.33156E-04	1.08212E-06
Pu-242	9.80609E-05	2.43964E-07	9.89490E-05	2.46174E-07
Am-241 ^{※2}	5.73399E-04	1.43248E-06	5.73861E-04	1.43363E-06
U-234	2.69661E-05	6.93869E-08	2.71836E-05	6.99465E-08
U-235	2.54201E-03	6.51296E-06	2.56251E-03	6.56549E-06
U-236	1.90561E-04	4.86170E-07	1.92098E-04	4.90091E-07
U-238	3.56790E-01	9.02598E-04	3.59668E-01	9.09878E-04
N	7.60026E-02	3.26767E-03	7.66126E-02	3.29390E-03
O	1.04161E+00	3.92059E-02	1.04150E+00	3.92019E-02
H	9.29923E-02	5.55584E-02	9.26667E-02	5.53639E-02
Gd	1.97000E-03	7.54433E-06	2.16000E-03	8.27195E-06
不純物 ^{※3}	Table 3.1.5.12 参照			

※1 (Pu+U)硝酸水溶液の原子個数密度については、付録-2.4を参照。

※2 分析時期と実験時期が異なることから、その期間の壊変を考慮し、Pu-241およびAm-241について補正を行う (Table 3.1.5.10、付録-3を参照)。

※3 (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物については、Table 3.1.5.11、Table 3.1.5.12、付録-2.4を参照。

Table 3.1.5.7 (Pu+U)硝酸水溶液の原子個数密度 [PNL-6559] [7/7]

計算ケース	pnl6559_13 ^{※4}	
実験番号	117	
水溶液密度 (g/cm ³)	1.5507	
温度 (°C)	22.3	
Pu 濃度 (g/litre)	83.3	
²⁴¹ Am 濃度 (g/litre)	0.453	
U 濃度 (g/litre)	286.57	
Gd 濃度 (g/litre)	0	
酸性度 (mol/litre)	0.9	
実験時期	1988/04/04	
Pu 分析時期	1987/12/14	
Am 分析時期	1988/04/29	
核種名	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 ^{※1} (atoms/barn・cm)
Pu-238	3.24875E-05	8.21863E-08
Pu-239	7.58999E-02	1.91205E-04
Pu-240	6.93899E-03	1.74076E-05
Pu-241 ^{※2}	3.43893E-04	8.59122E-07
Pu-242	7.95527E-05	1.97918E-07
Am-241 ^{※2}	4.51863E-04	1.12886E-06
U-234	2.14926E-05	5.53030E-08
U-235	2.02604E-03	5.19099E-06
U-236	1.51881E-04	3.87489E-07
U-238	2.84371E-01	7.19393E-04
N	6.58485E-02	2.83110E-03
O	1.01897E+00	3.83538E-02
H	9.60127E-02	5.73629E-02
Gd	—	—
不純物 ^{※3}	Table 3.1.5.12 参照	

※1 (Pu+U)硝酸水溶液の原子個数密度については、付録-2.4を参照。

※2 分析時期と実験時期が異なることから、その期間の壊変を考慮し、Pu-241およびAm-241について補正を行う (Table 3.1.5.10、付録-3を参照)。

※3 (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物については、Table 3.1.5.11、Table 3.1.5.12、付録-2.4を参照。

※4 pnl6559_13 (実験番号 117) は、非均質体系ではないため、本計算では評価対象外とする。

Table 3.1.5.8 物質の原子個数密度 [PNL-6559] [1/2]

使用部材	材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
燃料要素	MOX 燃料 (Type-3.2) PuO ₂ 富化度 22.484wt% O/M=1.995	9.83	Pu-238	0.0111	238.0495614	2.76032E-06
			Pu-239	17.1251	239.0521648	4.24077E-03
			Pu-240	2.315	240.0538150	5.70883E-04
			Pu-241 ^{※1}	0.2876	241.0568529	Table 3.1.5.9 を参照
			Pu-242	0.0381	242.0587440	9.31770E-06
			Am-241 ^{※1}	0.0597	241.0568306	Table 3.1.5.9 を参照
			U-235	0.4853	235.0439282	1.22227E-04
			U-238	67.8638	238.0507870	1.68761E-02
	O	11.8143	15.9993744	4.37129E-02		
	UO ₂ インシュレータ	10.42	U-234	0.00468034	234.0409504	1.25489E-06
			U-235	0.627067787	235.0439282	1.67411E-04
			U-238	87.5180773	238.0507870	2.30700E-02
			O	11.85017457	15.9993744	4.64772E-02
	インコネル 600 ^{※2}	8.4	C	0.15	12.0106356	6.31765E-04
			Si	0.5	28.0849993	9.00587E-04
			Mn	1.0	54.9380432	9.20782E-04
P			0.03	30.9737620	4.89956E-05	
S			0.015	32.0654619	2.36638E-05	
Ni			74.335	58.6933505	6.40670E-02	
Cr			15.5	51.9961306	1.50796E-02	
Fe			8.0	55.8451437	7.24661E-03	
Cu	0.5	63.5460395	3.98026E-04			
SUS316 ^{※3} (端栓/被覆管)	8.03	C	0.08	12.0106356	3.22100E-04	
		Si	1.0	28.0849993	1.72184E-03	
		P	0.045	30.9737620	7.02563E-05	
		Cr	17.0	51.9961306	1.58105E-02	
		Mn	2.0	54.9380432	1.76045E-03	
		Fe	65.375	55.8451437	5.66099E-02	
		Ni	12.0	58.6933505	9.88687E-03	
		Mo	2.5	95.9487771	1.25999E-03	
ボイラーチューブ 型容器 ガイドチューブ ミドルグリッド板	SUS304L ^{※4}	7.93	Fe	69.208	55.8451437	5.91827E-02
			Cr	18.33	51.9961306	1.68351E-02
			Ni	9.33	58.6933505	7.59131E-03
			Mn	1.54	54.9380432	1.33866E-03
			Si	0.47	28.0849993	7.99185E-04
			Mo	0.31	95.9487771	1.54293E-04
			Cu	0.29	63.5460395	2.17938E-04
			C	0.24	12.0106356	9.54266E-04
			Co	0.19	58.9331937	1.53963E-04
			N	0.06	14.0068578	2.04567E-04
			P	0.027	30.9737620	4.16288E-05
			S	0.005	32.0654619	7.44658E-06

※1 燃料ペレットの成分組成は、文献 [PNL-6559¹⁰ FIGURE 2.13] より引用する。

分析時期と実験時期が異なることから、その期間の壊変を考慮し、Pu-241、Am-241 の補正を行う (Table 3.1.5.9、付録-3 を参照)。

※2 インコネル 600 については、JIS G 4901 NFC600 の組成を引用する (付録-2.2.1 を参照)。

※3 SUS316 については、SCALE 6.2.3 コードシステムに内蔵された標準物質 SS316 の組成を引用する (付録-2.2.7、付録-2.3.1 を参照)。

※4 SUS304L の組成については、文献 [PNL-6559¹⁰ TABLE 2.1] に記載された組成を引用する (付録-2.2.8 を参照)。

Table 3.1.5.8 物質の原子個数密度 [PNL-6559] [2/2]

使用部材	材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
ポリエチレン スペーサ	ポリエチレン ^{※5}	0.9	H	14.37230067	1.0079709	7.72808E-02
			C	85.62769933	12.0106356	3.86404E-02
反射体タンク	炭素鋼 ^{※6}	7.8212	Fe	99.0	55.8451437	8.34976E-02
			C	1.0	12.0106356	3.92155E-03
減速材 反射体	(Pu+U) 硝酸 ^{※7} 水溶液	Table 3.1.5.7、Table 3.1.5.12 を参照				
	空気 ^{※8}	Table 3.1.5.6 を参照				
	水 ^{※9}	Table 3.1.5.14 を参照				

※5 ポリエチレン(C₂H₄)_nの密度については、文献 [PNL-6559¹⁰] に記載された値を用いる (付録-2.2.13 を参照)。

※6 炭素鋼については、SCALE 6.2.3 コードシステムに内蔵された標準物質 CARBON STEEL の組成を引用する (付録-2.3.6 を参照)。

※7 (Pu+U) 硝酸水溶液の原子個数密度については、Table 3.1.5.7、付録-2.4 を参照。また、硝酸水溶液中の不純物については、Table 3.1.5.11、Table 3.1.5.12 を参照。

※8 空気中の主成分 (N₂、O₂ 等々) については考慮せず、中性子への影響が大きい空気中の水分について考慮する。空気中の水分は、各温度における飽和水蒸気量とする (Table 3.1.5.6、付録-2.2.17 を参照)。

※9 水の密度については、各温度における密度を採用する (付録-2.2.16 を参照)。また水中の不純物については、Table 3.1.5.13、Table 3.1.5.14 を参照。

Table 3.1.5.9 補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 (燃料ペレット) [PNL-6559]

計算ケース	実験 番号	実験時期 ^{※1}	分析時期 ^{※2}	原子個数密度 (atoms/barn・cm)			
				Pu-241		Am-241	
				初期値 (分析時)	補正值 (実験時)	初期値 (分析時)	補正值 (実験時)
pnl6559_01	106	1987/11/04	1976/01/01	7.06275E-05	1.46609E-05	3.98298E-05	4.54585E-05
pnl6559_02	106R	1987/11/05				3.98246E-05	4.54638E-05
pnl6559_03	107	1987/11/09				3.98035E-05	4.54849E-05
pnl6559_04	109	1987/11/19				3.97508E-05	4.55376E-05
pnl6559_05	110	1987/11/24				3.97245E-05	4.55639E-05
pnl6559_06	110R	1987/11/25				3.97192E-05	4.55691E-05
pnl6559_07	111	1987/12/02				3.96824E-05	4.56059E-05
pnl6559_08	112	1987/12/09				3.96456E-05	4.56427E-05
pnl6559_09	113	1987/12/11				3.96351E-05	4.56532E-05
pnl6559_10	114	1987/12/17				3.96037E-05	4.56847E-05
pnl6559_11	115	1987/12/23				3.95722E-05	4.57161E-05
pnl6559_12	116	1987/12/31				3.95303E-05	4.57581E-05
pnl6559_13 ^{※3}	117	1988/4/4				3.90361E-05	4.62523E-05

※1 文献 [PNL-6559¹⁰] TABLE 3.1] より引用する。

※2 文献 [PNL-6559¹⁰] FIGURE 2.13] より引用する (January 1,1976)。

※3 pnl6559_13 (実験番号 117) は、非均質体系ではないため、本計算では評価対象外とする。

Table 3.1.5.10 補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 (硝酸水溶液) [PNL-6559]

計算ケース	実験番号	実験時期 ^{※1}	Pu 分析時期 ^{※2}	Am 分析時期 ^{※3}	原子個数密度 (atoms/barn・cm)			
					Pu-241		Am-241	
					初期値 (分析時)	補正值 (実験時)	初期値 (分析時)	補正值 (実験時)
pnl6559_01	106	1987/11/04	1987/12/14	1987/12/16	9.21159E-09	9.26052E-09	1.23744E-08	1.23230E-08
pnl6559_02	106R	1987/11/05			9.21159E-09	9.25929E-09	1.23744E-08	1.23242E-08
pnl6559_03	107	1987/11/09		1987/12/16	7.74088E-07	7.77684E-07	1.03987E-06	1.03607E-06
pnl6559_04	109	1987/11/19			4.97217E-07	4.98866E-07	6.62029E-07	6.60249E-07
pnl6559_05	110	1987/11/24		1987/12/16	2.36884E-07	2.37513E-07	3.18219E-07	3.17527E-07
pnl6559_06	110R	1987/11/25			2.36884E-07	2.37481E-07	3.18219E-07	3.17559E-07
pnl6559_07	111	1987/12/02		1987/12/16	1.08550E-06	1.08723E-06	1.43148E-06	1.42947E-06
pnl6559_08	112	1987/12/09			1.08006E-06	1.08077E-06	1.43148E-06	1.43048E-06
pnl6559_09	113	1987/12/11			1.07011E-06	1.07054E-06	1.43148E-06	1.43077E-06
pnl6559_10	114	1987/12/17			1.07451E-06	1.07408E-06	1.43148E-06	1.43162E-06
pnl6559_11	115	1987/12/23			1.07483E-06	1.07354E-06	1.43148E-06	1.43248E-06
pnl6559_12	116	1987/12/31			1.08456E-06	1.08212E-06	1.43148E-06	1.43363E-06
pnl6559_13 ^{※4}	117	1988/04/04			1988/04/29	8.71961E-07	8.59122E-07	1.13170E-06

※1 文献 [PNL-6559¹⁰⁾ TABLE 3.1] より引用する。

※2 文献 [PNL-6559¹⁰⁾ TABLE 3.4] より引用する (12/14/87)。

※3 文献 [PNL-6559¹⁰⁾ TABLE 3.3] より引用する (sample1232、1235 : 12/16/87、sample1263 : 04/29/88)。

実験 106、106R、107、110 および 110R の Am-241 濃度は、sample1232 より、推定しているため、分析時期は不明である。本ベンチマーク計算では、便宜上、Am-241 分析時期を、sample 1232 の分析時期とする。

※4 pnl6559_13 (実験番号 117) は、非均質体系ではないため、本計算では評価対象外とする。

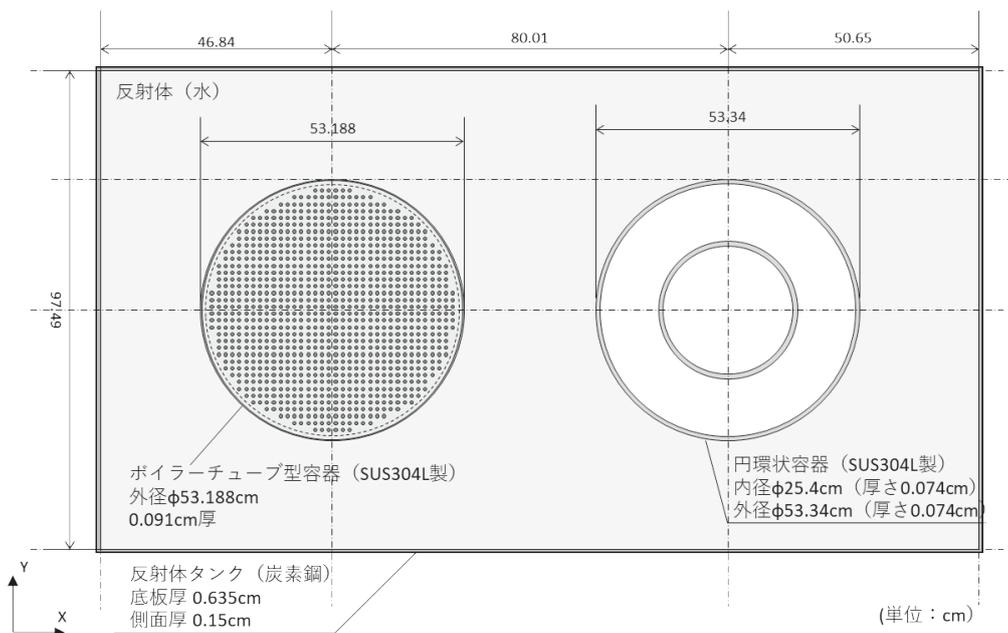


Fig. 3.1.5.1 実験体系の計算モデル図 (X-Y 断面図) [PNL-6559]

※ 文献 [PNL-6559¹⁰⁾ FIGURE 2.4] より引用する。

※ 反射体タンクの各寸法条件は、[PNL-5768¹⁸⁾] より引用する。

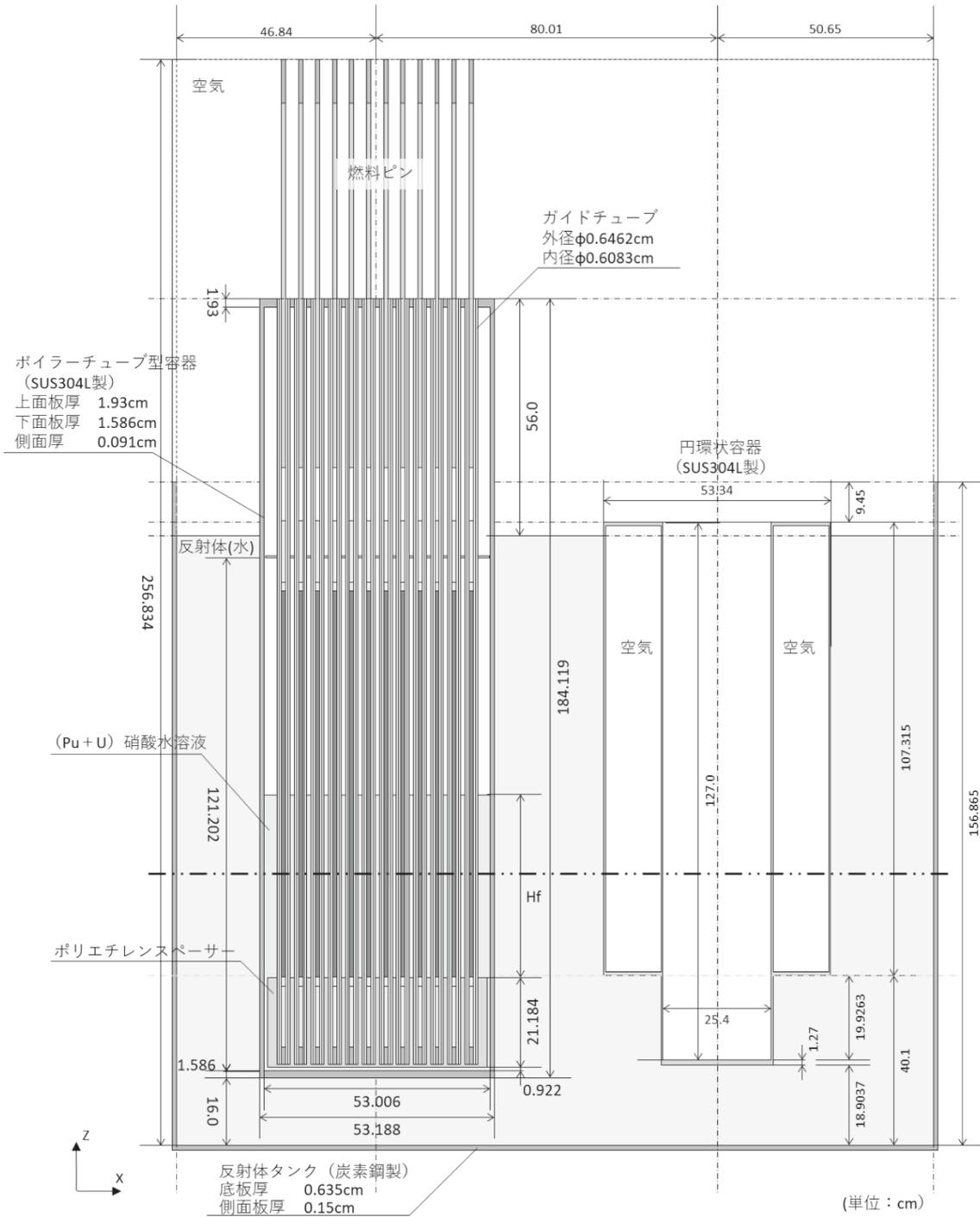


Fig. 3.1.5.2 実験体系の計算モデル図 (X-Z 断面図) [PNL-6559]

- ※ Hfは臨界水位を示す。
- ※ 文献 [PNL-6559¹⁰⁾ FIGURE 2.4] より引用する。
- ※ ボイラーチューブ型容器の各部寸法条件は、文献 [PNL-6559¹⁰⁾ FIGURE 2.12] より引用する。
- ※ 反射体タンクの各寸法条件は、文献 [PNL-5768¹⁸⁾] より引用する。
- ※ 円環状容器については、文献 [PNL-6119²¹⁾] に記載された図面より引用する。

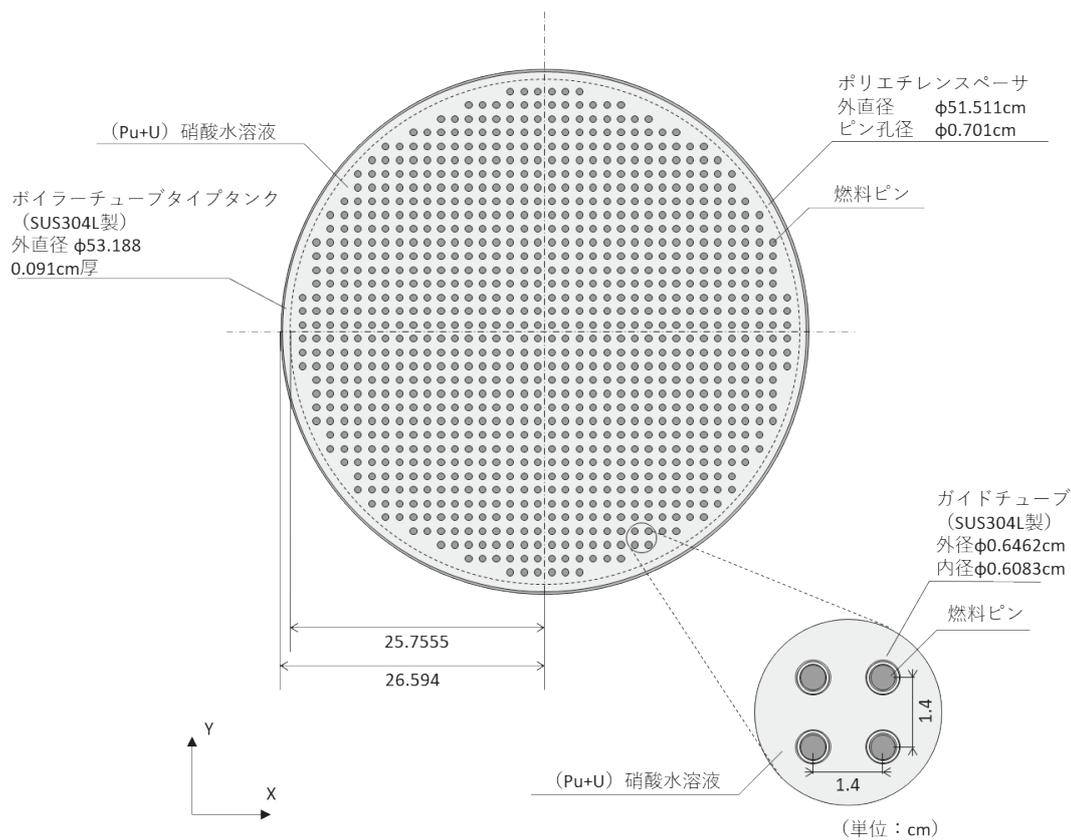


Fig. 3.1.5.3 ボイラーチューブ型容器内の燃料要素配列図

※ 寸法条件等を文献 [PNL-6559¹⁰⁾] より引用する。

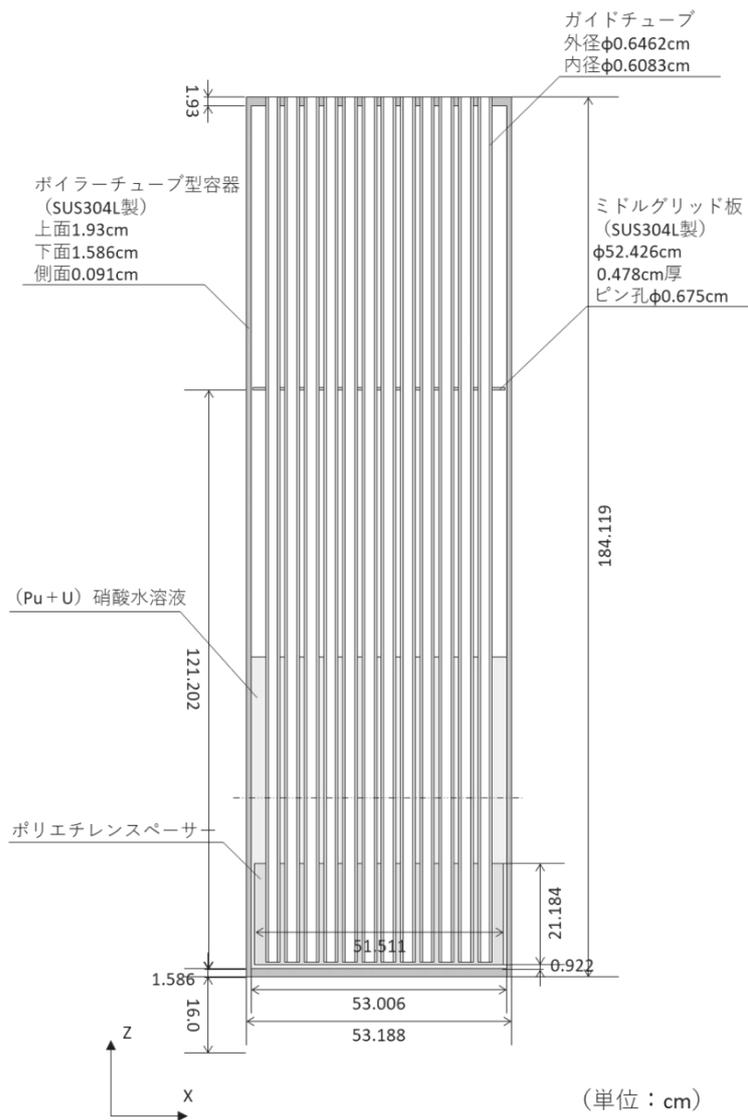


Fig. 3.1.5.4 ボイラーチューブ型容器概略図

※ ボイラーチューブ型容器の各部寸法は、文献 [PNL-6559¹⁰⁾ FIGURE 2.12] より引用する。

MOX燃料の底がポリエチレンスペーサーの上面と同じ高さになるように設計されている。内部アセンブリの製造後に行われた測定に基づいて、スペーサーの上面は、MOX燃料の底部から0.028 cm上にあると推定される。

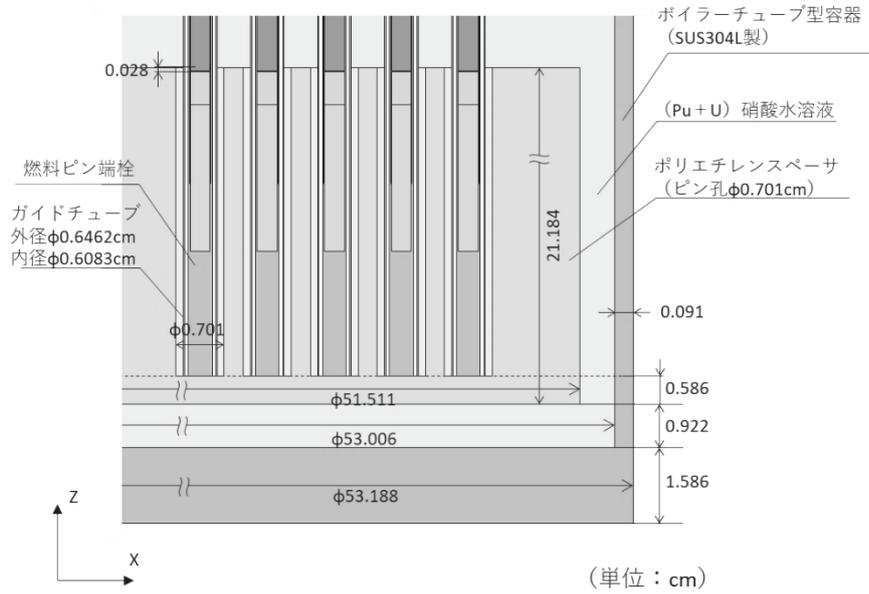


Fig. 3.1.5.5 ポリエチレンスペーサーの詳細構造図

※ ポリエチレンスペーサーの各部寸法条件は文献 [PNL-6559¹⁰] より引用する。

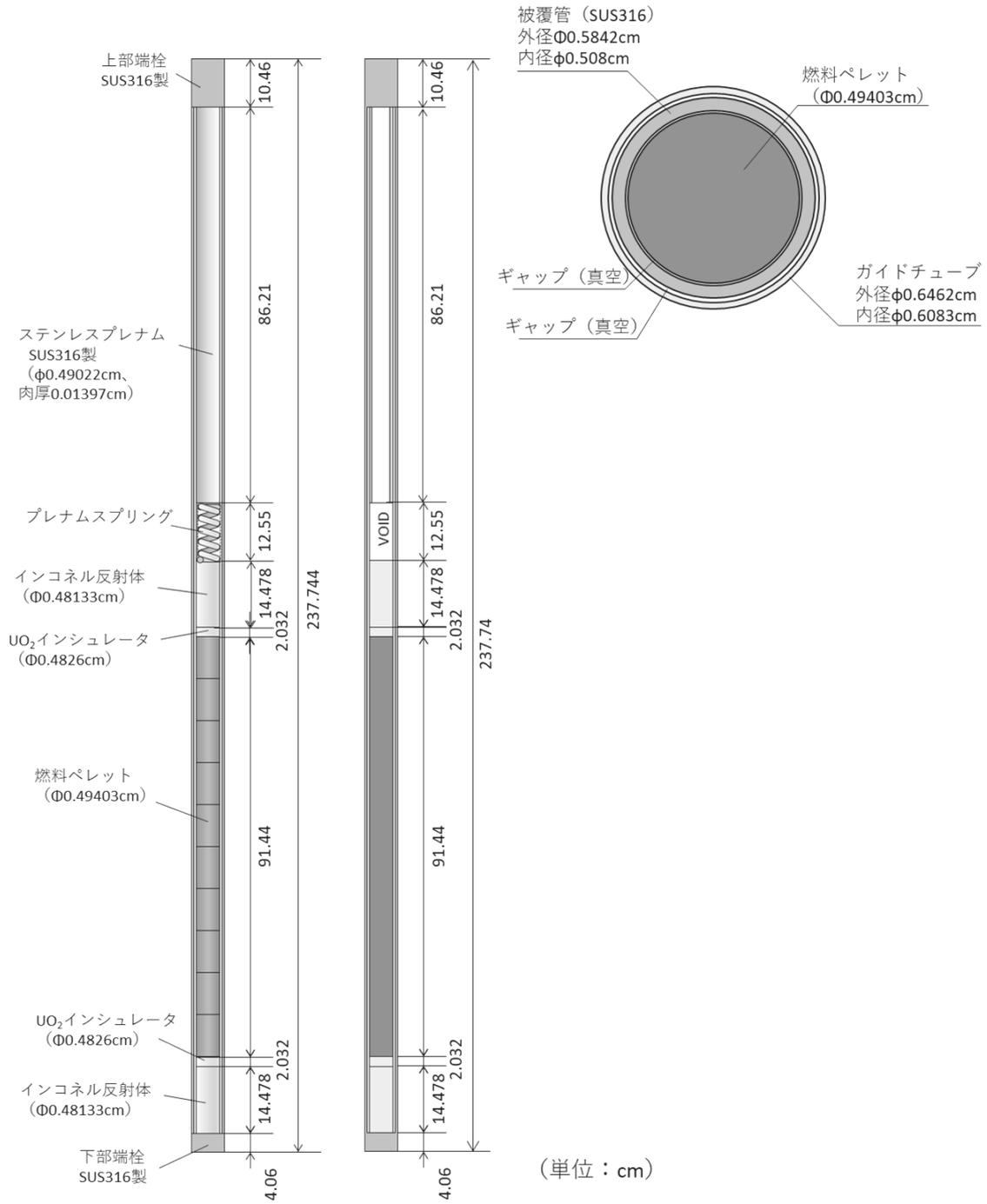


Fig. 3.1.5.6 燃料要素 FFTF Type 3.2 の計算モデル図 [PNL-6559]

- ※ 文献 [PNL-6559¹⁰⁾ FIGURE 2.13] より引用する。
- ※ 燃料ペレットと被覆管のギャップは、真空としてモデル化する。
- ※ プレナムスプリングの領域については、真空としてモデル化する。
- ※ 燃料要素全長については、237.744cmの記述があるが、計算モデルにおいては、燃料要素を構成する各寸法の合計値の237.74cmとする。各部寸法条件は、公差範囲中央値を採用する。
- ※ 燃料要素はガイドチューブ内に装荷され、硝酸水溶液と燃料要素が直接に接触しない構造となっている。

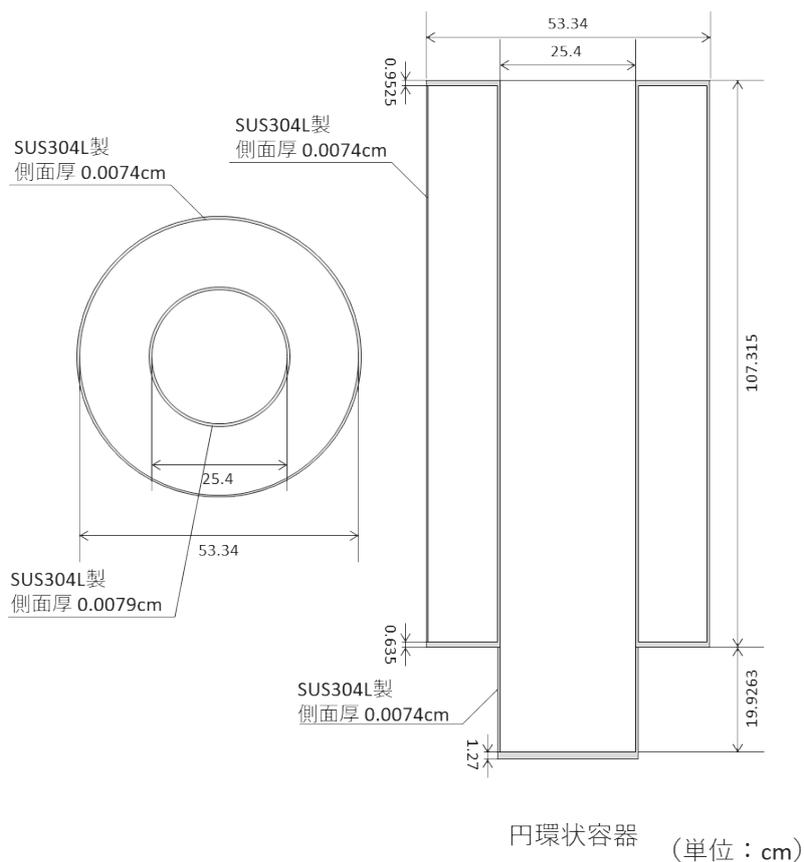


Fig. 3.1.5.7 円環状容器の概略図 [PNL-6559]

※ 文献 [PNL-6119²¹⁾] に記載された図面より引用する。
 ※ 円環状容器の内部は空気とする。

• (Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物について

文献 [PNL-6559¹⁰⁾ APPENDIX E] に (Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物について記述がある。

(Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物元素の濃度は、誘導結合プラズマ発光分光法 (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy method : ICP 分析) によって分析されている。実験番号 107 をカバーする sample 1215 の ICP 分析結果を Table 3.1.5.11 に示す。sample 1215 の結果は、プルトニウム濃度の比を乗算することにより、他の実験 (106、106R、109、110、110R および 117) の不純物濃度を推定する。sample 1235A および sample 1235B の ICP 分析結果は、実験番号 111~116 をカバーしている。

Table 3.1.5.12 に計算ケース毎の (Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物の原子個数密度を示す。

Table 3.1.5.11 (Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物 [PNL-6559 TABLE E.1]

元素	濃度 (mg/litre)		
	sample 1215	sample 1235A	sample 1235B
Al	68.7	118	126
B	3	7.95	10.5
Ba	2	3.55	4.3
Ca	41	65.4	72.9
Cd	4.3	6.2	5.65
Ce	4.2	6.5	8
Cr	57.1	90.5	90.5
Cu	12	15.2	18.4
Dy	0.8	0.8	0.8
Fe	246.7	383	379
Gd	<1	(a)	(a)
K	5	15	10
La	0.7	(0.6)	(0.3)
Li	0.2	(a)	(0.5)
Mg	8.6	19	19.9
Mn	11.4	17.4	17.6
Mo	1.2	(a)	(a)
Na	20.6	40	46
Nd	1.3	(2.1)	(1.4)
Ni	41.4	64	64
Rh	14	(a)	(a)
Ru	4.2	(a)	(a)
Si	16.5	30.9	52
Sr	0.2	(0.35)	(0.35)
Te	(a)	(a)	(a)
Ti	17.4	26.7	27.3
Zn	3.6	8.05	8.4
Zr	3.9	6.2	6.1

※ (a) 元素が検出されなかった。

※ 括弧内の値は検出限界に近い。

※ 文献 [PNL-6559¹⁰⁾ APPENDIX E TABLE E.1] より引用

※ ICP 分析による。

Table 3.1.5.12 (Pu+U) 硝酸水溶液中不純物の原子個数密度 [PNL-6559] [1/3]

計算ケース	pnl6559 01、02		pnl6559 03	
不純物サンプル番号	sample 1215 ^{※1}		sample 1215	
実験番号	106、106R		107	
核種	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Al	8.17525E-07	1.82467E-08	6.87000E-05	1.53335E-06
B-10 ^{※2}	6.49565E-09	3.90672E-10	5.45856E-07	3.28298E-08
B-11 ^{※2}	2.92041E-08	1.59748E-09	2.45414E-06	1.34243E-07
Ba	2.37999E-08	1.04369E-10	2.00000E-06	8.77053E-09
Ca	4.87897E-07	7.33116E-09	4.10000E-05	6.16068E-07
Cd	5.11697E-08	2.74122E-10	4.30000E-06	2.30356E-08
Ce	4.99797E-08	2.14812E-10	4.20000E-06	1.80515E-08
Cr	6.79486E-07	7.86974E-09	5.71000E-05	6.61327E-07
Cu	1.42799E-07	1.35328E-09	1.20000E-05	1.13722E-07
Dy	9.51995E-09	3.52804E-11	8.00000E-07	2.96476E-09
Fe	2.93571E-06	3.16577E-08	2.46700E-04	2.66032E-06
Gd	1.18999E-08	4.55721E-11	1.00000E-06	3.82961E-09
K	5.94997E-08	9.16447E-10	5.00000E-06	7.70128E-08
La	8.32995E-09	3.61139E-11	7.00000E-07	3.03480E-09
Li-6 ^{※2}	9.96520E-11	9.97683E-12	8.37417E-09	8.38394E-10
Li-7 ^{※2}	2.28033E-09	1.95731E-10	1.91626E-07	1.64481E-08
Mg	1.02339E-07	2.53563E-09	8.60000E-06	2.13079E-07
Mn	1.35659E-07	1.48706E-09	1.14000E-05	1.24963E-07
Mo	1.42799E-08	8.96267E-11	1.20000E-06	7.53169E-09
Na	2.45139E-07	6.42137E-09	2.06000E-05	5.39614E-07
Nd	1.54699E-08	6.45875E-11	1.30000E-06	5.42755E-09
Ni	4.92657E-07	5.05483E-09	4.14000E-05	4.24778E-07
Rh	1.66599E-07	9.74956E-10	1.40000E-05	8.19295E-08
Ru	4.99797E-08	2.97813E-10	4.20000E-06	2.50265E-08
Si	1.96349E-07	4.21022E-09	1.65000E-05	3.53802E-07
Sr	2.37999E-09	1.63583E-11	2.00000E-07	1.37466E-09
Te	—	—	—	—
Ti	2.07059E-07	2.60502E-09	1.74000E-05	2.18910E-07
Zn	4.28398E-08	3.9461E-10	3.60000E-06	3.31607E-08
Zr	4.64097E-08	3.06374E-10	3.90000E-06	2.57459E-08

※1 sample 1215 の値に Pu 濃度の比を乗じて求めた。

※2 B および Li の同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-1.3 参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

Table 3.1.5.12 (Pu+U)硝酸水溶液中不純物の原子個数密度 [PNL-6559] [2/3]

計算ケース	pnl6559_04		pnl6559_05、06	
不純物サンプル番号	sample 1215 ^{※1}		sample 1215 ^{※1}	
実験番号	109		110、110R	
核種	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Al	4.41278E-05	9.84910E-07	2.10234E-05	4.69232E-07
B-10 ^{※2}	3.50618E-07	2.10874E-08	1.67042E-07	1.00465E-08
B-11 ^{※2}	1.57636E-06	8.62276E-08	7.51011E-07	4.10807E-08
Ba	1.28465E-06	5.63354E-09	6.12035E-07	2.68394E-09
Ca	2.63354E-05	3.95716E-07	1.25467E-05	1.88528E-07
Cd	2.76200E-06	1.47964E-08	1.31588E-06	7.04930E-09
Ce	2.69777E-06	1.15949E-08	1.28527E-06	5.52408E-09
Cr	3.66768E-05	4.24787E-07	1.74736E-05	2.02378E-07
Cu	7.70791E-06	7.30464E-08	3.67221E-06	3.48009E-08
Dy	5.13861E-07	1.90434E-09	2.44814E-07	9.07267E-10
Fe	1.58462E-04	1.70880E-06	7.54945E-05	8.14106E-07
Gd	6.42326E-07	2.45986E-09	3.06018E-07	1.17193E-09
K	3.21163E-06	4.94673E-08	1.53009E-06	2.35673E-08
La	4.49628E-07	1.94933E-09	2.14212E-07	9.28701E-10
Li-6 ^{※2}	5.37895E-09	5.38522E-10	2.56264E-09	2.56563E-10
Li-7 ^{※2}	1.23086E-07	1.05650E-08	5.86409E-08	5.03340E-09
Mg	5.52400E-06	1.36866E-07	2.63175E-06	6.52060E-08
Mn	7.32252E-06	8.02672E-08	3.48860E-06	3.82410E-08
Mo	7.70791E-07	4.83780E-09	3.67221E-07	2.30483E-09
Na	1.32319E-05	3.46608E-07	6.30396E-06	1.65131E-07
Nd	8.35024E-07	3.48626E-09	3.97823E-07	1.66093E-09
Ni	2.65923E-05	2.72846E-07	1.26691E-05	1.29990E-07
Rh	8.99256E-06	5.26254E-08	4.28425E-06	2.50719E-08
Ru	2.69777E-06	1.60752E-08	1.28527E-06	7.65854E-09
Si	1.05984E-05	2.27256E-07	5.04929E-06	1.08270E-07
Sr	1.28465E-07	8.82978E-10	6.12035E-08	4.20669E-10
Te	-	-	-	-
Ti	1.11765E-05	1.40612E-07	5.32471E-06	6.69904E-08
Zn	2.31237E-06	2.13000E-08	1.10166E-06	1.01477E-08
Zr	2.50507E-06	1.65373E-08	1.19347E-06	7.87870E-09

※1 sample 1215 の値に Pu 濃度の比を乗じて求める。

※2 B および Li の同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-1.3 参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

Table 3.1.5.12 (Pu+U)硝酸水溶液中不純物の原子個数密度 [PNL-6559] [3/3]

計算ケース	pnl6559_07~12		pnl6559_13 ^{※3}	
不純物サンプル番号	sample1235 ^{※1}		sample 1215 ^{※2}	
実験番号	111~116		117	
核種	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Al	1.22000E-04	2.72298E-06	7.73862E-05	1.72722E-06
B-10 ^{※5}	1.67851E-06	1.00952E-07	6.14873E-07	3.69806E-08
B-11 ^{※5}	7.54649E-06	4.12797E-07	2.76444E-06	1.51216E-07
Ba	3.92500E-06	1.72122E-08	2.25287E-06	9.87945E-09
Ca	6.91500E-05	1.03905E-06	4.61839E-05	6.93961E-07
Cd	5.92500E-06	3.17409E-08	4.84368E-06	2.59482E-08
Ce	7.25000E-06	3.11603E-08	4.73103E-06	2.03339E-08
Cr	9.05000E-05	1.04816E-06	6.43195E-05	7.44943E-07
Cu	1.68000E-05	1.59210E-07	1.35172E-05	1.28100E-07
Dy	8.00000E-07	2.96476E-09	9.01149E-07	3.33961E-09
Fe	3.81000E-04	4.10857E-06	2.77892E-04	2.99669E-06
Gd ^{※4}	—	—	1.12644E-06	4.31381E-09
K	1.25000E-05	1.92532E-07	5.63218E-06	8.67501E-08
La	4.50000E-07	1.95094E-09	7.88506E-07	3.41851E-09
Li-6 ^{※5}	1.04677E-08	1.04799E-09	9.43297E-09	9.44398E-10
Li-7 ^{※5}	2.39532E-07	2.05601E-08	2.15854E-07	1.85277E-08
Mg	1.94500E-05	4.81906E-07	9.68736E-06	2.40020E-07
Mn	1.75000E-05	1.91830E-07	1.28414E-05	1.40763E-07
Mo	—	—	1.35172E-06	8.48398E-09
Na	4.30000E-05	1.12638E-06	2.32046E-05	6.07841E-07
Nd	1.75000E-06	7.30632E-09	1.46437E-06	6.11379E-09
Ni	6.40000E-05	6.56662E-07	4.66345E-05	4.78486E-07
Rh	—	—	1.57701E-05	9.22884E-08
Ru	—	—	4.73103E-06	2.81907E-08
Si	4.14500E-05	8.88794E-07	1.85862E-05	3.98536E-07
Sr	3.50000E-07	2.40565E-09	2.25287E-07	1.54846E-09
Te	—	—	—	—
Ti	2.70000E-05	3.39688E-07	1.96000E-05	2.46589E-07
Zn	8.22500E-06	7.57629E-08	4.05517E-06	3.73534E-08
Zr	6.15000E-06	4.05993E-08	4.39310E-06	2.90011E-08

※1 sample 1235A および sample1235B の平均値を採用する。

※2 sample 1215 の値に Pu 濃度の比を乗じて求める。

※3 pnl6559_13 は、非均質体系でないため、本計算では評価対象外とする。

※4 pnl6559_08~12 において、Gd は不純物としてではなく (Pu+U) 硝酸水溶液成分として規定されている (Table 3.5.1.1 を参照)。

※5 B および Li の同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-1.3 を参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

• 反射体（水）の不純物について

反射体の水に含まれる不純物の分析結果が文献 [PNL-6559¹⁰⁾ APPENDIX F] に記されている (Table 3.1.5.13)。本ベンチマーク計算では、該当する計算ケースにおいて、実験時の反射体温度の密度の水に不純物の原子個数密度を加えて入力し、その影響を考慮する。水および不純物の原子個数密度を Table 3.1.5.14 に示す

実験番号 117 (pnl6559_13) においては、不純物の含有量の記述が無いいため、不純物の存在を考慮していない。

Table 3.1.5.13 反射体（水）中の不純物 [PNL-6559] ※1

実験番号	106 ^{※2} 107 108	109 110 ^{※3}	111	112 113	114	115	116
pH	7	7	7.5	7.2	7.3	7.1	7.4
Total alkalinity (mg/litre)	55	55	56	55	54	57	56
HCO ₃ alkalinity (mg/litre)	50	50	56	52	50	52	51
CO ₃ alkalinity (mg/litre)	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Total dissolved solids (mg/litre)	86	85	89	79	76	101	105
Fluoride (mg/litre)	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Chloride (mg/litre)	0.91	0.91	0.92	0.97	0.98	0.95	0.94
Nitrate (as N) (mg/litre)	<0.05	<0.05	0.088	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Sulfate (mg/litre)	10.6	10.7	10.7	10.7	11.7	11.5	10.5
Cadmium (mg/litre)	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Copper (mg/litre)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Chromium (mg/litre)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Iron (mg/litre)	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Lead (mg/litre)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Manganese (mg/litre)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Zinc (mg/litre)	0.08	0.06	0.08	0.07	0.42	0.38	0.08

※1 文献 [PNL-6559¹⁰⁾ APPENDIX F TABLE F.1] より引用する。

※2 実験番号 106 のサンプルは実験番号 106R をカバーする。

※3 実験番号 110 のサンプルは実験番号 110R をカバーする。

※4 実験番号 117 の分析は実施されていない。

Table 3.1.5.14 反射体（水）の不純物の原子個数密度 [PNL-6559] [1/3]

計算ケース番号		pnl6559 01		pnl6559 02	
実験番号		106		106R	
水		0.99730 (24°C)		0.99737 (23.7°C)	
	水密度 (g/cm ³)				
	H	1.11599E-01	6.66753E-02	1.11607E-01	6.66800E-02
	O	8.85701E-01	3.33376E-02	8.85763E-01	3.33400E-02
不純物	元素	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
	H	8.25979E-07	4.93483E-07	8.25979E-07	4.93483E-07
	C	9.94216E-06	4.98500E-07	9.94216E-06	4.98500E-07
	O	4.69650E-05	1.76775E-06	4.69650E-05	1.76775E-06
	S	3.53824E-06	6.64509E-08	3.53824E-06	6.64509E-08
	N	5.00000E-08	2.14971E-09	5.00000E-08	2.14971E-09
	F	2.00000E-07	6.33963E-09	2.00000E-07	6.33963E-09
	Cl	9.10000E-07	1.54579E-08	9.10000E-07	1.54579E-08
	Cd	5.00000E-10	2.67856E-12	5.00000E-10	2.67856E-12
	Cu	5.00000E-08	4.73841E-10	5.00000E-08	4.73841E-10
	Cr	5.00000E-09	5.79095E-11	5.00000E-09	5.79095E-11
	Fe	3.00000E-08	3.23509E-10	3.00000E-08	3.23509E-10
	Pb	5.00000E-09	1.45310E-11	5.00000E-09	1.45310E-11
	Mn	1.00000E-08	1.09617E-10	1.00000E-08	1.09617E-10
Zn	8.00000E-08	7.36904E-10	8.00000E-08	7.36904E-10	

計算ケース番号		pnl6559 03		pnl6559 04	
実験番号		107		109	
水		0.99747 (23.3°C)		0.99790 (21.4°C)	
	水密度 (g/cm ³)				
	H	1.11618E-01	6.66866E-02	1.11667E-01	6.67154E-02
	O	8.85852E-01	3.33433E-02	8.86233E-01	3.33577E-02
不純物	元素	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
	H	8.25979E-07	4.93483E-07	8.25979E-07	4.93483E-07
	C	9.94216E-06	4.98500E-07	9.94216E-06	4.98500E-07
	O	4.69650E-05	1.76775E-06	4.70316E-05	1.77026E-06
	S	3.53824E-06	6.64509E-08	3.57162E-06	6.70778E-08
	N	5.00000E-08	2.14971E-09	5.00000E-08	2.14971E-09
	F	2.00000E-07	6.33963E-09	2.00000E-07	6.33963E-09
	Cl	9.10000E-07	1.54579E-08	9.10000E-07	1.54579E-08
	Cd	5.00000E-10	2.67856E-12	5.00000E-10	2.67856E-12
	Cu	5.00000E-08	4.73841E-10	5.00000E-08	4.73841E-10
	Cr	5.00000E-09	5.79095E-11	5.00000E-09	5.79095E-11
	Fe	3.00000E-08	3.23509E-10	3.00000E-08	3.23509E-10
	Pb	5.00000E-09	1.45310E-11	5.00000E-09	1.45310E-11
	Mn	1.00000E-08	1.09617E-10	1.00000E-08	1.09617E-10
Zn	8.00000E-08	7.36904E-10	6.00000E-08	5.52678E-10	

※ HおよびOについては、水の原子個数密度に不純物の原子個数密度を加えて入力する。

Table 3.1.5.14 反射体（水）の不純物の原子個数密度 [PNL-6559] [2/3]

計算ケース番号		pnl6559 05		pnl6559 06	
実験番号		110		110R	
水		0.99793 (21.3°C)		0.99775 (22.1°C)	
	水密度 (g/cm ³)				
	H	1.11670E-01	6.67174E-02	1.11650E-01	6.67054E-02
	O	8.86260E-01	3.33587E-02	8.86100E-01	3.33527E-02
不純物	元素	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
	H	8.25979E-07	4.93483E-07	8.25979E-07	4.93483E-07
	C	9.94216E-06	4.98500E-07	9.94216E-06	4.98500E-07
	O	4.70316E-05	1.77026E-06	4.70316E-05	1.77026E-06
	S	3.57162E-06	6.70778E-08	3.57162E-06	6.70778E-08
	N	5.00000E-08	2.14971E-09	5.00000E-08	2.14971E-09
	F	2.00000E-07	6.33963E-09	2.00000E-07	6.33963E-09
	Cl	9.10000E-07	1.54579E-08	9.10000E-07	1.54579E-08
	Cd	5.00000E-10	2.67856E-12	5.00000E-10	2.67856E-12
	Cu	5.00000E-08	4.73841E-10	5.00000E-08	4.73841E-10
	Cr	5.00000E-09	5.79095E-11	5.00000E-09	5.79095E-11
	Fe	3.00000E-08	3.23509E-10	3.00000E-08	3.23509E-10
	Pb	5.00000E-09	1.45310E-11	5.00000E-09	1.45310E-11
	Mn	1.00000E-08	1.09617E-10	1.00000E-08	1.09617E-10
Zn	6.00000E-08	5.52678E-10	6.00000E-08	5.52678E-10	

計算ケース番号		pnl6559 07		pnl6559 08	
実験番号		111		112	
水		0.99808 (20.6°C)		0.99839 (19.1°C)	
	水密度 (g/cm ³)				
	H	1.11687E-01	6.67274E-02	1.11721E-01	6.67481E-02
	O	8.86393E-01	3.33637E-02	8.86669E-01	3.33741E-02
不純物	元素	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
	H	9.25097E-07	5.52701E-07	8.59018E-07	5.13222E-07
	C	1.11232E-05	5.57718E-07	1.03358E-05	5.18240E-07
	O	5.18816E-05	1.95282E-06	4.86049E-05	1.82948E-06
	S	3.57162E-06	6.70778E-08	3.57162E-06	6.70778E-08
	N	8.80000E-08	3.78349E-09	5.00000E-08	2.14971E-09
	F	2.00000E-07	6.33963E-09	2.00000E-07	6.33963E-09
	Cl	9.20000E-07	1.56277E-08	9.70000E-07	1.64771E-08
	Cd	5.00000E-10	2.67856E-12	5.00000E-10	2.67856E-12
	Cu	5.00000E-08	4.73841E-10	5.00000E-08	4.73841E-10
	Cr	5.00000E-09	5.79095E-11	5.00000E-09	5.79095E-11
	Fe	3.00000E-08	3.23509E-10	3.00000E-08	3.23509E-10
	Pb	5.00000E-09	1.45310E-11	5.00000E-09	1.45310E-11
	Mn	1.00000E-08	1.09617E-10	1.00000E-08	1.09617E-10
Zn	8.00000E-08	7.36904E-10	7.00000E-08	6.44791E-10	

※ HおよびOについては、水の原子個数密度に不純物の原子個数密度を加えて入力する。

Table 3.1.5.14 反射体（水）の不純物の原子個数密度 [PNL-6559] [3/3]

計算ケース番号		pnl6559 09		pnl6559 10		
実験番号		113		114		
水		0.99779 (21.9°C)		0.99861 (17.9°C)		
		H	6.67080E-02	1.11746E-01	6.67629E-02	
		O	3.33540E-02	8.86864E-01	3.33814E-02	
不純物	元素	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	
		H	8.59018E-07	5.13222E-07	8.25979E-07	4.93483E-07
		C	1.03358E-05	5.18240E-07	9.94216E-06	4.98500E-07
		O	4.86049E-05	1.82948E-06	4.76978E-05	1.79534E-06
		S	3.57162E-06	6.70778E-08	3.90542E-06	7.33467E-08
		N	5.00000E-08	2.14971E-09	5.00000E-08	2.14971E-09
		F	2.00000E-07	6.33963E-09	2.00000E-07	6.33963E-09
		Cl	9.70000E-07	1.64771E-08	9.80000E-07	1.66469E-08
		Cd	5.00000E-10	2.67856E-12	5.00000E-10	2.67856E-12
		Cu	5.00000E-08	4.73841E-10	5.00000E-08	4.73841E-10
		Cr	5.00000E-09	5.79095E-11	5.00000E-09	5.79095E-11
		Fe	3.00000E-08	3.23509E-10	3.00000E-08	3.23509E-10
		Pb	5.00000E-09	1.45310E-11	5.00000E-09	1.45310E-11
		Mn	1.00000E-08	1.09617E-10	1.00000E-08	1.09617E-10
	Zn	7.00000E-08	6.44791E-10	4.20000E-07	3.86874E-09	

計算ケース番号		pnl6559 11		pnl6559 12		
実験番号		115		116		
水		0.99870 (17.4°C)		0.99858 (18.1°C)		
		H	6.67689E-02	1.11743E-01	6.67609E-02	
		O	3.33844E-02	8.86837E-01	3.33804E-02	
不純物	元素	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	
		H	8.59018E-07	5.13222E-07	8.42499E-07	5.03352E-07
		C	1.03358E-05	5.18240E-07	1.01390E-05	5.08370E-07
		O	4.91378E-05	1.84954E-06	4.76850E-05	1.79486E-06
		S	3.83866E-06	7.20929E-08	3.50486E-06	6.58240E-08
		N	5.00000E-08	2.14971E-09	5.00000E-08	2.14971E-09
		F	2.00000E-07	6.33963E-09	2.00000E-07	6.33963E-09
		Cl	9.50000E-07	1.61373E-08	9.40000E-07	1.59675E-08
		Cd	5.00000E-10	2.67856E-12	5.00000E-10	2.67856E-12
		Cu	5.00000E-08	4.73841E-10	5.00000E-08	4.73841E-10
		Cr	5.00000E-09	5.79095E-11	5.00000E-09	5.79095E-11
		Fe	3.00000E-08	3.23509E-10	3.00000E-08	3.23509E-10
		Pb	5.00000E-09	1.45310E-11	5.00000E-09	1.45310E-11
		Mn	1.00000E-08	1.09617E-10	1.00000E-08	1.09617E-10
	Zn	3.80000E-07	3.50029E-09	8.00000E-08	7.36904E-10	

※ HおよびOについては、水の原子個数密度に不純物の原子個数密度を加えて入力する。

3.1.6 Nuclear Science and Engineering Vol.59

この実験は、円筒状容器（SUS304L ステンレス製、内径 55.5cm、高さ 106.7cm）内に PuO₂-U(NAT)O₂ 燃料ペレット（Pu 富化度 25.2wt%）を封入する。燃料要素 301 本を三角格子配列で配置し、円筒状容器内に (Pu+U) 硝酸水溶液が充填された実験装置で実施された。

円筒状容器は、内径 101cm の円筒形の反射体タンク内に置かれており、タンク内には、反射体として水が充填されている。内側の円筒状容器内に (Pu+U) 硝酸水溶液を順次注入し、臨界となった (Pu+U) 硝酸水溶液高さ（臨界高さ）を測定している。

実施された実験は以下の 2 種類に分類される。

- ① (Pu+U) 硝酸水溶液の濃度をパラメータとする実験（11 ケース）。
- ② (Pu+U) 硝酸水溶液中のガドリニウム（Gd）濃度をパラメータとする実験（5 ケース）。

Table 3.1.6.1 に①の臨界実験データを示す（11 ケース）。

Table 3.1.6.2 に②の臨界実験データを示す（5 ケース）。

Fig. 3.1.6.1 に計算モデル図（X-Z 断面）を示す。図中の H_f は、臨界高さを示す。

Fig. 3.1.6.2 に計算モデル図（X-Y 断面）を示す。

文献に燃料要素の配列ピッチは、約 3.05cm と記述されているが、内径 55.5cm の内部の円筒状容器内に燃料要素 301 本が収まるように計算して 3.04855cm に設定する（最外位置の燃料要素と円筒状容器内壁との間隙が 0.021cm となる配列ピッチ）。

円筒容器内には、燃料要素配列を維持するために支持板が設置されているが、文献には、支持板についての寸法および材質等の記述が無いため、計算モデルから省略する。

内側円筒状容器は、反射体タンク内にタンク底板上面より 20cm 上方に設置され、容器下に反射体（水）の厚さ 20cm を維持している。また、反射体（水）は、内部円筒状容器の上面高さまで充填されている。反射体（水）の直径は、反射体タンク内径の 101cm とする。

反射体タンクの構造体は、文献に厚さ、材質等の記述が無いため、計算モデルから省略する。

反射体（水）の外側境界条件については全て真空として設定する。

Fig. 3.1.6.3 に燃料要素の計算モデル図を示す。

MOX 燃料要素の Pu 富化度（Pu/(Pu+U)）は 25.2wt%（Pu 含有量：Pu/MOX=22.218wt%）である。MOX 燃料要素は外径 4.95mm のペレットを内径 5.13mm、外径 5.84mm、材質 SUS316 の被覆管に充填したもので、燃料有効長 69.215cm、燃料要素長 72.9cm である。

Table 3.1.6.3 に硝酸水溶液中の Pu および U の同位体組成比を示す。

Table 3.1.6.4 に燃料ペレット中の Pu および U の同位体組成比を示す。

Table 3.1.6.5 に計算に用いた物質の原子個数密度を示す。

Table 3.1.6.6 に (Pu+U) 硝酸水溶液の原子個数密度を示す。

本実験が記載された文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.59¹¹⁾] においては、温度条件の記載が無いため、計算に際しては実験装置全体を 20°C に設定する。

Table 3.1.6.1 (Pu+U) 硝酸水溶液を用いた臨界実験データ① [Nucl.Sci.Eng.Vol.59]

計算ケース	実験番号	臨界高さ (cm)	(Pu+U) 硝酸水溶液 ^{※1}			
			Pu 濃度 ^{※2} (gPu/litre)	U 濃度 (gU/litre)	酸性度 (mol/litre)	溶液密度 (g/cm ³)
nse59 01	115	19.205	77.6	180.0	3.25	1.463
nse59 02	091	18.740	62.2	151.2	2.77	1.384
nse59 03	093	18.839	55.3	134.4	2.61	1.347
nse59 04	094	18.867	46.4	112.6	2.24	1.287
nse59 05	095	19.035	39.5	95.9	1.95	1.252
nse59 06	096	19.515	30.8	74.6	1.62	1.197
nse59 07	097	20.317	25.3	61.2	1.54	1.167
nse59 08	098	21.316	20.3	49.1	1.41	1.138
nse59 09	099	22.883	15.3	37.5	1.35	1.111
nse59 10	100	24.727	11.8	29.0	1.29	1.094
nse59 11	101	52.730	0.2	0.7	0.3	1.003

※1 文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.59¹¹⁾ p.23 TABLE II] より引用する。

※2 (Pu+U) 硝酸水溶液には Gd および Fe が含まれているが、その重量比が Pu 濃度に対する比率で以下のように示されている。

$$Gd/Pu = 2.4 \times 10^{-4}、Fe/Pu = 1.66 \times 10^{-2}$$

Table 3.1.6.2 Gd 濃度をパラメータとした臨界実験データ② [Nucl.Sci.Eng.Vol.59]

計算ケース	実験番号	臨界高さ (cm)	(Pu+U) 硝酸水溶液	
			Gd (gGd/litre)	その他の濃度 (g/litre)
nse59 12	116	23.066	0.258	Pu 濃度 : 77.63、U 濃度 : 180.0、 NO ₃ 濃度 : 384、H ⁺ 濃度 : 3.4、 Fe 濃度 : 0.8、水濃度 : 817、 水溶液密度 : 1.463 (g/cm ³)
nse59 13	117	28.227	0.515	
nse59 14	119	45.753	1.040	
nse59 15	120	64.506	1.280	
nse59 16	122	68.862	1.338	

※ 文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.59¹¹⁾ p.25 TABLE III] より引用する。

Table 3.1.6.3 (Pu+U) 硝酸水溶液中の Pu、U の同位体組成比 [Nucl.Sci.Eng.Vol.59]

計算ケース	(Pu+U) 硝酸水溶液	
	① nse59 01~11 ^{※1}	② nse59 12~16 ^{※2}
実験番号	091~115	116~122
核種	重量比 (wt%)	
Pu-238	0.018±0.0008	0.015
Pu-239	93.843±0.015	93.846
Pu-240	5.700±0.013	5.715
Pu-241	0.360±0.004	0.367
Pu-242	0.079±0.0004	0.057
U-234	—	0.006
U-235	0.659	0.665
U-236	0.012	0.012
U-238	99.329	99.317

※1 文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.59¹¹⁾ p.23 TABLE II] より引用する。

※2 文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.59¹¹⁾ p.25 TABLE III] より引用する。

Table 3.1.6.4 燃料ペレット中の Pu および U の同位体組成比 [Nucl.Sci.Eng.Vol.59]

燃料ペレット※ ¹ (PuO ₂ -U(NAT)O ₂)		
Pu 富化度	25.2wt%Pu	
密度 (g/cm ³)	10.35±0.09	
核種	原子数比 (at%)	重量比 (wt%)
Pu-238	0.04±0.01	0.039805913
Pu-239	86.19±0.06	86.1330397
Pu-240	11.88±0.06	11.92189425
Pu-241	1.73±0.01	1.743354865
Pu-242	0.16±0.01	0.161905265
U-234	0.0054	0.005309528
U-235	0.7204	0.711365886
U-238	99.2742	99.28332459

※1 燃料ペレットの Pu の同位体組成比は、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.59¹¹⁾ TABLE I] に記載された原子数比 (at%) を引用する。また U の同位体組成比 (天然ウラン) は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-1.3 を参照)。

(U-234 : U-235 : U-238 = 0.0054 : 0.7204 : 99.2742 at%)

Table 3.1.6.5 各実験で用いた物質の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.59]

使用部材	材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
燃料要素	PuO ₂ -U(NAT)O ₂ Pu/(Pu+U) 25.2wt% Pu 含有量 Pu/MOX 22.218wt% O/M=2.015	10.35 (93.3%TD)	Pu-238	0.00884416	238.0495614	2.31569E-06
			Pu-239	19.137218	239.0521648	4.98973E-03
			Pu-240	2.648831274	240.0538150	6.87760E-04
			Pu-241	0.387342212	241.0568529	1.00154E-04
			Pu-242	0.035972449	242.0587440	9.26276E-06
			U-234	0.003497229	234.0409504	9.31373E-07
			U-235	0.468555738	235.0439282	1.24252E-04
			U-238	65.39499906	238.0507870	1.71225E-02
			O	11.91473988	15.9993744	4.64165E-02
	SUS316※ ¹ (被覆管/端栓)	8.03	C	0.08	12.0106356	3.22100E-04
			Si	1.0	28.0849993	1.72184E-03
			P	0.045	30.9737620	7.02563E-05
			Cr	17.0	51.9961306	1.58105E-02
Mn			2.0	54.9380432	1.76045E-03	
Fe			65.375	55.8451437	5.66099E-02	
容器	SUS304L※ ²	7.93	C	0.03	12.0106356	1.19283E-04
			Si	1.0	28.0849993	1.70039E-03
			Mn	2.0	54.9380432	1.73852E-03
			P	0.045	30.9737620	6.93813E-05
			S	0.03	32.0654619	4.46795E-05
			Ni	11.0	58.6933505	8.95010E-03
			Cr	19.0	51.9961306	1.74505E-02
			Fe	66.895	55.8451437	5.72048E-02
減速材 反射体	(Pu+U) 硝酸※ ³ 水溶液	Table 3.1.6.6 参照				
	空気※ ⁴	0.0000173	H	11.19015537	1.0079709	1.15661E-06
			O	88.80984463	15.9993744	5.78305E-07
	水※ ⁵	0.9982	H	11.19015537	1.0079709	6.67354E-02
			O	88.80984463	15.9993744	3.33677E-02

※1 SUS316 については、SCALE 6.2.3 コードシステムに内蔵された標準物質 SS316 の組成を引用する (付録-2.2.7、付録-2.3.1 を参照)。

※2 SUS304L については、JIS G 4303 の組成を引用する (付録-2.2.8 を参照)。

※3 (Pu+U) 硝酸水溶液については、Table 3.1.6.6、付録-2.4 を参照。

※4 空気中の主成分 (N₂、O₂ 等々) については考慮せず、中性子への影響が大きい空気中の水分について考慮する。空気中の水分は、飽和水蒸気量 (20°C) に相当する 0.0000173g/cm³ とする (付録-2.2.17 を参照)。

※5 水の密度については、水温 20°C の時の密度とする (付録-2.2.16 を参照)。

Table 3.1.6.6 (Pu+U)硝酸水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.59]

計算 ケース	原子個数密度 (atoms/barn・cm)				
	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242
nse59 01	3.53360E-08	1.83452E-04	1.10963E-05	6.97904E-07	1.52517E-07
nse59 02	2.83235E-08	1.47045E-04	8.89421E-06	5.59402E-07	1.22250E-07
nse59 03	2.51815E-08	1.30733E-04	7.90756E-06	4.97346E-07	1.08688E-07
nse59 04	2.11288E-08	1.09693E-04	6.63491E-06	4.17303E-07	9.11959E-08
nse59 05	1.79868E-08	9.33807E-05	5.64825E-06	3.55247E-07	7.76344E-08
nse59 06	1.40251E-08	7.28133E-05	4.40421E-06	2.77003E-07	6.05352E-08
nse59 07	1.15206E-08	5.98109E-05	3.61774E-06	2.27538E-07	4.97253E-08
nse59 08	9.24383E-09	4.79906E-05	2.90277E-06	1.82570E-07	3.98982E-08
nse59 09	6.96703E-09	3.61703E-05	2.18780E-06	1.37602E-07	3.00711E-08
nse59 10	5.37326E-09	2.78960E-05	1.68733E-06	1.06125E-07	2.31921E-08
nse59 11	9.10722E-11	4.72814E-07	2.85988E-08	1.79872E-09	3.93086E-10
nse59 12	2.94581E-08	1.83529E-04	1.11298E-05	7.11749E-07	1.10087E-07
nse59 13					
nse59 14					
nse59 15					
nse59 16					

計算 ケース	原子個数密度 (atoms/barn・cm)			
	U-234	U-235	U-236	U-238
nse59 01	—	3.03920E-06	5.51073E-08	4.52303E-04
nse59 02	—	2.55293E-06	4.62901E-08	3.79935E-04
nse59 03	—	2.26927E-06	4.11468E-08	3.37720E-04
nse59 04	—	1.90119E-06	3.44727E-08	2.82941E-04
nse59 05	—	1.61922E-06	2.93599E-08	2.40977E-04
nse59 06	—	1.25958E-06	2.28389E-08	1.87455E-04
nse59 07	—	1.03333E-06	1.87365E-08	1.53783E-04
nse59 08	—	8.29027E-07	1.50320E-08	1.23378E-04
nse59 09	—	6.33167E-07	1.14807E-08	9.42299E-05
nse59 10	—	4.89649E-07	8.87839E-09	7.28711E-05
nse59 11	—	1.18191E-08	2.14306E-10	1.75896E-06
nse59 12	2.77896E-08	3.06687E-06	5.51073E-08	4.52249E-04
nse59 13				
nse59 14				
nse59 15				
nse59 16				

計算 ケース	原子個数密度 (atoms/barn・cm)				
	H	N	O	Gd	Fe
nse59 01	5.53051E-02	3.67772E-03	3.86179E-02	7.13226E-08	1.38911E-05
nse59 02	5.70971E-02	3.08224E-03	3.77262E-02	5.71684E-08	1.11395E-05
nse59 03	5.80251E-02	2.82888E-03	3.73934E-02	5.08266E-08	9.89917E-06
nse59 04	5.90067E-02	2.40288E-03	3.66072E-02	4.26465E-08	8.30599E-06
nse59 05	6.05267E-02	2.07174E-03	3.63767E-02	3.63047E-08	7.07083E-06
nse59 06	6.16148E-02	1.67445E-03	3.57204E-02	2.83085E-08	5.51346E-06
nse59 07	6.21500E-02	1.50108E-03	3.54242E-02	2.32534E-08	4.52891E-06
nse59 08	6.27188E-02	1.30939E-03	3.51114E-02	1.86579E-08	3.63387E-06
nse59 09	6.31131E-02	1.16239E-03	3.48270E-02	1.40623E-08	2.73883E-06
nse59 10	6.36233E-02	1.04672E-03	3.47101E-02	1.08455E-08	2.11230E-06
nse59 11	6.58678E-02	1.86293E-04	3.34060E-02	1.83821E-10	3.58017E-08
nse59 12	5.66525E-02	3.74439E-03	3.94546E-02	9.88039E-07	8.62691E-06
nse59 13		3.74734E-03	3.94634E-02	1.97225E-06	
nse59 14		3.75337E-03	3.94815E-02	3.98279E-06	
nse59 15		3.75613E-03	3.94898E-02	4.90190E-06	
nse59 16		3.75680E-03	3.94918E-02	5.12402E-06	

※ (Pu+U)硝酸水溶液については、付録-2.4 を参照。

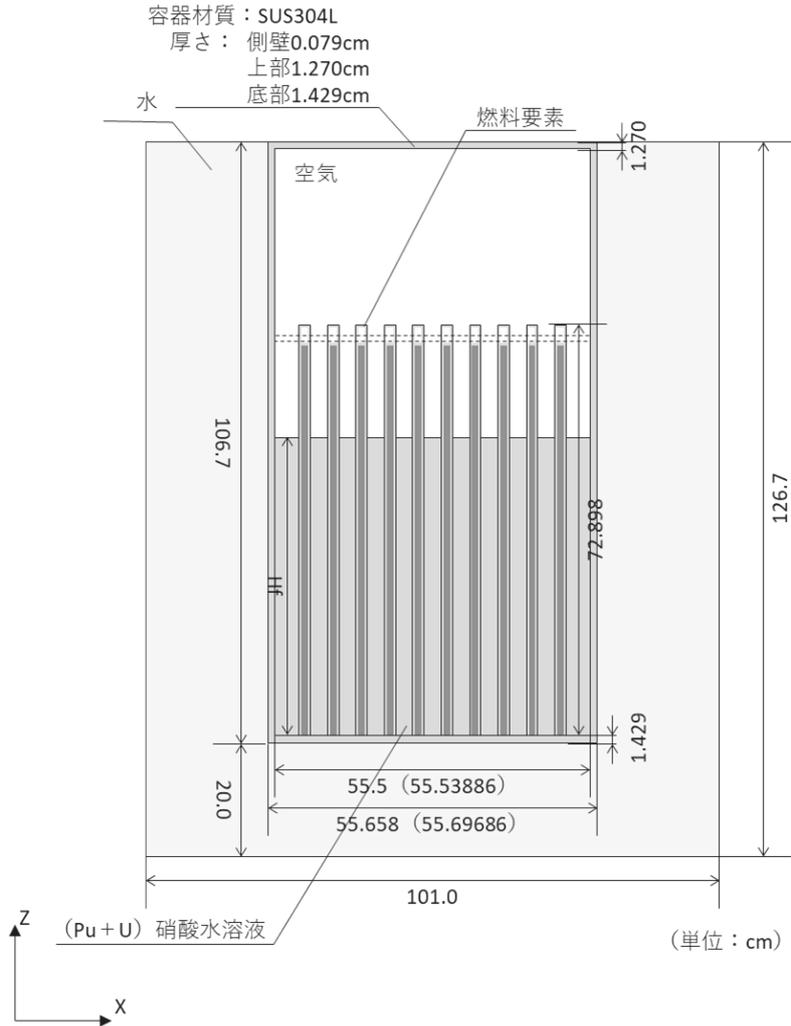


Fig. 3.1.6.1 臨界実験体系の計算モデル図 (X-Z 断面図) [Nucl.Sci.Eng.Vol.59]

- ※ 図中の Hf は臨界高さ寸法を示す。
- ※ 格子配列均質化モデルの場合はタンク内径を 55.5cm から燃料要素 301 本を実現する 55.53886cm とする。
- ※ 燃料要素の配列ピッチを保つための格子板が存在するが、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.59¹¹⁾] には、その寸法および材質等の記述がない。このため、格子板を計算モデルから省略する。

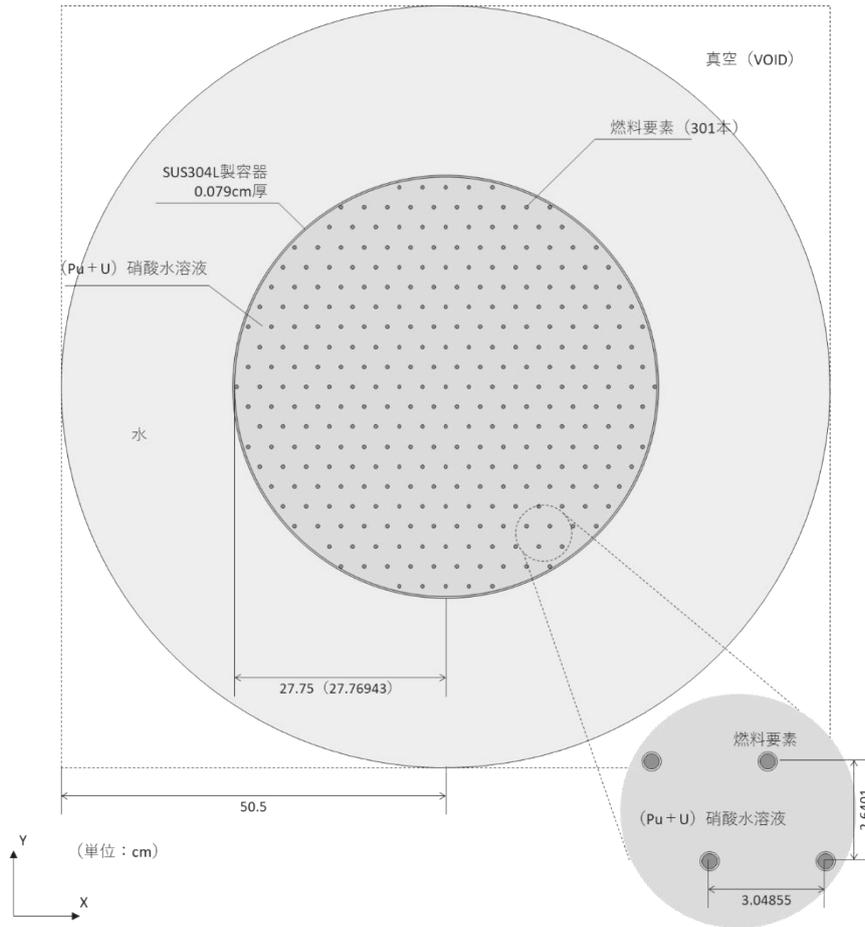


Fig. 3.1.6.2 臨界実験体系の計算モデル図 (X-Y 断面図) [Nucl.Sci.Eng.Vol.59]

※ 燃料要素配列ピッチ 3.04855cm は、容器内半径 27.75cm と最外層ピン位置 27.437cm (=27.75cm-0.021cm-0.584/2cm) および燃料要素間隙数 (10本-1) より求める。

$$\frac{27.75 - 0.021 - 0.584/2}{10 - 1} = 3.04855$$

※ 燃料要素の水平位置については、配列ピッチ 3.04855cm の条件で、三角格子配列における座標位置を計算した。

※ 格子配列均質化モデルの場合は容器内半径を 27.75cm から燃料要素 301 本を実現する 27.76943cm とする。

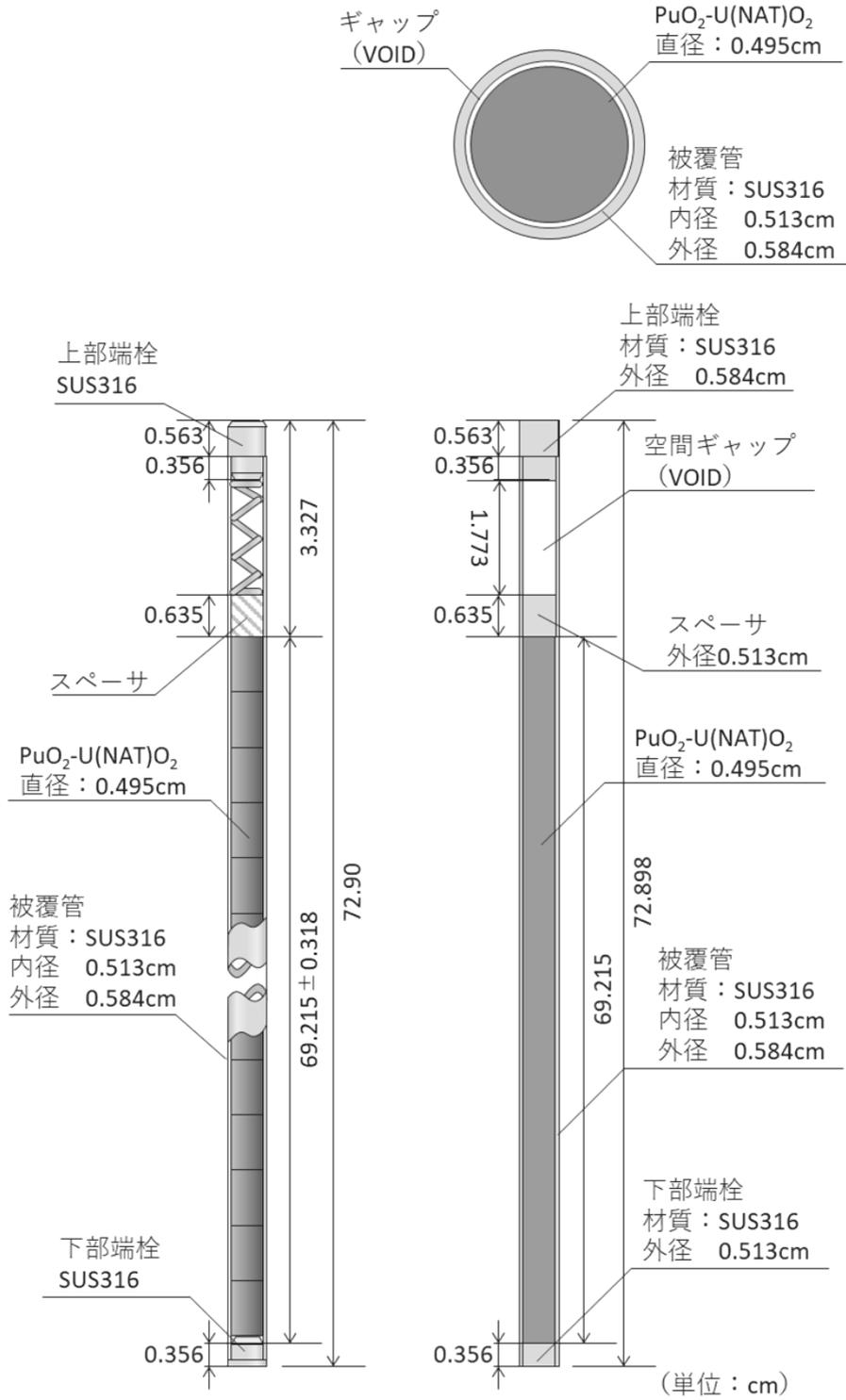


Fig. 3.1.6.3 燃料要素の模式図と計算モデル図 [Nucl.Sci.Eng.Vol.59]

※ 文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.59¹¹⁾ p.23 TABLE I] より引用する。

3.1.7 Nuclear Science and Engineering Vol.62

この実験は、円筒状容器（ステンレス製、内径55.5cm、高さ106.7cm）内にPuO₂-U(NAT)O₂燃料ペレット（PuO₂富化度25.212wt%）を封入する。燃料要素301本を三角格子配列で設置し、円筒状容器内に(Pu+U)硝酸水溶液が充填された実験装置で実施されている。

円筒状容器は、内径102cmの反射体タンク内に置かれており、タンク内には、反射体として水が充填されている。内側の円筒状容器内に(Pu+U)硝酸水溶液を順次注入し、臨界となった(Pu+U)硝酸水溶液高さ（臨界高さ）を測定している。

Table 3.1.7.1 に実施された7ケースの臨界実験データを示す。

Fig. 3.1.7.1 に計算モデル図（X-Z断面）を、Fig. 3.1.7.2 に計算モデル図（X-Y断面）をそれぞれ示す。図中の“Hf”は、臨界高さを示す。

文献に燃料要素の配列ピッチは約3.048cmと記述されているが、内径55.5cmの内部の円筒状容器内に燃料要素301本が収まるように計算して3.04855cmに設定する（最外位置の燃料要素と円筒状容器内壁との間隙が0.021cmとなる配列ピッチ）。

円筒状容器内には、燃料要素配列を維持するために支持板が設置されているが、文献には、支持板についての寸法および材質等の記述が無いため、計算モデルから省略する。

内側円筒状容器は、反射体タンク内にタンク底面より20cm上方に設置され、容器下に反射体（水）の厚さ20cmを維持している。また、反射体（水）は、内部円筒状容器の上面高さまで充填されている。反射体（水）の直径は、反射体タンク内径の102cmとする。反射体タンクの構造体は、文献に厚さ、材質等の記述が無いため、計算モデルから省略する。

反射体（水）の外側境界条件については全て真空として設定する。

Fig. 3.1.7.3 に燃料要素の計算モデル図を示す。

Table 3.1.7.2 に(Pu+U)硝酸水溶液中のPuおよびU同位体組成比を示す。

Table 3.1.7.3 に燃料ペレット中のPuおよびU同位体組成比を示す。

Table 3.1.7.4 に計算に用いた物質の原子個数密度を示す。

Table 3.1.7.5 に(Pu+U)硝酸水溶液の原子個数密度を示す。

本実験が記載された文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.62¹²⁾] においては、温度条件の記載が無いため、計算に際しては実験装置全体を20°Cに設定する。

Table 3.1.7.1 (Pu+U)硝酸水溶液を用いた臨界実験データ [Nucl.Sci.Eng.Vol.62]

計算ケース	実験番号	臨界高さ (cm)	水溶液の物性値				中性子吸収材	
			Pu ^{※1} (gPu/litre)	U ^{※1} (gU/litre)	酸性度 (mol/litre)	密度 (g/cm ³)	Gd濃度 (gGd/litre)	B濃度 (gB/litre)
nse62_01	141R	21.20	84.5	182.1	1.75	1.438	0.13	0.27
nse62_02	142	25.37	84.0	183.2	1.88	1.442	0.235	0.6
nse62_03	143	30.49	82.7	180.6	2.01	1.444	0.309	0.9
nse62_04	148	43.86	81.2	180.0	2.18	1.447	0.424	1.35
nse62_05	149	51.97	81.0	180.4	2.09	1.451	0.519	1.5
nse62_06	152	55.18	81.0	180.3	2.21	1.452	0.537	1.548
nse62_07	153	65.42	80.5	180.5	2.24	1.454	0.541	1.662

※1 文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.62¹²⁾ p.734 TABLE VI] より引用する。

Table 3.1.7.2 (Pu+U)硝酸水溶液中のPu、Uの同位体組成 [Nucl.Sci.Eng.Vol.62]

(Pu+U)硝酸水溶液 ^{※1}		
計算ケース	nse62_01~03	nse62_04~07
実験番号	137~143	144~153
核種	重量比 (wt%)	
Pu-238	0.016	0.013
Pu-239	93.082	93.082
Pu-240	6.35	6.111
Pu-241	0.504	0.448
Pu-242	0.048	0.052
U-234	0.006	0.008
U-235	0.656	0.658
U-236	0.012	0.013
U-238	99.326	99.321

※1 (Pu+U)硝酸水溶液中のPuおよびUの同位体組成は、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.62¹²⁾ p.733 TABLE V] より引用する。

Table 3.1.7.3 燃料ペレット中のPu、Uの同位体組成 [Nucl.Sci.Eng.Vol.62]

燃料ペレット ^{※1} (PuO ₂ -U(NAT)O ₂)		
Pu富化度 (wt%)	25.2	
密度 (g/cm ³)	10.35±0.09	
核種	原子数比 (at%)	重量比 (wt%)
Pu-238	0.04±0.01	0.039806
Pu-239	86.19±0.06	86.13304
Pu-240	11.88±0.06	11.92189
Pu-241	1.73±0.01	1.743355
Pu-242	0.16±0.01	0.161905
U-234	0.0054	0.00531
U-235	0.7204	0.711366
U-238	99.2742	99.28332

※1 燃料ペレットのPuの同位体組成比は、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.62¹²⁾ p.729 TABLE II] に記載された原子数比 (at%) を引用する。またUの同位体組成比 (天然ウラン) は、理科年表2022年度版²⁶⁾ より引用する (付録-1.3を参照)。

U-234 : U-235 : U-238 = 0.0054 : 0.7204 : 99.2742 at%

Table 3.1.7.4 実験で用いた物質の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.62]

使用部材	材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
燃料要素	PuO ₂ -U (NAT)O ₂ PuO ₂ 富化度 25.212wt% O/M 比=2.015	10.35 (93.3TD.)	Pu-238	0.00884	238.0495614	2.31569E-06
	Pu-239		19.137218	239.0521648	4.98973E-03	
			Pu-240	2.6488312	240.0538150	6.87760E-04
			Pu-241	0.3873422	241.0568529	1.00154E-04
			Pu-242	0.03597245	242.0587440	9.26276E-06
			U-234	0.00329299	234.0409504	9.31373E-07
			U-235	0.46855574	235.0439282	1.24252E-04
			U-238	65.394999	238.0507870	1.71225E-02
			O	11.9147399	15.9993744	4.64165E-02
	SUS316 ^{※1} (被覆管/端栓)	8.03	C	0.08	12.0106356	3.22100E-04
			Si	1.0	28.0849993	1.72184E-03
			P	0.045	30.9737620	7.02563E-05
			Cr	17.0	51.9961306	1.58105E-02
			Mn	2.0	54.9380432	1.76045E-03
			Fe	65.375	55.8451437	5.66099E-02
			Ni	12.0	58.6933505	9.88687E-03
			Mo	2.5	95.9487771	1.25999E-03
容器	SUS304L ^{※2}	7.93	C	0.03	12.0106356	1.19283E-04
			Si	1.0	28.0849993	1.70039E-03
			Mn	2.0	54.9380432	1.73852E-03
			P	0.045	30.9737620	6.93813E-05
			S	0.03	32.0654619	4.46795E-05
			Ni	11.0	58.6933505	8.95010E-03
			Cr	19.0	51.9961306	1.74505E-02
			Fe	66.895	55.8451437	5.72048E-02
減速材 反射体	(Pu+U) 硝酸 ^{※3} 水溶液	Table 3.1.7.5 参照				
	空気 ^{※4}	0.0000173	H	11.19015537	1.0079709	1.15661E-06
			O	88.80984463	15.9993744	5.78305E-07
	水 ^{※5}	0.9982	H	11.19015537	1.0079709	6.67354E-02
			O	88.80984463	15.9993744	3.33677E-02

※1 SUS316 については、SCALE 6.2.3 コードシステムに内蔵された標準物質 SS316 の組成を引用する（付録-2.2.7、付録-2.3.1 を参照）。

※2 SUS304L については、JIS G 4303 の組成を引用する（付録-2.2.8 を参照）。

※3 (Pu+U) 硝酸水溶液については、Table 3.1.7.5、付録-2.4 を参照。

※4 空気中の主成分 (N₂、O₂ 等々) については考慮せず、中性子への影響が大きい空気中の水分について考慮する。空気中の水分は、飽和水蒸気量 (20°C) に相当する 0.0000173g/cm³ とする（付録-2.2.17 を参照）。

※5 水の密度については、水温 20°C の時の密度（理科年表 2022 年度版²⁶⁾）とする（付録-2.2.16 を参照）。

Table 3.1.7.5 (Pu+U) 硝酸水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.62]

計算ケース	原子個数密度 (atoms/barn・cm)				
	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242
nse62 01	3.42027E-08	1.98144E-04	1.34609E-05	1.06394E-06	1.00909E-07
nse62 02	3.40003E-08	1.96971E-04	1.33812E-05	1.05765E-06	1.00311E-07
nse62 03	3.34741E-08	1.93923E-04	1.31741E-05	1.04128E-06	9.87590E-08
nse62 04	2.67044E-08	1.90406E-04	1.24483E-05	9.08794E-07	1.05048E-07
nse62 05	2.66386E-08	1.89937E-04	1.24177E-05	9.06556E-07	1.04790E-07
nse62 06	2.66386E-08	1.89937E-04	1.24177E-05	9.06556E-07	1.04790E-07
nse62 07	2.64742E-08	1.88764E-04	1.23410E-05	9.00960E-07	1.04143E-07

計算ケース	原子個数密度 (atoms/barn・cm)			
	U-234	U-235	U-236	U-238
nse62 01	2.81138E-08	3.06066E-06	5.57502E-08	4.57566E-04
nse62 02	2.82837E-08	3.07915E-06	5.60869E-08	4.60330E-04
nse62 03	2.78823E-08	3.03545E-06	5.52909E-08	4.53797E-04
nse62 04	3.70528E-08	3.03459E-06	5.96995E-08	4.52267E-04
nse62 05	3.71352E-08	3.04134E-06	5.98322E-08	4.53272E-04
nse62 06	3.71146E-08	3.03965E-06	5.97990E-08	4.53021E-04
nse62 07	3.71558E-08	3.04302E-06	5.98654E-08	4.53523E-04

計算ケース	原子個数密度 (atoms/barn・cm)					
	Gd	B-10 ^{※1}	B-11 ^{※1}	H	N	O
nse62 01	4.97849E-07	2.95468E-06	1.20819E-05	5.80806E-02	2.82801E-03	3.79413E-02
nse62 02	8.99958E-07	6.56595E-06	2.68486E-05	5.77386E-02	2.90803E-03	3.80044E-02
nse62 03	1.18335E-06	9.84893E-06	4.02728E-05	5.77924E-02	2.96092E-03	3.81627E-02
nse62 04	1.62375E-06	1.47734E-05	6.04093E-05	5.75362E-02	3.04648E-03	3.82747E-02
nse62 05	1.98757E-06	1.64149E-05	6.71214E-05	5.80654E-02	2.99338E-03	3.84216E-02
nse62 06	2.05650E-06	1.69402E-05	6.92693E-05	5.76971E-02	3.06535E-03	3.84207E-02
nse62 07	2.07182E-06	1.81877E-05	7.43705E-05	5.77433E-02	3.07943E-03	3.84876E-02

※1 ホウ素の同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-1.3 を参照)。

B-10 : B-11 = 18.1952wt% : 81.8048wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

※2 (Pu+U) 硝酸水溶液の各元素の原子個数密度については、付録-2.4 を参照。

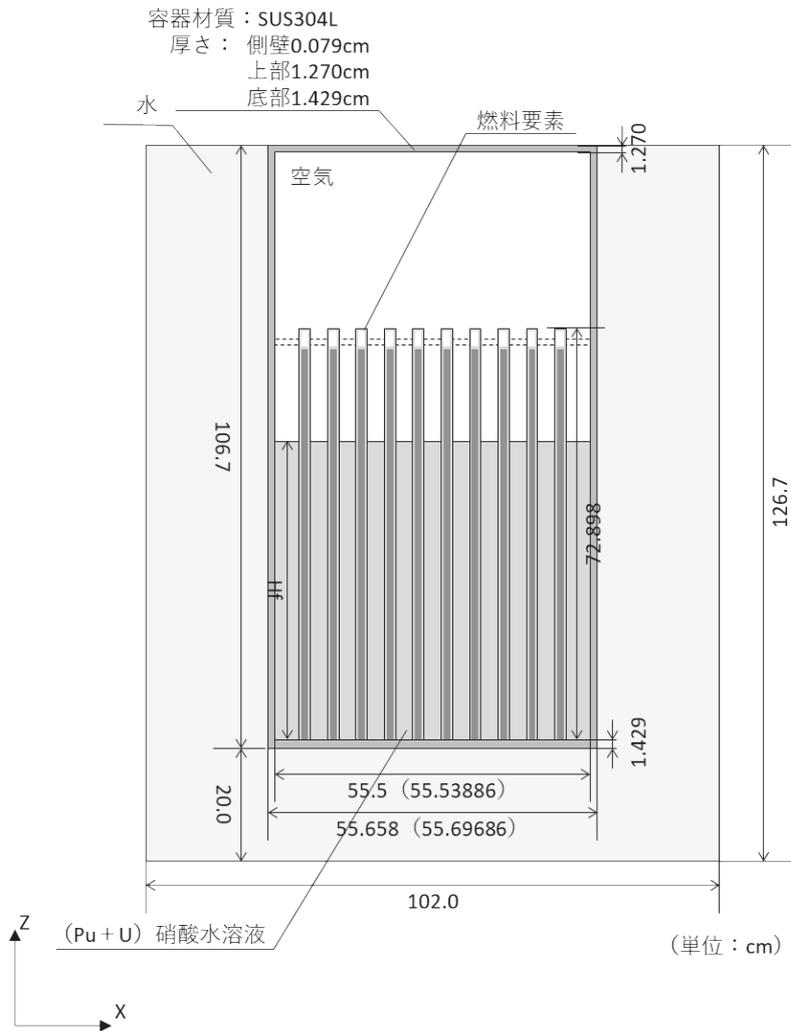


Fig. 3.1.7.1 臨界実験体系の計算モデル図 (X-Z 断面図) [Nucl.Sci.Eng.Vol.62]

- ※ 図中の H_f は臨界高さ寸法を示す。
- ※ 格子配列均質化モデルの場合はタンク内径を 55.5cm から燃料要素 301 本を実現する 55.53886cm とする。
- ※ 燃料要素の配列ピッチを保つための格子板が存在するが、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.62¹²⁾] には、その寸法および材質等の記述がない。このため、格子板を計算モデルから省略する。

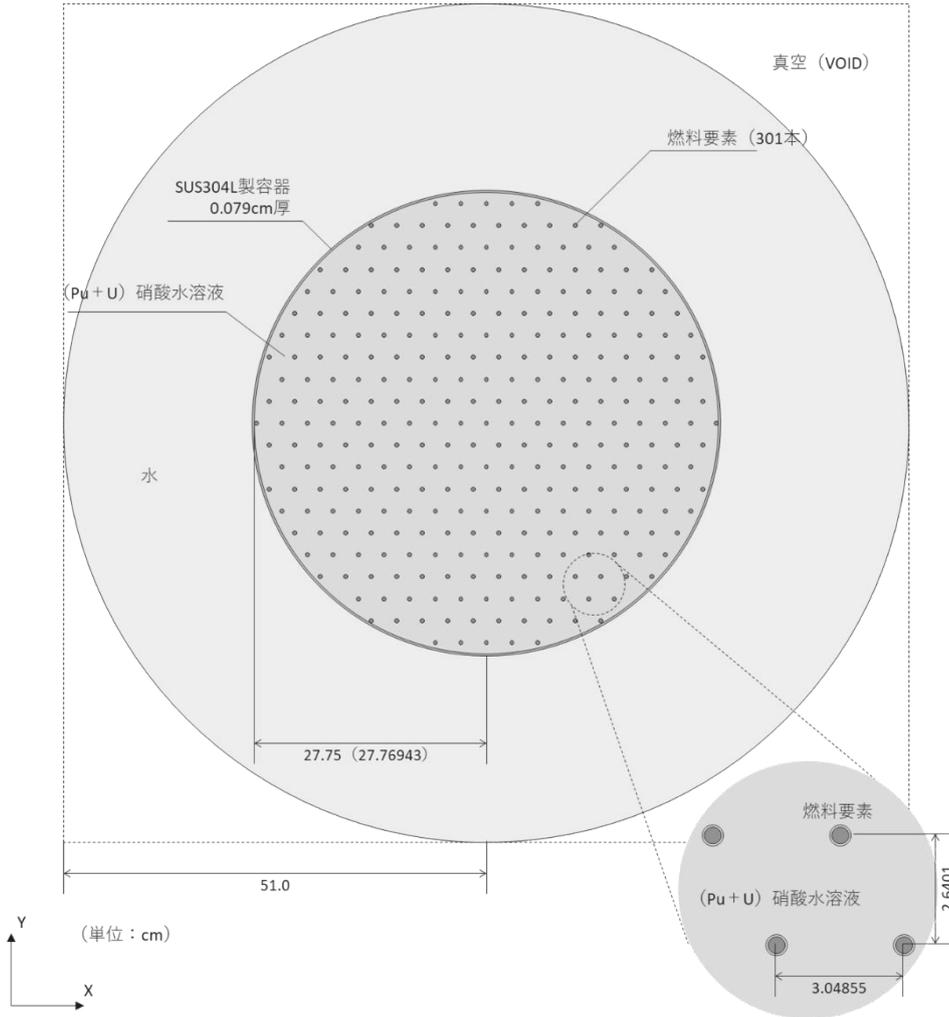


Fig. 3.1.7.2 臨界実験体系の計算モデル図 (X-Y 断面図) [Nucl.Sci.Eng.Vol.62]

※ ピッチ 3.04855cm は、タンク内半径 27.75cm と最外層ピン位置 27.437cm (=27.75cm-0.021cm-0.584/2cm) およびピン間隙数 (10本-1) より求める。

$$\frac{27.75 - 0.021 - 0.584/2}{10 - 1} = 3.04855$$

※ 燃料要素の水平位置については、配列ピッチ 3.04855cm の条件で、三角格子配列における座標位置を計算した。

※ 格子配列均質化モデルの場合はタンク内半径を 27.75cm から燃料要素 301 本を実現する 27.76943cm とする。

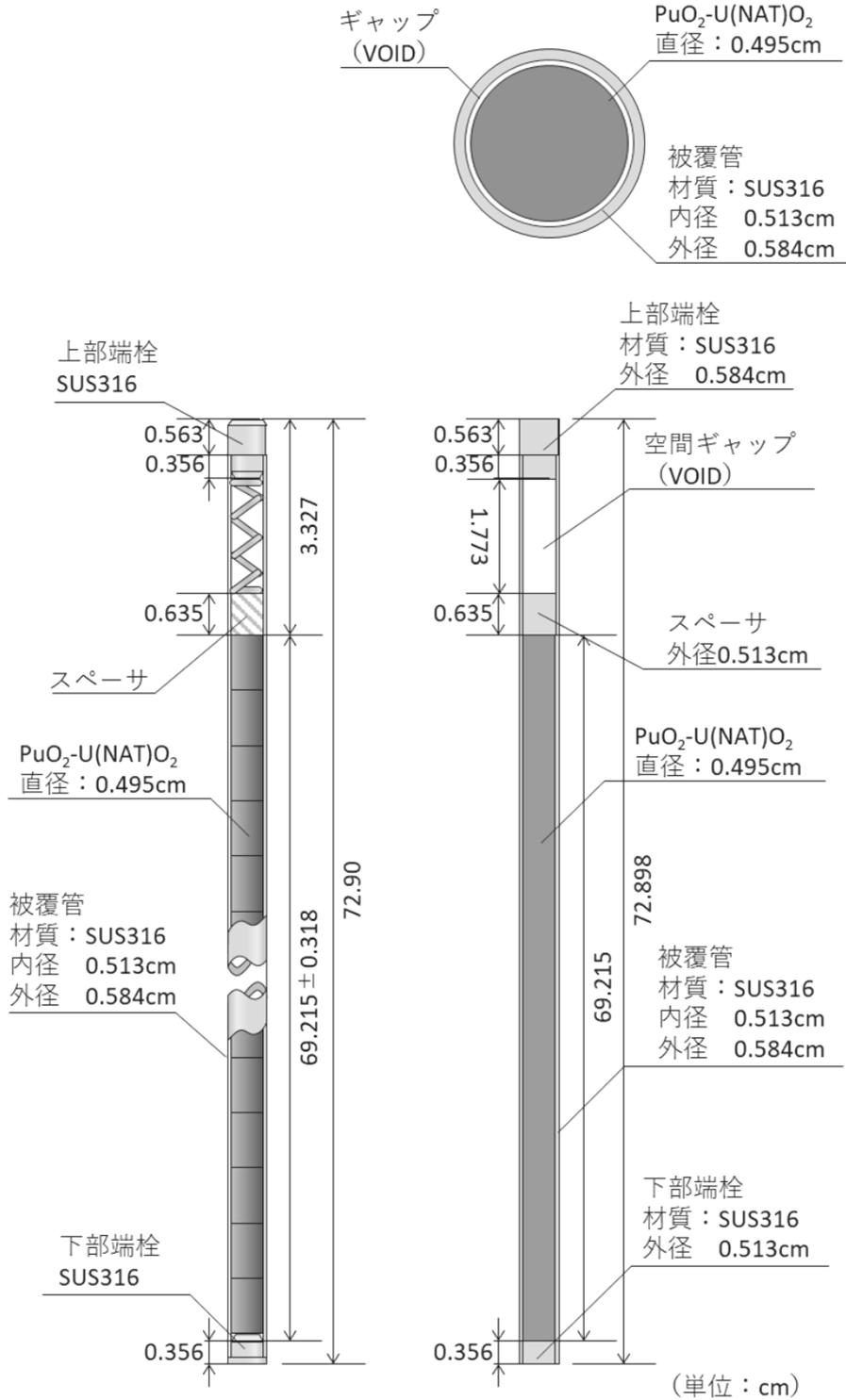


Fig. 3.1.7.3 燃料要素の模式図と計算モデル図 [Nucl.Sci.Eng.Vol.62]

※ 文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.62¹²⁾ p.729 TABLE II] より引用する。

3.2 MOX 均質系

MOX 均質系の実験においては、以下の 4 つの文献に記載された臨界実験を計算対象とする。

- ① BNWL-2129¹³⁾
- ② Nuclear Science and Engineering Vol.50 pp.115-126¹⁴⁾
- ③ Nuclear Science and Engineering Vol.55 pp.51-57¹⁵⁾ & pp.58-66¹⁶⁾
- ④ Nuclear Science and Engineering Vol.61 pp.370-376¹⁷⁾

いずれの実験においても PuO₂-UO₂-ポリスチレン均質混合燃料コンパクトを臨界となるまで配列・積層し、その臨界となる条件（奥行、幅、高さ）を測定している。上に挙げた文献では、同じ材質においても、記載された原子個数密度等の組成にバラつきがあるため、後年、同じ実験を記載している文献 [Nuclear Technology Vol.26³¹⁾] を参考に、その物性値の整合性を図る（付録-2.7.1 参照）。

また、燃料コンパクトを形成するクラッド（被覆材）、反射体として設置されるプレキシガラスについても、文献に記載された原子個数密度等の組成にバラつきがあるため、その物性値の整合性を図る（付録-2.2.11、付録-2.2.12 参照）。

3.2.1 BNWL-2129

この臨界実験では、減速条件 H/(Pu+U) の原子個数比が 30.6 を有する PuO₂-UO₂-ポリスチレン均質混合燃料のコンパクトを用いた実験と H/(Pu+U) の原子個数比が 30.6 と 2.8 を有する 2 種類の燃料コンパクトを配列・積層する実験が行われている。どちらの実験においても臨界となる条件（奥行、幅、高さ）を測定している。

燃料ポリスチレンは、奥行と幅が約 5.09cm、高さが約 5.09cm もしくは 1.384cm を有し、テープ（0.0124cm 厚）をクラッド（被覆材）として使用して、燃料コンパクトを形成している。

燃料コンパクトの配列、積み重ねた積層体の外側には、プレキシガラス（15cm 厚）を設置している。

- (1) 実験ケース 1： PuO₂ 富化度 14.64wt%、30.6 H/(Pu+U) (3 ケース)
- (2) 実験ケース 2： PuO₂ 富化度 29.40wt%、2.8 H/(Pu+U)
PuO₂ 富化度 14.64wt%、30.6 H/(Pu+U) (1 ケース)

(1) 実験ケース 1

実験ケース 1 は、燃料の減速条件が $30.6 \text{ H}/(\text{Pu}+\text{U})$ の燃料コンパクトを使用しており、大きさの異なる燃料コンパクト (Type2 : 高さ 5.09cm、Type3 : 高さ 1.384cm) を奥行 8×幅 8 の配列で積層し、臨界となる条件を測定している。

この実験は、計 3 回の実験が行われ、文献 [BNWL-2129¹³⁾] には、その 3 回の平均値が記載されている。本ベンチマーク計算では、3 回の実験 (実験番号 097、150、153) について、それぞれ臨界計算を実施する。

燃料コンパクト Type2 は 4 層、Type3 は 3.6065、3.5599、3.5676 層に積層している。燃料コンパクト Type3 の積層数は、最上層の燃料コンパクト配列数を平均化して示されている。よって、計算モデルでは、平均化された積層数から最上層の配列個数を計算してモデル化する。

($8 \times 8 \times 0.6065 \approx 39$ 個、 $8 \times 8 \times 0.5599 \approx 36$ 個、 $8 \times 8 \times 0.5676 \approx 36$ 個)。最上層で、燃料コンパクトが並ぶ部分以外の反射体との隙間は真空として設定する。

燃料コンパクトを積み重ねた配列の外側に、反射体としてプレキシガラス (15cm) を設置している (計算ケース : bnwl_01、bnwl_02、bnwl_03)。

(2) 実験ケース 2

実験ケース 2 は、燃料の減速条件が $30.6 \text{ H}/(\text{Pu}+\text{U})$ の燃料コンパクト (Type2 : 高さ 5.09cm、Type3 : 高さ 1.384cm)、と $2.8 \text{ H}/(\text{Pu}+\text{U})$ の燃料コンパクト (Type1 : 高さ 5.09cm)、計 3 種類の燃料コンパクトを奥行 8×幅 8 の配列で積層し、臨界となる条件を測定している。

この実験では、燃料コンパクト Type1 は 4 層、Type2 は 2 層、Type3 は 0.233 層に積層している。燃料コンパクト Type3 の積層数は、最上層の燃料コンパクト配列数を平均化して示されている。計算モデルでは、平均化された積層数から最上層の配列個数を計算してモデル化する。

($8 \times 8 \times 0.233 \approx 15$ 個)。最上層で、燃料コンパクトが並ぶ部分以外の反射体との隙間は、真空として設定する。

燃料コンパクトを積み重ねた配列の外側に、反射体としてプレキシガラス (15cm 厚) を設置している (計算ケース : bnwl_04)。

Table 3.2.1.1 に臨界実験データおよび燃料コンパクト配列データを示す。

Table 3.2.1.2 に計算で用いた物質の原子個数密度を示す。

Table 3.2.1.3 に補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度を示す。

Pu-241 の放射性壊変 (β^- 崩壊) により、Pu-241 および Am-241 の原子個数密度は、時間の経過とともに Pu-241 は減じ Am-241 は増加する。このため、分析時期と実験時期との期間を考慮して、Pu-241、Am-241 の原子個数密度を補正する (付録-3 を参照)。

Fig. 3.2.1.1 および Table 3.2.1.4 に燃料コンパクトの形状および寸法を示す。

Fig. 3.2.1.2 に実験体系の計算モデル図を示す。

Fig. 3.2.1.3 に実験体系の計算モデルイメージを示す。

本実験が記載された文献 [BNWL-2129¹³⁾] においては、温度条件の記載が無いいため、計算に際し、実験装置全体を 20°C に設定する。

Table 3.2.1.1 臨界実験データおよび燃料コンパクトの配列データ [BNWL-2129]

計算ケース	実験番号	燃料層数						最上層燃料コンパクト個数 ^{※3}	実験時期 ^{※4}
		奥行	幅	高さ					
				Type1	Type2	Type3	総層数 ^{※2}		
bnwl 01	097	8	8	—	4	3.6065	4.928	39	1975年9～11月
bnwl 02	150			—	4	3.5599	4.916	36	1975年9～11月
bnwl 03	153			—	4	3.5676	4.918	36	1976年5月
平均 (01、02、03)	—	8	8	—	4	3.578	4.921	37	—
bnwl 04	025	8	8	4	2	0.233	6.060	15	1976年5月

※1 文献 [BNWL-2129¹³⁾ TABLE III、TABLE IV] より引用する。

※2 総層数は、高さ 5.09cm の燃料コンパクトの層数に相当する。bnwl01～03 における Type3 の積層数は、各ケースの総層数 (4.928、4.916、4.918、4.921) と、3 ケースの平均の Type3 積層数 (3.578) から計算する。

※3 最上層燃料コンパクト個数= (奥行方向個数) × (幅方向個数) × (高さ方向 Type3 の小数点以下の層数)

※4 実験時期については、文献 [BNWL-2129¹³⁾ p.4 TABLE I] より引用する。

Table 3.2.1.2 計算に用いた物質の原子個数密度 [BNWL-2129]

材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
燃料コンパクト ^{※1} (PuO ₂ -UO ₂ -ポリスチレン) 30.6 H/(Pu+U) PuO ₂ 富化度 14.64wt% O/M 比 2.057 Type2、Type3	1.6159	Am-241 ^{※1}	0.01200	Table 3.2.1.3 参照
		Pu-238	0.00000	—
		Pu-239	4.79772	1.953E-04
		Pu-240	0.41986	1.702E-05
		Pu-241 ^{※1}	0.03000	Table 3.2.1.3 参照
		Pu-242	0.00200	8.040E-08
		U-235	0.04599	1.904E-06
		U-238	30.62764	1.252E-03
		H	4.64569	4.485E-02
		O	4.96370	3.019E-03
燃料コンパクト ^{※1} (PuO ₂ -UO ₂ -ポリスチレン) 2.8 H/(Pu+U) PuO ₂ 富化度=29.40wt% O/M 比 2.137 Type1	4.5303	Am-241 ^{※1}	0.09004	1.96752E-05
		Pu-238	0.01599	1.833E-06
		Pu-239	19.30330	2.203E-03
		Pu-240	2.57899	2.931E-04
		Pu-241 ^{※1}	0.43596	3.98548E-05
		Pu-242	0.05001	5.636E-06
		U-235	0.08099	9.401E-06
		U-238	53.85425	6.172E-03
		H	0.89300	2.417E-02
		O	10.96066	1.869E-02
クラッド ^{※2}	1.12181	H	6.69770	4.489E-02
		C	55.30880	3.111E-02
		Cl	37.99350	7.240E-03
プレキシガラス ^{※3} (アクリル樹脂)	1.18623	H	7.99477	5.666E-02
		C	60.02271	3.570E-02
		O	31.98252	1.428E-02

※1 燃料コンパクトの原子個数密度は、文献 [BNWL-2129¹³⁾ p.4 TABLE I] に記載されているデータを引用する (付録-2.7.1 参照)。

分析時期と実験時期が異なることから、その期間の壊変を考慮し、Pu-241、Am-241 について補正を行う。Table 3.2.1.3、付録-3 を参照。

※2 クラッドの原子個数密度は、文献 [Nuclear Technology Vol.26³¹⁾] に記載されているデータを引用する。密度および組成については、原子個数密度より計算する。クラッドの密度については 1120kg/m³ の記述がある (付録-2.2.11 参照)。

※3 プレキシガラスの原子個数密度は、文献 [Nuclear Technology Vol.26³¹⁾] に記載されているデータを引用する。密度および組成については、原子個数密度より計算する (付録-2.2.12 を参照)。

Table 3.2.1.3 補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [BNWL-2129]

ケース名	実験番号	燃料タイプ (減速条件)	分析時期	実験時期	考慮日	核種	初期値 (分析時)	補正值 (実験時)
bnwl_01 bnwl_02	097 152	30.6 H/(Pu+U)	1970/5/28	1975/10/1	1952	Am-241	4.843E-07	7.60176E-07
						Pu-241	1.211E-06	9.35124E-07
bnwl_03 bnwl_04	153 025	30.6 H/(Pu+U)	1970/5/28	1976/5/1	2165	Am-241	4.843E-07	7.86187E-07
						Pu-241	1.211E-06	9.09113E-07
bnwl_04	025	2.8 H/(Pu+U)	1971/12/2	1976/5/1	1612	Am-241	1.019E-05	1.96752E-05
						Pu-241	4.934E-05	3.98548E-05

※ 文献 [BNWL-2129¹³⁾ p.4 TABLE I] には、実験期間と燃料コンパクトの成分組成の分析時期が記載されており、以下のとおりである。

bnwl_01 (実験番号 097) および bnwl_02 (実験番号 152) の実験は 1975 年 9～11 月に実施された。

bnwl_03 (実験番号 153) および bnwl_04 (実験番号 025) の実験は 1976 年 5 月に実施された。

30.6 H/(Pu+U)燃料コンパクトについては 1970 年 5 月 28 日に組成の分析が行われた。

2.8 H/(Pu+U)燃料コンパクトについては 1971 年 12 月 2 日に組成の分析が行われた。

Table 3.2.1.4 燃料コンパクト寸法 [BNWL-2129] ※1

コンパクトタイプ 減速条件	Type1			Type2			Type3		
	2.8 H/(Pu+U)			30.6 H/(Pu+U)			30.6 H/(Pu+U)		
	奥行	幅	高さ	奥行	幅	高さ	奥行	幅	高さ
ポリスチレン外寸 (cm) (奥行 L1、幅 W1、高さ H1)	5.090	5.083	5.090	5.090	5.095	5.090	5.090	5.095	1.384
クラッド外寸 (cm) (奥行 L2、幅 W2、高さ H2)	5.114	5.170	5.114	5.121	5.142	5.121	5.121	5.142	1.415
コンパクト (真空) 外寸 (cm) (奥行 L3、幅 W3、高さ H3)	5.118 ^{※2} (5.130)	5.174 ^{※2} (5.190)	5.118	5.130	5.190	5.130	5.130	5.190	1.485

※1 文献 [BNWL-2129¹³⁾ p.4 TABLE I] より引用する。

※2 燃料コンパクトを配列するにあたり、Type1 燃料コンパクトの寸法 (L3、W3) を Type2 および Type3 の寸法に合わせている。

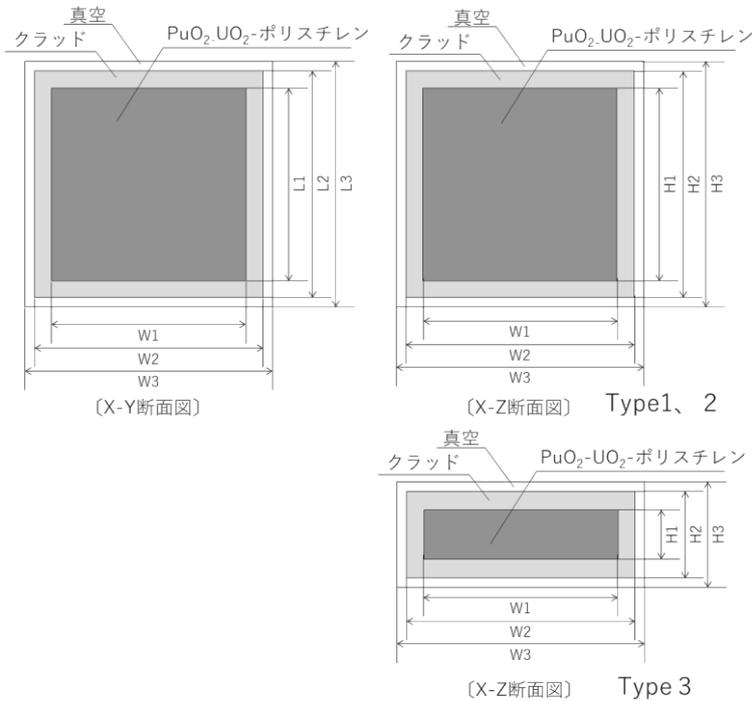


Fig. 3.2.1.1 燃料コンパクトの計算モデル図

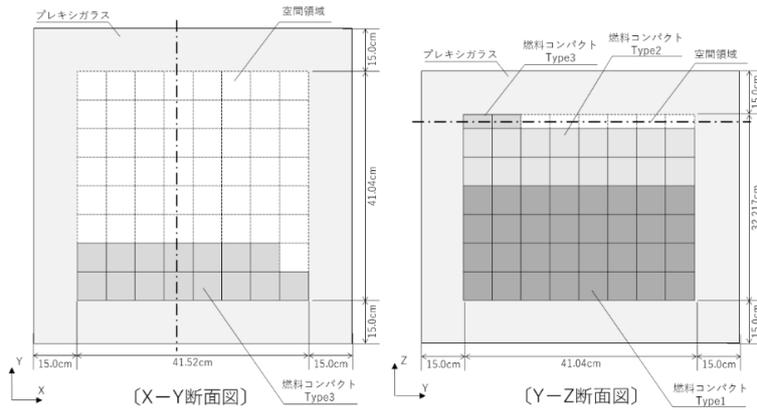
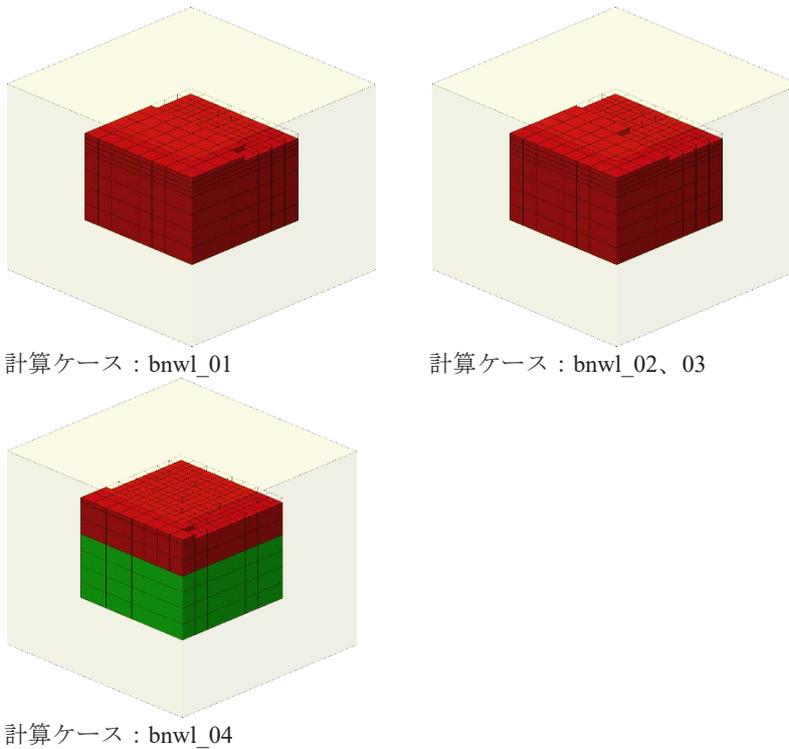


Fig. 3.2.1.2 実験体系の計算モデル図 [BNWL-2129]

(最上層の燃料コンパクト配列 X-Y 断面および Y-Z 断面図)
 ※ bnwl_01~03 においては、燃料コンパクト Type2、Type3 のみ使用。



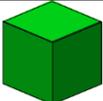
コンパクトタイプ	Type1	Type2	Type3
減速条件	2.8 H/(Pu+U)	30.6 H/(Pu+U)	30.6 H/(Pu+U)
コンパクト外観			
ポリスチレン外寸 (cm) (奥行 L1、幅 W1、高さ H1)	5.09×5.083×5.090	5.090×5.095×5.090	5.090×5.095×1.384
クラッド外寸 (cm) (奥行 L2、幅 W2、高さ H2)	5.114×5.170×5.114	5.121×5.142×5.121	5.121×5.142×1.415
コンパクト外寸 (cm) (奥行 L3、幅 W3、高さ H3)	5.118 ^{※1} ×5.174 ^{※1} ×5.118	5.130×5.190×5.130	5.130×5.190×1.485

Fig. 3.2.1.3 実験体系の計算モデルイメージ [BNWL-2129]

※1 燃料コンパクトを配列するにあたり、Type1 燃料コンパクトの寸法を Type2 および Type3 の寸法に合わせて、奥行 5.130cm、幅 5.190cm とする。

3.2.2 Nuclear Science and Engineering Vol.50

この臨界実験では、減速条件 $H/(Pu+U)$ の原子個数比が 47.4、30.6、51.8 を有する 3 種類の PuO_2-UO_2 -ポリスチレン均質混合燃料コンパクトを配列して積層し、臨界となる条件（奥行、幅、高さ）を測定している。

燃料ポリスチレンは、奥行と幅が約 5.09cm、高さが約 5.09cm もしくは、1.3~1.384cm を有し、テープ（0.01524cm 厚）をクラッド（被覆材）として使用し、燃料コンパクトを形成している。

実験では、燃料コンパクトの積層体の外側にプレキシガラス（15cm 厚）を反射体として設置している。実験と反射体を設置しない実験が行われているが、本ベンチマーク計算では、反射体（プレキシガラス）を設置する実験を計算対象とする。

以下に、実験ケースを示す。

- (1) 実験ケース 1 : PuO_2 富化度 30.03wt%、47.4 $H/(Pu+U)$ (8 ケース)
- (2) 実験ケース 2 : PuO_2 富化度 14.64wt%、30.6 $H/(Pu+U)$ (6 ケース)
- (3) 実験ケース 3 : PuO_2 富化度 7.90wt%、51.8 $H/(Pu+U)$ (7 ケース)

(1) 実験ケース 1

この実験では、減速条件が 47.4 $H/(Pu+U)$ の燃料コンパクトを使用しており、大きさの異なる燃料コンパクト（Type1 : 高さ 5.10cm、Type2 : 高さ 1.30cm）を積層し、臨界となる条件を測定している。

計算モデルについては、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.50¹⁴⁾] 中に詳細な燃料コンパクト形状の記載が無かったことから燃料コンパクト形状および配列個数については文献 [Nuclear Technology Vol.26³¹⁾ BENCHMARK 13] 記載のデータより引用する。

燃料コンパクト積層体の高さは、最上層の燃料コンパクト配列数を平均化して、積層数で示されている。計算モデルでは、平均化された積層数から最上層の配列個数を計算してモデル化する。最上層で、燃料コンパクトが並ぶ部分以外の反射体との隙間は、真空として設定する。

当実験ケースにおいては、燃料コンパクト積層体の外側にプレキシガラス（15cm 厚）の反射体を設定する。8 ケース（計算ケース : nse50_01~08）について計算を実施する。

(2) 実験ケース 2

この実験では、減速条件が 30.6 $H/(Pu+U)$ の燃料コンパクトを用いている。実験では、大きさの異なる燃料コンパクト（Type1 : 高さ 5.095cm、Type2 : 高さ 1.384cm）を積層し、臨界となる条件を測定している。

計算モデルについては、文献 [Nuclear Technology Vol.26³¹⁾ BENCHMARK 4] 記載のデータより引用する。

燃料コンパクト積層体の高さは、最上層の燃料コンパクト配列数を平均化して、積層数で示されている。計算モデルでは、平均化された積層数から最上層の配列個数を計算してモデル化する。最上層で、燃料コンパクトが並ぶ部分以外の反射体との隙間は、真空として設定する。

本実験ケースにおいては、燃料コンパクト積層体の外側にプレキシガラス（15cm 厚）の反射

体を設定する。6 ケース（計算ケース：nse50_09～14）について計算を実施する。

（3）実験ケース 3

この実験では、減速条件が 51.8 H/(Pu+U) の燃料コンパクトを用いている。実験では、大きさの異なる燃料コンパクト（Type1：高さ 5.095cm、Type2：高さ 1.324m）を積層し、臨界となる条件を測定している。

計算モデルについては、文献 [Nuclear Technology Vol.26³¹⁾ BENCHMARK 14] 記載のデータより引用する。

燃料コンパクト積層体の高さは、最上層の燃料コンパクト配列数を平均化して、積層数で示されている。計算モデルでは、平均化された積層数から最上層の配列個数を計算してモデル化する。最上層で、燃料コンパクトが並ぶ部分以外の反射体との隙間は、真空として設定する。

本実験ケースにおいては、燃料コンパクト積層体の外側にプレキシガラス（15cm 厚）の反射体を設定する。7 ケース（計算ケース：nse50_15～21）について計算を実施する。

Table 3.2.2.1 に臨界実験データを示す。

Table 3.2.2.2 に実験時期等の諸データを示す。

Table 3.2.2.3 に計算に用いた物質の原子個数密度を示す。

Table 3.2.2.4 に補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度を示す。

Pu-241 の放射性壊変（ β 崩壊）により、Pu-241 および Am-241 の原子個数密度は、時間の経過とともに Pu-241 は減じ、Am-241 は増加する。このため、分析時期と実験時期との期間を考慮して、Pu-241、Am-241 の原子個数密度を補正する（付録-3 を参照）。

Fig. 3.2.2.1、Table 3.2.2.5 に燃料コンパクトの寸法および形状を示す。

Fig. 3.2.2.2 に実験体系の計算モデル図を示す。

Fig. 3.2.2.3 に実験体系の計算モデルイメージを示す。

Table 3.2.2.1 臨界実験データおよび燃料コンパクト配列データ [Nucl.Sci.Eng.Vol.50]

計算 ケース	燃料タイプ (減速条件)	臨界時の配列寸法 (cm) ※1			燃料層数※2				最上層燃料 コンパクト 個数※4
		奥行	幅	高さ	奥行	幅	高さ		
							Type1※3	Type2※3	
nse50 01	47.4 H/(Pu+U)	30.54	30.54	30.89	6	6	6	0.667	24
nse50 02		35.63	35.63	23.95	7	7	4	3.072	4
nse50 03		40.72	40.72	20.22	8	8	4	0.153	10
nse50 04		50.90	45.81	17.14	10	9	3	1.663	60
nse50 05		61.08	50.90	15.53	12	10	3	0.400	48
nse50 06		61.08	55.99	15.16	12	11	3	0.106	14
nse50 07		66.17	61.08	14.43	13	12	2	3.460	72
nse50 08		50.90	50.90	16.49	10	10	3	1.153	15
nse50 09	30.6 H/(Pu+U)	30.54	40.72	29.81	6	8	6	0.331	16
nse50 10		40.72	40.72	23.84	8	8	4	3.196	13
nse50 11		45.81	50.90	19.82	9	10	4	0.184	17
nse50 12		50.90	50.90	18.92	10	10	3	3.185	19
nse50 13		61.08	50.90	17.72	12	10	3	2.295	35
nse50 14		61.08	61.08	16.63	12	12	3	1.464	67
nse50 15	51.8 H/(Pu+U)	40.72	45.72	32.89	8	8	8	1.657	42
nse50 16		50.90	50.80	26.40	8	9	7	2.357	26
nse50 17		61.08	60.96	22.66	10	10	6	0.430	43
nse50 18		61.08	66.04	22.09	12	10	5	2.462	55
nse50 19		61.08	55.88	23.22	12	11	5	1.442	58
nse50 20		61.08	50.80	24.37	12	12	5	0.934	134
nse50 21		40.72	40.64	36.42	12	13	5	0.438	68

※1 文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.50¹⁴⁾ TABLE III、IV、V] 記載の寸法を引用する。誤差は省略する。

※2 文献 [Nuclear Technology Vol.26³¹⁾ BENCHMARK 4、13、14] より引用する。

※3 燃料コンパクトの寸法は、Fig. 3.2.2.1、Table 3.2.2.5 を参照。

※4 最上層燃料コンパクト個数= (奥行方向個数) × (幅方向個数) × (高さ方向 Type2 の小数点以下の層数)

Table 3.2.2.2 実験時期等の諸データ [Nucl.Sci.Eng.Vol.50]

計算 ケース	燃料タイプ (減速条件)	反射体厚さ (cm)	分析時期	実験時期	温度 (°C)
nse50 01~08	47.4 H/(Pu+U)	15.0	1978/5/28	1970/2/14	30.0
nse50 09~14	30.6 H/(Pu+U)	15.0	1978/5/28	1970/8/15	30.0
nse50 15~21	51.8 H/(Pu+U)	15.0	1971/1/21	1971/3/1	30.0

※分析時期、実験時期については、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.50¹⁴⁾ TABLE I] より引用する。詳細は Table 3.2.2.4 を参照。

Table 3.2.2.3 計算に用いた物質の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.50]

材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
燃料コンパクト※ ¹ (PuO ₂ -UO ₂ -ポリスチレン) 47.4 H/(Pu+U) PuO ₂ 富化度 30.03wt% O/M 比 2.092	1.4058	Am-241 ^{※2}	0.00900	2.92462E-07
		Pu-238	0.00000	0.000E+00
		Pu-239	7.27127	2.575E-04
		Pu-240	0.65106	2.296E-05
		Pu-241 ^{※2}	0.04901	1.74464E-06
		Pu-242	0.00300	1.049E-07
		U-235	0.02799	1.008E-06
		U-238	18.56742	6.603E-04
		H	5.31988	4.468E-02
		O	3.73259	1.975E-03
燃料コンパクト※ ¹ (PuO ₂ -UO ₂ -ポリスチレン) 30.6 H/(Pu+U) PuO ₂ 富化度 14.64wt% O/M 比 2.057	1.6159	Am-241 ^{※2}	0.01200	4.96904E-07
		Pu-238	0.00000	0.000E+00
		Pu-239	4.79772	1.953E-04
		Pu-240	0.41986	1.702E-05
		Pu-241 ^{※2}	0.03000	1.19840E-06
		Pu-242	0.00200	8.040E-08
		U-235	0.04599	1.904E-06
		U-238	30.62764	1.252E-03
		H	4.64569	4.485E-02
		O	4.96370	3.019E-03
燃料コンパクト※ ¹ (PuO ₂ -UO ₂ -ポリスチレン) 51.8 H/(Pu+U) PuO ₂ 富化度 7.90wt% O/M 比 2.010	1.3931	Am-241 ^{※2}	0.00500	1.76152E-07
		Pu-238	0.00000	0.000E+00
		Pu-239	1.85815	6.521E-05
		Pu-240	0.16602	5.802E-06
		Pu-241 ^{※2}	0.01200	4.15548E-07
		Pu-242	0.00100	3.466E-08
		U-235	0.03600	1.285E-06
		U-238	23.76451	8.375E-04
		H	5.66986	4.719E-02
		O	3.49002	1.830E-03
クラッド※ ³	1.12181	H	6.69770	4.489E-02
		C	55.30880	3.111E-02
		Cl	37.99350	7.240E-03
プレキシガラス※ ⁴ (アクリル樹脂)	1.18623	H	7.99477	5.666E-02
		C	60.02271	3.570E-02
		O	31.98252	1.428E-02

※1 PuO₂-UO₂ポリスチレンの原子個数密度は、文献 [Nuclear Technology Vol.26³¹⁾ BENCHMARK 13、4、14] に記載された値を引用する。ただし、[BENCHMARK 4] に記載されている 30.6 H/(Pu+U) PuO₂-UO₂-ポリスチレンの O の原子個数密度 3.019E-02 は、3.019E-03 の誤記であると推測されるため修正する。30.6 H/(Pu+U)の原子個数密度は、文献 [BNWL-2129¹³⁾] に記載された同条件のものと同値である (付録-2.7.1 参照)。

※2 分析時期と実験時期が異なることから、その期間の壊変を考慮し、Pu-241、Am-241 について、補正を行う。Table 3.2.2.4、付録-3を参照。

※3 クラッドの原子個数密度は、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.50¹⁴⁾] に記載が無いいため、文献 [Nuclear Technology Vol.26³¹⁾] に記載された値を引用する (付録-2.2.11 参照)。

※4 プレキシガラスの原子個数密度は、文献 [Nuclear Technology Vol.26³¹⁾] に記載された値を引用する。文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.50¹⁴⁾] には、Hの原子個数密度 5.712E-02 の記載があるが、より確からしい値を引用する (付録-2.2.12 参照)。

Table 3.2.2.4 補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.50]

計算ケース	燃料タイプ (減速条件)	分析時期	実験時期	核種	初期値 (分析時)	補正值 (実験値)
nse50_01~08	47.4 H/(Pu+U)	1970/05/28	1970/02/14	Am-241	3.161E-07	2.92462E-07
				Pu-241	1.721E-06	1.74464E-06
nse50_09~14	30.6 H/(Pu+U)	1970/05/28	1970/08/15	Am-241	4.843E-07	4.96904E-07
				Pu-241	1.211E-06	1.19840E-06
nse50_15~21	51.8 H/(Pu+U)	1971/01/21	1971/03/01	Am-241	1.740E-07	1.76152E-07
				Pu-241	4.177E-07	4.15548E-07

※ 文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.50¹⁴⁾] より引用する。

分析時期：5-28-70、実験時期：February 1970

分析時期：5-28-70、実験時期：June-September 1970

分析時期：1-21-71、実験時期：December1970-May 1971

Table 3.2.2.5 燃料コンパクト寸法 [Nucl.Sci.Eng.Vol.50] ※¹

計算ケース 減速条件 コンパクトタイプ	nse50_01~08 47.4 H/(Pu+U)						nse50_09~14 30.6 H/(Pu+U)					
	Type1			Type2			Type1			Type2		
	奥行	幅	高さ	奥行	幅	高さ	奥行	幅	高さ	奥行	幅	高さ
ポリスチレン外寸 (cm) (奥行 L1、幅 W1、高さ H1)	5.090	5.090	5.100	5.090	5.090	1.30	5.090	5.090	5.095 ^{※2}	5.090	5.090	1.384
クラッド外寸 (cm) (奥行 L2、幅 W2、高さ H2)	5.122	5.106	5.133	5.122	5.106	1.333	5.121	5.137	5.121	5.121	5.137	1.415
コンパクト外寸 (cm) (奥行 L3、幅 W3、高さ H3)	5.160	5.160	5.190	5.160	5.160	1.39	5.130	5.190	5.130	5.130	5.190	1.424

計算ケース 減速条件 コンパクトタイプ	nse50_15~21 51.8 H/(Pu+U)					
	Type1			Type2		
	奥行	幅	高さ	奥行	幅	高さ
ポリスチレン外寸 (cm) (奥行 L1、幅 W1、高さ H1)	5.090	5.080	5.090	5.090	5.080	1.324
クラッド外寸 (cm) (奥行 L2、幅 W2、高さ H2)	5.114	5.116	5.114	5.114	5.116	1.360
コンパクト外寸 (cm) (奥行 L3、幅 W3、高さ H3)	5.128	5.189	5.128	5.128	5.189	1.438

※1 文献 [Nuclear Technology Vol.26³¹⁾] より引用する。

※2 文献 [Nuclear Technology Vol.26³¹⁾] には、ポリスチレンの高さが 5.090±0.025cm と記載されているが、記載された実験において、反射体（プレキシガラス）を設置する実験と設置しない実験では、該当寸法が異なる。プレキシガラスを設置する実験においては、ポリスチレン幅が 5.090cm、高さ 5.095cm であるのに対し、プレキシガラスを設置しない実験においては、ポリスチレン幅が 5.095cm、高さ 5.090cm である。

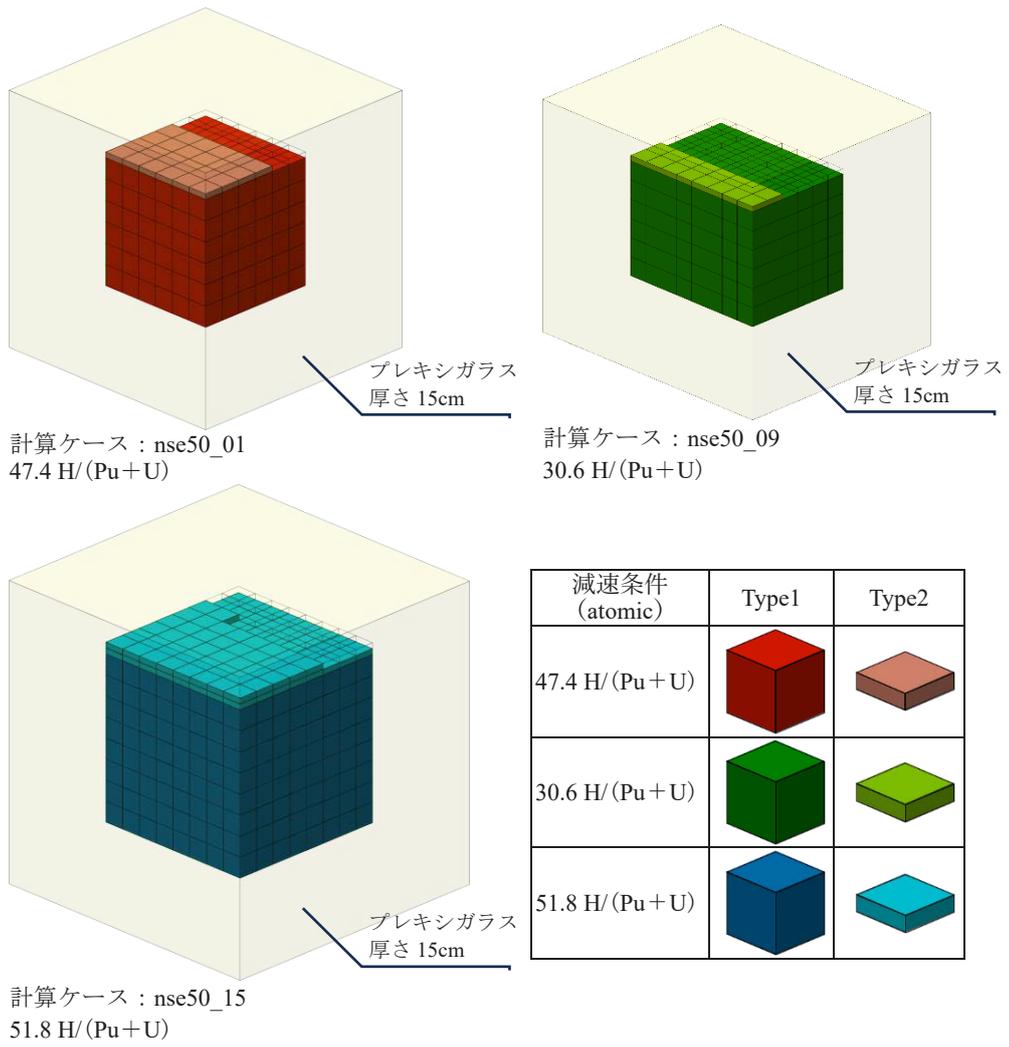


Fig. 3.2.2.3 実験体系の計算モデルイメージ [Nucl.Sci.Eng.Vol.50]

3.2.3 Nuclear Science and Engineering Vol.55

この臨界実験では、減速条件 $H/(Pu+U)$ の原子個数比が 19.5、30.6、2.8 の 3 種類の PuO_2-UO_2 -ポリスチレン均質混合燃料コンパクトを配列して積層し、臨界となる条件（奥行、幅、高さ）を測定している。

燃料ポリスチレンは、奥行と幅が約 5.09cm、高さが約 5.09cm、約 1.3cm、約 3.4cm を有し、テープをクラッド（被覆材）として使用し、燃料コンパクトを形成している。

実験では、燃料コンパクトの積層体の外側にプレキシガラス（15cm 厚）を反射体として設置している。

以下に実験ケースを示す。

- (1) 実験ケース 1 : PuO_2 富化度 7.74wt%、19.5 $H/(Pu+U)$ (6 ケース)
- (2) 実験ケース 2 : PuO_2 富化度 14.64wt%、30.6 $H/(Pu+U)$ (1 ケース)
- (3) 実験ケース 3 : PuO_2 富化度 29.40wt%、2.8 $H/(Pu+U)$ (1 ケース)

(1) 実験ケース 1

この実験では、減速条件が 19.5 $H/(Pu+U)$ の燃料コンパクトを使用しており、大きさの異なる 2 種類の燃料コンパクト（Type1 : 高さ 5.088cm、Type2 : 高さ 1.279cm）を積層し、臨界となる条件を測定している。

燃料コンパクト積層体の高さは、最上層の燃料コンパクトの配列数を平均化した積層数で示されている。計算モデルでは、平均化された積層数から最上層の配列個数を求めてモデル化する。最上層で、燃料コンパクトが並ぶ部分以外の反射体との隙間は、真空として設定する。

本実験ケースでは、燃料コンパクト積層体の外側にプレキシガラス（15cm 厚）を反射体として設定した 6 ケース（nse55_01~06）について計算を実施する。

(2) 実験ケース 2

この実験では、減速条件が 30.6 $H/(Pu+U)$ の燃料コンパクトを使用しており、大きさの異なる 3 種類の燃料コンパクト（Type1 : 高さ 5.09cm、Type2 : 高さ 1.384cm、Type3 : 高さ 3.4cm）を奥行 9×幅 9 の配列で積層し、臨界となる条件を測定している。

燃料コンパクト積層体の高さは、最上層の燃料コンパクトの配列数を平均化した積層数で示されている。計算モデルでは、平均化された積層数から最上層の配列個数を求めてモデル化する。最上層で、燃料コンパクトが並ぶ部分以外の反射体との隙間は、真空として設定する。

本実験ケースでは、燃料コンパクト積層体の外側にプレキシガラス（15cm 厚）を反射体として設定したケース（nse55_07）について計算を実施する。

(3) 実験ケース 3

この実験では、減速条件が 2.8 $H/(Pu+U)$ の燃料コンパクトを使用しており、大きさの異なる 2 種類の燃料コンパクト（Type1 : 高さ 5.09cm、Type2 : 高さ 1.339cm）を奥行 9×幅 9 の配列で積層し、臨界となる条件を測定している。

燃料コンパクト積層体の高さは、最上層の燃料コンパクトの配列数を平均化した積層数で示されている。計算モデルでは、平均化された積層数から最上層の配列個数を求めてモデル化する。最上層で、燃料コンパクトが並ぶ部分以外の反射体との隙間は、真空として設定する。

本実験ケースでは、燃料コンパクト積層体の外側にプレキシガラス（15cm 厚）を反射体として設定したケース（nse55_08）について計算を実施する。

本実験が記載された文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.55^{15) 16)}] においては、温度条件の記載が無いため、計算に際し、実験装置全体を 20°C に設定する。

Table 3.2.3.1 に臨界実験データおよび燃料コンパクトの配列数を示す。

Table 3.2.3.2 に計算に用いた物質の原子個数密度を示す。

Table 3.2.3.3 に補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度を示す。

Pu-241 の放射性壊変 (β 崩壊) により、Pu-241 および Am-241 の原子個数密度は、時間の経過とともに Pu-241 は減じ、Am-241 は増加する。このため、分析時期と実験時期との期間を考慮して、Pu-241、Am-241 の原子個数密度を補正する（付録-3 を参照）。

Fig. 3.2.3.1、Table 3.2.3.4 に燃料コンパクトの形状および寸法を示す。

Fig. 3.2.3.2 に実験体系の計算モデル図を示す。

Fig. 3.2.3.3 に実験体系の計算モデルイメージを示す。

Table 3.2.3.1 臨界実験データおよび燃料コンパクトの配列データ [Nucl.Sci.Eng.Vol.55]

計算 ケース	燃料タイプ (減速条件)	臨界時の配列寸法 ^{*1} (cm)			燃料積層数 ^{*2}						最上層燃料 コンパクト個数 ^{*3}
		奥行	幅	高さ	奥行	幅	高さ				
							Type1	Type2	Type3		
nse55_01	19.5 H/(Pu+U)	61.08	66.17	30.49	12	13	6	3.434	—	68	
nse55_02		61.08	61.08	31.80	12	12	7	0.632	—	91	
nse55_03		66.17	66.17	29.24	13	13	6	2.317	—	54	
nse55_04		61.08	50.90	35.61	12	10	8	0.068	—	8	
nse55_05		61.08	55.99	33.24	12	11	7	1.920	—	121	
nse55_06		50.90	50.90	40.76	10	10	9	0.703	—	70	
nse55_07	30.6 H/(Pu+U)	45.81	45.81	22.147	9	9	2	1.276	3	22	
nse55_08	2.8 H/(Pu+U)	45.81	45.747	25.435	9	9	4	4.207	—	17	

※1 文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.55^{15) 16)}] 記載の寸法を表し、誤差は省略する。(nse55_07、08 においては総層数 4.351、4.997 で与えられており、燃料高さ 5.09cm を乗じて求めた)。

※2 文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.55^{15) 16)}] より引用する。

19.5 H/(Pu+U) [Nuclear Science and Engineering Vol.55¹⁵⁾ p.54 TABLE III]

30.6 H/(Pu+U) [Nuclear Science and Engineering Vol.55¹⁶⁾ pp.64-65 TABLE IV]

2.8 H/(Pu+U) [Nuclear Science and Engineering Vol.55¹⁶⁾ p.66 TABLE V]

※3 最上層燃料コンパクト個数= (奥行方向個数) × (幅方向個数) × (高さ方向 Type2 の小数点以下の層数)

Table 3.2.3.2 計算に用いた物質の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.55]

材質	密度 (g/cm ³)	元素名	存在比 (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
燃料コンパクト※ ¹ (PuO ₂ -UO ₂ -ポリスチレン) 19.5 H/(Pu+U) PuO ₂ 富化度 7.74wt% O/M 比 2.036	1.8845	Am-241 ^{※3} Pu-238 Pu-239 Pu-240 Pu-241 ^{※3} Pu-242 U-235 U-238 H O C	0.07999 0.02000 2.30018 0.78009 0.19000 0.10001 0.06000 41.28008 3.69033 6.12969 45.36964	3.75652E-06 9.535E-07 1.092E-04 3.688E-05 8.95448E-06 4.689E-06 2.897E-06 1.968E-03 4.155E-02 4.348E-03 4.287E-02
燃料コンパクト※ ² (PuO ₂ -UO ₂ -ポリスチレン) 30.6 H/(Pu+U) PuO ₂ 富化度 14.64wt% O/M 比 2.057	1.6159	Am-241 ^{※3} Pu-238 Pu-239 Pu-240 Pu-241 ^{※3} Pu-242 U-235 U-238 H O C	0.01200 0.00000 4.79772 0.41986 0.03000 0.00200 0.04599 30.62764 4.64569 4.96370 54.45541	6.46115E-07 0.000E+00 1.953E-04 1.702E-05 1.04919E-06 8.040E-08 1.904E-06 1.252E-03 4.485E-02 3.019E-03 4.412E-02
燃料コンパクト※ ² (PuO ₂ -UO ₂ -ポリスチレン) 2.8 H/(Pu+U) PuO ₂ 富化度 29.40wt% O/M 比 2.137	4.5303	Am-241 ^{※3} Pu-238 Pu-239 Pu-240 Pu-241 ^{※3} Pu-242 U-235 U-238 H O C	0.09004 0.01599 19.30330 2.57899 0.43596 0.05001 0.08099 53.85425 0.89300 10.96066 11.73682	1.39047E-05 1.833E-06 2.203E-03 2.931E-04 4.56253E-05 5.636E-06 9.401E-06 6.172E-03 2.417E-02 1.869E-02 2.666E-02
クラッド※ ⁴	1.12181	H C Cl	6.69770 55.30880 37.99350	4.489E-02 3.111E-02 7.240E-03
プレキシガラス※ ⁵ (アクリル樹脂)	1.18623	H C O	7.99477 60.02271 31.98252	5.666E-02 3.570E-02 1.428E-02

※1 ここに示す PuO₂-UO₂-ポリスチレン (19.5 H/(Pu+U)) の原子個数密度は、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.55^{15) 16)}] に記載された値である。核種の存在比と密度、O/M 比は、原子個数密度より求める (付録-2.7.1 を参照)。

※2 ここに示す PuO₂-UO₂-ポリスチレンの原子個数密度は、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.55^{15) 16)}] の記載値ではなく、文献 [BNWL-2129¹³⁾] の記載値である。30.6 H/(Pu+U) の値は、文献 [Nuclear Technology Vol.26³¹⁾ BENCHMARK 4] の記載値と同値であり、より確からしいと判断する (ただし、[BENCHMARK 4] (30.57 H/(Pu+U)) に記載されている PuO₂-UO₂-ポリスチレン中の O の原子個数密度 3.019E-02 は、3.019E-03 の誤記であると推測し修正する。)。また、2.8 H/(Pu+U) の値は、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.61¹⁷⁾] に記載された値と同値であり、より確からしいと判断する。核種の存在比と密度、O/M 比は、原子個数密度より求める (付録-2.7.1 を参照)。

※3 分析時期と実験時期が異なることから、その期間の壊変を考慮し、Pu-241、Am-241 について、補正を行う。Table 3.2.3.3、付録-3 を参照。

※4 クラッドの原子個数密度については、文献 [Nuclear Technology Vol.26³¹⁾] に記載された原子個数密度を引用する。文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.55^{15) 16)}] に記載されたクラッドの原子個数密度とは異なる値であるが、より確からしい値として引用する (付録-2.2.11 を参照)。

※5 プレキシガラスの原子個数密度については、文献 [Nuclear Technology Vol.26³¹⁾] に記載された原子個数密度を引用する。文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.55^{15) 16)}] の記載値とは異なる値であるが、より確からしい値として引用する (付録-2.2.12 を参照)。

Table 3.2.3.3 補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.55]

計算ケース	燃料タイプ (減速条件)	分析時期	実験時期	核種	初期値 (分析時)	補正值 (実験時)
nse55_01~06	19.5 H/(Pu+U)	1972/3/23	1972/3/15	Am-241	3.766E-06	3.75652E-06
		1972/3/23	1972/3/15	Pu-241	8.945E-06	8.95448E-06
nse55_07	30.6 H/(Pu+U)	1970/5/28	1973/5/15	Am-241	4.843E-07	6.46115E-07
		1970/5/28	1973/5/15	Pu-241	1.211E-06	1.04919E-06
nse55_08	2.8 H/(Pu+U)	1971/12/2	1973/7/15	Am-241	1.019E-05	1.39047E-05
		1971/12/2	1973/7/15	Pu-241	4.934E-05	4.56253E-05

※1 文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.55¹⁵] p.53 TABLE II] より引用する。

※2 文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.55¹⁶] p.60 TABLE I] より引用する。

Table 3.2.3.4 燃料コンパクトの寸法 [Nucl.Sci.Eng.Vol.55]

計算ケース	nse55_01~06								
減速条件	19.5 H/(Pu+U) ※1								
コンパクトタイプ	Type1			Type2					
	奥行	幅	高さ	奥行	幅	高さ			
ポリスチレン外寸 (cm) (奥行 L1、幅 W1、高さ H1)	5.090	5.090	5.088	5.090	5.090	1.279			
クラッド外寸 (cm) (奥行 L2、幅 W2、高さ H2)	5.120	5.120	5.148	5.120	5.120	1.339			
コンパクト外寸 (cm) (奥行 L3、幅 W3、高さ H3)	5.153	5.153	5.172	5.153	5.153	1.422			

計算ケース	nse55_07								
減速条件	30.6 H/(Pu+U) ※2								
コンパクトタイプ	Type1			Type2			Type3		
	奥行	幅	高さ	奥行	幅	高さ	奥行	幅	高さ
ポリスチレン外寸 (cm) (奥行 L1、幅 W1、高さ H1)	5.090	5.090	5.090	5.090	5.090	1.384	5.090	5.090	3.400
クラッド外寸 (cm) (奥行 L2、幅 W2、高さ H2)	5.121	5.137	5.121	5.121	5.137	1.415	5.121	5.137	3.431
コンパクト外寸 (cm) (奥行 L3、幅 W3、高さ H3)	5.130	5.190	5.130	5.130	5.190	1.424	5.130	5.190	3.4400

計算ケース	nse55_08					
減速条件	2.8 H/(Pu+U) ※2					
コンパクトタイプ	Type1			Type2		
	奥行	幅	高さ	奥行	幅	高さ
ポリスチレン外寸 (cm) (奥行 L1、幅 W1、高さ H1)	5.090	5.083	5.090	5.090	5.083	1.339
クラッド外寸 (cm) (奥行 L2、幅 W2、高さ H2)	5.114	5.170	5.114	5.114	5.170	1.363
コンパクト外寸 (cm) (奥行 L3、幅 W3、高さ H3)	5.118	5.174	5.118	5.118	5.174	1.367

※1 文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.55¹⁵] p.53 TABLE II] より引用する。

※2 文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.55¹⁶] p.60 TABLE I] より引用する。

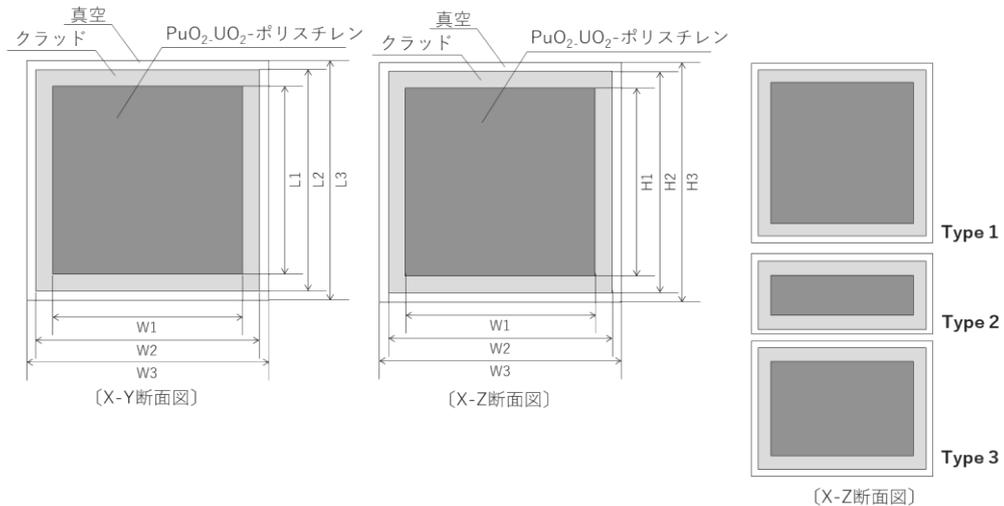
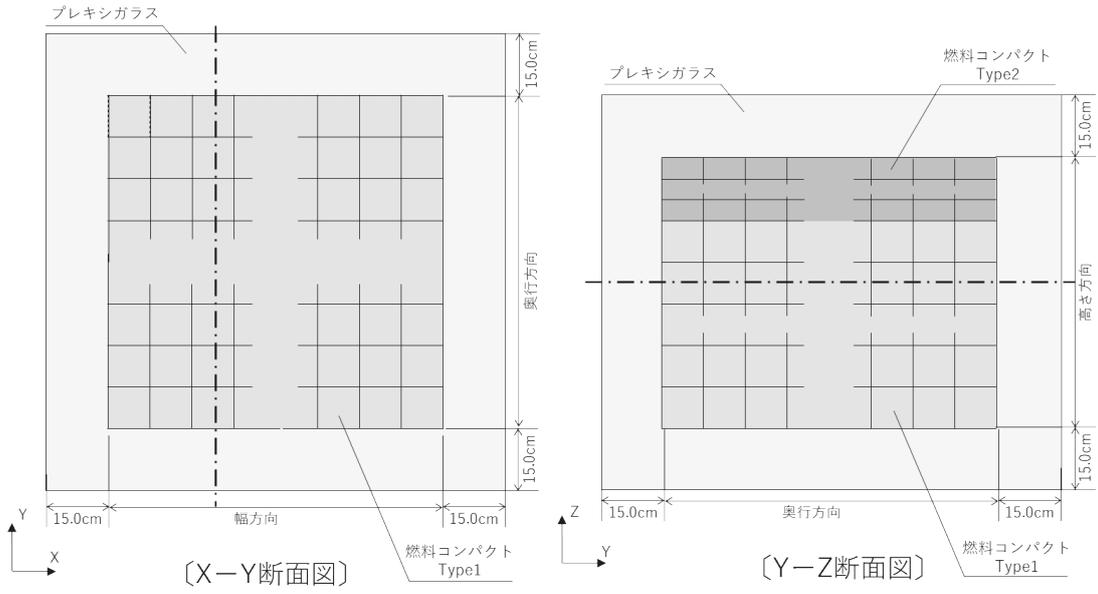
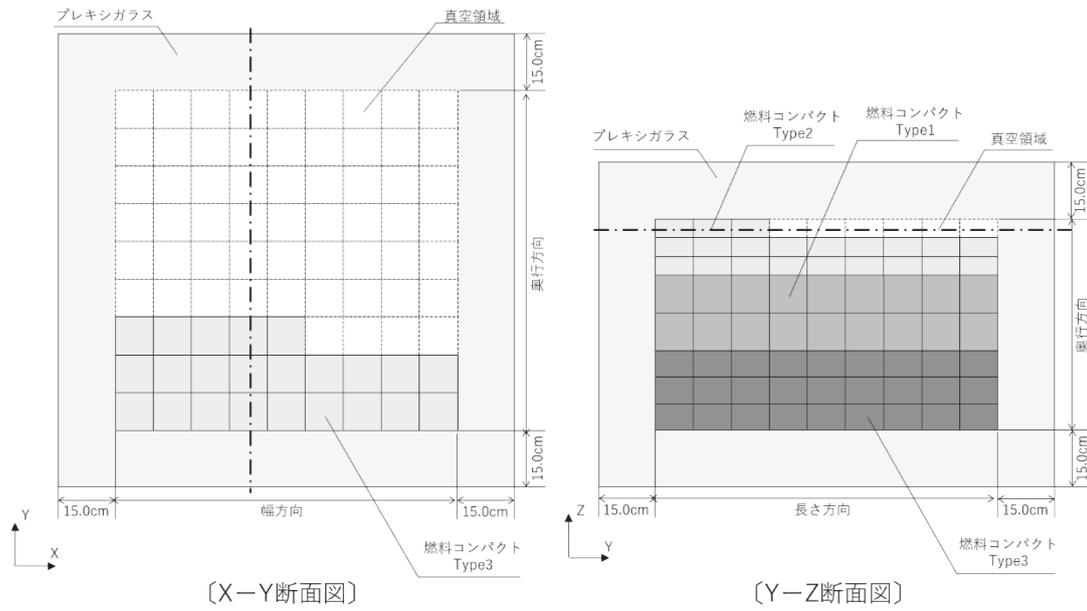


Fig. 3.2.3.1 燃料コンパクトの形状 [Nucl.Sci.Eng.Vol.55]



[計算ケース : nse55_01~06、08]



[計算ケース : nse55_07]

Fig. 3.2.3.2 実験体系の計算モデル図 [Nucl.Sci.Eng.Vol.55]

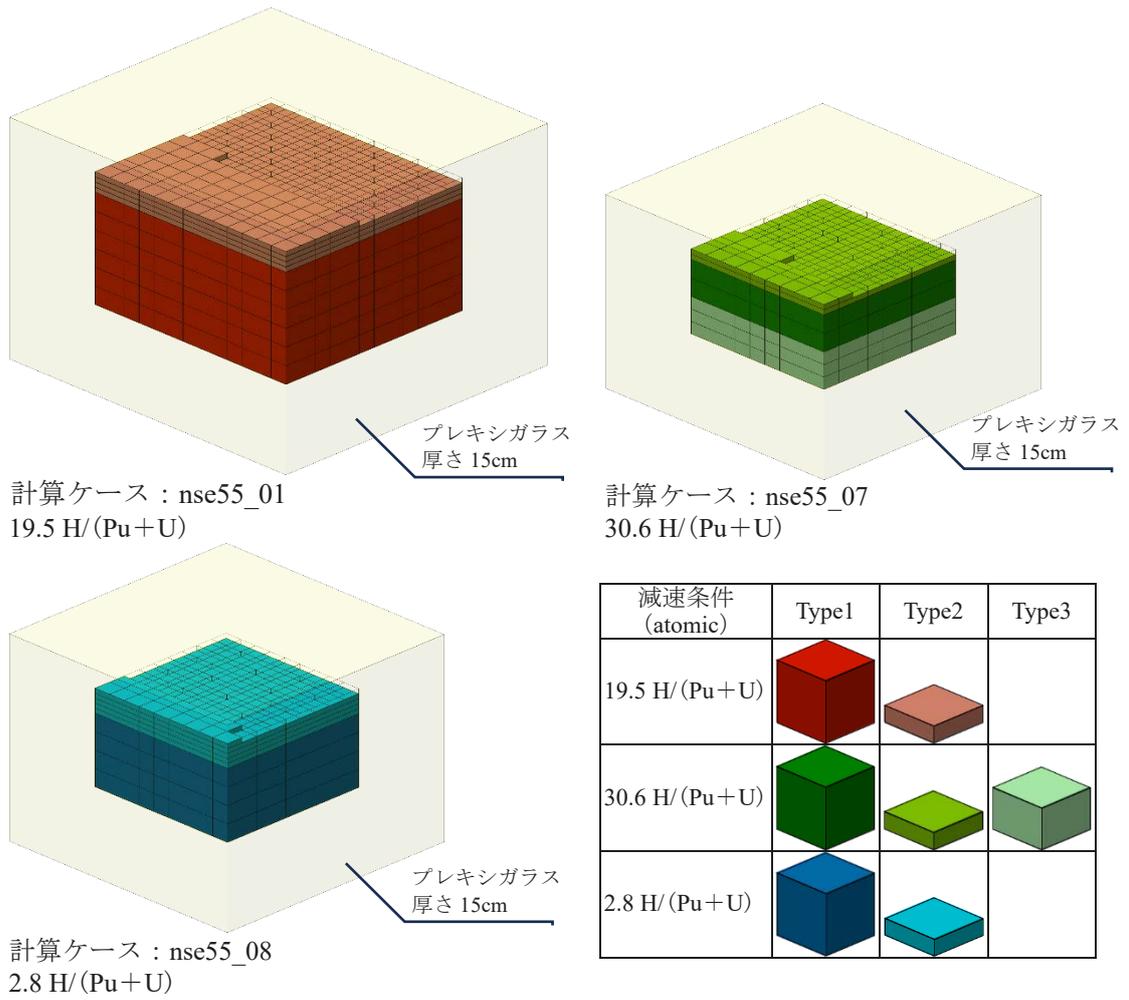


Fig. 3.2.3.3 実験体系の計算モデルイメージ [Nucl.Sci.Eng.Vol.55]

3.2.4 Nuclear Science and Engineering Vol.61

この臨界実験では、減速条件 $H/(Pu+U)$ の原子個数比が 2.8、2.86、7.3 の 3 種類の PuO_2-UO_2 -ポリスチレン均質混合燃料コンパクトを配列して積層し、臨界状態となる条件（奥行、幅、高さ）を測定している。

燃料ポリスチレンは、奥行と幅が約 5.09cm、高さが約 5.09cm もしくは、1.265～1.339cm を有し、テープをクラッド（被覆材）として使用し、燃料コンパクトを形成している。

実験では、燃料コンパクトの積層体の外側にプレキシガラス（15cm 厚）を反射体として設置する実験と反射体を設置しない実験が行われているが、本ベンチマーク計算では、反射体（プレキシガラス）を設置する実験を計算対象とする。

以下に、実験ケースを示す。

- (1) 実験ケース 1 : PuO_2 富化度 29.40wt%、2.8 $H/(Pu+U)$ (9 ケース)
- (2) 実験ケース 2 : PuO_2 富化度 14.90wt%、2.86 $H/(Pu+U)$ (1 ケース)
- (3) 実験ケース 3 : PuO_2 富化度 8.16wt%、7.3 $H/(Pu+U)$ (4 ケース)

(1) 実験ケース 1

この実験では、減速条件が 2.8 $H/(Pu+U)$ の燃料コンパクトを使用しており、大きさの異なる燃料コンパクト（Type1 : 高さ 5.09cm、Type2 : 高さ 1.339cm）を積層し、臨界となる条件を測定している。

燃料コンパクト積層体の高さは、最上層の燃料コンパクト配列数を平均化して、積層数で示されている。計算モデルでは、平均化された積層数から最上層の配列個数を計算してモデル化する。最上層で、燃料コンパクトが並ぶ部分以外の反射体との隙間は、真空として設定する。

当実験ケースにおいては、燃料コンパクト積層体の外側にプレキシガラス（15cm 厚）の反射体を設定した 9 ケース（計算ケース : nse61_01～09）について計算を実施する。

(2) 実験ケース 2

この実験では、減速条件が 2.86 $H/(Pu+U)$ の燃料コンパクトを使用しており、大きさの異なる燃料コンパクト（Type1 : 高さ 5.082cm、Type2 : 高さ 1.265cm）を積層し、臨界となる条件を測定している。

燃料コンパクト積層体の高さは、最上層の燃料コンパクト配列数を平均化して、積層数で示されている。計算モデルでは、平均化された積層数から最上層の配列個数を計算してモデル化する。

本実験ケースにおいては、燃料コンパクト積層体の外側にプレキシガラス（15cm 厚）の反射体を設定したケース（計算ケース : nse61_10）について計算を実施する。

(3) 実験ケース 3

この実験では、減速条件が 7.3 $H/(Pu+U)$ の燃料コンパクトを使用しており、大きさの異なる燃料コンパクト（Type1 : 高さ 5.081cm、Type2 : 高さ 1.274cm）を積層し、臨界となる条件（奥行、幅、高さ）を測定している。

燃料コンパクト積層体の高さは、最上層の燃料コンパクト配列数を平均化して、積層数で示されている。計算モデルでは、平均化された積層数から最上層の配列個数を計算してモデル化する。最上層で、燃料コンパクトが並ぶ部分以外の反射体との隙間は、真空として設定する。

本実験ケースにおいては、燃料コンパクト積層体の外側にプレキシガラス（15cm 厚）の反射体を設定した4ケース（計算ケース：nse61_11~14）について計算を実施する。

Table 3.2.4.1 に臨界データおよび燃料コンパクトの配列層数を示す。

Table 3.2.4.2 に計算に用いた物質の原子個数密度を示す。

Fig. 3.2.4.1、Table 3.2.4.3 に燃料コンパクトの形状および寸法を示す。

Fig. 3.2.4.2 に実験体系の計算モデル図を示す。

Fig. 3.2.4.3 に実験体系の計算モデルイメージを示す。

Table 3.2.4.1 臨界実験データおよび燃料コンパクトの配列データ [Nucl.Sci.Eng.Vol.61] ※1

計算 ケース	燃料タイプ (減速条件)	燃料層数				最上層燃料 コンパクト個数※3	温度 (°C)
		奥行	幅	高さ			
				Type1※2	Type2※2		
nse61_01	2.8 H/(Pu+U)	7	7	7	0.646	32	60.0
nse61_02		8	8	5	2.548	35	
nse61_03		9	9	4	4.192	16	
nse61_04		10	10	4	1.300	30	
nse61_05※4		10	10	4	1.297	30	
nse61_06		12	10	4	0.038	5	
nse61_07		12	12	3	2.791	114	
nse61_08		12	13	3	2.407	63	
nse61_09		14	13	3	2.068	12	
nse61_10	2.86 H/(Pu+U)	10	10	9	6.651	65	50.0
nse61_11	7.3 H/(Pu+U)	10	9	9	1.135	12	47.0
nse61_12		10	11	7	3.239	26	
nse61_13		12	12	6	2.526	76	
nse61_14		14	13	5	3.733	133	

※1 文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.61¹⁷⁾ TABLE II、TABLE III、TABLE IV] より引用する。

※2 燃料コンパクトの種類を表し、寸法は Fig. 3.2.4.1、Table 3.2.4.3 に示す。

※3 最上層燃料コンパクト個数= (奥行方向個数) × (幅方向個数) × (高さ方向 Type2 の小数点以下の層数)

※4 nse61_5 は、nse61_4 と重複するモデルとなるため、本ベンチマーク計算では評価対象外とする。

Table 3.2.4.2 計算に用いた物質の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.61]

材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
燃料コンパクト※1 (PuO ₂ -UO ₂ -ポリスチレン) 2.8 H/(Pu+U) PuO ₂ 富化度 29.40wt% O/M 比 2.137	4.5303	Am-241	0.09004	1.019E-05
		Pu-238	0.01599	1.833E-06
		Pu-239	19.30330	2.203E-03
		Pu-240	2.57899	2.931E-04
		Pu-241	0.43596	4.934E-05
		Pu-242	0.05001	5.636E-06
		U-235	0.08099	9.401E-06
		U-238	53.85425	6.172E-03
		H	0.89300	2.417E-02
		O	10.96066	1.869E-02
		C	11.73682	2.666E-02
燃料コンパクト※2 (PuO ₂ -UO ₂ -ポリスチレン) 2.86 H/(Pu+U) PuO ₂ 富化度 14.90wt% O/M 比 2.072	4.5736	Am-241	0.24199	2.765E-05
		Pu-238	0.00496	5.737E-07
		Pu-239	9.70340	1.118E-03
		Pu-240	1.28817	1.478E-04
		Pu-241	0.19438	2.221E-05
		Pu-242	0.02083	2.370E-06
		U-235	0.11649	1.365E-05
		U-238	65.24518	7.549E-03
		H	0.92735	2.534E-02
		O	10.68834	1.840E-02
		C	11.56891	2.653E-02
燃料コンパクト※2 (PuO ₂ -UO ₂ -ポリスチレン) 7.3 H/(Pu+U) PuO ₂ 富化度 8.16wt% O/M 比 2.345	3.0724	Am-241	0.04081	3.132E-06
		Pu-238	0.00490	3.809E-07
		Pu-239	4.50912	3.490E-04
		Pu-240	0.60694	4.678E-05
		Pu-241	0.10091	7.745E-06
		Pu-242	0.01460	1.116E-06
		U-235	0.11580	9.116E-06
		U-238	59.26079	4.606E-03
		H	2.00479	3.680E-02
		O	10.18643	1.178E-02
		C	23.15490	3.567E-02
クラッド※3	1.12181	H	6.69770	4.489E-02
		C	55.30880	3.111E-02
		Cl	37.99350	7.240E-03
プレキシガラス※4 (アクリル樹脂)	1.18623	H	7.99477	5.666E-02
		C	60.02271	3.570E-02
		O	31.98252	1.428E-02

※1 ここに示す原子個数密度は、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.61¹⁷⁾] に記載された値を引用する。この値は文献 [BNWL-2129¹³⁾] に記載された原子個数密度と同値であり、より確からしいと判断する (付録-2.7.1 を参照)。Pu-241、Am-241 については、壊変による補正を考慮することが望ましいが、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.61¹⁷⁾] には、実験時期の記載が無いいため、文献に記載された原子個数密度を補正することなく、そのまま引用する。

※2 ここに示す原子個数密度は、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.61¹⁷⁾] に記載された値を引用する (付録-2.7.1 を参照)。Pu-241、Am-241 については、壊変による補正を考慮することが望ましいが、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.61¹⁷⁾] には、実験時期の記載が無いいため、文献に記載された原子個数密度を補正することなく、そのまま引用する。

※3 クラッドの原子個数密度については、文献 [Nuclear Technology Vol.26¹¹⁾] に記載された原子個数密度を引用する。組成、密度は原子個数密度より計算する (付録-2.2.11 参照)。

※4 プレキシガラス原子個数密度については、文献 [Nuclear Technology Vol.26¹¹⁾] に記載された原子個数密度を引用する。文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.61¹⁷⁾] に記載された原子個数密度は、導かれる原子数比が、プレキシガラス (アクリル) の分子式 (C₅O₂H₈) より導かれる原子数比と差があるため、これを採用しない (付録-2.2.12 を参照)。

Table 3.2.4.3 燃料コンパクト寸法 [Nucl.Sci.Eng.Vol.61]

計算ケース	nse61 01~09					
減速条件	2.8H/(Pu+U)					
コンパクトタイプ	Type1			Type2		
	奥行	幅	高さ	奥行	幅	高さ
ポリスチレン外寸 (cm) (奥行 L1、幅 W1、高さ H1)	5.090	5.083	5.090	5.090	5.083	1.339
クラッド外寸 (cm) (奥行 L2、幅 W2、高さ H2)	5.114	5.170	5.114	5.114	5.170	1.363
コンパクト外寸 (cm) (奥行 L3、幅 W3、高さ H3)	5.118	5.174	5.118	5.118	5.174	1.367

計算ケース	nse61 10					
減速条件	2.86H/(Pu+U)					
コンパクトタイプ	Type1			Type2		
	奥行	幅	高さ	奥行	幅	高さ
ポリスチレン外寸 (cm) (奥行 L1、幅 W1、高さ H1)	5.090	5.090	5.082	5.09	5.09	1.265
クラッド外寸 (cm) (奥行 L2、幅 W2、高さ H2)	5.114	5.114	5.170	5.114	5.114	1.353
コンパクト外寸 (cm) (奥行 L3、幅 W3、高さ H3)	5.129	5.129	5.173	5.129	5.129	1.395

計算ケース	nse61 11~14					
減速条件	7.3H/(Pu+U)					
コンパクトタイプ	Type1			Type2		
	奥行	幅	高さ	奥行	幅	高さ
ポリスチレン外寸 (cm) (奥行 L1、幅 W1、高さ H1)	5.090	5.090	5.081	5.090	5.090	1.274
クラッド外寸 (cm) (奥行 L2、幅 W2、高さ H2)	5.114	5.114	5.168	5.114	5.114	1.361
コンパクト外寸 (cm) (奥行 L3、幅 W3、高さ H3)	5.138	5.138	5.170	5.138	5.138	1.381

※ 文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.61¹⁷⁾ p.371 TABLE I] より引用する。

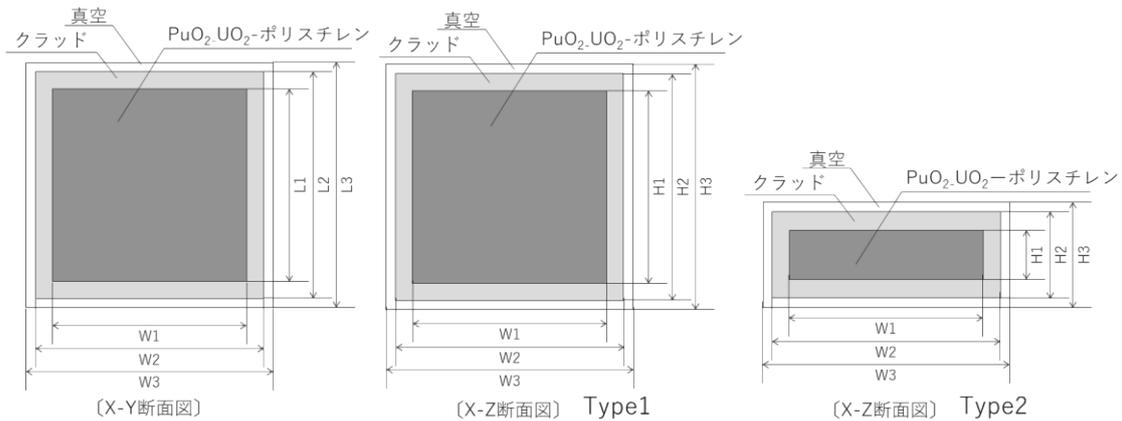


Fig. 3.2.4.1 燃料コンパクトの形状 [Nucl.Sci.Eng.Vol.61]

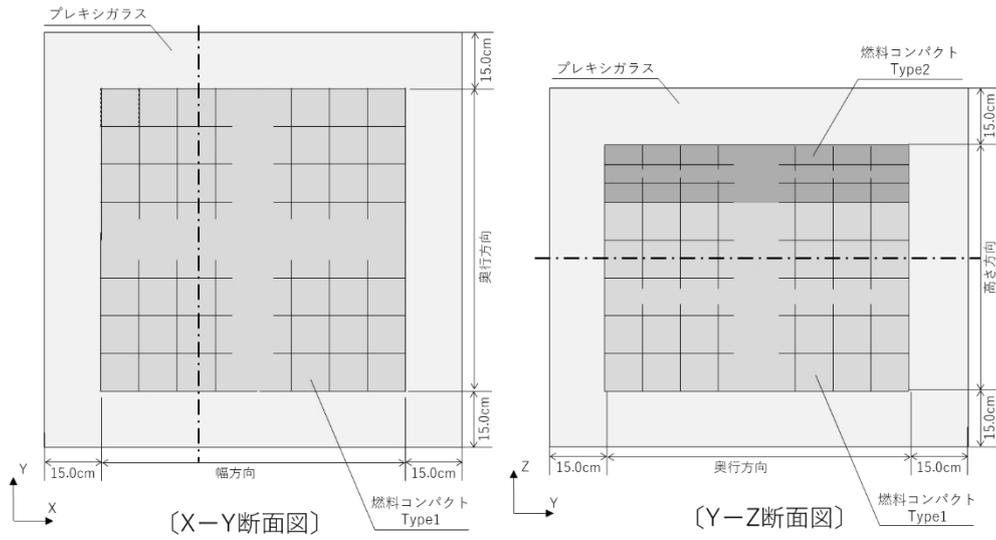


Fig. 3.2.4.2 実験体系の計算モデル図 [Nucl.Sci.Eng.Vol.61]

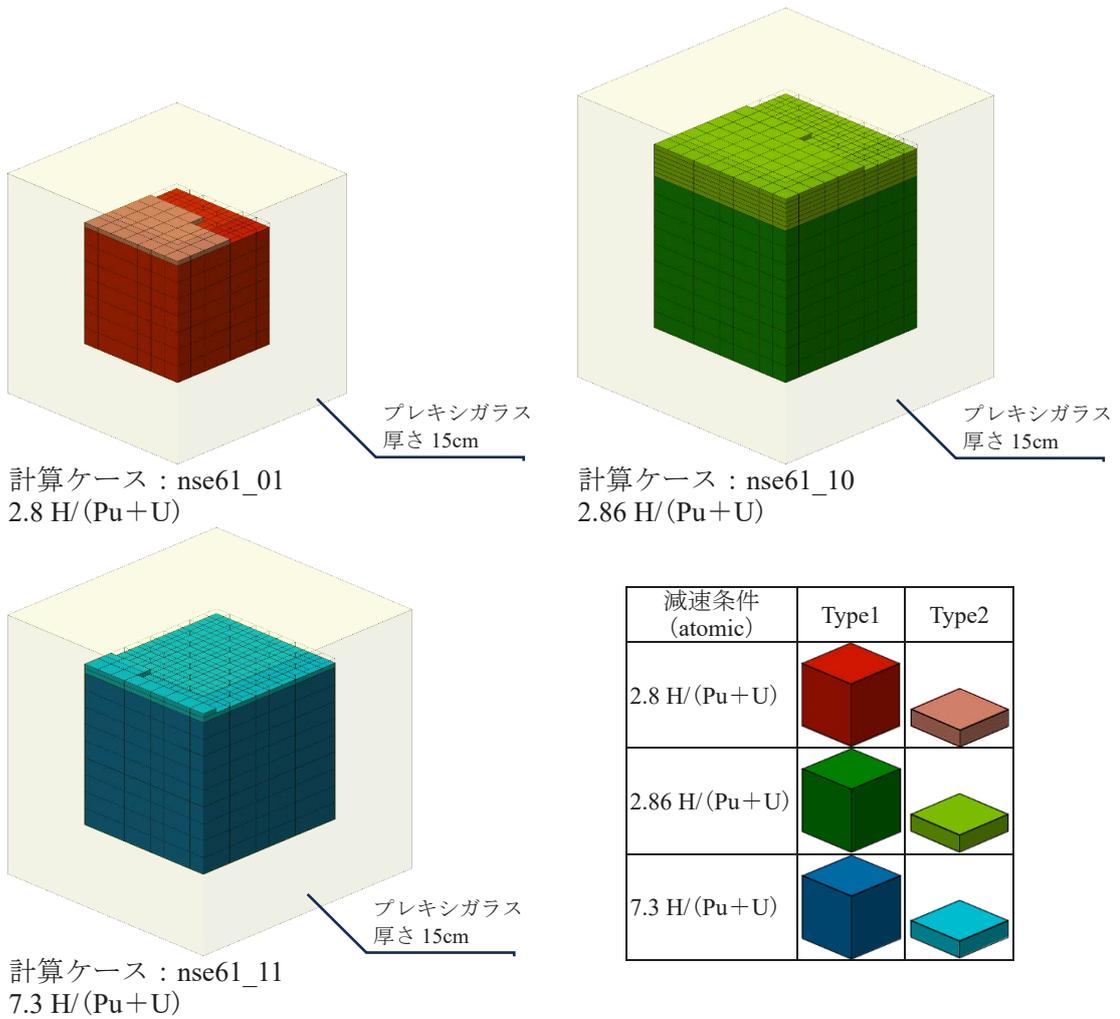


Fig. 3.2.4.3 実験体系の計算モデルイメージ [Nucl.Sci.Eng.Vol.61]

3.3 (Pu+U)均質系

(Pu+U)均質系の実験データとしては、以下に示す4実験レポートが対象となる。

- ① PNL-5768¹⁸⁾
- ② PNL-6327¹⁹⁾
- ③ PNL-6451²⁰⁾
- ④ PNL-6119²¹⁾

一連の実験は Critical Mass Laboratory (CML) の実験装置を用いて実施された。

3.3.1 PNL-5768

本文献では、以下に示す2種類の体系を計算対象とする。

- (1) 内径 35.39cm のステンレス製円筒状容器を用いた実験 (4 ケース)
- (2) 厚み可変の平板型容器を用いた実験 (6 ケース)

以下に、それぞれの計算条件を示す。

(1) 円筒状容器を用いた実験

この実験では、内径 35.39cm、高さ 108.505cm の SUS304L 製円筒状容器を用いた実験が実施されている。

反射体を設置する。場合と設置しない場合の実験を実施しており、反射体として水、あるいはコンクリートを用いている。形状、反射体条件を固定し、(Pu+U)硝酸水溶液の量を逐次増加させて、臨界となった硝酸水溶液の高さ(臨界水位)を測定している。

Table 3.3.1.1 に臨界実験データを示す (pnl5768_01~04)。

硝酸水溶液が充填される円筒状容器は、反射体(水)が充填された炭素鋼製の反射体タンク内の左側に設置されている。この時、水は、円筒状容器頭頂部より 1.27cm 下の高さ(反射体タンク底面より 123.235cm)まで充填されている (pnl5768_01、02)。

反射体にコンクリートを設定した場合は、反射体タンク内に水を充填せず、円筒状容器の周囲に厚さ 25.2cm の円環状のコンクリートを設置している (pnl5768_03)。

反射体を設置しない場合は、反射体タンク内に水は充填されず、コンクリート反射体も設置されない (pnl5768_04)。

また、反射体タンクの中には硝酸水溶液を注入する円筒状容器とは別に外径 68.58cm、高さ 108.505cm の SUS304L ステンレス製円筒形容器が右側に設置されている。

Fig. 3.3.1.1 に反射体を水とした場合の計算モデル図を示す (pnl5768_01~02)

Fig. 3.3.1.2 に反射体をコンクリートとした場合の計算モデル図を示す (pnl5768_03)。

Fig. 3.3.1.3 に反射体を設置しない場合の計算モデル図を示す (pnl5768_04)。

Fig. 3.3.1.4 に円筒状容器(内径 35.39cm)の概要図を示す。

Fig. 3.3.1.5 に円筒状容器(外径 68.58cm)の概要図を示す。

Fig. 3.3.1.6 に環状コンクリート反射体の概要図を示す。

実験の計算モデルとして、(Pu+U)硝酸水溶液の充填された円筒状容器（内径 35.39cm）と、並列に設置された円筒状容器（外径 68.58cm）および反射体（水、コンクリート）と反射体タンクを設定する。水位より上の領域や、反射体を設置しない場合の反射体タンク内の領域は空気として設定する。

反射体タンク外側の境界条件については、真空として設定する。

（２）平板状容器を用いた実験

この実験では、容器幅が可変の平板状容器を用いた実験が行われており、形状、反射体条件を固定し、(Pu+U)硝酸水溶液の量を逐次増加させて臨界水位を測定している。

Table 3.3.1.1 に臨界実験データを示す (pnl5768_05~10)。

硝酸水溶液が充填される平板状容器は反射体（水）が充填された反射体タンク内に収められている (pnl5768_07、08)。反射体（水）は、平板状容器の頭頂部より 2.54cm 下の高さまで充填されている。

反射体を設置しない場合は反射体タンク内に水は充填されない (pnl5768_05、06、09、10)。

また、反射体を設置しない実験の一部 (pnl5768_05、実験番号：049a) では、反射体タンクの北側の側面板 (north side plate) を外した状態での実験が行われている。

Fig. 3.3.1.7 に反射体を設置しない場合の計算モデルを示す (pnl5768_05、06、09、10)。

Fig. 3.3.1.8 に反射体（水）を設置した場合の計算モデルを示す。(pnl5768_07、08)

Fig. 3.3.1.9 に平板状容器の両側に配置される格子状構造体の概要を示す。

実験の計算モデルとして、(Pu+U)硝酸水溶液が充填された平板状容器とその両側に設置された格子状構造体、反射体（水）、反射体タンクを設定する。反射体を設置しない場合は、反射体タンク内の領域を空気として設定する。

反射体タンク外側の境界条件については、真空として設定する。

Table 3.3.1.2 に各領域の設定温度を示す。

Table 3.3.1.3 に Pu および U 同位体元素の組成比を示す。

Table 3.3.1.4 に計算に用いた (Pu+U) 硝酸水溶液の原子個数密度を示す。

Table 3.3.1.5 に計算に用いた物質の原子個数密度を示す。

Table 3.3.1.6 に空気中水分の H および O の原子個数密度を示す。

Table 3.3.1.7 に実験の分析時期と実験実施時期を示す。

Table 3.3.1.8 に補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度を示す。

Pu-241 の放射性壊変 (β 崩壊) により、Pu-241 および Am-241 の原子個数密度は、時間の経過とともに Pu-241 は減じ、Am-241 は増加する。このため、分析時期と実験時期との期間を考慮して、Pu-241、Am-241 の原子個数密度を補正する (付録-3 を参照)。

Table 3.3.1.1 臨界実験データおよび計算ケース [PNL-5768]

計算 ケース	実験 番号	反射条件	平板 厚み Tf (cm)	臨界 水位 Hf (cm)	(Pu+U) 硝酸水溶液				
					Pu 濃度 (gPu/litre)	U 濃度 (gU/litre)	酸性度 (mol/litre)	溶液密度 (g/cm ³)	Am-241 濃度 ^{※2} (μg241Am/ml)
pnl5768 01	046	水	—	23.83	59.35	53.12	0.77	1.1968	290
pnl5768 02	046R	水	—	24.06	59.35	53.12	0.77	1.1968	290
pnl5768 03	047	コンクリート	—	24.88	59.82	54.12	0.75	1.1977	290
pnl5768 04	051	空気	—	34.93	59.63	53.27	0.85	1.1978	306
pnl5768 05 ^{※3}	049a	空気	18.10	78.74	174.07	157.48	1.15	1.5318	921
pnl5768 06	050	空気	18.10	71.88	174.62	157.52	1.15	1.5329	921
pnl5768 07	054	水	12.19	60.62	118.94	108.39	0.82	1.3714	587
pnl5768 08	055	水	12.19	83.41	60.53	55.17	0.55	1.1944	302
pnl5768 09	056	空気	19.05	45.31	61.00	55.52	0.53	1.1954	302
pnl5768 10	056a	空気	17.78	60.15	61.00	55.52	0.53	1.1954	302

※1 文献 [PNL-5768¹⁸⁾ TABLE 3.1、TABLE 3.2] より引用する。

※2 文献 [PNL-5768¹⁸⁾ TABLE 3.4] より引用する。

※3 反射体タンクの北側プレートを外した状態で実験が実施された。

Table 3.3.1.2 各領域の設定温度と空気中の水分量 [PNL-5768]

計算ケース	温度 (°C) ^{※1}			空気中水分量 ^{※2} (g/cm ³)	反射体水密度 ^{※3} (g/cm ³)
	(Pu+U) 硝酸 水溶液領域	容器/ 反射体領域	室 温	容器/ 反射体領域	容器/ 反射体領域
pnl5768 01	17.8	17.6	22.8	0.000015013	0.99867
pnl5768 02	17.7	20.3	22.0	0.000017606	0.99814
pnl5768 03	17.9	21.9	21.9	0.000019318	—
pnl5768 04	18.6	—	17.1	0.000014571	—
pnl5768 05	17.0	—	21.0	0.000018338	—
pnl5768 06	20.0	—	19.0	0.000016313	—
pnl5768 07	24.6	22.5	22.2	0.000019997	0.99765
pnl5768 08	24.7	22.2	23.5	0.000019655	0.99772
pnl5768 09	24.9	—	22.7	0.000019430	—
pnl5768 10	24.6	—	21.1	0.000018445	—

※1 文献 [PNL-5768¹⁸⁾ TABLE 3.6] より引用する。

※2 空気中水分量は、その空気の温度における飽和水蒸気量とする (付録-2.2.17 を参照)。空気温度は、容器 / 反射体領域のものを採用する。容器 / 反射体領域の記述がない場合は、室温を採用する。

※3 反射体としての水密度については、容器 / 反射体領域の温度での密度を採用する (付録-2.2.16 を参照)。

Table 3.3.1.3 Pu および U 同位体組成比 [PNL-5768]

計算ケース	pnl5768 01~04	pnl5768 05、06	pnl5768 07	pnl5768 08~10
実験番号	046、046R、047、051	049a、050	054	055、056、056a
サンプル番号	sample 1087	sample 1095	sample 1119	sample 1121
分析時期	1985/01/31	1985/10/24	1985/09/25	1985/09/25
同位体	重量比 (wt%)			
Pu-238	0.029±0.003	0.021±0.002	0.029±0.001	0.027±0.001
Pu-239	91.11±0.04	91.11±0.04	91.1±0.04	91.1±0.04
Pu-240	8.30±0.04	8.31±0.04	8.31±0.04	8.31±0.04
Pu-241	0.474±0.002	0.462±0.003	0.464±0.002	0.467±0.002
Pu-242	0.093±0.002	0.092±0.002	0.093±0.002	0.092±0.002
U-234	0.012±0.001	0.009±0.002	0.009±0.003	0.009±0.003
U-235	0.707±0.005	0.701±0.004	0.705±0.005	0.702±0.005
U-236	0.027±0.002	0.022±0.002	0.022±0.001	0.022±0.001
U-238	99.253±0.005	99.267±0.005	99.265±0.006	99.266±0.006

※ 文献 [PNL-5768¹⁸⁾ TABLE 3.5] に記載された同位体分析値を示す。本計算においては公差範囲中央値を採用する。ただし、同位体組成比の合計が必ずしも 100wt% とならないため、合計が 100wt% となるように補正する。

Table 3.3.1.4 (Pu+U)硝酸水溶液の原子個数密度 [PNL-5768]

計算ケース	pnl5768 01	pnl5768 02	pnl5768 03	pnl5768 04	pnl5768 05
実験番号	046	046R	047	051	049a
同位体組成サンプル番号	sample 1087	sample 1087	sample 1087	sample 1087	sample 1095
反射条件	H ₂ O	H ₂ O	CONCRETE	AIR	AIR
使用容器	円筒状容器				平板状容器
Pu濃度 (gPu/litre)	59.35	59.35	59.82	59.63	174.07
U濃度 (gU/litre)	53.12	53.12	54.12	53.27	157.48
酸性度 (mol/litre)	0.77	0.77	0.75	0.85	1.15
溶液密度 (g/cm ³)	1.1968	1.1968	1.1977	1.1978	1.5318
Am-241濃度 (μg/ml)	290	290	290	306	921
Am分析時期	1985/01/29	1985/01/29	1985/01/29	1985/05/08	1985/10/21
Pu分析時期	1985/01/31	1985/01/31	1985/01/31	1985/01/31	1985/10/24
実験時期	1985/01/15	1985/01/17	1985/01/29	1985/04/26	1985/04/08
元素名	原子個数密度 (atoms/barn・cm)				
Pu-238	4.35388E-08	4.35388E-08	4.38836E-08	4.37442E-08	9.24801E-08
Pu-239	1.36213E-04	1.36213E-04	1.37292E-04	1.36856E-04	3.99549E-04
Pu-240	1.23571E-05	1.23571E-05	1.24549E-05	1.24154E-05	3.62902E-05
Pu-241 ^{※1}	7.04247E-07	7.04060E-07	7.08509E-07	6.98167E-07	2.06284E-06
Pu-242	1.37312E-07	1.37312E-07	1.38399E-07	1.37960E-07	3.98441E-07
Am-241 ^{※1}	7.23181E-07	7.23367E-07	7.24485E-07	7.63348E-07	2.24801E-06
U-234	1.64022E-08	1.64022E-08	1.67110E-08	1.64485E-08	3.64696E-08
U-235	9.62241E-07	9.62241E-07	9.80355E-07	9.64958E-07	2.82846E-06
U-236	3.65916E-08	3.65916E-08	3.72804E-08	3.66949E-08	8.83909E-08
U-238	1.33379E-04	1.33379E-04	1.35890E-04	1.33756E-04	3.95472E-04
H	6.32515E-02	6.32515E-02	6.32091E-02	6.29737E-02	5.70600E-02
N	1.33031E-03	1.33031E-03	1.32806E-03	1.38206E-03	3.24275E-03
O	3.56536E-02	3.56536E-02	3.56368E-02	3.56466E-02	3.87088E-02
不純物 ^{※2}	Table 3.3.1.11 参照				

計算ケース	pnl5768 06	pnl5768 07	pnl5768 08	pnl5768 09	pnl5768 10
実験番号	050	054	055	056	056a
同位体組成サンプル番号	sample 1095	sample 1119	sample 1121	sample 1121	sample 1121
反射条件	AIR	H ₂ O	H ₂ O	AIR	AIR
使用容器	平板状容器				
Pu濃度 (gPu/litre)	174.62	118.94	60.53	61	61
U濃度 (gU/litre)	157.52	108.39	55.17	55.52	55.52
酸性度 (mol/litre)	1.15	0.82	0.55	0.53	0.53
溶液密度 (g/cm ³)	1.5329	1.3714	1.1944	1.1954	1.1954
Am-241濃度 (μg/ml)	921	587	302	302	302
Am分析時期	1985/10/21	1985/09/23	1985/09/23	1985/09/23	1985/09/23
Pu分析時期	1985/10/24	1985/09/25	1985/09/25	1985/09/25	1985/09/25
実験時期	1985/04/10	1985/09/05	1985/09/06	1985/09/09	1985/09/10
元素名	原子個数密度 (atoms/barn・cm)				
Pu-238	9.27723E-08	8.72623E-08	4.13462E-08	4.16672E-08	4.16672E-08
Pu-239	4.00811E-04	2.72974E-04	1.38920E-04	1.39999E-04	1.39999E-04
Pu-240	3.64048E-05	2.47964E-05	1.26192E-05	1.27172E-05	1.27172E-05
Pu-241 ^{※1}	2.06881E-06	1.38244E-06	7.07993E-07	7.13207E-07	7.13113E-07
Pu-242	3.99700E-07	2.75206E-07	1.38550E-07	1.39626E-07	1.39626E-07
Am-241 ^{※1}	2.24839E-06	1.46317E-06	7.52872E-07	7.53143E-07	7.53237E-07
U-234	3.64789E-08	2.51007E-08	1.27764E-08	1.28575E-08	1.28575E-08
U-235	2.82918E-06	1.95783E-06	9.92308E-07	9.98603E-07	9.98603E-07
U-236	8.84133E-08	6.08363E-08	3.09660E-08	3.11624E-08	3.11624E-08
U-238	3.95573E-04	2.72184E-04	1.38544E-04	1.39423E-04	1.39423E-04
H	5.70542E-02	6.04914E-02	6.34969E-02	6.35333E-02	6.35333E-02
N	3.24850E-03	2.24032E-03	1.22008E-03	1.21454E-03	1.21454E-03
O	3.87234E-02	3.72682E-02	3.55223E-02	3.55316E-02	3.55316E-02
不純物 ^{※2}	Table 3.3.1.11 参照				

※1 Am-241 および Pu-241 の原子個数密度は、Table 3.3.1.7 に示す分析時期と実験時期で補正を行う。Table 3.3.1.8、付録-3 を参照。

※2 (Pu+U)硝酸水溶液においては、文献 [PNL-5768¹⁸⁾ APPENDIX D] 中に記載されている不純物を考慮する。Table 3.3.1.9、Table 3.3.1.10、Table 3.3.1.11 および付録-2.4 を参照。

Table 3.3.1.5 計算に用いた物質の原子個数密度 [PNL-5768]

物質名	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
SUS304L ^{※1} (円筒状容器) (平板状容器) (反射体タンク)	7.93	C	0.03	12.0106356	1.19283E-04
		Si	1.0	28.0849993	1.70039E-03
		Mn	2.0	54.9380432	1.73852E-03
		P	0.045	30.9737620	6.93813E-05
		S	0.03	32.0654619	4.46795E-05
		Ni	11.0	58.6933505	8.95010E-03
		Cr	19.0	51.9961306	1.74505E-02
		Fe	66.895	55.8451437	5.72048E-02
コンクリート ^{※2} (反射体)	2.3	O	51.91	15.9993744	4.49393E-02
		Si	23.1	28.0849993	1.13924E-02
		Ca	12	40.0780225	4.14719E-03
		Al	4.79	26.9815384	2.45894E-03
		Fe	3.37	55.8451437	8.35840E-04
		Na	1.43	22.9897693	8.61549E-04
		H	1.05	1.0079709	1.44285E-02
		Mg	0.92	24.3057012	5.24274E-04
		K	0.72	39.0983009	2.55066E-04
		S	0.38	32.0654619	1.64144E-04
		Ti	0.33	47.8667439	9.54902E-05
炭素鋼 ^{※3} (反射体タンク)	7.8212	C	1.0	12.0106356	3.92155E-03
		Fe	99.0	55.8451437	8.34976E-02
空気 ^{※4}		Table 3.3.1.6 参照			
水 (反射体) ^{※5}		Table 3.3.1.13 参照			

※1 SUS304Lの成分組成については、JIS G 4303 より引用する (付録-2.2.8を参照)。

※2 文献[PNL-5768¹⁸⁾ TABLE F.3]に記載されたコンクリートの密度 (g/cm³) および組成 (wt%) より、原子個数密度を算出する (付録-2.2.14を参照)。

※3 炭素鋼については、SCALE 6.2.3 コードシステムに内蔵された標準物質 CARBON STEEL の組成を引用する (付録-2.3.6を参照)。

※4 空気中の主成分 (N₂、O₂ 等々) については考慮せず、中性子への影響が大きい空気中の水分について考慮する。空気中の水分は、飽和水蒸気量に相当する密度とする。各温度の飽和蒸気量は Table 3.3.1.12、Table 3.3.1.6 および付録-2.2.17を参照。

※5 水の密度については、容器/反射体領域の温度における密度を採用する (Table 3.3.1.2を参照)。また、水中の不純物の影響を考慮するため、文献 [PNL-5768¹⁸⁾ APPENDIX E] に記述された含有率を引用する。詳細は、Table 3.3.1.13 および付録-2.2.16を参照。

Table 3.3.1.6 空気中水分の H および O の原子個数密度 [PNL-5768]

計算ケース	温度 (°C)	飽和蒸気量 (g/cm ³)	元素別密度 (g/cm ³)		原子個数密度 (atoms/barn・cm)	
			H	O	H	O
pnl5768 01	17.6	1.50127E-05	1.67995E-06	1.33328E-05	1.00369E-06	5.01843E-07
pnl5768 02	20.3	1.76061E-05	1.97015E-06	1.56360E-05	1.17707E-06	5.88535E-07
pnl5768 03	21.9	1.93185E-05	2.16177E-06	1.71567E-05	1.29155E-06	6.45776E-07
pnl5768 04	17.1	1.45706E-05	1.63047E-06	1.29401E-05	9.74129E-07	4.87065E-07
pnl5768 05	21.0	1.83384E-05	2.05210E-06	1.62863E-05	1.22603E-06	6.13015E-07
pnl5768 06	19.0	1.63129E-05	1.82543E-06	1.44874E-05	1.09061E-06	5.45305E-07
pnl5768 07	22.5	1.99966E-05	2.23765E-06	1.77590E-05	1.33689E-06	6.68445E-07
pnl5768 08	22.2	1.96550E-05	2.19943E-06	1.74556E-05	1.31405E-06	6.57026E-07
pnl5768 09	22.7	2.02272E-05	2.26345E-06	1.79637E-05	1.35231E-06	6.76153E-07
pnl5768 10	21.1	1.84452E-05	2.06404E-06	1.63811E-05	1.23317E-06	6.16583E-07

※空気中の主成分 (N₂、O₂ 等々) については考慮せず、中性子への影響が大きい空気中の水分について考慮する。空気中の水分は、飽和水蒸気量に相当する密度とする (付録-2.2.17 を参照)。

Table 3.3.1.7 分析時期および実験時期 [PNL-5768]

計算ケース	実験番号	Pu-241 密度 (g ²⁴¹ Pu/cm ³)	Am-241 濃度 (μg ²⁴¹ Am/ml)	Am 分析時期	Pu 分析時期	実験時期
pnl5768 01	046	2.81319E-04	290	1985/01/29	1985/01/31	1985/01/15
pnl5768 02	046R	2.81319E-04	290	1985/01/29	1985/01/31	1985/01/17
pnl5768 03	047	2.83547E-04	290	1985/01/29	1985/01/31	1985/01/29
pnl5768 04	051	2.82646E-04	306	1985/05/08	1985/01/31	1985/04/26
pnl5768 05	049a	8.0420E-04	921	1985/10/21	1985/10/24	1985/04/08
pnl5768 06	050	8.0674E-04	921	1985/10/21	1985/10/24	1985/04/10
pnl5768 07	054	5.5188E-04	587	1985/09/23	1985/09/25	1985/09/05
pnl5768 08	055	2.8268E-04	302	1985/09/23	1985/09/25	1985/09/06
pnl5768 09	056	2.8487E-04	302	1985/09/23	1985/09/25	1985/09/09
pnl5768 10	056a	2.8487E-04	302	1985/09/23	1985/09/25	1985/09/10

※文献 [PNL-5768¹⁸⁾ TABLE 3.1、TABLE 3.2、TABLE 3.4、TABLE 3.5] より引用する。

Table 3.3.1.8 補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [PNL-5768]

計算ケース	実験番号	原子個数密度 (atoms/barn・cm)			
		初期値 (分析時)		補正值 (実験時)	
		Pu-241	Am-241	Pu-241	Am-241
pnl5768 01	046	7.02756E-07	7.24485E-07	7.04247E-07	7.23181E-07
pnl5768 02	046R	7.02756E-07	7.24485E-07	7.04060E-07	7.23367E-07
pnl5768 03	047	7.08321E-07	7.24485E-07	7.08509E-07	7.24485E-07
pnl5768 04	051	7.06071E-07	7.64457E-07	6.98167E-07	7.63348E-07
pnl5768 05	049a	2.00918E-06	2.30086E-06	2.06284E-06	2.24801E-06
pnl5768 06	050	2.01553E-06	2.30086E-06	2.06881E-06	2.24839E-06
pnl5768 07	054	1.37878E-06	1.46646E-06	1.38244E-06	1.46317E-06
pnl5768 08	055	7.06214E-07	7.54464E-07	7.07993E-07	7.52872E-07
pnl5768 09	056	7.11698E-07	7.54464E-07	7.13207E-07	7.53143E-07
pnl5768 10	056a	7.11698E-07	7.54464E-07	7.13113E-07	7.53237E-07

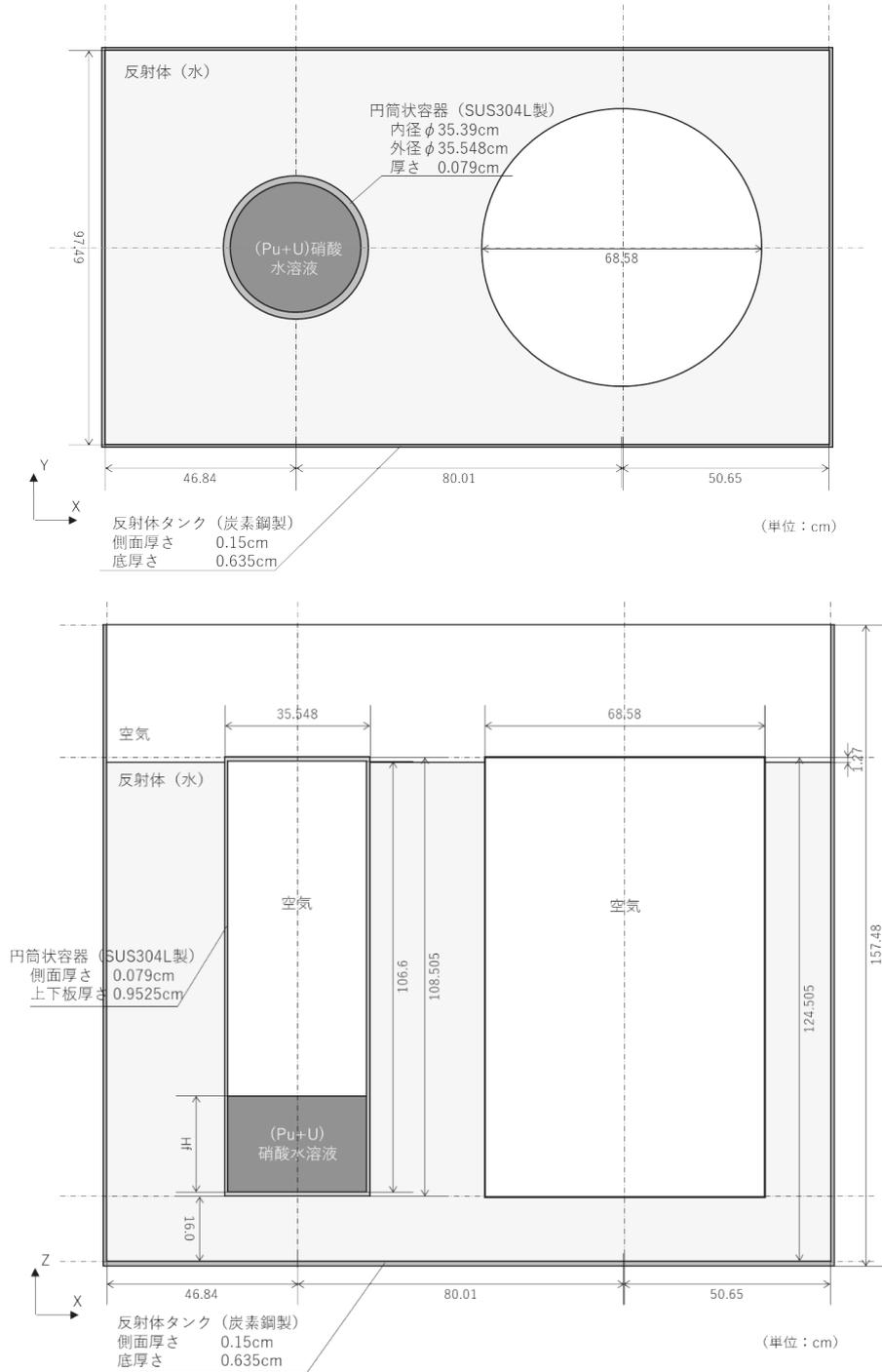


Fig. 3.3.1.1 円筒状容器を用いた臨界実験の計算モデル図 (反射体: 水)

[対象ケース: pnl5768_01、02]

※ 反射体 (水) を配置したモデル。各寸法条件は、文献 [PNL-5768¹⁸⁾] より引用する。

※ 反射体タンク寸法については文献 [PNL-5768¹⁸⁾] に記載された図面より引用する。

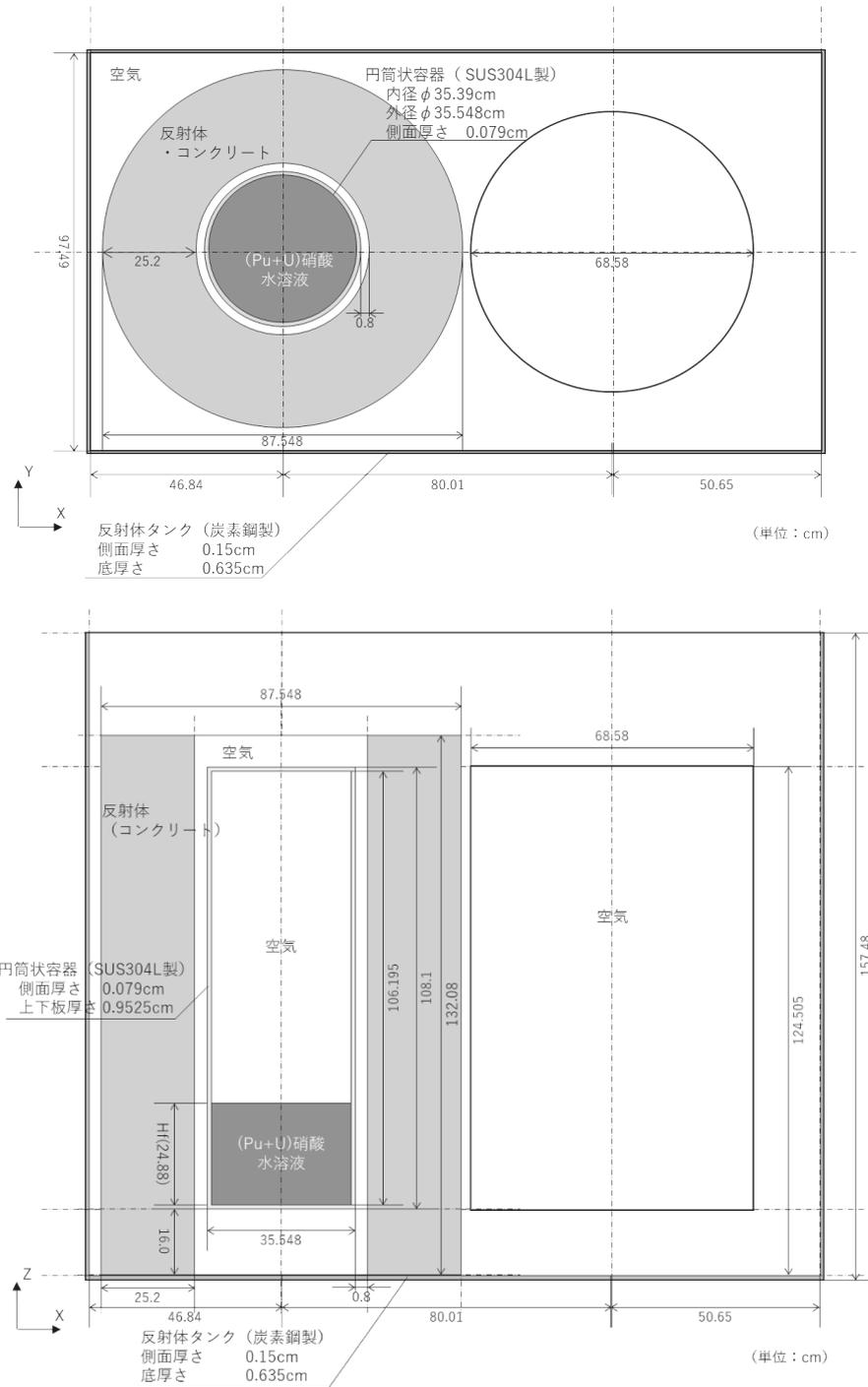


Fig. 3.3.1.2 円筒状容器を用いた臨界実験の計算モデル図 (反射体: コンクリート)

[対象ケース: pnl5768_03]

- ※ 反射体 (コンクリート) を配置したモデル。各寸法条件は、文献 [PNL-5768¹⁸⁾] より引用する。
- ※ 反射体タンク寸法については文献 [PNL-5768¹⁸⁾] に記載された図面より引用する。
- ※ (Pu+U) 硝酸水溶液の入った円筒状容器の高さ (108.1cm) が他のケースとは異なる。

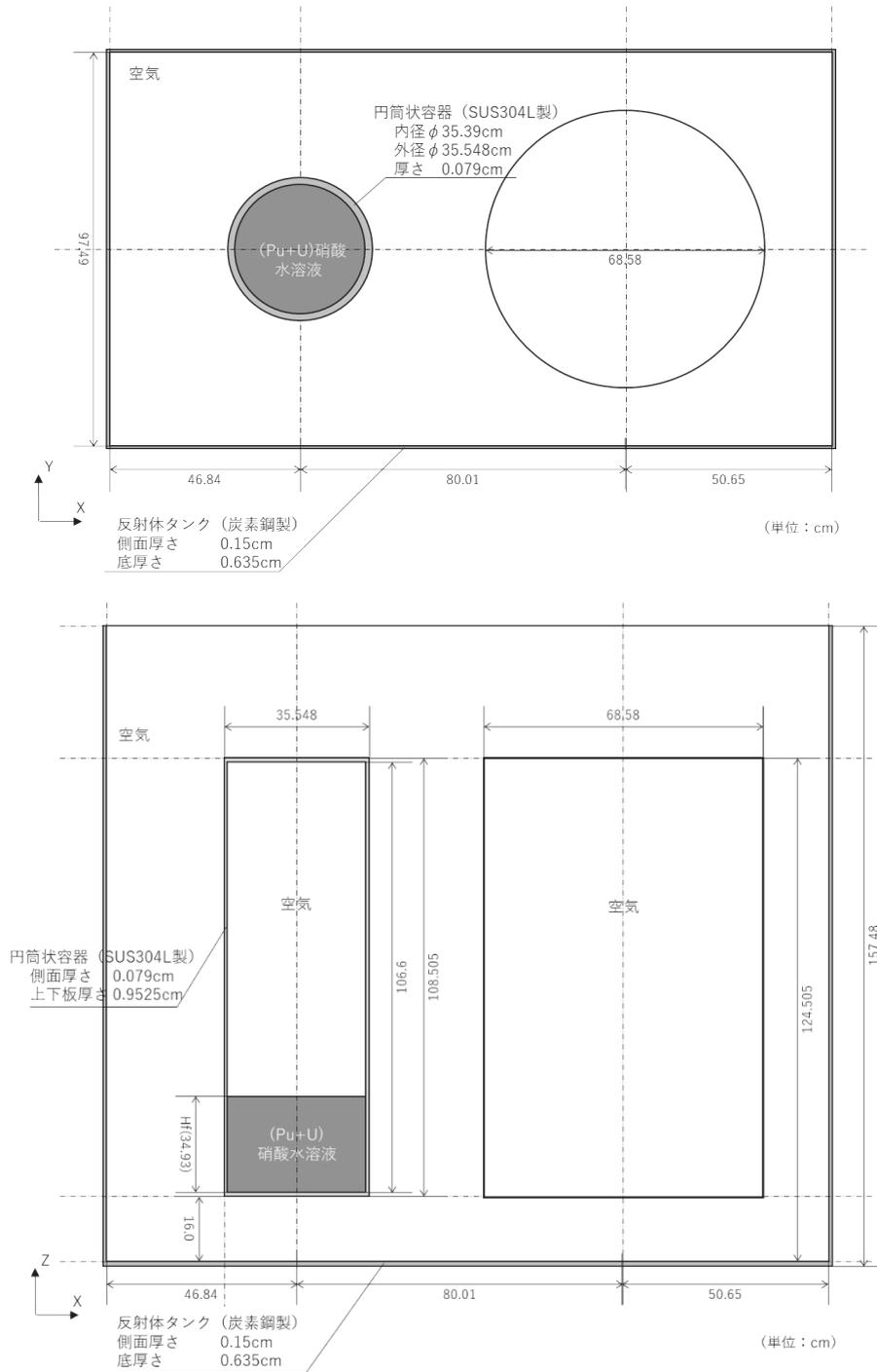


Fig. 3.3.1.3 円筒状容器を用いた臨界実験の計算モデル図 (反射体: 無し)

[対象ケース: pnl5768_04]

※反射体を配置しないモデル。各寸法条件は、文献 [PNL-5768¹⁸⁾] より引用する。
 ※反射体タンク寸法については文献 [PNL-5768¹⁸⁾] に記載された図面より引用する。

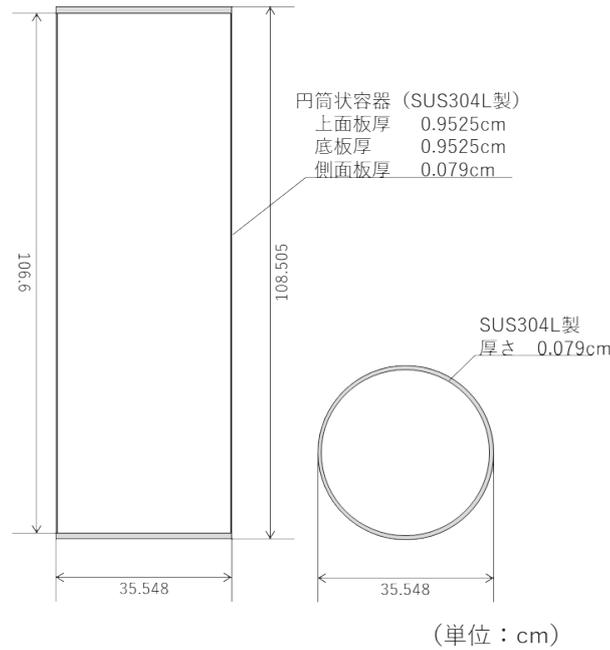


Fig. 3.3.1.4 円筒状容器 (内径 35.39cm) 概要図 [PNL-5768]

- ※ 容器内径 35.39cm、内部高さ 106.6cm、側面厚さ 0.079cm については文献 [PNL-5768¹⁸⁾ p.2.4] に記載された数値より引用する。
- ※ 容器上面板厚、下面板厚については、文献 [PNL-5768¹⁸⁾] に記載された図面より引用 (3/8 インチ = 0.9525cm)。
- ※ pnl5768_03 においては、容器の高さを文献 [PNL-5768¹⁸⁾ Figure 2.6] に記載された値 (108.1cm) に変更。

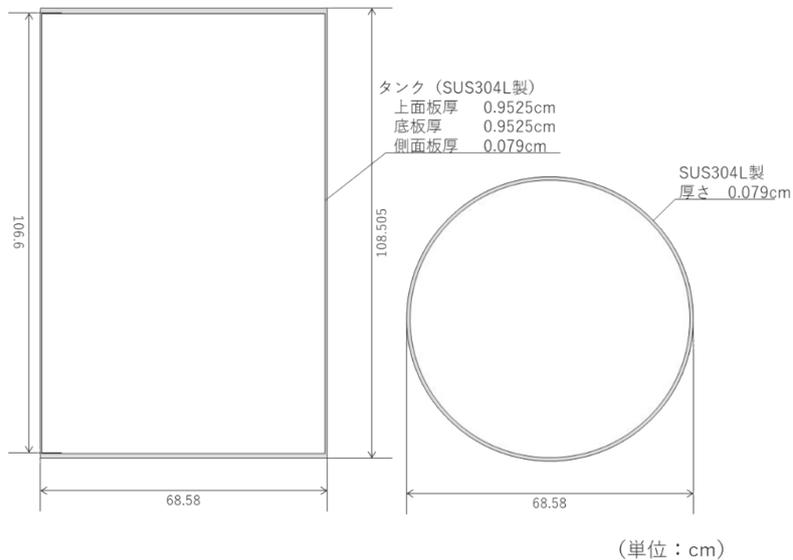


Fig. 3.3.1.5 円筒状容器 (外径 68.58cm) 概要図 [PNL-5768]

- ※ 容器外径については、文献 [PNL-5768¹⁸⁾] に記載された図面より引用 (外径 27 インチ = 68.58cm)。
- ※ 容器上面板厚、下面板厚については、文献 [PNL-5768¹⁸⁾] に記載された図面より引用 (3/8 インチ = 0.9525cm)。

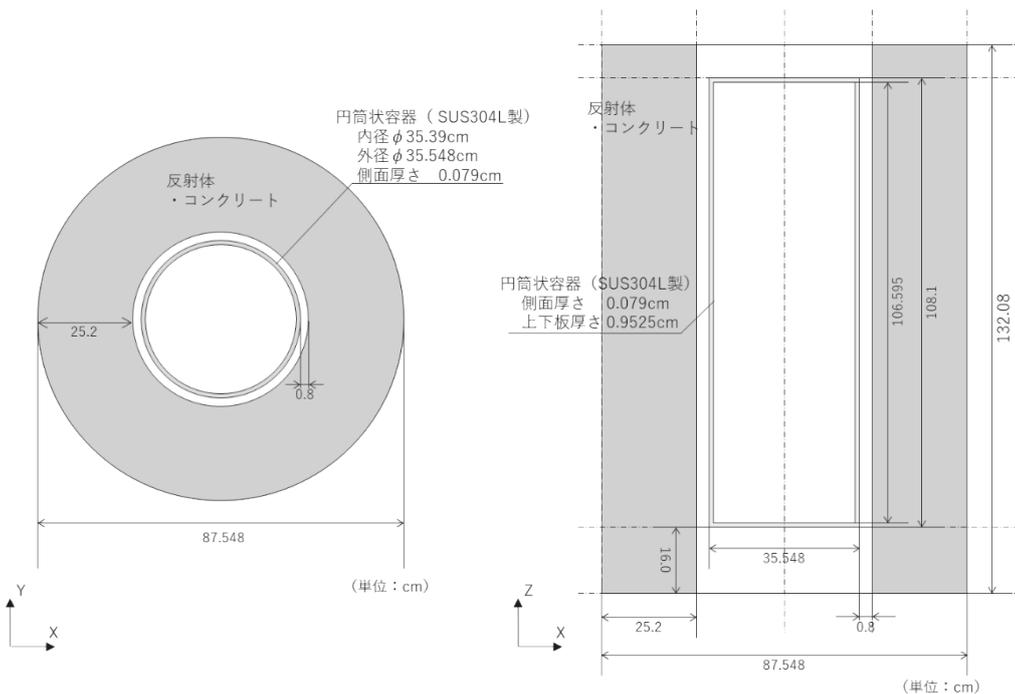


Fig. 3.3.1.6 環状コンクリート反射体 概要図 [PNL-5768]

※文献 [PNL-5768¹⁸⁾] より引用する。

※環状コンクリート反射体内に配置される円筒状容器の高さは、文献 [PNL-5768¹⁸⁾] FIGURE 2.6] 中に示された値 (180.1cm) に変更する。

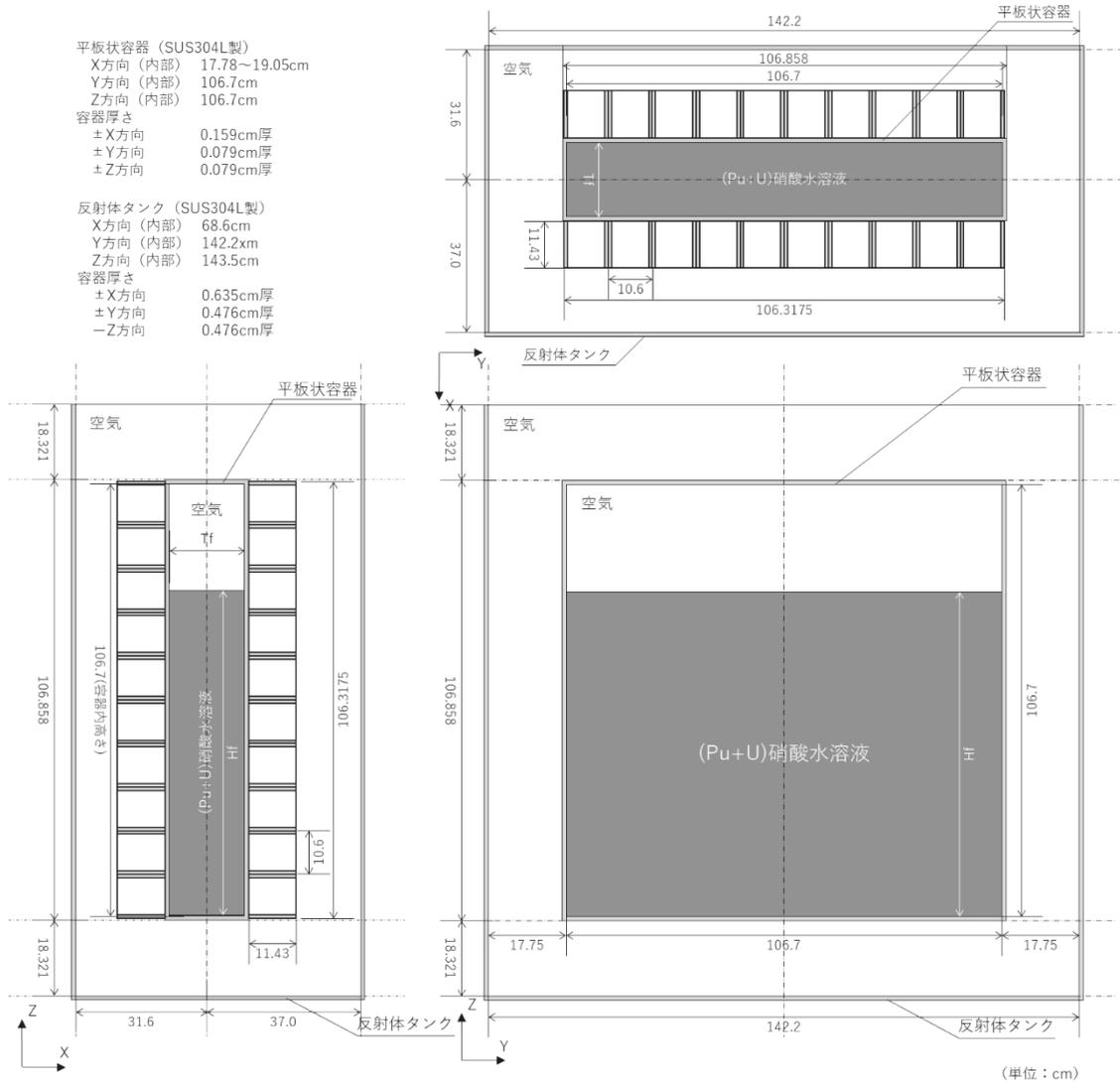


Fig. 3.3.1.7 平板状容器を用いた臨界実験の計算モデル図 (反射体:無し) [PNL-5768]

[対象ケース: pnl5768_05、06、09、10]

- ※ 反射体 (水) を設置しない計算モデル。各寸法条件は、文献 [PNL-5768¹⁸⁾] より引用する。
- ※ 平板状容器は、その幅を可変とするため、±Y、±Z方向の容器構造体が蛇腹状になっているが、計算モデルでは、厚さ 0.079cm 厚の平板としている。
- ※ pnl5768_05 においては、反射体タンクの北側 Plate (-X 方向、SUS304L 製板) が外された状態 (SUS304L 製板が無い状態) に設定する。

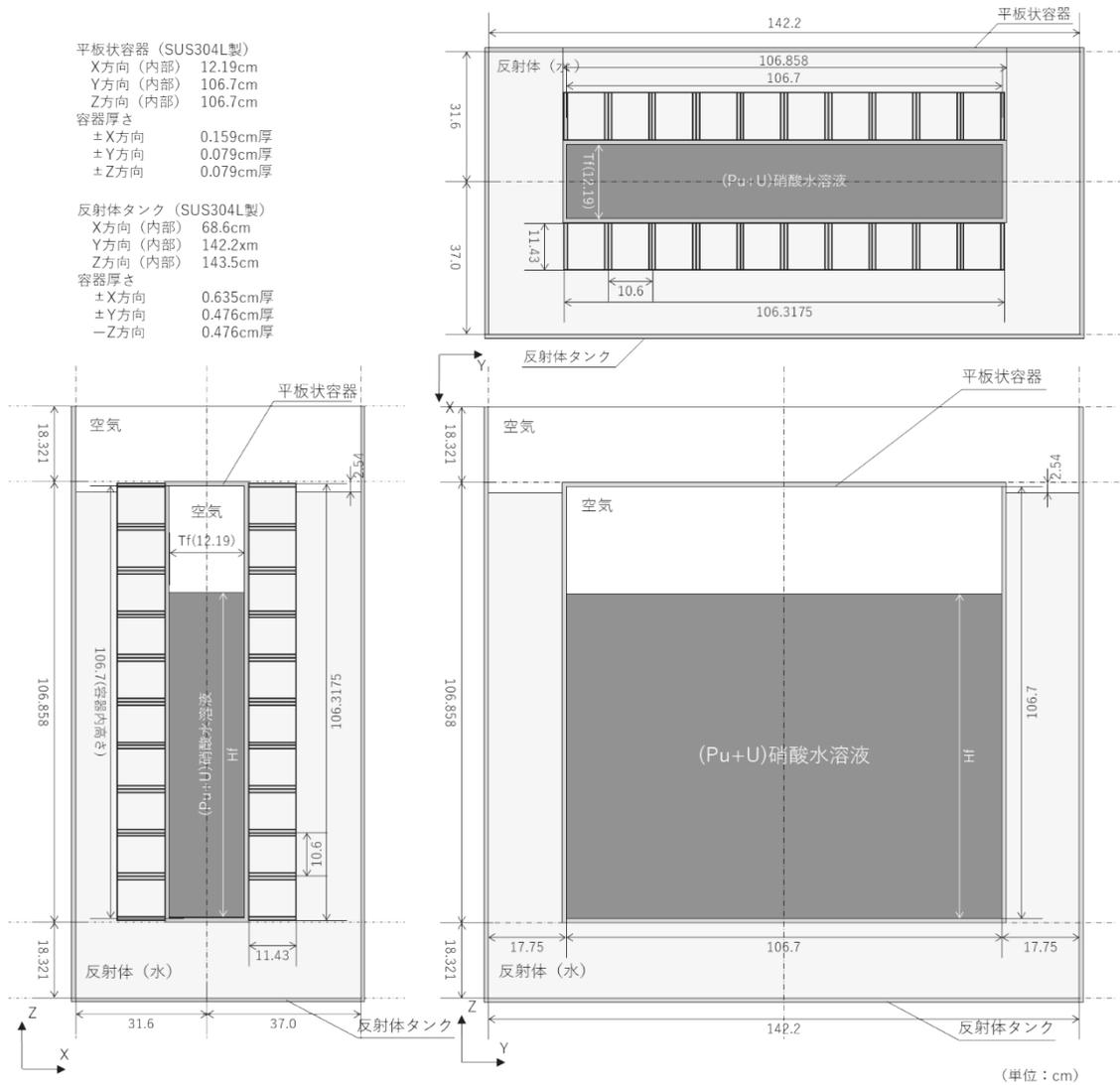


Fig. 3.3.1.8 平板状容器を用いた臨界実験の計算モデル図 (反射体 : 水) [PNL-5768]

[対象ケース : pnl5768_07、08]

※ 反射体 (水) を配置したモデル。各寸法条件は、文献 [PNL-5768¹⁸⁾] より引用する。

※ 平板状容器は、その幅を可変とするため、±Y、±Z 方向の容器構造体が蛇腹状になっているが、計算モデルでは、厚さ 0.079cm 厚の平板としている。

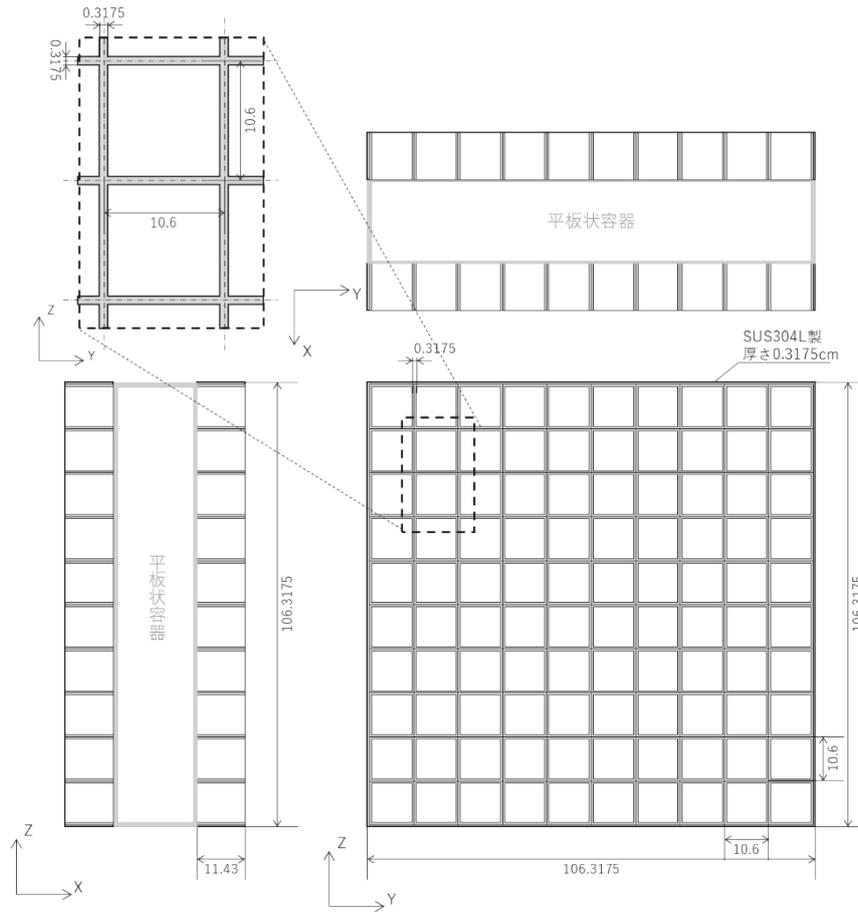


Fig. 3.3.1.9 平板状容器外側の格子状構造体 [PNL-5768]

※文献 [PNL-5768¹⁸⁾] より引用する。グリッド構造は、厚さ 0.3175cm のステンレス鋼板で構成され、格子状構造の平均中心間隔は、10.6cm である。

• (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物について

文献 [PNL-5768¹⁸⁾ APPENDIX D] に (Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物についての記述があり、Table 3.3.1.9 に示す。これらの不純物は、Spark Source Mass Spectrographic analysis (SSMS 分析：火花源質量分析) で分析されている。

sample 1119、sample 1121 においては、文献中に該当資料中に“WASTE SOLUTIONS”の記述があり、かつ B 濃度が 100ppm を超える等、その信頼性には疑問がある。

文献 [PNL-6119²¹⁾ APPENDIX D] においても、sample 1119、sample 1121 の SSMS 分析結果の記述があり、まったく同一の資料であることが確認された。また、sample 1121 については、Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy method (ICP 分析：誘導結合プラズマ発光分光法) による分析結果 (Table 3.3.1.10) が記載されており、より高い精度の分析結果である。

よって、本ベンチマーク計算の sample 1121 に該当する計算ケース pnl5768_08~10 (実験番号：055、056、056a) においては、SSMS 分析結果ではなく、文献 [PNL-6119²¹⁾] に記載された ICP 分析結果を採用する。

不純物の成分は、重量比 (ppm) で与えられているため、計算ケース毎に (Pu+U) 硝酸水溶液密度に乗算して、その原子個数密度を求める。

計算ケース pnl5768_08~10 (実験番号：055、056、056a) の不純物 sample 1121 (ICP 分析) については、濃度 (mg/litre) で与えられているため、元素毎の密度を計算し、その原子個数密度を求める。

Table 3.3.1.11 に各計算ケースにおける (Pu+U) 硝酸水溶液中不純物の原子個数密度を示す。

Table 3.3.1.9 (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物 [PNL-5768] (SSMS 分析)

硝酸水溶液 サンプル番号	sample 1087	sample 1095	sample 1119	sample 1121
分析時期	1985/1/31	1985/10/24	1985/9/26	1985/9/26
実験番号	046、046R、047、051	048、049A、050	054	055、056、056a
対応計算ケース	pnl5768_01~04	pnl5768_05、06	pnl5768_07	pnl5768_08~10
元素	重量比 (ppm)			
Ag	*	<10	*	*
Al	200	370	2000	2000
As	0.4	—	—	—
B	0.1	8	100	100
Ba	40	—	4	4
Be	*	<2	*	*
Ca	40	100	5	50
Cd	2	3	1	1
Ce	40	—	—	—
Cl	10	—	10	100
Co	—	7	0.2	0.2
Cr	80	340	30	50
Cu	20	<20	200	600
Fe	400	1300	30	90
Ga	30	—	20	30
K	30	140	100	300
Li	0.2	<1	0.2	0.2
Mg	10	20	300	300
Mn	80	60	7	7
Mo	—	<30	2	2
Na	30	<60	1000	1000
Ni	80	270	30	30
P	10	—	30	30
Pb	—	<10	—	—
Th	—	—	5	5
S	3	—	200	300
Sc	30	—	—	—
Si	30	<40	2000	2000
Sn	—	<10	—	—
Ti	80	35	40	40
V	0.2	<50	0.1	<0.3
Zn	4	20	40	40
Zr	40	—	—	—

※ 文献 [PNL-5768¹⁸⁾ APPENDIX D] において、実験番号 046R、047、051 については、“sample 1097”に対応するとの記述があるが、Figure D.1 においては、1087 との記述があり、かつ Table 3.4、Table 3.5 において、sample 番号が 1087 と記述されていることから誤記であると判断する。また、実験番号 046 の記述がないが、046R に準ずるものとして、sample 1087 に対応させた。

※ sample 1121 については、SSMS 分析結果を採用せず、後述の ICP 分析結果 (Table 3.3.1.10) を採用。

※ * interference

Table 3.3.1.10 (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物 [PNL-6119] (ICP 分析結果)

サンプル番号	Sample 1121
実験番号	055、056、056a
計算ケース	pnl5768_08~10
元素	不純物濃度 (mg/litre)
Al	50.1
B	1.4
Ba	3.2
Ca	33.9
Cd	3.5
Ce	1.9
Cr	41
Cu	13.8
Dy	0.4
Fe	133.7
Gd	≤1
K	8
La	0.4
Li	0.3
Mg	8.5
Mn	8.4
Mo	0.6
Na	30.6
Nd	1.3
Ni	30.6
Rh	3.8
Ru	2.1
Si	35.7
Sr	(a)
Te	(a)
Ti	9
Zn	2.3
Zr	0.7

※ 文献 [PNL-6119²¹⁾ APPENDIX D] より引用する。

※ (a) Element not detected

Table 3.3.1.11 (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物原子個数密度 [PNL-5768] [1/4]

計算ケース	pnl5768 01、02			pnl5768 03		
実験番号	046、046R			047		
不純物 サンプル番号	sample 1087			sample 1087		
溶液密度 (g/cm ³)	1.1968			1.1977		
元素	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Ag	—	—	—	—	—	—
Al	0.02	2.39360E-04	5.34239E-06	0.02	2.39540E-04	5.34641E-06
As	0.00004	4.78720E-07	3.84791E-09	0.00004	4.79080E-07	3.85081E-09
B-10*	1.81952E-06	2.17760E-08	1.30969E-09	1.81952E-06	2.17924E-08	1.31067E-09
B-11*	8.18048E-06	9.79040E-08	5.35539E-09	8.18048E-06	9.79776E-08	5.35942E-09
Ba	0.004	4.78720E-05	2.09931E-07	0.004	4.79080E-05	2.10089E-07
Be	—	—	—	—	—	—
Ca	0.004	4.78720E-05	7.19327E-07	0.004	4.79080E-05	7.19868E-07
Cd	0.0002	2.39360E-06	1.28228E-08	0.0002	2.39540E-06	1.28324E-08
Ce	0.004	4.78720E-05	2.05753E-07	0.004	4.79080E-05	2.05907E-07
Cl	0.001	1.19680E-05	2.03297E-07	0.001	1.19770E-05	2.03449E-07
Co	—	—	—	—	—	—
Cr	0.008	9.57440E-05	1.10890E-06	0.008	9.58160E-05	1.10973E-06
Cu	0.002	2.39360E-05	2.26837E-07	0.002	2.39540E-05	2.27008E-07
Fe	0.04	4.78720E-04	5.16235E-06	0.04	4.79080E-04	5.16623E-06
Ga	0.003	3.59040E-05	3.10111E-07	0.003	3.59310E-05	3.10344E-07
K	0.003	3.59040E-05	5.53014E-07	0.003	3.59310E-05	5.53430E-07
Li-6*	8.37417E-07	1.00222E-08	1.00339E-09	8.37417E-07	1.00297E-08	1.00414E-09
Li-7*	1.91626E-05	2.29338E-07	1.96851E-08	1.91626E-05	2.29510E-07	1.96999E-08
Mg	0.001	1.19680E-05	2.96527E-07	0.001	1.19770E-05	2.96750E-07
Mn	0.008	9.57440E-05	1.04952E-06	0.008	9.58160E-05	1.05031E-06
Mo	—	—	—	—	—	—
Na	0.003	3.59040E-05	9.40501E-07	0.003	3.59310E-05	9.41208E-07
Ni	0.008	9.57440E-05	9.82367E-07	0.008	9.58160E-05	9.83105E-07
P	0.001	1.19680E-05	2.32690E-07	0.001	1.19770E-05	2.32865E-07
Pb	—	—	—	—	—	—
S	0.0003	3.59040E-06	6.74305E-08	0.0003	3.59310E-06	6.74812E-08
Sc	0.003	3.59040E-05	4.80958E-07	0.003	3.59310E-05	4.81319E-07
Si	0.003	3.59040E-05	7.69873E-07	0.003	3.59310E-05	7.70452E-07
Sn	—	—	—	—	—	—
Ti	0.008	9.57440E-05	1.20456E-06	0.008	9.58160E-05	1.20547E-06
Th	—	—	—	—	—	—
V	0.00002	2.39360E-07	2.82964E-09	0.00002	2.39540E-07	2.83177E-09
Zn	0.0004	4.78720E-06	4.40963E-08	0.0004	4.79080E-06	4.41295E-08
Zr	0.004	4.78720E-05	3.16028E-07	0.004	4.79080E-05	3.16265E-07

※ BおよびLiの同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾より引用する(付録-1.3を参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

Table 3.3.1.11 (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物原子個数密度 [PNL-5768] [2/4]

計算ケース	pnl5768 04			pnl5768 05		
実験番号	051			049a		
不純物 サンプル番号	sample 1087			sample 1095		
溶液密度 (g/cm ³)	1.1978			1.5318		
元素	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Ag	—	—	—	0.001	1.53180E-05	8.55184E-08
Al	0.02	2.39560E-04	5.34686E-06	0.037	5.66766E-04	1.26499E-05
As	0.00004	4.79120E-07	3.85113E-09	—	—	—
B-10*	1.81952E-06	2.17942E-08	1.31078E-09	1.45562E-04	2.22971E-06	1.34103E-07
B-11*	8.18048E-06	9.79858E-08	5.35987E-09	6.54438E-04	1.00247E-05	5.48355E-07
Ba	0.004	4.79120E-05	2.10107E-07	—	—	—
Be	—	—	—	0.0002	3.06360E-06	2.04717E-07
Ca	0.004	4.79120E-05	7.19928E-07	0.01	1.53180E-04	2.30169E-06
Cd	0.0002	2.39560E-06	1.28335E-08	0.0003	4.59540E-06	2.46181E-08
Ce	0.004	4.79120E-05	2.05925E-07	—	—	—
Cl	0.001	1.19780E-05	2.03466E-07	—	—	—
Co	—	—	—	0.0007	1.07226E-05	1.09570E-07
Cr	0.008	9.58240E-05	1.10982E-06	0.034	5.20812E-04	6.03199E-06
Cu	0.002	2.39560E-05	2.27027E-07	0.002	3.06360E-05	2.90332E-07
Fe	0.04	4.79120E-04	5.16666E-06	0.13	1.99134E-03	2.14739E-05
Ga	0.003	3.59340E-05	3.10370E-07	—	—	—
K	0.003	3.59340E-05	5.53476E-07	0.014	2.14452E-04	3.30311E-06
Li-6*	8.37417E-07	1.00306E-08	1.00423E-09	4.18708E-06	6.41378E-08	6.42126E-09
Li-7*	1.91626E-05	2.29529E-07	1.97015E-08	9.58129E-05	1.46766E-06	1.25976E-07
Mg	0.001	1.19780E-05	2.96775E-07	0.002	3.06360E-05	7.59058E-07
Mn	0.008	9.58240E-05	1.05039E-06	0.006	9.19080E-05	1.00747E-06
Mo	—	—	—	0.003	4.59540E-05	2.88426E-07
Na	0.003	3.59340E-05	9.41287E-07	0.006	9.19080E-05	2.40752E-06
Ni	0.008	9.58240E-05	9.83187E-07	0.027	4.13586E-04	4.24354E-06
P	0.001	1.19780E-05	2.32885E-07	—	—	—
Pb	—	—	—	0.001	1.53180E-05	4.45172E-08
S	0.0003	3.59340E-06	6.74868E-08	—	—	—
Sc	0.003	3.59340E-05	4.81360E-07	—	—	—
Si	0.003	3.59340E-05	7.70517E-07	0.004	6.12720E-05	1.31383E-06
Sn	—	—	—	0.001	1.53180E-05	7.77079E-08
Ti	0.008	9.58240E-05	1.20557E-06	0.0035	5.36130E-05	6.74508E-07
Th	—	—	—	—	—	—
V	0.00002	2.39560E-07	2.83200E-09	0.005	7.65900E-05	9.05423E-07
Zn	0.0004	4.79120E-06	4.41332E-08	0.002	3.06360E-05	2.82197E-07
Zr	0.004	4.79120E-05	3.16292E-07	—	—	—

※ BおよびLiの同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾より引用する(付録-1.3を参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

Table 3.3.1.11 (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物原子個数密度 [PNL-5768] [3/4]

計算ケース	pnl5768_06			pnl5768_07		
実験番号	050			054		
不純物 サンプル番号	sample 1095			sample 1119		
溶液密度 (g/cm ³)	1.5379			1.3714		
元素	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Ag	0.001	1.53290E-05	8.55798E-08	—	—	—
Al	0.037	5.67173E-04	1.26590E-05	0.2	2.74280E-03	6.12179E-05
As	—	—	—	—	—	—
B-10*	1.45562E-04	2.23131E-06	1.34199E-07	1.81952E-03	2.49529E-05	1.50076E-06
B-11*	6.54438E-04	1.00319E-05	5.48749E-07	8.18048E-03	1.12187E-04	6.13669E-06
Ba	—	—	—	0.0004	5.48560E-06	2.40558E-08
Be	0.0002	3.06580E-06	2.04864E-07	—	—	—
Ca	0.01	1.53290E-04	2.30334E-06	0.0005	6.85700E-06	1.03034E-07
Cd	0.0003	4.59870E-06	2.46358E-08	0.0001	1.37140E-06	7.34675E-09
Ce	—	—	—	—	—	—
Cl	—	—	—	0.001	1.37140E-05	2.32955E-07
Co	0.0007	1.07303E-05	1.09649E-07	0.00002	2.74280E-07	2.80275E-09
Cr	0.034	5.21186E-04	6.03633E-06	0.003	4.11420E-05	4.76503E-07
Cu	0.002	3.06580E-05	2.90540E-07	0.02	2.74280E-04	2.59930E-06
Fe	0.13	1.99277E-03	2.14893E-05	0.003	4.11420E-05	4.43661E-07
Ga	—	—	—	0.002	2.74280E-05	2.36902E-07
K	0.014	2.14606E-04	3.30548E-06	0.01	1.37140E-04	2.11231E-06
Li-6*	4.18708E-06	6.41838E-08	6.42587E-09	8.37417E-07	1.14843E-08	1.14977E-09
Li-7*	9.58129E-05	1.46872E-06	1.26066E-07	1.91626E-05	2.62796E-07	2.25569E-08
Mg	0.002	3.06580E-05	7.59603E-07	0.03	4.11420E-04	1.01936E-05
Mn	0.006	9.19740E-05	1.00819E-06	0.0007	9.59980E-06	1.05230E-07
Mo	0.003	4.59870E-05	2.88633E-07	0.0002	2.74280E-06	1.72149E-08
Na	0.006	9.19740E-05	2.40925E-06	0.1	1.37140E-03	3.59236E-05
Ni	0.027	4.13883E-04	4.24658E-06	0.003	4.11420E-05	4.22131E-07
P	—	—	—	0.003	4.11420E-05	7.99912E-07
Pb	0.001	1.53290E-05	4.45492E-08	—	—	—
S	—	—	—	0.02	2.74280E-04	5.15119E-06
Sc	—	—	—	—	—	—
Si	0.004	6.13160E-05	1.31477E-06	0.2	2.74280E-03	5.88126E-05
Sn	0.001	1.53290E-05	7.77637E-08	—	—	—
Ti	0.0035	5.36515E-05	6.74992E-07	0.004	5.48560E-05	6.90146E-07
Th	—	—	—	0.0005	6.85700E-06	1.77962E-08
V	0.005	7.66450E-05	9.06073E-07	0.00001	1.37140E-07	1.62123E-09
Zn	0.002	3.06580E-05	2.82400E-07	0.004	5.48560E-05	5.05295E-07
Zr	—	—	—	—	—	—

* BおよびLiの同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾より引用する(付録-1.3を参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

Table 3.3.1.11 (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物原子個数密度 [PNL-5768] [4/4]

計算ケース	pnl5768 08、09、10		
不純物 サンプル番号	sample1 1121 ^{※1}		
実験番号	055、056、056a		
溶液密度 (g/cm ³)	1.1944、1.1954、1.1954		
元素	濃度 (mg/litre)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Al	50.1	0.0000501	1.11821E-06
B-10 ^{※2}	1.4	2.54733E-07	1.53206E-08
B-11 ^{※2}		1.14527E-06	6.26466E-08
Ba	3.2	0.0000032	1.40329E-08
Ca	33.9	0.0000339	5.09383E-07
Cd	3.5	0.0000035	1.87499E-08
Ce	1.9	0.0000019	8.16616E-09
Cr	41	0.000041	4.74858E-07
Cu	13.8	0.0000138	1.30780E-07
Dy	0.4	0.0000004	1.48238E-09
Fe	133.7	0.0001337	1.44177E-06
Gd	1	0.000001	3.82961E-09
K	8	0.000008	1.23221E-07
La	0.4	0.0000004	1.73417E-09
Li-6 ^{※2}	0.3	1.25613E-08	1.25759E-09
Li-7 ^{※2}		2.87439E-07	2.46721E-08
Mg	8.5	0.0000085	2.10602E-07
Mn	8.4	0.0000084	9.20782E-08
Mo	0.6	0.0000006	3.76585E-09
Na	30.6	0.0000306	8.01563E-07
Nd	1.3	0.0000013	5.42755E-09
Ni	30.6	0.0000306	3.13967E-07
Rh	3.8	0.0000038	2.22380E-08
Ru	2.1	0.0000021	1.25132E-08
Si	35.7	0.0000357	7.65499E-07
Ti	9	0.000009	1.13229E-07
Zn	2.3	0.0000023	2.11860E-08
Zr	0.7	0.0000007	4.62106E-09

※1 ICP 分析結果より算出。

※2 B、Li の同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-1.3 を参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、 B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、 Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

• 反射体（水）の不純物について

反射体に水を設定しているケース（pnl5768_01、02、07、08）において、水に含まれる不純物の分析結果が文献 [PNL-5768¹⁸⁾ APPENDIX E] に記されている (Table 3.3.1.12)。

本ベンチマーク計算では、該当する計算ケースにおいて、実験時の反射体温度の密度の水の不純物の原子個数密度を合わせて入力し、その影響を考慮する。

Table 3.3.1.13 に反射体（水）と不純物の原子個数密度を示す。

Table 3.3.1.12 反射体（水）中の不純物の濃度 [PNL-5768]

実験番号		046	054	055
対応計算ケース		pnl5768_01 pnl5768_02	pnl5768_07	pnl5768_08
		(mg/litre)		
Total alkalinity		56.9	49.1	46.6
HCO ₃ alkalinity	HCO ₃	54	47	44
CO ₃ alkalinity	CO ₃	<0.5	<0.5	<0.5
Total Dissolved Solids		105	77	92
Sulfate	SO ₄	3.8	15	15
Nitrate as N	NO ₃	0.1	<0.1	<0.1
Fluoride	F	0.12	0.12	<0.1
Chloride	Cl	2.7	0.43	0.45
Cadmium	Cd	<0.005	<0.0002	0.0007
Copper	Cu	<0.01	0.02	<0.01
Chromium	Cr	<0.01	<0.01	<0.01
Iron	Fe	0.14	0.08	1.49
Lead	Pb	<0.005	<0.002	0.006
Manganese	Mn	0.02	<0.01	0.025
Zinc	Zn	0.13	<0.05	4.2

※文献 [PNL-5768¹⁸⁾ APPENDIX E] より一部抜粋。

Table 3.3.1.13 反射体（水）と不純物の原子個数密度 [PNL-5768]

ケース		pnl5768 01		pnl5768 02	
実験番号		046		046R	
水密度 (g/cm ³)		0.99867 (17.6°C)		0.99814 (20.3°C)	
水	H	1.1175E-01	6.67669E-02	1.1169E-01	6.67314E-02
	O	8.8692E-01	3.33834E-02	8.8645E-01	3.33657E-02
	元素	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
不純物	H	8.92057E-07	5.32961E-07	8.92057E-07	5.32961E-07
	C	1.07295E-05	5.37979E-07	1.07295E-05	5.37979E-07
	O	4.57527E-05	1.72212E-06	4.57527E-05	1.72212E-06
	S	1.26843E-06	2.38220E-08	1.26843E-06	2.38220E-08
	N	1.00000E-07	4.29942E-09	1.00000E-07	4.29942E-09
	F	1.20000E-07	3.80378E-09	1.20000E-07	3.80378E-09
	Cl	2.70000E-06	4.58640E-08	2.70000E-06	4.58640E-08
	Cd	5.00000E-09	2.67856E-11	5.00000E-09	2.67856E-11
	Cu	1.00000E-08	9.47682E-11	1.00000E-08	9.47682E-11
	Cr	1.00000E-08	1.15819E-10	1.00000E-08	1.15819E-10
	Fe	1.40000E-07	1.50971E-09	1.40000E-07	1.50971E-09
	Pb	5.00000E-09	1.45310E-11	5.00000E-09	1.45310E-11
	Mn	2.00000E-08	2.19234E-10	2.00000E-08	2.19234E-10
	Zn	1.30000E-07	1.19747E-09	1.30000E-07	1.19747E-09

ケース		pnl5768 07		pnl5768 08	
実験番号		054		055	
水密度 (g/cm ³)		0.99765 (22.5°C)		0.99772 (22.2°C)	
水	H	1.1164E-01	6.66987E-02	1.1165E-01	6.67034E-02
	O	8.8601E-01	3.33493E-02	8.8607E-01	3.33517E-02
	元素	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
不純物	H	7.76420E-07	4.63874E-07	7.26862E-07	4.34265E-07
	C	9.35163E-06	4.68892E-07	8.76111E-06	4.39283E-07
	O	4.77077E-05	1.79571E-06	4.53478E-05	1.70688E-06
	S	5.00694E-06	9.40343E-08	5.00694E-06	9.40343E-08
	N	1.00000E-07	4.29942E-09	1.00000E-07	4.29942E-09
	F	1.20000E-07	3.80378E-09	1.00000E-07	3.16981E-09
	Cl	4.30000E-07	7.30427E-09	4.50000E-07	7.64401E-09
	Cd	2.00000E-10	1.07142E-12	7.00000E-10	3.74998E-12
	Cu	2.00000E-08	1.89536E-10	1.00000E-08	9.47682E-11
	Cr	1.00000E-08	1.15819E-10	1.00000E-08	1.15819E-10
	Fe	8.00000E-08	8.62691E-10	1.49000E-06	1.60676E-08
	Pb	2.00000E-09	5.81240E-12	6.00000E-09	1.74372E-11
	Mn	1.00000E-08	1.09617E-10	2.50000E-08	2.74042E-10
	Zn	5.00000E-08	4.60565E-10	4.20000E-06	3.86874E-08

※HおよびOについては、水の原子個数密度に不純物の原子個数密度を加えて入力する。

3.3.2 PNL-6327

本文献では、以下に示す2種類の体系を計算対象とする。

- (1) 内径 35.39cm のステンレス製円筒状容器を用いた実験 (9 ケース)
- (2) 厚み可変の平板型タンクを用いた実験 (7 ケース)

以下に、それぞれの計算条件を示す。

(1) 円筒状容器を用いた実験

このレポートでは、内径 35.39cm、高さ 108.505cm の SUS304L 製円筒状容器を用いた実験 (9 ケース) が実施されている。

反射体を設置した場合と設置しない場合の実験を行っており、反射体として水あるいはコンクリートを用いている。形状、反射体条件を固定し、硝酸水溶液の量を逐次増加させて、臨界水位を測定している。

Table 3.3.2.1 に実験時のデータを示す (pnl6327_01~09)。

硝酸水溶液が充填される円筒状容器は、反射体 (水) が充填された反射体タンク内の左側に設置されている。この時、反射体 (水) は円筒状容器頭頂部より 2.54cm 下の高さまで充填されている (pnl6327_02、05、08)。

反射体にコンクリートを設定した場合は、反射体タンク内に水を充填せず、円筒状容器の周囲に厚さ 25.2cm の円環状のコンクリートを設置している (pnl6327_03、04、09)。

反射体を設置しない場合は、反射体タンク内に水は充填されない (pnl6327_01、06、07)。

また、反射体タンクの中には実験対象となる円筒状容器とは別に外径 68.58cm、高さ 108.505cm の SUS304L 製円筒状容器が右側に設置されている。

Fig. 3.3.2.1 に反射体を設置しない場合の計算モデル図を示す (pnl6327_01、06、07)。

Fig. 3.3.2.2 に反射体 (水) を設定した計算モデル図を示す (pnl6327_02、05、08)。

Fig. 3.3.2.3 に反射体 (コンクリート) を設定した計算モデル図を示す (pnl6327_03、04、09)。

Fig. 3.3.2.4 に円筒状容器 (内径 35.39cm) の概要図を示す。

Fig. 3.3.2.5 に円筒状容器 (外径 68.58cm) の概要図を示す。

Fig. 3.3.2.6 に環状コンクリート反射体の概要図を示す。

実験の計算モデルとして、(Pu+U)硝酸水溶液の充填された円筒状容器 (内径 35.39cm) と、並列に設置された円筒状容器 (外径 68.58cm) および反射体 (水、コンクリート) と反射体タンクを設定する (反射体を設置しない場合は、反射体タンク内の領域を空気として設定)。

反射体タンク外側の境界条件については、真空として設定する。

(2) 平板状容器を用いた実験

この実験では、厚み可変の平板型タンクを用いた実験 (7 ケース) が行われており、形状、反

射体条件を固定し、(Pu+U)硝酸水溶液の量を逐次増加させて臨界水位を測定している。

Table 3.3.2.1 に臨界実験データを示す (pnl6327_10~16)。

硝酸水溶液が充填される平板状容器は、反射体タンク内に設置され、反射体タンク内には、反射体として水が平板状容器上端より 2.54cm 下の高さまで充填されている (pnl6327_11、12、13、16)。反射体を配置しない場合、水は充填されず、空気雰囲気とする。(pnl6327_10、14、15)。

Fig. 3.3.2.7 に反射体 (水) を設置しない場合の計算モデル図を示す (pnl6327_10、14、15)。

Fig. 3.3.2.8 に反射体 (水) を設置した場合の計算モデルを図示す (pnl6327_11、12、13、16)。

Fig. 3.3.2.9 に平板状容器の両側に配置される格子状構造体の概要を示す。

実験の計算モデルとして、(Pu+U)硝酸水溶液が充填された平板状容器とその両側に設置された格子状構造体、反射体 (水)、反射体タンクを設定する (反射体を設置しない場合は、反射体タンク内の領域を空気として設定)。

反射体タンク外側の境界条件については、真空として設定する。

Table 3.3.2.2 に各領域の設定温度を示す。

Table 3.3.2.3 に Pu および U 同位体元素の組成比を示す

Table 3.3.2.4 に計算に用いた (Pu+U) 硝酸水溶液の原子個数密度を示す。

Table 3.3.2.5 に計算に用いた物質の原子個数密度を示す。

Table 3.3.2.6 に空気中水分の H と O の原子個数密度を示す。

Table 3.3.2.7 に分析時期と実験時期を示す。

Table 3.3.2.8 に補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度を示す。

Pu-241 の放射性壊変 (β^- 崩壊) により、Pu-241 および Am-241 の原子個数密度は、時間の経過とともに Pu-241 は減じ Am-241 は増加する。このため、分析時期と実験時期との期間を考慮して、Pu-241、Am-241 の原子個数密度を補正する (付録-3 を参照)。

Table 3.3.2.1 臨界実験データおよび計算ケース [PNL-6327]

計算 ケース	実験 番号	反射条件	平板 厚み Tf (cm)	臨界 水位 Hf (cm)	(Pu+U) 硝酸水溶液				
					Pu 濃度 (gPu/litre)	U 濃度 (gU/litre)	酸性度 (mol/litre)	密度 (g/cm ³)	²⁴¹ Am 濃度 (μg ²⁴¹ Am/ml)
pnl6327 01	065	空気	—	44.46	41.69	63.38	0.61	1.1749	207
pnl6327 02	066	水	—	28.11	41.89	63.65	0.61	1.1750	207
pnl6327 03	067	コンクリート	—	29.36	41.83	63.55	0.61	1.1747	211
pnl6327 04	068	コンクリート	—	27.03	118.71	173.98	1.02	1.4638	601
pnl6327 05	069	水	—	25.26	119.04	174.67	1.05	1.4645	601
pnl6327 06	070	空気	—	41.08	118.90	174.53	1.03	1.4645	601
pnl6327 07	077	空気	—	57.97	172.56	262.79	1.23	1.6706	897
pnl6327 08	078	水	—	28.93	172.82	262.55	1.23	1.6705	896
pnl6327 09	083	コンクリート	—	30.60	173.22	262.88	1.22	1.6704	897
pnl6327 10	063	空気	19.81	54.70	41.06	62.89	0.61	1.1725	207
pnl6327 11	064	水	13.97	80.14	41.90	63.36	0.61	1.1752	207
pnl6327 12	071	水	13.97	47.44	118.87	173.48	1.03	1.4633	601
pnl6327 13	072	水	12.70	67.16	118.87	173.48	1.03	1.4633	601
pnl6327 14	074	空気	18.03	70.13	119.04	174.01	1.04	1.4637	601
pnl6327 15	075	空気	19.05	85.38	172.77	262.81	1.24	1.6703	932
pnl6327 16	076	水	13.46	74.19	172.68	262.94	1.24	1.6699	932

※ 文献 [PNL-6327¹⁹⁾ TABLE 3.1、TABLE 3.2、TABLE 3.4] より引用する。

Table 3.3.2.2 各計算ケースにおける設定温度 [PNL-6327]

計算ケース	実験番号	温度 (°C) ※1			空气中水分量※2 (g/cm ³)	反射体水密度※3 (g/cm ³)
		燃料領域	容器/ 反射体領域	室温		
pnl6327 01	065	18.9	—	22.7	2.02272E-05	—
pnl6327 02	066	18.8	13.6	22.5	1.17793E-05	9.9930
pnl6327 03	067	18.8	23.0	23.7	2.05773E-05	—
pnl6327 04	068	20.8	23.5	24.1	2.11725E-05	—
pnl6327 05	069	21.6	18.6	24.8	1.59318E-05	9.9848
pnl6327 06	070	22.3	—	24.8	2.27897E-05	—
pnl6327 07	077	24.4	—	21.3	1.86602E-05	—
pnl6327 08	078	25.1	19.6	22.3	1.68992E-05	9.9829
pnl6327 09	083	27.2	22.7	23.2	2.02272E-05	—
pnl6327 10	063	19.1	—	23.1	2.06952E-05	—
pnl6327 11	064	18.8	17.2	22.5	1.46581E-05	9.9874
pnl6327 12	071	24.6	22.1	24.7	1.95423E-05	9.9775
pnl6327 13	072	24.5	22.7	24.9	2.02272E-05	9.9761
pnl6327 14	074	24.6	—	25.1	2.31777E-05	—
pnl6327 15	075	24.1	—	22.1	1.95423E-05	—
pnl6327 16	076	24.6	21.7	22.2	1.90969E-05	9.9784

※1 文献 [PNL-6327¹⁹⁾ TABLE 3.6] より引用する。

※2 空气中水分量は、その空気温度における飽和水蒸気量とする (付録-2.2.17 を参照)。空気温度は、容器/
反射体領域の温度に設定する。容器/反射体領域の記述がない場合は、室温に設定する。

※3 反射体として設定された水の密度については、容器/反射体領域の温度での密度をとする (付録-2.2.16 を
参照)。

Table 3.3.2.3 各計算ケースにおける Pu、U 同位体元素の組成比 [PNL-6327]

計算ケース	pnl6327_01、02 pnl6327_10、11	pnl6327_03	pnl6327_04~06 pnl6327_12~14	pnl6327_15、16
実験番号	065、066、 063、064	067	067、068、069、 071、072、074	075、076
サンプル番号	sample 1153	sample 1161	sample 1166	sample 1170
Pu 分析時期	1986/2/13	1986/3/11	1986/3/31	1986/5/5
U 分析時期	1986/2/19	1986/3/11	1986/3/31	1986/5/5
Am 分析時期	1986/2/12	1986/5/29	1986/3/28	1986/5/2
同位体	同位体組成比 (wt%)			
Pu-238	0.029±0.003	0.029±0.003	0.027±0.002	0.03±0.001
Pu-239	91.13±0.04	91.11±0.04	91.1±0.04	91.14±0.04
Pu-240	8.29±0.04	8.31±0.04	8.29±0.04	8.33±0.04
Pu-241	0.455±0.005	0.457±0.004	0.451±0.003	0.453±0.004
Pu-242	0.094±0.002	0.095±0.003	0.09±0.002	0.093±0.002
U-234	0.007±0.002	0.007±0.001	0.006±0.001	0.008±0.001
U-235	0.555±0.006	0.564±0.004	0.569±0.004	0.565±0.003
U-236	0.023±0.002	0.024±0.001	0.022±0.002	0.024±0.001
U-238	99.414±0.008	99.404±0.004	99.403±0.005	99.403±0.003
	Am-241 濃度 (µg/ml)			
Am-241	207	211	601	932

計算ケース	pnl6327_07	pnl6327_08	pnl6327_09
実験番号	077	078	083
サンプル番号	sample 1174	sample 1177	sample 1184
Pu 分析時期	1986/5/5	1986/5/14	1986/6/23
U 分析時期	1986/5/5	1986/5/13	1986/6/24
Am 分析時期	1986/5/2	1986/5/12	1986/6/20
同位体	同位体組成比 (wt%)		
Pu-238	0.029±0.001	0.029±0.001	0.28±0.001
Pu-239	91.15±0.04	91.11±0.04	91.12±0.04
Pu-240	8.28±0.04	8.32±0.04	8.32±0.04
Pu-241	0.449±0.004	0.453±0.004	0.445±0.003
Pu-242	0.095±0.002	0.093±0.002	0.093±0.002
U-234	0.007±0.001	0.007±0.002	0.006±0.001
U-235	0.565±0.003	0.568±0.003	0.564±0.003
U-236	0.024±0.001	0.024±0.002	0.023±0.002
U-238	99.404±0.003	99.402±0.005	99.408±0.004
	Am-241 濃度 (µg/ml)		
Am-241	897	896	897

※ 本表に示す値については、文献 [PNL-6237¹⁹⁾ TABLE 3.4、TABLE 3.5] に記載された値を引用する。

Table 3.3.2.4 (Pu+U) 硝酸水溶液の原子個数密度 [PNL-6327] [1/2]

元素名	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)			
		pnl6327_01 (1.1749) ⁻ ※1	pnl6327_02 (1.1750) ⁻ ※1	pnl6327_03 (1.1747) ⁻ ※1	pnl6327_04 (1.4638) ⁻ ※1
Pu-238	238.04956	3.05860E-08	3.07327E-08	3.06877E-08	8.11180E-08
Pu-239	239.05216	9.57106E-05	9.61698E-05	9.60081E-05	2.72550E-04
Pu-240	240.05382	8.67037E-06	8.71196E-06	8.72021E-06	2.46983E-05
Pu-241 ※2	241.05685	4.73834E-07	4.75792E-07	4.78450E-07	1.34286E-06
Pu-242	242.05874	9.74986E-08	9.79664E-08	9.88638E-08	2.65915E-07
Am-241 ※2	241.05683	5.17258E-07	5.17574E-07	5.21268E-07	1.49717E-06
U-234	234.04095	1.14160E-08	1.14646E-08	1.14466E-08	2.68602E-08
U-235	235.04393	9.01263E-07	9.05102E-07	9.18334E-07	2.53637E-06
U-236	236.04557	3.71911E-08	3.73496E-08	3.89122E-08	9.76511E-08
U-238	238.05079	1.59399E-04	1.60078E-04	1.59810E-04	4.37502E-04
H	1.00797	6.36402E-02	6.35898E-02	6.35887E-02	5.87182E-02
N	14.006857	1.10798E-03	1.11136E-03	1.11025E-03	2.69032E-03
O	15.99937	3.52811E-02	3.52674E-02	3.52630E-02	3.80032E-02
不純物 ※3		Table 3.3.2.11 参照	Table 3.3.2.11 参照	Table 3.3.2.11 参照	Table 3.3.2.11 参照

元素名	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)			
		pnl6327_05 (1.4645) ⁻ ※1	pnl6327_06 (1.4645) ⁻ ※1	pnl6327_07 (1.6706) ⁻ ※1	pnl6327_08 (1.6705) ⁻ ※1
Pu-238	238.04956	8.13435E-08	8.12478E-08	1.26593E-07	1.26781E-07
Pu-239	239.05216	2.73308E-04	2.72986E-04	3.96225E-04	3.96640E-04
Pu-240	240.05382	2.47669E-05	2.47378E-05	3.58426E-05	3.60693E-05
Pu-241 ※2	241.05685	1.34606E-06	1.34376E-06	1.93812E-06	1.95933E-06
Pu-242	242.05874	2.66654E-07	2.66340E-07	4.07832E-07	3.99839E-07
Am-241 ※2	241.05683	1.49769E-06	1.49841E-06	2.23911E-06	2.23530E-06
U-234	234.04095	2.69668E-08	2.69451E-08	4.73332E-08	4.72895E-08
U-235	235.04393	2.54643E-06	2.54439E-06	3.80416E-06	3.82083E-06
U-236	236.04557	9.80384E-08	9.79598E-08	1.60907E-07	1.60759E-07
U-238	238.05079	4.39237E-04	4.38885E-04	6.60836E-04	6.60213E-04
H	1.00797	5.85353E-02	5.86421E-02	5.46030E-02	5.45876E-02
N	14.006857	2.71520E-03	2.70104E-03	3.80857E-03	3.80997E-03
O	15.99937	3.79809E-02	3.79971E-02	3.96866E-02	3.96818E-02
不純物 ※3		Table 3.3.2.11 参照	Table 3.3.2.11 参照	Table 3.3.2.11 参照	Table 3.3.2.11 参照

元素名	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)			
		pnl6327_09 (1.6704) ⁻ ※1	pnl6327_10 (1.1725) ⁻ ※1	pnl6327_11 (1.1752) ⁻ ※1	pnl6327_12 (1.4633) ⁻ ※1
Pu-238	238.04956	1.22383E-06	3.01238E-08	3.07400E-08	8.12273E-08
Pu-239	239.05216	3.96598E-04	9.42643E-05	9.61927E-05	2.72917E-04
Pu-240	240.05382	3.60616E-05	8.53934E-06	8.71404E-06	2.47316E-05
Pu-241 ※2	241.05685	1.92533E-06	4.67292E-07	4.76473E-07	1.34307E-06
Pu-242	242.05874	3.99753E-07	9.60253E-08	9.79898E-08	2.66273E-07
Am-241 ※2	241.05683	2.23709E-06	5.16638E-07	5.17006E-07	1.49877E-06
U-234	234.04095	4.05848E-08	1.13277E-08	1.14124E-08	2.67830E-08
U-235	235.04393	3.79869E-06	8.94295E-07	9.00978E-07	2.52909E-06
U-236	236.04557	1.54254E-07	3.69036E-08	3.71794E-08	9.73704E-08
U-238	238.05079	6.61083E-04	1.58167E-04	1.59349E-04	4.36245E-04
H	1.00797	5.45258E-02	6.36198E-02	6.36339E-02	5.86822E-02
N	14.006857	3.80967E-03	1.09915E-03	1.10999E-03	2.69542E-03
O	15.99937	3.96547E-02	3.52419E-02	3.52839E-02	3.79950E-02
不純物 ※3		Table 3.3.2.11 参照	Table 3.3.2.11 参照	Table 3.3.2.11 参照	Table 3.3.2.11 参照

※1 括弧内の数値は、密度 (g/cm³) を表す。

※2 Am-241 および Pu-241 の原子個数密度は、Table 3.3.2.7 に示す分析時期と実験時期の間で補正を行う (Table 3.3.2.8、付録-3 を参照)。

※3 (Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物について考慮する (Table 3.3.2.11 を参照)。

Table 3.3.2.4 (Pu+U)硝酸水溶液の原子個数密度 [PNL-6327] [2/2]

元素名	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)			
		pnl6327_13 (1.4633) ⁻ ※1	pnl6327_14 (1.4637) ⁻ ※1	pnl6327_15 (1.6703) ⁻ ※1	pnl6327_16 (1.6899) ⁻ ※1
Pu-238	238.04956	8.12273E-08	8.13435E-08	1.31061E-07	1.30993E-07
Pu-239	239.05216	2.72917E-04	2.73308E-04	3.96493E-04	3.96287E-04
Pu-240	240.05382	2.47316E-05	2.47669E-05	3.60874E-05	3.60686E-05
Pu-241 ^{※2}	241.05685	1.34289E-06	1.34410E-06	1.95770E-06	1.95642E-06
Pu-242	242.05874	2.66273E-07	2.66654E-07	3.99560E-07	3.99352E-07
Am-241 ^{※2}	241.05683	1.49895E-06	1.49965E-06	2.32575E-06	2.32601E-06
U-234	234.04095	2.67830E-08	2.68649E-08	5.40992E-08	5.41260E-08
U-235	235.04393	2.52909E-06	2.53681E-06	3.80445E-06	3.80633E-06
U-236	236.04557	9.73704E-08	9.76679E-08	1.60919E-07	1.60999E-07
U-238	238.05079	4.36245E-04	4.37577E-04	6.60880E-04	6.61207E-04
H	1.00797	5.86822E-02	5.85910E-02	5.45137E-02	5.44849E-02
N	14.006857	2.69542E-03	2.70584E-03	3.81681E-03	3.81656E-03
O	15.99937	3.79950E-02	3.79803E-02	3.96637E-02	3.96492E-02
不純物 ^{※3}		Table 3.3.2.11 参照	Table 3.3.2.11 参照	Table 3.3.2.11 参照	Table 3.3.2.11 参照

※1 括弧内の数値は、密度 (g/cm³) を表す。

※2 Am-241 および Pu-241 の原子個数密度は、Table 3.3.2.7 に示す分析時期と実験時期の間で補正を行う (Table 3.3.2.8 を参照、付録-3)。

※3 (Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物について考慮する (Table 3.3.2.11 を参照)。

Table 3.3.2.5 その他の物質の原子個数密度 [PNL-6327]

物質名	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
SUS304L ^{※1} (円筒状容器) (平板状容器) (反射体タンク)	7.93	C	0.03	12.0106356	1.19283E-04
		Si	1.0	28.0849993	1.70039E-03
		Mn	2.0	54.9380432	1.73852E-03
		P	0.045	30.9737620	6.93813E-05
		S	0.03	32.0654619	4.46795E-05
		Ni	11.0	58.6933505	8.95010E-03
		Cr	19.0	51.9961306	1.74505E-02
		Fe	66.895	55.8451437	5.72048E-02
コンクリート ^{※2} (反射体)	2.3	O	51.91	15.9993744	4.49393E-02
		Si	23.10	28.0849993	1.13924E-02
		Ca	12.00	40.0780225	4.14719E-03
		Al	4.79	26.9815384	2.45894E-03
		Fe	3.37	55.8451437	8.35840E-04
		Na	1.43	22.9897693	8.61549E-04
		H	1.05	1.0079709	1.44285E-02
		Mg	0.92	24.3057012	5.24274E-04
		K	0.72	39.0983009	2.55066E-04
		S	0.38	32.0654619	1.64144E-04
		Ti	0.33	47.8667439	9.54902E-05
炭素鋼 ^{※3} (反射体タンク)	7.8212	C	1.0	55.8451437	3.92155E-03
		Fe	99.0	12.0106356	8.34976E-02
空気 ^{※4}		Table 3.3.2.6 参照			
水 (反射体) ^{※5}		Table 3.3.2.13 参照			

※1 SUS304L については、JIS G 4303 より引用する (付録-2.2.8 を参照)。

※2 文献 [PNL-6327¹⁹⁾ APENDIX F] に記載されたコンクリートの組成および密度を引用し、原子個数密度を算出する (付録-2.2.14 を参照)。

※3 炭素鋼については、SCALE 6.2.3 コードシステムに内蔵された標準物質 CARBON STEEL の組成を引用する (付録-2.3.6 を参照)。

※4 空気中の主成分 (N₂、O₂ 等々) は考慮せず、中性子への影響が大きい空気中の水分について考慮する。空気中の水分は、飽和水蒸気量に相当する密度とする (Table 3.3.2.2、Table 3.3.2.6、(付録-2.2.17 を参照) を参照)。

※5 水の密度については、各温度の時の密度とする (Table 3.3.2.2、付録-2.2.16 を参照)。また、反射体 (水) に含まれる不純物の影響を考慮する (Table 3.3.2.13 を参照)。

Table 3.3.2.6 空気中水分の H と O の原子個数密度 [PNL-6327]

計算ケース	温度 (°C)	飽和蒸気量 (g/cm ³)	核種別密度 (g/cm ³)		原子個数密度 (atoms/barn・cm)	
			H	O	H	O
pnl6327 01	22.7	2.02272E-05	2.26345E-06	1.79637E-05	1.35231E-06	6.76153E-07
pnl6327 02	13.6	1.17793E-05	1.31812E-06	1.04612E-05	7.87514E-07	3.93757E-07
pnl6327 03	23	2.05773E-05	2.30264E-06	1.82747E-05	1.37571E-06	6.87857E-07
pnl6327 04	23.5	2.11725E-05	2.36924E-06	1.88033E-05	1.41550E-06	7.07752E-07
pnl6327 05	18.6	1.59318E-05	1.78280E-06	1.41490E-05	1.06513E-06	5.32567E-07
pnl6327 06	24.8	2.27897E-05	2.55021E-06	2.02395E-05	1.52363E-06	7.61813E-07
pnl6327 07	21.3	1.86602E-05	2.08811E-06	1.65721E-05	1.24754E-06	6.23772E-07
pnl6327 08	19.6	1.68992E-05	1.89104E-06	1.50081E-05	1.12981E-06	5.64904E-07
pnl6327 09	22.7	2.02272E-05	2.26345E-06	1.79637E-05	1.35231E-06	6.76153E-07
pnl6327 10	23.1	2.06952E-05	2.31583E-06	1.83794E-05	1.38359E-06	6.91797E-07
pnl6327 11	17.2	1.46581E-05	1.64027E-06	1.30178E-05	9.79979E-07	4.89990E-07
pnl6327 12	22.1	1.95423E-05	2.18681E-06	1.73555E-05	1.30652E-06	6.53258E-07
pnl6327 13	22.7	2.02272E-05	2.26345E-06	1.79637E-05	1.35231E-06	6.76153E-07
pnl6327 14	25.1	2.31777E-05	2.59362E-06	2.05841E-05	1.54956E-06	7.74781E-07
pnl6327 15	22.1	1.95423E-05	2.18681E-06	1.73555E-05	1.30652E-06	6.53258E-07
pnl6327 16	21.7	1.90969E-05	2.13697E-06	1.69599E-05	1.27674E-06	6.38368E-07

※ 空気中の主成分 (N₂、O₂ 等々) については考慮せず、中性子への影響が大きい空気中の水分について考慮する。空気中の水分は、飽和水蒸気量に相当する密度とする (付録-2.2.17 を参照)。

Table 3.3.2.7 分析時期および実験時期 [PNL-6327]

計算ケース	実験番号	Pu-241 濃度 (g/cm ³)	Am-241 濃度 (μg/ml)	Am 分析時期※ ¹	Pu 分析時期※ ²	実験時期※ ³
pnl6327 01	065	1.89693E-04	207	1986/02/12	1986/02/13	1986/02/14
pnl6327 02	066	1.90603E-04	207	1986/02/12	1986/02/13	1986/02/19
pnl6327 03	067	1.91161E-04	211	1986/05/29	1986/03/11	1986/02/25
pnl6327 04	068	5.35607E-04	601	1986/03/28	1986/03/31	1986/03/04
pnl6327 05	069	5.37096E-04	601	1986/03/28	1986/03/31	1986/03/07
pnl6327 06	070	5.36464E-04	601	1986/03/28	1986/03/31	1986/03/11
pnl6327 07	077	7.74771E-04	897	1986/05/02	1986/05/05	1986/04/25
pnl6327 08	078	7.82835E-04	896	1986/05/12	1986/05/14	1986/04/30
pnl6327 09	083	7.68845E-04	897	1986/06/20	1986/06/23	1986/06/05
pnl6327 10	063	1.868267E-04	207	1986/02/12	1986/02/13	1986/02/04
pnl6327 11	064	1.906488E-04	207	1986/02/12	1986/02/13	1986/02/10
pnl6327 12	071	5.363290E-04	601	1986/03/28	1986/03/31	1986/03/13
pnl6327 13	072	5.363290E-04	601	1986/03/28	1986/03/31	1986/03/14
pnl6327 14	074	5.370960E-04	601	1986/03/28	1986/03/31	1986/03/18
pnl6327 15	075	7.822882E-04	932	1986/05/02	1986/05/05	1986/04/22
pnl6327 16	076	7.818807E-04	932	1986/05/02	1986/05/05	1986/04/23

※1 文献 [PNL-6327¹⁹⁾ TABLE 3.4] より引用する。

※2 文献 [PNL-6327¹⁹⁾ TABLE 3.5] より引用する。

※3 文献 [PNL-6327¹⁹⁾ TABLE 3.1、TABLE 3.2] より引用する。

Table 3.3.2.8 補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [PNL-6327]

計算ケース	実験番号	原子個数密度 (atoms/barn・cm)			
		初期値 (分析時)		補正值 (実験時)	
		Pu-241	Am-241	Pu-241	Am-241
pnl6327 01	065	4.73896E-07	5.17132E-07	4.73834E-07	5.17258E-07
pnl6327 02	066	4.76170E-07	5.17132E-07	4.75792E-07	5.17574E-07
pnl6327 03	067	4.77564E-07	5.27125E-07	4.78450E-07	5.21268E-07
pnl6327 04	068	1.33807E-06	1.50143E-06	1.34286E-06	1.49717E-06
pnl6327 05	069	1.34179E-06	1.50143E-06	1.34606E-06	1.49769E-06
pnl6327 06	070	1.34021E-06	1.50143E-06	1.34376E-06	1.49841E-06
pnl6327 07	077	1.93555E-06	2.24091E-06	1.93812E-06	2.23911E-06
pnl6327 08	078	1.95570E-06	2.23841E-06	1.95933E-06	2.23530E-06
pnl6327 09	083	1.92075E-06	2.24091E-06	1.92533E-06	2.23709E-06
pnl6327 10	063	4.66735E-07	5.17132E-07	4.67292E-07	5.16638E-07
pnl6327 11	064	4.76283E-07	5.17132E-07	4.76473E-07	5.17006E-07
pnl6327 12	071	1.33987E-06	1.50143E-06	1.34307E-06	1.49877E-06
pnl6327 13	072	1.33987E-06	1.50143E-06	1.34289E-06	1.49895E-06
pnl6327 14	074	1.34179E-06	1.50143E-06	1.34410E-06	1.49965E-06
pnl6327 15	075	1.95433E-06	2.32835E-06	1.95770E-06	2.32575E-06
pnl6327 16	076	1.95331E-06	2.32835E-06	1.95642E-06	2.32601E-06

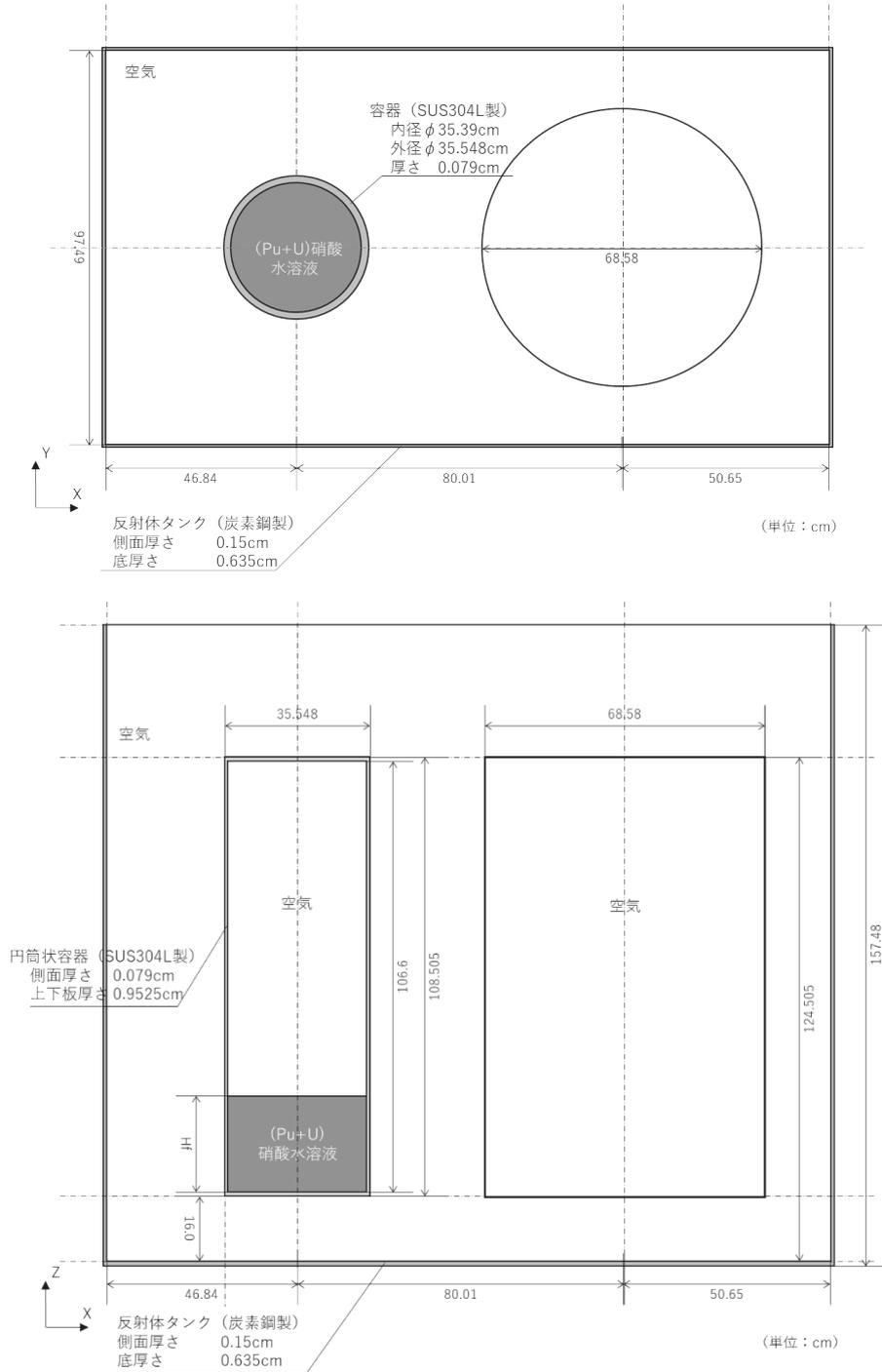


Fig. 3.3.2.1 臨界実験体系の計算モデル図 (反射体：無し) [pnl6327_01、06、07]

※ 反射体を設定しないモデル。文献 [PNL-6327¹⁹⁾] より引用する。

※ 反射体タンク寸法については文献 [PNL-5768¹⁸⁾] に記載された図面より引用する。

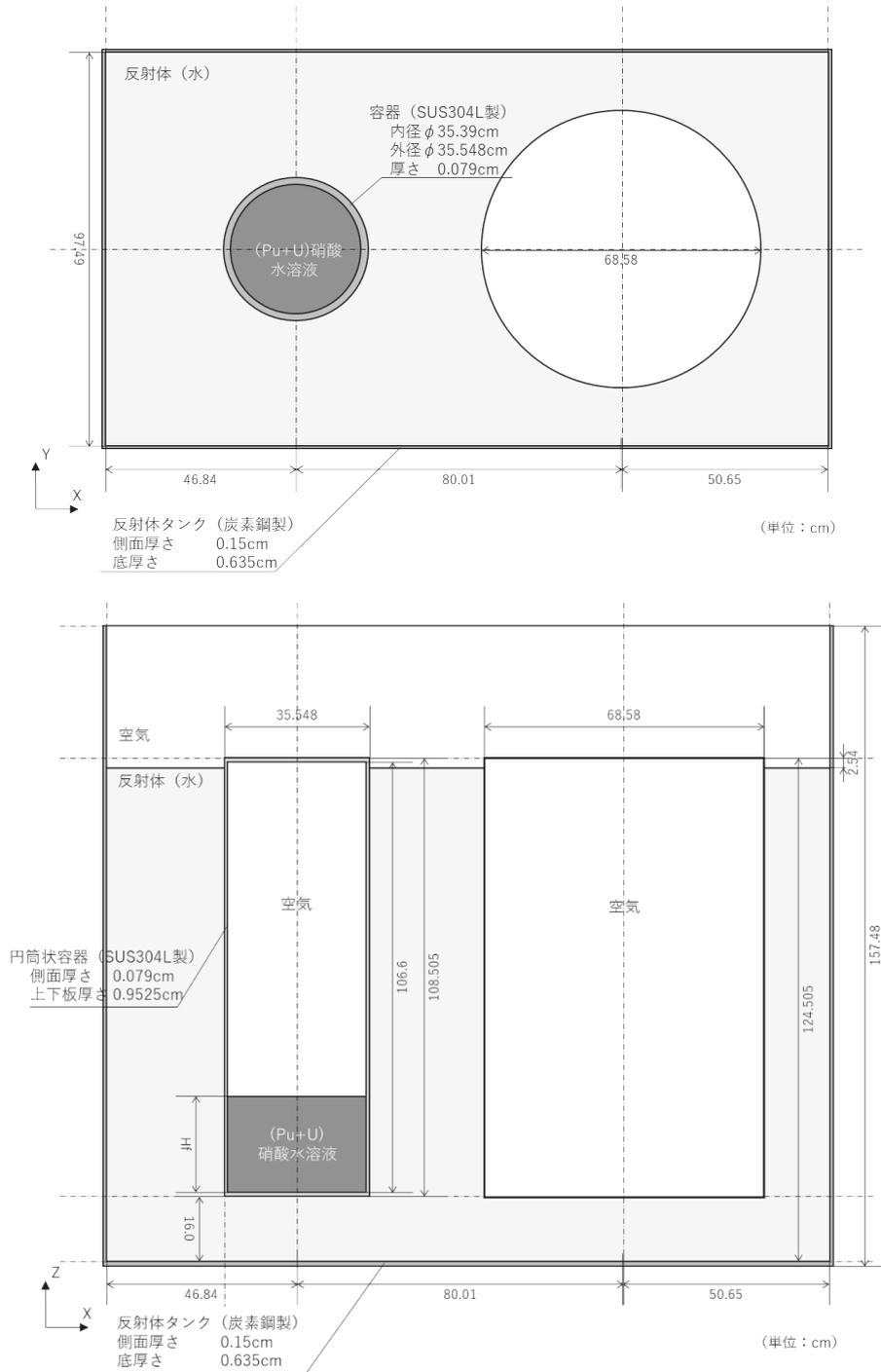


Fig. 3.3.2.2 臨界実験体系の計算モデル図 (反射体: 水) [pnl6327_02、05、08]

※ 反射体 (水) を設定したモデル。文献 [PNL-6327¹⁹⁾] より引用する。

※ 反射体タンク寸法については文献 [PNL-5768¹⁸⁾] に記載された図面より引用する。

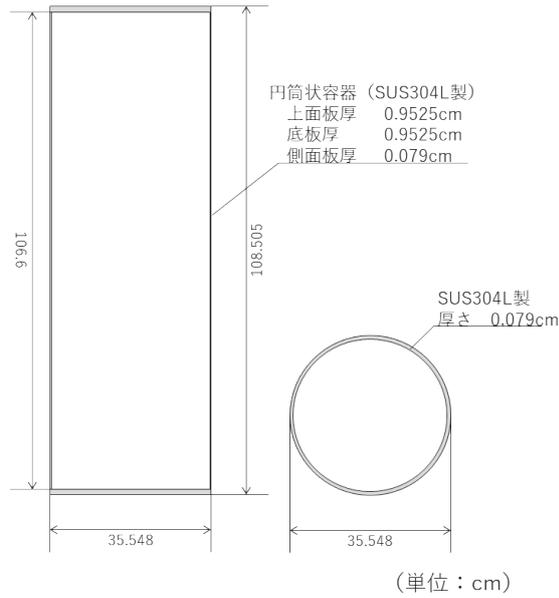


Fig. 3.3.2.4 円筒状容器 (内径 35.39cm) 概要図 [PNL-6327 (PNL-5768)]

- ※ 容器内径 35.39cm、内部高さ 106.6cm、側面厚さ 0.079cm については文献 [PNL-5768¹⁸⁾ p.2.4] に記載された数値より引用する。
- ※ 容器上面板厚、下面板厚については、文献 [PNL-5768¹⁸⁾] に記載された図面より引用 (3/8 インチ = 0.9525cm)。
- ※ 反射体にコンクリートを用いる計算ケース pnl6327_03、04、09 においては、高さを 108.5cm に変更する。

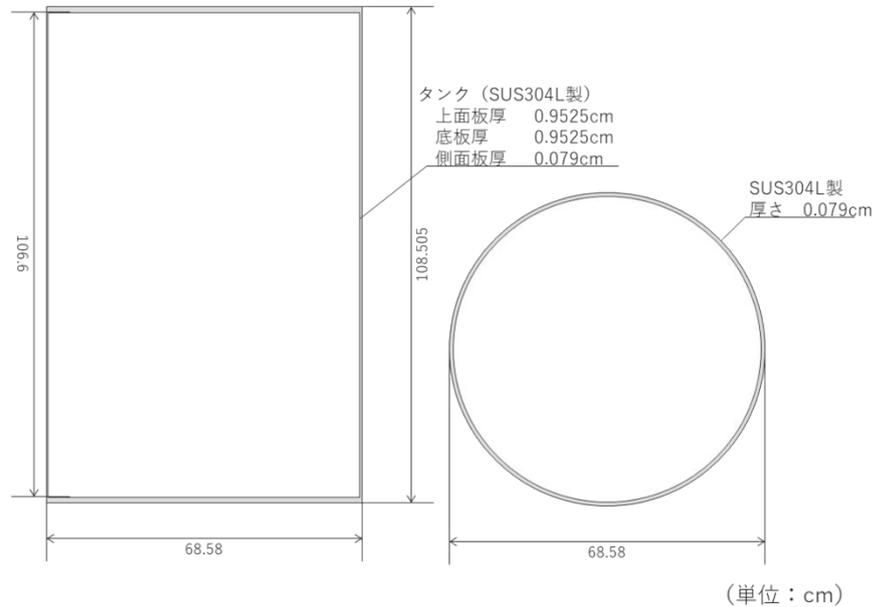


Fig. 3.3.2.5 円筒状容器 (外径 68.58cm) 概要図 [PNL-6327 (PNL-5768)]

- ※ 容器外径については、文献 [PNL-5768¹⁸⁾] に記載された図面より引用 (外径 27 インチ = 68.58cm)。
- ※ 容器上面板厚、下面板厚については、文献 [PNL-5768¹⁸⁾] に記載された図面より引用 (3/8 インチ = 0.9525cm)。

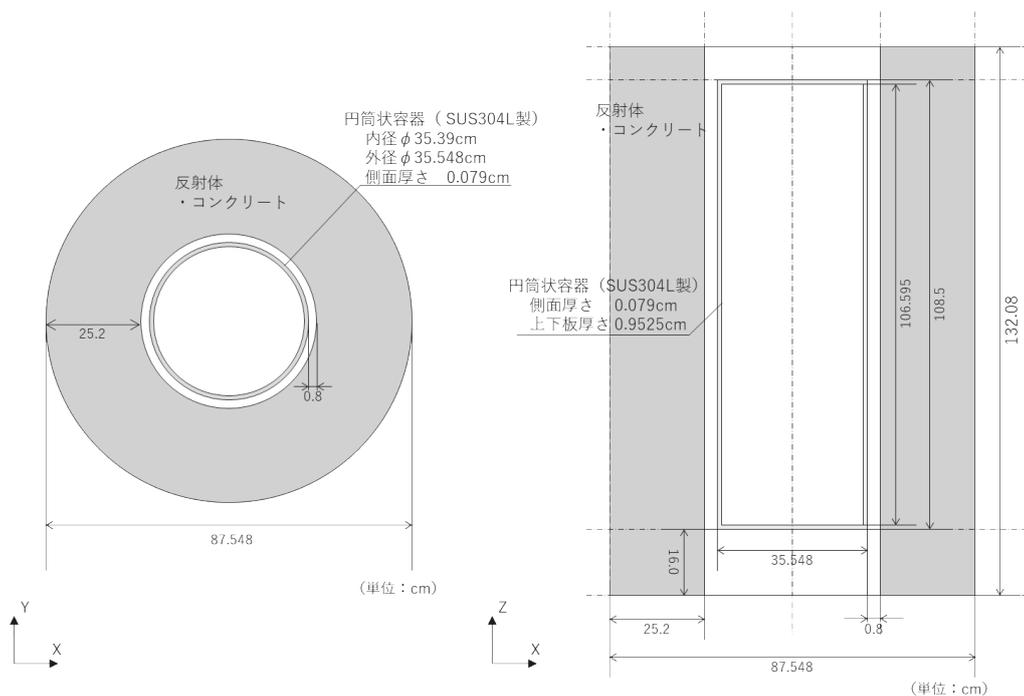


Fig. 3.3.2.6 環状コンクリート反射体 概要図 [PNL-6327]

※ 文献 [PNL-6327¹⁹⁾ FIGURE 2.6] より引用する。

※ 反射体内に配置される円筒状容器の高さは、文献 [PNL-6327¹⁹⁾ FIGURE 2.6] に示された値 (180.5cm) に変更する。

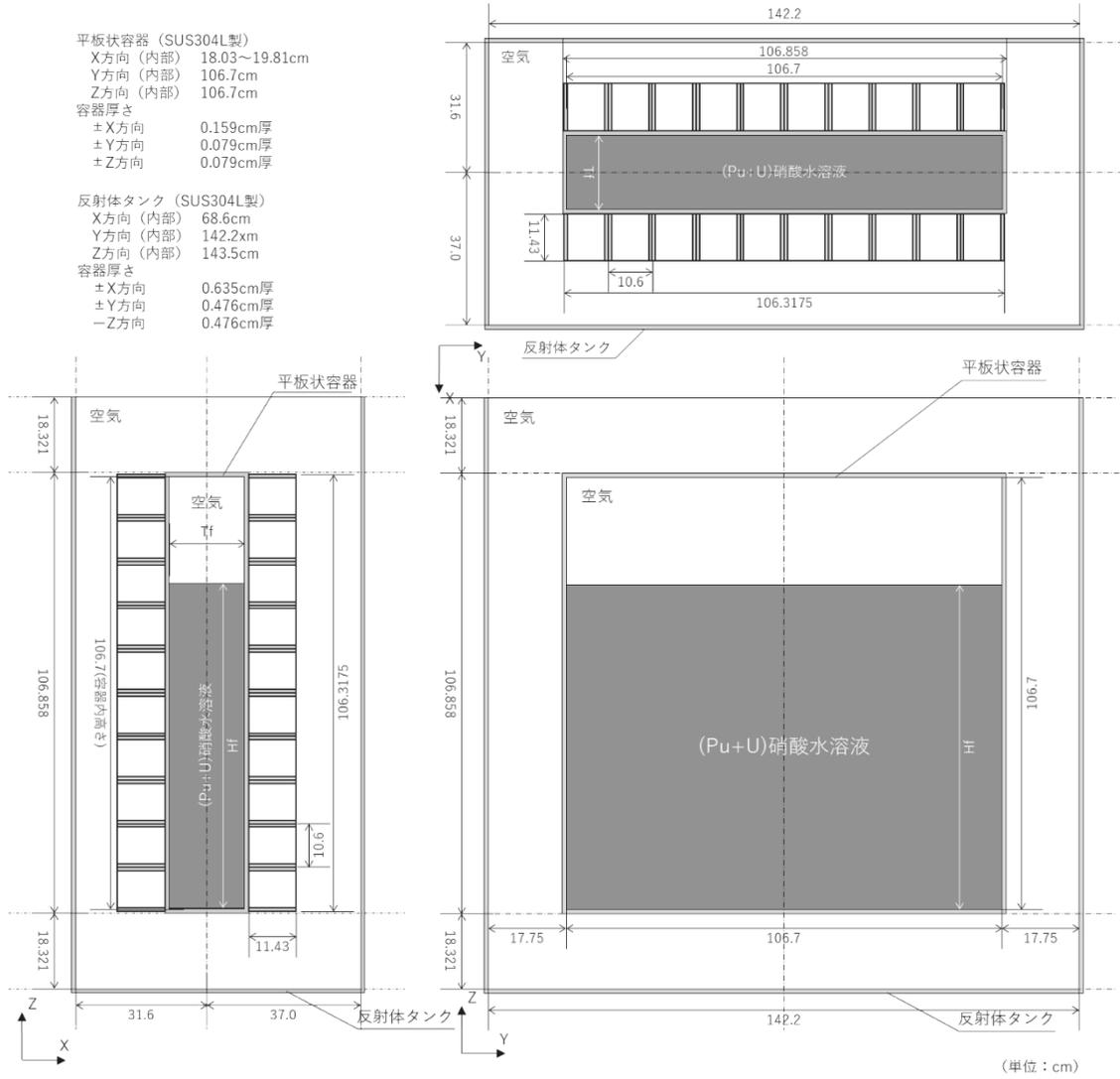


Fig. 3.3.2.7 平板状容器の計算モデル図 (反射体 : 無し) [pn16327_10、14、15]

※反射体 (水) を設置しない計算モデル。各寸法条件は、文献 [PNL-6327¹⁹⁾] より引用する。

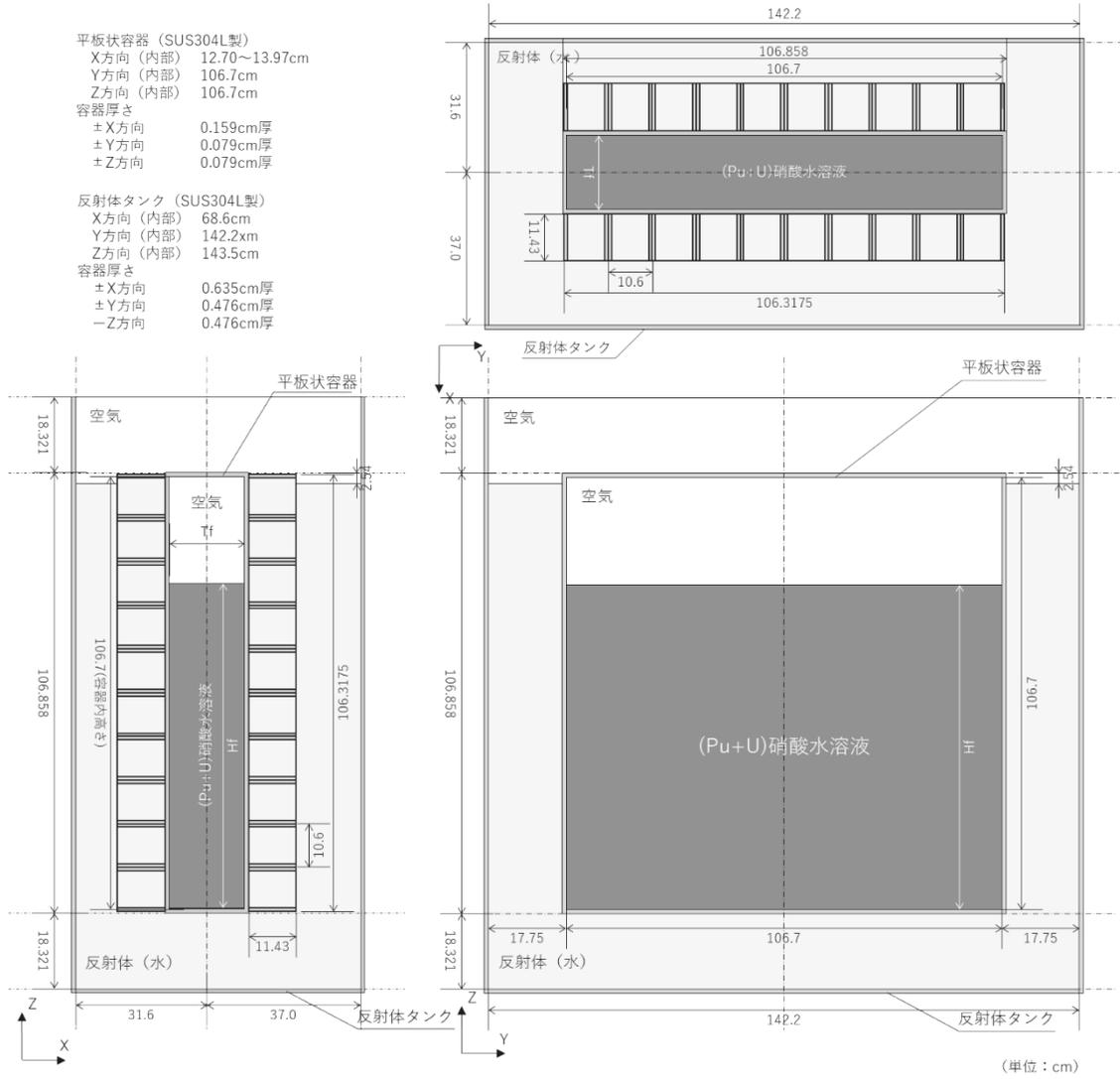


Fig. 3.3.2.8 平板状容器の計算モデル図 (反射体 : 水) [pnl6327_11、12、13、16]

※反射体 (水) を配置した計算モデル。各寸法条件は、文献 [PNL-6327¹⁹⁾] より引用する。

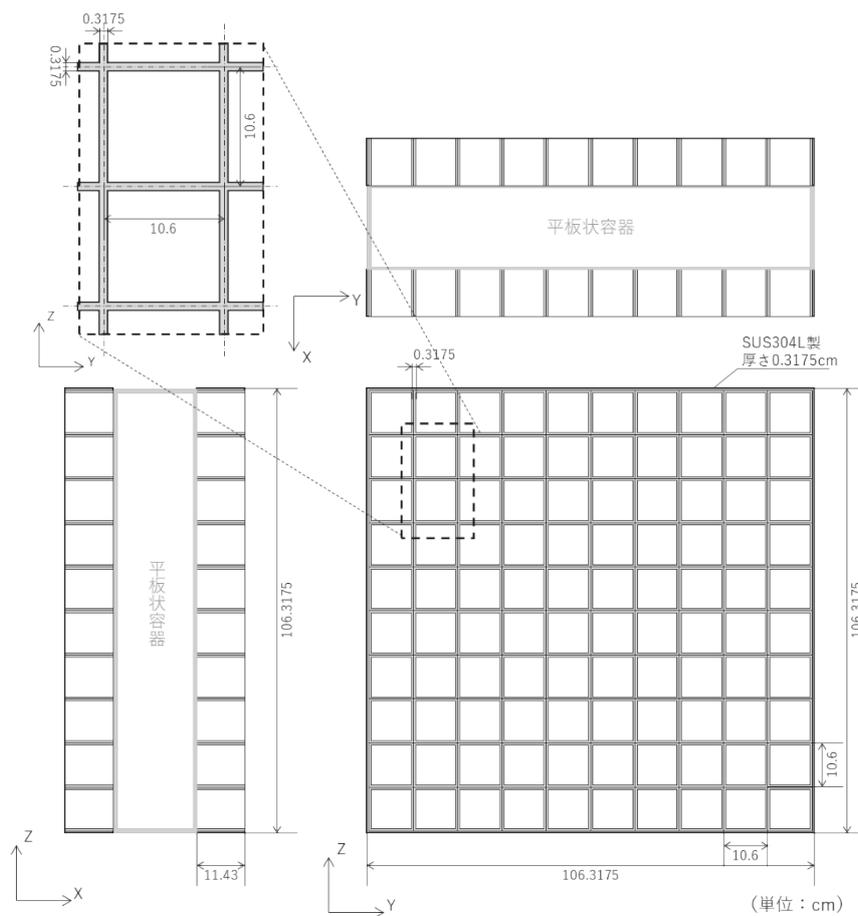


Fig. 3.3.2.9 平板状容器外側の格子状構造体 [PNL-6327]

※文献 [PNL-6327¹⁹⁾] より引用する。グリッド構造は、厚さ 0.3175cm のステンレス鋼板で構成され、格子状構造の平均中心間隔は、10.6cm である。

- (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物について

文献 [PNL-6327¹⁹⁾ APPENDIX D] に (Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物について記述があり、Table 3.3.2.9 に示す。これらの不純物は、Spark Source Mass Spectrographic analysis (SSMS 分析：火花源質量分析) で分析されている。

sample 1153 においては、Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy 分析 (ICP 分析：誘導結合プラズマ発光分光法) による分析結果が示されている (Table 3.3.2.10) が、他の計算ケースとの整合性を考え、本ベンチマーク計算では SSMS 分析による数値を採用する。

不純物の成分は、重量比 (ppm) で与えられているため、計算ケース毎に (Pu+U) 硝酸水溶液密度に乗算して、その原子個数密度を求めている。

Table 3.3.2.11 に各計算ケースにおける (Pu+U) 硝酸水溶液中不純物の原子個数密度を示す。

Table 3.3.2.9 (Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物 [PNL-6327] (SSMS 分析)

サンプル番号	sample 1153	sample 1161	sample 1166	sample 1170	sample 1174	sample 1177	sample 1184
分析時期	1986/3/12	1986/3/12	1986/4/15	1986/5/9	1986/5/9	1986/6/3	1986/7/1
実験番号	063~066	067	068~074	075~076	077	078	083
対応する 計算ケース	pnl6327_01、02 pnl6327_10、11	pnl6327_03	pnl6327_04~06 pnl6327_12~14	pnl6327_15、16	pnl6327_07	pnl6327_08	pnl6327_09
元素	重量比 (ppm)						
Ag	—	—	*	*	*	*	*
Li	20	*	7	10	10	70	0.2
Be	10	3	*	1	1	*	10
B	10	4	0.4	1	1	1	3
F	20	—	6	—	—	—	—
Na	300	300	300	100	30	30	30
Mg	200	70	—	10	10	7	10
Al	3000	3000	300	30	30	30	100
Si	80	80	80	10	10	30	80
P	10	300	1	10	3	10	100
S	90	100	30	—	—	—	—
Cl	10	20	1	—	—	—	—
K	40	100	10	10	4	10	10
Ca	500	200	100	1	1	200	200
Ti	100	400	10	40	40	50	100
V	—	1	1	—	—	0.1	1
Cr	1500	500	200	200	700	700	200
Mn	600	600	60	20	20	200	70
Fe	600	300	300	300	300	300	1000
Co	0.6	2	0.6	0.1	0.3	1	1
Ni	300	300	30	30	30	100	100
Cu	10	100	4	100	40	400	100
Zn	4	40	1	40	10	100	100
Ga	—	—	8	80	80	80	20
Ge	—	—	—	—	—	<4	40
As	—	—	—	—	—	<2	—
Sr	—	—	—	—	—	2	10
Y	—	—	—	—	—	<2	20
Zr	1	10	—	40	40	40	40
Nb	—	—	—	—	—	<2	2
Mo	—	2	—	1	1	2	90
Cd	—	10	—	4	4	<1	40
Sn	—	—	—	2	2	<6	10
Sb	—	—	—	—	—	—	40
Cs	—	—	—	—	—	<3	—
Ba	—	—	—	—	—	100	100
La	—	—	—	—	—	30	—
Ce	—	—	—	—	—	<3	—
Sm	—	—	—	—	—	<0.6	—
Eu	—	—	—	—	—	<0.6	—
Gd	—	—	—	—	—	<2	2
Dy	—	—	—	—	—	<2	—
Ta	—	—	—	—	—	<2	50
W	—	—	—	—	—	<2	—
Th	—	—	—	—	—	50	0
Pb	—	—	—	—	—	0.6	6
Tc	—	—	—	—	—	—	20

※ 文献 [PNL-6327¹⁹⁾ APPENDIX D] より引用する。

※ * interference

Table 3.3.2.10 (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物 [PNL-6327] (ICP 分析)

サンプル番号	sample 1153
実験番号	063~066
対応する計算ケース	pnl6327 01、02、10、11
元素	濃度 (mg/litre)
Al	33.8
B	0.6
Ba	2.6
Ca	24.3
Cd	2.7
Ce	0.9
Cr	28.0
Cu	5.2
Dy	0.3
Fe	72.7
Gd	<1
K	3.0
La	0.3
Li	0.2
Mg	6.6
Mn	5.6
Mo	0.5
Na	22.6
Nd	0.6
Ni	20.8
Rh	2.4
Ru	1.2
Si	28.6
Sr	0.1
Te	(a)
Ti	3.7
Zn	<1
Zr	0.4

※ 文献 [PNL-6327¹⁹⁾ APPENDIX D] より引用する。本ベンチマーク計算では未使用。

※ (a) Element not detected.

Table 3.3.2.11 (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物原子個数密度 [PNL-6327] [1/8]

計算ケース	pnl6327_01			pnl6327_02		
不純物 サンプル番号	sample 1153			sample 1153		
溶液密度 (g/cm ³)	1.1749			1.1750		
元素	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Li-6*	8.37417E-05	9.83881E-07	9.85029E-08	8.37417E-05	9.83965E-07	9.85113E-08
Li-7*	1.91626E-03	2.25141E-05	1.93248E-06	1.91626E-03	2.25160E-05	1.93265E-06
Be	0.001	1.17490E-05	7.85094E-07	0.001	1.17500E-05	7.85161E-07
B-10*	1.81952E-04	2.13775E-06	1.28572E-07	1.81952E-04	2.13794E-06	1.28583E-07
B-11*	8.18048E-04	9.61125E-06	5.25740E-07	8.18048E-04	9.61206E-06	5.25784E-07
F	0.002	2.34980E-05	7.44843E-07	0.002	2.35000E-05	7.44906E-07
Na	0.03	3.52470E-04	9.23291E-06	0.03	3.52500E-04	9.23369E-06
Mg	0.02	2.34980E-04	5.82202E-06	0.02	2.35000E-04	5.82251E-06
Al	0.3	3.52470E-03	7.86695E-05	0.3	3.52500E-03	7.86762E-05
Si	0.008	9.39920E-05	2.01543E-06	0.008	9.40000E-05	2.01560E-06
P	0.001	1.17490E-05	2.28432E-07	0.001	1.17500E-05	2.28452E-07
S	0.009	1.05741E-04	1.98590E-06	0.009	1.05750E-04	1.98607E-06
Cl	0.001	1.17490E-05	1.99576E-07	0.001	1.17500E-05	1.99593E-07
K	0.004	4.69960E-05	7.23859E-07	0.004	4.70000E-05	7.23921E-07
Ca	0.05	5.87450E-04	8.82705E-06	0.05	5.87500E-04	8.82780E-06
Ti	0.01	1.17490E-04	1.47815E-06	0.01	1.17500E-04	1.47827E-06
V	—	—	—	—	—	—
Cr	0.15	1.76235E-03	2.04114E-05	0.15	1.76250E-03	2.04131E-05
Mn	0.06	7.04940E-04	7.72734E-06	0.06	7.05000E-04	7.72800E-06
Fe	0.06	7.04940E-04	7.60182E-06	0.06	7.05000E-04	7.60247E-06
Co	0.00006	7.04940E-07	7.20349E-09	0.00006	7.05000E-07	7.20411E-09
Ni	0.03	3.52470E-04	3.61646E-06	0.03	3.52500E-04	3.61677E-06
Cu	0.001	1.17490E-05	1.11343E-07	0.001	1.17500E-05	1.11353E-07
Zn	0.0004	4.69960E-06	4.32894E-08	0.0004	4.70000E-06	4.32931E-08
Ga	—	—	—	—	—	—
Ge	—	—	—	—	—	—
As	—	—	—	—	—	—
Sr	—	—	—	—	—	—
Y	—	—	—	—	—	—
Zr	0.0001	1.17490E-06	7.75612E-09	0.0001	1.17500E-06	7.75678E-09
Nb	—	—	—	—	—	—
Mo	—	—	—	—	—	—
Cd	—	—	—	—	—	—
Sn	—	—	—	—	—	—
Sb	—	—	—	—	—	—
Cs	—	—	—	—	—	—
Ba	—	—	—	—	—	—
La	—	—	—	—	—	—
Ce	—	—	—	—	—	—
Sm	—	—	—	—	—	—
Eu	—	—	—	—	—	—
Gd	—	—	—	—	—	—
Dy	—	—	—	—	—	—
Ta-180	—	—	—	—	—	—
Ta-181	—	—	—	—	—	—
W	—	—	—	—	—	—
Th	—	—	—	—	—	—
Pb	—	—	—	—	—	—
Tc	—	—	—	—	—	—

※ B、Liの同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾より引用する(付録-1.3を参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11=19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7=4.85at% : 95.15at%)

Table 3.3.2.11 (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物原子個数密度 [PNL-6327] [2/8]

計算ケース	pnl6327_03			pnl6327_04		
不純物 サンプル番号	sample 1161			sample 1166		
溶液密度 (g/cm ³)	1.1747			1.4638		
元素	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Li-6*	—	—	—	2.93096E-05	4.29034E-07	4.29534E-08
Li-7*	—	—	—	6.70690E-04	9.81757E-06	8.42684E-07
Be	0.0003	3.52410E-06	2.35488E-07	—	—	—
B-10*	7.27808E-05	8.54956E-07	5.14202E-08	7.27808E-06	1.06537E-07	6.40749E-09
B-11*	3.27219E-04	3.84384E-06	2.10260E-07	3.27219E-05	4.78983E-07	2.62006E-08
F	—	—	—	0.0006	8.78280E-06	2.78398E-07
Na	0.03	3.52410E-04	9.23134E-06	0.03	4.39140E-04	1.15032E-05
Mg	0.007	8.22290E-05	2.03736E-06	—	—	—
Al	0.3	3.52410E-03	7.86561E-05	0.03	4.39140E-04	9.80138E-06
Si	0.008	9.39760E-05	2.01509E-06	0.008	1.17104E-04	2.51101E-06
P	0.03	3.52410E-04	6.85181E-06	0.0001	1.46380E-06	2.84602E-08
S	0.01	1.17470E-04	2.20618E-06	0.003	4.39140E-05	8.24739E-07
Cl	0.002	2.34940E-05	3.99085E-07	0.0001	1.46380E-06	2.48651E-08
K	0.01	1.17470E-04	1.80934E-06	0.001	1.46380E-05	2.25463E-07
Ca	0.02	2.34940E-04	3.53022E-06	0.01	1.46380E-04	2.19951E-06
Ti	0.04	4.69880E-04	5.91159E-06	0.001	1.46380E-05	1.84161E-07
V	0.0001	1.17470E-06	1.38869E-08	0.0001	1.46380E-06	1.73046E-08
Cr	0.05	5.87350E-04	6.80263E-06	0.02	2.92760E-04	3.39072E-06
Mn	0.06	7.04820E-04	7.72602E-06	0.006	8.78280E-05	9.62744E-07
Fe	0.03	3.52410E-04	3.80026E-06	0.03	4.39140E-04	4.73553E-06
Co	0.0002	2.34940E-06	2.40076E-08	0.00006	8.78280E-07	8.97478E-09
Ni	0.03	3.52410E-04	3.61585E-06	0.003	4.39140E-05	4.50573E-07
Cu	0.01	1.17470E-04	1.11324E-06	0.0004	5.85520E-06	5.54886E-08
Zn	0.004	4.69880E-05	4.32820E-07	0.0001	1.46380E-06	1.34835E-08
Ga	—	—	—	0.0008	1.17104E-05	1.01145E-07
Ge	—	—	—	—	—	—
As	—	—	—	—	—	—
Sr	—	—	—	—	—	—
Y	—	—	—	—	—	—
Zr	0.001	1.17470E-05	7.75480E-08	—	—	—
Nb	—	—	—	—	—	—
Mo	0.0002	2.34940E-06	1.47458E-08	—	—	—
Cd	0.001	1.17470E-05	6.29301E-08	—	—	—
Sn	—	—	—	—	—	—
Sb	—	—	—	—	—	—
Cs	—	—	—	—	—	—
Ba	—	—	—	—	—	—
La	—	—	—	—	—	—
Ce	—	—	—	—	—	—
Sm	—	—	—	—	—	—
Eu	—	—	—	—	—	—
Gd	—	—	—	—	—	—
Dy	—	—	—	—	—	—
Ta-180	—	—	—	—	—	—
Ta-181	—	—	—	—	—	—
W	—	—	—	—	—	—
Th	—	—	—	—	—	—
Pb	—	—	—	—	—	—
Tc	—	—	—	—	—	—

※ B、Liの同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾より引用する(付録-1.3を参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11=19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7=4.85at% : 95.15at%)

Table 3.3.2.11 (Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物原子個数密度 [PNL-6327] [3/8]

計算ケース	pnl6327_05			pnl6327_06		
不純物 サンプル番号	sample 1166			sample 1166		
溶液密度 (g/cm ³)	1.4645			1.4645		
元素	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Li-6*	2.93096E-05	4.29239E-07	4.29740E-08	2.93096E-05	4.29239E-07	4.29740E-08
Li-7*	6.70690E-04	9.82226E-06	8.43087E-07	6.70690E-04	9.82226E-06	8.43087E-07
Be	—	—	—	—	—	—
B-10*	7.27808E-06	1.06588E-07	6.41056E-09	7.27808E-06	1.06588E-07	6.41056E-09
B-11*	3.27219E-05	4.79212E-07	2.62131E-08	3.27219E-05	4.79212E-07	2.62131E-08
F	0.0006	8.78700E-06	2.78532E-07	0.0006	8.78700E-06	2.78532E-07
Na	0.03	4.39350E-04	1.15087E-05	0.03	4.39350E-04	1.15087E-05
Mg	—	—	—	—	—	—
Al	0.03	4.39350E-04	9.80607E-06	0.03	4.39350E-04	9.80607E-06
Si	0.008	1.17160E-04	2.51221E-06	0.008	1.17160E-04	2.51221E-06
P	0.0001	1.46450E-06	2.84739E-08	0.0001	1.46450E-06	2.84739E-08
S	0.003	4.39350E-05	8.25133E-07	0.003	4.39350E-05	8.25133E-07
Cl	0.0001	1.46450E-06	2.48770E-08	0.0001	1.46450E-06	2.48770E-08
K	0.001	1.46450E-05	2.25571E-07	0.001	1.46450E-05	2.25571E-07
Ca	0.01	1.46450E-04	2.20056E-06	0.01	1.46450E-04	2.20056E-06
Ti	0.001	1.46450E-05	1.84250E-07	0.001	1.46450E-05	1.84250E-07
V	0.0001	1.46450E-06	1.73129E-08	0.0001	1.46450E-06	1.73129E-08
Cr	0.02	2.92900E-04	3.39234E-06	0.02	2.92900E-04	3.39234E-06
Mn	0.006	8.78700E-05	9.63204E-07	0.006	8.78700E-05	9.63204E-07
Fe	0.03	4.39350E-04	4.73779E-06	0.03	4.39350E-04	4.73779E-06
Co	0.00006	8.78700E-07	8.97907E-09	0.00006	8.78700E-07	8.97907E-09
Ni	0.003	4.39350E-05	4.50788E-07	0.003	4.39350E-05	4.50788E-07
Cu	0.0004	5.85800E-06	5.55152E-08	0.0004	5.85800E-06	5.55152E-08
Zn	0.0001	1.46450E-06	1.34899E-08	0.0001	1.46450E-06	1.34899E-08
Ga	0.0008	1.17160E-05	1.01194E-07	0.0008	1.17160E-05	1.01194E-07
Ge	—	—	—	—	—	—
As	—	—	—	—	—	—
Sr	—	—	—	—	—	—
Y	—	—	—	—	—	—
Zr	—	—	—	—	—	—
Nb	—	—	—	—	—	—
Mo	—	—	—	—	—	—
Cd	—	—	—	—	—	—
Sn	—	—	—	—	—	—
Sb	—	—	—	—	—	—
Cs	—	—	—	—	—	—
Ba	—	—	—	—	—	—
La	—	—	—	—	—	—
Ce	—	—	—	—	—	—
Sm	—	—	—	—	—	—
Eu	—	—	—	—	—	—
Gd	—	—	—	—	—	—
Dy	—	—	—	—	—	—
Ta-180	—	—	—	—	—	—
Ta-181	—	—	—	—	—	—
W	—	—	—	—	—	—
Th	—	—	—	—	—	—
Pb	—	—	—	—	—	—
Tc	—	—	—	—	—	—

※ B、Li の同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-1.3 を参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

Table 3.3.2.11 (Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物原子個数密度 [PNL-6327] [4/8]

計算ケース	pnl6327 07			pnl6327 08		
不純物 サンプル番号	sample 1174			sample 1177		
溶液密度 (g/cm ³)	1.6706			1.6705		
元素	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Li-6*	4.18708E-05	6.99494E-07	7.00310E-08	2.93096E-04	4.89617E-06	4.90188E-07
Li-7*	9.58129E-04	1.60065E-05	1.37391E-06	6.70690E-03	1.12039E-04	9.61678E-06
Be	0.0001	1.67060E-06	1.11633E-07	—	—	—
B-10*	1.81952E-05	3.03969E-07	1.82818E-08	1.81952E-05	3.03951E-07	1.82807E-08
B-11*	8.18048E-05	1.36663E-06	7.47553E-08	8.18048E-05	1.36655E-06	7.47509E-08
F	—	—	—	—	—	—
Na	0.003	5.01180E-05	1.31283E-06	0.003	5.01150E-05	1.31276E-06
Mg	0.001	1.67060E-05	4.13919E-07	0.0007	1.16935E-05	2.89726E-07
Al	0.003	5.01180E-05	1.11861E-06	0.003	5.01150E-05	1.11854E-06
Si	0.001	1.67060E-05	3.58219E-07	0.003	5.01150E-05	1.07459E-06
P	0.0003	5.01180E-06	9.74430E-08	0.001	1.67050E-05	3.24791E-07
S	—	—	—	—	—	—
Cl	—	—	—	—	—	—
K	0.0004	6.68240E-06	1.02926E-07	0.001	1.67050E-05	2.57300E-07
Ca	0.0001	1.67060E-06	2.51025E-08	0.02	3.34100E-04	5.02020E-06
Ti	0.004	6.68240E-05	8.40716E-07	0.005	8.35250E-05	1.05083E-06
V	—	—	—	0.00001	1.67050E-07	1.97481E-09
Cr	0.07	1.16942E-03	1.35441E-05	0.07	1.16935E-03	1.35433E-05
Mn	0.002	3.34120E-05	3.66252E-07	0.02	3.34100E-04	3.66230E-06
Fe	0.03	5.01180E-04	5.40455E-06	0.03	5.01150E-04	5.40422E-06
Co	0.00003	5.01180E-07	5.12135E-09	0.0001	1.67050E-06	1.70702E-08
Ni	0.003	5.01180E-05	5.14228E-07	0.01	1.67050E-04	1.71399E-06
Cu	0.004	6.68240E-05	6.33279E-07	0.04	6.68200E-04	6.33241E-06
Zn	0.001	1.67060E-05	1.53884E-07	0.01	1.67050E-04	1.53875E-06
Ga	0.008	1.33648E-04	1.15435E-06	0.008	1.33640E-04	1.15428E-06
Ge	—	—	—	0.0004	6.68200E-06	5.54041E-08
As	—	—	—	0.0002	3.34100E-06	2.68547E-08
Sr	—	—	—	0.0002	3.34100E-06	2.29636E-08
Y	—	—	—	0.0002	3.34100E-06	2.26305E-08
Zr	0.004	6.68240E-05	4.41140E-07	0.004	6.68200E-05	4.41113E-07
Nb	—	—	—	0.0002	3.34100E-06	2.16562E-08
Mo	0.0001	1.67060E-06	1.04854E-08	0.0002	3.34100E-06	2.09695E-08
Cd	0.0004	6.68240E-06	3.57984E-08	0.0001	1.67050E-06	8.94907E-09
Sn	0.0002	3.34120E-06	1.69498E-08	0.0006	1.00230E-05	5.08465E-08
Sb	—	—	—	—	—	—
Cs	—	—	—	0.0003	5.01150E-06	2.27078E-08
Ba	—	—	—	0.01	1.67050E-04	7.32559E-07
La	—	—	—	0.003	5.01150E-05	2.17270E-07
Ce	—	—	—	0.0003	5.01150E-06	2.15393E-08
Sm	—	—	—	0.00006	1.00230E-06	4.01424E-09
Eu	—	—	—	0.00006	1.00230E-06	3.97198E-09
Gd	—	—	—	0.0002	3.34100E-06	1.27947E-08
Dy	—	—	—	0.0002	3.34100E-06	1.23816E-08
Ta-180*	—	—	—	2.38872E-08	3.99036E-10	1.33542E-12
Ta-181*	—	—	—	1.99976E-04	3.34060E-06	1.11179E-08
W	—	—	—	0.0002	3.34100E-06	1.09442E-08
Th	—	—	—	0.005	8.35250E-05	2.16775E-07
Pb	—	—	—	0.00006	1.00230E-06	2.91289E-09
Tc	—	—	—	—	—	—

※ B、Li および Ta の同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-1.3 を参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

③ Ta Ta-180 : 0.01194wt%、Ta-181 : 99.98806wt% (Ta-180 : Ta-181 = 0.01201at% : 99.98799at%)

Table 3.3.2.11 (Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物原子個数密度 [PNL-6327] [5/8]

計算ケース	pnl6327_09			pnl6327_10		
不純物 サンプル番号	sample 1184			sample 1153		
溶液密度 (g/cm ³)	1.6704			1.1725		
元素	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Li-6*	8.37417E-07	1.39882E-08	1.40045E-09	8.37417E-05	9.81871E-07	9.83017E-08
Li-7*	1.91626E-05	3.20092E-07	2.74749E-08	1.91626E-03	2.24681E-05	1.92854E-06
Be	0.001	1.67040E-05	1.11620E-06	0.001	1.17250E-05	7.83491E-07
B-10*	5.45856E-05	9.11798E-07	5.48388E-08	1.81952E-04	2.13339E-06	1.28310E-07
B-11*	2.45414E-04	4.09940E-06	2.24239E-07	8.18048E-04	9.59161E-06	5.24666E-07
F	—	—	—	0.002	2.34500E-05	7.43321E-07
Na	0.003	5.01120E-05	1.31268E-06	0.03	3.51750E-04	9.21405E-06
Mg	0.001	1.67040E-05	4.13869E-07	0.02	2.34500E-04	5.81013E-06
Al	0.01	1.67040E-04	3.72825E-06	0.3	3.51750E-03	7.85088E-05
Si	0.008	1.33632E-04	2.86541E-06	0.008	9.38000E-05	2.01131E-06
P	0.01	1.67040E-04	3.24771E-06	0.001	1.17250E-05	2.27966E-07
S	—	—	—	0.009	1.05525E-04	1.98184E-06
Cl	—	—	—	0.001	1.17250E-05	1.99169E-07
K	0.001	1.67040E-05	2.57284E-07	0.004	4.69000E-05	7.22380E-07
Ca	0.02	3.34080E-04	5.01990E-06	0.05	5.86250E-04	8.80902E-06
Ti	0.01	1.67040E-04	2.10154E-06	0.01	1.17250E-04	1.47513E-06
V	0.0001	1.67040E-06	1.97469E-08	—	—	—
Cr	0.02	3.34080E-04	3.86928E-06	0.15	1.75875E-03	2.03697E-05
Mn	0.007	1.16928E-04	1.28173E-06	0.06	7.03500E-04	7.71155E-06
Fe	0.1	1.67040E-03	1.80130E-05	0.06	7.03500E-04	7.58629E-06
Co	0.0001	1.67040E-06	1.70691E-08	0.00006	7.03500E-07	7.18878E-09
Ni	0.01	1.67040E-04	1.71389E-06	0.03	3.51750E-04	3.60908E-06
Cu	0.01	1.67040E-04	1.58301E-06	0.001	1.17250E-05	1.11116E-07
Zn	0.01	1.67040E-04	1.53865E-06	0.0004	4.69000E-06	4.32010E-08
Ga	0.002	3.34080E-05	2.88553E-07	—	—	—
Ge	0.004	6.68160E-05	5.54008E-07	—	—	—
As	—	—	—	—	—	—
Sr	0.001	1.67040E-05	1.14811E-07	—	—	—
Y	0.002	3.34080E-05	2.26292E-07	—	—	—
Zr	0.004	6.68160E-05	4.41087E-07	0.0001	1.17250E-06	7.74027E-09
Nb	0.0002	3.34080E-06	2.16549E-08	—	—	—
Mo	0.009	1.50336E-04	9.43571E-07	—	—	—
Cd	0.004	6.68160E-05	3.57941E-07	—	—	—
Sn	0.001	1.67040E-05	8.47391E-08	—	—	—
Sb	0.004	6.68160E-05	3.30467E-07	—	—	—
Cs	—	—	—	—	—	—
Ba	0.01	1.67040E-04	7.32515E-07	—	—	—
La	—	—	—	—	—	—
Ce	—	—	—	—	—	—
Sm	—	—	—	—	—	—
Eu	—	—	—	—	—	—
Gd	0.0002	3.34080E-06	1.27940E-08	—	—	—
Dy	—	—	—	—	—	—
Ta-180*	5.97180E-07	9.97529E-09	3.33834E-11	—	—	—
Ta-181*	4.99940E-03	8.35100E-05	2.77930E-07	—	—	—
W	—	—	—	—	—	—
Th	—	—	—	—	—	—
Pb	0.0006	1.00224E-05	2.91271E-08	—	—	—
Tc	0.002	3.34080E-05	2.05294E-07	—	—	—

※ B、LiおよびTaの同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾より引用する(付録-1.3を参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11=19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7=4.85at% : 95.15at%)

③ Ta Ta-180 : 0.01194wt%、Ta-181 : 99.98806wt% (Ta-180 : Ta-181=0.01201at% : 99.98799at%)

Table 3.3.2.11 (Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物原子個数密度 [PNL-6327] [6/8]

計算ケース	pnl6327_11			pnl6327_12		
不純物 サンプル番号	sample 1153			sample 1166		
溶液密度 (g/cm ³)	1.1752			1.4633		
元素	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Li-6*	8.37417E-05	9.84132E-07	9.85281E-08	2.93096E-05	4.28887E-07	4.29388E-08
Li-7*	1.91626E-03	2.25199E-05	1.93298E-06	6.70690E-04	9.81421E-06	8.42397E-07
Be	0.001	1.17520E-05	7.85295E-07	—	—	—
B-10*	1.81952E-04	2.13830E-06	1.28605E-07	7.27808E-06	1.06500E-07	6.40530E-09
B-11*	8.18048E-04	9.61370E-06	5.25874E-07	3.27219E-05	4.78820E-07	2.61917E-08
F	0.002	2.35040E-05	7.45033E-07	0.0006	8.77980E-06	2.78303E-07
Na	0.03	3.52560E-04	9.23526E-06	0.03	4.38990E-04	1.14993E-05
Mg	0.02	2.35040E-04	5.82351E-06	—	—	—
Al	0.3	3.52560E-03	7.86896E-05	0.03	4.38990E-04	9.79803E-06
Si	0.008	9.40160E-05	2.01594E-06	0.008	1.17064E-04	2.51015E-06
P	0.001	1.17520E-05	2.28491E-07	0.0001	1.46330E-06	2.84505E-08
S	0.009	1.05768E-04	1.98640E-06	0.003	4.38990E-05	8.24457E-07
Cl	0.001	1.17520E-05	1.99627E-07	0.0001	1.46330E-06	2.48566E-08
K	0.004	4.70080E-05	7.24044E-07	0.001	1.46330E-05	2.25386E-07
Ca	0.05	5.87600E-04	8.82930E-06	0.01	1.46330E-04	2.19876E-06
Ti	0.01	1.17520E-04	1.47853E-06	0.001	1.46330E-05	1.84099E-07
V	—	—	—	0.0001	1.46330E-06	1.72987E-08
Cr	0.15	1.76280E-03	2.04166E-05	0.02	2.92660E-04	3.38956E-06
Mn	0.06	7.05120E-04	7.72931E-06	0.006	8.77980E-05	9.62415E-07
Fe	0.06	7.05120E-04	7.60376E-06	0.03	4.38990E-04	4.73391E-06
Co	0.00006	7.05120E-07	7.20533E-09	0.00006	8.77980E-07	8.97172E-09
Ni	0.03	3.52560E-04	3.61739E-06	0.003	4.38990E-05	4.50419E-07
Cu	0.001	1.17520E-05	1.11372E-07	0.0004	5.85320E-06	5.54697E-08
Zn	0.0004	4.70080E-06	4.33005E-08	0.0001	1.46330E-06	1.34789E-08
Ga	—	—	—	0.0008	1.17064E-05	1.01111E-07
Ge	—	—	—	—	—	—
As	—	—	—	—	—	—
Sr	—	—	—	—	—	—
Y	—	—	—	—	—	—
Zr	0.0001	1.17520E-06	7.75810E-09	—	—	—
Nb	—	—	—	—	—	—
Mo	—	—	—	—	—	—
Cd	—	—	—	—	—	—
Sn	—	—	—	—	—	—
Sb	—	—	—	—	—	—
Cs	—	—	—	—	—	—
Ba	—	—	—	—	—	—
La	—	—	—	—	—	—
Ce	—	—	—	—	—	—
Sm	—	—	—	—	—	—
Eu	—	—	—	—	—	—
Gd	—	—	—	—	—	—
Dy	—	—	—	—	—	—
Ta-180	—	—	—	—	—	—
Ta-181	—	—	—	—	—	—
W	—	—	—	—	—	—
Th	—	—	—	—	—	—
Pb	—	—	—	—	—	—
Tc	—	—	—	—	—	—

※ B、Li の同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-1.3 を参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

Table 3.3.2.11 (Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物原子個数密度 [PNL-6327] [7/8]

計算ケース	pnl6327 13			pnl6327 14		
不純物 サンプル番号	sample 1166			sample 1166		
溶液密度 (g/cm ³)	1.4633			1.4637		
元素	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Li-6*	2.93096E-05	4.28887E-07	4.29388E-08	2.93096E-05	4.29004E-07	4.29505E-08
Li-7*	6.70690E-04	9.81421E-06	8.42397E-07	6.70690E-04	9.81690E-06	8.42627E-07
Be	—	—	—	—	—	—
B-10*	7.27808E-06	1.06500E-07	6.40530E-09	7.27808E-06	1.06529E-07	6.40706E-09
B-11*	3.27219E-05	4.78820E-07	2.61917E-08	3.27219E-05	4.78951E-07	2.61988E-08
F	0.0006	8.77980E-06	2.78303E-07	0.0006	8.78220E-06	2.78379E-07
Na	0.03	4.38990E-04	1.14993E-05	0.03	4.39110E-04	1.15024E-05
Mg	—	—	—	—	—	—
Al	0.03	4.38990E-04	9.79803E-06	0.03	4.39110E-04	9.80071E-06
Si	0.008	1.17064E-04	2.51015E-06	0.008	1.17096E-04	2.51084E-06
P	0.0001	1.46330E-06	2.84505E-08	0.0001	1.46370E-06	2.84583E-08
S	0.003	4.38990E-05	8.24457E-07	0.003	4.39110E-05	8.24682E-07
Cl	0.0001	1.46330E-06	2.48566E-08	0.0001	1.46370E-06	2.48634E-08
K	0.001	1.46330E-05	2.25386E-07	0.001	1.46370E-05	2.25447E-07
Ca	0.01	1.46330E-04	2.19876E-06	0.01	1.46370E-04	2.19936E-06
Ti	0.001	1.46330E-05	1.84099E-07	0.001	1.46370E-05	1.84149E-07
V	0.0001	1.46330E-06	1.72987E-08	0.0001	1.46370E-06	1.73034E-08
Cr	0.02	2.92660E-04	3.38956E-06	0.02	2.92740E-04	3.39049E-06
Mn	0.006	8.77980E-05	9.62415E-07	0.006	8.78220E-05	9.62678E-07
Fe	0.03	4.38990E-04	4.73391E-06	0.03	4.39110E-04	4.73521E-06
Co	0.00006	8.77980E-07	8.97172E-09	0.00006	8.78220E-07	8.97417E-09
Ni	0.003	4.38990E-05	4.50419E-07	0.003	4.39110E-05	4.50542E-07
Cu	0.0004	5.85320E-06	5.54697E-08	0.0004	5.85480E-06	5.54849E-08
Zn	0.0001	1.46330E-06	1.34789E-08	0.0001	1.46370E-06	1.34826E-08
Ga	0.0008	1.17064E-05	1.01111E-07	0.0008	1.17096E-05	1.01138E-07
Ge	—	—	—	—	—	—
As	—	—	—	—	—	—
Sr	—	—	—	—	—	—
Y	—	—	—	—	—	—
Zr	—	—	—	—	—	—
Nb	—	—	—	—	—	—
Mo	—	—	—	—	—	—
Cd	—	—	—	—	—	—
Sn	—	—	—	—	—	—
Sb	—	—	—	—	—	—
Cs	—	—	—	—	—	—
Ba	—	—	—	—	—	—
La	—	—	—	—	—	—
Ce	—	—	—	—	—	—
Sm	—	—	—	—	—	—
Eu	—	—	—	—	—	—
Gd	—	—	—	—	—	—
Dy	—	—	—	—	—	—
Ta-180	—	—	—	—	—	—
Ta-181	—	—	—	—	—	—
W	—	—	—	—	—	—
Th	—	—	—	—	—	—
Pb	—	—	—	—	—	—
Tc	—	—	—	—	—	—

※ B、Li の同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-1.3 を参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

Table 3.3.2.11 (Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物原子個数密度 [PNL-6327] [8/8]

計算ケース	pnl6327_15			pnl6327_16		
不純物 サンプル番号	sample 1170			sample 1170		
溶液密度 (g/cm ³)	1.6703			1.6699		
元素	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Li-6*	4.18708E-05	6.99369E-07	7.00185E-08	4.18708E-05	6.99201E-07	7.00017E-08
Li-7*	9.58129E-04	1.60036E-05	1.37366E-06	9.58129E-04	1.59998E-05	1.37333E-06
Be	0.0001	1.67030E-06	1.11613E-07	0.0001	1.66990E-06	1.11586E-07
B-10*	1.81952E-05	3.03915E-07	1.82785E-08	1.81952E-05	3.03842E-07	1.82741E-08
B-11*	8.18048E-05	1.36639E-06	7.47419E-08	8.18048E-05	1.36606E-06	7.47240E-08
F	—	—	—	—	—	—
Na	0.01	1.67030E-04	4.37533E-06	0.01	1.66990E-04	4.37428E-06
Mg	0.001	1.67030E-05	4.13845E-07	0.001	1.66990E-05	4.13745E-07
Al	0.003	5.01090E-05	1.11841E-06	0.003	5.00970E-05	1.11814E-06
Si	0.001	1.67030E-05	3.58155E-07	0.001	1.66990E-05	3.58069E-07
P	0.001	1.67030E-05	3.24752E-07	0.001	1.66990E-05	3.24674E-07
S	—	—	—	—	—	—
Cl	—	—	—	—	—	—
K	0.001	1.67030E-05	2.57269E-07	0.001	1.66990E-05	2.57207E-07
Ca	0.0001	1.67030E-06	2.50980E-08	0.0001	1.66990E-06	2.50920E-08
Ti	0.004	6.68120E-05	8.40565E-07	0.004	6.67960E-05	8.40364E-07
V	—	—	—	—	—	—
Cr	0.02	3.34060E-04	3.86905E-06	0.02	3.33980E-04	3.86812E-06
Mn	0.002	3.34060E-05	3.66186E-07	0.002	3.33980E-05	3.66099E-07
Fe	0.03	5.01090E-04	5.40358E-06	0.03	5.00970E-04	5.40228E-06
Co	0.00001	1.67030E-07	1.70681E-09	0.00001	1.66990E-07	1.70640E-09
Ni	0.003	5.01090E-05	5.14136E-07	0.003	5.00970E-05	5.14013E-07
Cu	0.01	1.67030E-04	1.58291E-06	0.01	1.66990E-04	1.58253E-06
Zn	0.004	6.68120E-05	6.15425E-07	0.004	6.67960E-05	6.15278E-07
Ga	0.008	1.33624E-04	1.15414E-06	0.008	1.33592E-04	1.15386E-06
Ge	—	—	—	—	—	—
As	—	—	—	—	—	—
Sr	—	—	—	—	—	—
Y	—	—	—	—	—	—
Zr	0.004	6.68120E-05	4.41060E-07	0.004	6.67960E-05	4.40955E-07
Nb	—	—	—	—	—	—
Mo	0.0001	1.67030E-06	1.04835E-08	0.0001	1.66990E-06	1.04810E-08
Cd	0.0004	6.68120E-06	3.57920E-08	0.0004	6.67960E-06	3.57834E-08
Sn	0.0002	3.34060E-06	1.69468E-08	0.0002	3.33980E-06	1.69427E-08
Sb	—	—	—	—	—	—
Cs	—	—	—	—	—	—
Ba	—	—	—	—	—	—
La	—	—	—	—	—	—
Ce	—	—	—	—	—	—
Sm	—	—	—	—	—	—
Eu	—	—	—	—	—	—
Gd	—	—	—	—	—	—
Dy	—	—	—	—	—	—
Ta-180	—	—	—	—	—	—
Ta-181	—	—	—	—	—	—
W	—	—	—	—	—	—
Th	—	—	—	—	—	—
Pb	—	—	—	—	—	—
Tc	—	—	—	—	—	—

※ B、Li の同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-1.3 を参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11=19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7=4.85at% : 95.15at%)

• 反射体（水）の不純物について

反射体に水を設定しているケース（pnl6327_02、05、08、11、12、13、16）において、水に含まれる不純物の分析結果が文献 [PNL-6327¹⁹] APPENDIX E] に記されている（Table 3.3.2.12 参照）。本ベンチマーク計算では、該当する計算ケースにおいて、実験時の反射体温度の密度の水に不純物の原子個数密度を合わせて入力し、その影響を考慮する。

Table 3.3.2.13 に反射体（水）と不純物の原子個数密度を示す。

Table 3.3.2.12 反射体（水）中の不純物 [PNL-6327]

実験番号		064	066	069	071、072	076	078
対応計算ケース		pnl6327_11	pnc0007_02	pnl6327_05	pnl6327_12 pnl6327_13	pnl6327_016	pnl6327_08
		(mg/litre)					
Total alkalinity		54.7	55.2	56.6	52.8	43.5	42.1
HCO ₃ Alkalinity	HCO ₃	52	52	56	50	42.5	41
CO ₃ Alkalinity	CO ₃	<0.5	<0.5	<0.5	0.6	<0.5	<0.5
Total dissolved solids		88	86	91	70	104	93
Sulfate	SO ₄	17.2	17.3	16	15	13.8	14.6
Nitrate as N	NO ₃	0.1	0.12	0.41	0.36	<0.05	<0.05
Chloride	Cl	2	3.4	2.4	2.7	3.1	2.5
Fluoride	F	0.1	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1
Cadmium	Cd	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Copper	Cu	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Chromium	Cr	<0.005	<0.005	0.013	<0.005	<0.005	<0.005
Iron	Fe	0.08	0.26	0.07	0.38	0.11	0.31
Lead	Pb	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.05	<0.05
Manganese	Mn	<0.01	<0.01	0.014	0.012	0.01	0.02
Zinc	Zn	0.26	0.66	0.74	0.54	0.53	0.4

※ 文献 [PNL-6327¹⁹] APPENDIX E] より引用する。

Table 3.3.2.13 反射体（水）と不純物の原子個数密度 [PNL-6327] [1/2]

ケース番号		pnl6327 02		pnl6327 05	
実験番号		066		069	
水	水密度 (g/cm ³)	0.9993 (13.6°C)		0.99848 (18.6°C)	
	H	1.1182E-01	6.68090E-02	1.1173E-01	6.67542E-02
	O	8.8748E-01	3.34045E-02	8.8675E-01	3.33771E-02
不純物	元素	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
	H	8.5902E-07	5.13222E-07	9.2510E-07	5.52701E-07
	C	1.0336E-05	5.18240E-07	1.1123E-05	5.57718E-07
	O	5.3242E-05	2.00401E-06	5.6516E-05	2.12725E-06
	S	5.7747E-06	1.08453E-07	5.3407E-06	1.00303E-07
	N	1.2000E-07	5.15931E-09	4.1000E-07	1.76276E-08
	Cl	3.4000E-06	5.77547E-08	2.4000E-06	4.07680E-08
	F	1.5000E-07	4.75472E-09	1.0000E-07	3.16981E-09
	Cd	5.0000E-10	2.67856E-12	5.0000E-10	2.67856E-12
	Cu	5.0000E-08	4.73841E-10	5.0000E-08	4.73841E-10
	Cr	5.0000E-09	5.79095E-11	1.3000E-08	1.50565E-10
	Fe	2.6000E-07	2.80375E-09	7.0000E-08	7.54855E-10
	Pb	5.0000E-09	1.45310E-11	5.0000E-09	1.45310E-11
	Mn	1.0000E-08	1.09617E-10	1.4000E-08	1.53464E-10
	Zn	6.6000E-07	6.07946E-09	7.4000E-07	6.81636E-09

ケース番号		pnl6327 08		pnl6327 11	
実験番号		078		064	
水	水密度 (g/cm ³)	0.99829 (19.6°C)		0.99874 (17.2°C)	
	H	1.1171E-01	6.67415E-02	1.1176E-01	6.67715E-02
	O	8.8658E-01	3.33707E-02	8.8698E-01	3.33858E-02
不純物	元素	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
	H	6.7730E-07	4.04656E-07	8.5902E-07	5.13222E-07
	C	8.1706E-06	4.09674E-07	1.0336E-05	5.18240E-07
	O	4.2550E-05	1.60158E-06	5.3107E-05	1.99892E-06
	S	4.8734E-06	9.15267E-08	5.7413E-06	1.07826E-07
	N	5.0000E-08	2.14971E-09	1.0000E-07	4.29942E-09
	Cl	2.5000E-06	4.24667E-08	2.0000E-06	3.39734E-08
	F	1.0000E-07	3.16981E-09	1.0000E-07	3.16981E-09
	Cd	5.0000E-10	2.67856E-12	5.0000E-10	2.67856E-12
	Cu	5.0000E-08	4.73841E-10	5.0000E-08	4.73841E-10
	Cr	5.0000E-09	5.79095E-11	5.0000E-09	5.79095E-11
	Fe	3.1000E-07	3.34293E-09	8.0000E-08	8.62691E-10
	Pb	5.0000E-08	1.45310E-10	5.0000E-09	1.45310E-11
	Mn	2.0000E-08	2.19234E-10	1.0000E-08	1.09617E-10
	Zn	4.0000E-07	3.68452E-09	2.6000E-07	2.39494E-09

※HおよびOについては、水の原子個数密度に不純物の原子個数密度を加えて入力する。

Table 3.3.2.13 反射体（水）と不純物の原子個数密度 [PNL-6327] [2/2]

ケース番号		pnl6327 12		pnl6327 13	
実験番号		071		072	
水	水密度 (g/cm ³)	0.99775 (22.1°C)		0.99761 (22.7°C)	
	H	1.1165E-01	6.67054E-02	1.1163E-01	6.66960E-02
	O	8.8610E-01	3.33527E-02	8.8598E-01	3.33480E-02
不純物	元素	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
	H	8.2598E-07	4.93483E-07	8.2598E-07	4.93483E-07
	C	9.9622E-06	4.99504E-07	9.9622E-06	4.99504E-07
	O	5.1039E-05	1.92108E-06	5.1039E-05	1.92108E-06
	S	5.0069E-06	9.40343E-08	5.0069E-06	9.40343E-08
	N	3.6000E-07	1.54779E-08	3.6000E-07	1.54779E-08
	Cl	2.7000E-06	4.58640E-08	2.7000E-06	4.58640E-08
	F	1.0000E-07	3.16981E-09	1.0000E-07	3.16981E-09
	Cd	5.0000E-10	2.67856E-12	5.0000E-10	2.67856E-12
	Cu	5.0000E-08	4.73841E-10	5.0000E-08	4.73841E-10
	Cr	5.0000E-09	5.79095E-11	5.0000E-09	5.79095E-11
	Fe	3.8000E-07	4.09778E-09	3.8000E-07	4.09778E-09
	Pb	5.0000E-09	1.45310E-11	5.0000E-09	1.45310E-11
	Mn	1.2000E-08	1.31540E-10	1.2000E-08	1.31540E-10
Zn	5.4000E-07	4.97410E-09	5.4000E-07	4.97410E-09	

ケース番号		pnl6327 16	
実験番号		076	
水	水密度 (g/cm ³)	0.99784 (21.7°C)	
	H	1.1166E-01	6.67114E-02
	O	8.8618E-01	3.33557E-02
不純物	元素	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
	H	7.0208E-07	4.19460E-07
	C	8.4658E-06	4.24478E-07
	O	4.3197E-05	1.62593E-06
	S	4.6064E-06	8.65115E-08
	N	5.0000E-08	2.14971E-09
	Cl	3.1000E-06	5.26587E-08
	F	1.0000E-07	3.16981E-09
	Cd	5.0000E-10	2.67856E-12
	Cu	5.0000E-08	4.73841E-10
	Cr	5.0000E-09	5.79095E-11
	Fe	1.1000E-07	1.18620E-09
	Pb	5.0000E-08	1.45310E-10
	Mn	1.0000E-08	1.09617E-10
Zn	5.3000E-07	4.88199E-09	

※HおよびOについては、水の原子個数密度に不純物の原子個数密度を加えて入力する。

3.3.3 PNL-6451

本実験は、外径 53.34cm、内径 25.4cm の円環状容器を使用して実施された。

円環状容器内に (Pu+U) 硝酸水溶液を充填し、その硝酸水溶液を逐次増加させて臨界水位を測定している。

本ベンチマーク計算では、実施された 14 ケースの実験のうち、臨界が達成された 13 ケースを計算対象とする。

Table 3.3.3.1 に臨界実験データを示す (pnl6451_01~13)。

Table 3.3.3.2 に円筒状容器 (ボトル) 内の硝酸水溶液 (B-2、B-3) の臨界実験データを示す。

円環状容器の内側の空間には、実験条件に合わせて、(Pu+U) 硝酸水溶液が充填された円筒状容器 (ボトル) や、中性子吸収材 (環状コンクリート、円環状カドミウム被覆ポリエチレン、円筒状カドミウム被覆ポリエチレン) が配置される。これらの実験設備 (円環状容器) は、反射体 (水) が満たされた反射体タンク内の右側に設置されている。タンク内は、円環状容器頭頂部より 24.1cm、あるいは 1.9cm 下の高さまで反射体 (水) が満たされている。また、反射体タンク中には、円環形状容器に並列して、直径 35.548cm、高さ 108.505cm の円筒形容器が左側に設置されている。

Fig. 3.3.3.1 に環状コンクリートを設置した計算モデル図を示す (pnl6451_01、02)。

Fig. 3.3.3.2 に環状コンクリートと円筒状容器 (ボトル) を設置した場合の計算モデル図を示す (pnl6451_03~05、07~10)。

Fig. 3.3.3.3 に円筒状容器 (ボトル) を設置した場合の計算モデル図を示す (pnl6451_06)。

Fig. 3.3.3.4 に円環状カドミウム被覆ポリエチレンと円筒状容器 (ボトル) を設置した計算モデル図を示す (pnl6451_11)。

Fig. 3.3.3.5 にカドミウム被覆ポリエチレンを設置した計算モデル図を示す (pnl6451_13)。

Fig. 3.3.3.6 に環状コンクリートと円筒状容器 (ボトル) を設置した計算モデル図を示す (pnl6451_13)。

Fig. 3.3.3.7 に円環状容器、円筒状容器 (ボトル) の概要図を示す。

Fig. 3.3.3.8 に中性子吸収材 (環状コンクリート、円環状カドミウムポリエチレン、円筒状カドミウム被覆ポリエチレン) の概要図を示す。

Fig. 3.3.3.9 に円筒状容器 (外径 35.548cm) の概要図を示す。

計算モデルでは、円筒状容器とその内部の (Pu+U) 硝酸水溶液、中性子吸収材 (円環状コンクリート、円筒ポリエチレン、円環状ポリエチレン)、円環状容器とその内部の (Pu+U) 硝酸水溶液および水反射体と反射体タンク外壁までとする。反射体タンクの外側境界条件は、真空に設定する。

Table 3.3.3.3 に実験体系の各領域の温度を示す。

Table 3.3.3.4 に Pu および U の同位体の組成比を示す。

Table 3.3.3.5 に (Pu+U) 硝酸水溶液の Am-241 濃度を示す。

Table 3.3.3.6 に (Pu+U) 硝酸水溶液の原子個数密度を示す。

Table 3.3.3.7 に中性子吸収材として用いられたコンクリートの原子個数密度を示す。

Table 3.3.3.8 に計算に用いた物質の原子個数密度を示す。

Table 3.3.3.9 に空气中水分の H および O の原子個数密度を示す。

Table 3.3.3.10 に分析時期と実験時期を示す。

Table 3.3.3.11、Table 3.3.3.12 に補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度を示す。

Pu-241 の放射性壊変 (β 崩壊) により、Pu-241 および Am-241 の原子個数密度は、時間の経過とともに Pu-241 は減じ Am-241 は増加する。このため、分析時期と実験時期との期間を考慮して、Pu-241、Am-241 の原子個数密度を補正する (付録-3 を参照)。

Table 3.3.3.1 臨界実験データおよび計算ケース [PNL-6451]

計算 ケース	実験 番号	中性子 吸収材 ^{※2}	ボトル内 溶液 ^{※3}	臨界 水位 Hf (cm)	(Pu+U) 硝酸水溶液				
					Pu 濃度 (gPu/litre)	U 濃度 (gU/litre)	酸性度 (mol/litre)	溶液密度 (g/cm ³)	Am-241 濃度 ($\mu\text{g}^{241}\text{Am/ml}$)
pnl6451 01	087	Part26	—	48.55	102.19	365.20	0.77	1.6803	561
pnl6451 02	087S	Part26	—	48.99	102.69	364.88	0.77	1.6780	561
pnl6451 03	091	Part24	B-2	27.67	103.37	363.66	0.78	1.6776	561
pnl6451 04	092	Part25	B-2	37.19	106.30	373.33	0.65	1.6953	595
pnl6451 05	093	Part27	B-2	51.10	107.91	379.55	0.66	1.7034	595
pnl6451 06	094	—	B-2	32.86	108.27	380.41	0.62	1.7040	595
pnl6451 07	095	Part26	B-3	27.51	195.61	6.5	3.28	1.4390	919
pnl6451 08	096	Part26	B-3	25.69	110.13	3.8	1.95	1.2598	517.4 ^{※4}
pnl6451 09	097	Part26	B-3	28.94	58.30	2.3	1.14	1.1467	300
pnl6451 10	098	Part26	B-2	39.58	72.74	247.33	0.53	1.4739	406
pnl6451 11	099	Part29	B-2	79.18	73.64	250.30	0.52	1.4788	406
pnl6451 12	100	Part28	—	104.62	74.25	251.64	0.53	1.4828	406
pnl6451 13	108	Part26	B-2	45.09	47.08	161.72	0.52	1.3134	265

※1 文献 [PNL-6451²⁰] TABLE 3.1、TABLE 3.3] より引用する。

※2 中性子吸収材として用いられた物質を以下に示す。詳細は、Table 3.3.3.19、付録-2.2.14 を参照。

- ① Part24：環状コンクリート 0wt%B₄C
- ② Part25：環状コンクリート 1wt%B₄C
- ③ Part26：環状コンクリート 2wt%B₄C
- ④ Part27：環状コンクリート 6wt%B₄C
- ⑤ Part28：カドミウム被覆ポリエチレン
- ⑥ Part29：円環状カドミウム被覆ポリエチレン

※3 円筒状容器 (ボトル) に充填された (Pu+U) 硝酸水溶液については、Table 3.3.3.2 に示す。

※4 実験番号 096 の硝酸水溶液中の Am-241 濃度は、実験番号 095 に用いられる sample1209 の濃度 919 $\mu\text{g/ml}$ に Pu 量の比で修正した値を採用する。

Table 3.3.3.2 円筒状容器内の (Pu+U) 硝酸水溶液の臨界実験データ [PNL-6451]

名称	(Pu+U) 硝酸水溶液高さ Hif (cm)	(Pu+U) 硝酸水溶液				
		Pu 濃度 (gPu/litre)	U 濃度 (gU/litre)	酸性度 (mol/litre)	溶液密度 (g/cm ³)	Am-241 濃度 ($\mu\text{g}^{241}\text{Am/ml}$)
B-2	59.4	103.36	363.30	0.77	1.6777	553
B-3	36.8	194.92	5.1	3.31	1.4362	919

※ 文献 [PNL-6451²⁰] TABLE 3.1、TABLE 3.3] より引用する。

Table 3.3.3.3 各計算ケースにおける設定温度と空气中水分量 [PNL-6451]

計算ケース	実験番号	温度 (°C) ※1			空气中水分量※2 (g/cm ³)	反射体水密度※3 (g/cm ³)
		燃料領域	反射体	室温		
pnl6451_01	087	28.4	21.4	22.8	2.03433E-05	0.99790
pnl6451_02	087S	28.5	23.2	25.8	2.41050E-05	0.99749
pnl6451_03	091	27.6	23.8	23.2	2.08136E-05	0.99734
pnl6451_04	092	30.38	22.7	25.2	2.33083E-05	0.99761
pnl6451_05	093	30.53	23.9	25.9	2.42401E-05	0.99732
pnl6451_06	094	32.09	23.2	25.3	2.34395E-05	0.99749
pnl6451_07	095	30.33	21.9	26.8	2.54850E-05	0.99779
pnl6451_08	096	27.97	25.1	24.6	2.25342E-05	0.99702
pnl6451_09	097	27.19	25.5	25.2	2.33083E-05	0.99691
pnl6451_10	098	28.38	25.6	26.1	2.45121E-05	0.99689
pnl6451_11	099	28.86	21.4	26.2	2.46491E-05	0.99790
pnl6451_12	100	29.57	23.6	27.4	2.63451E-05	0.99739
pnl6451_13	108	23.57	22.5	23.5	2.11725E-05	0.99765

※1 文献 [PNL-6451²⁰] TABLE 3.5] より引用する。

※2 空气中水分量は、室温における飽和水蒸気量とする (付録-2.2.17 を参照)。

※3 反射体水密度は、反射体温度における密度を設定する (付録-2.2.16 を参照)。

Table 3.3.3.4 各計算ケースにおける Pu、U 同位体元素の重量比 [PNL-6451]

計算ケース	pnl6451_01 pnl6451_02	pnl6451_03 B-2	pnl6451_04 pnl6451_05 pnl6451_06	pnl6451_07 pnl6451_08 pnl6451_09 B-3	pnl6451_10 pnl6451_11 pnl6451_12	pnl6451_13	
実験番号	087 087S	091	092 093 094	095 096 097	098 099 100	108	
サンプル番号	sample 1188	sample 1194	sample 1202	sample 1209	sample 1214	sample 1232	
Pu 分析時期	1986/7/10	1986/7/23	1987/7/7	1987/8/12	1987/8/27	1987/12/14	
U 分析時期	1986/7/8	1986/7/28	1987/7/8	1987/8/13	1987/8/28	1987/12/14	
元素	同位体	重量比 (wt%)					
Pu	Pu-238	0.029±0.001	0.028±0.002	0.025±0.002	0.027±0.002	0.031±0.003	0.046±0.005
	Pu-239	91.12±0.05	91.13±0.04	91.12±0.04	91.57±0.04	91.10±0.04	91.11±0.04
	Pu-240	8.30±0.05	8.31±0.04	8.34±0.04	7.94±0.04	8.35±0.04	8.33±0.04
	Pu-241	0.449±0.004	0.445±0.004	0.425±0.008	0.393±0.006	0.426±0.006	0.419±0.02
	Pu-242	0.094±0.001	0.092±0.001	0.089±0.002	0.068±0.001	0.095±0.002	0.095±0.001
U	U-234	0.007±0.001	0.007±0.001	0.007±0.002	0.138±0.004	0.008±0.001	0.008±0.001
	U-235	0.710±0.006	0.705±0.006	0.698±0.005	2.292±0.010	0.702±0.004	0.705±0.008
	U-236	0.053±0.002	0.052±0.002	0.052±0.002	0.467±0.008	0.053±0.002	0.053±0.005
	U-238	99.229±0.007	99.235±0.007	99.242±0.006	97.103±0.010	99.238±0.005	99.234±0.008

※ 文献 [PNL-6451²⁰] TABLE 3.4] より引用する。

Table 3.3.3.5 各計算ケースにおける (Pu+U) 硝酸水溶液中の Am-241 濃度 [PNL-6451]

計算ケース	pnl6451_03 pnl6451_04 pnl6451_05 pnl6451_06 pnl6451_10 pnl6451_11 pnl6451_13	pnl6451_01 pnl6451_02 pnl6451_03	pnl6451_04 pnl6451_05 pnl6451_06	pnl6451_07 pnl6451_08	pnl6451_09	pnl6451_10 pnl6451_11 pnl6451_12	pnl6451_13
実験番号	B-2	087 087S 091	092 093 094	095 096※2 B-3	097	098 099 100	108
サンプル番号	sample 1195	sample 1197	sample 1202	sample 1209	sample 1212	sample 1214	sample 1232
Am 分析時期	1986/8/22	1986/8/22	1987/7/8	1987/8/13	1987/8/13	1987/8/27	1987/12/16
Am-241 濃度※1 (µg/ml)	553	561	595	919 (517.4) ※2	300	406	265

※1 文献 [PNL-6451²⁰] TABLE 3.3] より引用する。

※2 実験番号 096 においては、実験番号 095 との Pu 量の比 (110.13/195.61) で修正した値を採用する。

Table 3.3.3.6 (Pu+U) 硝酸水溶液の原子個数密度 [PNL-6451] [1/2]

物質名	元素名	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)		
			pnl6451_01 (1.6803) ^{※1}	pnl6451_02 (1.6780) ^{※1}	pnl6451_03 (1.6776) ^{※1}
(Pu+U) 硝酸 水溶液	Pu-238	238.0495614	7.49764E-08	7.53433E-08	7.32174E-08
	Pu-239	239.0521648	2.34593E-04	2.35741E-04	2.37297E-04
	Pu-240	240.0538150	2.12796E-05	2.13837E-05	2.15485E-05
	Pu-241 ^{※2}	241.0568529	1.14940E-06	1.15395E-06	1.14927E-06
	Pu-242	242.0587440	2.39002E-07	2.40171E-07	2.36587E-07
	Am-241 ^{※2}	241.0568306	1.39195E-06	1.39298E-06	1.39680E-06
	U-234	234.0409504	6.57797E-08	6.57221E-08	6.55024E-08
	U-235	235.0439282	6.64348E-06	6.63765E-06	6.56887E-06
	U-236	236.0455695	4.93817E-07	4.93384E-07	4.82457E-07
	U-238	238.0507870	9.16759E-04	9.15955E-04	9.12948E-04
	H	1.0079709	5.51843E-02	5.49979E-02	5.49774E-02
	N	14.0068578	3.34096E-03	3.34438E-03	3.35107E-03
	O	15.9993744	3.92311E-02	3.91465E-02	3.91472E-02
	不純物 ^{※3}			Table 3.3.3.15 参照	Table 3.3.3.15 参照

物質名	元素名	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)		
			pnl6451_04 (1.6953) ^{※1}	pnl6451_05 (1.7034) ^{※1}	pnl6451_06 (1.7040) ^{※1}
(Pu+U) 硝酸 水溶液	Pu-238	238.0495614	6.72297E-08	6.82479E-08	6.84756E-08
	Pu-239	239.0521648	2.44011E-04	2.47707E-04	2.48533E-04
	Pu-240	240.0538150	2.22406E-05	2.25774E-05	2.26527E-05
	Pu-241 ^{※2}	241.0568529	1.13149E-06	1.14741E-06	1.14941E-06
	Pu-242	242.0587440	2.35374E-07	2.38939E-07	2.39736E-07
	Am-241 ^{※2}	241.0568306	1.48345E-06	1.48462E-06	1.48644E-06
	U-234	234.0409504	6.72441E-08	6.83645E-08	6.85194E-08
	U-235	235.0439282	6.67659E-06	6.78782E-06	6.80320E-06
	U-236	236.0455695	4.95286E-07	5.03537E-07	5.04678E-07
	U-238	238.0507870	9.37290E-04	9.52906E-04	9.55065E-04
	H	1.0079709	5.51586E-02	5.47564E-02	5.47967E-02
	N	14.0068578	3.35123E-03	3.40494E-03	3.38883E-03
	O	15.9993744	3.93263E-02	3.93148E-02	3.93030E-02
	不純物			Table 3.3.3.15 参照	Table 3.3.3.15 参照

物質名	元素名	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)		
			pnl6451_07 (1.4390) ^{※1}	pnl6451_08 (1.2598) ^{※1}	pnl6451_09 (1.1467) ^{※1}
(Pu+U) 硝酸 水溶液	Pu-238	238.0495614	1.33612E-07	7.52249E-08	3.98221E-08
	Pu-239	239.0521648	4.51244E-04	2.54054E-04	1.34490E-04
	Pu-240	240.0538150	3.89639E-05	2.19370E-05	1.16129E-05
	Pu-241 ^{※2}	241.0568529	1.92768E-06	1.08458E-06	5.73996E-07
	Pu-242	242.0587440	3.30932E-07	1.86317E-07	9.86316E-08
	Am-241 ^{※2}	241.0568306	2.28848E-06	2.29243E-06	7.47797E-07
	U-234	234.0409504	2.30808E-08	1.34934E-08	8.16706E-09
	U-235	235.0439282	3.81707E-07	2.23152E-07	1.35065E-07
	U-236	236.0455695	7.74436E-08	4.52747E-08	2.74031E-08
	U-238	238.0507870	1.59671E-05	9.33464E-06	5.64991E-06
	H	1.0079709	5.69410E-02	6.17032E-02	6.43328E-02
	N	14.0068578	3.97853E-03	2.30289E-03	1.28542E-03
	O	15.9993744	3.94514E-02	3.71924E-02	3.56910E-02
	不純物 ^{※3}			Table 3.3.3.15 参照	Table 3.3.3.15 参照

※1 括弧内の数値は、密度 (g/cm³) を表す。

※2 分析時期と実験時期が異なることから、その期間の壊変を考慮し、Pu-241、Am-241 について補正を行う (Table 3.3.3.10、Table 3.3.3.11、付録-3 を参照)。

B-2 および B-3 については、Table 3.3.3.12 を参照。

※3 (Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物について考慮する (Table 3.3.3.15、付録-2.4 を参照)。

Table 3.3.3.6 (Pu+U)硝酸水溶液の原子個数密度 [PNL-6451] [2/2]

物質名	元素名	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)		
			pnl6451_10 (1.4739) ^{※1}	pnl6451_11 (1.4788) ^{※1}	pnl6451_12 (1.4828) ^{※1}
(Pu+U)硝酸 水溶液	Pu-238	238.0495614	5.70440E-08	5.77498E-08	5.82281E-08
	Pu-239	239.0521648	1.66933E-04	1.68998E-04	1.70398E-04
	Pu-240	240.0538150	1.52368E-05	1.54253E-05	1.55531E-05
	Pu-241 ^{※2}	241.0568529	7.77197E-07	7.85876E-07	7.91756E-07
	Pu-242	242.0587440	1.71917E-07	1.74044E-07	1.75486E-07
	Am-241 ^{※2}	241.0568306	1.01120E-06	1.01210E-06	1.01271E-06
	U-234	234.0409504	5.09122E-08	5.15235E-08	5.17994E-08
	U-235	235.0439282	4.44848E-06	4.50190E-06	4.52600E-06
	U-236	236.0455695	3.34429E-07	3.38444E-07	3.40256E-07
	U-238	238.0507870	6.20914E-04	6.28371E-04	6.31735E-04
	H	1.0079709	5.93182E-02	5.92307E-02	5.92306E-02
	N	14.0068578	2.30336E-03	2.32143E-03	2.34038E-03
	O	15.9993744	3.76611E-02	3.76896E-02	3.77502E-02
不純物 ^{※3}			Table 3.3.3.15 参照	Table 3.3.3.15 参照	Table 3.3.3.15 参照

物質名	元素名	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)		
			pnl6451_13 (1.3134) ^{※1}	B-2 (1.6777) ^{※1}	B-3 (1.4362) ^{※1}
(Pu+U)硝酸 水溶液	Pu-238	238.0495614	5.47870E-08	7.32103E-08	1.33141E-07
	Pu-239	239.0521648	1.08059E-04	2.37274E-04	4.49652E-04
	Pu-240	240.0538150	9.83838E-06	2.15464E-05	3.88265E-05
	Pu-241 ^{※2}	241.0568529	4.94906E-07	Table 3.3.3.12 参照	Table 3.3.3.12 参照
	Pu-242	242.0587440	1.11273E-07	2.36564E-07	3.29765E-07
	Am-241 ^{※2}	241.0568306	6.59806E-07	Table 3.3.3.12 参照	Table 3.3.3.12 参照
	U-234	234.0409504	3.32899E-08	6.54375E-08	1.81096E-08
	U-235	235.0439282	2.92116E-06	6.56237E-06	2.99493E-07
	U-236	236.0455695	2.18673E-07	4.81979E-07	6.07634E-08
	U-238	238.0507870	4.05981E-04	9.12044E-04	1.25281E-05
	H	1.0079709	6.16030E-02	5.50620E-02	5.68945E-02
	N	14.0068578	1.60568E-03	3.34313E-03	3.98256E-03
	O	15.9993744	3.62803E-02	3.91668E-02	3.94241E-02
不純物 ^{※3}			Table 3.3.3.15 参照	Table 3.3.3.15 参照	Table 3.3.3.15 参照

※1 括弧内の数値は、密度 (g/cm³) を表す。

※2 分析時期と実験時期が異なることから、その期間の壊変を考慮し、Pu-241、Am-241 について補正を行う (Table 3.3.3.10、Table 3.3.3.11、付録-3 を参照)。

B-2 および B-3 については、Table 3.3.3.12 を参照。

※3 (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物について考慮する (Table 3.3.3.15、付録-2.4 を参照)。

Table 3.3.3.7 中性子吸収材コンクリートの原子個数密度 [PNL-6451]

物質名	密度 (g/cm ³)	元素名	原子量 (g/mol)	B ₄ C:0wt%		B ₄ C:1wt%	
				重量比 ^{※1} (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	重量比 ^{※1} (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
コンクリート	2.19	Al	26.9815384	4.82	2.35600E-03	4.9	2.39510E-03
		B-10 ^{※2}	10.0129369	0.00364	4.79314E-06	0.10553	1.39001E-04
		B-11 ^{※2}	11.0093052	0.01636	1.95994E-05	0.47447	5.68384E-04
		Ba	137.3266719	0.07	6.72261E-06	0.07	6.72261E-06
		Ca	40.0780225	15.4	5.06768E-03	15.3	5.03478E-03
		Cu	63.5460395	0.01	2.07542E-06	0.01	2.07542E-06
		Fe	55.8451437	4.39	1.03675E-03	4.47	1.05564E-03
		K	39.0983009	0.54	1.82151E-04	0.64	2.15882E-04
		Li-6 ^{※2}	6.0151229	0.00084	1.83608E-06	0.00042	9.18041E-07
		Li-7 ^{※2}	7.0160034	0.01916	3.60213E-05	0.00958	1.80106E-05
		Mg	24.3057012	1.12	6.07722E-04	1.15	6.24000E-04
		Mn	54.9380432	0.07	1.68043E-05	0.07	1.68043E-05
		Na	22.9897693	1.89	1.08423E-03	1.59	9.12132E-04
		Si	28.0849993	21.8	1.02371E-02	22.4	1.05189E-02
		Sr	87.6166443	0.04	6.02100E-06	0.04	6.02100E-06
		Ti	47.8667439	0.57	1.57049E-04	0.58	1.59805E-04
		Zr	91.2236428	0.04	5.78293E-06	0.06	8.67439E-06
H	1.0079709	0.95194	1.24553E-02	0.90843	1.18861E-02		
O	15.9993744	48.24806	3.97715E-02	47.06607	3.87972E-02		
C	12.0106356	—	—	0.15550	1.70748E-04		

物質名	密度 (g/cm ³)	元素名	原子量 (g/mol)	B ₄ C:2wt%		B ₄ C:6wt%	
				重量比 ^{※1} (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	重量比 ^{※1} (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
コンクリート	2.19	Al	26.9815384	4.82	2.35600E-03	4.53	2.21425E-03
		B-10 ^{※2}	10.0129369	0.28385	3.73865E-04	0.91340	1.20308E-03
		B-11 ^{※2}	11.0093052	1.27615	1.52876E-03	4.10660	4.91946E-03
		Ba	137.3266719	0.07	6.72261E-06	0.06	5.76224E-06
		Ca	40.0780225	13.9	4.57408E-03	14	4.60698E-03
		Cu	63.5460395	0.01	2.07542E-06	0.01	2.07542E-06
		Fe	55.8451437	4.35	1.02730E-03	4.16	9.82433E-04
		K	39.0983009	1.52	5.12721E-04	1.36	4.58750E-04
		Li-6 ^{※2}	6.0151229	0.00084	1.83608E-06	0.00084	1.83608E-06
		Li-7 ^{※2}	7.0160034	0.01916	3.60213E-05	0.01916	3.60213E-05
		Mg	24.3057012	1.15	6.24000E-04	1.14	6.18574E-04
		Mn	54.9380432	0.07	1.68043E-05	0.07	1.68043E-05
		Na	22.9897693	1.48	8.49028E-04	1.45	8.31818E-04
		Si	28.0849993	22.1	1.03780E-02	20.6	9.67359E-03
		Sr	87.6166443	0.03	4.51575E-06	0.03	4.51575E-06
		Ti	47.8667439	0.58	1.59805E-04	0.55	1.51539E-04
		Zr	91.2236428	0.1	1.44573E-05	0.04	5.78293E-06
H	1.0079709	1.16179	1.52011E-02	0.99860	1.30659E-02		
O	15.9993744	46.65059	3.84547E-02	44.57302	3.67421E-02		
C	12.0106356	0.42762	4.69557E-04	1.38838	1.52454E-03		

※1 コンクリートの組成については、Table 3.3.3.19、付録-2.2.14を参照。

※2 B および Li の同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾より引用する (付録-1.3を参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt%

② Li Li-6 : 4.187084wt%、Li-7 : 95.812916wt%

Table 3.3.3.8 計算に用いた物質の原子個数密度 [PNL-6451]

物質名	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
SUS304L ^{※1} (容器)	7.93	C	0.03	12.0106356	1.19283E-04
		Si	1.0	28.0849993	1.70039E-03
		Mn	2.0	54.9380432	1.73852E-03
		P	0.045	30.9737620	6.93813E-05
		S	0.03	32.0654619	4.46795E-05
		Ni	11.0	58.6933505	8.95010E-03
		Cr	19.0	51.9961306	1.74505E-02
		Fe	66.895	55.8451437	5.72048E-02
炭素鋼 ^{※2} (反射体タンク構造材他)	7.8212	Fe	99.0	12.0106356	8.34976E-02
		C	1.0	55.8451437	3.92155E-03
カドミウム ^{※3} (被覆材)	8.642	Cd	100.0	112.4138186	4.62962E-02
ポリエチレン ^{※4} (中性子吸収材)	0.9	H	14.28	1.0079709	7.67845E-02
		C	85.72	12.0106356	3.86821E-02
コンクリート	Table 3.3.3.7を参照				
空気 ^{※5}	Table 3.3.3.9を参照				
水 (反射体) ^{※6}	Table 3.3.3.17を参照				

※1 SUS304Lについては、JIS G 4303より引用する (付録-2.2.8を参照)。

※2 炭素鋼については、SCALE 6.2.3 コードシステムに内蔵された標準物質 CARBON STEEL の組成を引用する (付録-2.3.6を参照)。

※3 カドミウムの密度については、SCALE 6.2.3 コードシステムに内蔵されたライブラリより引用する (付録-2.3.9を参照)。

※4 ポリエチレン (C₂H₄) の密度については、文献 [PNL-6451²⁰] に記載された値を用いる (付録-2.2.13を参照)。

※5 空気中の主成分 (N₂、O₂ 等々) については考慮せず、中性子への影響が大きい空気中の水分について考慮する。空気中の水分は、飽和水蒸気量に相当する密度とする (Table 3.3.3.3、Table 3.3.3.9、付録-2.2.17を参照)。

※6 水の密度については、各水温の時の密度とする (Table 3.3.3.3、付録-2.2.16を参照)。また、反射体 (水) に含まれる不純物の影響を考慮する (Table 3.3.3.17を参照)。

Table 3.3.3.9 空気中水分の H および O の原子個数密度 [PNL-6451]

計算ケース	室温 (°C)	飽和蒸気量 (g/cm ³)	密度 (g/cm ³)		原子個数密度 (atoms/barn・cm)	
			H	O	H	O
pnl6451 01	22.8	2.03433E-05	2.27645E-06	1.80669E-05	1.36007E-06	6.80035E-07
pnl6451 02	25.8	2.41050E-05	2.69739E-06	2.14076E-05	1.61156E-06	8.05780E-07
pnl6451 03	23.2	2.08136E-05	2.32908E-06	1.84846E-05	1.39151E-06	6.95756E-07
pnl6451 04	25.2	2.33083E-05	2.60823E-06	2.07000E-05	1.55829E-06	7.79146E-07
pnl6451 05	25.9	2.42401E-05	2.7125E-06	2.15276E-05	1.62059E-06	8.10294E-07
pnl6451 06	25.3	2.34395E-05	2.62291E-06	2.08165E-05	1.56706E-06	7.83531E-07
pnl6451 07	26.8	2.54850E-05	2.85181E-06	2.26332E-05	1.70382E-06	8.51909E-07
pnl6451 08	24.6	2.25342E-05	2.52162E-06	2.00126E-05	1.50654E-06	7.53272E-07
pnl6451 09	25.2	2.33083E-05	2.60823E-06	2.07000E-05	1.55829E-06	7.79146E-07
pnl6451 10	26.1	2.45121E-05	2.74294E-06	2.17692E-05	1.63878E-06	8.19388E-07
pnl6451 11	26.2	2.46491E-05	2.75827E-06	2.18908E-05	1.64793E-06	8.23967E-07
pnl6451 12	27.4	2.63451E-05	2.94806E-06	2.33970E-05	1.76132E-06	8.80661E-07
pnl6451 13	23.5	2.11725E-05	2.36924E-06	1.88033E-05	1.41550E-06	7.07752E-07

※ 空気中の主成分 (N₂、O₂ 等々) については考慮せず、中性子への影響が大きい空気中の水分について考慮する。空気中の水分は、飽和水蒸気量に相当する密度とする (付録-2.2.17を参照)。

Table 3.3.3.10 補正に用いた分析時期および実験時期 [PNL-6451]

計算ケース	実験番号	Pu-241 濃度 (g/litre)	Am-241 濃度 ^{※1} (μg/ml)	Pu 分析時期 ^{※2}	Am 分析時期 ^{※1}	実験時期 ^{※3}
pnl6451_01	087	0.45887	561	1986/07/10	1986/08/22	1986/06/20
pnl6451_02	087S	0.46108		1986/07/10	1986/08/22	1986/06/27
pnl6451_03	091	0.46000		1986/07/23	1986/08/22	1986/07/22
pnl6451_04	092	0.45178	595	1987/07/07	1987/07/08	1987/06/18
pnl6451_05	093	0.45862		1987/07/07	1987/07/08	1987/06/26
pnl6451_06	094	0.46015		1987/07/07	1987/07/08	1987/07/08
pnl6451_07	095	0.76875	919	1987/08/12	1987/08/13	1987/07/15
pnl6451_08	096	0.43281	517.4 ^{※4}	1987/08/12	1987/08/13	1987/07/20
pnl6451_09	097	0.22912	300	1987/08/12	1987/08/13	1987/07/22
pnl6451_10	098	0.30987	406	1987/08/27	1987/08/27	1987/07/28
pnl6451_11	099	0.31371		1987/08/27	1987/08/27	1987/08/06
pnl6451_12	100	0.31631		1987/08/27	1987/08/27	1987/08/12
pnl6451_13	108	0.19727	265	1987/12/14	1987/12/16	1987/11/12
B-2	—	0.45995	553	1986/07/23	1986/08/22	各ケースの実験時期
B-3	—	0.76604	919	1987/08/12	1987/08/13	各ケースの実験時期

※1 文献 [PNL-6451²⁰⁾ TABLE 3.3] より引用する。

※2 文献 [PNL-6451²⁰⁾ TABLE 3.4] より引用する。

※3 文献 [PNL-6451²⁰⁾ TABLE 3.1] より引用する。

※4 実験番号 096 の硝酸水溶液中の Am-241 濃度は、実験番号 095 に用いられる sample1209 の濃度 919μg/ml に Pu 量の比で修正した値を採用する。

Table 3.3.3.11 補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [PNL-6451]

計算ケース	原子個数密度 (atoms/barn · cm)			
	初期値 (分析時)		補正值 (実験時)	
	Pu-241	Am-241	Pu-241	Am-241
pnl6451_01	1.14636E-06	1.40150E-06	1.14940E-06	1.39195E-06
pnl6451_02	1.15197E-06	1.40150E-06	1.15395E-06	1.39298E-06
pnl6451_03	1.14912E-06	1.40150E-06	1.14927E-06	1.39680E-06
pnl6451_04	1.12865E-06	1.48644E-06	1.13149E-06	1.48345E-06
pnl6451_05	1.14574E-06	1.48644E-06	1.14741E-06	1.48462E-06
pnl6451_06	1.14956E-06	1.48644E-06	1.14941E-06	1.48644E-06
pnl6451_07	1.92054E-06	2.29587E-06	1.92768E-06	2.28848E-06
pnl6451_08	1.08128E-06	1.29259E-06	1.08458E-06	1.28915E-06
pnl6451_09	5.72402E-07	7.49467E-07	5.73996E-07	7.47797E-07
pnl6451_10	7.74115E-07	1.01428E-06	7.77197E-07	1.01120E-06
pnl6451_11	7.83693E-07	1.01428E-06	7.85876E-07	1.01210E-06
pnl6451_12	7.90185E-07	1.01428E-06	7.91756E-07	1.01271E-06
pnl6451_13	4.92813E-07	6.62029E-07	4.94906E-07	6.59806E-07

Table 3.3.3.12 B-2、B-3 の補正した Pu-241 および Am-241 の原子個数密度 [PNL-6451]

	ケース	実験時期	原子個数密度 (atoms/barn · cm)			
			初期値 (分析時)		補正值 (実験時)	
			Pu-241	Am-241	Pu-241	Am-241
B-2	pnl6451_03	1986/07/22	1.14901E-06	1.38152E-06	1.14916E-06	1.37681E-06
	pnl6451_04	1987/06/18			1.09987E-06	1.42610E-06
	pnl6451_05	1987/06/26			1.09871E-06	1.42726E-06
	pnl6451_06	1987/07/08			1.09696E-06	1.42901E-06
	pnl6451_10	1987/07/28			1.09406E-06	1.43191E-06
	pnl6451_11	1987/08/06			1.09276E-06	1.43321E-06
B-3	pnl6451_13	1987/11/12			1.07866E-06	1.44730E-06
	pnl6451_07	1987/07/15	1.91377E-06	2.29587E-06	1.92088E-06	2.28850E-06
	pnl6451_08	1987/07/20			1.91961E-06	2.28978E-06
pnl6451_09	1987/07/22	1.91910E-06			2.29028E-06	

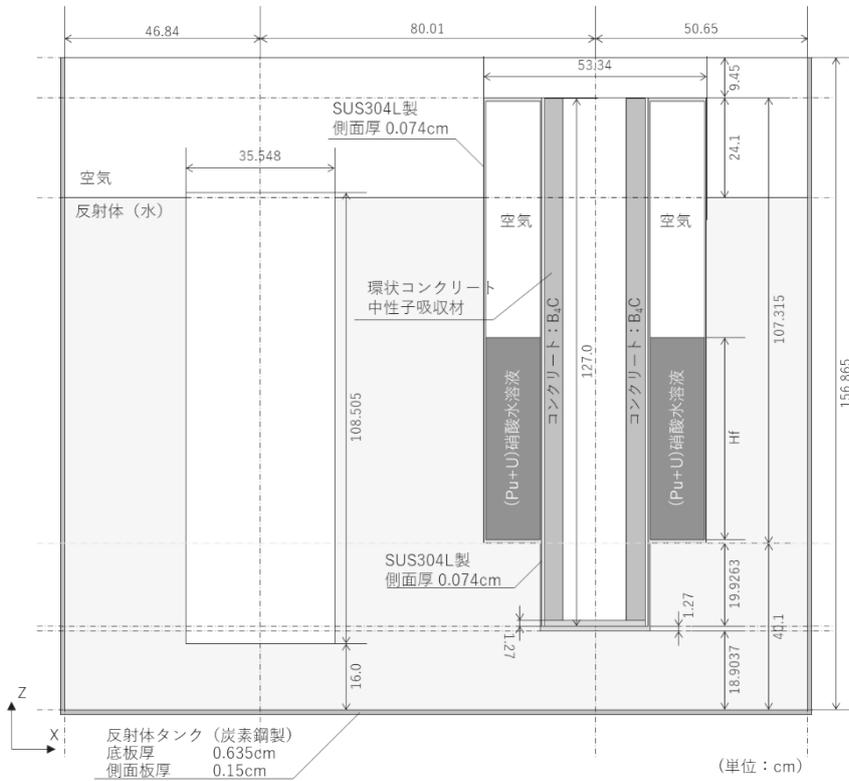
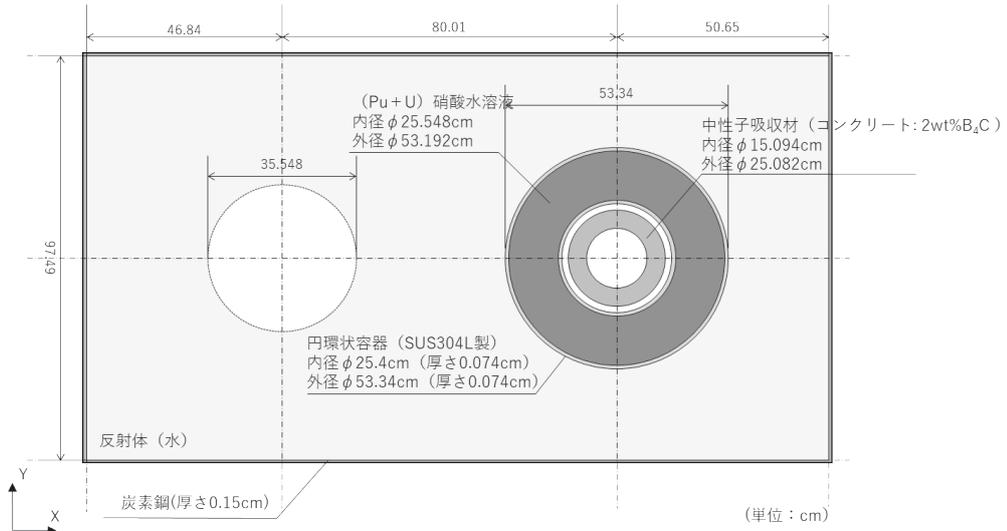


Fig. 3.3.3.1 臨界実験体系の計算モデル図 [pnl6451_01、02]

- ※ 環状コンクリート中性子吸収材を設定し、中央の円筒状容器（ボトル）を設置しないモデル。
- ※ 各寸法条件は、文献 [PNL-6451²⁰⁾] より引用する。
- ※ 反射体タンク寸法については文献 [PNL-5768¹⁸⁾] に記載された図面より引用する。

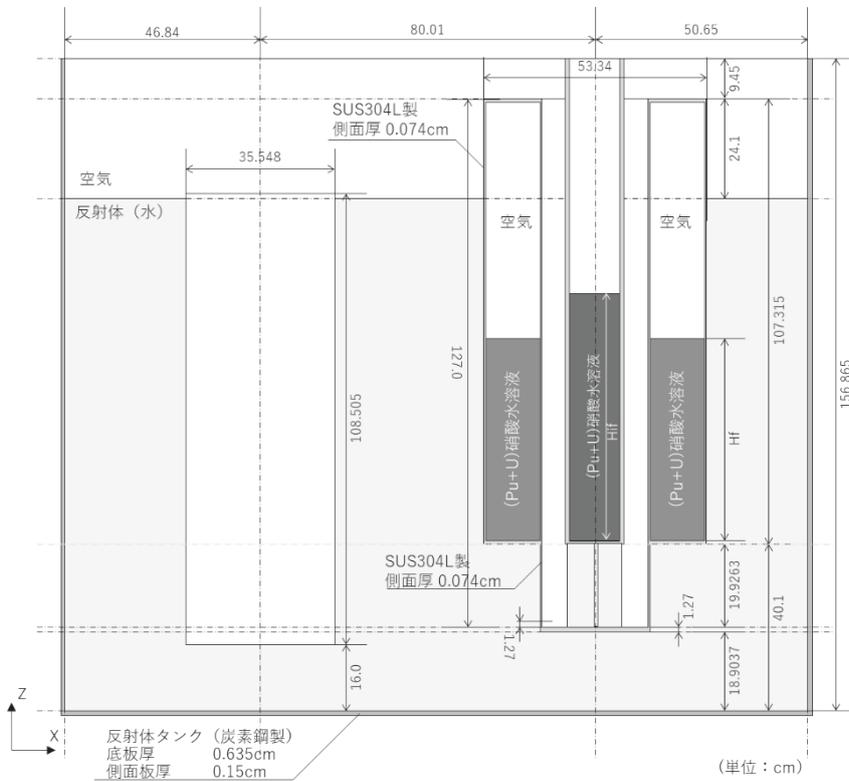
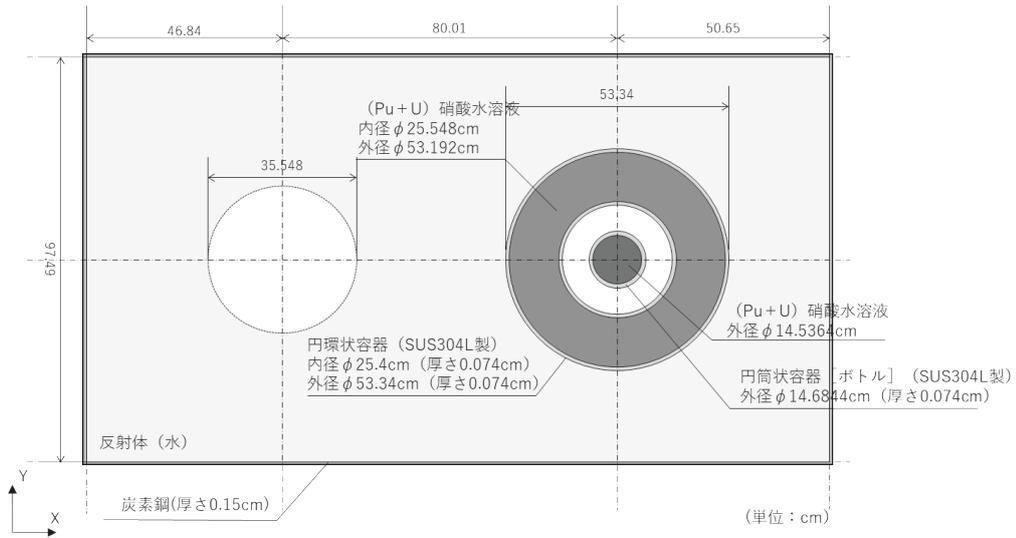


Fig. 3.3.3.3 臨界実験体系の計算モデル図 [pnl6451_06]

- ※ 中性子吸収材を設けず、円筒状容器（ボトル）を設置したモデル。
- ※ 各寸法条件は、文献 [PNL-6451²⁰⁾] より引用する。
- ※ 反射体タンク寸法については文献 [PNL-5768¹⁸⁾] に記載された図面より引用する。

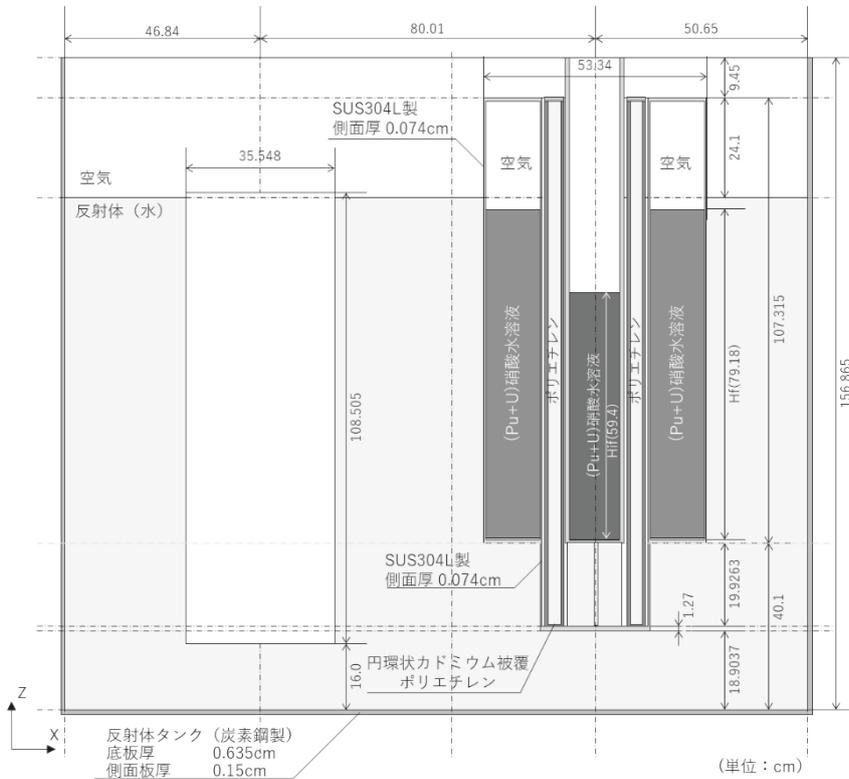
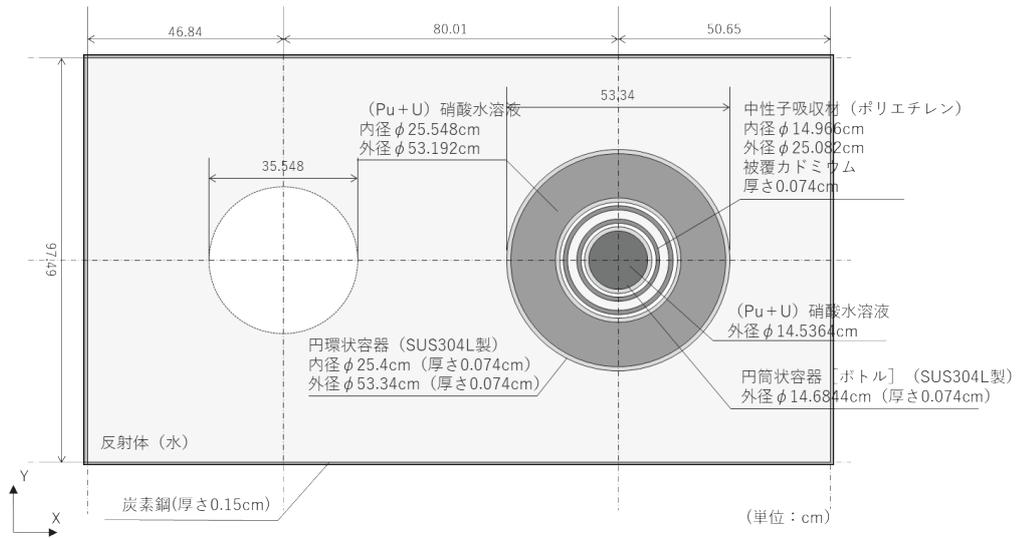


Fig. 3.3.3.4 臨界実験体系の計算モデル図 [pnl6451_11]

- ※ 円環状カドミウム被覆ポリエチレン中性子吸収材を設定し、中央に円筒状容器（ボトル）を設置した計算モデル。
- ※ 各寸法条件は、文献 [PNL-6451²⁰⁾] より引用する。
- ※ 反射体タンク寸法については文献 [PNL-5768¹⁸⁾] に記載された図面より引用する。

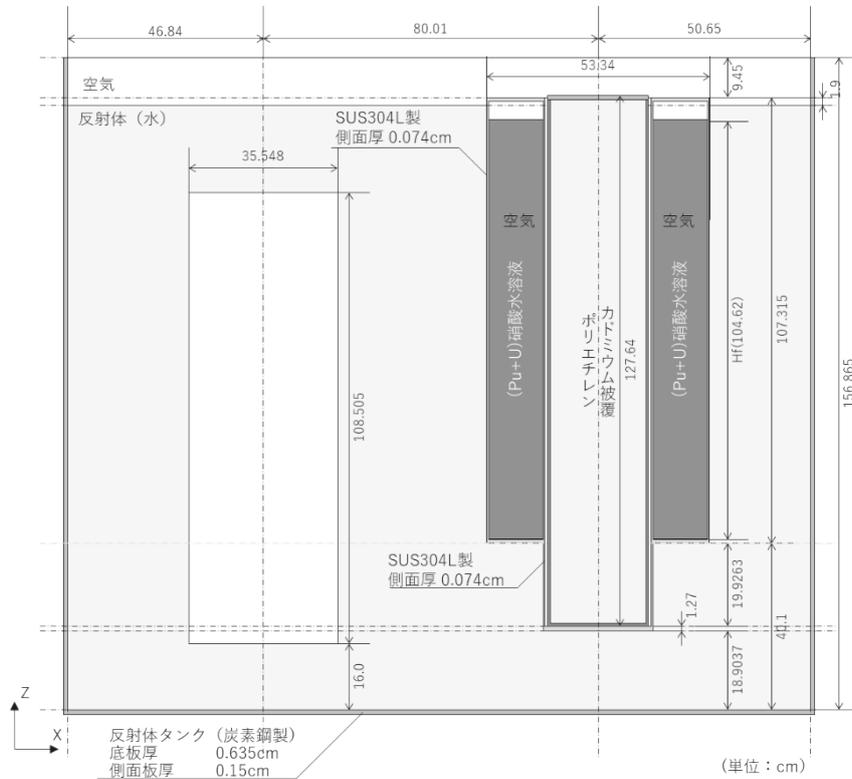
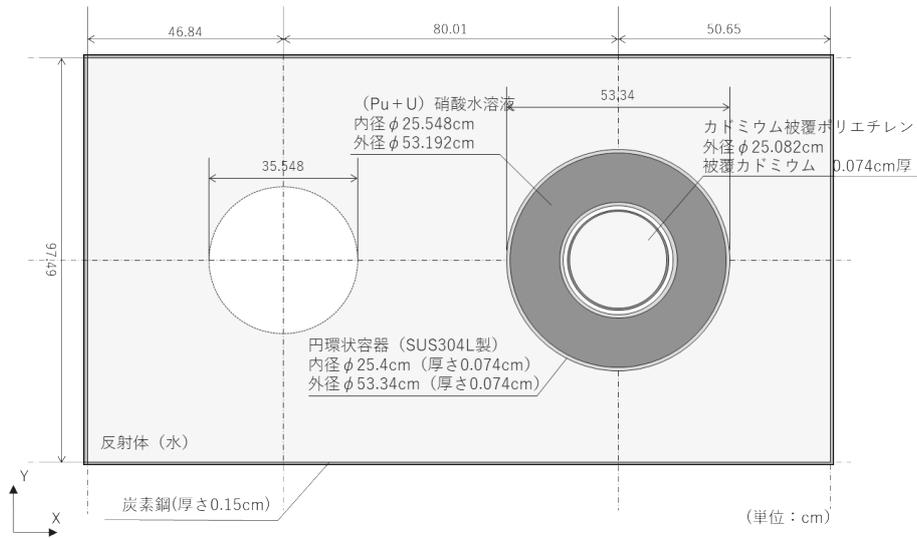


Fig. 3.3.3.5 臨界実験体系の計算モデル図 [pnl6451_12]

- ※ カドミウム被覆ポリエチレン中性子吸収材を設置した計算モデル。
- ※ 各寸法条件は、文献 [PNL-6451²⁰⁾] より引用する。
- ※ 反射体タンク寸法については文献 [PNL-5768¹⁸⁾] に記載された図面より引用する。

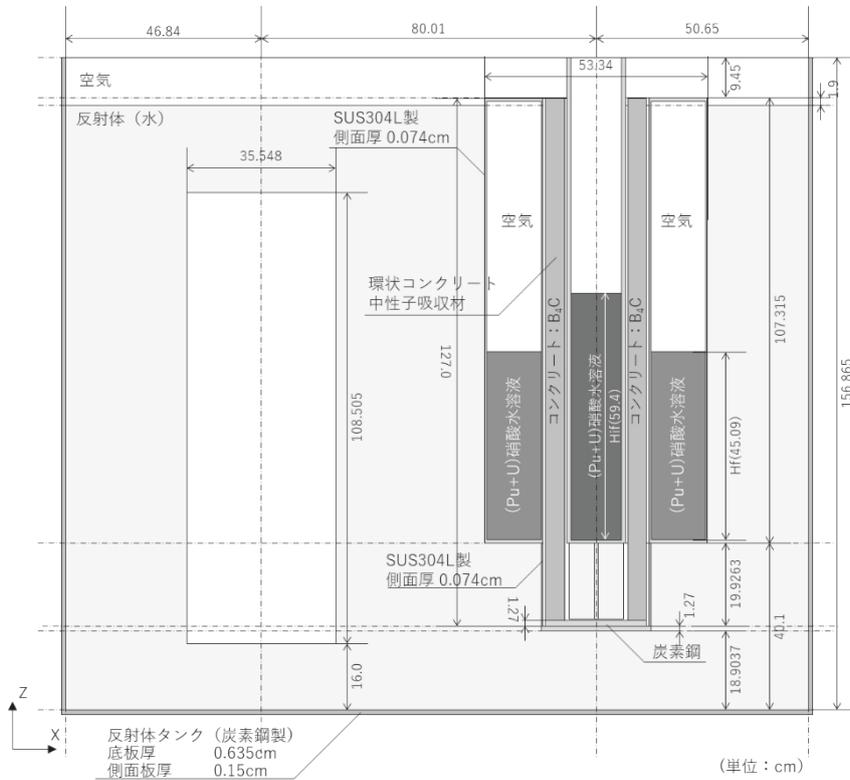
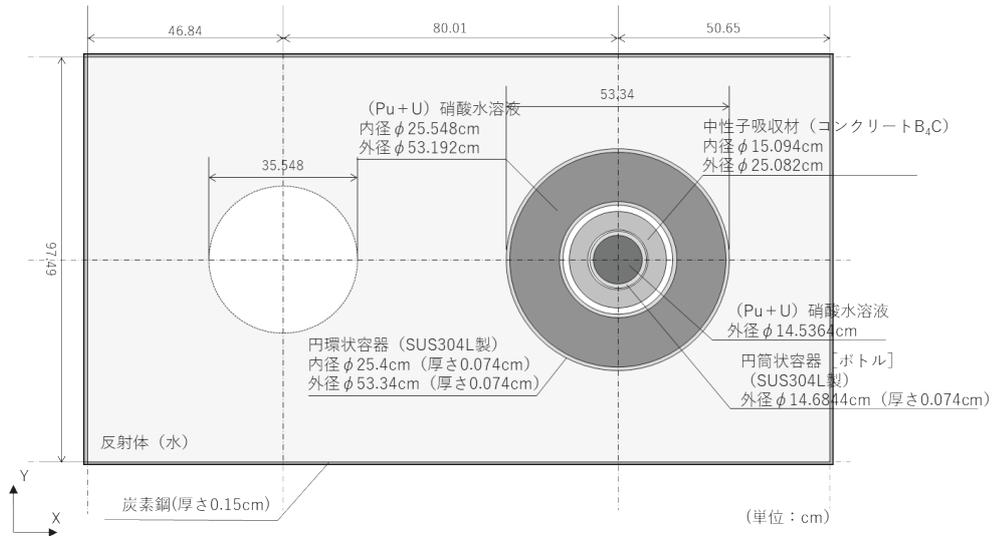


Fig. 3.3.3.6 臨界実験体系の計算モデル図 [pnl6451_13]

- ※ 環状コンクリート中性子吸収材を設定し、中央に円筒状容器（ボトル）を設置した計算モデル。
- ※ 反射体（水）の水位が他のモデルと異なる。
- ※ 各寸法条件は、文献 [PNL-6451²⁰] より引用する。
- ※ 反射体タンク寸法については文献 [PNL-5768¹⁸] に記載された図面より引用する。

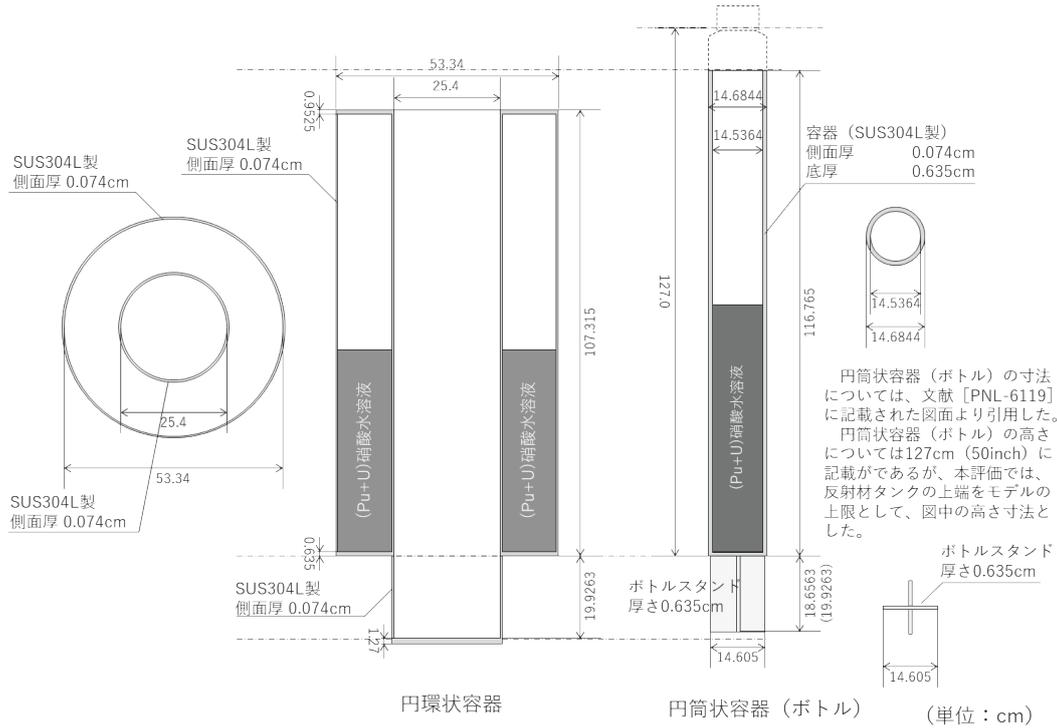


Fig. 3.3.3.7 円環状容器、円筒状容器（ボトル）概要図 [PNL-6451]

※ 円環状容器、円筒状容器（ボトル）の寸法、形状は文献 [PNL-6451²⁰⁾] および文献 [PNL-6119²¹⁾] に記載された図面より引用する。

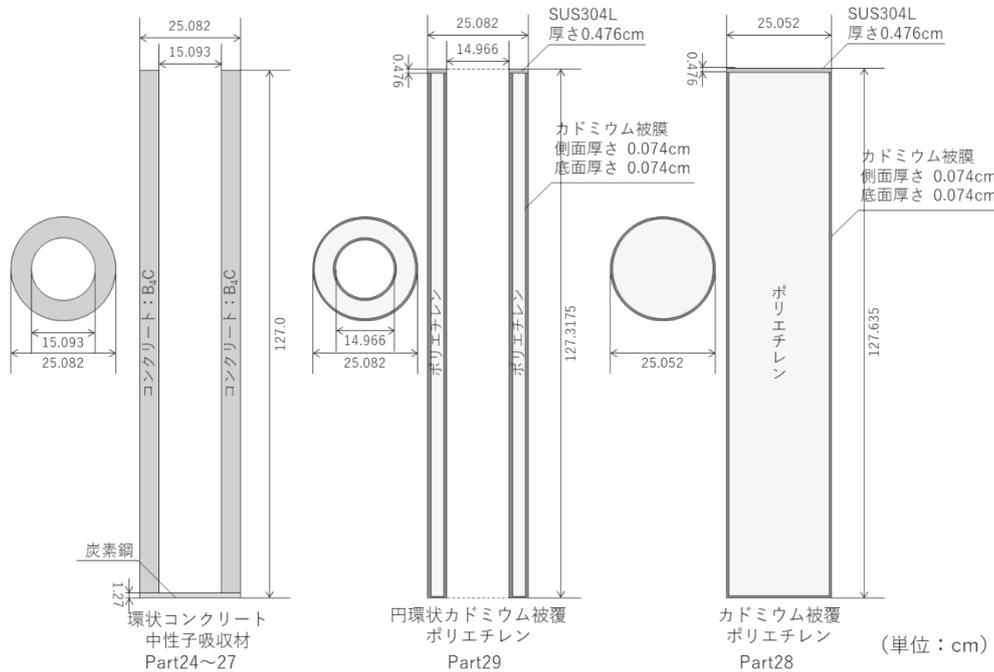


Fig. 3.3.3.8 中性子吸収材概要図 [PNL-6451]

(環状コンクリート、円環状カドミウムポリエチレン、円筒状カドミウム被覆ポリエチレン)
 ※ 中性子吸収材の寸法、形状は文献 [PNL-6451²⁰⁾] FIGURE 2.8~2.10] より引用する。

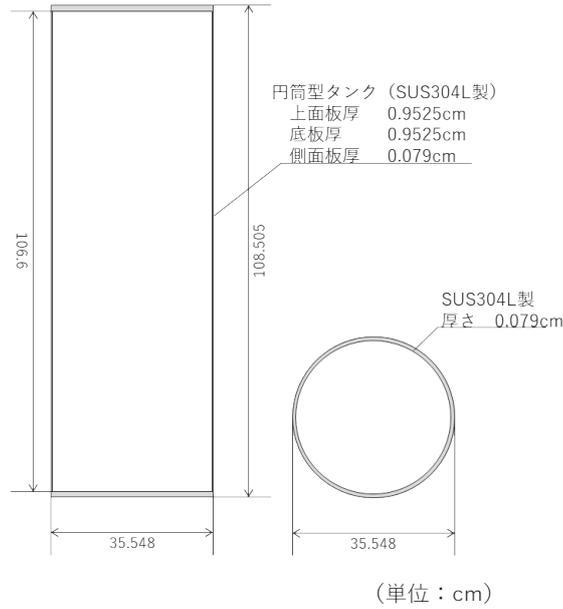


Fig. 3.3.3.9 円筒状容器 (外径 35.548cm) 概要図 [PNL-6451 (PNL-5768)]

- ※ 容器内径 35.39cm、内部高さ 106.6cm、側面厚さ 0.079cm については文献 [PNL-5768¹⁸⁾ p.2.4] に記載された数値を引用する。
- ※ 容器上面板厚、下面板厚については、文献 [PNL-5768¹⁸⁾] に記載された図面より引用 (3/8 インチ = 0.9525cm)。

- (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物について

文献 [PNL-6451²⁰ APPENDIX D] に (Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物について記述があり、Table 3.3.3.13、Table 3.3.3.14 に示す。

文献には、Spark Source Mass Spectrographic 分析 (SSMS 分析：火花源質量分析) による分析結果 (sample 1192、1194、1195、1197 および 1202) と Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy 分析 (ICP 分析：誘導結合プラズマ発光分光法) による分析結果 (sample 1208、1212、1215) が示されている。

sample 1192、1194、1195、1197 および 1202 については、実験番号 087、087S、088、091～094 およびボトル B-2 に適応する。

また、ICP 分析による sample 1208 も実験番号 087、087S、088、091～094 およびボトル B-2 に適応する。

本ベンチマーク計算では、他のデータとの整合性と分析精度を考慮し、ICP 分析による数値 (sample 1208) を採用する。

sample 1212 は、実験番号 097 に適応する。また、実験番号 095、096 およびボトル B-3 についても sample 1212 の分析値に (Pu+U) 硝酸水溶液のプルトニウム濃度の比率を掛けた値が適応可能である。

sample 1215 は、実験番号 098～100 および 108 に適応する。

不純物の成分は、濃度 (mg/litre) で与えられているため、不純物元素毎に単位体積当たりの重量 (g/cm^3) を計算した上で原子個数密度を求める。

Table 3.3.3.15 に各計算ケースにおける (Pu+U) 硝酸水溶液中不純物の原子個数密度を示す。

Table 3.3.3.13 (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物 [PNL-6451] (SSMS 分析)

不純物サンプル番号	sample 1192	sample 1194	sample 1195	sample 1197	sample 1202
実験番号	087	087S	088	091、092、093、094	B-2
元素	重量比 (ppm)				
Ag	*	*	*	*	*
Li	*	*	0.2	0.6	—
Be	*	*	*	*	*
B	3	1	1	1	—
F	—	—	—	—	6
Na	30	3	30	30	30
Mg	<2	<2	<2	2	50
Al	100	100	100	100	100
Si	30	30	20	20	200
P	30	30	3	3	30
S	—	—	—	—	300
Cl	—	—	—	—	10
K	3	1	10	10	—
Ca	40	20	20	60	20
Ti	50	50	10	10	100
V	<1	<1	<3	<3	—
Cr	70	70	70	70	30
Mn	20	20	20	7	30
Fe	300	300	100	100	300
Co	0.3	0.3	0.5	0.3	—
Ni	50	50	30	10	80
Cu	100	100	60	40	50
Zn	20	40	10	10	—
Ga	60	200	80	80	—
Ge	<5	5	<5	<5	—
As	<1	4	<5	<5	—
Sr	5	10	8	5	—
Zr	10	400	10	7	—
Mo	2	2	2	1	—
Tc	20	60	20	60	—
Ag	*	*	*	*	*
Cd	—	—	—	—	10
Ba	40	40	40	80	—
La	<3	2	<3	<3	—
Th	20	3	20	60	30
Pb	2	1	2	1	—

※ 本ベンチマーク計算では、SSMS 分析結果は、不採用とする。

※ * interference

Table 3.3.3.14 (Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物 [PNL-6451] (ICP 分析)

サンプル番号	sample 1208	sample 1212	sample 1215
実験番号	087、087S、091～094、 B-2	097、095、096、 B-3	098、099、100、108
計算ケース	pnl6451_01～06 B-2	pnl6451_07～09、 B-3	pnl6451_10～13
元素	濃度[mg/litre]		
Al	86.2	67.9	68.7
B	3.9	1.3	3
Ba	2.5	2.6	2
Ca	50.8	30.2	41
Cd	4.8	2.1	4.3
Ce	3.2	0.7	4.2
Cr	70	45.1	57.1
Cu	11.2	2.6	12
Dy	0.7	0.3	0.8
Fe	297.7	150.7	246.7
Gd	<1	<1	<1
K	11	4	5
La	0.6	0.4	0.7
Li	0.2	0.2	0.2
Mg	10.4	6.9	8.6
Mn	13.5	6.6	11.4
Mo	1.6	1.1	1.2
Na	33.6	19.6	20.6
Nd	1.2	0.7	1.3
Ni	50.7	29.6	41.4
Rh	13.4	2.8	14
Ru	4.6	1.9	4.2
Si	8.3	14.6	16.5
Sr	0.3	0.2	0.2
Te ^{※3}	(a)	(a)	(a)
Ti	21.8	9.2	17.4
Zn	4	<1	3.6
Zr	4.8	0.6	3.9

※ 文献 [PNL-6451²⁰ APPENDIX D] より引用する。

※ 実験番号 095、096 および B-3 については、sample 1212 の値にプルトニウム濃度の比率を掛けた値を採用する。

※ (a) element not detected

Table 3.3.3.15 (Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物原子個数密度 [PNL-6451] [1/2]

不純物 サンプル番号	sample 1208		sample 1212 ^{※2}			
計算ケース	pnl6451_01~06		pnl6451_07		pnl6451_08	
実験番号	087、087S、091、 092、093、094 および B-2		095 ^{※2}		096 ^{※2}	
元素	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Al	8.62000E-05	1.92394E-06	2.27820E-04	5.08483E-06	1.28265E-04	2.86280E-06
B-10 ^{※1}	7.09613E-07	4.26787E-08	7.93639E-07	4.77323E-08	4.46825E-07	2.68737E-08
B-11 ^{※1}	3.19039E-06	1.74516E-07	3.56816E-06	1.95180E-07	2.00890E-06	1.09888E-07
Ba	2.50000E-06	1.09632E-08	8.72360E-06	3.82553E-08	4.91146E-06	2.15381E-08
Ca	5.08000E-05	7.63323E-07	1.01328E-04	1.52256E-06	5.70485E-05	8.57213E-07
Cd	4.80000E-06	2.57142E-08	7.04599E-06	3.77462E-08	3.96695E-06	2.12514E-08
Ce	3.20000E-06	1.37535E-08	2.34866E-06	1.00945E-08	1.32232E-06	5.68328E-09
Cr	7.00000E-05	8.10733E-07	1.51321E-04	1.75258E-06	8.51949E-05	9.86719E-07
Cu	1.12000E-05	1.06140E-07	8.72360E-06	8.26720E-08	4.91146E-06	4.65450E-08
Dy	7.00000E-07	2.59416E-09	1.00657E-06	3.73029E-09	5.66707E-07	2.10018E-09
Fe	2.97700E-04	3.21029E-06	5.05633E-04	5.45257E-06	2.84676E-04	3.06984E-06
Gd	1.00000E-06	3.82961E-09	3.35523E-06	1.28492E-08	1.88902E-06	7.23422E-09
K	1.10000E-05	1.69428E-07	1.34209E-05	2.06717E-07	7.55609E-06	1.16383E-07
La	6.00000E-07	2.60125E-09	1.34209E-06	5.81854E-09	7.55609E-07	3.27588E-09
Li-6 ^{※1}	8.37417E-09	8.38394E-10	2.80973E-08	2.81301E-09	1.58190E-08	1.58374E-09
Li-7 ^{※1}	1.91626E-07	1.64481E-08	6.42949E-07	5.51871E-08	3.61985E-07	3.10708E-08
Mg	1.04000E-05	2.57677E-07	2.31511E-05	5.73607E-07	1.30343E-05	3.22945E-07
Mn	1.35000E-05	1.47983E-07	2.21445E-05	2.42742E-07	1.24675E-05	1.36665E-07
Mo	1.60000E-06	1.00423E-08	3.69075E-06	2.31647E-08	2.07792E-06	1.30419E-08
Na	3.36000E-05	8.80148E-07	6.57625E-05	1.72264E-06	3.70248E-05	9.69861E-07
Nd	1.20000E-06	5.01005E-09	2.34866E-06	9.80575E-09	1.32232E-06	5.52072E-09
Ni	5.07000E-05	5.20200E-07	9.93149E-05	1.01900E-06	5.59151E-05	5.73708E-07
Rh	1.34000E-05	7.84182E-08	9.39465E-06	5.49785E-08	5.28926E-06	3.09533E-08
Ru	4.60000E-06	2.74099E-08	6.37494E-06	3.79863E-08	3.58914E-06	2.13866E-08
Si	8.30000E-06	1.77973E-07	4.89864E-05	1.05039E-06	2.75797E-05	5.91380E-07
Sr	3.00000E-07	2.06199E-09	6.71046E-07	4.61229E-09	3.77804E-07	2.59676E-09
Te	—	—	—	—	—	—
Ti	2.18000E-05	2.74267E-07	3.08681E-05	3.88354E-07	1.73790E-05	2.18646E-07
Zn	4.00000E-06	3.68452E-08	3.35523E-06	3.09060E-08	1.88902E-06	1.74003E-08
Zr	4.80000E-06	3.16873E-08	2.01314E-06	1.32898E-08	1.13341E-06	7.48224E-09

※1 B、Liの同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾より引用する(付録-1.3を参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

※2 sample1212の組成は、実験番号 097に直接適用される。実験番号 095、096 および B-3 においては、プルトニウム濃度の比率を掛けることで適用される。

Table 3.3.3.15 (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物原子個数密度 [PNL-6451] [2/2]

不純物 サンプル番号	sample 1212 ^{*2}				sample 1215	
計算ケース	pnl6451 09				pnl6451 10~13	
実験番号	097		B-3 ^{*2}		098、099、100、108	
元素	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Al	6.79000E-05	1.51549E-06	2.27017E-04	5.06689E-06	6.87000E-05	1.53335E-06
B-10 ^{*1}	2.36538E-07	1.42262E-08	7.90839E-07	4.75639E-08	5.45856E-07	3.28298E-08
B-11 ^{*1}	1.06346E-06	5.81719E-08	3.55558E-06	1.94492E-07	2.45414E-06	1.34243E-07
Ba	2.60000E-06	1.14017E-08	8.69283E-06	3.81204E-08	2.00000E-06	8.77053E-09
Ca	3.02000E-05	4.53786E-07	1.00971E-04	1.51719E-06	4.10000E-05	6.16068E-07
Cd	2.10000E-06	1.12499E-08	7.02113E-06	3.76130E-08	4.30000E-06	2.30356E-08
Ce	7.00000E-07	3.00858E-09	2.34038E-06	1.00589E-08	4.20000E-06	1.80515E-08
Cr	4.51000E-05	5.22344E-07	1.50787E-04	1.74640E-06	5.71000E-05	6.61327E-07
Cu	2.60000E-06	2.46397E-08	8.69283E-06	8.23803E-08	1.20000E-05	1.13722E-07
Dy	3.00000E-07	1.11178E-09	1.00302E-06	3.71713E-09	8.00000E-07	2.96476E-09
Fe	1.50700E-04	1.62509E-06	5.03850E-04	5.43334E-06	2.46700E-04	2.66032E-06
Gd	1.00000E-06	3.82961E-09	3.34340E-06	1.28039E-08	1.00000E-06	3.82961E-09
K	4.00000E-06	6.16103E-08	1.33736E-05	2.05987E-07	5.00000E-06	7.70128E-08
La	4.00000E-07	1.73417E-09	1.33736E-06	5.79802E-09	7.00000E-07	3.03480E-09
Li-6 ^{*1}	8.37417E-09	8.38394E-10	2.79982E-08	2.80308E-09	8.37417E-09	8.38394E-10
Li-7 ^{*1}	1.91626E-07	1.64481E-08	6.40681E-07	5.49924E-08	1.91626E-07	1.64481E-08
Mg	6.90000E-06	1.70959E-07	2.30694E-05	5.71584E-07	8.60000E-06	2.13079E-07
Mn	6.60000E-06	7.23472E-08	2.20664E-05	2.41885E-07	1.14000E-05	1.24963E-07
Mo	1.10000E-06	6.90405E-09	3.67774E-06	2.30830E-08	1.20000E-06	7.53169E-09
Na	1.96000E-05	5.13420E-07	6.55306E-05	1.71656E-06	2.06000E-05	5.39614E-07
Nd	7.00000E-07	2.92253E-09	2.34038E-06	9.77116E-09	1.30000E-06	5.42755E-09
Ni	2.96000E-05	3.03706E-07	9.89645E-05	1.01541E-06	4.14000E-05	4.24778E-07
Rh	2.80000E-06	1.63859E-08	9.36151E-06	5.47846E-08	1.40000E-05	8.19295E-08
Ru	1.90000E-06	1.13215E-08	6.35245E-06	3.78523E-08	4.20000E-06	2.50265E-08
Si	1.46000E-05	3.13061E-07	4.88136E-05	1.04669E-06	1.65000E-05	3.53802E-07
Sr	2.00000E-07	1.37466E-09	6.68679E-07	4.59602E-09	2.00000E-07	1.37466E-09
Te	—	—	—	—	—	—
Ti	9.20000E-06	1.15746E-07	3.07592E-05	3.86984E-07	1.74000E-05	2.18910E-07
Zn	1.00000E-06	9.21130E-09	3.34340E-06	3.07970E-08	3.60000E-06	3.31607E-08
Zr	6.00000E-07	3.96091E-09	2.00604E-06	1.32429E-08	3.90000E-06	2.57459E-08

※1 B、Liの同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾より引用する(付録-1.3を参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

※2 sample 1212の組成は、実験番号097に直接適用される。実験番号095、096およびB-3においては、プルトニウム濃度の比率を掛けることで適用される。

• 反射体（水）の不純物について

反射体の水に含まれる不純物の分析結果が文献 [PNL-6451²⁰ APPENDIX E] に記されている (Table 3.3.3.16)。本ベンチマーク計算では、該当する計算ケースにおいて、実験時の反射体温度における密度の水（H、O）の原子個数密度に、不純物中のH、Oの原子個数密度を加えて入力する。

Table 3.3.3.17 に反射体（水）と不純物の原子個数密度を示す。

Table 3.3.3.16 反射体（水）中の不純物 [PNL-6451]

実験番号		087	090、091	092	093	094	095
対応計算ケース		pnl6451_01 pnl6451_02	pnl6451_03	pnl6451_04	pnl6451_05	pnl6451_06	pnl6451_07
		(mg/litre)					
Total alkalinity		35.8	35.8	40.9	45	47	31
HCO ₃ Alkalinity	HCO ₃	29	29	37	42	42	30
CO ₃ Alkalinity	CO ₃	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Total dissolved solids		83	83	66	67	63	85
Sulfate	SO ₄	18.5	18.5	12.8	12.5	8.8	8.8
Nitrate-N	NO ₃	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Chloride	Cl	3.6	3.6	2.5	2.4	1.1	0.97
Fluoride	F	<0.1	<0.1	<0.1	0.19	0.16	0.14
Cadmium	Cd	0.0006	0.0006	0.001	0.001	<0.0005	<0.0005
Copper	Cu	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Chromium	Cr	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Iron	Fe	0.109	0.109	0.08	<0.03	<0.03	0.07
Lead	Pb	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Manganese	Mn	<0.01	<0.01	<0.01	0.012	<0.01	<0.01
Zinc	Zn	0.79	0.79	0.65	0.75	<0.05	<0.05

実験番号		096	097	098	099	100	108
対応計算ケース		pnl6451_08	pnl6451_09	pnl6451_10	pnl6451_11	pnl6451_12	pnl6451_13
		(mg/litre)					
Total alkalinity		66	63	51	49	51	55
HCO ₃ Alkalinity	HCO ₃	65	62	48	44	46	50
CO ₃ Alkalinity	CO ₃	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Total dissolved solids		52	76	142	142	140	86
Sulfate	SO ₄	9.2	8.8	9.3	8.2	9.4	10.6
Nitrate-N	NO ₃	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Chloride	Cl	0.76	0.56	1.12	1.14	1.15	0.91
Fluoride	F	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Cadmium	Cd	<0.0005	<0.0005	0.0019	0.0006	<0.0005	<0.05
Copper	Cu	<0.05	0.12	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Chromium	Cr	<0.005	<0.005	<0.005	0.009	<0.005	<0.005
Iron	Fe	0.103	0.148	<0.03	0.064	<0.03	<0.03
Lead	Pb	0.006	0.028	<0.005	0.08	<0.005	<0.005
Manganese	Mn	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Zinc	Zn	2.1	1.2	<0.05	2.41	0.071	0.08

※ 文献 [PNL-6451²⁰ APPENDIX E] より引用する。

Table 3.3.3.17 反射体（水）、不純物の原子個数密度 [PNL-6451] [1/4]

ケース番号		pnl6451 01		pnl6451 02	
実験番号		087		087S	
水密度 (g/cm ³)		0.99790 (21.4°C)		0.99749 (23.2°C)	
水	H	1.11667E-01	6.67154E-02	1.11621E-01	6.66880E-02
	O	8.86233E-01	3.33577E-02	8.85869E-01	3.33440E-02
	元素	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
不純物	H	4.79068E-07	2.86220E-07	4.79068E-07	2.86220E-07
	C	5.80848E-06	2.91238E-07	5.80848E-06	2.91238E-07
	O	3.57086E-05	1.34406E-06	3.57086E-05	1.34406E-06
	S	6.17523E-06	1.15976E-07	6.17523E-06	1.15976E-07
	N	5.00000E-08	2.14971E-09	5.00000E-08	2.14971E-09
	Cl	3.60000E-06	6.11520E-08	3.60000E-06	6.11520E-08
	F	1.00000E-07	3.16981E-09	1.00000E-07	3.16981E-09
	Cd	6.00000E-10	3.21427E-12	6.00000E-10	3.21427E-12
	Cu	5.00000E-08	4.73841E-10	5.00000E-08	4.73841E-10
	Cr	5.00000E-09	5.79095E-11	5.00000E-09	5.79095E-11
	Fe	1.09000E-07	1.17542E-09	1.09000E-07	1.17542E-09
	Pb	5.00000E-09	1.45310E-11	5.00000E-09	1.45310E-11
	Mn	1.00000E-08	1.09617E-10	1.00000E-08	1.09617E-10
	Zn	7.90000E-07	7.27692E-09	7.90000E-07	7.27692E-09

ケース番号		pnl6451 03		pnl6451 04	
実験番号		091		092	
水密度 (g/cm ³)		0.99734 (23.8°C)		0.99761 (22.7°C)	
水	H	1.11604E-01	6.66780E-02	1.11634E-01	6.66960E-02
	O	8.85736E-01	3.33390E-02	8.85976E-01	3.33480E-02
	元素	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
不純物	H	6.1122E-07	3.65177E-07	6.9382E-07	4.14526E-07
	C	7.3832E-06	3.70195E-07	8.3674E-06	4.19543E-07
	O	3.8204E-05	1.43800E-06	4.1938E-05	1.57853E-06
	S	4.2726E-06	8.02426E-08	4.1725E-06	7.83619E-08
	N	5.0000E-08	2.14971E-09	5.0000E-08	2.14971E-09
	Cl	2.5000E-06	4.24667E-08	2.4000E-06	4.07680E-08
	F	1.0000E-07	3.16981E-09	1.9000E-07	6.02265E-09
	Cd	1.0000E-09	5.35712E-12	1.0000E-09	5.35712E-12
	Cu	5.0000E-08	4.73841E-10	5.0000E-08	4.73841E-10
	Cr	5.0000E-09	5.79095E-11	5.0000E-09	5.79095E-11
	Fe	8.0000E-08	8.62691E-10	3.0000E-08	3.23509E-10
	Pb	5.0000E-09	1.45310E-11	5.0000E-09	1.45310E-11
	Mn	1.0000E-08	1.09617E-10	1.2000E-08	1.31540E-10
	Zn	6.5000E-07	5.98734E-09	7.5000E-07	6.90847E-09

※ HおよびOについては、水の原子個数密度に不純物の原子個数密度を加えた値とする。

Table 3.3.3.17 反射体（水）、不純物の原子個数密度 [PNL-6451] [2/4]

ケース番号		pnl6451 05		pnl6451 06	
実験番号		093		094	
水	水密度 (g/cm ³)	0.99732 (23.9°C)		0.99749 (23.2°C)	
	H	1.11602E-01	6.66766E-02	1.11621E-01	6.66880E-02
	O	8.85718E-01	3.33383E-02	8.85869E-01	3.33440E-02
不純物	元素	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
	H	6.9382E-07	4.14526E-07	4.9559E-07	2.96090E-07
	C	8.3674E-06	4.19543E-07	6.0053E-06	3.01107E-07
	O	3.9473E-05	1.48575E-06	3.0033E-05	1.13044E-06
	S	2.9374E-06	5.51668E-08	2.9374E-06	5.51668E-08
	N	5.0000E-08	2.14971E-09	5.0000E-08	2.14971E-09
	Cl	1.1000E-06	1.86853E-08	9.7000E-07	1.64771E-08
	F	1.6000E-07	5.07170E-09	1.4000E-07	4.43774E-09
	Cd	5.0000E-10	2.67856E-12	5.0000E-10	2.67856E-12
	Cu	5.0000E-08	4.73841E-10	5.0000E-08	4.73841E-10
	Cr	5.0000E-09	5.79095E-11	5.0000E-09	5.79095E-11
	Fe	3.0000E-08	3.23509E-10	7.0000E-08	7.54855E-10
	Pb	5.0000E-09	1.45310E-11	5.0000E-09	1.45310E-11
	Mn	1.0000E-08	1.09617E-10	1.0000E-08	1.09617E-10
Zn	5.0000E-08	4.60565E-10	5.0000E-08	4.60565E-10	

ケース番号		pnl6451 07		pnl6451 08	
実験番号		095		096	
水	水密度 (g/cm ³)	0.99779 (21.9°C)		0.99702 (25.1°C)	
	H	1.11654E-01	6.67080E-02	1.11568E-01	6.66566E-02
	O	8.86136E-01	3.33540E-02	8.85452E-01	3.33283E-02
不純物	元素	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
	H	1.0242E-06	6.11919E-07	1.0738E-06	6.41528E-07
	C	1.2304E-05	6.16936E-07	1.2895E-05	6.46545E-07
	O	5.5072E-05	2.07291E-06	5.7832E-05	2.17678E-06
	S	2.8706E-06	5.39130E-08	3.0709E-06	5.76744E-08
	N	5.0000E-08	2.14971E-09	5.0000E-08	2.14971E-09
	Cl	7.0000E-07	1.18907E-08	7.6000E-07	1.29099E-08
	F	2.0000E-07	6.33963E-09	2.0000E-07	6.33963E-09
	Cd	5.0000E-10	2.67856E-12	5.0000E-10	2.67856E-12
	Cu	5.0000E-08	4.73841E-10	5.0000E-08	4.73841E-10
	Cr	1.0000E-08	1.15819E-10	5.0000E-09	5.79095E-11
	Fe	3.0000E-08	3.23509E-10	1.0300E-07	1.11072E-09
	Pb	5.0000E-09	1.45310E-11	6.0000E-09	1.74372E-11
	Mn	1.0000E-08	1.09617E-10	1.0000E-08	1.09617E-10
Zn	5.5000E-08	5.06621E-10	2.1000E-06	1.93437E-08	

※ HおよびOについては、水の原子個数密度に不純物の原子個数密度を加えて入力する。

Table 3.3.3.17 反射体（水）、不純物の原子個数密度 [PNL-6451] [3/4]

ケース番号		pnl6451 09		pnl6451 10	
実験番号		097		098	
水	水密度 (g/cm ³)	0.99691 (25.5°C)		0.99689 (25.6°C)	
	H	1.11556E-01	6.66492E-02	1.11554E-01	6.66479E-02
	O	8.85354E-01	3.33246E-02	8.85336E-01	3.33239E-02
不純物	元素	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
	H	1.0242E-06	6.11919E-07	7.9294E-07	4.73743E-07
	C	1.2304E-05	6.16936E-07	9.5485E-06	4.78761E-07
	O	5.5205E-05	2.07793E-06	4.4526E-05	1.67594E-06
	S	2.9374E-06	5.51668E-08	3.1043E-06	5.83013E-08
	N	5.0000E-08	2.14971E-09	5.0000E-08	2.14971E-09
	Cl	5.6000E-07	9.51254E-09	1.1200E-06	1.90251E-08
	F	2.0000E-07	6.33963E-09	2.0000E-07	6.33963E-09
	Cd	5.0000E-10	2.67856E-12	1.9000E-09	1.01785E-11
	Cu	1.2000E-07	1.13722E-09	5.0000E-08	4.73841E-10
	Cr	5.0000E-09	5.79095E-11	5.0000E-09	5.79095E-11
	Fe	1.4800E-07	1.59598E-09	3.0000E-08	3.23509E-10
	Pb	2.8000E-08	8.13736E-11	5.0000E-09	1.45310E-11
	Mn	1.0000E-08	1.09617E-10	1.0000E-08	1.09617E-10
	Zn	1.2000E-06	1.10536E-08	5.0000E-08	4.60565E-10

ケース番号		pnl6451 11		pnl6451 12	
実験番号		099		100	
水	水密度 (g/cm ³)	0.9979 (21.4°C)		0.99739 (23.6°C)	
	H	1.11667E-01	6.67154E-02	1.11609E-01	6.66813E-02
	O	8.86233E-01	3.33577E-02	8.85781E-01	3.33406E-02
不純物	元素	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
	H	7.2686E-07	4.34265E-07	7.5990E-07	4.54004E-07
	C	8.7611E-06	4.39283E-07	9.1548E-06	4.59022E-07
	O	4.0646E-05	1.52992E-06	4.3019E-05	1.61923E-06
	S	2.7371E-06	5.14054E-08	3.1377E-06	5.89281E-08
	N	5.0000E-08	2.14971E-09	5.0000E-08	2.14971E-09
	Cl	1.1400E-06	1.93648E-08	1.1500E-06	1.95347E-08
	F	2.0000E-07	6.33963E-09	2.0000E-07	6.33963E-09
	Cd	6.0000E-10	3.21427E-12	5.0000E-10	2.67856E-12
	Cu	5.0000E-08	4.73841E-10	5.0000E-08	4.73841E-10
	Cr	9.0000E-09	1.04237E-10	5.0000E-09	5.79095E-11
	Fe	6.4000E-08	6.90153E-10	3.0000E-08	3.23509E-10
	Pb	8.0000E-08	2.32496E-10	5.0000E-09	1.45310E-11
	Mn	1.0000E-08	1.09617E-10	1.0000E-08	1.09617E-10
	Zn	2.4100E-06	2.21992E-08	7.1000E-08	6.54002E-10

※HおよびOについては、水の原子個数密度に不純物の原子個数密度を加えて入力する。

Table 3.3.3.17 反射体（水）、不純物の原子個数密度 [PNL-6451] [4/4]

ケース番号		pnl6451 13	
実験番号		108	
水	水密度 (g/cm ³)	0.99765 (22.5°C)	
	H	1.11639E-01	6.66987E-02
	O	8.86011E-01	3.33493E-02
不純物	元素	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
	H	8.2598E-07	4.93483E-07
	C	9.9422E-06	4.98500E-07
	O	4.6965E-05	1.76775E-06
	S	3.5382E-06	6.64509E-08
	N	5.0000E-08	2.14971E-09
	Cl	9.1000E-07	1.54579E-08
	F	2.0000E-07	6.33963E-09
	Cd	5.0000E-08	2.67856E-10
	Cu	5.0000E-08	4.73841E-10
	Cr	5.0000E-09	5.79095E-11
	Fe	3.0000E-08	3.23509E-10
	Pb	5.0000E-09	1.45310E-11
	Mn	1.0000E-08	1.09617E-10
Zn	8.0000E-08	7.36904E-10	

※HおよびOについては、水の原子個数密度に不純物の原子個数密度を加えて入力する。

● 中性子吸収材コンクリートの含有成分について

文献 [PNL-6451²⁰⁾ Table F.3] には、中性子吸収材コンクリートの成分表 (Table 3.3.3.18) が記載されているが、H、O、C についての含有量の記載がない。このため、中性子吸収材コンクリートの成分組成を推定する (詳細は、付録-2.2.14 (3)) を参照)。

Table 3.3.3.19 に中性子吸収材コンクリートの成分組成 (推定) を示す。

Table 3.3.3.18 B₄C コンクリートの成分 [PNL-6451]

元素	重量比 (wt%)			
	B ₄ C 0wt%	B ₄ C 1wt%	B ₄ C 2wt%	B ₄ C 6wt%
Al	4.82	4.9	4.82	4.53
B	0.02	0.58	1.56	5.02
Ba	0.07	0.07	0.07	0.06
Ca	15.4	15.3	13.9	14
Cu	0.01	0.01	0.01	0.01
Fe	4.39	4.47	4.35	4.16
K	0.54	0.64	1.52	1.36
Li	0.02	0.01	0.02	0.02
Mg	1.12	1.15	1.15	1.14
Mn	0.07	0.07	0.07	0.07
Na	1.89	1.59	1.48	1.45
Si	21.8	22.4	22.1	20.6
Sr	0.04	0.04	0.03	0.03
Ti	0.57	0.58	0.58	0.55
Zr	0.04	0.06	0.1	0.04

※ 文献 [PNL-6451²⁰⁾ Table F.3] より引用する。

Table 3.3.3.19 中性子吸収材コンクリートの成分組成 (推定) [PNL-6451]

元素	重量比 (wt%)			
	B ₄ C 0wt%	B ₄ C 1wt%	B ₄ C 2wt%	B ₄ C 6wt%
Al	4.82	4.9	4.82	4.53
B-10	0.00364	0.10553	0.28385	0.91340
B-11	0.01636	0.47447	1.27615	4.10660
Ba	0.07	0.07	0.07	0.06
Ca	15.4	15.3	13.9	14
Cu	0.01	0.01	0.01	0.01
Fe	4.39	4.47	4.35	4.16
K	0.54	0.64	1.52	1.36
Li-6	0.00084	0.00042	0.00084	0.00084
Li-7	0.01916	0.00958	0.01916	0.01916
Mg	1.12	1.15	1.15	1.14
Mn	0.07	0.07	0.07	0.07
Na	1.89	1.59	1.48	1.45
Si	21.8	22.4	22.1	20.6
Sr	0.04	0.04	0.03	0.03
Ti	0.57	0.58	0.58	0.55
Zr	0.04	0.06	0.1	0.04
H	0.95194	0.90843	1.16179	0.99860
O	48.24806	47.06607	46.65059	44.57302
C	—	0.15550	0.42762	1.38838

※1 ホウ素の同位体組成は次の値を用いた (理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用 (付録-1.3 を参照)。

B-10 : B-11 = 18.195207wt% : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

※2 リチウムの同位体組成は次の値を用いた (理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用 (付録-1.3 を参照)。

Li-6 : Li-7 = 4.18784wt% : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

3.3.4 PNL-6119

この実験では、円環状容器に(Pu+U)硝酸水溶液を充填し、その硝酸水溶液を逐次増加させて臨界水位を測定している。

本ベンチマーク計算では5ケースの実験を計算対象とする。

Table 3.3.4.1に臨界実験データを示す (pnl6119_01~05)。

Table 3.3.4.2に円筒状容器(ボトル)内の硝酸水溶液(B-1)の臨界実験データを示す。

円環状容器の内側、中央部には、(Pu+U)硝酸水溶液が充填された円筒状容器(ボトル)と中性子吸収材(環状コンクリート B₄C 2wt%)が配置される。円環形状容器は、反射体タンク内の左側に設置され、タンク内は円環状容器上端より、24.8cm下の高さまで反射体(水)が満たされている。また、反射体タンク内には、円環形状容器に並列して、直径 68.58cm、高さ 108.505cmの円筒状容器が右側に設置されている。

Fig. 3.3.4.1に計算モデル図を示す。

Fig. 3.3.4.2に円環状容器、円筒状容器(ボトル)の概要図を示す。

Fig. 3.3.4.3に環状コンクリート中性子吸収材の概要図を示す。

Fig. 3.3.4.4に円筒状容器(外径 68.58cm)の概要図を示す。

計算モデルでは、円筒状容器(ボトル)とその内部の(Pu+U)硝酸水溶液、中性子吸収材(環状コンクリート)、円環状容器とその内部の(Pu+U)硝酸水溶液および反射体(水)と反射体タンクを設定する。反射体タンクの溶液水位より上の空間については、空気雰囲気とする。

反射体タンクの外側境界条件は、全て真空中に設定する。

Table 3.3.4.3 実験装置の各領域温度を示す。

Table 3.3.4.4にPuおよびUの同位体の組成比を示す。

Table 3.3.4.5に(Pu+U)硝酸水溶液の原子個数密度を示す。

Table 3.3.4.6に計算に用いた物質の原子個数密度を示す

Table 3.3.4.7に空気中水分のHおよびOの原子個数密度を示す。

Table 3.3.4.8に分析時期と実験時期を示す。

Table 3.3.4.9、Table 3.3.4.10に補正したPu-241およびAm-241の原子個数密度を示す。

Pu-241の放射性壊変(β 崩壊)により、Pu-241およびAm-241の原子個数密度は、時間の経過とともにPu-241は減じAm-241は増加する。このため、分析時期と実験時期との期間を考慮して、Pu-241、Am-241の原子個数密度を補正する(付録-3を参照)。

Table 3.3.4.1 臨界実験データおよび計算ケース [PNL-6119]

計算ケース	実験番号	中性子吸収材	内側円筒状容器内溶液	臨界水位 (cm)	(Pu+U) 硝酸水溶液				
					Pu 濃度 (gPu/litre)	U 濃度 (gU/litre)	酸性度 (mol/litre)	密度 (g/cm ³)	Am241 濃度 (μgAm/ml)
pnl6119_01	052	Part26	B-1	31.32	172.6	156.41	1.07	1.5295	902
pnl6119_02	052R			31.06	172.6	156.41	1.07	1.5295	902
pnl6119_03	053			29.24	113.0	102.55	0.88	1.3569	577
pnl6119_04	057			31.05	60.7	55.62	0.53	1.1957	302
pnl6119_05	062			34.49	226.22	207.09	1.41	1.6752	1193

※ 文献 [PNL-6119²¹⁾ TABLE 3.1、TABLE 3.3] より引用する。

※ 中性子吸収材として用いられた物質を以下に示す。

・Part26 : 円環コンクリート 2wt%B₄C

※ 内側の円筒状容器 (ボトル) に用いた (Pu+U) 硝酸水溶液については、Table 3.3.4.2 に示す。内側の円筒状容器内の (Pu+U) 硝酸水溶液については、以降「B-1」と呼称する。

Table 3.3.4.2 円筒状容器内 (Pu+U) 硝酸水溶液の臨界実験データ [PNL-6119]

名称	(Pu+U) 硝酸水溶液高さ (cm)	(Pu+U) 硝酸水溶液				
		Pu 濃度 (gPu/litre)	U 濃度 (gU/litre)	酸性度 (mol/litre)	密度 (g/cm ³)	Am241 濃度 (μgAm/ml)
B-1	39.3	76.2	69.24	0.81	1.2483	394

※ 文献 [PNL-6119²¹⁾ TABLE 3.1、TABLE 3.3] より引用する。

Table 3.3.4.3 実験装置の各領域の設定温度 [PNL-6119]

計算ケース	温度 (°C) ※1			反射体 (水) 密度※2 (g/cm ³)	空気中水密度※3 (g/cm ³)
	燃料領域	反射体	その他 (室温)		
pnl6119_01	22.0	19.9	20.9	0.99822	1.82322E-05
pnl6119_02	23.3	19.1	20.3	0.99839	1.76061E-05
pnl6119_03	25.1	25.6	29.1	0.99689	2.89186E-05
pnl6119_04	23.9	19.9	19.9	0.99822	1.71991E-05
pnl6119_05	19.3	18.4	22.4	0.99852	1.98822E-05

※1 文献 [PNL-6119²¹⁾ TABLE 3.5] より引用する。

※2 反射体 (水) 密度は、反射体温度における密度とする (付録-2.2.16 を参照)。

※3 空気中水密度は、空気 (室温) の飽和水蒸気量とする (付録-2.2.17 を参照)。

Table 3.3.4.4 各計算ケースにおける Pu、U 同位体元素の重量比 [PNL-6119]

サンプル番号	sample 1111	sample 1112	sample 1121	sample 1152	sample 1110	
Pu 分析時期	1985/10/24	1985/09/10	1985/09/25	1986/05/14	1985/09/10	
U 分析時期	1985/10/25	1985/09/17	1985/09/24	1985/05/13	1985/09/17	
Am 分析時期	1985/10/21	1985/09/16	1985/09/23	1986/05/16	1985/09/16	
計算ケース	pnl6119_01 pnl6119_02	pnl6119_03	pnl6119_04	pnl6119_05	B-1	
元素	同位体	重量比 (wt%)				
Pu	Pu-238	0.024±0.002	0.029±0.001	0.027±0.001	0.028±0.001	0.029±0.001
	Pu-239	91.12±0.04	91.09±0.04	91.10±0.04	91.10±0.04	91.03±0.04
	Pu-240	8.30±0.04	8.33±0.04	8.31±0.04	8.33±0.04	8.38±0.04
	Pu-241	0.463±0.005	0.469±0.003	0.467±0.002	0.449±0.004	0.473±0.003
	Pu-242	0.092±0.002	0.093±0.004	0.092±0.002	0.090±0.002	0.098±0.084
U	U-234	0.009±0.002	0.008±0.002	0.009±0.003	0.01±0.005	0.009±0.02
	U-235	0.705±0.004	0.706±0.005	0.702±0.005	0.707±0.002	0.705±0.005
	U-236	0.024±0.002	0.022±0.001	0.022±0.001	0.027±0.005	0.023±0.001
	U-238	99.263±0.005	99.264±0.006	99.266±0.005	99.257±0.002	99.264±0.006
元素	同位体	水溶液中濃度 (μg/ml)				
Am	Am-241※	902	577	302	1192	394

※ 文献 [PNL-6119²¹⁾ TABLE 3.3、TABLE 3.4] より引用する。

Table 3.3.4.5 (Pu+U)硝酸水溶液の原子個数密度 [PNL-6119]

物質名	元素名	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)		
			pnl6119_01 (1.5295) ⁻ ※1	pnl6119_02 (1.5295) ⁻ ※1	pnl6119_03 (1.3569) ⁻ ※1
(Pu+U) 硝酸 水溶液	Pu-238	238.0495614	1.04795E-07	1.04795E-07	8.28919E-08
	Pu-239	239.0521648	3.96202E-04	3.96202E-04	2.59274E-04
	Pu-240	240.0538150	3.59390E-05	3.59390E-05	2.36112E-05
	Pu-241 ※2	241.0568529	2.01664E-06	2.01557E-06	1.32770E-06
	Pu-242	242.0587440	3.95060E-07	3.95060E-07	2.61423E-07
	Am-241 ※2	241.0568306	2.23400E-06	2.23506E-06	1.43656E-06
	U-234	234.0409504	3.62211E-08	3.62211E-08	2.11098E-08
	U-235	235.0439282	2.82521E-06	2.82521E-06	1.85499E-06
	U-236	236.0455695	9.57693E-08	9.57693E-08	5.75590E-08
	U-238	238.0507870	3.92761E-04	3.92761E-04	2.57519E-04
	H	1.0079709	5.75150E-02	5.75150E-02	6.07614E-02
	N	14.0068578	3.17436E-03	3.17436E-03	2.18707E-03
	O	15.9993744	3.87498E-02	3.87498E-02	3.71958E-02
不純物 ※3			Table 3.3.4.13 参照	Table 3.3.4.13 参照	Table 3.3.4.13 参照

物質名	元素名	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)		
			pnl6119_04 (1.1957) ⁻ ※1	pnl6119_05 (1.6752) ⁻ ※1	B-1 (1.2483) ⁻ ※1
(Pu+U) 硝酸 水溶液	Pu-238	238.0495614	4.14623E-08	1.60245E-07	5.58976E-08
	Pu-239	239.0521648	1.39310E-04	5.19183E-04	1.74725E-04
	Pu-240	240.0538150	1.26546E-05	4.72750E-05	1.60176E-05
	Pu-241 ※2	241.0568529	7.09418E-07	2.57313E-06	Table 3.3.4.10 参照
	Pu-242	242.0587440	1.38939E-07	5.06543E-07	1.85767E-07
	Am-241 ※2	241.0568306	7.53431E-07	2.94417E-06	Table 3.3.4.10 参照
	U-234	234.0409504	1.28806E-08	5.32861E-08	1.60345E-08
	U-235	235.0439282	1.00040E-06	3.75125E-06	1.25067E-06
	U-236	236.0455695	3.12186E-08	1.42651E-07	4.06290E-08
	U-238	238.0507870	1.39675E-04	5.19993E-04	1.73870E-04
	H	1.0079709	6.35831E-02	5.30972E-02	6.24643E-02
	N	14.0068578	1.21202E-03	4.17565E-03	1.60569E-03
	O	15.9993744	3.55495E-02	3.96989E-02	3.61556E-02
不純物 ※3			Table 3.3.4.13 参照	Table 3.3.4.13 参照	Table 3.3.4.13 参照

※1 括弧内の数値は、溶液密度 (g/cm³) を表す。

※2 Am-241 および Pu-241 の原子個数密度は、Table 3.3.4.8 に示す分析時期と実験時期の間で補正を行う。Table 3.3.4.9、付録-3 を参照。また B-1 については、Table 3.3.4.10 を参照。

※3 (Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物について考慮する。不純物については、Table 3.3.4.13、付録-2.4 を参照。

Table 3.3.4.6 計算に用いた物質の原子個数密度 [PNL-6119]

物質名	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
コンクリート ^{※1} (中性子吸収材)	2.19	Al	4.82	26.9815384	2.35600E-03
		B-10 ^{※2}	0.28385	10.0129369	3.73865E-04
		B-11 ^{※2}	1.27615	11.0093052	1.52876E-03
		Ba	0.07	137.3266719	6.72261E-06
		Ca	13.9	40.0780225	4.57408E-03
		Cu	0.01	63.5460395	2.07542E-06
		Fe	4.35	55.8451437	1.02730E-03
		K	1.52	39.0983009	5.12721E-04
		Li-6 ^{※3}	0.00084	6.0151229	1.83608E-06
		Li-7 ^{※3}	0.01916	7.0160034	3.60213E-05
		Mg	1.15	24.3057012	6.24000E-04
		Mn	0.07	54.9380432	1.68043E-05
		Na	1.48	22.9897693	8.49028E-04
		Si	22.1	28.0849993	1.03780E-02
		Sr	0.03	87.6166443	4.51575E-06
		Ti	0.58	47.8667439	1.59805E-04
		Zr	0.1	91.2236428	1.44573E-05
H	1.16179	1.0079709	1.52011E-02		
O	46.65059	15.9993744	3.84547E-02		
C	0.42762	12.0106356	4.69557E-04		
SUS304L ^{※3} (容器、その他)	7.93	C	0.03	12.0106356	1.19283E-04
		Si	1.0	28.0849993	1.70039E-03
		Mn	2.0	54.9380432	1.73852E-03
		P	0.045	30.9737620	6.93813E-05
		S	0.03	32.0654619	4.46795E-05
		Ni	11.0	58.6933505	8.95010E-03
		Cr	19.0	51.9961306	1.74505E-02
Fe	66.895	55.8451437	5.72048E-02		
炭素鋼 ^{※4} (容器、その他)	7.8212	C	1.0	12.0106356	3.92155E-03
		Fe	99.0	55.8451437	8.34976E-02
空気 ^{※5}	Table 3.3.4.7 参照				
水 ^{※6} (反射体)	0.99822 (19.9°C)	H	11.19016	1.0079709	6.67368E-02
		O 不純物	88.80984	15.9993744	3.33684E-02 Table 3.3.4.15 参照

※1 中性子吸収材コンクリートは、B₄C2wt%を含むものを使用している。コンクリートの組成については、Table 3.3.3.19、付録-2.2.14を参照。

※2 B および Li の同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾より引用する (付録-1.3 を参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

※3 SUS304L については、JIS G 4303 より引用する (付録-2.2.8 を参照)。

※4 炭素鋼、については、SCALE 6.2.3 コードシステムに内蔵された標準物質 CARBON STEEL の組成を引用する (付録-2.3.6 を参照)。

※5 空気中の主成分 (N₂、O₂ 等々) は考慮せず、中性子への影響が大きい空気中の水分について考慮する。空気中の水分は、飽和水蒸気量に相当する密度とする (Table 3.3.4.3、Table 3.3.4.7、付録-2.2.17 を参照)。

※6 水の密度については、各水温の時の密度とする。本表においては、19.9°C の場合の密度を示す。また、反射体 (水) に含まれる不純物の影響を考慮する (Table 3.3.4.3、Table 3.3.4.15、付録-2.2.16 を参照)。

Table 3.3.4.7 空気中水分の H および O の原子個数密度 [PNL-6119]

計算ケース	温度 (°C)	飽和蒸気量 (g/cm ³)	密度 (g/cm ³)		原子個数密度 (atoms/barn · cm)	
			H	O	H	O
pnl6119_01	20.9	1.82322E-05	2.04022E-06	1.61920E-05	1.21893E-06	6.0947E-07
pnl6119_02	20.3	1.76061E-05	1.97015E-06	1.56360E-05	1.17707E-06	5.8854E-07
pnl6119_03	29.1	2.89186E-05	3.23604E-06	2.56826E-05	1.93338E-06	9.6669E-07
pnl6119_04	19.9	1.71991E-05	1.92460E-06	1.52745E-05	1.14986E-06	5.7493E-07
pnl6119_05	22.4	1.98822E-05	2.22485E-06	1.76574E-05	1.32924E-06	6.6462E-07

※ 空気中の主成分 (N₂、O₂ 等々) については考慮せず、中性子への影響が大きい空気中の水分について考慮する。空気中の水分は、飽和水蒸気量に相当する密度とする (付録-2.2.17 を参照)。

Table 3.3.4.8 分析時期および実験時期 [PNL-6119]

計算ケース	実験番号	Am-241 濃度 ^{*1} (µg/ml)	Am 分析時期 ^{*1}	Pu 分析時期 ^{*2}	実験時期 ^{*3}
pnl6119_01	052	902	1985/10/21	1985/10/24	1985/08/09
pnl6119_02	052R	902	1985/10/21	1985/10/24	1985/08/13
pnl6119_03	053	577	1985/09/16	1985/09/10	1985/08/19
pnl6119_04	057	302	1985/09/23	1985/09/25	1985/09/12
pnl6119_05	062	1193	1986/05/16	1986/05/14	1986/01/29
B-1	—	394	1985/09/16	1985/09/10	各ケースの実験時期

※1 文献 [PNL-6119²¹] TABLE 3.3] より引用する。

※2 文献 [PNL-6119²¹] TABLE 3.4] より引用する。

※3 文献 [PNL-6119²¹] TABLE 3.1] より引用する。

Table 3.3.4.9 補正した Am-241 および Pu-241 の原子個数密度 [PNL-6119]

計算ケース	実験番号	原子個数密度 (atoms/barn · cm)			
		初期値 (分析時)		補正值 (実験時)	
		Pu-241	Am-241	Pu-241	Am-241
pnl6119_01	052	1.99645E-06	2.25340E-06	2.016642E-06	2.23400E-06
pnl6119_02	052R	1.99645E-06	2.25340E-06	2.015574E-06	2.23506E-06
pnl6119_03	053	1.32384E-06	1.44148E-06	1.327701E-06	1.43656E-06
pnl6119_04	057	7.08197E-07	7.54464E-07	7.094178E-07	7.53431E-07
pnl6119_05	062	2.53759E-06	2.98038E-06	2.573127E-06	2.94417E-06

Table 3.3.4.10 ボトル内燃料 B-1 の補正した Am-241 および Pu-241 の原子個数密度 [PNL-6119]

ケース名	実験番号	Pu-241 濃度 (g/litre)	Am-241 濃度 ^{*1} (µg/ml)	実験時期 ^{*2}	原子個数密度 (atoms/barn · cm)			
					初期値 (分析時)		補正值 (実験時)	
					Pu-241	Am-241	Pu-241	Am-241
pnl6119_01	052	0.360426	394	1985/08/09	9.00335E-07	9.84300E-07	9.04159E-07	9.79761E-07
pnl6119_02	052R			1985/08/13			9.03680E-07	9.80240E-07
pnl6119_03	053			1985/08/19			9.02962E-07	9.80958E-07
pnl6119_04	057			1985/09/12			9.00096E-07	9.83824E-07
pnl6119_05	062			1986/01/29			8.83678E-07	1.00024E-06

※1 文献 [PNL-6119²¹] TABLE 3.3] より引用する。

※2 文献 [PNL-6119²¹] TABLE 3.1] より引用する。

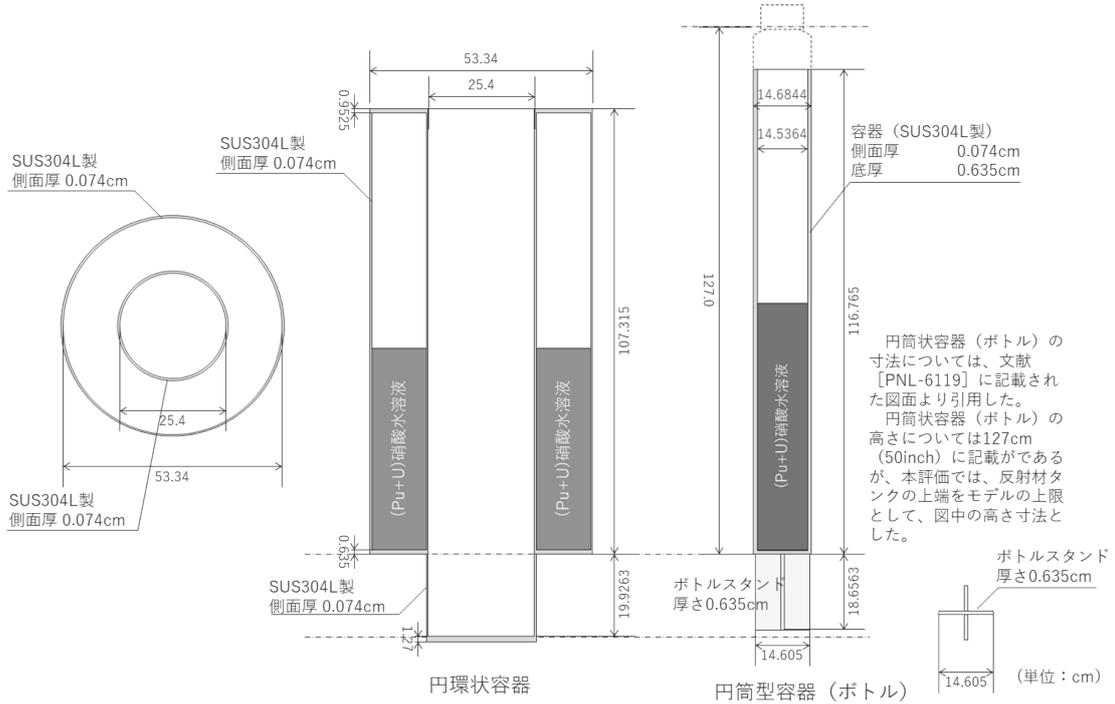


Fig. 3.3.4.2 円環状容器、円筒状容器 (ボトル) 概要図 [PNL-6119]

※ 円環状容器、円筒状容器 (ボトル) の寸法、形状は文献 [PNL-6451²⁰⁾] および文献 [PNL-6119²¹⁾] に記載された図面より引用する。

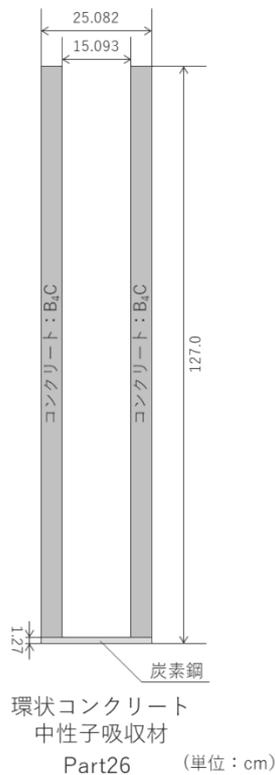


Fig. 3.3.4.3 環状コンクリート中性子吸収材の概要図 [PNL-6119]

※文献 [PNL-6119²¹⁾] FIGURE 2.8] より引用する。

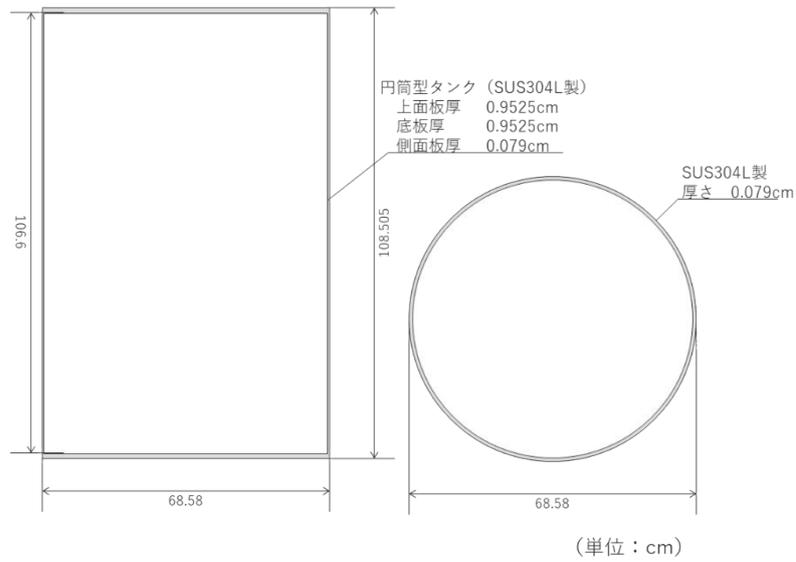


Fig. 3.3.4.4 円筒状容器 (外径 68.58cm) 概要図 [PNL-6119]

※ 容器外径については、文献 [PNL-5768¹⁸⁾] に記載された図面より引用 (外径 27 インチ=68.58cm)。

※ 容器上面板厚、下面板厚については、文献 [PNL-5768¹⁸⁾] に記載された図面より引用 (3/8 インチ=0.9525cm)。

• (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物について

文献 [PNL-6119²¹⁾ APPENDIX D] に (Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物について記述があり、Table 3.3.4.11 に示す。文献には、実験番号 052、052R、053、057、062 および B-1 に対応する sample 1111、sample 1112、sample 1121、sample 1152、sample 1110 の記載がある。これらの不純物の化学分析は、Spark Source Mass Spectrographic analysis (SSMS 分析：火花源質量分析) で分析されている。

実験に複数のサンプルデータが対応する場合は、その平均値を採用する。

sample 1121 は、文献中の該当資料に“WASTE SOLUTIONS”の記述があり、かつ B 濃度が 100ppm を超える等、信頼性に欠ける値となっている。sample 1121 においては、Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy (ICP 分析：誘導結合プラズマ発光分光法) による分析結果も示されている (Table 3.3.4.12)。

本ベンチマーク計算では他のデータとの整合性を考え、ICP 分析によって示された値を引用する。

不純物の成分は、重量比 (ppm) で与えられているため、計算ケース毎に (Pu+U) 硝酸水溶液密度に乗算して、その原子個数密度を求める。

実験番号 057 (pnl6119_04) の不純物 sample 1121 (ICP 分析) については、濃度 (mg/litre) で与えられているため、元素毎の密度を計算し、その原子個数密度を求める。

Table 3.3.4.13 に (Pu+U) 硝酸水溶液中不純物の原子個数密度を示す。

Table 3.3.4.11 (Pu+U)硝酸水溶液中の不純物 [PNL-6119] (SSMS 分析)

サンプル番号	sample 1110		sample 1111	Sample 1112		Sample 1121	Sample 1152
	#100	#101	#120	#102	#103	#125	#33
実験番号	B-1		052、052R	053		057	062
計算ケース	pnl6119_01~05		pnl6119_01 pnl6119_02	pnl6119_03		pnl6119_04	pnl6119_05
分析時期	1985/9/6		1985/10/24	1985/9/6		1985/9/26	1986/5/15
元素	重量比 (ppm)						
Ag	<10	<10	10	10	10	*	—
Al	500	1000	700	500	500	2000	30
B	6	7	10	10	10	100	3
Ba	—	—	—	—	—	4	—
Be	<2	<2	2	2	2	*	0.4
Ca	<25	200	250	25	25	50	200
Cd	6	6	5	10	10	1	1
Cl	—	—	—	—	—	100	—
Co	5	6	7	6	6	0.2	3
Cr	300	700	400	600	700	50	200
Cu	200	300	20	500	600	600	400
Dy	—	—	—	—	—	—	2
Eu	—	—	—	—	—	—	1
Fe	700	>1000	1600	>1000	>1000	90	300
Ga	—	—	—	—	—	30	—
Gd	—	—	—	—	—	—	2
K	200	300	230	600	400	300	4
Li	<1	<1	<1	<1	<1	0.2	1
Mg	100	>200	40	100	100	300	7
Mn	30	80	80	70	80	7	70
Mo	<30	<30	40	<30	<30	2	6
Na	200	200	<60	500	400	1000	30
Ni	<50	<50	320	<50	<50	30	100
P	—	—	—	—	—	30	10
Pb	<10	100	<10	>200	>200	—	—
S	—	—	—	—	—	300	—
Si	<40	<40	<40	<40	<40	2000	10
Sm	—	—	—	—	—	—	1
Sn	<10	<10	<10	<10	<10	—	2
Ti	<35	300	<35	<35	<35	40	40
Th	—	—	—	—	—	5	—
V	<50	<50	<50	<50	<50	<0.3	0.3
W	—	—	—	—	—	—	2
Zn	20	<20	40	60	200	40	100
Zr	—	—	—	—	—	—	40

※ 文献 [PNL-6119²¹] APPENDIX D) より引用する (SSMS 分析による)。

※ sample 1121 については、SSMS 分析結果を採用せず、後述の ICP 分析結果を採用する。

※ * interference

Table 3.3.4.12 (Pu+U) 硝酸水溶液中の不純物 [PNL-6119] (ICP 分析)

サンプル番号	sample 1121
実験番号	057
計算ケース	pnl6119 04
元素	不純物濃度 (mg/litre)
Al	50.1
B	1.4
Ba	3.2
Ca	33.9
Cd	3.5
Ce	1.9
Cr	41
Cu	13.8
Dy	0.4
Fe	133.7
Gd	<1
K	8
La	0.4
Li	0.3
Mg	8.5
Mn	8.4
Mo	0.6
Na	30.6
Nd	1.3
Ni	30.6
Rh	3.8
Ru	2.1
Si	35.7
Sr	(a)
Te	(a)
Ti	9
Zn	2.3
Zr	0.7

※ 文献 [PNL-6119²¹⁾ APPENDIX D] より引用 (ICP 分析による)。

※ (a) Element not detected

Table 3.3.4.13 (Pu+U)硝酸水溶液中不純物の原子個数密度 [PNL-6119] [1/5]

計算ケース	pnl6119 01、02		
不純物サンプル番号	sample 1111		
実験番号	052、052R		
溶液密度 (g/cm ³)	1.5295		
核種	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
Ag	0.001	1.52950E-05	8.53900E-08
Al	0.07	1.07065E-03	2.38964E-05
B-10 [※]	1.8195E-04	2.78296E-06	1.67377E-07
B-11 [※]	8.1805E-04	1.25120E-05	6.84415E-07
Ba	—	—	—
Be	0.0002	3.05900E-06	2.04409E-07
Ca	0.025	3.82375E-04	5.74558E-06
Cd	0.0005	7.64750E-06	4.09686E-08
Cl	—	—	—
Co	0.0007	1.07065E-05	1.09405E-07
Cr	0.04	6.11800E-04	7.08581E-06
Cu	0.002	3.05900E-05	2.89896E-07
Dy	—	—	—
Eu	—	—	—
Fe	0.16	2.44720E-03	2.63897E-05
Ga	—	—	—
Gd	—	—	—
K	0.023	3.51785E-04	5.41839E-06
Li-6 [※]	4.1871E-06	6.40415E-08	6.41162E-09
Li-7 [※]	9.5813E-05	1.46546E-06	1.25787E-07
Mg	0.004	6.11800E-05	1.51584E-06
Mn	0.008	1.22360E-04	1.34127E-06
Mo	0.004	6.11800E-05	3.83991E-07
Na	0.006	9.17700E-05	2.40390E-06
Ni	0.032	4.89440E-04	5.02182E-06
P	—	—	—
Pb	0.001	1.52950E-05	4.44504E-08
S	—	—	—
Si	0.004	6.11800E-05	1.31186E-06
Sm	—	—	—
Sn	0.001	1.52950E-05	7.75912E-08
Ti	0.0035	5.35325E-05	6.73495E-07
Th	—	—	—
V	0.005	7.64750E-05	9.04064E-07
W	—	—	—
Zn	0.004	6.11800E-05	5.63547E-07
Zr	—	—	—

※ B、LiおよびTaの同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾より引用する (付録-1.3を参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

Table 3.3.4.13 (Pu+U)硝酸水溶液中不純物の原子個数密度 [PNL-6119] [2/5]

計算ケース	pnl6119_03		
不純物サンプル番号	sample 1112		
実験番号	053		
溶液密度 (g/cm ³)	1.3569		
核種	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Ag	0.001	1.35690E-05	7.57540E-08
Al	0.05	6.78450E-04	1.51427E-05
B-10 [※]	1.8195E-04	2.46891E-06	1.48489E-07
B-11 [※]	8.1805E-04	1.11001E-05	6.07180E-07
Ba	—	—	—
Be	0.0002	2.71380E-06	1.81342E-07
Ca	0.0025	3.39225E-05	5.09721E-07
Cd	0.001	1.35690E-05	7.26907E-08
Cl	—	—	—
Co	0.0006	8.14140E-06	8.31936E-08
Cr	0.065	8.81985E-04	1.02151E-05
Cu	0.055	7.46295E-04	7.07250E-06
Dy	—	—	—
Eu	—	—	—
Fe	0.1	1.35690E-03	1.46323E-05
Ga	—	—	—
Gd	—	—	—
K	0.05	6.78450E-04	1.04499E-05
Li-6 [※]	4.1871E-06	5.68145E-08	5.68808E-09
Li-7 [※]	9.5813E-05	1.30009E-06	1.11592E-07
Mg	0.01	1.35690E-04	3.36194E-06
Mn	0.0075	1.01768E-04	1.11554E-06
Mo	0.003	4.07070E-05	2.55494E-07
Na	0.045	6.10605E-04	1.59947E-05
Ni	0.005	6.78450E-05	6.96113E-07
P	—	—	—
Pb	0.02	2.71380E-04	7.88685E-07
S	—	—	—
Si	0.004	5.42760E-05	1.16382E-06
Sm	—	—	—
Sn	0.001	1.35690E-05	6.88353E-08
Ti	0.0035	4.74915E-05	5.97493E-07
Th	—	—	—
V	0.005	6.78450E-05	8.02042E-07
W	—	—	—
Zn	0.013	1.76397E-04	1.62484E-06
Zr	—	—	—

※ B、LiおよびTaの同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾より引用する (付録-1.3を参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

Table 3.3.4.13 (Pu+U)硝酸水溶液中不純物の原子個数密度 [PNL-6119] [3/5]

計算ケース	pnl6119_04		
不純物サンプル番号	sample 1121 ^{※1}		
実験番号	057		
溶液密度 (g/cm ³)	1.1957		
核種	濃度 (mg/litre)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Al	50.1	5.01000E-05	1.11821E-06
B-10 ^{※2}	1.4	2.54733E-07	1.53206E-08
B-11 ^{※2}		1.14527E-06	6.26466E-08
Ba	3.2	3.20000E-06	1.40329E-08
Ca	33.9	3.39000E-05	5.09383E-07
Cd	3.5	3.50000E-06	1.87499E-08
Ce	1.9	1.90000E-06	8.16616E-09
Cr	41	4.10000E-05	4.74858E-07
Cu	13.8	1.38000E-05	1.30780E-07
Dy	0.4	4.00000E-07	1.48238E-09
Fe	133.7	1.33700E-04	1.44177E-06
Gd	1	1.00000E-06	3.82961E-09
K	8	8.00000E-06	1.23221E-07
La	0.4	4.00000E-07	1.73417E-09
Li-6 ^{※2}	0.3	1.25613E-08	1.25759E-09
Li-7 ^{※2}		2.87439E-07	2.46721E-08
Mg	8.5	8.50000E-06	2.10602E-07
Mn	8.4	8.40000E-06	9.20782E-08
Mo	0.6	6.00000E-07	3.76585E-09
Na	30.6	3.06000E-05	8.01563E-07
Nd	1.3	1.30000E-06	5.42755E-09
Ni	30.6	3.06000E-05	3.13967E-07
Rh	3.8	3.80000E-06	2.22380E-08
Ru	2.1	2.10000E-06	1.25132E-08
Si	35.7	3.57000E-05	7.65499E-07
Ti	9	9.00000E-06	1.13229E-07
Zn	2.3	2.30000E-06	2.11860E-08
Zr	0.7	7.00000E-07	4.62106E-09

※1 ICP 分析結果より算出。

※2 B、Li および Ta の同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (付録-1.3 を参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

Table 3.3.4.13 (Pu+U)硝酸水溶液中不純物の原子個数密度 [PNL-6119] [4/5]

計算ケース	pnl6119_05		
不純物サンプル番号	sample 1152		
実験番号	062		
溶液密度 (g/cm ³)	1.6752		
核種	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Ag	—	—	—
Al	0.003	5.02560E-05	1.12169E-06
B-10 [*]	5.4586E-05	9.14418E-07	5.49964E-08
B-11 [*]	2.4541E-04	4.11118E-06	2.24884E-07
Ba	—	—	—
Be	0.00004	6.70080E-07	4.47762E-08
Ca	0.02	3.35040E-04	5.03433E-06
Cd	0.0001	1.67520E-06	8.97424E-09
Cl	—	—	—
Co	0.0003	5.02560E-06	5.13545E-08
Cr	0.02	3.35040E-04	3.88040E-06
Cu	0.04	6.70080E-04	6.35022E-06
Dy	0.0002	3.35040E-06	1.24164E-08
Eu	0.0001	1.67520E-06	6.63859E-09
Fe	0.03	5.02560E-04	5.41943E-06
Ga	—	—	—
Gd	0.0002	3.35040E-06	1.28307E-08
K	0.0004	6.70080E-06	1.03209E-07
Li-6 [*]	4.1871E-06	7.01420E-08	7.02239E-09
Li-7 [*]	9.5813E-05	1.60506E-06	1.37769E-07
Mg	0.0007	1.17264E-05	2.90541E-07
Mn	0.007	1.17264E-04	1.28541E-06
Mo	0.0006	1.00512E-05	6.30855E-08
Na	0.003	5.02560E-05	1.31645E-06
Ni	0.01	1.67520E-04	1.71881E-06
P	0.001	1.67520E-05	3.25704E-07
Pb	—	—	—
S	—	—	—
Si	0.001	1.67520E-05	3.59206E-07
Sm	0.0001	1.67520E-06	6.70922E-09
Sn	0.0002	3.35040E-06	1.69965E-08
Ti	0.004	6.70080E-05	8.43031E-07
Th	—	—	—
V	0.00003	5.02560E-07	5.94111E-09
W	0.0002	3.35040E-06	1.09750E-08
Zn	0.01	1.67520E-04	1.54308E-06
Zr	0.004	6.70080E-05	4.42354E-07

※ B、LiおよびTaの同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾より引用する(付録-1.3を参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

Table 3.3.4.13 (Pu+U)硝酸水溶液中不純物の原子個数密度 [PNL-6119] [5/5]

計算ケース	pnl6119_01~05		
不純物サンプル番号	sample1110		
実験番号	B-1		
溶液密度 (g/cm ³)	1.2483		
核種	重量比 (wt%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn·cm)
Ag	0.001	1.24830E-05	6.96910E-08
Al	0.075	9.36225E-04	2.08961E-05
B-10 [※]	1.1827E-04	1.47635E-06	8.87930E-08
B-11 [※]	5.3173E-04	6.63760E-06	3.63080E-07
Ba	—	—	—
Be	0.0002	2.49660E-06	1.66828E-07
Ca	0.01125	1.40434E-04	2.11016E-06
Cd	0.0006	7.48980E-06	4.01237E-08
Cl	—	—	—
Co	0.00055	6.86565E-06	7.01573E-08
Cr	0.05	6.24150E-04	7.22884E-06
Cu	0.025	3.12075E-04	2.95748E-06
Dy	—	—	—
Eu	—	—	—
Fe	0.085	1.06106E-03	1.14420E-05
Ga	—	—	—
Gd	—	—	—
K	0.025	3.12075E-04	4.80676E-06
Li-6 [※]	4.1871E-06	5.22674E-08	5.23284E-09
Li-7 [※]	9.5813E-05	1.19603E-06	1.02661E-07
Mg	0.015	1.87245E-04	4.63931E-06
Mn	0.0055	6.86565E-05	7.52592E-07
Mo	0.003	3.74490E-05	2.35045E-07
Na	0.02	2.49660E-04	6.53981E-06
Ni	0.005	6.24150E-05	6.40399E-07
P	—	—	—
Pb	0.0055	6.86565E-05	1.99530E-07
S	—	—	—
Si	0.004	4.99320E-05	1.07067E-06
Sm	—	—	—
Sn	0.001	1.24830E-05	6.33260E-08
Ti	0.01675	2.09090E-04	2.63058E-06
Th	—	—	—
V	0.005	6.24150E-05	7.37851E-07
W	—	—	—
Zn	0.002	2.49660E-05	2.29969E-07
Zr	—	—	—

※ B、LiおよびTaの同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾より引用する(付録-1.3を参照)。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

• 反射体（水）の不純物について

反射体の水に含まれる不純物の分析結果が文献 [PNL-6119²¹⁾ APPENDIX F] に記されている (Table 3.3.4.14)。本ベンチマーク計算では、該当する計算ケースにおいて、実験時の反射体温度の密度の水に不純物の原子個数密度を加えて入力し、その影響を考慮する。

Table 3.3.4.15 に反射体（水）と不純物の原子個数密度を示す。

Table 3.3.4.14 反射体（水）中の不純物 [PNL-6119]

実験番号		052/053	057	062
対応計算ケース		pnl6119_01 pnl6119_02 pnl6119_03	pnl6119_04	pnl6119_05
pH		7.6	8.1	7.4
(mg/litre)				
Total alkalinity		44	50.9	53.8
HCO ₃ Alkalinity	HCO ₃	42	48	51
CO ₃ Alkalinity	CO ₃	<0.5	0.7	<0.5
Total dissolved solids		82	81	82
Sulfate	SO ₄	13	15	17.9
Nitrate - N	NO ₃	<0.04	0.05	0.12
Chloride	Cl	3	2.4	2.1
Fluoride	F	<0.1	<0.1	0.1
Cadmium	Cd	0.0008	0.0008	<0.0005
Copper	Cu	<0.01	<0.01	<0.05
Chromium	Cr	<0.01	<0.01	<0.005
Iron	Fe	0.08	0.11	0.06
Lead	Pb	<0.002	<0.002	<0.005
Manganese	Mn	0.01	<0.01	<0.01
Zinc	Zn	0.18	0.4	<0.05

※ 文献 [PNL-6119²¹⁾ APPENDIX F] より一部抜粋。

Table 3.3.4.15 反射体（水）と不純物の原子個数密度 [PNL-6119] [1/2]

計算ケース番号		pnl6119 01		pnl6119 02	
実験番号		052		052R	
水	水密度 (g/cm ³)	0.99822 (19.9°C)		0.99839 (19.1°C)	
	H	1.11702E-01	6.67368E-02	1.11721E-01	6.67481E-02
	O	8.86518E-01	3.33684E-02	8.86669E-01	3.33741E-02
不純物	元素	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
	H	6.93822E-07	4.14526E-07	6.93822E-07	4.14526E-07
	C	8.36742E-06	4.19543E-07	8.36742E-06	4.19543E-07
	O	4.22365E-05	1.58977E-06	4.22365E-05	1.58977E-06
	S	4.33935E-06	8.14964E-08	4.33935E-06	8.14964E-08
	N	4.00000E-08	1.71977E-09	4.00000E-08	1.71977E-09
	Cl	3.00000E-06	5.09600E-08	3.00000E-06	5.09600E-08
	F	1.00000E-07	3.16981E-09	1.00000E-07	3.16981E-09
	Cd	8.00000E-10	4.28569E-12	8.00000E-10	4.28569E-12
	Cu	1.00000E-08	9.47682E-11	1.00000E-08	9.47682E-11
	Cr	1.00000E-08	1.15819E-10	1.00000E-08	1.15819E-10
	Fe	8.00000E-08	8.62691E-10	8.00000E-08	8.62691E-10
	Pb	2.00000E-09	5.81240E-12	2.00000E-09	5.81240E-12
	Mn	1.00000E-08	1.09617E-10	1.00000E-08	1.09617E-10
Zn	1.80000E-07	1.65803E-09	1.80000E-07	1.65803E-09	

計算ケース番号		pnl6119 03		pnl6119 04	
実験番号		053		057	
水	水密度 (g/cm ³)	0.99689 (25.6°C)		0.99822 (19.9°C)	
	H	1.11554E-01	6.66479E-02	1.11702E-01	6.67368E-02
	O	8.85336E-01	3.33239E-02	8.86518E-01	3.33684E-02
不純物	元素	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
	H	6.93822E-07	4.14526E-07	7.92940E-07	4.73743E-07
	C	8.36742E-06	4.19543E-07	9.58850E-06	4.80768E-07
	O	4.22365E-05	1.58977E-06	4.84829E-05	1.82489E-06
	S	4.33935E-06	8.14964E-08	5.00694E-06	9.40343E-08
	N	4.00000E-08	1.71977E-09	5.00000E-08	2.14971E-09
	Cl	3.00000E-06	5.09600E-08	2.40000E-06	4.07680E-08
	F	1.00000E-07	3.16981E-09	1.00000E-07	3.16981E-09
	Cd	8.00000E-10	4.28569E-12	8.00000E-10	4.28569E-12
	Cu	1.00000E-08	9.47682E-11	1.00000E-08	9.47682E-11
	Cr	1.00000E-08	1.15819E-10	1.00000E-08	1.15819E-10
	Fe	8.00000E-08	8.62691E-10	1.10000E-07	1.18620E-09
	Pb	2.00000E-09	5.81240E-12	2.00000E-09	5.81240E-12
	Mn	1.00000E-08	1.09617E-10	1.00000E-08	1.09617E-10
Zn	1.80000E-07	1.65803E-09	4.00000E-07	3.68452E-09	

※HおよびOについては、水の原子個数密度に不純物の原子個数密度を加えて入力する。

Table 3.3.4.15 反射体（水）と不純物の原子個数密度 [PNL-6119] [2/2]

計算ケース番号		pnl6119_05	
実験番号		062	
水	水密度 (g/cm ³)	0.99852 (18.4°C)	
	H	1.11736E-01	6.67568E-02
	O	8.86784E-01	3.33784E-02
不純物	元素	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
	H	8.42499E-07	5.03352E-07
	C	1.01390E-05	5.08370E-07
	O	5.28548E-05	1.98945E-06
	S	5.97495E-06	1.12214E-07
	N	1.20000E-07	5.15931E-09
	Cl	2.10000E-06	3.56720E-08
	F	1.00000E-07	3.16981E-09
	Cd	5.00000E-10	2.67856E-12
	Cu	5.00000E-08	4.73841E-10
	Cr	5.00000E-09	5.79095E-11
	Fe	6.00000E-08	6.47019E-10
	Pb	5.00000E-09	1.45310E-11
Mn	1.00000E-08	1.09617E-10	
Zn	5.00000E-08	4.60565E-10	

※H および O については、水の原子個数密度に不純物の原子個数密度を加えて入力する。

3.4 PuO₂均質系

PuO₂均質系の実験においては、以下の3つの文献に記載された臨界実験を計算対象とする。

- ① Nuclear Applications Vol.6²²⁾
- ② Nuclear Technology Vol.11²³⁾
- ③ Nuclear Technology Vol.15²⁴⁾

いずれの実験においても、PuO₂-ポリスチレン均質混合燃料コンパクトを臨界となるまで配列して積み重ね、その臨界となる条件（奥行、幅、高さ）を測定している。

上に挙げた文献においては、以下の事項を確認している。

- 1) 燃料コンパクトの寸法と配列数の記載が無い。
- 2) 実験で使用された物質（プレキシガラス）の原子個数密度の記載が無い。

このため、同じ実験を記載している文献 [PNL-2273³²⁾] を参考に、その物性値の整合性を図る（付録-2.7.2、付録-2.2.11、付録-2.2.12 参照）。

3.4.1 Nuclear Applications Vol.6

この臨界実験では、減速条件 H/Pu の原子個数比が 5.0 を有する PuO₂-ポリスチレン均質混合燃料コンパクトを積み重ね、臨界となる条件を測定している。

燃料ポリスチレンは、奥行 5.12cm、幅 5.12cm、高さ 3.81cm (Type1) もしくは、1.304cm (Type2) を有し、テープ (0.018cm 厚) をクラッド (被覆材) として使用し、燃料コンパクトを形成している。

実験では、積み上げられた燃料コンパクトの外側に、プレキシガラス (15cm 厚) を反射体として設置した体系と、反射体を設置しない体系で実施されているが、本ベンチマーク計算では、プレキシガラスを反射体として用いた実験 (4 ケース) を評価対象とする。

Table 3.4.1.1 に臨界実験データを示す。

Table 3.4.1.2 に計算で用いた物質の原子個数密度を示す。

Fig. 3.4.1.1、Table 3.4.1.3 に燃料コンパクトの形状および寸法を示す。

Fig. 3.4.1.2 に燃料コンパクト配列の計算モデル図を示す。

Fig. 3.4.1.3 に燃料コンパクト配列の計算モデルイメージを示す。

文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK NO.12] では、積層体の高さについては、最上層の配列個数を平均化して積層数で示されている。計算モデルでは、平均化された積層数から最上層の配列個数を計算してモデル化する。最上層で、燃料コンパクトが並ぶ部分以外の反射体との隙間は、真空として設定する。

燃料コンパクト積層体の外側には、反射体として厚さ 15cm のプレキシガラスを設定する。

計算モデルの外側境界条件については、真空として設定し計算を行う。

また、モデル全体の温度をコア中心温度 333K（文献 [PNL-2273³²] BENCHMARK NO.12] より引用）に設定する。

入力データの作成には、文献 [PNL-2273³²] BENCHMARK NO.12] に記載されている配列、寸法条件および物質の原子個数密度を引用する。

Table 3.4.1.1 臨界実験データおよび燃料コンパクトの配列データ [Nucl.App.Vol.6]

計算 ケース	臨界時の燃料コンパクト 配列寸法 (cm) ※1			燃料コンパクト配列数※2				
	奥行	幅	高さ	奥行 (Ln)	幅 (Wn)	高さ (Hn)		最上層個数※3 (Type2)
						Type1	Type2	
na6_01	25.88	25.88	19.04	5	5	4	2,434	11
na6_02	31.24	30.96	14.77	6	6	3	2,164	6
na6_03	41.66	41.28	11.03	8	8	2	2,338	22
na6_04	52.07	51.6	9.38	10	10	2	1,118	12

※1 この寸法は、文献 [Nuclear Applications Vol.6²²] TABLE II] より引用する。

※2 文献 [PNL-2273³²] BENCHMARK NO.12] 記載の燃料コンパクト配列個数を引用する。

※3 燃料コンパクト配列の最上層の配列個数は、以下の式により求めた。

最上層燃料コンパクト個数 = (長さ方向個数) × (幅方向個数) × (高さ方向小数点以下の数値)

Table 3.4.1.2 計算で用いた物質の原子個数密度 [Nucl.App.Vol.6]

材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
燃料コンパクト※1 5.0 H/Pu (PuO ₂ -ポリスチレン)	3.24183 (2.3027gPu/cm ³)	Pu-239	61.05256	4.986E-03
		Pu-240	8.14371	6.623E-04
		Pu-241	1.70642	1.382E-04
		Pu-242	0.12721	1.026E-05
		H	1.50761	2.920E-02
		O	9.49829	1.159E-02
		C	17.96420	2.920E-02
クラッド※2	1.12181	H	6.69770	4.489E-02
		C	55.30880	3.111E-02
		Cl	37.99350	7.240E-03
プレキシガラス※3 (アクリル樹脂)	1.18623	H	7.99477	5.666E-02
		C	60.02271	3.570E-02
		O	31.98252	1.428E-02

※1 PuO₂-ポリスチレンの原子個数密度は、文献 [Nuclear Applications Vol.6²²] TABLE I] 記載の数値を引用する。この値は、文献 [PNL-2273³²] BENCHMARK NO.12] に記載された値と同値である。また、表中に示す密度および重量比は、原子個数密度より計算される値である。PuO₂ ポリスチレンの密度については、文献 [PNL-2273³²] BENCHMARK NO.12] に 3.241g/cm³ (2.302gPu/cm³) の記述がある (付録-2.7.2 を参照)。

※2 クラッドの原子個数密度は、文献 [PNL-2273³²] BENCHMARK NO.12] に記載されているデータを引用する。密度および組成については、原子個数密度より計算する。クラッドの密度については 1120kg/m³ の記述がある (付録-2.2.11 を参照)。

※3 プレキシガラスの原子個数密度は、文献 [PNL-2273³²] BENCHMARK NO.12] に記載されているデータを引用する。密度および組成については、原子個数密度より計算する。プレキシガラスの密度については 1185kg/m³ の記述がある (付録-2.2.12 を参照)。

Table 3.4.1.3 燃料コンパクト寸法 [Nucl.App.Vol.6]

コンパクトタイプ 減速条件	Type1			Type2		
	5.0 H/Pu					
	奥行	幅	高さ	奥行	幅	高さ
ポリスチレン外寸 (cm) (奥行 L1、幅 W1、高さ H1)	5.120	5.120	3.810	5.12	5.120	1.304
クラッド外寸 (cm) (奥行 L2、幅 W2、高さ H2)	5.174	5.156	3.846	5.174	5.156	1.355
コンパクト (真空) 外寸 (cm) (奥行 L3、幅 W3、高さ H3)	5.207	5.159	3.881	5.207	5.159	1.400

※ 燃料コンパクトの寸法は文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK NO.12] より引用する。

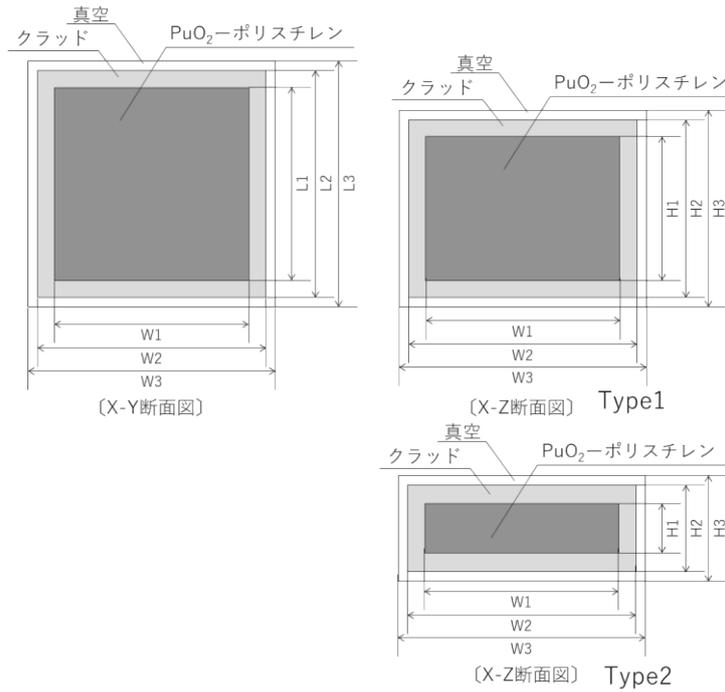


Fig. 3.4.1.1 燃料コンパクトの計算モデル図 [Nucl.App.Vol.6]

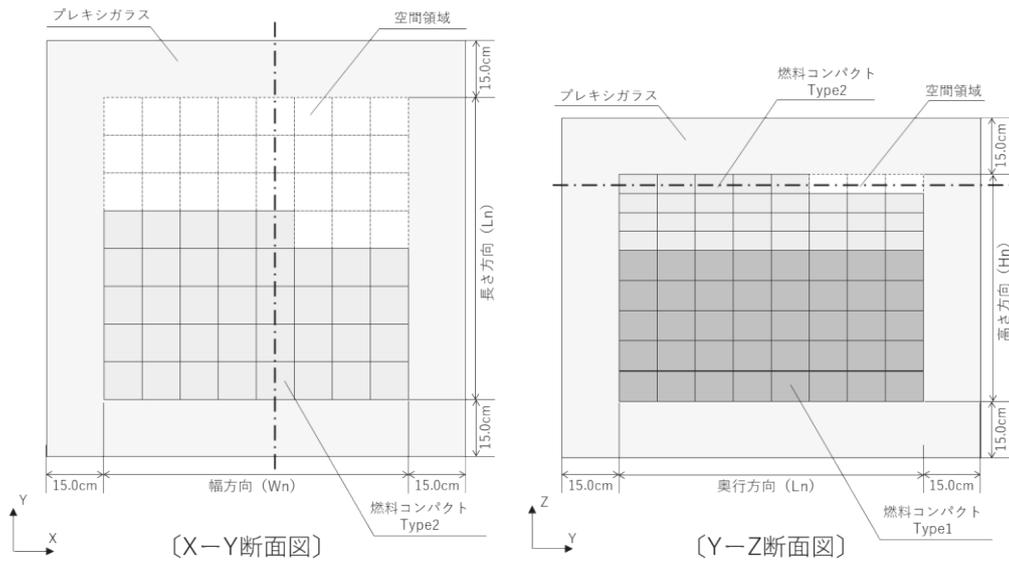
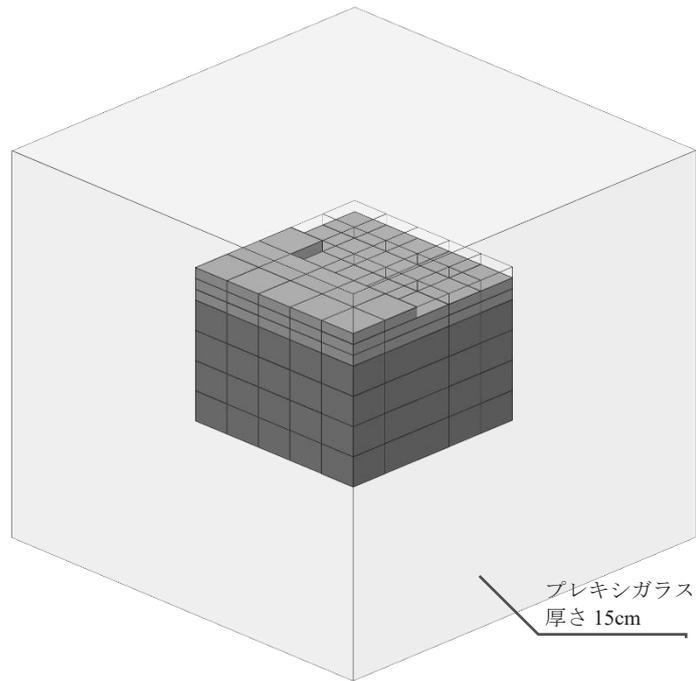


Fig. 3.4.1.2 燃料コンパクト配列の計算モデル図 [Nucl.App.Vol.6]

※ 図中の Ln、Wn および Hn は、Table 3.4.1.1 に示す配列個数を示す。
 ※ 最上層の燃料コンパクトが並ぶ部分以外の空間領域は真空とする。



減速条件 (atomic)	Type1	Type2
5.0 H/Pu		

計算ケース : na6_01

Fig. 3.4.1.3 燃料コンパクト配列の計算モデルイメージ [Nucl.App.Vol.6]

3.4.2 Nuclear Technology Vol.11

この臨界実験では、減速条件 H/Pu の原子個数比が 0.04 を有する PuO₂-ポリスチレン均質混合燃料コンパクトを積み重ね、臨界となる条件を測定している。

燃料ポリスチレンは、奥行 5.13cm、幅 5.13cm、高さ 3.81cm (Type1) もしくは、1.265cm (Type2) を有し、ポリオレフィンプラスチック製テープをクラッド (被覆材) として使用し、燃料コンパクトを形成している。

実験は、積み上げられた燃料コンパクトの外側に、厚さ 15cm のプレキシガラスを反射体として設置する。体系と、反射体を設置しない体系で、それぞれ実施されているが、本ベンチマーク計算では、プレキシガラスを反射体として用いた実験 (5 ケース) を評価対象とする。

Table 3.4.2.1 に臨界実験データを示す。

Table 3.4.2.2 に本計算で用いた物質の原子個数密度を示す。

Fig. 3.4.2.1、Table 3.4.2.3 に燃料コンパクト形状および寸法を示す。

Fig. 3.4.2.2 に燃料コンパクト配列の計算モデル図を示す。

Fig. 3.4.2.3 に燃料コンパクト配列の計算モデルイメージを示す。

文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK NO.11] では、積層体の高さについては、最上層の配列個数を平均化して積層数で示されている。計算モデルでは、平均化された積層数から最上層の配列個数を計算してモデル化する。最上層で、燃料コンパクトが並ぶ部分以外の反射体との隙間は、真空として設定する。

計算モデルの外側境界条件については、真空として設定して計算を実施する。

また、モデル全体の温度をコア中心温度 323K (文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK NO.11] より引用) に設定する。

入力データの作成には、文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK NO.11] に記載されている配列、寸法条件および物質の原子個数密度を引用する。

Table 3.4.2.1 臨界実験データおよび燃料コンパクトの配列データ [Nucl.Tech.Vol.11]

計算 ケース	臨界時の燃料コンパクト 配列寸法 (cm) ※1			燃料コンパクト配列個数※2				
	奥行	幅	高さ	奥行 (Ln)	幅 (Wn)	高さ (Hn)		最上層個数※3 (Type2)
						Type1	Type2	
nt11_01	25.65	25.65	10.03	5	5	2	1.909	23
nt11_02	25.65	30.78	8.98	5	6	2	1.078	2
nt11_03	30.78	30.78	7.97	6	6	2	0.271	10
nt11_04	30.78	41.05	6.87	6	8	1	2.409	20
nt11_05	41.05	41.05	5.95	8	8	1	1.858	55

※1 この寸法は、文献 [Nuclear Technology Vol.11²³⁾ TABLE II] より引用する。

※2 文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK NO.11] 記載の燃料コンパクト配列個数を引用する。

※3 燃料コンパクト配列の最上層の配列個数は、以下の式により求めた。

最上層燃料コンパクト個数 = (奥行方向個数) × (幅方向個数) × (高さ方向小数点以下の数値)

Table 3.4.2.2 計算に用いた物質の原子個数密度 [Nucl.Tech.Vol.11]

材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
燃料コンパクト※1 0.04 H/Pu (PuO ₂ ポリスチレン)	6.58272 (5.7612gPu/cm ³)	Pu-238	0.20300	3.3806E-05
		Pu-239	65.83839	1.0918E-02
		Pu-240	16.06411	2.6528E-03
		Pu-241	4.41821	7.2658E-04
		Pu-242	0.99603	1.6312E-04
		H	0.01400	5.5061E-04
		O	12.46626	3.0888E-02
クラッド※2 (ポリオレフィンプラスチック)	1.27003	H	6.07946	4.613E-02
		C	45.61902	2.905E-02
		O	48.30152	2.309E-02
プレキシガラス※3 (アクリル樹脂)	1.18623	H	7.99477	5.666E-02
		C	60.02271	3.570E-02
		O	31.98252	1.428E-02

※1 原子個数密度は、文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK NO.11] 記載の数値を引用する。密度および重量比は、原子個数密度より計算して求める。PuO₂ ポリスチレンの密度については、6583±44kg/m³ (5762±39kgPu/m³) の記述がある (付録-2.7.2 を参照)。

※2 クラッドの原子個数密度は、文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK NO.11] に記載されているデータを引用する。密度および組成については、原子個数密度より計算する (クラッドの密度については 1270kg/m³ の記述がある)。また、polyolefin plastic の記述がある (付録-2.2.11 を参照)。

※3 プレキシガラスの原子個数密度は、文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK NO.11] に記載されているデータを引用する。密度および組成については、原子個数密度より計算する。プレキシガラスの密度については 1185kg/m³ の記述がある (付録-2.2.12 を参照)。

Table 3.4.2.3 燃料コンパクト寸法 [Nucl.Tech.Vol.11]

コンパクトタイプ	Type1			Type2		
減速条件	0.04 H/Pu					
	奥行	幅	高さ	奥行	幅	高さ
ポリスチレン外寸 (cm) (奥行 L1、幅 W1、高さ H1)	5.130	5.130	3.810	5.130	5.130	1.265
クラッド外寸 (cm) (奥行 L2、幅 W2、高さ H2)	5.510	5.510	4.079	5.510	5.510	1.525
コンパクト (真空) 外寸 (cm) (奥行 L3、幅 W3、高さ H3)	5.540	5.540	4.090	5.540	5.540	1.536

※ 燃料コンパクトの寸法は、文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK NO.11] より引用する。

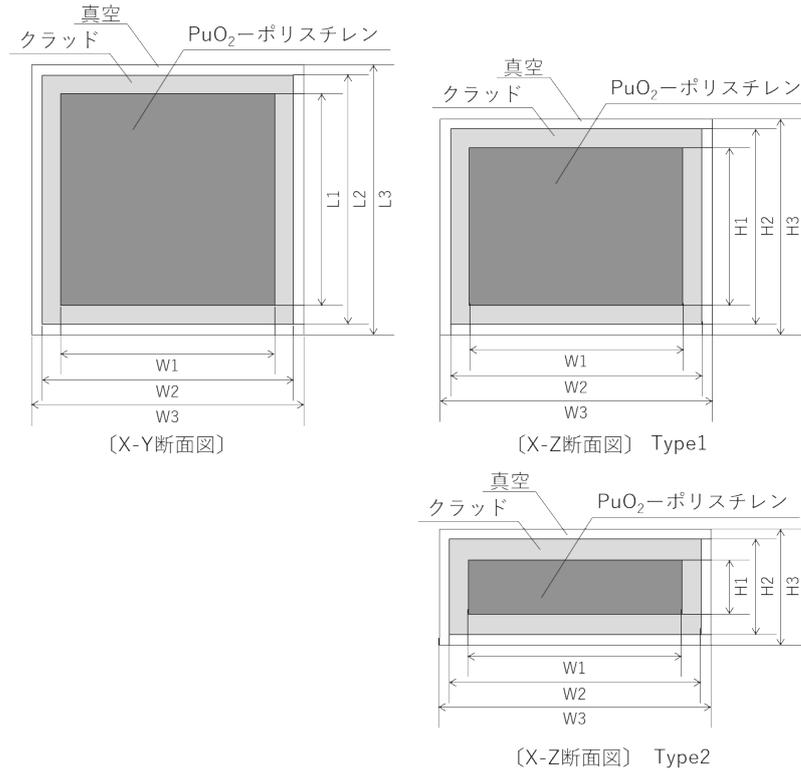


Fig. 3.4.2.1 燃料コンパクトの計算モデル図 [Nucl.Tech.Vol.11]

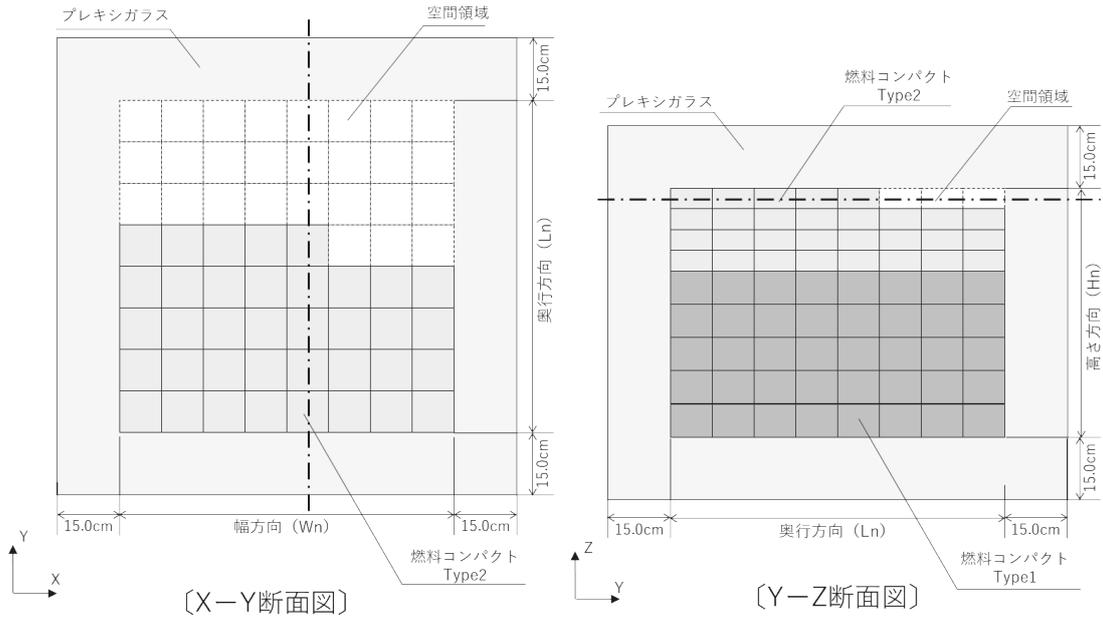
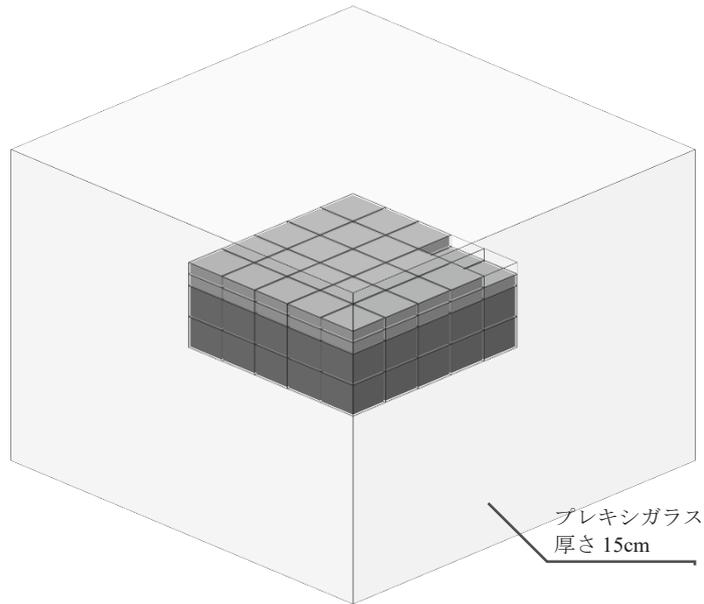


Fig. 3.4.2.2 燃料コンパクト配列の計算モデル図 [Nucl.Tech.Vol.11]

- ※ 図中の Ln、Wn および Hn は Table 3.4.2.1 に示す配列個数を表す。
- ※ 最上層の燃料コンパクトが並ぶ部分以外の空間領域は真空とする。



減速条件 (atomic)	Type1	Type2
0.04 H/Pu		

計算ケース : nt11_01

Fig. 3.4.2.3 燃料コンパクト配列の計算モデルイメージ [Nucl.Tech.Vol.11]

3.4.3 Nuclear Technology Vol.15

この臨界実験では、減速条件 H/Pu の原子個数比が 49.6 を有する PuO_2 -ポリスチレン均質混合燃料コンパクトを積み重ね、臨界となる条件を測定している。

燃料ポリスチレンは、奥行 5.09cm、幅 5.09cm、高さ 5.090cm (Type1) もしくは、1.351cm (Type2) を有し、テープ (0.018cm 厚) をクラッド (被覆材) として使用し、燃料コンパクトを形成している。

実験は、積み上げられた燃料コンパクトの外側に、厚さ 15cm のプレキシガラスを反射体として設置した体系と、反射体を設置しない体系で、それぞれ実施されているが、本ベンチマーク計算では、プレキシガラスを反射体として用いた実験 (7 ケース) を評価対象とする。

Table 3.4.3.1 に臨界実験データを示す。

Table 3.4.3.2 に計算に用いた物質の原子個数密度を示す。

Fig. 3.4.3.1、Table 3.4.3.3 に燃料コンパクト形状および寸法を示す。

Fig. 3.4.3.2 に燃料コンパクト配列の計算モデル図を示す。

Fig. 3.4.3.3 に燃料コンパクト配列の計算モデルイメージを示す。

文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK NO.9] では、積層体の高さについては、最上層の配列個数を平均化して積層数で示されている。計算モデルでは、平均化された積層数から最上層の配列個数を計算してモデル化する。最上層で、燃料コンパクトが並ぶ部分以外の反射体との隙間は、真空として設定する。

計算モデルの外側境界条件については、真空として設定し計算を行った。

また、モデル全体の温度をコア中心温度 328K (文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK NO.9] より引用) に設定する。

入力データの作成には、文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK NO.9] に記載されている配列、寸法条件および物質の原子個数密度を引用する。

Table 3.4.3.1 臨界実験データおよび燃料コンパクトの配列データ [Nucl.Tech.Vol.15]

計算 ケース	臨界時の燃料コンパクト 配列寸法 (cm) ※1			燃料コンパクト配列個数				
	奥行	幅	高さ	奥行 (Ln)	幅 (Wn)	高さ (Hn)		最上層個数※4
						Type1	Type2	
nt15_01	61.08	61.08	16.35	12※2	12※2	3※2	0.859※2	124
nt15_02	50.90	61.08	17.48	10※2	12※2	3※2	1.695※2	83
nt15_03	50.90	50.90	18.68	10※2	10※2	3※2	2.592※2	59
nt15_04	50.90	45.81	19.69	10※3	9※3	3.869※3	—	78
nt15_05	40.72	45.81	22.06	8※3	9※3	4.335※3	—	24
nt15_06	40.72	40.72	23.58	8※2	8※2	4※2	2.467※2	30
nt15_07	40.72	30.54	29.64	8※3	6※3	5.824※3	—	40

※1 この寸法は、文献 [Nuclear Technology Vol.15²⁴⁾ TABLE II] より引用する。

※2 文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK NO.9] 記載の燃料コンパクト配列個数を引用する。

※3 文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK NO.9] に配列個数の記載が無かったため、文献 [Nuclear Technology Vol.15²⁴⁾] 記載の臨界形状寸法と燃料コンパクト寸法より、燃料コンパクト配列個数を求める。そのため、燃料コンパクト Type1 のみを用いる。

※4 燃料コンパクト配列の最上層の配列個数は、以下の式により求める。

$$\text{最上層燃料コンパクト個数} = (\text{奥行方向個数}) \times (\text{幅方向個数}) \times (\text{高さ方向小数点以下の数値})$$

Table 3.4.3.2 計算に用いた物質の原子個数密度 [Nucl.Tech.Vol.15]

材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
燃料コンパクト※1 49.6 H/Pu (PuO ₂ -ポリスチレン)	1.39926 (0.3692gPu/cm ³)	Am-241	0.20803	7.272E-06
		Pu-238	0.05997	2.123E-06
		Pu-239	19.84689	6.996E-04
		Pu-240	4.84292	1.700E-04
		Pu-241	1.12596	3.936E-05
		Pu-242	0.29990	1.044E-05
		H	5.47015	4.573E-02
		O	3.97775	2.095E-03
		C	64.16843	4.502E-02
クラッド※2	1.12181	H	6.69770	4.489E-02
		C	55.30880	3.111E-02
		Cl	37.99350	7.240E-03
プレキシガラス※3 (アクリル樹脂)	1.18623	H	7.99477	5.666E-02
		C	60.02271	3.570E-02
		O	31.98252	1.428E-02

※1 原子個数密度は、文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK NO.9] 記載の数値を引用する。密度および重量比については、原子個数密度より計算して求める。PuO₂ ポリスチレンの密度については、1399.4±12.9kg/m³ (366.3±3.8kgPu/m³) に記載がある (付録-2.7.2 を参照)。

※2 クラッドの原子個数密度は、文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK NO.9] に記載されているデータを引用する。密度および組成については、原子個数密度より計算する。クラッドの密度については 1120kg/m³ の記述がある (付録-2.2.11 を参照)。

※3 プレキシガラスの原子個数密度は、文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK NO.9] に記載されているデータを引用する。密度および組成については、原子個数密度より計算する。プレキシガラスの密度については 1185kg/m³ の記述がある (付録-2.2.12 を参照)。

Table 3.4.3.3 燃料コンパクト寸法 [Nucl.Tech.Vol.15]

コンパクトタイプ	Type1			Type2		
減速条件	49.6 H/Pu					
	奥行	幅	高さ	奥行	幅	高さ
ポリスチレン外寸 (cm) (奥行 L1、幅 W1、高さ H1)	5.090	5.090	5.089	5.090	5.090	1.351
クラッド外寸 (cm) (奥行 L2、幅 W2、高さ H2)	5.114	5.114	5.137	5.114	5.114	1.375
コンパクト (真空) 外寸 (cm) (奥行 L3、幅 W3、高さ H3)	5.190	5.190	5.160	5.190	5.190	1.384

※ 燃料コンパクトの寸法は、文献 [PNL-2273³²] BENCHMARK NO.9 より引用する。

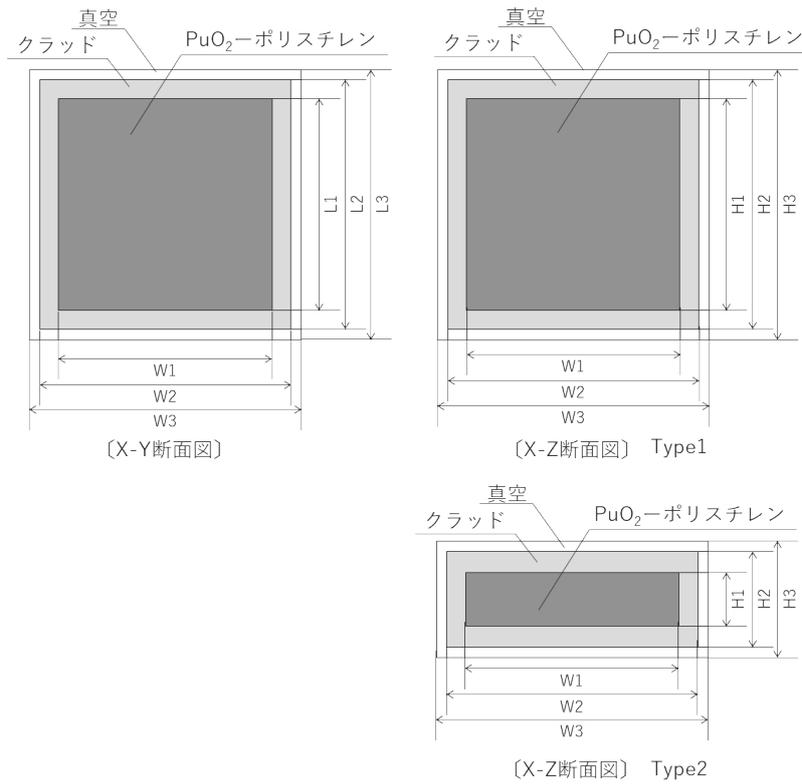
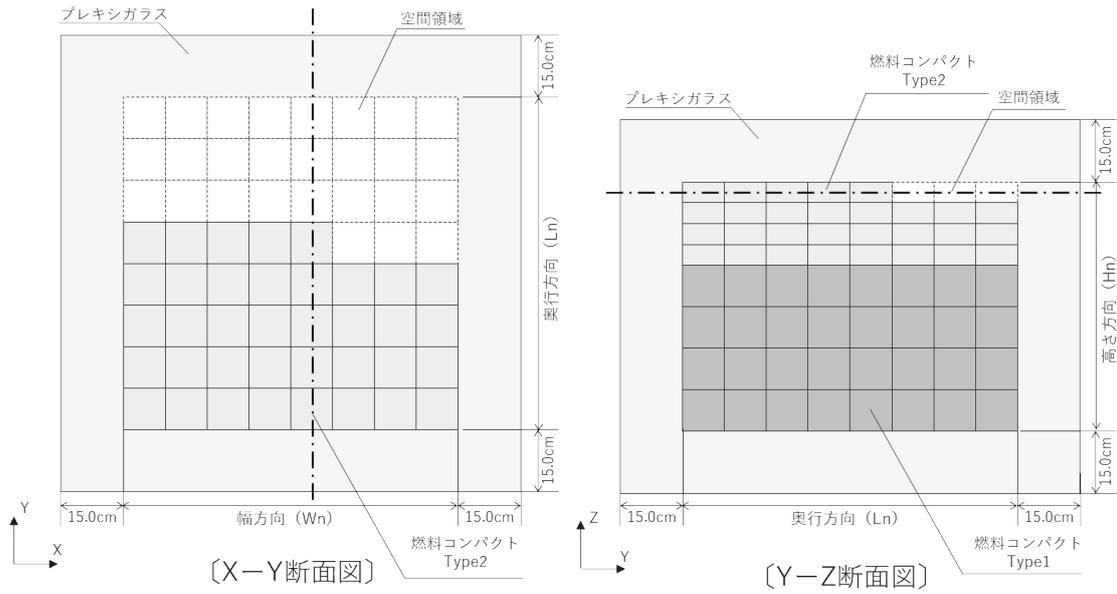
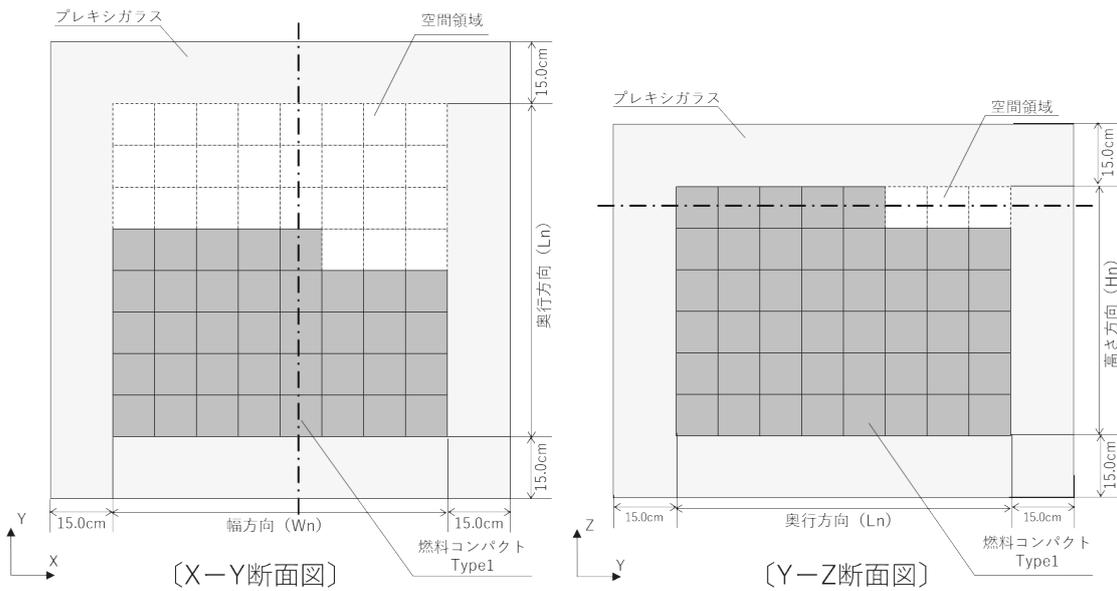


Fig. 3.4.3.1 燃料コンパクトの計算モデル図 [Nucl.Tech.Vol.15]



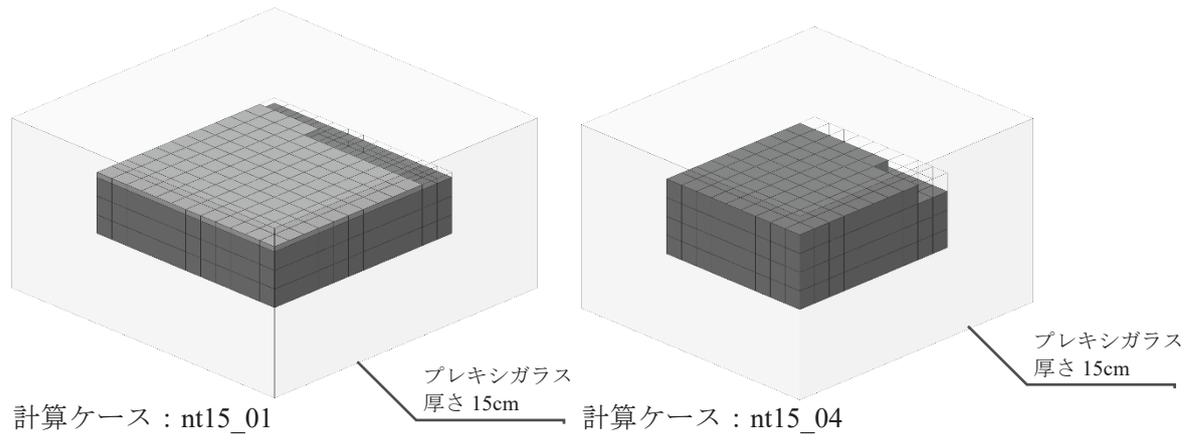
[対象計算ケース : nt15_01、02、03、06]



[対象計算ケース : nt15_04、05、07]

Fig. 3.4.3.2 燃料コンパクト配列の計算モデル図 [Nucl.Tech.Vol.15]

- ※ 図中の Ln、Wn および Hn は Table 3.4.3.1 中の配列個数を表す。
- ※ 最上層の燃料コンパクトが並ぶ部分以外の空間領域は真空とする。



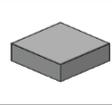
減速条件 (atomic)	Type1	Type2
49.6 H/Pu		

Fig. 3.4.3.3 燃料コンパクト配列の計算モデルイメージ [Nucl.Tech.Vol.15]

3.5 Pu 均質系

文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾] に記述された実験では、2種類の形状の容器を用いて、容器中に $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ 水溶液を充填し、臨界となる条件 ($\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ 水溶液濃度、容器形状、臨界水位、等々) を測定している。

硝酸水溶液中の Pu 濃度、中性子吸収材としての鉄 (Fe) やガドリニウム (Gd) の濃度、または、容器の大きさを変更し、球形状容器を用いた実験 67 ケース、円筒形状容器を用いた実験 34 ケースが実施されている。

- (1) 実験ケース：球形状容器を用いた実験 (計算ケース数 67)
- (2) 実験ケース：円筒形状容器を用いた実験 (計算ケース数 34)

3.5.1 Nuclear Science and Engineering Vol.79 球形状容器を用いた実験

球形状容器を用いた実験では、ステンレス製 (Type-347、SUS304L)、もしくはアルミニウム製の容器内に条件 (Pu 濃度、U 濃度、Fe 濃度、溶液半径、等々) を変更する。 $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ 水溶液を充填し、臨界となる条件 (臨界体積) を測定している。

本ベンチマーク計算では、容器の外側に反射体として水を設定した実験 (59 ケース) と反射体を設定していない実験 (8 ケース) が実施されている。

(1) 反射体を設定した実験 [Nuclear Science and Engineering Vol.79 TABLE I]

反射体 (水) を設定したケースのうち 39 ケース (nse79_sph01~39) は、

文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾ TABLE I]

文献 [HW-24514³³⁾]

文献 [PNL-2700³⁴⁾ pp.6-7 Pu BENCHMARK 3]

に記載された実験に相当し、これらの臨界実験データより計算モデルを作成する。

Fig. 3.5.1.1 に球形状容器で反射体を設定した計算モデル図 (nse79_sph01~39) を示す。

球形状容器 (Type-347 ステンレス製 0.127cm 厚、もしくはアルミニウム製 0.081cm) は、反射体タンク (直径 99.334cm、高さ 121.92cm) 内に設置される。球形状容器の上部に内径 4.7325cm の硝酸水溶液供給パイプをモデル化する。

反射体タンク内には、球形状容器の下方に厚さ 45.0cm、球形状容器内寸法上端の上方に厚さ 30.48cm を保つよう、水が充填されている。反射体 (水) 水位より上方の領域においては、反射体タンクの上端まで空気雰囲気とする。

球形状容器の内半径は、15.24cm、16.51cm、17.78cm、19.05cm とし、それぞれ文献 [HW-24514³³⁾] に記載された内直径 12、13、14、15 インチより決定している。

文献 [HW-24514³³⁾] には、実験ケース毎に臨界体積が記載されており、実験ケースによっては、臨界体積が容器容積を超えるケース (nse79_sph01~07、10~39) や、容器容積未満となる

ケース (nse79_sph08、09) が存在する。臨界体積が容器容量に比べ過剰となっている場合は、上部の供給パイプ内に $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ 水溶液の過剰分が滞留する計算モデルを作成する。臨界体積が容器溶液未満である場合は、容器内上部に空気の領域（球切形状）が存在する計算モデルを作成する。

（２）反射体を設定した実験 [Nuclear Science and Engineering Vol.79 TABLE III]

反射体（水）を設定したケースのうち 20 ケース (nse79_sph40～59) は、

文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾ TABLE III]、

文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.25³⁵⁾]、

文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.31³⁶⁾]、

文献 [PNL-2700³⁴⁾ pp.26-27 Pu BENCHMARK 14]

に記載された実験に相当し、これらの臨界実験データより計算モデルを作成する。

Fig. 3.5.1.2 に球形状容器で反射体を設定した計算モデル図 (nse79_sph40～59) を示す。

球形状容器 (SUS304L ステンレス製、厚さ 0.125cm、0.112cm、0.122cm) は、反射体タンク (外径 101.6cm) 内に設置される。容器の上方には外径 5.72cm 厚さ 0.605mm の水溶液供給パイプを、下部にも外径 5.72cm の水溶液排水パイプをモデル化する。

反射体タンク内には、球形状容器の下方に厚さ 21.1cm、球形状容器内寸法上端の上方に厚さ 26.01cm を保つよう水が充填されている。反射体（水）水位より上方の領域においては、反射体タンクの上端まで空気雰囲気とする。

球形状容器の内半径は、14.605cm (内直径 11.5 インチ)、17.78cm (内直径 14 インチ)、19.318cm (文献 [PNL-2700³⁴⁾] より引用) とする。

臨界体積については、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾ TABLE III] に記載された臨界半径 (14.55cm、17.67cm、19.29cm) より球体積を計算し、これを臨界体積とする。

(12.9026litre、23.1099litre、30.0667litre)。求めた臨界体積は、球形状容器容積未満となるため、容器内には、上部に空気の領域（球切形状）が存在する計算モデルを作成する。

(3) 反射体を設定しない実験 [Nuclear Science and Engineering Vol.79 TABLE I]

反射体（水）を設定しないケースのうち4ケース（nse79_sph60～63）は、
文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾ TABLE I]
文献 [HW-24514³³⁾]

に記載された実験に該当し、これらの臨界実験データよりモデルを作成する。

Fig. 3.5.1.3 に球形状容器で反射体を設定しない計算モデル図を示す（nse79_sph60～63）。

球形状容器（Type-347 ステンレス製 0.127cm 厚）は、反射体タンク（直径 99.314cm、高さ 121.92cm）内に設置され、容器の上部には内径 4.7325cm の水溶液供給パイプをモデル化する。球形状容器の下方に厚さ 45.0cm の間隙を保ち、反射体タンク内の領域を空気雰囲気とする。

球形状容器の内半径は、20.32cm とし、文献 [HW-24514³³⁾] に記載された内直径 16 インチより決定している。

臨界体積（34.15litre）が容器容積未満であるため、容器内上部に空気の領域（球切形状）が存在する計算モデルを作成する。

(4) 反射体を設定しない実験 [Nuclear Science and Engineering Vol.79 TABLE III]

反射体（水）を設定しないケースのうち2ケース（nse79_sph 64、65）は、
文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾ TABLE III]、
文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.25³⁵⁾]、
文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.31³⁶⁾]、
文献 [PNL-2700³⁴⁾ pp.4-5 Pu BENCHMARK 2]

に記載された実験に相当し、これらの臨界実験データより計算モデルを作成する。

Fig. 3.5.1.4 に球形状容器で反射体を設定しない計算モデル図（nse79_sph64、65）を示す。

球形状容器（SUS304L ステンレス製、厚、0.122cm）は、反射体タンク（外径 101.6cm）内に設置される。容器の上部には外径 5.72cm 厚さ 0.165mm の水溶液供給パイプを、下部には、外径 5.72cm 厚さ 0.305cm の水溶液排水パイプをモデル化する。

反射体タンク内に、球形状容器の下方に間隙 21.1cm を保つように設置され、反射体タンク内は空気雰囲気とする。

球形状容器の内半径は、19.318cm（文献 [PNL-2700³⁴⁾] より引用）とする。

臨界体積については、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾ TABLE III] に記載された臨界半径（19.45cm）より球体積を計算し、これを臨界体積（30.821 litre）とする。求めた臨界体積が容器容積を超えるため、上部の供給パイプ内に $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ 水溶液の過剰分が滞留する計算モデルを作成する。この時、供給パイプの全長は、過剰分を留めるため、27.4099cm まで延長している。

(5) 反射体を設定しない実験 [Nuclear Science and Engineering Vol.79 TABLE IV]

反射体（水）を設定しないケースのうち2ケース（nse79_sph 66、67）は、

文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾ p.72 TABLE IV]

に記載された実験に相当し、これらの臨界実験データより計算モデルを作成する。

Fig. 3.5.1.5 に球形状容器で反射体を設定しない計算モデル図（nse79_sph 66、67）を示す。

球形状容器（アルミウム製、内半径 61.0cm、厚さ 0.77cm）は、反射体を設定しないため、全方向に厚さ 30.48cm（=12 インチ）を保つ空気雰囲気の円柱内に収められる。

臨界体積は、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾ p.72 TABLE IV] に記載された臨界半径（61.00cm）より求めた 950.7758litre とする。

反射体モデルの外側境界条件は、真空として設定する。

Table 3.5.1.1 に臨界実験データ（臨界体積、Pu 硝酸水溶液濃度）を示す。

Table 3.5.1.2 に球形状容器の材質と寸法条件を示す。

Table 3.5.1.3 にプルトニウムの同位体組成を示す。

Table 3.5.1.4 に実験ケース毎の Pu 硝酸水溶液の原子個数密度を示す。

Table 3.5.1.5 に計算に用いた物質の原子個数密度を示す。

Table 3.5.1.1 臨界実験データ [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、球形状容器] [1/2]

計算ケース	臨界体積 (litre)	溶液中濃度 (g/litre)				溶液密度 ^{※1} (g/cm ³)	反射体	溶液温度 (°C)
		Pu	NO ₃	H ₂ O ^{※2}	Fe			
nse79 sph01	15.19	50.16	138.5	940.95	0.189	1.13120	水	27
nse79 sph02		51.74	163.0	931.42	0.272	1.14820		
nse79 sph03		56.42	207.0	902.13	0.245	1.16820		
nse79 sph04		59.97	237.0	889.80	0.192	1.18980		
nse79 sph05		63.66	270.0	878.03	0.197	1.21520		
nse79 sph06		70.44	322.0	844.50	0.218	1.24120		
nse79 sph07		77.42	359.0	828.32	0.237	1.26950		
nse79 sph08	18.04	36.25	93.1	960.64	0.114	1.09100	水	27
nse79 sph09		37.08	125.0	946.99	0.128	1.11060		
nse79 sph10	18.94	33.55	86.70	964.09	0.124	1.08530	水	27
nse79 sph11		34.58	116.5	948.40	0.117	1.10090		
nse79 sph12		35.37	145.0	933.85	0.124	1.11610		
nse79 sph13		37.70	130.0	941.37	0.103	1.11065		
nse79 sph14		38.38	156.0	931.50	0.141	1.12790		
nse79 sph15		40.92	205.0	905.94	0.257	1.15475		
nse79 sph16		44.35	269.5	873.01	0.266	1.19075		
nse79 sph17	23.64	26.48	77.8	964.11	0.145	1.06935	水	27
nse79 sph18		26.50	107.0	951.41	0.149	1.08635		
nse79 sph19		27.39	137.5	936.69	0.156	1.10350		
nse79 sph20		28.28	187.5	912.54	0.164	1.13105		
nse79 sph21		27.77	109.5	949.83	0.094	1.08850		
nse79 sph22		28.81	87.4	959.65	0.11	1.07690		
nse79 sph23		29.72	111.3	949.65	0.123	1.09210		
nse79 sph24		30.16	143.0	933.62	0.113	1.10870		
nse79 sph25		31.81	208.0	903.23	0.12	1.14600		
nse79 sph26		35.55	309.5	850.08	0.145	1.19970		
nse79 sph27		39.55	408.0	797.14	0.147	1.25080		
nse79 sph28		29.86	87.49	959.31	0.128	1.07770		
nse79 sph29		30.73	119.3	945.17	0.079	1.09670		
nse79 sph30		31.64	146.8	931.32	0.086	1.11170		
nse79 sph31		33.76	210.7	902.19	0.097	1.14960		
nse79 sph32		36.25	272.4	870.03	0.104	1.18260		
nse79 sph33		38.71	335.2	838.37	0.126	1.21720		
nse79 sph34	41.12	384.9	808.79	0.126	1.24050			
nse79 sph35	30.80	126.5	942.91	0.108	1.10185			
nse79 sph36	32.06	158.0	928.31	0.102	1.12050			
nse79 sph37	28.99	24.97	116.0	947.38	0.088	1.08990	水	27
nse79 sph38		25.73	147.0	932.02	0.094	1.10680		
nse79 sph39		27.15	212.0	898.67	0.096	1.14090		

※1 溶液密度は、文献 [HW-24514³³⁾] に記載された値を引用する。計算ケースに合致する実験が複数回実施されている場合は、測定値の平均を採用する。

※2 H₂O 濃度については、溶液密度から、Pu(NO₃)₄密度、HNO₃密度、Fe(NO₃)₂密度を差し引いた値、H₂O 密度から算出する。後述の [Pu(NO₃)₄水溶液中元素の原子個数密度の算出方法] に詳細を示す。

Table 3.5.1.1 臨界実験データ [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、球形状容器] [2/2]

計算ケース	臨界体積 (litre)	溶液中濃度 (g/litre)				溶液密度 ^{※1} (g/cm ³)	反射体	溶液温度 (°C)
		Pu	NO ₃	H ₂ O ^{※2}	Fe			
nse79_sph40	12.9026	73.0	86.0	971.00		1.13017	水	25
nse79_sph41		74.5	105.0	963.00		1.14295		
nse79_sph42		96.0	203.0	918.30		1.21898		
nse79_sph43		100.0	230.0	898.00		1.23005		
nse79_sph44		119.0	245.0	904.00		1.26998		
nse79_sph45		126.0	262.0	892.00		1.28213		
nse79_sph46		132.0	281.0	877.70		1.29304		
nse79_sph47		140.0	284.0	880.80		1.30706		
nse79_sph48		269.0	346.0	868.00		1.48409		
nse79_sph49		295.0	303.0	893.00		1.49095		
nse79_sph50		435.0	372.0	872.00		1.67771		
nse79_sph51	23.1099	33.0	162.0	924.90		1.12198	水	25
nse79_sph52		33.2	164.0	924.00		1.12331		
nse79_sph53		38.4	292.0	861.50		1.19600		
nse79_sph54		38.6	292.0	861.00		1.19570		
nse79_sph55		39.2	313.0	841.60		1.19823		
nse79_sph56		47.5	462.0	774.00		1.29021		
nse79_sph57		47.9	465.0	774.40		1.29405		
nse79_sph58	30.0667	24.4	58.0	976.90		1.06003	水	25
nse79_sph59		38.7	517.0	736.60		1.30005		
nse79_sph60	34.15	35.59	106.9	953.86	0.112	1.09760	無 (空気)	23
nse79_sph61		38.13	163.0	934.14	0.124	1.13740		24
nse79_sph62		38.16	180.0	918.99	0.178	1.13960		23
nse79_sph63		43.43	281.8	866.55	0.179	1.19580		22
nse79_sph64	30.8210	39.0	64.0	978.00		1.08138	無 (空気)	25
nse79_sph65		172.3	486.0	766.00		1.42930		
nse79_sph66	950.7758	9.598	68.801	965.10		1.04445	無 (空気)	23
nse79_sph67		9.426	78.294	959.99		1.04883		

※1 溶液密度は、nse79_sph40~59、nse79_sph 64~65 においては、Pu(NO₃)₄密度、HNO₃密度、Fe(NO₃)₂密度、H₂O密度の合算値を採用する。

nse79_sph60~63では、[HW-24514³³]に記載された値を引用する。計算ケースに合致する実験が複数回実施されている場合は、測定値の平均を採用する。

nse79_sph60~63では、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵]に記載されたPu硝酸水溶液密度近似式より算出する。

※2 H₂O濃度については、nse79_sph60~63、66~67では、溶液密度から、Pu(NO₃)₄密度、HNO₃密度、Fe(NO₃)₂密度を差し引いた値、H₂O密度から算出する。

nse79_sph40~59、nse79_sph64~65では、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.25³⁵]、[Nuclear Science and Engineering Vol.31³⁶]に記載された値を引用する。

Table 3.5.1.2 球形状容器の材質と寸法条件 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79] [1/2]

計算ケース	臨界体積 (litre)	容器容量 (litre)	容器内直径 (インチ)	容器内半径 (cm)	容器厚さ (cm)	容器材質
nse79 sph01	15.19	14.825	12	15.24	0.127	Type-347 ステンレス
nse79 sph02						
nse79 sph03						
nse79 sph04						
nse79 sph05						
nse79 sph06						
nse79 sph07						
nse79 sph08	18.04	18.849	13	16.51	0.081	アルミニウム
nse79 sph09						
nse79 sph10	18.94	18.849	13	16.51	0.127	Type-347 ステンレス
nse79 sph11						
nse79 sph12						
nse79 sph13						
nse79 sph14						
nse79 sph15						
nse79 sph16						
nse79 sph17	23.64	23.543	14	17.78	0.127	Type-347 ステンレス
nse79 sph18						
nse79 sph19						
nse79 sph20						
nse79 sph21						
nse79 sph22						
nse79 sph23						
nse79 sph24						
nse79 sph25						
nse79 sph26						
nse79 sph27						
nse79 sph28						
nse79 sph29						
nse79 sph30						
nse79 sph31						
nse79 sph32						
nse79 sph33						
nse79 sph34						
nse79 sph35						
nse79 sph36	28.99	28.957	15	19.05	0.127	Type-347 ステンレス
nse79 sph37						
nse79 sph38						
nse79 sph39	28.99	28.957	15	19.05	0.127	Type-347 ステンレス

Table 3.5.1.2 球形状容器の材質と寸法条件 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79] [2/2]

計算ケース	臨界体積 (litre)	容器容量 (litre)	容器内直径 (インチ)	容器内半径 (cm)	容器厚さ (cm)	容器材質
nse79_sph40	12.903	13.047	11.5	14.605	0.125	SUS304L ステンレス
nse79_sph41						
nse79_sph42						
nse79_sph43						
nse79_sph44						
nse79_sph45						
nse79_sph46						
nse79_sph47						
nse79_sph48						
nse79_sph49						
nse79_sph50	23.110	23.542	14	17.78	0.112	SUS304L ステンレス
nse79_sph51						
nse79_sph52						
nse79_sph53						
nse79_sph54						
nse79_sph55						
nse79_sph56	30.067	30.196	15.211	19.318	0.122	SUS304L ステンレス
nse79_sph57						
nse79_sph58						
nse79_sph59	34.15	35.143	16	20.32	0.127	Type-347 ステンレス
nse79_sph60						
nse79_sph61						
nse79_sph62						
nse79_sph63	30.821	30.196	15.211	19.318	0.122	SUS304L ステンレス
nse79_sph64						
nse79_sph65						
nse79_sph66	950.776	950.776	48.0315	61.00	0.77	アルミニウム
nse79_sph67						

Table 3.5.1.3 Pu 同位体組成 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、球形状容器] [1/2]

計算ケース	Pu 同位体組成 (wt%) ^{※1}					Pu 原子量 ^{※2}
	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	
nse79 sph01	—	96.88	3.12	—	—	239.08329
nse79 sph02						
nse79 sph03						
nse79 sph04						
nse79 sph05						
nse79 sph06						
nse79 sph07						
nse79 sph08						
nse79 sph09						
nse79 sph10	—	98.24	1.76	—	—	239.0697216
nse79 sph11						
nse79 sph12						
nse79 sph13	—	96.88	3.12	—	—	239.08329
nse79 sph14						
nse79 sph15						
nse79 sph16						
nse79 sph17	—	99.46	0.54	—	—	239.0575513
nse79 sph18						
nse79 sph19						
nse79 sph20						
nse79 sph21	—	98.24	1.76	—	—	239.0697216
nse79 sph22						
nse79 sph23	—	96.88	3.12	—	—	239.08329
nse79 sph24						
nse79 sph25						
nse79 sph26						
nse79 sph27						
nse79 sph28	—	95.95	4.05	—	—	239.0925692
nse79 sph29						
nse79 sph30						
nse79 sph31						
nse79 sph32						
nse79 sph33						
nse79 sph34						
nse79 sph35	—	95.6	4.4	—	—	239.0960616
nse79 sph36						
nse79 sph37	—	96.88	3.12	—	—	239.08329
nse79 sph38						
nse79 sph39						

※1 同位体組成は、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾] に記載された値を引用する。

※2 Pu 原子量は、同位体組成と原子量より算出する。

Table 3.5.1.3 Pu 同位体組成 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、球形状容器] [2/2]

計算ケース	Pu 同位体組成 (wt%) ^{※1}					Pu 原子量 ^{※2}
	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	
nse79 sph40	—	95.12	4.57	0.31	—	239.1039233
nse79 sph41						
nse79 sph42						
nse79 sph43						
nse79 sph44						
nse79 sph45						
nse79 sph46						
nse79 sph47						
nse79 sph48						
nse79 sph49						
nse79 sph50						
nse79 sph51						
nse79 sph52						
nse79 sph53						
nse79 sph54						
nse79 sph55						
nse79 sph56						
nse79 sph57						
nse79 sph58						
nse79 sph59						
nse79 sph60	—	95.85	4.15	—	—	239.093567
nse79 sph61						
nse79 sph62						
nse79 sph63						
nse79 sph64	—	95.12	4.57	0.31	—	239.1039233
nse79 sph65						
nse79 sph66	0.004	97.386	2.521	0.075	0.014	239.0791806
nse79 sph67						

※1 同位体組成は、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾] に記載された値を引用する。

※2 Pu 原子量は、同位体組成と原子量より算出する。

Table 3.5.1.4 Pu(NO₃)₄水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、球形状容器] [1/14]

計算ケース	nse79_sph01	nse79_sph02	nse79_sph03	nse79_sph04	nse79_sph05
臨界体積 (litre)	15.19	15.19	15.19	15.19	15.19
容器半径 (cm)	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24
容器肉厚 (cm)	0.127	0.127	0.127	0.127	0.127
容器材質	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347
反射体	水	水	水	水	水
Pu 濃度 (gPu/litre)	50.16	51.74	56.42	59.97	63.66
NO ₃ 濃度 (gNO ₃ /litre)	138.5	163	207	237	270
H ₂ O 濃度 (gH ₂ O/litre) ※ ¹	940.95222	931.42058	902.13026	889.80352	878.03447
Fe 濃度 (gFe/litre)	0.189	0.272	0.245	0.192	0.197
溶液密度 (g/cm ³) ※ ²	1.1312	1.14820	1.16820	1.18980	1.21520
燃料領域温度 (°C)	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
同位体組成 (wt%)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	96.88	96.88	96.88	96.88	96.88
Pu-240	3.12	3.12	3.12	3.12	3.12
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Pu 原子量 ※ ³	239.08329	239.08329	239.08329	239.08329	239.08329
原子個数密度 (atoms/barn・cm)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	1.22419E-04	1.26275E-04	1.37697E-04	1.46361E-04	1.55367E-04
Pu-240	3.92604E-06	4.04970E-06	4.41601E-06	4.69387E-06	4.98269E-06
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Fe	2.03811E-06	2.93315E-06	2.64199E-06	2.07046E-06	2.12438E-06
H	6.37438E-02	6.33268E-02	6.17493E-02	6.11820E-02	6.06784E-02
N	1.34516E-03	1.58311E-03	2.01046E-03	2.30183E-03	2.62233E-03
O	3.54895E-02	3.58848E-02	3.61877E-02	3.66497E-02	3.72178E-02

※¹ H₂O 濃度については、溶液密度から、Pu(NO₃)₄密度、HNO₃密度、Fe(NO₃)₂密度を差し引いた値、H₂O 密度から算出する。後述の [Pu(NO₃)₄水溶液中元素の原子個数密度の算出方法] に詳細を示す。

※² 溶液密度は、文献 [HW-24514³³⁾] に記載された値を引用する。計算ケースに合致する実験が複数回実施されている場合は、測定値の平均を採用する。

※³ Pu 原子量は、同位体組成と原子量より算出する。

Table 3.5.1.4 Pu(NO₃)₄水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、球形状容器] [2/14]

計算ケース	nse79_sph06	nse79_sph07	nse79_sph08	nse79_sph09	nse79_sph10
臨界体積 (litre)	15.19	15.19	18.04	18.04	18.94
容器半径 (cm)	15.24	15.24	16.51	16.51	16.51
容器肉厚 (cm)	0.127	0.127	0.081	0.081	0.127
容器材質	Type-347	Type-347	AL	AL	Type-347
反射体	水	水	水	水	水
Pu 濃度 (gPu/litre)	70.44	77.42	36.25	37.08	33.55
NO ₃ 濃度 (gNO ₃ /litre)	322	359	93.1	125	86.7
H ₂ O 濃度 (gH ₂ O/litre) ※ ¹	844.50324	828.32115	960.63797	946.98990	964.08687
Fe 濃度 (gFe/litre)	0.218	0.237	0.114	0.128	0.124
溶液密度 (g/cm ³) ※ ²	1.2412	1.2695	1.0910	1.1106	1.0853
燃料領域温度 (°C)	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
同位体組成 (wt%)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	96.88	96.88	96.88	96.88	98.24
Pu-240	3.12	3.12	3.12	3.12	1.76
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Pu 原子量※ ³	239.08329	239.08329	239.08329	239.08329	239.0697216
原子個数密度 (atoms/barn・cm)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	1.71914E-04	1.88949E-04	8.84709E-05	9.04966E-05	8.30308E-05
Pu-240	5.51336E-06	6.05969E-06	2.83730E-06	2.90226E-06	1.48132E-06
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Fe	2.35083E-06	2.55572E-06	1.22934E-06	1.38031E-06	1.33717E-06
H	5.88729E-02	5.80796E-02	6.47607E-02	6.41494E-02	6.49561E-02
N	3.12738E-03	3.48673E-03	9.04220E-04	1.21404E-03	8.42061E-04
O	3.76121E-02	3.81492E-02	3.48248E-02	3.52980E-02	3.47536E-02

※¹ H₂O 濃度については、溶液密度から、Pu(NO₃)₄密度、HNO₃密度、Fe(NO₃)₂密度を差し引いた値、H₂O 密度から算出する。後述の [Pu(NO₃)₄水溶液中元素の原子個数密度の算出方法] に詳細を示す。

※² 溶液密度は、文献 [HW-24514³³⁾] に記載された値を引用する。計算ケースに合致する実験が複数回実施されている場合は、測定値の平均を採用する。

※³ Pu 原子量は、同位体組成と原子量より算出する。

Table 3.5.1.4 Pu(NO₃)₄水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、球形状容器] [3/14]

計算ケース	nse79_sph11	nse79_sph12	nse79_sph13	nse79_sph14	nse79_sph15
臨界体積 (litre)	18.94	18.94	18.94	18.94	18.94
容器半径 (cm)	16.51	16.51	16.51	16.51	16.51
容器肉厚 (cm)	0.127	0.127	0.127	0.127	0.127
容器材質	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347
反射体	水	水	水	水	水
Pu 濃度 (gPu/litre)	34.58	35.37	37.7	38.38	40.92
NO ₃ 濃度 (gNO ₃ /litre)	116.5	145	130	156	205
H ₂ O 濃度 (gH ₂ O/litre) ※1	948.39655	933.84983	941.37317	931.49535	905.93981
Fe 濃度 (gFe/litre)	0.117	0.124	0.103	0.141	0.257
溶液密度 (g/cm ³) ※2	1.10090	1.11610	1.11065	1.12790	1.15475
燃料領域温度 (°C)	27.0	27.0	27.0	25.0	27.0
同位体組成 (wt%)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	98.24	98.24	96.88	96.88	96.88
Pu-240	1.76	1.76	3.12	3.12	3.12
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Pu 原子量 ※3	239.0697216	239.0697216	239.08329	239.08329	239.08329
原子個数密度 (atoms/barn・cm)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	8.55799E-05	8.75350E-05	9.20097E-05	9.36693E-05	9.98684E-05
Pu-240	1.52679E-06	1.56167E-06	2.95079E-06	3.00401E-06	3.20282E-06
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Fe	1.26169E-06	1.33717E-06	1.11072E-06	1.52049E-06	2.77140E-06
H	6.41863E-02	6.34825E-02	6.38168E-02	6.34012E-02	6.21405E-02
N	1.13149E-03	1.40829E-03	1.26261E-03	1.51513E-03	1.99103E-03
O	3.50974E-02	3.54415E-02	3.52559E-02	3.56833E-02	3.62568E-02

※1 H₂O 濃度については、溶液密度から、Pu(NO₃)₄密度、HNO₃密度、Fe(NO₃)₂密度を差し引いた値、H₂O 密度から算出する。後述の [Pu(NO₃)₄水溶液中元素の原子個数密度の算出方法] に詳細を示す。

※2 溶液密度は、文献 [HW-24514³³⁾] に記載された値を引用する。計算ケースに合致する実験が複数回実施されている場合は、測定値の平均を採用する。

※3 Pu 原子量は、同位体組成と原子量より算出する。

Table 3.5.1.4 Pu(NO₃)₄水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、球形状容器] [4/14]

計算ケース	nse79_sph16	nse79_sph17	nse79_sph18	nse79_sph19	nse79_sph20
臨界体積 (litre)	18.94	23.64	23.64	23.64	23.64
容器半径 (cm)	16.51	17.78	17.78	17.78	17.78
容器肉厚 (cm)	0.127	0.127	0.127	0.127	0.127
容器材質	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347
反射体	水	水	水	水	水
Pu 濃度 (gPu/litre)	44.35	26.48	26.5	27.39	28.28
NO ₃ 濃度 (gNO ₃ /litre)	269.5	77.8	107	137.5	187.5
H ₂ O 濃度 (gH ₂ O/litre) ※ ¹	873.01045	964.11210	951.41390	936.68634	912.54083
Fe 濃度 (gFe/litre)	0.266	0.145	0.149	0.156	0.164
溶液密度 (g/cm ³) ※ ²	1.19075	1.06935	1.08635	1.10350	1.13105
燃料領域温度 (°C)	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
同位体組成 (wt%)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	96.88	99.46	99.46	99.46	99.46
Pu-240	3.12	0.54	0.54	0.54	0.54
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Pu 原子量※ ³	239.08329	239.0575513	239.0575513	239.0575513	239.0575513
原子個数密度 (atoms/barn・cm)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	1.08240E-04	6.63475E-05	6.63976E-05	6.86276E-05	7.08575E-05
Pu-240	3.47129E-06	3.58719E-07	3.58990E-07	3.71046E-07	3.83103E-07
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Fe	2.86845E-06	1.56363E-06	1.60676E-06	1.68225E-06	1.76852E-06
H	6.05307E-02	6.49421E-02	6.43765E-02	6.36790E-02	6.25412E-02
N	2.61748E-03	7.55621E-04	1.03922E-03	1.33545E-03	1.82107E-03
O	3.70353E-02	3.44951E-02	3.49214E-02	3.53178E-02	3.59675E-02

※¹ H₂O 濃度については、溶液密度から、Pu(NO₃)₄密度、HNO₃密度、Fe(NO₃)₂密度を差し引いた値、H₂O 密度から算出する。後述の [Pu(NO₃)₄水溶液中元素の原子個数密度の算出方法] に詳細を示す。

※² 溶液密度は、文献 [HW-24514³³⁾] に記載された値を引用する。計算ケースに合致する実験が複数回実施されている場合は、測定値の平均を採用する。

※³ Pu 原子量は、同位体組成と原子量より算出する。

Table 3.5.1.4 Pu(NO₃)₄水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、球形状容器] [5/14]

計算ケース	nse79_sph21	nse79_sph22	nse79_sph23	nse79_sph24	nse79_sph25
臨界体積 (litre)	23.64	23.64	23.64	23.64	23.64
容器半径 (cm)	17.78	17.78	17.78	17.78	17.78
容器肉厚 (cm)	0.127	0.127	0.127	0.127	0.127
容器材質	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347
反射体	水	水	水	水	水
Pu 濃度 (gPu/litre)	27.77	28.81	29.72	30.16	31.81
NO ₃ 濃度 (gNO ₃ /litre)	109.5	87.4	111.3	143	208
H ₂ O 濃度 (gH ₂ O/litre) ※ ¹	949.82767	959.64902	949.65331	933.61505	903.22947
Fe 濃度 (gFe/litre)	0.094	0.11	0.123	0.113	0.12
溶液密度 (g/cm ³) ※ ²	1.0885	1.0769	1.0921	1.1087	1.1460
燃料領域温度 (°C)	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
同位体組成 (wt%)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	98.24	96.88	96.88	96.88	96.88
Pu-240	1.76	3.12	3.12	3.12	3.12
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Pu 原子量※ ³	239.0697216	239.08329	239.08329	239.08329	239.08329
原子個数密度 (atoms/barn・cm)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	6.87262E-05	7.03130E-05	7.25339E-05	7.36078E-05	7.76347E-05
Pu-240	1.22611E-06	2.25497E-06	2.32619E-06	2.36063E-06	2.48978E-06
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Fe	1.01366E-06	1.18620E-06	1.32639E-06	1.21855E-06	1.29404E-06
H	6.42831E-02	6.47143E-02	6.42687E-02	6.35001E-02	6.20832E-02
N	1.06350E-03	8.48859E-04	1.08098E-03	1.38887E-03	2.02017E-03
O	3.49412E-02	3.46256E-02	3.49879E-02	3.53754E-02	3.62536E-02

※¹ H₂O 濃度については、溶液密度から、Pu(NO₃)₄密度、HNO₃密度、Fe(NO₃)₂密度を差し引いた値、H₂O 密度から算出する。後述の [Pu(NO₃)₄水溶液中元素の原子個数密度の算出方法] に詳細を示す。

※² 溶液密度は、文献 [HW-24514³³⁾] に記載された値を引用する。計算ケースに合致する実験が複数回実施されている場合は、測定値の平均を採用する。

※³ Pu 原子量は、同位体組成と原子量より算出する。

Table 3.5.1.4 Pu(NO₃)₄水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、球形状容器] [6/14]

計算ケース	nsc79_sph26	nsc79_sph27	nsc79_sph28	nsc79_sph29	nsc79_sph30
臨界体積 (litre)	23.64	23.64	23.64	23.64	23.64
容器半径 (cm)	17.78	17.78	17.78	17.78	17.78
容器肉厚 (cm)	0.127	0.127	0.127	0.127	0.127
容器材質	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347
反射体	水	水	水	水	水
Pu 濃度 (gPu/litre)	35.55	39.55	29.86	30.73	31.64
NO ₃ 濃度 (gNO ₃ /litre)	309.5	408	87.49	119.3	146.8
H ₂ O 濃度 (gH ₂ O/litre) ※ ¹	850.07843	797.14271	959.30790	945.17268	931.32424
Fe 濃度 (gFe/litre)	0.145	0.147	0.128	0.079	0.086
溶液密度 (g/cm ³) ※ ²	1.1997	1.2508	1.0777	1.0967	1.1117
燃料領域温度 (°C)	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
同位体組成 (wt%)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	96.88	96.88	95.95	95.95	95.95
Pu-240	3.12	3.12	4.05	4.05	4.05
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Pu 原子量 ※ ³	239.08329	239.08329	239.0925692	239.0925692	239.0925692
原子個数密度 (atoms/barn・cm)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	8.67625E-05	9.65248E-05	7.21760E-05	7.42790E-05	7.64786E-05
Pu-240	2.78251E-06	3.09559E-06	3.03380E-06	3.12219E-06	3.21465E-06
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Fe	1.56363E-06	1.58520E-06	1.38031E-06	8.51908E-07	9.27393E-07
H	5.94773E-02	5.68546E-02	6.46814E-02	6.40376E-02	6.33696E-02
N	3.00597E-03	3.96264E-03	8.49733E-04	1.15868E-03	1.42577E-03
O	3.74342E-02	3.85347E-02	3.46168E-02	3.50712E-02	3.54095E-02

※¹ H₂O 濃度については、溶液密度から、Pu(NO₃)₄密度、HNO₃密度、Fe(NO₃)₂密度を差し引いた値、H₂O 密度から算出する。後述の [Pu(NO₃)₄水溶液中元素の原子個数密度の算出方法] に詳細を示す。

※² 溶液密度は、文献 [HW-24514³³⁾] に記載された値を引用する。計算ケースに合致する実験が複数回実施されている場合は、測定値の平均を採用する。

※³ Pu 原子量は、同位体組成と原子量より算出する。

Table 3.5.1.4 Pu(NO₃)₄水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、球形状容器] [7/14]

計算ケース	nse79_sph31	nse79_sph32	nse79_sph33	nse79_sph34	nse79_sph35
臨界体積 (litre)	23.64	23.64	23.64	23.64	23.64
容器半径 (cm)	17.78	17.78	17.78	17.78	17.78
容器肉厚 (cm)	0.127	0.127	0.127	0.127	0.127
容器材質	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347
反射体	水	水	水	水	水
Pu 濃度 (gPu/litre)	33.76	36.25	38.71	41.12	30.8
NO ₃ 濃度 (gNO ₃ /litre)	210.7	272.4	335.2	384.9	126.5
H ₂ O 濃度 (gH ₂ O/litre) ※ ¹	902.19061	870.03283	838.37222	808.79492	942.90886
Fe 濃度 (gFe/litre)	0.097	0.104	0.126	0.126	0.108
溶液密度 (g/cm ³) ※ ²	1.14960	1.18260	1.21720	1.24050	1.10185
燃料領域温度 (°C)	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
同位体組成 (wt%)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	95.95	95.95	95.95	95.95	95.6
Pu-240	4.05	4.05	4.05	4.05	4.4
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Pu 原子量※ ³	239.0925692	239.0925692	239.0925692	239.0925692	239.0960616
原子個数密度 (atoms/barn・cm)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	8.16029E-05	8.76216E-05	9.35678E-05	9.93931E-05	7.41766E-05
Pu-240	3.43004E-06	3.68303E-06	3.93297E-06	4.17783E-06	3.39974E-06
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Fe	1.04601E-06	1.12150E-06	1.35874E-06	1.35874E-06	1.16463E-06
H	6.20208E-02	6.04449E-02	5.89129E-02	5.73939E-02	6.39549E-02
N	2.04639E-03	2.64564E-03	3.25558E-03	3.73828E-03	1.22861E-03
O	3.62975E-02	3.70203E-02	3.77918E-02	3.82512E-02	3.52053E-02

※¹ H₂O 濃度については、溶液密度から、Pu(NO₃)₄密度、HNO₃密度、Fe(NO₃)₂密度を差し引いた値、H₂O 密度から算出する。後述の [Pu(NO₃)₄水溶液中元素の原子個数密度の算出方法] に詳細を示す。

※² 溶液密度は、文献 [HW-24514³³⁾] に記載された値を引用する。計算ケースに合致する実験が複数回実施されている場合は、測定値の平均を採用する。

※³ Pu 原子量は、同位体組成と原子量より算出する。

Table 3.5.1.4 Pu(NO₃)₄水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、球形状容器] [8/14]

計算ケース	nse79_sph36	nse79_sph37	nse79_sph38	nse79_sph39	nse79_sph40
臨界体積 (litre)	23.64	28.99	28.99	28.99	12.9026
容器半径 (cm)	17.78	19.05	19.05	19.05	14.605
容器肉厚 (cm)	0.127	0.127	0.127	0.127	0.125
容器材質	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347	SUS304L
反射体	水	水	水	水	水
Pu 濃度 (gPu/litre)	32.06	24.97	25.73	27.15	73
NO ₃ 濃度 (gNO ₃ /litre)	158	116	147	212	86
H ₂ O 濃度 (gH ₂ O/litre) ※1	928.31382	947.38054	932.02363	898.66899	971.0
Fe 濃度 (gFe/litre)	0.102	0.088	0.094	0.096	—
溶液密度 (g/cm ³) ※2	1.12050	1.08990	1.10680	1.14090	1.13017
燃料領域温度 (°C)	27.0	27.0	27.0	27.0	25.0
同位体組成 (wt%)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	95.6	96.88	96.88	96.88	95.12
Pu-240	4.4	3.12	3.12	3.12	4.57
Pu-241	—	—	—	—	0.31
Pu-242	—	—	—	—	—
Pu 原子量 ※3	239.0960616	239.08329	239.08329	239.08329	239.1039233
原子個数密度 (atoms/barn・cm)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	7.72111E-05	6.09412E-05	6.27960E-05	6.62616E-05	1.74925E-04
Pu-240	3.53882E-06	1.95441E-06	2.01389E-06	2.12504E-06	8.36915E-06
Pu-241	—	—	—	—	5.65348E-07
Pu-242	—	—	—	—	—
Fe	1.09993E-06	9.48961E-07	1.01366E-06	1.03523E-06	—
H	6.32725E-02	6.42110E-02	6.34776E-02	6.18646E-02	6.50168E-02
N	1.53455E-03	1.12663E-03	1.42772E-03	2.05902E-03	8.35262E-04
O	3.56352E-02	3.50488E-02	3.54387E-02	3.62177E-02	3.49643E-02

※1 H₂O 濃度については、以下のように求める。

nse79_sph36～39 では、溶液密度から、Pu(NO₃)₄ 密度、HNO₃ 密度、Fe(NO₃)₂ 密度を差し引いた値、H₂O 密度から算出する。後述の [Pu(NO₃)₄ 水溶液中元素の原子個数密度の算出方法] に詳細を示す。

nse79_sph40 では、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.25³⁵]、[Nuclear Science and Engineering Vol.31³⁶] に記載された値を引用する。

※2 溶液密度については、以下のように求める。

nse79_sph36～39 では、文献 [HW-24514³³] に記載された値を引用する。計算ケースに合致する実験が複数回実施されている場合は、測定値の平均を採用する。

nse79_sph40 では Pu(NO₃)₄ 密度、HNO₃ 密度、Fe(NO₃)₂ 密度、H₂O 密度の合算値を採用する。

※3 Pu 原子量は、同位体組成と原子量より算出する。

Table 3.5.1.4 Pu(NO₃)₄水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、球形状容器] [9/14]

計算ケース	nse79_sph41	nse79_sph42	nse79_sph43	nse79_sph44	nse79_sph45
臨界体積 (litre)	12.9026	12.9026	12.9026	12.9026	12.9026
容器半径 (cm)	14.605	14.605	14.605	14.605	14.605
容器肉厚 (cm)	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
容器材質	SUS304L	SUS304L	SUS304L	SUS304L	SUS304L
反射体	水	水	水	水	水
Pu 濃度 (gPu/litre)	74.5	96	100	119	126
NO ₃ 濃度 (gNO ₃ /litre)	105	203	230	245	262
H ₂ O 濃度 (gH ₂ O/litre) ※ ¹	963.0	918.3	898.0	904.0	892.0
Fe 濃度 (gFe/litre)	—	—	—	—	—
溶液密度 (g/cm ³) ※ ²	1.14295	1.21898	1.23005	1.26998	1.28213
燃料領域温度 (°C)	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
同位体組成 (wt%)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	95.12	95.12	95.12	95.12	95.12
Pu-240	4.57	4.57	4.57	4.57	4.57
Pu-241	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
Pu-242	—	—	—	—	—
Pu 原子量 ※ ³	239.1039233	239.1039233	239.1039233	239.1039233	239.1039233
原子個数密度 (atoms/barn・cm)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	1.78520E-04	2.30039E-04	2.39624E-04	2.85152E-04	3.01926E-04
Pu-240	8.54112E-06	1.10060E-05	1.14646E-05	1.36429E-05	1.44454E-05
Pu-241	5.76965E-07	7.43472E-07	7.74450E-07	9.21595E-07	9.75806E-07
Pu-242	—	—	—	—	—
Fe	—	—	—	—	—
H	6.46514E-02	6.23981E-02	6.12629E-02	6.16183E-02	6.09106E-02
N	1.01980E-03	1.97161E-03	2.23384E-03	2.37953E-03	2.54464E-03
O	3.52505E-02	3.66117E-02	3.67198E-02	3.73574E-02	3.74516E-02

※¹ H₂O 濃度については、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.25³⁵]、[Nuclear Science and Engineering Vol.31³⁶] に記載された値を引用する。

※² 溶液密度については、Pu(NO₃)₄密度、HNO₃密度、Fe(NO₃)₂密度、H₂O密度の合算値を採用する。

※³ Pu 原子量は、同位体組成と原子量より算出する。

Table 3.5.1.4 Pu(NO₃)₄水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、球形状容器] [10/14]

計算ケース	nse79_sph46	nse79_sph47	nse79_sph48	nse79_sph49	nse79_sph50
臨界体積 (litre)	12.9026	12.9026	12.9026	12.9026	12.9026
容器半径 (cm)	14.605	14.605	14.605	14.605	14.605
容器肉厚 (cm)	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
容器材質	SUS304L	SUS304L	SUS304L	SUS304L	SUS304L
反射体	水	水	水	水	水
Pu 濃度 (gPu/litre)	132	140	269	295	435
NO ₃ 濃度 (gNO ₃ /litre)	281	284	346	303	372
H ₂ O 濃度 (gH ₂ O/litre) ※ ¹	877.7	880.8	868.0	893.0	872.0
Fe 濃度 (gFe/litre)	—	—	—	—	—
溶液密度 (g/cm ³) ※ ²	1.29304	1.30706	1.48409	1.49095	1.67771
燃料領域温度 (°C)	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
	同位体組成 (wt%)				
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	95.12	95.12	95.12	95.12	95.12
Pu-240	4.57	4.57	4.57	4.57	4.57
Pu-241	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
Pu-242	—	—	—	—	—
Pu 原子量 ※ ³	239.1039233	239.1039233	239.1039233	239.1039233	239.1039233
	原子個数密度 (atoms/barn・cm)				
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	3.16303E-04	3.35473E-04	6.44588E-04	7.06890E-04	1.04236E-03
Pu-240	1.51333E-05	1.60504E-05	3.08397E-05	3.38205E-05	4.98710E-05
Pu-241	1.02227E-06	1.08423E-06	2.08327E-06	2.28463E-06	3.36886E-06
Pu-242	—	—	—	—	—
Fe	—	—	—	—	—
H	6.00787E-02	6.02345E-02	5.86813E-02	5.96731E-02	5.75288E-02
N	2.72917E-03	2.75831E-03	3.36047E-03	2.94284E-03	3.61299E-03
O	3.75272E-02	3.77182E-02	3.90968E-02	3.86796E-02	3.99881E-02

※¹ H₂O 濃度については、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.25³⁵]、[Nuclear Science and Engineering Vol.31³⁶] に記載された値を引用する。

※² 溶液密度については、Pu(NO₃)₄密度、HNO₃密度、Fe(NO₃)₂密度、H₂O密度の合算値を採用する。

※³ Pu 原子量は、同位体組成と原子量より算出する。

Table 3.5.1.4 Pu(NO₃)₄水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、球形状容器] [11/14]

計算ケース	nse79_sph51	nse79_sph52	nse79_sph53	nse79_sph54	nse79_sph55
臨界体積 (litre)	23.1099	23.1099	23.1099	23.1099	23.1099
容器半径 (cm)	17.78	17.78	17.78	17.78	17.78
容器肉厚 (cm)	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112
容器材質	SUS304L	SUS304L	SUS304L	SUS304L	SUS304L
反射体	水	水	水	水	水
Pu 濃度 (gPu/litre)	33	33.2	38.4	38.6	39.2
NO ₃ 濃度 (gNO ₃ /litre)	162	164	292	292	313
H ₂ O 濃度 (gH ₂ O/litre) ※1	924.9	924.0	861.5	861.0	841.6
Fe 濃度 (gFe/litre)	—	—	—	—	—
溶液密度 (g/cm ³) ※2	1.12198	1.12331	1.19600	1.19570	1.19823
燃料領域温度 (°C)	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
	同位体組成 (wt%)				
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	95.12	95.12	95.12	95.12	95.12
Pu-240	4.57	4.57	4.57	4.57	4.57
Pu-241	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
Pu-242	—	—	—	—	—
Pu 原子量※3	239.1039233	239.1039233	239.1039233	239.1039233	239.1039233
	原子個数密度 (atoms/barn・cm)				
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	7.90759E-05	7.95551E-05	9.20156E-05	9.24948E-05	9.39326E-05
Pu-240	3.78331E-06	3.80624E-06	4.40240E-06	4.42533E-06	4.49412E-06
Pu-241	2.55568E-07	2.57117E-07	2.97389E-07	2.98938E-07	3.03584E-07
Pu-242	—	—	—	—	—
Fe	—	—	—	—	—
H	6.30759E-02	6.30331E-02	6.00454E-02	6.00100E-02	5.89109E-02
N	1.57340E-03	1.59283E-03	2.83601E-03	2.83601E-03	3.03997E-03
O	3.56377E-02	3.56658E-02	3.73061E-02	3.72894E-02	3.72528E-02

※1 H₂O 濃度については、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.25³⁵]、[Nuclear Science and Engineering Vol.31³⁶] に記載された値を引用する。

※2 溶液密度については、Pu(NO₃)₄密度、HNO₃密度、Fe(NO₃)₂密度、H₂O密度の合算値を採用する。

※3 Pu 原子量は、同位体組成と原子量より算出する。

Table 3.5.1.4 Pu(NO₃)₄水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、球形状容器] [12/14]

計算ケース	nse79_sph56	nse79_sph57	nse79_sph58	nse79_sph59	nse79_sph60
臨界体積 (litre)	23.1099	23.1099	30.0667	30.0667	34.15
容器半径 (cm)	17.78	17.78	19.318	19.318	20.32
容器肉厚 (cm)	0.112	0.112	0.122	0.122	0.127
容器材質	SUS304L	SUS304L	SUS304L	SUS304L	Type-347
反射体	水	水	水	水	空気
Pu 濃度 (gPu/litre)	47.5	47.9	24.4	38.7	35.59
NO ₃ 濃度 (gNO ₃ /litre)	462	465	58	517	106.9
H ₂ O 濃度 (gH ₂ O/litre) ※ ¹	774.0	774.4	976.9	736.6	953.86441
Fe 濃度 (gFe/litre)	—	—	—	—	0.112
溶液密度 (g/cm ³) ※ ²	1.29021	1.29405	1.06003	1.30005	1.09760
燃料領域温度 (°C)	25.0	25.0	25.0	25.0	23.0
同位体組成 (wt%)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	95.12	95.12	95.12	95.12	95.85
Pu-240	4.57	4.57	4.57	4.57	4.15
Pu-241	0.31	0.31	0.31	0.31	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Pu 原子量 ※ ³	239.1039233	239.1039233	239.1039233	239.1039233	239.093567
原子個数密度 (atoms/barn・cm)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	1.13821E-04	1.14780E-04	5.84682E-05	9.27344E-05	8.59366E-05
Pu-240	5.44568E-06	5.49154E-06	2.79736E-06	4.43680E-06	3.70526E-06
Pu-241	3.67864E-07	3.70961E-07	1.88966E-07	2.99712E-07	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Fe	—	—	—	—	1.20777E-06
H	5.57549E-02	5.58068E-02	6.56309E-02	5.38774E-02	6.44486E-02
N	4.48711E-03	4.51624E-03	5.65259E-04	5.02128E-03	1.03825E-03
O	3.93345E-02	3.94353E-02	3.43515E-02	3.96868E-02	3.50004E-02

※¹ H₂O 濃度については、以下のように求める。

nse79_sph56～59 では、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.25³⁵]、[Nuclear Science and Engineering Vol.31³⁶] に記載された値を引用する。

nse79_sph60 では、溶液密度から、Pu(NO₃)₄ 密度、HNO₃ 密度、Fe(NO₃)₂ 密度を差し引いた値、H₂O 密度から算出する。

※² 溶液密度については、以下のように求める。

nse79_sph56～59 では、Pu(NO₃)₄ 密度、HNO₃ 密度、Fe(NO₃)₂ 密度、H₂O 密度の合算値を採用する。

nse79_sph60 では、文献 [HW-24514³³] に記載された値を引用する。計算ケースに合致する実験が複数回実施されている場合は、測定値の平均を採用する。

※³ Pu 原子量は、同位体組成と原子量より算出する。

Table 3.5.1.4 Pu(NO₃)₄水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、球形状容器] [13/14]

計算ケース	nse79_sph61	nse79_sph62	nse79_sph63	nse79_sph64	nse79_sph65
臨界体積 (litre)	34.15	34.15	34.15	30.8210	30.8210
容器半径 (cm)	20.32	20.32	20.32	19.318	19.318
容器肉厚 (cm)	0.127	0.127	0.127	0.122	0.122
容器材質	Type-347	Type-347	Type-347	SUS304L	SUS304L
反射体	空気	空気	空気	空気	空気
Pu 濃度 (gPu/litre)	38.13	38.16	43.43	39.0	172.3
NO ₃ 濃度 (gNO ₃ /litre)	163	180	281.8	64.0	486.0
H ₂ O 濃度 (gH ₂ O/litre) ※1	934.14370	918.98579	866.54881	978.0	766.0
Fe 濃度 (gFe/litre)	0.124	0.178	0.179	—	—
溶液密度 (g/cm ³) ※2	1.13740	1.13960	1.19580	1.08138	1.42930
燃料領域温度 (°C)	24.0	23.0	22.0	25.0	25.0
同位体組成 (wt%)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	95.85	95.85	95.85	95.12	95.12
Pu-240	4.15	4.15	4.15	4.57	4.57
Pu-241	—	—	—	0.31	0.31
Pu-242	—	—	—	—	—
Pu 原子量 ※3	239.093567	239.093567	239.093567	239.1039233	239.1039233
原子個数密度 (atoms/barn・cm)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	9.20698E-05	9.21422E-05	1.04867E-04	9.34533E-05	4.12872E-04
Pu-240	3.96970E-06	3.97282E-06	4.52148E-06	4.47119E-06	1.97535E-05
Pu-241	—	—	—	3.02035E-07	1.33438E-06
Pu-242	—	—	—	—	—
Fe	1.33717E-06	1.91949E-06	1.93027E-06	—	—
H	6.36492E-02	6.27994E-02	6.02293E-02	6.56136E-02	5.41959E-02
N	1.58311E-03	1.74822E-03	2.73694E-03	6.21590E-04	4.72020E-03
O	3.59758E-02	3.59644E-02	3.71777E-02	3.45573E-02	3.97664E-02

※1 H₂O 濃度については、以下のように求める。

nse79_sph61～63 では、溶液密度から、Pu(NO₃)₄ 密度、HNO₃ 密度、Fe(NO₃)₂ 密度を差し引いた値、H₂O 密度から算出する。

nse79_sph64～65 では、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.25³⁵⁾]、[Nuclear Science and Engineering Vol.31³⁶⁾] に記載された値を引用する。

※2 溶液密度については、以下のように求める。

nse79_sph61～63 では、文献 [HW-24514³³⁾] に記載された値を引用する。計算ケースに合致する実験が複数回実施されている場合は、測定値の平均を採用する。

nse79_sph64～65 では、Pu(NO₃)₄ 密度、HNO₃ 密度、Fe(NO₃)₂ 密度、H₂O 密度の合算値を採用する。

※3 Pu 原子量は、同位体組成と原子量より算出する。

Table 3.5.1.4 Pu(NO₃)₄水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、球形状容器] [14/14]

計算ケース	nse79_sph66	nse79_sph67
臨界体積 (litre)	950.7758	950.7758
容器半径 (cm)	61.00	61.00
容器肉厚 (cm)	0.77	0.77
容器材質	Al	Al
反射体	空気	空気
Pu 濃度 (gPu/litre)	9.598	9.426
NO ₃ 濃度 (gNO ₃ /litre)	68.801	78.294
H ₂ O 濃度 (gH ₂ O/litre) ※ ¹	965.09681	959.99424
Fe 濃度 (gFe/litre)	—	—
溶液密度 (g/cm ³) ※ ²	1.04445	1.04883
燃料領域温度 (°C)	23.0	23.0
	同位体組成 (wt%)	
Pu-238	0.004	0.004
Pu-239	97.386	97.386
Pu-240	2.521	2.521
Pu-241	0.075	0.075
Pu-242	0.014	0.014
Pu 原子量※ ³	239.0791806	239.0791806
	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	
Pu-238	9.71235E-10	9.53830E-10
Pu-239	2.35470E-05	2.31250E-05
Pu-240	6.07010E-07	5.96132E-07
Pu-241	1.79835E-08	1.76612E-08
Pu-242	3.34302E-09	3.28311E-09
Fe	—	—
H	6.50938E-02	6.48466E-02
N	6.68219E-04	7.60419E-04
O	3.42658E-02	3.43718E-02

※¹ H₂O 濃度については、溶液密度から、Pu(NO₃)₄密度、HNO₃密度、Fe(NO₃)₂密度を差し引いた値、H₂O 密度から算出する。

※² 溶液密度は、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵] に記載された Pu(NO₃)₄硝酸水溶液の密度近似式より求める。詳細は、付録-2.4 を参照。

※³ Pu 原子量は、同位体組成と原子量より算出する。

Table 3.5.1.5 計算に用いた物質の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、球形状容器]

使用部材	材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
容器	Type-347 ^{※1} ステンレス鋼	8.0	Ni	12	58.6933505	9.84993E-03
	SUS304L 鋼 ^{※2}	7.93	Cr	18	51.9961306	1.66779E-02
			Fe	70	55.8451437	6.03884E-02
C			0.03	12.0106356	1.19283E-04	
Si			1.0	28.0849993	1.70039E-03	
Mn			2.0	54.9380432	1.73852E-03	
P			0.045	30.9737620	6.93813E-05	
S			0.03	32.0654619	4.46795E-05	
Ni	11.0	58.6933505	8.95010E-03			
Cr	19.0	51.9961306	1.74505E-02			
Fe	66.895	55.8451437	5.72048E-02			
アルミニウム ^{※3}	2.7	Al	100	26.9815384	6.02626E-02	
反射体	水 ^{※4}	0.99777 (22.0°C)	H	11.19015537	1.0079709	6.67067E-02
		0.99754 (23.0°C)	O	88.80984463	15.9993744	3.33533E-02
			H	11.19015537	1.0079709	6.66913E-02
		0.9973 (24.0°C)	O	88.80984463	15.9993744	3.33457E-02
			H	11.19015537	1.0079709	6.66753E-02
		0.99704 (25.0°C)	O	88.80984463	15.9993744	3.33376E-02
			H	11.19015537	1.0079709	6.66579E-02
		0.99651 (27.0°C)	O	88.80984463	15.9993744	3.33289E-02
			H	11.19015537	1.0079709	6.66225E-02
		空気 ^{※5}	1.9430E-05 (22.0°C)	H	11.19015537	1.0079709
	O			88.80984463	15.9993744	6.49508E-07
	2.0577E-05 (23.0°C)		H	11.19015537	1.0079709	1.37571E-06
			O	88.80984463	15.9993744	6.87857E-07
	2.1782E-05 (24.0°C)		H	11.19015537	1.0079709	1.45628E-06
			O	88.80984463	15.9993744	7.28140E-07
2.3048E-05 (25.0°C)	H		11.19015537	1.0079709	1.54088E-06	
	O		88.80984463	15.9993744	7.70438E-07	
2.5769E-05 (27.0°C)	H		11.19015537	1.0079709	1.72280E-06	
	O		88.80984463	15.9993744	8.61402E-07	

※1 Type-347 ステンレス鋼の密度および組成については、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾ TABLE I] に記載された数値 (Type-347 Stainless Steel : 70% iron、18% chromium、12% nickel with an 8.0 g/cm³ density) を引用する (付録-2.2.9を参照)。

※2 SUS304L については、JIS G 4303 の組成を引用する (付録-2.2.8を参照)。

※3 アルミニウムの密度については、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ および文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾ TABLE I] に記載された数値を引用する (付録-2.2.5を参照)。

※4 反射体 (水) の密度については、設定温度の密度における密度を設定する (付録-2.2.16を参照)。

※5 反射体を設けない実験については、反射体の位置に空気を設定する。空気については、O₂、N₂ の主成分は考慮せず、空気中の水分のみを考慮する。空気中水分量については、その空気温度における飽和蒸気量とする (付録-2.2.17を参照)。

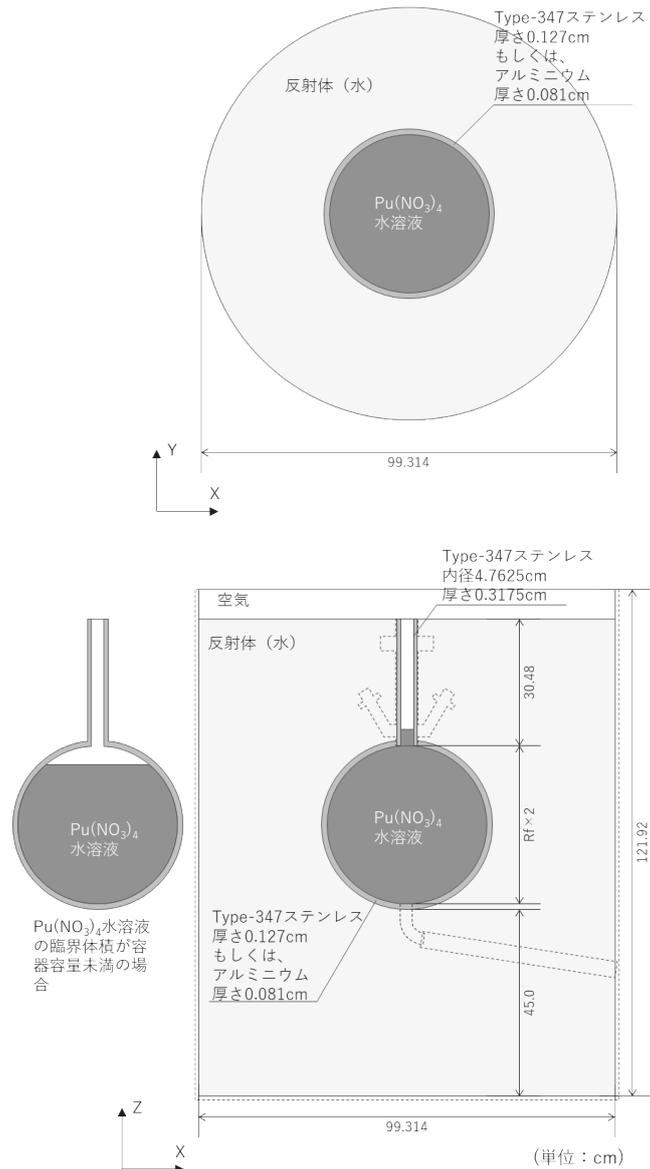


Fig. 3.5.1.1 球形状容器を用いた計算モデル図 (反射体：水) [nse79_sph_01~39]

- ※ 文献 [PNL-2700³⁴⁾ p.7 Pu BENCHMARK 3] より引用する。
- ※ 球形状容器の半径 R_f は、用いた容器による (Table 3.5.1.2 を参照)。Pu(NO₃)₄ 水溶液の臨界体積が、球形状容器容量以上の場合、溶液注入パイプ内に過剰分が留まると仮定してモデル化する。また、溶液の臨界体積が、球形状容器容量未満の場合は、容器上方に空気の領域をモデル化する。
- ※ 実験装置内には、溶液排出チューブや容器を保持する構造材等が配置されているが、モデルでは省略する。溶液注入パイプについては、その材質を Type-347 と仮定してモデル化する。
- ※ 上方方向の 30.48cm の厚さ、周方向の厚さ 30.48cm (≒12 インチ) 以上の反射体 (水) を設定する。
- ※ 反射体タンクについては、文献 [HW-24514³³⁾ p.19] に寸法条件 (直径 3 フィート、高さ 4 フィート) に記述があるが、構造材の材質の記述が無いため、計算モデルでは省略する。
また、反射体タンクの内径においては、容器の周方向に反射体 (水) 厚さ 30.48cm を確保するため、直径 99.314cm (=溶液半径 19.05cm + 容器厚さ 0.127cm + 反射体 (水) 厚さ 30.48cm) ×2 とする。

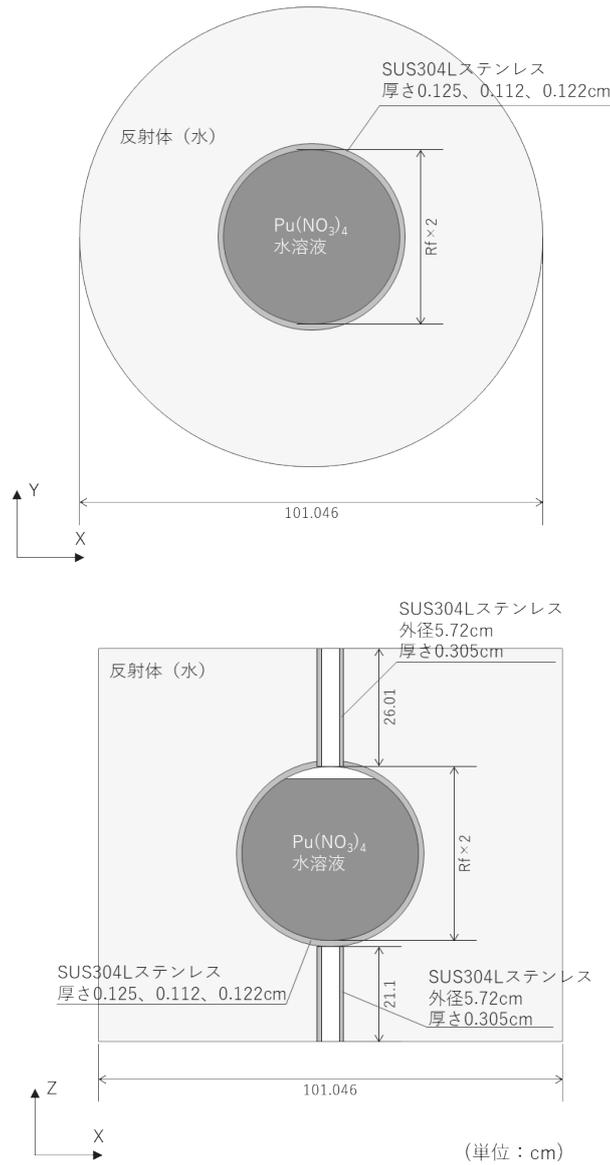


Fig. 3.5.1.2 球形状容器を用いた計算モデル図（反射体：水）[nse79_sph_40~59]

- ※ 文献 [PNL-2700³⁴⁾ p.27 Pu BENCHMARK 14] より引用する。
- ※ 球形状容器内半径 R_f (14.605cm、17.78cm、19.318cm) は、用いた容器による (Table 3.5.1.2 参照)。
 $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ 水溶液の臨界体積が、球形状容器容量未満の場合であるため、容器上方に空気の領域をモデル化する。
- ※ 実験装置内には、容器を保持する構造材が配置されているがモデルでは省略する。溶液注入、排出パイプについては、その材質を SUS304L と仮定してモデル化する。
- ※ 反射体タンクについては、文献 [PNL-2700³⁴⁾ p.27 Pu BENCHMARK 14] より、外径 1016mm より厚さ 2.77mm を差し引いた 1010.46mm を内径とする。
 また、反射体タンク構造材の材質についての記述が無い場合、モデルでは省略する。

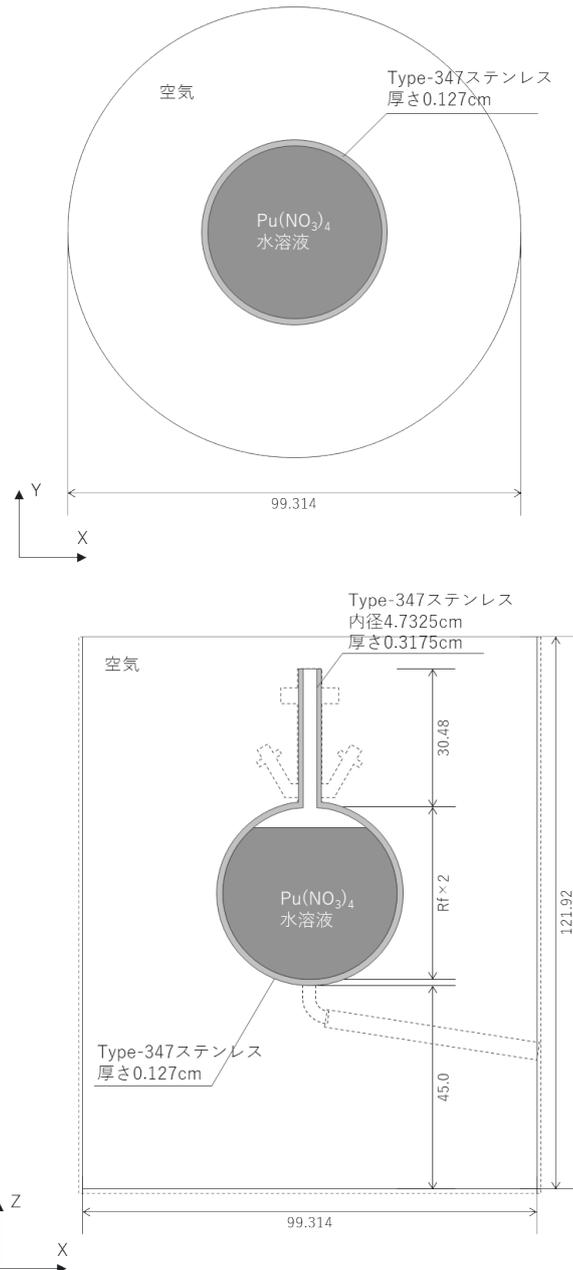


Fig. 3.5.1.3 球形状容器を用いた計算モデル図（反射体：無し） [nse79_sph_60~63]

- ※ 文献 [PNL-2700³⁴⁾ p.7 Pu BENCHMARK 3] より引用する。
- ※ 球形状容器の半径 Rf ($=20.32\text{cm}$) は、用いた容器により決定される (Table 3.5.1.2 参照)。Pu(NO₃)₄ 水溶液の臨界体積が、球形状容器容量未満の場合は、容器内上方に空気の領域をモデル化する。
- ※ 実験装置内には、溶液排出チューブや容器を保持する構造材が配置されているが、モデルでは省略する。溶液吸入パイプについては、その材質を Type-304 と仮定してモデル化する。
- ※ 反射体タンクについては、文献 [HW-24514³³⁾ p.19] に寸法条件 (直径 3 フィート、高さ 4 フィート) に記述があるが、構造材の材質の記述が無いため、計算モデルでは省略する。
また、タンクの内径においては、直径 99.314cm とする。タンク内部は空気雰囲気とする。

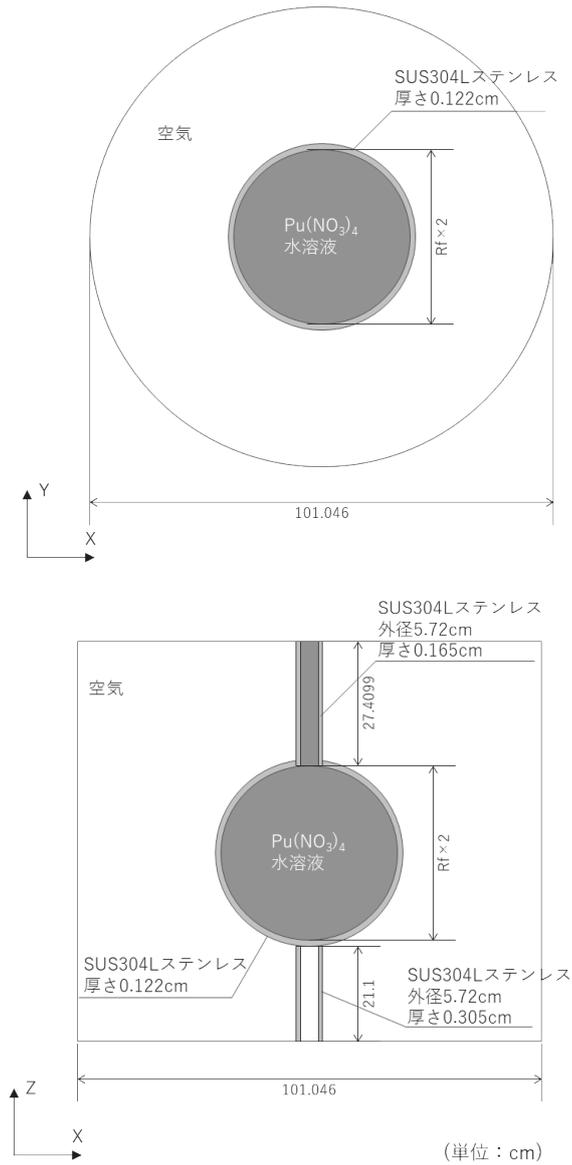


Fig. 3.5.1.4 球形状容器を用いた計算モデル図（反射体：無し） [nse79_sph_64~65]

- ※ 文献 [PNL-2700³⁴⁾ p.5 Pu BENCHMARK 2] より引用する。
- ※ 球形状容器の半径 R_f ($=19.318\text{cm}$) は、用いた容器による (Table 3.5.1.2 参照)。Pu(NO₃)₄ 水溶液の臨界体積 (30.8210 litre) が、球形状容器容量 (30.1956 litre) 以上であるため、過剰な溶液は、供給パイプ内に留まると仮定する。このため、供給パイプの全長を 23.0cm から 27.4099cm に延長する。
- ※ 実験装置内には、容器を保持する構造材が配置されているが、モデルでは省略する。溶液注入、排出パイプについては、その材質を SUS304L と仮定してモデル化する。
- ※ 反射体タンクについては、文献 [PNL-2700³⁴⁾ p.27 Pu BENCHMARK 14] より、外径 1016mm より厚さ 2.77mm を差し引いた 1010.46mm を内径とする。
また、反射体タンク構造材の材質についての記述が無いため、モデルでは省略する。

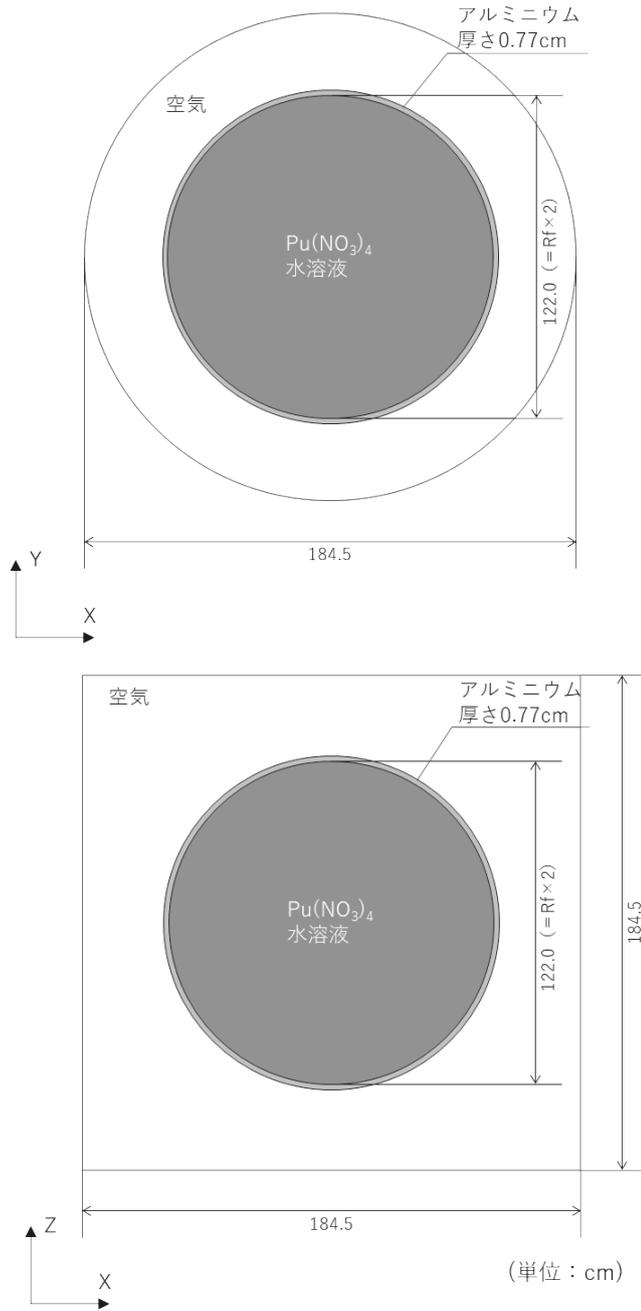


Fig. 3.5.1.5 球形状容器を用いた計算モデル図 (反射体: 無し) [nse79_sph_66~67]

※ 本計算モデルにおいては、燃料直径と容器厚さが文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾ p.72 TABLE IV] に記載されている。

反射体は、設定されていないため、容器の外側に厚さ 30.48cm となる空気雰囲気の内柱状領域をモデル化する。

3.5.2 Nuclear Science and Engineering Vol.79 円筒形状容器を用いた実験

円筒形状容器を用いた実験では、Type-347 ステンレス製の円筒形状容器内に条件（Pu 濃度、U 濃度、Fe 濃度、溶液半径、臨界水位、等々）の異なる $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ 水溶液を注入し、臨界となる条件を測定している。

(1) ピストンダンパー付き容器を用いた実験

計算ケース nse79_cyl101~25 (25 ケース) においては、以下の文献に記載された実験を評価対象とする。

文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾ TABLE II]、

文献 [HW-24514³³⁾]

反射体タンク（直径 91.75496cm、高さ 121.92cm）の内にピストンダンパーを備えた円筒形状容器を設置している。容器の内半径は 11.43cm、12.7cm、13.97cm、15.24cm の 4 種類が使用されている。

円筒形状容器内の高さを $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ 水溶液の水位と同寸法とし、容器内には、 $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ 水溶液のみが充填されている。円筒形状容器の周囲には、全方向（上下、周方向）に厚さ 30.48cm を維持する反射体（水）円柱を設定する。反射体（水）の水位より上の領域については、反射体タンクの上端まで空気雰囲気とする。

反射体の外側境界条件は、真空として設定する。

Fig. 3.5.2.1 にピストンダンパー付き容器を用いた実験の計算モデル図を示す。図中の“Rf”は、Table 3.5.2.1 に示す円筒容器内半径を表し、“Hf”は $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ 水溶液の臨界高さを表す。

(2) 円筒形状容器（容器内高さ 105.73cm）を用いた実験

計算ケース nse79_cyl126~34 (9 ケース) においては、以下の文献に記載された実験を評価対象とする。

文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾ TABLE VI]

文献 [PNL-2700³⁴⁾ pp.24-25 Pu BENCHMARK 13]

反射体タンク（直径 101.6cm、高さ 143.0cm）の内に Type-347 ステンレス製円筒形状容器（内半径 30.514cm、容器内高さ 105.73cm）を設定している。

円筒形状容器内の高さが 105.73cm の容器を使用しているため、容器内には、臨界水位までの $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ 水溶液と、水位より上の空間（臨界水位~105.73cm）の空気が充填されている。

反射体（水）は、容器下に厚さ 20.95cm を設定する。反射体（水）は、容器内の上端と同じ高さまで充填されている。反射体（水）の水位より上の領域については、反射体タンクの上端まで空気雰囲気とする。

Fig. 3.5.2.2 に円筒形状容器を用いた実験の計算モデル図を示す。図中の“Rf”は、Table 3.5.2.1 に

示す円筒形状容器内半径を表し、“Hf”は Pu(NO₃)₄水溶液の臨界高さを表す。

Table 3.5.2.1 に臨界実験データ（臨界条件、容器寸法等々）を示す。

Table 3.5.2.2 に臨界実験データ（Pu(NO₃)₄水溶液濃度）を示す。

Table 3.5.2.3 にプルトニウムの同位体組成を示す。

Table 3.5.2.4 に実験ケース毎の核種の原子個数密度を示す。

Table 3.5.2.5 に計算に用いた物質の原子個数密度を示す。

Table 3.5.2.1 臨界実験データ [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、円筒形状容器]

計算ケース	容器半径 (cm)	臨界高さ (cm)	容器高さ (cm)	容器肉厚 [側面] (cm)	容器肉厚 [上下面] (cm)	容器材質	反射体	溶液温度 (°C)
nse79_cyl01	11.43	29.87	29.87	0.15748 ^{*1}	0.15748 ^{*1}	Type-347	水	27
nse79_cyl02		30.71	30.71					
nse79_cyl03		32.33	32.33					
nse79_cyl04		35.41	35.41					
nse79_cyl05		40.08	40.08					
nse79_cyl06		44.58	44.58					
nse79_cyl07	12.7	25.22	25.22	0.15748 ^{*1}	0.15748 ^{*1}	Type-347	水	27
nse79_cyl08		24.74	24.74					
nse79_cyl09		27.25	27.25					
nse79_cyl10		32.69	32.69					
nse79_cyl11		41.76	41.76					
nse79_cyl12	13.97	22.81	22.81	0.15748 ^{*1}	0.15748 ^{*1}	Type-347	水	27
nse79_cyl13		25.96	25.96					
nse79_cyl14		27.08	27.08					
nse79_cyl15		32.64	32.64					
nse79_cyl16		31.19	31.19					
nse79_cyl17		43.00	43.00					
nse79_cyl18		39.55	39.55					
nse79_cyl19	47.12	47.12						
nse79_cyl20	15.24	17.32	17.32	0.15748 ^{*1}	0.15748 ^{*1}	Type-347	水	27
nse79_cyl21		22.35	22.35					
nse79_cyl22		25.25	25.25					
nse79_cyl23		28.47	28.47					
nse79_cyl24		33.43	33.43					
nse79_cyl25	44.45	44.45						
nse79_cyl26	30.514	54.70	105.73 ^{*2}	0.079	0.95	Type-347	水	23
nse79_cyl27		50.55						
nse79_cyl28		48.26						
nse79_cyl29		47.00						
nse79_cyl30		47.29						
nse79_cyl31		49.12						
nse79_cyl32		52.83						
nse79_cyl33		63.47						
nse79_cyl34	80.92							

※1 =0.062 インチ

※2 文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾] では 105cm と記述されているが、文献 [PNL-2700³⁴⁾ p.25 Pu BENCHMARK 13] において、1057.3mm と記述されている。本ベンチマーク計算では 105.73cm とする。

Table 3.5.2.2 臨界実験データ Pu(NO₃)₄水溶液濃度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、円筒形状容器]

計算ケース	Pu濃度 (gPu/litre)	NO ₃ 濃度 ^{※1} (gNO ₃ /litre)	H ₂ O濃度 (gH ₂ O/litre)	Fe濃度 (gFe/litre)	溶液密度 ^{※2} (g/cm ³)
nse79_cyl01	109.16	166	934.60	0.395	1.2110
nse79_cyl02	99.09	136.5	963.20	0.378	1.1997
nse79_cyl03	85.14	151	948.43	0.321	1.1859
nse79_cyl04	73.92	125.6	958.66	0.231	1.1592
nse79_cyl05	61.49	134	947.18	0.303	1.1441
nse79_cyl06	54.33	119.8	957.49	0.257	1.1329
nse79_cyl07	77.4	152	943.81	0.644	1.1750
nse79_cyl08	76.93	152	934.58	0.327	1.1650
nse79_cyl09	62.47	146	935.95	0.269	1.1460
nse79_cyl10	49.26	142	937.01	0.26	1.1300
nse79_cyl11	39.1	138	931.15	0.172	1.1100
nse79_cyl12	63.99	121.1	962.03	0.298	1.1483
nse79_cyl13	48.98	139	946.36	0.238	1.1360
nse79_cyl14	47.21	117	954.62	0.275	1.1202
nse79_cyl15	41.73	215	900.63	0.255	1.1604
nse79_cyl16	39.1	138	931.15	0.172	1.1100
nse79_cyl17	36.9	300	860.79	0.263	1.2022
nse79_cyl18	33.54	137	926.61	0.193	1.0990
nse79_cyl19	30.81	136	929.33	0.173	1.0980
nse79_cyl20	109.16	166	934.60	0.395	1.2110
nse79_cyl21	48.75	116.3	959.67	0.223	1.1260
nse79_cyl22	42.29	126.6	944.80	0.174	1.1152
nse79_cyl23	36.52	107.1	962.80	0.161	1.1077
nse79_cyl24	31.14	114	956.18	0.153	1.1028
nse79_cyl25	26.45	134	940.47	0.154	1.1028
nse79_cyl26	140.0	457.6	781.13	—	1.3853
nse79_cyl27	116.0	378.0	819.27	—	1.3187
nse79_cyl28	99.3	331.4	841.11	—	1.2766
nse79_cyl29	85.5	282.8	864.55	—	1.2369
nse79_cyl30	75.6	248.9	880.85	—	1.2090
nse79_cyl31	65.1	217.5	895.71	—	1.1815
nse79_cyl32	56.3	186.0	910.93	—	1.1559
nse79_cyl33	46.8	154.3	926.12	—	1.1295
nse79_cyl34	40.6	133.0	936.57	—	1.1121

※1 H₂O濃度については、溶液密度より、Pu(NO₃)₄密度、Am密度、Gd(NO₃)₃密度、Fe(NO₃)₂密度、HNO₃密度を差し引いたH₂O密度より計算する。

※2 溶液密度においては、nse79_cyl01～25 においては、文献 [HW-24514³³⁾] に記載された値を採用する。また、nse79_cyl34 においては、文献 [PNL-2700³⁴⁾] に記載された値を引用する。

nse79_cyl26～33 においては、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾] に記載されたPu(NO₃)₄水溶液の密度近似式より計算する。

Table 3.5.2.3 Pu 同位体組成 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、円筒形状容器]

計算ケース	同位体組成 (wt%) ※1							Pu 原子量※2
	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	Am-241	Gd	
nse79_cyl01	—	97.17	2.83	—	—	—	—	239.0803966
nse79_cyl02	—	97.17	2.83	—	—	—	—	239.0803966
nse79_cyl03	—	97.17	2.83	—	—	—	—	239.0803966
nse79_cyl04	—	97.17	2.83	—	—	—	—	239.0803966
nse79_cyl05	—	97.17	2.83	—	—	—	—	239.0803966
nse79_cyl06	—	97.17	2.83	—	—	—	—	239.0803966
nse79_cyl07	—	97.15	2.85	—	—	—	—	239.0805961
nse79_cyl08	—	97.15	2.85	—	—	—	—	239.0805961
nse79_cyl09	—	97.15	2.85	—	—	—	—	239.0805961
nse79_cyl10	—	97.15	2.85	—	—	—	—	239.0805961
nse79_cyl11	—	97.15	2.85	—	—	—	—	239.0805961
nse79_cyl12	—	97.1	2.9	—	—	—	—	239.081095
nse79_cyl13	—	97.1	2.9	—	—	—	—	239.081095
nse79_cyl14	—	97.17	2.83	—	—	—	—	239.0803966
nse79_cyl15	—	97.17	2.83	—	—	—	—	239.0803966
nse79_cyl16	—	97.15	2.85	—	—	—	—	239.0805961
nse79_cyl17	—	97.17	2.83	—	—	—	—	239.0803966
nse79_cyl18	—	97.15	2.85	—	—	—	—	239.0805961
nse79_cyl19	—	97.15	2.85	—	—	—	—	239.0805961
nse79_cyl20	—	97.17	2.83	—	—	—	—	239.0803966
nse79_cyl21	—	97.1	2.9	—	—	—	—	239.081095
nse79_cyl22	—	97.1	2.9	—	—	—	—	239.081095
nse79_cyl23	—	97.1	2.9	—	—	—	—	239.081095
nse79_cyl24	—	97.1	2.9	—	—	—	—	239.081095
nse79_cyl25	—	97.1	2.9	—	—	—	—	239.081095
nse79_cyl26	0.2	41.4	42.9	10.8	4.7	1.08	0.0089	239.8348804
nse79_cyl27	0.2	41.4	42.9	10.8	4.7	1.08	0.0089	239.8348804
nse79_cyl28	0.2	41.4	42.9	10.8	4.7	1.08	0.0089	239.8348804
nse79_cyl29	0.2	41.4	42.9	10.8	4.7	1.08	0.0089	239.8348804
nse79_cyl30	0.2	41.4	42.9	10.8	4.7	1.08	0.0089	239.8348804
nse79_cyl31	0.2	41.4	42.9	10.8	4.7	1.08	0.0089	239.8348804
nse79_cyl32	0.2	41.4	42.9	10.8	4.7	1.08	0.0089	239.8348804
nse79_cyl33	0.2	41.4	42.9	10.8	4.7	1.08	0.0089	239.8348804
nse79_cyl34	0.2	41.4	42.9	10.8	4.7	1.08	0.0089	239.8348804

※1 同位体組成は、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾] に記載された値を引用する。Am-241、Gd においては、Pu 量に対する重量比で記載されており、本表にはその重量比を示す。

※2 Pu 原子量は、同位体組成 (Pu-238、Pu-239、Pu-240、Pu-241、Pu-242) とその原子量より算出する。

Table 3.5.2.4 Pu(NO₃)₄水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、円筒形状容器] [1/7]

計算ケース	nse79_cyl01	nse79_cyl02	nse79_cyl03	nse79_cyl04	nse79_cyl05
容器半径 (cm)	11.43	11.43	11.43	11.43	11.43
臨界高さ (cm)	29.87	30.71	32.33	35.41	40.08
燃料容器高さ (cm)	29.87	30.71	32.33	35.41	40.08
容器肉厚 [側面] (cm)	0.15748	0.15748	0.15748	0.15748	0.15748
容器肉厚 [上下面] (cm)	0.15748	0.15748	0.15748	0.15748	0.15748
容器材質	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347
反射体	水	水	水	水	水
Pu 濃度 (gPu/litre)	109.16	99.09	85.14	73.92	61.49
NO ₃ 濃度 (gNO ₃ /litre)	166	136.5	151	125.6	134
H ₂ O 濃度 (gH ₂ O/litre) ※ ¹	934.60	963.20	948.43	958.66	947.18
Fe 濃度 (gFe/litre)	0.395	0.378	0.321	0.231	0.303
溶液密度 (g/cm ³) ※ ²	1.21100	1.19970	1.18590	1.15920	1.14410
燃料領域温度 (°C)	27	27	27	27	27
同位体組成 (wt%)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	97.17	97.17	97.17	97.17	97.17
Pu-240	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Am-241	—	—	—	—	—
Gd	—	—	—	—	—
Pu 原子量 ※ ³	239.0803966	239.0803966	239.0803966	239.0803966	239.0803966
原子個数密度 (atoms/barn・cm)					
PU-238	—	—	—	—	—
Pu-239	2.67211E-04	2.42561E-04	2.08413E-04	1.80947E-04	1.50520E-04
Pu-240	7.74983E-06	7.03491E-06	6.04453E-06	5.24796E-06	4.36549E-06
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Am-241	—	—	—	—	—
Gd	—	—	—	—	—
Fe	4.25954E-06	4.07622E-06	3.46155E-06	2.49102E-06	3.26744E-06
H	6.29874E-02	6.47145E-02	6.40100E-02	6.45622E-02	6.39996E-02
N	1.61225E-03	1.32574E-03	1.46656E-03	1.21987E-03	1.30145E-03
O	3.60785E-02	3.61749E-02	3.61038E-02	3.57057E-02	3.55665E-02

※¹ H₂O 濃度については、溶液密度より、Pu(NO₃)₄密度、Am密度、Gd(NO₃)₃密度、Fe(NO₃)₂密度、HNO₃密度を差し引いた H₂O 密度より計算する。

※² 溶液密度については、文献 [HW-24514³³] に記載された値を採用する。

※³ Pu 原子量は、同位体組成と原子量より算出する。

Table 3.5.2.4 Pu(NO₃)₄水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、円筒形状容器] [2/7]

計算ケース	nse79_cyl06	nse79_cyl07	nse79_cyl08	nse79_cyl09	nse79_cyl10
容器半径 (cm)	11.43	12.7	12.7	12.7	12.7
臨界高さ (cm)	44.58	25.22	24.74	27.25	32.69
燃料容器高さ (cm)	44.58	25.22	24.74	27.25	32.69
容器肉厚 [側面] (cm)	0.15748	0.15748	0.15748	0.15748	0.15748
容器肉厚 [上下面] (cm)	0.15748	0.15748	0.15748	0.15748	0.15748
容器材質	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347
反射体	水	水	水	水	水
Pu濃度 (gPu/litre)	54.33	77.4	76.93	62.47	49.26
NO ₃ 濃度 (gNO ₃ /litre)	119.8	152	152	146	142
H ₂ O濃度 (gH ₂ O/litre) ※1	957.49	943.81	934.58	935.95	937.01
Fe濃度 (gFe/litre)	0.257	0.644	0.327	0.269	0.26
溶液密度 (g/cm ³) ※2	1.13290	1.17500	1.16500	1.14600	1.13000
燃料領域温度 (°C)	27	27	27	27	27
同位体組成 (wt%)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	97.17	97.15	97.15	97.15	97.15
Pu-240	2.83	2.85	2.85	2.85	2.85
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Am-241	—	—	—	—	—
Gd	—	—	—	—	—
Pu原子量※3	239.0803966	239.0805961	239.0805961	239.0805961	239.0805961
原子個数密度 (atoms/barn・cm)					
PU-238	—	—	—	—	—
Pu-239	1.32993E-04	1.89427E-04	1.88277E-04	1.52888E-04	1.20558E-04
Pu-240	3.85717E-06	5.53386E-06	5.50026E-06	4.46641E-06	3.52194E-06
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Am-241	—	—	—	—	—
Gd	—	—	—	—	—
Fe	2.77140E-06	6.94467E-06	3.52625E-06	2.90080E-06	2.80375E-06
H	6.46244E-02	6.37819E-02	6.31763E-02	6.33565E-02	6.35219E-02
N	1.16354E-03	1.47628E-03	1.47628E-03	1.41800E-03	1.37915E-03
O	3.54975E-02	3.59785E-02	3.56699E-02	3.55409E-02	3.54598E-02

※1 H₂O濃度については、溶液密度より、Pu(NO₃)₄密度、Am密度、Gd(NO₃)₃密度、Fe(NO₃)₂密度、HNO₃密度を差し引いた H₂O 密度より計算する。

※2 溶液密度については、文献 [HW-24514³³⁾] に記載された値を採用する。

※3 Pu 原子量は、同位体組成と原子量より算出する。

Table 3.5.2.4 Pu(NO₃)₄水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、円筒形状容器] [3/7]

計算ケース	nse79_cyl11	nse79_cyl12	nse79_cyl13	nse79_cyl14	nse79_cyl15
容器半径 (cm)	12.7	13.97	13.97	13.97	13.97
臨界高さ (cm)	41.76	22.81	25.96	27.08	32.64
燃料容器高さ (cm)	41.76	22.81	25.96	27.08	32.64
容器肉厚 [側面] (cm)	0.15748	0.15748	0.15748	0.15748	0.15748
容器肉厚 [上下面] (cm)	0.15748	0.15748	0.15748	0.15748	0.15748
容器材質	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347
反射体	水	水	水	水	水
Pu濃度 (gPu/litre)	39.1	63.99	48.98	47.21	41.73
NO ₃ 濃度 (gNO ₃ /litre)	138	121.1	139	117	215
H ₂ O濃度 (gH ₂ O/litre) ※1	931.15	962.03	946.36	954.62	900.63
Fe濃度 (gFe/litre)	0.172	0.298	0.238	0.275	0.255
溶液密度 (g/cm ³) ※2	1.11000	1.14830	1.13600	1.12020	1.16040
燃料領域温度 (°C)	27	27	27	27	27
同位体組成 (wt%)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	97.15	97.1	97.1	97.17	97.17
Pu-240	2.85	2.9	2.9	2.83	2.83
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Am-241	—	—	—	—	—
Gd	—	—	—	—	—
Pu原子量※3	239.0805961	239.081095	239.081095	239.0803966	239.0803966
原子個数密度 (atoms/barn・cm)					
PU-238	—	—	—	—	—
Pu-239	9.56925E-05	1.56527E-04	1.19811E-04	1.15564E-04	1.02150E-04
Pu-240	2.79553E-06	4.65535E-06	3.56335E-06	3.35168E-06	2.96263E-06
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Am-241	—	—	—	—	—
Gd	—	—	—	—	—
Fe	1.85479E-06	3.21353E-06	2.56651E-06	2.96550E-06	2.74983E-06
H	6.31954E-02	6.48425E-02	6.41208E-02	6.44766E-02	6.18747E-02
N	1.34030E-03	1.17617E-03	1.35002E-03	1.13634E-03	2.08816E-03
O	3.51473E-02	3.56872E-02	3.56848E-02	3.53199E-02	3.63707E-02

※1 H₂O濃度については、溶液密度より、Pu(NO₃)₄密度、Am密度、Gd(NO₃)₃密度、Fe(NO₃)₂密度、HNO₃密度を差し引いたH₂O密度より計算する。

※2 溶液密度については、文献 [HW-24514³³⁾] に記載された値を採用する。

※3 Pu原子量は、同位体組成と原子量より算出する。

Table 3.5.2.4 Pu(NO₃)₄水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、円筒形状容器] [4/7]

計算ケース	nse79_cyl16	nse79_cyl17	nse79_cyl18	nse79_cyl19	nse79_cyl20
容器半径 (cm)	13.97	13.97	13.97	13.97	15.24
臨界高さ (cm)	31.19	43	39.55	47.12	17.32
燃料容器高さ (cm)	31.19	43	39.55	47.12	17.32
容器肉厚 [側面] (cm)	0.15748	0.15748	0.15748	0.15748	0.15748
容器肉厚 [上下面] (cm)	0.15748	0.15748	0.15748	0.15748	0.15748
容器材質	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347
反射体	水	水	水	水	水
Pu 濃度 (gPu/litre)	39.1	36.9	33.54	30.81	109.16
NO ₃ 濃度 (gNO ₃ /litre)	138	300	137	136	166
H ₂ O 濃度 (gH ₂ O/litre) ※1	931.15	860.79	926.61	929.33	934.60
Fe 濃度 (gFe/litre)	0.172	0.263	0.193	0.173	0.395
溶液密度 (g/cm ³) ※2	1.11000	1.20220	1.09900	1.09800	1.21100
燃料領域温度 (°C)	27	27	27	27	27
同位体組成 (wt%)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	97.15	97.17	97.15	97.15	97.17
Pu-240	2.85	2.83	2.85	2.85	2.83
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Am-241	—	—	—	—	—
Gd	—	—	—	—	—
Pu 原子量※3	239.0805961	239.0803966	239.0805961	239.0805961	239.0803966
原子個数密度 (atoms/barn・cm)					
PU-238	—	—	—	—	—
Pu-239	9.56925E-05	9.03268E-05	8.20851E-05	7.54037E-05	2.67211E-04
Pu-240	2.79553E-06	2.61972E-06	2.39801E-06	2.20282E-06	7.74983E-06
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Am-241	—	—	—	—	—
Gd	—	—	—	—	—
Fe	1.85479E-06	2.83610E-06	2.08124E-06	1.86557E-06	4.25954E-06
H	6.31954E-02	6.00852E-02	6.29379E-02	6.31379E-02	6.29874E-02
N	1.34030E-03	2.91370E-03	1.33059E-03	1.32088E-03	1.61225E-03
O	3.51473E-02	3.75156E-02	3.49665E-02	3.50282E-02	3.60785E-02

※1 H₂O 濃度については、溶液密度より、Pu(NO₃)₄密度、Am密度、Gd(NO₃)₃密度、Fe(NO₃)₂密度、HNO₃密度を差し引いた H₂O 密度より計算する。

※2 溶液密度については、文献 [HW-24514³³⁾] に記載された値を採用する。

※3 Pu 原子量は、同位体組成と原子量より算出する。

Table 3.5.2.4 Pu(NO₃)₄水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、円筒形状容器] [5/7]

計算ケース	nse79_cyl21	nse79_cyl22	nse79_cyl23	nse79_cyl24	nse79_cyl25
容器半径 (cm)	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24
臨界高さ (cm)	22.35	25.25	28.47	33.43	44.45
燃料容器高さ (cm)	22.35	25.25	28.47	33.43	44.45
容器肉厚 [側面] (cm)	0.15748	0.15748	0.15748	0.15748	0.15748
容器肉厚 [上下面] (cm)	0.15748	0.15748	0.15748	0.15748	0.15748
容器材質	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347
反射体	水	水	水	水	水
Pu濃度 (gPu/litre)	48.75	42.29	36.52	31.14	26.45
NO ₃ 濃度 (gNO ₃ /litre)	116.3	126.6	107.1	114	134
H ₂ O濃度 (gH ₂ O/litre) ※1	959.67	944.80	962.80	956.18	940.47
Fe濃度 (gFe/litre)	0.223	0.174	0.161	0.153	0.154
溶液密度 (g/cm ³) ※2	1.12600	1.11520	1.10770	1.10280	1.10280
燃料領域温度 (°C)	27	27	27	27	27
同位体組成 (wt%)					
Pu-238	—	—	—	—	—
Pu-239	97.1	97.1	97.1	97.1	97.1
Pu-240	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Am-241	—	—	—	—	—
Gd	—	—	—	—	—
Pu原子量※3	239.081095	239.081095	239.081095	239.081095	239.081095
原子個数密度 (atoms/barn・cm)					
PU-238	—	—	—	—	—
Pu-239	1.19248E-04	1.03446E-04	8.93322E-05	7.61721E-05	6.46998E-05
Pu-240	3.54662E-06	3.07665E-06	2.65687E-06	2.26547E-06	1.92427E-06
Pu-241	—	—	—	—	—
Pu-242	—	—	—	—	—
Am-241	—	—	—	—	—
Gd	—	—	—	—	—
Fe	2.40475E-06	1.87635E-06	1.73617E-06	1.64990E-06	1.66068E-06
H	6.47928E-02	6.39649E-02	6.50375E-02	6.47166E-02	6.39075E-02
N	1.12955E-03	1.22958E-03	1.04019E-03	1.10721E-03	1.30145E-03
O	3.54683E-02	3.52713E-02	3.53049E-02	3.52849E-02	3.53423E-02

※1 H₂O濃度については、溶液密度より、Pu(NO₃)₄密度、Am密度、Gd(NO₃)₃密度、Fe(NO₃)₂密度、HNO₃密度を差し引いたH₂O密度より計算する。

※2 溶液密度については、文献 [HW-24514³³⁾] に記載された値を採用する。

※3 Pu原子量は、同位体組成と原子量より算出する。

Table 3.5.2.4 Pu(NO₃)₄水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、円筒形状容器] [6/7]

計算ケース	nse79_cyl26	nse79_cyl27	nse79_cyl28	nse79_cyl29	nse79_cyl30
容器半径 (cm)	30.514	30.514	30.514	30.514	30.514
臨界高さ (cm)	54.7	50.55	48.26	47	47.29
燃料容器高さ (cm)	105.73	105.73	105.73	105.73	105.73
容器肉厚 [側面] (cm)	0.079	0.079	0.079	0.079	0.079
容器肉厚 [上下面] (cm)	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
容器材質	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347
反射体	水	水	水	水	水
Pu濃度 (gPu/litre)	140	116	99.3	85.5	75.6
NO ₃ 濃度 (gNO ₃ /litre)	457.6	378	331.4	282.8	248.9
H ₂ O濃度 (gH ₂ O/litre) ※ ¹	781.13	819.27	841.11	864.55	880.85
Fe濃度 (gFe/litre)	—	—	—	—	—
溶液密度 (g/cm ³) ※ ²	1.38534	1.31873	1.27661	1.23694	1.20895
燃料領域温度 (°C)	23	23	23	23	23
同位体組成 (wt%)					
Pu-238	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Pu-239	41.4	41.4	41.4	41.4	41.4
Pu-240	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9
Pu-241	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8
Pu-242	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
Am-241	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
Gd	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089
Pu原子量※ ³	239.8348804	239.8348804	239.8348804	239.8348804	239.8348804
原子個数密度 (atoms/barn・cm)					
PU-238	7.08340E-07	5.86910E-07	5.02415E-07	4.32593E-07	3.82503E-07
Pu-239	1.46011E-04	1.20981E-04	1.03564E-04	8.91712E-05	7.88461E-05
Pu-240	1.50670E-04	1.24841E-04	1.06868E-04	9.20165E-05	8.13620E-05
Pu-241	3.77732E-05	3.12978E-05	2.67920E-05	2.30686E-05	2.03975E-05
Pu-242	1.63703E-05	1.35639E-05	1.16112E-05	9.99756E-06	8.83995E-06
Am-241	3.77732E-06	3.12978E-06	2.67920E-06	2.30686E-06	2.03975E-06
Gd	4.77169E-08	3.95369E-08	3.38449E-08	2.91414E-08	2.57671E-08
Fe	—	—	—	—	—
H	5.52613E-02	5.72789E-02	5.84544E-02	5.96881E-02	6.05481E-02
N	4.44437E-03	3.67127E-03	3.21867E-03	2.74665E-03	2.41740E-03
O	3.94447E-02	3.84002E-02	3.77726E-02	3.71401E-02	3.66972E-02

※¹ H₂O濃度については、溶液密度より、Pu(NO₃)₄密度、Am密度、Gd(NO₃)₃密度、Fe(NO₃)₂密度、HNO₃密度を差し引いたH₂O密度より計算する。

※² 溶液密度については、nse79_cyl26~30においては、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵] に記載されたPu(NO₃)₄水溶液の密度近似式より計算する。

※³ Pu原子量は、同位体組成と原子量より算出する。

Table 3.5.2.4 Pu(NO₃)₄水溶液の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、円筒形状容器] [7/7]

計算ケース	nse79_cyl31	nse79_cyl32	nse79_cyl33	nse79_cyl34
容器半径 (cm)	30.514	30.514	30.514	30.514
臨界高さ (cm)	49.12	52.83	63.47	80.92
燃料容器高さ (cm)	105.73	105.73	105.73	105.73
容器肉厚 [側面] (cm)	0.079	0.079	0.079	0.079
容器肉厚 [上下面] (cm)	0.95	0.95	0.95	0.95
容器材質	Type-347	Type-347	Type-347	Type-347
反射体	水	水	水	水
Pu 濃度 (gPu/litre)	65.1	56.3	46.8	40.6
NO ₃ 濃度 (gNO ₃ /litre)	217.5	186	154.3	133
H ₂ O 濃度 (gH ₂ O/litre) ※ ¹	895.71	910.93	926.12	936.57
Fe 濃度 (gFe/litre)	—	—	—	—
溶液密度 (g/cm ³) ※ ²	1.18146	1.15592	1.12946	1.11209
燃料領域温度 (°C)	23	23	23	23
同位体組成 (wt%)				
Pu-238	0.2	0.2	0.2	0.2
Pu-239	41.4	41.4	41.4	41.4
Pu-240	42.9	42.9	42.9	42.9
Pu-241	10.8	10.8	10.8	10.8
Pu-242	4.7	4.7	4.7	4.7
Am-241	1.08	1.08	1.08	1.08
Gd	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089
Pu 原子量 ※ ³	239.8348804	239.8348804	239.8348804	239.8348804
原子個数密度 (atoms/barn・cm)				
PU-238	3.29378E-07	2.84854E-07	2.36788E-07	2.05418E-07
Pu-239	6.78953E-05	5.87174E-05	4.88095E-05	4.23433E-05
Pu-240	7.00617E-05	6.05910E-05	5.03669E-05	4.36944E-05
Pu-241	1.75645E-05	1.51902E-05	1.26270E-05	1.09542E-05
Pu-242	7.61218E-06	6.58319E-06	5.47235E-06	4.74738E-06
Am-241	1.75645E-06	1.51902E-06	1.26270E-06	1.09542E-06
Gd	2.21884E-08	1.91890E-08	1.59511E-08	1.38379E-08
Fe	—	—	—	—
H	6.13418E-02	6.21417E-02	6.29453E-02	6.34989E-02
N	2.11244E-03	1.80650E-03	1.49862E-03	1.29174E-03
O	3.62789E-02	3.58699E-02	3.54543E-02	3.51827E-02

※1 H₂O 濃度については、溶液密度より、Pu(NO₃)₄密度、Am 密度、Gd(NO₃)₃密度、Fe(NO₃)₂密度、HNO₃ 密度を差し引いた H₂O 密度より計算する。

※2 溶液密度については、nse79_cyl34 においては、文献 [PNL-2700³⁴⁾] に記載された値を引用する。

nse79_cyl31~33 においては、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾] に記載された Pu(NO₃)₄ 水溶液の密度近似式より計算する。

※3 Pu 原子量は、同位体組成と原子量より算出する。

Table 3.5.2.5 計算で用いた物質の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79、円筒形状容器]

使用部材	材質	密度 (g/cm ³)	元素名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
容器	Type-347 ^{※1} ステンレス鋼	8.0	Ni	12.0	58.6933505	9.84993E-03
			Cr	18.0	51.9961306	1.66779E-02
			Fe	70.0	55.8451437	6.03884E-02
反射体	水 ^{※2}	0.99754 (23.0°C)	H	11.19015537	1.0079709	6.66913E-02
			O	88.80984463	15.9993744	3.33457E-02
		0.99651 (27.0°C)	H	11.19015537	1.0079709	6.66225E-02
			O	88.80984463	15.9993744	3.33112E-02
容器内部 容器上部	空気 ^{※3}	2.0577E-05 (23.0°C)	H	11.19015537	1.0079709	1.37571E-06
			O	88.80984463	15.9993744	6.87857E-07
		2.5769E-05 (27.0°C)	H	11.19015537	1.0079709	1.72280E-06
			O	88.80984463	15.9993744	8.61402E-07

※1 Type-347 ステンレス鋼の密度および組成については、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾

TABLE I] に記載された数値 (Type-347 Stainless Steel : 70% iron、18% chromium、12% nickel with an 8.0 g/cm³ density) を引用する (付録-2.2.9を参照)。

※2 反射体 (水) の密度については、設定温度の密度における密度を設定する (付録-2.2.16を参照)。

※3 反射体を設けない実験については、反射体の位置に空気を設定する。空気については、O₂、N₂の主成分は考慮せず、空気中の水分のみを考慮する。空気中水分量については、その空気温度における飽和蒸気量とする (付録-2.2.17を参照)。

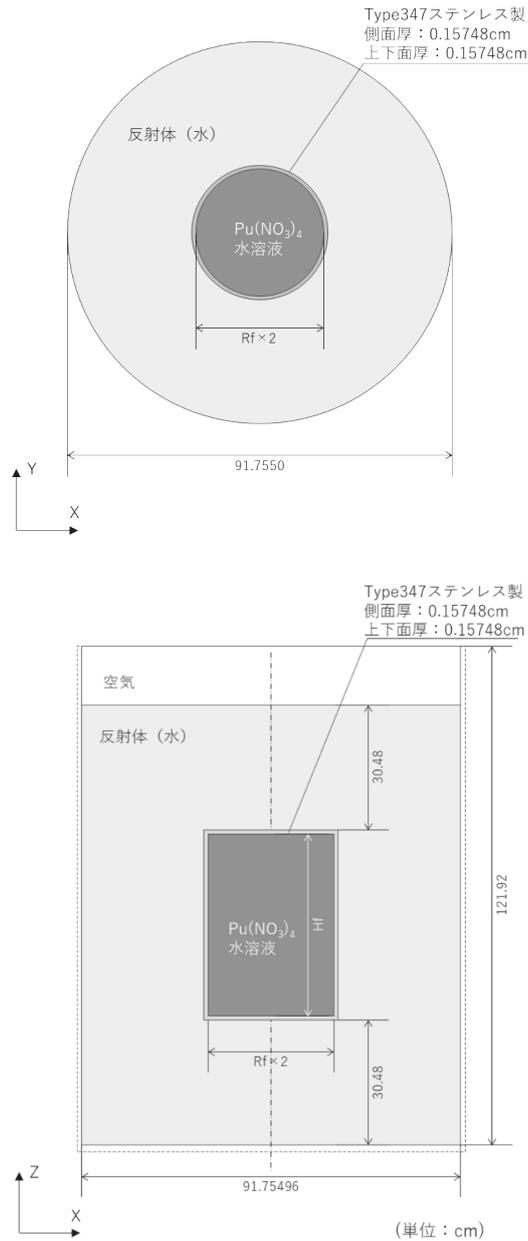


Fig. 3.5.2.1 円筒形状容器を用いた計算モデル図 [nse79_cyl01~25]

- ※ 上下方向の 30.48cm の厚さ、周方向の厚さ 30.48cm (≒12 インチ) 以上の反射体（水）を設定する。
- ※ 反射体タンクについては、文献 [HW-24514³³] p.19] に寸法条件（直径 3 フィート、高さ 4 フィート）に記述があるが、構造材の材質の記述が無いため、計算モデルでは省略する。また、タンクの内径においては、容器の周方向に反射体（水）の厚さ 30.48cm を確保するため、91.75496cm（溶液半径 15.24cm + 容器厚さ 0.15748cm + 反射体（水）厚さ 30.48cm）×2 とする。
- ※ 容器内半径 Rf および臨界高さ Hf については、Table 3.5.2.1 および Table 3.5.2.4 を参照。

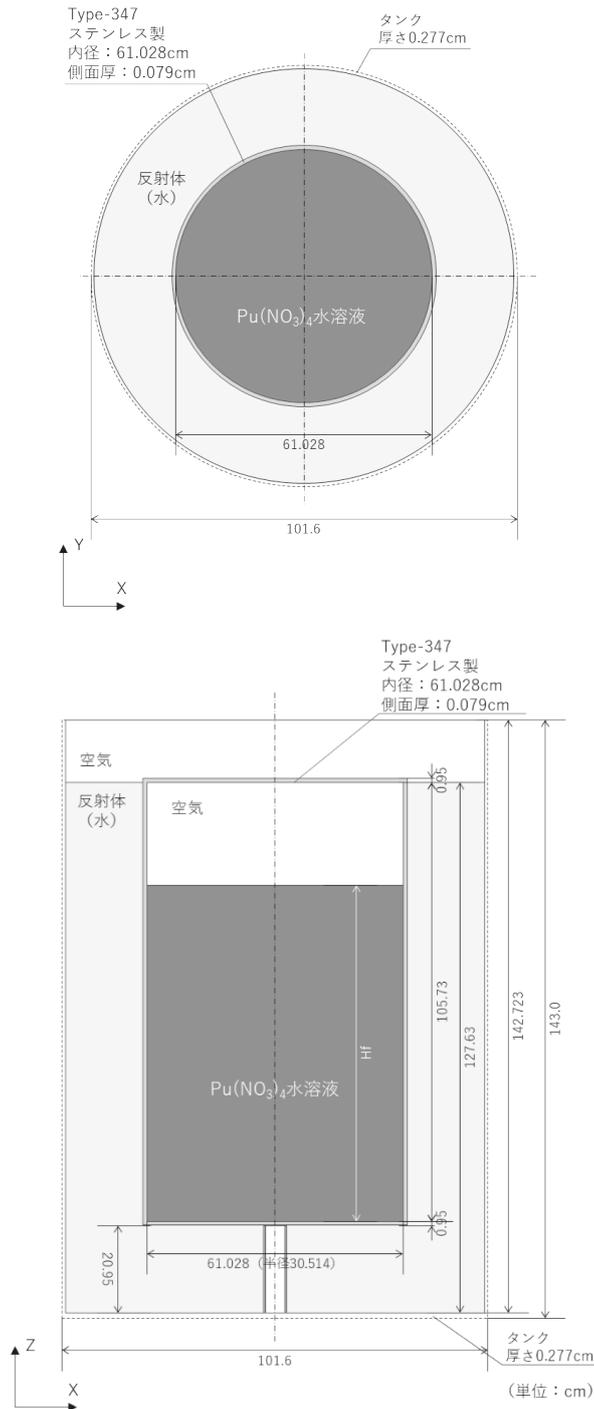


Fig. 3.5.2.2 円筒形状容器を用いた計算モデル図 [nse79_cyl26~34]

- ※文献 [PNL-2700³⁴⁾ pp.24-25 Pu BENCHMARK 13] より引用する。
- ※ 反射体 (水) の水位は円筒形状容器内空間の上端と同じ高さとする。
- ※ 円筒形状容器下に存在する円管については、寸法条件 (外径 5.72cm、厚さ 0.305cm) の記述はあるが、その材質についての記述が無いいため、円筒構造体を省略し、円筒領域 (外径5.72cm、高さ20.95cm) 内を空気として配置する。
- ※ 反射体タンクについては、構造材の材質の記述が無いため、計算モデルでは省略する。
- ※ 臨界高さ Hf については、Table 3.5.2.1 および Table 3.5.2.4 を参照。

• Pu(NO₃)₄水溶液中の不純物について

文献 [HW-24514³³⁾ p.82] において、Table 3.5.2.6 に示す Pu(NO₃)₄ 水溶液中の不純物についての記述がある (Spectro Chemical Analysis による)。

本ベンチマーク計算で該当する計算ケースは以下のとおりである。

13 インチ Sphere nse79_sph08~16 (球形状容器 内直径 13 インチ)

10 インチ Cylinder nse79_cyl07~11 (円筒形状容器 内直径 10 インチ)

11 インチ Cylinder nse79_cyl12~19 (円筒形状容器 内直径 11 インチ)

Table 3.5.2.7 に Pu(NO₃)₄ 水溶液中不純物の原子個数密度を示す。

Table 3.5.2.6 Pu(NO₃)₄水溶液中の不純物 [HW-24514]

元素	10 インチ Cylinder Experiment	11 インチ Cylinder Experiment	13 インチ Sphere Experiment	18 インチ Sphere Li Experiment	
	重量比 (ppm)				
Ag	50	10	<1	—	—
Al	20	100	<10	50	8
As	<50	<50	<50	—	—
B	0	10	5	—	—
Ba	<20	<200	<20	<30	<50
Be	<0.02	<2	<0.02	<0.1	<0.1
Bi	500	500	500	—	—
Ca	1000	200	20	200	130
Cd	<20	200	10	80	80
Ce	<200	—	<200	<500	<800
Co	20	<20	<20	—	—
Cr	1000	1000	2000	30	20
Cu	10	100	20	—	—
Fe	1000<	—	2000	—	—
Hg	<200	—	<200	<1000	<1000
In	5	<5	<2	<130	<200
K	500	1000	100	—	—
La	2000<	—	2000<	5000	5000
Li	<1	5	<2	<5	32000
Mg	50	20	200	30	20
Mn	200	200	200	50	30
Na	500	1000	50	500	500
Ni	1000	400	1000	500	320
P	1000	1000<	100	—	—
Pb	50	500	20	<200	<320
Sb	100	500	50	—	—
Si	50	50	50	—	—
Sn	5	50	5	—	—
Sr	<4	—	<4	<8	<10
V	<200	<200	<200	—	—
Zn	<100	200	<100	<500	<800
Ti	<100	0	<100	<300	<500

※文献 [HW-24514³³⁾ p.82] より引用する。(Spectro Chemical Analysis による)。

Table 3.5.2.7 Pu(NO₃)₄水溶液中不純物の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79] [1/4]

計算ケース	nse79 sph08	nse79 sph09	nse79 sph10	nse79 sph11	nse79 sph12	nse79 sph13
容器形状	球形状容器 13インチ					
水溶液密度 (g/cm ³)	1.09100	1.11060	1.08530	1.10090	1.11610	1.11065
	原子個数密度 (atoms/barn・cm)					
Ag	6.09091E-09	6.20034E-09	6.05909E-09	6.14618E-09	6.23104E-09	6.20062E-09
Al	2.43506E-07	2.47880E-07	2.42233E-07	2.45715E-07	2.49108E-07	2.47891E-07
As	4.38469E-07	4.46346E-07	4.36178E-07	4.42448E-07	4.48556E-07	4.46366E-07
B-10 [※]	5.96954E-08	6.07679E-08	5.93836E-08	6.02371E-08	6.10688E-08	6.07706E-08
B-11 [※]	2.44098E-07	2.48483E-07	2.42823E-07	2.46313E-07	2.49714E-07	2.48495E-07
Ba	9.56865E-08	9.74055E-08	9.51866E-08	9.65548E-08	9.78879E-08	9.74099E-08
Be	1.45806E-09	1.48426E-09	1.45044E-09	1.47129E-09	1.49161E-09	1.48432E-09
Bi	1.57195E-06	1.60020E-06	1.56374E-06	1.58622E-06	1.60812E-06	1.60027E-06
Ca	3.27868E-07	3.33758E-07	3.26155E-07	3.30843E-07	3.35411E-07	3.33773E-07
Cd	5.84462E-08	5.94962E-08	5.81408E-08	5.89765E-08	5.97908E-08	5.94988E-08
Ce	9.37819E-07	9.54667E-07	9.32919E-07	9.46329E-07	9.59395E-07	9.54710E-07
Co	2.22970E-07	2.26975E-07	2.21805E-07	2.24993E-07	2.28099E-07	2.26986E-07
Cr	2.52717E-05	2.57257E-05	2.51397E-05	2.55010E-05	2.58531E-05	2.57269E-05
Cu	2.06784E-07	2.10499E-07	2.05704E-07	2.08661E-07	2.11541E-07	2.10508E-07
Fe	2.35299E-05	2.39526E-05	2.34070E-05	2.37434E-05	2.40712E-05	2.39537E-05
Hg	6.55075E-07	6.66843E-07	6.51652E-07	6.61019E-07	6.70146E-07	6.66873E-07
In	1.14444E-08	1.16500E-08	1.13847E-08	1.15483E-08	1.17077E-08	1.16506E-08
K	1.68042E-06	1.71061E-06	1.67164E-06	1.69567E-06	1.71908E-06	1.71069E-06
La	9.45989E-06	9.62984E-06	9.41047E-06	9.54574E-06	9.67753E-06	9.63028E-06
Li-6 [※]	9.14688E-09	9.31120E-09	9.09909E-09	9.22988E-09	9.35731E-09	9.31162E-09
Li-7 [※]	1.79449E-07	1.82672E-07	1.78511E-07	1.81077E-07	1.83577E-07	1.82681E-07
Mg	5.40627E-06	5.50339E-06	5.37802E-06	5.45532E-06	5.53065E-06	5.50364E-06
Mn	2.39184E-06	2.43481E-06	2.37935E-06	2.41355E-06	2.44687E-06	2.43492E-06
Na	1.42893E-06	1.45460E-06	1.42146E-06	1.44190E-06	1.46180E-06	1.45467E-06
Ni	1.11940E-05	1.13951E-05	1.11356E-05	1.12956E-05	1.14516E-05	1.13957E-05
P	2.12120E-06	2.15931E-06	2.11012E-06	2.14045E-06	2.17000E-06	2.15941E-06
Pb	6.34133E-08	6.45525E-08	6.30820E-08	6.39887E-08	6.48722E-08	6.45555E-08
Sb	2.69800E-07	2.74647E-07	2.68390E-07	2.72248E-07	2.76007E-07	2.74659E-07
Si	1.16969E-06	1.19070E-06	1.16358E-06	1.18031E-06	1.19660E-06	1.19076E-06
Sn	2.76731E-08	2.81703E-08	2.75285E-08	2.79242E-08	2.83098E-08	2.81715E-08
Sr	2.99950E-08	3.05339E-08	2.98383E-08	3.02672E-08	3.06851E-08	3.05353E-08
V	2.57949E-06	2.62583E-06	2.56602E-06	2.60290E-06	2.63884E-06	2.62595E-06
Zn	1.00495E-06	1.02301E-06	9.99702E-07	1.01407E-06	1.02807E-06	1.02305E-06
Ti	1.37259E-06	1.39725E-06	1.36542E-06	1.38505E-06	1.40417E-06	1.39731E-06

※ B、Liの同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する。付録-1.3 を参照。

① B B-10 : 18.195207wt%、 B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、 Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

Table 3.5.2.7 Pu(NO₃)₄水溶液中不純物の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79] [2/4]

計算ケース	nse79 sph14	nse79 sph15	nse79 sph16
容器形状	球形状容器 13 インチ		
水溶液密度 (g/cm ³)	1.12790	1.15475	1.19075
	原子個数密度 (atoms/barn・cm)		
Ag	6.29692E-09	6.44682E-09	6.64780E-09
Al	2.51741E-07	2.57734E-07	2.65769E-07
As	4.53299E-07	4.64090E-07	4.78558E-07
B-10 [※]	6.17145E-08	6.31836E-08	6.51534E-08
B-11 [※]	2.52354E-07	2.58361E-07	2.66416E-07
Ba	9.89228E-08	1.01278E-07	1.04435E-07
Be	1.50738E-09	1.54326E-09	1.59137E-09
Bi	1.62512E-06	1.66381E-06	1.71568E-06
Ca	3.38957E-07	3.47026E-07	3.57845E-07
Cd	6.04229E-08	6.18613E-08	6.37899E-08
Ce	9.69538E-07	9.92618E-07	1.02356E-06
Co	2.30511E-07	2.35998E-07	2.43356E-07
Cr	2.61265E-05	2.67484E-05	2.75823E-05
Cu	2.13778E-07	2.18867E-07	2.25690E-07
Fe	2.43257E-05	2.49048E-05	2.56812E-05
Hg	6.77231E-07	6.93352E-07	7.14968E-07
In	1.18315E-08	1.21132E-08	1.24908E-08
K	1.73726E-06	1.77861E-06	1.83406E-06
La	9.77985E-06	1.00127E-05	1.03248E-05
Li-6 [※]	9.45624E-09	9.68135E-09	9.98318E-09
Li-7 [※]	1.85518E-07	1.89934E-07	1.95855E-07
Mg	5.58912E-06	5.72217E-06	5.90056E-06
Mn	2.47274E-06	2.53160E-06	2.61053E-06
Na	1.47726E-06	1.51243E-06	1.55958E-06
Ni	1.15726E-05	1.18481E-05	1.22175E-05
P	2.19294E-06	2.24515E-06	2.31514E-06
Pb	6.55581E-08	6.71187E-08	6.92112E-08
Sb	2.78925E-07	2.85565E-07	2.94468E-07
Si	1.20925E-06	1.23804E-06	1.27664E-06
Sn	2.86091E-08	2.92901E-08	3.02033E-08
Sr	3.10095E-08	3.17477E-08	3.27375E-08
V	2.66674E-06	2.73022E-06	2.81533E-06
Zn	1.03894E-06	1.06367E-06	1.09684E-06
Ti	1.41902E-06	1.45280E-06	1.49809E-06

※ B、Li の同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する。付録-1.3 を参照。

① B B-10 : 18.195207wt%、 B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、 Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

Table 3.5.2.7 Pu(NO₃)₄水溶液中不純物の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79] [3/4]

計算 ケース	nse79_cyl07	nse79_cyl08	nse79_cyl09	nse79_cyl10	nse79_cyl11	nse79_cyl12	nse79_cyl13
容器形状	円筒形状容器 10 インチ					円筒形状容器 11 インチ	
水溶液 密度 (g/cm ³)	1.1750	1.1650	1.14600	1.1300	1.1100	1.1483	1.1360
	原子個数密度 (atoms/barn・cm)						
Ag	3.27994E-07	3.25202E-07	3.19899E-07	3.15432E-07	3.09849E-07	6.41081E-08	6.34214E-08
Al	5.24508E-07	5.20044E-07	5.11563E-07	5.04420E-07	4.95493E-07	2.56295E-06	2.53549E-06
As	4.72228E-07	4.68209E-07	4.60573E-07	4.54143E-07	4.46105E-07	4.61497E-07	4.56554E-07
B-10 [※]	—	—	—	—	—	1.25661E-07	1.24315E-07
B-11 [※]	—	—	—	—	—	5.13837E-07	5.08333E-07
Ba	1.03054E-07	1.02177E-07	1.00510E-07	9.91070E-08	9.73529E-08	1.00712E-06	9.96333E-07
Be	1.57032E-09	1.55696E-09	1.53157E-09	1.51018E-09	1.48345E-09	1.53464E-07	1.51820E-07
Bi	1.69299E-06	1.67858E-06	1.65120E-06	1.62815E-06	1.59933E-06	1.65452E-06	1.63679E-06
Ca	1.76556E-05	1.75053E-05	1.72198E-05	1.69794E-05	1.66789E-05	3.45088E-06	3.41392E-06
Cd	1.25892E-07	1.24821E-07	1.22785E-07	1.21071E-07	1.18928E-07	1.23032E-06	1.21714E-06
Ce	1.01002E-06	1.00143E-06	9.85096E-07	9.71343E-07	9.54151E-07	—	—
Co	2.40137E-07	2.38093E-07	2.34210E-07	2.30940E-07	2.26853E-07	2.34680E-07	2.32166E-07
Cr	1.36087E-05	1.34929E-05	1.32729E-05	1.30875E-05	1.28559E-05	1.32995E-05	1.31570E-05
Cu	1.11353E-07	1.10405E-07	1.08604E-07	1.07088E-07	1.05193E-07	1.08822E-06	1.07657E-06
Fe	1.26708E-05	1.25629E-05	1.23581E-05	1.21855E-05	1.19698E-05	—	—
Hg	7.05511E-07	6.99507E-07	6.88099E-07	6.78492E-07	6.66483E-07	—	—
In	3.08140E-08	3.05517E-08	3.00535E-08	2.96339E-08	2.91094E-08	3.01138E-08	2.97912E-08
K	9.04901E-06	8.97199E-06	8.82567E-06	8.70245E-06	8.54842E-06	1.76868E-05	1.74973E-05
La	1.01882E-05	1.01015E-05	9.93679E-06	9.79806E-06	9.62464E-06	—	—
Li-6 [※]	4.92556E-09	4.88364E-09	4.80400E-09	4.73693E-09	4.65309E-09	2.40682E-08	2.38104E-08
Li-7 [※]	9.66325E-08	9.58101E-08	9.42475E-08	9.29316E-08	9.12868E-08	4.72183E-07	4.67125E-07
Mg	1.45563E-06	1.44324E-06	1.41970E-06	1.39988E-06	1.37510E-06	5.69021E-07	5.62926E-07
Mn	2.57600E-06	2.55407E-06	2.51242E-06	2.47734E-06	2.43350E-06	2.51746E-06	2.49050E-06
Na	1.53895E-05	1.52585E-05	1.50097E-05	1.48001E-05	1.45382E-05	3.00796E-05	2.97574E-05
Ni	1.20559E-05	1.19533E-05	1.17584E-05	1.15942E-05	1.13890E-05	4.71278E-06	4.66230E-06
P	2.28452E-05	2.26508E-05	2.22814E-05	2.19703E-05	2.15814E-05	2.23261E-05	2.20869E-05
Pb	1.70739E-07	1.69286E-07	1.66525E-07	1.64200E-07	1.61294E-07	1.66860E-06	1.65072E-06
Sb	5.81146E-07	5.76200E-07	5.66802E-07	5.58889E-07	5.48997E-07	2.83970E-06	2.80928E-06
Si	1.25975E-06	1.24903E-06	1.22866E-06	1.21150E-06	1.19006E-06	1.23112E-06	1.21794E-06
Sn	2.98038E-08	2.95501E-08	2.90682E-08	2.86623E-08	2.81550E-08	2.91265E-07	2.88145E-07
Sr	3.23044E-08	3.20295E-08	3.15071E-08	3.10672E-08	3.05174E-08	—	—
V	2.77810E-06	2.75445E-06	2.70953E-06	2.67170E-06	2.62441E-06	2.71497E-06	2.68589E-06
Zn	1.08233E-06	1.07312E-06	1.05561E-06	1.04088E-06	1.02245E-06	2.11547E-06	2.09281E-06
Ti	1.47827E-06	1.46569E-06	1.44179E-06	1.42166E-06	1.39650E-06	—	—

※ B、Li の同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する。付録-1.3 を参照。

① B B-10 : 18.195207wt%、 B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、 Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

Table 3.5.2.7 Pu(NO₃)₄水溶液中不純物の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79] [4/4]

計算 ケース	nse79_cyl14	nse79_cyl15	nse79_cyl16	nse79_cyl17	nse79_cyl18	nse79_cyl19
容器形状	円筒形状容器 11 インチ					
水溶液 密度 (g/cm ³)	1.1202	1.1604	1.1100	1.2022	1.0990	1.0980
	原子個数密度 (atoms/barn・cm)					
Ag	6.25393E-08	6.47836E-08	6.19699E-08	6.71173E-08	6.13558E-08	6.12999E-08
Al	2.50023E-06	2.58995E-06	2.47746E-06	2.68325E-06	2.45291E-06	2.45068E-06
As	4.50204E-07	4.66360E-07	4.46105E-07	4.83160E-07	4.41684E-07	4.41282E-07
B-10 [※]	1.22586E-07	1.26986E-07	1.21470E-07	1.31560E-07	1.20266E-07	1.20157E-07
B-11 [※]	5.01263E-07	5.19251E-07	4.96698E-07	5.37956E-07	4.91776E-07	4.91329E-07
Ba	9.82475E-07	1.01773E-06	9.73529E-07	1.05439E-06	9.63882E-07	9.63005E-07
Be	1.49709E-07	1.55081E-07	1.48345E-07	1.60667E-07	1.46875E-07	1.46742E-07
Bi	1.61403E-06	1.67195E-06	1.59933E-06	1.73218E-06	1.58348E-06	1.58204E-06
Ca	3.36643E-06	3.48724E-06	3.33578E-06	3.61286E-06	3.30272E-06	3.29972E-06
Cd	1.20021E-06	1.24328E-06	1.18928E-06	1.28807E-06	1.17749E-06	1.17642E-06
Ce	—	—	—	—	—	—
Co	2.28937E-07	2.37153E-07	2.26853E-07	2.45696E-07	2.24605E-07	2.24400E-07
Cr	1.29740E-05	1.34396E-05	1.28559E-05	1.39238E-05	1.27285E-05	1.27169E-05
Cu	1.06159E-06	1.09969E-06	1.05193E-06	1.13930E-06	1.04150E-06	1.04055E-06
Fe	—	—	—	—	—	—
Hg	—	—	—	—	—	—
In	2.93769E-08	3.04311E-08	2.91094E-08	3.15273E-08	2.88209E-08	2.87947E-08
K	1.72540E-05	1.78731E-05	1.70968E-05	1.85170E-05	1.69274E-05	1.69120E-05
La	—	—	—	—	—	—
Li-6 [※]	2.34792E-08	2.43218E-08	2.32654E-08	2.51979E-08	2.30349E-08	2.30139E-08
Li-7 [※]	4.60628E-07	4.77159E-07	4.56434E-07	4.94347E-07	4.51911E-07	4.51500E-07
Mg	5.55096E-07	5.75017E-07	5.50042E-07	5.95730E-07	5.44591E-07	5.44095E-07
Mn	2.45586E-06	2.54399E-06	2.43350E-06	2.63563E-06	2.40938E-06	2.40719E-06
Na	2.93435E-05	3.03965E-05	2.90763E-05	3.14915E-05	2.87882E-05	2.87620E-05
Ni	4.59746E-06	4.76244E-06	4.55559E-06	4.93400E-06	4.51045E-06	4.50634E-06
P	2.17797E-05	2.25613E-05	2.15814E-05	2.33740E-05	2.13675E-05	2.13481E-05
Pb	1.62776E-06	1.68618E-06	1.61294E-06	1.74692E-06	1.59696E-06	1.59550E-06
Sb	2.77021E-06	2.86962E-06	2.74499E-06	2.97299E-06	2.71778E-06	2.71531E-06
Si	1.20100E-06	1.24410E-06	1.19006E-06	1.28891E-06	1.17827E-06	1.17720E-06
Sn	2.84138E-07	2.94334E-07	2.81550E-07	3.04937E-07	2.78760E-07	2.78507E-07
Sr	—	—	—	—	—	—
V	2.64853E-06	2.74358E-06	2.62441E-06	2.84241E-06	2.59841E-06	2.59604E-06
Zn	2.06370E-06	2.13776E-06	2.04491E-06	2.21476E-06	2.02464E-06	2.02280E-06
Ti	—	—	—	—	—	—

※ B、Li の同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する。付録-1.3 を参照。

① B B-10 : 18.195207wt%、 B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11=19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、 Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7=4.85at% : 95.15at%)

4. 計算パラメータ

計算に用いた SCALE 6.2.3 コードシステムの CSAS5、CSAS6 臨界計算モジュールでは、モンテカルロ法を採用した臨界計算コード KENO-V.a および KENO-VI によって臨界計算が行われる。このモンテカルロ法を用いた多くの計算コードは、開始の計算世代の結果に大きなばらつきが生じる特徴があることから、最終結果を出力する統計処理において開始世代から任意の計算世代までスキップさせる機能が装備されている。

今回の計算においては、全ての計算において統計処理を行う計算世代数を 300、1 世代当たりの中性子発生数を 10,000 とする。総ヒストリー数を 3,000,000 として計算を行う。SCALE 6.2.3 コードシステムにおいては、中性子増倍率の平均情報量判定機能が実装されており、世代数、中性子発生数およびスキップ世代数については、判定が得られる値を計算ケース毎に確認し、Table 4.1、Table 4.2 のように設定する。

Table 4.1 計算パラメータ (CSAS5 : KENO-V.a)

燃料形態	文献名	計算ケース (ファイル名)	計算パラメータ			
			世代数	中性子 発生数	スキップ 世代数	
MOX 非均質系	PNL-3313 ³⁾ (Nuclear Technology Vol.44 ⁴⁾) (Nuclear Technology Vol.49 ⁵⁾) (Nuclear Technology Vol.48 ⁶⁾)	S623_pnl_01	450	10,000	150	
		S623_pnl_02	450	10,000	150	
		S623_pnl_03	450	10,000	150	
	EPRI NP-196 ⁷⁾	S623 EPRI	450	10,000	150	
	JAERI 1254 ⁸⁾	S623 jaeri	450	10,000	150	
	PNL-5803 ⁹⁾	S623_pnl5803	450	10,000	150	
	PNL-6559 ¹⁰⁾	S623_pnl6559	450	10,000	150	
	Nuclear Science and Engineering Vol.59 ¹¹⁾ Nuclear Science and Engineering Vol.62 ¹²⁾	S623_nse59 S623_nse62	450 450	10,000 10,000	150 150	
MOX 非均質系 (均質化)	PNL-3313 (1981) ³⁾ (Nuclear Technology Vol.44 ⁴⁾) (Nuclear Technology Vol.49 ⁵⁾) (Nuclear Technology Vol.48 ⁶⁾)	CELL_S623_pnl_01 CELL_S623_pnl_02 CELL_S623_pnl_03	450 450 450	10,000 10,000 10,000	150 150 150	
	EPRI NP-196 ⁷⁾	CELL_S623 EPRI	450	10,000	150	
	JAERI 1254 ⁸⁾	CELL_S623 jaeri	450	10,000	150	
	PNL-5803 ⁹⁾	CELL_S623_pnl5803	650	10,000	350	
	Nuclear Science and Engineering Vol.59 ¹¹⁾ Nuclear Science and Engineering Vol.62 ¹²⁾	CELL_S623_nse59 CELL_S623_nse62	450 450	10,000 10,000	150 150	
	MOX 均質系	BNWL-2129 ¹³⁾	S623 bnwl	450	10,000	150
		Nuclear Science and Engineering Vol.50 ¹⁴⁾ Nuclear Science and Engineering Vol.55 ¹⁵⁾ 16) Nuclear Science and Engineering Vol.61 ¹⁷⁾	S623_nse50 S623_nse55 S623_nse61	450 450 450	10,000 10,000 10,000	150 150 150
(Pu+U) 均質系		PNL-5768 ¹⁸⁾	S623_pnl5768	450	10,000	150
		PNL-6327 ¹⁹⁾	S623_pnl6327	450	10,000	150
	PNL-6451 ²⁰⁾	S623_pnl6451	450	10,000	150	
	PNL-6119 ²¹⁾	S623_pnl6119	450	10,000	150	
PuO ₂ 均質系	Nuclear Applications Vol.6 ²²⁾ Nuclear Technology Vol.11 ²³⁾ Nuclear Technology Vol.15 ²⁴⁾	S623_na6 S623_nt11 S623_nt15	450 450 450	10,000 10,000 10,000	150 150 150	
	Pu 均質系	Nuclear Science and Engineering Vol.79 ²⁵⁾	S623_nse79_sph S623_nse79_cyl	450 450	10,000 10,000	150 150

Table 4.2 計算パラメータ (CSAS6 : KENO-VI)

燃料形態	文献名	計算ケース (ファイル名)	計算パラメータ		
			世代数	中性子 発生数	スキップ 世代数
MOX 非均質系	PNL-3313 ³⁾ (Nuclear Technology Vol.44 ⁴⁾ (Nuclear Technology Vol.49 ⁵⁾ (Nuclear Technology Vol.48 ⁶⁾	S623_keno6_pnl_01	450	10,000	150
		S623_keno6_pnl_02	450	10,000	150
		S623_keno6_pnl_03	450	10,000	150
	EPRI NP-196 ⁷⁾	S623_keno6_epri	450	10,000	150
	JAERI 1254 ⁸⁾	S623_keno6_jaeri	450	10,000	150
	PNL-5803 ⁹⁾	S623_keno6_pnl5803	450	10,000	150
	PNL-6559 ¹⁰⁾	S623_keno6_pnl6559	450	10,000	150
	Nuclear Science and Engineering Vol.59 ¹¹⁾ Nuclear Science and Engineering Vol.62 ¹²⁾	S623_keno6_nse59 S623_keno6_nse62	450 450	10,000 10,000	150 150
MOX 非均質系 (均質化)	PNL-3313 (1981) ³⁾ (Nuclear Technology Vol.44 ⁴⁾ (Nuclear Technology Vol.49 ⁵⁾ (Nuclear Technology Vol.48 ⁶⁾	CELL_S623_keno6_pnl_01	450	10,000	150
		CELL_S623_keno6_pnl_02	450	10,000	150
		CELL_S623_keno6_pnl_03	450	10,000	150
	EPRI NP-196 ⁷⁾	CELL_S623_keno6_epri	450	10,000	150
	JAERI 1254 ⁸⁾	CELL_S623_keno6_jaeri	450	10,000	150
	PNL-5803 ⁹⁾	CELL_S623_keno6_pnl5803	450	10,000	150
	Nuclear Science and Engineering Vol.59 ¹¹⁾ Nuclear Science and Engineering Vol.62 ¹²⁾	CELL_S623_keno6_nse59 CELL_S623_keno6_nse62	450 450	10,000 10,000	150 150
	MOX 均質系	BNWL-2129 ¹³⁾	S623_keno6_bnwl	450	10,000
Nuclear Science and Engineering Vol.50 ¹⁴⁾		S623_keno6_nse50	450	10,000	150
Nuclear Science and Engineering Vol.55 ¹⁵⁾ ¹⁶⁾		S623_keno6_nse55	450	10,000	150
Nuclear Science and Engineering Vol.61 ¹⁷⁾		S623_keno6_nse61	450	10,000	150
(Pu+U) 均質系	PNL-5768 ¹⁸⁾	S623_keno6_pnl5768	450	10,000	150
	PNL-6327 ¹⁹⁾	S623_keno6_pnl6327	450	10,000	150
	PNL-6451 ²⁰⁾	S623_keno6_pnl6451	450	10,000	150
	PNL-6119 ²¹⁾	S623_keno6_pnl6119	450	10,000	150
PuO ₂ 均質系	Nuclear Applications Vol.6 ²²⁾	S623_keno6_na6	450	10,000	150
	Nuclear Technology Vol.11 ²³⁾	S623_keno6_nt11	450	10,000	150
	Nuclear Technology Vol.15 ²⁴⁾	S623_keno6_nt15	450	10,000	150
Pu 均質系	Nuclear Science and Engineering Vol.79 ²⁵⁾	S623_keno6_nse79_sph	450	10,000	150
		S623_keno6_nse79_cyl	450	10,000	150

5. 計算結果

ベンチマーク計算の結果として中性子実効増倍率を以下に示す。

5.1 MOX 非均質系

MOX 非均質系の統計処理においては、以下のケースを評価対象外とし、全 184 ケースを対象とする。

文献 [EPRI NP-196⁷⁾] において UO₂ 燃料を用いた 6 ケース (S623_epri_01~06)

文献 [JAERI 1254⁸⁾] において重複する 2 ケース (S623_jaeri_27, 54)

文献 [PNL-6559¹⁰⁾] で非均質系でない 1 ケース (S623_pnl6559_13)

各臨界実験レポートと計算ケース名は、以下のように対応する。

実験レポート名	計算ケース名 [*]	ケース数
PNL-3313 ³⁾ 実験ケース 1 (Nucl.Tech.Vol.44 ⁴⁾)	S623_pnl_01	6 ケース
PNL-3313 ³⁾ 実験ケース 2 (Nucl.Tech.Vol.49 ⁵⁾)	S623_pnl_02	4 ケース
PNL-3313 ³⁾ 実験ケース 3 (Nucl.Tech.Vol.48 ⁶⁾)	S623_pnl_03	40 ケース
EPRI NP-196 ⁷⁾	S623_epri	6 ケース
JAERI 1254 ⁸⁾	S623_jaeri	86 ケース
PNL-5803 ⁹⁾	S623_pnl5803	7 ケース
PNL-6559 ¹⁰⁾	S623_pnl6559	12 ケース
Nuclear Science and Engineering Vol.59 ¹¹⁾	S623_nse59	16 ケース
Nuclear Science and Engineering Vol.62 ¹²⁾	S623_nse62	7 ケース

^{*}KENO-VI による計算においては、計算ケース名に“keno6”のキーワードを挿入し、識別している。

SCALE 6.2.3 コードシステムには、燃料要素形状の燃料物質を格子配列上に配置する。領域を均質化して計算する機能が存在する。本項では、MOX 非均質系と同様のケースを均質化モデルで計算する。

ただし、文献 [PNL-6559¹⁰⁾] の 12 ケースにおいては、非均質系燃料要素配列の均質化機能 (付録-4 を参照) が適応できないため、これを除外し、全 172 ケースを対象とする。

均質化したモデルにおいては、計算ケース名に“CELL”の接頭辞を付して、識別している。

MOX 非均質系の臨界計算結果の中性子実効増倍率の分布図 (ヒストグラム) を示す。

	ケース数	臨界計算モジュール	図番号
MOX 非均質系	184 ケース	CSAS5 (KENO-V.a)	Fig. 5.1.1
MOX 非均質系 (均質化モデル)	172 ケース	CSAS5 (KENO-V.a)	Fig. 5.1.2
MOX 非均質系	184 ケース	CSAS5 (KENO-VI)	Fig. 5.1.3
MOX 非均質系 (均質化モデル)	172 ケース	CSAS5 (KENO-VI)	Fig. 5.1.4

5.1.1 PNL-3313

MOX 非均質系、実験レポート PNL-3313³⁾ (実験ケース 1~3) の臨界ベンチマーク計算結果を以下の表に示す

実験レポート名		臨界計算モジュール	表番号
PNL-3313 ³⁾		CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.1.1.1
PNL-3313 ³⁾	均質化モデル	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.1.1.2
PNL-3313 ³⁾		CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.1.1.3
PNL-3313 ³⁾	均質化モデル	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.1.1.4

PNL-3313 においては、実験ケース 1、2、3 の三種類の実験体で計算が実施されている。各表においては、実験ケース毎に以下の計算ケース名で表記している。

実験ケース		臨界計算モジュール	計算ケース名
実験ケース 1 (Nucl.Tech.Vol.44 ⁴⁾)		CSAS5 (KENO-V.a)	S623_pnl_01
実験ケース 2 (Nucl.Tech.Vol.49 ⁵⁾)		CSAS5 (KENO-V.a)	S623_pnl_02
実験ケース 3 (Nucl.Tech.Vol.48 ⁶⁾)		CSAS5 (KENO-V.a)	S623_pnl_03
実験ケース 1 (Nucl.Tech.Vol.44 ⁴⁾)	均質化モデル	CSAS5 (KENO-V.a)	CELL_S623_pnl_01
実験ケース 2 (Nucl.Tech.Vol.49 ⁵⁾)	均質化モデル	CSAS5 (KENO-V.a)	CELL_S623_pnl_02
実験ケース 3 (Nucl.Tech.Vol.48 ⁶⁾)	均質化モデル	CSAS5 (KENO-V.a)	CELL_S623_pnl_03
実験ケース 1 (Nucl.Tech.Vol.44 ⁴⁾)		CSAS6 (KENO-VI)	S623_keno6_pnl_01
実験ケース 2 (Nucl.Tech.Vol.49 ⁵⁾)		CSAS6 (KENO-VI)	S623_keno6_pnl_02
実験ケース 3 (Nucl.Tech.Vol.48 ⁶⁾)		CSAS6 (KENO-VI)	S623_keno6_pnl_03
実験ケース 1 (Nucl.Tech.Vol.44 ⁴⁾)	均質化モデル	CSAS6 (KENO-VI)	CELL_S623_keno6_pnl_01
実験ケース 2 (Nucl.Tech.Vol.49 ⁵⁾)	均質化モデル	CSAS6 (KENO-VI)	CELL_S623_keno6_pnl_02
実験ケース 3 (Nucl.Tech.Vol.48 ⁶⁾)	均質化モデル	CSAS6 (KENO-VI)	CELL_S623_keno6_pnl_03

Table 5.1.1.1 MOX 非均質系の臨界計算結果 [PNL-3313、KENO-V.a]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験番号	PuO ₂ 富化度 (wt%)	減速材	反射材	中性子 吸収材	中性子実効増倍率	
							K _{eff}	σ
1	S623_pnl_01_01	003R	27.567/22.484 (Type3.1/Type3.2)	水	水	なし	1.00079	0.00047
2	S623_pnl_01_02	005					1.00119	0.00051
3	S623_pnl_01_03	029					1.00092	0.00055
4	S623_pnl_01_04	001					0.99909	0.00050
5	S623_pnl_01_05	004					0.99789	0.00050
6	S623_pnl_01_06	006					1.00061	0.00052
7	S623_pnl_02_01	010	22.484	水	コンク リート	なし	1.00827	0.00046
8	S623_pnl_02_02	007					1.01638	0.00047
9	S623_pnl_02_03	012					1.00648	0.00051
10	S623_pnl_02_04	011					1.00834	0.00047
11	S623_pnl_03_01	021	22.484	水	水	なし	1.00133	0.00047
12	S623_pnl_03_02	022				Cd 板	1.00311	0.00048
13	S623_pnl_03_03	023				Boral 板	1.00122	0.00045
14	S623_pnl_03_04	026				Gd ピン	1.00126	0.00054
15	S623_pnl_03_05	024				Cd 板	1.00330	0.00051
16	S623_pnl_03_06	025				Boral 板	1.00080	0.00053
17	S623_pnl_03_07	027				Gd ピン	1.00585	0.00048
18	S623_pnl_03_08	028				Gd ピン	1.00771	0.00050
19	S623_pnl_03_09	043				なし	1.00227	0.00057
20	S623_pnl_03_10	045				Cd 板	0.99889	0.00055
21	S623_pnl_03_11	046				Boral 板	0.99942	0.00043
22	S623_pnl_03_12	044				Gd ピン	1.00096	0.00045
23	S623_pnl_03_13	048				Cd 板	1.00215	0.00061
24	S623_pnl_03_14	049				Boral 板	1.00088	0.00050
25	S623_pnl_03_15	047				Gd ピン	1.00384	0.00050
26	S623_pnl_03_16	050				Gd ピン	1.00420	0.00044
27	S623_pnl_03_17	013				なし	1.00105	0.00046
28	S623_pnl_03_18	014				Cd 板	1.00107	0.00050
29	S623_pnl_03_19	015				Boral 板	1.00154	0.00047
30	S623_pnl_03_20	041				Gd ピン	1.00055	0.00052
31	S623_pnl_03_21	016				Cd 板	1.00402	0.00047
32	S623_pnl_03_22	020				Boral 板	1.00075	0.00053
33	S623_pnl_03_23	042				Gd ピン	1.00368	0.00058
34	S623_pnl_03_24	040				Gd ピン	1.00334	0.00052
35	S623_pnl_03_25	032				なし	1.00190	0.00048
36	S623_pnl_03_26	034				Cd 板	1.00128	0.00046
37	S623_pnl_03_27	035				Boral 板	1.00228	0.00058
38	S623_pnl_03_28	033				Gd ピン	1.00180	0.00050
39	S623_pnl_03_29	039				Cd 板	1.00217	0.00049
40	S623_pnl_03_30	038				Boral 板	0.99980	0.00049
41	S623_pnl_03_31	037				Gd ピン	1.00343	0.00042
42	S623_pnl_03_32	036				Gd ピン	1.00372	0.00049
43	S623_pnl_03_33	051				なし	1.00402	0.00049
44	S623_pnl_03_34	054				Cd 板	1.00097	0.00045
45	S623_pnl_03_35	055				Boral 板	1.00199	0.00042
46	S623_pnl_03_36	053				Gd ピン	0.99855	0.00045
47	S623_pnl_03_37	057				Cd 板	0.99996	0.00041
48	S623_pnl_03_38	058				Boral 板	0.99981	0.00042
49	S623_pnl_03_39	056				Gd ピン	1.00159	0.00052
50	S623_pnl_03_40	052				Gd ピン	1.00545	0.00044

Table 5.1.1.2 MOX 非均質系 (均質化モデル) の臨界計算結果 [PNL-3313、KENO-V.a]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験番号	PuO ₂ 富化度 (wt%)	減速材	反射材	中性子 吸収材	中性子実効増倍率	
							k _{eff}	σ
1	CELL_S623_pnl_01_01	003R	27.567/22.484 (Type3.1/Type3.2)	水	水	なし	0.99887	0.00054
2	CELL_S623_pnl_01_02	005					0.99906	0.00052
3	CELL_S623_pnl_01_03	029					0.99982	0.00049
4	CELL_S623_pnl_01_04	001					1.00172	0.00050
5	CELL_S623_pnl_01_05	004					1.00265	0.00050
6	CELL_S623_pnl_01_06	006					1.00342	0.00051
7	CELL_S623_pnl_02_01	010	22.484	水	コンク リート	なし	1.00834	0.00045
8	CELL_S623_pnl_02_02	007					1.01808	0.00054
9	CELL_S623_pnl_02_03	012					1.01124	0.00047
10	CELL_S623_pnl_02_04	011					1.01075	0.00056
11	CELL_S623_pnl_03_01	021	22.484	水	水	なし	1.00103	0.00044
12	CELL_S623_pnl_03_02	022				Cd 板	1.00149	0.00063
13	CELL_S623_pnl_03_03	023				Boral 板	1.00042	0.00059
14	CELL_S623_pnl_03_04	026				Gd ピン	1.00047	0.00050
15	CELL_S623_pnl_03_05	024				Cd 板	1.00454	0.00046
16	CELL_S623_pnl_03_06	025				Boral 板	1.00211	0.00048
17	CELL_S623_pnl_03_07	027				Gd ピン	1.00804	0.00045
18	CELL_S623_pnl_03_08	028				Gd ピン	1.00879	0.00049
19	CELL_S623_pnl_03_09	043				なし	1.00434	0.00057
20	CELL_S623_pnl_03_10	045				Cd 板	1.00077	0.00066
21	CELL_S623_pnl_03_11	046				Boral 板	1.00034	0.00050
22	CELL_S623_pnl_03_12	044				Gd ピン	1.00245	0.00053
23	CELL_S623_pnl_03_13	048				Cd 板	1.00601	0.00049
24	CELL_S623_pnl_03_14	049				Boral 板	1.00535	0.00052
25	CELL_S623_pnl_03_15	047				Gd ピン	1.00857	0.00051
26	CELL_S623_pnl_03_16	050				Gd ピン	1.00671	0.00055
27	CELL_S623_pnl_03_17	013				なし	1.00499	0.00054
28	CELL_S623_pnl_03_18	014				Cd 板	1.00210	0.00051
29	CELL_S623_pnl_03_19	015				Boral 板	1.00366	0.00050
30	CELL_S623_pnl_03_20	041				Gd ピン	1.00309	0.00045
31	CELL_S623_pnl_03_21	016				Cd 板	1.00872	0.00064
32	CELL_S623_pnl_03_22	020				Boral 板	1.00499	0.00047
33	CELL_S623_pnl_03_23	042				Gd ピン	1.01006	0.00045
34	CELL_S623_pnl_03_24	040				Gd ピン	1.00711	0.00047
35	CELL_S623_pnl_03_25	032				なし	1.00456	0.00044
36	CELL_S623_pnl_03_26	034				Cd 板	1.00414	0.00047
37	CELL_S623_pnl_03_27	035				Boral 板	1.00335	0.00061
38	CELL_S623_pnl_03_28	033				Gd ピン	1.00439	0.00046
39	CELL_S623_pnl_03_29	039				Cd 板	1.00585	0.00039
40	CELL_S623_pnl_03_30	038				Boral 板	1.00288	0.00057
41	CELL_S623_pnl_03_31	037				Gd ピン	1.00687	0.00045
42	CELL_S623_pnl_03_32	036				Gd ピン	1.00770	0.00043
43	CELL_S623_pnl_03_33	051				なし	1.00560	0.00038
44	CELL_S623_pnl_03_34	054				Cd 板	1.00159	0.00045
45	CELL_S623_pnl_03_35	055	Boral 板	1.00115	0.00041			
46	CELL_S623_pnl_03_36	053	Gd ピン	0.99946	0.00042			
47	CELL_S623_pnl_03_37	057	Cd 板	1.00076	0.00045			
48	CELL_S623_pnl_03_38	058	Boral 板	0.99949	0.00039			
49	CELL_S623_pnl_03_39	056	Gd ピン	1.00247	0.00036			
50	CELL_S623_pnl_03_40	052	Gd ピン	1.00635	0.00044			

Table 5.1.1.3 MOX 非均質系の臨界計算結果 [PNL-3313、KENO-VI]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験番号	PuO ₂ 富化度 (wt%)	減速材	反射材	中性子 吸収材	中性子実効増倍率	
							k _{eff}	σ
1	S623_keno6_pnl_01_01	003R	27.567/22.484 (Type3.1/Type3.2)	水	水	なし	1.00047	0.00047
2	S623_keno6_pnl_01_02	005					1.00177	0.00048
3	S623_keno6_pnl_01_03	029					0.99981	0.00050
4	S623_keno6_pnl_01_04	001					0.99950	0.00048
5	S623_keno6_pnl_01_05	004					0.99823	0.00053
6	S623_keno6_pnl_01_06	006					1.00036	0.00053
7	S623_keno6_pnl_02_01	010	22.484	水	コンク リート	なし	1.00734	0.00052
8	S623_keno6_pnl_02_02	007					1.01613	0.00051
9	S623_keno6_pnl_02_03	012					1.00693	0.00054
10	S623_keno6_pnl_02_04	011					1.00752	0.00047
11	S623_keno6_pnl_03_01	21	22.484	水	水	なし	1.00078	0.00054
12	S623_keno6_pnl_03_02	22				Cd 板	1.00253	0.00044
13	S623_keno6_pnl_03_03	23				Boral 板	1.00223	0.00052
14	S623_keno6_pnl_03_04	26				Gd ピン	1.00192	0.00050
15	S623_keno6_pnl_03_05	24				Cd 板	1.00320	0.00045
16	S623_keno6_pnl_03_06	25				Boral 板	1.00183	0.00048
17	S623_keno6_pnl_03_07	27				Gd ピン	1.00641	0.00046
18	S623_keno6_pnl_03_08	28				Gd ピン	1.00689	0.00047
19	S623_keno6_pnl_03_09	43				なし	1.00213	0.00055
20	S623_keno6_pnl_03_10	45				Cd 板	0.99909	0.00052
21	S623_keno6_pnl_03_11	46				Boral 板	1.00005	0.00054
22	S623_keno6_pnl_03_12	44				Gd ピン	1.00069	0.00047
23	S623_keno6_pnl_03_13	48				Cd 板	1.00147	0.00052
24	S623_keno6_pnl_03_14	49				Boral 板	1.00066	0.00058
25	S623_keno6_pnl_03_15	47				Gd ピン	1.00363	0.00048
26	S623_keno6_pnl_03_16	50				Gd ピン	1.00465	0.00055
27	S623_keno6_pnl_03_17	13				なし	1.00198	0.00053
28	S623_keno6_pnl_03_18	14				Cd 板	1.00026	0.00049
29	S623_keno6_pnl_03_19	15				Boral 板	1.00302	0.00053
30	S623_keno6_pnl_03_20	41				Gd ピン	1.00073	0.00055
31	S623_keno6_pnl_03_21	16				Cd 板	1.00302	0.00059
32	S623_keno6_pnl_03_22	20				Boral 板	1.00080	0.00058
33	S623_keno6_pnl_03_23	42				Gd ピン	1.00308	0.00057
34	S623_keno6_pnl_03_24	40				Gd ピン	1.00235	0.00045
35	S623_keno6_pnl_03_25	32				なし	1.00284	0.00050
36	S623_keno6_pnl_03_26	34				Cd 板	1.00192	0.00056
37	S623_keno6_pnl_03_27	35	Boral 板	1.00231	0.00052			
38	S623_keno6_pnl_03_28	33	Gd ピン	1.00189	0.00046			
39	S623_keno6_pnl_03_29	39	Cd 板	1.00125	0.00052			
40	S623_keno6_pnl_03_30	38	Boral 板	0.99979	0.00040			
41	S623_keno6_pnl_03_31	37	Gd ピン	1.00216	0.00047			
42	S623_keno6_pnl_03_32	36	Gd ピン	1.00322	0.00049			
43	S623_keno6_pnl_03_33	51	なし	1.00503	0.00041			
44	S623_keno6_pnl_03_34	54	Cd 板	1.00152	0.00040			
45	S623_keno6_pnl_03_35	55	Boral 板	1.00213	0.00043			
46	S623_keno6_pnl_03_36	53	Gd ピン	0.99825	0.00047			
47	S623_keno6_pnl_03_37	57	Cd 板	1.00001	0.00046			
48	S623_keno6_pnl_03_38	58	Boral 板	1.00035	0.00043			
49	S623_keno6_pnl_03_39	56	Gd ピン	1.00111	0.00045			
50	S623_keno6_pnl_03_40	52	Gd ピン	1.00514	0.00041			

Table 5.1.1.4 MOX 非均質系 (均質化モデル) の臨界計算結果 [PNL-3313、KENO-VI]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験番号	PuO ₂ 富化度 (wt%)	減速材	反射材	中性子 吸収材	中性子実効増倍率	
							k _{eff}	σ
1	CELL_S623_keno6_pnl_01_01	003R	27.567/22.484 (Type3.1/Type3.2)	水	水	なし	0.99831	0.00051
2	CELL_S623_keno6_pnl_01_02	005					1.00082	0.00046
3	CELL_S623_keno6_pnl_01_03	029					0.99903	0.00041
4	CELL_S623_keno6_pnl_01_04	001					1.00113	0.00048
5	CELL_S623_keno6_pnl_01_05	004					1.00255	0.00056
6	CELL_S623_keno6_pnl_01_06	006					1.00354	0.00049
7	CELL_S623_keno6_pnl_02_01	010	22.484	水	コンク リート	なし	1.00736	0.00063
8	CELL_S623_keno6_pnl_02_02	007					1.01853	0.00045
9	CELL_S623_keno6_pnl_02_03	012					1.01076	0.00048
10	CELL_S623_keno6_pnl_02_04	011					1.01011	0.00051
11	CELL_S623_keno6_pnl_03_01	21	22.484	水	水	なし	1.00135	0.00054
12	CELL_S623_keno6_pnl_03_02	22				Cd 板	1.00269	0.00051
13	CELL_S623_keno6_pnl_03_03	23				Boral 板	1.00202	0.00049
14	CELL_S623_keno6_pnl_03_04	26				Gd ピン	1.00068	0.00053
15	CELL_S623_keno6_pnl_03_05	24				Cd 板	1.00487	0.00043
16	CELL_S623_keno6_pnl_03_06	25				Boral 板	1.00297	0.00045
17	CELL_S623_keno6_pnl_03_07	27				Gd ピン	1.00788	0.00050
18	CELL_S623_keno6_pnl_03_08	28				Gd ピン	1.00878	0.00049
19	CELL_S623_keno6_pnl_03_09	43				なし	1.00370	0.00047
20	CELL_S623_keno6_pnl_03_10	45				Cd 板	1.00215	0.00053
21	CELL_S623_keno6_pnl_03_11	46				Boral 板	1.00247	0.00051
22	CELL_S623_keno6_pnl_03_12	44				Gd ピン	1.00237	0.00052
23	CELL_S623_keno6_pnl_03_13	48				Cd 板	1.00642	0.00054
24	CELL_S623_keno6_pnl_03_14	49				Boral 板	1.00514	0.00054
25	CELL_S623_keno6_pnl_03_15	47				Gd ピン	1.00848	0.00043
26	CELL_S623_keno6_pnl_03_16	50				Gd ピン	1.00869	0.00053
27	CELL_S623_keno6_pnl_03_17	13				なし	1.00478	0.00044
28	CELL_S623_keno6_pnl_03_18	14				Cd 板	1.00259	0.00063
29	CELL_S623_keno6_pnl_03_19	15				Boral 板	1.00477	0.00050
30	CELL_S623_keno6_pnl_03_20	41				Gd ピン	1.00384	0.00048
31	CELL_S623_keno6_pnl_03_21	16				Cd 板	1.00861	0.00043
32	CELL_S623_keno6_pnl_03_22	20				Boral 板	1.00552	0.00058
33	CELL_S623_keno6_pnl_03_23	42				Gd ピン	1.00927	0.00056
34	CELL_S623_keno6_pnl_03_24	40				Gd ピン	1.00748	0.00052
35	CELL_S623_keno6_pnl_03_25	32				なし	1.00507	0.00050
36	CELL_S623_keno6_pnl_03_26	34				Cd 板	1.00435	0.00054
37	CELL_S623_keno6_pnl_03_27	35	Boral 板	1.00438	0.00053			
38	CELL_S623_keno6_pnl_03_28	33	Gd ピン	1.00487	0.00044			
39	CELL_S623_keno6_pnl_03_29	39	Cd 板	1.00555	0.00051			
40	CELL_S623_keno6_pnl_03_30	38	Boral 板	1.00476	0.00042			
41	CELL_S623_keno6_pnl_03_31	37	Gd ピン	1.00657	0.00052			
42	CELL_S623_keno6_pnl_03_32	36	Gd ピン	1.00689	0.00068			
43	CELL_S623_keno6_pnl_03_33	51	なし	1.00565	0.00039			
44	CELL_S623_keno6_pnl_03_34	54	Cd 板	1.00224	0.00040			
45	CELL_S623_keno6_pnl_03_35	55	Boral 板	1.00215	0.00045			
46	CELL_S623_keno6_pnl_03_36	53	Gd ピン	0.99909	0.00039			
47	CELL_S623_keno6_pnl_03_37	57	Cd 板	1.00051	0.00047			
48	CELL_S623_keno6_pnl_03_38	58	Boral 板	0.99969	0.00043			
49	CELL_S623_keno6_pnl_03_39	56	Gd ピン	1.00353	0.00037			
50	CELL_S623_keno6_pnl_03_40	52	Gd ピン	1.00672	0.00055			

5.1.2 EPRI NP-196 Project 348 Volume 1 Final Report

MOX 非均質系、実験レポート EPRI NP-196⁷⁾ の臨界ベンチマーク計算結果を以下の表に示す。

実験レポート名	臨界計算モジュール	表番号
EPRI NP-196 ⁷⁾	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.1.2.1
EPRI NP-196 ⁷⁾ 均質化モデル	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.1.2.2
EPRI NP-196 ⁷⁾	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.1.2.3
EPRI NP-196 ⁷⁾ 均質化モデル	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.1.2.4

Table 5.1.2.1 MOX 非均質系の臨界計算結果 [EPRI NP-196、KENO-V.a]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験番号	PuO ₂ 富化度 (wt%)	減速材／反射材	中性子実効増倍率	
					k _{eff}	σ
	S623_epri_01	1	0.0 (U-235/U=2.35wt%)	ホウ酸水溶液	0.99857	0.00044
	S623_epri_02	2			1.00401	0.00043
	S623_epri_03	3			0.99928	0.00053
	S623_epri_04	4			1.00374	0.00042
	S623_epri_05	5			0.99931	0.00047
	S623_epri_06	6			1.00454	0.00036
51	S623_epri_07	7	2.0		0.99921	0.00045
52	S623_epri_08	8			1.00223	0.00052
53	S623_epri_09	9			1.00040	0.00050
54	S623_epri_10	10			1.00611	0.00035
55	S623_epri_11	11			1.00267	0.00048
56	S623_epri_12	12			1.00455	0.00049

※ S623_epri_01～06 の計算ケースは、UO₂燃料要素を用いた実験であるため、本計算では評価対象外とする。

Table 5.1.2.2 MOX 非均質系 (均質化モデル) の臨界計算結果 [EPRI NP-196、KENO-V.a]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験番号	Pu O ₂ 富化度 (wt%)	減速材／反射材	中性子実効増倍率	
					k _{eff}	σ
	CELL_S623_epri_01	1	0.0 (U-235/U=2.35wt%)	ホウ酸水溶液	0.99605	0.00042
	CELL_S623_epri_02	2			1.00247	0.00044
	CELL_S623_epri_03	3			0.99980	0.00043
	CELL_S623_epri_04	4			1.00657	0.00063
	CELL_S623_epri_05	5			1.00196	0.00069
	CELL_S623_epri_06	6			1.00570	0.00036
51	CELL_S623_epri_07	7	2.0		0.99531	0.00054
52	CELL_S623_epri_08	8			0.99994	0.00038
53	CELL_S623_epri_09	9			1.00304	0.00044
54	CELL_S623_epri_10	10			1.00861	0.00038
55	CELL_S623_epri_11	11			1.00560	0.00046
56	CELL_S623_epri_12	12			1.00830	0.00032

※ CELL_S623_epri_01～06 の計算ケースは、UO₂燃料要素を用いた実験であるため、本計算では評価対象外とする。

Table 5.1.2.3 MOX 非均質系の臨界計算結果 [EPRI NP-196、KENO-VI]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験番号	PuO ₂ 富化度 (wt%)	減速材／反射材	中性子実効増倍率	
					k _{eff}	σ
	S623_keno6_epri_01	1	0.0 (U-235/U=2.35wt%)	ホウ酸水溶液	0.99750	0.00052
	S623_keno6_epri_02	2			1.00449	0.00044
	S623_keno6_epri_03	3			0.99933	0.00042
	S623_keno6_epri_04	4			1.00340	0.00035
	S623_keno6_epri_05	5			0.99889	0.00041
	S623_keno6_epri_06	6			1.00391	0.00039
51	S623_keno6_epri_07	7	2.0		0.99821	0.00045
52	S623_keno6_epri_08	8			1.00177	0.00056
53	S623_keno6_epri_09	9			1.00066	0.00067
54	S623_keno6_epri_10	10			1.00601	0.00040
55	S623_keno6_epri_11	11			1.00204	0.00049
56	S623_keno6_epri_12	12			1.00574	0.00049

※ S623_keno6_epri_01～06 の計算ケースは、UO₂燃料要素を用いた実験であるため、本計算では評価対象外とする。

Table 5.1.2.4 MOX 非均質系 (均質化モデル)の臨界計算結果 [EPRI NP-196、KENO-VI]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験番号	Pu O ₂ 富化度 (wt%)	減速材／反射材	中性子実効増倍率	
					k _{eff}	σ
	CELL_S623_keno6_epri_01	1	0.0 (U-235/U=2.35wt%)	ホウ酸水溶液	0.99860	0.00046
	CELL_S623_keno6_epri_02	2			1.00339	0.00050
	CELL_S623_keno6_epri_03	3			1.00121	0.00067
	CELL_S623_keno6_epri_04	4			1.00643	0.00039
	CELL_S623_keno6_epri_05	5			1.00182	0.00047
	CELL_S623_keno6_epri_06	6			1.00515	0.00035
51	CELL_S623_keno6_epri_07	7	2.0		0.99650	0.00051
52	CELL_S623_keno6_epri_08	8			0.99984	0.00050
53	CELL_S623_keno6_epri_09	9			1.00236	0.00052
54	CELL_S623_keno6_epri_10	10			1.00756	0.00037
55	CELL_S623_keno6_epri_11	11			1.00458	0.00043
56	CELL_S623_keno6_epri_12	12			1.00708	0.00042

※ CELL_S623_keno6_epri_01～06 の計算ケースは、UO₂燃料要素を用いた実験であるため、本計算では評価対象外とする。

5.1.3 JAERI 1254

MOX 非均質系、実験レポート JAERI 1254⁸⁾ の臨界ベンチマーク計算結果を以下の表に示す。

実験レポート名	臨界計算モジュール	表番号
JAERI 1254 ⁸⁾	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.1.3.1
JAERI 1254 ⁸⁾ 均質化モデル	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.1.3.2
JAERI 1254 ⁸⁾	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.1.3.3
JAERI 1254 ⁸⁾ 均質化モデル	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.1.3.4

Table 5.1.3.1 MOX 非均質系の臨界計算結果 [JAERI 1254、KENO-V.a] [1/2]

No.	計算ケース (ファイル名)	水／燃料体積比	PuO ₂ 富化度 (wt%)	減速材 反射材	中性子 吸収材	中性子実効増倍率	
						k _{eff}	σ
57	S623_jaeri_01	2.42 (H/Pu=402) pitch=1.825cm	3.01	水	なし	0.99537	0.00048
58	S623_jaeri_02					0.99571	0.00044
59	S623_jaeri_03					0.99608	0.00053
60	S623_jaeri_04					0.99702	0.00048
61	S623_jaeri_05					0.99585	0.00053
62	S623_jaeri_06					0.99698	0.00044
63	S623_jaeri_07					0.99659	0.00050
64	S623_jaeri_08					0.99576	0.00042
65	S623_jaeri_09					0.99526	0.00048
66	S623_jaeri_10					0.99659	0.00047
67	S623_jaeri_11					0.99508	0.00057
68	S623_jaeri_12					0.99610	0.00058
69	S623_jaeri_13					0.99702	0.00048
70	S623_jaeri_14					0.99538	0.00050
71	S623_jaeri_15					0.99560	0.00057
72	S623_jaeri_16					0.99641	0.00045
73	S623_jaeri_17					0.99680	0.00041
74	S623_jaeri_18	2.98 (H/Pu=494) pitch=1.956cm	3.01	水	なし	0.99717	0.00042
75	S623_jaeri_19					0.99516	0.00053
76	S623_jaeri_20					0.99714	0.00045
77	S623_jaeri_21					0.99669	0.00044
78	S623_jaeri_22					0.99643	0.00047
79	S623_jaeri_23					0.99763	0.00042
80	S623_jaeri_24					0.99653	0.00051
81	S623_jaeri_25					0.99692	0.00045
82	S623_jaeri_26					0.99676	0.00046
83	S623_jaeri_27*					0.99676	0.00046
84	S623_jaeri_28	0.99846	0.00040				
84	S623_jaeri_29	2.98 (H/Pu=494) pitch=1.956cm	3.01	水	なし	0.99820	0.00047
85	S623_jaeri_30					0.99705	0.00053
86	S623_jaeri_31					0.99534	0.00047
87	S623_jaeri_32					0.99675	0.00045
88	S623_jaeri_33					0.99902	0.00050
89	S623_jaeri_34					0.99727	0.00043
90	S623_jaeri_35					0.99704	0.00044
91	S623_jaeri_36					0.99833	0.00045
92	S623_jaeri_37					0.99699	0.00045
93	S623_jaeri_38					0.99833	0.00048
94	S623_jaeri_39					0.99732	0.00047
95	S623_jaeri_40					0.99740	0.00052
96	S623_jaeri_41					0.99740	0.00051
97	S623_jaeri_42					0.99704	0.00051
98	S623_jaeri_43					0.99742	0.00044
99	S623_jaeri_44					0.99686	0.00044
100	S623_jaeri_45					0.99669	0.00047
101	S623_jaeri_46	0.99713	0.00047				

* S623_jaeri_27 は S623_jaeri_26 と重複する計算モデルとなるため、本計算では評価対象外とする。

Table 5.1.3.1 MOX 非均質系の臨界計算結果 [JAERI 1254、KENO-V.a] [2/2]

No.	計算ケース (ファイル名)	水／燃料体積比	PuO ₂ 富化度 (wt%)	減速材 反射材	中性子 吸収材	中性子実効増倍率	
						k _{eff}	σ
102	S623_jaeri_47	4.24 (H/Pu=703) Pitch=2.225	3.01	水	なし	0.99692	0.00049
103	S623_jaeri_48					0.99817	0.00039
104	S623_jaeri_49					0.99718	0.00043
105	S623_jaeri_50					0.99819	0.00042
106	S623_jaeri_51					0.99641	0.00044
107	S623_jaeri_52					0.99770	0.00049
108	S623_jaeri_53					0.99743	0.00041
	S623_jaeri_54*					0.99743	0.00041
109	S623_jaeri_55					0.99763	0.00048
110	S623_jaeri_56					0.99705	0.00045
111	S623_jaeri_57					0.99890	0.00040
112	S623_jaeri_58					0.99813	0.00048
113	S623_jaeri_59					0.99819	0.00039
114	S623_jaeri_60	4.24 (H/Pu=703) Pitch=2.225	3.01	水	なし	0.99708	0.00051
115	S623_jaeri_61					0.99828	0.00047
116	S623_jaeri_62					0.99860	0.00049
117	S623_jaeri_63					0.99638	0.00053
118	S623_jaeri_64					0.99723	0.00044
119	S623_jaeri_65					0.99783	0.00048
120	S623_jaeri_66					0.99838	0.00048
121	S623_jaeri_67					0.99707	0.00041
122	S623_jaeri_68					0.99735	0.00045
123	S623_jaeri_69					0.99746	0.00052
124	S623_jaeri_70					0.99810	0.00039
125	S623_jaeri_71					0.99825	0.00041
126	S623_jaeri_72					0.99829	0.00051
127	S623_jaeri_73					0.99862	0.00042
128	S623_jaeri_74					0.99840	0.00043
129	S623_jaeri_75					0.99833	0.00044
130	S623_jaeri_76					0.99838	0.00048
131	S623_jaeri_77					0.99876	0.00049
132	S623_jaeri_78					0.99848	0.00039
133	S623_jaeri_79	5.55 (H/Pu=921) Pitch=2.474cm	3.01	水	なし	0.99777	0.00039
134	S623_jaeri_80					0.99853	0.00038
135	S623_jaeri_81					0.99887	0.00039
136	S623_jaeri_82					0.99825	0.00041
137	S623_jaeri_83					0.99875	0.00056
138	S623_jaeri_84					0.99854	0.00041
139	S623_jaeri_85					0.99811	0.00050
140	S623_jaeri_86					0.99854	0.00043
141	S623_jaeri_87					0.99908	0.00046
142	S623_jaeri_88					0.99892	0.00053

※ S623_jaeri_54 は S623_jaeri_53 と重複する計算モデルとなるため、本計算では評価対象外とする。

Table 5.1.3.2 MOX 非均質系 (均質化モデル) 臨界計算結果 [JAERI 1254、KENO-V.a] [1/2]

No.	計算ケース (ファイル名)	水/燃料体積比	PuO ₂ 富化度 (wt%)	減速材 反射材	中性子 吸収材	中性子実効増倍率	
						k _{eff}	σ
57	CELL_S623_jaeri_01	2.42 (H/Pu=402) pitch=1.825cm	3.01	水	なし	0.99569	0.00051
58	CELL_S623_jaeri_02					0.99523	0.00047
59	CELL_S623_jaeri_03					0.99623	0.00044
60	CELL_S623_jaeri_04					0.99661	0.00044
61	CELL_S623_jaeri_05					0.99520	0.00042
62	CELL_S623_jaeri_06					0.99591	0.00036
63	CELL_S623_jaeri_07					0.99588	0.00054
64	CELL_S623_jaeri_08					0.99557	0.00042
65	CELL_S623_jaeri_09					0.99699	0.00043
66	CELL_S623_jaeri_10					0.99684	0.00044
67	CELL_S623_jaeri_11					0.99595	0.00042
68	CELL_S623_jaeri_12					0.99628	0.00058
69	CELL_S623_jaeri_13					0.99691	0.00053
70	CELL_S623_jaeri_14					0.99630	0.00053
71	CELL_S623_jaeri_15					0.99626	0.00045
72	CELL_S623_jaeri_16					0.99656	0.00047
73	CELL_S623_jaeri_17					0.99679	0.00050
74	CELL_S623_jaeri_18	2.98 (H/Pu=494) pitch=1.956cm	3.01	水	なし	0.99738	0.00047
75	CELL_S623_jaeri_19					0.99742	0.00051
76	CELL_S623_jaeri_20					0.99799	0.00044
77	CELL_S623_jaeri_21					0.99783	0.00049
78	CELL_S623_jaeri_22					0.99733	0.00044
79	CELL_S623_jaeri_23					1.00037	0.00072
80	CELL_S623_jaeri_24					0.99710	0.00041
81	CELL_S623_jaeri_25					0.99762	0.00044
82	CELL_S623_jaeri_26					0.99703	0.00045
83	CELL_S623_jaeri_27*					0.99703	0.00045
83	CELL_S623_jaeri_28	0.99953	0.00054				
84	CELL_S623_jaeri_29	2.98 (H/Pu=494) pitch=1.956cm	3.01	水	なし	0.99870	0.00047
85	CELL_S623_jaeri_30					0.99828	0.00052
86	CELL_S623_jaeri_31					0.99702	0.00047
87	CELL_S623_jaeri_32					0.99816	0.00049
88	CELL_S623_jaeri_33					0.99953	0.00056
89	CELL_S623_jaeri_34					0.99868	0.00040
90	CELL_S623_jaeri_35					0.99777	0.00045
91	CELL_S623_jaeri_36					0.99909	0.00066
92	CELL_S623_jaeri_37					0.99858	0.00047
93	CELL_S623_jaeri_38					0.99820	0.00048
94	CELL_S623_jaeri_39					0.99836	0.00039
95	CELL_S623_jaeri_40					0.99791	0.00050
96	CELL_S623_jaeri_41					0.99818	0.00049
97	CELL_S623_jaeri_42					0.99821	0.00058
98	CELL_S623_jaeri_43					0.99878	0.00049
99	CELL_S623_jaeri_44					0.99813	0.00036
100	CELL_S623_jaeri_45					0.99854	0.00052
101	CELL_S623_jaeri_46					0.99796	0.00049

* CELL_S623_jaeri_27はCELL_S623_jaeri_26と重複する計算モデルとなるため、本計算では評価対象外とする。

Table 5.1.3.2 MOX 非均質系 (均質化モデル) 臨界計算結果 [JAERI 1254、KENO-V.a] [2/2]

No.	計算ケース (ファイル名)	水/燃料体積比	PuO ₂ 富化度 (wt%)	減速材 反射材	中性子 吸収材	中性子実効増倍率	
						k _{eff}	σ
102	CELL_S623_jaeri_47	4.24 (H/Pu=703) Pitch=2.225cm	3.01	水	なし	0.99991	0.00053
103	CELL_S623_jaeri_48					0.99954	0.00044
104	CELL_S623_jaeri_49					0.99970	0.00047
105	CELL_S623_jaeri_50					0.99980	0.00051
106	CELL_S623_jaeri_51					0.99940	0.00040
107	CELL_S623_jaeri_52					0.99923	0.00036
108	CELL_S623_jaeri_53					0.99986	0.00054
	CELL_S623_jaeri_54※					0.99986	0.00054
109	CELL_S623_jaeri_55					1.00008	0.00049
110	CELL_S623_jaeri_56					0.99913	0.00035
111	CELL_S623_jaeri_57					1.00025	0.00051
112	CELL_S623_jaeri_58					0.99945	0.00039
113	CELL_S623_jaeri_59					1.00004	0.00038
114	CELL_S623_jaeri_60					0.99998	0.00046
115	CELL_S623_jaeri_61					0.99964	0.00045
116	CELL_S623_jaeri_62					1.00037	0.00036
117	CELL_S623_jaeri_63					0.99996	0.00051
118	CELL_S623_jaeri_64					0.99978	0.00048
119	CELL_S623_jaeri_65					1.00028	0.00046
120	CELL_S623_jaeri_66					1.00094	0.00045
121	CELL_S623_jaeri_67					1.00040	0.00043
122	CELL_S623_jaeri_68					0.99957	0.00042
123	CELL_S623_jaeri_69					1.00093	0.00037
124	CELL_S623_jaeri_70					0.99936	0.00045
125	CELL_S623_jaeri_71					0.99956	0.00044
126	CELL_S623_jaeri_72					1.00003	0.00047
127	CELL_S623_jaeri_73					1.00010	0.00044
128	CELL_S623_jaeri_74					0.99967	0.00052
129	CELL_S623_jaeri_75					1.00090	0.00051
130	CELL_S623_jaeri_76					1.00000	0.00053
131	CELL_S623_jaeri_77					0.99934	0.00042
132	CELL_S623_jaeri_78					1.00070	0.00040
133	CELL_S623_jaeri_79	5.55 (H/Pu=921) Pitch=2.474cm	3.01	水	なし	1.00036	0.00039
134	CELL_S623_jaeri_80					0.99993	0.00043
135	CELL_S623_jaeri_81					0.99992	0.00035
136	CELL_S623_jaeri_82					1.00060	0.00043
137	CELL_S623_jaeri_83					1.00131	0.00042
138	CELL_S623_jaeri_84					1.00134	0.00061
139	CELL_S623_jaeri_85					1.00026	0.00042
140	CELL_S623_jaeri_86					1.00051	0.00045
141	CELL_S623_jaeri_87					1.00026	0.00042
142	CELL_S623_jaeri_88					1.00034	0.00046

※ CELL_S623_jaeri_54 は CELL_S623_jaeri_53 と重複する計算モデルとなるため、本計算では評価対象外とする。

Table 5.1.3.3 MOX 非均質系の臨界計算結果 [JAERI 1254, KENO-VI] [1/2]

No.	計算ケース (ファイル名)	水/燃料体積比	PuO ₂ 富化度 (wt%)	減速材 反射材	中性子 吸収材	中性子実効増倍率	
						k _{eff}	σ
57	S623_keno6_jaeri_01	2.42 (H/Pu=402) pitch=1.825cm	3.01	水	なし	0.99478	0.00044
58	S623_keno6_jaeri_02					0.99556	0.00042
59	S623_keno6_jaeri_03					0.99664	0.00050
60	S623_keno6_jaeri_04					0.99544	0.00053
61	S623_keno6_jaeri_05					0.99411	0.00051
62	S623_keno6_jaeri_06					0.99581	0.00043
63	S623_keno6_jaeri_07					0.99540	0.00044
64	S623_keno6_jaeri_08					0.99564	0.00045
65	S623_keno6_jaeri_09					0.99501	0.00048
66	S623_keno6_jaeri_10					0.99587	0.00046
67	S623_keno6_jaeri_11					0.99454	0.00047
68	S623_keno6_jaeri_12					0.99676	0.00054
69	S623_keno6_jaeri_13					0.99612	0.00052
70	S623_keno6_jaeri_14					0.99375	0.00043
71	S623_keno6_jaeri_15					0.99535	0.00046
72	S623_keno6_jaeri_16					0.99541	0.00049
73	S623_keno6_jaeri_17					0.99641	0.00044
74	S623_keno6_jaeri_18	2.98 (H/Pu=494) pitch=1.956cm	3.01	水	なし	0.99564	0.00049
75	S623_keno6_jaeri_19					0.99513	0.00048
76	S623_keno6_jaeri_20					0.99550	0.00047
77	S623_keno6_jaeri_21					0.99625	0.00055
78	S623_keno6_jaeri_22					0.99679	0.00042
79	S623_keno6_jaeri_23					0.99662	0.00039
80	S623_keno6_jaeri_24					0.99653	0.00045
81	S623_keno6_jaeri_25					0.99652	0.00040
82	S623_keno6_jaeri_26					0.99654	0.00040
83	S623_keno6_jaeri_27 [※]					0.99654	0.00040
83	S623_keno6_jaeri_28	0.99795	0.00043				
84	S623_keno6_jaeri_29	2.98 (H/Pu=494) pitch=1.956cm	3.01	水	なし	0.99606	0.00050
85	S623_keno6_jaeri_30					0.99640	0.00042
86	S623_keno6_jaeri_31					0.99474	0.00053
87	S623_keno6_jaeri_32					0.99606	0.00049
88	S623_keno6_jaeri_33					0.99745	0.00042
89	S623_keno6_jaeri_34					0.99624	0.00047
90	S623_keno6_jaeri_35					0.99521	0.00047
91	S623_keno6_jaeri_36					0.99805	0.00050
92	S623_keno6_jaeri_37					0.99622	0.00043
93	S623_keno6_jaeri_38					0.99651	0.00045
94	S623_keno6_jaeri_39					0.99596	0.00052
95	S623_keno6_jaeri_40					0.99624	0.00050
96	S623_keno6_jaeri_41					0.99654	0.00052
97	S623_keno6_jaeri_42					0.99548	0.00047
98	S623_keno6_jaeri_43					0.99574	0.00041
99	S623_keno6_jaeri_44					0.99642	0.00044
100	S623_keno6_jaeri_45					0.99669	0.00048
101	S623_keno6_jaeri_46					0.99537	0.00044

※ S623_keno6_jaeri_27 は S623_keno6_jaeri_26 と重複する計算モデルとなるため、本計算では評価対象外とする。

Table 5.1.3.3 MOX 非均質系の臨界計算結果 [JAERI 1254、KENO-VI] [2/2]

No.	計算ケース (ファイル名)	水/燃料体積比	PuO ₂ 富化度 (wt%)	減速材 反射材	中性子 吸収材	中性子実効増倍率	
						k _{eff}	σ
102	S623_keno6_jaeri_47	4.24 (H/Pu=703) Pitch=2.225	3.01	水	なし	0.99662	0.00046
103	S623_keno6_jaeri_48					0.99728	0.00044
104	S623_keno6_jaeri_49					0.99728	0.00053
105	S623_keno6_jaeri_50					0.99756	0.00048
106	S623_keno6_jaeri_51					0.99714	0.00044
107	S623_keno6_jaeri_52					0.99738	0.00045
108	S623_keno6_jaeri_53					0.99747	0.00043
	S623_keno6_jaeri_54*					0.99747	0.00043
109	S623_keno6_jaeri_55					0.99699	0.00052
110	S623_keno6_jaeri_56					0.99673	0.00045
111	S623_keno6_jaeri_57					0.99784	0.00044
112	S623_keno6_jaeri_58					0.99869	0.00044
113	S623_keno6_jaeri_59					0.99816	0.00050
114	S623_keno6_jaeri_60					0.99704	0.00048
115	S623_keno6_jaeri_61					0.99727	0.00048
116	S623_keno6_jaeri_62					0.99855	0.00048
117	S623_keno6_jaeri_63					0.99720	0.00044
118	S623_keno6_jaeri_64					0.99766	0.00049
119	S623_keno6_jaeri_65					0.99798	0.00041
120	S623_keno6_jaeri_66					0.99723	0.00045
121	S623_keno6_jaeri_67					0.99836	0.00041
122	S623_keno6_jaeri_68					0.99632	0.00041
123	S623_keno6_jaeri_69					0.99676	0.00039
124	S623_keno6_jaeri_70					0.99831	0.00048
125	S623_keno6_jaeri_71					0.99788	0.00047
126	S623_keno6_jaeri_72					0.99745	0.00043
127	S623_keno6_jaeri_73					0.99739	0.00049
128	S623_keno6_jaeri_74					0.99780	0.00047
129	S623_keno6_jaeri_75					0.99824	0.00042
130	S623_keno6_jaeri_76					0.99850	0.00054
131	S623_keno6_jaeri_77					0.99705	0.00046
132	S623_keno6_jaeri_78					0.99753	0.00053
133	S623_keno6_jaeri_79	5.55 (H/Pu=921) Pitch=2.474cm	3.01	水	なし	0.99832	0.00044
134	S623_keno6_jaeri_80					0.99761	0.00045
135	S623_keno6_jaeri_81					0.99846	0.00042
136	S623_keno6_jaeri_82					0.99797	0.00043
137	S623_keno6_jaeri_83					0.99793	0.00046
138	S623_keno6_jaeri_84					0.99763	0.00043
139	S623_keno6_jaeri_85					0.99790	0.00043
140	S623_keno6_jaeri_86					0.99741	0.00038
141	S623_keno6_jaeri_87					0.99799	0.00041
142	S623_keno6_jaeri_88					0.99838	0.00038

* S623_keno6_jaeri_54 は S623_keno6_jaeri_53 と重複する計算モデルとなるため、本計算では評価対象外とする。

Table 5.1.3.4 MOX 非均質系 (均質化モデル) 臨界計算結果 [JAERI 1254、KENO-VI] [1/2]

No.	計算ケース (ファイル名)	水/燃料体積比	PuO ₂ 富化度 (wt%)	減速材 反射材	中性子 吸収材	中性子実効増倍率	
						k _{eff}	σ
57	CELL_S623_keno6_jaeri_01	2.42 (H/Pu=402) pitch=1.825cm	3.01	水	なし	0.99462	0.00050
58	CELL_S623_keno6_jaeri_02					0.99530	0.00053
59	CELL_S623_keno6_jaeri_03					0.99545	0.00060
60	CELL_S623_keno6_jaeri_04					0.99596	0.00049
61	CELL_S623_keno6_jaeri_05					0.99544	0.00040
62	CELL_S623_keno6_jaeri_06					0.99532	0.00046
63	CELL_S623_keno6_jaeri_07					0.99532	0.00049
64	CELL_S623_keno6_jaeri_08					0.99574	0.00057
65	CELL_S623_keno6_jaeri_09					0.99665	0.00047
66	CELL_S623_keno6_jaeri_10					0.99573	0.00048
67	CELL_S623_keno6_jaeri_11					0.99483	0.00064
68	CELL_S623_keno6_jaeri_12					0.99619	0.00051
69	CELL_S623_keno6_jaeri_13					0.99560	0.00061
70	CELL_S623_keno6_jaeri_14					0.99501	0.00046
71	CELL_S623_keno6_jaeri_15					0.99546	0.00059
72	CELL_S623_keno6_jaeri_16					0.99558	0.00046
73	CELL_S623_keno6_jaeri_17					0.99574	0.00046
74	CELL_S623_keno6_jaeri_18	2.98 (H/Pu=494) pitch=1.956cm	3.01	水	なし	0.99650	0.00044
75	CELL_S623_keno6_jaeri_19					0.99579	0.00040
76	CELL_S623_keno6_jaeri_20					0.99750	0.00042
77	CELL_S623_keno6_jaeri_21					0.99664	0.00064
78	CELL_S623_keno6_jaeri_22					0.99787	0.00053
79	CELL_S623_keno6_jaeri_23					0.99806	0.00052
80	CELL_S623_keno6_jaeri_24					0.99684	0.00042
81	CELL_S623_keno6_jaeri_25					0.99728	0.00048
82	CELL_S623_keno6_jaeri_26					0.99707	0.00054
83	CELL_S623_keno6_jaeri_27*					0.99707	0.00054
84	CELL_S623_keno6_jaeri_28	0.99986	0.00055				
84	CELL_S623_keno6_jaeri_29	2.98 (H/Pu=494) pitch=1.956cm	3.01	水	なし	0.99653	0.00039
85	CELL_S623_keno6_jaeri_30					0.99728	0.00052
86	CELL_S623_keno6_jaeri_31					0.99591	0.00040
87	CELL_S623_keno6_jaeri_32					0.99774	0.00057
88	CELL_S623_keno6_jaeri_33					0.99908	0.00043
89	CELL_S623_keno6_jaeri_34					0.99799	0.00048
90	CELL_S623_keno6_jaeri_35					0.99723	0.00042
91	CELL_S623_keno6_jaeri_36					0.99825	0.00043
92	CELL_S623_keno6_jaeri_37					0.99735	0.00051
93	CELL_S623_keno6_jaeri_38					0.99850	0.00048
94	CELL_S623_keno6_jaeri_39					0.99715	0.00040
95	CELL_S623_keno6_jaeri_40					0.99718	0.00048
96	CELL_S623_keno6_jaeri_41					0.99715	0.00046
97	CELL_S623_keno6_jaeri_42					0.99696	0.00043
98	CELL_S623_keno6_jaeri_43					0.99772	0.00049
99	CELL_S623_keno6_jaeri_44					0.99742	0.00059
100	CELL_S623_keno6_jaeri_45					0.99710	0.00042
101	CELL_S623_keno6_jaeri_46	0.99822	0.00051				

* CELL_S623_keno6_jaeri_27はCELL_S623_keno6_jaeri_26と重複する計算モデルとなるため、本計算では評価対象外とする。

Table 5.1.3.4 MOX 非均質系 (均質化モデル) 臨界計算結果 [JAERI 1254、KENO-VI] [2/2]

No.	計算ケース (ファイル名)	水/燃料体積比	PuO ₂ 富化度 (wt%)	減速材 反射材	中性子 吸収材	中性子実効増倍率	
						k _{eff}	σ
102	CELL_S623_keno6_jaeri_47	4.24 (H/Pu=703) Pitch=2.225cm	3.01	水	なし	0.99940	0.00047
103	CELL_S623_keno6_jaeri_48					0.99975	0.00045
104	CELL_S623_keno6_jaeri_49					0.99901	0.00046
105	CELL_S623_keno6_jaeri_50					0.99966	0.00038
106	CELL_S623_keno6_jaeri_51					0.99961	0.00038
107	CELL_S623_keno6_jaeri_52					0.99888	0.00047
108	CELL_S623_keno6_jaeri_53					1.00001	0.00048
	CELL_S623_keno6_jaeri_54*					1.00001	0.00048
109	CELL_S623_keno6_jaeri_55					0.99963	0.00047
110	CELL_S623_keno6_jaeri_56					0.99925	0.00044
111	CELL_S623_keno6_jaeri_57					0.99948	0.00046
112	CELL_S623_keno6_jaeri_58	4.24 (H/Pu=703) Pitch=2.225cm	3.01	水	なし	0.99927	0.00043
113	CELL_S623_keno6_jaeri_59					1.00052	0.00048
114	CELL_S623_keno6_jaeri_60					0.99936	0.00038
115	CELL_S623_keno6_jaeri_61					0.99973	0.00050
116	CELL_S623_keno6_jaeri_62					1.00029	0.00043
117	CELL_S623_keno6_jaeri_63					0.99823	0.00051
118	CELL_S623_keno6_jaeri_64					0.99959	0.00041
119	CELL_S623_keno6_jaeri_65					0.99893	0.00047
120	CELL_S623_keno6_jaeri_66					1.00005	0.00048
121	CELL_S623_keno6_jaeri_67					1.00017	0.00042
122	CELL_S623_keno6_jaeri_68					0.99848	0.00042
123	CELL_S623_keno6_jaeri_69	0.99929	0.00051				
124	CELL_S623_keno6_jaeri_70	0.99998	0.00053				
125	CELL_S623_keno6_jaeri_71	1.00013	0.00041				
126	CELL_S623_keno6_jaeri_72	0.99951	0.00052				
127	CELL_S623_keno6_jaeri_73	1.00001	0.00044				
128	CELL_S623_keno6_jaeri_74	0.99916	0.00041				
129	CELL_S623_keno6_jaeri_75	0.99970	0.00046				
130	CELL_S623_keno6_jaeri_76	0.99881	0.00047				
131	CELL_S623_keno6_jaeri_77	0.99945	0.00045				
132	CELL_S623_keno6_jaeri_78	0.99932	0.00044				
133	CELL_S623_keno6_jaeri_79	5.55 (H/Pu=921) Pitch=2.474cm	3.01	水	なし	0.99936	0.00040
134	CELL_S623_keno6_jaeri_80					0.99953	0.00036
135	CELL_S623_keno6_jaeri_81					1.00012	0.00043
136	CELL_S623_keno6_jaeri_82					0.99947	0.00040
137	CELL_S623_keno6_jaeri_83					0.99954	0.00035
138	CELL_S623_keno6_jaeri_84					0.99954	0.00049
139	CELL_S623_keno6_jaeri_85					0.99885	0.00054
140	CELL_S623_keno6_jaeri_86					0.99901	0.00039
141	CELL_S623_keno6_jaeri_87					0.99991	0.00038
142	CELL_S623_keno6_jaeri_88					0.99998	0.00044

※ CELL_S623_keno6_jaeri_54はCELL_S623_keno6_jaeri_53と重複する計算モデルとなるため、本計算では評価対象外とする。

5.1.4 PNL-5803

MOX 非均質系、実験レポート PNL-5803⁹⁾ の臨界ベンチマーク計算結果を以下の表に示す。

実験レポート名	臨界計算モジュール	表番号
PNL-5803 ⁹⁾	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.1.4.1
PNL-5803 ⁹⁾ 均質化モデル	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.1.4.2
PNL-5803 ⁹⁾	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.1.4.3
PNL-5803 ⁹⁾ 均質化モデル	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.1.4.4

Table 5.1.4.1 MOX 非均質系の臨界計算結果 [PNL-5803、KENO-V.a]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験 番号	PuO ₂ 富化度 (wt%)	減速材/反射材	中性子 吸収材	中性子実効増倍率	
						k _{eff}	σ
143	S623_pnl5803_01	065	27.567/22.484 (Type3.1/Type3.2)	TBP・NPH 有機溶媒	なし	0.99874	0.00044
144	S623_pnl5803_02	067		水		0.99853	0.00047
145	S623_pnl5803_03	063		TBP・NPH 有機溶媒		0.99926	0.00043
146	S623_pnl5803_04	062		TBP・NPH 有機溶媒		0.99654	0.00054
147	S623_pnl5803_05	061		TBP・NPH 有機溶媒		0.99534	0.00056
148	S623_pnl5803_06	068R		水		1.00369	0.00047
149	S623_pnl5803_07	060		TBP・NPH 有機溶媒		0.99133	0.00046

Table 5.1.4.2 MOX 非均質系 (均質化モデル) の臨界計算結果 [PNL-5803、KENO-V.a]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験 番号	PuO ₂ 富化度 (wt%)	減速材/反射材	中性子 吸収材	中性子実効増倍率	
						k _{eff}	σ
143	CELL_S623_pnl5803_01	065	27.567/22.484 (Type3.1/Type3.2)	TBP・NPH 有機溶媒	なし	0.99688	0.00043
144	CELL_S623_pnl5803_02	067		水		0.99640	0.00045
145	CELL_S623_pnl5803_03	063		TBP・NPH 有機溶媒		0.99801	0.00046
146	CELL_S623_pnl5803_04	062		TBP・NPH 有機溶媒		0.99929	0.00049
147	CELL_S623_pnl5803_05	061		TBP・NPH 有機溶媒		0.99887	0.00051
148	CELL_S623_pnl5803_06	068R		水		1.00709	0.00050
149	CELL_S623_pnl5803_07	060		TBP・NPH 有機溶媒		0.99414	0.00039

Table 5.1.4.3 MOX 非均質系の臨界計算結果 [PNL-5803、KENO-VI]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験 番号	PuO ₂ 富化度 (wt%)	減速材/反射材	中性子 吸収材	中性子実効増倍率	
						k _{eff}	σ
143	S623_keno6_pnl5803_01	065	27.567/22.484 (Type3.1/Type3.2)	TBP・NPH 有機溶媒	なし	0.99884	0.00047
144	S623_keno6_pnl5803_02	067		水		0.99888	0.00048
145	S623_keno6_pnl5803_03	063		TBP・NPH 有機溶媒		0.99918	0.00052
146	S623_keno6_pnl5803_04	062		TBP・NPH 有機溶媒		0.99763	0.00050
147	S623_keno6_pnl5803_05	061		TBP・NPH 有機溶媒		0.99522	0.00058
148	S623_keno6_pnl5803_06	068R		水		1.00404	0.00045
149	S623_keno6_pnl5803_07*	060		TBP・NPH 有機溶媒		0.99056	0.00053

※ S623_keno6_pnl5803_07 においては、推定臨界下限増倍率 0.99069 を下回る実効増倍率となる。

Table 5.1.4.4 MOX 非均質系 (均質化モデル) の臨界計算結果 [PNL-5803、KENO-VI]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験 番号	PuO ₂ 富化度 (wt%)	減速材/反射材	中性子 吸収材	中性子実効増倍率	
						k _{eff}	σ
143	CELL_S623_keno6_pnl5803_01	065	27.567/22.484 (Type3.1/Type3.2)	TBP・NPH 有機溶媒	なし	0.99723	0.00049
144	CELL_S623_keno6_pnl5803_02	067		水		0.99667	0.00050
145	CELL_S623_keno6_pnl5803_03	063		TBP・NPH 有機溶媒		0.99896	0.00056
146	CELL_S623_keno6_pnl5803_04	062		TBP・NPH 有機溶媒		0.99908	0.00046
147	CELL_S623_keno6_pnl5803_05	061		TBP・NPH 有機溶媒		0.99879	0.00053
148	CELL_S623_keno6_pnl5803_06	068R		水		1.00684	0.00048
149	CELL_S623_keno6_pnl5803_07	060		TBP・NPH 有機溶媒		0.99348	0.00042

5.1.5 PNL-6559

MOX 非均質系、実験レポート PNL-6559¹⁰⁾ の臨界ベンチマーク計算結果を以下の表に示す。

本計算ケース (pnl6559_01~13) においては、計算モデルの幾何形状が、非均質系燃料要素配列の均質化機能 (付録-4 参照) の適用外であることから、均質化モデルでの計算を実施していない。

実験レポート名	臨界計算モジュール	表番号
PNL-6559 ¹⁰⁾	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.1.5.1
PNL-6559 ¹⁰⁾	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.1.5.2

Table 5.1.5.1 MOX 非均質系の臨界計算結果 [PNL-6559、KENO-V.a]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験 番号	Pu 富化度 (wt%)	(Pu+U) 硝酸水溶液 (g/litre)			反射材	中性子 吸収材	中性子実効増倍率	
				Pu	U	Gd			k _{eff}	σ
150	S623_pnl6559_01 ^{*1}	106	22.484	0.88	2.7	0	水	なし	0.99066	0.00051
151	S623_pnl6559_02	106R		0.88	2.7	0			0.99290	0.00057
152	S623_pnl6559_03	107		73.95	254.09	0			1.00374	0.00055
153	S623_pnl6559_04	109		47.5	163.06	0			1.00199	0.00043
154	S623_pnl6559_05	110		22.63	77.84	0			0.99418	0.00045
155	S623_pnl6559_06	110R		22.63	77.84	0			0.99694	0.00045
156	S623_pnl6559_07	111		103.7	383.98	0		1.00656	0.00053	
157	S623_pnl6559_08	112		103.18	360.62	0.49		Gd	1.00632	0.00050
158	S623_pnl6559_09	113		102.23	359.69	0.98			1.00384	0.00045
159	S623_pnl6559_10	114		102.65	359.59	1.47			1.00203	0.00044
160	S623_pnl6559_11	115		102.68	359.55	1.97			1.00199	0.00052
161	S623_pnl6559_12	116	103.61	362.45	2.16	1.00308	0.00046			
	S623_pnl6559_13 ^{*2}	117	—	83.3	286.57	0	水	なし	1.01497	0.00062

※1 S623_pnl6559_01 においては、推定臨界下限増倍率 0.99123 を下回る実効増倍率となる。

※2 S623_pnl6559_13 は、燃料要素を取り除いた実験で非均質体系でないため、本計算では評価対象外とする。

Table 5.1.5.2 MOX 非均質系の臨界計算結果 [PNL-6559、KENO-VI]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験 番号	Pu 富化度 (wt%)	(Pu+U) 硝酸水溶液 (g/litre)			反射材	中性子 吸収材	中性子実効増倍率	
				Pu	U	Gd			k _{eff}	σ
150	S623_keno6_pnl6559_01	106	22.484	0.88	2.7	0	水	なし	0.99178	0.00054
151	S623_keno6_pnl6559_02	106R		0.88	2.7	0			0.99439	0.00054
152	S623_keno6_pnl6559_03	107		73.95	254.09	0			1.00286	0.00056
153	S623_keno6_pnl6559_04	109		47.5	163.06	0			1.00019	0.00048
154	S623_keno6_pnl6559_05	110		22.63	77.84	0			0.99523	0.00052
155	S623_keno6_pnl6559_06	110R		22.63	77.84	0			0.99730	0.00045
156	S623_keno6_pnl6559_07	111		103.7	383.98	0		1.00674	0.00048	
157	S623_keno6_pnl6559_08	112		103.18	360.62	0.49		Gd	1.00557	0.00055
158	S623_keno6_pnl6559_09	113		102.23	359.69	0.98			1.00432	0.00043
159	S623_keno6_pnl6559_10	114		102.65	359.59	1.47			1.00287	0.00044
160	S623_keno6_pnl6559_11	115		102.68	359.55	1.97			1.00193	0.00041
161	S623_keno6_pnl6559_12	116	103.61	362.45	2.16	1.00316	0.00037			
	S623_keno6_pnl6559_13 ^{*1}	117	—	83.3	286.57	0	水	なし	1.01400	0.00054

※1 S623_keno6_pnl6559_13 は、燃料要素を取り除いた実験で非均質体系でないため、本計算では評価対象外とする。

5.1.6 Nuclear Science and Engineering Vol.59

MOX 非均質系、実験レポート Nuclear Science and Engineering Vol.59¹¹⁾ (Nucl.Sci.Eng.Vol.59) の臨界ベンチマーク計算結果を以下の表に示す。

実験レポート名	臨界計算モジュール	表番号
Nucl.Sci.Eng.Vol.59 ¹¹⁾	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.1.6.1
Nucl.Sci.Eng.Vol.59 ¹¹⁾ 均質化モデル	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.1.6.2
Nucl.Sci.Eng.Vol.59 ¹¹⁾	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.1.6.3
Nucl.Sci.Eng.Vol.59 ¹¹⁾ 均質化モデル	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.1.6.4

Table 5.1.6.1 MOX 非均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.59、KENO-V.a]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験 番号	PuO ₂ 富化度 (wt%)	(Pu+U) 硝酸水溶液 (g/litre)					反射 材	中性子実効増倍率	
				Pu	U	NO ₃	Gd	Fe		k _{eff}	σ
162	S623_nse59_01	115	25.212	77.6	180.0	375.0	0.018624	1.28816	水	0.99569	0.00060
163	S623_nse59_02	091		62.2	151.2	313.7	0.014928	1.03252		0.99209	0.00055
164	S623_nse59_03	093		55.3	134.4	288.0	0.013272	0.91798		0.99610	0.00052
165	S623_nse59_04	094		46.4	112.6	244.7	0.011136	0.77024		0.99555	0.00058
166	S623_nse59_05	095		39.5	95.9	210.8	0.009480	0.6557		0.99929	0.00052
167	S623_nse59_06	096		30.8	74.6	170.5	0.007392	0.51128		0.99740	0.00049
168	S623_nse59_07	097		25.3	61.2	152.8	0.006072	0.41998		0.99978	0.00053
169	S623_nse59_08	098		20.3	49.1	133.9	0.004872	0.33698		1.00071	0.00051
170	S623_nse59_09	099		15.3	37.5	118.5	0.003672	0.25398		0.99917	0.00055
171	S623_nse59_10	100		11.8	29.0	107.1	0.002832	0.19588		0.99992	0.00050
172	S623_nse59_11	101	25.212	0.2	0.7	18.9	0.000048	0.00332	1.00380	0.00041	
173	S623_nse59_12	116	25.212				0.258	0.8	1.00325	0.00048	
174	S623_nse59_13	117					0.515	0.8	1.00002	0.00055	
175	S623_nse59_14	119		77.6	180.0	384.0	1.040	0.8	0.99196	0.00038	
176	S623_nse59_15	120					1.280	0.8	0.99252	0.00042	
177	S623_nse59_16*	122					1.338	0.8	0.98811	0.00037	

※ S623_nse59_16 においては、推定臨界下限増倍率 0.99123 を下回る実効増倍率となる。

Table 5.1.6.2 MOX 非均質系 (均質化モデル) の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.59、KENO-V.a]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験 番号	PuO ₂ 富化度 (wt%)	(Pu+U) 硝酸水溶液 (g/litre)					反射 材	中性子実効増倍率	
				Pu	U	NO ₃	Gd	Fe		k _{eff}	σ
150	CELL_S623_nse59_01	115	25.212	77.6	180	375.0	0.018624	1.28816	水	0.99728	0.00058
151	CELL_S623_nse59_02	091		62.2	151.2	313.7	0.014928	1.03252		0.99318	0.00066
152	CELL_S623_nse59_03	093		55.3	134.4	288.0	0.013272	0.91798		0.99843	0.00054
153	CELL_S623_nse59_04	094		46.4	112.6	244.7	0.011136	0.77024		0.99710	0.00061
154	CELL_S623_nse59_05	095		39.5	95.9	210.8	0.009480	0.6557		1.00248	0.00067
155	CELL_S623_nse59_06	096		30.8	74.6	170.5	0.007392	0.51128		0.99994	0.00050
156	CELL_S623_nse59_07	097		25.3	61.2	152.8	0.006072	0.41998		1.00107	0.00052
157	CELL_S623_nse59_08	098		20.3	49.1	133.9	0.004872	0.33698		1.00175	0.00054
158	CELL_S623_nse59_09	099		15.3	37.5	118.5	0.003672	0.25398		0.99948	0.00053
159	CELL_S623_nse59_10	100		11.8	29.0	107.1	0.002832	0.19588		1.00112	0.00055
160	CELL_S623_nse59_11	101	25.212	0.2	0.7	18.9	0.000048	0.00332	1.00193	0.00039	
161	CELL_S623_nse59_12	116	25.212				0.258	0.8	1.00486	0.00060	
162	CELL_S623_nse59_13	117					0.515	0.8	1.00024	0.00046	
163	CELL_S623_nse59_14	119		77.6	180	384	1.040	0.8	0.99246	0.00048	
164	CELL_S623_nse59_15*	120					1.280	0.8	0.99143	0.00039	
165	CELL_S623_nse59_16*	122					1.338	0.8	0.98779	0.00032	

※ CELL_S623_nse59_15、16 においては、推定臨界下限増倍率 0.99153 を下回る実効増倍率となる。

Table 5.1.6.3 MOX 非均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.59、KENO-VI]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験 番号	PuO ₂ 富化度 (wt%)	(Pu+U) 硝酸水溶液 (g/litre)					反射材	中性子実効増倍率			
				Pu	U	NO ₃	Gd	Fe		k _{eff}	σ		
162	S623_keno6_nse59_01	115	25.212	77.6	180.0	375.0	0.018624	1.28816	水	0.99504	0.00057		
163	S623_keno6_nse59_02	091		62.2	151.2	313.7	0.014928	1.03252		0.99205	0.00052		
164	S623_keno6_nse59_03	093		55.3	134.4	288.0	0.013272	0.91798		0.99517	0.00051		
165	S623_keno6_nse59_04	094		46.4	112.6	244.7	0.011136	0.77024		0.99481	0.00057		
166	S623_keno6_nse59_05	095		39.5	95.9	210.8	0.009480	0.6557		0.99841	0.00048		
167	S623_keno6_nse59_06	096		30.8	74.6	170.5	0.007392	0.51128		0.99805	0.00047		
168	S623_keno6_nse59_07	097		25.3	61.2	152.8	0.006072	0.41998		0.99982	0.00069		
169	S623_keno6_nse59_08	098		20.3	49.1	133.9	0.004872	0.33698		1.00023	0.00055		
170	S623_keno6_nse59_09	099		15.3	37.5	118.5	0.003672	0.25398		0.99913	0.00043		
171	S623_keno6_nse59_10	100		11.8	29.0	107.1	0.002832	0.19588		1.00092	0.00042		
172	S623_keno6_nse59_11	101	25.212	0.2	0.7	18.9	0.000048	0.00332	1.00326	0.00053			
173	S623_keno6_nse59_12	116	25.212				0.258	0.8	1.00294	0.00051			
174	S623_keno6_nse59_13	117					0.515	0.8	0.99946	0.00050			
175	S623_keno6_nse59_14	119					77.6	180.0	384.0	1.040	0.8	0.99230	0.00043
176	S623_keno6_nse59_15	120					1.280	0.8	0.99139	0.00038			
177	S623_keno6_nse59_16*	122					1.338	0.8	0.98884	0.00045			

※ S623_keno6_nse59_16 においては、推定臨界下限増倍率 0.99069 を下回る実効増倍率となる。

Table 5.1.6.4 MOX 非均質系 (均質化モデル) の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.59、KENO-VI]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験 番号	PuO ₂ 富化度 (wt%)	(Pu+U) 硝酸水溶液 (g/litre)					反射材	中性子実効増倍率						
				Pu	U	NO ₃	Gd	Fe		k _{eff}	σ					
150	CELL_S623_keno6_nse59_01	115	25.212						水	0.99769	0.00058					
151	CELL_S623_keno6_nse59_02	091								62.2	151.2	313.7	0.014928	1.03252	0.99320	0.00053
152	CELL_S623_keno6_nse59_03	093								55.3	134.4	288.0	0.013272	0.91798	0.99796	0.00077
153	CELL_S623_keno6_nse59_04	094								46.4	112.6	244.7	0.011136	0.77024	0.99761	0.00051
154	CELL_S623_keno6_nse59_05	095								39.5	95.9	210.8	0.009480	0.6557	1.00150	0.00051
155	CELL_S623_keno6_nse59_06	096								30.8	74.6	170.5	0.007392	0.51128	1.00043	0.00053
156	CELL_S623_keno6_nse59_07	097								25.3	61.2	152.8	0.006072	0.41998	1.00149	0.00059
157	CELL_S623_keno6_nse59_08	098								20.3	49.1	133.9	0.004872	0.33698	1.00152	0.00062
158	CELL_S623_keno6_nse59_09	099								15.3	37.5	118.5	0.003672	0.25398	1.00024	0.00052
159	CELL_S623_keno6_nse59_10	100								11.8	29.0	107.1	0.002832	0.19588	1.00169	0.00064
160	CELL_S623_keno6_nse59_11	101	25.212	0.2	0.7	18.9	0.000048	0.00332	1.00186	0.00049						
161	CELL_S623_keno6_nse59_12	116	25.212				0.258	0.8	1.00467	0.00050						
162	CELL_S623_keno6_nse59_13	117					0.515	0.8	1.00032	0.00056						
163	CELL_S623_keno6_nse59_14	119					77.6	180.0	384.0	1.040	0.8	0.99171	0.00043			
164	CELL_S623_keno6_nse59_15	120					1.280	0.8	0.99193	0.00044						
165	CELL_S623_keno6_nse59_16*	122					1.338	0.8	0.98833	0.00045						

※ CELL_S623_keno6_nse59_16 においては、推定臨界下限増倍率 0.99095 を下回る実効増倍率となる。

5.1.7 Nuclear Science and Engineering Vol.62

MOX 非均質系、実験レポート Nuclear Science and Engineering Vol.62¹²⁾ (Nucl.Sci.Eng.Vol.62) の臨界ベンチマーク計算結果を以下の表に示す。

実験レポート名	臨界計算モジュール	表番号
Nucl.Sci.Eng.Vol.62 ¹²⁾	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.1.7.1
Nucl.Sci.Eng.Vol.62 ¹²⁾ 均質化モデル	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.1.7.2
Nucl.Sci.Eng.Vol.62 ¹²⁾	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.1.7.3
Nucl.Sci.Eng.Vol.62 ¹²⁾ 均質化モデル	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.1.7.4

Table 5.1.7.1 MOX 非均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.62、KENO-V.a]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験番号	PuO ₂ 富化度 (wt%)	(Pu+U) 硝酸水溶液 (g/litre)					反射材	中性子実効増倍率	
				Pu	U	NO ₃	Gd	B		k _{eff}	σ
178	S623_nse62_01	141R	25.212	84.5	182.1	296	0.13	0.27	水	0.99677	0.00054
179	S623_nse62_02	142		84.0	183.2	302	0.235	0.6		0.99521	0.00046
180	S623_nse62_03	143		82.7	180.6	308	0.309	0.9		0.99888	0.00046
181	S623_nse62_04	148		81.2	180.0	321	0.424	1.35		1.00380	0.00047
182	S623_nse62_05	149		81.0	180.4	316	0.519	1.5		0.99818	0.00041
183	S623_nse62_06	152		81.0	180.3	318	0.537	1.548		0.99814	0.00046
184	S623_nse62_07	153		80.5	180.5	321	0.541	1.662		1.00214	0.00035

Table 5.1.7.2 MOX 非均質系 (均質化モデル) の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.62、KENO-V.a]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験番号	PuO ₂ 富化度 (wt%)	(Pu+U) 硝酸水溶液 (g/litre)					反射材	中性子実効増倍率	
				Pu	U	NO ₃	Gd	B		k _{eff}	σ
166	CELL_S623_nse62_01	141R	25.212	84.5	182.1	296	0.13	0.27	水	0.99903	0.00050
167	CELL_S623_nse62_02	142		84.0	183.2	302	0.235	0.6		0.99605	0.00049
168	CELL_S623_nse62_03	143		82.7	180.6	308	0.309	0.9		0.99854	0.00041
169	CELL_S623_nse62_04	148		81.2	180.0	321	0.424	1.35		1.00423	0.00038
170	CELL_S623_nse62_05	149		81.0	180.4	316	0.519	1.5		0.99854	0.00053
171	CELL_S623_nse62_06	152		81.0	180.3	318	0.537	1.548		0.99757	0.00042
172	CELL_S623_nse62_07	153		80.5	180.5	321	0.541	1.662		1.00229	0.00040

Table 5.1.7.3 MOX 非均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.62、KENO-VI]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験番号	PuO ₂ 富化度 (wt%)	(Pu+U) 硝酸水溶液 (g/litre)					反射材	中性子実効増倍率	
				Pu	U	NO ₃	Gd	B		k _{eff}	σ
178	S623_keno6_nse62_01	141R	25.212	84.5	182.1	296	0.13	0.27	水	0.99718	0.00053
179	S623_keno6_nse62_02	142		84.0	183.2	302	0.235	0.6		0.99502	0.00047
180	S623_keno6_nse62_03	143		82.7	180.6	308	0.309	0.9		0.99962	0.00044
181	S623_keno6_nse62_04	148		81.2	180.0	321	0.424	1.35		1.00314	0.00046
182	S623_keno6_nse62_05	149		81.0	180.4	316	0.519	1.5		0.99951	0.00035
183	S623_keno6_nse62_06	152		81.0	180.3	318	0.537	1.548		0.99677	0.00052
184	S623_keno6_nse62_07	153		80.5	180.5	321	0.541	1.662		1.00194	0.00044

Table 5.1.7.4 MOX 非均質系（均質化モデル）の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.62、KENO-VI]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験番号	PuO ₂ 富化度 (wt%)	(Pu+U) 硝酸水溶液 (g/litre)					反射材	中性子実効増倍率	
				Pu	U	NO ₃	Gd	B		k _{eff}	σ
166	CELL_S623_keno6_nse62_01	141R	25.212	84.5	182.1	296	0.13	0.27	水	0.99838	0.00066
167	CELL_S623_keno6_nse62_02	142		84.0	183.2	302	0.235	0.6		0.99645	0.00049
168	CELL_S623_keno6_nse62_03	143		82.7	180.6	308	0.309	0.9		0.99928	0.00039
169	CELL_S623_keno6_nse62_04	148		81.2	180.0	321	0.424	1.35		1.00265	0.00038
170	CELL_S623_keno6_nse62_05	149		81.0	180.4	316	0.519	1.5		0.99872	0.00055
171	CELL_S623_keno6_nse62_06	152		81.0	180.3	318	0.537	1.548		0.99698	0.00048
172	CELL_S623_keno6_nse62_07	153		80.5	180.5	321	0.541	1.662		1.00216	0.00041

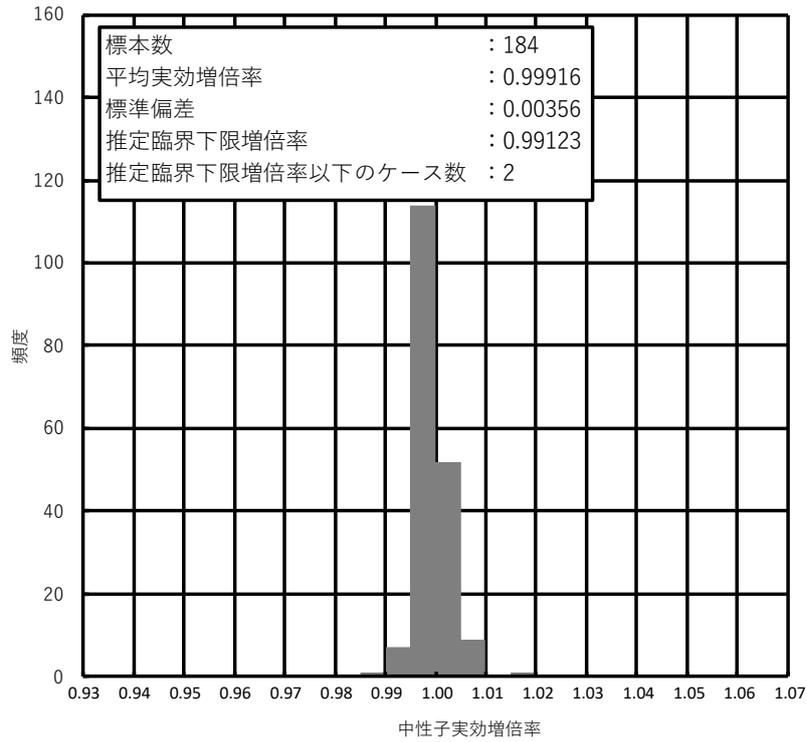


Fig. 5.1.1 MOX 非均質系の臨界計算結果ヒストグラム [KENO-V.a]

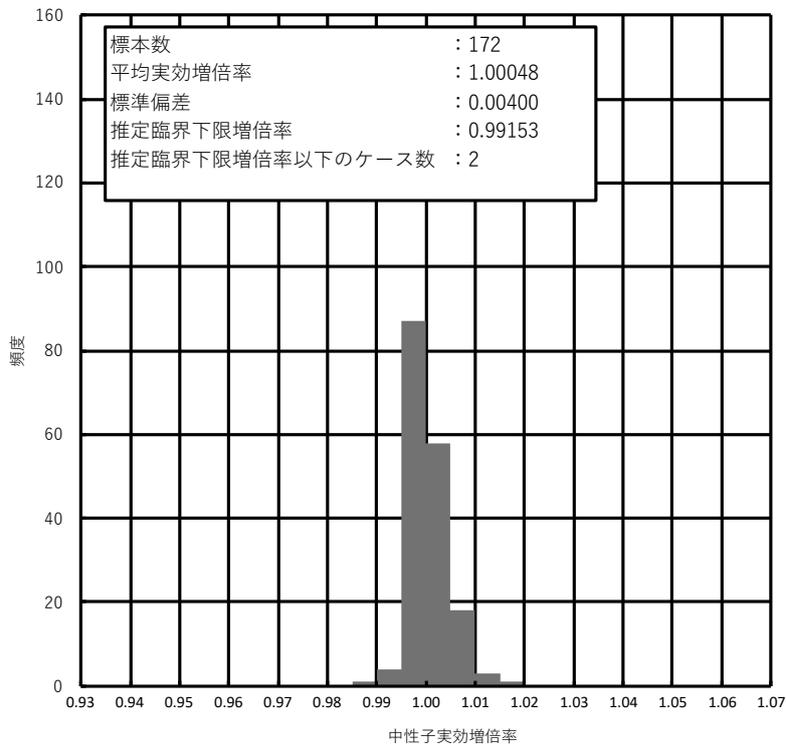


Fig. 5.1.2 MOX 非均質系 (均質化モデル) の臨界計算結果ヒストグラム [KENO-V.a]

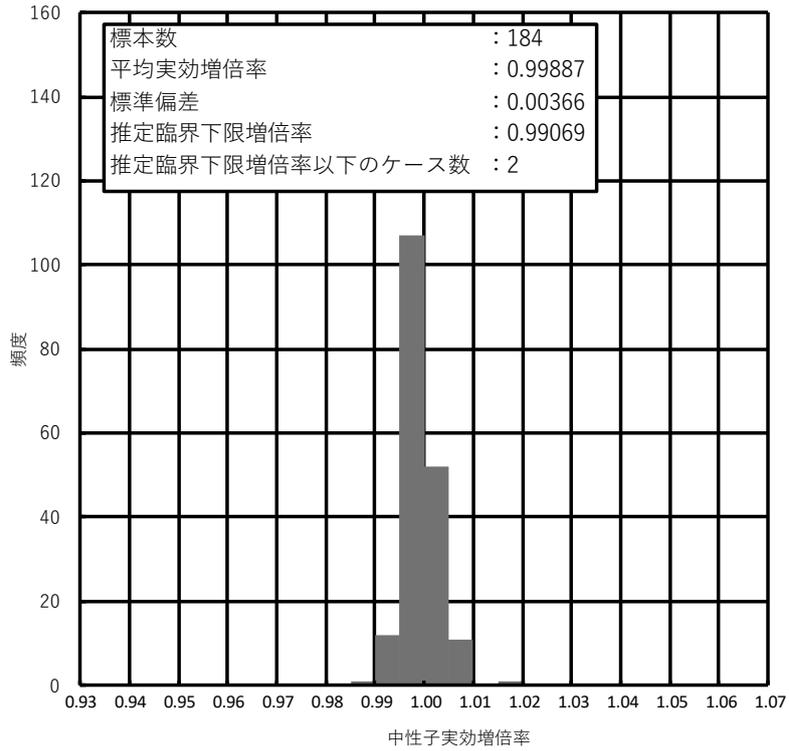


Fig. 5.1.3 MOX 非均質系の臨界計算結果ヒストグラム [KENO-VI]

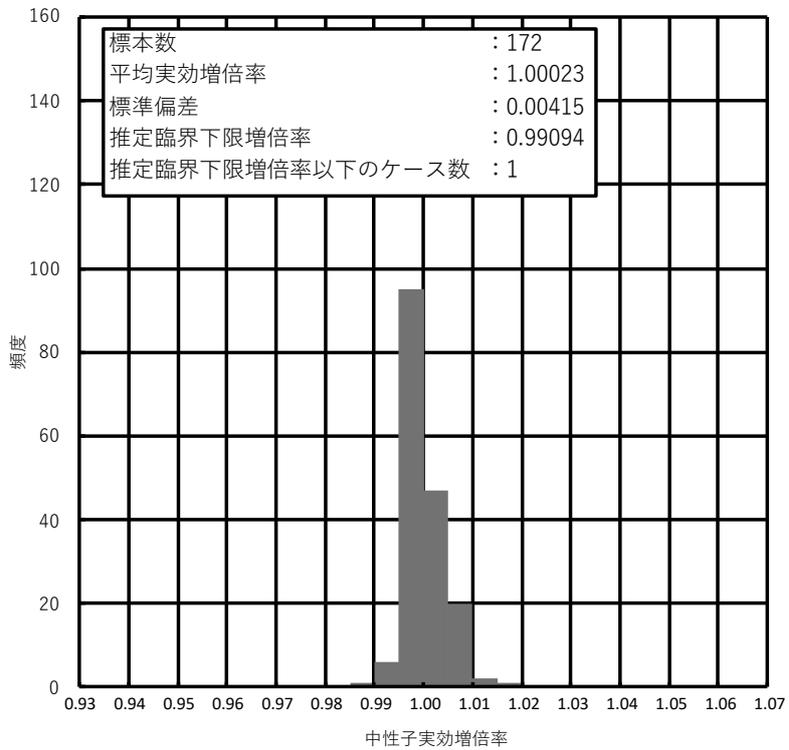


Fig. 5.1.4 MOX 非均質系 (均質化モデル) の臨界計算結果ヒストグラム [KENO-VI]

5.2 MOX 均質系

MOX 均質系の統計処理においては、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.61¹⁷⁾] レポートにおける他のケースと重複するケース (S623_nse61_05) を除いた 46 ケースを対象とする。

各臨界実験レポートと計算ケース名は、以下のように対応する。

実験レポート名	計算ケース名※	ケース数
BNWL-2129 ¹³⁾	S623_bnwl	4 ケース
Nuclear Science and Engineering Vol.50 ¹⁴⁾	S623_nse50	21 ケース
Nuclear Science and Engineering Vol.55 ¹⁵⁾ 16)	S623_nse55	8 ケース
Nuclear Science and Engineering Vol.61 ¹⁷⁾	S623_nse61	13 ケース

※KENO-VIによる計算においては、計算ケース名に“keno6”のキーワードを挿入し、識別している。

MOX 均質系の臨界計算結果の中性子実効増倍率の分布図 (ヒストグラム) を示す。

	ケース数	臨界計算モジュール	図番号
MOX 均質系	46 ケース	CSAS5 (KENO-V.a)	Fig. 5.2.1
MOX 均質系	46 ケース	CSAS5 (KENO-VI)	Fig. 5.2.2

5.2.1 BNWL-2129

MOX 均質系、実験レポート BNWL-2129¹³⁾ の臨界ベンチマーク計算結果を以下の表に示す。

実験レポート名	臨界計算モジュール	表番号
BNWL-2129 ¹³⁾	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.2.1.1
BNWL-2129 ¹³⁾	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.2.1.2

Table 5.2.1.1 MOX 均質系の臨界計算結果 [BNWL-2129、KENO-V.a]

No.	計算ケース (ファイル名)	燃料密度 (g/cm ³)	PuO ₂ 富化度 (wt%)	H/(Pu+U) (atomic)	中性子実効増倍率	
					k _{eff}	σ
1	S623_bnwl_01	1.6159	14.64	30.6	1.01323	0.00054
2	S623_bnwl_02	1.6159	14.64	30.6	1.01404	0.00050
3	S623_bnwl_03	1.6159	14.64	30.6	1.01284	0.00051
4	S623_bnwl_04	4.5303	29.40	2.8	1.01038	0.00044
		1.6159	14.64	30.6		

Table 5.2.1.2 MOX 均質系の臨界計算結果 [BNWL-2129、KENO-VI]

No.	計算ケース (ファイル名)	燃料密度 (g/cm ³)	PuO ₂ 富化度 (wt%)	H/(Pu+U) (atomic)	中性子実効増倍率	
					k _{eff}	σ
1	S623_keno6_bnwl_01	1.6159	14.64	30.6	1.01495	0.00054
2	S623_keno6_bnwl_02	1.6159	14.64	30.6	1.01341	0.00070
3	S623_keno6_bnwl_03	1.6159	14.64	30.6	1.01296	0.00049
4	S623_keno6_bnwl_04	4.5303	29.40	2.8	1.01035	0.00054
		1.6159	14.64	30.6		

5.2.2 Nuclear Science and Engineering Vol.50

MOX 均質系、実験レポート Nuclear Science and Engineering Vol.50¹⁴⁾ (Nucl.Sci.Eng.Vol.50) の臨界ベンチマーク計算結果を以下の表に示す。

実験レポート名	臨界計算モジュール	表番号
Nucl.Sci.Eng.Vol.50 ¹⁴⁾	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.2.2.1
Nucl.Sci.Eng.Vol.50 ¹⁴⁾	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.2.2.2

Table 5.2.2.1 MOX 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.50、KENO-V.a]

No.	計算ケース (ファイル名)	燃料密度 (g/cm ³)	PuO ₂ 富化度 (wt%)	H/(Pu+U) (atomic)	中性子実効増倍率	
					k _{eff}	σ
5	S623_nse50_01	1.4058	30.03	47.4	0.99946	0.00058
6	S623_nse50_02				0.99462	0.00051
7	S623_nse50_03				0.99495	0.00054
8	S623_nse50_04				0.99831	0.00066
9	S623_nse50_05				0.99598	0.00050
10	S623_nse50_06				0.99521	0.00057
11	S623_nse50_07				0.99650	0.00051
12	S623_nse50_08				0.99203	0.00055
13	S623_nse50_09	1.6159	14.64	30.6	1.01074	0.00056
14	S623_nse50_10				1.00764	0.00047
15	S623_nse50_11				1.00636	0.00055
16	S623_nse50_12				1.00396	0.00069
17	S623_nse50_13				1.00366	0.00062
18	S623_nse50_14				1.00706	0.00057
19	S623_nse50_15	1.3931	7.90	51.8	1.01749	0.00062
20	S623_nse50_16				1.01481	0.00044
21	S623_nse50_17				1.01805	0.00049
22	S623_nse50_18				1.01737	0.00051
23	S623_nse50_19				1.01829	0.00054
24	S623_nse50_20				1.02301	0.00071
25	S623_nse50_21				1.02185	0.00047

Table 5.2.2.2 MOX 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.50、KENO-VI]

No.	計算ケース (ファイル名)	燃料密度 (g/cm ³)	PuO ₂ 富化度 (wt%)	H/(Pu+U) (atomic)	中性子実効増倍率	
					k _{eff}	σ
5	S623_keno6_nse50_01	1.4058	30.03	47.4	0.99991	0.00060
6	S623_keno6_nse50_02				0.99568	0.00069
7	S623_keno6_nse50_03				0.99475	0.00056
8	S623_keno6_nse50_04				0.99884	0.00051
9	S623_keno6_nse50_05				0.99545	0.00048
10	S623_keno6_nse50_06				0.99531	0.00050
11	S623_keno6_nse50_07				0.99694	0.00052
12	S623_keno6_nse50_08				0.99264	0.00053
13	S623_keno6_nse50_09	1.6159	14.64	30.6	1.00964	0.00049
14	S623_keno6_nse50_10				1.00812	0.00053
15	S623_keno6_nse50_11				1.00624	0.00050
16	S623_keno6_nse50_12				1.00413	0.00048
17	S623_keno6_nse50_13				1.00409	0.00064
18	S623_keno6_nse50_14				1.00686	0.00048
19	S623_keno6_nse50_15	1.3931	7.90	51.8	1.01680	0.00054
20	S623_keno6_nse50_16				1.01570	0.00065
21	S623_keno6_nse50_17				1.01761	0.00055
22	S623_keno6_nse50_18				1.01684	0.00055
23	S623_keno6_nse50_19				1.01824	0.00047
24	S623_keno6_nse50_20				1.02437	0.00045
25	S623_keno6_nse50_21				1.02162	0.00048

5.2.3 Nuclear Science and Engineering Vol.55

MOX 均質系、実験レポート Nuclear Science and Engineering Vol.55¹⁵⁾ 16) (Nucl.Sci.Eng.Vol.55) の臨界ベンチマーク計算結果を以下の表に示す。

実験レポート名	臨界計算モジュール	表番号
Nucl.Sci.Eng.Vol.50 ¹⁵⁾ 16)	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.2.3.1
Nucl.Sci.Eng.Vol.50 ¹⁵⁾ 16)	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.2.3.2

Table 5.2.3.1 MOX 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.55、KENO-V.a]

No.	計算ケース (ファイル名)	燃料密度 (g/cm ³)	PuO ₂ 富化度 (wt%)	H/(Pu+U) (atomic)	中性子実効増倍率	
					k _{eff}	σ
26	S623_nse55_01	1.8845	7.74	19.5	0.97017	0.00041
27	S623_nse55_02				0.97213	0.00046
28	S623_nse55_03				0.96900	0.00045
29	S623_nse55_04				0.97038	0.00047
30	S623_nse55_05				0.97194	0.00051
31	S623_nse55_06				0.97170	0.00050
32	S623_nse55_07	1.6159	14.64	30.6	1.01095	0.00055
33	S623_nse55_08	4.5303	29.40	2.8	1.00253	0.00045

Table 5.2.3.2 MOX 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.55、KENO-VI]

No.	計算ケース (ファイル名)	燃料密度 (g/cm ³)	PuO ₂ 富化度 (wt%)	H/(Pu+U) (atomic)	中性子実効増倍率	
					k _{eff}	σ
26	S623_keno6_nse55_01	1.8845	7.74	19.5	0.96941	0.00045
27	S623_keno6_nse55_02				0.97123	0.00055
28	S623_keno6_nse55_03				0.96910	0.00064
29	S623_keno6_nse55_04				0.97147	0.00047
30	S623_keno6_nse55_05				0.97084	0.00053
31	S623_keno6_nse55_06				0.97183	0.00052
32	S623_keno6_nse55_07	1.6159	14.64	30.6	1.00964	0.00049
33	S623_keno6_nse55_08	4.5303	29.40	2.8	1.00238	0.00046

5.2.4 Nuclear Science and Engineering Vol.61

MOX 均質系、実験レポート Nuclear Science and Engineering Vol.61¹⁷⁾ (Nucl.Sci.Eng.Vol.61) の臨界ベンチマーク計算結果を以下の表に示す。

実験レポート名	臨界計算モジュール	表番号
Nucl.Sci.Eng.Vol.61 ¹⁷⁾	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.2.4.1
Nucl.Sci.Eng.Vol.61 ¹⁷⁾	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.2.4.2

Table 5.2.4.1 MOX 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.61、KENO-V.a]

No.	計算ケース (ファイル名)	燃料密度 (g/cm ³)	PuO ₂ 富化度 (wt%)	H/(Pu+U) (atomic)	中性子実効増倍率	
					k _{eff}	σ
34	S623_nse61_01	4.5303	29.40	2.8	0.99853	0.00049
35	S623_nse61_02				0.99580	0.00041
36	S623_nse61_03				1.00255	0.00040
37	S623_nse61_04				0.99290	0.00039
	S623_nse61_05*				0.99290	0.00039
38	S623_nse61_06				0.99032	0.00050
39	S623_nse61_07				0.99848	0.00043
40	S623_nse61_08				0.99329	0.00042
41	S623_nse61_09				0.99749	0.00044
42	S623_nse61_10				4.5736	14.90
43	S623_nse61_11	3.0724	8.16	7.3	1.00489	0.00044
44	S623_nse61_12				1.00318	0.00042
45	S623_nse61_13				1.00446	0.00051
46	S623_nse61_14				1.00524	0.00046

*S623_nse61_05 は、S623_nse61_04 と重複する計算モデルとなるため、本計算では評価対象外とする。

Table 5.2.4.2 MOX 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.61、KENO-VI]

No.	計算ケース (ファイル名)	燃料密度 (g/cm ³)	PuO ₂ 富化度 (wt%)	H/(Pu+U) (atomic)	中性子実効増倍率	
					k _{eff}	σ
34	S623_keno6_nse61_01	4.5303	29.40	2.8	0.99774	0.00047
35	S623_keno6_nse61_02				0.99601	0.00043
36	S623_keno6_nse61_03				1.00324	0.00043
37	S623_keno6_nse61_04				0.99259	0.00045
	S623_keno6_nse61_05*				0.99259	0.00045
38	S623_keno6_nse61_06				0.99224	0.00045
39	S623_keno6_nse61_07				0.99897	0.00043
40	S623_keno6_nse61_08				0.99379	0.00042
41	S623_keno6_nse61_09				0.99634	0.00044
42	S623_keno6_nse61_10				4.5736	14.90
43	S623_keno6_nse61_11	3.0724	8.16	7.3	1.00378	0.00062
44	S623_keno6_nse61_12				1.00437	0.00053
45	S623_keno6_nse61_13				1.00671	0.00050
46	S623_keno6_nse61_14				1.00506	0.00066

*S623_keno6_nse61_05 は、S623_keno6_nse61_04 と重複する計算モデルとなるため、本計算では評価対象外とする。

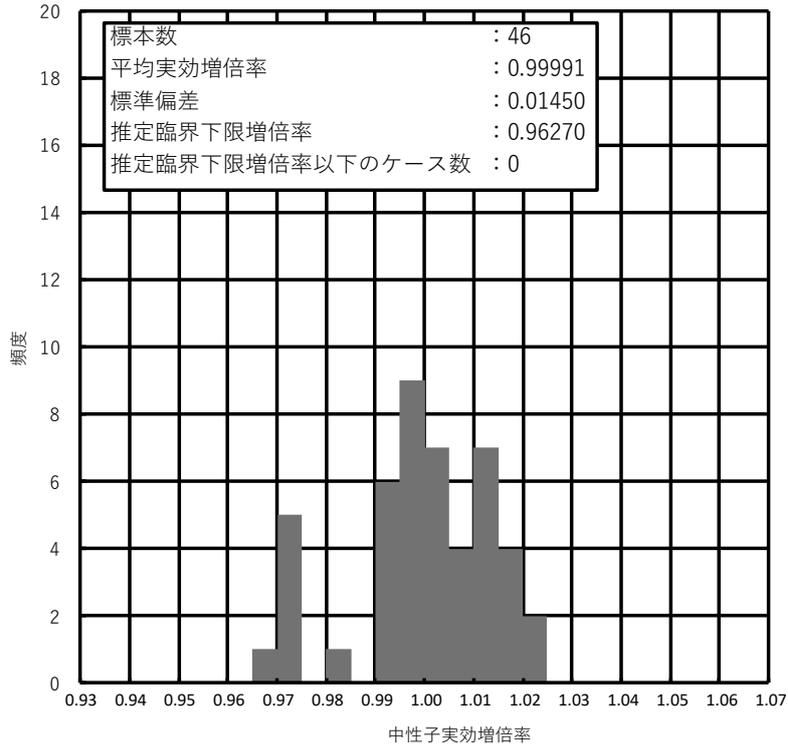


Fig. 5.2.1 MOX 均質系の臨界計算結果のヒストグラム [KENO-V.a]

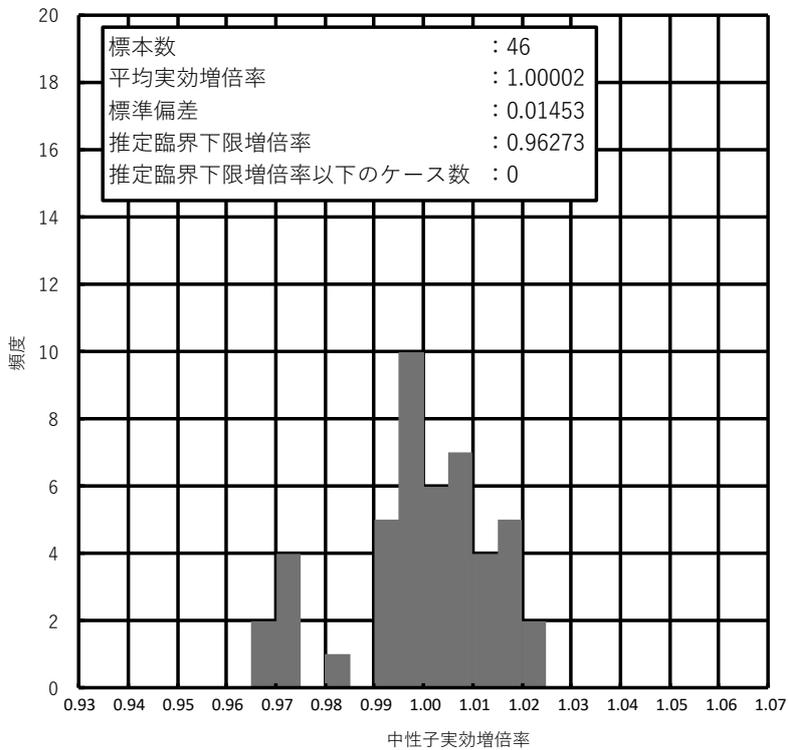


Fig. 5.2.2 MOX 均質系の臨界計算結果のヒストグラム [KENO-VI]

5.3 (Pu+U)均質系

(Pu+U)均質系の統計処理においては、全44ケースを対象とする。
各臨界実験レポートと計算ケース名は、以下のように対応する。

実験レポート名	計算ケース名※	ケース数
PNL-5768 ¹⁸⁾	S623_pnl5768	10 ケース
PNL-6327 ¹⁹⁾	S623_pnl6327	16 ケース
PNL-6451 ²⁰⁾	S623_pnl6451	13 ケース
PNL-6119 ²¹⁾	S623_pnl6119	5 ケース

※KENO-VIによる計算においては、計算ケース名に“keno6”のキーワードを挿入し、識別している。

(Pu+U)均質系の臨界計算結果の中性子実効増倍率の分布図（ヒストグラム）を示す。

	ケース数	臨界計算モジュール	図番号
(Pu+U)均質系	44 ケース	CSAS5 (KENO-V.a)	Fig. 5.3.1
(Pu+U)均質系	44 ケース	CSAS5 (KENO-VI)	Fig. 5.3.2

5.3.1 PNL-5768

(Pu+U)均質系、実験レポート PNL-5768¹⁸⁾ の臨界ベンチマーク計算結果を以下の表に示す。

実験レポート名	臨界計算モジュール	表番号
PNL-5768 ¹⁸⁾	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.3.1.1
PNL-5768 ¹⁸⁾	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.3.1.2

Table 5.3.1.1 (Pu+U)均質系の臨界計算結果 [PNL-5768、KENO-V.a]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験番号	形状	Pu 富化度 (wt%)	溶液密度 (g/cm ³)	反射材	中性子実効増倍率	
							k _{eff}	σ
1	S623_pnl5768_01	046	円筒状容器	52.770	1.1968	水	0.99538	0.00054
2	S623_pnl5768_02	046R		52.770	1.1968	水	0.99755	0.00055
3	S623_pnl5768_03	047		52.501	1.1977	コンクリート	0.99565	0.00046
4	S623_pnl5768_04	051		52.817	1.1978	無 (空気)	0.99072	0.00072
5	S623_pnl5768_05	049a	平板状容器	52.502	1.5316	無 (空気)	0.98396	0.00053
6	S623_pnl5768_06	050		52.574	1.5329	無 (空気)	0.98311	0.00061
7	S623_pnl5768_07	054		52.320	1.3714	水	0.98836	0.00054
8	S623_pnl5768_08	055		52.316	1.1944	水	0.99751	0.00055
9	S623_pnl5768_09	056		52.352	1.1954	無 (空気)	0.99280	0.00052
10	S623_pnl5768_10	056a		52.352	1.1954	無 (空気)	0.99315	0.00056

Table 5.3.1.2 (Pu+U)均質系の臨界計算結果 [PNL-5768、KENO-VI]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験番号	形状	Pu 富化度 (wt%)	溶液密度 (g/cm ³)	反射材	中性子実効増倍率	
							k _{eff}	σ
1	S623_keno6_pnl5768_01	046	円筒状容器	52.770	1.1968	水	0.99538	0.00061
2	S623_keno6_pnl5768_02	046R		52.770	1.1968	水	0.99732	0.00063
3	S623_keno6_pnl5768_03	047		52.501	1.1977	コンクリート	0.99604	0.00056
4	S623_keno6_pnl5768_04	051		52.817	1.1978	無 (空気)	0.98987	0.00060
5	S623_keno6_pnl5768_05	049a	平板状容器	52.502	1.5316	無 (空気)	0.98394	0.00056
6	S623_keno6_pnl5768_06	050		52.574	1.5329	無 (空気)	0.98385	0.00054
7	S623_keno6_pnl5768_07	054		52.320	1.3714	水	0.98790	0.00053
8	S623_keno6_pnl5768_08	055		52.316	1.1944	水	0.99807	0.00047
9	S623_keno6_pnl5768_09	056		52.352	1.1954	無 (空気)	0.99238	0.00064
10	S623_keno6_pnl5768_10	056a		52.352	1.1954	無 (空気)	0.99237	0.00073

5.3.2 PNL-6327

(Pu+U)均質系、実験レポート PNL-6327¹⁹⁾ の臨界ベンチマーク計算結果を以下の表に示す。

実験レポート名	臨界計算モジュール	表番号
PNL-6327 ¹⁹⁾	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.3.2.1
PNL-6327 ¹⁹⁾	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.3.2.2

Table 5.3.2.1 (Pu+U)均質系の臨界計算結果 [PNL-6327、KENO-V.a]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験番号	形状	Pu 富化度 (wt%)	溶液密度 (g/cm ³)	反射材	中性子実効増倍率	
							k _{eff}	σ
11	S623_pnl6327_01	065	円筒状容器	39.678	1.1749	無 (空気)	0.99115	0.00077
12	S623_pnl6327_02	066		水	0.99167	0.00046		
13	S623_pnl6327_03	067		コンクリート	0.99881	0.00056		
14	S623_pnl6327_04	068		コンクリート	1.00770	0.00061		
15	S623_pnl6327_05	069		水	0.99842	0.00059		
16	S623_pnl6327_06	070		無 (空気)	0.99697	0.00053		
17	S623_pnl6327_07	077		無 (空気)	1.00027	0.00062		
18	S623_pnl6327_08	078		水	0.99951	0.00052		
19	S623_pnl6327_09	083		コンクリート	1.00105	0.00063		
20	S623_pnl6327_10	063	平板状容器	39.500	1.1725	無 (空気)	0.98613	0.00069
21	S623_pnl6327_11	064		水	0.99442	0.00058		
22	S623_pnl6327_12	071		水	1.00390	0.00049		
23	S623_pnl6327_13	072		水	1.00149	0.00056		
24	S623_pnl6327_14	074		無 (空気)	0.98668	0.00064		
25	S623_pnl6327_15	075		無 (空気)	0.98611	0.00048		
26	S623_pnl6327_16	076		水	0.99954	0.00053		

Table 5.3.2.2 (Pu+U)均質系の臨界計算結果 [PNL-6327、KENO-VI]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験番号	形状	Pu 富化度 (wt%)	溶液密度 (g/cm ³)	反射材	中性子実効増倍率	
							k _{eff}	σ
11	S623_keno6_pnl6327_01	065	円筒状容器	39.678	1.1749	無 (空気)	0.99100	0.00059
12	S623_keno6_pnl6327_02	066		水	0.99250	0.00046		
13	S623_keno6_pnl6327_03	067		コンクリート	0.99945	0.00054		
14	S623_keno6_pnl6327_04	068		コンクリート	1.00726	0.00053		
15	S623_keno6_pnl6327_05	069		水	0.99855	0.00055		
16	S623_keno6_pnl6327_06	070		無 (空気)	0.99756	0.00051		
17	S623_keno6_pnl6327_07	077		無 (空気)	0.99908	0.00059		
18	S623_keno6_pnl6327_08	078		水	0.99910	0.00058		
19	S623_keno6_pnl6327_09	083		コンクリート	1.00206	0.00061		
20	S623_keno6_pnl6327_10	063	平板状容器	39.500	1.1725	無 (空気)	0.98472	0.00058
21	S623_keno6_pnl6327_11	064		水	0.99440	0.00055		
22	S623_keno6_pnl6327_12	071		水	1.00398	0.00050		
23	S623_keno6_pnl6327_13	072		水	1.00039	0.00055		
24	S623_keno6_pnl6327_14	074		無 (空気)	0.98690	0.00051		
25	S623_keno6_pnl6327_15	075		無 (空気)	0.98718	0.00060		
26	S623_keno6_pnl6327_16	076		水	1.00015	0.00046		

5.3.3 PNL-6451

(Pu+U)均質系、実験レポート PNL-6451²⁰⁾ の臨界ベンチマーク計算結果を以下の表に示す。

実験レポート名	臨界計算モジュール	表番号
PNL-6451 ²⁰⁾	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.3.3.1
PNL-6451 ²⁰⁾	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.3.3.2

Table 5.3.3.1 (Pu+U)均質系の臨界計算結果 [PNL-6451、KENO-V.a]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験 番号	形状	Pu 富化度 (wt%)	溶液密度 (g/cm ³)	中性子 吸収材	ボトル 内溶液	反射材	中性子実効増倍率	
									k _{eff}	σ
27	S623_pnl6451_01	087	円環状 容器	21.864	1.6803	コンクリート	—	水	0.99165	0.00057
28	S623_pnl6451_02	087S		21.962	1.6780	コンクリート	—		0.99114	0.00057
29	S623_pnl6451_03	091		22.133	1.6776	コンクリート	B-2 ^{※1}		0.99217	0.00047
30	S623_pnl6451_04	092		22.163	1.6953	コンクリート	B-2 ^{※1}		0.99668	0.00057
31	S623_pnl6451_05	093		22.137	1.7034	コンクリート	B-2 ^{※1}		0.99662	0.00049
32	S623_pnl6451_06	094		22.156	1.7040	なし	B-2 ^{※1}		1.00139	0.00050
33	S623_pnl6451_07	095		96.784	1.4390	コンクリート	B-3 ^{※2}		0.99853	0.00052
34	S623_pnl6451_08	096		96.665	1.2598	コンクリート	B-3 ^{※2}		0.99726	0.00059
35	S623_pnl6451_09	097		96.205	1.1467	コンクリート	B-3 ^{※2}		0.99463	0.00056
36	S623_pnl6451_10	098		22.726	1.4739	コンクリート	B-2 ^{※1}		0.99465	0.00048
37	S623_pnl6451_11	099		22.733	1.4788	ポリエチレン	B-2 ^{※1}		1.00519	0.00051
38	S623_pnl6451_12	100		22.784	1.4828	ポリエチレン	—		1.00632	0.00046
39	S623_pnl6451_13	108		22.548	1.3134	コンクリート	B-2 ^{※1}		0.99128	0.00054

※1 内側円筒形状容器 (ボトル) 内硝酸数溶液 B-2 Pu 富化度：22.149wt%

※2 内側円筒形状容器 (ボトル) 内硝酸数溶液 B-3 Pu 富化度：97.450wt%

Table 5.3.3.2 (Pu+U)均質系の臨界計算結果 [PNL-6451、KENO-VI]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験 番号	形状	Pu 富化度 (wt%)	溶液密度 (g/cm ³)	中性子 吸収材	ボトル 内溶液	反射材	中性子実効増倍率	
									k _{eff}	σ
27	S623_keno6_pnl6451_01	087	円環状 容器	21.864	1.6803	コンクリート	—	水	0.99265	0.00055
28	S623_keno6_pnl6451_02	087S		21.962	1.6780	コンクリート	—		0.99208	0.00047
29	S623_keno6_pnl6451_03	091		22.133	1.6776	コンクリート	B-2 ^{※1}		0.99231	0.00048
30	S623_keno6_pnl6451_04	092		22.163	1.6953	コンクリート	B-2 ^{※1}		0.99520	0.00053
31	S623_keno6_pnl6451_05	093		22.137	1.7034	コンクリート	B-2 ^{※1}		0.99632	0.00066
32	S623_keno6_pnl6451_06	094		22.156	1.7040	なし	B-2 ^{※1}		1.00143	0.00066
33	S623_keno6_pnl6451_07	095		96.784	1.4390	コンクリート	B-3 ^{※2}		0.99829	0.00058
34	S623_keno6_pnl6451_08	096		96.665	1.2598	コンクリート	B-3 ^{※2}		0.99593	0.00069
35	S623_keno6_pnl6451_09	097		96.205	1.1467	コンクリート	B-3 ^{※2}		0.99457	0.00051
36	S623_keno6_pnl6451_10	098		22.726	1.4739	コンクリート	B-2 ^{※1}		0.99498	0.00048
37	S623_keno6_pnl6451_11	099		22.733	1.4788	ポリエチレン	B-2 ^{※1}		1.00557	0.00051
38	S623_keno6_pnl6451_12	100		22.784	1.4828	ポリエチレン	—		1.00669	0.00049
39	S623_keno6_pnl6451_13	108		22.548	1.3134	コンクリート	B-2 ^{※1}		0.99098	0.00052

※1 内側円筒形状容器 (ボトル) 内硝酸数溶液 B-2 Pu 富化度：22.149wt%

※2 内側円筒形状容器 (ボトル) 内硝酸数溶液 B-3 Pu 富化度：97.450wt%

5.3.4 PNL-6119

(Pu+U)均質系、実験レポート PNL-6119²¹⁾ の臨界ベンチマーク計算結果を以下の表に示す。

実験レポート名	臨界計算モジュール	表番号
PNL-6119 ²¹⁾	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.3.4.1
PNL-6119 ²¹⁾	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.3.4.2

Table 5.3.4.1 (Pu+U)均質系の臨界計算結果 [PNL-6119、KENO-V.a]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験 番号	形状	Pu 富化度 (wt%)	溶液密度 (g/cm ³)	中性子 吸収材	ボトル 内溶液	反射材	中性子実効増倍率	
									k _{eff}	σ
40	S623_pnl6119_01	052	円環状 容器	52.460	1.5295	コンクリート	B-1*	水	0.99338	0.00055
41	S623_pnl6119_02	052R		52.460	1.5295	コンクリート	B-1*		0.99154	0.00063
42	S623_pnl6119_03	053		52.424	1.3569	コンクリート	B-1*		0.99276	0.00048
43	S623_pnl6119_04	057		52.184	1.1957	コンクリート	B-1*		0.98793	0.00049
44	S623_pnl6119_05	062		52.207	1.6752	コンクリート	B-1*		0.98243	0.00048

※ 内側円筒形状容器 (ボトル) 内硝酸数溶液 B-1 Pu 富化度 : 52.393wt%

Table 5.3.4.2 (Pu+U)均質系の臨界計算結果 [PNL-6119、KENO-VI]

No.	計算ケース (ファイル名)	実験 番号	形状	Pu 富化度 (wt%)	溶液密度 (g/cm ³)	中性子 吸収材	ボトル 内溶液	反射材	中性子実効増倍率	
									k _{eff}	σ
40	S623_keno6_pnl6119_01	052	円環状 容器	52.460	1.5295	コンクリート	B-1*	水	0.99256	0.00048
41	S623_keno6_pnl6119_02	052R		52.460	1.5295	コンクリート	B-1*		0.99110	0.00051
42	S623_keno6_pnl6119_03	053		52.424	1.3569	コンクリート	B-1*		0.99181	0.00053
43	S623_keno6_pnl6119_04	057		52.184	1.1957	コンクリート	B-1*		0.98732	0.00053
44	S623_keno6_pnl6119_05	062		52.207	1.6752	コンクリート	B-1*		0.98292	0.00051

※ 内側円筒形状容器 (ボトル) 内硝酸数溶液 B-1 Pu 富化度 : 52.393wt%

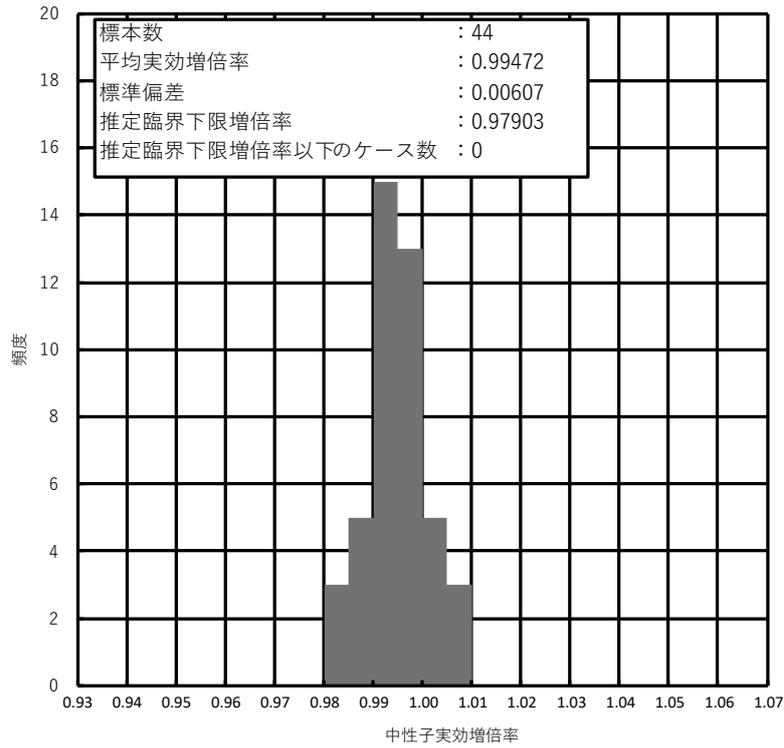


Fig. 5.3.1 (Pu+U)均質系の臨界計算結果のヒストグラム [KENO-V.a]

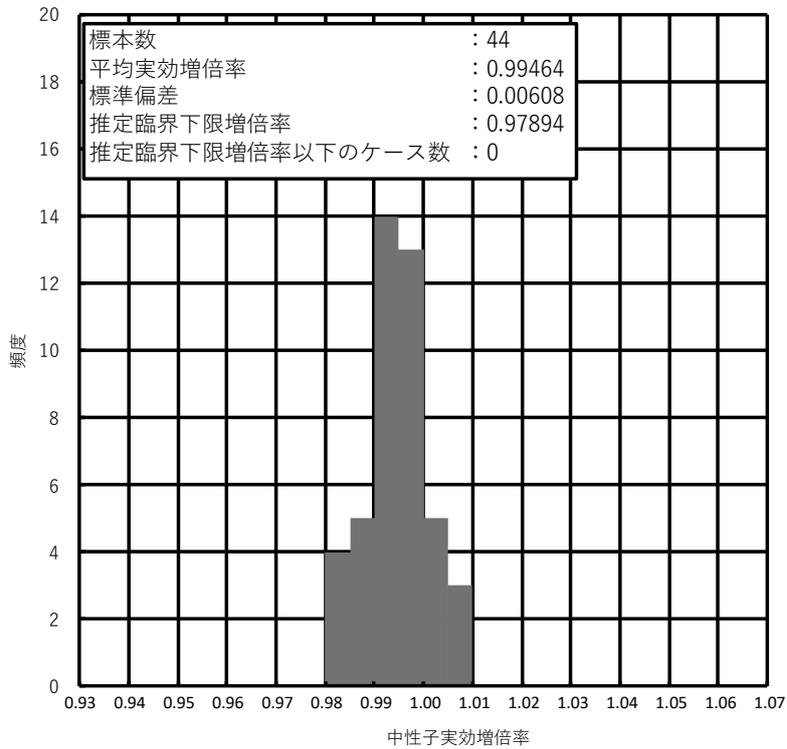


Fig. 5.3.2 (Pu+U)均質系の臨界計算結果のヒストグラム [KENO-VI]

5.4 PuO₂均質系

PuO₂均質系の統計処理においては、全16ケースを対象とする。

各臨界実験レポートと計算ケース名は、以下のように対応する。

実験レポート名	計算ケース名※	ケース数
Nuclear Applications Vol.6 ²²⁾	S623_na6	4 ケース
Nuclear Technology Vol.11 ²³⁾	S623_nt11	5 ケース
Nuclear Technology Vol.15 ²⁴⁾	S623_nt15	7 ケース

※KENO-VIによる計算においては、計算ケース名に“keno6”のキーワードを挿入し、識別している。

PuO₂均質系の臨界計算結果の中性子実効増倍率の分布図（ヒストグラム）を示す。

	ケース数	臨界計算モジュール	図番号
PuO ₂ 均質系	16 ケース	CSAS5 (KENO-V.a)	Fig. 5.4.1
PuO ₂ 均質系	16 ケース	CSAS5 (KENO-VI)	Fig. 5.4.2

5.4.1 Nuclear Applications Vol.6

PuO₂均質系、実験レポート Nuclear Applications Vol.6²²⁾ (Nucl.App.Vol.6) の臨界ベンチマーク計算結果を以下の表に示す。

実験レポート名	臨界計算モジュール	表番号
Nucl.App.Vol.6 ²²⁾	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.4.1.1
Nucl.App.Vol.6 ²²⁾	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.4.1.2

Table 5.4.1.1 PuO₂均質系の臨界計算結果 [Nucl.App.Vol.6、KENO-V.a]

No.	計算ケース (ファイル名)	Pu-240 (wt%)	密度 (g/cm ³)	H/Pu (atomic)	反射材	中性子実効増倍率	
						k _{eff}	σ
1	S623_na6_01	11.47	3.2418 (2.3027) ※	5.037	プレキシガラス	1.02292	0.00048
2	S623_na6_02					1.01662	0.00048
3	S623_na6_03					1.01948	0.00054
4	S623_na6_04					1.01324	0.00046

※ 括弧内は、プルトニウム密度 (gPu/cm³)

Table 5.4.1.2 PuO₂均質系の臨界計算結果 [Nucl.App.Vol.6、KENO-VI]

No.	計算ケース (ファイル名)	Pu-240 (wt%)	密度 (g/cm ³)	H/Pu (atomic)	反射材	中性子実効増倍率	
						k _{eff}	σ
1	S623_keno6_na6_01	11.47	3.2418 (2.3027) ※	5.037	プレキシガラス	1.02263	0.00054
2	S623_keno6_na6_02					1.01635	0.00047
3	S623_keno6_na6_03					1.01899	0.00051
4	S623_keno6_na6_04					1.01509	0.00050

※ 括弧内は、プルトニウム密度 (gPu/cm³)

5.4.2 Nuclear Technology Vol.11

PuO₂均質系、実験レポート Nuclear Technology Vol.11²³⁾ (Nucl.Tech.Vol.11) の臨界ベンチマーク計算結果を以下の表に示す。

実験レポート名	臨界計算モジュール	表番号
Nucl.Tech.Vol.11 ²³⁾	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.4.2.1
Nucl.Tech.Vol.11 ²³⁾	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.4.2.2

Table 5.4.2.1 PuO₂均質系の臨界計算結果 [Nucl.Tech.Vol.11、KENO-V.a]

No.	計算ケース (ファイル名)	Pu-240 (wt%)	密度 (g/cm ³)	H/Pu (atomic)	反射材	中性子実効増倍率	
						k _{eff}	σ
5	S623_nt11_01	18.35	6.5827 (5.7612) ※	0.038	プレキシガラス	1.02706	0.00049
6	S623_nt11_02					1.00667	0.00053
7	S623_nt11_03					1.00183	0.00054
8	S623_nt11_04					1.00284	0.00043
9	S623_nt11_05					1.02301	0.00049

※ 括弧内は、プルトニウム密度 (gPu/cm³)

Table 5.4.2.2 PuO₂均質系の臨界計算結果 [Nucl.Tech.Vol.11、KENO-VI]

No.	計算ケース (ファイル名)	Pu-240 (wt%)	密度 (g/cm ³)	H/Pu (atomic)	反射材	中性子実効増倍率	
						k _{eff}	σ
5	S623_keno6_nt11_01	18.35	6.5827 (5.7612) ※	0.038	プレキシガラス	1.02815	0.00068
6	S623_keno6_nt11_02					1.00597	0.00058
7	S623_keno6_nt11_03					1.00157	0.00060
8	S623_keno6_nt11_04					1.00267	0.00052
9	S623_keno6_nt11_05					1.02390	0.00056

※ 括弧内は、プルトニウム密度 (gPu/cm³)

5.4.3 Nuclear Technology Vol.15

PuO₂均質系、実験レポート Nuclear Technology Vol.15²⁴⁾ (Nucl.Tech.Vol.15) の臨界ベンチマーク計算結果を以下の表に示す。

実験レポート名	臨界計算モジュール	表番号
Nucl.Tech.Vol.15 ²⁴⁾	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.4.3.1
Nucl.Tech.Vol.15 ²⁴⁾	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.4.3.2

Table 5.4.3.1 PuO₂均質系の臨界計算結果 [Nucl.Tech.Vol.15、KENO-V.a]

No.	計算ケース (ファイル名)	Pu-240 (wt%)	密度 (g/cm ³)	H/Pu (atomic)	反射材	中性子実効増倍率	
						k _{eff}	σ
10	S623_nt15_01	18.36	1.3993 (0.3692) ※	49.236	プレキシガラス	1.00768	0.00066
11	S623_nt15_02					1.00667	0.00048
12	S623_nt15_03					1.00464	0.00046
13	S623_nt15_04					1.00829	0.00054
14	S623_nt15_05					0.99006	0.00057
15	S623_nt15_06					1.00409	0.00051
16	S623_nt15_07					1.00717	0.00061

※ 括弧内は、プルトニウム密度 (gPu/cm³)

Table 5.4.3.2 PuO₂均質系の臨界計算結果 [Nucl.Tech.Vol.15、KENO-VI]

No.	計算ケース (ファイル名)	Pu-240 (wt%)	密度 (g/cm ³)	H/Pu (atomic)	反射材	中性子実効増倍率	
						k _{eff}	σ
10	S623_keno6_nt15_01	18.36	1.3993 (0.3692) ※	49.236	プレキシガラス	1.00745	0.00051
11	S623_keno6_nt15_02					1.00644	0.00045
12	S623_keno6_nt15_03					1.00509	0.00045
13	S623_keno6_nt15_04					1.00813	0.00052
14	S623_keno6_nt15_05					0.99053	0.00056
15	S623_keno6_nt15_06					1.00552	0.00061
16	S623_keno6_nt15_07					1.00671	0.00062

※ 括弧内は、プルトニウム密度 (gPu/cm³)

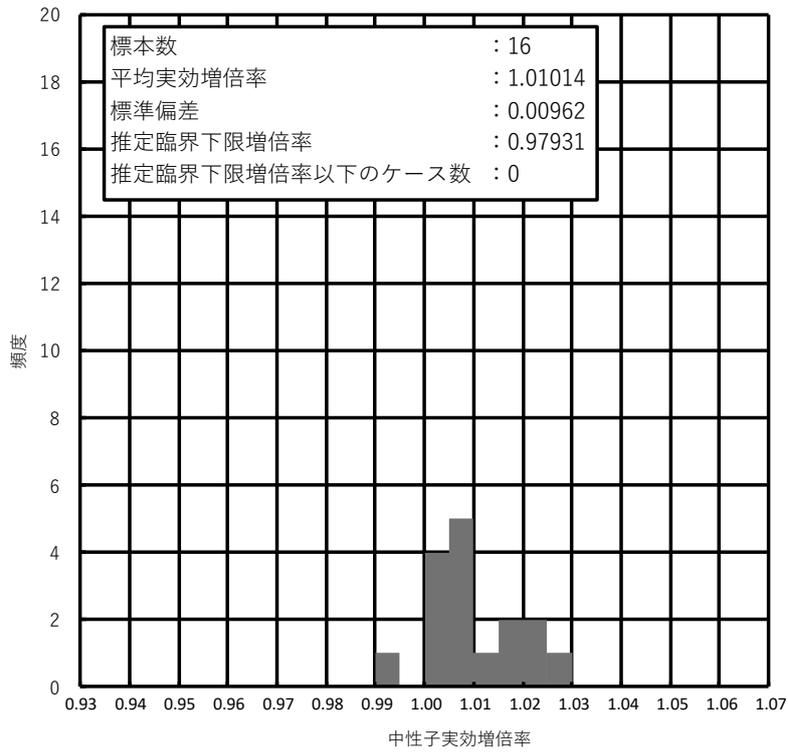


Fig. 5.4.1 PuO₂ 均質系の臨界計算結果のヒストグラム [KENO-V.a]

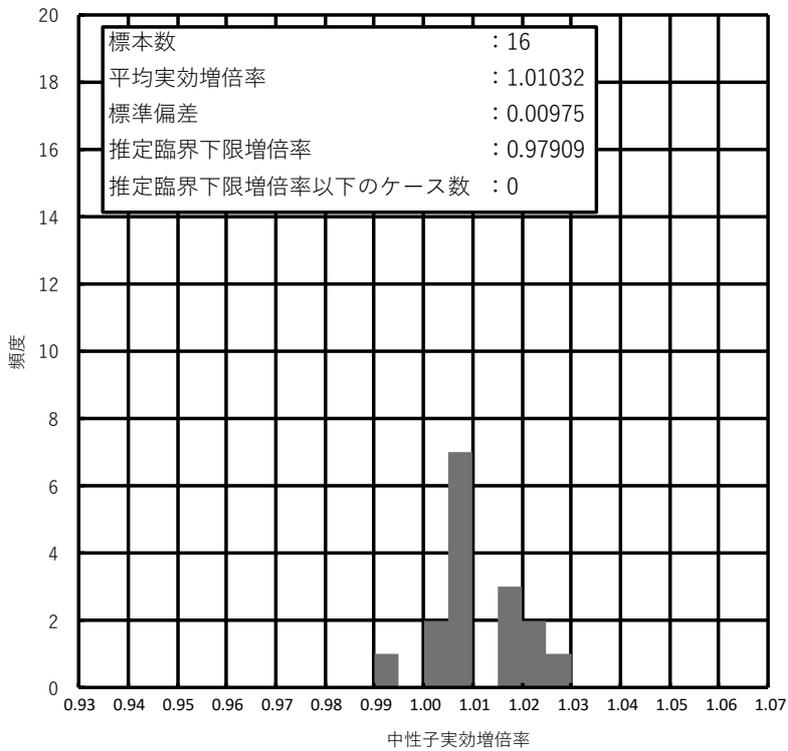


Fig. 5.4.2 PuO₂ 均質系の臨界計算結果のヒストグラム [KENO-VI]

5.5 Pu 均質系

Pu 均質系の統計処理においては、全 101 ケースを対象とする。

各臨界実験レポートと計算ケース名は、以下のように対応する。

実験レポート名	計算ケース名※	ケース数
Nuclear Science and Engineering Vol.79 ²⁵⁾ (球形状)	S623_nse79_sph	67 ケース
Nuclear Science and Engineering Vol.79 ²⁵⁾ (円筒形状)	S623_nse79_cyl	34 ケース

※KENO-VI による計算においては、計算ケース名に“keno6”のキーワードを挿入し、識別している。

Pu 均質系の臨界計算結果の中性子実効増倍率の分布図（ヒストグラム）を示す。

	ケース数	臨界計算モジュール	図番号
Pu 均質系	101 ケース	CSAS5 (KENO-V.a)	Fig. 5.5.1
Pu 均質系	101 ケース	CSAS5 (KENO-VI)	Fig. 5.5.2

5.5.1 Nuclear Science and Engineering Vol.79 球形状容器

PuO₂均質系、実験レポート Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾に記載された実験で球形状容器を用いた実験ケース (Nucl.Sci.Eng.Vol.79 球形状) の臨界ベンチマーク計算結果を以下の表に示す。

実験レポート名	臨界計算モジュール	表番号
Nucl.Sci.Eng.Vol.79 ²⁵⁾ 球形状	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.5.1.1
Nucl.Sci.Eng.Vol.79 ²⁵⁾ 球形状	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.5.1.2

Table 5.5.1.1 Pu 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79 球形状、KENO-V.a] [1/2]

No.	計算ケース (ファイル名)	Pu 濃度 (g/litre)	NO ₃ 濃度 (g/litre)	Fe 濃度 (g/litre)	溶液密度 (g/cm ³)	反射材※1	中性子実効増倍率	
							k _{eff}	σ
1	S623_nse79_sph01	50.16	138.5	0.189	1.13120		1.00005	0.00058
2	S623_nse79_sph02	51.47	163.0	0.272	1.14820		1.00117	0.00053
3	S623_nse79_sph03	56.42	207.0	0.245	1.16820		0.99910	0.00066
4	S623_nse79_sph04	59.97	237.0	0.192	1.18980		1.00228	0.00051
5	S623_nse79_sph05	63.66	270.0	0.197	1.21520		1.00571	0.00057
6	S623_nse79_sph06	70.44	322.0	0.218	1.24120		1.00116	0.00053
7	S623_nse79_sph07	77.42	359.0	0.237	1.26950		1.00349	0.00057
8	S623_nse79_sph08	36.25	93.10	0.114	1.09100		0.99466	0.00051
9	S623_nse79_sph09	37.08	125.0	0.128	1.11060		0.99245	0.00054
10	S623_nse79_sph10	33.55	86.70	0.124	1.08530		0.99546	0.00050
11	S623_nse79_sph11	34.58	116.5	0.177	1.10090		0.99566	0.00047
12	S623_nse79_sph12	35.37	145.0	0.124	1.11610		0.99316	0.00054
13	S623_nse79_sph13	37.70	130.0	0.103	1.11065		0.99836	0.00060
14	S623_nse79_sph14	38.38	156.0	0.141	1.12790		0.99747	0.00058
15	S623_nse79_sph15	40.92	205.0	0.257	1.15475		1.00031	0.00047
16	S623_nse79_sph16	44.35	269.5	0.266	1.19075		0.99998	0.00053
17	S623_nse79_sph17	26.48	77.80	0.145	1.06935	水	1.00409	0.00050
18	S623_nse79_sph18	26.50	107.0	0.149	1.08635		0.99899	0.00056
19	S623_nse79_sph19	27.38	137.5	0.156	1.10350		1.00065	0.00052
20	S623_nse79_sph20	28.28	187.5	0.164	1.13105		0.99873	0.00058
21	S623_nse79_sph21	27.77	109.5	0.094	1.08850		0.99992	0.00066
22	S623_nse79_sph22	28.81	87.40	0.110	1.07690		1.00161	0.00060
23	S623_nse79_sph23	29.72	111.3	0.123	1.09210		1.00496	0.00058
24	S623_nse79_sph24	30.16	143.0	0.113	1.10870		1.00281	0.00058
25	S623_nse79_sph25	31.81	208.0	0.120	1.14600		1.00080	0.00056
26	S623_nse79_sph26	35.55	309.5	0.145	1.19970		1.00237	0.00056
27	S623_nse79_sph27	39.55	408.0	0.147	1.25080		1.00068	0.00055
28	S623_nse79_sph28	29.86	87.50	0.128	1.07770		1.00303	0.00045
29	S623_nse79_sph29	30.73	119.3	0.079	1.09670		1.00303	0.00057
30	S623_nse79_sph30	31.64	146.8	0.086	1.11170		1.00342	0.00046
31	S623_nse79_sph31	33.76	210.7	0.097	1.14960		1.00611	0.00055
32	S623_nse79_sph32	36.25	272.4	0.104	1.18260		1.00720	0.00044
33	S623_nse79_sph33	38.71	335.2	0.126	1.21720		1.00577	0.00058
34	S623_nse79_sph34	41.12	384.9	0.126	1.24050		1.00410	0.00050
35	S623_nse79_sph35	30.80	126.5	0.108	1.10185		1.00058	0.00052
36	S623_nse79_sph36	32.06	158.0	0.102	1.12050		1.00307	0.00045
37	S623_nse79_sph37	24.97	116.0	0.088	1.08990		1.00093	0.00051
38	S623_nse79_sph38	25.73	147.0	0.094	1.10680		1.00216	0.00053
39	S623_nse79_sph39	27.15	212.0	0.096	1.14090		1.00185	0.00059

※1 反射材厚さを 30.48cm (12 インチ) に設定。

Table 5.5.1.1 Pu 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79 球形状、KENO-V.a] [2/2]

No.	計算ケース (ファイル名)	Pu 濃度 (g/litre)	NO ₃ 濃度 (g/litre)	Fe 濃度 (g/litre)	溶液密度 (g/cm ³)	反射材※1	中性子実効増倍率	
							k _{eff}	σ
40	S623_nse79_sph40	73.00	86.00	—	1.13017	水	1.00504	0.00052
41	S623_nse79_sph41	74.50	105.0	—	1.14295		1.00248	0.00054
42	S623_nse79_sph42	96.00	203.0	—	1.21898		1.00405	0.00059
43	S623_nse79_sph43	100.0	230.0	—	1.23005		0.99834	0.00065
44	S623_nse79_sph44	119.0	245.0	—	1.26998		1.01012	0.00060
45	S623_nse79_sph45	126.0	262.0	—	1.28213		1.00676	0.00061
46	S623_nse79_sph46	132.0	281.0	—	1.29304		1.00054	0.00061
47	S623_nse79_sph47	140.0	284.0	—	1.30706		1.00469	0.00061
48	S623_nse79_sph48	269.0	346.0	—	1.48409		1.00798	0.00054
49	S623_nse79_sph49	295.0	303.0	—	1.49095		1.01724	0.00058
50	S623_nse79_sph50	435.0	372.0	—	1.67771		1.01301	0.00063
51	S623_nse79_sph51	33.00	162.0	—	1.12198		0.99970	0.00055
52	S623_nse79_sph52	33.20	164.0	—	1.12331		1.00029	0.00053
53	S623_nse79_sph53	38.40	292.0	—	1.19600		1.00231	0.00059
54	S623_nse79_sph54	38.60	292.0	—	1.19570		1.00302	0.00059
55	S623_nse79_sph55	39.20	313.0	—	1.19823		0.99653	0.00051
56	S623_nse79_sph56	47.50	462.0	—	1.29021		1.00205	0.00052
57	S623_nse79_sph57	47.90	465.0	—	1.29405		1.00370	0.00050
58	S623_nse79_sph58	24.40	58.00	—	1.06003		1.00321	0.00049
59	S623_nse79_sph59	38.70	517.0	—	1.30005		1.00509	0.00049
60	S623_nse79_sph60	35.59	106.9	0.112	1.09760		1.00846	0.00064
61	S623_nse79_sph61	38.13	163.0	0.124	1.13740		1.01237	0.00078
62	S623_nse79_sph62	38.16	180.0	0.178	1.13960		1.00393	0.00058
63	S623_nse79_sph63	43.43	281.8	0.179	1.19580		1.00144	0.00065
64	S623_nse79_sph64	39.00	64.0	—	1.08138		1.00530	0.00055
65	S623_nse79_sph65	172.3	486.0	—	1.42930		1.00273	0.00068
66	S623_nse79_sph66	9.598	68.801	—	1.04445		1.03005	0.00029
67	S623_nse79_sph67	9.426	78.294	—	1.04883		1.01926	0.00037

※1 反射材厚さを 30.48cm (12 インチ) に設定。

Table 5.5.1.2 Pu 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79 球形状、KENO-VI] [1/2]

No.	計算ケース (ファイル名)	Pu 濃度 (g/litre)	NO ₃ 濃度 (g/litre)	Fe 濃度 (g/litre)	溶液密度 (g/cm ³)	反射材※1	中性子実効増倍率	
							k _{eff}	σ
1	S623_keno6_nse79_sph01	50.16	138.5	0.189	1.13120	水	1.00069	0.00057
2	S623_keno6_nse79_sph02	51.47	163	0.272	1.14820		1.00074	0.00053
3	S623_keno6_nse79_sph03	56.42	207	0.245	1.16820		1.00024	0.00055
4	S623_keno6_nse79_sph04	59.97	237	0.192	1.18980		1.00194	0.00061
5	S623_keno6_nse79_sph05	63.66	270	0.197	1.21520		1.00510	0.00058
6	S623_keno6_nse79_sph06	70.44	322	0.218	1.24120		1.00134	0.00058
7	S623_keno6_nse79_sph07	77.42	359	0.237	1.26950		1.00313	0.00058
8	S623_keno6_nse79_sph08	36.25	93.1	0.114	1.09100		0.99485	0.00050
9	S623_keno6_nse79_sph09	37.08	125	0.128	1.11060		0.99378	0.00046
10	S623_keno6_nse79_sph10	33.55	86.7	0.124	1.08530		0.99625	0.00052
11	S623_keno6_nse79_sph11	34.58	116.5	0.177	1.10090		0.99518	0.00055
12	S623_keno6_nse79_sph12	35.37	145	0.124	1.11610		0.99364	0.00050
13	S623_keno6_nse79_sph13	37.7	130	0.103	1.11065		0.99885	0.00054
14	S623_keno6_nse79_sph14	38.38	156	0.141	1.12790		0.99836	0.00046
15	S623_keno6_nse79_sph15	40.92	205	0.257	1.15475		0.99904	0.00066
16	S623_keno6_nse79_sph16	44.35	269.5	0.266	1.19075		0.99933	0.00050
17	S623_keno6_nse79_sph17	26.48	77.8	0.145	1.06935		1.00497	0.00048
18	S623_keno6_nse79_sph18	26.5	107	0.149	1.08635		0.99880	0.00048
19	S623_keno6_nse79_sph19	27.38	137.5	0.156	1.10350		1.00195	0.00054
20	S623_keno6_nse79_sph20	28.28	187.5	0.164	1.13105		0.99880	0.00049

Table 5.5.1.2 Pu 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79 球形状、KENO-VI] [2/2]

No.	計算ケース (ファイル名)	Pu 濃度 (g/litre)	NO ₃ 濃度 (g/litre)	Fe 濃度 (g/litre)	溶液密度 (g/cm ³)	反射材※1	中性子実効増倍率	
							k _{eff}	σ
21	S623_keno6_nse79_sph20	28.28	187.5	0.164	1.13105	水	1.00036	0.00068
22	S623_keno6_nse79_sph21	27.77	109.5	0.094	1.08850		1.00257	0.00051
23	S623_keno6_nse79_sph22	28.81	87.4	0.11	1.07690		1.00578	0.00049
24	S623_keno6_nse79_sph23	29.72	111.3	0.123	1.09210		1.00178	0.00043
25	S623_keno6_nse79_sph24	30.16	143	0.113	1.10870		1.00149	0.00049
26	S623_keno6_nse79_sph25	31.81	208	0.12	1.14600		1.00194	0.00048
27	S623_keno6_nse79_sph26	35.55	309.5	0.145	1.19970		1.00028	0.00048
28	S623_keno6_nse79_sph27	39.55	408	0.147	1.25080		1.00251	0.00047
29	S623_keno6_nse79_sph28	29.86	87.5	0.128	1.07770		1.00340	0.00057
30	S623_keno6_nse79_sph29	30.73	119.3	0.079	1.09670		1.00403	0.00045
31	S623_keno6_nse79_sph31	33.76	210.7	0.097	1.14960		1.00481	0.00057
32	S623_keno6_nse79_sph32	36.25	272.4	0.104	1.18260		1.00633	0.00054
33	S623_keno6_nse79_sph33	38.71	335.2	0.126	1.21720		1.00507	0.00048
34	S623_keno6_nse79_sph34	41.12	384.9	0.126	1.24050		1.00394	0.00052
35	S623_keno6_nse79_sph35	30.8	126.5	0.108	1.10185		0.99925	0.00050
36	S623_keno6_nse79_sph36	32.06	158	0.102	1.12050		1.00244	0.00056
37	S623_keno6_nse79_sph37	24.97	116	0.088	1.08990		1.00098	0.00057
38	S623_keno6_nse79_sph38	25.73	147	0.094	1.10680		1.00271	0.00049
39	S623_keno6_nse79_sph39	27.15	212	0.096	1.14090		1.00248	0.00059
40	S623_keno6_nse79_sph40	73	86		1.13017		1.00420	0.00058
41	S623_keno6_nse79_sph41	74.5	105		1.14295		1.00321	0.00051
42	S623_keno6_nse79_sph42	96	203		1.21898		1.00491	0.00051
43	S623_keno6_nse79_sph43	100	230		1.23005		0.99797	0.00049
44	S623_keno6_nse79_sph44	119	245		1.26998		1.00947	0.00066
45	S623_keno6_nse79_sph45	126	262		1.28213		1.00609	0.00070
46	S623_keno6_nse79_sph46	132	281		1.29304		1.00203	0.00049
47	S623_keno6_nse79_sph47	140	284		1.30706		1.00453	0.00057
48	S623_keno6_nse79_sph48	269	346		1.48409		1.00819	0.00053
49	S623_keno6_nse79_sph49	295	303		1.49095		1.01696	0.00062
50	S623_keno6_nse79_sph50	435	372		1.67771		1.01311	0.00053
51	S623_keno6_nse79_sph51	33	162		1.12198		0.99877	0.00053
52	S623_keno6_nse79_sph52	33.2	164		1.12331		1.00012	0.00056
53	S623_keno6_nse79_sph53	38.4	292		1.19600		1.00217	0.00048
54	S623_keno6_nse79_sph54	38.6	292		1.19570		1.00275	0.00050
55	S623_keno6_nse79_sph55	39.2	313		1.19823		0.99793	0.00065
56	S623_keno6_nse79_sph56	47.5	462		1.29021		1.00136	0.00060
57	S623_keno6_nse79_sph57	47.9	465		1.29405	1.00327	0.00052	
58	S623_keno6_nse79_sph58	24.4	58		1.06003	1.00317	0.00053	
59	S623_keno6_nse79_sph59	38.7	517		1.30005	1.00456	0.00054	
60	S623_keno6_nse79_sph60	35.59	106.9	0.112	1.09760	無 (空気)	1.00886	0.00061
61	S623_keno6_nse79_sph61	38.13	163	0.124	1.13740		1.01341	0.00056
62	S623_keno6_nse79_sph62	38.16	180	0.178	1.13960		1.00523	0.00054
63	S623_keno6_nse79_sph63	43.43	281.8	0.179	1.19580		1.00377	0.00060
64	S623_keno6_nse79_sph64	39.0	64.0		1.08138		1.00524	0.00062
65	S623_keno6_nse79_sph65	172.3	486		1.42930		1.00300	0.00061
66	S623_keno6_nse79_sph66	9.598	68.801		1.04445		1.02982	0.00035
67	S623_keno6_nse79_sph67	9.426	78.294		1.04883		1.02007	0.00032

※1 反射材厚さを 30.48cm (12 インチ) に設定。

5.5.2 Nuclear Science and Engineering Vol.79 円筒形状容器

PuO₂均質系、実験レポート Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾に記載された実験で円筒形状容器を用いた実験ケース (Nucl.Sci.Eng.Vol.79 円筒形状) の臨界ベンチマーク計算結果を以下の表に示す。

実験レポート名	臨界計算モジュール	表番号
Nucl.Sci.Eng.Vol.79 ²⁵⁾ 円筒形状	CSAS5 (KENO-V.a)	Table 5.5.2.1
Nucl.Sci.Eng.Vol.79 ²⁵⁾ 円筒形状	CSAS6 (KENO-VI)	Table 5.5.2.2

Table 5.5.2.1 Pu 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79 円筒形状、KENO-V.a]

No.	計算ケース (ファイル名)	Pu 濃度 (g/litre)	NO ₃ 濃度 (g/litre)	Fe 濃度 (g/litre)	Gd 密度 (g/litre)	溶液密度 (g/cm ³)	反射材	中性子実効増倍率	
								k _{eff}	σ
68	S623_nse79_cyl01	109.16	166	0.395	—	1.2110	水 ^{*1}	1.00664	0.00057
69	S623_nse79_cyl02	99.09	136.5	0.378	—	1.1997		1.01804	0.00059
70	S623_nse79_cyl03	85.14	151	0.321	—	1.1859		1.01061	0.00064
71	S623_nse79_cyl04	73.92	125.6	0.231	—	1.1592		1.01440	0.00059
72	S623_nse79_cyl05	61.49	134	0.303	—	1.1441		1.00716	0.00052
73	S623_nse79_cyl06	54.33	119.8	0.257	—	1.1329		1.00724	0.00056
74	S623_nse79_cyl07	77.4	152	0.644	—	1.1750		1.00367	0.00061
75	S623_nse79_cyl08	76.93	152	0.327	—	1.1650		0.99327	0.00058
76	S623_nse79_cyl09	62.47	146	0.269	—	1.1460		0.99148	0.00052
77	S623_nse79_cyl10	49.26	142	0.26	—	1.1300		0.99270	0.00051
78	S623_nse79_cyl11	39.1	138	0.172	—	1.1100		0.98632	0.00069
79	S623_nse79_cyl12	63.99	121	0.298	—	1.1483		0.99409	0.00059
80	S623_nse79_cyl13 ^{*3}	48.98	139	0.238	—	1.1360		0.97684	0.00053
81	S623_nse79_cyl14	47.21	117	0.275	—	1.1202		0.98340	0.00053
82	S623_nse79_cyl15 ^{*3}	41.73	215	0.255	—	1.1604		0.97265	0.00051
83	S623_nse79_cyl16 ^{*3}	39.1	138	0.172	—	1.1100		0.96454	0.00061
84	S623_nse79_cyl17 ^{*3}	36.9	300	0.263	—	1.2022		0.96897	0.00047
85	S623_nse79_cyl18 ^{*3}	33.54	137	0.193	—	1.0990		0.96591	0.00047
86	S623_nse79_cyl19 ^{*3}	30.81	136	0.173	—	1.0980		0.96835	0.00049
87	S623_nse79_cyl20	109.16	166	0.395	—	1.2110		1.00984	0.00063
88	S623_nse79_cyl21	48.75	116.3	0.223	—	1.1260		1.00994	0.00053
89	S623_nse79_cyl22	42.29	126.6	0.174	—	1.1152		1.00920	0.00066
90	S623_nse79_cyl23	36.52	107.1	0.161	—	1.1077		1.01494	0.00048
91	S623_nse79_cyl24	31.14	114	0.153	—	1.1028		1.00840	0.00050
92	S623_nse79_cyl25	26.45	134	0.154	—	1.1028		1.00485	0.00057
93	S623_nse79_cyl26	140	457.6	—	0.01246	1.3853	水 ^{*2}	1.01129	0.00051
94	S623_nse79_cyl27	116	378	—	0.01032	1.3187		1.01354	0.00044
95	S623_nse79_cyl28	99.3	331.4	—	0.00884	1.2766		1.01078	0.00053
96	S623_nse79_cyl29	85.5	282.8	—	0.00761	1.2369		1.00926	0.00057
97	S623_nse79_cyl30	75.6	248.9	—	0.00673	1.2090		1.00790	0.00047
98	S623_nse79_cyl31	65.1	217.5	—	0.00579	1.1815		1.00436	0.00047
99	S623_nse79_cyl32	56.3	186	—	0.00501	1.1559		1.00439	0.00048
100	S623_nse79_cyl33	46.8	154.3	—	0.00417	1.1295		1.00324	0.00049
101	S623_nse79_cyl34	40.6	133	—	0.00361	1.1121		1.00207	0.00037

※1 上下左右方向を水厚み 30.48cm (12 インチ) に設定。

※2 上方向を除き水厚み 30.48cm (12 インチ) に設定。

※3 S623_nse79_cyl13、15~19 では、推定臨界下限増倍率 0.97702 を下回る実効増倍率となる。

S623_nse79_cyl07~S623_nse79_cyl19 では、硝酸水溶液中の不純物を考慮している。特に S623_nse79_cyl12~S623_nse79_cyl19 の内直径 11 インチの容器を使用する。実験ケースでは、不純物に B 10ppm、Cd 200ppm と中性子毒が多く含まれている。このため、他のケースに比べ実効増倍率が大きく低下している。

Table 5.5.2.2 Pu 均質系の臨界計算結果 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79 円筒形状、KENO-VI]

No.	計算ケース (ファイル名)	Pu 濃度 (g/litre)	NO ₃ 濃度 (g/litre)	Fe 濃度 (g/litre)	Gd 密度 (g/litre)	溶液密度 (g/cm ³)	反射材	中性子実効増倍率	
								k _{eff}	σ
68	S623_keno6_nse79_cyl01	109.16	166	0.395		1.2110	水※1	1.00656	0.00057
69	S623_keno6_nse79_cyl02	99.09	136.5	0.378		1.1997		1.01949	0.00058
70	S623_keno6_nse79_cyl03	85.14	151	0.321		1.1859		1.00988	0.00065
71	S623_keno6_nse79_cyl04	73.92	125.6	0.231		1.1592		1.01500	0.00061
72	S623_keno6_nse79_cyl05	61.49	134	0.303		1.1441		1.00729	0.00055
73	S623_keno6_nse79_cyl06	54.33	119.8	0.257		1.1329		1.00605	0.00058
74	S623_keno6_nse79_cyl07	77.4	152	0.644		1.1750		1.00233	0.00052
75	S623_keno6_nse79_cyl08	76.93	152	0.327		1.1650		0.99329	0.00061
76	S623_keno6_nse79_cyl09	62.47	146	0.269		1.1460		0.99150	0.00059
77	S623_keno6_nse79_cyl10	49.26	142	0.26		1.1300		0.99266	0.00048
78	S623_keno6_nse79_cyl11	39.1	138	0.172		1.1100		0.98607	0.00053
79	S623_keno6_nse79_cyl12	63.99	121	0.298		1.1483		0.99363	0.00058
80	S623_keno6_nse79_cyl13	48.98	139	0.238		1.1360		0.97751	0.00052
81	S623_keno6_nse79_cyl14	47.21	117	0.275		1.1202		0.98312	0.00054
82	S623_keno6_nse79_cyl15※3	41.73	215	0.255		1.1604		0.97236	0.00058
83	S623_keno6_nse79_cyl16※3	39.1	138	0.172		1.1100		0.96515	0.00059
84	S623_keno6_nse79_cyl17※3	36.9	300	0.263		1.2022		0.96973	0.00041
85	S623_keno6_nse79_cyl18※3	33.54	137	0.193		1.0990		0.96520	0.00059
86	S623_keno6_nse79_cyl19※3	30.81	136	0.173		1.0980		0.96676	0.00048
87	S623_keno6_nse79_cyl20	109.16	166	0.395		1.2110		1.00979	0.00052
88	S623_keno6_nse79_cyl21	48.75	116.3	0.223		1.1260		1.00908	0.00065
89	S623_keno6_nse79_cyl22	42.29	126.6	0.174		1.1152		1.00898	0.00051
90	S623_keno6_nse79_cyl23	36.52	107.1	0.161		1.1077		1.01536	0.00065
91	S623_keno6_nse79_cyl24	31.14	114	0.153		1.1028		1.00889	0.00053
92	S623_keno6_nse79_cyl25	26.45	134	0.154		1.1028		1.00405	0.00050
93	S623_keno6_nse79_cyl26	140	457.6		0.01246	1.3853	水※2	1.01124	0.00043
94	S623_keno6_nse79_cyl27	116	378		0.01032	1.3187		1.01359	0.00038
95	S623_keno6_nse79_cyl28	99.3	331.4		0.00884	1.2766		1.01001	0.00046
96	S623_keno6_nse79_cyl29	85.5	282.8		0.00761	1.2369		1.00889	0.00044
97	S623_keno6_nse79_cyl30	75.6	248.9		0.00673	1.2090		1.00715	0.00053
98	S623_keno6_nse79_cyl31	65.1	217.5		0.00579	1.1815		1.00520	0.00055
99	S623_keno6_nse79_cyl32	56.3	186		0.00501	1.1559		1.00434	0.00048
100	S623_keno6_nse79_cyl33	46.8	154.3		0.00417	1.1295		1.00370	0.00038
101	S623_keno6_nse79_cyl34	40.6	133		0.00361	1.1121		1.00164	0.00049

※1 上下左右方向を水厚み 30.48cm (12 インチ) に設定。

※2 上方向を除き水厚み 30.48cm (12 インチ) に設定。

※3 S623_keno6_nse79_cyl15~19 では、推定臨界下限増倍率 0.97698 を下回る実効増倍率となる。
S623_nse79_cyl07~S623_nse79_cyl19 では、硝酸水溶液中の不純物を考慮している。特に S623_nse79_cyl12
~S623_nse79_cyl19の内直径11インチの容器を使用する。実験ケースでは、不純物にB 100ppm、Cd 200ppm
と中性子毒が多く含まれている。このため、他のケースに比べ実効増倍率が大きく低下している。

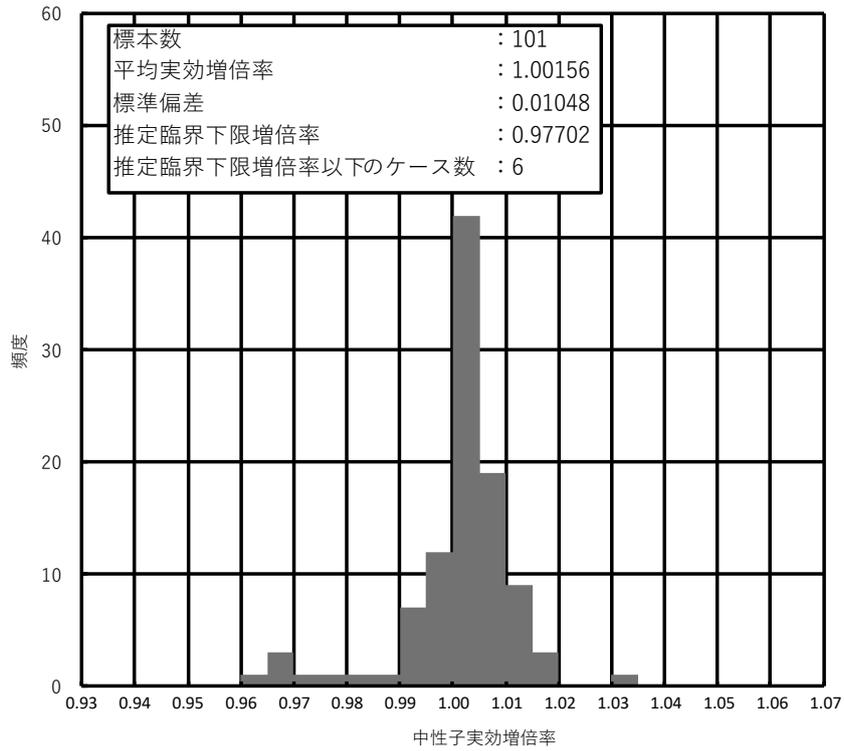


Fig. 5.5.1 Pu 均質系の臨界計算結果のヒストグラム [KENO-V.a]

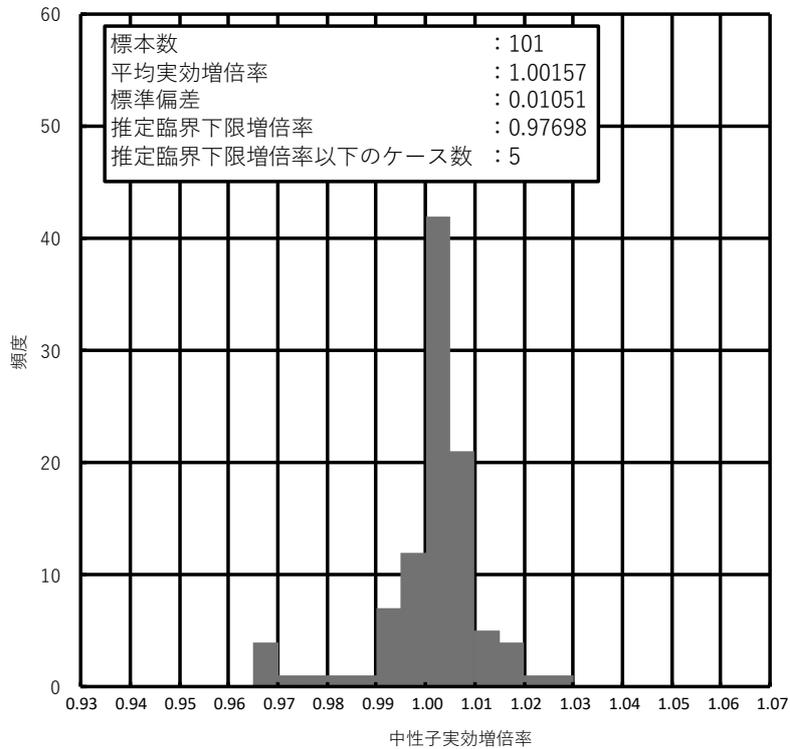


Fig. 5.5.2 Pu 均質系の臨界ベンチマーク計算結果のヒストグラム [KENO-VI]

6. まとめ

6.1 推定臨界下限増倍率の算出

計算コードを用いて核的制限値を設定する場合には、臨界値に安全係数を乗じて求める従来法とベンチマーク計算の誤差評価を考慮し、推定臨界下限増倍率を算出し、その値を用いる方法がある。

本作業における計算結果の評価については、[臨界安全解析コードシステム JACS の計算誤差評価；JAERI-M 87-057；1987²⁾]に記載されている算出方法に基づいて、推定臨界下限増倍率の算出を行う。

推定臨界下限増倍率は以下の方針によって定める。

- ① 検証計算の結果得られたどの実効増倍率の値 $k_{eff,i}$ も推定臨界下限増倍率の値よりも大きいと仮定する。
- ② 推定臨界下限増倍率の値は、0.98を上回ることはない。
- ③ 計算コードを使用することによる誤差の傾向を知るには統計的手法を用いる。

このうち、①は検証計算の対象である臨界実験体系が誤って未臨界であると判断されないことを保証する上で必要である。また、②は安全側に考えて、推定臨界下限増倍率が極度に大きく設定されるのを防ぐためである。③については、以下に述べる。

統計処理を行うグループ内での $k_{eff,i}$ の誤差の傾向を知るため統計的手法を用いる。各臨界実験体系を1つの標本とし、これをSCALE 6.2.3 コードシステムおよびv7-252n ライブラリを用いて解析する。結果得られる実効増倍率の値 $k_{eff,i}$ を対応する標本値とする。ここで同一グループに属する標本値は、みな同じ誤差の傾向を持つものと仮定する。その結果、この誤差分布、さらには標本値の分布は正規分布に従う（母集団正規分布の平均値を m 、分散を σ^2 とする）。

標本数を n 、 i 番目の標本値を k_i とする。とき、標本の分布はその平均値 \bar{k} および分散 s^2 により特徴付けられる。なお、ここで

$$\bar{k} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_{eff,i}$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (k_{eff,i} - \bar{k})^2, (n \geq 2)$$

である。 \bar{k} および s^2 は、以下の統計性質を持つ。

- ① 標本値の平均 \bar{k} は、分散 σ^2/n の正規分布に従う。
- ② 標本値の分散 s^2 は自由度 $n-1$ の χ^2 分布に従う。
- ③ 定数 μ' をある値 μ 以上に選べば、 $\bar{k}-\mu's$ の従う分布の下側 $100\gamma\%$ の点を k_{eff} の母集団正規分布の下側 $100P\%$ の点 $m-\mu_p\sigma$ より小さく取ることができる。ここで μ の値は n 、臨界超過確率 P 、信頼度 γ をパラメータとする非心 t 分布により定まる。

以上、①～③に述べた性質を用いると、計算対象が臨界であるか未臨界であるかの判断には、次に挙げる基準に従うとよいことが分かる。

- i) 中性子実効増倍率が \bar{k} の値をとったとき、その体系が臨界になる確率は最も高くなる。
- ii) 中性子実効増倍率が $\bar{k} - \mu s$ 以下であれば、その体系が臨界になってしまう確率が P 以下であるということが γ の確かさで言える。

本計算においては、Table 6.1 (文献 [JAERI-M 87-057²⁾] に記載がある P=2.5%、 $\gamma=97.5\%$ に設定したときの標本数に対する μ 値) より μ 値を参照し、この値を用いて推定臨界下限増倍率の計算を行う。

Table 6.1 標本 n に対する μ の値 ($\gamma=97.5\%$ P=2.5%) [JAERI-M 87-057]

n	μ	n	μ	n	μ	n	μ	n	μ
2	62.558	51	2.529	101	2.340	151	2.263	205	2.216
3	12.816	52	2.522	102	2.338	152	2.261	210	2.212
4	7.710	53	2.515	103	2.335	153	2.260	215	2.209
5	5.975	54	2.509	104	2.333	154	2.259	220	2.206
6	5.111	55	2.503	105	2.331	155	2.258	225	2.203
7	4.592	56	2.497	106	2.329	156	2.257	230	2.200
8	4.243	57	2.491	107	2.327	157	2.256	235	2.197
9	3.992	58	2.486	108	2.325	158	2.255	240	2.195
10	3.801	59	2.480	109	2.324	159	2.254	245	2.192
11	3.650	60	2.475	110	2.322	160	2.253	250	2.189
12	3.528	61	2.470	111	2.320	161	2.252	255	2.187
13	3.427	62	2.465	112	2.318	162	2.251	260	2.185
14	3.342	63	2.460	113	2.316	163	2.250	265	2.182
15	3.268	64	2.456	114	2.314	164	2.249	270	2.180
16	3.204	65	2.451	115	2.313	165	2.248	275	2.178
17	3.148	66	2.447	116	2.311	166	2.247	280	2.176
18	3.099	67	2.442	117	2.309	167	2.246	285	2.174
19	3.054	68	2.438	118	2.308	168	2.245	290	2.172
20	3.014	69	2.434	119	2.306	169	2.244	295	2.170
21	2.978	70	2.430	120	2.304	170	2.243	300	2.168
22	2.945	71	2.426	121	2.303	171	2.242	305	2.166
23	2.914	72	2.422	122	2.301	172	2.241	310	2.164
24	2.887	73	2.418	123	2.299	173	2.241	315	2.162
25	2.861	74	2.415	124	2.298	174	2.240	320	2.161
26	2.837	75	2.411	125	2.296	175	2.239	325	2.159
27	2.815	76	2.408	126	2.295	176	2.238	330	2.157
28	2.794	77	2.404	127	2.293	177	2.237	335	2.156
29	2.775	78	2.401	128	2.292	178	2.236	340	2.154
30	2.757	79	2.398	129	2.290	179	2.235	345	2.153
31	2.740	80	2.394	130	2.289	180	2.235	350	2.151
32	2.723	81	2.391	131	2.288	181	2.234	355	2.150
33	2.708	82	2.398	132	2.286	182	2.233	360	2.148
34	2.694	83	2.385	133	2.285	183	2.232	365	2.147
35	2.680	84	2.382	134	2.283	184	2.231	370	2.146
36	2.667	85	2.379	135	2.282	185	2.230	375	2.144
37	2.655	86	2.377	136	2.281	186	2.230	380	2.143
38	2.643	87	2.374	137	2.279	187	2.229	385	2.142
39	2.632	88	2.371	138	2.278	188	2.228	390	2.141
40	2.621	89	2.368	139	2.277	189	2.227	395	2.139
41	2.611	90	2.366	140	2.276	190	2.226	400	2.138
42	2.601	91	2.363	141	2.274	191	2.226	425	2.133
43	2.592	92	2.361	142	2.273	192	2.225	450	2.127
44	2.583	93	2.358	143	2.272	193	2.224	475	2.123
45	2.574	94	2.356	144	2.271	194	2.223	500	2.118
46	2.566	95	2.353	145	2.270	195	2.223	525	2.114
47	2.558	96	2.351	146	2.268	196	2.222	550	2.110
48	2.550	97	2.349	147	2.267	197	2.221	575	2.107
49	2.543	98	2.346	148	2.266	198	2.220	600	2.104
50	2.535	99	2.344	149	2.265	199	2.220	625	2.101
		100	2.342	150	2.264	200	2.219	650	2.098

Table 6.2、Table 6.3 に各体系において算出した推定臨界下限増倍率を示す。

Table 6.2 各体系における推定臨界下限増倍率 [KENO-V.a]

計算種別	標本数 n	平均中性子 実効増倍率 k_{eff}	標準偏差 σ	μ	推定臨界下限 増倍率 $\bar{k} - \mu\sigma$	推定臨界下限 増倍率以下 のケース数
MOX 非均質系	184	0.99916	0.00356	2.231	0.99123	2
MOX 非均質系 (均質化モデル)	172	1.00048	0.00400	2.241	0.99153	2
MOX 均質系	46	0.99991	0.01450	2.566	0.96270	0
(Pu+U) 均質系	44	0.99472	0.00607	2.583	0.97903	0
PuO ₂ 均質系	16	1.01014	0.00962	3.204	0.97931	0
Pu 均質系	101	1.00156	0.01048	2.340	0.97702	6

Table 6.3 各体系における推定臨界下限増倍率 [KENO-VI]

実験体系	標本数 n	平均中性子 実効増倍率 k_{eff}	標準偏差 σ	μ	推定臨界下限 増倍率 $\bar{k} - \mu\sigma$	推定臨界下限 増倍率以下 のケース数
MOX 非均質系	184	0.99887	0.00366	2.231	0.99069	2
MOX 非均質系 (均質化モデル)	172	1.00023	0.00415	2.241	0.99094	1
MOX 均質系	46	1.00002	0.01453	2.566	0.96273	0
(Pu+U) 均質系	44	0.99464	0.00608	2.583	0.97894	0
PuO ₂ 均質系	16	1.01032	0.00975	3.204	0.97909	0
Pu 均質系	101	1.00157	0.01051	2.340	0.97698	5

6.2 ベンチマーク計算結果

今回のベンチマーク計算の結果より、SCALE 6.2.3 コードシステムにおいて 252 群中性子断面積ライブラリ (v7-252n) を用いた場合の推定臨界下限増倍率を設定した。

Table 6.4 に実験体系毎の統計結果 (推定臨界下限増倍率) を示す。本ベンチマーク計算対象の実験体系において、推定臨界下限増倍率はいずれも 0.96 を上回っていることを確認した。よって、MOX 燃料施設の臨界安全設計において、中性子実効増倍率が 0.95 以下であれば、未臨界性を判定できる。

これらの結果から、MOX 燃料施設の臨界安全設計において、信頼度が十分に高い臨界計算コードとして使用できる見通しを得た。

Table 6.4 臨界ベンチマークの統計結果

実験体系	項目	CSAS5 (KENO-V.a)	CSAS6 (KENO-VI)
MOX 非均質系	・ 標本数	184	184
	・ 平均値	0.99916	0.99887
	・ 標準偏差	0.00356	0.00366
	・ 推定臨界下限増倍率	0.98 (0.99123) ※1	0.98 (0.99069) ※1
	・ 推定臨界下限増倍率以下のケース数	2	2
MOX 非均質系 (均質化モデル)	・ 標本数	172	172
	・ 平均値	1.00048	1.00023
	・ 標準偏差	0.0040	0.00415
	・ 推定臨界下限増倍率	0.98 (0.99153) ※1	0.98 (0.99094) ※1
	・ 推定臨界下限増倍率以下のケース数	2	1
MOX 均質系	・ 標本数	46	46
	・ 平均値	0.99991	1.00002
	・ 標準偏差	0.01450	0.01453
	・ 推定臨界下限増倍率	0.96270	0.96273
	・ 推定臨界下限増倍率以下のケース数	0	0
(Pu+U) 均質系	・ 標本数	44	44
	・ 平均値	0.99472	0.99464
	・ 標準偏差	0.00607	0.00608
	・ 推定臨界下限増倍率	0.97903	0.97894
	・ 推定臨界下限増倍率以下のケース数	0	0
PuO ₂ 均質系	・ 標本数	16	16
	・ 平均値	1.01014	1.01032
	・ 標準偏差	0.00962	0.00975
	・ 推定臨界下限増倍率	0.97931	0.97909
	・ 推定臨界下限増倍率以下のケース数	0	0
Pu 均質系	・ 標本数	101	101
	・ 平均値	1.00156	1.00157
	・ 標準偏差	0.01048	0.01051
	・ 推定臨界下限増倍率	0.97702	0.97698
	・ 推定臨界下限増倍率以下のケース数	6	5

※1 推定臨界下限増倍率が 0.98 を超える値を示す。括弧内は統計処理で算出された推定臨界下限増倍率。

参考文献

- 1) 日本原子力研究所 研究成果編集委員会, 臨界安全ハンドブック 第2版, JAERI 1340, 1999, 189p.
- 2) 奥野 浩、内藤 俣孝, 臨界安全解析コードシステム JACS の計算誤差評価, JAERI-M 87-057, 1987, 29p.
- 3) B. M. Durst, S. R. Bierman and E. D. Clayton, Summary of Experimental Data for Critical Arrays of Water Moderated Fast Test Reactor Fuel, PNL-3313, 1981.
- 4) S. R. Bierman, B. M. Durst, E. D. Clayton, R. I. Scherpelz, & Howard T. Kerr, Critical Experiments with Fast Test Reactor Fuel Pins in Water, Nuclear Technology Vol.44, 1979, pp.141-151.
- 5) S. R. Bierman, B. M. Durst, E.D. Clayton & B. W. Howes, Critical Experiments with Concrete-Reflected Fast Test Reactor Fuel Pins in Water, Nuclear Technology Vol.49, 1980, pp.40-46.
- 6) B. M. Durst, S. R. Bierman, E. D. Clayton & J. F. Mincey, Critical Experiments with Solid Neutron Absorbers and Water-Moderated Fast Test Reactor Fuel Pins, Nuclear Technology Vol.48, 1980, pp.128-149.
- 7) R. I. Smith, G. J. Konzek, Odelli Ozer, Clean Critical Experiment Benchmarks for Plutonium Recycle in LWR's, EPRI NP-196 (Project 348 Vol.1 Final Report), 1976.
- 8) H. Turuta, I. Kobayashi, T. Suzuki, A. Ohno, K. Murakami, S. Matsuura, Critical Sizes of Light-Water Moderated UO₂ and PuO₂-UO₂ Lattices, JAERI 1254, 1978, 38p.
- 9) S. R. Bierman, Criticality experiments with fast test reactor fuel pins in an organic moderator, PNL-5803 S86T, 1986.
- 10) R. C. Lloyd, G. R. Smolen, Criticality Experiments with Mixed Oxide Fuel Pin Arrays in Plutonium-Uranium Nitrate Solution, PNL-6559 S526, 1988.
- 11) R. C. Lloyd & E. D. Clayton, Criticality Safety Data Applicable to Processing Liquid-Metal Fast Breeder Reactor Fuel, Nuclear Science and Engineering Vol.59, 1976, pp.21-26.
- 12) R. C. Lloyd & E. D. Clayton, Effect of Fixed and Soluble Neutron Absorbers on the Criticality of Uranium-Plutonium Systems, Nuclear Science and Engineering Vol.62, 1977, pp.726-735.
- 13) S. R. Bierman, B. M. Durst, E. D. Clayton, Criticality Experiments Measuring the Reactivity Worths of Materials Commonly Encountered as Fixed Neutron Poisons, BNWL-2129, 1976.
- 14) S. R. Bierman, E. D. Clayton, and L. E. Hansen, Critical Experiments with Homogeneous Mixtures of Plutonium and Uranium Oxides Containing 8, 15, and 30 wt% Plutonium, Nuclear Science and Engineering Vol.50, 1973, pp.115-126.
- 15) R. C. Lloyd, S. R. Bierman, and E. D. Clayton, Criticality of Plutonium-Uranium Mixtures Containing 5 to 8 wt% Plutonium, Nuclear Science and Engineering Vol.55, 1974, pp.51-57.
- 16) S. R. Bierman and E. D. Clayton, Critical Experiments to Measure the Neutron Poisoning Effects of Copper and Copper-Cadmium Plates, Nuclear Science and Engineering Vol.55, 1974, pp.58-66.

- 17) S. R. Bierman and E. D. Clayton, Critical Experiments with low-Moderated Homogeneous Mixtures of Plutonium and Uranium Oxides Containing 8, 15, and 30 wt% Plutonium, Nuclear Science and Engineering Vol.61, 1976, pp.370-376.
- 18) R. C. Lloyd, Criticality Experiments with Mixed Plutonium and Uranium Nitrate Solution at a Plutonium Fraction of 0.5 in Slab and Cylindrical Geometry, PNL-5768 S86T, 1986.
- 19) R. C. Lloyd, Criticality Experiments with Mixed Plutonium and Uranium Nitrate Solution at a Plutonium Fraction of 0.4 in Slab and Cylindrical Geometry, PNL-6327 S526, 1988.
- 20) R. C. Lloyd, Criticality Experiments with Mixed Plutonium and Uranium Nitrate Solution at a Plutonium Fraction of 0.2 and 1.0 in Annular Cylindrical Geometry, PNL-6451 S526, 1988.
- 21) R. C. Lloyd, Criticality Experiments with Mixed Plutonium and Uranium Nitrate Solution at a Plutonium Fraction of 0.5 in Annular Cylindrical Geometry, PNL-6119 S526, 1988.
- 22) S. R. Bierman, L. E. Hansen, R. C. Lloyd, and E. D. Clayton, CRITICAL EXPERIMENTS WITH HOMOGENEOUS PuO₂-POLYSTYRENE AT 5H/Pu, Nuclear Applications Vol.6, 1969, pp.23-26.
- 23) R. R. Bierman and E. D. Clayton, CRITICAL EXPERIMENTS WITH UNMODERATED PLUTONIUM OXIDE, Nuclear Technology Vol.11, 1971, pp.185-190.
- 24) S. R. Bierman and E. D. Clayton, CRITICAL EXPERIMENTS WITH HOMOGENEOUS PuO₂-POLYSTYRENE AT 50 H/Pu, Nuclear Technology Vol.15, 1972, pp.5-13.
- 25) H. K. Clark, Subcritical Limits for Plutonium Systems, Nuclear Science and Engineering Vol.79, 1981, pp.65-84.
- 26) 国立天文台, 理科年表 2022 年度版, 丸善出版, ISBN 978-4-621-30648-2 C3040, 2021.
- 27) 小山 謹二、奥村 芳弘、古田 公人、宮坂 駿一, 遮蔽材料の群定数—中性子 100 群・ガンマ線 20 群・P₅ 近似—, JAERI-M 6928, 1977, 116p.
- 28) S. Matsuura, et al., Critical Experiment and Analysis on the Core for Japan First Nuclear Ship Reactor, JAERI 1166, 1968, 120p.
- 29) H. Turuta, et al., Critical Experiment and Analysis on 7×7 PuO₂-UO₂ Lattices in Light-Water Moderated UO₂ Core, JAERI 1234, 1974, 76p.
- 30) M. Rahman, T. Suzaki, T. Mori, ANALYTICAL STUDY OF TWO-REGION TCA CRITICAL EXPERIMENTS WITH PWR-TYPE MOX FUEL BY USING MONTE CARLO CODE MVP, JAERI-Research 2003-007, 2003, 68p.
- 31) S. R. Bierman, CRITICAL EXPERIMENTS -BENCHMARKS- (Pu-U SYSTEM), Nuclear Technology Vol.26, 1975, pp.352-381.
- 32) U. C. Jenquin, S. R. Bierman, BENCHMARK EXPERIMENTS TO TEST PLUTONIUM AND STAINLESS STEEL CROSS SECTIONS, NUREG/CR-0210 PNL-2273, 1978.
- 33) F. E. KRUESI, J. O. Erkman and D. D. Lanning, CRITICAL MASS STUDIES OF PLUTONIUM SOLUTIONS, HW-24514 (May 19, 1952) .
- 34) B. M. Durst, S. R. Bierman, E. D. Clayton, Handbook of Critical Experiments Benchmarks, PNL-2700, 1978.

- 35) R. C. Lloyd, C. R. Richey, E. D. Clayton & D. R. Skeen, Criticality Studies with Plutonium Solutions, Nuclear Science and Engineering Vol.25, 1966, pp.165-173.
- 36) C. R. Richey, Theoretical Analyses of Homogeneous Plutonium Critical Experiments, Nuclear Science and Engineering Vol.31, 1968, pp.32-39.
- 37) 日本原子力研究開発機構 「核データ研究グループ」,
https://www.ndc.jaea.go.jp/NuC/index_J.html, (参照 : 2022年1月13日).
- 38) B. T. Rearden, M.A. Jessee, Editors, SCALE CODE SYSTEM, ORNL/TM-2005/39 Version 6.2.3, 2018.

付録-1. 諸定数および原子量の根拠

本ベンチマーク計算を実施するにあたり、計算モデル中にて定義される物質の原子個数密度を算出する際に用いた物理量を定める。

1.1 アボガドロ定数

物質量 1mol を構成する粒子の個数。

2019年5月にモルの定義が変更され、アボガドロ定数の定義が明確になり、それまでの不確かさがなくなった。アボガドロ定数は正確に下記の値となる。

$$\text{アボガドロ定数 } N_A = 6.02214076 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

1.2 元素の原子量

本ベンチマーク計算において、原子個数密度を計算するにあたり、参照した原子量を以下の Table 付録- 1.2.1 に示す。原子量は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾に記載された安定同位体の存在比 (at%) と同位体質量から求める (付録-1.3 を参照)。また、理科年表に記載がなかった核種については、日本原子力研究開発機構の核データ研究グループより公開されている核データ³⁷⁾を引用する。

Table 付録- 1.2.1 元素の原子量 [1/3]

原子番号	元素名	元素記号	原子量 (g/mol) ※1	出典 ※1, ※2
1	水素	H	1.00797094236815	理科年表 2022 年度版
2	ヘリウム	He	4.00260128098214	理科年表 2022 年度版
3	リチウム ※3	Li	6.9674607303444	理科年表 2022 年度版
3	リチウム ※3	Li-6	6.0151228874	理科年表 2022 年度版
3	リチウム ※3	Li-7	7.016003437	理科年表 2022 年度版
4	ベリリウム	Be	9.01218307	理科年表 2022 年度版
5	ホウ素 ※3	B	10.8135187950675	理科年表 2022 年度版
5	ホウ素 ※3	B-10	10.012936862	理科年表 2022 年度版
5	ホウ素 ※3	B-11	11.009305167	理科年表 2022 年度版
6	炭素	C	12.0106355612532	理科年表 2022 年度版
7	窒素	N	14.0068577518844	理科年表 2022 年度版
8	酸素	O	15.9993744255112	理科年表 2022 年度版
9	フッ素	F	18.9984031629	理科年表 2022 年度版
10	ネオン	Ne	20.1800463801638	理科年表 2022 年度版
11	ナトリウム	Na	22.989769282	理科年表 2022 年度版
12	マグネシウム	Mg	24.3057011890441	理科年表 2022 年度版
13	アルミニウム	Al	26.98153841	理科年表 2022 年度版
14	ケイ素	Si	28.0849993461551	理科年表 2022 年度版
15	リン	P	30.9737619986	理科年表 2022 年度版

※1 理科年表²⁶⁾に記載された安定同位体の存在比と同位体質量から原子量を求める。

※2 理科年表²⁶⁾に記載がなかった核種については、日本原子力研究開発機構の核データ研究グループより公開されている核データ³⁷⁾より引用する。

※3 Li、B、Ta については、SCALE 6.2.3 コードシステムに入力する際に、元素としてではなく、同位体元素毎に存在比を乗じた値を入力している。このため、本表には同位体の質量を示す。

Table 付録- 1.2.1 元素の原子量 [2/3]

原子番号	元素名	元素記号	原子量 (g/mol) ※1	出典※1、※2
16	硫黄	S	32.065461934138	理科年表 2022 年度版
17	塩素	Cl	35.45213876338	理科年表 2022 年度版
18	アルゴン	Ar	39.9477985636753	理科年表 2022 年度版
19	カリウム	K	39.0983009106528	理科年表 2022 年度版
20	カルシウム	Ca	40.0780225128827	理科年表 2022 年度版
21	スカンジウム	Sc	44.9559075	理科年表 2022 年度版
22	チタン	Ti	47.866743929141	理科年表 2022 年度版
23	バナジウム	V	50.94146564725	理科年表 2022 年度版
24	クロム	Cr	51.99613056945	理科年表 2022 年度版
25	マンガン	Mn	54.9380432	理科年表 2022 年度版
26	鉄	Fe	55.845143705992	理科年表 2022 年度版
27	コバルト	Co	58.9331937	理科年表 2022 年度版
28	ニッケル	Ni	58.6933505081169	理科年表 2022 年度版
29	銅	Cu	63.54603952455	理科年表 2022 年度版
30	亜鉛	Zn	65.37778233954	理科年表 2022 年度版
31	ガリウム	Ga	69.72306604068	理科年表 2022 年度版
32	ゲルマニウム	Ge	72.6298488938959	理科年表 2022 年度版
33	ヒ素	As	74.9215946	理科年表 2022 年度版
34	セレン	Se	78.9710815045762	理科年表 2022 年度版
35	臭素	Br	79.9043262211	理科年表 2022 年度版
36	クリプトン	Kr	83.7979997422059	理科年表 2022 年度版
37	ルビジウム	Rb	85.4676635956919	理科年表 2022 年度版
38	ストロンチウム	Sr	87.6166442802684	理科年表 2022 年度版
39	イットリウム	Y	88.9063732	理科年表 2022 年度版
40	ジルコニウム	Zr	91.22364279142	理科年表 2022 年度版
41	ニオブ	Nb	92.9063732	理科年表 2022 年度版
42	モリブデン	Mo	95.9487770777542	理科年表 2022 年度版
43	テクネチウム※4	Tc	97.907211555	核データ研究グループ
44	ルテニウム	Ru	101.064936866784	理科年表 2022 年度版
45	ロジウム	Rh	102.9054941	理科年表 2022 年度版
46	パラジウム	Pd	106.41532788648	理科年表 2022 年度版
47	銀	Ag	107.868149823523	理科年表 2022 年度版
48	カドミウム	Cd	112.413818632616	理科年表 2022 年度版
49	インジウム	In	114.81826655155	理科年表 2022 年度版
50	錫	Sn	118.710112703336	理科年表 2022 年度版
51	アンチモン	Sb	121.75978292881	理科年表 2022 年度版
52	テルル	Te	127.603126487858	理科年表 2022 年度版
53	ヨウ素	I	126.904472	理科年表 2022 年度版
54	キセノン	Xe	131.292771282916	理科年表 2022 年度版
55	セシウム	Cs	132.905451961	理科年表 2022 年度版
56	バリウム	Ba	137.32667187153	理科年表 2022 年度版
57	ランタン	La	138.905471374246	理科年表 2022 年度版

※1 理科年表²⁶⁾に記載された安定同位体の存在比と同位体質量から原子量を求める。

※2 理科年表²⁶⁾に記載がなかった核種については、日本原子力研究開発機構の核データ研究グループより公開されている核データ³⁷⁾より引用する。

※3 Li、B、Ta については、SCALE 6.2.3 コードシステムに入力する際に元素としてではなく、同位体元素毎に存在比を乗じた値を入力している。このため、本表には同位体の質量を示す。

※4 Tc については安定同位体が存在せず、全てが放射性であるため、最も半減期が長い (4.2×10⁶年) Tc-98 の質量数を採用する。

Table 付録- 1.2.1 元素の原子量 [3/3]

原子番号	元素名	元素記号	原子量 (g/mol) ※1	出典※1、※2
58	セリウム	Ce	140.115693613296	理科年表 2022 年度版
60	ネオジム	Nd	144.241585871333	理科年表 2022 年度版
61	プロメチウム※5	Pm	144.912756061	核データ研究グループ
62	サマリニウム	Sm	150.36465339672	理科年表 2022 年度版
63	ユウロビウム	Eu	151.96437717419	理科年表 2022 年度版
64	ガドリニウム	Gd	157.25212992363	理科年表 2022 年度版
65	テルビウム	Tb	158.9253539	理科年表 2022 年度版
66	ジスプロシウム	Dy	162.499471419911	理科年表 2022 年度版
67	ホルミウム	Ho	164.930328	理科年表 2022 年度版
68	エルビウム	Er	167.259082330644	理科年表 2022 年度版
69	ツリウム	Tm	168.9342184	理科年表 2022 年度版
70	イッテルビウム	Yb	173.054130784007	理科年表 2022 年度版
71	ルテチウム	Lu	174.966817057855	理科年表 2022 年度版
72	ハフニウム	Hf	178.48498136966	理科年表 2022 年度版
73	タンタル※3	Ta	180.947879136239	理科年表 2022 年度版
73	タンタル※3	Ta-180	179.9474684	理科年表 2022 年度版
73	タンタル※3	Ta-181	180.9479993	理科年表 2022 年度版
74	タングステン	W	183.84177968201	理科年表 2022 年度版
75	レニウム	Re	186.206707344	理科年表 2022 年度版
76	オスミウム	Os	190.22486154465	理科年表 2022 年度版
77	イリジウム	Ir	192.2160538521	理科年表 2022 年度版
78	白金	Pt	194.991537116136	理科年表 2022 年度版
79	金	Au	196.9665701	理科年表 2022 年度版
80	水銀	Hg	200.59256062578	理科年表 2022 年度版
81	タリウム	Tl	204.38351234352	理科年表 2022 年度版
82	鉛	Pb	207.216907463	理科年表 2022 年度版
83	ビスマス	Bi	208.9803985	理科年表 2022 年度版
90	トリウム	Th	232.03765271574	理科年表 2022 年度版
92	ウラン	U-232	232.037149836	核データ研究グループ
92	ウラン	U-233	233.039636574	核データ研究グループ
92	ウラン	U-234	234.0409504	理科年表 2022 年度版
92	ウラン	U-235	235.0439282	理科年表 2022 年度版
92	ウラン	U-236	236.045569468	核データ研究グループ
92	ウラン	U-237	237.048731636	核データ研究グループ
92	ウラン	U-238	238.050787	理科年表 2022 年度版
92	ウラン	U-239	239.054294518	核データ研究グループ
94	プルトニウム	Pu-238	238.049561412	核データ研究グループ
94	プルトニウム	Pu-239	239.052164844	核データ研究グループ
94	プルトニウム	Pu-240	240.053815008	核データ研究グループ
94	プルトニウム	Pu-241	241.056852919	核データ研究グループ
94	プルトニウム	Pu-242	242.058743997	核データ研究グループ
94	アメリシウム	Am-241	241.056830611	核データ研究グループ

※1 理科年表²⁶⁾に記載された安定同位体の存在比と同位体質量から原子量を求める。

※2 理科年表²⁶⁾に記載がなかった核種については、日本原子力研究開発機構の核データ研究グループより公開されている核データ³⁷⁾より引用する。

※3 Li、B、Ta については、SCALE 6.2.3 コードシステムに入力する際に元素としてではなく、同位体元素毎に存在比を乗じた値を入力している。このため、本表には同位体の質量を示す。

※5 Pm については安定同位体が存在せず、全てが放射性であるため、最も半減期が長い (17.7 年) Pm-145 の質量数を採用する。

1.3 元素の安定同位体の存在比

原子量を求めるにあたり、同位体質量および存在比 (at%) は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する (Table 付録- 1.3.1 参照)。ただし、Pm、Tc については、安定同位体が存在せず、全てが放射性であるため、最も半減期が長い Pm-145 (17.7 年)、Tc-98 (4.2×10^6 年) の質量数を採用し、その質量数は、日本原子力研究開発機構の核データ研究グループより公開されている核データより引用する。また、存在比に上限値と下限値の記載がある場合は、その平均を採用する。

本ベンチマーク計算において、元素の安定同位体存在比については、断面積ライブラリに収録された組成比を引用する ([SCALE CODE SYSTEM³⁸⁾ p.7-180 Table 7.2.2] を参照)。

ただし、B および Li については、理科年表²⁶⁾ に記載された存在比に上限値と下限値が記載されていることと、その平均値が断面積ライブラリに収録された組成比 (B-10 : B-11 = 19.9 : 80.1at%、Li-6 : Li-7 = 7.59 : 92.41at%) と著しく異なるため、理科年表²⁶⁾ 記載値から計算される組成比をもとに核種毎の原子個数密度を計算して入力する。

Table 付録- 1.3.1 元素の同位体存在比と原子量 [1/6]

元素番号	元素	原子量 (g/mol)	同位体	質量 (g/mol)	存在比 (at%)			存在比 (wt%)
					下限値	上限値	平均	
1	H	1.00797094236815	H-1	1.00782503224	99.972	99.999	99.9855	99.9710264705509
			H-2	2.01410177811	0.028	0.001	0.0145	0.028973529449153900
2	He	4.00260128098214	He-3	3.01602932265	0.0002	—	0.0002	0.000150703460620986
			He-4	4.00260325413	99.9998	—	99.9998	99.9998492965394
3	Li	6.9674607303444	Li-6	6.0151228874	1.9	7.8	4.85	4.18708438166511
			Li-7	7.016003437	98.1	92.2	95.15	95.8129156183349
4	Be	9.01218307	Be-9	9.01218307	100.0	—	100.0	100.0
5	B	10.8135187950675	B-10	10.012936862	18.9	20.4	19.65	18.1952066729701
			B-11	11.009305167	81.1	79.6	80.35	81.8047933270299
6	C	12.0106355612532	C-12	12.0000000 ^{*1}	98.84	99.04	98.94	98.8523874481889
			C-13	13.00335483521	1.16	0.96	1.06	1.14761255181106
7	N	14.0068577518844	N-14	14.00307400446	99.578	99.663	99.6205	99.5935889813426
			N-15	15.0001088989	0.422	0.337	0.3795	0.406411018657394
8	O	15.9993744255112	O-16	15.9949146196	99.738	99.776	99.757	99.7291928591424
			O-17	16.9991317566	0.04	0.0367	0.03835	0.040746387047866100
			O-18	17.9991596128	0.222	0.187	0.2045	0.230060753809754
9	F	18.9984031629	F-19	18.9984031629	100.0	—	100.0	100.0
			F-20	19.9924401762	90.48	—	90.48	89.6388419067596
10	Ne	20.1800463801638	Ne-21	20.99384669	0.27	—	0.27	0.280888284373408
			Ne-22	21.99138511	9.25	—	9.25	10.080269808867
			Ne-20	19.9924401762	90.48	—	90.48	89.6388419067596
11	Na	22.989769282	Na-23	22.989769282	100.0	—	100.0	100.0
			Mg-24	23.985041697	78.88	79.05	78.965	77.9232330255636
			Mg-25	24.98583696	10.034	9.988	10.011	10.2911334201421
12	Mg	24.3057011890441	Mg-26	25.98259297	11.09	10.96	11.025	11.7856335542943
			Al-27	26.98153841	100.0	—	100.0	100.0
			Si-28	27.976926535	92.191	92.318	92.2545	91.899498989182
13	Al	26.98153841	Si-29	28.9764946653	4.699	4.645	4.672	4.82030216229345
			Si-30	29.973770137	3.11	3.037	3.0735	3.28019884852451
			P-31	30.9737619986	100.0	—	100.0	100.0
14	Si	28.0849993461551	S-32	31.9720711744	94.41	95.29	94.85	94.5737490737122
			S-33	32.9714589099	0.797	0.729	0.763	0.784558263964082
			S-34	33.96786701	4.77	3.96	4.365	4.62397017087088
			S-36	35.9670807	0.0187	0.0129	0.0158	0.017722491452867200
15	P	30.9737619986	Cl-35	34.96885269	75.5	76.1	75.8	74.7666890167979
			Cl-37	36.96590258	24.5	23.9	24.2	25.2333109832021
			Cl-35	34.96885269	75.5	76.1	75.8	74.7666890167979

*1 アボガドロ定数が定義値となったことから、C-12 の 1mol の重量は 11.9999999958 (36) g という実験値となったが、本ベンチマーク計算では、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ に記載された値を採用する。

Table 付録- 1.3.1 元素の同位体存在比と原子量 [2/6]

元素番号	元素	原子量 (g/mol)	同位体	質量 (g/mol)	存在比 (at%)			存在比 (wt%)
					下限値	上限値	平均	
18	Ar	39.9477985636753	Ar-36	35.967545105	0.3336	—	0.3336	0.300361308468661
			Ar-38	37.9627321	0.0629	—	0.0629	0.059774403970818200
			Ar-40	39.9623831238	99.6035	—	99.6035	99.6398642875605
19	K	39.0983009106528	K-39	38.963706487	93.2581	—	93.2581	92.9370625142756
			K-40	39.96399817	0.0117	—	0.0117	0.011959056217238400
			K-41	40.961825258	6.7302	—	6.7302	7.05097842950713
20	Ca	40.0780225128827	Ca-40	39.962590866	96.941	—	96.941	96.6617931285319
			Ca-42	41.95861783	0.647	—	0.647	0.677359411315361
			Ca-43	42.95876643	0.135	—	0.135	0.144703583271501
			Ca-44	43.9554815	2.086	—	2.086	2.28781583171991
			Ca-46	45.953688	0.004	—	0.004	0.004586422694406010
			Ca-48	47.9525229	0.187	—	0.187	0.223741622466964
21	Sc	44.9559075	Sc-45	44.9559075	100.0	—	100.0	100.0
22	Ti	47.866743929141	Ti-46	45.95262686	8.25	—	8.25	7.92009525770564
			Ti-47	46.95175775	7.44	—	7.44	7.29778232204625
			Ti-48	47.94794093	73.72	—	73.72	73.8450522264933
			Ti-49	48.94786463	5.41	—	5.41	5.53219053379326
			Ti-50	49.94478584	5.18	—	5.18	5.40487965996151
23	V	50.94146564725	V-50	49.9474558	0.25	—	0.25	0.245121803845746
			V-51	50.9439569	99.75	—	99.75	99.7548781961543
24	Cr	51.99613056945	Cr-50	49.9460414	4.345	—	4.345	4.17368653217642
			Cr-52	51.940505	83.789	—	83.789	83.6993623522058
			Cr-53	52.940647	9.501	—	9.501	9.67358689268559
			Cr-54	53.938878	2.365	—	2.365	2.4533642229322
25	Mn	54.9380432	Mn-55	54.9380432	100.0	—	100.0	100.0
26	Fe	55.845143705992	Fe-54	53.9396083	5.845	—	5.845	5.64555822746807
			Fe-56	55.9349356	91.754	—	91.754	91.9015287714575
			Fe-57	56.9353921	2.119	—	2.119	2.1603686167425
			Fe-58	57.9332737	0.282	—	0.282	0.292544384331969
27	Co	58.9331937	Co-59	58.9331937	100.0	—	100.0	100.0
28	Ni	58.6933505081169	Ni-58	57.9353418	68.0769	—	68.0769	67.197705294384
			Ni-60	59.9307853	26.2231	—	26.2231	26.7759629054247
			Ni-61	60.9310549	1.1399	—	1.1399	1.18335908376716
			Ni-62	61.9283449	3.6345	—	3.6345	3.83482230253533
			Ni-64	63.9279663	0.9256	—	0.9256	1.00815041388883
29	Cu	63.54603952455	Cu-63	62.9295972	69.15	—	69.15	68.4791952250437
			Cu-65	64.9277895	30.85	—	30.85	31.5208047749563
30	Zn	65.37778233954	Zn-64	63.9291418	49.17	—	49.17	48.0804914119104
			Zn-66	65.9260337	27.73	—	27.73	27.9625409287608
			Zn-67	66.9271275	4.04	—	4.04	4.13574130880963
			Zn-68	67.9248443	18.45	—	18.45	19.1687960724398
			Zn-70	69.9253192	0.610	—	0.610	0.652430278079391
31	Ga	69.72306604068	Ga-69	68.9255735	60.108	—	60.108	59.4204846000429
			Ga-71	70.9247025	39.892	—	39.892	40.5795153999571
32	Ge	72.6298488938959	Ge-70	69.9242487	20.52	—	20.52	19.7555909199281
			Ge-72	71.92207583	27.45	—	27.45	27.1825015692608
			Ge-73	72.92345896	7.76	—	7.76	7.79137021689659
			Ge-74	73.921177762	36.52	—	36.52	37.1693105931152
			Ge-76	75.921402727	7.75	—	7.75	8.10122670079933
33	As	74.9215946	As-75	74.9215946	100.0	—	100.0	100.0

Table 付録- 1.3.1 元素の同位体存在比と原子量 [3/6]

元素番号	元素	原子量 (g/mol)	同位体	質量 (g/mol)	存在比 (at%)			存在比 (wt%)
					下限値	上限値	平均	
34	Se	78.9710815045762	Se-74	73.922475935	0.86	—	0.86	0.80502037065829
			Se-76	75.919213704	9.23	—	9.23	8.87330310206419
			Se-77	76.91991415	7.6	—	7.6	7.40260024811898
			Se-78	77.91730924	23.69	—	23.69	23.3738859938069
			Se-80	79.9165218	49.8	—	49.8	50.3962046589089
			Se-82	81.9166995	8.82	—	8.82	9.14898562644267
35	Br	79.9043262211	Br-79	78.9183376	50.5	50.8	50.65	50.0249985010758
			Br-81	80.9162882	49.2	49.5	49.35	49.9750014989242
36	Kr	83.7979997422059	Kr-78	77.9203663	0.355	—	0.355	0.330100123172365
			Kr-80	79.916378	2.286	—	2.286	2.18010979581875
			Kr-82	81.913481155	11.593	—	11.593	11.3322870468425
			Kr-83	82.914126518	11.5	—	11.5	11.3787018531512
			Kr-84	83.911497729	56.987	—	56.987	57.0641845365442
			Kr-86	85.910610626	17.279	—	17.279	17.714616644471
37	Rb	85.4676635956919	Rb-85	84.911789738	72.17	—	72.17	71.700612928658
			Rb-87	86.909180531	27.83	—	27.83	28.299387071342
38	Sr	87.6166442802684	Sr-84	83.9134191	0.56	—	0.56	0.536330911575241
			Sr-86	85.909260726	9.86	—	9.86	9.66785840426352
			Sr-87	86.908877496	7.0	—	7.0	6.94345403740834
			Sr-88	87.905612256	82.58	—	82.58	82.8523566467529
39	Y	88.9063732	Y-89	88.9063732	100.0	—	100.0	100.0
40	Zr	91.22364279142	Zr-90	89.90469876	51.45	—	51.45	50.706117511425
			Zr-91	90.90564022	11.22	—	11.22	11.1808874548072
			Zr-92	91.90503532	17.15	—	17.15	17.2781014604061
			Zr-94	93.90631252	17.38	—	17.38	17.8911043415502
			Zr-96	95.90827762	2.8	—	2.8	2.94378923181149
41	Nb	92.9063732	Nb-93	92.9063732	100.0	—	100.0	100.0
42	Mo	95.9487770777542	Mo-92	91.90680716	14.649	—	14.649	14.0318913809167
			Mo-94	93.90508359	9.187	—	9.187	8.99131838066281
			Mo-95	94.90583744	15.873	—	15.873	15.7004643890807
			Mo-96	95.90467477	16.673	—	16.673	16.6653363507115
			Mo-97	96.9060169	9.582	—	9.582	9.67759550685389
			Mo-98	97.90540361	24.292	—	24.292	24.7873723556351
			Mo-100	99.907468	9.744	—	9.744	10.1460216361393
43	Tc ^{*2}	97.907211555	Tc-98	97.907211555	100.0	—	100.0	100.0
44	Ru	101.064936866784	Ru-96	95.90758891	5.54	—	5.54	5.25729356821106
			Ru-98	97.905287	1.87	—	1.87	1.81153714004023
			Ru-99	98.9059303	12.76	—	12.76	12.4874136347755
			Ru-100	99.9042105	12.6	—	12.6	12.4552895526887
			Ru-101	100.9055731	17.06	—	17.06	17.0330990198419
			Ru-102	101.9043403	31.55	—	31.55	31.8120412097311
			Ru-104	103.9054254	18.62	—	18.62	19.1433258747116
45	Rh	102.9054941	Rh-103	102.9054941	100.0	—	100.0	100.0
46	Pd	106.41532788648	Pd-102	101.9056321	1.02	—	1.02	0.976774180998469
			Pd-104	103.9040304	11.14	—	11.14	10.8771069134962
			Pd-105	104.9050795	22.33	—	22.33	22.013092209178
			Pd-106	105.9034803	27.33	—	27.33	27.1985453043623
			Pd-108	107.9038918	26.46	—	26.46	26.8301290212041
			Pd-110	109.9051729	11.72	—	11.72	12.1043523707608
			Ag-109	108.9047558	48.161	—	48.161	48.6238241099415

※2 Tcについては安定同位体が存在せず、全てが放射性であるため、最も半減期が長い(4.2×10⁶年) Tc-98の質量数を採用する。質量数は、日本原子力研究開発機構の核データ研究グループより公開されている核データ³⁷⁾より引用する。

Table 付録- 1.3.1 元素の同位体存在比と原子量 [4/6]

元素番号	元素	原子量 (g/mol)	同位体	質量 (g/mol)	存在比 (at%)			存在比 (wt%)
					下限値	上限値	平均	
47	Ag	107.868149823523	Ag-107	106.9050915	51.839	—	51.839	51.3761758900585
48	Cd	112.413818632616	Cd-106	105.9064598	1.245	—	1.245	1.17293001923469
			Cd-108	107.9041836	0.888	—	0.888	0.852376657979649
			Cd-110	109.9030075	12.47	—	12.47	12.1914771706488
			Cd-111	110.9041838	12.795	—	12.795	12.6231725688329
			Cd-112	111.90276388	24.109	—	24.109	23.9993958678684
			Cd-113	112.9044081	12.227	—	12.227	12.2803603207387
			Cd-114	113.90336499	28.754	—	28.754	29.1350066812176
49	In	114.81826655155	In-113	112.90406045	4.281	—	4.281	4.20962880997202
			In-115	114.903878774	95.719	—	95.719	95.790371190028
50	Sn	118.710112703336	Sn-112	111.9048249	0.97	—	0.97	0.914392865789519
			Sn-114	113.90278013	0.66	—	0.66	0.633272373969261
			Sn-115	114.903344697	0.34	—	0.34	0.329096959874103
			Sn-116	115.90174282	14.54	—	14.54	14.1960217392283
			Sn-117	116.902954	7.68	—	7.68	7.56308511780876
			Sn-118	117.9016066	24.22	—	24.22	24.0550433895069
			Sn-119	118.9033112	8.59	—	8.59	8.60398006495447
			Sn-120	119.9022019	32.58	—	32.58	32.9071689761122
			Sn-122	121.903444	4.63	—	4.63	4.75454814140817
51	Sb	121.75978292881	Sn-124	123.9052767	5.790	—	5.790	6.04339037134821
			Sb-121	120.9038101	57.21	—	57.21	56.8078129694527
52	Te	127.603126487858	Sb-123	122.904214	42.79	—	42.79	43.1921870305473
			Te-120	119.90406	0.09	—	0.09	0.084569757003774400
			Te-122	121.9030434	2.55	—	2.55	2.43609047227836
			Te-123	122.9042697	0.89	—	0.89	0.857226645174786
			Te-124	123.9028171	4.74	—	4.74	4.60254673391475
			Te-125	124.9044299	7.07	—	7.07	6.92047556904518
			Te-126	125.9033109	18.84	—	18.84	18.5890302427795
53	I	126.904472	Te-128	127.9044613	31.74	—	31.74	31.8149540171989
			Te-130	129.906222747	34.08	—	34.08	34.6951065626048
54	Xe	131.292771282916	I-127	126.904472	100.0	—	100.0	100.0
			Xe-124	123.9058916	0.095	—	0.095	0.08965504792823
			Xe-126	125.904297	0.089	—	0.089	0.085347291579776800
			Xe-128	127.903531	1.91	—	1.91	1.86069455174786
			Xe-129	128.904780859	26.401	—	26.401	25.9208110713501
			Xe-130	129.903509349	4.071	—	4.071	4.02792310187599
			Xe-131	130.905084136	21.232	—	21.232	21.169305204065
			Xe-132	131.904155087	26.909	—	26.909	27.0343056556224
55	Cs	132.905451961	Xe-134	133.905393034	10.436	—	10.436	10.6436681018147
			Xe-136	135.907214476	8.857	—	8.857	9.16828997401596
56	Ba	137.32667187153	Cs-133	132.905451961	100.0	—	100.0	100.0
			Ba-130	129.9063209	0.11	—	0.11	0.104056226691113
			Ba-132	131.9050611	0.1	—	0.1	0.096052033667136500
			Ba-134	133.9045084	2.42	—	2.42	2.35969390295244
			Ba-135	134.9056886	6.59	—	6.59	6.47382242471945
			Ba-136	135.904576	7.85	—	7.85	7.76870878075343
			Ba-137	136.9058274	11.23	—	11.23	11.1955851019261
			Ba-138	137.9052472	71.7	—	71.7	72.0020815292903

Table 付録- 1.3.1 元素の同位体存在比と原子量 [5/6]

元素番号	元素	原子量 (g/mol)	同位体	質量 (g/mol)	存在比 (at%)			存在比 (wt%)
					下限値	上限値	平均	
57	La	138.905471374246	La-138	137.907118	0.08881	—	0.08881	0.088171697114666800
			La-139	138.9063588	99.91119	—	99.91119	99.9118283028853
58	Ce	140.115693613296	Ce-136	135.9071294	0.186	—	0.186	0.180413238635256
			Ce-138	137.905989	0.251	—	0.251	0.24704158646591
			Ce-140	139.9054464	88.449	—	88.449	88.3162799934878
			Ce-142	141.9092499	11.114	—	11.114	11.256265181411
			Nd-142	141.9077289	27.153	—	27.153	26.7136591680215
60	Nd	144.241585871333	Nd-143	142.9098199	12.173	—	12.173	12.060608091168
			Nd-144	143.9100929	23.798	—	23.798	23.743307938178
			Nd-145	144.9125792	8.293	—	8.293	8.33157797070811
			Nd-146	145.9131225	17.189	—	17.189	17.3881938936098
			Nd-148	147.9168991	5.756	—	5.756	5.90266438126296
			Nd-150	149.9209015	5.638	—	5.638	5.85998855705169
			61	Pm ^{*3}	144.912756061	Pm-145	144.912756061	100.0
62	Sm	150.36465339672	Sm-144	143.9120064	3.08	—	3.08	2.94782696397762
			Sm-147	146.9149041	15.0	—	15.0	14.6558616783808
			Sm-148	147.914829	11.25	—	11.25	11.0667087554122
			Sm-149	148.9171914	13.82	—	13.82	13.6869639151038
			Sm-150	149.9172822	7.37	—	7.37	7.34807246819419
			Sm-152	151.919739	26.74	—	26.74	27.0165476333191
			Sm-154	153.9222162	22.74	—	22.74	23.2780185856123
63	Eu	151.96437717419	Eu-151	150.9198569	47.81	—	47.81	47.4813801271216
			Eu-153	152.921237	52.19	—	52.19	52.5186198728784
64	Gd	157.25212992363	Gd-152	151.9197988	0.2	—	0.2	0.193218112687924
			Gd-154	153.9208734	2.18	—	2.18	2.13381850010528
			Gd-155	154.9226298	14.8	—	14.8	14.5807558991635
			Gd-156	155.9221306	20.47	—	20.47	20.296869841649
			Gd-157	156.9239679	15.65	—	15.65	15.6173407560692
			Gd-158	157.9241116	24.84	—	24.84	24.9461481637746
			Gd-160	159.9270615	21.86	—	21.86	22.2318487265505
65	Tb	158.9253539	Tb-159	158.9253539	100.0	—	100.0	100.0
66	Dy	162.499471419911	Dy-156	155.924284	0.056	—	0.056	0.053734081887789500
			Dy-158	157.9244146	0.095	—	0.095	0.092325342697463800
			Dy-160	159.9252032	2.329	—	2.329	2.29210467577658
			Dy-161	160.9269391	18.889	—	18.889	18.7062082485484
			Dy-162	161.9268042	25.475	—	25.475	25.3852231084215
			Dy-163	162.9287369	24.896	—	24.896	24.9617663271081
			Dy-164	163.9291805	28.26	—	28.26	28.5086382155602
67	Ho	164.930328	Ho-165	164.930328	100.0	—	100.0	100.0
68	Er	167.259082330644	Er-162	161.928787	0.139	—	0.139	0.134570279110495
			Er-164	163.9292074	1.601	—	1.601	1.56912651552504
			Er-166	165.930299	33.503	—	33.503	33.2368367082598
			Er-167	166.9320541	22.869	—	22.869	22.8242860837068
			Er-168	167.9323763762	26.978	—	26.978	27.0865987469733
			Er-170	169.9354707	14.91	—	14.91	15.1485816664246
69	Tm	168.9342184	Tm-169	168.9342184	100.0	—	100.0	100.0
70	Yb	173.054130784007	Yb-168	167.9338891	0.123	—	0.123	0.119360735659532
			Yb-170	169.934767246	2.982	—	2.982	2.92824836732764
			Yb-171	170.936331517	14.086	—	14.086	13.9136185587717
			Yb-172	171.936386659	21.686	—	21.686	21.545931693135
			Yb-173	172.938216215	16.103	—	16.103	16.0922139396138
			Yb-174	173.938867548	32.025	—	32.025	32.1887273536235
			Yb-176	175.942574709	12.995	—	12.995	13.2118993518689

※3 Pmについては安定同位体が存在せず、全てが放射性であるため、最も半減期が長い(17.7年) Pm-145の質量数を採用する。質量数は、日本原子力研究開発機構の核データ研究グループより公開されている核データ³⁷⁾より引用する。

Table 付録- 1.3.1 元素の同位体存在比と原子量 [6/6]

元素番号	元素	原子量 (g/mol)	同位体	質量 (g/mol)	存在比 (at%)			存在比 (wt%)
					下限値	上限値	平均	
71	Lu	174.966817057855	Lu-175	174.9407773	97.401	—	97.401	97.3865041173093
			Lu-176	175.9426918	2.599	—	2.599	2.61349588269069
72	Hf	178.48498136966	Hf-174	173.9400485	0.16	—	0.16	0.155925767795333
			Hf-176	175.9414099	5.26	—	5.26	5.18504027046006
			Hf-177	176.9432303	18.6	—	18.6	18.4393334292016
			Hf-178	177.9437085	27.28	—	27.28	27.1972707766726
			Hf-179	178.9458258	13.62	—	13.62	13.6551665506703
			Hf-180	179.9465597	35.08	—	35.08	35.3672632052001
73	Ta	180.947879136239	Ta-180	179.9474684	0.01201	—	0.01201	0.011943600034443200
			Ta-181	180.9479993	99.98799	—	99.98799	99.9880563999656
74	W	183.84177968201	W-180	179.9467134	0.12	—	0.12	0.117457553148965
			W-182	181.9482057	26.5	—	26.5	26.2270494743683
			W-183	182.9502245	14.31	—	14.31	14.2406025285622
			W-184	183.9509333	30.64	—	30.64	30.6581920935546
			W-186	185.9543652	28.43	—	28.43	28.7566983510513
75	Re	186.206707344	Re-185	184.9529583	37.4	—	37.4	37.1481819268789
			Re-187	186.9557523	62.6	—	62.6	62.8518180731212
76	Os	190.22486154465	Os-184	183.9524929	0.02	—	0.02	0.019340531138388800
			Os-186	185.9538377	1.59	—	1.59	1.55430052382296
			Os-187	186.9557496	1.96	—	1.96	1.92631639334898
			Os-188	187.9558374	13.24	—	13.24	13.0820717490278
			Os-189	188.958146	16.15	—	16.15	16.042456454535
			Os-190	189.9584455	26.26	—	26.26	26.232220243153
77	Ir	192.2160538521	Ir-191	190.9605915	37.3	—	37.3	37.0563744297375
			Ir-193	192.9629238	62.7	—	62.7	62.9436255702625
78	Pt	194.991537116136	Pt-190	189.9599499	0.012	—	0.012	0.011690350425015300
			Pt-192	191.9610427	0.782	—	0.782	0.769846412883003
			Pt-194	193.9626835	32.864	—	32.864	32.6905963449452
			Pt-195	194.9647944	33.775	—	33.775	33.7703678233895
			Pt-196	195.9649547	25.211	—	25.211	25.2892167538389
79	Au	196.9665701	Pt-198	197.9678967	7.356	—	7.356	7.46828231451843
			Au-197	196.9665701	100.0	—	100.0	100.0
80	Hg	200.59256062578	Hg-196	195.965833	0.15	—	0.15	0.146540204972199
			Hg-198	197.9667692	10.04	—	10.04	9.90857465784081
			Hg-199	198.968281	16.94	—	16.94	16.8028299236279
			Hg-200	199.9683269	23.14	—	23.14	23.0679895108299
			Hg-301	200.970303	13.17	—	13.17	13.1948008552907
			Hg-202	201.9706436	29.74	—	29.74	29.944315591393
81	Tl	204.38351234352	Hg-204	203.973494	6.82	—	6.82	6.93494925604543
			Tl-203	202.972344	29.44	29.59	29.515	29.3112133384371
82	Pb	207.216907463	Tl-205	204.9744272	70.41	70.56	70.485	70.6887866615629
			Pb-204	203.9730434	1.4	—	1.4	1.3780837879312
			Pb-206	205.9744651	24.1	—	24.1	23.9554999140037
			Pb-207	206.9758967	22.1	—	22.1	22.0742958336387
83	Bi	208.9803985	Pb-208	207.9766519	52.4	—	52.4	52.5921204644264
			Bi-209	208.9803985	100.0	—	100.0	100.0
90	Th	232.03765271574	Th-230	230.0331324	0.02	—	0.02	0.019827224565299700
			Th-232	232.0380537	99.28	—	99.98	99.9801727754347
92	U (.Nat)	238.028909058028	U-234	234.0409504	0.0054	—	0.0054	0.005309527893739560
			U-235	235.0439282	0.7204	—	0.7204	0.711365886376434
			U-238	238.050787	99.2742	—	99.2742	99.2833245857298

付録-2. 物質の組成と原子個数密度

2.1 原子個数密度の算出式

元素毎の原子個数密度の算出式は、共通的に以下の式を用いた。

$$G_i = \frac{\rho \times W_i / 100}{A_i} \times N_A \times 1.0 \times 10^{-24}$$

G_i	:	対象元素 i の原子個数密度 (atoms/barn · cm)
ρ	:	対象物質の密度 (g/cm ³)
W_i	:	物質中の元素 i の重量比 (wt%)
N_A	:	アボガドロ定数 (6.02214076×10 ²³)
A_i	:	元素 i の原子量 (g/mol)
1.0×10^{-24}	:	断面積換算係数 (cm ² →barn)

同位体毎の原子個数密度を求める場合は、以下の式より求めた。

$$G_n = \frac{\rho \times W_{in} / 100}{A_n} \times N_A \times 1.0 \times 10^{-24}$$

$$W_{in} = W_i \times W_n / 100$$

G_n	:	対象同位体 n の原子個数密度 (atoms/barn · cm)
W_{in}	:	物質中の同位体 n の重量比 (wt%)
W_n	:	元素 i 中の同位体 n の同位体組成比 (wt%)
A_n	:	同位体 n の原子量 (g/mol)

2.2 部材材質の組成

本ベンチマーク計算における臨界計算モデルにおいて、使用した材質は以下のとおりである。

インコネル 600

Al-1100

Al-6061

Al-5052

アルミニウム

ジルカロイ-2

SUS316 ステンレス鋼

SUS304L ステンレス鋼

Type-347 ステンレス鋼

ポリプロピレン

クラッド (燃料コンパクト被覆材)

アクリル樹脂 (プレキシガラス)

ポリエチレン

コンクリート

鉛

水

空気

以降に材質の成分組成と原子個数密度を示す。

2.2.1 インコネル 600

日本産業規格 JIS G 4901 NCF600 の組成より、各元素の成分比において、上限値が設定されている元素については上限値を、上限値と下限値が設定されている元素については、上限値と下限値の平均を採用する。Table 付録- 2.2.1.1 にインコネル 600 の成分組成と原子個数密度を示す。

密度は 8.4g/cm^3 である。

Table 付録- 2.2.1.1 インコネル 600 の成分組成と原子個数密度

元素	重量比 (wt%)		原子個数密度 (atoms/barn · cm)
	文献値	採用値	
C	0.15 以下	0.15	6.31765E-04
Si	0.5 以下	0.5	9.00587E-04
Mn	1.0 以下	1	9.20782E-04
P	0.03 以下	0.03	4.89956E-05
S	0.015 以下	0.015	2.36638E-05
Ni	72.00 以上	74.335	6.40670E-02
Cr	14.00~17.00	15.5	1.50796E-02
Fe	6.00~10.00	8	7.24661E-03
Cu	0.50 以下	0.5	3.98026E-04

2.2.2 Al-1100

日本産業規格 JIS H 4000 に記載された組成より、各元素の成分比において、上限値が設定されている元素については上限値を、上限値と下限値が設定されている元素については、上限値と下限値の平均を採用する。Table 付録- 2.2.2.1 に Al-1100 の成分組成と原子個数密度を示す。

密度は 2.71g/cm^3 である。

Table 付録- 2.2.2.1 Al-1100 の成分組成と原子個数密度

元素	重量比 (wt%)		原子個数密度 (atoms/barn · cm)
	文献値	採用値	
Si*	0.95 以下 (Si+Fe)	0.475	2.76019E-04
Fe*		0.475	1.38812E-04
Cu	0.05~0.2	0.125	3.21027E-05
Mn	0.05 以下	0.05	1.48531E-05
Zn	0.1 以下	0.1	2.49626E-05
その他 個々	0.05 以下	0.0	—
その他 合計	0.15 以下	0.0	—
Al	99 以上	98.775	5.97449E-02

※ Si と Fe については、両者の合算値が 0.95wt%以下と規定されているため、それぞれ 0.475wt%とする。

2.2.3 Al-6061

日本産業規格 JIS H 4000 に記載された組成より、各元素の成分比において、上限値が設定されている元素については上限値を、上限値と下限値が設定されている元素については、上限値と下限値の平均を採用する。Table 付録- 2.2.3.1 に Al-6061 の成分組成と原子個数密度を示す。密度は 2.70g/cm^3 である。

Table 付録- 2.2.3.1 Al-6061 の成分組成と原子個数密度

元素	重量比 (wt%)		原子個数密度 (atoms/barn · cm)
	文献値	採用値	
Si	0.4~0.8	0.6	3.47369E-04
Fe	≤0.7	0.7	2.03811E-04
Cu	0.15~0.4	0.275	7.03654E-05
Mn	≤0.15	0.15	4.43949E-05
Mg	0.8~1.2	1	6.68970E-04
Cr	0.04~0.35	0.195	6.09787E-05
Zn	≤0.25	0.25	6.21762E-05
Ti	≤0.15	0.15	5.09533E-05
その他 個々	≤0.05	0	—
その他 合計	≤0.15	0	—
Al	0	96.68	5.82619E-02

2.2.4 Al-5052

日本産業規格 JIS H 4000 に記載された組成より、各元素の成分比において、上限値が設定されている元素については上限値を、上限値と下限値が設定されている元素については、上限値と下限値の平均を採用する。Table 付録- 2.2.4.1 に Al-5052 の成分組成と原子個数密度を示す。

密度は 2.68g/cm^3 である。

Table 付録- 2.2.4.1 Al-5052 の成分組成と原子個数密度

元素	重量比 (wt%)		原子個数密度 (atoms/barn · cm)
	文献値	採用値	
Si	0.25 以下	0.25	1.43665E-04
Fe	0.40 以下	0.4	1.15601E-04
Cu	0.10 以下	0.1	2.53979E-05
Mn	0.10 以下	0.1	2.93773E-05
Mg	2.2~2.8	2.5	1.66004E-03
Cr	0.15~0.35	0.25	7.75987E-05
Zn	0.10 以下	0.1	2.46863E-05
Ti	0.03 以下	0.03	1.01152E-05
その他	0.05 以下	0.0	—
Al	残部	96.27	5.75851E-02

2.2.5 アルミニウム

理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より、密度 2.7g/cm^3 を引用する。また、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾ TABLE I] においても密度 2.7g/cm^3 の記述がある (付録-1.3、付録-2.3.4 を参照)。Table 付録- 2.2.5.1 にアルミニウムの原子個数密度を示す。

Table 付録- 2.2.5.1 アルミニウムの原子個数密度

元素	重量 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子数比	密度 (g/cm^3)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
AL	100	26.9815384	100	2.7	6.02626E-02

2.2.6 ジルカロイ-2 (Zircaloy-2)

Zircaloy-2の成分組成は、後述のSCALE 6.2.3 コードシステム内蔵ライブラリの標準物質 ZIRC2より引用する（付録-2.3.7を参照）。

Table 付録-2.2.6.1にジルカロイ-2の成分組成と原子個数密度を示す。密度は 6.56g/cm^3 である。

Table 付録- 2.2.6.1 ジルカロイ-2の成分組成と原子個数密度

元素	重量比 (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
Zr	98.25	4.25481E-02
Sn	1.45	4.82542E-04
Cr	0.1	7.59773E-05
Fe	0.135	9.54999E-05
Ni	0.055	3.70193E-05
Hf	0.01	2.21337E-06

2.2.7 SUS316 ステンレス鋼

SUS316 ステンレス鋼については、その密度と成分組成について、後述のSCALE 6.2.3 コードシステム内蔵ライブラリ SS316の値を引用する（付録-2.3.1を参照）。

Table 付録- 2.2.7.1に SUS316 ステンレス鋼の成分組成と原子個数密度を示す。密度は 8.03g/cm^3 である。

Table 付録- 2.2.7.1 SUS316の成分組成と原子個数密度

元素	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子数比 (at%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
C	0.08	12.01063556	0.36835864	0.006424	3.22100E-04
Si	1.0	28.08499935	1.969121185	0.0803	1.72184E-03
P	0.045	30.973762	0.080346214	0.0036135	7.02563E-05
Cr	17.0	51.99613057	18.08109627	1.3651	1.58105E-02
Mn	2.0	54.9380432	2.013277648	0.1606	1.76045E-03
Fe	65.375	55.84514371	64.74006808	5.2496125	5.66099E-02
Ni	12.0	58.69335051	11.30678689	0.9636	9.88687E-03
Mo	2.5	95.94877708	1.440945077	0.20075	1.25999E-03

2.2.8 SUS304L ステンレス鋼

SUS304 ステンレス鋼の炭素量を0.03%まで抑えたもの。

(1) JIS G 4303 記載組成

日本産業規格 JIS G 4303 に記載された組成より、各元素の成分比において、上限値が設定されている元素については上限値を、上限値と下限値が設定されている元素については、上限値と下限値の平均を採用する。本ベンチマーク計算では、臨界実験レポート中に SUS304L の組成、密度の条件が記されていない場合は、この条件を採用する。

Table 付録- 2.2.8.1に SUS304 ステンレス鋼の成分組成と原子個数密度を示す。密度は 7.93g/cm^3 である。

Table 付録- 2.2.8.1 SUS304L の成分組成と原子個数密度 [JIS G 4303]

元素	重量比 (wt%)		原子個数密度 (atoms/barn・cm)
	文献値	採用値	
C	0.03 以下	0.03	1.19283E-04
Si	1.0 以下	1.0	1.70039E-03
Mn	2.0 以下	2.0	1.73852E-03
P	0.045 以下	0.045	6.93813E-05
S	0.03 以下	0.03	4.46795E-05
Ni	9.00～13.00	11.0	8.95010E-03
Cr	18.00～20	19.0	1.74505E-02
Fe	残部	66.895	5.72048E-02

(2) 文献 [PNL-6559 TABLE2.1] 記載組成 (Type304L Stainless Steel)

文献 [PNL-6559¹⁰⁾ TABLE2.1] に Type-304L ステンレス鋼 (ガイドチューブ) の成分組成の記述がある。第 3.1.5 項の MOX 非均質系計算モデル PNL-6559 (pnl6559_01～13) においては、以下の成分組成を用いた。密度については、JIS G 4303 の密度 7.93g/cm³ を引用する。

Table 付録- 2.2.8.2 に SUS304 ステンレス鋼の成分組成と原子個数密度を示す。

Table 付録- 2.2.8.2 Type-304L ステンレス鋼の成分組成と原子個数密度 [PNL-6559 TABLE2.1]

元素	重量比 (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Fe	69.208 [*]	5.91827E-02
Cr	18.33	1.68351E-02
Ni	9.33	7.59131E-03
Mn	1.54	1.33866E-03
Si	0.47	7.99185E-04
Mo	0.31	1.54293E-04
Cu	0.29	2.17938E-04
C	0.24	9.54266E-04
Co	0.19	1.53963E-04
N	0.06	2.04567E-04
P	0.027	4.16288E-05
S	0.005	7.44658E-06

^{*}Balance of data to equal 100 wt%.

2.2.9 Type-347 ステンレス鋼 (SUS347)

文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾ TABLE I] に記載された Type-347 Stainless steel の密度および組成は Table 付録- 2.2.9.1 に示すとおりであるが、組成比については、重量比 (wt%) か原子数比 (at%) か明記されていない。

Table 付録- 2.2.9.1 Type-347 Stainless steel 成分組成 (Nucl.Sci.Eng.Vol.79)

密度 (g/cm ³)	8.0
元素	組成比 (%)
Fe	70
Cr	18
Ni	12

^{*}文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵⁾ TABLE I] より引用する。

Table 付録- 2.2.9.2 に日本産業規格 JIS G 4303 に記載された SUS347 の密度および組成 (wt%) を示す。

Table 付録- 2.2.9.2 SUS347 成分組成 (JIS G 4303)

密度 (g/cm ³)	7.98	
	重量比 (wt%)	
C	0.08 以下	0.08
Si	1 以下	1
Mn	2 以下	2
P	0.045 以下	0.045
S	0.03 以下	0.03
Ni	9~13	11
Cr	17~19	18
Nb	10×C	0.8
Fe		67.045

JIS G 4303 に記載された組成より、各元素の成分比において、上限値が設定されている元素については上限値を、上限値と下限値が設定されている元素については、上限値と下限値の平均を採用する。

ここで、Fe、Cr、N の成分に着目すると、両者で近い値となっている。このため、文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵] に記載された組成は、重量比であると判断する。

Table 付録- 2.2.9.3 に本ベンチマーク計算で使用する Type-347 ステンレス鋼の原子個数密度を示す (密度は 7.98g/cm³ である)。

Table 付録- 2.2.9.3 Type-347 ステンレス鋼の原子個数密度 [Nucl.Sci.Eng.Vol.79]

核種名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子数比 (at%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
Fe	70.0	55.84514371	69.47882064	5.6	6.03884E-02
Cr	18.0	51.99613057	19.18851165	1.44	1.66779E-02
Ni	12.0	58.69335051	11.33266771	0.96	9.84993E-03

また、比較のため、SUS347 (JIS G 4303) の原子個数密度を Table 付録- 2.2.9.4 に示す。

Table 付録- 2.2.9.4 SUS347 の原子個数密度 [JIS G 4303]

核種名	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子数比 (at%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
C	0.08	12.01063556	0.365210018	0.006384	3.20094E-04
Si	1.0	28.08499935	1.952289716	0.0798	1.71112E-03
Mn	2.0	54.9380432	1.996068742	0.1596	1.74949E-03
P	0.045	30.973762	0.079659439	0.003591	6.98188E-05
S	0.03	32.06546	0.051298237	0.002394	4.49612E-05
Ni	11.0	58.69335051	10.27596149	0.8778	9.00653E-03
Cr	18.0	51.99613057	18.98104698	1.4364	1.66362E-02
Nb	0.8	92.9063732	0.472131704	0.06384	4.13807E-04
Fe	67.045	55.84514371	65.82633368	5.350191	5.76945E-02

2.2.10 ポリプロピレン(C₃H₆)_n

ポリプロピレンの密度においては、その形態から様々な値を示す。

0.855 g/cm³ (非晶)

0.946 g/cm³ (結晶)

0.90~0.92 g/cm³ (成型品)

本ポリプロピレンを使用する計算ケースにおいて、文献に記載された密度を Table 付録-2.2.10.1 に示す。

Table 付録- 2.2.10.1 文献中に記載されたポリプロピレンの密度

	項	計算ケース	記載値 密度 (g/cm ³)	文献名
MOX 非均質系	3.1.1 (1)	pnl_01	0.904	Nucl.Tech.Vol.44 ⁴⁾ p.142
	3.1.1 (2)	pnl_02	0.904	Nucl.Tech.Vol.49 ⁵⁾ p.40
	3.1.1 (3)	pnl_03	0.903	Nucl.Tech.Vol.48 ⁶⁾ p.130
	3.1.4	pnl5803	0.904	PNL-5803 ⁹⁾ p.29

※ Nuclear Technology Vol.44⁴⁾ → Nucl.Tech.Vol.44
 Nuclear Technology Vol.49⁵⁾ → Nucl.Tech.Vol.49
 Nuclear Technology Vol.48⁶⁾ → Nucl.Tech.Vol.48

分子構造(C₃H₆)_nより、その原子数比から組成比を求め、原子個数密度を計算する。Table 付録-2.2.10.2、Table 付録- 2.2.10.3 にポリプロピレンの原子個数密度を示す。

Table 付録- 2.2.10.2 ポリプロピレンの原子個数密度 密度 0.904g/cm³の場合 (pnl_01、pnl_02)

元素	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子数比	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
H	14.37230067	1.007970942	6	0.129921586	7.76243E-02
C	85.62769933	12.01063556	3	0.774078414	3.88121E-02

Table 付録- 2.2.10.3 ポリプロピレンの原子個数密度 密度 0.903g/cm³の場合 (pnl_03)

元素	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子数比	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
H	14.37230067	1.007970942	6	0.129781875	7.75384E-02
C	85.62769933	12.01063556	3	0.773218125	3.87692E-02

文献 [PNL-5803⁹⁾ APPENDIX E] において、ポリプロピレンに含まれる不純物が記載されている (Table 付録- 2.2.10.4 参照)。第 3.1.4 項 MOX 非均質系 PNL-5803 においては、不純物を考慮した原子個数密度を採用する (Table 付録- 2.2.10.5 参照)。

ポリプロピレン密度を 0.904g/cm³ としているが、不純物を考慮しているため、ポリプロピレン分子 0.9036338g/cm³ と不純物 0.0003662g/cm³ の合算値が密度 0.904g/cm³ となる。

Table 付録- 2.2.10.4 ポリプロピレン中の不純物

元素	Parts per Million by Weight (ppm)
Li*	2
Be	1
B*	0.04
Na	30
Mg	6
Al	30
Si	10
P	5
CL	1
K	40
Ti	<100
V	10
Cr	<10
Mn	2
Cu	100
Zn	50
As	8

※ 文献 [PNL-5803⁹⁾ APPENDIX E TABLE E.1] より引用する。

※ 火花源質量分析 (spark source mass spectrographic analysis) による分析。

※ LiおよびBの同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する。付録-1.3 を参照。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11=19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7=4.85at% : 95.15at%)

Table 付録- 2.2.10.5 ポリプロピレンに不純物が含まれる場合の原子個数密度 (PNL-5803)

元素	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子数比 (at%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
H	14.36647932	1.007970942	66.66367528	0.129872973	7.75928E-02
C	85.59301668	12.01063556	33.33183764	0.773760871	3.87964E-02
Li-6	8.37417E-06	6.015122887	6.51155E-06	7.57025E-08	7.57908E-09
Li-7	0.000191626	7.016003437	0.000127747	1.73230E-06	1.48691E-07
Be	0.0001	9.01218307	5.18988E-05	9.04000E-07	6.04073E-08
B-10	7.27808E-07	10.01293686	3.39971E-07	6.57939E-09	3.95708E-10
B-11	3.27219E-06	11.00930517	1.39016E-06	2.95806E-08	1.61807E-09
Na	0.003	22.98976928	0.000610342	2.71200E-05	7.10405E-07
Mg	0.0006	24.30570119	0.00011546	5.42400E-06	1.34389E-07
Al	0.003	26.98153841	0.000520046	2.71200E-05	6.05304E-07
Si	0.001	28.08499935	0.000166538	9.04000E-06	1.93841E-07
P	0.0005	30.973762	7.55028E-05	4.52000E-06	8.78811E-08
CL	0.0001	35.45213876	1.3193E-05	9.04000E-07	1.53560E-08
K	0.004	39.09830091	0.000478508	3.61600E-05	5.56957E-07
Ti	0.01	47.86674393	0.000977132	9.04000E-05	1.13733E-06
V	0.001	50.94146565	9.18154E-05	9.04000E-06	1.06868E-07
Cr	0.001	51.99613057	8.9953E-05	9.04000E-06	1.04700E-07
Mn	0.0002	54.9380432	1.70272E-05	1.80800E-06	1.98187E-08
Cu	0.01	63.54603952	0.000736035	9.04000E-05	8.56704E-07
Zn	0.005	65.37778234	0.000357706	4.52000E-05	4.16351E-07
As	0.0008	74.9215946	4.99425E-05	7.23200E-06	5.81303E-08

※BおよびLiの同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する。付録-1.3 を参照。

① B B-10 : 18.195207wt%、B-11 : 81.804793wt% (B-10 : B-11=19.65at% : 80.35at%)

② Li Li-6 : 4.1870844wt%、Li-7 : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7=4.85at% : 95.15at%)

2.2.11 クラッド（燃料コンパクト被覆材）

SCALE 6.2.3 コードシステムベンチマーク計算の第 3.2 節 MOX 均質系臨界実験と、第 3.4 節 PuO₂均質系臨界実験においては、ポリスチレン均質混合燃料コンパクトの被覆材としてテープを使用している。各文献には成分を原子個数密度で示しており、テープの成分を明確に示していない（文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.50¹⁴⁾] および文献 [Nuclear Technology Vol.15²⁴⁾] において MM&M#471 テープを使用したとの記述がある。また文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK NO.11] には polyolefin plastic と記述がある。また、同じ実験を記載した文献において、原子個数密度の数値に若干の差異が確認できる。

(1) 第 3.2 節 MOX 均質系

MOX 均質系の各実験内容を記した文献に記載されたクラッドの原子個数密度を Table 付録-2.2.11.1 に示す。

Table 付録- 2.2.11.1 文献に記載されたクラッドの原子個数密度

項	3.2.1	3.2.2	3.2.3	3.2.4	3.2.2~3.2.4
文献名	BNWL-212 ¹³⁾	Nucl.Sci.Eng. Vol.50 ¹⁴⁾	Nucl.Sci.Eng. Vol.55 ^{15) 16)}	Nucl.Sci.Eng. Vol.61 ¹⁷⁾	Nucl.Tech.Vol.26 ³¹⁾ BENCHMARK 4 BENCHMARK 13 BENCHMARK 14
文献出版日 (最終改定日)	October 1976	July 31, 1972	April 29, 1974	May 17, 1976	March 10, 1975
密度 (g/cm ³)	1.12 (1.12161) ※1	記述無	1.12 (1.12161) ※1	記述無 (1.12181) ※1	1.12 (1.12181) ※1
原子個数密度 (atoms/barn・cm)	H	4.489E-02	記述無	4.489E-02	4.489E-02
	C	3.110E-02	記述無	3.110E-02	3.111E-02
	Cl	7.240E-03	記述無	7.240E-03	7.240E-03

※1 括弧内は原子個数密度より計算される密度。

※2 Nuclear Science and Engineering Vol.50¹⁴⁾ →Nucl.Sci.Eng.Vol.50
 Nuclear Science and Engineering Vol.55^{15) 16)} →Nucl.Sci.Eng.Vol.55
 Nuclear Science and Engineering Vol.61¹⁷⁾ →Nucl.Sci.Eng.Vol.61
 Nuclear Technology Vol.26³¹⁾ →Nucl.Tech.Vol.26

各文献に記載された原子個数密度は、炭素 C を除き同値となっており、炭素 C においてもその差異はごくわずかである。ここで、文献出版日を比較すると文献 [BNWL-2129¹³⁾] が比較的新しい。しかし、後述の PuO₂均質系実験の文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK No.12、No.9 (June-78)] に記載されたクラッドの原子個数密度は、文献 [Nuclear Technology Vol.26³¹⁾] に記載された原子個数密度と同値であり、文献出版日がより新しい。よって、本ベンチマーク計算では、文献 [Nuclear Technology Vol.26³¹⁾] ([PNL-2273³²⁾]) での値を採用する。以下の Table 付録- 2.2.11.2 に本ベンチマーク計算で採用したクラッドの原子個数密度を示す。

Table 付録- 2.2.11.2 本ベンチマーク計算で採用したクラッドの原子個数密度

項		3.2.1	3.2.2	3.2.3	3.2.4
計算ケース		bnwl	nse50	nse55	nse61
密度 (g/cm ³)		1.12181	1.12181	1.12181	1.12181
原子個数密度 (atoms/barn・cm)	H	4.489E-02	4.489E-02	4.489E-02	4.489E-02
	C	3.111E-02	3.111E-02	3.111E-02	3.111E-02
	Cl	7.240E-03	7.240E-03	7.240E-03	7.240E-03

(2) 第3.4節 PuO₂均質系

各実験内容を記した文献において記述されたクラッドの原子個数密度を以下の Table 付録- 2.2.11.3 に示す。

Table 付録- 2.2.11.3 文献によるクラッドの原子個数密度

項	3.4.1		3.4.2 ^{※1}		3.4.3	
文献	Nucl.App. Vol.6 ²²⁾	PNL-2273 ³²⁾ BENCHMARK No.12	Nucl.Tech. Vol.11 ²³⁾	PNL-2273 ³²⁾ BENCHMARK No.11	Nucl.Tech. Vol.15 ²⁴⁾	PNL-2273 ³²⁾ BENCHMARK No.9
文献出版日 (最終改定日)	30-Sep-68	Jun-78	19-Feb-71	Jun-78	22-Feb-72	Jun-78
密度 (g/cm ³)	記述なし (0.61439) ^{※2}	1.120 (1.12181) ^{※2}	記述なし (1.27025) ^{※2}	1.270 (1.27003) ^{※2}	記述なし (1.12221) ^{※2}	1.120 (1.12181) ^{※2}
原子個数密度 (atoms/barn・cm)	H	1.777E-02	4.489E-02	4.614E-02	4.613E-02	4.489E-02
	C	1.184E-02	3.111E-02	2.906E-02	2.905E-02	3.113E-03
	Cl	5.920E-03	7.240E-03	—	—	7.240E-03
	O	—	—	2.309E-02	2.309E-02	—

※1 クラッドを polyolefin plastic とする記述がある。

※2 括弧内は原子個数密度より計算される密度。

文献 [Nuclear Applications Vol.6²²⁾] に記載された原子個数密度については、他の文献に記載された値との差が大きいため採用しない。文献 [Nuclear Technology Vol.11²³⁾]、[Nuclear Technology Vol.15²⁴⁾] に記載された値は、文献 [PNL-2273³²⁾] に記載された値と近い値である。

本ベンチマーク計算においては、文献出版日が最も新しい文献 [PNL-2273³²⁾] に記載された値を採用する。以下の Table 付録- 2.2.11.4 に本ベンチマーク計算で採用したクラッドの原子個数密度を示す。

Table 付録- 2.2.11.4 本ベンチマーク計算で採用したクラッドの原子個数密度

項		3.4.1	3.4.2	3.4.3
計算ケース		na6	nt11	nt15
密度 (g/cm ³)		1.12181	1.27003	1.12181
原子個数密度 (atoms/barn・cm)	H	4.489E-02	4.613E-02	4.489E-02
	C	3.111E-02	2.905E-02	3.111E-02
	Cl	7.240E-03	—	7.240E-03
	O	—	2.309E-02	—

2.2.12 アクリル樹脂 (C₅O₂H₈)_n [プレキシガラス]

アクリル樹脂（ポリメタクリル酸メチル樹脂 Polymethyl methacrylate）の密度においては、一般に 1.17～1.20 g/cm³ の値を示す。

分子構造 (C₅O₂H₈)_n と、その原子数比から、重量比 (wt%) を求めているが、文献に原子個数密度の記載がある場合は、その原子個数密度を採用する。

以下の Table 付録- 2.2.12.1 に密度 1.185g/cm³ の場合の原子個数密度を示す。

Table 付録- 2.2.12.1 アクリル樹脂 密度 1.185g/cm³ の場合の原子個数密度

元素	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	分子中原子個数比	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
H	8.054449009	1.00797094236815	8	0.095445221	5.70239E-02
C	59.98378005	12.0106355612532	5	0.710807794	3.56400E-02
O	31.96177094	15.9993744255112	2	0.378746986	1.42560E-02

本ベンチマーク計算では、いくつかの臨界モデルに用いられている。

(1) 第 3.1 節 MOX 非均質系

第 3.1 節 MOX 非均質系の計算モデルにおいて、アクリル樹脂（プレキシガラス）は、燃料要素配列の基部に設けられたアクリル樹脂製ベース板（プレキシガラスベースプレート）に用いられている。以下に各計算ケースで採用した原子個数密度を示す。各々の文献に記述された密度と、分子中の原子個数密度比 (H : C : O = 8 : 5 : 2) から原子個数密度を求める。

Table 付録- 2.2.12.2 に文献に記述されたアクリル樹脂（プレキシガラス）の原子個数密度を示す。

Table 付録- 2.2.12.2 文献によるアクリル樹脂（プレキシガラス）の原子個数密度

項		3.1.1 (1)	3.1.1 (3)	3.1.4
文献		PNL-3313 ³⁾ Nucl.Tech.Vol.44 ⁴⁾	PNL-3313 ³⁾ Nucl.Tech.Vol.48 ⁶⁾	PNL-5803 ⁹⁾
計算ケース名		pnl_01-	pnl_03	pnl5803
密度 (g/cm ³)		1.19 ^{*1}	1.19 ^{*1}	1.185 ^{*2}
原子個数密度 (atoms/barn・cm)	H	5.72645E-02	5.72645E-02	5.70239E-02
	C	3.57903E-02	3.57903E-02	3.56400E-02
	O	1.43161E-02	1.43161E-02	1.42560E-02
分子中原子個数比	H	8	8	8
	C	5	5	5
	O	2	2	2

※1 文献中に plexiglas として表記されている。密度については、ISO-1183 より引用する。

※2 文献 [PNL-5803⁹⁾] 中に acrylic plate (1.185g/cm³ containing 8 wt% H、60 wt% C and 32 wt% O) と記述がある。記述された成分組成については、大雑把な原子量 H1.0、C12.0、O16.0 を分子中の原子個数密度比に乗じたものと判断して、この成分組成は採用しない。

(2) 第3.2節 MOX 均質系

第 3.2 節の MOX 均質系の計算モデルにおいて、アクリル樹脂は、燃料コンパクトを積み重ねた配列の外側に反射体として使用されている。該当する計算ケースの各文献には、Table 付録-2.2.12.3 に示すような原子個数密度の記載がある。

Table 付録- 2.2.12.3 文献によるアクリル樹脂の原子個数密度

項	3.2.1	3.2.2	3.2.3	3.2.4	
文献	BNWL-2129 ¹³⁾	Nucl.Tech.Vol.26 ³¹⁾ BENCHMARK 4 BENCHMARK 13 BENCHMARK 14	Nucl.Sci.Eng. Vol.50 ¹⁴⁾	Nucl.Sci.Eng. Vol.55 ^{15) 16)}	Nucl.Sci.Eng. Vol.61 ¹⁷⁾
文献出版日 (最終改定日)	October 1976	March 10, 1975	July 31, 1972	April 29, 1974	May 17, 1976
密度 (g/cm ³)	記述無 ^{*1} (1.18623)	1.185 (1.18623)	記述無 ^{*1} (1.187)	記述無 ^{*1} (1.187)	記述無 ^{*1} (1.18623)
原子個数密度 (atoms/barn・cm)	H	5.666E-02	5.666E-02	5.712E-02	5.660E-02
	C	3.570E-02	3.570E-02	3.570E-02	3.510E-02
	O	1.428E-02	1.428E-02	1.428E-02	1.428E-02
分子中 原子個数比	H	7.93557	7.93557	8	7.93557
	C	5	5	5	4.91597
	O	2	2	2	2

※1 文献中にアクリル樹脂 (プレキシガラス) の密度についての記載はない。括弧内は、原子個数密度より計算される値。

※2 Nuclear Science and Engineering Vol.50¹⁴⁾ → Nucl.Sci.Eng.Vol.50
 Nuclear Science and Engineering Vol.55^{15) 16)} → Nucl.Sci.Eng.Vol.55
 Nuclear Science and Engineering Vol.61¹⁷⁾ → Nucl.Sci.Eng.Vol.61
 Nuclear Technology Vol.26³¹⁾ → Nucl.Tech.Vol.26

文献出版日が比較的新しい文献 [BNWL-2129¹³⁾] と文献 [Nuclear Technology Vol.26³¹⁾] の値が全く同値である。よって、本ベンチマーク計算においては文献 [Nuclear Technology Vol.26³¹⁾] ([BNWL-2129¹³⁾]) の値を採用する。Table 付録- 2.2.12.4 に評価で採用したアクリル樹脂の原子個数密度を示す。

Table 付録- 2.2.12.4 MOX 均質系の臨界計算で採用したアクリル樹脂の原子個数密度

項	3.2.1	3.2.2	3.2.3	3.2.4
計算ケース名	BNWL	nse50	nes55	nse61
密度 (g/cm ³)	1.18623	1.18623	1.18623	1.18623
原子個数密度 (atoms/barn・cm)	H	5.666E-02	5.666E-02	5.666E-02
	C	3.570E-02	3.570E-02	3.570E-02
	O	1.428E-02	1.428E-02	1.428E-02
分子中 原子個数比	H	7.93557	7.93557	7.93557
	C	5	5	5
	O	2	2	2

(3) 第3.4節 PuO₂均質系

第3.4節のPuO₂均質系の計算モデルにおいて、アクリル樹脂は、燃料コンパクトを積み重ねた配列の外側に反射体として使用されている。

アクリル樹脂の原子個数密度は以下の文献に記載がある。

- ① Nuclear Applications Vol.6²²⁾ (Nucl.App.Vol.6)
- ② Nuclear Technology Vol.11²³⁾ (Nucl.Tech.Vol.11)
- ③ Nuclear Technology Vol.15²⁴⁾ (Nucl.Tech.Vol.15)
- ④ PNL-2273³²⁾

括弧内は文献名の省略名。以降、省略名で記述する。

各文献に記載された、アクリル樹脂の原子個数密度を以下の Table 付録-2.2.12.5 に示す。

Table 付録-2.2.12.5 文献によるアクリル樹脂の原子個数密度

項		3.4.1		3.4.2		3.4.3	
文献名		Nucl.App. Vol.6 ²²⁾	PNL-2273 ³²⁾ BENCHMARK No.12	Nucl.Tech. Vol.11 ²³⁾	PNL-2273 ³²⁾ BENCHMARK No.11	Nucl.Tech. Vol.15 ²⁴⁾	PNL-2273 ³²⁾ BENCHMARK No.9
文献出版日 (最終改定日)		September 30,1968	June 1978	February 19, 1971	June 1978	February 22,1972	June 1978
密度 (g/cm ³)		記述無	1.185 (1.18623) ※	記述無	1.185 (1.18623) ※	記述無 (1.187) ※	1.185 (1.18623) ※
原子個数密度 (atoms/barn・cm)	H	記述無	5.666E-02	記述無	5.666E-02	5.712E-02	5.666E-02
	C	記述無	3.570E-02	記述無	3.570E-02	3.570E-02	3.570E-02
	O	記述無	1.428E-02	記述無	1.428E-02	1.428E-02	1.428E-02
分子中 原子個数比	H	—	7.93557	—	7.93557	8	7.93557
	C	—	5	—	5	5	5
	O	—	2	—	2	2	2

※ 括弧内は、原子個数密度より計算される密度。

PuO₂均質系の臨界計算では、文献出版日が比較的新しい文献 [PNL-2273³²⁾] に記載された値を採用する。以下の Table 付録-2.2.12.6 に評価で採用したアクリル樹脂の原子個数密度を示す。

Table 付録-2.2.12.6 PuO₂均質系の臨界計算で採用したアクリル樹脂の原子個数密度

項		3.4.1	3.4.2	3.4.3
計算ケース名		na6	nt11	nt15
密度 (g/cm ³)		1.18623	1.18623	1.18623
原子個数密度 (atoms/barn・cm)	H	5.666E-02	5.666E-02	5.666E-02
	C	3.570E-02	3.570E-02	3.570E-02
	O	1.428E-02	1.428E-02	1.428E-02
分子中 原子個数比	H	7.93557	7.93557	7.93557
	C	5	5	5
	O	2	2	2

※ PuO₂均質系の計算モデルにおいて、アクリル樹脂の原子個数密度は、文献出版日が最新の文献 [PNL-2273³²⁾] に記載された値を採用する。

2.2.13 ポリエチレン(C₂H₄)_n

ポリエチレンの密度においては、その形態から様々な値を示す。

0.91~0.92 g/cm³ (低密度)

0.94~0.965 g/cm³ (高密度)

本ベンチマーク計算において、ポリエチレンを使用している計算ケースは Table 付録- 2.2.13.1 のとおりである。

Table 付録- 2.2.13.1 文献によるポリエチレン密度および成分組成

実験体系	項	計算ケース名	記載値 密度 (g/cm ³)	重量比 (wt%)		文献名
				H	C	
MOX 非均質系	3.1.5	pnl6559 01~13	0.9	記載なし		PNL-6559 ¹⁰⁾
(Pu+U) 均質系	3.3.3	pnl6451 11、12	0.9	14.28	85.72	PNL-6451 ²⁰⁾

本ベンチマーク計算においては、文献記載値から密度を 0.9g/cm³ とする。

第 3.1.5 項の MOX 非均質系 pnl6559 の場合、文献 [PNL-6559¹⁰⁾] に成分組成が記載されていないため、分子構造(C₂H₄)_nの原子数比から組成比を求めた。

第 3.3.3 項の (Pu+U) 均質系 pnl6451 の場合は、文献 [PNL-6451²⁰⁾] に記載された成分組成を引用する。

Table 付録- 2.2.13.2、Table 付録- 2.2.13.3 にポリエチレンの原子個数密度を示す。

Table 付録- 2.2.13.2 MOX 非均質臨界計算 (PNL-6559) で採用した原子個数密度

元素	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子数比	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
H	14.37230067	1.007970942	4	0.129350706	7.72808E-02
C	85.62769933	12.01063556	2	0.770649294	3.86404E-02

Table 付録- 2.2.13.3 (Pu+U) 均質系臨界計算 (PNL-6451) で採用した原子個数密度

元素	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子数比 (at%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
H	14.28	1.007970942	66.49934257	0.12852	7.67845E-02
C	85.72	12.01063556	33.50065743	0.77148	3.86821E-02

H においては、熱中性子散乱則^{*}を考慮した S(α,β)を持つポリエチレン中の水素 (H-poly) を使用している。H-poly においては、水素の同位体組成が考慮されておらず、H-2 (D) の存在が無視されており、本ベンチマーク計算においては、H-2 を考慮しない。

※熱中性子散乱則：

中性子スペクトルの軟らかい中性子では、物質の運動や構造が中性子散乱に影響し、軽水やポリエチレン、黒鉛、Be、Zr、H 等の物質では、核種の断面積とは別に物質としての散乱断面積を考慮する。各物質の散乱断面積は熱中性子散乱則 (Thermal Scattering Law : TSL) と呼ばれる物性値として核データに α と β のテーブルとして格納されているので、一般的に S(α,β) と呼ばれている。

2.2.14 コンクリート

(1) 標準コンクリート 文献 [JAERI-M 6928] ORDINARY CONCRETE 1

文献 [JAERI-M 6928²⁷⁾ 付録 C“遮蔽材の原子組成” p.36] において、標準コンクリートの重量組成比と密度 2.30g/cm^3 の記載がある。本ベンチマーク計算において、文献中にコンクリートの組成、密度の条件が記されていない場合は、この条件を採用する。Table 付録- 2.2.14.1 に標準コンクリートの成分組成と原子個数密度を示す。

Table 付録- 2.2.14.1 標準コンクリートの組成と原子個数密度 [JAERI-M 6928]

元素	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子数比 (at%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
H	0.416	1.0079709	7.932830569	0.009568	5.71642E-03
O	50.74	15.999374	60.9579455	1.16702	4.39265E-02
Mg	0.115	24.305701	0.090943685	0.002645	6.55343E-05
Al	0.446	26.981538	0.317724724	0.010258	2.28953E-04
Si	38.606	28.084999	26.42185159	0.887938	1.90397E-02
S	0.07	32.065462	0.041960765	0.00161	3.02370E-05
Ca	6.869	40.078023	3.294352687	0.157987	2.37392E-03
Fe	2.738	55.845144	0.942390483	0.062974	6.79089E-04

(2) 遮蔽コンクリート 文献 [PNL-3313 TABLE IV]

文献 [PNL-3313³⁾ TABLE IV] で実施された実験体系 (MOX 非均質系 : pnl_01、pnl_02、pnl_03) において、遮蔽材として用いられたコンクリート。文献には、成分組成 (wt%) と密度 2.452g/cm^3 の記載がある。Table 付録- 2.2.14.2 に遮蔽コンクリートの成分組成と原子個数密度を示す。

Table 付録- 2.2.14.2 遮蔽コンクリートの組成と原子個数密度 [PNL-3313 TABLE IV]

元素	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子数比 (at%)	元素別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
Al	2.32±0.01	26.98153841	1.515591314	0.0568864	1.26968E-03
Ca	7.27±0.28	40.07802251	3.197341003	0.1782604	2.67855E-03
Fe	0.28±0.02	55.84514371	0.088375819	0.0068656	7.40362E-05
Si	34.68±0.39	28.08499935	21.76534231	0.8503536	1.82338E-02
Mg	1.45±0.05	24.30570119	1.051527606	0.035554	8.80909E-04
K	0.75±0.15	39.09830091	0.338114822	0.01839	2.83253E-04
Na	0.17±0.01	22.98976928	0.130339227	0.0041684	1.09191E-04
O	52.26±0.58	15.99937443	57.57411016	1.2814152	4.82323E-02
H	0.82±0.07	1.007970942	14.33925774	0.0201064	1.20126E-02

(3) 中性子吸収材コンクリート文献 [PNL-6451]

第 3.3.3 項、第 3.3.4 項において円環状容器の中央部に設置される環状コンクリート中性子吸収材に用いられたコンクリートで B₄C を含有する。文献 [PNL-6451²⁰ APPENDIX.F] において密度 2.19±0.05g/cm³ の記載がある。

また、文献 [PNL-6451²⁰ TABLE.F.3] に中性子吸収材コンクリートの成分表 (Table 付録-2.2.14.3) が記載されている。

Table 付録- 2.2.14.3 中性子吸収材 B₄C コンクリートの成分 (PNL-6451 Table F.3)

元素	重量比 (wt%)			
	B ₄ C 0wt%	B ₄ C 1wt%	B ₄ C 2wt%	B ₄ C 6wt%
Al	4.82	4.9	4.82	4.53
B	0.02	0.58	1.56	5.02
Ba	0.07	0.07	0.07	0.06
Ca	15.4	15.3	13.9	14
Cu	0.01	0.01	0.01	0.01
Fe	4.39	4.47	4.35	4.16
K	0.54	0.64	1.52	1.36
Li	0.02	0.01	0.02	0.02
Mg	1.12	1.15	1.15	1.14
Mn	0.07	0.07	0.07	0.07
Na	1.89	1.59	1.48	1.45
Si	21.8	22.4	22.1	20.6
Sr	0.04	0.04	0.03	0.03
Ti	0.57	0.58	0.58	0.55
Zr	0.04	0.06	0.1	0.04

しかし、Table 付録-2.2.14.3 には、B₄C における C およびコンクリート中の H、O の含有率の記載が無いため、以下の方法で推定する。

① B₄C、C 含有量の推定

炭素 C 含有量は、コンクリート中に存在するホウ素 B の量から推測される。

B₄C を含まないコンクリート (B₄C 0wt%) においては、B 含有量は 0.02wt% であることから、B₄C に由来する B の含有量 R_B、及び B₄C 含有量 R_{B₄C}、C 含有量 R_C は以下の式により、それぞれ求められる。

$$R_{B_4C} = \frac{R_B}{Aw_B} Aw_{B_4C}$$

$$R_C = \frac{R_{B_4C}}{Aw_{B_4C}} Aw_C$$

- R_B : B₄C 由来ホウ素 B 含有量 (wt%)
- Aw_B : ホウ素 B 原子量 (g/mol) [=10.8135187950675]
- R_{B₄C} : B₄C 含有量 (wt%)
- Aw_{B₄C} : B₄C 分子量 (g/mol) [=55.2647107415232]
- R_C : B₄C 由来炭素 C 含有量 (wt%)
- Aw_C : 炭素 C 原子量 (g/mol) [=12.0106355612532]

Table 付録- 2.2.14.4 にコンクリート中の B₄C 由来の成分量を示す。

Table 付録- 2.2.14.4 コンクリート中の B₄C 由来の成分量

	コンクリート中の B 含有量* (wt%)	B 含有量 R _B (wt%)	B ₄ C 含有量 R _{B₄C} (wt%)	C 含有量 R _C (wt%)
B ₄ C 0wt%コンクリート	0.02	0.0wt%	0.0	0.00
B ₄ C 1wt%コンクリート	0.058	0.56wt%	0.7155	0.1555
B ₄ C 2wt%コンクリート	1.56	1.54wt%	1.9676	0.4276
B ₄ C 6wt%コンクリート	5.02	5.0wt%	6.3884	1.3884

② 水素及び酸素の含有量

コンクリートに添加された残りの元素は、酸素 O と水素 H で、コンクリートの含水量に関連していると想定される。

コンクリートを粉砕した約 7g のサンプルを、1000°C まで段階的に乾燥させた後、所定の温度に加熱したサンプルをデシケーターで冷却し、秤量した結果を Table 付録- 2.2.14.5 に示す。

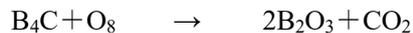
Table 付録- 2.2.14.5 コンクリートの水分分析結果 (PNL-6451 Table F.4)

温度 (°C)	コンクリートサンプル重量 (g)			
	B ₄ C 0wt%	B ₄ C 1wt%	B ₄ C 2wt%	B ₄ C 6wt%
25	7.8207	8.8389	6.8866	7.4325
110	7.5881	8.6029	6.7275	7.3098
250	7.4781	8.4858	6.5091	7.2027
500	7.3459	8.4039	6.4549	7.2311
750	7.1731	8.257	6.4736	7.6231
1000	7.1554	8.2312	6.4499	7.594

含水量測定において以下の 3 点が観測された。

i) 1000°C で、B₄C 6% のサンプルは明らかにガラス化し、B₄C 2% のサンプルはガラスを形成する特性を示す。

ii) B₄C 2% および B₄C 6% のサンプルは 750°C で明確な重量増加を示す。この重量の変化は、おそらく B₄C が B₂O₃ と CO₂ に分解されたためであると推測される。



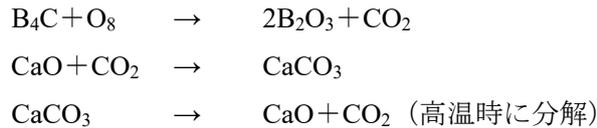
iii) この温度でサンプルに見られる赤みがかった色は、おそらく Fe₂O₃ の形成によるものである。

ここで、セメント内で CO₂ が形成される場合、おそらくセメント内の CaO によって CaCO₃ として捕捉されるが CaCO₃ は、高温で焼成すると CaO 及び CO₂ に分離される。また、B₄C 分解による B₂O₃ の供給源により、ホウケイ酸タイプのガラスが約 1000°C で形成される。

ここで、以下の仮定の下、水分量を算出する。

1000°Cまで乾燥させたサンプルにおいては、その含有する B₄C の量と以下の反応により、酸素分の重量が増加している。CO₂ ガスは、コンクリート中に存在する CaO との反応により、コンクリート内に CaCO₃ として固定されるが、高温条件下（1000°C）で CaO と CO₂ に分解され、コンクリート外に放出される。

過熱により以下の反応が起きていると仮定する。



ここから、B₄C の含有率より、B₄C と雰囲気中の酸素が結合し、重量が増加した分の酸素重量 W_O を求める。

$$W_{B4C} = W_{conc25} \times \frac{R_{B4C}}{100}$$

$$W_{B2O3} = \frac{W_{B4C}}{Aw_{B4C}} \times 2Aw_{B2O3}$$

$$W_C = \frac{W_{B4C}}{Aw_{B4C}} \times Aw_C$$

$$W_O = (W_{B2O3} + W_C) - W_{B4C}$$

W_{conc25}	:	25°Cコンクリート重量 (g)
R_{B4C}	:	B ₄ C 含有量 (wt%)
W_{B4C}	:	B ₄ C 重量 (g)
Aw_{B4C}	:	B ₄ C 分子量 (g/mol) [=55.2647107415232]
W_{B2O3}	:	B ₂ O ₃ 重量 (g)
Aw_{B2O3}	:	B ₂ O ₃ 分子量 (g/mol) [=69.6251608666686]
W_C	:	C 重量 (g)
Aw_C	:	C 分子量 (g/mol) [=12.0106355612532]
W_O	:	増加分酸素重量 (g)

Table 付録- 2.2.14.6 にコンクリート資料・重量増加分酸素重量を示す。

Table 付録- 2.2.14.6 コンクリート試料 重量増加分酸素重量の計算

	B ₄ C 含有率 R _{B4C} (wt%)	試料重量 25°C W _{conc25} (g)	B ₄ C 重量 W _{B4C} (g)	B ₂ O ₃ 重量 W _{B2O3} (g)	C 重量 W _C (g)	増加分酸素重量 W _O (g)
B ₄ C 0wt%	0.0000	7.8207	0.0000	0.00000	0.00000	0.00000
B ₄ C 1wt%	0.7155	8.8389	0.06324	0.15935	0.01374	0.10985
B ₄ C 2wt%	1.9676	6.8866	0.13550	0.34142	0.02945	0.23537
B ₄ C 6wt%	6.3884	7.4325	0.47482	1.19639	0.10319	0.82477

$$W_{conc} = W_{conc1000} - W_O$$

$$W_{H2O} = W_{conc25} - W_{conc}$$

$$R_{H2O} = \frac{W_{H2O}}{W_{conc25}} \times 100$$

$$R_H = \frac{R_{H2O}}{Aw_{H2O}} \times 2 \cdot Aw_H$$

$$R_O = \frac{R_{H2O}}{Aw_{H2O}} \times Aw_O$$

- W_{conc} : コンクリート重量 (g)
 [酸素重量増加分と水分を除く]
 $W_{conc1000}$: 1000°Cコンクリート重量 (g)
 R_{H2O} : H₂O 含有量 (wt%)
 R_H : H 含有量 (wt%) [水分中水素]
 R_O : O 含有量 (wt%) [水分中酸素]

Table 付録- 2.2.14.7 にコンクリート中の水分重量を示す。

Table 付録- 2.2.14.7 コンクリート中の水分 (H、O) 重量の計算

	試料重量 1000°C W _{Conc1000} (g)	増加分 酸素重量 W _O (g)	コンクリート重量 W _{conc} (g)	水分重量 W _{H2O} (g)	水分含有率 R _{H2O} (wt%)	H 含有率 R _H (wt%)	O 含有率 R _O (wt%)
B ₄ C 0wt%	7.1554	0.00000	7.15540	0.66530	8.50691	0.95194	7.55497
B ₄ C 1wt%	8.2312	0.10985	8.12135	0.71755	8.11813	0.90843	7.20970
B ₄ C 2wt%	6.4499	0.23537	6.17162	0.71498	10.38224	1.16179	9.22045
B ₄ C 6wt%	7.5940	0.82477	6.76923	0.66327	8.92390	0.99860	7.92530

③ 水分以外の酸素量の推定

コンクリート中の酸素量は、元素組成（含有率）と、100から炭素Cと水分（水素H、酸素O）の含有率を差し引くことで推定される（Table 付録- 2.2.14.8 参照）。

Table 付録- 2.2.14.8 水分以外の酸素含有率

	水分中 O 含有率 R _O (wt%)	水分以外の酸素含有率 R _A (wt%)	コンクリート中の酸素含有率 R _O +R _A (wt%)
B ₄ C 0wt%	7.55497	40.69309	48.24806
B ₄ C 1wt%	7.20970	39.85637	47.06607
B ₄ C 2wt%	9.22045	37.43014	46.65059
B ₄ C 6wt%	7.92530	36.64772	44.57302

手順①→②→③を追って、C、H、O の含有率を求めた結果、Table 付録- 2.2.14.9 に示すコンクリートの成分組成を得る。

Table 付録- 2.2.14.9 中性子吸収材コンクリートの成分組成

元素	重量比 (wt%)			
	B ₄ C 0wt%	B ₄ C 1wt%	B ₄ C 2wt%	B ₄ C 6wt%
Al	4.82	4.9	4.82	4.53
B-10 ^{*1}	0.00364	0.10553	0.28385	0.91340
B-11 ^{*1}	0.01636	0.47447	1.27615	4.10660
Ba	0.07	0.07	0.07	0.06
Ca	15.4	15.3	13.9	14
Cu	0.01	0.01	0.01	0.01
Fe	4.39	4.47	4.35	4.16
K	0.54	0.64	1.52	1.36
Li-6 ^{*2}	0.00084	0.00042	0.00084	0.00084
Li-7 ^{*2}	0.01916	0.00958	0.01916	0.01916
Mg	1.12	1.15	1.15	1.14
Mn	0.07	0.07	0.07	0.07
Na	1.89	1.59	1.48	1.45
Si	21.8	22.4	22.1	20.6
Sr	0.04	0.04	0.03	0.03
Ti	0.57	0.58	0.58	0.55
Zr	0.04	0.06	0.1	0.04
H	0.95194	0.90843	1.16179	0.99860
O	48.24806	47.06607	46.65059	44.57302
C	—	0.15550	0.42762	1.38838

※1 ホウ素の同位体組成は次の値を用いた（理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する。付録-1.3 を参照）。

B-10 : B-11 = 18.195207wt% : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

※2 リチウムの同位体組成は次の値を用いた（理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する。付録-1.3 を参照）。

Li-6 : Li-7 = 4.18784wt% : 95.812916wt% (Li-6 : Li-7 = 4.85at% : 95.15at%)

(4) 反射体コンクリート [PNL5768、PNL-6327]

文献 [PNL-5768¹⁸⁾]、[PNL-6327¹⁹⁾] で実施された実験体系において、反射体として用いられたコンクリート (第 3.3.1 項、第 3.3.2 項参照)。

文献 [PNL-5768¹⁸⁾ APPENDIX F]、[PNL-6327¹⁹⁾ APPENDIX F] には、成分組成 (wt%) と原子個数密度および密度 2.3 ± 0.1 (g/cm³) の記載がある。

Table 付録- 2.2.14.10 にコンクリートの成分組成と原子個数密度を示す。

ここで、成分組成と密度 2.3 (g/cm³) で計算した原子個数密度と文献 [PNL-5768¹⁸⁾ TABLE F.3]、[PNL-6327¹⁹⁾ TABLE F.3] に記載された原子個数密度に差があることを確認している。

本ベンチマーク計算では、成分組成と密度を 2.3 g/cm³ として計算した原子個数密度を採用する

Table 付録- 2.2.14.10 反射体コンクリートの成分組成と原子個数密度

元素	重量比 ^{※1} (wt%)	原子量 (g/mol)	原子数比 (at%)	元素別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)	
					文献記載値 ^{※1}	計算値 ^{※2}
O	51.91	15.99937443	56.10214	1.19393	4.553E-2	4.49393E-02
Si	23.10	28.08499935	14.22227	0.53130	1.154E-2	1.13924E-02
Ca	12.00	40.07802251	5.17734	0.27600	4.201E-3	4.14719E-03
Al	4.79	26.98153841	3.06973	0.11017	2.491E-3	2.45894E-03
Fe	3.37	55.84514371	1.04346	0.07751	8.468E-4	8.35840E-04
Na	1.43	22.98976928	1.07556	0.03289	8.728E-4	8.61549E-04
H	1.05	1.007970942	18.01245	0.02415	1.462E-2	1.44285E-02
Mg	0.92	24.30570119	0.65450	0.02116	5.310E-4	5.24274E-04
K	0.72	39.09830091	0.31842	0.01656	2.584E-4	2.55066E-04
S	0.38	32.06546193	0.20492	0.00874	1.663E-4	1.64144E-04
Ti	0.33	47.86674393	0.11921	0.00759	9.667E-5	9.54902E-05

※1 文献 [PNL-5768¹⁸⁾ APPENDIX F TABLE F.3]、[PNL-6327¹⁹⁾ APPENDIX F TABLE F.3] より引用する。

※2 密度 2.3 g/cm³ と成分組成より計算される原子個数密度。

2.2.15 鉛

理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より、密度 11.34g/cm³ を引用する。

Table 付録- 2.2.15.1 に鉛の原子個数密度を示す。

Table 付録- 2.2.15.1 鉛の原子個数密度

元素	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子数比 (at%)	密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
Pb	100	207.216907	100	11.34	3.29563E-02

2.2.16 水

理科年表²⁶⁾ に記載された水の密度の表より、最小二乗法で 7 次式の補間式を作成した。補間式の誤差は、±0.00002 (g/cm³) である。

$$\rho_w = at^7 + bt^6 + ct^5 + dt^4 + et^3 + ft^2 + gt + h$$

$$a = -2.93666426168573E-18$$

$$b = -1.29116678699779E-14$$

$$c = 5.03453834964916E-12$$

$$d = -8.40736506887011E-10$$

$$e = 8.75431980651072E-08$$

$$f = -8.87638170631916E-06$$

$$g = 6.66179064022374E-05$$

$$h = 0.999840605461665$$

t : 温度 (°C)

Table 付録- 2.2.16.1 に補間式により計算した各温度における水密度を示す。

Table 付録- 2.2.16.2 に温度 (20°C) での水の原子個数密度を示す。

Table 付録- 2.2.16.1 補間式による水密度 (g/cm³)

t/°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.99984	0.99990	0.99994	0.99996	0.99997	0.99996	0.99994	0.99990	0.99985	0.99978
10	0.99970	0.99960	0.99950	0.99938	0.99924	0.99910	0.99894	0.99877	0.99860	0.99840
20	0.99820	0.99799	0.99777	0.99754	0.99730	0.99704	0.99678	0.99651	0.99623	0.99594
30	0.99565	0.99534	0.99502	0.99470	0.99437	0.99403	0.99368	0.99333	0.99296	0.99259
40	0.99222	0.99183	0.99144	0.99104	0.99063	0.99021	0.98979	0.98936	0.98893	0.98849
50	0.98804	0.98758	0.98712	0.98665	0.98618	0.98570	0.98521	0.98472	0.98422	0.98371
60	0.98320	0.98268	0.98216	0.98163	0.98110	0.98056	0.98001	0.97946	0.97890	0.97834
70	0.97777	0.97720	0.97662	0.97603	0.97544	0.97485	0.97425	0.97364	0.97303	0.97242
80	0.97180	0.97117	0.97054	0.96991	0.96927	0.96862	0.96797	0.96732	0.96666	0.96599
90	0.96532	0.96465	0.96397	0.96328	0.96259	0.96190	0.96120	0.96049	0.95978	0.95907

※ 補間式の誤差±0.00002

※ 気圧は、101325Pa

Table 付録- 2.2.16.2 水 (0.9982g/cm³、20°C) の原子個数密度

元素	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子数比 (at%)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
H	11.19015537	1.007970942	2	0.111700131	6.67354E-02
O	88.80984463	15.99937443	1	0.886499869	3.33677E-02

・水の不純物について

反射体（水）は、いくつかの文献において、不純物の含有を示唆している。

本ベンチマーク計算では、文献に不純物について記載のある場合にその影響を考慮し、不純物元素の原子個数密度を計算し入力する。

以下に水中の不純物を考慮した実験体系を示す。

第 3.1.4 項	PNL-5803 ⁹⁾ TABLE C.1	MOX 非均質体系
第 3.1.5 項	PNL-6559 ¹⁰⁾ APPENDIX F	MOX 非均質体系
第 3.3.1 項	PNL-5768 ¹⁸⁾ APPENDIX E	(Pu+U) 均質体系
第 3.3.2 項	PNL-6327 ¹⁹⁾ APPENDIX E	(Pu+U) 均質体系
第 3.3.3 項	PNL-6451 ²⁰⁾ APPENDIX E	(Pu+U) 均質体系
第 3.3.4 項	PNL-6119 ²¹⁾ APPENDIX F	(Pu+U) 均質体系

不純物については以下の物質が溶存していると仮定する。

- ・炭酸水素塩 (HCO₃) HCO₃ Alkalinity
- ・炭酸塩 (CO₃) CO₃ Alkalinity
- ・硫酸塩 (SO₄) Sulfate
- ・硝酸塩 (NO₃) Nitrate-N (Nitrate as N)
- ・フッ素 (F) Fluoride
- ・塩素 (Cl) Chloride
- ・カドミウム (Cd) Cadmium
- ・銅 (Cu) Copper
- ・クロム (Cr) Chromium
- ・鉄 (Fe) Iron
- ・鉛 (Pb) Lead
- ・マグネシウム (Mg) Manganese
- ・亜鉛 (Zn) Zinc

(1) 炭酸水素塩 (HCO₃) 中の各元素 (H、C、O) の存在量の計算

$$\mu_H = \mu_{HCO_3} \times \frac{Aw_H}{Aw_{HCO_3}}$$

$$\mu_C = \mu_{HCO_3} \times \frac{Aw_C}{Aw_{HCO_3}}$$

$$\mu_O = \mu_{HCO_3} \times \frac{Aw_O \times 3}{Aw_{HCO_3}}$$

μ_{HCO_3}	:	HCO ₃ の存在量 (mg/litre)
μ_H	:	H の存在量 (mg/litre)
μ_C	:	C の存在量 (mg/litre)
μ_O	:	O の存在量 (mg/litre)
Aw_{HCO_3}	:	HCO ₃ の分子量 (g/mol)
Aw_H	:	H の原子量 (g/mol)
Aw_C	:	C の原子量 (g/mol)
Aw_O	:	O の原子量 (g/mol)

(2) 炭酸塩 (CO₃) 中の各元素 (C、O) の存在量の計算

$$\mu_O = \mu_{CO_3} \times \frac{Aw_O \times 3}{Aw_{CO_3}}$$

$$\mu_C = \mu_{CO_3} \times \frac{Aw_C}{Aw_{CO_3}}$$

μ_{CO_3}	:	CO ₃ の存在量 (mg/litre)
μ_C	:	C の存在量 (mg/litre)
μ_O	:	O の存在量 (mg/litre)
Aw_{CO_3}	:	CO ₃ の分子量 (g/mol)
Aw_C	:	C の原子量 (g/mol)
Aw_O	:	O の原子量 (g/mol)

(3) 硫酸塩 (SO₄) 中の各元素 (S、O) の存在量の計算

$$\mu_O = \mu_{SO_4} \times \frac{Aw_O \times 4}{Aw_{SO_4}}$$

$$\mu_S = \mu_{SO_4} \times \frac{Aw_S}{Aw_{SO_4}}$$

μ_{SO_4}	:	SO ₄ の存在量 (mg/litre)
μ_S	:	S の存在量 (mg/litre)
μ_O	:	O の存在量 (mg/litre)
Aw_{SO_4}	:	SO ₄ の分子量 (g/mol)
Aw_S	:	S の原子量 (g/mol)
Aw_O	:	O の原子量 (g/mol)

(4) 硝酸塩 (NO₃) 中の各元素 (N, O) の存在量の計算

文献中に記載されている硝酸塩 NO₃ の含有量 (mg/litre) は、N の存在量として記載されている。よって NO₃ 分子中の各元素の存在比は以下のようになる。

$$\mu_N = \mu_{NO_3}$$

$$\mu_O = \mu_{NO_3} \times \frac{Aw_O \times 3}{Aw_N}$$

μ_{NO_3}	:	NO ₃ の存在量 (mg/litre) 文献記述数値
μ_N	:	N の存在量 (mg/litre)
μ_O	:	O の存在量 (mg/litre)
Aw_N	:	N の原子量 (g/mol)
Aw_O	:	O の原子量 (g/mol)

(5) その他の不純物

その他の不純物については、文献記載の含有量をそのまま引用する。

(6) 各元素の原子個数密度の計算

各元素の原子個数密度を以下の式で計算する。C、O においては、(1) ~ (5) において算出された含有量を合算した値を用いる。

$$G_i = \frac{\rho_i \times 1000 / 1000000}{Aw_i} \times N_A \times 1.0 \times 10^{-24}$$

G_i	:	対象元素 i の原子個数密度 (atoms/barn · cm)
ρ_i	:	元素 i の存在量 (mg/litre)
N_A	:	アボガドロ定数 (6.02214076 × 10 ²³)
Aw_i	:	元素 i の原子量 (g/mol)
1.0×10^{-24}	:	断面積換算係数 (cm ² → barn)

2.2.17 空気

空気は、主成分である窒素 (N₂)、酸素 (O₂) の他に微量のガス、水蒸気、およびある量のエアロゾル等の混合物であり、その成分は時期や場所等の環境により変動する。中でも空気中の水蒸気量は最も大きく変動し、かつ中性子の減速効果に大きく影響する。

「臨界安全ハンドブック第2版¹⁾」(JAERI 1340) p.36においては、臨界安全性評価を行う上で、空気中の水蒸気量を除く成分については、中性子輸送への影響が無視しうるほど小さいため、空気を真空としてモデル化して良いとされている。

よって、本ベンチマークの計算モデルにおいては、空気について、N₂、O₂、および他の微量成分は考慮せず、中性子減速効果が著しい水分 (H₂O) のみを考慮し、空気中に含まれる水分は、その空気温度の飽和水蒸気量とする (ただし、MOX 均質系、PuO₂ 均質系の実験体系においては、臨界実験装置に水、溶液等が含まれないことから、燃料コンパクト配列の間隙領域については、空気中水分を考慮せず、真空状態として取り扱う)。

空気中水分量については、飽和蒸気圧の近似式 (Wagner式) と気体の状態方程式より計算する。

(1) 飽和蒸気圧 (kPa)

飽和蒸気圧は、Wagner 式で近似する。

$$P_{ws} = P_c \times \exp \left(\frac{Ax + Bx^{1.5} + Cx^3 + Dx^6}{1 - X} \right)$$

$$X = 1 - \frac{T_k}{T_c}$$

P_{ws}	: 飽和蒸気圧 (kPa)
P_c	: 22120 (kPa) 臨界圧
T_c	: 臨界温度 647.3 (K)
T_k	: 温度 (K)

(2) 飽和蒸気量 (kg/m³)

理想気体の状態方程式より、飽和蒸気圧 P_s 、温度 T_k での飽和蒸気量 μ_v を求める

$$\mu_v = M \times \frac{P_s}{R} \times \frac{1}{T_k}$$

μ_v	: 飽和蒸気量 (kg/m ³)
P_s	: 飽和蒸気圧 (Pa) = $P_{ws} \times 1000$
M	: 水の分子量 = 0.0180153163102475 (kg/mol)
R	: 気体定数 = 8.31446261815324 (J/K/mol)
T_k	: 温度 (K)

Table 付録- 2.2.17.1 に近似式（Wagner 式および理想気体の状態方程式）による飽和蒸気量を示す。

Table 付録- 2.2.17.1 近似式による飽和蒸気量 (kg/m³)

t/°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.0048508	0.0051959	0.0055624	0.0059514	0.0063639	0.0068012	0.0072645	0.0077551	0.0082743	0.0088236
10	0.0094043	0.0100181	0.0106663	0.0113507	0.0120728	0.0128345	0.0136375	0.0144836	0.0153747	0.0163129
20	0.0173001	0.0183385	0.0194301	0.0205774	0.0217825	0.0230478	0.0243758	0.0257690	0.0272301	0.0287616
30	0.0303663	0.0320471	0.0338069	0.0356487	0.0375755	0.0395905	0.0416970	0.0438982	0.0461976	0.0485986
40	0.0511050	0.0537202	0.0564482	0.0592928	0.0622579	0.0653476	0.0685660	0.0719173	0.0754059	0.0790363
50	0.0828129	0.0867404	0.0908234	0.0950669	0.0994758	0.1040550	0.1088098	0.1137453	0.1188669	0.1241800

※近似式による数値においては、理想気体として水蒸気を取り扱っているため、50°C以上の領域で実際の値と乖離がみられる。

Table 付録- 2.2.17.2 に温度 20°C の場合の飽和蒸気の原子個数密度を示す。

Table 付録- 2.2.17.2 飽和蒸気量 (0.0000173g/cm³、20°C) の原子個数密度

元素	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	原子数比	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
H	11.19015537	1.007970942	2	1.9359E-06	1.15661E-06
O	88.80984463	15.99937443	1	1.53642E-05	5.78305E-07

2.3 SCALE 6.2.3 内蔵ライブラリ (v7-252n) に内蔵された物質

SCALE 6.2.3 コードシステムには、評価済み核データに基づく断面積データに加え、標準組成ライブラリとして代表的な元素および材料の組成比、平均原子量、断面積データ等がライブラリとして用意されており、SCALE 6.2.3 コードシステム入力データファイルにおいて、物質名をキーワードとした文字列を指定することで利用可能となる (SCALE CODE SYSTEM³⁸⁾ 7.2 STANDARD COMPOSITION LIBRARY を参照)。ただし、本ベンチマーク計算においては、キーワードでの引用はせず、成分組成から、各元素の原子個数密度を逐次計算して入力する。

2.3.1 SS316

Type-316 ステンレス鋼 (SUS316 に相当、キーワード: “SS316”) の各同位体元素の原子個数密度を Table 付録- 2.3.1.1 に示す。密度は 8.03g/cm³ である。

Table 付録- 2.3.1.1 SS316 原子個数密度

元素名	核種 ^{※1} 識別 番号	原子量 ^{※1} (g/mol)	成分組成 ^{※2} (wt%)	核種名	核種 ^{※3} 識別 番号	原子量 ^{※3} (g/mol)	同位体 組成 ^{※1} (at%)	原子数比 (at%)	重量比 (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
C	6000	12.0107	0.08	C-12	6012	12.0	98.93	0.36441	0.07907	3.186507E-04
				C-13	6013	13.0034	1.07	0.00394	0.00093	3.446439E-06
Si	14000	28.0855	1.0	Si-28	14028	27.9769	92.223	1.81595	0.91866	1.587902E-03
				Si-29	14029	28.9765	4.685	0.09225	0.04834	8.066662E-05
				Si-30	14030	29.9738	3.092	0.06088	0.03300	5.323825E-05
P	15000	30.9738	0.045	P-31	15031	30.9738	100.0	0.08035	0.04500	7.025628E-05
Cr	24000	51.9961	17.0	Cr-50	24050	49.946	4.3450	0.78562	0.70953	6.869642E-04
				Cr-52	24052	51.9405	83.7890	15.14995	14.22889	1.324742E-02
				Cr-53	24053	52.9407	9.5010	1.71788	1.64451	1.502151E-03
				Cr-54	24054	53.9389	2.3650	0.42762	0.41707	3.739173E-04
Mn	25000	54.938	2.0	Mn-55	25055	54.938	100.0	2.01327	2.00000	1.760448E-03
Fe	26000	55.845	65.375	Fe-54	26054	53.9396	5.845	3.78405	3.69079	3.308852E-03
				Fe-56	26056	55.9349	91.754	59.40153	60.08062	5.194190E-02
				Fe-57	26057	56.9354	2.119	1.37184	1.41234	1.199565E-03
				Fe-58	26058	57.9333	0.282	0.18257	0.19125	1.596401E-04
Ni	28000	58.6934	12.0	Ni-58	28058	57.9353	68.0769	7.69730	8.06372	6.730675E-03
				Ni-60	28060	59.9308	26.2231	2.96499	3.21312	2.592644E-03
				Ni-61	28061	60.9311	1.1399	0.12889	0.14200	1.127004E-04
				Ni-62	28062	61.9283	3.6345	0.41094	0.46018	3.593383E-04
Mo	42000	95.96	2.5	Ni-64	28064	63.928	0.9256	0.10466	0.12098	9.151288E-05
				Mo-92	42092	91.9068	14.77	0.21285	0.35374	1.861222E-04
				Mo-94	42094	93.9051	9.23	0.13301	0.22586	1.163106E-04
				Mo-95	42095	94.9058	15.9	0.22914	0.39323	2.003618E-04
				Mo-96	42096	95.9047	16.68	0.24038	0.41686	2.101908E-04
				Mo-97	42097	96.906	9.56	0.13777	0.24141	1.204691E-04
				Mo-98	42098	97.9054	24.19	0.34860	0.61715	3.048271E-04
Mo-100	42100	99.9075	9.67	0.13936	0.25175	1.218552E-04				

※1 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸⁾, p.7-180 Table 7.2.2] より引用する。

※2 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸⁾, p.7-190 Table 7.2.5] より引用する。

※3 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸⁾, p.7-118 Table 7.2.1] より引用する。

2.3.2 SS304

Type-304 ステンレス鋼 (SUS304 に相当、キーワード：“SS304”) の各同位体元素の原子個数密度を Table 付録- 2.3.2.1. に示す。密度 7.94g/cm³ である。

Table 付録- 2.3.2.1 SS304 原子個数密度

元素名	核種 ^{※1} 識別 番号	原子量 ^{※1} (g/mol)	成分組成 ^{※2} (wt%)	核種名	核種 ^{※1} 識別 番号	原子量 ^{※3} (g/mol)	同位体 組成 ^{※1} (at%)	原子数比 (at%)	重量比 (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
C	6000	12.0107	0.08	C-12	6012	12	98.9300	0.3597	0.07907	3.150793E-04
				C-13	6013	13.0034	1.0700	0.0039	0.00093	3.407812E-06
Si	14000	28.0855	1.0	Si-28	14028	27.9769	92.2230	1.7926	0.91866	1.570105E-03
				Si-29	14029	28.9765	4.6850	0.0911	0.04834	7.976252E-05
				Si-30	14030	29.9738	3.0920	0.0601	0.03300	5.264156E-05
P	15000	30.9738	0.045	P-31	15031	30.9738	100.0000	0.0793	0.04500	6.946885E-05
Cr	24000	51.9961	19.0	Cr-50	24050	49.946	4.3450	0.8668	0.79300	7.591782E-04
				Cr-52	24052	51.9405	83.7890	16.7148	15.90288	1.464000E-02
				Cr-53	24053	52.9407	9.5010	1.8953	1.83798	1.660058E-03
				Cr-54	24054	53.9389	2.3650	0.4718	0.46614	4.132236E-04
Mn	25000	54.938	2.0	Mn-55	25055	54.938	100.0000	1.9874	2.00000	1.740717E-03
Fe	26000	55.845	68.375	Fe-54	26054	53.9396	5.8450	3.9069	3.86015	3.421905E-03
				Fe-56	26056	55.9349	91.7540	61.3293	62.83766	5.371659E-02
				Fe-57	26057	56.9354	2.1190	1.4164	1.47715	1.240550E-03
				Fe-58	26058	57.9333	0.2820	0.1885	0.20003	1.650944E-04
Ni	28000	58.6934	9.5	Ni-58	28058	57.9353	68.0769	6.0154	6.38378	5.268730E-03
				Ni-60	28060	59.9308	26.2231	2.3171	2.54372	2.029506E-03
				Ni-61	28061	60.9311	1.1399	0.1007	0.11242	8.822120E-05
				Ni-62	28062	61.9283	3.6345	0.3212	0.36431	2.812878E-04
				Ni-64	28064	63.928	0.9256	0.0818	0.09577	7.163571E-05

※1 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸⁾、p.7-180 Table 7.2.2] より引用する。

※2 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸⁾、p.7-190 Table 7.2.5] より引用する。

※3 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸⁾、p.7-118 Table 7.2.1] より引用する。

2.3.3 H2O

水 (キーワード：“H2O”) の各同位体元素の原子個数密度を Table 付録- 2.3.3.1 に示す。密度は 0.9982g/cm³ (20°C) である。

Table 付録- 2.3.3.1 H2O 原子個数密度

元素名	核種 ^{※1} 識別 番号	原子量 ^{※1} (g/mol)	分子中 ^{※2} 原子個数	核種名	核種 ^{※3} 識別 番号	原子量 ^{※3} (g/mol)	同位体 組成 ^{※1} (at%)	原子数比 (at%)	重量比 (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
H	1000	1.0079	2	H-1	1001	1.0078	99.9885	66.65900	11.18727	6.672788E-02
				H-2	1002	2.0141	0.0115	0.00767	0.00257	7.674586E-06
O	8000	15.9994	1	O-16	8016	15.9949	99.757	33.25233	88.56949	3.328669E-02
				O-17	8017	16.9991	0.038	0.01267	0.03586	1.267975E-05
				O-18	8018	17.9992	0.205	0.06833	0.20482	6.840393E-05

※1 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸⁾、p.7-180 Table 7.2.2] より引用する。

※2 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸⁾、p.7-190 Table 7.2.4] より引用する。

※3 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸⁾、p.7-118 Table 7.2.1] より引用する。

2.3.4 Al

アルミニウム（キーワード：“Al”）の各同位体元素の原子個数密度を Table 付録- 2.3.4.1 に示す。密度は、2.702g/cm³である。

Table 付録- 2.3.4.1 Al 原子個数密度

元素名	核種 ^{※1} 識別 番号	原子量 ^{※1} (g/mol)	核種名	核種 ^{※3} 識別 番号	原子量 ^{※3} (g/mol)	同位体 組成 ^{※1} (at%)	重量比 (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Al	13000	26.9815	Al-27	13027	26.9815	100.0	100.0	6.030726E-02

※1 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸、p.7-180 Table 7.2.2] より引用する。

※2 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸、p.7-190 Table 7.2.5] より引用する。

※3 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸、p.7-118 Table 7.2.1] より引用する。

2.3.5 Polyethylene

ポリエチレン(C₂H₄)_n（キーワード：“Polyethylene”）の各同位体元素の原子個数密度を Table 付録- 2.3.5.1 に示す。密度は 0.92g/cm³である。

水素の同位体組成が考慮されておらず、H-2 (D) の存在が無視されている。

また H-1 においては、熱中性子散乱則[※]を考慮した S(α,β)を持つポリエチレン中の水素(9001001)を使用している。

Table 付録- 2.3.5.1 polyethylene 原子個数密度

元素名	核種 ^{※1} 識別 番号	原子量 ^{※1} (g/mol)	分子中 ^{※2} 原子個数	核種名	核種 ^{※3} 識別 番号	原子量 ^{※3} (g/mol)	同位体 組成 ^{※1} (at%)	原子数比 (at%)	重量比 (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
H	9001001	1.0078	2	H-poly	9001001	1.0078	100	66.66667	14.37011	7.899920E-02
C	6000	12.0107	1	C-12	6012	12	98.93	32.97666	84.63792	3.907695E-02
				C-13	6013	13.0034	1.07	0.35667	0.99197	4.226458E-04

※1 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸、p.7-180 Table 7.2.2] より引用する。

※2 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸、p.7-187 Table 7.2.4] より引用する。

※3 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸、p.7-118 Table 7.2.1] より引用する。

※熱中性子散乱則：

中性子スペクトルの軟らかい中性子では、物質の運動や構造が中性子散乱に影響し、軽水やポリエチレン、黒鉛、Be、Zr、H 等の物質では、核種の断面積とは別に物質としての散乱断面積を考慮する。各物質の散乱断面積は熱中性子散乱則（Thermal Scattering Law：TSL）と呼ばれる物性値として核データに α と β のテーブルとして格納されているので、一般的に S(α,β)と呼ばれている。

2.3.6 CARBON STEEL

炭素鋼（キーワード：“CARBON STEEL”）の各同位体元素の原子個数密度を Table 付録-2.3.6.1 に示す。密度は 7.8212g/cm³である。

Table 付録- 2.3.6.1 CARBON STEEL 原子個数密度

元素名	核種 識別 番号 ^{※1}	原子量 ^{※1} (g/mol)	成分組成 ^{※2} (wt%)	核種名	核種 識別 番号 ^{※3}	原子量 ^{※3} (g/mol)	同位体 組成 ^{※1} (at%)	原子数比 (at%)	重量比 (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
C	6000	12.0107	1.0	C-12	6012	12.0	98.93	4.43789	0.98842	3.879562E-03
				C-13	6013	13.0034	1.07	0.04800	0.01158	4.196029E-05
Fe	26000	55.845	99.0	Fe-54	26054	53.9396	5.845	5.58280	5.58910	4.880436E-03
				Fe-56	26056	55.9349	91.754	87.63802	90.98251	7.661241E-02
				Fe-57	26057	56.9354	2.119	2.02394	2.13877	1.769314E-03
				Fe-58	26058	57.9333	0.282	0.26935	0.28962	2.354633E-04

- ※1 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸、p.7-180 Table 7.2.2] より引用する。
- ※2 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸、p.7-190 Table 7.2.5] より引用する。
- ※3 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸、p.7-118 Table 7.2.1] より引用する。

2.3.7 ZIRC2

ジルカロイ-2（キーワード：“ZIRC2”）の各同位体元素の原子個数密度を Table 付録-2.3.7.1 に示す。密度は 6.56g/cm³である。

Table 付録- 2.3.7.1 ZIRC2 原子個数密度

元素名	核種 識別 番号 ^{※1}	原子量 ^{※1} (g/mol)	成分組成 ^{※2} (wt%)	核種名	核種 識別 番号 ^{※3}	原子量 ^{※3} (g/mol)	同位体 組成 ^{※1} (at%)	原子数比 (at%)	重量比 (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Cr	24000	51.9961	0.1	Cr-50	24050	49.946	4.345	0.00763	0.00417	3.301213E-06
				Cr-52	24052	51.9405	83.789	0.14722	0.08370	6.366061E-05
				Cr-53	24053	52.9407	9.501	0.01669	0.00967	7.218602E-06
				Cr-54	24054	53.9389	2.365	0.00416	0.00245	1.796863E-06
Fe	26000	55.845	0.135	Fe-54	26054	53.9396	5.845	0.01291	0.00762	5.581972E-06
				Fe-56	26056	55.9349	91.754	0.20264	0.12407	8.762503E-05
				Fe-57	26057	56.9354	2.119	0.00468	0.00292	2.023644E-06
				Fe-58	26058	57.9333	0.282	0.00062	0.00039	2.693099E-07
Ni	28000	58.6934	0.055	Ni-58	28058	57.9353	68.0769	0.05828	0.03696	2.520161E-05
				Ni-60	28060	59.9308	26.2231	0.02245	0.01473	9.707618E-06
				Ni-61	28061	60.9311	1.1399	0.00098	0.00065	4.219834E-07
				Ni-62	28062	61.9283	3.6345	0.00311	0.00211	1.345468E-06
Zr	40000	91.224	98.25	Zr-90	40090	89.9047	51.45	50.62515	49.81877	2.189099E-02
				Zr-91	40091	90.9056	11.22	11.04012	10.98522	4.773894E-03
				Zr-92	40092	91.905	17.15	16.87505	16.97573	7.296996E-03
				Zr-94	40094	93.9063	17.38	17.10136	17.57801	7.394856E-03
Sn	50000	118.71	1.45	Zr-96	40096	95.9083	2.8	2.75511	2.89227	1.191346E-03
				Sn-112	50112	111.9048	0.97	0.01082	0.01326	4.680658E-06
				Sn-114	50114	113.9028	0.66	0.00737	0.00918	3.184777E-06
				Sn-115	50115	114.9033	0.34	0.00379	0.00477	1.640643E-06
				Sn-116	50116	115.9017	14.54	0.16226	0.20584	7.016161E-05
				Sn-117	50117	116.9029	7.68	0.08570	0.10966	3.705923E-05
				Sn-118	50118	117.9016	24.22	0.27028	0.34880	1.168717E-04
				Sn-119	50119	118.9033	8.59	0.09586	0.12476	4.145036E-05
				Sn-120	50120	119.9022	32.58	0.36357	0.47715	1.572122E-04
				Sn-122	50122	121.9034	4.63	0.05167	0.06894	2.234170E-05
				Sn-124	50124	123.9053	5.79	0.06461	0.08763	2.793918E-05
				Hf	72000	178.49	0.01	Hf-174	72174	173.94
Hf-176	72176	175.9414	5.26					0.00027	0.00052	1.164230E-07
Hf-177	72177	176.9432	18.6					0.00095	0.00184	4.116860E-07
Hf-178	72178	177.9437	27.28					0.00140	0.00272	6.038061E-07
Hf-179	72179	178.9458	13.62					0.00070	0.00137	3.014603E-07
Hf-180	72180	179.9465	35.08					0.00180	0.00354	7.764486E-07

- ※1 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸、p.7-180 Table 7.2.2] より引用する。
- ※2 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸、p.7-190 Table 7.2.5] より引用する。
- ※3 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸、p.7-118 Table 7.2.1] より引用する。

2.3.8 Ta

タンタル（キーワード：“Ta”）の各同位体元素の原子個数密度を Table 付録-2.3.8.1 に示す。密度はデフォルト値として 16.6g/cm³ が設定されている。ただし、Ta-180 は、核異性体の Ta-180m であり、SCALE コードシステムで“Ta”を指定する場合は Ta-180 (73180[※]) ではなく、Ta-180m (1073180[※]) が引用される。しかしながら、v7-252n ライブラリには、Ta-180m は収録されていないため、Ta-180m を排除して、Ta-181 のみで構成される。

※SCALE コード断面積ライブラリにおける核種識別番号

Table 付録-2.3.8.1 Ta 原子個数密度 (SCALE 内蔵ライブラリによる密度 16.6g/cm³ の場合)

元素名	核種識別 ^{※1} 番号	原子量 ^{※1} (g/mol)	核種名	核種識別 ^{※1} 番号	原子量 ^{※2} (g/mol)	同位体組成 ^{※1} (at%)	同位体組成比 (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Ta	73000	180.9479	Ta-180	73180 ^{※3} (1073180)	179.9475	0.012	0.01193	6.629591E-06
			Ta-181	73181	180.948	99.988	99.98807	5.523996E-02

※1 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸、p.7-180 Table 7.2.2] より引用する。

※2 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸、p.7-118 Table 7.2.1] より引用する。

※3 Table 7.2.2.には、Ta-180 (73180) と Ta-181 (73181) の組成比が記述されている。しかし、SCALE 6.2.3 コードシステム入力データに“Ta”を指定する場合は、Ta-180m (1073180) が引用される。

本ベンチマーク計算では、Ta-180m の代替として Ta-180 (73180) を用いた。この時、原子量および組成比は、理科年表 2020 年度版²⁶⁾ (Table 付録- 1.2.1、Table 付録- 1.3.1 参照) より引用する。

Table 付録- 2.3.8.2 に本ベンチマーク計算で用いた Ta 原子個数密度を示す (密度 16.6g/cm³ で計算)。

Table 付録- 2.3.8.2 Ta 原子個数密度 (理科年表 2020 年度版による密度 16.6g/cm³ の場合)

核種名	原子量 (g/mol)	同位体組成比 (at%)	同位体組成比 (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn・cm)
Ta-180	179.9474684	0.01201	0.01194	6.635116E-06
Ta-181	180.9479993	99.98799	99.98806	5.523996E-02

2.3.9 Cd

カドミウム（キーワード：“Cd”）の各同位体元素の原子個数密度を Table 付録-2.3.9.1 に示す。本ベンチマーク計算においては、Cd の同位体組成について、理科年表 2022 年度版²⁶⁾に記載された組成比ではなく、核断面積ライブラリに収蔵された組成比を採用する。密度はデフォルトとして 8.642g/cm³ が設定されている。

Table 付録-2.3.9.1 Cd 原子個数密度

元素名	核種識別 番号 ^{※1}	原子量 ^{※1} (g/mol)	核種名	核種識別 番号 ^{※1}	原子量 ^{※2} (g/mol)	同位体組成比 ^{※1} (at%)	同位体組成比 (wt%)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
Cd	48000	112.411	Cd-106	48106	105.9065	1.25	1.178	5.787172E-04
			Cd-108	48108	107.9042	0.89	0.854	4.120466E-04
			Cd-110	48110	109.903	12.49	12.211	5.782542E-03
			Cd-111	48111	110.9042	12.8	12.628	5.926065E-03
			Cd-112	48112	111.9028	24.13	24.021	1.117156E-02
			Cd-113	48113	112.9044	12.22	12.274	5.657539E-03
			Cd-114	48114	113.9034	28.73	29.111	1.330123E-02
Cd-116	48116	115.9048	7.49	7.723	3.467673E-03			

※1 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸⁾、p.7-180 Table 7.2.2] より引用する。

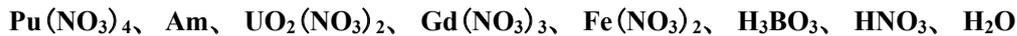
※2 文献 [SCALE CODE SYSTEM³⁸⁾、p.7-118 Table 7.2.1] より引用する。

2.4 硝酸水溶液中の元素の原子個数密度の算出方法

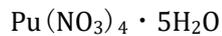
本ベンチマーク計算において、以下の臨界実験において硝酸中に核物質が溶存している水溶液が用いられている。

第 3.1.5 項	MOX 非均質系	pnl6559
第 3.1.6 項	MOX 非均質系	nse59
第 3.1.7 項	MOX 非均質系	nse62
第 3.3.1 項	(Pu+U) 均質系	pnl5768
第 3.3.2 項	(Pu+U) 均質系	pnl6327
第 3.3.3 項	(Pu+U) 均質系	pnl6451
第 3.3.4 項	(Pu+U) 均質系	pnl6119
第 3.5.1 項	Pu 均質系	nse79_sph
第 3.5.2 項	Pu 均質系	nse79_cyl

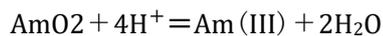
実験体系で使用された硝酸水溶液に溶存している物質は、以下に挙げる形態をとっているものとする。



硝酸中の Pu については、硝酸プルトニウム (IV) $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ が水和物の形態で溶存していると仮定する。

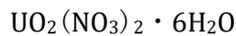


Am については、二酸化アメリシウム AmO_2 の形態で硝酸に溶解された仮定する場合、 AmO_2 は酸中において、3 価の Am と H_2O となる。



よって、硝酸水溶液中において Am は、Am(III) として存在するものと仮定する。

硝酸中の U については、硝酸ウラニウム $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ が水和物の形態で溶存していると仮定する。



ガドリニウム Gd は Gd_2O_3 の形態で硝酸水溶液に添加されたものと仮定する。 Gd_2O_3 は溶液中の遊離酸と反応し、硝酸ガドリニウム (III) $\text{Gd}(\text{NO}_3)_3$ を形成する。溶液中の Gd は、全て $\text{Gd}(\text{NO}_3)_3$ の形態で存在するものと仮定する。

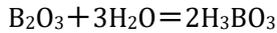
鉄 Fe を硝酸に溶解した場合、硝酸中の Fe は、硝酸鉄 (II) $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ と硝酸鉄 (III) $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ の水和物の形態をとり、硝酸水溶液中の硝酸鉄 (II) と硝酸鉄 (III) の存在比は溶解時の条件に

よって異なる。一般に硝酸鉄 (II) が Fe を冷希硝酸に溶かした場合に生成されるのに対し、硝酸鉄 (III) は Fe を濃硝酸に溶解することで生成される。また、Fe は濃硝酸中では、表面に酸化被膜を形成して不動態となるため、反応が進行しない現象が起きる。

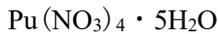
本ベンチマーク計算の対象とする実験 (第 3.1 節 MOX 非均質、第 3.3 節 (Pu+U) 均質系、第 3.5 節 Pu 均質系) で用いられた硝酸の濃度は、硝酸水溶液中の窒素 N 濃度から、最大でも 8.34 (mol/litre) 程度であり、一般的に濃硝酸とされる濃度 (13.0mol/litre 以上) を下回ることを確認している。よって、実験で溶解に用いられた硝酸は、濃硝酸ではなかったと推測する。

よって、硝酸水溶液中の硝酸鉄は、硝酸鉄 (II) $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ の形態で存在するものと仮定する。

ホウ素 B は、酸化ホウ素 B_2O_3 の形態で硝酸水溶液中に投与されたと仮定する。 B_2O_3 は、水に可溶 (溶解度 2.2gB/100gH₂O) であり、以下のようにホウ酸の形態で溶存するものと仮定する。



(1) 硝酸プルトニウム (IV) $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ の原子個数密度の算出
硝酸中の Pu は硝酸プルトニウム (IV) $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ が水和物の形態で溶存していると仮定する。



示されている Pu 濃度 P_{Pu} (gPu/litre) から $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ の密度 $\rho_{\text{Pu}(\text{NO}_3)_4}$ (g/cm³) を以下の式で求める。

$$\rho_{\text{Pu}(\text{NO}_3)_4} = \frac{P_{\text{Pu}}}{1000} \times \frac{MN_{\text{Pu}(\text{NO}_3)_4}}{MN_{\text{Pu}}}$$

$\rho_{\text{Pu}(\text{NO}_3)_4}$: $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ 密度 (g/cm³)

P_{Pu} : Pu 濃度 (gPu/litre)

MN_{Pu} : Pu 原子量 (g/mol)

$MN_{\text{Pu}(\text{NO}_3)_4}$: $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ 分子量 (g/mol)

求めた $\rho_{\text{Pu}(\text{NO}_3)_4}$ より Pu (同位体元素毎)、N、O の原子個数密度を求める。

(2) アメリシウム Am の原子個数密度の算出

Am については、二酸化アメリシウム AmO_2 の形態で硝酸に溶解されたと仮定し、 AmO_2 は酸中において、3 価の Am と H₂O となる。



よって、硝酸水溶液中において Am は、Am(III) として存在するものと仮定する。

・ Am-241 濃度 $P_{\text{Am-241}}$ (gAm/litre) が示されている場合

$P_{\text{Am-241}}$ から Am-241 の密度 $\rho_{\text{Am-241}}$ (g/cm³) を以下の式で求める。

$$\rho_{Am-241} = \frac{P_{Am-241}}{1000}$$

ρ_{Am-241} : Am-241 密度 (g/cm³)

P_{Am-241} : Am-241 濃度 (gAm/litre)

・ Am-241 の存在量が Pu 量に対する重量比 W_{Am-241} で示されている場合
Pu 濃度 P_{Pu} (gPu/litre) から ρ_{Am-241} を以下の式で求める。

$$\rho_{Am-241} = \frac{P_{Pu}}{1000} \times \frac{W_{Am-241}}{100}$$

ρ_{Am-241} : Am-241 密度 (g/cm³)

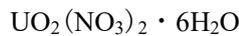
P_{Pu} : Pu 濃度 (gPu/litre)

W_{Am-241} : Am-241 の重量比 (wt%)

求めた ρ_{Am-241} より Am-241 の原子個数密度を求める。

(3) 硝酸ウラニル (VI) $UO_2(NO_3)_2$ の原子個数密度の算出

硝酸中の U については、硝酸ウラニウム $UO_2(NO_3)_2$ が水和物の形態で溶存していると仮定する。



示されている U 濃度 P_U (gU/litre) から $UO_2(NO_3)_2$ の密度 $\rho_{UO_2(NO_3)_2}$ (g/cm³) を以下の式で求める。

$$\rho_{UO_2(NO_3)_2} = \frac{P_U}{1000} \times \frac{MN_{UO_2(NO_3)_2}}{MN_U}$$

$\rho_{UO_2(NO_3)_2}$: $UO_2(NO_3)_2$ 密度 (g/cm³)

P_U : U 濃度 (gU/litre)

MN_U : U 原子量 (g/mol)

$MN_{UO_2(NO_3)_2}$: $UO_2(NO_3)_2$ 分子量 (g/mol)

求めた $\rho_{UO_2(NO_3)_2}$ より U (同位体元素毎)、N、O の原子個数密度を求める。

(4) 硝酸ガドリニウム (III) $Gd(NO_3)_3$ の原子個数密度の算出

ガドリニウム Gd は Gd_2O_3 の形で硝酸水溶液に添加されたものと仮定する。 Gd_2O_3 は硝酸水溶液中の遊離酸と反応し、硝酸ガドリニウム (III) $Gd(NO_3)_3$ を形成する。

硝酸水溶液中の Gd は、全て $Gd(NO_3)_3$ の形態で存在するものと仮定する。

・ Gd 濃度 P_{Gd} (gGd/litre) が示されている場合

P_{Gd} から $Gd(NO_3)_3$ の密度 $\rho_{Gd(NO_3)_3}$ (g/cm³) を以下の式で求める。

$$\rho_{Gd(NO_3)_3} = \frac{P_{Gd}}{1000} \times \frac{MN_{Gd(NO_3)_3}}{MN_{Gd}}$$

$\rho_{Gd(NO_3)_3}$: Gd(NO₃)₃密度 (g/cm³)
 P_{Gd} : Gd濃度 (gGd/litre)
 MN_{Gd} : Gd原子量 (g/mol)
 $MN_{Gd(NO_3)_3}$: Gd(NO₃)₃分子量 (g/mol)

・ Gd の存在量について、Pu 量に対する重量比 W_{Gd} で示されている場合 Pu 濃度 P_{Pu} (gPu/litre) から Gd 密度 ρ_{Gd} (g/cm³) を以下の式で求める。

$$\rho_{Gd} = \frac{P_{Pu}}{1000} \times \frac{W_{Gd}}{100}$$

ρ_{Gd} : Gd 密度 (g/cm³)
 P_{Pu} : Pu 濃度 (gPu/litre)
 W_{Gd} : Gd の重量比 (wt%)

求めた Gd 密度 ρ_{Gd} から Gd(NO₃)₃ 密度 $\rho_{Gd(NO_3)_3}$ (g/cm³) を以下の式で求める。

$$\rho_{Gd(NO_3)_3} = \rho_{Gd} \times \frac{MN_{Gd(NO_3)_3}}{MN_{Gd}}$$

$\rho_{Gd(NO_3)_3}$: Gd(NO₃)₃密度 (g/cm³)
 ρ_{Gd} : Gd 密度 (g/cm³)
 MN_{Gd} : Gd 原子量 (g/mol)
 $MN_{Gd(NO_3)_3}$: Gd(NO₃)₃分子量 (g/mol)

求めた $\rho_{Gd(NO_3)_3}$ より Gd、N、O の原子個数密度を求める。

(5) 硝酸鉄 (II) Fe(NO₃)₂ の原子個数密度の算出

本ベンチマーク計算で対象とする実験 (MOX 非均質、Pu+U 均質系、Pu 均質系) で用いられた硝酸濃度は、硝酸水溶液中の窒素 N 濃度から、最大でも 8.34 (mol/litre) 程度であり、一般的に濃硝酸とされる濃度 (13.0mol/litre 以上) を下回ることを確認している。よって、実験で溶解に用いた硝酸は、濃硝酸ではなかったと推測する。一般に Fe を冷希硝酸に溶かした場合には、硝酸鉄は、硝酸鉄 (II) Fe(NO₃)₂ が生成されることから、硝酸水溶液中の硝酸鉄は、硝酸鉄 (II) Fe(NO₃)₂ の形態で存在するものと仮定する。

示されている Fe 濃度 P_{Fe} (gFe/litre) から Fe(NO₃)₂ の密度 $\rho_{Fe(NO_3)_2}$ (g/cm³) を以下の式で求める。

$$\rho_{Fe(NO_3)_2} = \frac{P_{Fe}}{1000} \times \frac{MN_{Fe(NO_3)_2}}{MN_{Fe}}$$

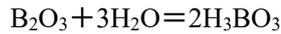
$\rho_{Fe(NO_3)_2}$: Fe(NO₃)₂密度 (g/cm³)
 P_{Fe} : Fe 濃度 (gFe/litre)
 MN_{Fe} : Fe 原子量 (g/mol)

$$MN_{Fe(NO_3)_2} : Fe(NO_3)_2 \text{分子量 (g/mol)}$$

求めた $\rho_{Fe(NO_3)_2}$ より Fe、N、O の原子個数密度を求める。

(6) ホウ酸 H_3BO_3 の原子個数密度の算出

ホウ素 B は、酸化ホウ素 B_2O_3 の形態で硝酸水溶液中に投与されると仮定した場合でも B_2O_3 は、水に可溶（溶解度 $2.2gB/100gH_2O$ ）であり、以下のようにホウ酸 H_3BO_3 の形態で溶存するものと仮定する。



示されている B 濃度 P_B (gB/litre) から H_3BO_3 の密度 $\rho_{H_3BO_3}$ (g/cm^3) を以下の式で求める。

$$\rho_{H_3BO_3} = \frac{P_B}{1000} \times \frac{MN_{H_3BO_3}}{MN_B}$$

$$\begin{aligned} \rho_{H_3BO_3} & : H_3BO_3 \text{密度 (g/cm}^3\text{)} \\ P_B & : B \text{濃度 (gB/litre)} \\ MN_B & : B \text{原子量 (g/mol)} \\ MN_{H_3BO_3} & : H_3BO_3 \text{分子量 (g/mol)} \end{aligned}$$

求めた $\rho_{H_3BO_3}$ より B（同位体元素毎）、N、O の原子個数密度を求める。

ホウ素の同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾より引用する（付録-1.3 を参照）。

B-10 : B-11 = 18.1952wt% : 81.8048wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

(7) 硝酸 HNO_3 の原子個数密度の算出

硝酸水溶液中の硝酸 HNO_3 濃度は、本ベンチマーク計算の対象実験の文献には、酸性度 (mol/litre) や H^+ イオン濃度 (g/litre)、 NO_3 濃度 (g/litre) といった形で記述されている。実験毎に以下に示す適当な方法で、 HNO_3 密度 ρ_{HNO_3} (g/cm^3) を求める。

・酸性度 M_{HNO_3} (mol/litre) が示されている場合

示されている酸性度 M_{HNO_3} (mol/litre) から HNO_3 の密度 ρ_{HNO_3} (g/cm^3) を以下の式で求める。

$$\rho_{HNO_3} = \frac{M_{HNO_3}}{1000} \times MN_{HNO_3}$$

$$\begin{aligned} \rho_{HNO_3} & : HNO_3 \text{密度 (g/cm}^3\text{)} \\ M_{HNO_3} & : \text{酸性度 (mol/litre)} \\ MN_{HNO_3} & : HNO_3 \text{分子量 (g/mol)} \end{aligned}$$

・酸性度 M_{HNO_3} が示されず、 H^+ 濃度 P_{H^+} (g/litre) が示されている場合

H^+ 濃度 P_{H^+} (g/litre) よりその酸性度 M_{HNO_3} (mol/litre) を以下の式で求める。

$$M_{HNO3} = \frac{P_{H+}}{MN_H}$$

M_{HNO3} : 酸性度 (mol/litre)
 P_{H+} : H^+ 濃度 (g/litre)
 MN_H : 水素原子量 (g/mol)

・ NO_3 濃度 P_{NO3} (g NO_3 /litre) が示されている場合

NO_3 濃度 P_{NO3} から HNO_3 の密度 ρ_{HNO3} (g/cm³) を、以下の式より求める。

ただし、 NO_3 濃度 P_{NO3} は、 $Pu(NO_3)_4$ 、 $UO_2(NO_3)_2$ 、 $Gd(NO_3)_3$ 、 $Fe(NO_3)_2$ 分子中に含まれる NO_3 を合わせた値であるので、 NO_3 濃度より、分子中の NO_3 分を差し引いて計算する。

$$\rho_{NO3} = \frac{P_{NO3}}{1000} - \frac{\rho_{Pu(NO3)4}}{MN_{Pu(NO3)4}} \times MN_{NO3} - \frac{\rho_{UO2(NO3)2}}{MN_{UO2(NO3)2}} \times MN_{NO3} - \frac{\rho_{Gd(NO3)3}}{MN_{Gd(NO3)3}} \times MN_{NO3} - \frac{\rho_{Fe(NO3)2}}{MN_{Fe(NO3)2}} \times MN_{NO3}$$

$$\rho_{HNO3} = \rho_{NO3} \times \frac{MN_{HNO3}}{MN_{NO3}}$$

P_{NO3} : NO_3 濃度 (g/litre)
 ρ_{NO3} : NO_3 密度 (g/cm³)
 ρ_{HNO3} : HNO_3 密度 (g/cm³)
 MN_{HNO3} : HNO_3 の分子量 (g/mol)
 MN_{NO3} : NO_3 の分子量 (g/mol)
 $\rho_{Pu(NO3)4}$: $Pu(NO_3)_4$ 密度 (g/cm³)
 $MN_{Pu(NO3)4}$: $Pu(NO_3)_4$ 分子量 (g/mol)
 $\rho_{UO2(NO3)2}$: $UO_2(NO_3)_2$ 密度 (g/cm³)
 $MN_{UO2(NO3)2}$: $UO_2(NO_3)_2$ 分子量 (g/mol)
 $\rho_{Gd(NO3)3}$: $Gd(NO_3)_3$ 密度 (g/cm³)
 $MN_{Gd(NO3)3}$: $Gd(NO_3)_3$ 分子量 (g/mol)
 $\rho_{Fe(NO3)2}$: $Fe(NO_3)_2$ 密度 (g/cm³)
 $MN_{Fe(NO3)2}$: $Fe(NO_3)_2$ 分子量 (g/mol)

求めた ρ_{HNO3} より H、N、O の原子個数密度を求める。

(8) 水 H₂O の原子個数密度の算出

- ・文献に硝酸水溶液密度 ρ_{Total} (g/cm³) が記載されている場合

硝酸水溶液密度 ρ_{Total} から (1)、(2)、(3)、(4)、(5)、(6)、(7) の各工程において算出した密度 ($\rho_{Pu(NO_3)_4}$ 、 ρ_{Am-241} 、 $\rho_{UO_2(NO_3)_2}$ 、 $\rho_{Gd(NO_3)_3}$ 、 $\rho_{Fe(NO_3)_2}$ 、 $\rho_{H_3BO_3}$ 、 ρ_{HNO_3}) を差し引いて、H₂O 密度 ρ_{H_2O} (g/cm³) を求める。

$$\rho_{H_2O} = \rho_{Total} - (\rho_{Pu(NO_3)_4} + \rho_{Am-241} + \rho_{UO_2(NO_3)_2} + \rho_{Gd(NO_3)_3} + \rho_{Fe(NO_3)_2} + \rho_{H_3BO_3} + \rho_{HNO_3})$$

ρ_{H_2O}	: H ₂ O 密度 (g/cm ³)
ρ_{Total}	: 硝酸水溶液密度 (g/cm ³)
$\rho_{Pu(NO_3)_4}$: Pu(NO ₃) ₄ 密度 (g/cm ³)
ρ_{Am-241}	: Am-241 密度 (g/cm ³)
$\rho_{UO_2(NO_3)_2}$: UO ₂ (NO ₃) ₂ 密度 (g/cm ³)
$\rho_{Gd(NO_3)_3}$: Gd(NO ₃) ₃ 密度 (g/cm ³)
$\rho_{Fe(NO_3)_2}$: Fe(NO ₃) ₂ 密度 (g/cm ³)
$\rho_{H_3BO_3}$: H ₃ BO ₃ 密度 (g/cm ³)
ρ_{HNO_3}	: HNO ₃ 密度 (g/cm ³)

- ・文献に H₂O 濃度 P_{H_2O} (g/litre) が示されている場合

H₂O 濃度 P_{H_2O} から、H₂O 密度 ρ_{H_2O} (g/cm³) を以下の式で求める。

$$\rho_{H_2O} = \frac{P_{H_2O}}{1000}$$

ρ_{H_2O}	: H ₂ O 密度 (g/cm ³)
P_{H_2O}	: H ₂ O 濃度 (g/litre)

- ・文献に H₂O 濃度 P_{H_2O} および硝酸水溶液密度 ρ_{Total} の両方の記載が無い場合
水溶液密度 ρ_{Total} を以下の近似式で求める。

$$\rho_{Total} = 1 + 0.0299H + 0.001675C^{*}$$

ρ_{Total}	: 水溶液密度 (g/cm ³)
H	: 遊離酸モル濃度 (mol/litre) ρ_{HNO_3}/MN_{HNO_3}
C	: Pu 濃度 (g/litre) = P_{Pu}

*文献 [Nuclear Science and Engineering Vol.79²⁵) p.69] より引用。

求めた ρ_{H_2O} より H、O の原子個数密度を求める。

(9) H、N、Oの原子個数密度の算出

(1)、(3)、(4)、(5)、(6)、(7)、(8)の各工程より算出したH、N、Oの原子個数密度を合算して原子個数密度を求める。

(10) 硝酸水溶液中の不純物について

PuとUもしくは、Puを溶存している硝酸水溶液には、不純物として様々な元素が含まれており、一部の文献にはその不純物含有量が記載されている。

不純物の含有量は、以下の方法で分析されている。

- Spark Source Mass Spectrographic analysis (SSMS 分析)
- Inductively Coupled Plasma Spectroscopy (ICP 分析：結合誘導プラズマ分析法)
- Spectro Chemical Analysis

いずれも不純物含有量は、硝酸水溶液密度に対する重量比 w (ppm)、もしくは濃度 $Conc$ (g/litre) で示されていることから、硝酸水溶液密度、硝酸水溶液体積より、各不純物元素の単位体積当たりの密度を計算し、その原子個数密度を求める。

$$\rho_x = \rho_{Liq} \times \frac{w_x}{10^6}$$

$$\rho_x = \frac{Conc_x}{10^3}$$

ρ_x	: 不純物元素 x の密度 (g/cm ³)
ρ_{Liq}	: 硝酸水溶液密度 (g/cm ³)
w_x	: 不純物元素 x の重量比 (ppm)
$Conc_x$: 不純物元素 x の濃度 (g/litre)

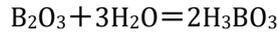
$$G_x = \frac{\rho_x}{A_x} \times N_A \times 1.0 \times 10^{-24}$$

G_x	: 不純物元素 x の原子個数密度 (atoms/barn · cm)
ρ_x	: 不純物元素 x の密度 (g/cm ³)
N_A	: アボガドロ定数 (6.02214076×10 ²³)
A_x	: 元素 x の原子量 (g/mol)
1.0×10^{-24}	: 断面積換算係数 (cm ² →barn)

2.5 ホウ酸水溶液中の原子個数密度

本ベンチマーク計算におけるホウ酸水溶液を使用する実験体系（第 3.1.2 項）において、減速材中のホウ素はホウ酸粉末 H_3BO_3 の形態で水中に投与される（文献 [EPRI NP-196⁷⁾ p.8]）。

また、硝酸溶液中にホウ素が添加されている実験体系（第 3.1.7 項）の場合、酸化ホウ素 B_2O_3 の形態で硝酸水溶液中に投与されると仮定した場合でも、 B_2O_3 は水に可溶（溶解度 $2.2\text{gB}/100\text{gH}_2\text{O}$ ）であり、以下のようにホウ酸の形態で溶存する。



（1）ホウ素 B 含有率が示されている場合

B 含有率 P_B (wppm) から H_3BO_3 の密度を以下の式で求める。

$$\rho_{\text{H}_2\text{BO}_3} = \frac{P_B \times 1.0 \times 10^{-6} \times \rho_{\text{H}_2\text{O}}}{1 - P_B \times 1.0 \times 10^{-6}} \times \frac{MN_{\text{H}_2\text{BO}_3}}{MN_B}$$

$\rho_{\text{H}_2\text{BO}_3}$:	H_3BO_3 密度 (g/cm^3)
P_B	:	B 含有率 (wppm)
$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$:	水密度 (g/cm^3)
MN_B	:	B 原子量 (g/mol) [=10.8135188]
$MN_{\text{H}_2\text{BO}_3}$:	H_3BO_3 分子量 (g/mol) [=61.8355549]

（2）溶液中のホウ素 B 濃度が示されている場合

B 濃度 P_B (gB/litre) から H_3BO_3 の密度を以下の式で求める。

$$\rho_{\text{H}_3\text{BO}_3} = \frac{P_B}{1000} \times \frac{MN_{\text{H}_3\text{BO}_3}}{MN_B}$$

P_B	:	B 濃度 (gB/litre)
MN_B	:	B 原子量 (g/mol)
$MN_{\text{H}_3\text{BO}_3}$:	H_3BO_3 分子量 (g/mol)

求めた $\rho_{\text{H}_2\text{BO}_3}$ より B（同位体元素毎）、N、O の原子個数密度を求める。

※ B の同位体組成は、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する。付録-1.3 を参照。

B-10 : B-11 = 18.195207wt% : 81.804793wt% (B-10 : B-11 = 19.65at% : 80.35at%)

文献 [EPRI NP-196⁷⁾ p.8] には、 $^{10}\text{B} = 19.8 \pm 0.1$ atom percent の記述があるが本ベンチマーク計算では、上記の数値を引用する。

2.6 TBP・NPH有機溶剤中の原子個数密度

本ベンチマーク計算における一部の実験体系（第 3.1.4 項）において、TBP・NPH 有機溶剤が反射体・減速材として用いられている。

TBP・NPH 有機溶剤（tributyl phosphate-normal paraffin hydrocarbon）については、文献 [PNL-5803⁹⁾] に以下の諸元が示されている。

- ・NPH の重量比：62.0wt%、TBP [(C₄H₉O)₃PO] の重量比：38.0(±0.2)wt%

(※ 文献 [PNL-5803⁹⁾ p.2.8、p.3.5] より引用)

- ・NPH に含まれる C₁₁H₂₄～C₁₅H₃₂ の重量比

C₁₁H₂₄：0.51 ±0.05wt%

C₁₂H₂₆：12.78 ±0.23wt%

C₁₃H₂₈：54.55 ±0.06wt%

C₁₄H₃₀：31.560 ±0.78wt%

C₁₅H₃₂：0.23 ±0.04wt%

(※ 文献 [PNL-5803⁹⁾ TABLE D.1] より引用)

ここで、NPH に含まれる分子の重量比が合計で 100wt%にならないため、それぞれ合計量が 100wt%となるよう、重量比を以下のように補正する。

C₁₁H₂₄：0.51 +0.001894 =0.511894wt%

C₁₂H₂₆：12.78 +0.047462 =12.827462wt%

C₁₃H₂₈：54.55 +0.202585 =54.752585wt%

C₁₄H₃₀：31.560 +0.117206 =31.677206wt%

C₁₅H₃₂：0.23 +0.000854 =0.230854wt%

(1) リン酸トリブチル TBP (tributyl phosphate) (C₄H₉O)₃PO
有機溶剤の密度より TBP の密度を求める。

$$\rho_{TBP} = (\rho_{sol} - \rho_{imp}) \times R_{TBP} / 100$$

ρ_{TBP} : TBP の密度 (g/cm³)

ρ_{sol} : 有機溶剤の密度 (g/cm³)
[=0.8244^{※1}]

ρ_{imp} : 溶剤中の不純物の密度 [g/cm³] ^{※2}
[=0.000891016]

R_{TBP} : 溶剤中の TBP の存在比 (wt%) [=38wt%]

※1 文献 [PNL-5803⁹⁾ p.2.8] より引用

※2 (3) “TBP-NPH 有機溶剤の不純物について”を参照。

$$M_{TBP} = \rho_{TBP} / Aw_{TBP}$$

M_{TBP} : 単位体積当たりの TBP 分子数 (mol/cm³)
 ρ_{TBP} : TBP の密度 (g/cm³)
 Aw_{TBP} : TBP 分子量 (g/mol) [=266.3141019]

$$M_i = M_{TBP} \times N_i$$

M_i : 元素 i の TBP 中原子数 (mol/cm³)
 [i=C、H、O、P]
 N_i : TBP 分子を構成する元素 i の個数
 (C : 12、H : 27、O : 4、P : 1)

$$G_i = M_i \times N_A \times 1.0 \times 10^{-24}$$

G_i : 元素 i の原子個数密度 (atoms/barn · cm)
 N_A : アボガドロ定数 (6.02214076 × 10²³)
 1.0×10^{-24} : 断面積換算係数 (cm² → barn)

(2) ノーマルパラフィン炭化水素 NPH (normal paraffin hydrocarbon)

文献より、NPH に含まれる炭化水素は C₁₁H₂₄、C₁₂H₂₆、C₁₃H₂₈、C₁₄H₃₀、C₁₅H₃₂ とし、その存在比を 0.511894 : 12.827462 : 54.752585 : 31.677206、0.230854wt% とする。

有機溶剤中の NPH の密度は以下の式より求められる。

$$\rho_{NPH} = (\rho_{sol} - \rho_{imp}) \times \frac{R_{NPH}}{100}$$

ρ_{NPH} : NPH の密度 (g/cm³)
 ρ_{sol} : 有機溶剤の密度 (g/cm³)
 [=0.8244 ± 0.0011^{※1}]
 ρ_{imp} : 溶剤中の不純物の密度 (g/cm³)^{※2}
 [=0.000891016]
 R_{NPH} : 溶剤中の NPH の存在比 (wt%) [=62wt%]
 ※1 文献 [PNL-5803⁹⁾ p.2.8] より引用
 ※2 “(3) TBP-NPH 有機溶剤の不純物について”を参照。

各分子 [C₁₁H₂₄、C₁₂H₂₆、C₁₃H₂₈、C₁₄H₃₀、C₁₅H₃₂] のそれぞれの密度を求める。

$$\rho_i = \rho_{NPH} \times R_{w_i} / 100$$

ρ_i : 分子 i の密度 (g/cm³)
 [i=C₁₁H₂₄、C₁₂H₂₆、C₁₃H₂₈、C₁₄H₃₀、C₁₅H₃₂]
 R_{w_i} : 分子 i の重量存在比 (wt%)
 [i=C₁₁H₂₄、C₁₂H₂₆、C₁₃H₂₈、C₁₄H₃₀、C₁₅H₃₂]

各分子のモル密度 (mol/cm³) を求める

$$Md_i = \rho_i / Aw_i$$

Md_i : 分子 i のモル密度 (mol/cm³)
 [$i = C_{11}H_{24}, C_{12}H_{26}, C_{13}H_{28}, C_{14}H_{30}, C_{15}H_{32}$]
 Aw_i : 分子 i の分子量 (g/mol)

単位体積当たりの炭素のモル数 M_c と水素のモル数 M_h を計算する

$$M_c = \sum (Md_i \times Nc_i) \quad [i = C_{11}H_{24}, C_{12}H_{26}, C_{13}H_{28}, C_{14}H_{30}, C_{15}H_{32}]$$

$$M_h = \sum (Md_i \times Nh_i) \quad [i = C_{11}H_{24}, C_{12}H_{26}, C_{13}H_{28}, C_{14}H_{30}, C_{15}H_{32}]$$

M_c : NPH 単位体積当たりの C のモル数 (mol/cm³)
 M_h : NPH 単位体積当たりの H のモル数 (mol/cm³)
 Nc_i : 分子 i 中の C 個数
 Nh_i : 分子 i 中の H 個数

各モル密度より、原子個数密度 G_c 、 G_h を計算する。

$$G_c = M_c \times N_A \times 1.0 \times 10^{-24}$$

$$G_h = M_h \times N_A \times 1.0 \times 10^{-24}$$

G_c : 炭素 C の原子個数密度 (atoms/barn · cm)
 G_h : 水素 H の原子個数密度 (atoms/barn · cm)
 N_A : アボガドロ定数 ($6.02214076 \times 10^{23}$)
 1.0×10^{-24} : 断面積換算係数 (cm² → barn)

(3) TBP-NPH 有機溶剤の不純物について

文献 [PNL-5803⁹⁾ TABLE D.2] に TBP-NPH 有機溶剤中の不純物についての記述 (PNC-1、PNC-2) があり、これを引用してサンプル PNC-1 および PNC-2 の平均を採用値とする (Table 付録- 2.6.1 参照)。

また、TBP-NPH 有機溶剤の密度については、 0.8244g/cm^3 とする。

Table 付録- 2.6.1 TBP-NPH 有機溶剤中の不純物 [PNL-5803 TABLE D.2]

元素	重量比 (ppm)		
	PNC-1	PNC-2	採用値
Al	<550.00	<530.00	540
Si	<350.00	<330.00	340
P	47000.00 ± 2400.00	41500.00 ± 2100.00	44250
S	144.00 ± 36.00	101.00 ± 33.00	122.5
Al	<20.00	330 ± 12.00	26.5
K	<4.60	<3.90	4.25
Ca	8.80 ± 1.80	6.90 ± 1.60	7.85
Ti	<9.70	<8.50	9.1
V	<6.20	<5.50	5.85
Cr	<3.90	<3.50	3.7
Mn	<2.30	<2.10	2.2
Fe	12.4 ± 1.2	4.65 ± 0.01	8.525
Co	<1.10	<0.97	1.035
Ni	<0.76	<0.66	0.71
Cu	2.68 ± 0.36	1.99 ± 0.33	2.335
Zn	0.74 ± 0.23	2.20 ± 0.25	1.47
Ga	<3.30	<0.20	1.75
Mg	<1.20	<1.20	1.2
Se	<0.20	<0.28	0.24
Pb	<0.79	<0.80	0.795
As	<0.24	<0.24	0.24
Br	<0.26	<0.25	0.255
Rb	<0.30	<0.30	0.3

※ エネルギー分散型蛍光 X 線分析 (Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Analyses) にて分析

Table 付録- 2.6.2 NBP-NPH 有機溶剤中の不純物の原子個数密度

核種	重量比 (wt%)	原子量 (g/mol)	核種別密度 (g/cm ³)	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
H	13.35368275	1.00797094	0.110087761	6.57721E-02
C	73.00156213	12.0106356	0.601824878	3.01755E-02
O	9.121847024	15.9993744	0.075200507	2.83054E-03
P	4.414827593	30.973762	0.036395839	7.07634E-04
Al	0.054	26.9815384	4.45176E-04	9.93610E-06
Si	0.034	28.0849993	2.80296E-04	6.01026E-06
P*	4.425	30.973762	3.64797E-02	7.09264E-04
S	0.01225	32.0654619	1.00989E-04	1.89665E-06
Al	0.00265	26.9815384	2.18466E-05	4.87605E-07
K	0.000425	39.0983009	3.50370E-06	5.39660E-08
Ca	0.000785	40.0780225	6.47154E-06	9.72416E-08
Ti	0.00091	47.8667439	7.50204E-06	9.43836E-08
V	0.000585	50.9414656	4.82274E-06	5.70129E-08
Cr	0.00037	51.9961306	3.05028E-06	3.53280E-08
Mn	0.00022	54.9380432	1.81368E-06	1.98810E-08
Fe	0.0008525	55.8451437	7.02801E-06	7.57875E-08
Co	0.0001035	58.9331937	8.53254E-07	8.71905E-09
Ni	0.000071	58.6933505	5.85324E-07	6.00563E-09
Cu	0.0002335	63.5460395	1.92497E-06	1.82426E-08
Zn	0.000147	65.3777823	1.21187E-06	1.11629E-08
Ga	0.000175	69.723066	1.44270E-06	1.24609E-08
Mg	0.00012	24.3057012	9.89280E-07	2.45111E-08
Se	0.000024	78.9710815	1.97856E-07	1.50880E-09
Pb	0.0000795	207.216907	6.55398E-07	1.90472E-09
As	0.000024	74.9215946	1.97856E-07	1.59035E-09
Br	0.0000255	79.9043262	2.10222E-07	1.58438E-09
Rb	0.00003	85.4676636	2.47320E-07	1.74264E-09

※不純物成分として、記載があったリン P。NBP 分子の中に含まれる P を計数しているため、本ベンチマーク計算では除外する。P を除いた不純物の合計密度は、0.000891016g/cm³ となる。

2.7 ポリスチレン均質混合物燃料（燃料コンパクト）の原子個数密度

本ベンチマーク計算では、PuO₂-UO₂、もしくは PuO₂ ポリスチレン均質混合物燃料よりなる燃料コンパクトを積み重ねた臨界実験を計算対象としている（第 3.2 節および第 3.4 節）。

ここで燃料ポリスチレンの原子個数密度は、実験が記載された文献に記述されているが、文献により、その値に差異があることを確認している。本項では、文献に記載された原子個数密度を比較し、最も確からしい値を選定する。

2.7.1 PuO₂-UO₂-ポリスチレン均質混合物燃料（燃料コンパクト）

第 3.2 節 MOX 均質系の実験において、PuO₂-UO₂-ポリスチレンを構成する元素の原子個数密度は、以下の文献に記載されている。

- ① BNWL-2129¹³⁾
- ② Nuclear Science and Engineering Vol.50¹⁴⁾ (Nucl.Sci.Eng.Vol.50)
- ③ Nuclear Science and Engineering Vol.55^{15) 16)} (Nucl.Sci.Eng.Vol.55)
- ④ Nuclear Science and Engineering Vol.61¹⁷⁾ (Nucl.Sci.Eng.Vol.61)
- ⑤ Nuclear Technology Vol.26³¹⁾ (Nucl.Tech.Vol.26)

括弧内は文献名の省略名である。以降、省略名で記述する。

Table 付録- 2.7.1.1 に、各実験を記載した文献と計算ケースおよび実験に用いられた PuO₂-UO₂-ポリスチレンの減速条件 H/(Pu+U)を示す。

Table 付録- 2.7.1.1 PuO₂-UO₂-ポリスチレン原子個数密度記載文献

項	計算ケース	文献名	文献出版日 (最終改定日)	減速条件 H/(Pu+U)	分析時期
3.2.1	bnwl 01~04	BNWL-2129 ¹³⁾	October 1976	30.6	1970/05/28
	bnwl 04 ^{※1)}			2.8	1971/12/02
3.2.2	nse50 01~08	Nucl.Sci.Eng.Vol.50 ¹⁴⁾	July 31, 1972	47.4	1970/05/28
	nse50 09~14			30.6	1970/05/28
	nse50 15~21			51.8	1971/01/21
	nse50 01~08	Nucl.Tech.Vol.26 ³¹⁾	March 10, 1975	47.4 (47.35)	記述無
	nse50 09~14			30.6 (30.57)	記述無
	nse50 15~21			51.8 (51.85)	記述無
3.2.3	nse55 01~06	Nucl.Sci.Eng.Vol.55 ^{15) 16)}	April 22, 1974	19.5	1972/03/23
	nse55 07			30.6	1970/05/28
	nse55 08			2.8	1971/12/02
3.2.4	nse61 01~09	Nucl.Sci.Eng.Vol.61 ¹⁷⁾	May 17, 1976	2.8	記述無
	nse61 10			2.86	記述無
	nse61 11~14			7.3	記述無

Table 付録- 2.7.1.1 において、同じ減速条件を示す PuO₂-UO₂-ポリスチレンでは、原子個数密度などの諸条件が同一のものであると推測できるが、文献の出版時期により、その記載値に差が生じ、必ずしも一致していない。

以下に各文献に記載された原子個数密度を、その減速条件 (H/Pu+U) 毎に比較する。

(1) H/(Pu+U)、PuO₂-UO₂-ポリスチレンの原子個数密度

Table 付録-2.7.1.2 PuO₂-UO₂-ポリスチレンの原子個数密度 (2.8 H/(Pu+U))

項	3.2.1	3.2.2	3.2.3
文献	BNWL-2129 ¹³⁾	Nucl.Sci.Eng.Vol.55 ^{15) 16)}	Nucl.Sci.Eng.Vol.61 ¹⁷⁾
文献出版日 (最終改定日)	October 1976	April 22, 1974	May 17, 1976
H/(Pu+U)	2.8	2.8	2.8
U Density (g/cm ³)	2.438	2.438	2.443 ※
Pu Density (g/cm ³)	1.012	1.012	1.014 ※
Fuel Density (g/cm ³)	4.52	4.52	4.530 ※
Pu/(Pu+U) (wt%Pu)	29.3333 ※	29.3333 ※	29.3
分析時期	1971/12/2	1971/12/2	記述無
原子個数密度 (atoms/barn・cm)			
Am-241	1.019E-05	1.017E-05	1.019E-05
Pu-238	1.833E-06	2.288E-06	1.833E-06
Pu-239	2.203E-03	2.186E-03	2.203E-03
Pu-240	2.931E-04	2.927E-04	2.931E-04
Pu-241	4.934E-05	5.875E-05	4.934E-05
Pu-242	5.636E-06	6.751E-06	5.636E-06
U-235	9.401E-06	9.269E-06	9.401E-06
U-238	6.172E-03	6.162E-03	6.172E-03
H	2.417E-02	2.432E-02	2.417E-02
O	1.869E-02	1.864E-02	1.869E-02
C	2.666E-02	2.660E-02	2.666E-02

※文献に記載が無く、提示されたデータより計算される値。

Table 付録-2.7.1.2において、文献 [BNWL-2129¹³⁾]、[Nucl.Sci.Eng.Vol.61¹⁷⁾] に記載された原子個数密度は、全く同じ値である。文献 [Nucl.Sci.Eng.Vol.55^{15) 16)}] 記載値のみ、他とは差異がある。また、分析時期の記述については、文献 [Nucl.Sci.Eng.Vol.61¹⁷⁾] においては記述が無く、文献 [Nucl.Sci.Eng.Vol.55^{15) 16)}] および文献 [BNWL-2129¹³⁾] では、同じ日付となっている。

文献の出版日（最終改定日）については、文献 [BNWL-2129¹³⁾] が最も新しい。

このことから、減速条件 2.8 H/(Pu+U) の燃料ポリスチレンにおいては、文献 [BNWL-2129¹³⁾]、もしくは文献 [Nucl.Sci.Eng.Vol.61¹⁷⁾] に記載された原子個数密度を採用する。

また、分析時期については、文献 [Nucl.Sci.Eng.Vol.61¹⁷⁾] を除く文献で同じ分析時期 (1971/12/2) が記述されている。Pu-241 の崩壊を考慮した補正を行う場合には、文献 [BNWL-2129¹³⁾]、[Nucl.Sci.Eng.Vol.55^{15) 16)}] に記述された分析時期を採用する。

第3.2.4項で実施した臨界計算では、文献 [Nucl.Sci.Eng.Vol.61¹⁷⁾] に実験時期が記述されていない。このため、Pu-241 の壊変による Pu-241、Am-241 の原子個数密度の補正は行わない。

(2) 30.6 H/(Pu+U)、PuO₂-UO₂-ポリスチレンの原子個数密度Table 付録-2.7.1.3 PuO₂-UO₂-ポリスチレンの原子個数密度 (30.6 H/(Pu+U))

項	3.4.1	3.4.2	3.4.2	3.4.3
文献	BNWL-2129 ¹³⁾	Nucl.Sci.Eng.Vol.50 ¹⁴⁾	Nucl.Tech.Vol.26 ³¹⁾ BENCHMARK 4	Nucl.Sci.Eng.Vol.55 ¹⁵⁾ 16)
文献出版日 (最終改定日)	October 1976	July 31, 1972	March 10, 1975	April 22, 1974
H/(Pu+U)	30.6	30.6	30.57	30.6
U Density (g/cm ³)	0.495	0.496 ※1	0.495	0.495
Pu Density (g/cm ³)	0.085	0.085 ※1	0.085	0.085
Fuel Density (g/cm ³)	1.615	1.616 ※1	1.615	1.615
Pu/(Pu+U) (wt%Pu)	14.65517241 ^{※1}	14.62	14.65517241 ^{※1}	14.65517241 ^{※1}
分析時期	1970/5/28	1970/5/28	記述無	1970/5/28
原子個数密度 (atoms/barn・cm)				
Am-241	4.843E-07	4.036E-07	4.843E-07	4.036E-07
Pu-238	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Pu-239	1.953E-04	1.954E-04	1.953E-04	1.954E-04
Pu-240	1.702E-05	1.702E-05	1.702E-05	1.702E-05
Pu-241	1.211E-06	1.211E-06	1.211E-06	1.211E-06
Pu-242	8.040E-08	0.000E+00	8.040E-08	0.000E+00
U-235	1.904E-06	1.904E-06	1.904E-06	1.904E-06
U-238	1.252E-03	1.252E-03	1.252E-03	1.252E-03
H	4.485E-02	4.489E-02	4.485E-02	4.489E-02
O	3.019E-03	3.023E-03	3.019E-02 ^{※2}	3.023E-03
C	4.412E-02	4.412E-02	4.412E-02	4.412E-02

※1 文献に記載が無く、提示されたデータより計算される値。

※2 文献 [Nucl.Tech.Vol.26³¹⁾ BENCHMARK 4] の O の原子個数密度 3.019E-02 は、他の文献の値と比較すると 3.019E-03 の誤記である可能性が高い。

Table 付録-2.7.1.3 において、文献 [Nucl.Sci.Eng.Vol.50¹⁴⁾]、[Nucl.Sci.Eng.Vol.55¹⁵⁾ 16)] に記載された原子個数密度は同値である。また、文献 [BNWL-2129¹³⁾]、[Nucl.Tech.Vol.26³¹⁾ BENCHMARK 4] に記載された値は、誤記の箇所 (O 原子個数密度) を除けば同値である。

ここで、文献の出版日 (最終改定日) を確認すると、文献 [BNWL-2129¹³⁾] が最も新しいことから、30.6 H/(Pu+U) の燃料ポリスチレンにおいては、文献 [BNWL-2129¹³⁾]、[Nucl.Tech.Vol.26³¹⁾ BENCHMARK 4] に記載された原子個数密度を採用する。

また、分析時期の記述については、文献 [Nucl.Tech.Vol.26³¹⁾ BENCHMARK 4] を除く文献で、全て同じ分析時期 (1970/5/28) が記述されている。よって、Pu-241 の壊変を考慮した補正を行うに当たり、文献 [BNWL-2129¹³⁾]、[Nucl.Sci.Eng.Vol.50¹⁴⁾]、[Nucl.Sci.Eng.Vol.55¹⁵⁾ 16)] に記述された分析時期を採用する。

(3) 47.4 H/(Pu+U)、PuO₂-UO₂-ポリスチレンの原子個数密度

Table 付録- 2.7.1.4 PuO₂-UO₂-ポリスチレンの原子個数密度 (47.4 H/(Pu+U))

項	3.2.2	3.2.2
文献	Nucl.Sci.Eng.Vol.50 ¹⁴⁾	Nucl.Tech.Vol.26 ³¹⁾ BENCHMARK 13
文献出版日 (最終改定日)	July 31, 1972	March 10, 1975
H/(Pu+U)	47.4	47.35
U Density (g/cm ³)	0.265 ※	0.261
Pu Density (g/cm ³)	0.112 ※	0.112
Fuel Density (g/cm ³)	1.409 ※	1.405
Pu/(Pu+U) (wt%Pu)	30	30.0268※
分析時期	1970/5/28	記述無
	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	
Am-241	3.511E-07	3.161E-07
Pu-238	0.000E+00	0.000E+00
Pu-239	2.578E-04	2.575E-04
Pu-240	2.257E-05	2.296E-05
Pu-241	1.756E-06	1.721E-06
Pu-242	0.000E+00	1.049E-07
U-235	1.008E-05	1.008E-06
U-238	6.604E-04	6.603E-04
H	4.468E-02	4.468E-02
O	1.974E-03	1.975E-03
C	4.537E-02	4.537E-02

※文献に記載が無く、提示されたデータより計算される値。

Table 付録- 2.7.1.4 において、文献 [Nucl.Sci.Eng.Vol.50¹⁴⁾]、[Nucl.Tech.Vol.26³¹⁾ BENCHMARK 13] に記載された原子個数密度が異なっている。文献出版日（最終改定日）を確認すると文献 [Nucl.Tech.Vol.26³¹⁾ BENCHMARK 13] が新しいため、47.4 H/(Pu+U)の燃料ポリスチレンについては、文献 [Nucl.Tech.Vol.26³¹⁾ BENCHMARK 13] に記載された原子個数密度を採用する。また、分析時期については、文献 [Nucl.Sci.Eng.Vol.50¹⁴⁾] にのみ記述があるのみで、文献 [Nucl.Tech.Vol.26³¹⁾ BENCHMARK 13] に記述は無い。よって、Pu-241の壊変を考慮した補正を行うに当たり、文献 [Nucl.Sci.Eng.Vol.50¹⁴⁾] に記述された分析時期（1970/5/28）を採用する（付録-3を参照）。

(4) 51.8 H/(Pu+U)、PuO₂-UO₂-ポリスチレンの原子個数密度

Table 付録- 2.7.1.5 PuO₂-UO₂-ポリスチレンの原子個数密度 (51.8 H/(Pu+U))

項	3.2.2	3.2.2
文献	Nucl.Sci.Eng.Vol.50 ¹⁴⁾	Nucl.Tech.Vol.26 ³¹⁾ BENCHMARK 14
文献出版日 (最終改定日)	July 31, 1972	March 10, 1975
H/(Pu+U)	51.8	51.85
U Density (g/cm ³)	0.332 [*]	0.331
Pu Density (g/cm ³)	0.028 [*]	0.028
Fuel Density (g/cm ³)	1.359 [*]	1.392
Pu/(Pu+U) (wt%Pu)	7.89	7.7994 [*]
分析時期	1971/1/21	記述無
	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	
Am-241	1.741E-07	1.740E-07
Pu-238	0.000E+00	0.000E+00
Pu-239	6.528E-05	6.521E-05
Pu-240	5.941E-06	5.802E-06
Pu-241	3.481E-07	4.177E-07
Pu-242	0.000E+00	3.466E-08
U-235	1.285E-06	1.285E-06
U-238	8.376E-04	8.375E-04
H	4.719E-02	4.719E-02
O	1.183E-03	1.830E-03
C	4.454E-02	4.540E-02

※文献に記載が無く、提示されたデータより計算される値。

Table 付録- 2.7.1.5 において、文献 [Nucl.Sci.Eng.Vol.50¹⁴⁾]、[Nucl.Tech.Vol.26³¹⁾ BENCHMARK 14] に記載された原子個数密度が異なっている。文献出版日（最終改定日）を確認すると文献 [Nucl.Tech.Vol.26³¹⁾ BENCHMARK 14] が新しいため、51.8 H/(Pu+U)の燃料ポリスチレンについては、文献 [Nucl.Tech.Vol.26³¹⁾ BENCHMARK 14] に記載された原子個数密度を採用する。また、分析時期については、文献 [Nucl.Sci.Eng.Vol.50¹⁴⁾] にのみ記述があるのみで、文献 [Nucl.Tech.Vol.26³¹⁾ BENCHMARK 14] に記述は無い。よって、Pu-241の壊変を考慮した補正を行うに当たり、文献 [Nucl.Sci.Eng.Vol.50¹⁴⁾] に記述された分析時期（1971/1/21）を採用する（付録-3を参照）。

(5) その他の減速条件の PuO₂-UO₂-ポリスチレン

Table 付録- 2.7.1.6 PuO₂-UO₂-ポリスチレンの原子個数密度 (その他の減速条件)

項	3.2.3	3.2.4	3.2.4
文献	Nucl.Sci.Eng.Vol.55 ^{15) 16)}	Nucl.Sci.Eng.Vol.61 ¹⁷⁾	Nucl.Sci.Eng.Vol.61 ¹⁷⁾
文献出版日 (最終改定日)	April 22, 1974	May 17, 1976	May 17, 1976
H/(Pu+U)	19.5	2.86	7.3
U Density (g/cm ³)	1.884	2.989*	1.824*
Pu Density (g/cm ³)	0.779	0.524*	0.162*
Fuel Density (g/cm ³)	0.064	4.574*	3.072*
Pu/(Pu+U) (wt%Pu)	29.25272249	15	8.1
分析時期	1972/3/23	記述無	記述無
原子個数密度 (atoms/barn・cm)			
Am-241	3.766E-06	2.765E-05	3.132E-06
Pu-238	9.535E-07	5.737E-07	3.809E-07
Pu-239	1.092E-04	1.118E-03	3.490E-04
Pu-240	3.688E-05	1.478E-04	4.678E-05
Pu-241	8.945E-06	2.221E-05	7.745E-06
Pu-242	4.689E-06	2.370E-06	1.116E-06
U-235	2.897E-06	1.365E-05	9.116E-06
U-238	1.968E-03	7.549E-03	4.606E-03
H	4.155E-02	2.534E-02	3.680E-02
O	4.348E-03	1.840E-02	1.178E-02
C	4.287E-02	2.653E-02	3.567E-02

※文献に記載が無く、提示されたデータより計算される値。

減速条件 19.5 H/(Pu+U)、2.86 H/(Pu+U)、7.9 H/(Pu+U)の燃料ポリスチレンについては、文献 [Nucl.Sci.Eng.Vol.55^{15) 16)}]、[Nucl.Sci.Eng.Vol.61¹⁷⁾]に記載があるのみである。よって、これらの減速条件の燃料ポリスチレンの原子個数密度については、Table 付録- 2.7.1.6 に示す値を採用する。

分析時期については、19.5 H/(Pu+U)の燃料ポリスチレンについては、1972/3/23を採用する。2.86 H/(Pu+U)および 7.3 H/(Pu+U)については、文献に分析時期の記述が無いとともに、文献 [Nucl.Sci.Eng.Vol.61¹⁷⁾]には、実験時期の記述が無いいため、Pu-241の崩壊を考慮した補正を行わない。

2.7.2 PuO₂-ポリスチレン均質混合物燃料（燃料コンパクト）

第 3.4 節 PuO₂ 均質系の実験において、PuO₂ -ポリスチレンを構成する元素の原子個数密度は、以下の文献に記載されている。

- ① Nuclear Applications Vol.6²²⁾ (Nucl.App.Vol.6)
- ② Nuclear Technology Vol.11²³⁾ (Nucl.Tech.Vol.11)
- ③ Nuclear Technology Vol.15²⁴⁾ (Nucl.Tech.Vol.15)
- ④ PNL-2273³²⁾

括弧内は文献名の省略名である。以降、省略名で記述する。

Table 付録- 2.7.2.1 に、各実験を記載した文献と計算ケースおよび実験に用いられた PuO₂-ポリスチレンの減速条件 H/(Pu+U) を示す。

Table 付録- 2.7.2.1 PuO₂-ポリスチレン原子個数密度記載文献

項	計算ケース	文献	文献出版日 (最終改定日)	減速条件 H/Pu	分析時期
3.4.1	na06_01~04	Nucl.App.Vol.6 ²²⁾	September 30,1968	5.0	記述無
		PNL-2273 ³²⁾ BENCHMARK No.12	June 1978	5.0	記述無
3.4.2	nt11_01~05	Nucl.Tech.Vol.11 ²³⁾	February 19,1971	0.04	記述無
		PNL-2273 ³²⁾ BENCHMARK No.11	June 1978	0.04	記述無
3.4.3	nt15_01~07	Nucl.Tech.Vol.15 ²⁴⁾	February 22, 1972	49.6 ± 0.7	記述無
		PNL-2273 ³²⁾ BENCHMARK No.9	June 1978	49.62±0.65	記述無

文献 [PNL-2273³²⁾] には、文献 [Nucl.App.Vol.6²²⁾]、[Nucl.Tech.Vol.11²³⁾]、[Nucl.Tech.Vol.15²⁴⁾] に記載された実験と同じ実験の臨界実験データが記載されている。しかし、記載された原子個数密度等の臨界実験データは、両方で必ずしも一致していない。

以下に各文献に記載された原子個数密度を、その減速条件 (H/Pu) 毎に比較する。

(1) 5.0 H/Pu、PuO₂-ポリスチレンの原子個数密度

Table 付録- 2.7.2.2 に各文献に記載された減速条件 5.0 H/Pu の PuO₂-ポリスチレンの原子個数密度を示す。

Table 付録- 2.7.2.2 PuO₂-ポリスチレン原子個数密度 (5.0H/Pu)

項	3.4.1	
文献	Nucl.App.Vol.6 ⁽²²⁾	PNL-2273 ⁽³²⁾ BENCHMARK No.12
文献出版日 (最終改定日)	September 30,1968	June 1978
H/Pu	5.0	5.0
Pu Density (g/cm ³)	2.302	2.302
Fuel Density (g/cm ³)	記述無	3.241
分析時期	記述無	記述無
	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	
Am-241	—	—
Pu-238	—	—
Pu-239	4.986E-03	4.986E-03
Pu-240	6.623E-04	6.623E-04
Pu-241	1.382E-04	1.382E-04
Pu-242	1.026E-05	1.026E-05
H	2.920E-02	2.920E-02
O	1.159E-02	1.159E-02
C	2.920E-02	2.920E-02

Table 付録- 2.7.2.2 では、文献 [Nucl.App.Vol.6⁽²²⁾] に記載された原子個数密度と文献 [PNL-2273⁽³²⁾ BENCHMARK No.12] に記載された値に差はない。よって、原子個数密度については文献 [Nucl.App.Vol.6⁽²²⁾] ([PNL-2273⁽³²⁾ BENCHMARK No.12]) の値を採用する。

文献には、分析時期および実験時期の記述は無い。このため、Pu-241 の壊変による Pu-241、Am-241 の原子個数密度の補正は行わない。

(2) 0.04 H/Pu、PuO₂-ポリスチレンの原子個数密度

Table 付録- 2.7.2.3 に各文献に記載された減速条件 0.04 H/Pu の PuO₂-ポリスチレンの原子個数密度を示す。

Table 付録- 2.7.2.3 PuO₂-ポリスチレン原子個数密度 (0.04H/Pu)

項	3.4.2	
文献	Nucl.Tech.Vol.11 ²³⁾	PNL-2273 ³²⁾ BENCHMARK No.11
文献出版日 (最終改定日)	February 19,1971	June 1978
H/Pu	0.04	0.04
Pu Density (g/cm ³)	5.762±0.039	5.762±0.039
Fuel Density (g/cm ³)	記述無	6.583±0.044
分析時期	記述無	記述無
	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	
Am-241	—	—
Pu-238	3.383E-05	3.3806E-05
Pu-239	1.092E-02	1.0918E-02
Pu-240	2.654E-03	2.6528E-03
Pu-241	7.269E-04	7.2658E-04
Pu-242	1.632E-04	1.6312E-04
H	5.511E-04	5.5061E-04
O	3.094E-02	3.0888E-02
C	—	—

Table 付録- 2.7.2.3 では、文献 [Nucl.Tech.Vol.11²³⁾] に記載された原子個数密度と文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK No.11] に記載された値は、大きな差は見受けられないものの、全く同値ではない。

文献出版日を確認すれば、文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK No.11] がより新しく提示されたものであることから、その原子個数密度を採用する。

文献には、分析時期および実験時期の記述は無い。このため、Pu-241 の壊変による Pu-241、Am-241 の原子個数密度の補正は行わない。

(3) 49.6 H/Pu、PuO₂-ポリスチレンの原子個数密度

Table 付録- 2.7.2.4 に各文献に記載された減速条件 49.6 H/Pu の PuO₂-ポリスチレンの原子個数密度を示す。

Table 付録- 2.7.2.4 PuO₂-ポリスチレン原子個数密度 (49.6H/Pu)

項	3.4.3	
文献	Nucl.Tech.Vol.15 ²⁴⁾	PNL-2273 ³²⁾ BENCHMARK No.9
文献出版日 (最終改定日)	February 22, 1972	June 1978
H/Pu	49.6±0.7	49.62±0.65
Pu Density (g/cm ³)	0.367±0.004	0.3663±0.0038
Fuel Density (g/cm ³)	記述無	1.3994±0.0129
分析時期	記述無	記述無
	原子個数密度 (atoms/barn・cm)	
Am-241	7.345E-06	7.272E-06
Pu-238	2.125E-06	2.123E-06
Pu-239	6.952E-04	6.996E-04
Pu-240	1.689E-04	1.700E-04
Pu-241	3.952E-05	3.936E-05
Pu-242	1.045E-06	1.044E-05
H	4.575E-02	4.573E-02
O	2.082E-03	2.095E-03
C	4.505E-02	4.502E-02

Table 付録- 2.7.2.4 では、文献 [Nucl.Tech.Vol.15²⁴⁾] に記載された原子個数密度と文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK No.9] に記載された値は、同値ではないことが確認できる。

文献出版日を確認すれば、文献 [PNL-2273³²⁾ BENCHMARK No.9] がより新しく提示されたものであることから、その原子個数密度を採用する。

文献には、分析時期および実験時期の記述は無い。このため、Pu-241 の壊変による Pu-241、Am-241 の原子個数密度の補正は行わない。

付録-3. 放射性壊変に起因する核種の補正

Pu-241 の放射性壊変 (β 崩壊) により、Pu-241 および Am-241 の原子個数は、時間の経過とともに Pu-241 は減じ、Am-241 は増加する。このため、各実験で用いられた Pu の同位体組成の分析時期と実験時期が異なる場合は、Pu-241、Am-241 の原子個数を補正する必要がある。また、Pu 分析時期と Am 分析時期が異なる場合、Pu 分析から Am 分析までの期間での壊変による補正を行った上で、Am 分析時期から実験時期までの期間の補正を行う。

文献 [JAERI 1254⁸⁾ p.17] に経過時間とともに増減する Pu-241、Am-241 の量を計算する式が記載されている。崩壊定数を 1.3244×10^{-4} (1/day) とし、以下の式で、実験時期での原子個数を計算する。

Pu-241 および Am-241 の原子個数密度の補正に用いた計算式

$$N^{Pu-241} = N_0^{Pu-241} \times \exp(-\lambda \times t)$$

$$N^{Am-241} = N_0^{Am-241} + N_0^{Pu-241} \times (1 - \exp(-\lambda \times t))$$

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{T^{1/2}}$$

N^{Pu-241} : 補正後の Pu-241 の原子個数密度 (atoms/barn · cm)

N_0^{Pu-241} : 初期の Pu-241 の原子個数密度 (atoms/barn · cm)

N^{Am-241} : 補正後の Am-241 の原子個数密度 (atoms/barn · cm)

N_0^{Am-241} : 初期の Am-241 の原子個数密度 (atoms/barn · cm)

λ : Pu-241 の崩壊定数 (1.3244E-04 を使用)

$T^{1/2}$: Pu-241 の半減期 (日) = 14.329^{*} (年) × 365.2425

t : 補正期間 (日)

※Pu-241 の半減期については、理科年表 2022 年度版²⁶⁾ より引用する。

Pu 分析時期と Am 分析時期が異なる場合

$$N_1^{Pu-241} = N_0^{Pu-241} \times \exp(-\lambda \times t_{01})$$

$$N^{Am-241} = N_1^{Am-241} + N_1^{Pu-241} \times (1 - \exp(-\lambda \times t_{1X}))$$

$$N^{Pu-241} = N_1^{Pu-241} \times \exp(-\lambda \times t_{1X})$$

N^{Pu-241} : 補正後の Pu-241 の原子個数密度 (atoms/barn · cm)

N_0^{Pu-241} : Pu 分析時の Pu-241 の原子個数密度 (atoms/barn · cm)

N_1^{Pu-241} : Am 分析時の Pu-241 の原子個数密度 (atoms/barn · cm)

N^{Am-241} : 補正後の Am-241 の原子個数密度 (atoms/barn · cm)

N_1^{Am-241} : Am 分析時の Am-241 の原子個数密度 (atoms/barn · cm)

t_{01} : Pu 分析から Am 分析までの期間 (日)

t_{1X} : Am 分析から実験までの期間 (日)

付録-4. 非均質系燃料要素配列の均質化

SCALE 6.2.3 コードシステムにおいては、多群断面積ライブラリを用いる場合、燃料要素の格子配列等の非均質系領域を、核燃料物質と被覆管および燃料要素間隙に存在する減速材を自動的に均質化する機能を有している。

燃料要素格子配列領域で、Fig.付録-4.1、Fig.付録-4.2に示すように、燃料、燃料-被覆管ギャップ、被覆管、減速材からなる均質化セルを設定し、セル内に存在する全ての物質を混合・均質化する。仮想物質（均質化混合物質）が構築される。均質化混合物質は、セルを構成する元素の原子個数密度や、中性子輸送へ影響を及ぼすダンコフ係数、等々が計算され、適切な断面積等のデータを有している。

SCALE 6.2.3 コードシステムに組み込まれた3次元コード臨界計算コードKENOの幾何形状設定において、領域に均質化混合物質を指定することで非均質燃料格子配列モデルを模擬した臨界計算を実現している。

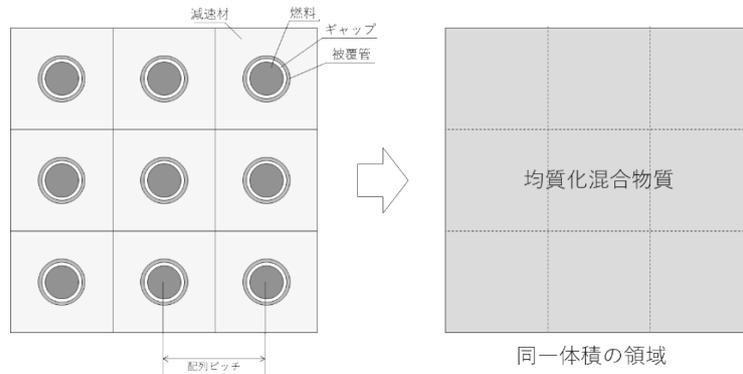


Fig.付録- 4.1 燃料格子配列領域の均質化（正方格子配列）

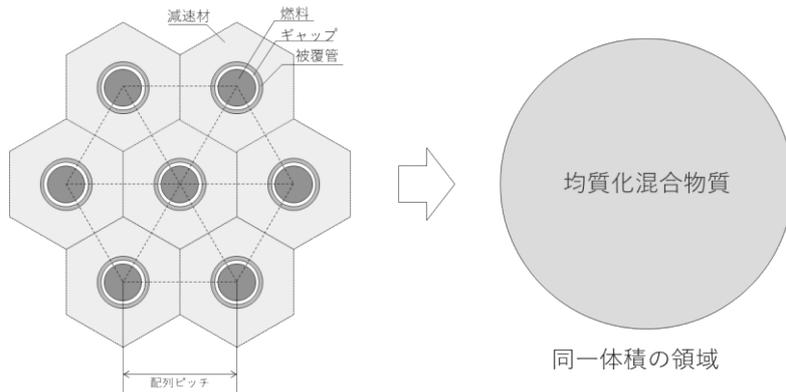


Fig.付録- 4.2 燃料格子配列領域の均質化（三角格子配列）

SCALE 6.2.3 コードシステムでは、CELL DATA セクションにおいて、均質化混合の設定を記述する。その入力データフォーマットは以下のとおりである。

```

READ CELLDATA
LATTICECELL ctp PITCH=*** mm FUELD=*** mf GAPD=*** mg CLADD=*** mc CELLMIX=mix END
END CELLDATA
    
```

- ctp** : SQUAREPITCH (正方格子配列)
- : TRIANGPITCH (三角格子配列)
- PITCH (HPITCH) : 燃料要素配列ピッチ (cm)
- FUELD (FUELR) : 燃料円柱直径 (燃料半径) (cm)
- GAPD (GAPR) : ギャップ内径 (ギャップ内半径) (cm) (=被覆管内径) ギャップが無い場合は、入力しない。
- CLADD (CLADR) : 被覆管円柱外径 (被覆管外半径) (cm)
- mm : 減速材物質番号
- mf : 核燃料物質番号
- mg : ギャップ (燃料-被覆管間隙) 物質番号
- mc : 被覆管物質番号
- mix : 均質化混合物質番号

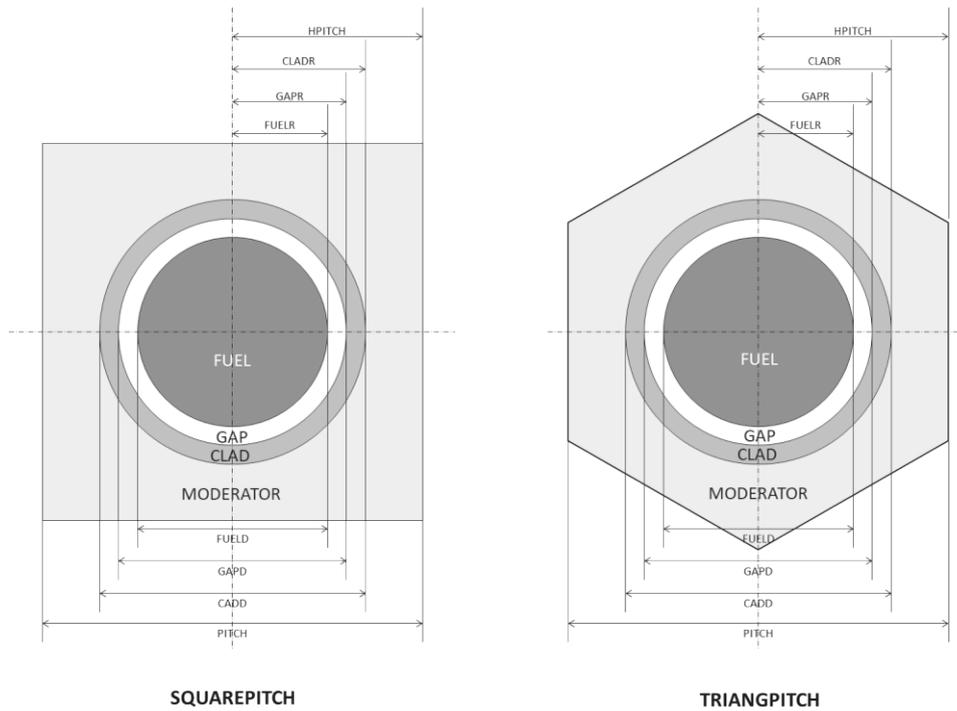


Fig.付録- 4.3 均質化セルの概念図

CELLMIX に均質化混合物質番号 mix を指定することで、幾何形状領域 (GEOMETRY) に均質化混合物質が指定可能となる。

SCALE コードシステムにおいては、上記に示す円柱形状の均質化セルだけでなく、平板状の無限配列セルや球形状セル、環状のセル等が用意されているが、本項では、円柱形状セルについてのみ解説する。

均質化モデルの例：

以下に燃料要素配列の均質化モデル化の例を示す。

円筒容器（内径 55.5cm）の内に燃料要素 301 本が三角格子配列（ピッチ 3.04855cm）で配置されており、燃料要素の周囲は、(Pu+U) 硝酸水溶液が満たされている。また硝酸水溶液の周囲には厚さ 30cm の反射体（水）が設定されている。円筒容器の構造体は考慮しない。（均質化モデル諸元については、Table 付録- 4.1 を参照）

Table 付録- 4.1 均質化モデル例の設定

物質番号		材質	寸法条件 (cm)	高さ (cm)
1	燃料	MOX 燃料 (PuO ₂ -U(NAT)O ₂)	0.495 (外直径)	69.215
0	ギャップ	真空 (VOID)	0.513 (外直径)	69.215
2	被覆管	SUS316	0.584 (外直径)	69.215
3	減速材	(Pu+U) 硝酸水溶液	3.04855 (配列ピッチ)	69.215
4	反射体	水 (0.9982g/cm ³)	厚さ 30cm	

以上の条件で格子配列均質化モデルの設定をする。

均質化混合物質（燃料、被覆管、硝酸水溶液）領域は、体積 167446.5cm³（直径 55.5cm、高さ 69.215cm）の円柱形状で設定されるべきであるが、均質化機能を使用する場合、燃料要素 1 本あたりの体積 557.0797cm³（=8.04854cm²×69.215cm）より換算して、燃料要素 301 本分の体積である 16768.99cm³とする。

この体積を実現する直径を求める。

$$\left(\sqrt{(167.6899\text{cm}^2/69.215\text{cm})/\pi}\right) = 55.53886\text{cm}$$

（均質化混合物質の体積を 167446.5cm³ とした場合、中性子実効増倍率は過小に評価される）

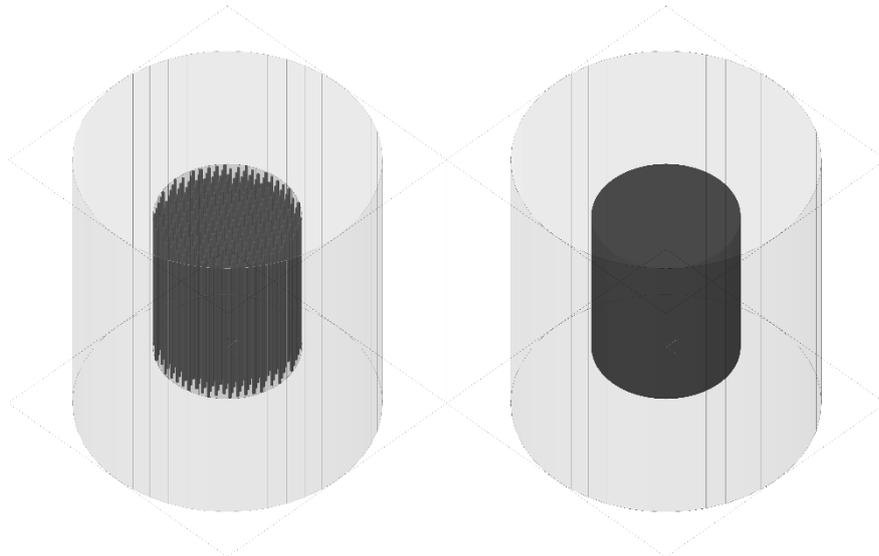
以下に、均質化モデルを用いた SCALE 6.2.3 コードシステムの入力データを示す。また、均質化モデルの概念図を Fig.付録- 4.4 に示す。

```
=CSAS5
Pitch=3.04855cm, FUEL STACK=69.215cm
v7-252n
READ COMPOSITION
"MOX (PuO2-U (NAT) O2) ID No.1 DEN=10.3500g/cm^3 W/F=0.00Wt% TEMP=20.00DEG-C
PU-238 1 0 2.31569E-06 293.15 END
PU-239 1 0 4.98973E-03 293.15 END
PU-240 1 0 6.87760E-04 293.15 END
PU-241 1 0 1.00154E-04 293.15 END
PU-242 1 0 9.26276E-06 293.15 END
U-234 1 0 9.31373E-07 293.15 END
U-235 1 0 1.24252E-04 293.15 END
U-238 1 0 1.71225E-02 293.15 END
O 1 0 4.64165E-02 293.15 END
"SUS316 ID No.2 DEN=8.0300g/cm^3 TEMP=20.00DEG-C
C 2 0 3.22100E-04 293.15 END
SI 2 0 1.72184E-03 293.15 END
P 2 0 7.02563E-05 293.15 END
CR 2 0 1.58105E-02 293.15 END
```

```

MN      2  0  1.76045E-03 293.15  END
FE      2  0  5.66099E-02 293.15  END
NI      2  0  9.88687E-03 293.15  END
MO      2  0  1.25999E-03 293.15  END
"(Pu+U) ACID ID No.3 DEN=1.4630g/cm^3 TEMP=20.00DEG-C
PU-238  3  0  3.53360E-08 293.15  END
PU-239  3  0  1.83452E-04 293.15  END
PU-240  3  0  1.10963E-05 293.15  END
PU-241  3  0  6.97904E-07 293.15  END
PU-242  3  0  1.52517E-07 293.15  END
U-235   3  0  3.03920E-06 293.15  END
U-236   3  0  5.51073E-08 293.15  END
U-238   3  0  4.52303E-04 293.15  END
N       3  0  3.67772E-03 293.15  END
O       3  0  3.86179E-02 293.15  END
H       3  0  5.53051E-02 293.15  END
GD      3  0  7.13226E-08 293.15  END
FE      3  0  1.38911E-05 293.15  END
"H2O ID No.4 DEN=0.9982g/cm^3 TEMP=20.0DEG-C
H       4  0  6.67354E-02 293.15  END
O       4  0  3.33677E-02 293.15  END
END COMPOSITION
READ CELLDATA
LATTICECELL TRIANGPITCH PITCH=3.04855 3 FUELD=0.495 1 GAPD=0.513 0 CLADD=0.584 2 CELLMIX=501 END
END CELLDATA
READ GEOMETRY
GLOBAL UNIT 1
CYLINDER 501 1 27.76943 69.215 0.0
CYLINDER 4 1 57.76943 99.215 -30.0
CUBOID 0 14P57.76943 99.215 -30.0
END GEOMETRY
READ BOUNDS
ALL=VOID
END BOUNDS
END DATA
END

```



非均質モデル

格子配列均質化モデル

Fig.付録-4.4 均質化モデル図

※ 格子配列均質化モデルの中央の円柱状の領域に均質化混合物質 501 が指定されている。非均質モデルでは、燃料要素 301 本を配置しているが、均質化混合物質を使用することでモデル化と臨界計算の簡略化が可能となる。

• ダンコフ係数について

燃料要素を格子配列で配置すると、格子中の燃料要素同士を隔てる減速材の層が、中性子の平均自由行程に比べて厚くないため、Fig.付録- 4.5 に示すように減速材へ放出された中性子の一部は、隣接する燃料要素に衝突することになる。したがって、脱出確率 P_{F0} の代わりに修正された脱出確率 P_{F0}^* 、すなわち、燃料中で生じた1個の中性子が隣接する燃料要素があることを前提として、次の衝突を減速材中で発生する確率を計算する。

これを正確に行うには数値計算を必要とするが、 P_{F0}^* は近似的に次の式に従うことが示されている。

$$P_{F0}^* = P_{F0} = \frac{1 - C}{1 - C(1 - \ell \sum_t^F P_{F0})} = P_{F0} \frac{1}{1 + \frac{C}{1 - C} \ell \sum_t^F P_{F0}}$$

ここで、 C はダンコフ係数 (Dancoff Factor) といわれる係数で、燃料の形状に依存するパラメータである。ダンコフ係数は、孤立した燃料セルの場合の $N_F \cdot \sigma_e = 1/\ell$ が、格子配列燃料セルでは、 $(1 - C)/\ell$ に小さくなったこと (逆に平均弦長が $1/(1 - C)$ だけ、増加すること)、あるいは燃料要素の表面積 S_F が $(1 - C)S_F$ まで小さくなったことに相当する。

- P_{F0} : 脱出確率 (中性子が燃料内で衝突することなく脱出する確率)
- N_F : 燃料の原子個数密度
- σ_e : 仮想的なマイクロ断面積
- ℓ : 平均自由行程

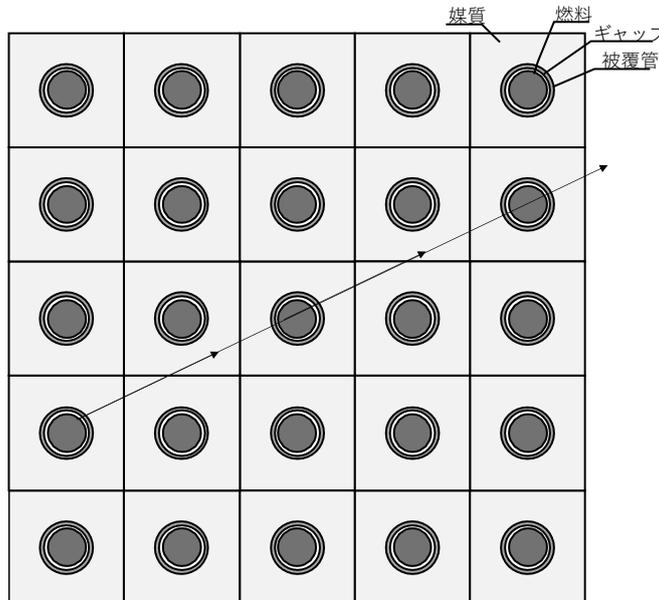


Fig.付録- 4.5 燃料要素の干渉効果

付録-5. 臨界計算モジュールの差による影響

「KENO」は、SCALE コードシステムの一部として使用するために開発および保守されている 3次元モンテカルロ臨界計算コードであり、SCALE コードシステム計算モジュール（臨界計算モジュール：CSAS5 および CSAS6）中のシーケンスの一部として利用されている。

SCALE コードシステムでサポートされている KENO には、2つのバージョンがあり、KENO-V.a が、KENO-VI に先行して実装されている。KENO-VI には、KENO-V.a の全ての機能に加えて、SCALE 一般化ジオメトリパッケージとして知られるより柔軟なジオメトリパッケージが含まれている。KENO-VI のジオメトリパッケージは、二次方程式を使用して構築できる様々な幾何形状をモデル化でき、さらに、データ入力をより柔軟にするために、幾何形状の交差（ブーリアン演算）、本体の回転、六角形および十二面体配列、配列境界などの機能が組み込まれている。

Table 付録- 5.1 に臨界計算モジュールの差異を示す。

Table 付録- 5.1 臨界計算モジュール（臨界計算コード）の差異

臨界計算モジュール 臨界計算コード	CSAS5 KENO-V.a	CSAS6 KENO-VI
利用可能 幾何形状	球 (SPHERE) 半球 (HEMISPHERE) 円柱 (CYLINDER) 半円柱 (HEMICYL) 立方体 (CUBE) 直方体 (CUBOID)	球 (SPHERE) 楕円体 (ELLIPSOID) 円柱 (CYLINDER) 楕円柱 (ECYLINDER) 十二面体 (DODECAHEDRON) 直方体 (CUBOID) 円錐台 (CONE) 四角錐台 (HOPPER) 平行六面体 (PARALLELEPIPED) 五角柱 (PENTAGON) 六角柱 (HEXPRISM) 楔形 (WEDGE) 環 (RING) 等々
	HOLE による形状ユニットの自由配置が可能	HOLE による形状ユニットの自由配置が可能 ブーリアン演算（積・差）による領域の定義が可能
格子配列設定	正方格子配列が利用可能	正方格子配列に加え、 三角格子配列他が利用可能
幾何形状設定	座標移動 (ORIGIN) 立体分割 (CHORD) 一部で指定可能	座標移動 (ORIGIN) 立体分割 (CHORD) 回転 (ROTATE) が利用可能

本項では、安全評価に使用する SCALE6.2.3 コードシステムおよび 252 群 ENDF/B-VII.1 中性子断面積ライブラリ (v7-252n) を用いて実施したベンチマーク計算結果を CSAS5 (KENO-V.a) と CSAS6 (KENO-VI) とで比較する。

Table 付録- 5.2 に計算条件を、Table 付録- 5.3 に計算対象とした臨界実験を示す。

Table 付録- 5.2 計算条件

臨界計算コードシステムバージョン	SCALE 6.2.3	SCALE 6.2.3
臨界計算モジュール (臨界計算コード)	CSAS5 (KENO-V.a)	CSAS6 (KENO-VI)
ヒストリー数	3,000,000	
断面積ライブラリ	252 群 ENDF/B-VII.1 (v7-252n)	
幾何形状モデル	KENO-V.a フォーマットで記述	KENO-VI フォーマットで記述
原子個数密度	同一	
溶液中不純物有無 (硝酸水溶液、有機溶剤、水)	有 (同一)	

Table 付録- 5.3 計算対象臨界実験

燃料形態	文献	計算ケース	計算体系	ベンチマーク 計算データ数
MOX 非均質系	PNL-3313 ³⁾ (Nucl.Tech.Vol.44 ⁴⁾ (Nucl.Tech.Vol.48 ⁵⁾ (Nucl.Tech.Vol.49 ⁶⁾	pnl_01 pnl_02 pnl_03	正方格子	6 4 40
	EPRI NP-196 ⁷⁾	epri		6 ^{*1}
	JAERI 1254 ⁸⁾	jaeri		86 ^{*2}
	PNL-5803 ⁹⁾	pnl5803		7
	PNL-6559 ¹⁰⁾	pnl6559		12 ^{*3}
	Nucl.Sci.Eng.Vol.59 ¹¹⁾	nse59	三角格子	16
	Nucl.Sci.Eng.Vol.62 ¹²⁾	nse62		7
MOX 非均質系 (均質化)	PNL-3313 ³⁾ (Nucl.Tech.Vol.44 ⁴⁾ (Nucl.Tech.Vol.48 ⁵⁾ (Nucl.Tech.Vol.49 ⁶⁾	CELL_pnl_01 CELL_pnl_02 CELL_pnl_03	正方格子	6 4 40
	EPRI NP-196 ⁷⁾	CELL_epri		6 ^{*1}
	JAERI 1254 ⁸⁾	CELL_jaeri		86 ^{*2}
	PNL-5803 ⁹⁾	CELL_pnl5803		7
	Nucl.Sci.Eng.Vol.59 ¹¹⁾	CELL_nse59	三角格子	16
	Nucl.Sci.Eng.Vol.62 ¹²⁾	CELL_nse62		7
MOX 均質系	BNWL-2129 ¹³⁾	bnwl	直方体	4
	Nucl.Sci.Eng.Vol.50 ¹⁴⁾	nse50		21
	Nucl.Sci.Eng.Vol.55 ^{15) 16)}	nse55		8
	Nucl.Sci.Eng.Vol.61 ¹⁷⁾	nse61		13 ^{*2}
(Pu+U) 均質系	PNL-5768 ¹⁸⁾	pnl5768	円筒/平板	4/6
	PNL-6327 ¹⁹⁾	pnl6327		9/7
	PNL-6451 ²⁰⁾	pnl6451	円環	13
	PNL-6119 ²¹⁾	pnl6119		5
PuO ₂ 均質系	Nucl.Appl.Vol.6 ²²⁾	na6	直方体	4
	Nucl.Tech.Vol.11 ²³⁾	nt11		5
	Nucl.Tech.Vol.15 ²⁴⁾	nt15		7
Pu 均質系	Nucl.Sci.Eng.Vol.79 ²⁵⁾	nse79_sph	球	67
		nse79_cyl	円筒	34

※1 MOX 燃料要素を取り扱ったものではないため 6 ケース (epri_01~06) を評価対象外とする。

※2 臨界実験データが他のケースと重複する計算ケース (jaeri_27、jaeri_54、nse61_5) を評価対象外とする。

※3 実験体系が非均質系でないため 1 ケース (pnl6559_13) を評価対象外とする。また均質化モデルでは、正確にモデル化が不可能なため、評価対象外とする。

Table 付録- 5.4 に KENO-V.a と KENO-VI の臨界実験体系毎の平均中性子実効増倍率 k_{eff} の差異を示す。

差異は、以下の式で算出した値である。

$$e_m = \frac{(k_{eff6} - k_{eff5})}{k_{eff6}} \times 100$$

- e_m : 差異 (%)
- k_{eff6} : KENO-VI による中性子実効増倍率
- k_{eff5} : KENO-V.a による中性子実効増倍率

Table 付録- 5.4 臨界計算モジュールの差による影響比較 (平均実効増倍率 k_{eff})

実験体系	計算ケース (ファイル名)	データ 数 ^{※1}	平均実効増倍率 k_{eff} ^{※2}		差異 ^{※3} (%)	平均実効増倍率 k_{eff} ^{※2}		差異 ^{※3} (%)
			CSAS5 (KENO-V.a)	CSAS6 (KENO-VI)		CSAS5 (KENO-V.a)	CSAS6 (KENO-VI)	
MOX 非均質系	pnl 01	6	1.00008	1.00002	-0.006	0.99916	0.99887	-0.030
	pnl 02	4	1.00987	1.00948	-0.038			
	pnl 03	40	1.00205	1.00206	0.001			
	epri	6	1.00253	1.00241	-0.012			
	jaeri	86	0.99736	0.99675	-0.061			
	pnl5803	7	0.99763	0.99776	0.013			
	pnl6559	12	1.00035	1.00053	0.018			
	nse59	16	0.99782	0.99753	-0.029			
nse62	7	0.99902	0.99903	0.001				
MOX 非均質系 均質化モデル	CELL pnl 01	6	1.00092	1.00090	-0.003	1.00048	1.00023	-0.025
	CELL pnl 02	4	1.01210	1.01169	-0.041			
	CELL pnl 03	40	1.00407	1.00449	0.042			
	CELL epri	6	1.00347	1.00299	-0.048			
	CELL jaeri	86	0.99869	0.99805	-0.064			
	CELL pnl5803	7	0.99867	0.99872	0.005			
	CELL nse59	16	0.99885	0.99892	0.007			
CELL nse62	7	0.99946	0.99923	-0.023				
MOX 均質系	BNWL	4	1.01262	1.01292	0.029	0.99991	1.00002	0.011
	nse50	21	1.00654	1.00666	0.011			
	nse55	8	0.97985	0.97949	-0.037			
	nse61	13	0.99761	0.99796	0.035			
(Pu+U) 均質系	pnl5768	10	0.99182	0.99171	-0.011	0.99472	0.99464	-0.008
	pnl6327	16	0.99649	0.99652	0.003			
	pnl6451	13	0.99673	0.99669	-0.004			
	pnl6119	5	0.98961	0.98914	-0.047			
PuO ₂ 均質系	na6	4	1.01807	1.01827	0.020	1.01014	1.01032	0.018
	nt11	5	1.01228	1.01245	0.017			
	nt15	7	1.00409	1.00427	0.018			
Pu 均質	nse79 sph	67	1.00309	1.00318	0.009	1.00156	1.00157	0.001
	nse79 cyl	34	0.99854	0.99840	-0.014			

※1 データ数は評価対象とした計算ケース数を示す。Table 付録- 5.3 を参照

※2 各臨界実験体系における中性子実効増倍率 k_{eff} の平均値。

※3 差異は平均実効増倍率 k_{eff} より算出する。

以下に、KENO-V.a と KENO-VI による計算結果 (中性子実効増倍率 k_{eff}) を比較する。

総じて、KENO-VI による臨界計算結果は、KENO-V.a による結果に対して、-0.231~0.232% の差異範囲に収まり、平均差異は-0.005%となった。

5.1 MOX 非均質系

5.1.1 MOX 非均質系

Table 付録- 5.1.1.1～Table 付録- 5.1.1.9 に各臨界計算モジュールによる中性子実効増倍率 k_{eff} およびその差異を示す。また、差異の傾向を Fig.付録- 5.1.1.1 に示す。

実験レポート毎の CSAS5 (KENO-V.a) と CSAS6 (KENO-VI) の差異は以下のとおりである。

Nucl.Tech.Vol.44	差異範囲-0.111～0.058%	平均差異-0.006%	Table 付録- 5.1.1.1
Nucl.Tech.Vol.49	差異範囲-0.092～0.045%	平均差異-0.038%	Table 付録- 5.1.1.2
Nucl.Tech.Vol.48	差異範囲-0.127～0.148%	平均差異 0.001%	Table 付録- 5.1.1.3
EPRI NP-196	差異範囲-0.107～0.118%	平均差異-0.012%	Table 付録- 5.1.1.4
JAERI 1254	差異範囲-0.215～0.129%	平均差異-0.061%	Table 付録- 5.1.1.5
PNL-5803	差異範囲-0.078～0.109%	平均差異 0.013%	Table 付録- 5.1.1.6
PNL-6559	差異範囲-0.180～0.150%	平均差異 0.018%	Table 付録- 5.1.1.7
Nucl.Sci.Eng.Vol.59	差異範囲-0.114～0.100%	平均差異-0.029%	Table 付録- 5.1.1.8
Nucl.Sci.Eng.Vol.62	差異範囲-0.137～0.133%	平均差異 0.001%	Table 付録- 5.1.1.9

体系全体の平均実効増倍率 k_{eff} および推定臨界下限増倍率は以下のとおりである。

	CSAS5 (KENO-V.a)	CSAS6 (KENO-VI)
標本数	184	184
平均実効増倍率 k_{eff}	0.99916	0.99887
標準偏差	0.00356	0.00366
推定臨界下限増倍率	0.99123	0.99069
推定臨界下限増倍率以下のケース数	2 ^{*1}	2 ^{*2}

※1 S623_pnl6559_01、S623_nse59_16 にて推定臨界下限増倍率を下回った。

※2 S623_keno6_pnl5803_07、S623_keno6_nse59_16 にて推定臨界下限増倍率を下回った。

Table 付録- 5.1.1.1 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 Nucl.Tech.Vol.44)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{*1} (%)
計算ケース	k_{eff}	σ	計算ケース	k_{eff}	σ	
S623_pnl_01_01	1.00079	0.00047	S623_keno6_pnl_01_01	1.00047	0.00047	-0.032
S623_pnl_01_02	1.00119	0.00051	S623_keno6_pnl_01_02	1.00177	0.00048	0.058
S623_pnl_01_03	1.00092	0.00055	S623_keno6_pnl_01_03	0.99981	0.00050	-0.111
S623_pnl_01_04	0.99909	0.00050	S623_keno6_pnl_01_04	0.99950	0.00048	0.041
S623_pnl_01_05	0.99789	0.00050	S623_keno6_pnl_01_05	0.99823	0.00053	0.034
S623_pnl_01_06	1.00061	0.00052	S623_keno6_pnl_01_06	1.00036	0.00053	-0.025

※1 差異は、以下の式より算出する。($k_{\text{eff}5}$: KENO-V.a、 $k_{\text{eff}6}$: KENO-VI)

$$(k_{\text{eff}6} - k_{\text{eff}5}) / k_{\text{eff}6} \times 100 (\%)$$

Table 付録- 5.1.1.2 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 Nucl.Tech.Vol.49)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
S623 pnl 02 01	1.00827	0.00046	S623 keno6 pnl 02 01	1.00734	0.00052	-0.092
S623 pnl 02 02	1.01638	0.00047	S623 keno6 pnl 02 02	1.01613	0.00051	-0.025
S623 pnl 02 03	1.00648	0.00051	S623 keno6 pnl 02 03	1.00693	0.00054	0.045
S623 pnl 02 04	1.00834	0.00047	S623 keno6 pnl 02 04	1.00752	0.00047	-0.081

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5}: KENO-V.a、k_{eff6}: KENO-VI)
 $(k_{\text{eff}6} - k_{\text{eff}5}) / k_{\text{eff}6} \times 100$ (%)

Table 付録- 5.1.1.3 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 Nucl.Tech.Vol.48)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
S623 pnl 03 01	1.00133	0.00047	S623 keno6 pnl 03 01	1.00078	0.00054	-0.055
S623 pnl 03 02	1.00311	0.00048	S623 keno6 pnl 03 02	1.00253	0.00044	-0.058
S623 pnl 03 03	1.00122	0.00045	S623 keno6 pnl 03 03	1.00223	0.00052	0.101
S623 pnl 03 04	1.00126	0.00054	S623 keno6 pnl 03 04	1.00192	0.00050	0.066
S623 pnl 03 05	1.00330	0.00051	S623 keno6 pnl 03 05	1.00320	0.00045	-0.010
S623 pnl 03 06	1.00080	0.00053	S623 keno6 pnl 03 06	1.00183	0.00048	0.103
S623 pnl 03 07	1.00585	0.00048	S623 keno6 pnl 03 07	1.00641	0.00046	0.056
S623 pnl 03 08	1.00771	0.00050	S623 keno6 pnl 03 08	1.00689	0.00047	-0.081
S623 pnl 03 09	1.00227	0.00057	S623 keno6 pnl 03 09	1.00213	0.00055	-0.014
S623 pnl 03 10	0.99889	0.00055	S623 keno6 pnl 03 10	0.99909	0.00052	0.020
S623 pnl 03 11	0.99942	0.00043	S623 keno6 pnl 03 11	1.00005	0.00054	0.063
S623 pnl 03 12	1.00096	0.00045	S623 keno6 pnl 03 12	1.00069	0.00047	-0.027
S623 pnl 03 13	1.00215	0.00061	S623 keno6 pnl 03 13	1.00147	0.00052	-0.068
S623 pnl 03 14	1.00088	0.00050	S623 keno6 pnl 03 14	1.00066	0.00058	-0.022
S623 pnl 03 15	1.00384	0.00050	S623 keno6 pnl 03 15	1.00363	0.00048	-0.021
S623 pnl 03 16	1.00420	0.00044	S623 keno6 pnl 03 16	1.00465	0.00055	0.045
S623 pnl 03 17	1.00105	0.00046	S623 keno6 pnl 03 17	1.00198	0.00053	0.093
S623 pnl 03 18	1.00107	0.00050	S623 keno6 pnl 03 18	1.00026	0.00049	-0.081
S623 pnl 03 19	1.00154	0.00047	S623 keno6 pnl 03 19	1.00302	0.00053	0.148
S623 pnl 03 20	1.00055	0.00052	S623 keno6 pnl 03 20	1.00073	0.00055	0.018
S623 pnl 03 21	1.00402	0.00047	S623 keno6 pnl 03 21	1.00302	0.00059	-0.100
S623 pnl 03 22	1.00075	0.00053	S623 keno6 pnl 03 22	1.00080	0.00058	0.005
S623 pnl 03 23	1.00368	0.00058	S623 keno6 pnl 03 23	1.00308	0.00057	-0.060
S623 pnl 03 24	1.00334	0.00052	S623 keno6 pnl 03 24	1.00235	0.00045	-0.099
S623 pnl 03 25	1.00190	0.00048	S623 keno6 pnl 03 25	1.00284	0.00050	0.094
S623 pnl 03 26	1.00128	0.00046	S623 keno6 pnl 03 26	1.00192	0.00056	0.064
S623 pnl 03 27	1.00228	0.00058	S623 keno6 pnl 03 27	1.00231	0.00052	0.003
S623 pnl 03 28	1.00180	0.00050	S623 keno6 pnl 03 28	1.00189	0.00046	0.009
S623 pnl 03 29	1.00217	0.00049	S623 keno6 pnl 03 29	1.00125	0.00052	-0.092
S623 pnl 03 30	0.99980	0.00049	S623 keno6 pnl 03 30	0.99979	0.00040	-0.001
S623 pnl 03 31	1.00343	0.00042	S623 keno6 pnl 03 31	1.00216	0.00047	-0.127
S623 pnl 03 32	1.00372	0.00049	S623 keno6 pnl 03 32	1.00322	0.00049	-0.050
S623 pnl 03 33	1.00402	0.00049	S623 keno6 pnl 03 33	1.00503	0.00041	0.100
S623 pnl 03 34	1.00097	0.00045	S623 keno6 pnl 03 34	1.00152	0.00040	0.055
S623 pnl 03 35	1.00199	0.00042	S623 keno6 pnl 03 35	1.00213	0.00043	0.014
S623 pnl 03 36	0.99855	0.00045	S623 keno6 pnl 03 36	0.99825	0.00047	-0.030
S623 pnl 03 37	0.99996	0.00041	S623 keno6 pnl 03 37	1.00001	0.00046	0.005
S623 pnl 03 38	0.99981	0.00042	S623 keno6 pnl 03 38	1.00035	0.00043	0.054
S623 pnl 03 39	1.00159	0.00052	S623 keno6 pnl 03 39	1.00111	0.00045	-0.048
S623 pnl 03 40	1.00545	0.00044	S623 keno6 pnl 03 40	1.00514	0.00041	-0.031

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5}: KENO-V.a、k_{eff6}: KENO-VI)
 $(k_{\text{eff}6} - k_{\text{eff}5}) / k_{\text{eff}6} \times 100$ (%)

Table 付録- 5.1.1.4 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 EPRI NP-196)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
S623 epri 01 ^{※2}	0.99857	0.00044	S623 keno6 epri 01 ^{※2}	0.99750	0.00052	-0.107
S623 epri 02 ^{※2}	1.00401	0.00043	S623 keno6 epri 02 ^{※2}	1.00449	0.00044	0.048
S623 epri 03 ^{※2}	0.99928	0.00053	S623 keno6 epri 03 ^{※2}	0.99933	0.00042	0.005
S623 epri 04 ^{※2}	1.00374	0.00042	S623 keno6 epri 04 ^{※2}	1.00340	0.00035	-0.034
S623 epri 05 ^{※2}	0.99931	0.00047	S623 keno6 epri 05 ^{※2}	0.99889	0.00041	-0.042
S623 epri 06 ^{※2}	1.00454	0.00036	S623 keno6 epri 06 ^{※2}	1.00391	0.00039	-0.063
S623 epri 07	0.99921	0.00045	S623 keno6 epri 07	0.99821	0.00045	-0.100
S623 epri 08	1.00223	0.00052	S623 keno6 epri 08	1.00177	0.00056	-0.046
S623 epri 09	1.00040	0.00050	S623 keno6 epri 09	1.00066	0.00067	0.026
S623 epri 10	1.00611	0.00035	S623 keno6 epri 10	1.00601	0.00040	-0.010
S623 epri 11	1.00267	0.00048	S623 keno6 epri 11	1.00204	0.00049	-0.063
S623 epri 12	1.00455	0.00049	S623 keno6 epri 12	1.00574	0.00049	0.118

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5}: KENO-V.a、k_{eff6}: KENO-VI)

$$(k_{eff6} - k_{eff5}) / k_{eff6} \times 100 (\%)$$

※2 S623_epri_01~06、S623_keno6_epri_01~06は、UO₂燃料要素を用いた実験である。

Table 付録- 5.1.1.5 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 JAERI 1254) [1/2]

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
S623 jaeri 01	0.99537	0.00048	S623 keno6 jaeri 01	0.99478	0.00044	-0.059
S623 jaeri 02	0.99571	0.00044	S623 keno6 jaeri 02	0.99556	0.00042	-0.015
S623 jaeri 03	0.99608	0.00053	S623 keno6 jaeri 03	0.99664	0.00050	0.056
S623 jaeri 04	0.99702	0.00048	S623 keno6 jaeri 04	0.99544	0.00053	-0.159
S623 jaeri 05	0.99585	0.00053	S623 keno6 jaeri 05	0.99411	0.00051	-0.175
S623 jaeri 06	0.99698	0.00044	S623 keno6 jaeri 06	0.99581	0.00043	-0.117
S623 jaeri 07	0.99659	0.00050	S623 keno6 jaeri 07	0.99540	0.00044	-0.120
S623 jaeri 08	0.99576	0.00042	S623 keno6 jaeri 08	0.99564	0.00045	-0.012
S623 jaeri 09	0.99526	0.00048	S623 keno6 jaeri 09	0.99501	0.00048	-0.025
S623 jaeri 10	0.99659	0.00047	S623 keno6 jaeri 10	0.99587	0.00046	-0.072
S623 jaeri 11	0.99508	0.00057	S623 keno6 jaeri 11	0.99454	0.00047	-0.054
S623 jaeri 12	0.99610	0.00058	S623 keno6 jaeri 12	0.99676	0.00054	0.066
S623 jaeri 13	0.99702	0.00048	S623 keno6 jaeri 13	0.99612	0.00052	-0.090
S623 jaeri 14	0.99538	0.00050	S623 keno6 jaeri 14	0.99375	0.00043	-0.164
S623 jaeri 15	0.99560	0.00057	S623 keno6 jaeri 15	0.99535	0.00046	-0.025
S623 jaeri 16	0.99641	0.00045	S623 keno6 jaeri 16	0.99541	0.00049	-0.100
S623 jaeri 17	0.99680	0.00041	S623 keno6 jaeri 17	0.99641	0.00044	-0.039
S623 jaeri 18	0.99717	0.00042	S623 keno6 jaeri 18	0.99564	0.00049	-0.154
S623 jaeri 19	0.99516	0.00053	S623 keno6 jaeri 19	0.99513	0.00048	-0.003
S623 jaeri 20	0.99714	0.00045	S623 keno6 jaeri 20	0.99550	0.00047	-0.165
S623 jaeri 21	0.99669	0.00044	S623 keno6 jaeri 21	0.99625	0.00055	-0.044
S623 jaeri 22	0.99643	0.00047	S623 keno6 jaeri 22	0.99679	0.00042	0.036
S623 jaeri 23	0.99763	0.00042	S623 keno6 jaeri 23	0.99662	0.00039	-0.101
S623 jaeri 24	0.99653	0.00051	S623 keno6 jaeri 24	0.99653	0.00045	0.000
S623 jaeri 25	0.99692	0.00045	S623 keno6 jaeri 25	0.99652	0.00040	-0.040
S623 jaeri 26	0.99676	0.00046	S623 keno6 jaeri 26	0.99654	0.00040	-0.022
S623 jaeri 27 ^{※2}	0.99676	0.00046	S623 keno6 jaeri 27 ^{※2}	0.99654	0.00040	-0.022
S623 jaeri 28	0.99846	0.00040	S623 keno6 jaeri 28	0.99795	0.00043	-0.051
S623 jaeri 29	0.99820	0.00047	S623 keno6 jaeri 29	0.99606	0.00050	-0.215
S623 jaeri 30	0.99705	0.00053	S623 keno6 jaeri 30	0.99640	0.00042	-0.065
S623 jaeri 31	0.99534	0.00047	S623 keno6 jaeri 31	0.99474	0.00053	-0.060
S623 jaeri 32	0.99675	0.00045	S623 keno6 jaeri 32	0.99606	0.00049	-0.069
S623 jaeri 33	0.99902	0.00050	S623 keno6 jaeri 33	0.99745	0.00042	-0.157
S623 jaeri 34	0.99727	0.00043	S623 keno6 jaeri 34	0.99624	0.00047	-0.103
S623 jaeri 35	0.99704	0.00044	S623 keno6 jaeri 35	0.99521	0.00047	-0.184

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5}: KENO-V.a、k_{eff6}: KENO-VI)

$$(k_{eff6} - k_{eff5}) / k_{eff6} \times 100 (\%)$$

※2 S623_keno6_jaeri_27、S623_keno6_jaeri_27は、計算モデルが他のケースと重複している。

Table 付録- 5.1.1.5 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 JAERI 1254) [2/2]

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
S623_jaeri_36	0.99833	0.00045	S623_keno6_jaeri_36	0.99805	0.00050	-0.028
S623_jaeri_37	0.99699	0.00045	S623_keno6_jaeri_37	0.99622	0.00043	-0.077
S623_jaeri_38	0.99833	0.00048	S623_keno6_jaeri_38	0.99651	0.00045	-0.183
S623_jaeri_39	0.99732	0.00047	S623_keno6_jaeri_39	0.99596	0.00052	-0.137
S623_jaeri_40	0.99740	0.00052	S623_keno6_jaeri_40	0.99624	0.00050	-0.116
S623_jaeri_41	0.99740	0.00051	S623_keno6_jaeri_41	0.99654	0.00052	-0.086
S623_jaeri_42	0.99704	0.00051	S623_keno6_jaeri_42	0.99548	0.00047	-0.157
S623_jaeri_43	0.99742	0.00044	S623_keno6_jaeri_43	0.99574	0.00041	-0.169
S623_jaeri_44	0.99686	0.00044	S623_keno6_jaeri_44	0.99642	0.00044	-0.044
S623_jaeri_45	0.99669	0.00047	S623_keno6_jaeri_45	0.99669	0.00048	0.000
S623_jaeri_46	0.99713	0.00047	S623_keno6_jaeri_46	0.99537	0.00044	-0.177
S623_jaeri_47	0.99692	0.00049	S623_keno6_jaeri_47	0.99662	0.00046	-0.030
S623_jaeri_48	0.99817	0.00039	S623_keno6_jaeri_48	0.99728	0.00044	-0.089
S623_jaeri_49	0.99718	0.00043	S623_keno6_jaeri_49	0.99728	0.00053	0.010
S623_jaeri_50	0.99819	0.00042	S623_keno6_jaeri_50	0.99756	0.00048	-0.063
S623_jaeri_51	0.99641	0.00044	S623_keno6_jaeri_51	0.99714	0.00044	0.073
S623_jaeri_52	0.99770	0.00049	S623_keno6_jaeri_52	0.99738	0.00045	-0.032
S623_jaeri_53	0.99743	0.00041	S623_keno6_jaeri_53	0.99747	0.00043	0.004
S623_jaeri_54 ^{※2}	0.99743	0.00041	S623_keno6_jaeri_54 ^{※2}	0.99747	0.00043	0.004
S623_jaeri_55	0.99763	0.00048	S623_keno6_jaeri_55	0.99699	0.00052	-0.064
S623_jaeri_56	0.99705	0.00045	S623_keno6_jaeri_56	0.99673	0.00045	-0.032
S623_jaeri_57	0.99890	0.00040	S623_keno6_jaeri_57	0.99784	0.00044	-0.106
S623_jaeri_58	0.99813	0.00048	S623_keno6_jaeri_58	0.99869	0.00044	0.056
S623_jaeri_59	0.99819	0.00039	S623_keno6_jaeri_59	0.99816	0.00050	-0.003
S623_jaeri_60	0.99708	0.00051	S623_keno6_jaeri_60	0.99704	0.00048	-0.004
S623_jaeri_61	0.99828	0.00047	S623_keno6_jaeri_61	0.99727	0.00048	-0.101
S623_jaeri_62	0.99860	0.00049	S623_keno6_jaeri_62	0.99855	0.00048	-0.005
S623_jaeri_63	0.99638	0.00053	S623_keno6_jaeri_63	0.99720	0.00044	0.082
S623_jaeri_64	0.99723	0.00044	S623_keno6_jaeri_64	0.99766	0.00049	0.043
S623_jaeri_65	0.99783	0.00048	S623_keno6_jaeri_65	0.99798	0.00041	0.015
S623_jaeri_66	0.99838	0.00048	S623_keno6_jaeri_66	0.99723	0.00045	-0.115
S623_jaeri_67	0.99707	0.00041	S623_keno6_jaeri_67	0.99836	0.00041	0.129
S623_jaeri_68	0.99735	0.00045	S623_keno6_jaeri_68	0.99632	0.00041	-0.103
S623_jaeri_69	0.99746	0.00052	S623_keno6_jaeri_69	0.99676	0.00039	-0.070
S623_jaeri_70	0.99810	0.00039	S623_keno6_jaeri_70	0.99831	0.00048	0.021
S623_jaeri_71	0.99825	0.00041	S623_keno6_jaeri_71	0.99788	0.00047	-0.037
S623_jaeri_72	0.99829	0.00051	S623_keno6_jaeri_72	0.99745	0.00043	-0.084
S623_jaeri_73	0.99862	0.00042	S623_keno6_jaeri_73	0.99739	0.00049	-0.123
S623_jaeri_74	0.99840	0.00043	S623_keno6_jaeri_74	0.99780	0.00047	-0.060
S623_jaeri_75	0.99833	0.00044	S623_keno6_jaeri_75	0.99824	0.00042	-0.009
S623_jaeri_76	0.99838	0.00048	S623_keno6_jaeri_76	0.99850	0.00054	0.012
S623_jaeri_77	0.99876	0.00049	S623_keno6_jaeri_77	0.99705	0.00046	-0.172
S623_jaeri_78	0.99848	0.00039	S623_keno6_jaeri_78	0.99753	0.00053	-0.095
S623_jaeri_79	0.99777	0.00039	S623_keno6_jaeri_79	0.99832	0.00044	0.055
S623_jaeri_80	0.99853	0.00038	S623_keno6_jaeri_80	0.99761	0.00045	-0.092
S623_jaeri_81	0.99887	0.00039	S623_keno6_jaeri_81	0.99846	0.00042	-0.041
S623_jaeri_82	0.99825	0.00041	S623_keno6_jaeri_82	0.99797	0.00043	-0.028
S623_jaeri_83	0.99875	0.00056	S623_keno6_jaeri_83	0.99793	0.00046	-0.082
S623_jaeri_84	0.99854	0.00041	S623_keno6_jaeri_84	0.99763	0.00043	-0.091
S623_jaeri_85	0.99811	0.00050	S623_keno6_jaeri_85	0.99790	0.00043	-0.021
S623_jaeri_86	0.99854	0.00043	S623_keno6_jaeri_86	0.99741	0.00038	-0.113
S623_jaeri_87	0.99908	0.00046	S623_keno6_jaeri_87	0.99799	0.00041	-0.109
S623_jaeri_88	0.99892	0.00053	S623_keno6_jaeri_88	0.99838	0.00038	-0.054

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5}: KENO-V.a, k_{eff6}: KENO-VI)

$$(k_{\text{eff}6} - k_{\text{eff}5}) / k_{\text{eff}6} \times 100 (\%)$$

※2 S623_keno6_jaeri_54、S623_keno6_jaeri_54 は、計算モデルが他のケースと重複している。

Table 付録- 5.1.1.6 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 PNL-5803)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
S623_pnl5803_01	0.99874	0.00044	S623_keno6_pnl5803_01	0.99884	0.00047	0.010
S623_pnl5803_02	0.99853	0.00047	S623_keno6_pnl5803_02	0.99888	0.00048	-0.022
S623_pnl5803_03	0.99926	0.00043	S623_keno6_pnl5803_03	0.99918	0.00052	-0.033
S623_pnl5803_04	0.99654	0.00054	S623_keno6_pnl5803_04	0.99763	0.00050	0.109
S623_pnl5803_05	0.99534	0.00056	S623_keno6_pnl5803_05	0.99522	0.00058	-0.012
S623_pnl5803_06	1.00369	0.00047	S623_keno6_pnl5803_06	1.00404	0.00045	0.035
S623_pnl5803_07	0.99133	0.00046	S623_keno6_pnl5803_07 ^{※2}	0.99056	0.00053	-0.078

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5}: KENO-V.a、k_{eff6}: KENO-VI)

$$(k_{\text{eff}6} - k_{\text{eff}5}) / k_{\text{eff}6} \times 100 (\%)$$

※2 S623_keno6_pnl5803_07においては、推定臨界下限増倍率 0.99069 を下回った。

Table 付録- 5.1.1.7 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 PNL-6559)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
S623_pnl6559_01 ^{※2}	0.99066	0.00051	S623_keno6_pnl6559_01	0.99178	0.00054	0.113
S623_pnl6559_02	0.99290	0.00057	S623_keno6_pnl6559_02	0.99439	0.00054	0.150
S623_pnl6559_03	1.00374	0.00055	S623_keno6_pnl6559_03	1.00286	0.00056	-0.088
S623_pnl6559_04	1.00199	0.00043	S623_keno6_pnl6559_04	1.00019	0.00048	-0.180
S623_pnl6559_05	0.99418	0.00045	S623_keno6_pnl6559_05	0.99523	0.00052	0.106
S623_pnl6559_06	0.99694	0.00045	S623_keno6_pnl6559_06	0.99730	0.00045	0.036
S623_pnl6559_07	1.00656	0.00053	S623_keno6_pnl6559_07	1.00674	0.00048	0.018
S623_pnl6559_08	1.00632	0.00050	S623_keno6_pnl6559_08	1.00557	0.00055	-0.075
S623_pnl6559_09	1.00384	0.00045	S623_keno6_pnl6559_09	1.00432	0.00043	0.048
S623_pnl6559_10	1.00203	0.00044	S623_keno6_pnl6559_10	1.00287	0.00044	0.084
S623_pnl6559_11	1.00199	0.00052	S623_keno6_pnl6559_11	1.00193	0.00041	-0.006
S623_pnl6559_12	1.00308	0.00046	S623_keno6_pnl6559_12	1.00316	0.00037	0.008
S623_pnl6559_13 ^{※3}	1.01497	0.00062	S623_keno6_pnl6559_13 ^{※3}	1.01400	0.00054	-0.096

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5}: KENO-V.a、k_{eff6}: KENO-VI)

$$(k_{\text{eff}6} - k_{\text{eff}5}) / k_{\text{eff}6} \times 100 (\%)$$

※2 S623_pnl6559_01においては、推定臨界下限増倍率 0.99123 を下回った。

※3 S623_keno6_pnl6559_13は、燃料要素を用いない実験で非均質体系でない。

Table 付録- 5.1.1.8 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 Nucl.Sci.Eng.Vol.59)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
S623_nse59_01	0.99569	0.00060	S623_keno6_nse59_01	0.99504	0.00057	-0.065
S623_nse59_02	0.99209	0.00055	S623_keno6_nse59_02	0.99205	0.00052	-0.004
S623_nse59_03	0.99610	0.00052	S623_keno6_nse59_03	0.99517	0.00051	-0.093
S623_nse59_04	0.99555	0.00058	S623_keno6_nse59_04	0.99481	0.00057	-0.074
S623_nse59_05	0.99929	0.00052	S623_keno6_nse59_05	0.99841	0.00048	-0.088
S623_nse59_06	0.99740	0.00049	S623_keno6_nse59_06	0.99805	0.00047	0.065
S623_nse59_07	0.99978	0.00053	S623_keno6_nse59_07	0.99982	0.00069	0.004
S623_nse59_08	1.00071	0.00051	S623_keno6_nse59_08	1.00023	0.00055	-0.048
S623_nse59_09	0.99917	0.00055	S623_keno6_nse59_09	0.99913	0.00043	-0.004
S623_nse59_10	0.99992	0.00050	S623_keno6_nse59_10	1.00092	0.00042	0.100
S623_nse59_11	1.00380	0.00041	S623_keno6_nse59_11	1.00326	0.00053	-0.054
S623_nse59_12	1.00325	0.00048	S623_keno6_nse59_12	1.00294	0.00051	-0.031
S623_nse59_13	1.00002	0.00055	S623_keno6_nse59_13	0.99946	0.00050	-0.056
S623_nse59_14	0.99196	0.00038	S623_keno6_nse59_14	0.99230	0.00043	0.034
S623_nse59_15	0.99252	0.00042	S623_keno6_nse59_15	0.99139	0.00038	-0.114
S623_nse59_16 ^{※2}	0.98811	0.00037	S623_keno6_nse59_16 ^{※3}	0.98884	0.00045	0.074

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5}: KENO-V.a、k_{eff6}: KENO-VI)

$$(k_{\text{eff}6} - k_{\text{eff}5}) / k_{\text{eff}6} \times 100 (\%)$$

※2 S623_nse59_16においては、推定臨界下限増倍率 0.99123 を下回った。

※3 S623_keno6_nse59_16においては、推定臨界下限増倍率 0.99069 を下回った。

Table 付録- 5.1.1.9 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 Nucl.Sci.Eng.Vol.62)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
S623 nse62 01	0.99677	0.00054	S623 keno6 nse62 01	0.99718	0.00053	0.041
S623 nse62 02	0.99521	0.00046	S623 keno6 nse62 02	0.99502	0.00047	-0.019
S623 nse62 03	0.99888	0.00046	S623 keno6 nse62 03	0.99962	0.00044	0.074
S623 nse62 04	1.00380	0.00047	S623 keno6 nse62 04	1.00314	0.00046	-0.066
S623 nse62 05	0.99818	0.00041	S623 keno6 nse62 05	0.99951	0.00035	0.133
S623 nse62 06	0.99814	0.00046	S623 keno6 nse62 06	0.99677	0.00052	-0.137
S623 nse62 07	1.00214	0.00035	S623 keno6 nse62 07	1.00194	0.00044	-0.020

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5}: KENO-V.a、k_{eff6}: KENO-VI)
 $(k_{\text{eff}6} - k_{\text{eff}5}) / k_{\text{eff}6} \times 100$ (%)

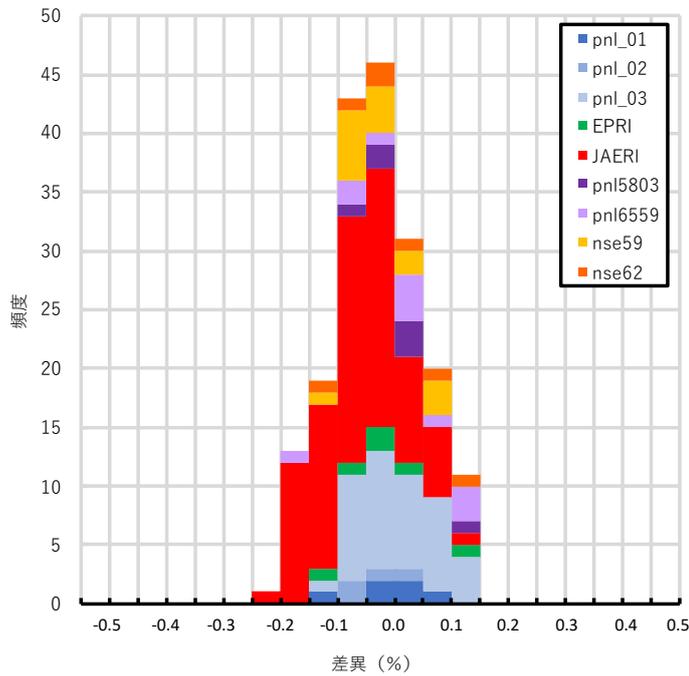


Fig.付録- 5.1.1.1 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系)

(差異範囲: -0.215~0.150%、平均差異: -0.030%、中央値: -0.030%)

5.1.2 MOX 非均質 燃料要素格子配列 均質化モデル

MOX 非均質系において、その燃料要素格子配列領域（非均質領域）を SCALE コードシステムの機能を利用して均質化してモデル化（均質化モデル）することが可能であり、文献 [PNL-6559¹⁰] 以外の計算ケースで、均質化モデルでの計算を実施する。本項においては、均質化モデルでの計算結果に計算モジュールの差がどの程度影響するかを示す。

Table 付録- 5.1.2.1～Table 付録- 5.1.2.8 に各臨界計算モジュールによる中性子実効増倍率 k_{eff} およびその差異を示す。また、差異の傾向を Fig.付録- 5.1.2.1 に示す。

実験レポート毎の CSAS5 (KENO-V.a) と CSAS6 (KENO-VI) の差異は以下のとおりである。

Nucl.Tech.Vol.44	差異範囲-0.079～0.176%	平均差異 0.003%	Table 付録- 5.1.2.1
Nucl.Tech.Vol.49	差異範囲-0.097～0.044%	平均差異-0.041%	Table 付録- 5.1.2.2
Nucl.Tech.Vol.48	差異範囲-0.080～0.212%	平均差異 0.042%	Table 付録- 5.1.2.3
EPRI Np-196	差異範囲-0.121～0.119%	平均差異-0.048%	Table 付録- 5.1.2.4
JAERI 1254	差異範囲-0.231～0.062%	平均差異-0.065%	Table 付録- 5.1.2.5
PNL-5803	差異範囲-0.066～0.095%	平均差異 0.005%	Table 付録- 5.1.2.6
Nucl.Sci.Eng.Vol.59	差異範囲-0.098～0.076%	平均差異 0.007%	Table 付録- 5.1.2.7
Nucl.Sci.Eng.Vol.62	差異範囲-0.158～0.074%	平均差異-0.023%	Table 付録- 5.1.2.8

体系全体の平均実効増倍率 k_{eff} および推定臨界下限増倍率は、以下のとおりである。

	CSAS5 (KENO-V.a)	CSAS6 (KENO-VI)
標本数	172	172
平均実効増倍率 k_{eff}	1.00048	1.00023
標準偏差	0.00400	0.00415
推定臨界下限増倍率	0.99153	0.99094
推定臨界下限増倍率以下のケース数	2 ^{*1}	1 ^{*2}

※1 CELL_S623_nse59_15、CELL_S623_nse59_16 にて推定臨界下限増倍率を下回った。

※2 CELL_S623_keno6_nse59_16 にて推定臨界下限増倍率を下回った。

Table 付録- 5.1.2.1 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 均質化 Nucl.Tech.Vol.44)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{*1} (%)
計算ケース	k_{eff}	σ	計算ケース	k_{eff}	σ	
CELL S623 pnl 01 01	0.99887	0.00054	CELL S623 keno6 pnl 01 01	0.99831	0.00051	-0.056
CELL S623 pnl 01 02	0.99906	0.00052	CELL S623 keno6 pnl 01 02	1.00082	0.00046	0.176
CELL S623 pnl 01 03	0.99982	0.00049	CELL S623 keno6 pnl 01 03	0.99903	0.00041	-0.079
CELL S623 pnl 01 04	1.00172	0.00050	CELL S623 keno6 pnl 01 04	1.00113	0.00048	-0.059
CELL S623 pnl 01 05	1.00265	0.00050	CELL S623 keno6 pnl 01 05	1.00255	0.00056	-0.010
CELL S623 pnl 01 06	1.00342	0.00051	CELL S623 keno6 pnl 01 06	1.00354	0.00049	0.012

※1 差異は、以下の式より算出する。($k_{\text{eff}5}$: KENO-V.a、 $k_{\text{eff}6}$: KENO-VI)

$$(k_{\text{eff}6} - k_{\text{eff}5}) / k_{\text{eff}6} \times 100 (\%)$$

Table 付録- 5.1.2.2 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 均質化 Nucl.Tech.Vol.49)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
CELL S623 pnl 02 01	1.00834	0.00045	CELL S623 keno6 pnl 02 01	1.00736	0.00063	-0.097
CELL S623 pnl 02 02	1.01808	0.00054	CELL S623 keno6 pnl 02 02	1.01853	0.00045	0.044
CELL S623 pnl 02 03	1.01124	0.00047	CELL S623 keno6 pnl 02 03	1.01076	0.00048	-0.047
CELL S623 pnl 02 04	1.01075	0.00056	CELL S623 keno6 pnl 02 04	1.01011	0.00051	-0.063

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5}: KENO-V.a、k_{eff6}: KENO-VI)
 $(k_{eff6} - k_{eff5}) / k_{eff6} \times 100$ (%)

Table 付録- 5.1.2.3 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 均質化 Nucl.Tech.Vol.48)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
CELL S623 pnl 03 01	1.00103	0.00044	CELL S623 keno6 pnl 03 01	1.00135	0.00054	0.032
CELL S623 pnl 03 02	1.00149	0.00063	CELL S623 keno6 pnl 03 02	1.00269	0.00051	0.120
CELL S623 pnl 03 03	1.00042	0.00059	CELL S623 keno6 pnl 03 03	1.00202	0.00049	0.160
CELL S623 pnl 03 04	1.00047	0.00050	CELL S623 keno6 pnl 03 04	1.00068	0.00053	0.021
CELL S623 pnl 03 05	1.00454	0.00046	CELL S623 keno6 pnl 03 05	1.00487	0.00043	0.033
CELL S623 pnl 03 06	1.00211	0.00048	CELL S623 keno6 pnl 03 06	1.00297	0.00045	0.086
CELL S623 pnl 03 07	1.00804	0.00045	CELL S623 keno6 pnl 03 07	1.00788	0.00050	-0.016
CELL S623 pnl 03 08	1.00879	0.00049	CELL S623 keno6 pnl 03 08	1.00878	0.00049	-0.001
CELL S623 pnl 03 09	1.00434	0.00057	CELL S623 keno6 pnl 03 09	1.00370	0.00047	-0.064
CELL S623 pnl 03 10	1.00077	0.00066	CELL S623 keno6 pnl 03 10	1.00215	0.00053	0.138
CELL S623 pnl 03 11	1.00034	0.00050	CELL S623 keno6 pnl 03 11	1.00247	0.00051	0.212
CELL S623 pnl 03 12	1.00245	0.00053	CELL S623 keno6 pnl 03 12	1.00237	0.00052	-0.008
CELL S623 pnl 03 13	1.00601	0.00049	CELL S623 keno6 pnl 03 13	1.00642	0.00054	0.041
CELL S623 pnl 03 14	1.00535	0.00052	CELL S623 keno6 pnl 03 14	1.00514	0.00054	-0.021
CELL S623 pnl 03 15	1.00857	0.00051	CELL S623 keno6 pnl 03 15	1.00848	0.00043	-0.009
CELL S623 pnl 03 16	1.00671	0.00055	CELL S623 keno6 pnl 03 16	1.00869	0.00053	0.196
CELL S623 pnl 03 17	1.00499	0.00054	CELL S623 keno6 pnl 03 17	1.00478	0.00044	-0.021
CELL S623 pnl 03 18	1.00210	0.00051	CELL S623 keno6 pnl 03 18	1.00259	0.00063	0.049
CELL S623 pnl 03 19	1.00366	0.00050	CELL S623 keno6 pnl 03 19	1.00477	0.00050	0.110
CELL S623 pnl 03 20	1.00309	0.00045	CELL S623 keno6 pnl 03 20	1.00384	0.00048	0.075
CELL S623 pnl 03 21	1.00872	0.00064	CELL S623 keno6 pnl 03 21	1.00861	0.00043	-0.011
CELL S623 pnl 03 22	1.00499	0.00047	CELL S623 keno6 pnl 03 22	1.00552	0.00058	0.053
CELL S623 pnl 03 23	1.01006	0.00045	CELL S623 keno6 pnl 03 23	1.00927	0.00056	-0.078
CELL S623 pnl 03 24	1.00711	0.00047	CELL S623 keno6 pnl 03 24	1.00748	0.00052	0.037
CELL S623 pnl 03 25	1.00456	0.00044	CELL S623 keno6 pnl 03 25	1.00507	0.00050	0.051
CELL S623 pnl 03 26	1.00414	0.00047	CELL S623 keno6 pnl 03 26	1.00435	0.00054	0.021
CELL S623 pnl 03 27	1.00335	0.00061	CELL S623 keno6 pnl 03 27	1.00438	0.00053	0.103
CELL S623 pnl 03 28	1.00439	0.00046	CELL S623 keno6 pnl 03 28	1.00487	0.00044	0.048
CELL S623 pnl 03 29	1.00585	0.00039	CELL S623 keno6 pnl 03 29	1.00555	0.00051	-0.030
CELL S623 pnl 03 30	1.00288	0.00057	CELL S623 keno6 pnl 03 30	1.00476	0.00042	0.187
CELL S623 pnl 03 31	1.00687	0.00045	CELL S623 keno6 pnl 03 31	1.00657	0.00052	-0.030
CELL S623 pnl 03 32	1.00770	0.00043	CELL S623 keno6 pnl 03 32	1.00689	0.00068	-0.080
CELL S623 pnl 03 33	1.00560	0.00038	CELL S623 keno6 pnl 03 33	1.00565	0.00039	0.005
CELL S623 pnl 03 34	1.00159	0.00045	CELL S623 keno6 pnl 03 34	1.00224	0.00040	0.065
CELL S623 pnl 03 35	1.00115	0.00041	CELL S623 keno6 pnl 03 35	1.00215	0.00045	0.100
CELL S623 pnl 03 36	0.99946	0.00042	CELL S623 keno6 pnl 03 36	0.99909	0.00039	-0.037
CELL S623 pnl 03 37	1.00076	0.00045	CELL S623 keno6 pnl 03 37	1.00051	0.00047	-0.025
CELL S623 pnl 03 38	0.99949	0.00039	CELL S623 keno6 pnl 03 38	0.99969	0.00043	0.020
CELL S623 pnl 03 39	1.00247	0.00036	CELL S623 keno6 pnl 03 39	1.00353	0.00037	0.106
CELL S623 pnl 03 40	1.00635	0.00044	CELL S623 keno6 pnl 03 40	1.00672	0.00055	0.037

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5}: KENO-V.a、k_{eff6}: KENO-VI)
 $(k_{eff6} - k_{eff5}) / k_{eff6} \times 100$ (%)

Table 付録- 5.1.2.4 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 均質化 EPRI NP-196)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
CELL S623 epri 01 ^{※2}	0.99605	0.00042	CELL S623 kenof6 epri 01 ^{※2}	0.99860	0.00046	0.255
CELL S623 epri 02 ^{※2}	1.00247	0.00044	CELL S623 kenof6 epri 02 ^{※2}	1.00339	0.00050	0.092
CELL S623 epri 03 ^{※2}	0.99980	0.00043	CELL S623 kenof6 epri 03 ^{※2}	1.00121	0.00067	0.141
CELL S623 epri 04 ^{※2}	1.00657	0.00063	CELL S623 kenof6 epri 04 ^{※2}	1.00643	0.00039	-0.014
CELL S623 epri 05 ^{※2}	1.00196	0.00069	CELL S623 kenof6 epri 05 ^{※2}	1.00182	0.00047	-0.014
CELL S623 epri 06 ^{※2}	1.00570	0.00036	CELL S623 kenof6 epri 06 ^{※2}	1.00515	0.00035	-0.055
CELL S623 epri 07	0.99531	0.00054	CELL S623 kenof6 epri 07	0.99650	0.00051	0.119
CELL S623 epri 08	0.99994	0.00038	CELL S623 kenof6 epri 08	0.99984	0.00050	-0.010
CELL S623 epri 09	1.00304	0.00044	CELL S623 kenof6 epri 09	1.00236	0.00052	-0.068
CELL S623 epri 10	1.00861	0.00038	CELL S623 kenof6 epri 10	1.00756	0.00037	-0.104
CELL S623 epri 11	1.00560	0.00046	CELL S623 kenof6 epri 11	1.00458	0.00043	-0.102
CELL S623 epri 12	1.00830	0.00032	CELL S623 kenof6 epri 12	1.00708	0.00042	-0.121

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5} : KENO-V.a, k_{eff6} : KENO-VI)

$$(k_{\text{eff}6} - k_{\text{eff}5}) / k_{\text{eff}6} \times 100 (\%)$$

※2 CELL_S623_epri_01~06, CELL_S623_kenof6_epri_01~06 は、UO₂燃料要素を用いた実験である。

Table 付録- 5.1.2.5 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 均質化 JAERI 1254) [1/2]

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
CELL S623 jaeri 01	0.99569	0.00051	CELL S623 kenof6 jaeri 01	0.99462	0.00050	-0.108
CELL S623 jaeri 02	0.99523	0.00047	CELL S623 kenof6 jaeri 02	0.99530	0.00053	0.007
CELL S623 jaeri 03	0.99623	0.00044	CELL S623 kenof6 jaeri 03	0.99545	0.00060	-0.078
CELL S623 jaeri 04	0.99661	0.00044	CELL S623 kenof6 jaeri 04	0.99596	0.00049	-0.065
CELL S623 jaeri 05	0.99520	0.00042	CELL S623 kenof6 jaeri 05	0.99544	0.00040	0.024
CELL S623 jaeri 06	0.99591	0.00036	CELL S623 kenof6 jaeri 06	0.99532	0.00046	-0.059
CELL S623 jaeri 07	0.99588	0.00054	CELL S623 kenof6 jaeri 07	0.99532	0.00049	-0.056
CELL S623 jaeri 08	0.99557	0.00042	CELL S623 kenof6 jaeri 08	0.99574	0.00057	0.017
CELL S623 jaeri 09	0.99699	0.00043	CELL S623 kenof6 jaeri 09	0.99665	0.00047	-0.034
CELL S623 jaeri 10	0.99684	0.00044	CELL S623 kenof6 jaeri 10	0.99573	0.00048	-0.111
CELL S623 jaeri 11	0.99595	0.00042	CELL S623 kenof6 jaeri 11	0.99483	0.00064	-0.113
CELL S623 jaeri 12	0.99628	0.00058	CELL S623 kenof6 jaeri 12	0.99619	0.00051	-0.009
CELL S623 jaeri 13	0.99691	0.00053	CELL S623 kenof6 jaeri 13	0.99560	0.00061	-0.132
CELL S623 jaeri 14	0.99630	0.00053	CELL S623 kenof6 jaeri 14	0.99501	0.00046	-0.130
CELL S623 jaeri 15	0.99626	0.00045	CELL S623 kenof6 jaeri 15	0.99546	0.00059	-0.080
CELL S623 jaeri 16	0.99656	0.00047	CELL S623 kenof6 jaeri 16	0.99558	0.00046	-0.098
CELL S623 jaeri 17	0.99679	0.00050	CELL S623 kenof6 jaeri 17	0.99574	0.00046	-0.105
CELL S623 jaeri 18	0.99738	0.00047	CELL S623 kenof6 jaeri 18	0.99650	0.00044	-0.088
CELL S623 jaeri 19	0.99742	0.00051	CELL S623 kenof6 jaeri 19	0.99579	0.00040	-0.164
CELL S623 jaeri 20	0.99799	0.00044	CELL S623 kenof6 jaeri 20	0.99750	0.00042	-0.049
CELL S623 jaeri 21	0.99783	0.00049	CELL S623 kenof6 jaeri 21	0.99664	0.00064	-0.119
CELL S623 jaeri 22	0.99733	0.00044	CELL S623 kenof6 jaeri 22	0.99787	0.00053	0.054
CELL S623 jaeri 23	1.00037	0.00072	CELL S623 kenof6 jaeri 23	0.99806	0.00052	-0.231
CELL S623 jaeri 24	0.99710	0.00041	CELL S623 kenof6 jaeri 24	0.99684	0.00042	-0.026
CELL S623 jaeri 25	0.99762	0.00044	CELL S623 kenof6 jaeri 25	0.99728	0.00048	-0.034
CELL S623 jaeri 26	0.99703	0.00045	CELL S623 kenof6 jaeri 26	0.99707	0.00054	0.004
CELL S623 jaeri 27 ^{※2}	0.99703	0.00045	CELL S623 kenof6 jaeri 27 ^{※2}	0.99707	0.00054	0.004
CELL S623 jaeri 28	0.99953	0.00054	CELL S623 kenof6 jaeri 28	0.99986	0.00055	0.033
CELL S623 jaeri 29	0.99870	0.00047	CELL S623 kenof6 jaeri 29	0.99653	0.00039	-0.218
CELL S623 jaeri 30	0.99828	0.00052	CELL S623 kenof6 jaeri 30	0.99728	0.00052	-0.100
CELL S623 jaeri 31	0.99702	0.00047	CELL S623 kenof6 jaeri 31	0.99591	0.00040	-0.111
CELL S623 jaeri 32	0.99816	0.00049	CELL S623 kenof6 jaeri 32	0.99774	0.00057	-0.042
CELL S623 jaeri 33	0.99953	0.00056	CELL S623 kenof6 jaeri 33	0.99908	0.00043	-0.045
CELL S623 jaeri 34	0.99868	0.00040	CELL S623 kenof6 jaeri 34	0.99799	0.00048	-0.069
CELL S623 jaeri 35	0.99777	0.00045	CELL S623 kenof6 jaeri 35	0.99723	0.00042	-0.054

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5} : KENO-V.a, k_{eff6} : KENO-VI)

$$(k_{\text{eff}6} - k_{\text{eff}5}) / k_{\text{eff}6} \times 100 (\%)$$

※2 CELL_S623_kenof6_jaeri_27, CELL_S623_kenof6_jaeri_27 は、計算モデルが他のケースと重複している。

Table 付録- 5.1.2.5 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 均質化 JAERI 1254) [2/2]

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
CELL S623 jaeri 36	0.99909	0.00066	CELL S623_keno6_jaeri 36	0.99825	0.00043	-0.084
CELL S623 jaeri 37	0.99858	0.00047	CELL S623_keno6_jaeri 37	0.99735	0.00051	-0.123
CELL S623 jaeri 38	0.99820	0.00048	CELL S623_keno6_jaeri 38	0.99850	0.00048	0.030
CELL S623 jaeri 39	0.99836	0.00039	CELL S623_keno6_jaeri 39	0.99715	0.00040	-0.121
CELL S623 jaeri 40	0.99791	0.00050	CELL S623_keno6_jaeri 40	0.99718	0.00048	-0.073
CELL S623 jaeri 41	0.99818	0.00049	CELL S623_keno6_jaeri 41	0.99715	0.00046	-0.103
CELL S623 jaeri 42	0.99821	0.00058	CELL S623_keno6_jaeri 42	0.99696	0.00043	-0.125
CELL S623 jaeri 43	0.99878	0.00049	CELL S623_keno6_jaeri 43	0.99772	0.00049	-0.106
CELL S623 jaeri 44	0.99813	0.00036	CELL S623_keno6_jaeri 44	0.99742	0.00059	-0.071
CELL S623 jaeri 45	0.99854	0.00052	CELL S623_keno6_jaeri 45	0.99710	0.00042	-0.144
CELL S623 jaeri 46	0.99796	0.00049	CELL S623_keno6_jaeri 46	0.99822	0.00051	0.026
CELL S623 jaeri 47	0.99991	0.00053	CELL S623_keno6_jaeri 47	0.99940	0.00047	-0.051
CELL S623 jaeri 48	0.99954	0.00044	CELL S623_keno6_jaeri 48	0.99975	0.00045	0.021
CELL S623 jaeri 49	0.99970	0.00047	CELL S623_keno6_jaeri 49	0.99901	0.00046	-0.069
CELL S623 jaeri 50	0.99980	0.00051	CELL S623_keno6_jaeri 50	0.99966	0.00038	-0.014
CELL S623 jaeri 51	0.99940	0.00040	CELL S623_keno6_jaeri 51	0.99961	0.00038	0.021
CELL S623 jaeri 52	0.99923	0.00036	CELL S623_keno6_jaeri 52	0.99888	0.00047	-0.035
CELL S623 jaeri 53	0.99986	0.00054	CELL S623_keno6_jaeri 53	1.00001	0.00048	0.015
CELL S623 jaeri 54 ^{※2}	0.99986	0.00054	CELL S623_keno6_jaeri 54 ^{※2}	1.00001	0.00048	0.015
CELL S623 jaeri 55	1.00008	0.00049	CELL S623_keno6_jaeri 55	0.99963	0.00047	-0.045
CELL S623 jaeri 56	0.99913	0.00035	CELL S623_keno6_jaeri 56	0.99925	0.00044	0.012
CELL S623 jaeri 57	1.00025	0.00051	CELL S623_keno6_jaeri 57	0.99948	0.00046	-0.077
CELL S623 jaeri 58	0.99945	0.00039	CELL S623_keno6_jaeri 58	0.99927	0.00043	-0.018
CELL S623 jaeri 59	1.00004	0.00038	CELL S623_keno6_jaeri 59	1.00052	0.00048	0.048
CELL S623 jaeri 60	0.99998	0.00046	CELL S623_keno6_jaeri 60	0.99936	0.00038	-0.062
CELL S623 jaeri 61	0.99964	0.00045	CELL S623_keno6_jaeri 61	0.99973	0.00050	0.009
CELL S623 jaeri 62	1.00037	0.00036	CELL S623_keno6_jaeri 62	1.00029	0.00043	-0.008
CELL S623 jaeri 63	0.99996	0.00051	CELL S623_keno6_jaeri 63	0.99823	0.00051	-0.173
CELL S623 jaeri 64	0.99978	0.00048	CELL S623_keno6_jaeri 64	0.99959	0.00041	-0.019
CELL S623 jaeri 65	1.00028	0.00046	CELL S623_keno6_jaeri 65	0.99893	0.00047	-0.135
CELL S623 jaeri 66	1.00094	0.00045	CELL S623_keno6_jaeri 66	1.00005	0.00048	-0.089
CELL S623 jaeri 67	1.00040	0.00043	CELL S623_keno6_jaeri 67	1.00017	0.00042	-0.023
CELL S623 jaeri 68	0.99957	0.00042	CELL S623_keno6_jaeri 68	0.99848	0.00042	-0.109
CELL S623 jaeri 69	1.00093	0.00037	CELL S623_keno6_jaeri 69	0.99929	0.00051	-0.164
CELL S623 jaeri 70	0.99936	0.00045	CELL S623_keno6_jaeri 70	0.99998	0.00053	0.062
CELL S623 jaeri 71	0.99956	0.00044	CELL S623_keno6_jaeri 71	1.00013	0.00041	0.057
CELL S623 jaeri 72	1.00003	0.00047	CELL S623_keno6_jaeri 72	0.99951	0.00052	-0.052
CELL S623 jaeri 73	1.00010	0.00044	CELL S623_keno6_jaeri 73	1.00001	0.00044	-0.009
CELL S623 jaeri 74	0.99967	0.00052	CELL S623_keno6_jaeri 74	0.99916	0.00041	-0.051
CELL S623 jaeri 75	1.00090	0.00051	CELL S623_keno6_jaeri 75	0.99970	0.00046	-0.120
CELL S623 jaeri 76	1.00000	0.00053	CELL S623_keno6_jaeri 76	0.99881	0.00047	-0.119
CELL S623 jaeri 77	0.99934	0.00042	CELL S623_keno6_jaeri 77	0.99945	0.00045	0.011
CELL S623 jaeri 78	1.00070	0.00040	CELL S623_keno6_jaeri 78	0.99932	0.00044	-0.138
CELL S623 jaeri 79	1.00036	0.00039	CELL S623_keno6_jaeri 79	0.99936	0.00040	-0.100
CELL S623 jaeri 80	0.99993	0.00043	CELL S623_keno6_jaeri 80	0.99953	0.00036	-0.040
CELL S623 jaeri 81	0.99992	0.00035	CELL S623_keno6_jaeri 81	1.00012	0.00043	0.020
CELL S623 jaeri 82	1.00060	0.00043	CELL S623_keno6_jaeri 82	0.99947	0.00040	-0.113
CELL S623 jaeri 83	1.00131	0.00042	CELL S623_keno6_jaeri 83	0.99954	0.00035	-0.177
CELL S623 jaeri 84	1.00134	0.00061	CELL S623_keno6_jaeri 84	0.99954	0.00049	-0.180
CELL S623 jaeri 85	1.00026	0.00042	CELL S623_keno6_jaeri 85	0.99885	0.00054	-0.141
CELL S623 jaeri 86	1.00051	0.00045	CELL S623_keno6_jaeri 86	0.99901	0.00039	-0.150
CELL S623 jaeri 87	1.00026	0.00042	CELL S623_keno6_jaeri 87	0.99991	0.00038	-0.035
CELL S623 jaeri 88	1.00034	0.00046	CELL S623_keno6_jaeri 88	0.99998	0.00044	-0.036

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5}: KENO-V.a, k_{eff6}: KENO-VI)

$$(k_{\text{eff}6} - k_{\text{eff}5}) / k_{\text{eff}6} \times 100 (\%)$$

※2 CELL_S623_keno6_jaeri_54、CELL_S623_keno6_jaeri_54は、計算モデルが他のケースと重複している。

Table 付録- 5.1.2.6 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 均質化 PNL-5803)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
CELL S623 pnl5803 01	0.99688	0.00043	CELL S623 keno6 pnl5803 01	0.99723	0.00049	0.035
CELL S623 pnl5803 02	0.99640	0.00045	CELL S623 keno6 pnl5803 02	0.99667	0.00050	-0.035
CELL S623 pnl5803 03	0.99801	0.00046	CELL S623 keno6 pnl5803 03	0.99896	0.00056	0.095
CELL S623 pnl5803 04	0.99929	0.00049	CELL S623 keno6 pnl5803 04	0.99908	0.00046	-0.021
CELL S623 pnl5803 05	0.99887	0.00051	CELL S623 keno6 pnl5803 05	0.99879	0.00053	-0.008
CELL S623 pnl5803 06	1.00709	0.00050	CELL S623 keno6 pnl5803 06	1.00684	0.00048	-0.025
CELL S623 pnl5803 07	0.99414	0.00039	CELL S623 keno6 pnl5803 07	0.99348	0.00042	-0.066

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5}: KENO-V.a, k_{eff6}: KENO-VI)
 $(k_{eff6} - k_{eff5}) / k_{eff6} \times 100$ (%)

Table 付録- 5.1.2.7 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 均質化 Nucl.Sci.Eng.Vol.59)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
CELL S623 nse59 01	0.99728	0.00058	CELL S623 keno6 nse59 01	0.99769	0.00058	0.041
CELL S623 nse59 02	0.99318	0.00066	CELL S623 keno6 nse59 02	0.99320	0.00053	0.002
CELL S623 nse59 03	0.99843	0.00054	CELL S623 keno6 nse59 03	0.99796	0.00077	-0.047
CELL S623 nse59 04	0.99710	0.00061	CELL S623 keno6 nse59 04	0.99761	0.00051	0.051
CELL S623 nse59 05	1.00248	0.00067	CELL S623 keno6 nse59 05	1.00150	0.00051	-0.098
CELL S623 nse59 06	0.99994	0.00050	CELL S623 keno6 nse59 06	1.00043	0.00053	0.049
CELL S623 nse59 07	1.00107	0.00052	CELL S623 keno6 nse59 07	1.00149	0.00059	0.042
CELL S623 nse59 08	1.00175	0.00054	CELL S623 keno6 nse59 08	1.00152	0.00062	-0.023
CELL S623 nse59 09	0.99948	0.00053	CELL S623 keno6 nse59 09	1.00024	0.00052	0.076
CELL S623 nse59 10	1.00112	0.00055	CELL S623 keno6 nse59 10	1.00169	0.00064	0.057
CELL S623 nse59 11	1.00193	0.00039	CELL S623 keno6 nse59 11	1.00186	0.00049	-0.007
CELL S623 nse59 12	1.00486	0.00060	CELL S623 keno6 nse59 12	1.00467	0.00050	-0.019
CELL S623 nse59 13	1.00024	0.00046	CELL S623 keno6 nse59 13	1.00032	0.00056	0.008
CELL S623 nse59 14	0.99246	0.00048	CELL S623 keno6 nse59 14	0.99171	0.00043	-0.076
CELL S623 nse59 15 ^{※2}	0.99143	0.00039	CELL S623 keno6 nse59 15	0.99193	0.00044	0.050
CELL S623 nse59 16 ^{※2}	0.98779	0.00032	CELL S623 keno6 nse59 16 ^{※3}	0.98833	0.00045	0.055

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5}: KENO-V.a, k_{eff6}: KENO-VI)
 $(k_{eff6} - k_{eff5}) / k_{eff6} \times 100$ (%)

※2 CELL_S623_keno6_nse59_15, CELL_S623_keno6_nse59_16 においては、推定臨界下限増倍率 0.99153 を下回った。

※3 CELL_S623_keno6_nse59_16 においては、推定臨界下限増倍率 0.99094 を下回った。

Table 付録- 5.1.2.8 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 均質化 Nucl.Sci.Eng.Vol.62)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
CELL S623 nse62 01	0.99903	0.00050	CELL S623 keno6 nse62 01	0.99838	0.00066	-0.065
CELL S623 nse62 02	0.99605	0.00049	CELL S623 keno6 nse62 02	0.99645	0.00049	0.040
CELL S623 nse62 03	0.99854	0.00041	CELL S623 keno6 nse62 03	0.99928	0.00039	0.074
CELL S623 nse62 04	1.00423	0.00038	CELL S623 keno6 nse62 04	1.00265	0.00038	-0.158
CELL S623 nse62 05	0.99854	0.00053	CELL S623 keno6 nse62 05	0.99872	0.00055	0.018
CELL S623 nse62 06	0.99757	0.00042	CELL S623 keno6 nse62 06	0.99698	0.00048	-0.059
CELL S623 nse62 07	1.00229	0.00040	CELL S623 keno6 nse62 07	1.00216	0.00041	-0.013

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5}: KENO-V.a, k_{eff6}: KENO-VI)
 $(k_{eff6} - k_{eff5}) / k_{eff6} \times 100$ (%)

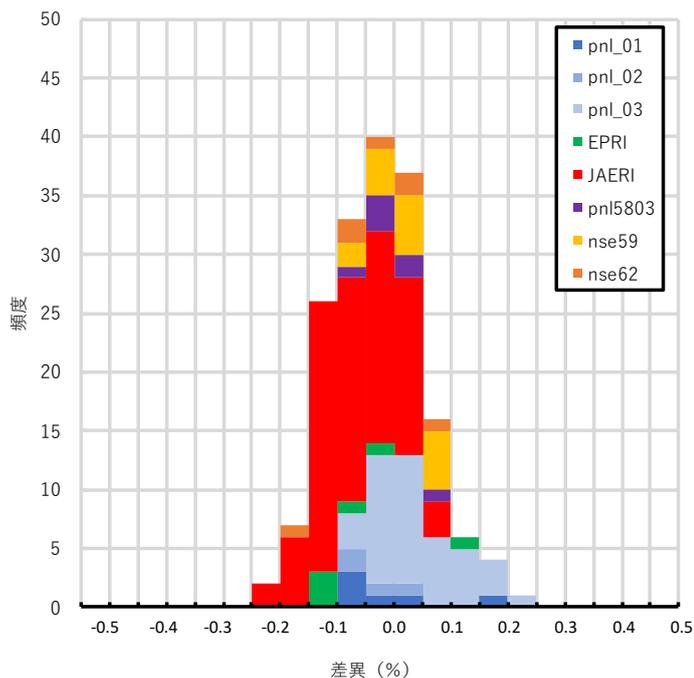


Fig.付録- 5.1.2.1 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 非均質系 均質化モデル)
 (差異範囲：-0.231~0.212%、平均差異：-0.025%、中央値：-0.024%)

5.2 MOX 均質系

Table 付録- 5.2.1～Table 付録- 5.2.4 に各臨界計算モジュールによる中性子実効増倍率 k_{eff} およびその差異を示す。また、差異の傾向を Fig.付録- 5.2.1 に示す。

実験レポート毎の CSAS5 (KENO-V.a) と CSAS6 (KENO-VI) の差異は以下のとおりである。

BNWL-2129	差異範囲-0.062～0.169%	平均差異 0.029%	Table 付録- 5.2.1
Nucl.Sci.Eng.Vol.50	差異範囲-0.109～0.133%	平均差異 0.011%	Table 付録- 5.2.2
Nucl.Sci.Eng.Vol.55	差異範囲-0.130～0.112%	平均差異-0.037%	Table 付録- 5.2.3
Nucl.Sci.Eng.Vol.61	差異範囲-0.115～0.224%	平均差異 0.035%	Table 付録- 5.2.4

体系全体の平均実効増倍率 k_{eff} および推定臨界下限増倍率は、以下のとおりである。

	CSAS5 (KENO-V.a)	CSAS6 (KENO-VI)
標本数	46	46
平均実効増倍率 k_{eff}	0.99991	1.00002
標準偏差	0.01450	0.01453
推定臨界下限増倍率	0.96270	0.96273
推定臨界下限増倍率以下のケース数	0	0

Table 付録- 5.2.1 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 均質系 BNWL-2129)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k_{eff}	σ	計算ケース	k_{eff}	σ	
S623 bnwl 01	1.01323	0.00054	S623 keno6 bnwl 01	1.01495	0.00054	0.169
S623 bnwl 02	1.01404	0.00050	S623 keno6 bnwl 02	1.01341	0.00070	-0.062
S623 bnwl 03	1.01284	0.00051	S623 keno6 bnwl 03	1.01296	0.00049	0.012
S623 bnwl 04	1.01038	0.00044	S623 keno6 bnwl 04	1.01035	0.00054	-0.003

※1 差異は、以下の式より算出する。($k_{\text{eff}5}$: KENO-V.a、 $k_{\text{eff}6}$: KENO-VI)

$$(k_{\text{eff}6} - k_{\text{eff}5}) / k_{\text{eff}6} \times 100 (\%)$$

Table 付録- 5.2.2 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 均質系 Nucl.Sci.Eng.Vol.50)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
S623 nse50 01	0.99946	0.00058	S623 keno6 nse50 01	0.99991	0.00060	0.045
S623 nse50 02	0.99462	0.00051	S623 keno6 nse50 02	0.99568	0.00069	0.106
S623 nse50 03	0.99495	0.00054	S623 keno6 nse50 03	0.99475	0.00056	-0.020
S623 nse50 04	0.99831	0.00066	S623 keno6 nse50 04	0.99884	0.00051	0.053
S623 nse50 05	0.99598	0.00050	S623 keno6 nse50 05	0.99545	0.00048	-0.053
S623 nse50 06	0.99521	0.00057	S623 keno6 nse50 06	0.99531	0.00050	0.010
S623 nse50 07	0.99650	0.00051	S623 keno6 nse50 07	0.99694	0.00052	0.044
S623 nse50 08	0.99203	0.00055	S623 keno6 nse50 08	0.99264	0.00053	0.061
S623 nse50 09	1.01074	0.00056	S623 keno6 nse50 09	1.00964	0.00049	-0.109
S623 nse50 10	1.00764	0.00047	S623 keno6 nse50 10	1.00812	0.00053	0.048
S623 nse50 11	1.00636	0.00055	S623 keno6 nse50 11	1.00624	0.00050	-0.012
S623 nse50 12	1.00396	0.00069	S623 keno6 nse50 12	1.00413	0.00048	0.017
S623 nse50 13	1.00366	0.00062	S623 keno6 nse50 13	1.00409	0.00064	0.043
S623 nse50 14	1.00706	0.00057	S623 keno6 nse50 14	1.00686	0.00048	-0.020
S623 nse50 15	1.01749	0.00062	S623 keno6 nse50 15	1.01680	0.00054	-0.068
S623 nse50 16	1.01481	0.00044	S623 keno6 nse50 16	1.01570	0.00065	0.088
S623 nse50 17	1.01805	0.00049	S623 keno6 nse50 17	1.01761	0.00055	-0.043
S623 nse50 18	1.01737	0.00051	S623 keno6 nse50 18	1.01684	0.00055	-0.052
S623 nse50 19	1.01829	0.00054	S623 keno6 nse50 19	1.01824	0.00047	-0.005
S623 nse50 20	1.02301	0.00071	S623 keno6 nse50 20	1.02437	0.00045	0.133
S623 nse50 21	1.02185	0.00047	S623 keno6 nse50 21	1.02162	0.00048	-0.023

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5} : KENO-V.a、k_{eff6} : KENO-VI)
 $(k_{\text{eff6}} - k_{\text{eff5}}) / k_{\text{eff6}} \times 100$ (%)

Table 付録- 5.2.3 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 均質系 Nucl.Sci.Eng.Vol.55)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
S623 nse55 01	0.97017	0.00041	S623 keno6 nse55 01	0.96941	0.00045	-0.078
S623 nse55 02	0.97213	0.00046	S623 keno6 nse55 02	0.97123	0.00055	-0.093
S623 nse55 03	0.96900	0.00045	S623 keno6 nse55 03	0.96910	0.00064	0.010
S623 nse55 04	0.97038	0.00047	S623 keno6 nse55 04	0.97147	0.00047	0.112
S623 nse55 05	0.97194	0.00051	S623 keno6 nse55 05	0.97084	0.00053	-0.113
S623 nse55 06	0.97170	0.00050	S623 keno6 nse55 06	0.97183	0.00052	0.013
S623 nse55 07	1.01095	0.00055	S623 keno6 nse55 07	1.00964	0.00049	-0.130
S623 nse55 08	1.00253	0.00045	S623 keno6 nse55 08	1.00238	0.00046	-0.015

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5} : KENO-V.a、k_{eff6} : KENO-VI)
 $(k_{\text{eff6}} - k_{\text{eff5}}) / k_{\text{eff6}} \times 100$ (%)

Table 付録- 5.2.4 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 均質系 Nucl.Sci.Eng.Vol.61)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
S623_nse61_01	0.99853	0.00049	S623_keno6_nse61_01	0.99774	0.00047	-0.079
S623_nse61_02	0.99580	0.00041	S623_keno6_nse61_02	0.99601	0.00043	0.021
S623_nse61_03	1.00255	0.00040	S623_keno6_nse61_03	1.00324	0.00043	0.069
S623_nse61_04	0.99290	0.00039	S623_keno6_nse61_04	0.99259	0.00045	-0.031
S623_nse61_05 ^{※2}	0.99290	0.00039	S623_keno6_nse61_05 ^{※2}	0.99259	0.00045	-0.031
S623_nse61_06	0.99032	0.00050	S623_keno6_nse61_06	0.99224	0.00045	0.194
S623_nse61_07	0.99848	0.00043	S623_keno6_nse61_07	0.99897	0.00043	0.049
S623_nse61_08	0.99329	0.00042	S623_keno6_nse61_08	0.99379	0.00042	0.050
S623_nse61_09	0.99749	0.00044	S623_keno6_nse61_09	0.99634	0.00044	-0.115
S623_nse61_10	0.98186	0.00041	S623_keno6_nse61_10	0.98270	0.00044	0.085
S623_nse61_11	1.00489	0.00044	S623_keno6_nse61_11	1.00378	0.00062	-0.111
S623_nse61_12	1.00318	0.00042	S623_keno6_nse61_12	1.00437	0.00053	0.118
S623_nse61_13	1.00446	0.00051	S623_keno6_nse61_13	1.00671	0.00050	0.224
S623_nse61_14	1.00524	0.00046	S623_keno6_nse61_14	1.00506	0.00066	-0.018

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5} : KENO-V.a、k_{eff6} : KENO-VI)

$$(k_{eff6} - k_{eff5}) / k_{eff5} \times 100 (\%)$$

※2 S623_nse61_05、S623_keno6_nse61_05 は、計算モデルが他のケースと重複している。

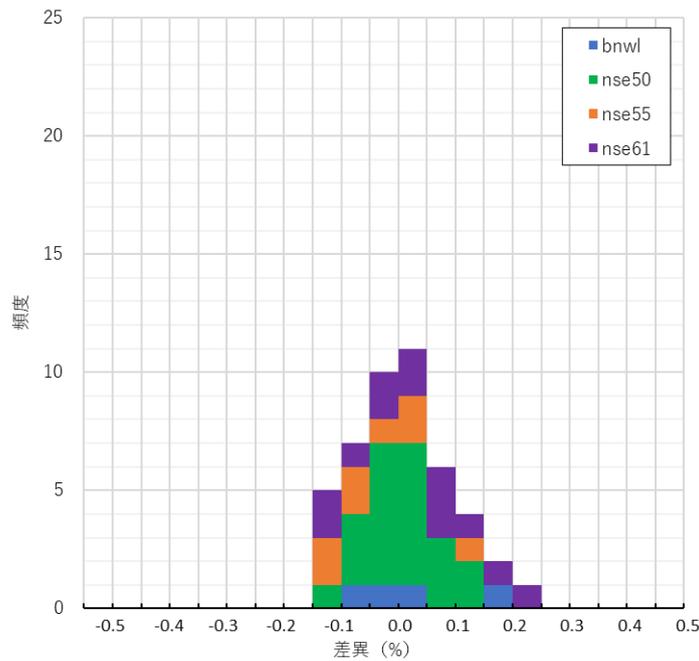


Fig.付録- 5.2.1 臨界計算モジュールの影響比較 (MOX 均質系)

(差異範囲 : -0.130~0.224%、平均差異 : 0.011%、中央値 : 0.010%)

5.3 (Pu+U)均質系

Table 付録- 5.3.1～Table 付録- 5.3.4 に各臨界計算モジュールによる中性子実効増倍率 k_{eff} およびその差異を示す。また、差異の傾向を Fig.付録- 5.3.1 に示す。

実験レポート毎の CSAS5 (KENO-V.a) と CSAS6 (KENO-VI) の差異は以下のとおりである。

PNL-5768 (pnl5768)	差異範囲-0.086～0.075%	平均差異-0.011%	Table 付録- 5.3.1
PNL-6327 (pnl6327)	差異範囲-0.143～0.108%	平均差異 0.003%	Table 付録- 5.3.2
PNL-6451 (pnl6451)	差異範囲-0.149～0.101%	平均差異-0.004%	Table 付録- 5.3.3
PNL-6119 (pnl6119)	差異範囲-0.096～0.050%	平均差異-0.047%	Table 付録- 5.3.4

体系全体の平均実効増倍率 k_{eff} および推定臨界下限増倍率は、以下のとおりである。

	CSAS5 (KENO-V.a)	CSAS6 (KENO-VI)
標本数	44	44
平均実効増倍率 k_{eff}	0.99472	0.99464
標準偏差	0.00607	0.00608
推定臨界下限増倍率	0.97903	0.97894
推定臨界下限増倍率以下のケース数	0	0

Table 付録- 5.3.1 臨界計算モジュールの影響比較 ((Pu+U)均質系 PNL-5768)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k_{eff}	σ	計算ケース	k_{eff}	σ	
S623 pnl5768 01	0.99538	0.00054	S623 keno6 pnl5768 01	0.99538	0.00061	0.000
S623 pnl5768 02	0.99755	0.00055	S623 keno6 pnl5768 02	0.99732	0.00063	-0.023
S623 pnl5768 03	0.99565	0.00046	S623 keno6 pnl5768 03	0.99604	0.00056	0.039
S623 pnl5768 04	0.99072	0.00072	S623 keno6 pnl5768 04	0.98987	0.00060	-0.086
S623 pnl5768 05	0.98396	0.00053	S623 keno6 pnl5768 05	0.98394	0.00056	-0.002
S623 pnl5768 06	0.98311	0.00061	S623 keno6 pnl5768 06	0.98385	0.00054	0.075
S623 pnl5768 07	0.98836	0.00054	S623 keno6 pnl5768 07	0.98790	0.00053	-0.047
S623 pnl5768 08	0.99751	0.00055	S623 keno6 pnl5768 08	0.99807	0.00047	0.056
S623 pnl5768 09	0.99280	0.00052	S623 keno6 pnl5768 09	0.99238	0.00064	-0.042
S623 pnl5768 10	0.99315	0.00056	S623 keno6 pnl5768 10	0.99237	0.00073	-0.079

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5} : KENO-V.a、k_{eff6} : KENO-VI)

$$(k_{eff6} - k_{eff5}) / k_{eff6} \times 100 (\%)$$

Table 付録- 5.3.2 臨界計算モジュールの影響比較 ((Pu+U)均質系 PNL-6327)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
S623 pnl6327 01	0.99115	0.00077	S623 keno6 pnl6327 01	0.99100	0.00059	-0.015
S623 pnl6327 02	0.99167	0.00046	S623 keno6 pnl6327 02	0.99250	0.00046	0.084
S623 pnl6327 03	0.99881	0.00056	S623 keno6 pnl6327 03	0.99945	0.00054	0.064
S623 pnl6327 04	1.00770	0.00061	S623 keno6 pnl6327 04	1.00726	0.00053	-0.044
S623 pnl6327 05	0.99842	0.00059	S623 keno6 pnl6327 05	0.99855	0.00055	0.013
S623 pnl6327 06	0.99697	0.00053	S623 keno6 pnl6327 06	0.99756	0.00051	0.059
S623 pnl6327 07	1.00027	0.00062	S623 keno6 pnl6327 07	0.99908	0.00059	-0.119
S623 pnl6327 08	0.99951	0.00052	S623 keno6 pnl6327 08	0.99910	0.00058	-0.041
S623 pnl6327 09	1.00105	0.00063	S623 keno6 pnl6327 09	1.00206	0.00061	0.101
S623 pnl6327 10	0.98613	0.00069	S623 keno6 pnl6327 10	0.98472	0.00058	-0.143
S623 pnl6327 11	0.99442	0.00058	S623 keno6 pnl6327 11	0.99440	0.00055	-0.002
S623 pnl6327 12	1.00390	0.00049	S623 keno6 pnl6327 12	1.00398	0.00050	0.008
S623 pnl6327 13	1.00149	0.00056	S623 keno6 pnl6327 13	1.00039	0.00055	-0.110
S623 pnl6327 14	0.98668	0.00064	S623 keno6 pnl6327 14	0.98690	0.00051	0.022
S623 pnl6327 15	0.98611	0.00048	S623 keno6 pnl6327 15	0.98718	0.00060	0.108
S623 pnl6327 16	0.99954	0.00053	S623 keno6 pnl6327 16	1.00015	0.00046	0.061

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5} : KENO-V.a、k_{eff6} : KENO-VI)
 $(k_{eff6} - k_{eff5}) / k_{eff6} \times 100$ (%)

Table 付録- 5.3.3 臨界計算モジュールの影響比較 ((Pu+U)均質系 PNL-6451)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
S623 pnl6451 01	0.99165	0.00057	S623 keno6 pnl6451 01	0.99265	0.00055	0.101
S623 pnl6451 02	0.99114	0.00057	S623 keno6 pnl6451 02	0.99208	0.00047	0.095
S623 pnl6451 03	0.99217	0.00047	S623 keno6 pnl6451 03	0.99231	0.00048	0.014
S623 pnl6451 04	0.99668	0.00057	S623 keno6 pnl6451 04	0.99520	0.00053	-0.149
S623 pnl6451 05	0.99662	0.00049	S623 keno6 pnl6451 05	0.99632	0.00066	-0.030
S623 pnl6451 06	1.00139	0.00050	S623 keno6 pnl6451 06	1.00143	0.00066	0.004
S623 pnl6451 07	0.99853	0.00052	S623 keno6 pnl6451 07	0.99829	0.00058	-0.024
S623 pnl6451 08	0.99726	0.00059	S623 keno6 pnl6451 08	0.99593	0.00069	-0.134
S623 pnl6451 09	0.99463	0.00056	S623 keno6 pnl6451 09	0.99457	0.00051	-0.006
S623 pnl6451 10	0.99465	0.00048	S623 keno6 pnl6451 10	0.99498	0.00048	0.033
S623 pnl6451 11	1.00519	0.00051	S623 keno6 pnl6451 11	1.00557	0.00051	0.038
S623 pnl6451 12	1.00632	0.00046	S623 keno6 pnl6451 12	1.00669	0.00049	0.037
S623 pnl6451 13	0.99128	0.00054	S623 keno6 pnl6451 13	0.99098	0.00052	-0.030

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5} : KENO-V.a、k_{eff6} : KENO-VI)
 $(k_{eff6} - k_{eff5}) / k_{eff6} \times 100$ (%)

Table 付録- 5.3.4 臨界計算モジュールの影響比較 ((Pu+U)均質系 PNL-6119)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
S623 pnl6119 01	0.99338	0.00055	S623 keno6 pnl6119 01	0.99256	0.00048	-0.083
S623 pnl6119 02	0.99154	0.00063	S623 keno6 pnl6119 02	0.99110	0.00051	-0.044
S623 pnl6119 03	0.99276	0.00048	S623 keno6 pnl6119 03	0.99181	0.00053	-0.096
S623 pnl6119 04	0.98793	0.00049	S623 keno6 pnl6119 04	0.98732	0.00053	-0.062
S623 pnl6119 05	0.98243	0.00048	S623 keno6 pnl6119 05	0.98292	0.00051	0.050

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5} : KENO-V.a、k_{eff6} : KENO-VI)
 $(k_{eff6} - k_{eff5}) / k_{eff6} \times 100$ (%)

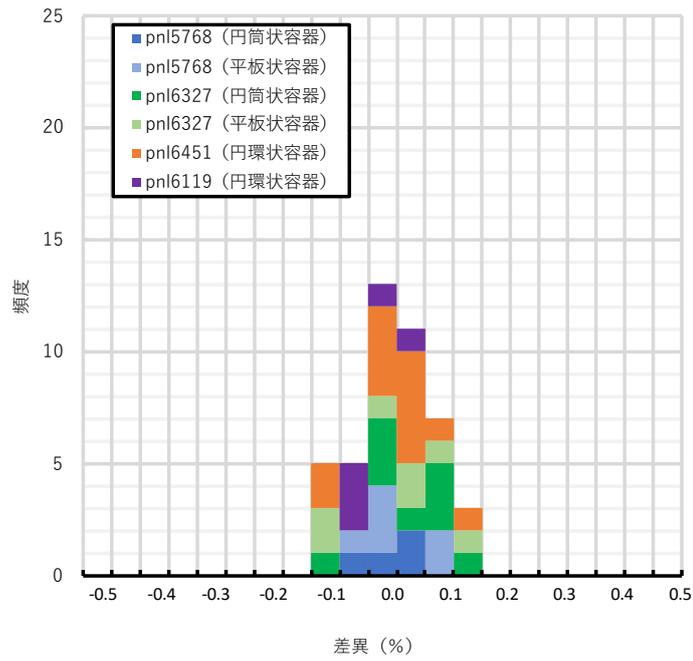


Fig.付録- 5.3.1 臨界計算モジュールの影響比較 ((Pu+U)均質系)
 (差異範囲 : -0.149~0.108%、平均差異 : -0.008%、中央値 : -0.002%)

5.4 PuO₂均質系

Table 付録- 5.4.1～Table 付録- 5.4.3 に各臨界計算モジュールによる中性子実効増倍率 k_{eff} およびその差異を示す。また、差異の傾向を Fig.付録- 5.4.1 に示す。

実験レポート毎の CSAS5 (KENO-V.a) と CSAS6 (KENO-VI) の差異は以下のとおりである。

Nucl.App.Vol.6	差異範囲-0.048～0.182%	平均差異 0.020%	Table 付録- 5.4.1
Nucl.Tech.Vol.11	差異範囲-0.070～0.106%	平均差異 0.017%	Table 付録- 5.4.2
Nucl.Tech.Vol.15	差異範囲-0.046～0.142%	平均差異 0.018%	Table 付録- 5.4.3

体系全体の平均実効増倍率 k_{eff} および推定臨界下限増倍率は、以下のとおりである。

	CSAS5 (KENO-V.a)	CSAS6 (KENO-VI)
標本数	16	16
平均実効増倍率 k_{eff}	1.01014	1.01032
標準偏差	0.00962	0.00975
推定臨界下限増倍率	0.97931	0.97909
推定臨界下限増倍率以下のケース数	0	0

Table 付録- 5.4.1 臨界計算モジュールの影響比較 (PuO₂均質系 Nucl.App.Vol.6)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k_{eff}	σ	計算ケース	k_{eff}	σ	
S623 na6 01	1.02292	0.00048	S623 keno6 na6 01	1.02263	0.00054	-0.028
S623 na6 02	1.01662	0.00048	S623 keno6 na6 02	1.01635	0.00047	-0.027
S623 na6 03	1.01948	0.00054	S623 keno6 na6 03	1.01899	0.00051	-0.048
S623 na6 04	1.01324	0.00046	S623 keno6 na6 04	1.01509	0.00050	0.182

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5} : KENO-V.a、k_{eff6} : KENO-VI)

$$(k_{\text{eff6}} - k_{\text{eff5}}) / k_{\text{eff6}} \times 100 (\%)$$

Table 付録- 5.4.2 臨界計算モジュールの影響比較 (PuO₂均質系 Nucl.Tech.Vol.11)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k_{eff}	σ	計算ケース	k_{eff}	σ	
S623 nt11 01	1.02706	0.00049	S623 keno6 nt11 01	1.02815	0.00068	0.106
S623 nt11 02	1.00667	0.00053	S623 keno6 nt11 02	1.00597	0.00058	-0.070
S623 nt11 03	1.00183	0.00054	S623 keno6 nt11 03	1.00157	0.00060	-0.026
S623 nt11 04	1.00284	0.00043	S623 keno6 nt11 04	1.00267	0.00052	-0.017
S623 nt11 05	1.02301	0.00049	S623 keno6 nt11 05	1.02390	0.00056	0.087

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5} : KENO-V.a、k_{eff6} : KENO-VI)

$$(k_{\text{eff6}} - k_{\text{eff5}}) / k_{\text{eff6}} \times 100 (\%)$$

Table 付録-5.4.3 臨界計算モジュールの影響比較 (PuO₂均質系 Nucl.Tech.Vol.15)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
S623 nt15 01	1.00768	0.00066	S623 keno6 nt15 01	1.00745	0.00051	-0.023
S623 nt15 02	1.00667	0.00048	S623 keno6 nt15 02	1.00644	0.00045	-0.023
S623 nt15 03	1.00464	0.00046	S623 keno6 nt15 03	1.00509	0.00045	0.045
S623 nt15 04	1.00829	0.00054	S623 keno6 nt15 04	1.00813	0.00052	-0.016
S623 nt15 05	0.99006	0.00057	S623 keno6 nt15 05	0.99053	0.00056	0.047
S623 nt15 06	1.00409	0.00051	S623 keno6 nt15 06	1.00552	0.00061	0.142
S623 nt15 07	1.00717	0.00061	S623 keno6 nt15 07	1.00671	0.00062	-0.046

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5} : KENO-V.a、k_{eff6} : KENO-VI)
 $(k_{\text{eff}6} - k_{\text{eff}5}) / k_{\text{eff}6} \times 100$ (%)

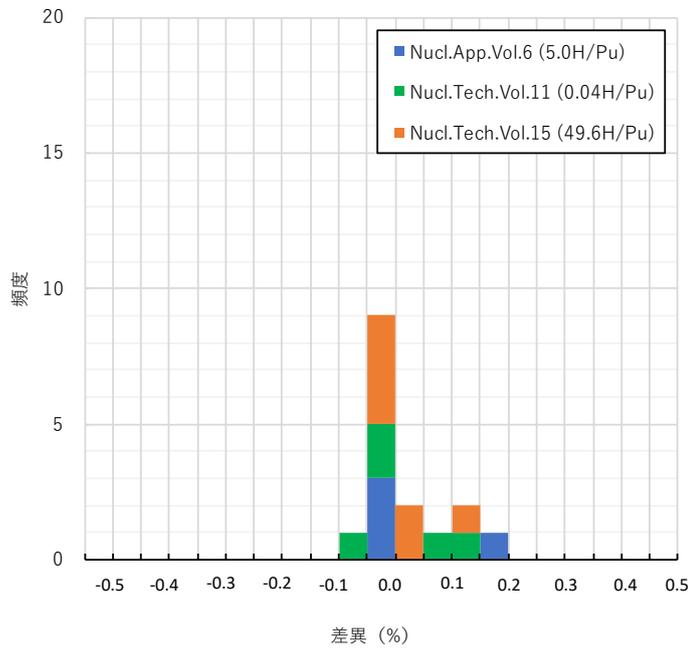


Fig.付録-5.4.1 臨界計算モジュールの影響比較 (PuO₂均質系)
 (差異範囲 : -0.070~0.182%、平均差異 : 0.018%、中央値 : -0.020%)

5.5 Pu 均質系

Table 付録- 5.5.1、Table 付録- 5.5.2 に各臨界計算モジュールによる中性子実効増倍率 k_{eff} およびその差異を示す。また、差異の傾向を Fig.付録- 5.5.1 に示す。

文献 [Nucl.Sci.Eng. Vol.79²⁵⁾] に記載された容器形状毎に分類された臨界実験において、CSAS5 (KENO-V.a) と CSAS6 (KENO-VI) との間での計算結果の差異は、以下のとおりである。

球形状容器 (nse79_sph)	差異範囲-0.133~0.232%	平均差異 0.009%	Table 付録- 5.5.1
円筒形状容器 (nse79_cyl)	差異範囲-0.164~0.142%	平均差異-0.014%	Table 付録- 5.5.2

体系全体の平均実効増倍率 k_{eff} および推定臨界下限増倍率は、以下のとおりである。

	CSAS5 (KENO-V.a)	CSAS6 (KENO-VI)
標本数	101	101
平均実効増倍率 k_{eff}	1.00156	1.00157
標準偏差	0.01048	0.01051
推定臨界下限増倍率	0.97702	0.97698
推定臨界下限増倍率以下のケース数	6 ^{*1}	5 ^{*2}

※1 S623_nse79_cyl13、S623_nse79_cyl15~19 にて推定臨界下限増倍率を下回った。

※2 S623_keno6_nse79_cyl15~19 にて推定臨界下限増倍率を下回った。

Table 付録- 5.5.1 臨界計算モジュールの影響比較 (Pu 均質系 球形状容器) [1/2]

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{*1} (%)
計算ケース	k_{eff}	σ	計算ケース	k_{eff}	σ	
S623_nse79_sph01	1.00005	0.00058	S623_keno6_nse79_sph01	1.00069	0.00057	0.064
S623_nse79_sph02	1.00117	0.00053	S623_keno6_nse79_sph02	1.00074	0.00053	-0.043
S623_nse79_sph03	0.99910	0.00066	S623_keno6_nse79_sph03	1.00024	0.00055	0.114
S623_nse79_sph04	1.00228	0.00051	S623_keno6_nse79_sph04	1.00194	0.00061	-0.034
S623_nse79_sph05	1.00571	0.00057	S623_keno6_nse79_sph05	1.00510	0.00058	-0.061
S623_nse79_sph06	1.00116	0.00053	S623_keno6_nse79_sph06	1.00134	0.00058	0.018
S623_nse79_sph07	1.00349	0.00057	S623_keno6_nse79_sph07	1.00313	0.00058	-0.036
S623_nse79_sph08	0.99466	0.00051	S623_keno6_nse79_sph08	0.99485	0.00050	0.019
S623_nse79_sph09	0.99245	0.00054	S623_keno6_nse79_sph09	0.99378	0.00046	0.134
S623_nse79_sph10	0.99546	0.00050	S623_keno6_nse79_sph10	0.99625	0.00052	0.079
S623_nse79_sph11	0.99566	0.00047	S623_keno6_nse79_sph11	0.99518	0.00055	-0.048
S623_nse79_sph12	0.99316	0.00054	S623_keno6_nse79_sph12	0.99364	0.00050	0.048
S623_nse79_sph13	0.99836	0.00060	S623_keno6_nse79_sph13	0.99885	0.00054	0.049
S623_nse79_sph14	0.99747	0.00058	S623_keno6_nse79_sph14	0.99836	0.00046	0.089
S623_nse79_sph15	1.00031	0.00047	S623_keno6_nse79_sph15	0.99904	0.00066	-0.127
S623_nse79_sph16	0.99998	0.00053	S623_keno6_nse79_sph16	0.99933	0.00050	-0.065
S623_nse79_sph17	1.00409	0.00050	S623_keno6_nse79_sph17	1.00497	0.00048	0.088
S623_nse79_sph18	0.99899	0.00056	S623_keno6_nse79_sph18	0.99880	0.00048	-0.019
S623_nse79_sph19	1.00065	0.00052	S623_keno6_nse79_sph19	1.00195	0.00054	0.130
S623_nse79_sph20	0.99873	0.00058	S623_keno6_nse79_sph20	0.99880	0.00049	0.007
S623_nse79_sph21	0.99992	0.00066	S623_keno6_nse79_sph21	1.00036	0.00068	0.044
S623_nse79_sph22	1.00161	0.00060	S623_keno6_nse79_sph22	1.00257	0.00051	0.096
S623_nse79_sph23	1.00495	0.00048	S623_keno6_nse79_sph23	1.00578	0.00049	0.083
S623_nse79_sph24	1.00281	0.00058	S623_keno6_nse79_sph24	1.00178	0.00043	-0.103

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5} : KENO-V.a、k_{eff6} : KENO-VI)

$$(k_{eff6} - k_{eff5}) / k_{eff6} \times 100 (\%)$$

Table 付録- 5.5.1 臨界計算モジュールの影響比較 (Pu 均質系 球形状容器) [2/2]

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
S623 nse79 sph25	1.00080	0.00056	S623 keno6 nse79 sph25	1.00149	0.00049	0.069
S623 nse79 sph26	1.00237	0.00056	S623 keno6 nse79 sph26	1.00194	0.00048	-0.043
S623 nse79 sph27	1.00068	0.00055	S623 keno6 nse79 sph27	1.00028	0.00048	-0.040
S623 nse79 sph28	1.00303	0.00045	S623 keno6 nse79 sph28	1.00251	0.00047	-0.052
S623 nse79 sph29	1.00211	0.00055	S623 keno6 nse79 sph29	1.00340	0.00057	0.129
S623 nse79 sph30	1.00342	0.00046	S623 keno6 nse79 sph30	1.00403	0.00045	0.061
S623 nse79 sph31	1.00611	0.00055	S623 keno6 nse79 sph31	1.00481	0.00057	-0.129
S623 nse79 sph32	1.00720	0.00044	S623 keno6 nse79 sph32	1.00633	0.00054	-0.086
S623 nse79 sph33	1.00577	0.00058	S623 keno6 nse79 sph33	1.00507	0.00048	-0.070
S623 nse79 sph34	1.00410	0.00050	S623 keno6 nse79 sph34	1.00394	0.00052	-0.016
S623 nse79 sph35	1.00058	0.00052	S623 keno6 nse79 sph35	0.99925	0.00050	-0.133
S623 nse79 sph36	1.00307	0.00045	S623 keno6 nse79 sph36	1.00244	0.00056	-0.063
S623 nse79 sph37	1.00093	0.00051	S623 keno6 nse79 sph37	1.00098	0.00057	0.005
S623 nse79 sph38	1.00216	0.00053	S623 keno6 nse79 sph38	1.00271	0.00049	0.055
S623 nse79 sph39	1.00185	0.00059	S623 keno6 nse79 sph39	1.00248	0.00059	0.063
S623 nse79 sph40	1.00504	0.00052	S623 keno6 nse79 sph40	1.00420	0.00058	-0.084
S623 nse79 sph41	1.00248	0.00054	S623 keno6 nse79 sph41	1.00321	0.00051	0.073
S623 nse79 sph42	1.00405	0.00059	S623 keno6 nse79 sph42	1.00491	0.00051	0.086
S623 nse79 sph43	0.99834	0.00065	S623 keno6 nse79 sph43	0.99797	0.00049	-0.037
S623 nse79 sph44	1.01012	0.00054	S623 keno6 nse79 sph44	1.00947	0.00066	-0.064
S623 nse79 sph45	1.00676	0.00061	S623 keno6 nse79 sph45	1.00609	0.00070	-0.067
S623 nse79 sph46	1.00054	0.00061	S623 keno6 nse79 sph46	1.00203	0.00049	0.149
S623 nse79 sph47	1.00469	0.00061	S623 keno6 nse79 sph47	1.00453	0.00057	-0.016
S623 nse79 sph48	1.00798	0.00054	S623 keno6 nse79 sph48	1.00819	0.00053	0.021
S623 nse79 sph49	1.01724	0.00058	S623 keno6 nse79 sph49	1.01696	0.00062	-0.028
S623 nse79 sph50	1.01301	0.00063	S623 keno6 nse79 sph50	1.01311	0.00053	0.010
S623 nse79 sph51	0.99970	0.00055	S623 keno6 nse79 sph51	0.99877	0.00053	-0.093
S623 nse79 sph52	1.00029	0.00053	S623 keno6 nse79 sph52	1.00012	0.00056	-0.017
S623 nse79 sph53	1.00231	0.00059	S623 keno6 nse79 sph53	1.00217	0.00048	-0.014
S623 nse79 sph54	1.00302	0.00059	S623 keno6 nse79 sph54	1.00275	0.00050	-0.027
S623 nse79 sph55	0.99653	0.00051	S623 keno6 nse79 sph55	0.99793	0.00065	0.140
S623 nse79 sph56	1.00205	0.00052	S623 keno6 nse79 sph56	1.00136	0.00060	-0.069
S623 nse79 sph57	1.00370	0.00050	S623 keno6 nse79 sph57	1.00327	0.00052	-0.043
S623 nse79 sph58	1.00321	0.00049	S623 keno6 nse79 sph58	1.00317	0.00053	-0.004
S623 nse79 sph59	1.00509	0.00049	S623 keno6 nse79 sph59	1.00456	0.00054	-0.053
S623 nse79 sph60	1.00846	0.00064	S623 keno6 nse79 sph60	1.00886	0.00061	0.040
S623 nse79 sph61	1.01237	0.00078	S623 keno6 nse79 sph61	1.01341	0.00056	0.103
S623 nse79 sph62	1.00393	0.00058	S623 keno6 nse79 sph62	1.00523	0.00054	0.129
S623 nse79 sph63	1.00144	0.00065	S623 keno6 nse79 sph63	1.00377	0.00060	0.232
S623 nse79 sph64	1.00530	0.00055	S623 keno6 nse79 sph64	1.00524	0.00062	-0.006
S623 nse79 sph65	1.00273	0.00068	S623 keno6 nse79 sph65	1.00300	0.00061	0.027
S623 nse79 sph66	1.03005	0.00029	S623 keno6 nse79 sph66	1.02982	0.00035	-0.022
S623 nse79 sph67	1.01926	0.00037	S623 keno6 nse79 sph67	1.02007	0.00032	0.079

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5} : KENO-V.a、k_{eff6} : KENO-VI)

$$(k_{\text{eff6}} - k_{\text{eff5}}) / k_{\text{eff6}} \times 100 (\%)$$

Table 付録- 5.5.2 臨界計算モジュールの影響比較 (Pu 均質系 円筒形状容器)

CSAS5 (KENO-V.a)			CSAS6 (KENO-VI)			差異 ^{※1} (%)
計算ケース	k _{eff}	σ	計算ケース	k _{eff}	σ	
S623 nse79 cyl01	1.00664	0.00057	S623 keno6 nse79 cyl01	1.00656	0.00057	-0.008
S623 nse79 cyl02	1.01804	0.00059	S623 keno6 nse79 cyl02	1.01949	0.00058	0.142
S623 nse79 cyl03	1.01061	0.00064	S623 keno6 nse79 cyl03	1.00988	0.00065	-0.072
S623 nse79 cyl04	1.01440	0.00059	S623 keno6 nse79 cyl04	1.01500	0.00061	0.059
S623 nse79 cyl05	1.00716	0.00052	S623 keno6 nse79 cyl05	1.00729	0.00055	0.013
S623 nse79 cyl06	1.00724	0.00056	S623 keno6 nse79 cyl06	1.00605	0.00058	-0.118
S623 nse79 cyl07	1.00367	0.00061	S623 keno6 nse79 cyl07	1.00233	0.00052	-0.134
S623 nse79 cyl08	0.99327	0.00058	S623 keno6 nse79 cyl08	0.99329	0.00061	0.002
S623 nse79 cyl09	0.99148	0.00052	S623 keno6 nse79 cyl09	0.99150	0.00059	0.002
S623 nse79 cyl10	0.99270	0.00051	S623 keno6 nse79 cyl10	0.99266	0.00048	-0.004
S623 nse79 cyl11	0.98632	0.00069	S623 keno6 nse79 cyl11	0.98607	0.00053	-0.025
S623 nse79 cyl12	0.99409	0.00059	S623 keno6 nse79 cyl12	0.99363	0.00058	-0.046
S623 nse79 cyl13 ^{※2}	0.97684	0.00053	S623 keno6 nse79 cyl13	0.97751	0.00052	0.069
S623 nse79 cyl14	0.98340	0.00053	S623 keno6 nse79 cyl14	0.98312	0.00054	-0.028
S623 nse79 cyl15 ^{※2}	0.97265	0.00051	S623 keno6 nse79 cyl15 ^{※3}	0.97236	0.00058	-0.030
S623 nse79 cyl16 ^{※2}	0.96454	0.00061	S623 keno6 nse79 cyl16 ^{※3}	0.96515	0.00059	0.063
S623 nse79 cyl17 ^{※2}	0.96897	0.00047	S623 keno6 nse79 cyl17 ^{※3}	0.96973	0.00041	0.078
S623 nse79 cyl18 ^{※2}	0.96591	0.00047	S623 keno6 nse79 cyl18 ^{※3}	0.96520	0.00059	-0.074
S623 nse79 cyl19 ^{※2}	0.96835	0.00049	S623 keno6 nse79 cyl19 ^{※3}	0.96676	0.00048	-0.164
S623 nse79 cyl20	1.00984	0.00063	S623 keno6 nse79 cyl20	1.00979	0.00052	-0.005
S623 nse79 cyl21	1.00994	0.00053	S623 keno6 nse79 cyl21	1.00908	0.00065	-0.085
S623 nse79 cyl22	1.00920	0.00066	S623 keno6 nse79 cyl22	1.00898	0.00051	-0.022
S623 nse79 cyl23	1.01494	0.00048	S623 keno6 nse79 cyl23	1.01536	0.00065	0.041
S623 nse79 cyl24	1.00840	0.00050	S623 keno6 nse79 cyl24	1.00889	0.00053	0.049
S623 nse79 cyl25	1.00485	0.00057	S623 keno6 nse79 cyl25	1.00405	0.00050	-0.080
S623 nse79 cyl26	1.01129	0.00051	S623 keno6 nse79 cyl26	1.01124	0.00043	-0.005
S623 nse79 cyl27	1.01354	0.00044	S623 keno6 nse79 cyl27	1.01359	0.00038	0.005
S623 nse79 cyl28	1.01078	0.00053	S623 keno6 nse79 cyl28	1.01001	0.00046	-0.076
S623 nse79 cyl29	1.00926	0.00057	S623 keno6 nse79 cyl29	1.00889	0.00044	-0.037
S623 nse79 cyl30	1.00790	0.00047	S623 keno6 nse79 cyl30	1.00715	0.00053	-0.074
S623 nse79 cyl31	1.00436	0.00047	S623 keno6 nse79 cyl31	1.00520	0.00055	0.084
S623 nse79 cyl32	1.00439	0.00048	S623 keno6 nse79 cyl32	1.00434	0.00048	-0.005
S623 nse79 cyl33	1.00324	0.00049	S623 keno6 nse79 cyl33	1.00370	0.00038	0.046
S623 nse79 cyl34	1.00207	0.00037	S623 keno6 nse79 cyl34	1.00164	0.00049	-0.043

※1 差異は、以下の式より算出する。(k_{eff5} : KENO-V.a, k_{eff6} : KENO-VI)

$$(k_{\text{eff}6} - k_{\text{eff}5}) / k_{\text{eff}5} \times 100 (\%)$$

※2 S623_keno6_nse79_cyl13、S623_keno6_nse79_cyl 15～19 においては、推定臨界下限増倍率 0.97702 を下回る。

※3 S623_keno6_nse79_cyl15～19 においては、推定臨界下限増倍率 0.97698 を下回る。

S623_keno6_nse79_cyl07～S623_nse79_cyl19 においては、硝酸溶液中の不純物を考慮している。特に S623_nse79_cyl12～S623_nse79_cyl19 の内直径 11 インチの容器を使用する。実験ケースでは、不純物中に B 100ppm、Cd 200ppm と中性子毒が多く含まれている。このため、他のケースに比べ、実効増倍率が大きく低下している。

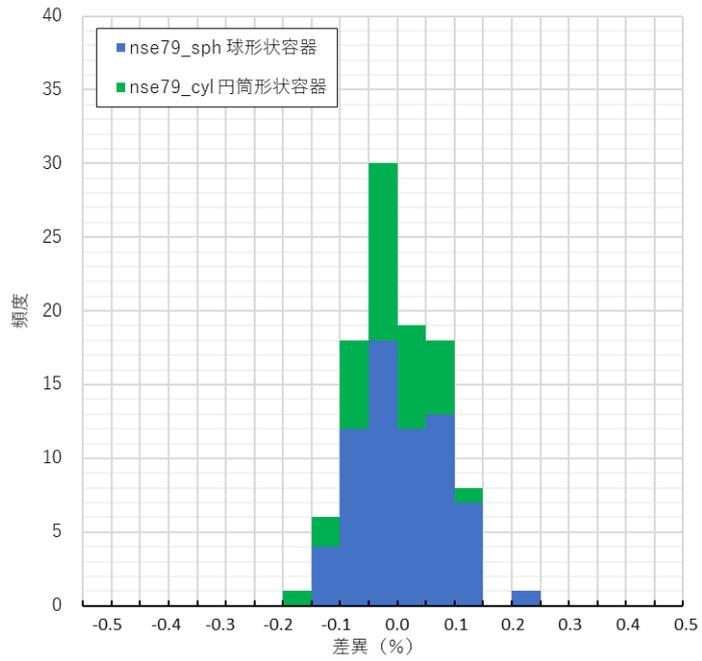


Fig.付録-5.5.1 臨界計算モジュールの影響比較 (Pu 均質系)
 (差異範囲：-0.164~0.232%、平均差異：0.001%、中央値：-0.005%)

This is a blank page.

