



東海再処理施設の臨界安全評価

－初期ウラン濃縮度4.2%の軽水炉低濃縮ウラン燃料及びふげん照射燃料－

Criticality Safety Evaluation in Tokai Reprocessing Plant
- High Burn up LWR UO₂ Spent Fuel and ATR MOX Spent Fuel -

白井 更知 稲野 昌利 福田 一仁 小坂 一郎 山中 淳至

Nobutoshi SHIRAI, Masatoshi INANO, Kazuhito FUKUDA
Ichiro KOSAKA and Atsushi YAMANAKA

東海研究開発センター
核燃料サイクル工学研究所
再処理技術開発センター
技術開発部

Technology Development Department
Tokai Reprocessing Technology Development Center
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories
Tokai Research and Development Center

March 2011

本レポートは独立行政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。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2011

東海再処理施設の臨界安全評価

－初期ウラン濃縮度 4.2 %の軽水炉低濃縮ウラン燃料及びふげん照射燃料－

日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター 核燃料サイクル工学研究所

再処理技術開発センター 技術開発部

白井 更知、稲野 昌利、福田 一仁、小坂 一郎、山中 淳至⁺

(2011年2月10日 受理)

東海再処理施設では集合体当たりの初期ウラン濃縮度最高 4.2 %、燃焼度最高 55,000 MWD/t の軽水炉低濃縮ウラン燃料、新型転換炉原型炉ふげんで照射されたふげん照射燃料（照射用 36 本燃料、照射用セグメント燃料、照射用ガドリニア燃料）を用いた再処理試験を計画している。

一方、東海再処理施設は初期ウラン濃縮度を 4 %として臨界安全設計を行っている。このため初期ウラン濃縮度 4.2 %の軽水炉低濃縮ウラン燃料及びふげん照射燃料について臨界安全評価を行い、臨界安全であることを確認した。

**Criticality Safety Evaluation in Tokai Reprocessing Plant
- High Burn up LWR UO₂ Spent Fuel and ATR MOX Spent Fuel -**

Nobutoshi SHIRAI, Masatoshi INANO, Kazuhito FUKUDA,
Ichiro KOSAKA and Atsushi YAMANAKA⁺

Technology Development Department, Tokai Reprocessing Technology Development Center,
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories, Tokai Research and Development Center,
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received February 10, 2011)

This report presents criticality safety evaluation of each equipment in Tokai reprocessing plant for two types of spent fuels, High burn up 4.2 % enrichment U oxide spent fuel for light water reactor and U-Pu mixed oxide spent fuel for advanced thermal reactor.

As a result, it was confirmed that the equipments were safe enough for two types of the spent fuels from view point of criticality safety of single unit and multiple units.

Keywords: Criticality Safety Evaluation, Tokai Reprocessing Plant, LWR UO₂ Spent Fuel, ATR MOX Spent Fuel

⁺ Reprocessing Operation Department

目 次

1. はじめに -----	1
2. 初期ウラン濃縮度 4.2 %の軽水炉低濃縮ウラン燃料の臨界安全評価 -----	2
2.1 臨界安全評価の方法 -----	2
2.2 単一ユニットの個々の評価条件 -----	4
2.3 複数ユニットの個々の評価条件 -----	10
2.4 臨界安全評価結果 -----	14
3. ふげん照射燃料の臨界安全評価 -----	15
3.1 臨界安全評価の方法 -----	15
3.2 単一ユニットの個々の評価条件 -----	17
3.3 複数ユニットの個々の評価条件 -----	20
3.4 臨界安全評価結果 -----	21
4. ウラン濃縮度 4.2 %の場合の臨界濃度について -----	22
参考文献 -----	24

Contents

1. Introduction -----	1
2. Criticality safety evaluation for LWR 4.2 %UO ₂ spent fuel -----	2
2.1 Method for criticality safety evaluation -----	2
2.2 Condition for Criticality safety evaluation of a single unit -----	4
2.3 Condition for Criticality safety evaluation of multiple units -----	10
2.4 Results -----	14
3. Criticality safety evaluation for ATR MOX spent fuel -----	15
3.1 Method for criticality safety evaluation -----	15
3.2 Condition for Criticality safety evaluation of a single unit -----	17
3.3 Condition for Criticality safety evaluation of multiple units -----	20
3.4 Results -----	21
4. Criticality condition for concentration of enrichment 4.2 % UO ₂ -----	22
References -----	24

表リスト

表 2.1	軽水炉低濃縮ウラン燃料に係る評価対象機器 -----	25
表 2.2	軽水炉低濃縮ウランの評価範囲とした各工程における燃料の形態と解析条件 -----	27
表 2.3	PWR の軽水炉低濃縮ウラン燃料集合体の仕様 -----	28
表 2.4	BWR の軽水炉低濃縮ウラン燃料集合体の仕様 -----	29
表 2.5	軽水炉低濃縮ウラン燃料に対する単一ユニットの臨界評価結果 -----	30
表 2.6	軽水炉低濃縮ウラン燃料に対する複数ユニットの臨界評価結果 -----	34
表 3.1	ふげん照射燃料の初期組成と ^{235}U 等価濃縮度 -----	38
表 3.2	ふげん照射燃料に係る評価対象 -----	39
表 3.3	ふげん照射燃料の評価範囲とした各工程における燃料の形態と解析条件 -----	40
表 3.4	臨界評価で用いるふげん照射燃料の組成 -----	40
表 3.5	ふげん照射燃料の燃料棒の仕様 -----	41
表 3.6	ふげん照射燃料に対する単一ユニットの臨界評価結果 -----	42
表 3.7	ふげん照射燃料に対する複数ユニットの臨界評価結果 -----	44

図リスト

図2.1	初期ウラン濃縮度 4.2 %の軽水炉低濃縮ウラン燃料に係る臨界評価範囲 -----	46
図2.2	貯蔵プールにおける PWR の初期ウラン濃縮度 4.2 %の軽水炉低濃縮ウラン燃料集合体の評価モデル -----	47
図2.3	貯蔵プールにおける BWR の初期ウラン濃縮度 4.2 %の軽水炉低濃縮ウラン燃料集合体の評価モデル -----	48
図2.4	燃料装荷バスケット部最適格子条件サーベイ計算モデル -----	49
図2.5	スラブ部最適濃度サーベイ計算モデル -----	49
図2.6	濃縮ウラン溶解槽 (242R10、R11、R12) の評価モデル -----	50
図2.7	スワーフタンク (242V20) の評価モデル -----	51
図2.8	溶解槽溶液受槽 (243V10) 及び洗浄液受槽 (242V13) の評価モデル -----	52
図2.9	パルスフィルタ (243F16、F16A) の評価モデル -----	53
図2.10	分離第 1 抽出器 (252R11)、分離第 2 抽出器 (253R10)、分離第 3 抽出器 (255R14)、分離第 4 抽出器 (255R15)、分離第 5 抽出器 (255R16)、ウラン精製第 1 抽出器 (261R13) 及びウラン精製第 2 抽出器 (261R15) の評価モデル -----	54
図2.11	受槽 (276V10) の評価モデル -----	54
図2.12	中間貯槽 (276V12、V15) の評価モデル -----	55
図2.13	溢流受槽 (276V30) の評価モデル -----	56
図2.14	ウラン溶液蒸発缶 (第 1 段) (263E11、T12) の評価モデル -----	57
図2.15	濃縮液受槽 (263V17) の評価モデル -----	58
図2.16	希釈槽 (263V18) 及び給液槽 (263V19) の評価モデル -----	59
図2.17	ウラン溶液蒸発缶 (第 2 段) (263E20) の評価モデル -----	60
図2.18	濃縮液受槽 (264V10) の評価モデル -----	61
図2.19	脱硝塔 (下部) (264R11) の評価モデル -----	62
図2.20	UNH 受槽 (263V30、V31) の評価モデル -----	63
図2.21	ウラン貯蔵所の評価モデル -----	64
図2.22	硝酸ウラニル受入計量槽 (P11V13) 及び硝酸ウラニル貯槽 (P11V14) の評価モデル -----	65
図2.23	ドリフトレイの評価モデル -----	66
図2.24	濃縮ウラン溶解セル (R002) の評価モデル -----	67
図2.25	給液調整セル (R006) の評価モデル -----	68
図2.26	分離第 1 セル (R107A) の評価モデル -----	69
図2.27	分離第 2 セル (R109A) の評価モデル -----	70
図2.28	分離第 3 セル (R109B) の評価モデル -----	71
図2.29	ウラン精製セル (R114) の評価モデル -----	72
図2.30	ウラン濃縮脱硝室 (A122、A222、A322) の評価モデル (1/5) ウラン濃縮脱硝室 (A222、A322) の鳥瞰図 -----	73

図2.31	ウラン濃縮脱硝室 (A122、A222、A322) の評価モデル (2/5) ウラン濃縮脱硝室 (A122、A222) の鳥瞰図 -----	74
図2.32	ウラン濃縮脱硝室 (A122、A222、A322) の評価モデル (3/5) ウラン濃縮脱硝室 (A322) 平面図 -----	75
図2.33	ウラン濃縮脱硝室 (A122、A222、A322) の評価モデル (4/5) ウラン濃縮脱硝室 (A222) 平面図 -----	76
図2.34	ウラン濃縮脱硝室 (A122、A222、A322) の評価モデル (5/5) ウラン濃縮脱硝室 (A122) 平面図 -----	77
図2.35	UNH 受槽室 (A016、A017) の評価モデル -----	78
図2.36	プルトニウム溶液受槽 (276V20) の評価モデル -----	79
図2.37	溢流溶媒受槽 (276V21) の評価モデル -----	80
図2.38	リワークセル (R008) の評価モデル -----	81
図3.1	ふげん照射燃料に係る臨界評価範囲 -----	82
図3.2	ふげん照射燃料集合体の評価モデル -----	83
図3.3	貯蔵プールにおけるふげん照射燃料集合体の評価モデル -----	84
図3.4	燃料装荷バスケットの最適格子条件サーベイ計算モデル -----	85
図3.5	スラブ部の最適濃度サーベイ計算モデル -----	86
図3.6	濃縮ウラン溶解槽の評価モデル -----	87
図3.7	スワーフトank (242V20) の評価モデル -----	88
図3.8	溶解槽溶液受槽 (243V10) 及び洗浄液受槽 (242V13) の評価モデル -----	89
図3.9	パルスフィルタ (243F16、F16A) の評価モデル -----	90
図3.10	分離第1抽出器 (252R11)、分離第2抽出器 (253R10)、分離第3抽出器 (255R14) 及び分離第4抽出器 (255R15) の評価モデル -----	91
図3.11	濃縮ウラン溶解セル (R002) の評価モデル -----	92
図3.12	給液調整セル (R006) の評価モデル -----	93
図3.13	分離第1セル (R107A) の評価モデル -----	94
図3.14	分離第2セル (R109A) 内機器の評価モデル -----	95

This is a blank page.

1. はじめに

東海再処理施設では集合体当たりの初期ウラン濃縮度最高 4.2 %、燃焼度最高 55,000 MWD/t の軽水炉低濃縮ウラン燃料、新型転換炉原型炉ふげんで照射されたふげん照射燃料（照射用 36 本燃料、照射用セグメント燃料、照射用ガドリニア燃料）を用いた再処理試験を計画している。

一方、東海再処理施設は初期ウラン濃縮度を 4 %として臨界安全設計を行っているため、初期ウラン濃縮度 4.2 %の軽水炉低濃縮ウラン燃料及びふげん照射燃料について臨界安全評価を行った。

2. 初期ウラン濃縮度 4.2 %の軽水炉低濃縮ウラン燃料の臨界安全評価

初期ウラン濃縮度 4.2 %の軽水炉低濃縮ウラン燃料の臨界安全評価の方法、単一ユニット及び複数ユニットの臨界安全評価結果を以下に示す。

2.1 臨界安全評価の方法

初期ウラン濃縮度 4.2 %の軽水炉低濃縮ウラン燃料の臨界安全評価の方法を以下に示す。軽水炉低濃縮ウラン燃料は、燃焼によりウラン濃縮度が減少しているが、臨界安全評価では、この減少を考慮せずに初期ウラン濃縮度で評価を行った。

2.1.1 評価範囲及び評価対象

東海再処理施設では、初期ウラン濃縮度が 4 %以下の使用済燃料を臨界上安全に処理することができるように設計されており、受入工程からウラン製品貯蔵工程及びプルトニウム転換工程技術開発施設のウランを取り扱う工程の機器等を単一ユニットの評価範囲とした。評価範囲を図 2.1 に、評価対象機器を表 2.1 に示す。

また複数ユニットの評価対象は単一ユニットが複数設置されているセル、室とした。

2.1.2 燃料の形態・解析条件

評価範囲とした各工程の燃料の物理的・化学的形態と解析条件を表 2.2 に示す。

2.1.3 燃料条件

燃料条件は、次のとおりとした。

- (1) 溶解前の固体の燃料は、二酸化ウラン(UO_2)とし、 UO_2 の密度は理論密度の 95 %とした。
- (2) 溶解後の液体の燃料は、硝酸ウラニル水溶液とし、硝酸溶液中の遊離硝酸は無視した。硝酸ウラニル水溶液の密度算出について、臨界安全ハンドブック¹⁾に記載される Moeken の式を用い、溶液温度を 20°Cとして算出した。
- (3) 脱硝後の粉末の燃料は、三酸化ウラン (UO_3)とした。
- (4) 溶解時の燃料について、非均質 $\text{UO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 系で三角格子ピッチと燃料直径をパラメータとして最適格子条件のサーベイ計算を行った。
- (5) 液体の燃料について、全濃度安全形状寸法の機器は、全ウラン濃度をパラメータとして最適濃度のサーベイ計算を行った。核的制限値(濃度)が設定されている機器は、核的制限値の濃度を用いた。核的制限値が設定されていない機器について、当該機器の上流の核的制限値が設定されている機器から、燃料の組成変化なく当該機器に移送され、かつ、当該機器に燃料濃度を増加させる操作がない限り、上流の機器の核的制限値(濃度)を用いた。
- (6) 上記と異なる設定または上記に該当しない設定をする場合は、個々の評価条件に記載した。

2.1.4 評価モデルの作成

機器、セルまたは室のモデル化については、次のとおりとした。

- (1) 評価モデルの寸法について、機器の腐食を考慮し、基本的に腐食代の2倍までを溶液部としてモデル化した。
- (2) 製作公差について、臨界評価上最も厳しい寸法を用いた。
- (3) セルまたは室の形状寸法及び機器の配置は、実寸法によるものとしたが、壁の段差、機器の傾斜等の複雑な形状・配置がある場合は、セルまたは室の形状寸法を小さくする、あるいは、ユニット間の距離を短くするなどして安全側となるよう単純化した。
- (4) 単一ユニットの評価では、機器の外側は基本的に水全反射条件(厚さ 20 cm 以上)とした。
- (5) 複数ユニットの評価では、セルはまたは室の周囲がコンクリート壁、鉄遮蔽の場合がある。コンクリート全反射厚さ(約 40 cm)未満の場合及び鉄遮蔽の場合は、その外側を水全反射条件(厚さ 20 cm 以上)とした。
- (6) 複数ユニットの臨界安全評価では、セルまたは室内の空間水密度をパラメータとして評価した。
- (7) 上記と異なる設定または上記に該当しない設定をする場合は、個々の評価条件に記載した。

2.1.5 計算コード等

- (1) 計算コードは、SCALE4.4a コードシステム²⁾を用いた。核データライブラリは、SCALE 内蔵の 27 群 ENDF/B-IV 核データライブラリを用いた。
- (2) SCALE4.4a の CSAS シーケンス(無次元、一次元の場合は XSDRNPM、三次元の場合は KENO-V.a、VI)を用いて計算を行った。
- (3) KENO-V.a、VI において、単一ユニットの計算では、世代当たりの中性子発生数を 2500、世代数を 410 とし、最初の 10 世代を無条件にスキップさせ、以降の世代をスキップさせた場合、最も統計精度が良くなる(すなわち、標準偏差が最も小さくなる)場合の値を採用した。
- (4) 複数ユニットの計算では、世代あたりの中性子発生数を 4000、世代数を 520 とし、最初の 5 世代を無条件にスキップさせ、単一ユニットと同様に最も統計精度が良くなる場合の値を採用した。

2.1.6 臨界安全の判定

臨界安全ハンドブックに基づき、実効増倍率は 0.95 以下、無限増倍率 k_{∞} は 0.98 以下のとき、臨界安全であると判断した。なお、実効増倍率には標準偏差の 3 倍を加えた値を判定に用いた。

2.2 単一ユニットの個々の評価条件

2.2.1 貯蔵プール

(1) 燃料条件

燃料は、ウラン濃縮度 4.2 % の二酸化ウラン (UO_2) として評価した。

(2) 評価モデル

原子炉設置許可申請書に基づく PWR、BWR の初期ウラン濃縮度 4.2 % の軽水炉低濃縮ウラン燃料集合体の仕様を、それぞれ、表 2.3、表 2.4 に示す。

貯蔵プールにおいて、PWR の軽水炉低濃縮ウラン燃料集合体は面間距離 30 cm で無限に配列しているものとし、BWR の軽水炉低濃縮ウラン燃料集合体は面間距離 12 cm で無限に配列しているものとした。貯蔵プールにおける PWR、BWR の軽水炉低濃縮ウラン燃料集合体の評価モデルを、それぞれ図 2.2、図 2.3 に示す。

2.2.2 濃縮ウラン溶解槽 (242R10、R11、R12)

(1) 燃料条件

濃縮ウラン溶解槽は二つの円筒状の溶解部 (バレル部) と一つの平板状の貯液部 (スラブ部) から構成されている。

バレル部内の燃料装荷バスケット部の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 % の UO_2 として評価した。 UO_2 ペレット密度は理論密度の 95 % とした。

スラブ部の燃料は、硝酸ウラニル水溶液として評価した。硝酸ウラニル水溶液の密度は臨界安全ハンドブック¹⁾に基づき算出した。

バレル部、スラブ部において、次の最適条件のサーベイ計算³⁾を行い、この結果得られた燃料条件で、濃縮ウラン溶解槽の単一ユニットの評価を行った。

- ① バレル部内の燃料装荷バスケット部は、非均質 $\text{UO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 系の最適格子条件のサーベイ計算を行った。
- ② スラブ部は、硝酸ウラニル水溶液の最適濃度サーベイ計算を行った。

(2) 評価モデル

燃料装荷バスケット部非均質 $\text{UO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 系の最適格子条件サーベイ計算モデルを図 2.4 に、スラブ部硝酸ウラニル水溶液の最適濃度サーベイ計算モデルを図 2.5 に示す。また、濃縮ウラン溶解槽の単一ユニットの評価モデルを図 2.6 に示す。濃縮ウラン溶解槽の単一ユニットの評価において、セル内の空間水密度 ($0 \sim 1.0 \text{ g/cm}^3$) をパラメータとして評価した。

2.2.3 スワーフタンク (242V20)

(1) 燃料条件

スワーフタンク (242V20) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 %の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度をパラメータとして評価した。硝酸ウラニル水溶液の密度は臨界安全ハンドブックに基づき算出した。

(2) 評価モデル

スワーフタンク (242V20) の評価モデルを図 2.7 に示す。

2.2.4 溶解槽溶液受槽 (243V10) 及び洗浄液受槽 (242V13)

(1) 燃料条件

溶解槽溶液受槽 (243V10) 及び洗浄液受槽 (242V13) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 %の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度をパラメータとして評価した。硝酸ウラニル水溶液の密度は臨界安全ハンドブックに基づき算出した。

(2) 評価モデル

溶解槽溶液受槽 (243V10) 及び洗浄液受槽 (242V13) の評価モデルを図 2.8 に示す。

2.2.5 パルスフィルタ (243F16、F16A)

(1) 燃料条件

パルスフィルタ (243F16、F16A) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 %の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度をパラメータとして評価した。硝酸ウラニル水溶液の密度は臨界安全ハンドブックに基づき算出した。

(2) 評価モデル

パルスフィルタ (243F16、F16A) の評価モデルを図 2.9 に示す。形状は、無限円柱体系とした。

2.2.6 調整槽 (251V10) 及び給液槽 (251V11)

(1) 燃料条件

調整槽 (251V10) では、臨界安全管理として濃度管理を行っており、ウラン濃度の核的制限値は、240 gU/L 以下である。

軽水炉低濃縮ウラン燃料に対する臨界評価において、調整槽 (251V10) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 %の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を 240 gU/L とした。硝酸ウラニル水溶液の密度は臨界安全ハンドブックに基づき算出した。

給液槽 (251V11) では、調整槽 (251V10) からの溶液が送られてくるため、調整槽 (251V10) と同じ燃料条件とし、ウラン濃度を 240 gU/L とした。

(2) 評価モデル

調整槽 (251V10) 及び給液槽 (251V11) の評価モデルは、無限体系とした。

2.2.7 分離第 1 抽出器 (252R11)、分離第 2 抽出器 (253R10)、分離第 3 抽出器 (255R14)、分離第 4 抽出器 (255R15)、分離第 5 抽出器 (255R16)、ウラン精製第 1 抽出器 (261R13) 及びウラン精製第 2 抽出器 (261R15)

(1) 燃料条件

分離第 1 抽出器 (252R11)、分離第 2 抽出器 (253R10)、分離第 3 抽出器 (255R14)、分離第 4 抽出器 (255R15)、分離第 5 抽出器 (255R16)、ウラン精製第 1 抽出器 (261R13) 及びウラン精製第 2 抽出器 (261R15) では、臨界安全管理として濃度管理を行っており、ウラン濃度の核的制限値は、120 gU/L 以下である。

軽水炉低濃縮ウラン燃料に対する臨界評価において、これらの機器の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 % の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を 120 gU/L とした。硝酸ウラニル水溶液の密度は臨界安全ハンドブックに基づき算出した。

(2) 評価モデル

分離第 1 抽出器 (252R11)、分離第 2 抽出器 (253R10)、分離第 3 抽出器 (255R14)、分離第 4 抽出器 (255R15)、分離第 5 抽出器 (255R16)、ウラン精製第 1 抽出器 (261R13) 及びウラン精製第 2 抽出器 (261R15) の評価モデルを図 2.10 に示す。形状は、無限平板体系とした。

2.2.8 受槽 (276V10)

(1) 燃料条件

受槽 (276V10) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 % の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度をパラメータとして評価した。硝酸ウラニル水溶液の密度は臨界安全ハンドブックに基づき算出した。

(2) 評価モデル

受槽 (276V10) の評価モデルを図 2.11 に示す。

2.2.9 中間貯槽 (276V12、V15)

(1) 燃料条件

中間貯槽 (276V12、V15) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 % の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度をパラメータとして評価した。硝酸ウラニル水溶液の密度は臨界安全ハンドブックに基づき算出した。

(2) 評価モデル

中間貯槽 (276V12、V15) の評価モデルを図 2.12 に示す。

2.2.10 溢流受槽 (276V30)

(1) 燃料条件

溢流受槽 (276V30) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 %の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度をパラメータとして評価した。硝酸ウラニル水溶液の密度は臨界安全ハンドブックに基づき算出した。

(2) 評価モデル

中間貯槽 (276V30) の評価モデルを図 2.13 に示す。

2.2.11 ウラン溶液蒸発缶 (第1段) (263E11、T12)

(1) 燃料条件

ウラン溶液蒸発缶 (第1段) (263E11、T12) では、臨界安全管理として濃度管理を行っており、ウラン濃度の核的制限値は、450 gU/L 以下である。

軽水炉低濃縮ウラン燃料に対する臨界評価において、ウラン溶液蒸発缶 (第1段) (263E11、T12) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 %の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を 450 gU/L とした。硝酸ウラニル水溶液の密度は臨界安全ハンドブックに基づき算出した。

(2) 評価モデル

ウラン溶液蒸発缶 (第1段) (263E11、T12) の評価モデルを図 2.14 に示す。

2.2.12 濃縮液受槽 (263V17)

(1) 燃料条件

濃縮液受槽 (263V17) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 %の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度をパラメータとして評価した。硝酸ウラニル水溶液の密度は臨界安全ハンドブックに基づき算出した。

(2) 評価モデル

濃縮液受槽 (263V17) の評価モデルを図 2.15 に示す。

2.2.13 希釈槽 (263V18) 及び給液槽 (263V19)

(1) 燃料条件

希釈槽 (263V18) 及び給液槽 (263V19) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 %の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度をパラメータとして評価した。硝酸ウラニル水溶液の密度は臨界安全ハンドブックに基づき算出した。

(2) 評価モデル

希釈槽 (263V18) 及び給液槽 (263V19) の評価モデルを図 2.16 に示す。

2.2.14 ウラン溶液蒸発缶（第2段）（263E20）

(1) 燃料条件

ウラン溶液蒸発缶（第2段）（263E20）の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 %の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度をパラメータとして評価した。硝酸ウラニル水溶液の密度は臨界安全ハンドブックに基づき算出した。

(2) 評価モデル

ウラン溶液蒸発缶（第2段）（263E20）の評価モデルを図 2.17 に示す。

2.2.15 濃縮液受槽（264V10）

(1) 燃料条件

濃縮液受槽（264V10）の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 %の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度をパラメータとして評価した。硝酸ウラニル水溶液の密度は臨界安全ハンドブックに基づき算出した。

(2) 評価モデル

濃縮液受槽（264V10）の評価モデルを図 2.18 に示す。

2.2.16 脱硝塔（下部）（264R11）

(1) 燃料条件

脱硝塔（下部）（264R11）の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 %の UO_3 とし、非均質 $\text{UO}_3\text{-H}_2\text{O}$ 系の格子条件をパラメータとして評価した。

(2) 評価モデル

脱硝塔（下部）（264R11）の評価モデルを図 2.19 に示す。形状は無限円柱体系とした。

2.2.17 UNH 受槽（263V30、V31）

(1) 燃料条件

UNH 受槽（263V30、V31）の燃料は、ウラン濃縮度 4.2%の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を 1050 gU/L（最適濃度）として評価した。硝酸ウラニル水溶液の密度は臨界安全ハンドブックに基づき算出した。

(2) 評価モデル

UNH 受槽（263V30、V31）の評価モデルを図 2.20 に示す。形状は、無限平板体系とした。

2.2.18 ウラン貯蔵所

(1) 燃料条件

ウラン貯蔵所の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 %の三酸化ウラン (UO_3) として評価した。三酸化ウラン容器内において、 UO_3 粉末の密度は安全側に 3.0 g/cm^3 とし、水を充填させた。

(2) 評価モデル

ウラン貯蔵所の単一ユニットの評価モデルを図 2.21 に示す。ウラン貯蔵所の単一ユニットの評価において、三酸化ウラン容器周辺の空間水密度 ($0 \sim 1.0 \text{ g/cm}^3$) をパラメータとして評価した。

2.2.19 硝酸ウラニル受入計量槽 (P11V13) 及び硝酸ウラニル貯槽 (P11V14)

(1) 燃料条件

プルトニウム転換技術開発施設の硝酸ウラニル受入計量槽 (P11V13) 及び硝酸ウラニル貯槽 (P11V14) では、臨界安全管理として濃度管理を行っており、ウラン濃度の核的制限値は、 450 gU/L 以下である。

軽水炉低濃縮ウラン燃料に対する臨界評価において、これらの機器の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 %の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を 450 gU/L とした。硝酸ウラニル水溶液の密度は臨界安全ハンドブックに基づき算出した。

(2) 評価モデル

硝酸ウラニル受入計量槽 (P11V13) 及び硝酸ウラニル貯槽 (P11V14) の評価モデルを図 2.22 に示す。2 槽が同一平面上に配置されており、形状は、無限平板体系とした。

2.2.20 ドリップトレイ

(1) 燃料条件

ドリップトレイの燃料は、ウラン濃縮度 4.2 %の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度をパラメータとして評価した。硝酸ウラニル水溶液の密度は臨界安全ハンドブックに基づき算出した。

(2) 評価モデル

ドリップトレイの評価モデルを図 2.23 に示す。

2.3 複数ユニットの個々の評価条件

2.3.1 濃縮ウラン溶解セル (R002)

(1) 燃料条件

濃縮ウラン溶解槽 (242R11) の燃料装荷バスケット部の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 % の UO_2 とし、非均質 $\text{UO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 系の最適格子条件 (三角格子ピッチ 1.15 cm、燃料直径 0.60 cm) とした。濃縮ウラン溶解槽のスラブ部の燃料は、硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を最適濃度の 1000 gU/L とした。

スワーフタンク (242V20) の燃料は、硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を最適濃度の 1000 gU/L とした。

(2) 評価モデル

濃縮ウラン溶解セル (R002) の評価モデルを図 2.24 に示す。ユニット間の空間水密度 ($0\sim 1.0\text{ g/cm}^3$) をパラメータとして評価した。

2.3.2 給液調整セル (R006)

(1) 燃料条件

溶解槽溶液受槽 (243V10) 及び洗浄液受槽 (242V13) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 % の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を最適濃度の 1100 gU/L とした。

パルスフィルタ給液槽 (243V14)、パルス発生槽 (243V17)、調整槽 (251V10) 及び給液槽 (251V11) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 % の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を 240 gU/L (調整槽 (251V10) の核的制限値) とした。

(2) 評価モデル

給液調整セル (R006) の評価モデルを図 2.25 に示す。ユニット間の空間水密度 ($0\sim 1.0\text{ g/cm}^3$) をパラメータとして評価した。

2.3.3 分離第 1 セル (R107A)

(1) 燃料条件

希釈剤洗浄器 (252R101~R103)、分離第 1 抽出器の抽出部 (252R1101~R1109) 及び分離第 1 抽出器の洗浄部 (252R1110~R1117) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 % の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を核的制限値の 120 gU/L とした。

パルスフィルタ (243F16) の燃料は、ウラン濃度を最適濃度の 1050 gU/L とした。

(2) 評価モデル

分離第 1 セル (R107A) の評価モデルを図 2.26 に示す。ユニット間の空間水密度 ($0\sim 1.0\text{ g/cm}^3$) をパラメータとして評価した。

2.3.4 分離第2セル (R109A)

(1) 燃料条件

分離第2抽出器 (253R1001~R1012)、分離第3抽出器の抽出部 (255R1401~R1407 及び 255R1408~R1414)、分離第3抽出器の洗浄部 (255R1415~R1421)、分離第4抽出器のウラン洗浄部 (255R1501~R1504) 及び分離第4抽出器のプルトニウム逆抽出部 (255R1505~R1511) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 %の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を核的制限値の 120 gU/L とした。

調整槽 (255V11) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 %の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を当該機器の上流の核的制限値が設定されている機器の核的制限値の 120 gU/L とした。

(2) 評価モデル

分離第2セル (R109A) の評価モデルを図 2.27 に示す。ユニット間の空間水密度 (0~1.0 g/cm³) をパラメータとして評価した。

2.3.5 分離第3セル (R109B)

(1) 燃料条件

中間貯槽 (255V12) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 %の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を当該機器の上流の核的制限値が設定されている機器の核的制限値の 120 gU/L とした。

分離第5抽出器 (255R161~R169) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 %の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を核的制限値の 120 gU/L とした。

(2) 評価モデル

分離第3セル (R109B) の評価モデルを図 2.28 に示す。ユニット間の空間水密度 (0~1.0 g/cm³) をパラメータとして評価した。

2.3.6 ウラン精製セル (R114)

(1) 燃料条件

調整槽 (261V11) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 %の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を当該機器の上流の核的制限値が設定されている機器の核的制限値の 120 gU/L とした。

ウラン精製第1抽出器の抽出部 (261R1301~R1306)、ウラン精製第1抽出器の洗浄部 (261R1307~R1312) 並びに希釈剤洗浄器 (261R141~R143) 及びウラン精製第2抽出器 (261R151~R157) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 %の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を核的制限値の 120 gU/L とした。

中間貯槽 (261V12) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 %の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を濃度制限値の 64 gU/L とした。

(2) 評価モデル

ウラン精製セル (R114) の評価モデルを図 2.29 に示す。ユニット間の空間水密度 ($0\sim 1.0\text{ g/cm}^3$) をパラメータとして評価した。

2.3.7 ウラン濃縮脱硝室 (A122、A222、A322)

(1) 燃料条件

ウラン溶液蒸発缶 (第 1 段) (263E11、T12) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 % の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を核的制限値の 450 gU/L とした。

濃縮液受槽 (263V17) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 % の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を最適濃度の 1100 gU/L とした。

希釈槽 (263V18) 及び給液槽 (263V19)、並びにウラン溶液蒸発缶 (第 2 段) (263E20) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 % の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を最適濃度の 1050 gU/L とした。

ダネード給液槽 (263V103) 及び呼水槽 (263V105) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 % の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を当該機器の上流の核的制限値が設定されている機器の核的制限値の 120 gU/L とした。

呼水槽 (263V162)、ダネード給液槽 (263V193) 及び呼水槽 (263V195)、並びに濃縮液受槽 (264V10) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 % の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を最適濃度の 1000 gU/L とした。

脱硝塔 (コニカル部) (264R11) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 % の三酸化ウラン (UO_3) とし、 UO_3 粉末の密度を 4.0 g/cm^3 、 UO_3 粉末の空隙部の水密度を $6.0\text{E-}04\text{ g/cm}^3$ とした。

脱硝塔 (下部 (流動層部)) (264R11) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 % の UO_3 とし、非均質 $\text{UO}_3\text{-H}_2\text{O}$ 系の最適格子条件 (三角格子ピッチ 0.90 cm 、燃料直径 0.50 cm) とした。

冷却器 (264X115)、三酸化ウラン容器 (製品用)、及び三酸化ウラン循環容器 (種用) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 % の三酸化ウラン (UO_3) とし、 UO_3 粉末の密度を 4.0 g/cm^3 、 UO_3 粉末の含水率を 4.0 % とした。

(2) 評価モデル

ウラン濃縮脱硝室 (A122、A222、A322) の評価モデルを図 2.30～図 2.34 に示す。ユニット間の空間水密度 ($0\sim 1.0\text{ g/cm}^3$) をパラメータとして評価した。

2.3.8 UNH 受槽室 (A016、A017)

(1) 燃料条件

UNH 受槽 (263V30、V31) の燃料は、ウラン濃縮度 4.2 % の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を最適濃度の 1050 gU/L とした。

(2) 評価モデル

UNH 受槽室 (A016、A017) の評価モデルを図 2.35 に示す。ユニット間の空間水密度 ($0\sim 1.0\text{ g/cm}^3$) をパラメータとして評価した。

2.3.9 リワークセル (R008) ⁴⁾

リワークセル(R008)には、複数ユニットとして考慮する機器として、受槽(276V10)、溢流受槽(276V30)、中間受槽(276V12、V15)、プルトニウム溶液受槽(276V20)、溢流溶媒受槽(276V21)が設置されている。

リワーク工程は、機器の除染、溢流、ドリフトレイの液抜きにより生じる溶液を受入れ、ウランとプルトニウムを回収するために再処理の各工程に送るか、または廃液として廃液処理工程へ送る工程である。

溢流受槽(276V30)は、ウラン系(溶解、分離、ウラン精製、溶媒回収工程等)の各機器からの溢流液を受入れ、この液は受槽(276V10)へ送液される。また、受槽(276V10)はウラン系(分離、ウラン精製、溶媒回収工程)の各機器及びドリフトレイからの液を受入れる。

プルトニウム溶液受槽(276V20)は、プルトニウム系(プルトニウム精製、プルトニウム濃縮工程)の各機器からのプルトニウムを含有する溶液または溢流液を受入れる。受入れた液のうち、有機相は溢流により溢流溶媒受槽(276V21)へ送られる。

(1) 燃料条件

受槽(276V10)の燃料は、ウラン濃縮度4.2%の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を最適濃度の1100 gU/Lとした。

溢流受槽(276V30)の燃料は、ウラン濃縮度4.2%の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を最適濃度の1100 gU/Lとした。

中間受槽(276V12、V15)の燃料は、ウラン濃縮度4.2%の硝酸ウラニル水溶液とし、ウラン濃度を最適濃度の1100 gU/Lとした。

プルトニウム溶液受槽(276V20)の燃料は、²³⁹Pu 100%の硝酸プルトニウム溶液とし、プルトニウム濃度を最適濃度の550 gPu/Lとした。

溢流溶媒受槽(276V21)の燃料は、²³⁹Pu 100%の硝酸プルトニウム溶液とし、プルトニウム濃度を最適濃度の600 gPu/Lとした。

(2) 評価モデル

リワークセル(R008)内機器のうち、プルトニウム系機器の評価モデルを図 2.36、図 2.37 に、リワークセル(R008)の評価モデルを図 2.38 に示す。ユニット間の空間水密度 ($0\sim 1.0\text{ g/cm}^3$) をパラメータとして評価した。

2.4 臨界安全評価結果

単一ユニット、複数ユニットの評価結果を表 2.5、表 2.6 に示す。

単一ユニット、複数ユニットいずれにおいても十分臨界安全である結果が得られた。

3. ふげん照射燃料の臨界安全評価

東海再処理施設では、低濃縮ウラン燃料について、初期ウラン濃縮度が 4 %以下の使用済燃料を臨界上安全に処理することができるように設計されている。ふげん照射燃料を東海再処理施設で処理する場合において、ふげん照射燃料は、初期核分裂物質質量が最高 3.5 %であるが、 ^{239}Pu 、 ^{241}Pu を反応度的に等価な ^{235}U に換算するとウラン濃縮度が 4 %を超える(表 3.1 参照)。

このため、ウランとプルトニウムが混在する工程について、臨界安全上問題ないことを確認した。

ふげん照射燃料の臨界安全評価の方法、単一ユニット及び複数ユニットの臨界安全評価結果を以下に示す。

3.1 臨界安全評価の方法

ふげん照射燃料の臨界安全評価の方法を以下に示す。

3.1.1 評価範囲及び評価対象

臨界評価の範囲について、ウランとプルトニウムが混在する工程、すなわち、受入貯蔵工程からウランとプルトニウムが分離される分離第 2 サイクルの分離第 4 抽出器の機器等を単一ユニットの評価範囲とした。評価範囲を図 3.1 に、評価対象機器を表 3.2 に示す。また複数ユニットの評価対象は単一ユニットが複数設置されているセル、室とした。

なお、ウランとプルトニウムの分離後は、ウランはウラン濃縮度 4 %、プルトニウムは ^{239}Pu が 100 %として臨界管理設計がされていることから、以降の工程の臨界安全性はこれまで通りの臨界安全が確保されている。

3.1.2 燃料の形態・解析条件

評価範囲とした各工程における燃料の物理的・化学的形態と解析条件を表 3.3 に示す。

3.1.3 燃料条件の設定

燃料条件は、次のとおりとした。

- (1) 初期核分裂物質質量は、ふげん照射燃料の中で最高の 3.5 %とした。
- (2) 初期プルトニウム同位体割合は燃料の燃焼及び冷却の変動を考慮し、 ^{239}Pu : ^{240}Pu : ^{241}Pu = 80 : 10 : 10 とした。
- (3) ウラン濃縮度は 0.7 %とし、プルトニウム富化度 ($\text{Pu}/(\text{Pu}+\text{U})$) は 3.135 %とした。表 3.4 に臨界評価で用いるふげん照射燃料の組成を示す。
- (4) 溶解前の固体の燃料は、二酸化ウラン (UO_2) - 二酸化プルトニウム (PuO_2) 混合酸化物とし、 UO_2 - PuO_2 混合酸化物の密度は理論密度の 95 %とした。

- (5) 溶解後の液体の燃料は、硝酸ウラニル-硝酸プルトニウム混合水溶液とし、硝酸溶液中の遊離硝酸は無視した。硝酸ウラニル-硝酸プルトニウム混合水溶液の密度算出について、臨界安全ハンドブック¹⁾に記載される Moeken 及び Maimoni の式を用い、溶液温度を 20°C として算出した。
- (6) 溶解時の燃料について、非均質 $\text{UO}_2\text{-PuO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 系で三角格子ピッチと燃料直径をパラメータとして最適格子条件のサーベイ計算を行った。
- (7) 液体の燃料について、全濃度安全形状寸法の機器は、硝酸ウラニル-硝酸プルトニウム混合水溶液の全濃度 (U+Pu) をパラメータとして最適濃度のサーベイ計算を行った。核的制限値 (濃度) が設定されている機器は、核的制限値の濃度を用いた。核的制限値が設定されていない機器について、当該機器の上流の核的制限値が設定されている機器から、燃料の組成変化なく当該機器に移送され、かつ、当該機器に燃料濃度を増加させる操作がない限り、上流の機器の核的制限値 (濃度) を用いた。
- (8) 上記と異なる設定または上記に該当しない設定をする場合は、個々の評価条件に記載した。

3.1.4 評価モデルの作成

機器、セルまたは室のモデル化については、次のとおりとした。

- (1) 評価モデルの寸法について、機器の腐食を考慮し、基本的に腐食代の 2 倍までを溶液部としてモデル化した。
- (2) 製作公差について、臨界評価上最も厳しい寸法を用いた。
- (3) セルまたは室の形状寸法及び機器の配置は、実寸法によるものとしたが、壁の段差、機器の傾斜等の複雑な形状・配置がある場合は、セルまたは室の形状寸法を小さくする、あるいは、ユニット間の距離を短くするなどして安全側となるよう単純化した。
- (4) 単一ユニットの評価では、機器の外側は基本的に水全反射条件 (厚さ 20 cm 以上) とした。
- (5) 複数ユニットの評価では、セルはまたは室の周囲がコンクリート壁、鉄遮蔽の場合がある。コンクリート全反射厚さ (約 40 cm) 未満の場合及び鉄遮蔽の場合は、その外側を水全反射条件 (厚さ 20 cm 以上) とした。
- (6) 複数ユニットの臨界安全評価では、セルまたは室内の空間水密度をパラメータとして評価した。
- (7) 上記と異なる設定または上記に該当しない設定をする場合は、個々の評価条件に記載した。

3.1.5 計算コード等

- (1) 計算コードは、SCALE4.4a コードシステム²⁾を用いた。核データライブラリは、SCALE 内蔵の 27 群 ENDF/B-IV 核データライブラリを用いた。

- (2) SCALE4.4a の CSAS シーケンス（無次元、一次元の場合は XSDRNPM、三次元の場合は KENO-V.a）を用いて計算を行った。
- (3) KENO-V.a、VIにおいて、単一ユニットの計算では、世代当たりの中性子発生数を 2500、世代数を 410 とし、最初の 10 世代を無条件にスキップさせ、以降の世代をスキップさせた場合、最も統計精度が良くなる（すなわち、標準偏差が最も小さくなる）場合の値を採用した。
- (4) 複数ユニットの計算では、世代あたりの中性子発生数を 4000、世代数を 520 とし、最初の 5 世代を無条件にスキップさせ、単一ユニットと同様に最も統計精度が良くなる場合の値を採用した。

3.1.6 臨界安全の判定方法

臨界安全ハンドブックに基づき、実効増倍率は 0.95 以下、無限増倍率 k_{∞} は 0.98 以下のとき、臨界安全であると判断した。なお、実効増倍率には標準偏差の 3 倍を加えた値を判定に用いた。

3.2 単一ユニットの個々の評価条件

3.2.1 貯蔵プール

(1) 燃料条件

燃料は $\text{UO}_2\text{-PuO}_2$ 混合酸化物として評価した。 $\text{UO}_2\text{-PuO}_2$ 混合酸化物の理論密度は臨界安全ハンドブックに基づき算出し、ペレット密度は原子炉設置変更許可申請書に基づき理論密度の 95 % とした。

(2) 評価モデル

ふげん照射燃料集合体の評価モデルを図 3.2 に、燃料棒の仕様を表 3.5 に示す。貯蔵プールにおいて、ふげん照射燃料集合体は面間距離 12cm で無限に配列しているものとした。貯蔵プールにおけるふげん照射燃料集合体の評価モデルを図 3.3 に示す。

3.2.2 濃縮ウラン溶解槽（242R10、R11、R12）

(1) 燃料条件

濃縮ウラン溶解槽は二つの円筒状の溶解部（バレル部）と一つの平板状の貯液部（スラブ部）から構成されている。

バレル部内の燃料装荷バスケット部の燃料は、 $\text{UO}_2\text{-PuO}_2$ 混合酸化物として評価した。 $\text{UO}_2\text{-PuO}_2$ 混合酸化物の理論密度は臨界安全ハンドブックに基づき算出し、ペレット密度は原子炉設置変更許可申請書に基づき理論密度の 95 % とした。

スラブ部の燃料は、硝酸ウラニル-硝酸プルトニウム混合水溶液として評価した。硝酸ウラニル-硝酸プルトニウム混合水溶液の密度は臨界安全ハンドブック

に基づき算出した。

バレル部、スラブ部において、次の最適条件のサーベイ計算³⁾を行い、この結果得られた燃料条件で、濃縮ウラン溶解槽の単一ユニットの評価を行った。

- ① バレル部内の燃料装荷バスケット部は、非均質 $\text{UO}_2\text{-PuO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 系の最適格子条件のサーベイ計算を行った。
- ② スラブ部は、硝酸ウラニル-硝酸プルトニウム混合水溶液の最適濃度サーベイ計算を行った。

(2) 評価モデル

燃料装荷バスケット部非均質 $\text{UO}_2\text{-PuO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 系の最適格子条件サーベイ計算モデルを図 3.4 に、スラブ部硝酸ウラニル-硝酸プルトニウム混合水溶液の最適濃度サーベイ計算モデルを図 3.5 に示す。また、濃縮ウラン溶解槽の単一ユニットの評価モデルを図 3.6 に示す。濃縮ウラン溶解槽の単一ユニットの評価において、セル内の空間水密度 ($0\sim 1.0\text{ g/cm}^3$) をパラメータとして評価した。

3.2.3 スローフタンク (242V20)

(1) 燃料条件

スローフタンク (242V20) の燃料は、硝酸ウラニル-硝酸プルトニウム混合水溶液とし、混合水溶液の濃度 (U+Pu) をパラメータとして評価した。硝酸ウラニル-硝酸プルトニウム混合水溶液の密度は臨界安全ハンドブックに基づき算出した。

(2) 評価モデル

スローフタンク (242V20) の評価モデルを図 3.7 に示す。

3.2.4 溶解槽溶液受槽 (243V10) 及び洗浄液受槽 (242V13)

(1) 燃料条件

溶解槽溶液受槽 (243V10) 及び洗浄液受槽 (242V13) の燃料は、硝酸ウラニル-硝酸プルトニウム混合水溶液とし、混合水溶液の濃度 (U+Pu) をパラメータとして評価した。硝酸ウラニル-硝酸プルトニウム混合水溶液の密度は臨界安全ハンドブックに基づき算出した。

(2) 評価モデル

溶解槽溶液受槽 (243V10) 及び洗浄液受槽 (242V13) の評価モデルを図 3.8 に示した。

3.2.5 パルスフィルタ (243F16、F16A)

(1) 燃料条件

パルスフィルタ (243F16、F16A) の燃料は、硝酸ウラニル-酸プルトニウム混合水溶液とし、混合水溶液の濃度 (U+Pu) をパラメータとして評価した。硝酸ウラニル-硝酸プルトニウム混合水溶液の密度は臨界安全ハンドブックに基づき算出した。

(2) 評価モデル

パルスフィルタ (243F16、F16A) の評価モデルを図 3.9 に示す。形状は、無限円柱体系とした。

3.2.6 調整槽 (251V10) 及び給液槽 (251V11)

(1) 燃料条件

調整槽 (251V10) では、臨界安全管理として濃度管理を行っており、ウラン濃度の核的制限値は、240 gU/L 以下である。

ふげん照射燃料に対する臨界評価において、調整槽 (251V10) の燃料は、硝酸ウラニル-硝酸プルトニウム混合水溶液とし、ウラン濃度を 240 gU/L とした。プルトニウム濃度は、Pu 富化度 3.135 %より算出して 7.77 gPu/L とした。硝酸ウラニル-硝酸プルトニウム混合水溶液の密度は臨界安全ハンドブックに基づき算出した。

給液槽 (251V11) では、調整槽 (251V10) からの溶液が送られてくるため、調整槽 (251V10) と同じ燃料条件とし、ウラン濃度を 240 gU/L、プルトニウム濃度を 7.77 gPu/L とした。

(2) 評価モデル

調整槽 (251V10) 及び給液槽 (251V11) の評価モデルは、無限体系とした。

3.2.7 分離第 1 抽出器 (252R11)、分離第 2 抽出器 (253R10)、分離第 3 抽出器 (255R14) 及び分離第 4 抽出器 (255R15)

(1) 燃料条件

分離第 1 抽出器 (252R11)、分離第 2 抽出器 (253R10)、分離第 3 抽出器 (255R14) 及び分離第 4 抽出器 (255R15) では、臨界安全管理として濃度管理を行っており、ウラン濃度の核的制限値は、120 gU/L 以下である。

ふげん照射燃料に対する臨界評価において、分離第 1 抽出器 (252R11)、分離第 2 抽出器 (253R10)、分離第 3 抽出器 (255R14) 及び分離第 4 抽出器 (255R15) の燃料は、硝酸ウラニル-硝酸プルトニウム混合水溶液とし、ウラン濃度を 120 gU/L とした。

プルトニウム濃度は、Pu 富化度 3.135 %より算出して 3.89 gPu/L とした。硝酸ウラニル-硝酸プルトニウム混合水溶液の密度は臨界安全ハンドブックに基づき算出した。

(2) 評価モデル

分離第 1 抽出器(252R11)、分離第 2 抽出器(253R10)、分離第 3 抽出器(255R14)及び分離第 4 抽出器(255R15)の評価モデルを図 3.10 に示す。形状は、無限平板体系とした。

3.3 複数ユニットの個々の評価条件

3.3.1 貯蔵プール濃縮ウラン溶解セル (R002)

(1) 燃料条件

濃縮ウラン溶解槽(242R11)の燃料装荷バスケット部の燃料条件は、非均質 $UO_2-PuO_2-H_2O$ 系の最適格子条件である三角格子ピッチ 1.20 cm、燃料直径 0.55 cm とした。濃縮ウラン溶解槽のスラブ部の燃料条件は、最適濃度である 850 g (U+Pu) /L とした。

スワーフタンク(242V20)の燃料条件は、最適濃度である 800 g (U+Pu) /L とした。

(2) 評価モデル

濃縮ウラン溶解セル(R002)の評価モデルを図 3.11 に示す。ユニット間の空間水密度 ($0\sim 1.0\text{ g/cm}^3$) をパラメータとして評価した。

3.3.2 給液調整セル (R006)

(1) 燃料条件

溶解槽溶液受槽(243V10)及び洗浄液受槽(242V13)の燃料条件は、最適濃度である 900 g (U+Pu) /L とした。

パルスフィルタ給液槽(243V14)、パルス発生槽(243V17)、調整槽(251V10)及び給液槽(251V11)の燃料条件は、ウラン濃度を 240 gU/L、プルトニウム濃度を 7.77 gPu/L とした。

(2) 評価モデル

給液調整セル(R006)の評価モデルを図 3.12 に示す。ユニット間の空間水密度 ($0\sim 1.0\text{ g/cm}^3$) をパラメータとして評価した。

3.3.3 分離第1セル (R107A)

(1) 燃料条件

希釈剤洗浄器 (252R101~R103)、分離第1抽出器の抽出部 (252R1101~R1109) 及び分離第1抽出器の洗浄部 (252R1110~R1117) の燃料条件は、ウラン濃度を 120 gU/L、プルトニウム濃度を 3.89 gPu/L とした。

パルスフィルタ (243F16) の燃料条件は、最適濃度である 850 g (U+Pu) /L とした。

(2) 評価モデル

分離第1セル (R107A) の評価モデルを図 3.13 に示す。ユニット間の空間水密度 (0~1.0 g/cm³) をパラメータとして評価した。

3.3.4 分離第2セル (R109A)

(1) 燃料条件

分離第2抽出器 (253R1001~R1012)、調整槽 (255V11)、分離第3抽出器の抽出部 (255R1401~R1407 及び 255R1408~R1414)、分離第3抽出器の洗浄部 (255R1415~R1421)、分離第4抽出器のウラン洗浄部 (255R1501~R1504) 及び分離第4抽出器のプルトニウム逆抽出部 (255R1505~R1511) の燃料条件は、ウラン濃度を 120 gU/L、プルトニウム濃度を 3.89 gPu/L とした。

(2) 評価モデル

分離第2セル (R109A) の評価モデルを図 3.14 に示す。ユニット間の空間水密度 (0~1.0 g/cm³) をパラメータとして評価した。

3.4 臨界安全評価結果

単一ユニット、複数ユニットの評価結果を表 3.6、表 3.7 に示す。

単一ユニット、複数ユニットいずれにおいても十分臨界安全である結果が得られた。

4. ウラン濃縮度 4.2 % の場合の臨界濃度について

低濃縮ウラン燃料を再処理する場合の臨界安全上の裕度を把握する観点から、ウラン濃縮度 4.2 % の硝酸ウラニル水溶液 ($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 体系について、各機器の臨界濃度の評価を行った。

評価の対象となるのは下記のものである。

- 1) 無限体系
- 2) 32.2 cm の無限平板
- 3) 42.2 cm の無限平板
- 4) 直径 39.2 cm の無限円柱
- 5) 直径 35 cm の無限円柱

4.1 無限体系

臨界安全ハンドブック¹⁾に記載の値を内挿して求めた。ハンドブックの値は下表のとおりである。

濃縮度 (%)	臨界濃度 (gU/L)
4	428
5	323
10	144
20	68.8

上記の値から log-log4 点補間により、4.2 % 濃縮度の臨界濃度は 396 gU/L となり、これを丸めて 390 gU/L とした。

4.2 平板厚 32.2 cm の無限平板 (両側に 20 cm の水反射体を考慮)

SCALE コードシステム/CSAS1X シーケンス (1次元輸送計算) による計算結果は次のとおりとなる。

濃度 (gU/L)	K _{eff}
610	0.9830
620	0.9866
630	0.9902

以上から 0.99³⁾ となるのは 620~630 gU/L であり、臨界濃度を 620 gU/L とした。

4.3 平板厚 42.2 cm の無限平板（両側に 20 cm の水反射体を考慮）

SCALE コードシステム/CSAS1X シーケンス（1次元輸送計算）による計算結果は下記のとおりとなる。

濃度 (gU/L)	K_{eff}
510	0.9839
520	0.9894
530	0.9947

以上から 0.99³⁾ となるのは 520～530 gU/L であり、臨界濃度を 520 gU/L とした。

4.4 直径 39.2 cm の無限円柱（周囲に 20 cm の水反射体を考慮）

SCALE コードシステム/CSAS1X シーケンス（1次元輸送計算）による計算結果は下記のとおりとなる。

濃度 (gU/L)	K_{eff}
1000	0.9462
1100	0.9468
1200	0.9434

以上から臨界には到達しない。

4.5 直径 35 cm の無限円柱（周囲に 20 cm の水反射体を考慮）

SCALE コードシステム/CSAS1X シーケンス（1次元輸送計算）による計算結果は次のとおりとなる。

濃度 (gU/L)	K_{eff}
1000	0.9051
1100	0.9052
1200	0.9014

以上から臨界には到達しない。

参考文献（または引用文献）

- 1) “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編, につかん書房 (1988)
- 2) “SCALE : A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation”, Radiation Safety Information Computational Center, CCC-545, (1999)
- 3) 白井更知、中島正義、高谷暁和、大沼秀行、白水秀知、林晋一郎、由川幸次、須藤俊幸 : “東海再処理施設の臨界安全評価”, JNC TN8410 2000-006, 核燃料サイクル開発機構, (2000)
- 4) 白井更知、田口克也、飯塚昇司、大部智行、佐藤信晴、須藤俊幸 : “東海再処理施設の複数ユニットの臨界安全評価”, JNC TN8410 99-055, 核燃料サイクル開発機構, (1999)

表 2.1 軽水炉低濃縮ウラン燃料に係る評価対象機器 (1/2)

施設名	機器名	機器設置場所
貯蔵施設	貯蔵プール	—
溶解施設	濃縮ウラン溶解槽 (242R12)	R003
附属施設 (濃縮ウラン溶解槽の遠隔補修 技術開発設備)	濃縮ウラン溶解槽 (242R10)	R001
	濃縮ウラン溶解槽 (242R11)	R002
溶解施設	スローフタンク (242V20)	R002
溶解施設	溶解槽溶液受槽 (243V10)	R006
溶解施設	洗浄液受槽 (242V13)	R006
溶解施設	パルスフィルタ (243F16)	R107A
溶解施設	パルスフィルタ (243F16A)	R026
溶解施設	調整槽 (251V10)	R006
溶解施設	給液槽 (251V11)	R006
分離施設	分離第1抽出器 (252R11)	R107A
分離施設	分離第2抽出器 (253R10)	R109A
分離施設	分離第3抽出器 (255R14)	R109A
分離施設	分離第4抽出器 (255R15)	R109A
分離施設	分離第5抽出器 (255R16)	R109B
精製施設	ウラン精製第1抽出器 (261R13)	R114
精製施設	ウラン精製第2抽出器 (261R15)	R114
分離施設	受槽 (276V10)	R008
分離施設	中間受槽 (276V12、V15)	R008
分離施設	溢流受槽 (276V30)	R008

表 2.1 軽水炉低濃縮ウラン燃料に係る評価対象機器 (2/2)

施設名	機器名	機器設置場所
精製施設	ウラン溶液蒸発缶 (第1段) (263E11、T12)	A122、A222、A322
精製施設	濃縮液受槽 (263V17)	A122、A222、A322
精製施設	希釈槽 (263V18)	A122、A222、A322
精製施設	給液槽 (263V19)	A122、A222、A322
脱硝施設	ウラン溶液蒸発缶 (第2段) (263E20)	A122、A222、A322
脱硝施設	濃縮液受槽 (264V10)	A122、A222、A322
脱硝施設	脱硝塔 (下部) (264R11)	A122、A222、A322
脱硝施設	UNH 受槽 (263V30、V31)	A016、A017
製品貯蔵施設	ウラン貯蔵所	—
プルトニウム転換 技術開発施設	硝酸ウラニル受入計量槽 (P11V13) 及び 硝酸ウラニル貯槽 (P11V14)	A027
—	ドリフトレイ	—

表 2.2 軽水炉低濃縮ウランの評価範囲とした各工程における燃料の形態と解析条件

工程	工程での形態		解析条件		
	物理的	化学的	解析での 形態	核分 裂性 物質	ウラン 濃縮度 (%)
受入貯蔵	固体	$\text{UO}_2\text{-PuO}_2$	UO_2	^{235}U	4.2
せん断処理	固体	$\text{UO}_2\text{-PuO}_2$	UO_2	^{235}U	4.2
溶解	固体-液体	$\text{UO}_2\text{-PuO}_2$ $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2\text{-Pu}(\text{NO}_3)_4$	UO_2 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$	^{235}U	4.2
清澄調整 分離	液体	$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2\text{-Pu}(\text{NO}_3)_4$ $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$	$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$	^{235}U	4.2
ウランの 精製	液体	$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$	$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$	^{235}U	4.2
ウランの 濃縮脱硝	液体 粉末	$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ UO_3	$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ UO_3	^{235}U	4.2
ウラン製品の 貯蔵	粉末	UO_3	UO_3	^{235}U	4.2
プルトニウム の転換	液体	$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$	$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$	^{235}U	4.2

表 2.3 PWR の軽水炉低濃縮ウラン燃料集合体の仕様

燃料棒配列	14×14 (A 型)	14×14 (B 型)	15×15 (A 型)	15×15 (B 型)	17×17 (A 型)	17×17 (B 型)
燃料棒ピッチ (cm)	1.41		1.43		1.26	
被覆管外径 (cm)	1.07		1.07		0.95	
被覆管肉厚 (cm)	0.062	0.066	0.062	0.066	0.057	0.064
被覆管材質	ジルカロイ-4		ジルカロイ-4		ジルカロイ-4	
被覆管材質の密度 (g/cm ³)	6.56		6.56		6.56	
ペレット直径 (cm)	0.929	0.921	0.929	0.921	0.819	0.805
UO ₂ 理論密度 (T.D.) (g/cm ³)	10.96		10.96		10.96	
ペレット密度	95 %T.D.		95 %T.D.		95 %T.D.	

表 2.4 BWR の軽水炉低濃縮ウラン燃料集合体の仕様

燃料棒配列	高燃焼度 8×8	9×9 (A 型)	9×9 (B 型)
燃料棒ピッチ (cm)	1.63	1.44	1.45
被覆管外径 (cm)	1.23	1.12	1.10
被覆管肉厚 (cm)	0.086	0.071	0.070
被覆管材質	ジルカロイ-2	ジルカロイ-2	ジルカロイ-2
被覆管材質の密度 (g/cm ³)	6.56	6.56	6.56
ペレット直径 (cm)	1.04	0.96	0.94
UO ₂ 理論密度 (T.D.) (g/cm ³)	10.96	10.96	10.96
ペレット密度	97 %T.D.	97 %T.D.	97 %T.D.

表 2.5 軽水炉低濃縮ウラン燃料に対する単一ユニットの臨界評価結果 (1/4)

施設名	機器名 (機器番号)	機器 設置 場所	単一ユニットの臨界評価結果		備 考		
			実効増倍率 ($k_{eff} \pm \sigma$)	実効増倍率 ($k_{eff} + 3\sigma$)			
貯蔵施設	貯蔵プール		PWR 14×14 (A 型)	0.8594±0.0006			
			PWR 14×14 (B 型)	0.8596±0.0006			
			PWR 15×15 (A 型)	0.9038±0.0006	0.9056		
			PWR 15×15 (B 型)	0.9031±0.0006			
			PWR 17×17 (A 型)	0.8986±0.0005			
			PWR 17×17 (B 型)	0.8963±0.0006			
			BWR 高燃焼度 8×8	0.7807±0.0005			
			BWR 9×9 (A 型)	0.7781±0.0006			
			BWR 9×9 (B 型)	0.7843±0.0005			
溶解施設	濃縮ウラン溶解槽 (242R12)	R003	空間水密度 (g/cm^3)				
			0	0.9216±0.0009			
			0.1	0.9303±0.0008			
			0.2	0.9306±0.0009			
			0.3	0.9317±0.0008			
			0.4	0.9323±0.0008			
			0.5	0.9343±0.0008			
			0.6	0.9345±0.0008			
			0.7	0.9322±0.0009			
			0.8	0.9356±0.0009			
附属施設	濃縮ウラン溶解槽 (242R10)	R001	0.9	0.9333±0.0010			
			1.0	0.9357±0.0009	最大 0.9384		
			濃縮ウラン溶解槽 (242R11)	R002	0.9	0.9333±0.0010	
					1.0	0.9357±0.0009	
					0.9	0.9333±0.0010	
	1.0	0.9357±0.0009					
	0.9	0.9333±0.0010					
	溶解施設	スワーフトank (242V20)	R002	濃度 (gU/L)			
				900	0.7680±0.0007		
				950	0.7708±0.0007		
1000				0.7726±0.0007	最大 0.7747		
1050				0.7722±0.0006			
1100				0.7710±0.0007			
溶解施設	溶解槽溶液受槽 (243V10) 及び 洗浄液受槽 (242V13)	R006	濃度 (gU/L)				
			1000	0.8515±0.0007			
			1050	0.8536±0.0007			
			1100	0.8550±0.0007	最大 0.8571		
			1150	0.8534±0.0007			
			1200	0.8532±0.0007			

表 2.5 軽水炉低濃縮ウラン燃料に対する単一ユニットの臨界評価結果 (2/4)

施設名	機器名 (機器番号)	機器 設置 場所	単一ユニットの臨界評価結果			備 考
			実効増倍率 ($k_{eff} \pm \sigma$)		実効増倍率 ($k_{eff} + 3\sigma$)	
溶解施設	パルスフィルタ (243F16)	R107A	濃度 (gU/L)	k_{eff} (無限円柱)	k_{eff} (無限円柱) 最大 0.8466	<ul style="list-style-type: none"> 無限円柱体系として一次元で計算 ウラン濃度をパラメータとして評価
			950	0.8450		
			1000	0.8464		
溶解施設	パルスフィルタ (243F16A)	R026	1050	0.8466		
			1100	0.8459		
			1150	0.8441		
溶解施設	調整槽 (251V10) 及び 給液槽 (251V11)	R006	k_{∞} (無限体系) 0.8054			<ul style="list-style-type: none"> k_{∞}は無限増倍率 無限円柱体系として一次元で計算
分離施設	分離第1抽出器 (252R11)	R107A	k_{eff} (無限平板) 0.4527			無限平板体系として一次元で計算
分離施設	分離第2抽出器 (253R10)	R109A				
分離施設	分離第3抽出器 (255R14)	R109A				
分離施設	分離第4抽出器 (255R15)	R109A				
分離施設	分離第5抽出器 (255R16)	R109B				
精製施設	ウラン精製 第1抽出器 (261R13)	R114				
精製施設	ウラン精製 第2抽出器 (261R15)	R114				
分離施設	受槽 (276V10)	R008	濃度 (gU/L)		最大 0.7579	ウラン濃度をパラメータとして評価
			1000	0.7546 ± 0.0006		
			1050	0.7550 ± 0.0007		
			1100	0.7555 ± 0.0008		
			1150	0.7532 ± 0.0008		
			1200	0.7508 ± 0.0007		

表 2.5 軽水炉低濃縮ウラン燃料に対する単一ユニットの臨界評価結果 (3/4)

施設名	機器名 (機器番号)	機器 設置 場所	単一ユニットの臨界評価結果		備 考	
			実効増倍率 ($k_{eff} \pm \sigma$)	実効増倍率 ($k_{eff} + 3\sigma$)		
分離施設	中間貯槽 (276V12、V15)	R008	濃度 (gU/L)		最大 0.8556	ウラン濃度を パラメータと して評価
			1000	0.8493±0.0006		
			1050	0.8534±0.0006		
			1100	0.8535±0.0007		
			1150	0.8528±0.0007		
1200	0.8520±0.0006					
分離施設	溢流受槽 (276V30)	R008	濃度 (gU/L)	k_{eff} (無限円柱)	最大 0.7558	ウラン濃度を パラメータと して評価
			900	0.7474±0.0006		
			950	0.7528±0.0008		
			1000	0.7537±0.0007		
			1050	0.7531±0.0006		
1100	0.7533±0.0007					
精製施設	ウラン溶液蒸発缶 (第1段) (263E11、T12)	A122 A222 A322	0.9033±0.0006		0.9051	
精製施設	濃縮液受槽 (263V17)	A122 A222 A322	濃度 (gU/L)		最大 0.7999	ウラン濃度を パラメータと して評価
			1000	0.7960±0.0007		
			1050	0.7961±0.0006		
			1100	0.7981±0.0006		
			1150	0.7957±0.0007		
1200	0.7937±0.0007					
精製施設	希釈槽 (263V18) 及び 給液槽 (263V19)	A122 A222 A322	濃度 (gU/L)		最大 0.8094	ウラン濃度を パラメータと して評価
			950	0.8043±0.0008		
			1000	0.8059±0.0007		
			1050	0.8073±0.0007		
			1100	0.8070±0.0007		
1150	0.8066±0.0007					
脱硝施設	ウラン溶液蒸発缶 (第2段) (263E20)	A122 A222 A322	濃度 (gU/L)		最大 0.8411	ウラン濃度を パラメータと して評価
			950	0.8349±0.0007		
			1000	0.8362±0.0006		
			1050	0.8387±0.0008		
			1100	0.8359±0.0007		
1150	0.8351±0.0008					
脱硝施設	濃縮液受槽 (264V10)	A122 A222 A322	濃度 (gU/L)		最大 0.8425	ウラン濃度を パラメータと して評価
			900	0.8347±0.0007		
			950	0.8380±0.0008		
			1000	0.8404±0.0007		
			1050	0.8396±0.0007		
1100	0.8385±0.0007					

表 2.5 軽水炉低濃縮ウラン燃料に対する単一ユニットの臨界評価結果 (4/4)

施設名	機器名 (機器番号)	機器 設置 場所	単一ユニットの臨界評価結果			備 考
			実効増倍率 ($k_{\text{eff}} \pm \sigma$)	実効増倍率 ($k_{\text{eff}} + 3\sigma$)		
脱硝施設	脱硝塔 (下部) (264R11)	A122 A222 A322	k_{eff} (無限円柱) 0.8561			無限円柱体系 として一次元 で計算
脱硝施設	UNH 受槽 (263V30、V31)	A016 A017	k_{eff} (無限平板) 0.7853			無限平板体系 として一次元 で計算
製品貯蔵 施設	ウラン貯蔵所		空間水密度 (g/cm^3)			<ul style="list-style-type: none"> ・複数存在する三酸化ウラン容器を単一ユニットとして評価 ・三酸化ウラン容器周辺の空間水密度をパラメータとして評価
			0	0.9225±0.0006	最大 0.9252	
			1.0E-04	0.9217±0.0006		
			2.0E-04	0.9220±0.0006		
			3.0E-04	0.9234±0.0006		
			4.0E-04	0.9221±0.0006		
			5.0E-04	0.9221±0.0005		
			1.0E-03	0.9209±0.0006		
			1.0E-02	0.9065±0.0005		
			0.1	0.7969±0.0006		
			0.2	0.7828±0.0006		
			0.4	0.8061±0.0005		
			0.6	0.8234±0.0005		
			0.8	0.8330±0.0006		
			1.0	0.8401±0.0006		
ブルト ニウム 転換技術 開発施設	硝酸ウラニル 受入計量槽 (P11V13) 及び 硝酸ウラニル 貯槽 (P11V14)	A027	k_{eff} (無限平板) 0.8995			2槽が同一平 面上に配置さ れており、無 限平板体系と して一次元で 計算
—	ドリップトレイ	—	濃度 (gU/L)			ウラン濃度を パラメータと して評価
			1050	0.8769±0.0006	最大 0.8800	
			1100	0.8777±0.0006		
			1150	0.8773±0.0007		
			1200	0.8782±0.0006		
			1250	0.8747±0.0006		

表 2.6 軽水炉低濃縮ウラン燃料に対する複数ユニットの臨界評価結果 (1/4)

セル名 (セル番号)	設置されている 機器	複数ユニットの臨界評価結果		備 考	
		実効増倍率 ($k_{eff} \pm \sigma$)			
濃縮ウラン 溶解セル (R002)	濃縮ウラン溶解槽 (242R11)	空間水密度 (g/cm^3)			ユニット間の 空間水密度を パラメータと して評価
		0	0.9218±0.0012		
		0.1	0.9294±0.0010		
		0.2	0.9324±0.0008		
		0.3	0.9305±0.0009		
	スワーフタンク (242V20)	0.4	0.9343±0.0010		
		0.5	0.9346±0.0008		
		0.6	0.9338±0.0008		
		0.7	0.9362±0.0008		
		0.8	0.9349±0.0009		
		0.9	0.9360±0.0010	最大 0.9390	
1.0	0.9340±0.0009				
給液調整セル (R006)	溶解槽溶液受槽 (243V10)	空間水密度 (g/cm^3)			ユニット間の 空間水密度を パラメータと して評価
	洗浄液受槽 (242V13)	0	0.8149±0.0005		
		0.001	0.8166±0.0006		
	調整槽 (251V10)	0.01	0.8278±0.0005		
		0.1	0.8135±0.0005		
		0.2	0.7860±0.0004		
		0.4	0.7839±0.0003		
	給液槽 (251V11)	0.6	0.7854±0.0002		
0.8		0.7845±0.0003	最大 0.8293		
1.0	0.7829±0.0003				
分離第1セル (R107A)	パルスフィルタ (243F16)	空間水密度 (g/cm^3)			ユニット間の 空間水密度を パラメータと して評価
		0	0.7323±0.0006		
		0.1	0.7817±0.0005		
		0.2	0.8051±0.0005		
		0.3	0.8171±0.0005		
	分離第1抽出器 (252R11)	0.4	0.8247±0.0005		
		0.5	0.8306±0.0006		
		0.6	0.8353±0.0005		
		0.7	0.8381±0.0005		
		0.8	0.8410±0.0005		
		0.9	0.8432±0.0006		
1.0	0.8444±0.0005	最大 0.8459			

表 2.6 軽水炉低濃縮ウラン燃料に対する複数ユニットの臨界評価結果 (2/4)

セル名 (セル番号)	設置されている 機器	複数ユニットの臨界評価結果		備 考	
		実効増倍率 ($k_{eff} \pm \sigma$)	実効増倍率 ($k_{eff} + 3\sigma$)		
分離第 2 セル (R109A)	分離第 2 抽出器 (253R10)	空間水密度 (g/cm^3)			ユニット間の 空間水密度を パラメータと して評価
		0	0.4387±0.0002		
		0.1	0.4453±0.0002		
	分離第 3 抽出器 (255R14)	0.2	0.4465±0.0002		
		0.3	0.4469±0.0002		
		0.4	0.4475±0.0002		
		0.5	0.4474±0.0002		
		0.6	0.4473±0.0002		
	分離第 4 抽出器 (255R15)	0.7	0.4476±0.0002		
		0.8	0.4477±0.0002	最大 0.4483	
		0.9	0.4477±0.0002	最大 0.4483	
1.0		0.4476±0.0002			
分離第 3 セル (R109B)	分離第 5 抽出器 (255R16)	空間水密度 (g/cm^3)			ユニット間の 空間水密度を パラメータと して評価
		0	0.5210±0.0001		
		0.1	0.5206±0.0002		
		0.2	0.5206±0.0002		
		0.3	0.5206±0.0002		
		0.4	0.5207±0.0002		
		0.5	0.5206±0.0002		
		0.6	0.5209±0.0002		
		0.7	0.5207±0.0002		
		0.8	0.5208±0.0002		
		0.9	0.5210±0.0002		
1.0	0.5211±0.0002	最大 0.5217			

表 2.6 軽水炉低濃縮ウラン燃料に対する複数ユニットの臨界評価結果 (3/4)

セル名 (セル番号)	設置されている 機器	複数ユニットの臨界評価結果		備 考
		実効増倍率 ($k_{eff} \pm \sigma$)	実効増倍率 ($k_{eff} + 3\sigma$)	
ウラン精製セル (R114)	ウラン精製 第1抽出器 (261R13)	空間水密度 (g/cm^3)		最大 0.4491 最大 0.4491
		0	0.4344±0.0002	
		0.1	0.4452±0.0002	
		0.2	0.4473±0.0002	
		0.3	0.4482±0.0002	
	ウラン精製 第2抽出器 (261R15)	0.4	0.4481±0.0002	
		0.5	0.4477±0.0002	
		0.6	0.4477±0.0002	
		0.7	0.4485±0.0002	
		0.8	0.4485±0.0002	
		0.9	0.4479±0.0002	
1.0	0.4482±0.0002			
ウラン濃縮脱硝 室 (A122、A222、 A322)	ウラン溶液蒸発缶 (第1段) (263E11、 T12)	空間水密度 (g/cm^3)		最大 0.9119
		0	0.8911±0.0004	
	濃縮液受槽 (263V17)	0.1	0.9014±0.0005	
		0.2	0.9039±0.0005	
	ウラン溶液蒸発缶 (第2段) (263E20)	0.3	0.9072±0.0003	
		0.4	0.9078±0.0004	
	濃縮液受槽 (264V10)	0.5	0.9084±0.0004	
		0.6	0.9085±0.0004	
	脱硝塔 (下部) (264R11)	0.7	0.9091±0.0004	
		0.8	0.9102±0.0004	
		0.9	0.9107±0.0004	
1.0	0.9104±0.0003			
UNH 受槽室 (A016、A017)	UNH 受槽 (263V30、V31)	空間水密度 (g/cm^3)		最大 0.7818
		0	0.7416±0.0005	
		0.1	0.7641±0.0005	
		0.2	0.7744±0.0005	
		0.3	0.7771±0.0005	
		0.4	0.7786±0.0006	
		0.5	0.7792±0.0005	
		0.6	0.7800±0.0005	
		0.7	0.7794±0.0005	
		0.8	0.7796±0.0004	
		0.9	0.7803±0.0005	
1.0	0.7802±0.0004			

表 2.6 軽水炉低濃縮ウラン燃料に対する複数ユニットの臨界評価結果 (4/4)

セル名 (セル番号)	設置されている 機器	複数ユニットの臨界評価結果		備 考
		実効増倍率 ($k_{eff} \pm \sigma$)	実効増倍率 ($k_{eff} + 3\sigma$)	
リワークセル (R008)	受槽 (276V10)	空間水密度 (g/cm ³)		
		0	0.8404 ± 0.0005	最大 0.8423
		1.0E-08	0.8400 ± 0.0005	
		1.0E-07	0.8408 ± 0.0005	
		1.0E-06	0.8400 ± 0.0006	
	1.0E-05	0.8402 ± 0.0005		
	中間貯槽 (276V12、V15)	1.0E-04	0.8398 ± 0.0005	
		1.0E-03	0.8394 ± 0.0005	
		1.0E-02	0.8381 ± 0.0005	
		0.1	0.8123 ± 0.0005	
		0.2	0.7899 ± 0.0006	
	溢流受槽 (276V30)	0.3	0.7894 ± 0.0007	
		0.4	0.7931 ± 0.0007	
		0.5	0.7945 ± 0.0008	
		0.6	0.7963 ± 0.0007	
		0.7	0.7990 ± 0.0006	
		0.8	0.8014 ± 0.0007	
0.9		0.7988 ± 0.0007		
	1.0	0.8008 ± 0.0008		

表 3.1 ふげん照射燃料の初期組成と ^{235}U 等価濃縮度

		照射用 36本 燃料体	照射用 セグメント 燃料体	照射用 ガドリニア 燃料体 タイプ I	照射用 ガドリニア 燃料体 タイプ II
初 期 組 成	初期核分裂物質量 (%) ^[1]	2.4	3.0	3.5	3.2
	プルトニウム同位体割合 (%) ^[2]				
	^{238}Pu	0.8	0.8	1.0	1.0
	^{239}Pu	67.4	67.8	65.5	65.1
	^{240}Pu	21.6	21.6	23.2	23.6
	^{241}Pu	7.4	7.0	7.0	7.0
	^{242}Pu	2.9	2.8	3.3	3.4
	ウラン濃縮度 (%) ^[2]	0.71	0.72	1.06	0.97
	プルトニウム富化度 (%) ^[2]	2.3	3.1	3.4	3.1
^{235}U 等価濃縮度 (%) ^[3]		3.5	4.5	5.1	4.6

[1] 初期核分裂物質量は原子炉設置変更許可申請書に基づく値

[2] プルトニウム同位体割合、ウラン濃縮度、プルトニウム富化度は製造実績に基づき設定した値

[3] ^{239}Pu 、 ^{241}Pu の反応度は、 ^{235}U の反応度を安全側にそれぞれ 1.5 倍、3 倍したものと等価¹⁾ と設定した。 ^{235}U 等価濃縮度は、次式を用いて算出した。

$$^{235}\text{U} \text{ 等価濃縮度 (\%)} = \text{ウラン濃縮度} + \text{プルトニウム富化度} \times (1.5 \times ^{239}\text{Pu} \text{ 割合} + 3 \times ^{241}\text{Pu} \text{ 割合})$$

表 3.2 ふげん照射燃料に係る評価対象

施設名	機器名	機器設置場所
貯蔵施設	貯蔵プール	—
溶解施設	濃縮ウラン溶解槽 (242R12)	R003
附属施設 (濃縮ウラン溶解槽の遠隔補修技術開発設備)	濃縮ウラン溶解槽 (242R10)	R001
	濃縮ウラン溶解槽 (242R11)	R002
溶解施設	スローフタンク (242V20)	R002
溶解施設	溶解槽溶液受槽 (243V10)	R006
溶解施設	洗浄液受槽 (242V13)	R006
溶解施設	パルスフィルタ (243F16)	R107A
溶解施設	パルスフィルタ (243F16A)	R026
溶解施設	調整槽 (251V10)	R006
溶解施設	給液槽 (251V11)	R006
分離施設	分離第1抽出器 (252R11)	R107A
分離施設	分離第2抽出器 (253R10)	R109A
分離施設	分離第3抽出器 (255R14)	R109A
分離施設	分離第4抽出器 (255R15)	R109A

表 3.3 ふげん照射燃料の評価範囲とした各工程における燃料の形態と解析条件

工程	工程での形態		解析条件	
	物理的	化学的	解析での形態	核分裂物質質量 (%)
受入貯蔵	固体	$UO_2 - PuO_2$	$UO_2 - PuO_2$	3.5
せん断処理	固体	$UO_2 - PuO_2$	$UO_2 - PuO_2$	3.5
溶解	固体-液体	$UO_2 - PuO_2$ $UO_2 (NO_3)_2 - Pu (NO_3)_4$	$UO_2 - PuO_2$ $UO_2 (NO_3)_2 - Pu (NO_3)_4$	3.5
清澄調整 分離	液体	$UO_2 (NO_3)_2 - Pu (NO_3)_4$ $UO_2 (NO_3)_2$	$UO_2 (NO_3)_2 - Pu (NO_3)_4$	3.5

表 3.4 臨界評価で用いるふげん照射燃料の組成

	臨界評価で用いる ふげん照射燃料の組成
核分裂物質質量 (%)	3.5
プルトニウム同位体割合 (%)	
^{239}Pu	80
^{240}Pu	10
^{241}Pu	10
ウラン濃縮度 (%)	0.7
プルトニウム富化度 (%)	3.135

表 3.5 ふげん照射燃料の燃料棒の仕様

被覆管外径 (cm)	1.45
被覆管肉厚 (cm)	0.090
被覆管材質	ジルカロイ-2
被覆管材質の密度 (g/cm ³)	6.56
ペレット直径 (cm)	1.24
UO ₂ -PuO ₂ 混合酸化物の 理論密度 (T.D.) (g/cm ³)	10.97
ペレット密度	95 %T.D.

表 3.6 ふげん照射燃料に対する単一ユニットの臨界評価結果 (1/2)

施設名	機器名 (機器番号)	機器 設置 場所	単一ユニットの臨界評価結果		備考			
			実効増倍率 ($k_{eff} \pm \sigma$)	実効増倍率 ($k_{eff} + 3\sigma$)				
貯蔵施設	貯蔵プール		0.6154±0.0006		0.6172	複数存在する燃料集合体を単一ユニットとして評価		
溶解施設	濃縮ウラン溶解槽 (242R12)	R003	空間水密度 (g/cm ³)			セル内の空間水密度をパラメータとして評価		
附属施設	濃縮ウラン溶解槽 (242R10)	R001	0	0.9209±0.0007	最大 0.9348			
			0.1	0.9271±0.0009				
			0.2	0.9287±0.0008				
			0.3	0.9302±0.0009				
			0.4	0.9313±0.0008				
			0.5	0.9296±0.0009				
	濃縮ウラン溶解槽 (242R11)	R002	0.6	0.9314±0.0009				
			0.7	0.9282±0.0008				
			0.8	0.9306±0.0008				
溶解施設	スワーフトank (242V20)	R002	濃度 (g (U+Pu) /L)			最大 0.8171		
			700	0.8048±0.0008				
			750	0.8112±0.0006				
			800	0.8150±0.0007				
			850	0.8143±0.0006				
900	0.8149±0.0007							
溶解施設	溶解槽溶液受槽 (243V10) 及び 洗浄液受槽 (242V13)	R006	濃度 (g (U+Pu) /L)		最大 0.9002	混合水溶液の濃度 (U+Pu) をパラメータとして評価		
800	0.8917±0.0007							
850	0.8953±0.0006							
溶解施設	パルスフィルタ (243F16)	R107A	濃度 (g (U+Pu) /L)	k_{eff} (無限円柱)	k_{eff} (無限円柱)	<ul style="list-style-type: none"> 無限円柱体系として一次元で計算 混合水溶液の濃度 (U+Pu) をパラメータとして評価 		
溶解施設	パルスフィルタ (243F16A)	R026					800	0.8818
							850	0.8830
			900	0.8829	最大 0.8830			

表 3.6 ふげん照射燃料に対する単一ユニットの臨界評価結果 (2/2)

施設名	機器名 (機器番号)	機器 設置 場所	単一ユニットの臨界評価結果	備 考
			実効増倍率 k_{eff}	
溶解施設	調整槽 (251V10) 及び 給液槽 (251V11)	R006	k_{∞} (無限体系) 0.9500	<ul style="list-style-type: none"> • k_{∞}は無限増倍率 • 無限体系として一次元で計算
分離施設	分離第 1 抽出器 (252R11)	R107A	k_{eff} (無限平板) 0.5683	無限平板体系として一次元で計算
分離施設	分離第 2 抽出器 (253R10)	R109A		
分離施設	分離第 3 抽出器 (255R14)	R109A		
分離施設	分離第 4 抽出器 (255R15)	R109A		

表 3.7 ふげん照射燃料に対する複数ユニットの臨界評価結果 (1/2)

セル名 (セル番号)	設置されている 機器	複数ユニットの臨界評価結果		備 考	
		実効増倍率 ($k_{eff} \pm \sigma$)	実効増倍率 ($k_{eff} + 3\sigma$)		
濃縮ウラン溶解 セル (R002)	濃縮ウラン溶解槽 (242R11)	空間水密度 (g/cm^3)			ユニット間の 空間水密度を パラメータと して評価
		0	0.9203±0.0008		
		0.1	0.9263±0.0010		
		0.2	0.9269±0.0009		
		0.3	0.9301±0.0009		
	スワーフタンク (242V20)	0.4	0.9329±0.0008		
		0.5	0.9307±0.0007		
		0.6	0.9313±0.0010		
		0.7	0.9309±0.0008		
		0.8	0.9299±0.0009	最大 0.9354	
給液調整セル (R006)	溶解槽溶液受槽 (243V10)	空間水密度 (g/cm^3)			ユニット間の 空間水密度を パラメータと して評価
		0	0.9236±0.0003		
	洗浄液受槽 (242V13)	0.1	0.9242±0.0003		
		0.2	0.9255±0.0003		
	調整槽 (251V10)	0.3	0.9248±0.0003		
		0.4	0.9261±0.0003	最大 0.9270	
	給液槽 (251V11)	0.5	0.9248±0.0003		
		0.6	0.9246±0.0003		
		0.7	0.9247±0.0003		
		0.8	0.9253±0.0004		
分離第1セル (R107A)	パルスフィルタ (243F16)	0.9	0.9249±0.0003		ユニット間の 空間水密度を パラメータと して評価
		1.0	0.9244±0.0003		
		空間水密度 (g/cm^3)			
		0	0.7790±0.0005		
		0.1	0.8234±0.0006		
	分離第1抽出器 (252R11)	0.2	0.8434±0.0006		
		0.3	0.8567±0.0005		
		0.4	0.8633±0.0005		
		0.5	0.8683±0.0005		
		0.6	0.8723±0.0006		
0.7	0.8756±0.0005				
0.8	0.8782±0.0005				
0.9	0.8802±0.0006				
1.0	0.8820±0.0005	最大 0.8835			

表 3.7 ふげん照射燃料に対する複数ユニットの臨界評価結果 (2/2)

セル名 (セル番号)	設置されている 機器	複数ユニットの臨界評価結果		備 考	
		実効増倍率 ($k_{eff} \pm \sigma$)	実効増倍率 ($k_{eff} + 3\sigma$)		
分離第2セル (R109A)	分離第2抽出器 (253R10)	空間水密度 (g/cm^3)			ユニット間の 空間水密度を パラメータと して評価
		0	0.5515±0.0003		
		0.1	0.5588±0.0002		
	分離第3抽出器 (255R14)	0.2	0.5609±0.0002		
		0.3	0.5609±0.0002		
		0.4	0.5615±0.0002		
		0.5	0.5622±0.0002		
		0.6	0.5624±0.0003		
	分離第4抽出器 (255R15)	0.7	0.5616±0.0002		
		0.8	0.5622±0.0002		
		0.9	0.5624±0.0002		
		1.0	0.5626±0.0003	最大 0.5635	

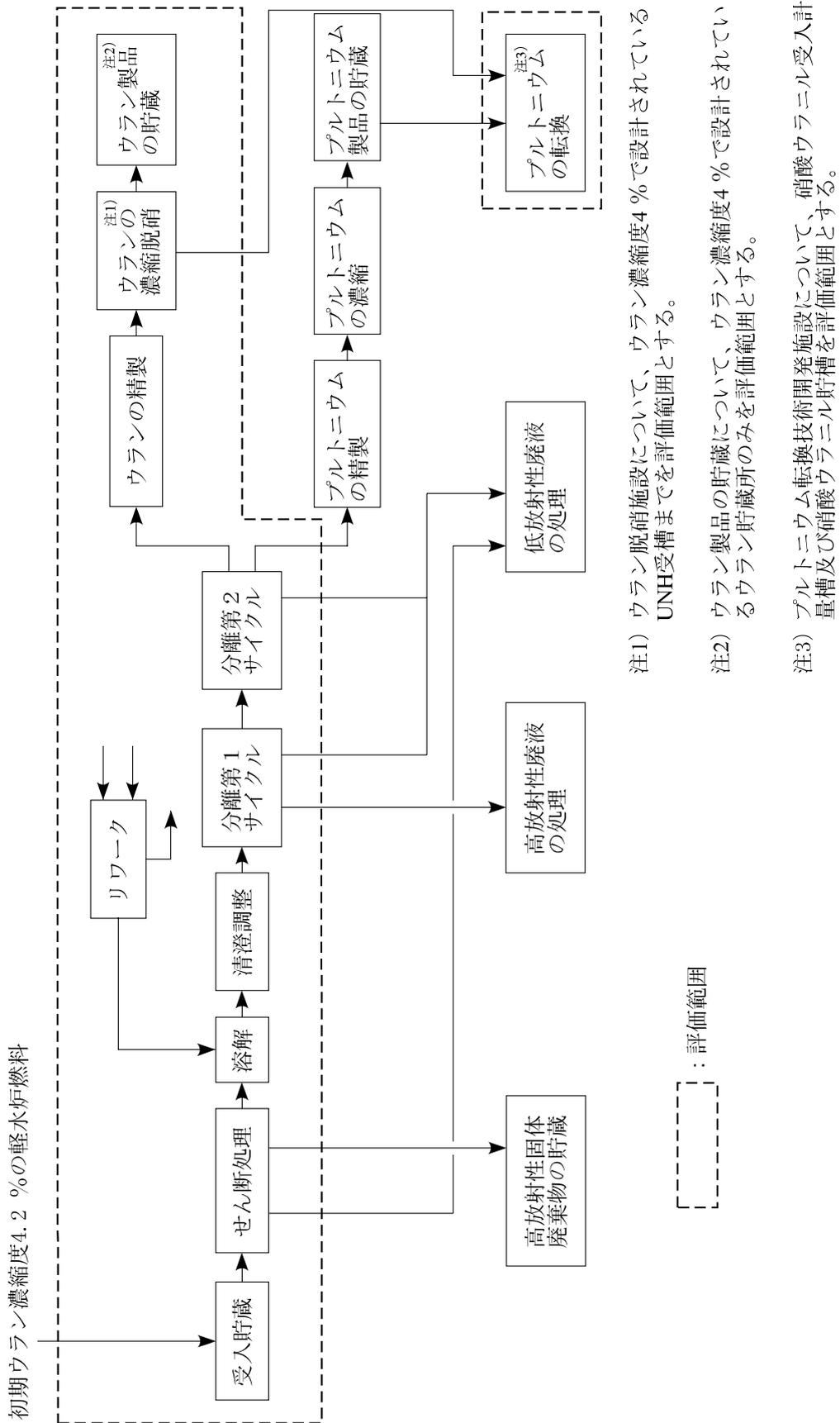
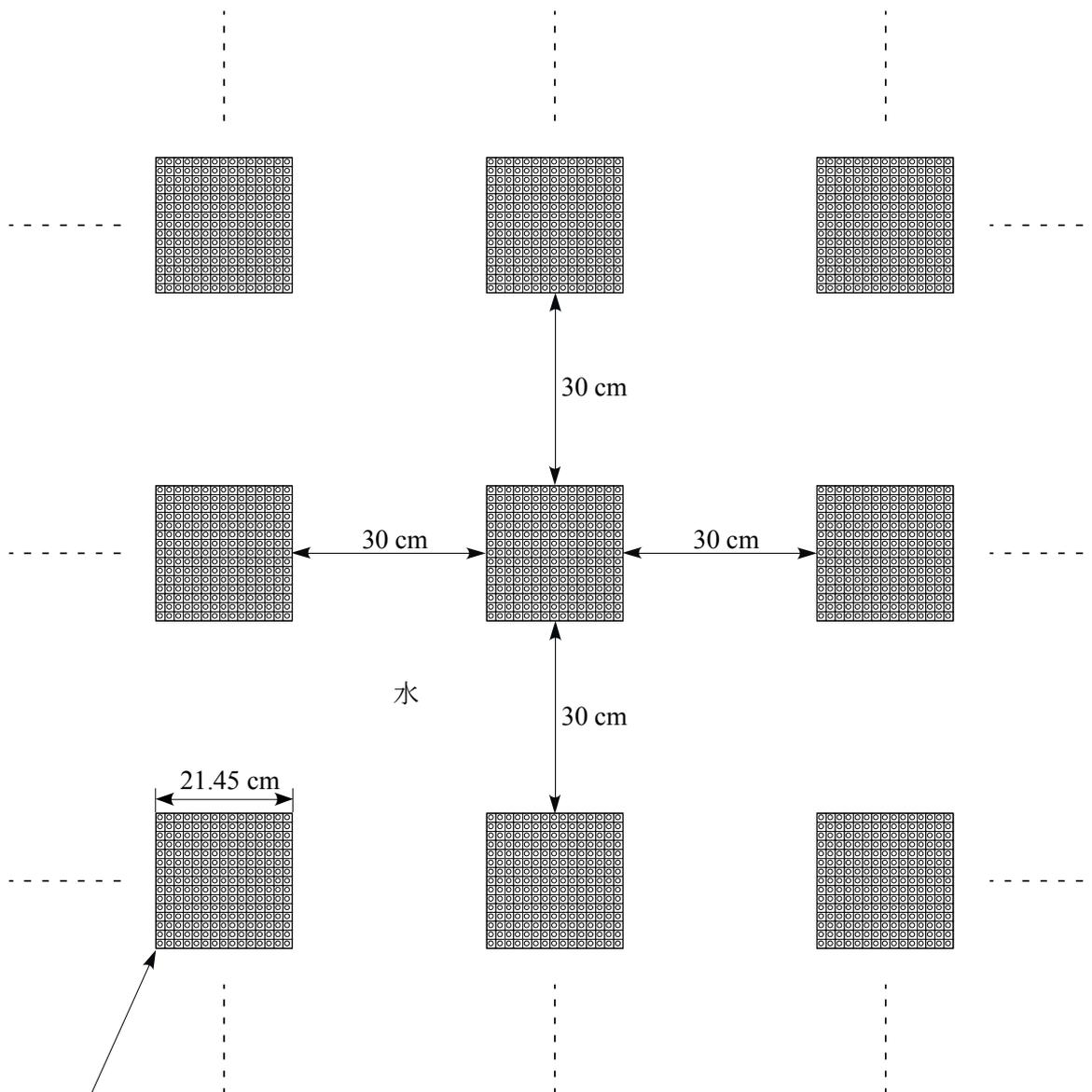
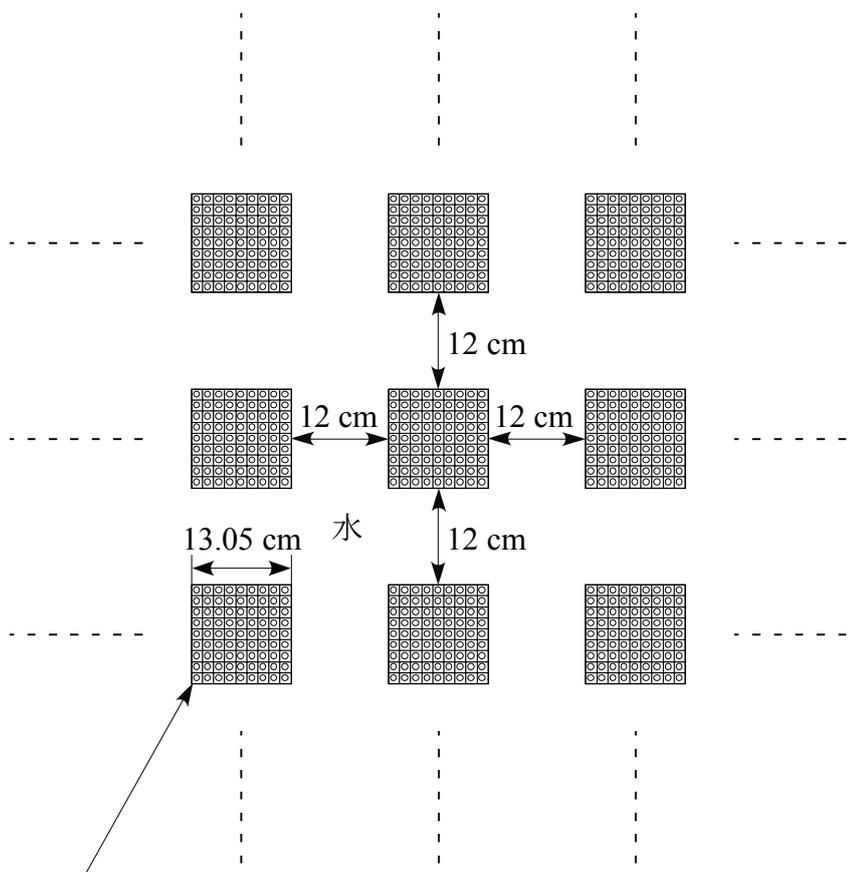


図2.1 初期ウラン濃縮度4.2%の軽水炉低濃縮ウラン燃料に係る臨界評価範囲



PWRの軽水炉低濃縮ウラン燃料集合体（燃料棒配列15×15の場合）
燃料棒の軸方向は無限長

図 2.2 貯蔵プールにおける PWR の初期ウラン濃縮度 4.2 % の
軽水炉低濃縮ウラン燃料集合体の評価モデル



BWRの軽水炉低濃縮ウラン燃料集合体（燃料棒配列9×9（B型）の場合）
燃料棒の軸方向は無限長

図 2.3 貯蔵プールにおける BWR の初期ウラン濃縮度 4.2 % の
軽水炉低濃縮ウラン燃料集合体の評価モデル

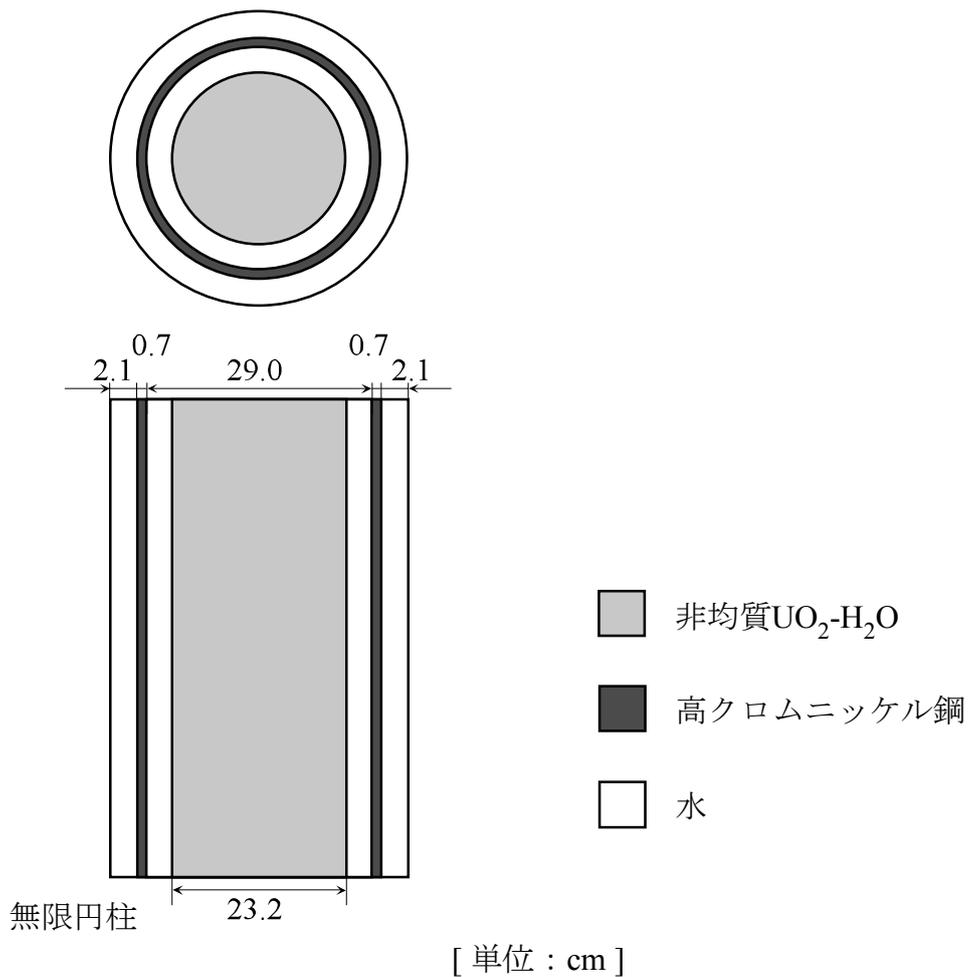
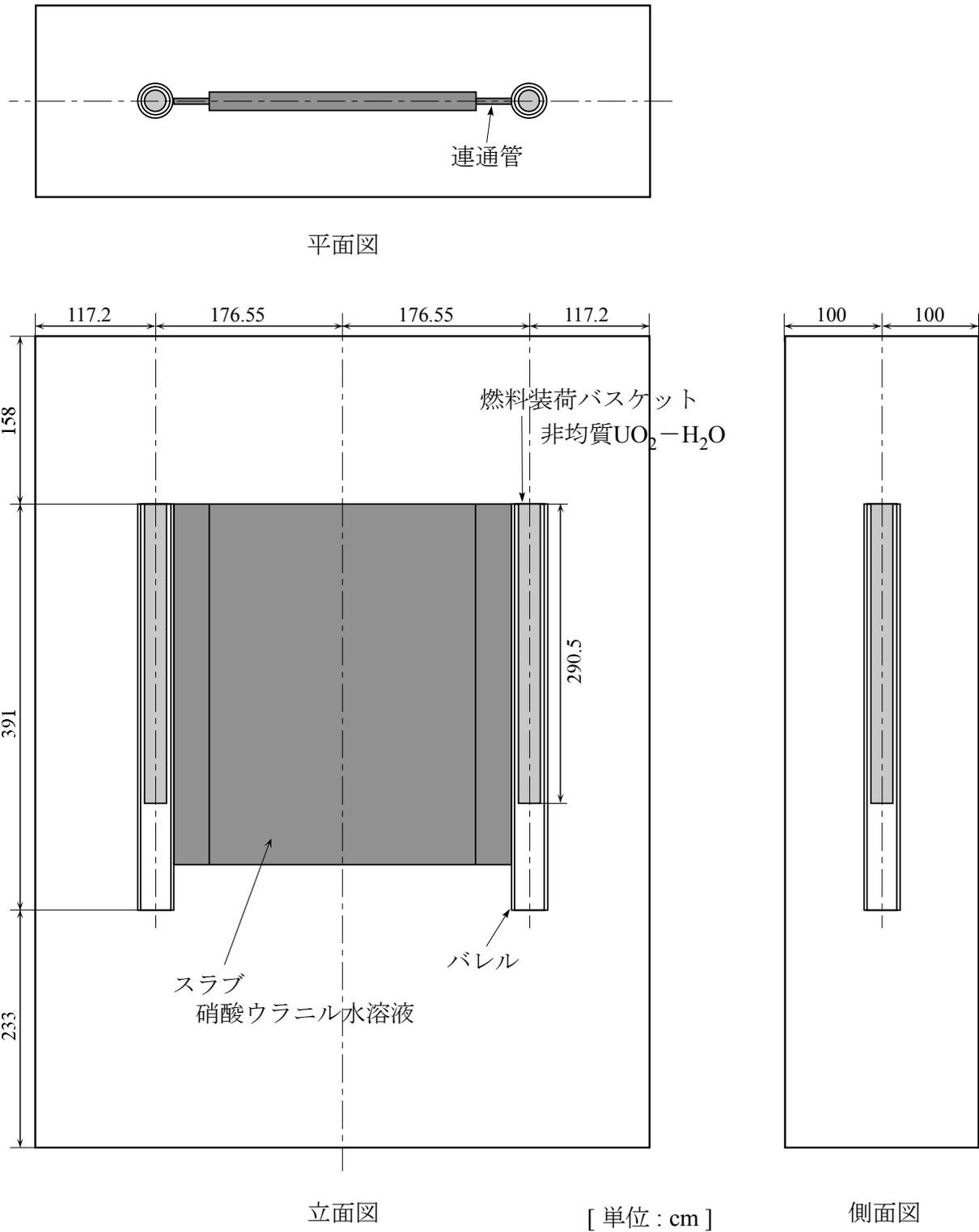


図 2.4 燃料装荷バスケット部最適格子条件サーベイ計算モデル

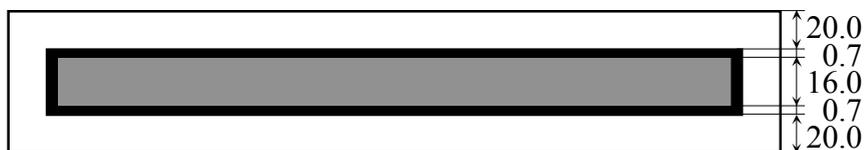


図 2.5 スラブ部最適濃度サーベイ計算モデル

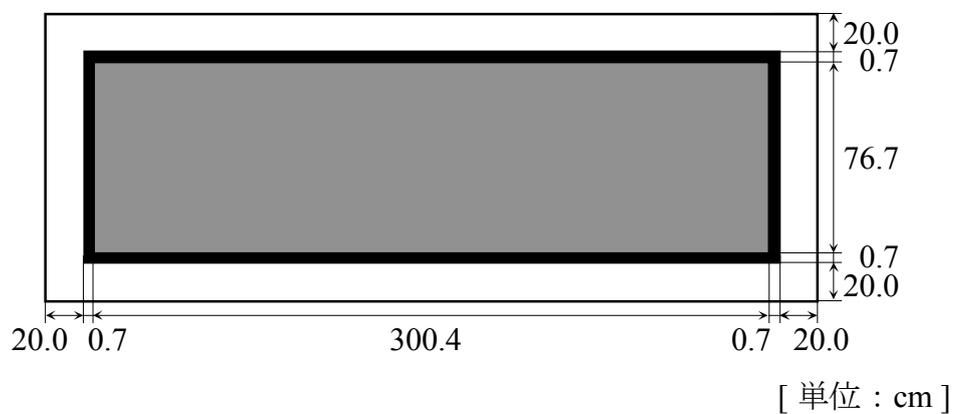


セル周囲は1 m厚のコンクリート

図 2.6 濃縮ウラン溶解槽 (242R10、R11、R12) の評価モデル



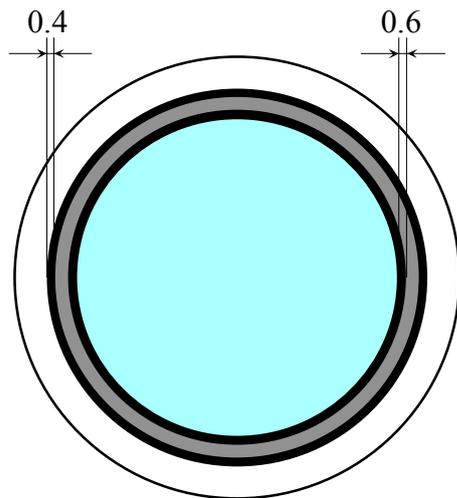
平面図



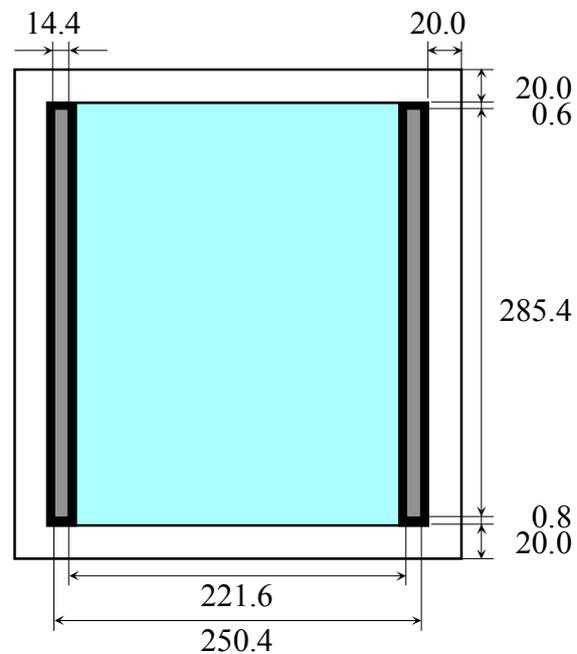
立面図

-  硝酸ウラニル水溶液
-  SUS304L
-  水

図 2.7 スローフタンク (242V20) の評価モデル



平面図

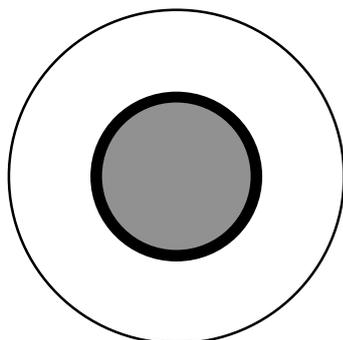


立面図

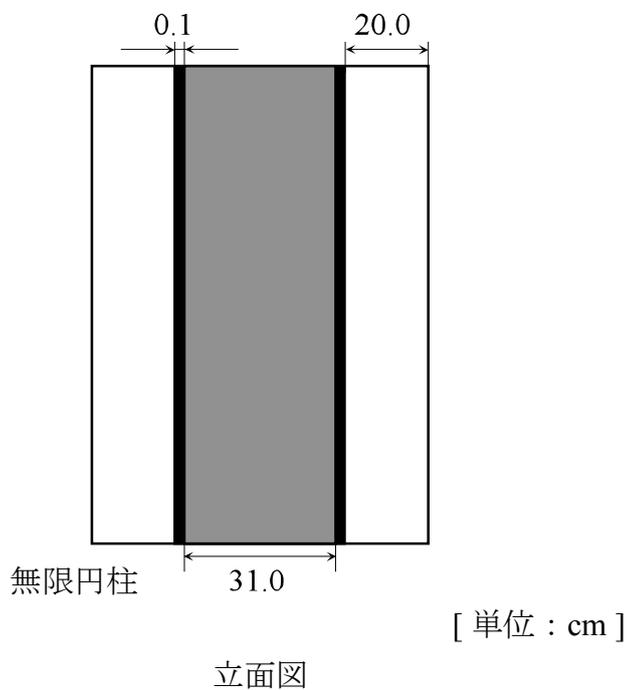
[単位 : cm]

- 硝酸ウラニル水溶液
- SUS304L
- 水
- ボイド

図 2.8 溶解槽溶液受槽 (243V10) 及び洗浄液受槽 (242V13) の評価モデル

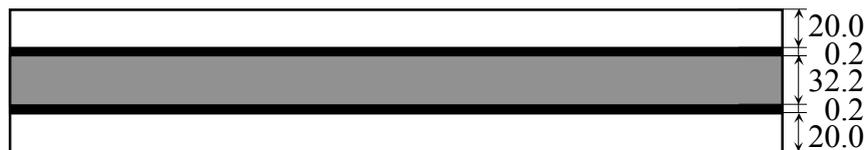


平面図



-  硝酸ウラニル水溶液
-  SUS304L
-  水

図 2.9 パルスフィルタ (243F16、F16A) の評価モデル



無限平板

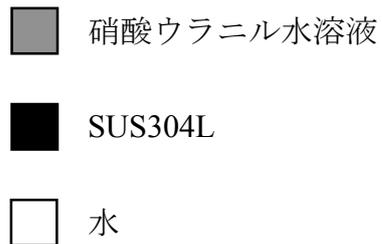
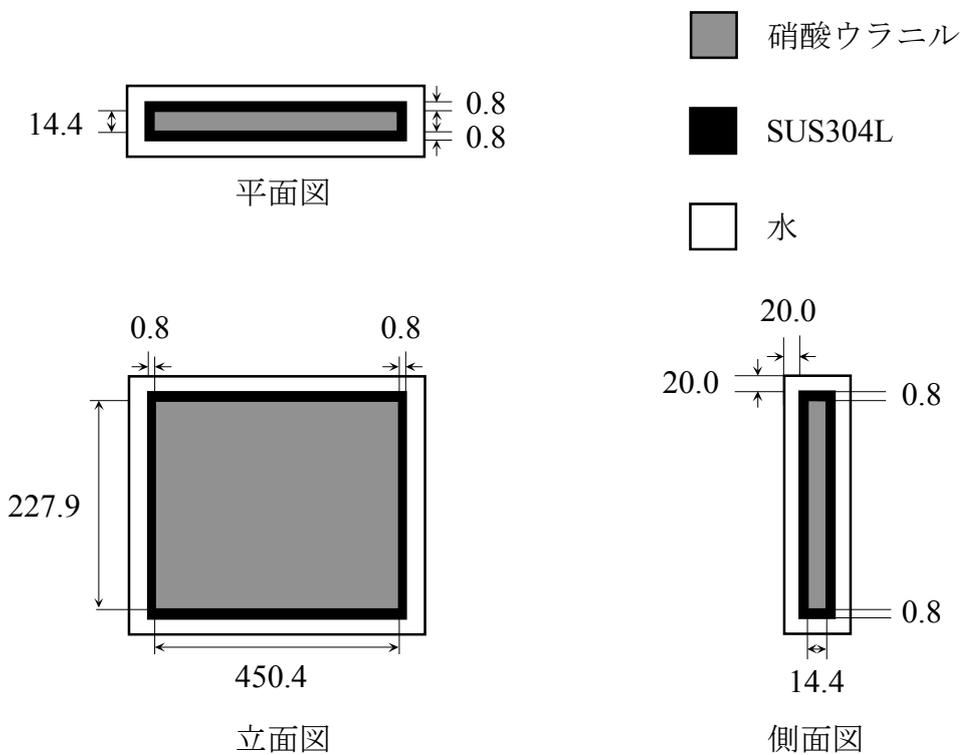
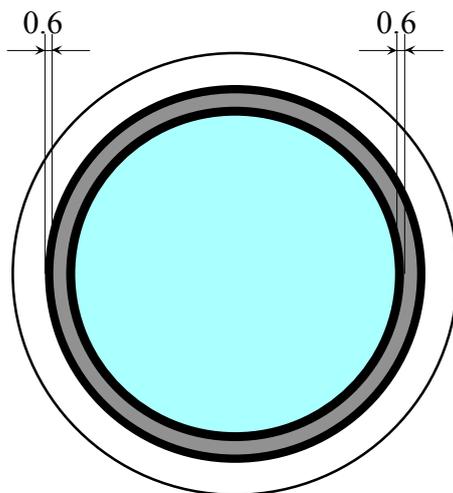


図 2.10 分離第 1 抽出器 (252R11)、分離第 2 抽出器 (253R10)、分離第 3 抽出器 (255R14)、分離第 4 抽出器 (255R15)、分離第 5 抽出器 (255R16)、ウラン精製第 1 抽出器 (261R13) 及びウラン精製第 2 抽出器 (261R15) の評価モデル

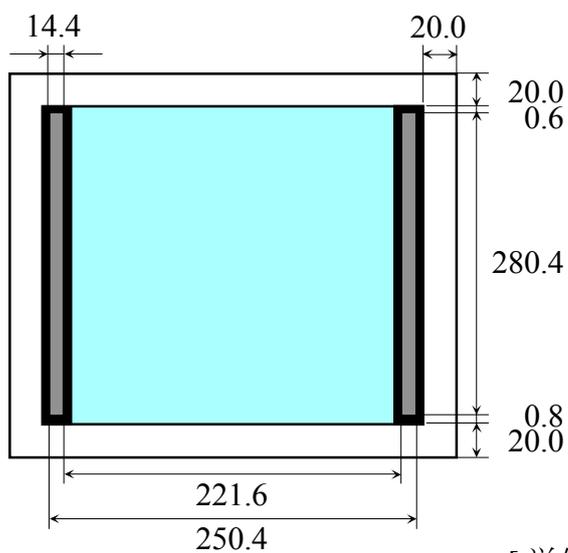


[単位 : cm]

図 2.11 受槽 (276V10) の評価モデル



平面図



[単位 : cm]

立面図

- 硝酸ウラニル水溶液
- SUS304L
- 水
- ボイド

図 2.12 中間貯槽 (276V12、V15) の評価モデル

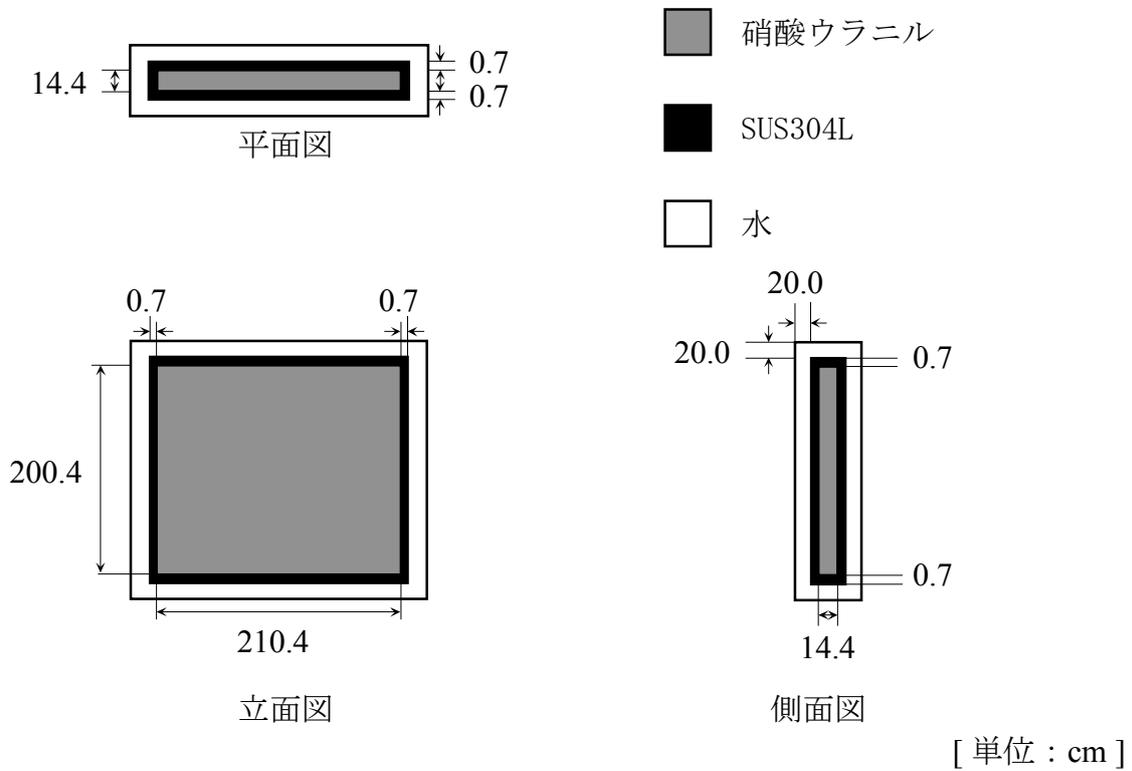


図 2.13 溢流受槽 (276V30) の評価モデル

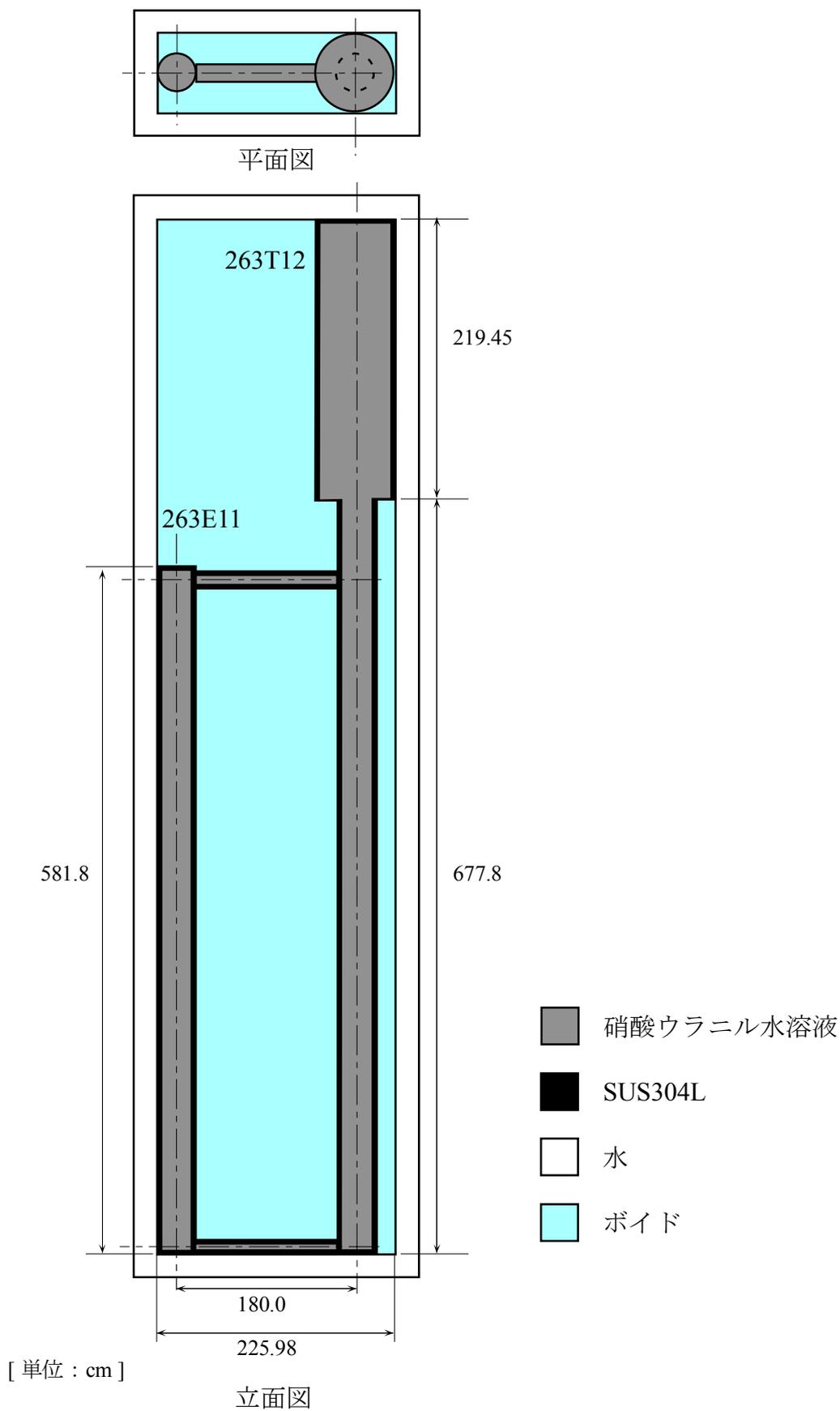
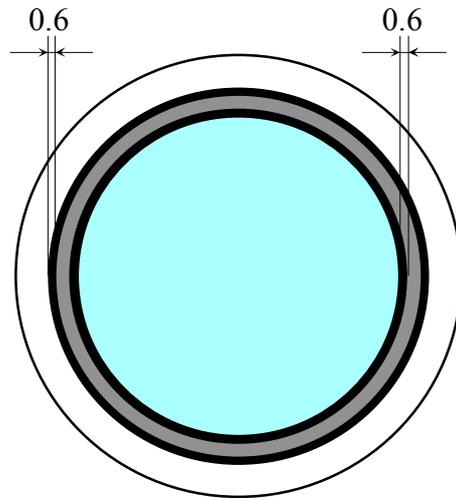
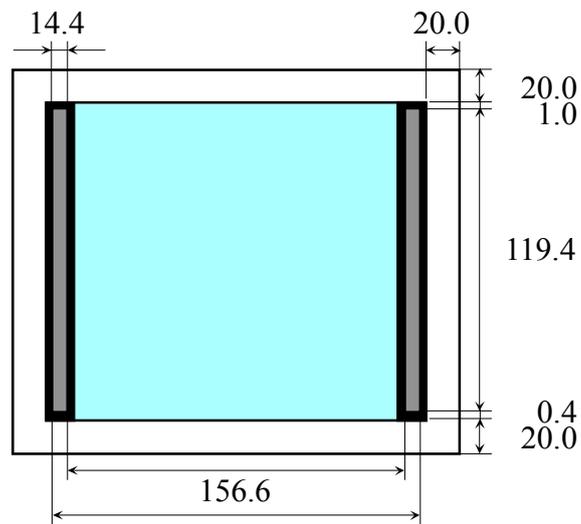


図 2.14 ウラン溶液蒸発缶 (第 1 段) (263E11、T12) の評価モデル



平面図

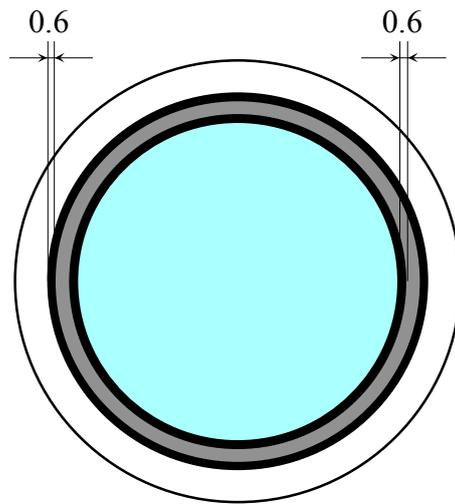


[単位 : cm]

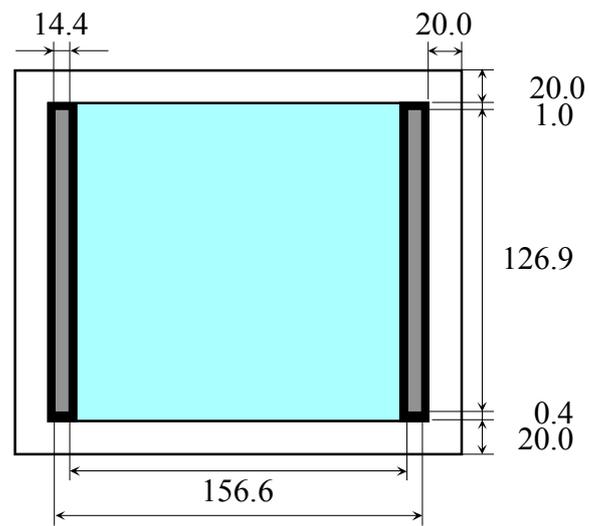
立面図

-  硝酸ウラニル水溶液
-  SUS304L
-  水
-  ボイド

図 2.15 濃縮液受槽 (263V17) の評価モデル



平面図

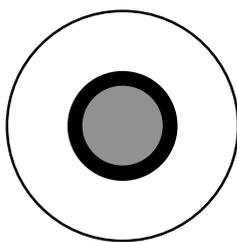


[単位 : cm]

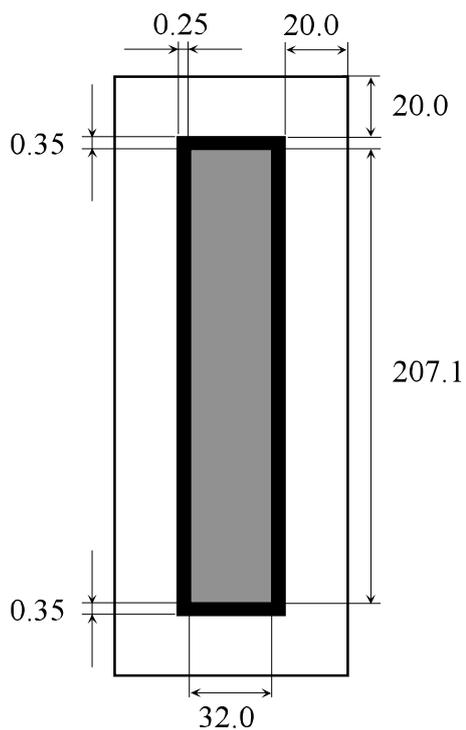
立面図

- 硝酸ウラニル水溶液
- SUS304L
- 水
- ボイド

図 2.16 希釈槽 (263V18) 及び給液槽 (263V19) の評価モデル



平面図



立面図

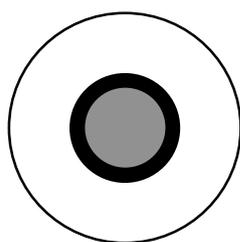
[単位 : cm]

■ 硝酸ウラニル水溶液

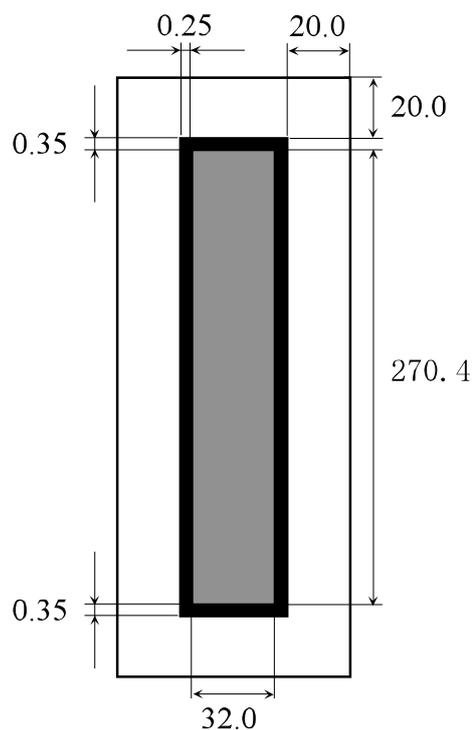
■ Ti

□ 水

図 2.17 ウラン溶液蒸発缶 (第 2 段) (263E20) の評価モデル



平面図

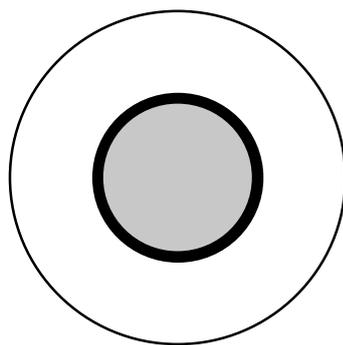


立面図

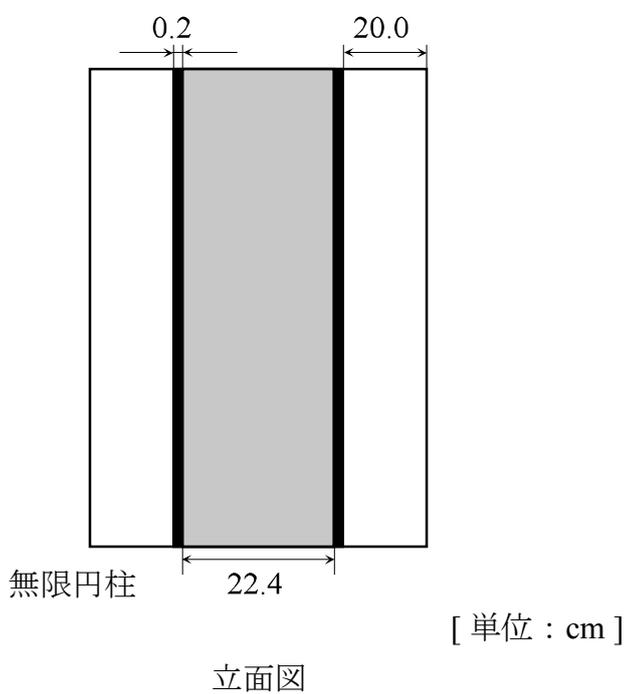
[単位 : cm]

-  硝酸ウラニル水溶液
-  Ti
-  水

図 2.18 濃縮液受槽 (264V10) の評価モデル



平面図

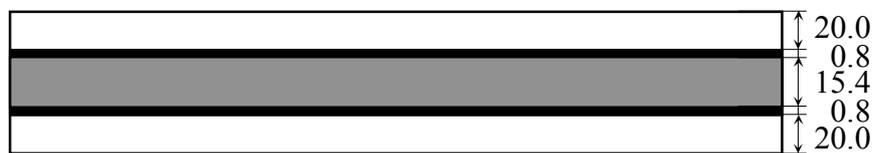


 非均質 $\text{UO}_3\text{-H}_2\text{O}$

 SUS304L

 水

図 2.19 脱硝塔（下部）（264R11）の評価モデル



無限平板

[単位 : cm]

-  硝酸ウラニル水溶液
-  SUS304L
-  水

図 2.20 UNH 受槽 (263V30、V31) の評価モデル

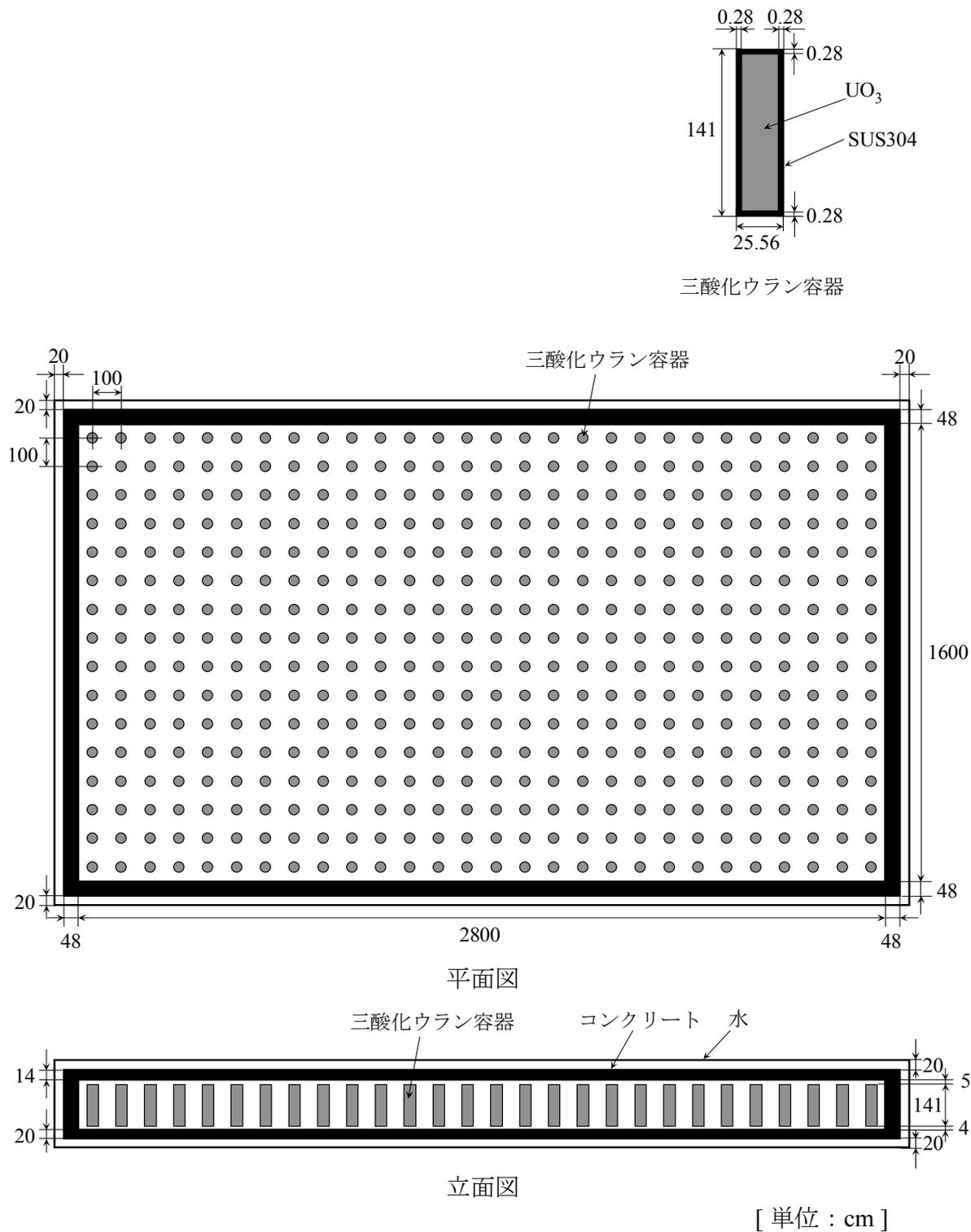
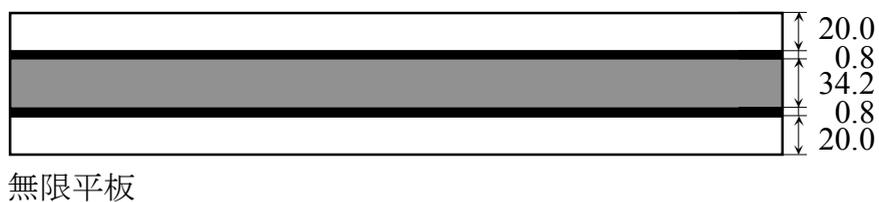
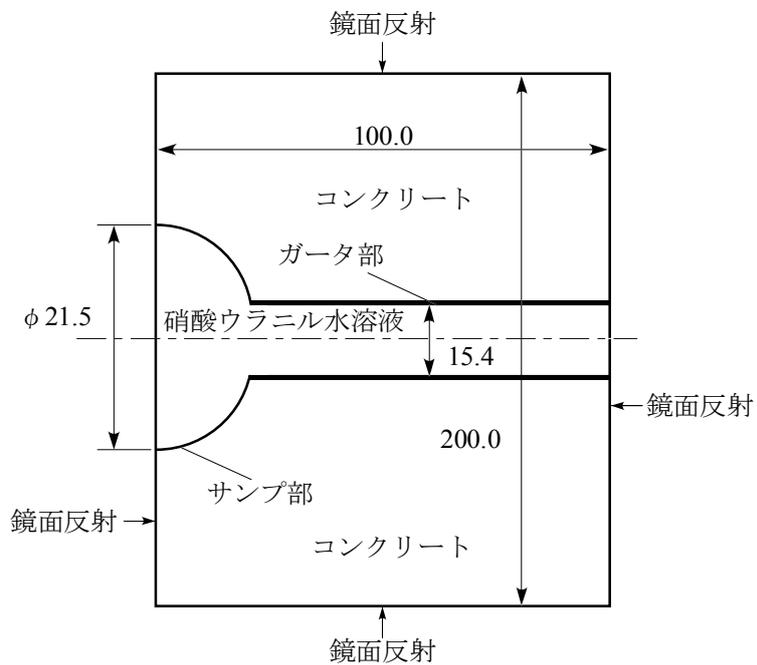


図 2.21 ウラン貯蔵所の評価モデル

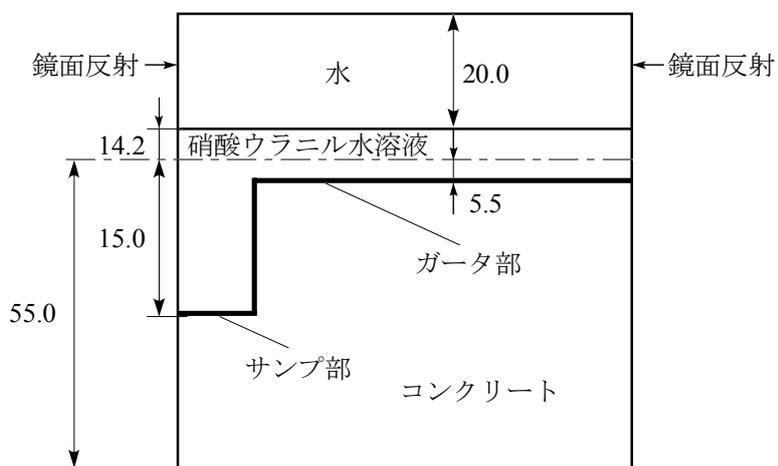


-  硝酸ウラニル水溶液
-  SUS304L
-  水

図 2.22 硝酸ウラニル受入計量槽 (P11V13) 及び硝酸ウラニル貯槽 (P11V14) の評価モデル



平面図

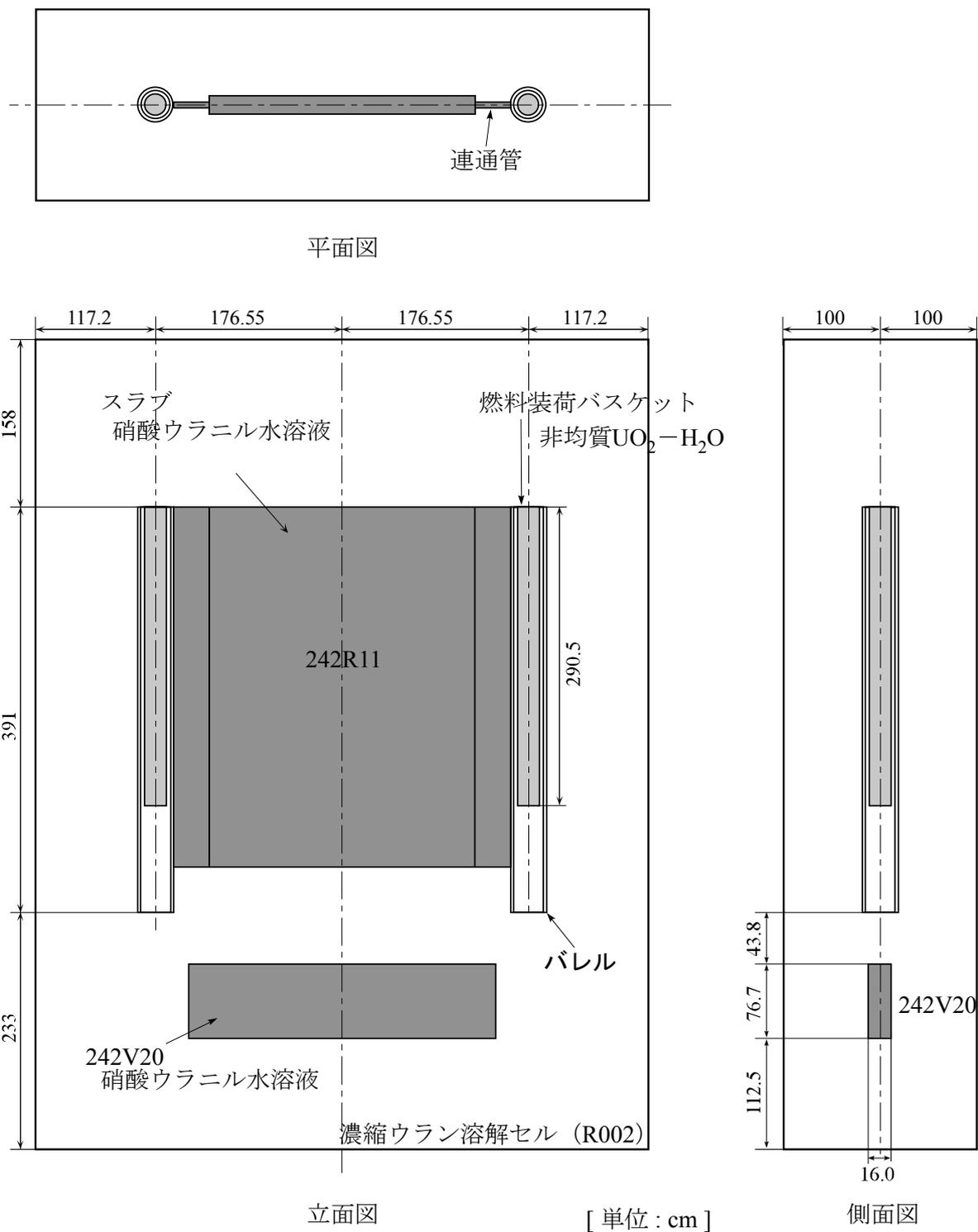


太線部は厚さ1 mmのSUS304

断面図

[単位 : cm]

図 2.23 ドリフトレイの評価モデル



セル周囲は1 m厚のコンクリート

図 2.24 濃縮ウラン溶解セル (R002) の評価モデル

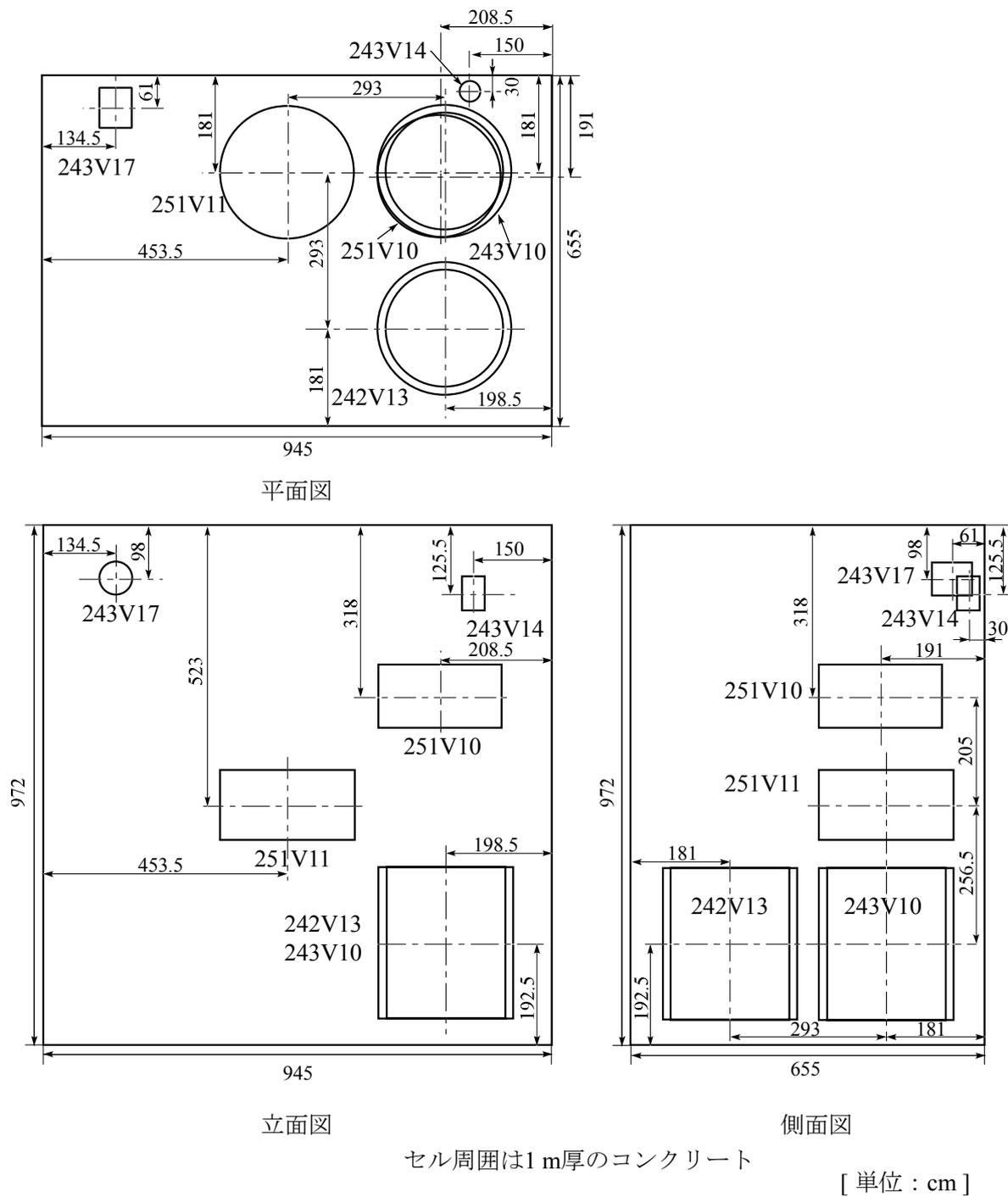
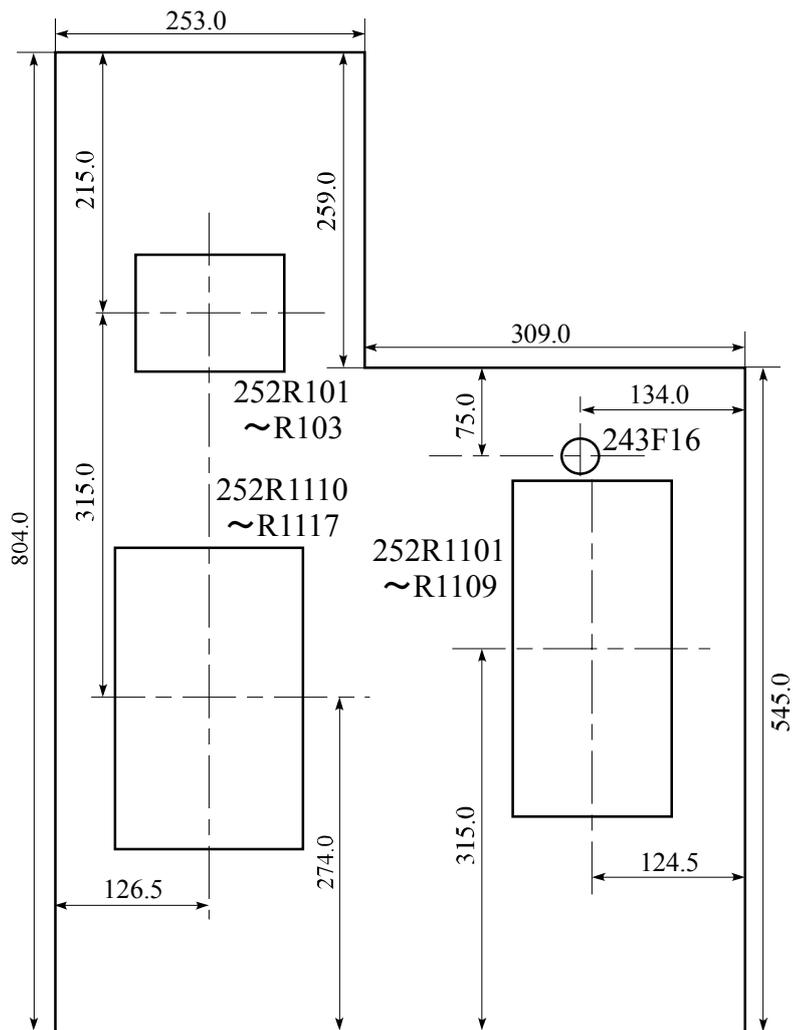
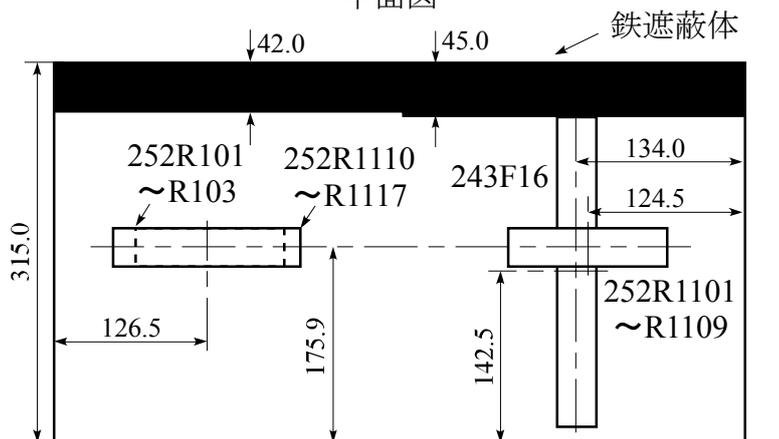


図 2.25 給液調整セル (R006) の評価モデル



平面図

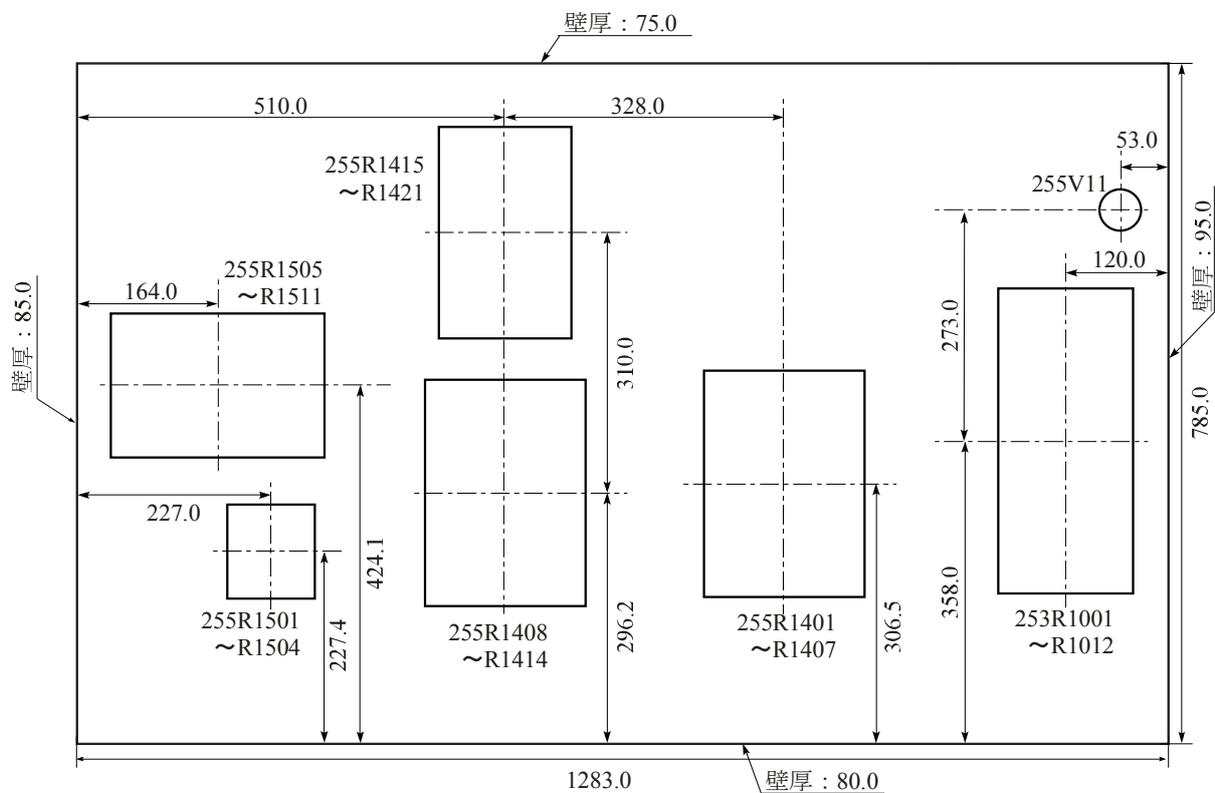


立面図

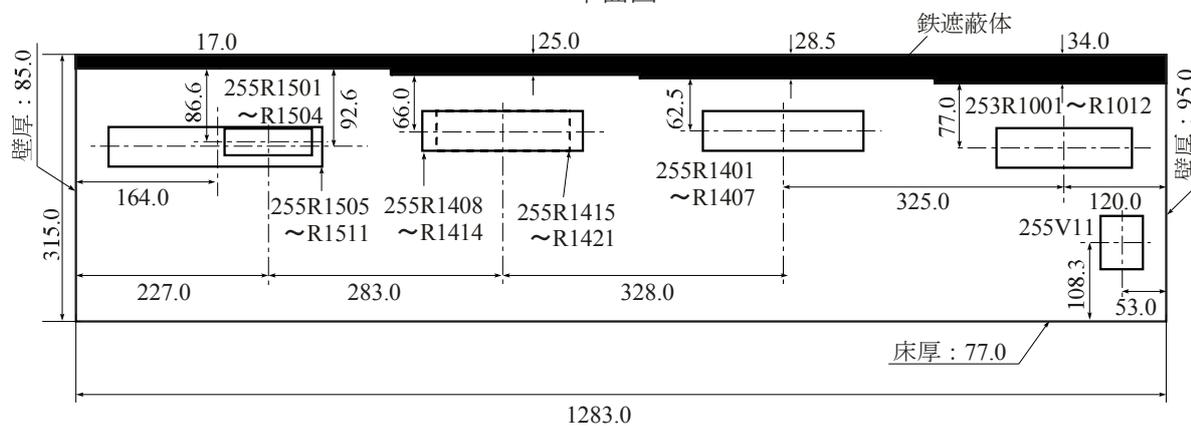
[単位 : cm]

鉄遮蔽体の上部は20 cm厚の水全反射条件
 上部以外のセル周囲は1 m厚のコンクリート全反射条件

図 2.26 分離第 1 セル (R107A) の評価モデル



平面図

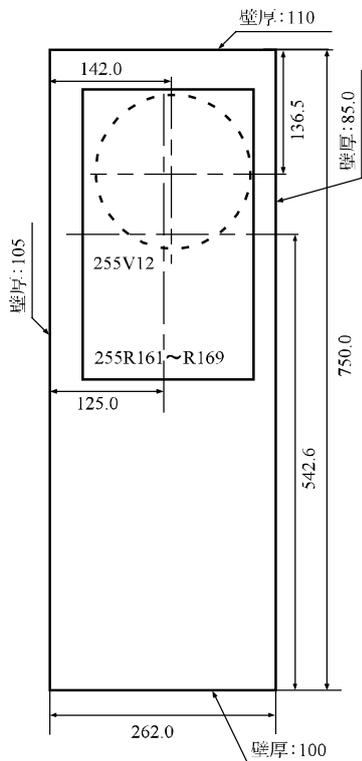


立面図

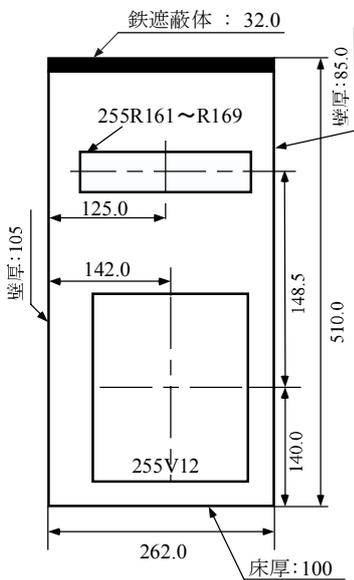
[単位 : cm]

鉄遮蔽体の上部は20 cm厚の水全反射条件

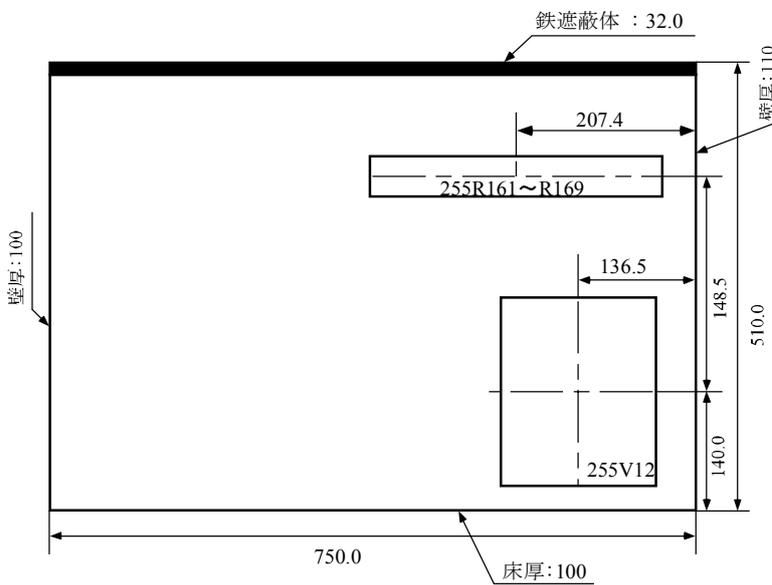
図 2.27 分離第 2 セル (R109A) の評価モデル



平面図



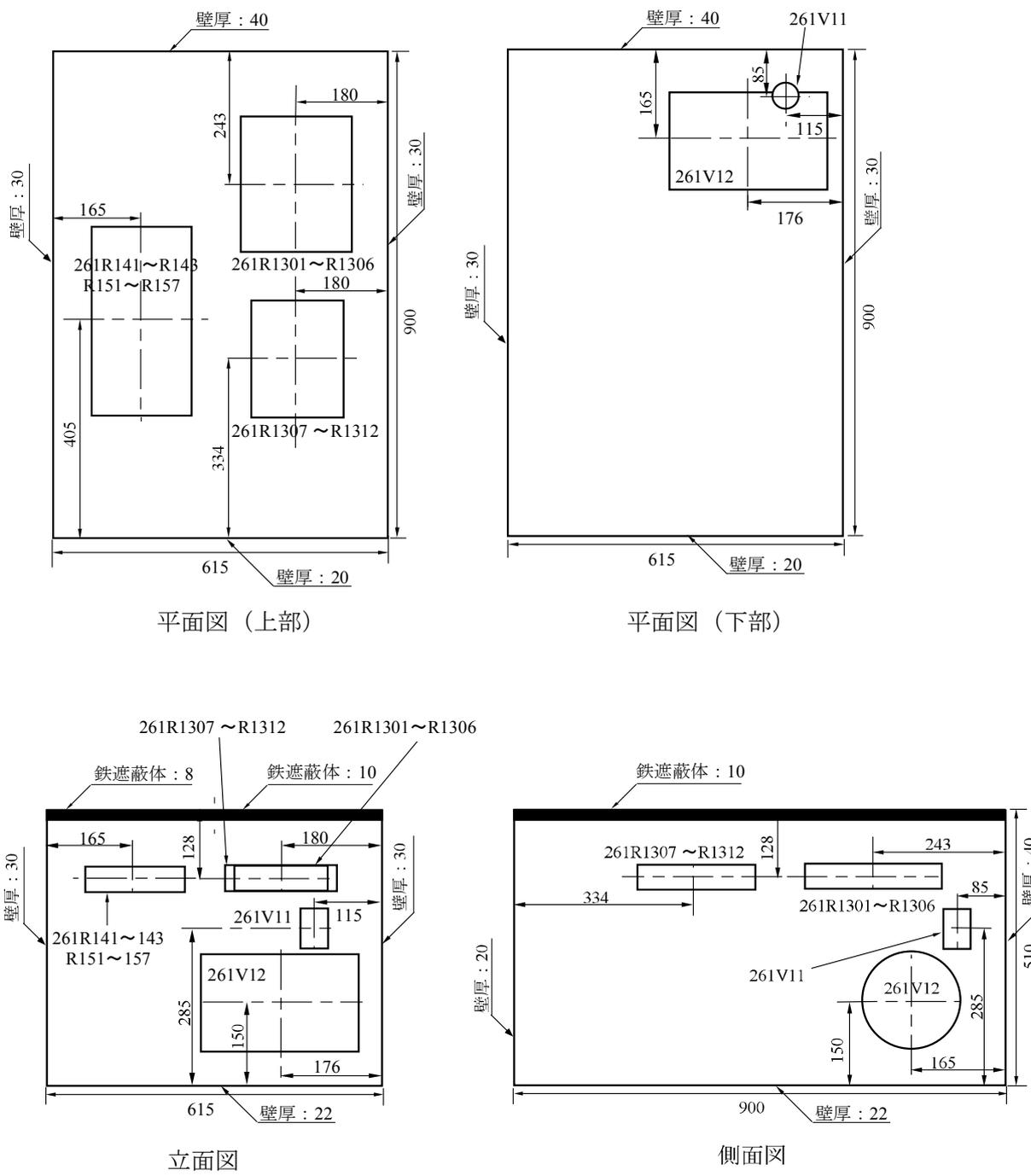
立面図



側面図

鉄遮蔽体の上部は20 cm厚の水全反射条件 [単位 : cm]

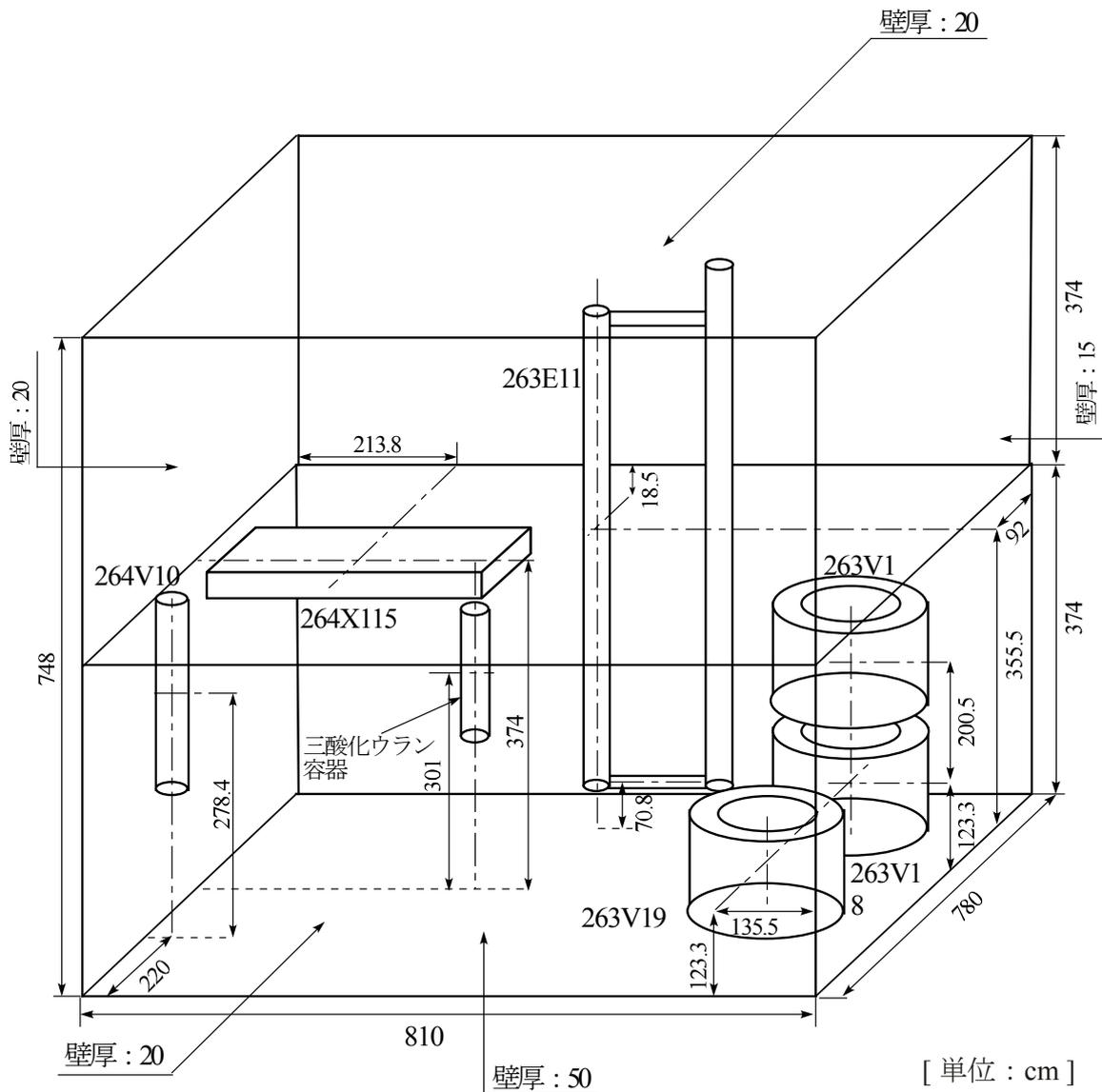
図 2.28 分離第3セル (R109B) の評価モデル



[単位 : cm]

鉄遮蔽体の上部及びコンクリート壁の外側は
20 cm厚の水全反射条件

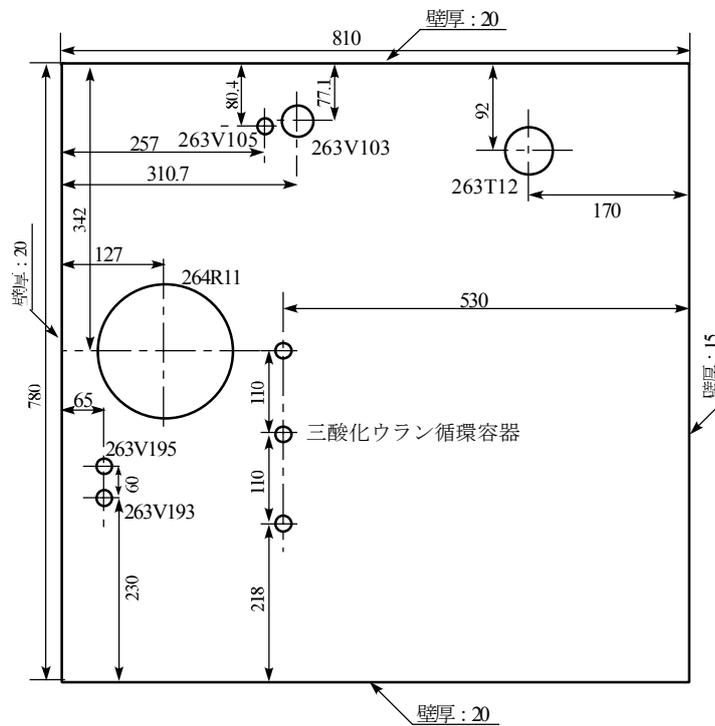
図 2.29 ウラン精製セル (R114) の評価モデル



コンクリート壁の外側は
20 cm厚の水全反射条件

図 2.31 ウラン濃縮脱硝室（A122、A222、A322）の評価モデル（2/5）

ウラン濃縮脱硝室（A122、A222）の鳥瞰図

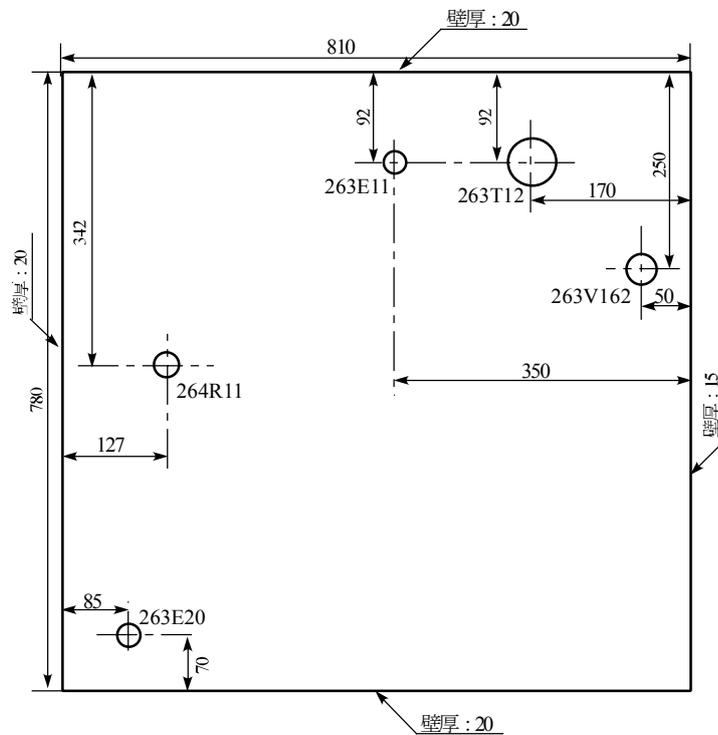


コンクリート壁の外側は
20 cm厚の水全反射条件

[単位 : cm]

図 2.32 ウラン濃縮脱硝室 (A122、A222、A322) の評価モデル (3/5)

ウラン濃縮脱硝室 (A322) 平面図

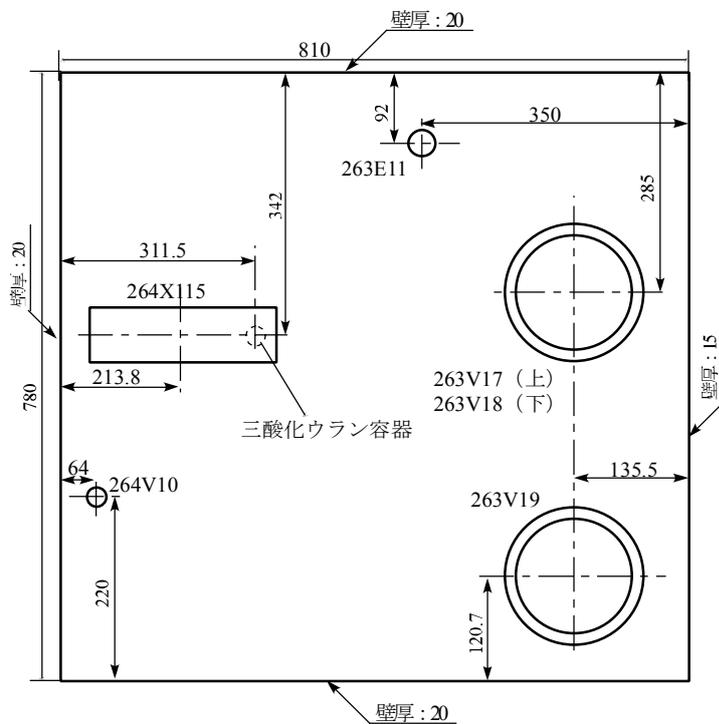


コンクリート壁の外側は
20 cm厚の水全反射条件

[単位 : cm]

図 2.33 ウラン濃縮脱硝室 (A122、A222、A322) の評価モデル (4/5)

ウラン濃縮脱硝室 (A222) 平面図

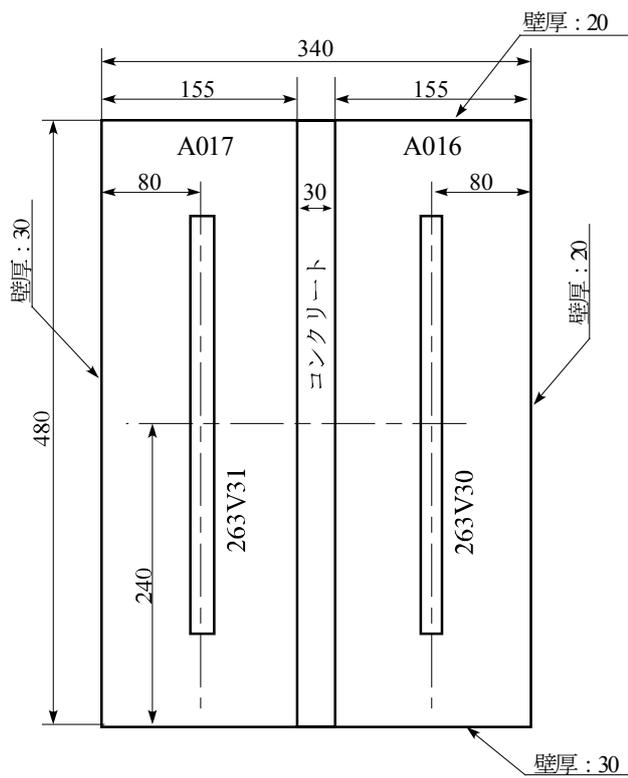


コンクリート壁の外側は
20 cm厚の水全反射条件

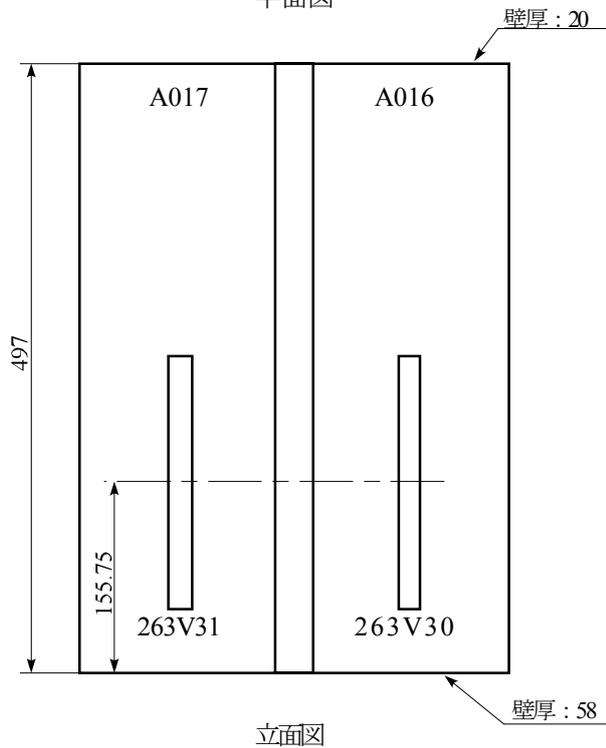
[単位 : cm]

図 2.34 ウラン濃縮脱硝室 (A122、A222、A322) の評価モデル (5/5)

ウラン濃縮脱硝室 (A122) 平面図



平面図



立面図

[単位 : cm]

コンクリート壁の外側は20 cm厚の水全反射条件

図 2.35 UNH 受槽室 (A016、A017) の評価モデル

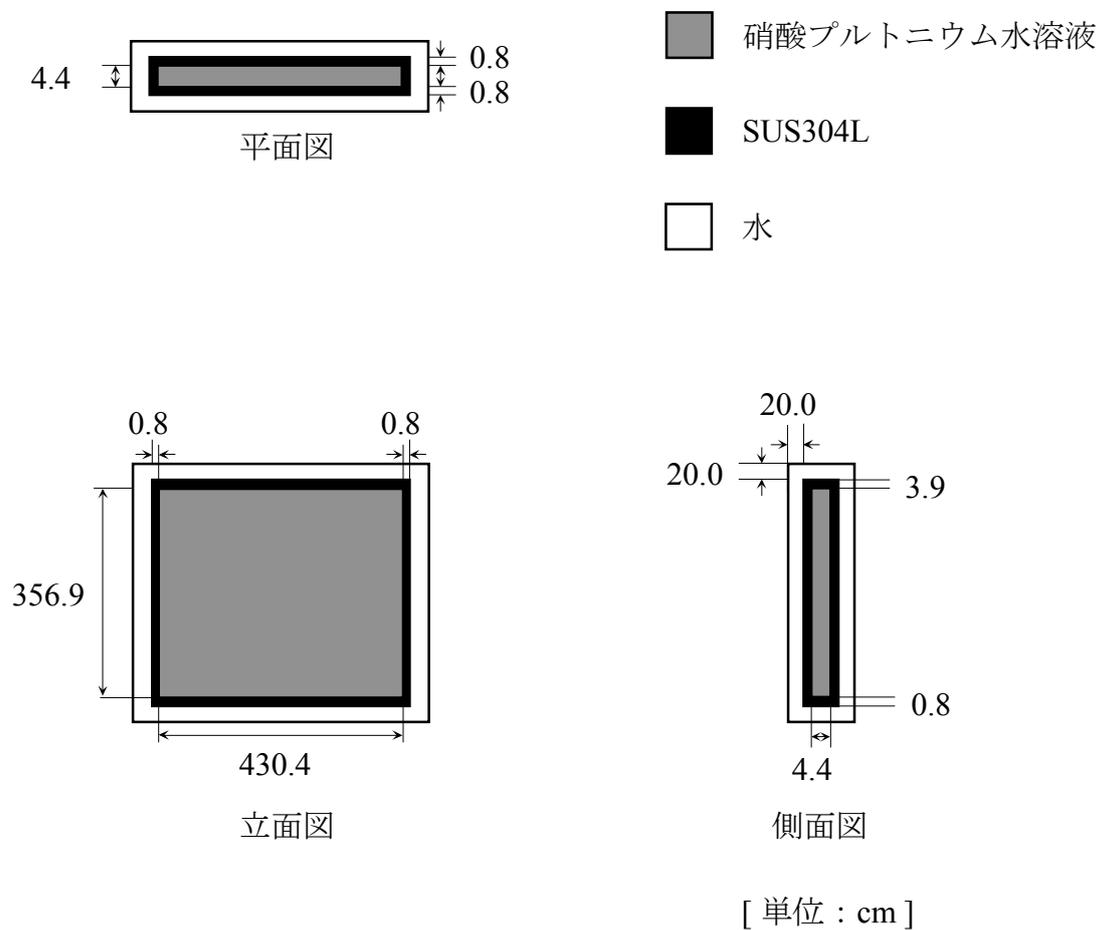


図 2.36 プルトニウム溶液受槽 (276V20) の評価モデル

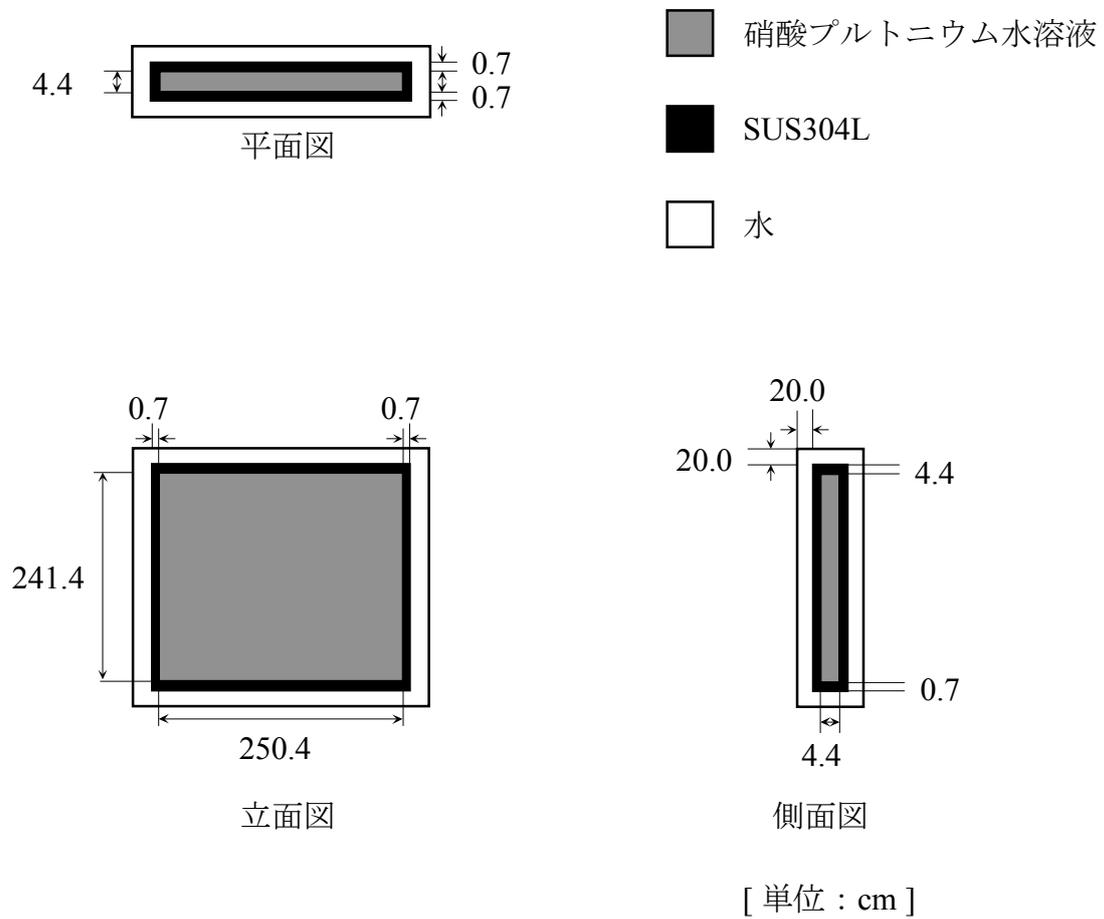
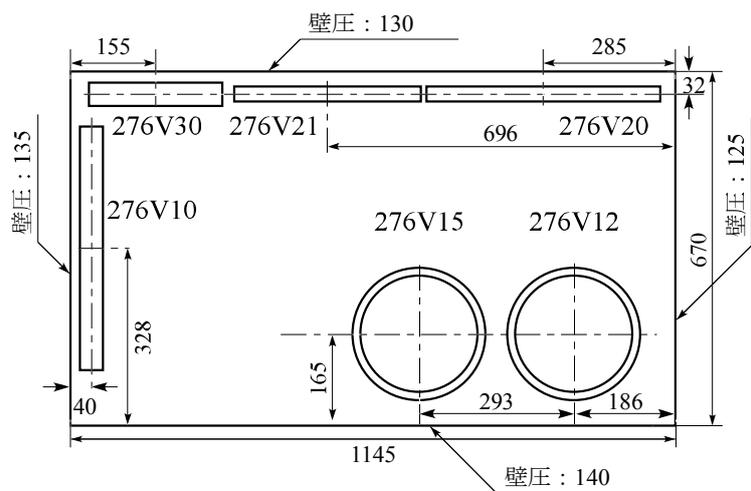
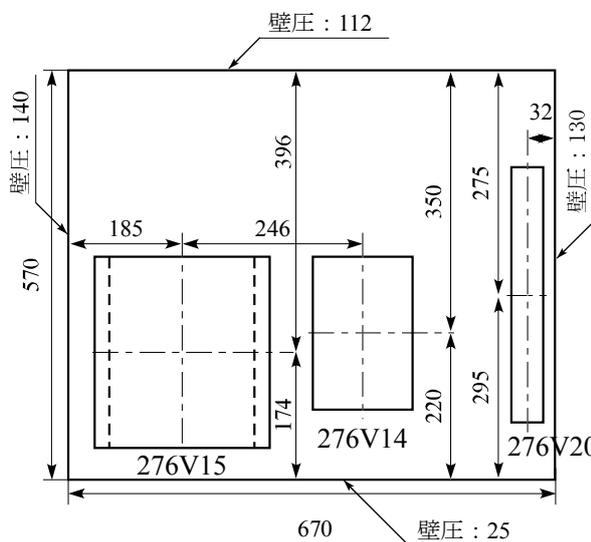


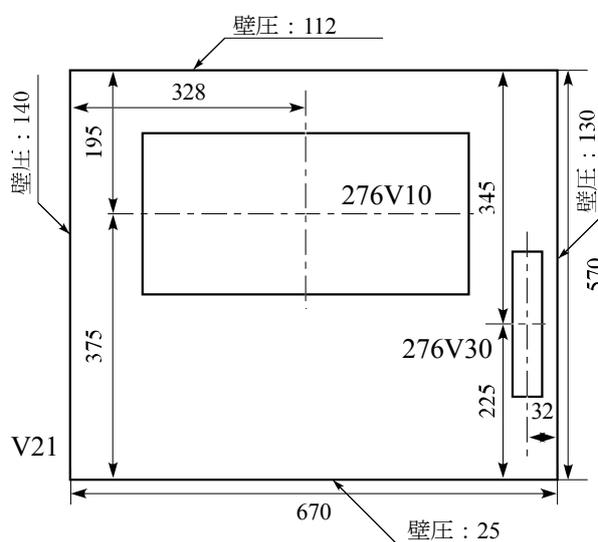
図 2.37 溢流溶媒受槽 (276V21) の評価モデル



平面図



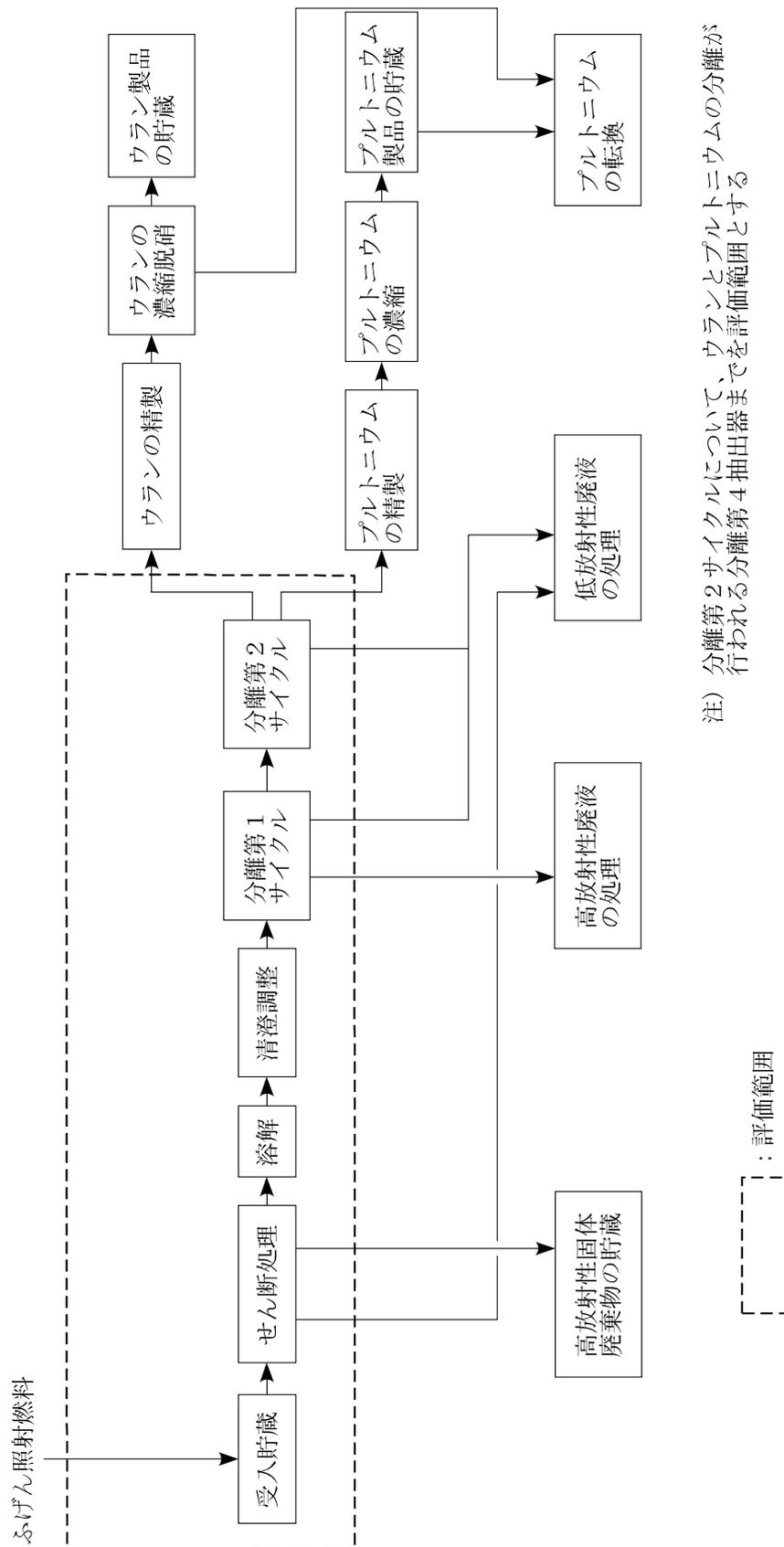
側面図
(1/2)



側面図
(2/2)

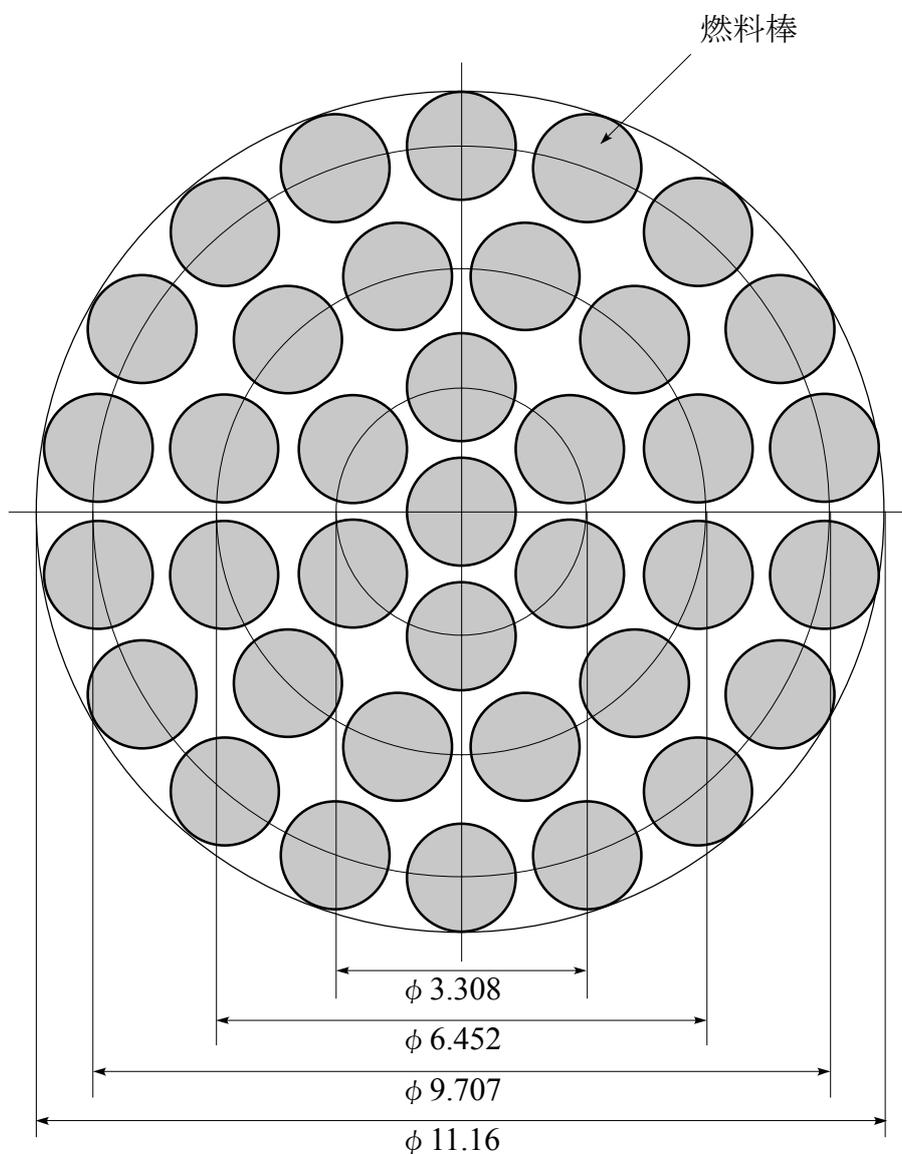
[単位 : cm]

図 2.38 リワークセル (R008) の評価モデル



注) 分離第2サイクルについて、ウランとプルトニウムの分離が行われる分離第4抽出器までを評価範囲とする

図3.1 ふげん照射燃料に係る臨界評価範囲



[単位 : cm]

図 3.2 ふげん照射燃料集合体の評価モデル

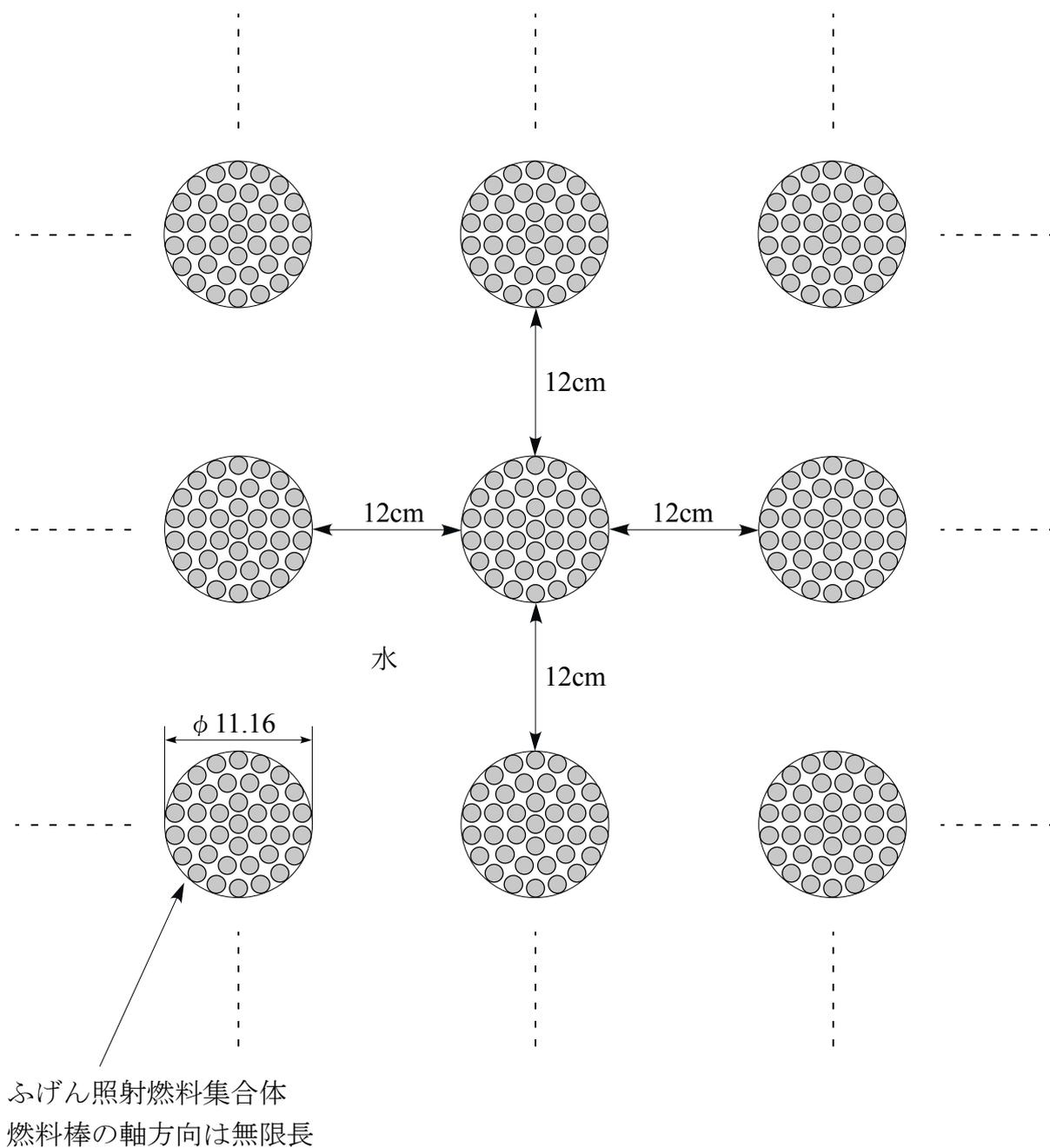


図 3.3 貯蔵プールにおけるふげん照射燃料集合体の評価モデル

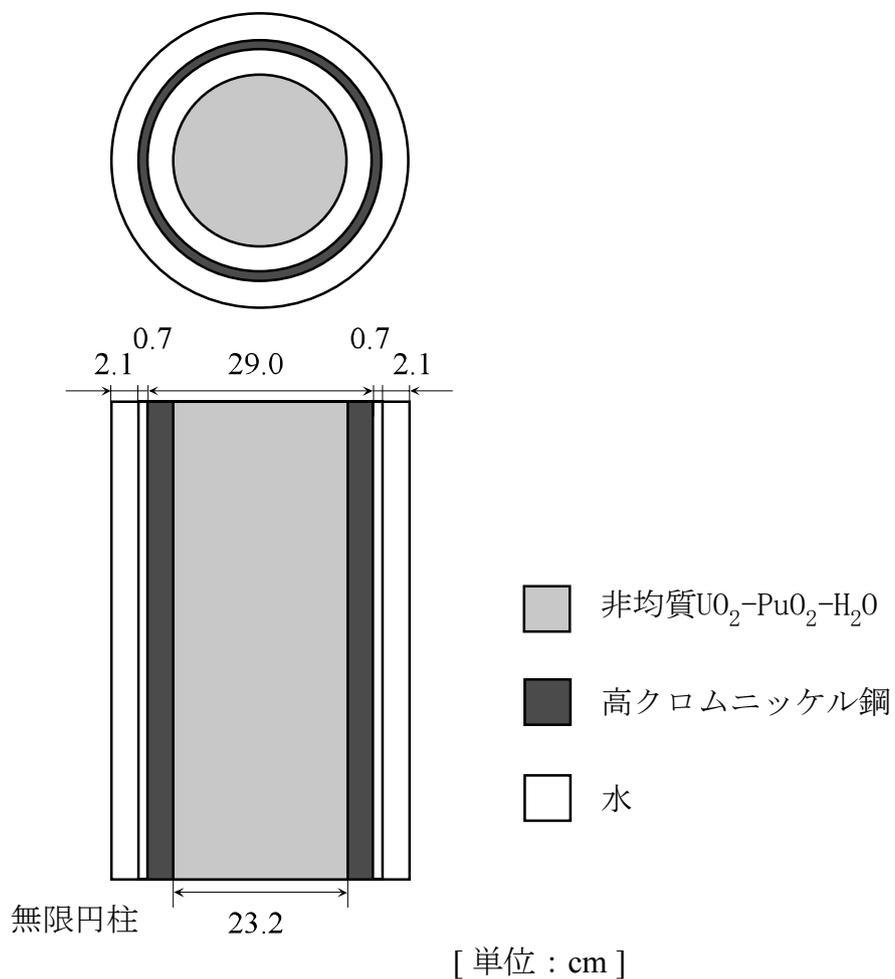


図 3.4 燃料装荷バスケットの最適格子条件サーベイ計算モデル

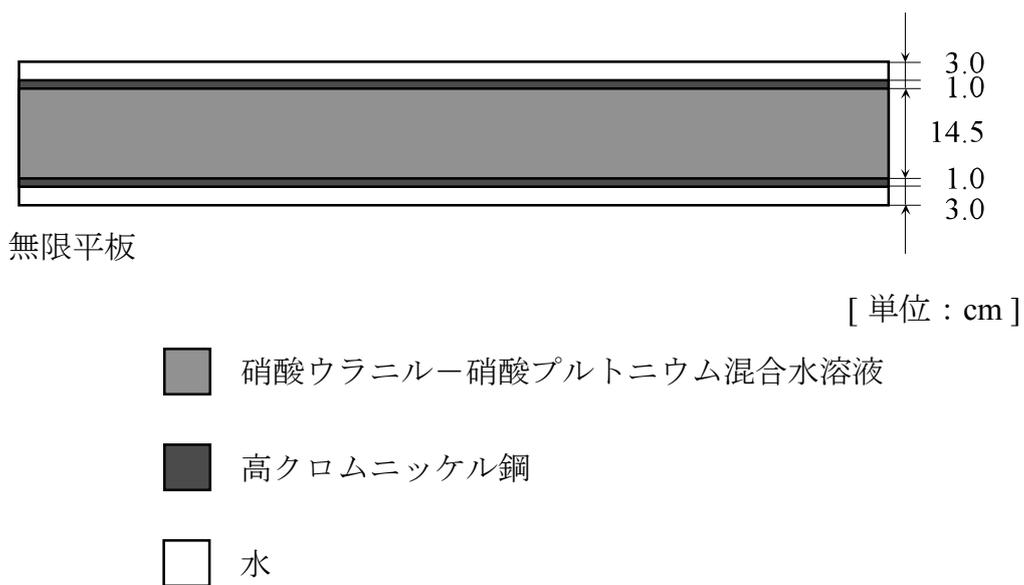
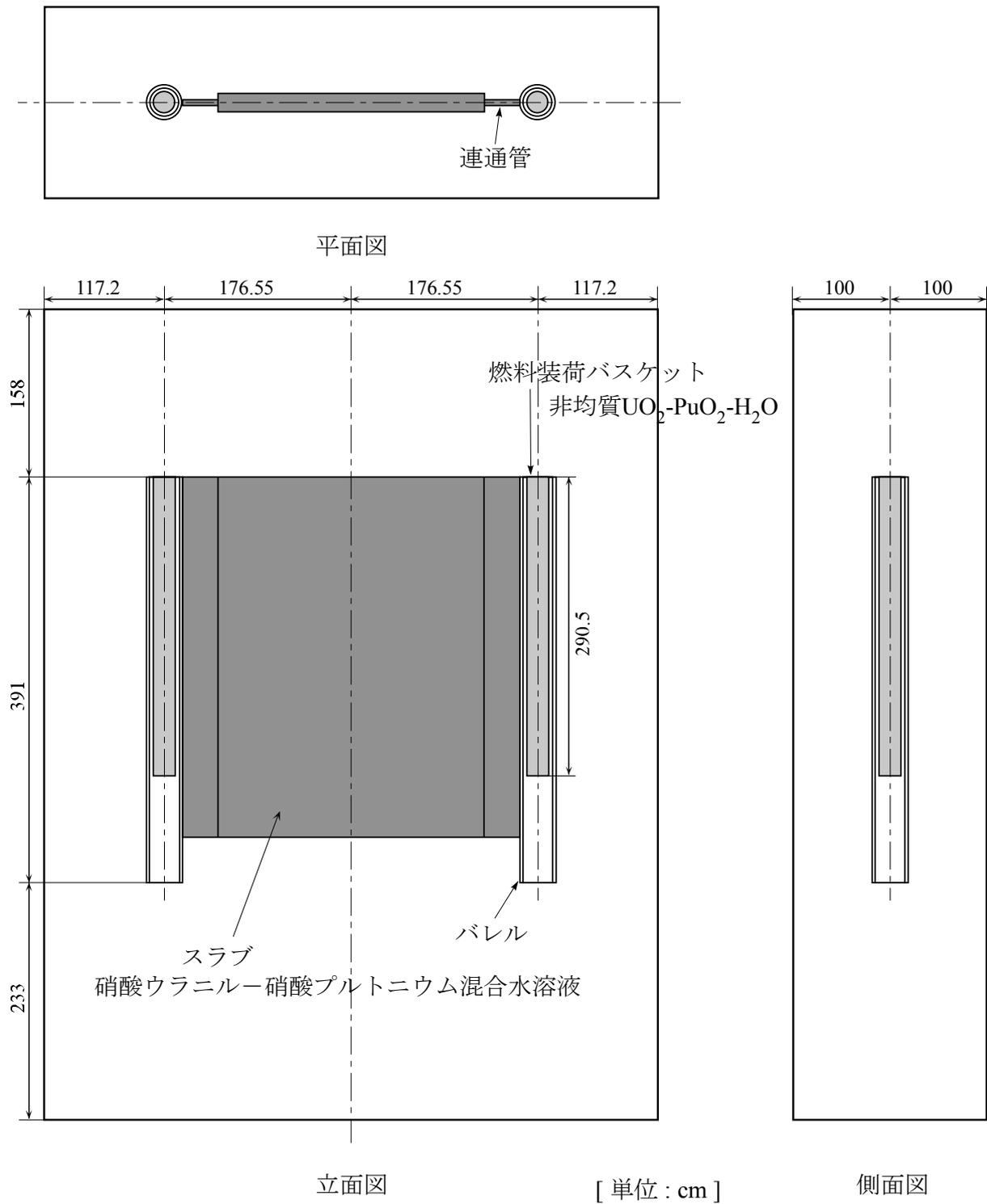


図 3.5 スラブ部の最適濃度サーベイ計算モデル

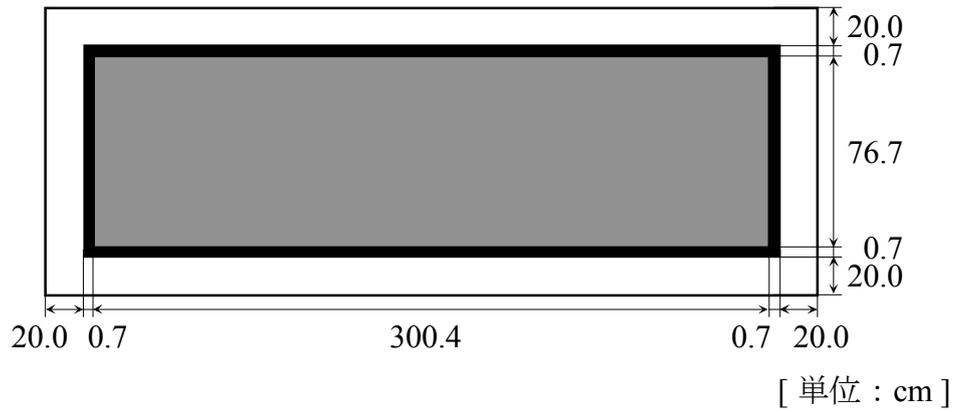


セル周囲は1 m厚のコンクリート

図 3.6 濃縮ウラン溶解槽の評価モデル



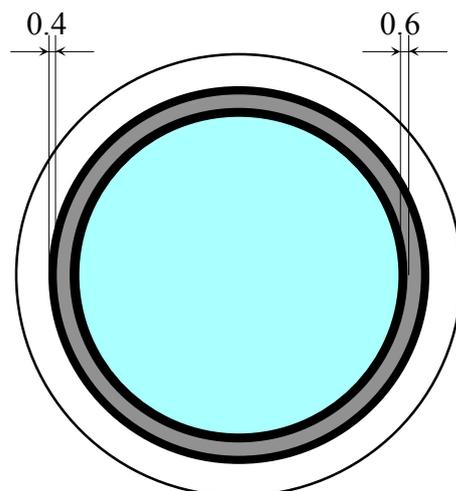
平面図



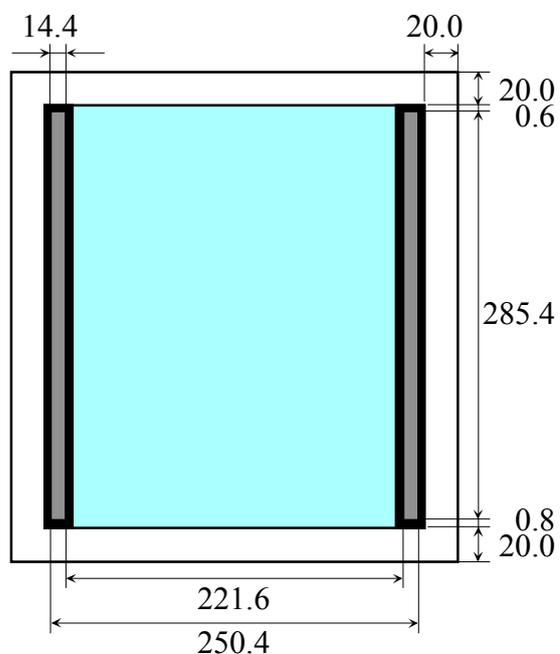
立面図

-  硝酸ウラニル-硝酸プルトニウム混合水溶液
-  SUS304L
-  水

図 3.7 スローフタンク (242V20) の評価モデル



平面図

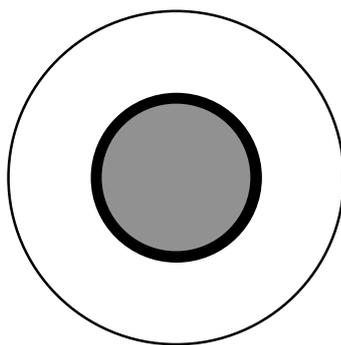


立面図

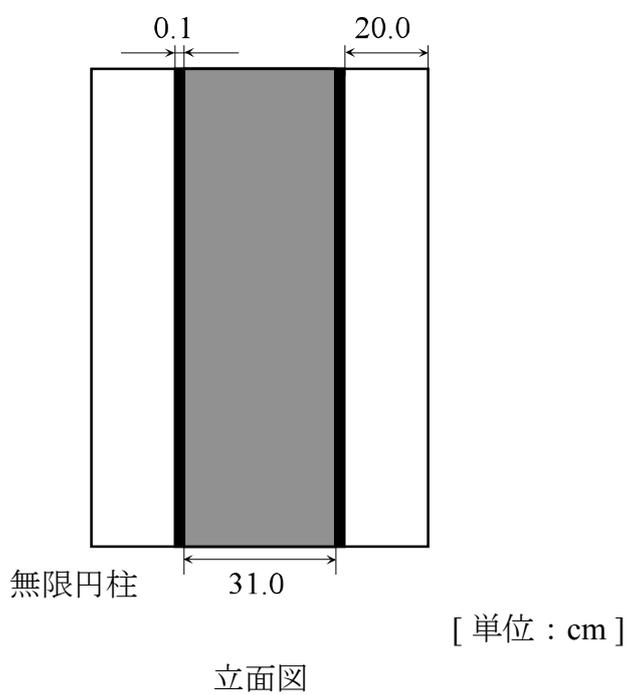
[単位 : cm]

- 硝酸ウラニル-硝酸プルトニウム混合水溶液
- SUS304L
- 水
- ボイド

図 3.8 溶解槽溶液受槽 (243V10) 及び洗浄液受槽 (242V13) の評価モデル

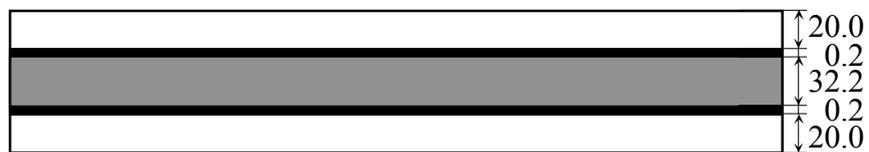


平面図



-  硝酸ウラニル-硝酸プルトニウム混合水溶液
-  SUS304L
-  水

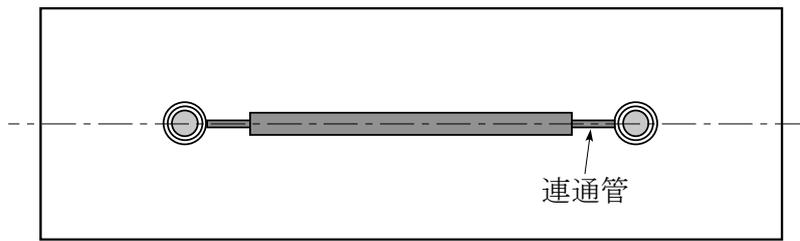
図 3.9 パルスフィルタ (243F16、F16A) の評価モデル



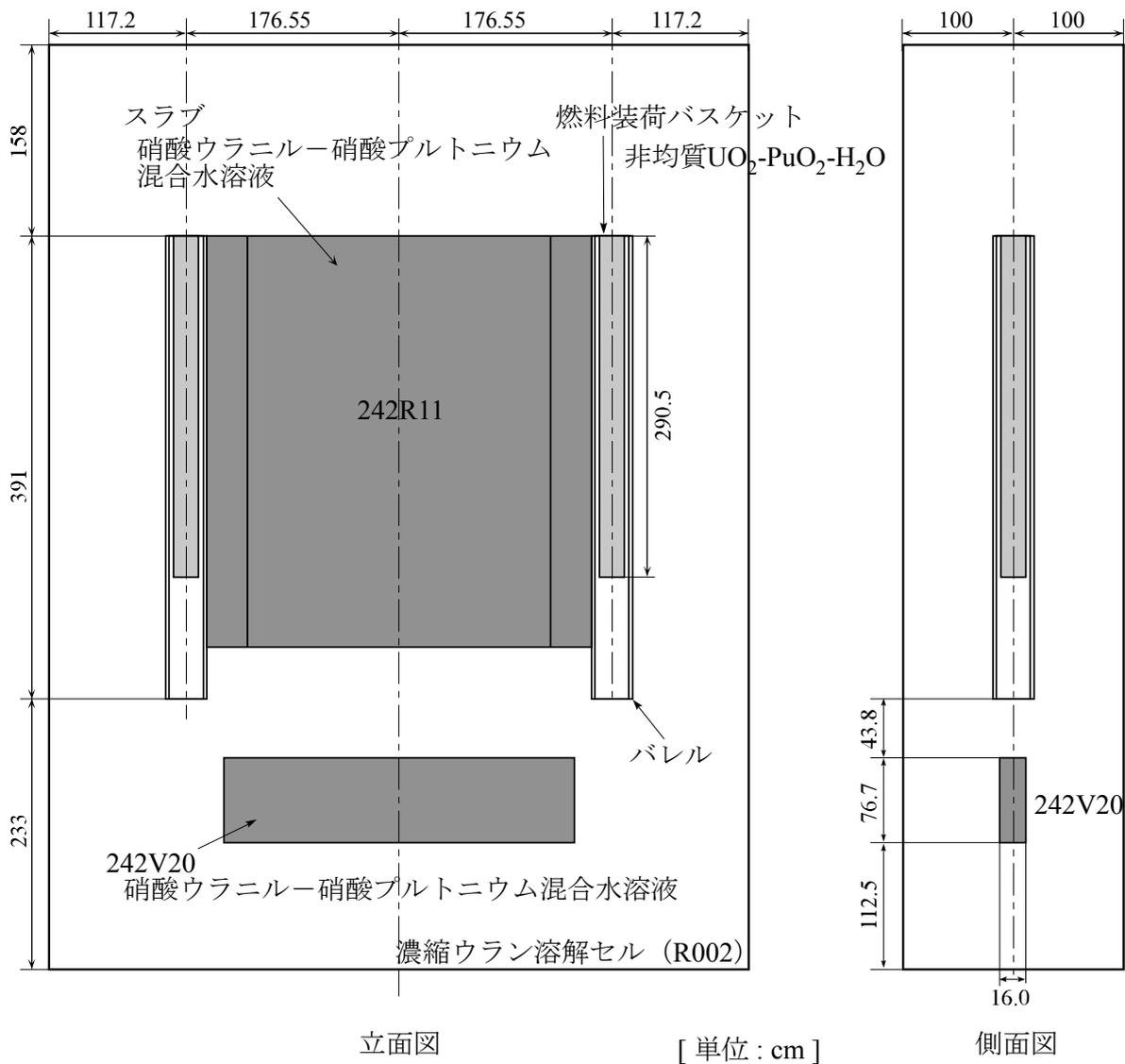
無限平板

-  硝酸ウラニル-硝酸プルトニウム混合水溶液
-  SUS304L
-  水

図 3.10 分離第 1 抽出器 (252R11)、分離第 2 抽出器 (253R10)、
分離第 3 抽出器 (255R14) 及び分離第 4 抽出器 (255R15) の評価モデル

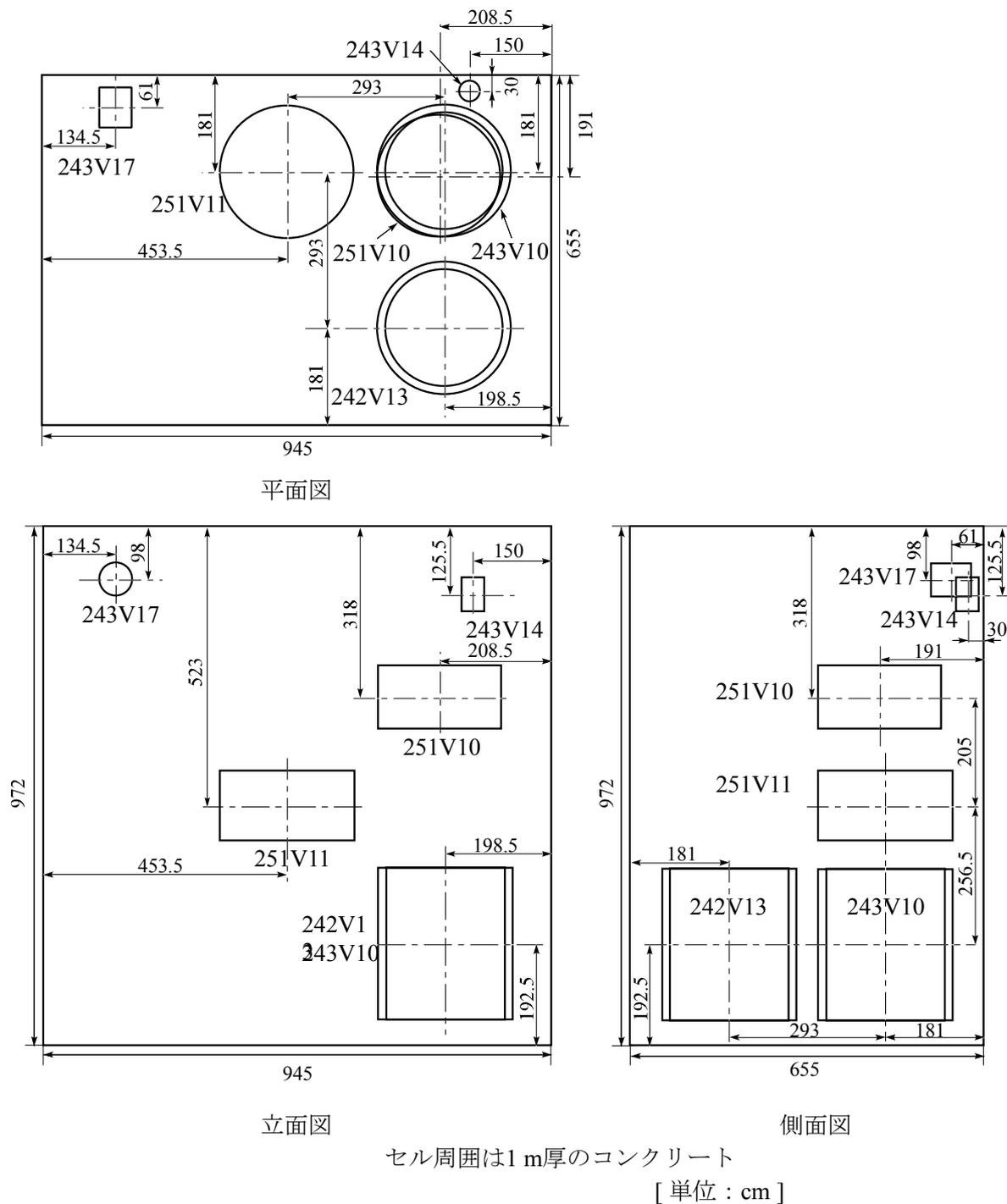


平面図



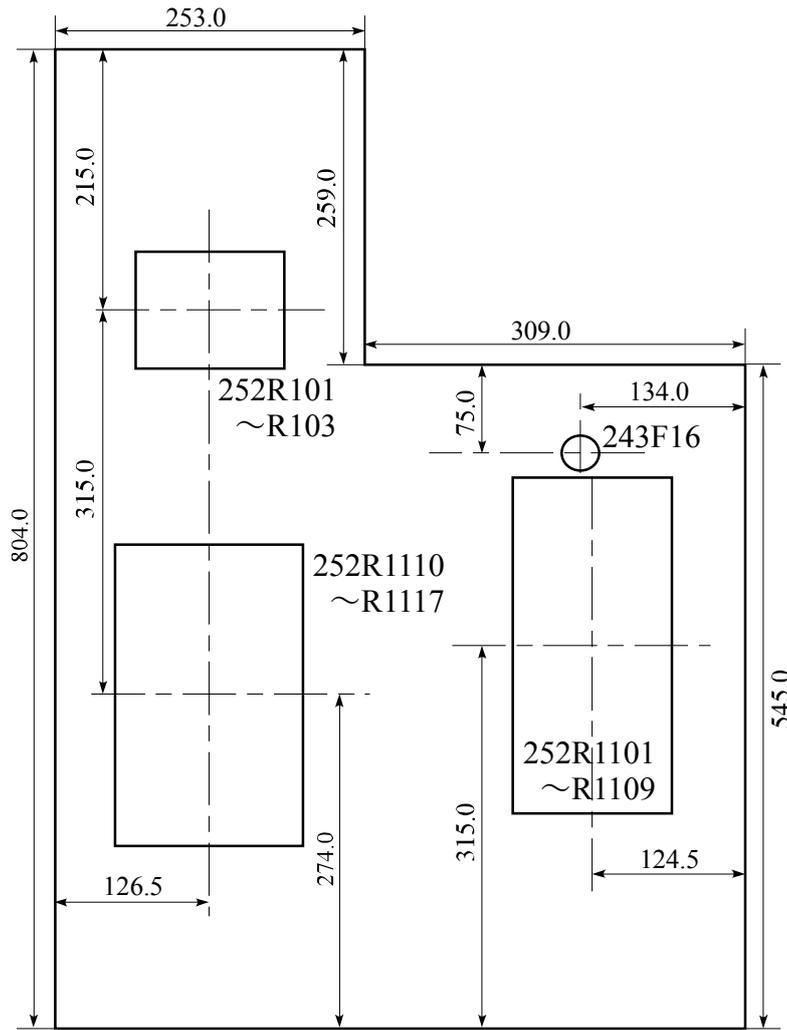
セル周囲は1 m厚のコンクリート

図 3.11 濃縮ウラン溶解セル (R002) の評価モデル

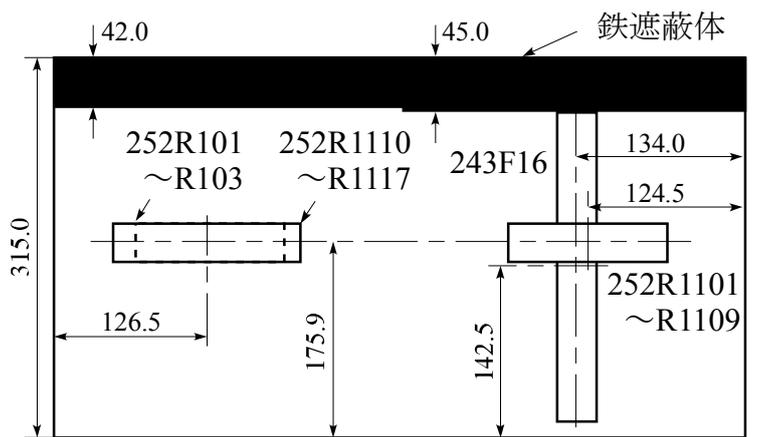


セル周囲は1 m厚のコンクリート
[単位 : cm]

図 3.12 給液調整セル (R006) の評価モデル



平面図



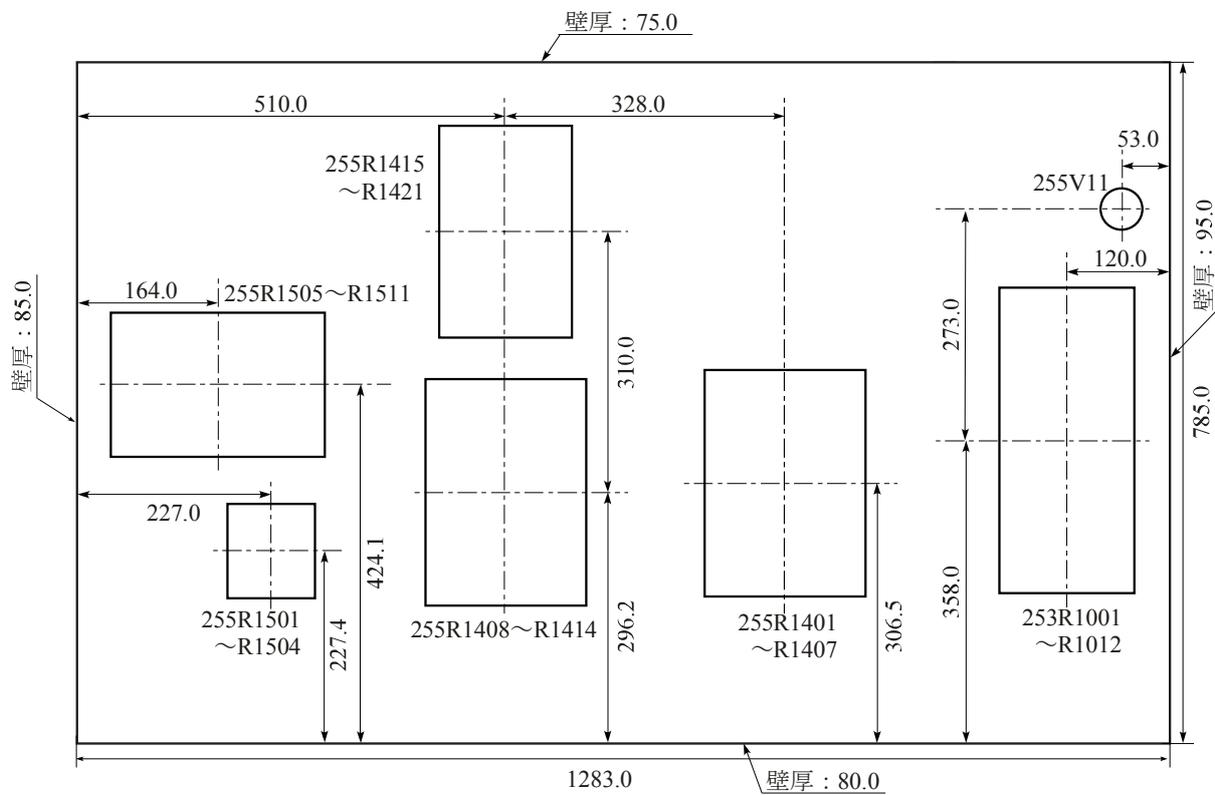
立面図

[単位 : cm]

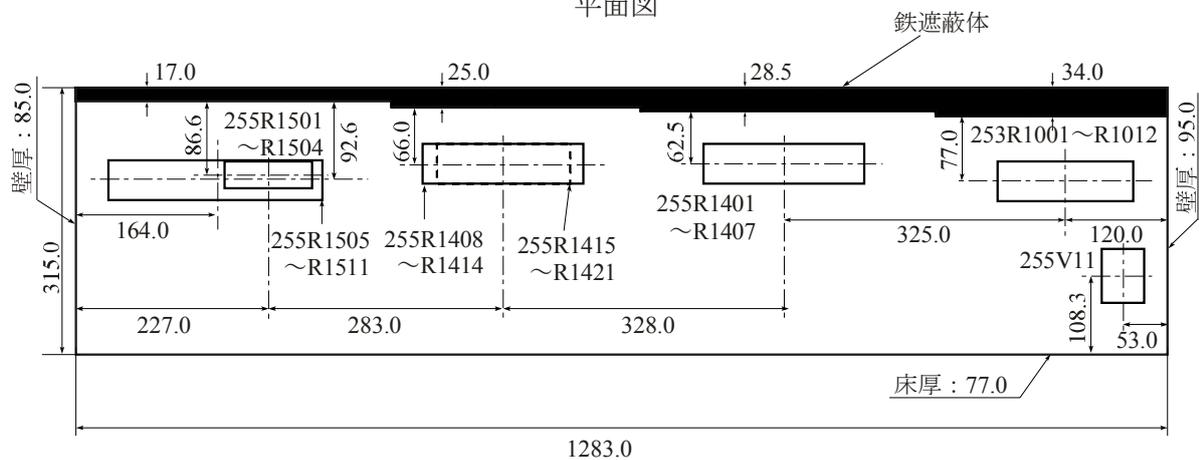
鉄遮蔽体の上部は20 cm厚の水全反射条件

上部以外のセル周囲は1 m厚のコンクリート全反射条件

図 3.13 分離第 1 セル (R107A) の評価モデル



平面図



立面図

[単位：cm]

鉄遮蔽体の上部は20 cm厚の水全反射条件

図 3.14 分離第2セル (R109A) 内機器の評価モデル

This is a blank page.

国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

基本量	SI基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立法メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の)	1
比透磁率 ^(b)	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s
電荷, 電気量	クーロン	C	s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V
磁束	ウエーバ	Wb	Vs
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C	K
光照射量	ルーメン	lm	cd sr ^(c)
放射線量	グレイ	Gy	J/kg
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq	s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg
酸素活性化	カタール	kat	s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の間には1:1の関係がある。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV.2002.70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位	
	名称	記号
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s
表面張力	ニュートンメートル	N m
角速度	ラジアン毎秒	rad/s
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²
熱容量, エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³
電表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m ²
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²
誘電率	ファラド毎メートル	F/m
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s
放射線強度	ワット毎ステラジアン	W/sr
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ²⁴	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852 m
バイン	b	1 b=100 fm ² =(10 ¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デジベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオト	ph	1 ph=1 cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1 cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1 Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe _e =(10 ³ /4π) A m ⁻¹

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「△」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1メートル系カラット=200 mg=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858 J (「15°C」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1 μm=10 ⁻⁶ m

