

BFS-58-1-I1炉心の臨界実験解析結果

(研究報告)

2000年6月

核燃料サイクル開発機構
大洗工学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4-49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184

Japan

©核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

2000

BFS-58-1-I1 炉心の臨界実験解析結果

(研究報告書)

庄野彰*、佐藤若英**、岩井武彦**

要 旨

BFS-58-1-I1炉心に関する最新の実験解析結果を報告する。本炉心は、中央部から順にU無し燃料領域、MOX燃料領域、濃縮 UO_2 燃料領域が配置された特殊な構成を持つ。

当初入手した実験情報のうち、物質配置を決定するラッパ管間隔を修正する必要が生じたので、解析を全面的にやり直した。JUPITER解析と同様に、高速炉用70群基本炉定数セットJFS-3-J3.2を用い、プレートストレッチモデルに基づくセル計算によって炉中心反応率比を求めたが、その解析精度が測定誤差では説明できないほど悪いことがわかった。そこで、プレートストレッチモデル適用性の良否を検討するために、ペレットの原子数密度を保存するセルモデルの効果を、連続エネルギーモンテカルロ計算コードMVPを用いて調べた。また、JFS-3-J3.2の適用性の良否を検討するために、高速炉より軟らかな中性子スペクトルで重み付けされたSRACライブラリを用いて一部の核反応断面積を置換した場合の効果を調べた。

その結果、MOX燃料領域及び濃縮 UO_2 燃料領域とは異なり、典型的なNa冷却MOX燃料炉心に比べてきわめて軟らかい中性子スペクトルを示す炉心中心領域（U無し燃料領域）のセル計算では、プレートストレッチモデルが無視できない計算誤差を引き起こすこと、ならびに、JFS-3-J3.2をそのまま適用することは適切でないことがわかった。

これらの考察を踏まえ、U無し燃料領域には原子数密度を保存するセルモデルを適用するとともに、JFS-3-J3.2の構造材核種の散乱断面積をSRACライブラリと置換して実効断面積を求めた。その結果、炉中心反応率比に関して測定誤差範囲内の解析精度が得られた。また、臨界性についても、輸送・メッシュ補正後の2次元RZモデル解析値はIPPE及びCEAの報告値と同等の値を得た。さらに、これらの解析情報を考慮した炉定数調整結果を検討した結果、JUPITER実験解析結果との整合性は良好であることを確認した。

これらの知見は、解体核処分支援のための共同研究において今後実施するBFS-2臨界実験解析にも適用できる。

* 大洗工学センター システム技術開発部 炉心技術開発グループ

** 原子力システム株式会社

本報告書の内容には、原子力システム(株)が核燃料サイクル開発機構（機構担当部課室：大洗工学センター、システム技術開発部、炉心技術開発グループ）との契約により実施した業務成果に関するものを含み、核燃料サイクル開発機構がとりまとめたものである。

Experimental analyses Results on the BFS 58-1-I1 Critical Assemblies

Akira Shono*, Wakaei Sato** and Takehiko Iwai**

ABSTRACT

This report describes the updated analyses results on the BFS-58-1-I1 core. The experiment was conducted at BFS-2 of Russian Institute of Physics & Power Engineering(IPPE). The central region is "non-Uranium fuel zone", where only Pu can induce fission reaction. The non-U zone is surrounded by MOX fuel zone, which is surrounded by UO₂ fuel zone. Sodium is used for simulating the coolant material.

As it was found that the lattice pitch had been incorrectly understood in the past analyses, all items have been re-calculated using the corrected number densities. Furthermore, significantly softened neutron spectrum in the central region caused problems in applying the plate-stretch model that has been established for fast reactor cores through JUPITER experimental analyses. Both keeping the pellet density and using SRAC library for the elastic cross section for lighter nuclides allow us to obtain reasonable analysis accuracy on the spectral indices that were measured at the center of the core. Application of such a cell model was justified through comparison among various cell models using continuous energy Monte-Carlo code MVP. It is confirmed that both the MOX zone and the UO₂ zone can be correctly evaluated by the plate-stretch model.

Based on the updated cell calculation, both the effective multiplication factor (k_{eff}) and the spectral indexes agree well with the measured values. The transport and mesh-size correction is made for the k_{eff} evaluation. Those results also agree well within reasonable difference between those obtained by IPPE and CEA, which were obtained by using sub-group method or continuous-energy Monte Carlo code.

Evaluation by the nuclear data library adjustment confirmed that the analyses results of the BFS-58-1-I1 core have no significant inconsistency with JUPITER experimental analyses results. Those results are quite important for starting BFS-62 cores, which will be analyzed in the framework of supporting program for Russian weapon-grade Pu disposition.

* Reactor Physics Research Group, System Engineering Technology Division, O-arai Engineering Center, JNC, Japan

** Nuclear Engineering System Incorporation

目次

要旨	i
Abstract	ii
目次	iii
図リスト	v
表リスト	viii
第1章 緒言	1
第2章 実験情報	2
2.1 BFS-58-1-I1 炉心の概要	2
2.2 ラッパ管ピッチの修正	2
2.3 Na ボイド反応度測定時の集合体配置の修正	2
第3章 解析方法	5
3.1 概要	5
3.2 JUPITER 標準解析手法に基づく解析方法	5
3.3 群定数ライブラリ	6
3.4 セルモデル	6
3.5 炉心体系モデル	6
3.6 炉中心反応率比の解析方法	7
第4章 燃料領域の実効定数作成方法に関する検討	13
4.1 JUPITER 標準解析手法に基づく炉中心反応率比の C/E 値	13
4.2 各燃料領域の中性子スペクトルの比較	13
4.3 セルモデル及び炉定数の変更がセル計算結果に及ぼす影響	13
4.4 炉中心反応率比の C/E 値に対するセルモデル及び炉定数の影響	14
4.5 臨界性に対するセルモデル及び炉定数の影響	15
第5章 最確 C/E 値及び他機関の解析結果との比較	38
5.1 概要	38
5.2 臨界性	38
5.3 炉中心反応率比	38
5.4 Na ボイド反応度	38
第6章 JUPITER 実験解析結果との整合性の検討	43
6.1 検討方法	43
6.2 BFS-58-1-I1 炉心の実験解析結果の整理	43
6.3 炉定数調整結果	44
6.3.1 BFS-58-1-I1 炉心の 8 核特性の C/E 値に対する影響	44

6.3.2	JUPITER82 核特性の C/E 値に対する影響	44
6.3.3	炉定数の調整量に与える影響	44
6.3.4	各核特性 C/E 値変化量の比較結果	45
第7章	まとめ	62
	参考文献	63
付録 I	BFS-58-1-I1 炉心体系及び測定に関する情報	65
付録 II	BFS-58-1-I1 炉心体系の計算モデルに関する情報	82
付録 III	炉定数調整前後での断面積調整量	95

図リスト

本文に収録

図 2.1	BFS-58-1-I1 炉心の概念図 (RZ モデル、単位; cm)	3
図 2.2	BFS 実験体系の基本的な構成	4
図 3.1	解析方法 (臨界性)	8
図 3.2	燃料セルの構成と 1 次元セルモデル (BFS-58-1-I1 炉心の U 無し燃料領域)	9
図 3.3	CITATION の 2 次元 R-Z モデルの寸法設定値及びその算出過程	10
図 3.4	炉中心反応率評価に用いる核分裂断面積の検討に使用した U 無し燃料領域のセル構造	11
図 3.5	Pu-239(n, f) 実効ミクロ断面積の比較結果	12
図 4.1	JUPITER 解析手法に基づく炉中心反応率比の C/E 値	23
図 4.2	BFS-58-1-I1 炉心の各燃料セルの規格化中性子エネルギースペクトルの比較	24
図 4.3	U 無し燃料セルでの Pu239(n, f) 反応率の比較	25
図 4.4	U 無し燃料セルでの Pu239(n, c) 反応率の比較	26
図 4.5	MOX 燃料セルでの Pu239(n, f) 反応率の比較	27
図 4.6	MOX 燃料セルでの Pu239(n, c) 反応率の比較	28
図 4.7	MOX 燃料セルでの U238(n, f) 反応率の比較	29
図 4.8	MOX 燃料セルでの U238(n, c) 反応率の比較	30
図 4.9	UO ₂ 燃料セルでの U235(n, f) 反応率の比較	31
図 4.10	UO ₂ 燃料セルでの U235(n, c) 反応率の比較	32
図 4.11	UO ₂ 燃料セルでの U238(n, f) 反応率の比較	33
図 4.12	UO ₂ 燃料セルでの U238(n, c) 反応率の比較	34
図 4.13	自群弾性散乱断面積のライブラリー間の差	35
図 4.14	炉中心反応率比 C/E 値に対するセルモデル及び炉定数セットの影響	36
図 4.15	セルモデル及び炉定数を変更した場合の実効増倍係数変化量の内訳	37
図 5.1	炉中心反応率比 C/E 値に関する JNC, IPPE, CEA 解析結果の比較	42
図 6.1	炉定数調整による核特性 C/E 値の変化 (BFS-58-1-I1 体系)	48
図 6.2	炉定数調整前後の C/E 値 (臨界性)	49
図 6.3	炉定数調整前後の C/E 値 (制御棒価値)	49
図 6.4	炉定数調整前後の C/E 値 (Na ボイド反応度)	50
図 6.5	炉定数調整前後の C/E 値 (C28 反応率分布)	50
図 6.6	炉定数調整前後の C/E 値 (F28 反応率分布)	51

図 6.7	炉定数調整前後の C/E 値 (C28/F49 反応率比)	51
図 6.8	炉定数調整前後の C/E 値 (F49 反応率分布)	52
図 6.9	炉定数調整前後の C/E 値 (F25/F49 反応率比)	52
図 6.10	臨界性における Pu239 核分裂断面積及び U238 捕獲断面積の感度係数の比較 (ZPPR-9 炉心、BFS-58-1-I1 炉心)	53
図 6.11	臨界性に対する C/E 値変化の各核種・反応の寄与量	54
図 6.12	Na ボイド反応度に対する C/E 値変化の各核種・反応の寄与量 (18S/A をボイド化した場合)	55
図 6.13	Na ボイド反応度に対する C/E 値変化の各核種・反応の寄与量 (37S/A をボイド化した場合)	56
図 6.14	F28/F25 に対する C/E 値変化の各核種・反応の寄与量	57
図 6.15	F40/F25 に対する C/E 値変化の各核種・反応の寄与量	58
図 6.16	F49/F25 に対する C/E 値変化の各核種・反応の寄与量	59
図 6.17	F40/F49 に対する C/E 値変化の各核種・反応の寄与量	60
図 6.18	F41/F49 に対する C/E 値変化の各核種・反応の寄与量	61

付録に収録

Fig. AI.1	Layout of S/As in BFS-58-1-I1	75
Fig. AI.2	Axial structure of Pu & diluent fuel S/A	76
Fig. AI.3	Axial structure of LEZ fuel with "laser" Na S/A	77
Fig. AI.4	Axial structure of LEZ fuel with "green" Na S/A	78
Fig. AI.5	Axial structure of MEZ fuel S/A	79
Fig. AI.6	Axial structure of control rod S/A	80
Fig. AI.7	Axial structure of radial blanket S/A	81
Fig. AII.1	Height and density adjustment by axial zones	94
Fig. AIII.1	Pu-239 核分裂スペクトル調整量	97
Fig. AIII.2	炭素捕獲断面積調整量	97
Fig. AIII.3	酸素弾性散乱断面積調整量	97
Fig. AIII.4	酸素非弾性散乱断面積調整量	97
Fig. AIII.5	酸素 μ 断面積調整量	97
Fig. AIII.6	Na 捕獲断面積調整量	97
Fig. AIII.7	Na 弾性散乱断面積調整量	98
Fig. AIII.8	Na 非弾性散乱断面積調整量	98
Fig. AIII.9	Na μ 断面積調整量	98
Fig. AIII.10	Cr μ 断面積調整量	98

Fig. AIII.11	Fe 捕獲断面積調整量	98
Fig. AIII.12	Fe 弾性散乱断面積調整量	98
Fig. AIII.13	Fe 非弾性散乱断面積調整量	99
Fig. AIII.14	Fe μ 断面積調整量	99
Fig. AIII.15	Ni μ 断面積調整量	99
Fig. AIII.16	U-235 捕獲断面積調整量	99
Fig. AIII.17	U-235 核分裂断面積調整量	99
Fig. AIII.18	U-235 μ 断面積調整量	99
Fig. AIII.19	U-235 非弾性散乱断面積調整量	100
Fig. AIII.20	U-238 捕獲断面積調整量	100
Fig. AIII.21	U-238 核分裂断面積調整量	100
Fig. AIII.22	U-238 ν 断面積調整量	100
Fig. AIII.23	U-238 弾性散乱断面積調整量	100
Fig. AIII.24	U-238 非弾性散乱断面積調整量	100
Fig. AIII.25	U-238 μ 断面積調整量	101
Fig. AIII.26	Pu-239 捕獲断面積調整量	101
Fig. AIII.27	Pu-239 核分裂断面積調整量	101
Fig. AIII.28	Pu-239 ν 断面積調整量	101
Fig. AIII.29	Pu-239 非弾性散乱断面積調整量	101
Fig. AIII.30	Pu-239 μ 断面積調整量	101
Fig. AIII.31	Pu-240 捕獲断面積調整量	102
Fig. AIII.32	Pu-240 核分裂断面積調整量	102
Fig. AIII.33	Pu-240 ν 断面積調整量	102
Fig. AIII.34	Pu-241 捕獲断面積調整量	102
Fig. AIII.35	Pu-241 核分裂断面積調整量	102
Fig. AIII.36	Pu-241 ν 断面積調整量	102
Fig. AIII.37	U-235 核分裂スペクトル調整量	103

表リスト

本文に収録

表 4.1-1 MVP による反応率計算値に及ぼすセルモデルの影響(U 無し燃料セル)	17
表 4.1-2 MVP による反応率計算値に及ぼすセルモデルの影響(MOX 燃料セル)	18
表 4.1-3 MVP による反応率計算値に及ぼすセルモデルの影響(UO ₂ 燃料セル)	19
表 4.2 各燃料セルの無限増倍係数の計算結果	20
表 4.3 炉中心反応率比 C/E 値に対するセルモデル及び炉定数セットの影響	21
表 4.4 燃料領域のセルモデル及び炉定数を変更した場合の実効増倍係数への影響	21
表 4.5 セルモデル及び炉定数を変更した場合の実効増倍係数変化量の内訳	22
表 5.1 臨界性評価結果のまとめ	40
表 5.2 IPPE 及び CEA の解析結果 (実効増倍係数)	40
表 5.3 Na ボイド反応度評価結果のまとめ	41
表 5.4 IPPE の Na ボイド反応度評価結果	41
表 5.5 JFS-3-J3.2 に基づく Na ボイド反応度評価結果のまとめ	41
表 6.1 炉定数調整に使用した BFS-58-1-I1 炉心の C/E 値及び誤差設定値	47
表 6.2 炉定数調整前後の BFS-58-1-I1 炉心 C/E 値の比較	47

付録に収録

Table AI.1 Composition and dimensions of material blocks and other BFS-2 components	69
Table AI.2 Measured values of Na void reactivity worth	72
Table AI.3 Measured values of reaction rate ratios	73
Table AI.4 Recommended value and its uncertainty on the reaction rate ratio measurement in BFS-58-1-I1 core	74
Table AII.1 ユニットセル、ラッパ管、ペレットの寸法	84
Table AII.2 各燃料領域の 1 次元非均質モデルの寸法設定値	85
Table AII.3 U 無し燃料領域のプレートストレッチモデルで使用した原子数密度	86
Table AII.4 MOX 燃料領域のプレートストレッチモデルで使用した原子数密度	87
Table AII.5 UO ₂ 燃料領域のプレートストレッチモデルで使用した原子数密度	88
Table AII.6 均質組成を用いて実効断面積を求める領域の原子数密度	89
Table AII.7 ペレット数密度保存モデルに使用した寸法及び数密度 (U 無し燃料領域)	91
Table AII.8 ペレット数密度保存モデルに使用した寸法及び数密度 (MOX 燃料領域)	92
Table AII.9 ペレット数密度保存モデルに使用した寸法及び数密度 (UO ₂ 燃料領域)	93

第1章 緒言

IPPE（ロシア物理エネルギー研究所）¹⁾が有する大型の高速炉臨界実験施設BFS-2で実施されたBFS-58-1-I1炉心臨界実験の解析結果を報告する。同炉心の実験解析結果については過去に報告された²⁾が、その後、1999年6月に開始した解体核処分支援のためのJNC-IPPE共同研究³⁾（“Experimental Investigation of Excess Weapon Pu Disposition in BN-600 Reactor Using BFS-2 Facility”）に基づくIPPEとの情報交換を通じて、物質配置を決定するチューブ間隔等、実験情報の修正が必要と判明した。また、炉心中央領域の中性子スペクトルが典型的な高速炉体系に比べて非常に軟らかいという同炉心の特殊性を考慮して、実効定数作成方法を見直した。

本報告書では、最初に既実験情報の修正点（第2章）及び解析方法（第3章）を示す。次に炉中心反応率比の解析精度向上の観点から実施した実効定数作成方法の検討結果を第4章に示し、それを考慮して求めた最確C/E値及び他機関による解析値との比較結果を第5章に示す。最後に、炉定数調整法によるJUPITER実験解析結果との整合性評価結果を第6章に示す。第7章に、結論と今後の課題を示す。

第2章 実験情報

2.1 BFS-58-1-11 炉心の概要

BFS-58-1-11炉心では、炉上部Naプレナム付きのMOX炉心であるBN-800模擬体系の炉心中央領域の UO_2 をアルミナと置換することにより、中央部から順にU無し燃料領域、MOX燃料領域、濃縮 UO_2 燃料領域が配置された。同炉心の概念図を図2.1に示す。実験情報の詳細は、下記2.2及び2.3に示す事項を除いて既報²⁾の通りである。代表的な図表と簡単な説明を付録Iに示す。BFS-2実験体系の基本的な構成を図2.2に示す。炉心には外径50.0mmのチューブ（本報告書では「ラッパ管」と記す）が直立しており、ラッパ管の中に各種組成のペレットを配置して、対象炉心の物質組成が模擬される。それぞれのラッパ管は、三角格子状に配列されているので、図2.2に点線で示した六角形がユニットセルになる。なお、ラッパ管同士の隙間は、ステンレス鋼棒が挿入される場合もあるし、小型検出器による測定スペースとして使われる場合もある。

本炉心では、臨界性ととも、炉心中心位置にて核分裂検出器により様々な重核種の反応率比（以下、「炉中心反応率比」と記す）が測定された。また、Naボイド反応度及び微小サンプル反応度が炉心中央部で測定された。測定結果は既報²⁾のとおりである。代表的な図表と簡単な説明を付録Iに示す。

2.2 ラッパ管ピッチの修正

IPPEのBFS施設にて実施した1999年7月の打合せ時に、既報²⁾をベースとした解析結果を議論した際、ラッパ管の配列ピッチを50.1mmではなく、51.0mmとすべきことをIPPE技術者に指摘された。本修正により、実験体系の径方向の面積が約3.5%拡がり、すべての核種のスミア密度が約3.5%「薄く」なるため、全面的に実験解析をやり直す必要が生じた。

2.3 Naボイド反応度測定時の集合体配置の修正

Naボイド反応度測定時に炉心中央の一部の領域のNaペレットをボイド化した際、臨界性を保持するために外側燃料領域（ UO_2 燃料領域）をラッパ管5本分外側に拡大したとされている（付録I参照）。既報²⁾ではこの効果は解析に取り入れていなかったが、今回の再解析にあたっては考慮することとした。

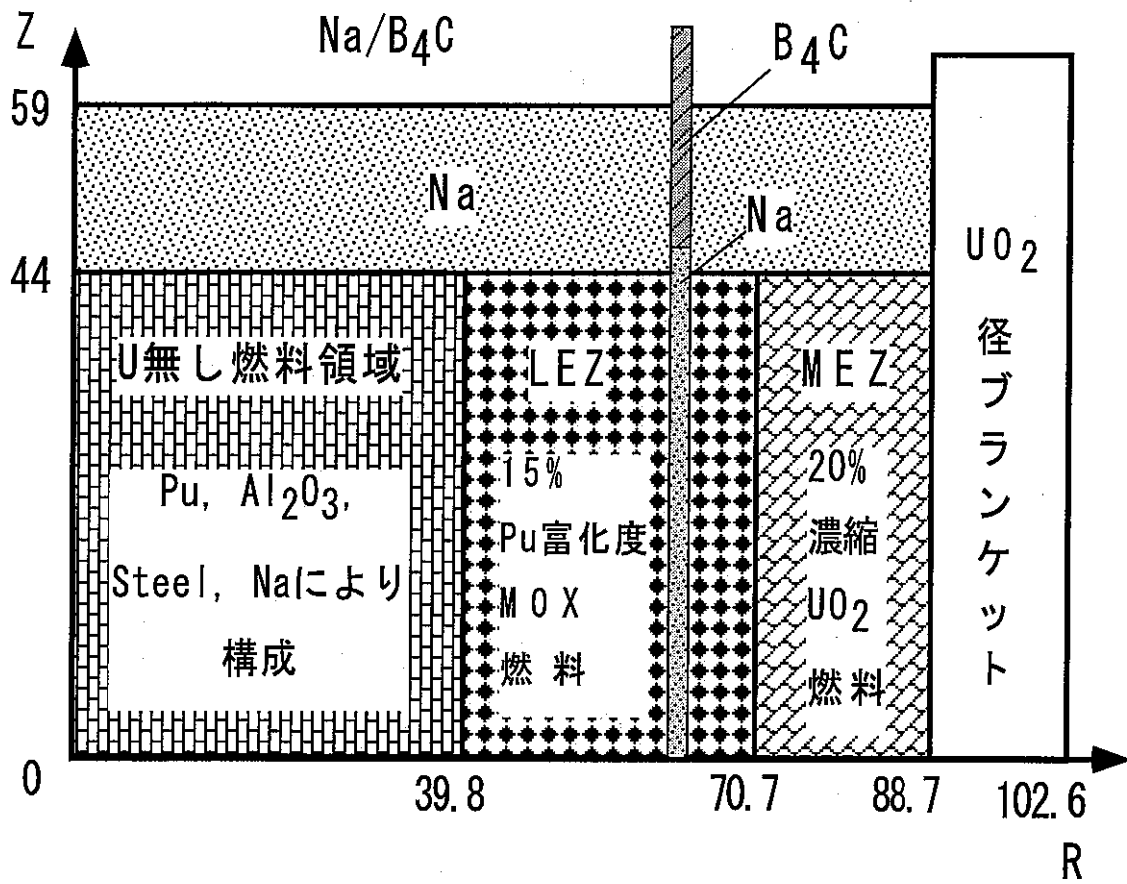


図2.1 BFS-58-1-I1炉心の概念図
(RZモデル、単位; cm)

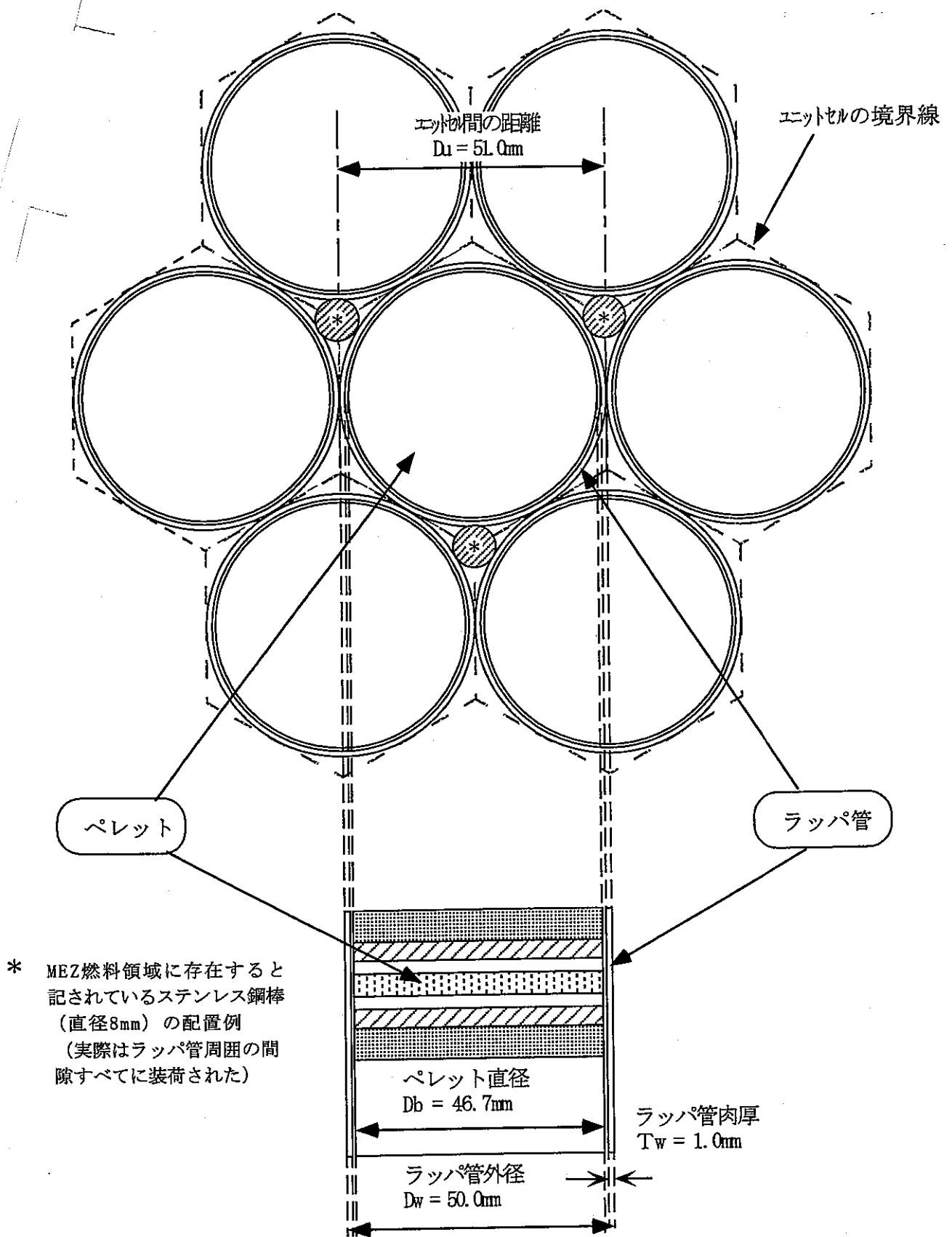


図2.2 BFS実験体系の基本的な構成

第3章 解析方法

3.1 概要

今回の検討に使用した解析方法の主要な流れを図3.1に示す。最初の段階では、JUPITER 実験解析で標準的に使用された手法⁵⁾（以下、「JUPITER 標準解析手法」と記す）を用いた。しかし、本炉心体系の中央部のU無し燃料領域の実効定数作成方法に関する検討過程で、中性子スペクトルがきわめて軟らかいことに鑑み、群定数ライブラリ及びセルモデルを変更した場合の効果を調べる必要が生じた。また、これらの影響を厳密に比較検討するために、連続エネルギーモンテカルロ計算コード MVP⁶⁾を使用した。なお、いずれの計算においても、核データライブラリは日本における最新のライブラリである JENDL-3.2⁷⁾に基づいている。

3.2 JUPITER 標準解析手法に基づく解析方法

JUPITER 標準解析手法では、群定数ライブラリとして高速炉用 70 群炉定数セット JFS-3-J3.2^{7), 8)}を使用する。燃料領域の実効定数作成のために、種々の組成のペレットの非均質性を1次元プレートストレッチモデル(3.4で説明)によってモデル化し、CASUP コード⁹⁾によってセル計算を行う。非燃料領域の実効定数は、各領域の均質組成を入力データとして SLAROM コード¹⁰⁾により求める。ここで、燃料領域の非均質セル計算に CASUP コードを用いる理由は、バックグラウンド断面積 (σ_0) を衝突確率 (P_{ij}) をもとに算出する Tone の方法¹¹⁾が採用されているため、SLAROM コードに組み込まれている Dancoff 因子法¹²⁾に比べて、より多くの種類の非均質セルに対して適用できると考えられるためである⁹⁾。上記コードによって得られる各領域のセル平均実効マクロ断面積と炉心体系の形状データ(2次元 R-Z モデルの寸法及び領域配置。3.5で詳しく説明)を用いて、炉心体系計算を行う。

本炉心の臨界性の評価においては、拡散計算コード CITATION-FBR¹³⁾により、Benoist の非等方拡散係数¹⁴⁾を用いて得られる実効増倍係数を基準計算値(k_0)とした。一方、Benoist の等方拡散係数を用いて CITATION-FBR により得られる実効増倍係数を k_1 、Sn 輸送計算コード TWOTRAN-II¹⁵⁾を用いて得られる実効増倍係数を k_2 とし、両者の差 ($\Delta \equiv k_2 - k_1$) を「輸送・メッシュ効果補正值」とし、基準計算値を補正 ($\equiv k_0 + \Delta$) して最確 C/E 値を求めた。

また、Na ボイド反応度の評価においては、ボイド有り/無しのそれぞれの状態に関して CASUP コードによる実効マクロ定数を求め、それぞれの状態に関して体系計算により得られる中性子束及び随伴中性子束を用いて厳密摂動計算を行うことにより、Na ボイド反応度を得た。この際、拡散計算値に基づく摂動計算には PERKY コード¹⁶⁾、輸送計算値に基づく摂動計算には SNPERT¹⁷⁾を、それぞれ使用した。体系計算は、臨界性評価と同様に、拡散計算 2 ケースと輸送計算 1 ケースを実施し、基準計算値 (ρ_0) に輸送・メッシュ効果補正值 (ρ_2/ρ_1) を乗じることにより、最確計算値を求めた。

3.3 群定数ライブラリ

群定数ライブラリとして基本的に用いた JFS-3-J3.2 の他に、検討用として汎用核計算コードシステム SRAC¹⁸⁾ 内蔵の JENDL-3.2 に基づく Public Fast Library の一部を使用した。具体的には、JFS-3-J3.2 の Na, Fe, O, Al の弾性散乱断面積のみを SRAC の Public Fast Library の値に置換してセル計算を実施した。便宜上、この群定数を JFS(Mod.) と略記して、JFS-3-J3.2 (JFS と略記する場合有り) と区別する場合がある。

3.4 セルモデル

今回の解析に使用したセルモデルの概念を図 3.2 に示す。同図では、BFS-58-1-I1 炉心の U 無し燃料領域を例にしている。図中左に BFS-2 におけるユニットセル内の実際のペレット配置を示した。MVP コードではこの形状を 3 次元的に厳密にモデル化した計算も実施した。これを「厳密モデル」(記号では EXACT と表記する場合もある) と記す。

CASUP コードでは 1 次元モデルを用いる必要がある。JUPITER 実験解析で標準的に使用されたプレートストレッチモデル(記号では PS と表記する場合もある)は、図 3.2 の中央に示すように、実際のペレット(JUPITER の場合は「プレート」)の寸法をユニットセルの端まで延長し、総原子個数が保存されるように数密度を「薄めて」セル仕様を作成するものである。この際、各ペレットの高さは保存する。また、ペレット周囲に存在するラップ管は、燃料(この場合は Pu ペレット)以外のペレットに均質に混合させる。

これに対して、IPPE 技術者の知見を参考に、各ペレットの高さと幅を保存(すなわち、原子個数密度を保存)するモデルを設定し、プレートストレッチモデルとの比較検討に使用した。これは、図 3.2 の右に示すように、各ペレットを実形状のままにしておき、ペレット周囲に存在するラップ管及び空気を混合した組成の架空のペレットを 3 箇所挿入するものである。この際の混合体積は、ユニットセルの総体積からペレット部の総体積を引いた値である。このモデルを「ペレット数密度保存モデル」(記号では PDP と表記する場合もある)と表記する。

プレートストレッチモデル及びペレット数密度保存モデルに使用した寸法及び数密度を付録 II に示す。

3.5 炉心体系モデル

本炉心の体系計算に使用した 2 次元 R-Z 体系モデルの寸法設定値とその算出過程、ならびに領域配置等を図 3.3 に示す。Na ボイド反応度測定時には、中央部の U 無し燃料領域の軸方向中心セルの Na がボイド化された。解析したのは、中央部の 18 ラップ管、37 ラップ管がそれぞれボイド化した場合であり、それぞれに応じた径方向寸法を入力してボイド化領域(摂動領域)を設定した。

3.6 炉中心反応率比の解析方法

炉中心反応率は、微小核分裂検出器をラッパ管間の間隙に挿入し、U無し燃料領域の軸方向中心セル全長にわたって、1~2cm ずつ位置を変えて多数回の測定を行い、その平均値を統計処理によって求めたとされている。報告されている炉中心反応率比は、異なる核種に対する測定値の比である。

これに対応する解析値を1次元セル計算結果をベースにして得るために、以下に示す検討を行った。検討に使用したU無し燃料領域のセル構造を図3.4に示す。同図は、ペレット数密度保存モデルに基づくものである。これを厳密にモデル化した体系について、MVPによって図中No.1~No.5の5箇所ではPu239の実効核分裂マイクロ断面積を比較した。No.1及びNo.5は微小核分裂検出器位置（ペレットのすぐ横）にPu239が存在する場合を模擬した。No.3はPu239を含有しているPuペレット内部のPu239である。No.4はPuペレットに近い位置にあるアルミナペレットの内部にPu239が存在する場合を模擬した。そして、No.2は、セル端部のアルミナペレット内部にPu239が存在する場合を模擬した。

上記5箇所におけるPu239の実効核分裂マイクロ断面積を比較した結果を図3.5に示す。炉中心反応率比の測定時にPuペレットとの共鳴干渉効果を最も受けやすいと思われるNo.1位置での断面積は、No.2, 4, 5位置での値とよく一致するが、No.3位置（Puペレット内部）における値とは数eV~数百eVのエネルギー領域で顕著な差があることがわかる。これより、微小核分裂検出器位置では、Puペレット中のPu239との共鳴干渉効果は小さいことが推察される。よって、1次元セル計算によって算出される各ペレット位置での中性子束に乗じて微小核分裂検出器の反応率を求める際に使用する実効マイクロ核分裂断面積は、Puペレットから離れた位置での値を用いるべきであると判断した。具体的には、No.3位置以外の4箇所における値がよく一致していることから、無限希釈断面積を用いることとし、下式によって核分裂反応率を求め、異なる核種に対する値の比を求めて測定値と比較した。

炉中心反応率Rの計算

$$R = \sum_i \left(\sum_{E_j} (\phi_i(E_j) \times \sigma_{\infty}(E_j) \times d_i) \right)$$

(i ; 各ペレット、 ϕ ; 中性子束、d ; 各ペレット厚み、 E_j ; エネルギー群、 σ_{∞} ; 無限希釈断面積)

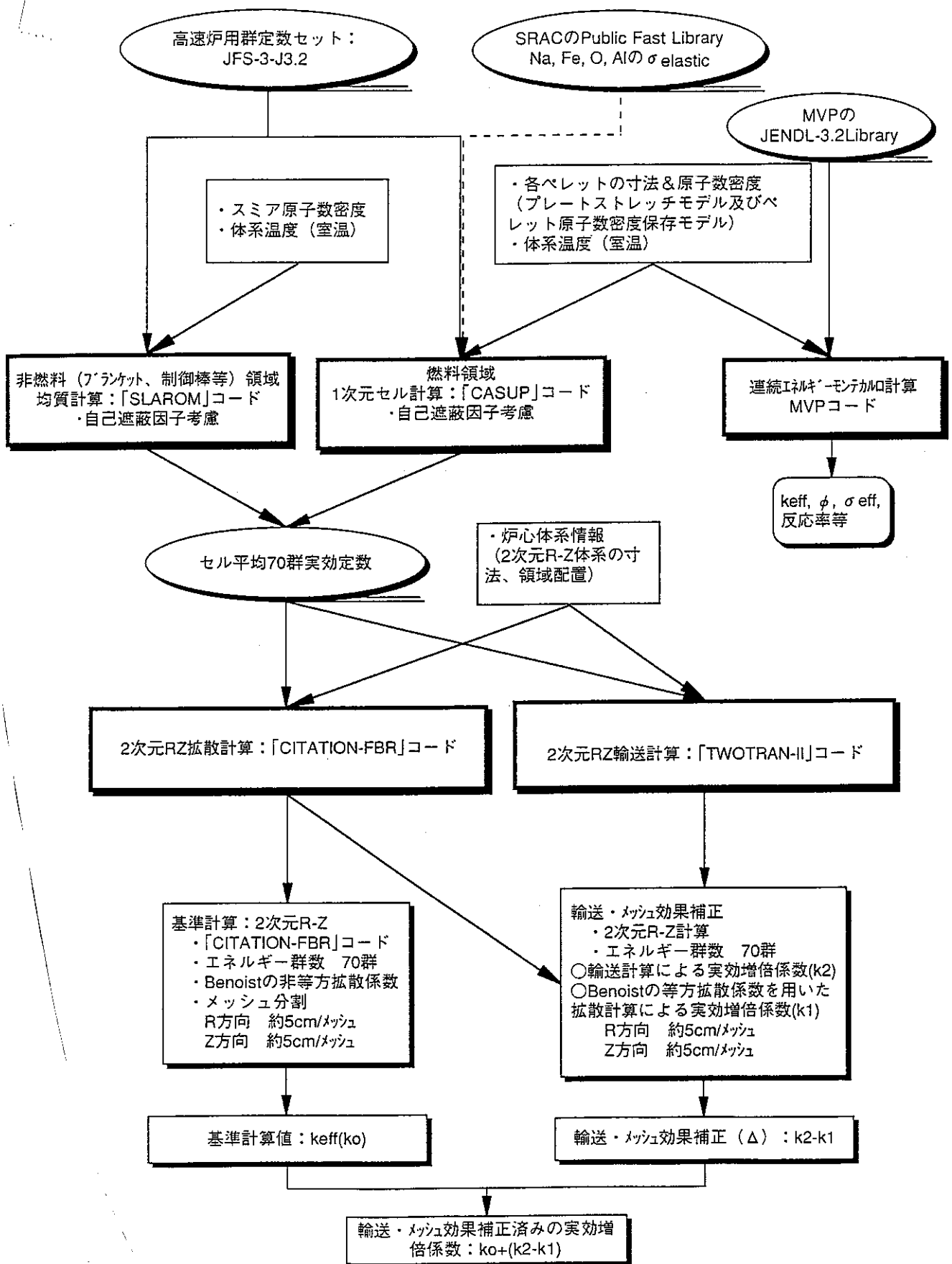


図3.1 解析方法 (臨界性)

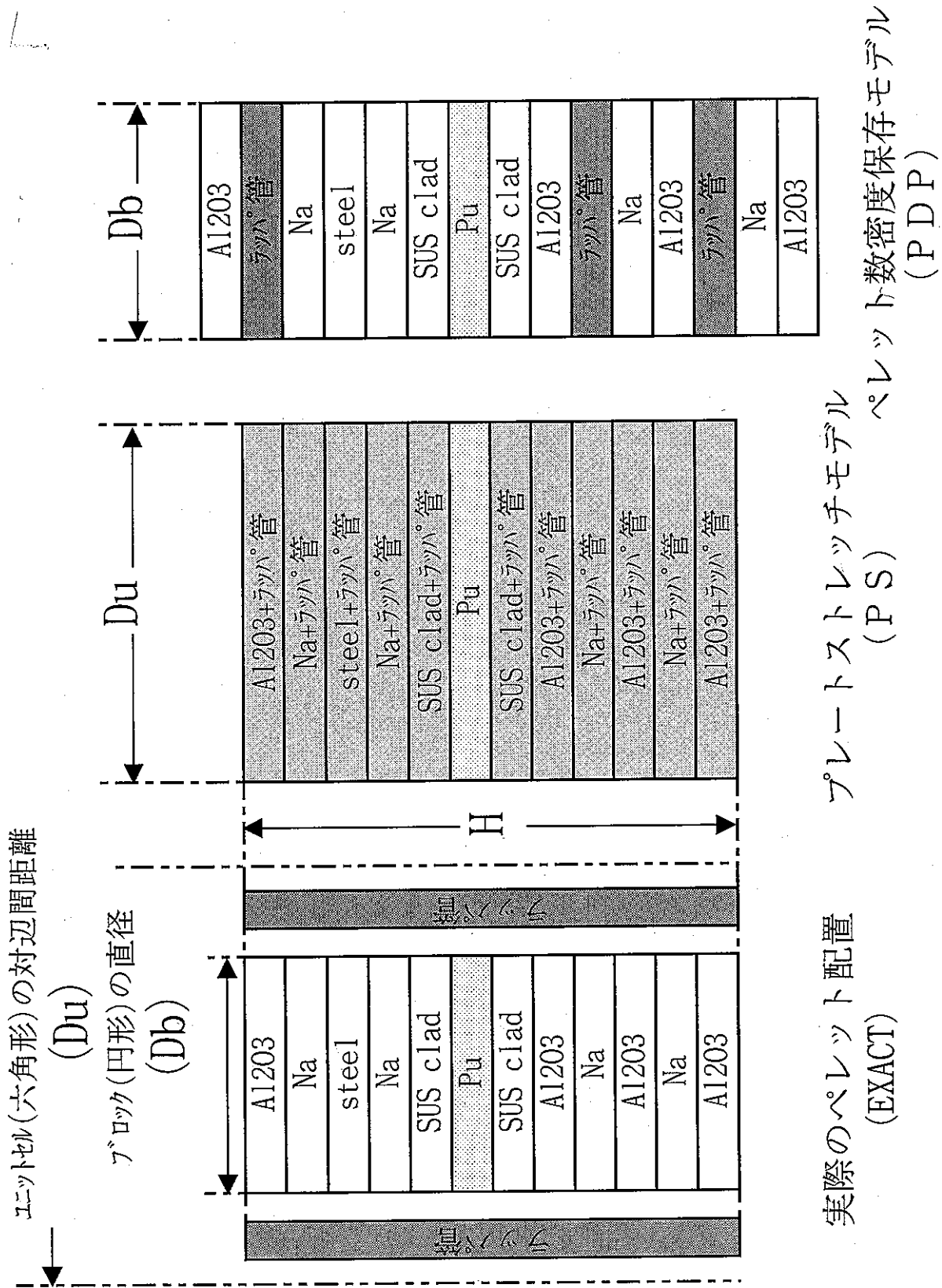


図3.2 燃料セルの構成と1次元セルモデル (BFS-58-1-II炉心のU無し燃料領域)

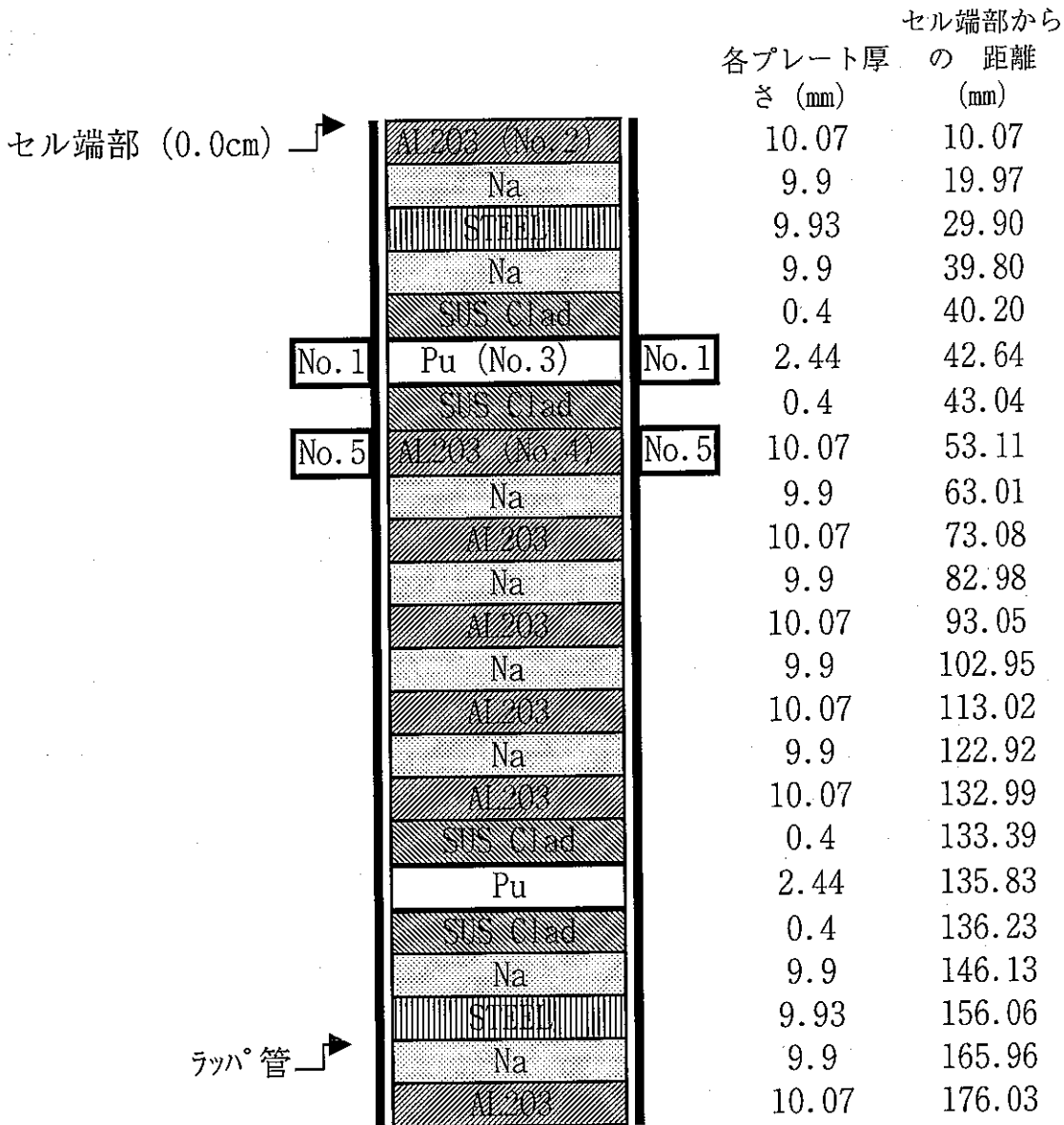
Al shield部[7]。	Z1	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	Z2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	5
	Z3	7	7	7	7	7	7	7	7	5	5	5
B4C shield部[11]。	Z4	11	11	11	11	11	11	7	11	5	5	5
	Z5	11	11	11	11	11	11	6	11	5	5	5
上部Na7領域部にlaser Na組成を入力[9]。ただし、制御棒挿入はB4C absorber[6]とgreen Na[8]を入力	Z6	9	9	9	9	9	9	10	6	10	10	5
	Z7	9	9	9	9	9	9	10	8	10	10	5
燃料領域 (非摂動部) [1, 2, 3, 13]	Z8	1	1	1	1	1	2	13	8	13	3	5
	Z9	1	1	1	1	1	2	13	8	13	3	5
燃料領域 (摂動部) [12]	Z10	12または1				1	2	13	8	13	3	5
燃料領域 (非摂動部) [1, 2, 3, 13]	Z11	1	1	1	1	1	2	13	8	13	3	5
	Z12	1	1	1	1	1	2	13	8	13	3	5
depleted UO2 (ブランケット部) [5]	Z13	5	5	5	5	5	5	5	8	5	5	5
steel support (支持部) [4]	Z14	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5
		r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	r11
○ 太線内部が燃料領域		Pu & diluent fuel (U無し燃料領域) [1]		laser LEZ fuel (LEZ 燃料領域) [2]		green LEZ fuel (LEZ 燃料領域) [13]		制御棒挿入 [6, 8]	green LEZ fuel (LEZ 燃料領域) [13]	MEZ fuel (MEZ 燃料領域) [4]	depleted UO2 (ブランケット部) [5]	

1999.7.30見直し版*ユニット間距離5.10cm±E

寸法 (cm)	寸法設定根拠
r1	2.6777 中心S/Aの等価半径
r2	4.4068 第1リングのS/Aの等価半径-r1
r3	4.5873 第2リングのS/Aの等価半径-(r1+r2)
r4	4.6160 第3リングのS/Aの等価半径-(r1+r2+r3)
r5	24.2331 U無し燃料領域(229S/A)の等価半径-sum(r1:r4)
r6	16.4706 laser LEZ fuel(224S/A)の等価半径-sum(r1:r5)
r7	6.9936 green LEZ fuel(118S/A)の等価半径-sum(r1:r6)
r8	1.9862 制御棒挿入(36S/A)の等価半径-sum(r1:r7)
r9	6.0283 green LEZ fuel(116S/A)の等価半径-sum(r1:r8)
r10	18.3304 MEZ fuel(415S/A)の等価半径-sum(r1:r9)
r11	14.0314 径ブランケット(381S/A)の等価半径-sum(r1:r10)
半径長の総和	104.3613

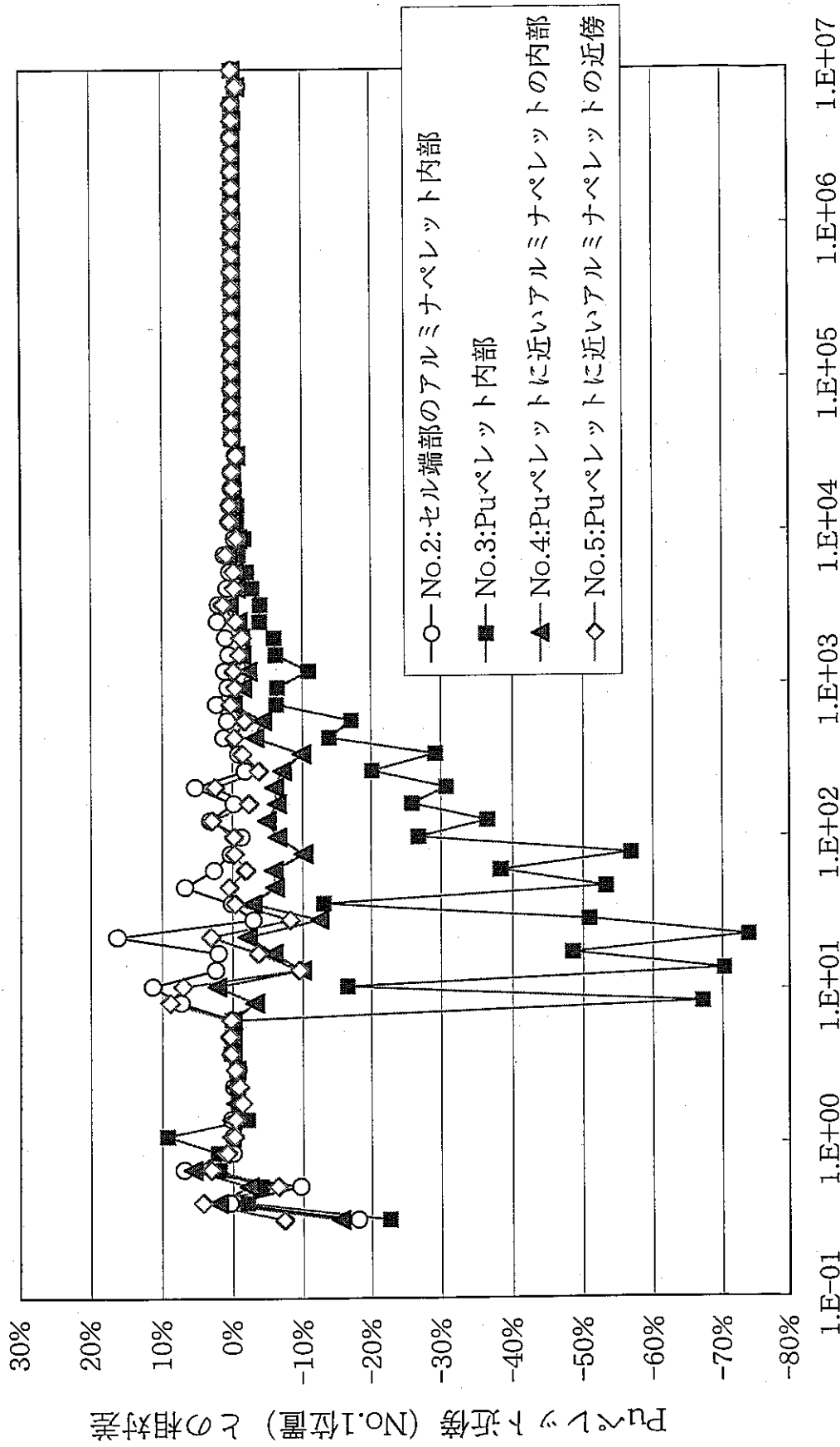
Z1	6.0600	U無し燃料領域上方のAl7の高さ(29.85cm)-Z2-Z3
Z2	10.1100	径ブランケットのUO2高さ(267.4cm)-sum(Z3:Z14)
Z3	13.6800	MEZ燃料領域上方のUO2の高さ(28.65cm;根拠未発見)-Z4-Z5
Z4	7.6000	U無し燃料領域上方のB4C shield部の高さ(14.97cm)-Z5
Z5	7.3700	制御棒挿入のB4C吸収体高さ(35.07cm)-Z6
Z6	27.7000	U無し燃料領域上方のNa7の高さ(29.7cm)-Z7
Z7	2.0000	制御棒挿入のNa部が燃料部より上にはみ出している高さ
Z8	26.4045	U無し燃料領域上部のセル1.5個の高さ(17.603*1.5)
Z9	8.8015	U無し燃料領域高さ(88.015cm)からZ8, Z10, Z12を引いた値の1/2
Z10	17.6030	摂動領域(Na7)の反応度解析ではセル1個の高さ
Z11	8.8015	U無し燃料領域高さ(88.015cm)からZ8, Z10, Z12を引いた値の1/2
Z12	26.4045	U無し燃料領域下部のセル1.5個の高さ(17.603*1.5)
Z13	33.4250	UO2ブランケット35の高さ(0.956cm×35)(注:露出は33.430cm)
Z14	77.5000	steel supportの高さ(径ブランケット高さ)と他のS/Aの位置関係から推定
軸長の総和	273.4600	

図3.3 CITATIONの2次元R-Zモデルの寸法設定値及びその算出過程



(*No. 1とNo. 5は、ステンレス鋼棒部挿入位置の軸方向の一部に対応する。

図3.4 炉心中心反応率評価に用いる核分裂断面積の検討に使用したU無し燃料領域のセル構造



中性子エネルギー(eV) (各群の上限值で表示)
 図3.5 Pu-239(n,f) 実効ミクロ断面積の比較結果 (解析コード: MVP)

第4章 燃料領域の実効定数作成方法に関する検討

4.1 JUPITER 標準解析手法に基づく炉中心反応率比の C/E 値

U 無し燃料領域のセルモデルにプレートストレッチモデルを適用し、JFS-3-J3.2 を群定数ライブラリに用いて CASUP コードによって算出される各ペレットの中性子束を 3.6 に示す式に代入して炉中心反応率比を算出し、測定値との比 (C/E 値) をプロットした結果を図 4.1 に示す。図中に示した測定誤差 (IPPE の BFS-2 施設責任者 A. Kotchetkov 氏からの提供情報) に比べて、C/E 値が大きくばらついており、一部の値は 15% 以上の相違を示すことがわかる。本測定データは、炉中心チャンネルの 1 セル (軸長約 18cm) における局所的な測定値なので、上記結果は炉中心の中性子スペクトルを正確に評価できておらず、セル計算による実効定数作成プロセスが適切でないことを示すものである。

C/E 値には二つの傾向が見られる。一つの傾向は 10~20% 過大評価するものであり、これは分母が fissile 核種で分子がしきい値反応核種となっている反応率比に対する評価値である。一方、5% 以内の過小評価を示しているものが 3 項目あるが、これらはいずれも fissile 核種同士の反応率比である。これらの傾向からも、中性子スペクトルの評価誤差が系統的な差異を引き起こしていることが裏付けられる。

4.2 各燃料領域の中性子スペクトルの比較

図 4.2 に、U 無し燃料セル、MOX 燃料セル (LEZ)、UO₂ 燃料セル (MEZ) それぞれの厳密モデルについて、MVP コードによって算出した中性子スペクトルを示す。MOX 及び UO₂ 燃料領域では、1keV 以下で急激に減衰する形状の Na 冷却型高速炉に典型的なスペクトルを示すのに対し、U 無し燃料領域では、この減衰がゆるやかであり、軟らかいスペクトルを有することがわかる。すなわち、重核種の共鳴領域の中性子束成分が 1~3 桁程度大きく、MOX 及び UO₂ 燃料領域に比べて、共鳴領域における自己遮蔽効果の取扱い方が核特性解析値に及ぼす影響が大きいことが示唆される。

なお、MOX 燃料領域のスペクトルが UO₂ 燃料領域に比べて若干軟らかい理由は、この領域に使用された Na ペレットに微量の水素が含有されているためである。

4.3 セルモデル及び炉定数の変更がセル計算結果に及ぼす影響

U 無し燃料領域の中性子スペクトルが軟らかいことに鑑み、共鳴領域での自己遮蔽効果をできるだけ現実に近い状態に取り扱えるように、ペレット数密度保存モデル (PDP と略記。3.4 参照) の効果を調べることにした。解析は、MVP コードによって行い、プレートストレッチモデル (PS) とペレット数密度保存モデル (PDP) に対する計算値を厳密モデル (EXACT) に対する計算値と比較した。図 4.3~図 4.12 はいずれも、各燃料領域の主要な核反応について、全反応率に対する寄与割合を上部のグラフに示し、PS と PDP の反応率の厳密モデルに対する比をエネルギー群毎にプロットした図を下部のグラフに示したものであ

る。また、これらの解析結果のサマリとして、主要核反応率の積分値をセルモデル間で比較した結果を表 4.1-1～表 4.1-3 に示す。

まず、U 無し燃料セルでは、表 4.1-1 より、主要核反応である Pu239 核分裂反応及び中性子捕獲反応のいずれも、PS は過大評価、PDP は過小評価する傾向が見られるが、PDP の方が厳密モデルに近い傾向を示す。この傾向は、約 100eV～約 100keV の広い範囲で生じているが、約 1keV 以下でより顕著であり、このエネルギー領域の全反応率への寄与が大きいため、この効果が積分値に陽に現れることが図 4.3 及び図 4.4 より確認できる。反応率の標準偏差が 1%以内のエネルギー範囲で積分した場合（表 4.1-1(d)参照）には、PDP と PS の差は、Pu239 核分裂反応の場合約 2%、中性子捕獲反応の場合約 6%にも及んでおり、セルモデルの設定が実効定数計算結果に及ぼす影響が大きいことがわかる。

一方、MOX 燃料セル及び UO₂ 燃料セルにおいては、表 4.1-2 及び表 4.1-3 より、主要核反応に対する PS と PDP の差は 1%強であり、それほど大きくないことがわかる。これは、いずれの核反応もそのほとんどが約 1keV 以上のエネルギー領域で発生しており、その領域では PS と PDP の差は小さく、いずれのセルモデルにおいても厳密モデルにきわめて近い値を算出できるためであることが図 4.5～図 4.12 により、確認できる。ただし、U238 については、全エネルギー範囲の積分値の場合（表 4.1-2(a)及び表 4.1-3(a)参照）、PDP の核分裂反応に関する過大評価傾向及び中性子捕獲反応に関する過小評価傾向が見られる。これは、PDP モデルが MeV 領域の反応率を過大評価する傾向（図 4.7、図 4.11 などを参照のこと）によるものと思われる。ただし、反応率の標準偏差が 1%以内のエネルギー範囲で積分した場合（表 4.1-2(c)及び表 4.1-3(c)参照）には、この傾向は緩和されている。

以上の検討により、1次元セルモデルとして、U 無し燃料セルではプレートストレッチモデルよりもペレット数密度保存セルモデルの方を用いるべきと判断できる。また、MOX 燃料セル及び UO₂ 燃料セルにおいてはセルモデルによる差異は相対的に小さいが、総合的に見て厳密モデルとの差が小さいプレートストレッチモデルを適用する方が望ましいと判断した。

なお、参考情報として、各計算ケースの無限増倍係数を表 4.2 に示す。これには、セルを均質化したケースの計算値も合わせて示した。これらの数値の比較からも、U 無し燃料セルでは、プレートストレッチモデルよりもペレット数密度保存セルモデルの方が厳密モデルに近い値が得られること、ならびに、MOX 燃料セル及び UO₂ 燃料セルにおいてはプレートストレッチモデルの方が厳密モデルとの差が小さい傾向がわかる。ただし、それらの相違は上記に示した反応率の比較結果ほどには明瞭ではない。

4.4 炉中心反応率比の C/E 値に対するセルモデル及び炉定数の影響

4.3 の検討結果を踏まえ、U 無し燃料セルの 1次元セルモデルとしてペレット数密度保

存セルモデルを用いた場合の炉中心反応率比の C/E 値の改善効果を調べることにした。また、U 無し燃料領域の中性子スペクトルを決定づけられると思われる軽核 (Na, O, Fe, Al) の弾性散乱断面積に、十分に減速される体系に典型的な 1/E スペクトルによって重みづけられた ¹⁹⁹SRAC の Public Fast Library の値を用いた場合 (以下、JFS(Mod.)と略記) の効果も調べることにした。これらの核の弾性散乱断面積については、JFS-3-J3.2 との間に、自群散乱断面積と除去断面積との比が約 1keV 以下のエネルギー領域において増大する傾向があり (図 4.13 参照)、SRAC ライブラリの方が JFS ライブラリに比べて中性子スペクトルを軟らかく算定する傾向がある²⁰⁾。この効果を検討する理由は、CASUP コードの計算では 70 群定数を使うため、群定数の相違が解析結果に影響を及ぼす可能性があるためである。なお、MVP コードの場合は連続エネルギー計算であるために群定数の効果は検討対象にならない。

図 4.14 及び表 4.3 に、プレートストレッチモデルとペレット数密度保存モデルについて、それぞれ JFS-3-J3.2 と JFS (Mod.)を用いた場合の計 4 ケースについて炉中心反応率比の C/E 値を示す。図 4.14 より明らかなように、燃料セルモデルにペレット数密度保存モデルを用い、群定数に JFS (Mod.)を用いた場合のみ、測定誤差範囲内の C/E 値を得ることができた。また、プレートストレッチモデルをペレット数密度保存モデルに変えた場合、及び JFS-3-J3.2 を JFS (Mod.) に変えた場合のいずれについても、C/E 値の改善効果が見られることが確認できる。

これらの結果は、U 無し燃料セルの実効定数作成においては、通常の Na 冷却型高速炉に比べてきわめて軟らかい中性子スペクトルであることを踏まえた群定数を用い、かつ 1 次元セルモデルとして MVP による厳密モデルの主要核反応率計算値により近い傾向を示すペレット数密度保存モデルを用いることが、本炉心の解析精度を確保する上で重要であることを示している。

4.5 臨界性に対するセルモデル及び炉定数の影響

4.4 に示した 4 ケースについて、実効増倍係数の変化を表 4.4 に示す。同表には、MOX 燃料領域または UO₂ 燃料領域のセルモデルをプレートストレッチモデルからペレット数密度保存モデルに変えた場合の値、ならびにすべての燃料セルを均質モデルで取り扱った場合の値も示した。

U 無し燃料セルの燃料セルモデルをプレートストレッチモデルからペレット数密度保存モデルに変えることによって、実効増倍係数が約 0.25%Δk 増加した。また、群定数を JFS-3-J3.2 から JFS (Mod.) に変えることによって、実効増倍係数が約 0.4%Δk 強増加した。この二つの効果が重なることにより、炉中心反応率比の C/E 値が最良であった {ペレット数密度保存モデル & JFS (Mod.)} の実効増倍係数は、JUPITER 標準解析手法 {プレートストレッチモデル & JFS-3-J3.2} に比べて約 0.67%Δk と大きく増加した。図 4.15 及び表 4.5 に、これらの実効増倍係数の変化量の内訳を示す。これらの値は、SAGEP コード⁹⁾

で計算した感度係数に、各計算ケース間の実効マイクロ断面積変化量に乗じて得たものである。燃料セルモデルをプレートストレッチモデルからペレット数密度保存モデルに変えた場合には、Pu239核分裂反応の負の効果とPu239中性子捕獲反応の正の効果が生じており、これは4.3に示したようにいずれの反応率ともペレット数密度保存モデルの方がプレートストレッチモデルに比べて低下することと整合している。定量的には前者の効果より後者の効果が上回るために、実効増倍係数が増加する。また、群定数をJFS-3-J3.2からJFS (Mod.)に変えることによって、SRACライブラリに置換された4つの核種(O, Na, Al, Fe)の弾性散乱断面積の変化が実効増倍係数を増加させていることがわかる。これは、4.4に記したように、SRACライブラリではJFS-3-J3.2に比べて自群断面積が小さく中性子スペクトルを軟化させる傾向が強いので、Pu239核分裂断面積が増加する低エネルギー領域での中性子束成分がより大きいことによると推測できる。

一方、MOX燃料領域またはUO₂燃料領域のセルモデルをプレートストレッチモデルからペレット数密度保存モデルに変えた場合の実効増倍係数の変化量は、それぞれ0.04% Δk 、-0.10% Δk と小さく、4.3の検討結果と整合していることから、プレートストレッチモデルが適用可能であると考えられる。

なお、本炉心の非均質効果は、表4.4より約+1.7~1.9% Δk と見積もられ、通常のNa冷却MOX燃料炉心に比べて大きい値を示している。(参考²¹⁾;ZPPR-9炉心の非均質セル補正値は+1.18% Δk と報告されている。)

表4.1-1 MVPによる反応率計算値に及ぼすセルモデルの影響(U無し燃料セル)

(a) 約50eV以上を積分した値

	Pu-239(n, f)	Pu-239(n, c)
EXACT	0.537	0.243
PS	0.545	0.252
<i>PS/EXACT</i>	<i>1.015</i>	<i>1.037</i>
PDP	0.535	0.239
<i>PDP/EXACT</i>	<i>0.996</i>	<i>0.984</i>

(b) 全エネルギー領域に渡って積分した値

	Pu-239(n, f)	Pu-239(n, c)
EXACT	0.568	0.260
PS	0.571	0.267
<i>PS/EXACT</i>	<i>1.005</i>	<i>1.026</i>
PDP	0.568	0.257
<i>PDP/EXACT</i>	<i>1.001</i>	<i>0.989</i>

(c) 反応率の標準偏差が2%以内のエネルギー範囲で積分した値

	Pu-239(n, f)*	Pu-239(n, c)**
EXACT	0.567	0.260
PS	0.571	0.267
<i>PS/EXACT</i>	<i>1.006</i>	<i>1.027</i>
PDP	0.568	0.257
<i>PDP/EXACT</i>	<i>1.000</i>	<i>0.989</i>

* Pu-239(n, f)反応率は、6.48eV~7.79MeVまでを積分した

** Pu-239(n, c)反応率は、6.48eV~1.05MeVまでを積分した

(d) 反応率の標準偏差が1%以内のエネルギー範囲で積分した値

	Pu-239(n, f)*	Pu-239(n, c)**
EXACT	0.516	0.219
PS	0.524	0.229
<i>PS/EXACT</i>	<i>1.016</i>	<i>1.042</i>
PDP	0.513	0.216
<i>PDP/EXACT</i>	<i>0.995</i>	<i>0.984</i>

* Pu-239(n, f)反応率は、61.4eV~4.72MeVまでを積分した

** Pu-239(n, c)反応率は、101eV~4.72MeVまでを積分した

EXACT ; 厳密モデル

PS ; プレートストレッチモデル

PDP ; ペレット数密度保存モデル

表4.1-2 MVPによる反応率計算値に及ぼすセルモデルの影響(MOX燃料セル)

(a) 全エネルギー領域に渡って積分した値

	Pu-239(n, f)	Pu-239(n, c)	U-238(n, f)	U-238(n, c)
EXACT	0.198	0.0578	0.0108	0.0737
PS	0.199	0.0580	0.0107	0.0735
<i>PS/EXACT</i>	<i>1.001</i>	<i>1.002</i>	<i>0.999</i>	<i>0.997</i>
PDP	0.198	0.0571	0.0111	0.0721
<i>PDP/EXACT</i>	<i>0.999</i>	<i>0.987</i>	<i>1.028</i>	<i>0.978</i>

(b) 反応率の標準偏差が2%以内のエネルギー範囲で積分した値

	Pu-239(n, f)*	Pu-239(n, c)**
EXACT	0.193	0.0548
PS	0.194	0.0550
<i>PS/EXACT</i>	<i>1.003</i>	<i>1.004</i>
PDP	0.193	0.0541
<i>PDP/EXACT</i>	<i>0.999</i>	<i>0.987</i>

* Pu-239(n, f)反応率は、11.7keV~2.23MeVまでを積分した

** Pu-239(n, c)反応率は、354eV~6.07MeVまでを積分した

(c) 反応率の標準偏差が1%以内のエネルギー範囲で積分した値

	U-238(n, f)*	U-238(n, c)**
EXACT	0.00471	0.0586
PS	0.00474	0.0589
<i>PS/EXACT</i>	<i>1.006</i>	<i>1.005</i>
PDP	0.00474	0.0581
<i>PDP/EXACT</i>	<i>1.006</i>	<i>0.992</i>

* U-238(n, f)反応率は、354eV~6.07MeVまでを積分した

** U-238(n, c)反応率は、5.53keV~2.87MeVまでを積分した

EXACT; 厳密モデル

PS; プレートストレッチモデル

PDP; ペレット数密度保存モデル

表4.1-3 MVPによる反応率計算値に及ぼすセルモデルの影響(UO₂燃料セル)

(a) 全エネルギー領域に渡って積分した値

	U-235(n, f)	U-235(n, c)	U-238(n, f)	U-238(n, c)
EXACT	0.0968	0.0268	0.00418	0.0231
PS	0.0963	0.0267	0.00414	0.0230
<i>PS/EXACT</i>	<i>0.995</i>	<i>0.995</i>	<i>0.990</i>	<i>0.995</i>
PDP	0.0967	0.0268	0.00425	0.0230
<i>PDP/EXACT</i>	<i>0.999</i>	<i>1.000</i>	<i>1.016</i>	<i>0.997</i>

(b) 反応率の標準偏差が2%以内のエネルギー範囲で積分した値

	U-235(n, f)*	U-235(n, c)**
EXACT	0.0938	0.0217
PS	0.0935	0.0217
<i>PS/EXACT</i>	<i>0.997</i>	<i>1.001</i>
PDP	0.0938	0.0217
<i>PDP/EXACT</i>	<i>1.000</i>	<i>1.002</i>

* U-235(n, f)反応率は、583eV~6.07MeVまでを積分した

** U-235(n, c)反応率は、2.03keV~2.87MeVまでを積分した

(c) 反応率の標準偏差が1%以内のエネルギー範囲で積分した値

	U-238(n, f)*	U-238(n, c)**
EXACT	0.00276	0.0184
PS	0.00274	0.0184
<i>PS/EXACT</i>	<i>0.993</i>	<i>1.000</i>
PDP	0.00280	0.0184
<i>PDP/EXACT</i>	<i>1.012</i>	<i>1.001</i>

* U-238(n, f)反応率は、11.7keV~2.87MeVまでを積分した

** U-238(n, c)反応率は、7.10keV~2.87MeVまでを積分した

EXACT ; 厳密モデル

PS ; プレートストレッチモデル

PDP ; ペレット数密度保存モデル

表4.2 各燃料セルの無限増倍係数の計算結果

(a) 無限増倍係数

解析コード	セルモデル*	U無し燃料セル	MOX燃料セル	UO ₂ 燃料セル
MVP	EXACT	1.68200	1.36872	1.33074
	PS	1.68935	1.37051	1.32998
	PDP	1.68459	1.37346	1.33341
	HOMO	1.64858	1.35107	1.32265

(注) MVP計算時のバッチ数と中性子発生数；50、10000 (捨てバッチ数10)

評価方法：無限増倍係数 (ALL)、中性子束・実効断面積・反応率 (TRACK LENGTH)
計算値の標準偏差は0.04%以下

(b) セルモデルによる相対差 (単位 ; %)

解析コード	比較するセルモデル	U無し燃料セル	MOX燃料セル	UO ₂ 燃料セル
MVP	PS-EXACT	0.44	0.13	-0.06
	PDP-EXACT	0.15	0.35	0.20
	PDP-PS	-0.28	0.22	0.26
	HOMO-EXACT	-1.99	-1.29	-0.61

*セルモデルの略号の意味

EXACT；厳密モデル

PS；プレートストレッチモデル

PDP；ペレット数密度保存モデル

HOMO；均質モデル

表4.3 炉中心反応率比C/E値に対するセルモデル及び炉定数セットの影響

反応率比 測定項目	C/E値				測定値
	PS&JFS3	PS&JFS3 (Mod.)	PDP&JFS3	PDP&JFS3 (Mod.)	
F28/F25	1.125	1.091	1.062	1.021	0.0118
F49/F25	0.974	0.984	0.989	1.007	0.9040
F40/F25	1.151	1.104	1.093	1.041	0.0958
F41/F25	0.963	0.998	0.975	1.021	1.4000
F48/F49	1.167	1.104	1.109	1.032	0.3940
F40/F49	1.159	1.102	1.084	1.014	0.1080
F41/F49	0.984	1.010	0.981	1.009	1.5560
F42/F49	1.144	1.093	1.067	1.003	0.0753
F37/F49	1.175	1.123	1.099	1.034	0.0935
F51/F49	1.090	1.052	1.022	0.973	0.0880
F53/F49	1.108	1.068	1.037	0.983	0.0632

●PS；プレートストレッチモデル ●PDP；ペレット数密度保存モデル ●JFS3；JFS-3-J3.2
 ●JFS3 (Mod.)；JFS-3-J3.2の構造材散乱断面積をSRAC Public Fast Libraryの値に置換

表4.4 燃料領域のセルモデル及び炉定数を変更した場合の実効増倍係数への影響

U無し燃料領域セル計算時に用いる70群炉定数	燃料セルモデル			実効増倍係数	JUPITER標準解析手法*との差 (%Δk/k')
	U無し燃料領域	MOX燃料領域	UO2燃料領域		
JFS3	PS	PS	PS	0.99033	—
JFS3	PDP	PS	PS	0.99278	0.25
JFS3 (Mod.)	PS	PS	PS	0.99478	0.45
JFS3 (Mod.)	PDP	PS	PS	0.99696	0.67
JFS3	PS	PDP	PS	0.99068	0.04
JFS3	PS	PS	PDP	0.98938	-0.10
JFS3	HOMO	HOMO	HOMO	0.97407	-1.69

*全ての燃料領域のセルモデルをPSとし、炉定数にJFS-3-J3.2を用いる

注) セル計算；CASUPコード (臨界ハッキング)、炉心体系計算；CITATION-FBRコード

●PS；プレートストレッチモデル ●PDP；ペレット数密度保存モデル ●JFS3；JFS-3-J3.2
 ●JFS3 (Mod.)；JFS-3-J3.2の構造材散乱断面積をSRAC Public Fast Libraryの値に置換

表4.5 セルモデル及び炉定数を変更した場合の実効増倍係数変化量の内訳

(JUPITER標準解析手法*に対する差；単位(% Δk))

U無し燃料セルモデル 実効定数作成に用いる炉定数	PDP	PDP
	JFS	JFS3(Mod.)
Fe 弾性散乱	5.70E-04	1.26E-01
Fe 捕獲	4.09E-03	3.33E-03
Al 弾性散乱	-9.10E-04	6.18E-02
Al 捕獲	-4.13E-04	6.86E-05
Na 弾性散乱	-6.55E-03	1.21E-01
Na 捕獲	2.48E-03	2.60E-03
O 弾性散乱	-2.41E-04	1.96E-01
O 捕獲	-1.23E-03	-1.13E-03
Pu-240 捕獲	2.10E-02	2.06E-02
Pu-240 核分裂	1.33E-02	1.36E-02
Pu-240 その他	-9.87E-06	-1.86E-06
Pu-241 全反応	-5.04E-04	-4.45E-04
Pu-239 捕獲	4.20E-01	4.19E-01
Pu-239 核分裂	-1.75E-01	-1.53E-01
Pu-239 その他	2.47E-04	3.77E-04
感度係数と実効マイクロ断面積変化量からの算出値	0.28	0.81
直接計算値	0.25	0.67

*全ての燃料領域のセルモデルをPSとし、炉定数にJFS-3-J3.2を用いる

- PS；プレートストレッチモデル
- PDP；ペレット数密度保存モデル
- JFS3；JFS-3-J3.2
- JFS3(Mod.)；JFS-3-J3.2の構造材散乱断面積をSRAC Public Fast Libraryの値に置換

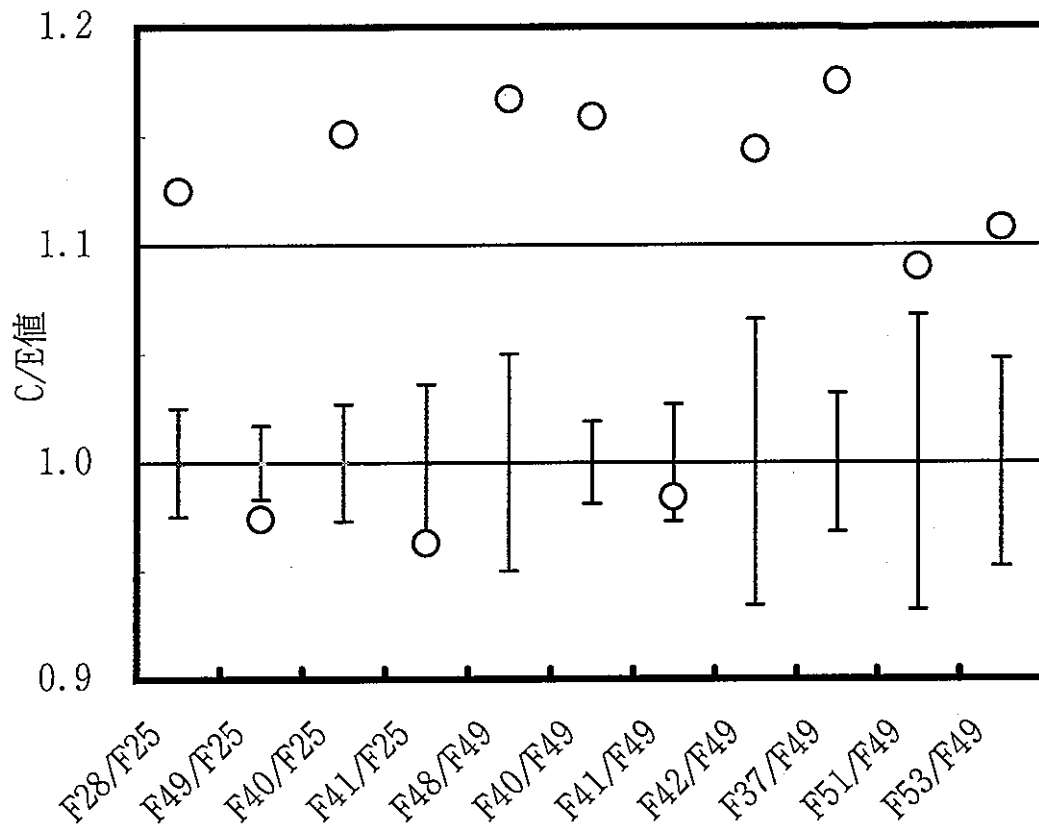


図4.1 JUPITER解析手法に基づく炉中心反応率比のC/E値
(図中のバー印は実験誤差を示す)

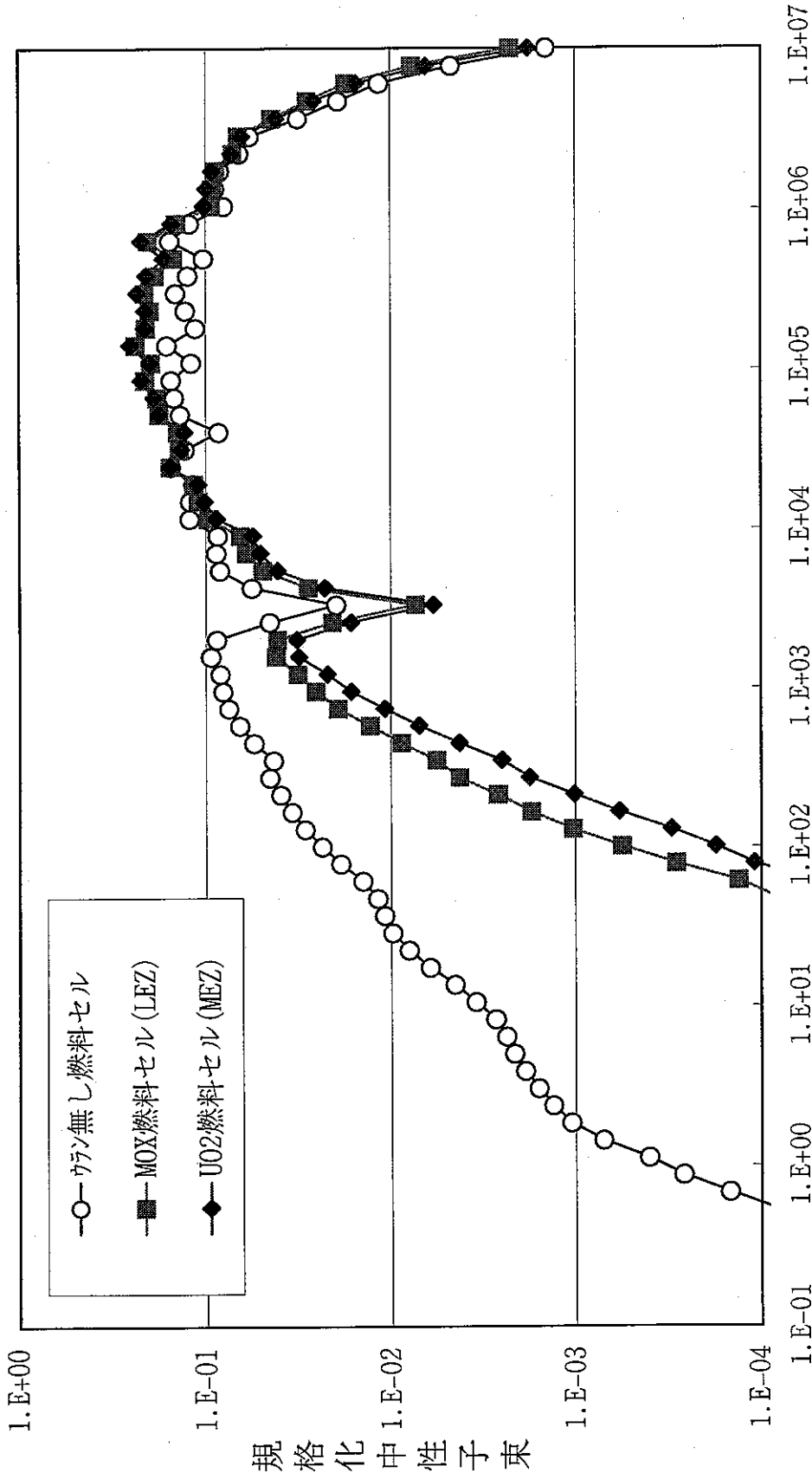


図4.2 BFS-58-1-II炉心の各燃料セルの規格化中性子エネルギースペクトルの比較
 (解析コード: MVP) 中性子エネルギー (eV) (各群の上限値で表示)

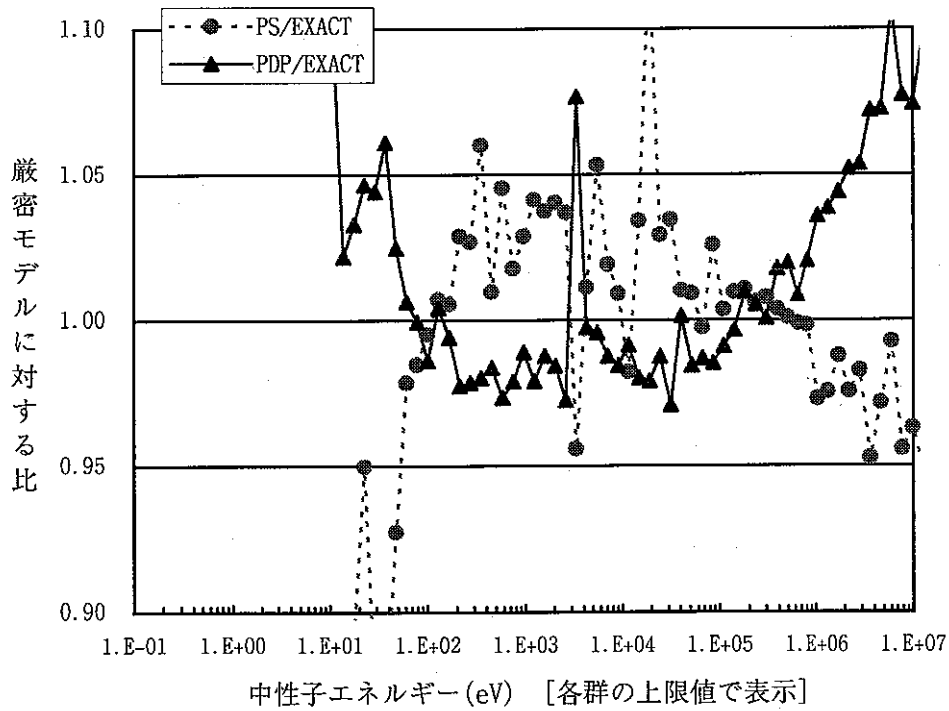
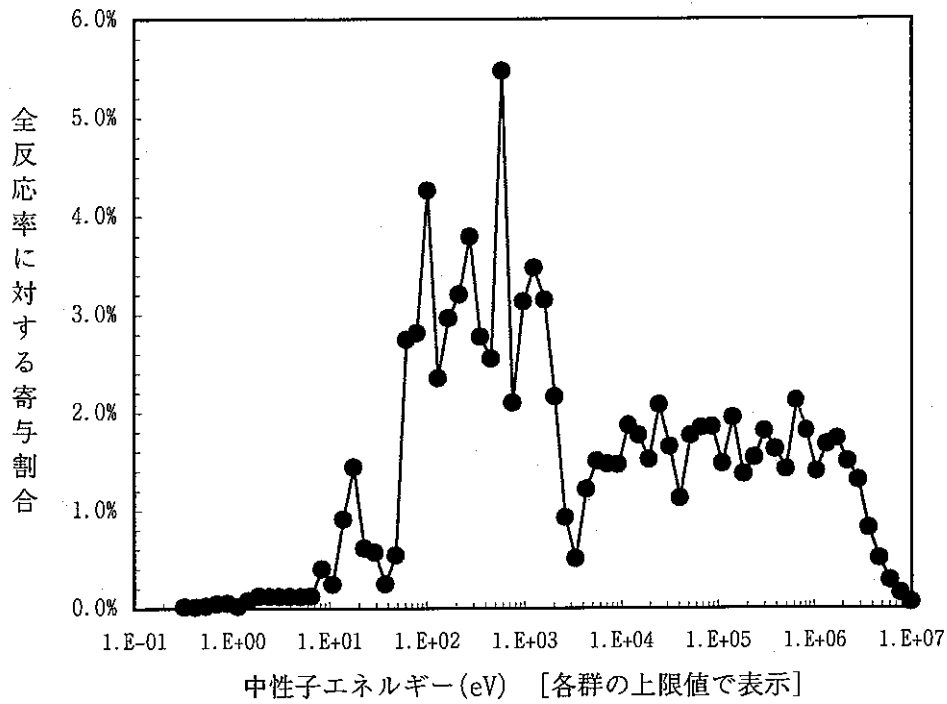


図4.3 U無し燃料セルでのPu239(n, f)反応率の比較

(PS; プレートストレッチモデル、PDP; ペレット数密度保存モデル
EXACT; 厳密モデル)

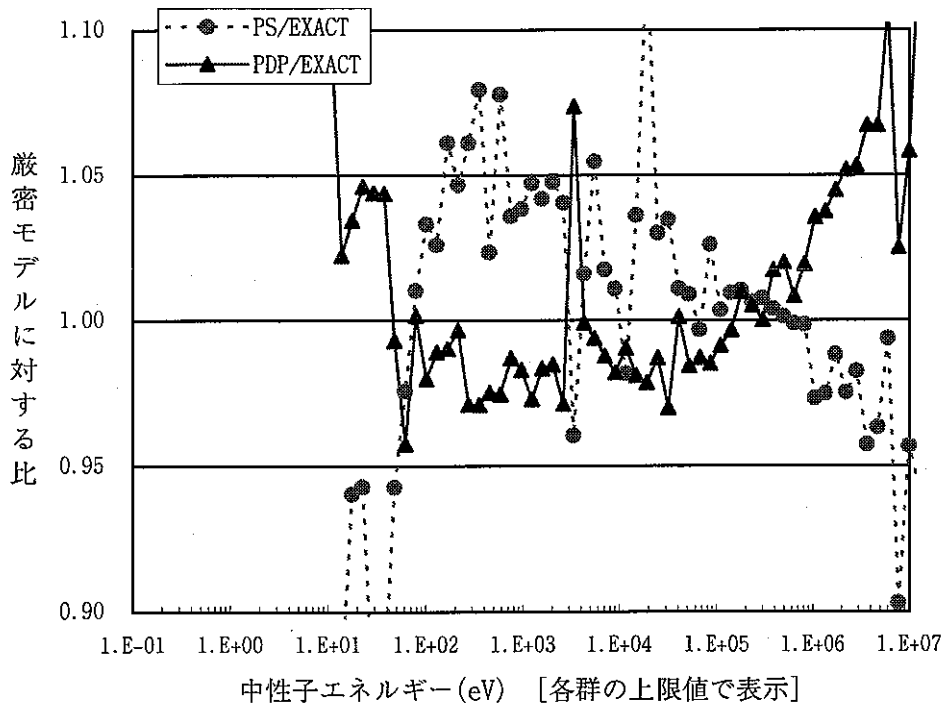
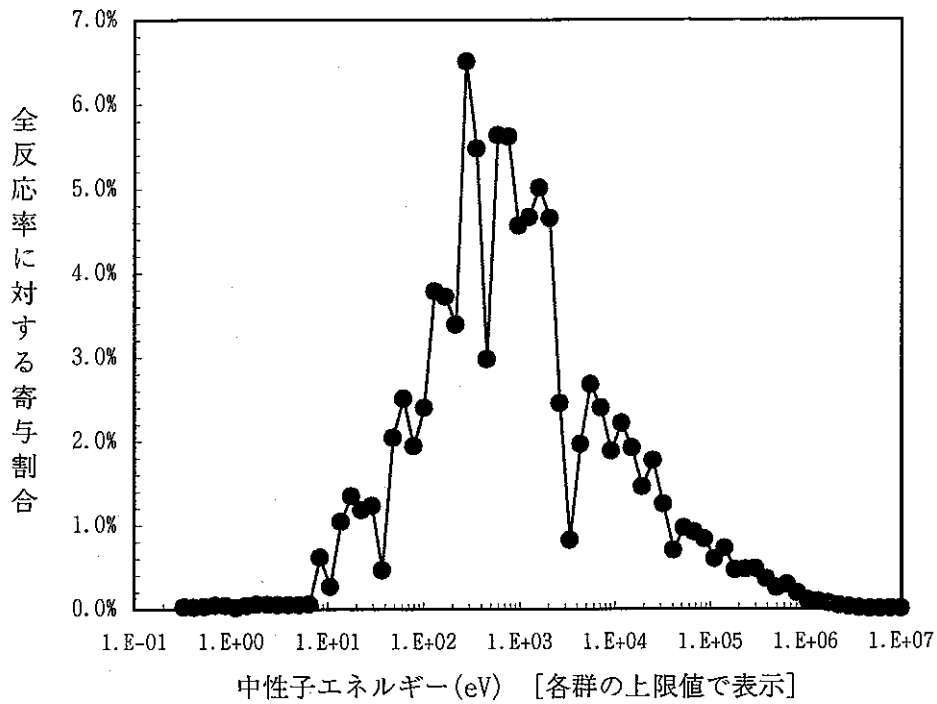


図4.4 U無し燃料セルでのPu239(n, c)反応率の比較

(PS; プレートストレッチモデル、PDP; ペレット数密度保存モデル
EXACT; 厳密モデル)

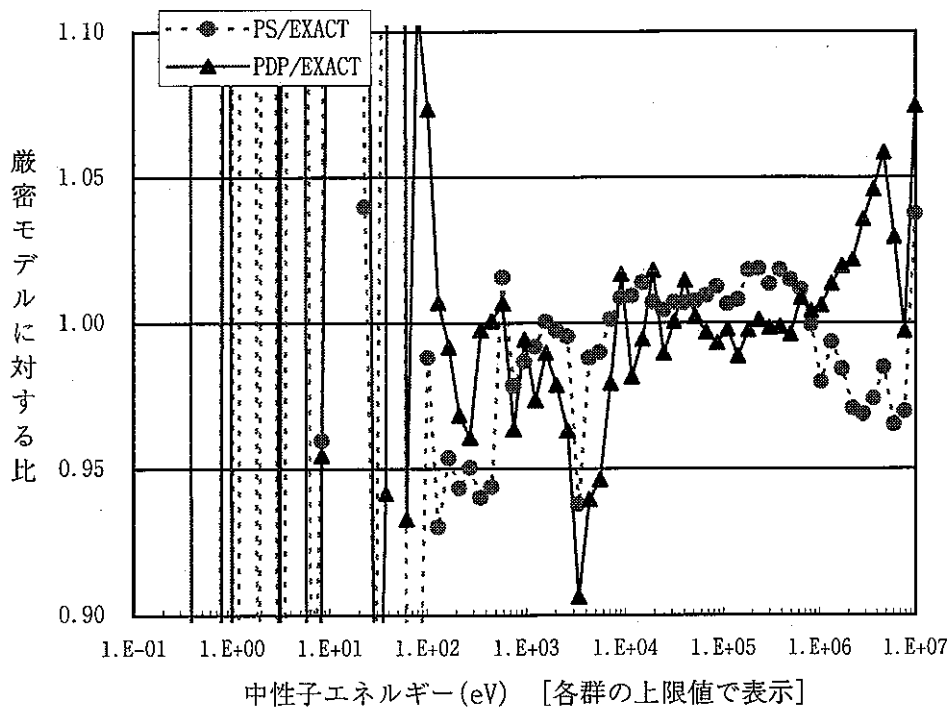
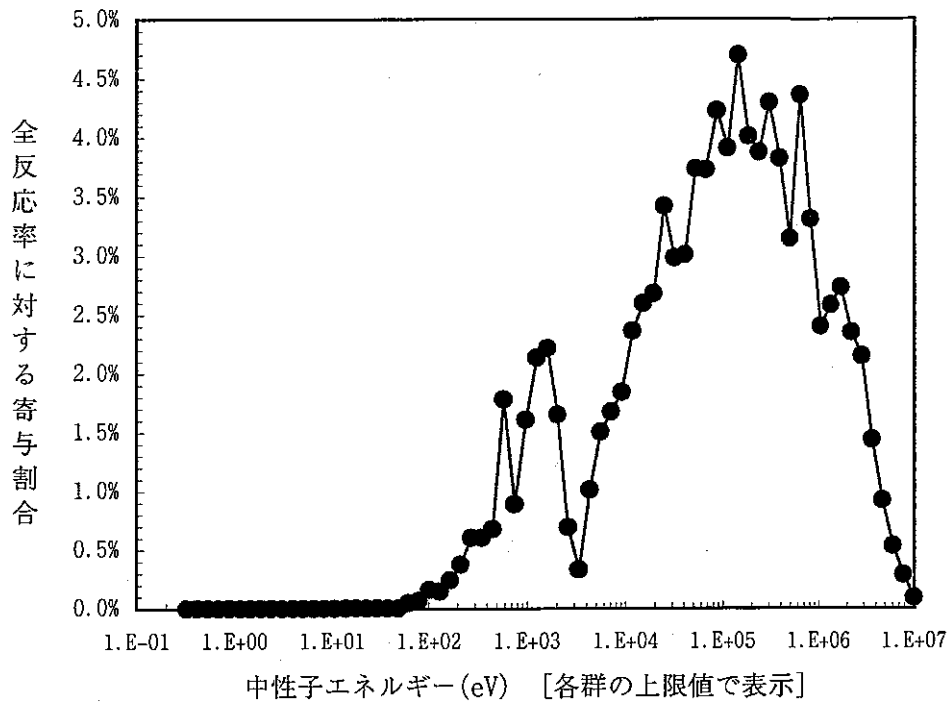


図4.5 MOX燃料セルでのPu239(n, f)反応率の比較

(PS; プレートストレッチモデル、PDP; ペレット数密度保存モデル
EXACT; 厳密モデル)

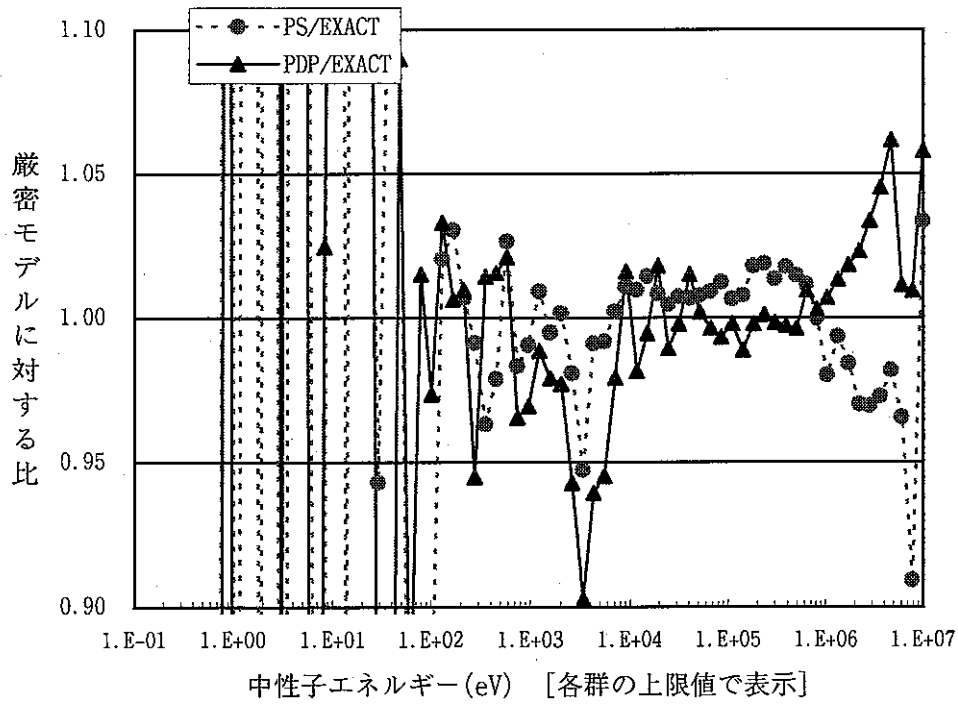
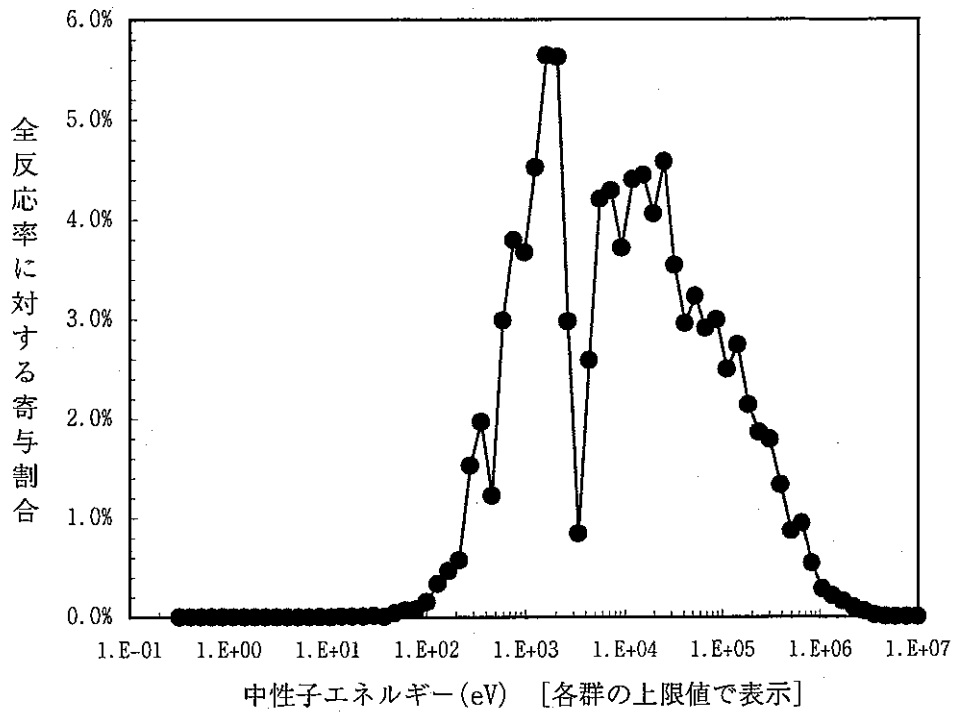


図4.6 MOX燃料セルでのPu239(n,c)反応率の比較

(PS; プレートストレッチモデル、PDP; ペレット数密度保存モデル
EXACT; 厳密モデル)

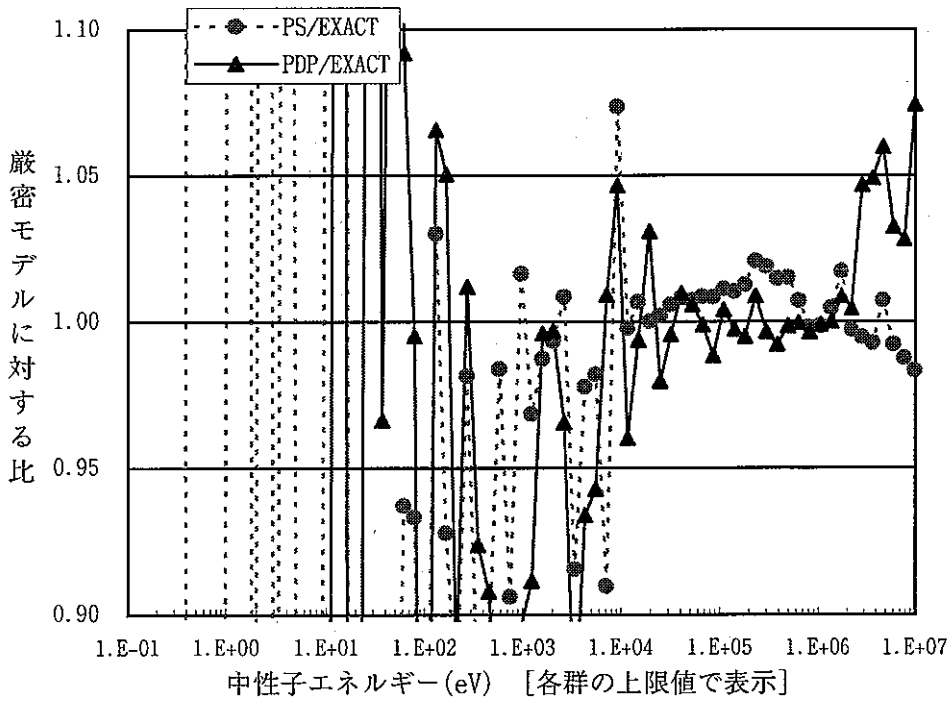
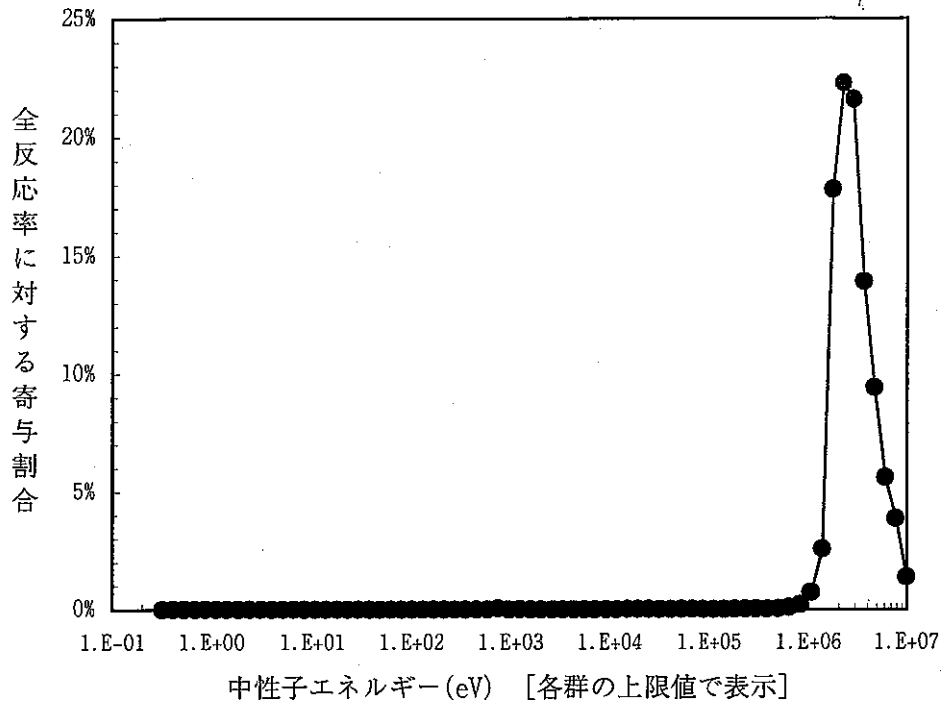


図4.7 MOX燃料セルでのU238 (n, f) 反応率の比較

(PS; プレートストレッチモデル、PDP; ペレット数密度保存モデル
EXACT; 厳密モデル)

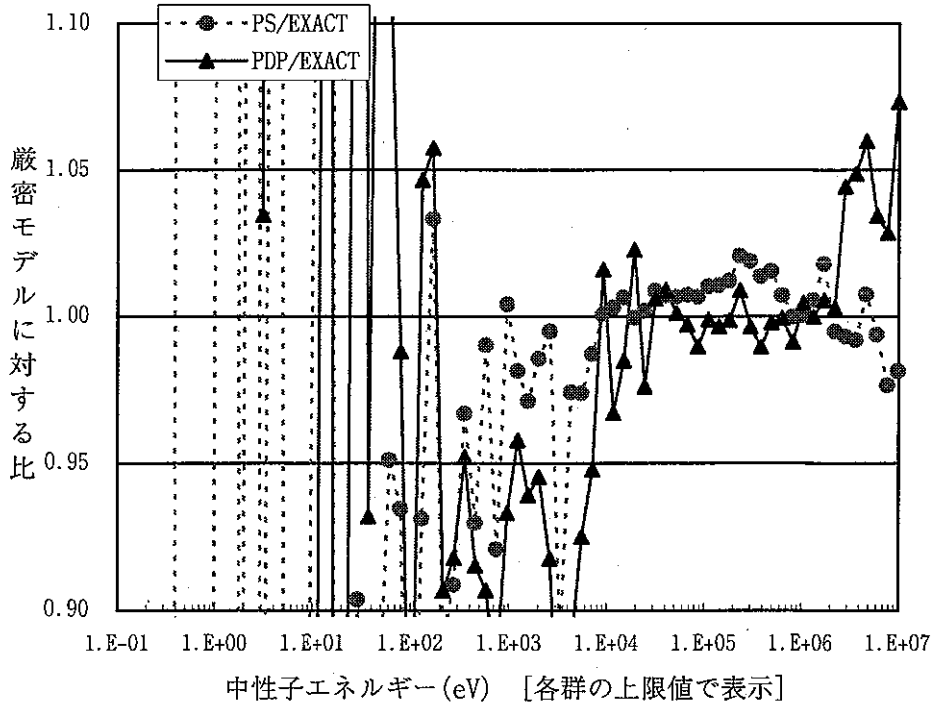
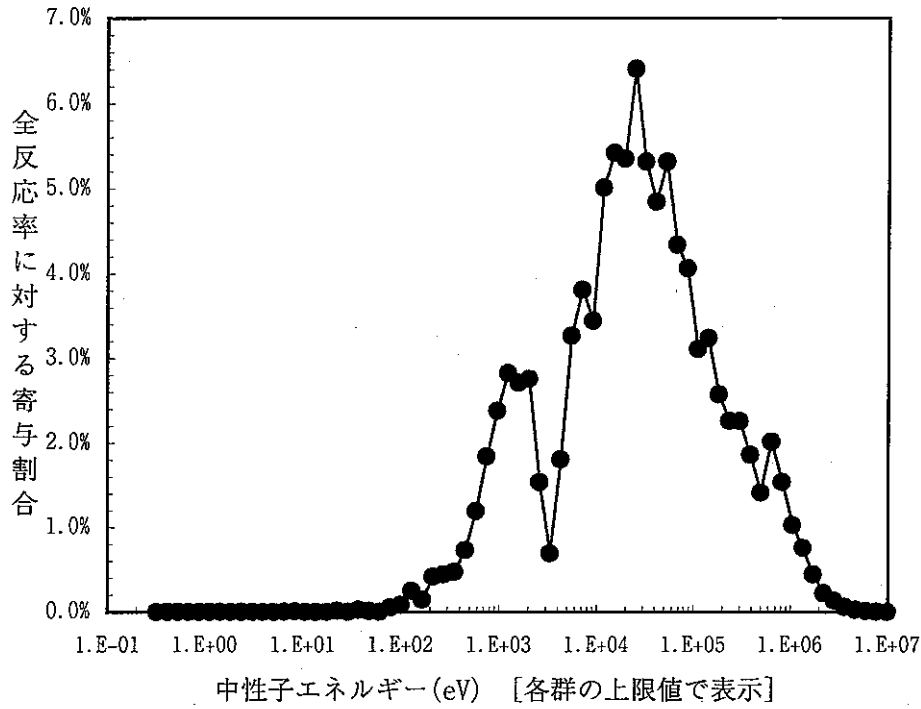


図4.8 MOX燃料セルでのU238(n, c)反応率の比較

(PS; プレートストレッチモデル、PDP; ペレット数密度保存モデル
EXACT; 厳密モデル)

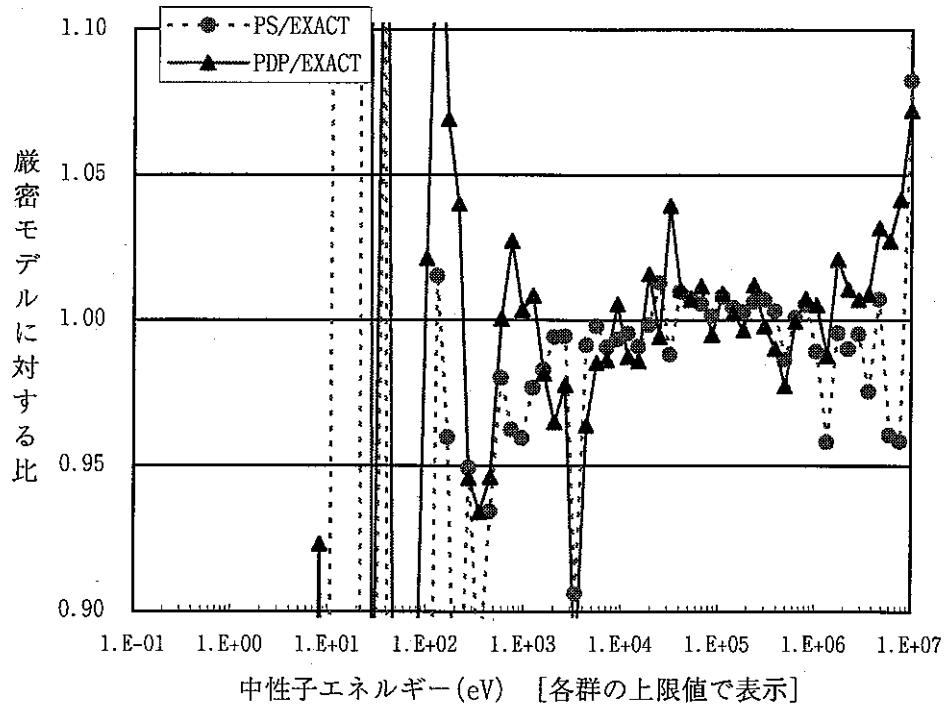
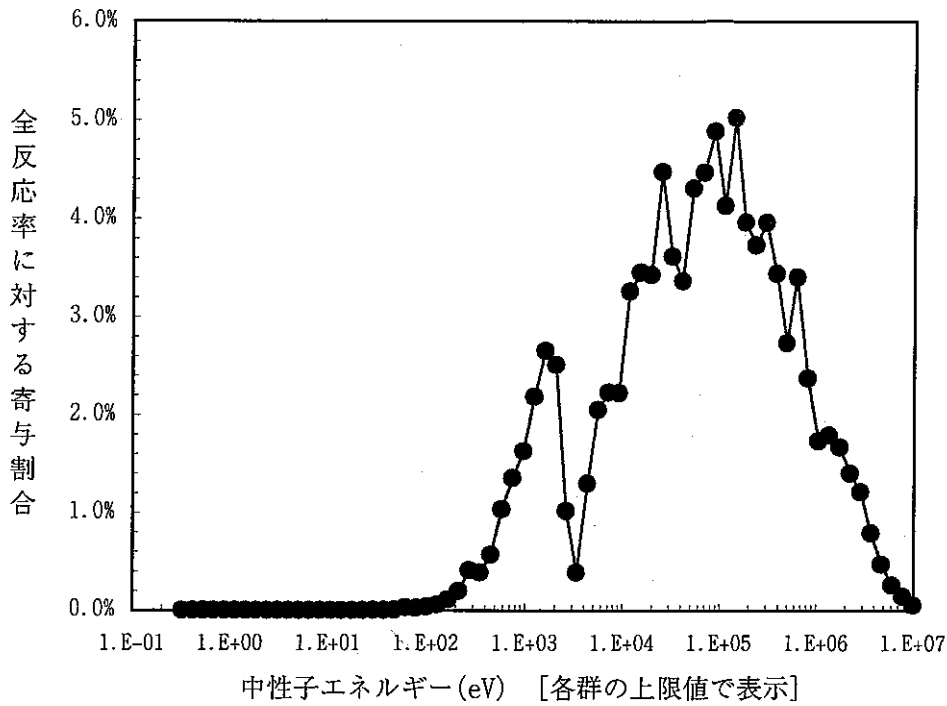


図4.9 UO₂燃料セルでのU²³⁵(n, f)反応率の比較

(PS; プレートストレッチモデル、PDP; ペレット数密度保存モデル
EXACT; 厳密モデル)

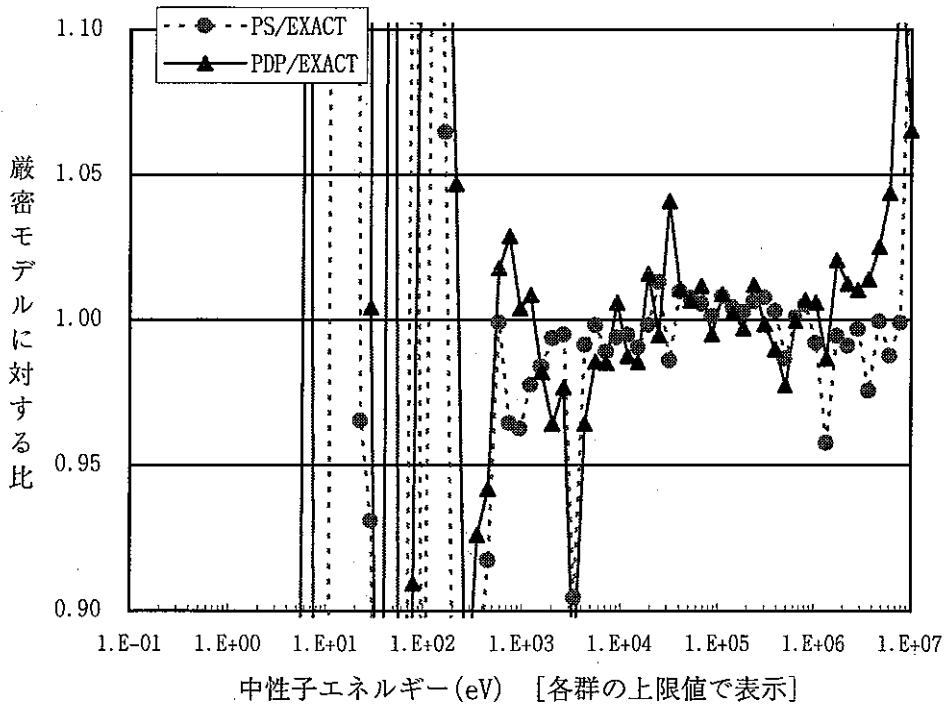
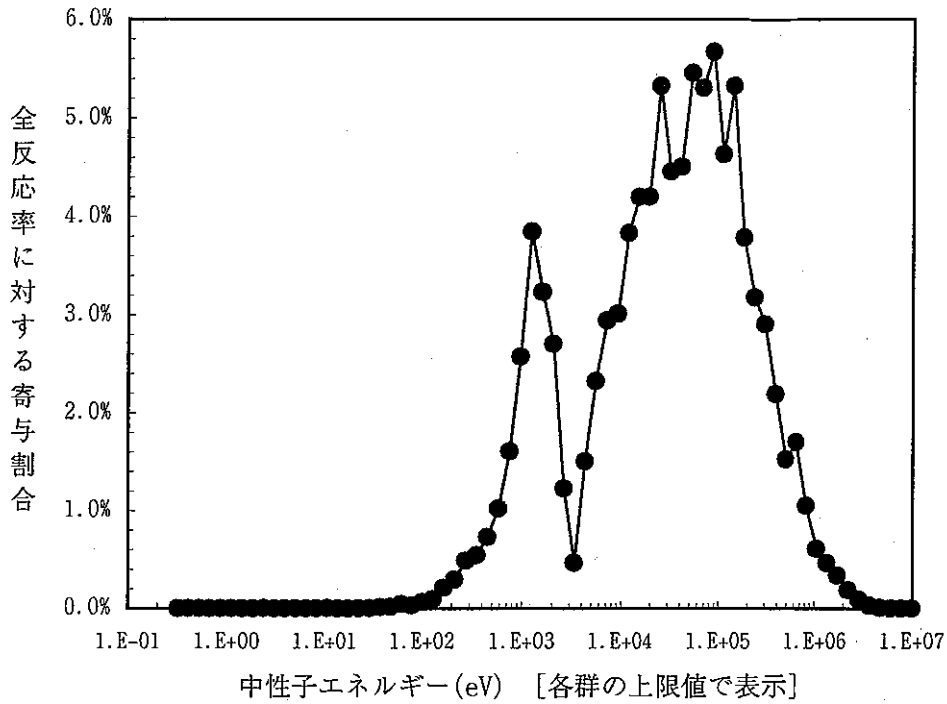


図4.10 UO₂燃料セルでのU235(n,c)反応率の比較

(PS; プレートストレッチモデル、PDP; ペレット数密度保存モデル
EXACT; 厳密モデル)

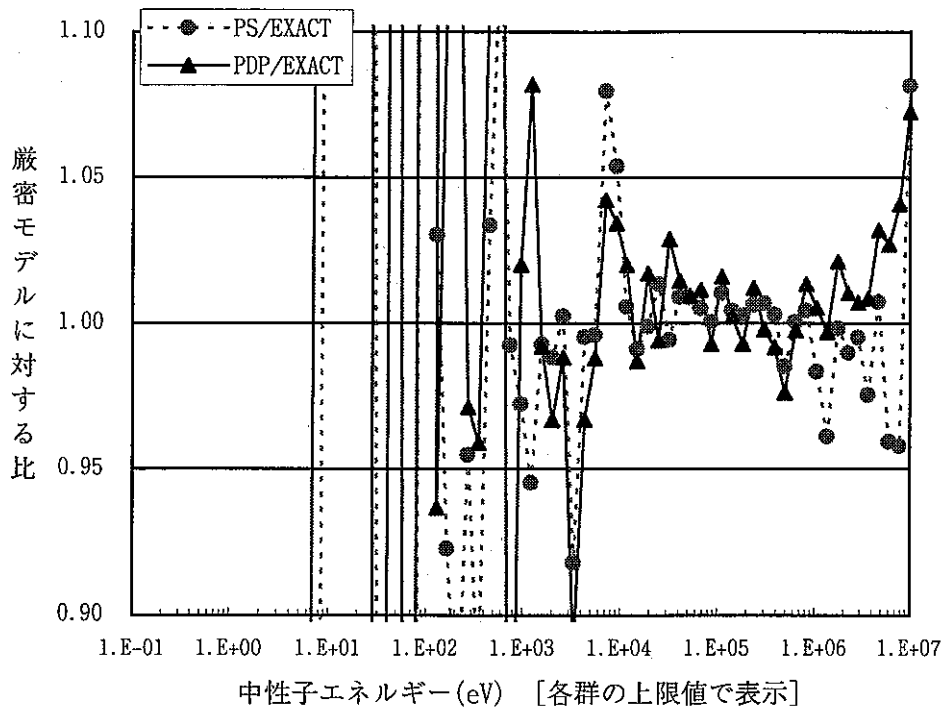
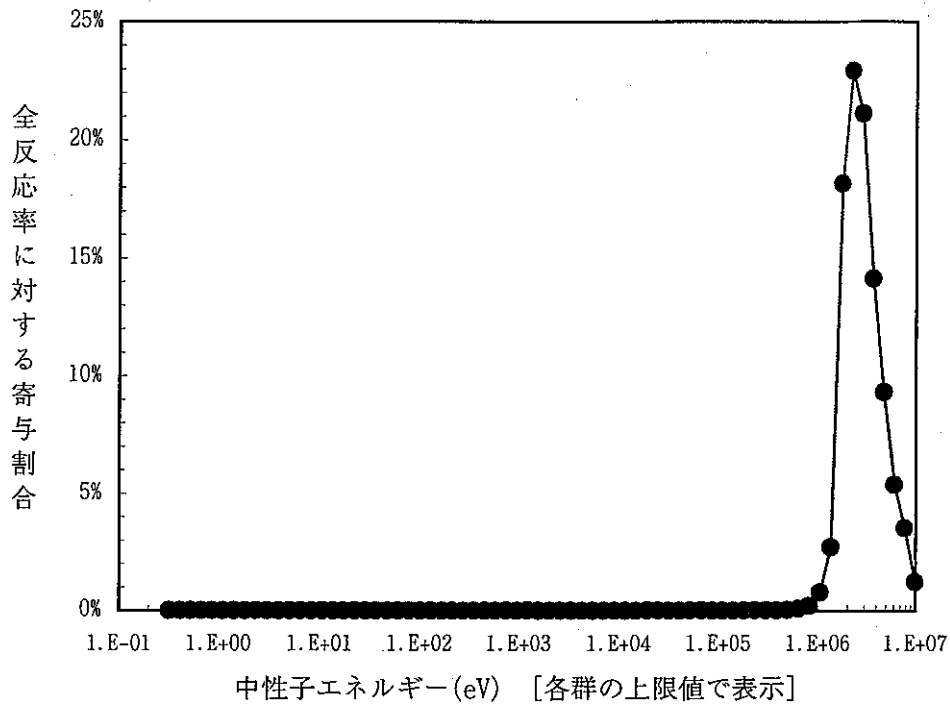


図4.11 UO₂燃料セルでのU238(n, f)反応率の比較
 (PS; プレートストレッチモデル、PDP; ペレット数密度保存モデル
 EXACT; 厳密モデル)

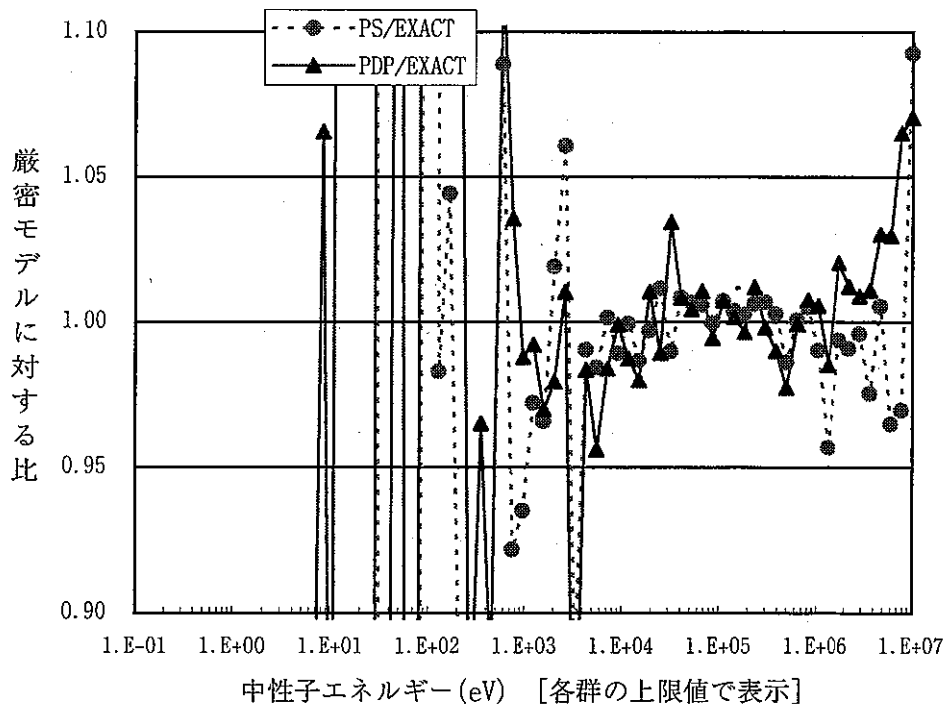
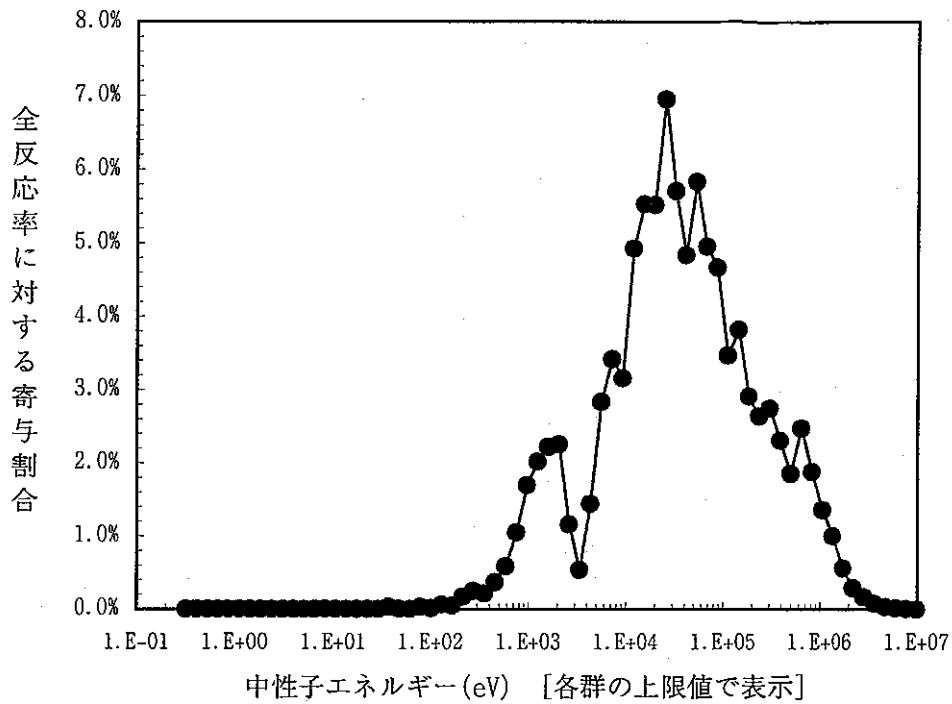


図4.12 UO₂燃料セルでのU238(n, c)反応率の比較

(PS; プレートストレッチモデル、PDP; ペレット数密度保存モデル
EXACT; 厳密モデル)

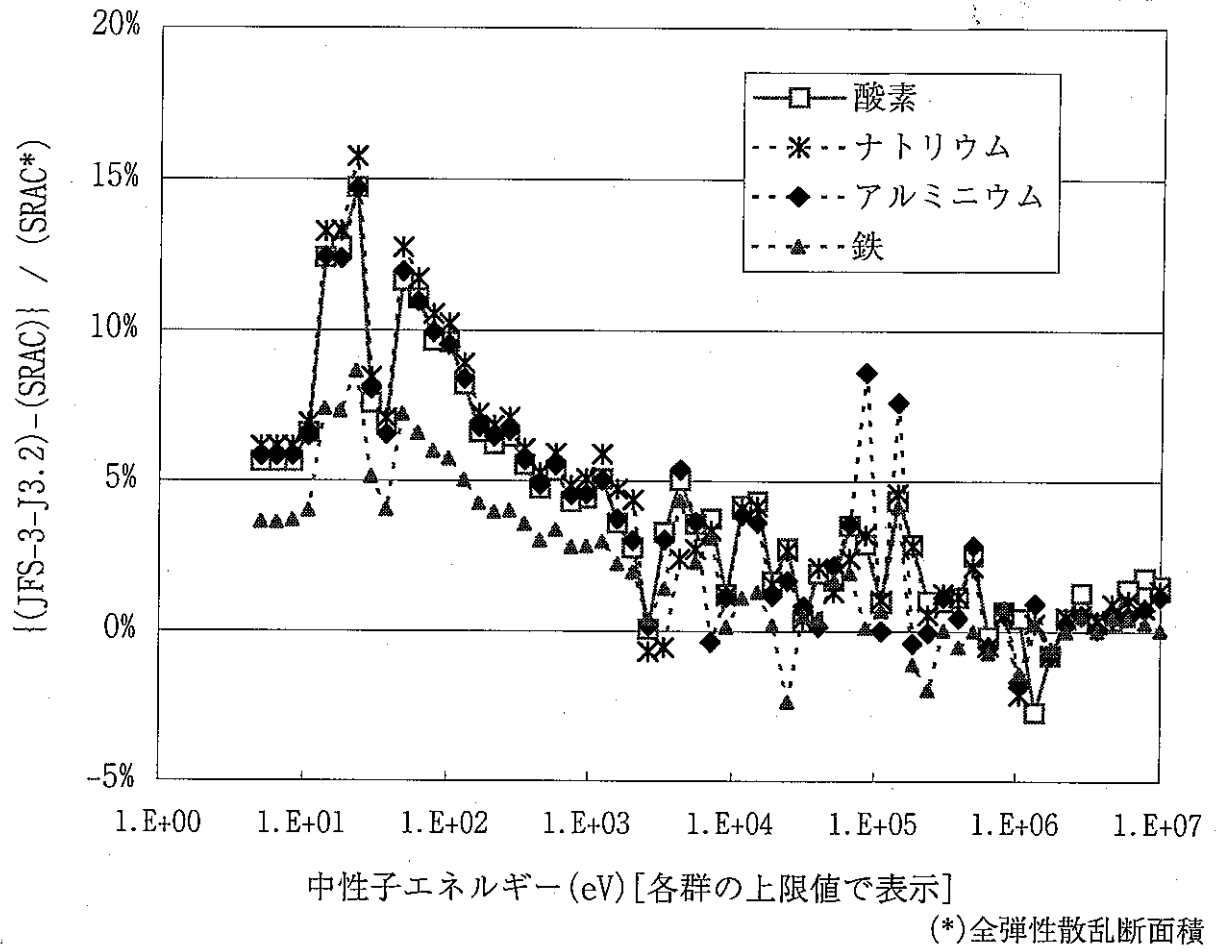
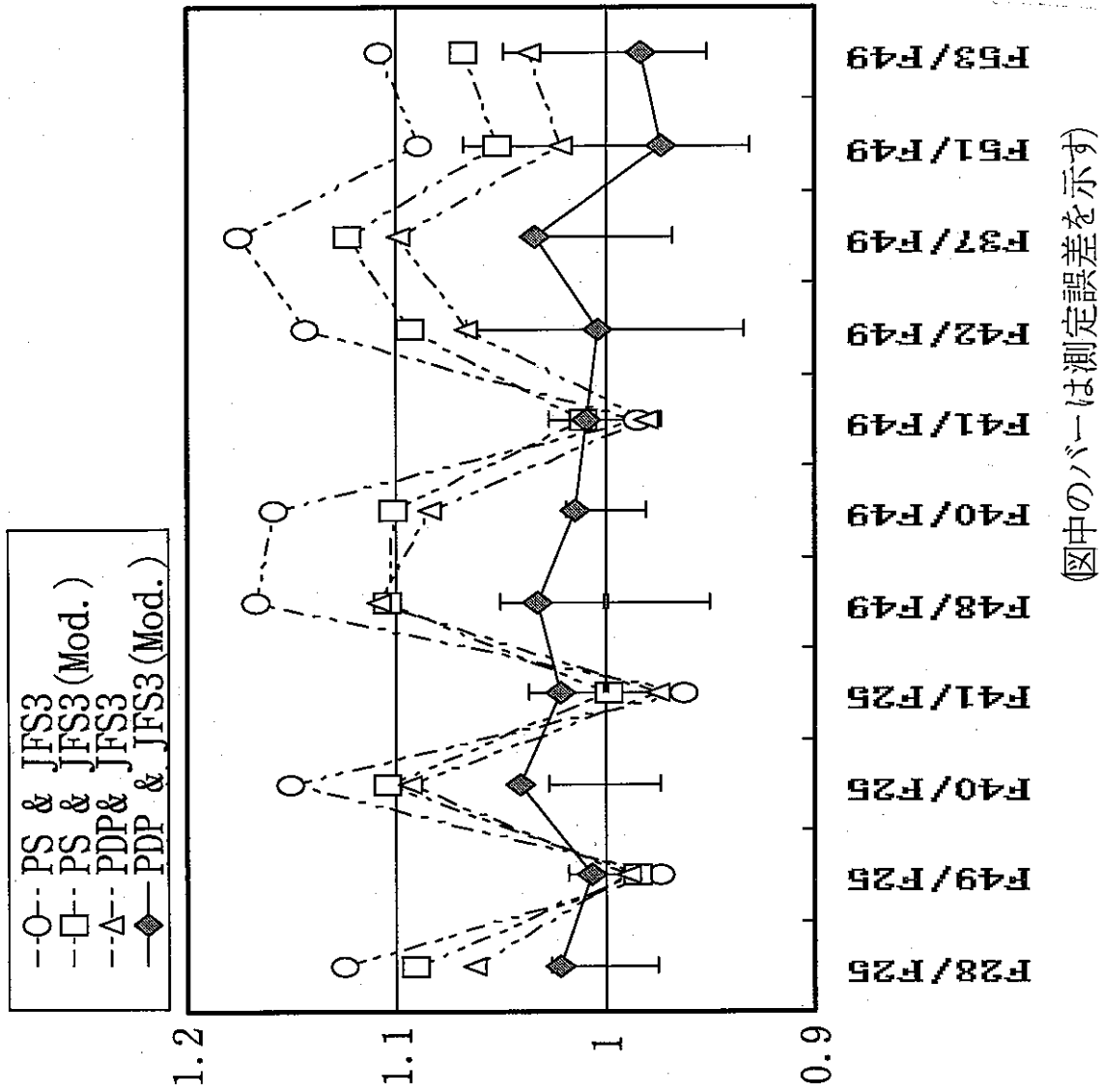


図4.13 自群弾性散乱断面積のライブラリー間の差



(図中のバーは測定誤差を示す)

- セルモデル
 - PS; プレートストレッチモデル
 - PDP; ペレット数密度保存モデル
 - 炉定数
 - JFS3; JFS-3-J3.2
 - JFS3(Mod.); 軽核(Al, Fe, Na, O)の散乱断面積をSRACライブラリに置換
- 各ペレットの原子数密度を保存し、より軟らかい中性子スペクトルで重み付けしたSRACライブラリを使用した場合に、良好な解析精度が得られた。
- 炉中心部のセル計算の信頼性を確認できたと判断

図4.14 炉中心反応率比C/E値に対するセルモデル及び炉定数セットの影響

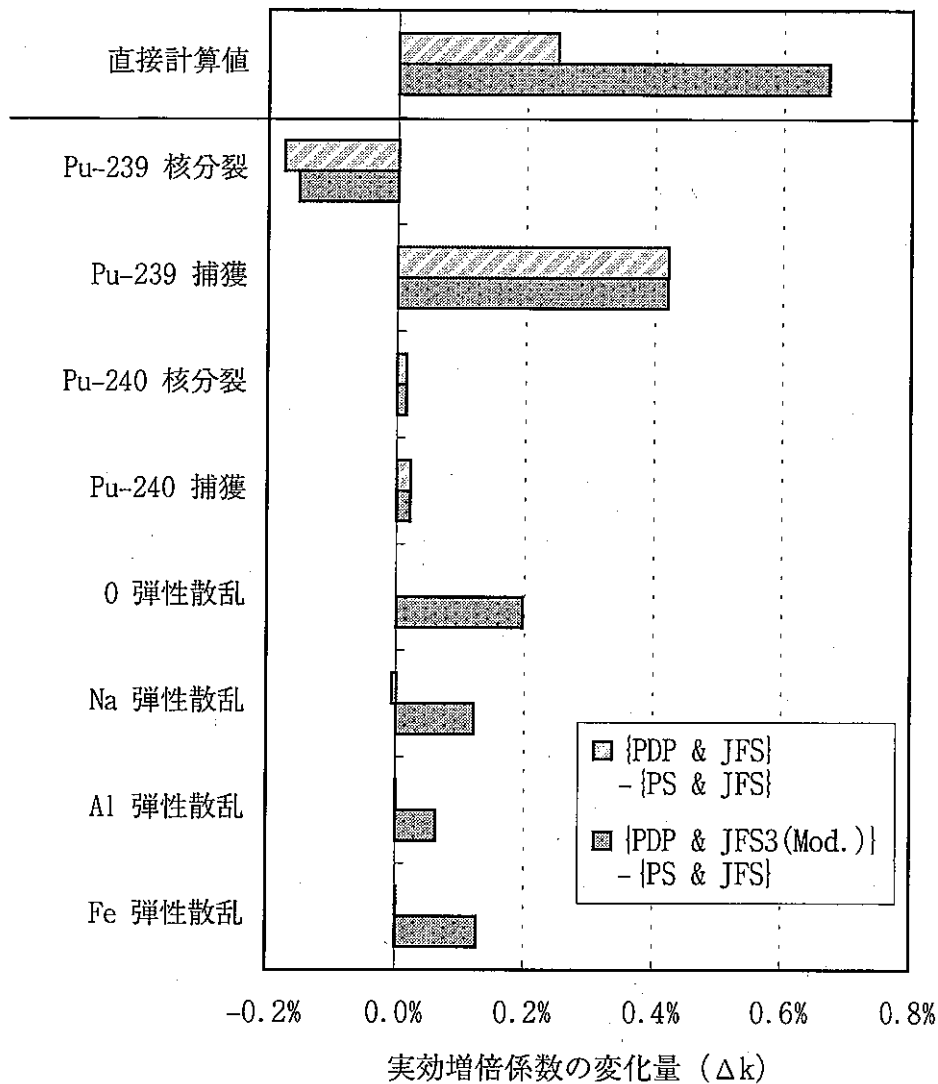


図4.15 セルモデル及び炉定数を変更した場合の実効増倍係数変化量の内訳 (JUPITER標準解析手法*に対する差；単位(%Δk))

*全ての燃料領域のセルモデルをPSとし、炉定数にJFS-3-J3.2を用いる

- PS；プレートストレッチモデル
- PDP；ペレット数密度保存モデル
- JFS3；JFS-3-J3.2
- JFS3(Mod.)；JFS-3-J3.2の構造材散乱断面積を SRAC Public Fast Libraryの値に置換

第5章 最確 C/E 値及び他機関の解析結果との比較

5.1 概要

第4章の検討結果を踏まえ、CASUP コードによるセル計算時に、U 無し燃料セルのセルモデルをペレット数密度保存モデルとし、70 群炉定数を JFS (Mod.) として求めた実効マクロ定数を使用した場合の計算値を2次元 R-Z 体系における最確 C/E 値とした。なお、炉心体系計算時の MOX 燃料セル及び UO_2 燃料セルの実効マクロ定数については、JUPITER 標準解析手法どおり、セルモデルをプレートストレッチモデルとし、70 群炉定数に JFS-3-J 3.2 を適用して算出した値を使用した。また、非燃料領域に関する取扱いは、3.2 に示すとおりである。

5.2 臨界性

3.2 に示す手順で拡散計算値に輸送・メッシュ補正を施して輸送・メッシュ補正後の実効増倍係数を求めた。これらのプロセスで使用した数値を表 5.1 に示す。また、IPPE 及び CEA の解析値⁴⁾を表 5.2 に示す。サイクル機構の輸送・メッシュ補正後の値は約 1.0023 であり、実験値 (1.00035) との差は約 0.2% と良好である。IPPE の 2 次元 R-Z 輸送計算値及び 3 次元連続エネルギーモンテカルロ計算値は 1.004 強であり、両者はよく一致している。2 次元 R-Z 輸送計算値のサイクル機構の値との差は +0.22% である。CEA の計算体系は不明であるが、欧州核データライブラリ JEF2 と臨界実験解析データによって調整された調整ライブラリ ELARIB-1 を用いた場合のそれぞれについて解析値を報告しており、両者の差は約 0.3% である。また、サイクル機構の値との差は +0.05 ~ +0.35% である。また、IPPE と CEA の値は、±0.2% で一致している。CEA と IPPE はいずれも共鳴領域の自己遮蔽効果の解析精度向上策としてサブグループ法を用いている⁴⁾ので、本炉心の U 無し燃料領域のような軟らかい中性子スペクトルを有する炉心の計算値として信頼性が高いと思われるのに対し、サイクル機構の計算値とこれらの値との差は +0.35% 以内であり、よく一致していると判断できる。第4章に記した考察を踏まえて採用したセルモデル及び炉定数による改善効果 (JUPITER 標準解析手法に比べて約 0.67% Δk の増加) が重要な役割を果たしたことがわかる。

5.3 炉中心反応率比

図 4.14 及び表 4.3 に示した C/E 値のうち、U 無し燃料セルのセルモデルをペレット数密度保存モデルとし、70 群炉定数を JFS (Mod.) として求めた計算ケースの値を IPPE 及び CEA の解析値⁴⁾とともに、図 5.1 に示す。JNC の解析結果は、11 種類の測定値のほとんどに対して測定誤差範囲内で一致しており、IPPE 及び CEA の解析結果に比較して遜色ない精度を示していると考えられる。

5.4 Na ボイド反応度

Na ボイド反応度に関する一連の解析結果を表 5.3 に示す。また、参考値として、IPPE の解析結果を表 5.4 に示す。サイクル機構の解析値は 16 ~ 17% の過大評価であるが、測定誤差が 12 ~ 14% と大きいことを考慮すれば、それほど悪い値ではないと考えられる。

表 5.5 には、第 6 章に記載する炉定数調整検討に使用するために計算した、U 無し燃料セルの実効マクロ定数計算時に JFS-3-J3.2 を用いた場合の一連の Na ボイド反応度に関する解析結果を示した。この場合は、C/E 値が 1.06 及び 1.08 とやや改善する傾向が見られた。

表5.1 臨界性評価結果のまとめ

項目	実効増倍係数	備考
実験値	1.00035	
基準計算値(k ₀)	0.99696	CITATION-FBRによる拡散計算, Benoistの非等方拡散係数
輸送計算値(k ₂)	1.00218	TWOTRAN-IIによる輸送計算
等方拡散係数による計算値(k ₁)	0.99688	CITATION-FBRによる拡散計算, Benoistの等方拡散係数
輸送・メッシュ補正(=k ₂ -k ₁)	0.00530	
輸送・メッシュ補正後計算値(=k ₀ +k ₂ -k ₁)	1.00226	
最確C/E値	1.00191	輸送・メッシュ補正後計算値と実験値との比

(注1) 計算体系はいずれも2次元R-Z体系である。

(注2) 実効定数算出方法

U無し燃料セルはPDP & JFS(Mod.)、他の燃料領域はPS & JFS、CASUPコード
非燃料領域はHOMO & JFS、SLAROMコード

(注3)

- PS; プレートストレッチモデル
- PDP; ペレット数密度保存モデル

- JFS3; JFS-3-J3.2
- JFS3(Mod.); JFS-3-J3.2の構造材散乱断面積をSRAC Public Fast Libraryの値に置換

表5.2 IPPE及びCEAの解析結果(実効増倍係数)⁴⁾

解析機関	拡散計算	輸送補正後	解析手法
IPPE	0.99754	—	ABBN, 11群, サブグループ法, 3D-Hex
	—	1.00453	ABBN, 26群, サブグループ法, 2D-rz
	—	1.00431	連続エネルギーモンテカルロ法, MCNPコード, 3D-exact
CEA	0.99357	1.00597	JEF-2, 1968群, サブグループ法
	0.99000	1.00273	ERALIB-1, 1968群, サブグループ法

表5.3 Naボイド反応度評価結果のまとめ

(実験値及び計算値の単位; % β_{eff})*

実験条件	実験値	実験誤差	基準計算値	輸送計算値	等方拡散係数による計算値	輸送・メッシュ補正	輸送・メッシュ補正後計算値	C/E値
Na ⁺ イ [*] (18S/As) **	-7.3	±1.0 (±14%)	-8.80	-8.44	-8.66	0.97	-8.57	1.17
Na ⁺ イ [*] (37S/As) ***	-15.4	±1.8 (±12%)	-18.40	-17.68	-18.17	0.97	-17.90	1.16

* $\beta_{eff}=0.003373$

**中心37S/Aと19S/Aをボイド化したときの反応度差

***中心37S/Aとボイド化したときの反応度差

(注1) 計算体系はいずれも2次元R-Z体系である。

(注2) 実効定数算出方法

U無し燃料セルはPDP & JFS (Mod.), 他の燃料領域はPS & JFS, CASUPコード

非燃料領域はHOMO & JFS, SLAROMコード

表5.4 IPPEのNaボイド反応度評価結果⁴⁾

実験条件	C/E値
Na ⁺ イ [*] (18S/As) **	1.05
Na ⁺ イ [*] (37S/As) ***	1.05

(ABBN, 26群, サブグループ法, 2D-rz)

表5.5 JFS-3-J3.2に基づくNaボイド反応度評価結果のまとめ

(実験値及び計算値の単位; % β_{eff})*

実験条件	実験値	実験誤差	基準計算値	輸送計算値	等方拡散係数による計算値	輸送・メッシュ補正	輸送・メッシュ補正後計算値	C/E値
Na ⁺ イ [*] (18S/As) **	-7.3	±1.0 (±14%)	-8.09	-7.75	-7.97	0.97	-7.87	1.08
Na ⁺ イ [*] (37S/As) ***	-15.4	±1.8 (±12%)	-16.85	-16.17	-16.65	0.97	-16.37	1.06

* $\beta_{eff}=0.003373$

**中心37S/Aと19S/Aをボイド化したときの反応度差

***中心37S/Aとボイド化したときの反応度差

(注1) 計算体系はいずれも2次元R-Z体系である。

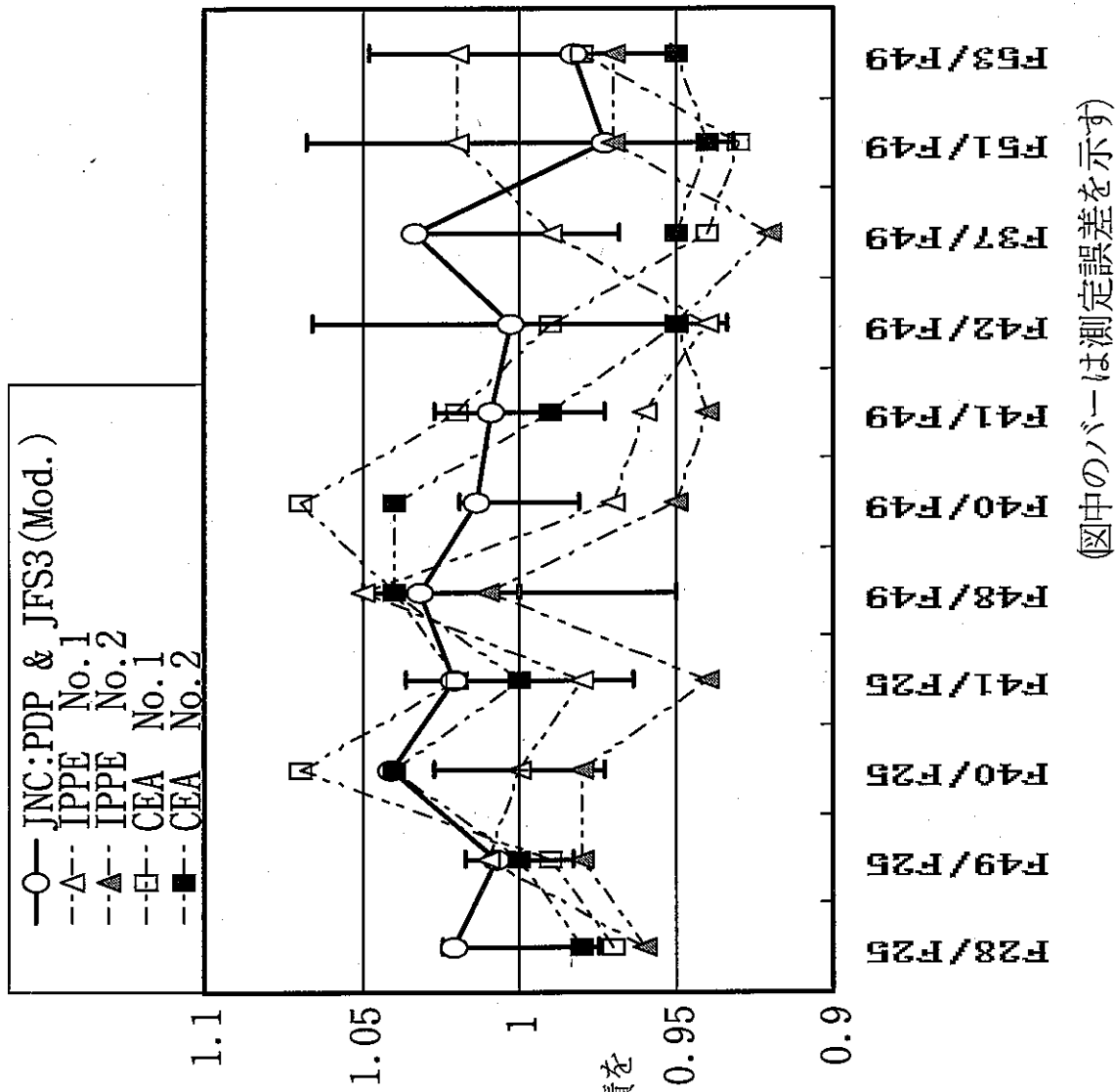
(注2) 実効定数算出方法

U無し燃料セルはPDP & JFS, 他の燃料領域はPS & JFS, CASUPコード

非燃料領域はHOMO & JFS, SLAROMコード

- PS; プレートストレッチモデル
- PDP; ペレット数密度保存モデル

- JFS3; JFS-3-J3.2
- JFS3 (Mod.); JFS-3-J3.2の構造材散乱断面積をSRAC Public Fast Libraryの値に置換



(図中のバーは測定誤差を示す)

図5.1 炉中心反応率比C/E値に関するJNC, IPPE, CEA解析結果の比較

• JNC解析結果

セルモデル

PDP; パレット数密度保存モデル

炉定数

JFS3 (Mod.); 軽核 (Al, Fe, Na, O) の散乱断面積を

SRACライブラリに置換

• IPPE解析結果④

No. 1; TRIGEX+ABB93Multi-gr.

No. 2; MCNP + ABB93

• CEA解析結果④

No. 1; ERANOS+JEF2

No. 2; ERANOS+ERALIB-1

第6章 JUPITER 実験解析結果との整合性の検討

6.1 検討方法

本章では、JFS-3-J3.2 を用いて得られた BFS-58-1-I1 炉心の実効増倍係数・炉中心反応率比・Na ボイド反応度の C/E 値とそれらの実験・解析誤差を考慮して炉定数調整を行うことにより、JUPITER 実験解析結果との整合性について検討する。ここでいう「整合性検討」とは、BFS-58-1-I1 炉心と JUPITER 実験シリーズの核特性評価精度を向上させるための断面積調整が、互いに矛盾していないことを確認することである。JUPITER 実験解析結果に基づく JENDL-3.2 ベースの調整炉定数としては、185 核特性を調整に使用した ADJ98²²⁾ が既に公開されているが、今回の評価では速やかに見通しを得るため、それ以前から使用されてきた JENDL-2 に基づく改訂版統合炉定数 JFS-3-J2(ADJ91R) を作成する際に考慮された 82 核特性の実験解析結果（以下、「JUPITER82 核特性」と記す）によって JFS-3-J3.2 を調整した炉定数を用いた。

SAGEP⁹⁾ コードによる感度解析及び ABLE コード⁹⁾ による炉定数調整計算及び調整後 C/E 値予測計算はエネルギー群 18 群で行った。観点は、下記の 3 項目に分類される。

- i) 炉定数調整に考慮する核特性の相違によって、BFS-58-1-I1 炉心の C/E 値がいかなる変化傾向を示すか？
- ii) 「JUPITER82 核特性」に BFS-58-1-I1 炉心の核特性を加えて調整した炉定数が JUPITER82 核特性の C/E 値にいかなる影響を与えるか？
- iii) 炉定数調整に考慮する核特性の相違によって、炉定数の調整傾向がどのように変化するか？

6.2 BFS-58-1-I1 炉心の実験解析結果の整理

炉定数調整に使用する BFS-58-1-I1 炉心の核特性として、実効増倍係数、Na ボイド反応度 2 項目、炉中心反応率比 5 項目（高速炉で主要な核種として U235, U238, Pu239, Pu240, Pu241 が関係する反応率比を選定した）の 8 項目を選定した。それらの C/E 値を実験誤差及び解析誤差の設定値とともに表 6.1 に示す。いずれの C/E 値も、U 無し燃料セルのセルモデルをペレット数密度保存モデルとし、70 群炉定数を JFS-3-J3.2 として求めたものであり、第 5 章で最確 C/E 値として示した値とは異なることに注意が必要である。

実験誤差及び解析誤差の設定値についてはいくつかの暫定的な値を使用している。臨界性（実効増倍係数）については、いずれも JUPITER 実験解析で使用した値を流用した。Na ボイド反応度の実験誤差は IPPE の報告値⁴⁾ であるが、解析誤差は輸送・メッシュ効果の 50% とセルモデル効果の 50% を考慮した。炉中心反応率比の実験誤差は IPPE より入手した値を用いたが、解析誤差については SRAC コードで超詳細群による直接計算 (PEACO) を用いた場合と NR 近似法を用いた場合の解析値との差の 50% を設定した。したがって、臨界性（実効増倍係数）の実験誤差及び解析誤差、Na ボイド反応度及び炉中心反応率比の解析誤差については今後の検討により適切な値を設定する必要がある。

6.3 炉定数調整結果

6.3.1 BFS-58-1-I1 炉心の 8 核特性の C/E 値に対する影響

図 6.1 及び表 6.2 に、BFS-58-1-I1 炉心の 8 核特性の C/E 値について、炉定数調整前（すなわち、JFS-3-J3.2）、JUPITER82 核特性で調整した炉定数、JUPITER82 核特性に BFS-58-1-I1 炉心の 8 核特性を加えて調整した炉定数のそれぞれを用いた場合の予測値を示す。

臨界性については、JUPITER82 核特性による調整ではわずかに C/E 値が悪化する方向であるのに対して、BFS-58-1-I1 炉心の 8 核特性を加えることによって 1.0 に近い C/E 値が得られることがわかる。

Na ボイド反応度については、いずれの調整炉定数を用いても C/E 値は数%改善するという点で一致しており、BFS-58-1-I1 炉心の 8 核特性を調整に加えた効果は現れない。これは、実験誤差が大きく、調整前の C/E 値がその範囲内に入っているために Na ボイド反応度の C/E 値を改善する方向に調整が強く働かなかつたためと思われる。

炉中心反応率比については、JUPITER82 核特性で調整した炉定数は、F40/F25 及び F49/F25 の C/E 値については問題ないが、F28/F25、F40/F49、F41/F49 の C/E 値を実験誤差範囲内に改善できず、特に F41/F49 については調整前の値をさらに悪化させる傾向が見られる。一方、BFS-58-1-I1 炉心の 8 核特性を調整に加えた場合には、5 項目の C/E 値はいずれも実験誤差範囲内に調整できている。JUPITER82 核特性による調整の結果、実験誤差範囲外となっていた F41/F49 の C/E 値も改善傾向が見られる。

6.3.2 JUPITER82 核特性の C/E 値に対する影響

図 6.2～図 6.9 に、JUPITER82 核特性の C/E 値予測値を示す。図中、“BEFORE”が調整前炉定数、“R82”が JUPITER82 核特性で調整した炉定数、“R90”が JUPITER82 核特性に BFS-58-1-I1 炉心の 8 核特性を加えて調整した炉定数を用いた場合の予測値である。全般的に、R90 は R82 とほとんど同じ値を示しており、BFS-58-1-I1 炉心の 8 核特性を加えたことによって JUPITER82 核特性の C/E 値が悪化する傾向は見られないと言える。臨界性（実効増倍係数）及び Na ボイド反応度については、R90 は R82 に比べてやや大きめの値を与えるが、その差は 0.05%以内であり、十分に小さい影響と言える。F28 反応率分布では ZPPR-17A の径ブランケット部でのみ C/E 値の改善が見られたが、これは BFS-58-1-I1 炉心の U 無し燃料領域のように中性子スペクトルが軟らかい場所のデータである可能性がある。また、F25/F49 反応率比の C/E 値は、約 1%の改善効果が見られた。これは、次節で示すように、JUPITER 炉心で感度の低い低エネルギー領域で過剰に調整されていた F25 断面積が、BFS-58-1-I1 炉心のデータによって適切に再調整されたことが効いていると推測される。

以上より、BFS-58-1-I1 炉心の 8 核特性を調整に加えることによって JUPITER82 核特性の解析精度が悪化するような不整合は生じていないと結論できる。

6.3.3 炉定数の調整量に与える影響

付録 III に、炉定数調整前後での断面積調整量を示す。総じて、R90 と R82 の差が見られる断面積変化は、BFS-58-1-I1 炉心で感度が相対的に大きくなる低エネルギー領域で

生じているものが多い（参考として、BFS-58-1-I1 炉心と ZPPR-9 炉心の臨界性に対する Pu239 核分裂反応と U238 捕獲反応の感度を合わせて図 6.10 に示す）。例えば、Pu239 の捕獲及び核分裂断面積は、いずれも R82 で正側に調整されていた値が R90 では緩和されている。U235 の場合も捕獲及び核分裂断面積は R82 で正側に調整されていたが、R90 ではさらにその調整量が増加している。また、Pu240 及び Pu241 の核分裂断面積については、R82 と R90 の差は全エネルギー領域に渡って大きい。これは、R82 すなわち JUPITER82 核特性にはこれらの断面積を積極的に調整するような核特性が含まれていないためである。今後、high Pu240 実験のようにこれらの核種の断面積調整に影響のある JUPITER 核特性を含めた場合の炉定数調整結果の整合性を検討する必要がある。なお、これらの調整量は、使用した共分散の範囲を逸脱するものではなく、不合理な調整が行われていないことは別途確認してある。

6.3.4 各核特性 C/E 値変化量の比較結果

6.3.1 で記したように、BFS-58-1-I1 炉心の 8 核特性の C/E 値について、炉定数調整前（すなわち、JFS-3-J3.2）、JUPITER82 核特性で調整した炉定数、JUPITER82 核特性に BFS-58-1-I1 炉心の 8 核特性を加えて調整した炉定数のそれぞれを用いた場合の C/E 値（予測値）には有意な差異が見られた。本節では、これら C/E 値（予測値）の変化がどの核反応断面積の調整によって引き起こされているのかを、各核特性毎に詳細に調べた結果を示す。

図 6.11～図 6.18 は、いずれも、炉定数調整を施すことによる BFS-58-1-I1 核特性の C/E 値変化量（図中 Total と表示）及びその構成因子（個々の核反応による寄与）を図示したものであり、順に、臨界性、Na ボイド反応度（18S/A, 37S/A をそれぞれボイド化した場合）、炉中心反応率比（F28/F25, F40/F25, F49/F25, F40/F49, F41/F49）に関する結果である。

臨界性の C/E 値については、JUPITER82 核特性で調整した値（R82）が約-0.1%の低下を招き、実験解析誤差下限値を逸脱させるのに対し、JUPITER82 核特性に BFS-58-1-I1 炉心の 8 核特性を加えて調整した値（R90）は、約 0.2%の増加をもたらし、解析精度を向上させた。両者の相違をもたらした主因は、図 6.11 より、Pu239 の捕獲断面積の調整であることがわかる。すなわち、R90 では R82 に比べて、負側の調整量が約 0.4%減少している。これは、Fig. AIII.26 に見られるように、Pu239 の捕獲断面積の第 11 群～第 16 群の正側の調整量が R82 に対して R90 では大幅に減少していることが原因であり、この領域に感度の高い BFS-58-1-I1 炉心の実験解析結果を炉定数調整に使用した効果が良く現れているものと考えられる。

Na ボイド反応度の C/E 値については、ボイド化領域の大きさに関わらず、R90 と R82 はいずれも C/E 値を 3～4%低下させるという点において共通の傾向が見られる。また、その構成因子も概ね同様であることが図 6.12 及び図 6.13 より確認できるが、相違点としては、Pu239 の捕獲断面積及び核分裂断面積の調整効果（負）が R90 と R82 では異なっている。両者は互いにキャンセルする方向なので、Total 値には現れてこないが、Fig. AIII.26 及び Fig. AIII.27 に見られるように、Pu239 の捕獲断面積及び核分裂断面積の第 11 群～第 16 群の正側の調整量が R82 に対して R90 では大幅に減少していることが原

因であり、臨界性と同様に BFS-58-1-I1 炉心の実験解析結果を炉定数調整に使用した効果を示すものととらえられる。

炉中心反応率比の C/E 値については、それぞれの核反応の組み合わせによって特徴ある傾向を示す。F28/F25 の場合、R82 は C/E 値を約 1% 増加させるのに対し、R90 は約 3.5% 低下させる。この相違は、複数の核反応断面積の調整の結果としてもたらされているが、特に寄与の大きなものとして、U235 核分裂断面積、Fe 非弾性散乱断面積、Pu239 核分裂スペクトルの調整による負側の寄与があげられる。それぞれの断面積の調整量は Fig. AIII.17, Fig. AIII.13, Fig. AIII.1 に示すとおりである。これらのうち、特に U235 核分裂断面積の第 11 群以下の調整量（正側）が R90 では R82 より 2~3% 大きくなっていることに、BFS-58-1-I1 炉心の実験解析結果を炉定数調整に使用した効果が顕著に現れているものと考えられる。

F40/F25 の場合、R82 は C/E 値を約 2% 増加させるのに対し、R90 は約 6% 低下させる。この相違は、Pu240 核分裂断面積及び U235 核分裂断面積の調整による負側の寄与が主因であることが図 6.15 より明らかである。Pu240 核分裂断面積は、Fig. AIII.32 でわかるように、R90 では負側に最大 10% 調整されている。U235 核分裂反応断面積は、Fig. AIII.17 に示すように、R90 の方が F25 反応を増加させる傾向であり、これらが F40/F25 反応率比を低下させる原因となっている。

F49/F25 の場合、R90 と R82 の差は約 1.5% と小さいが、これは U235 核分裂断面積の調整による負側の効果が R90 の方が大きいことが原因しており、Pu239 核分裂断面積の調整による影響は R90 と R82 でほとんど差異が見られない。

F40/F49 の場合、R82 は C/E 値を約 0.5% 増加させるのに対し、R90 は約 6% 低下させる。この相違は、Pu240 核分裂断面積の調整による負側の寄与が主因であることが図 6.17 より明らかである。上記のように、Pu239 核分裂断面積の調整による影響は R90 と R82 でほとんど差異が見られない。

F41/F49 の場合、R82 は C/E 値を約 3% 減少させるのに対し、R90 による減少量は約 1.2% にとどまる。この相違は、Pu241 核分裂断面積の調整による負側の寄与が R82 において大きいことが主因であることが図 6.18 よりわかる。Fig. AIII.35 に示す Pu241 核分裂断面積調整量からは、R90 の場合、第 11 群以下のエネルギー領域における調整量が R82 に比べて正側にシフトする傾向があり、これは BFS-58-1-I1 炉心の実験解析結果を炉定数調整に使用した効果を示すものととらえられる。

表6.1 炉定数調整に使用したBFS-58-1-I1炉心のC/E値及び誤差設定値

核特性	C/E値	実験誤差(%)	解析誤差(%)
臨界性 (実効増倍係数)	0.9976	0.04	0.31
Na ²³⁵ (18S/As)	1.08	14.0	3.0
Na ²³⁵ (37S/As)	1.06	12.0	5.0
反応率比F28/F25	1.06	2.5	0.5
反応率比F40/F25	1.09	2.7	1.0
反応率比F49/F25	0.99	1.7	0.5
反応率比F40/F49	1.08	1.9	1.0
反応率比F41/F49	0.98	2.7	2.0

○U無し燃料セル：PDP & JFS。MOX, UO₂燃料セル：PS & JFS。その他の領域：均質

○臨界性の実験・解析誤差は、JUPITERと同じ値を設定。

○Na²³⁵反応度・反応率比の実験誤差は、IPPEの報告値。

○Na²³⁵反応度の解析誤差は、輸送・メッシュ効果の50%とセルモデル効果の50%を考慮した。

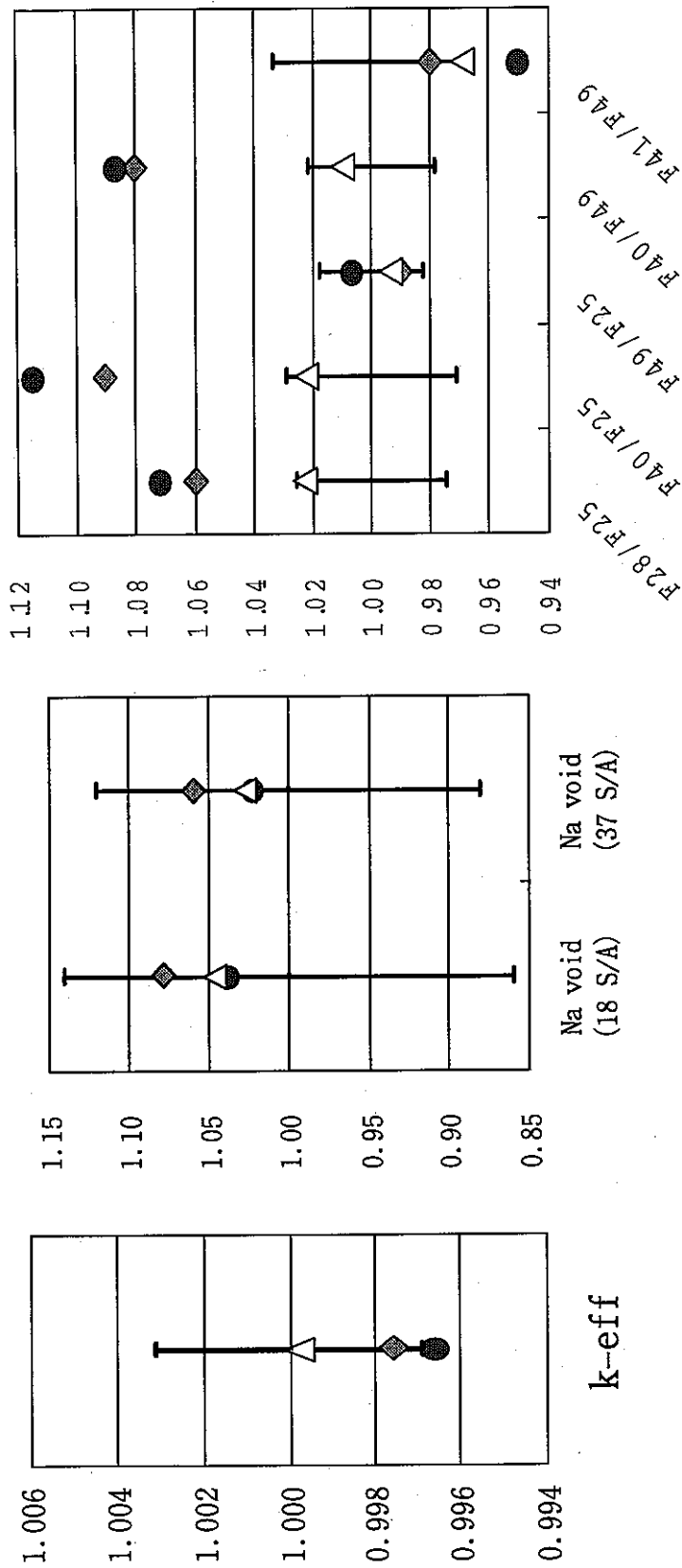
○反応率比の解析誤差は、SRACのPeaco法とNR近似法の差の50%とした。

表6.2 炉定数調整前後のBFS-58-1-I1炉心C/E値の比較

核特性	調整前	R82*	R90**	R82に対するR90 の調整量(%)
臨界性 (実効増倍係数)	0.9976	0.9966	0.9998	0.32%
Na ²³⁵ (18S/As)	1.0800	1.0385	1.0469	0.81%
Na ²³⁵ (37S/As)	1.0600	1.0229	1.0278	0.48%
反応率比F28/F25	1.0600	1.0715	1.0229	-4.54%
反応率比F40/F25	1.0900	1.1146	1.0224	-8.27%
反応率比F49/F25	0.9900	1.0064	0.9933	-1.30%
反応率比F40/F49	1.0800	1.0865	1.0095	-7.09%
反応率比F41/F49	0.9800	0.9504	0.9689	1.95%

* JUPITER82核特性による調整結果

** JUPITER82核特性とBFS8核特性による調整結果



△; JUPITER(82核特性)+BFS (8核特性)による調整結果

●; JUPITER(82核特性)による調整結果

◆; 調整前 図中のバーは、実験・解析誤差

図6.1 炉定数調整による核特性C/E値の変化 (BFS-58-1-II体系)

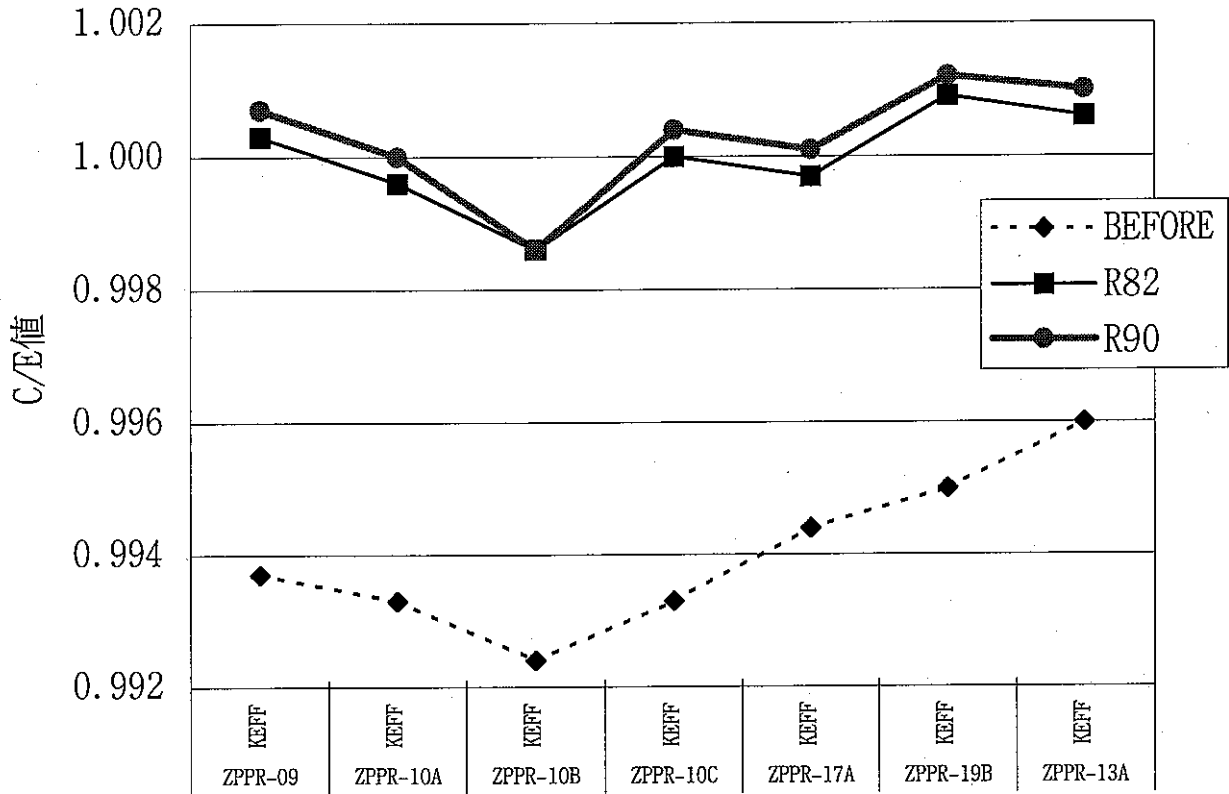


図6.2 炉定数調整前後のC/E値 (臨界性)

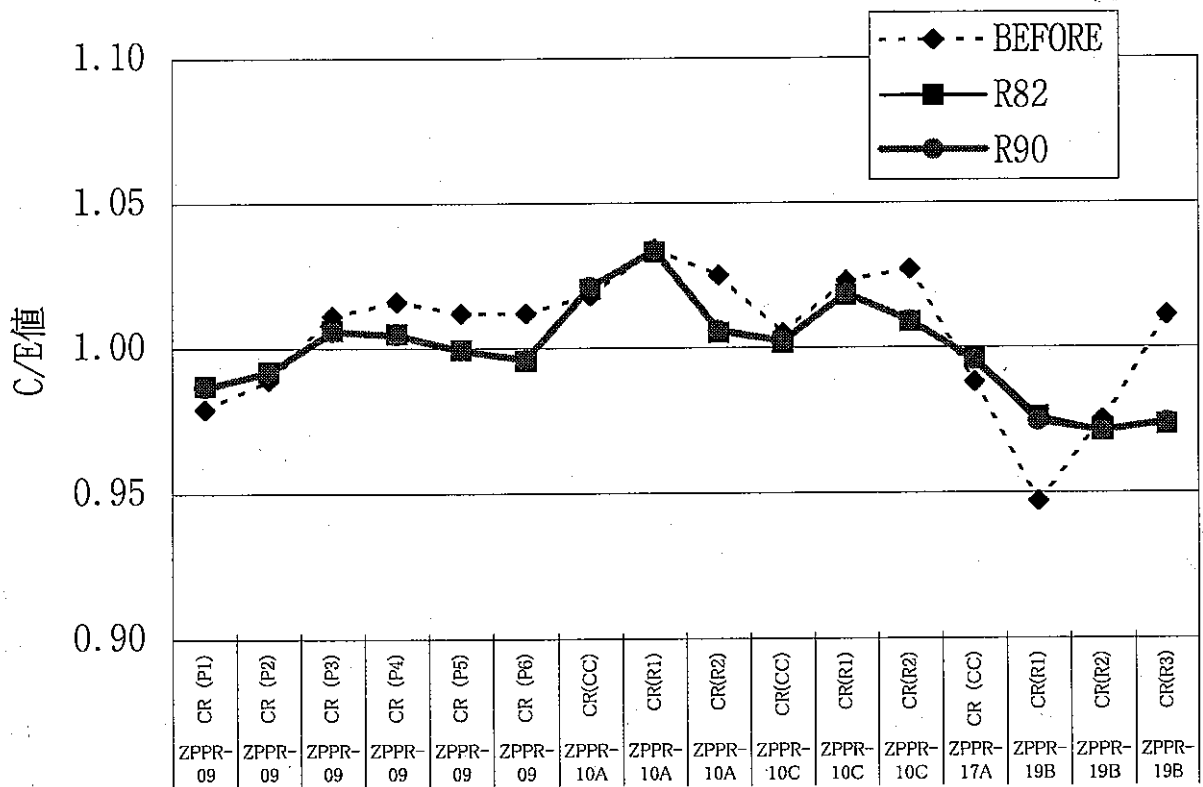


図6.3 炉定数調整前後のC/E値 (制御棒価値)

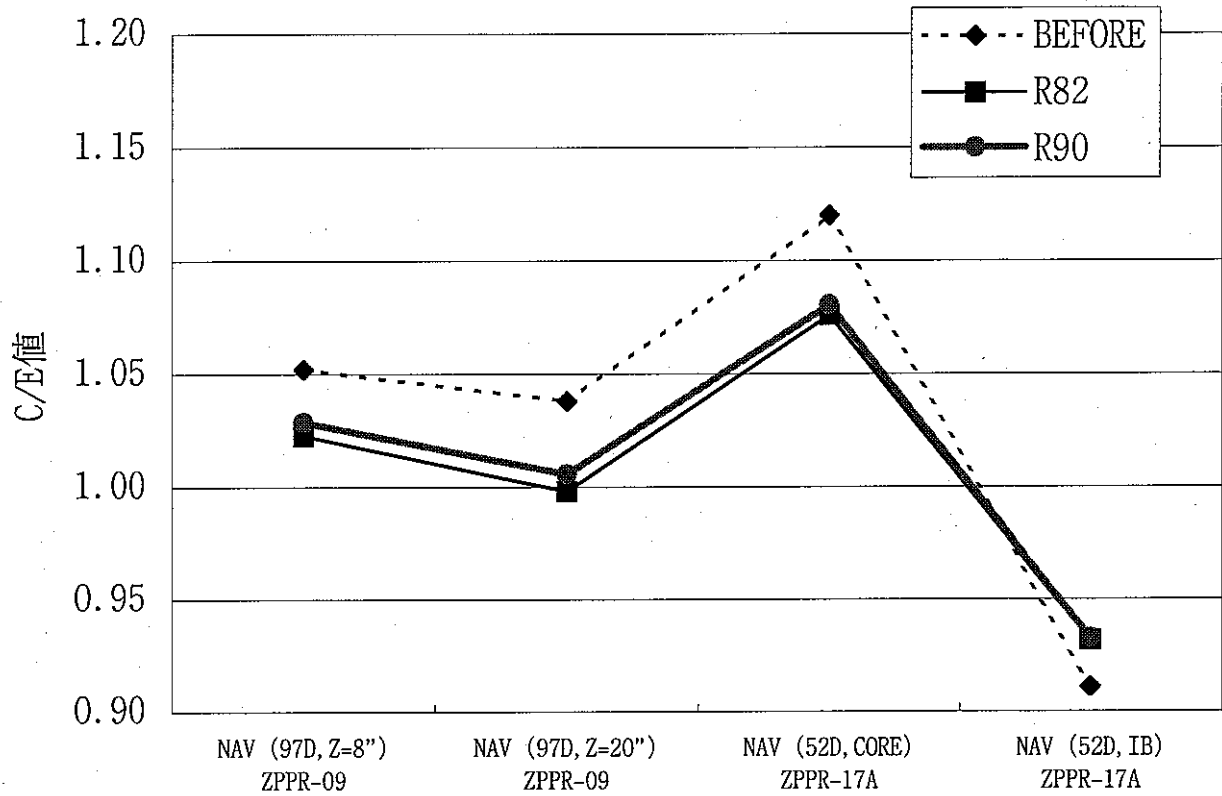


図6.4 炉定数調整前後のC/E値 (Naボイド反応度)

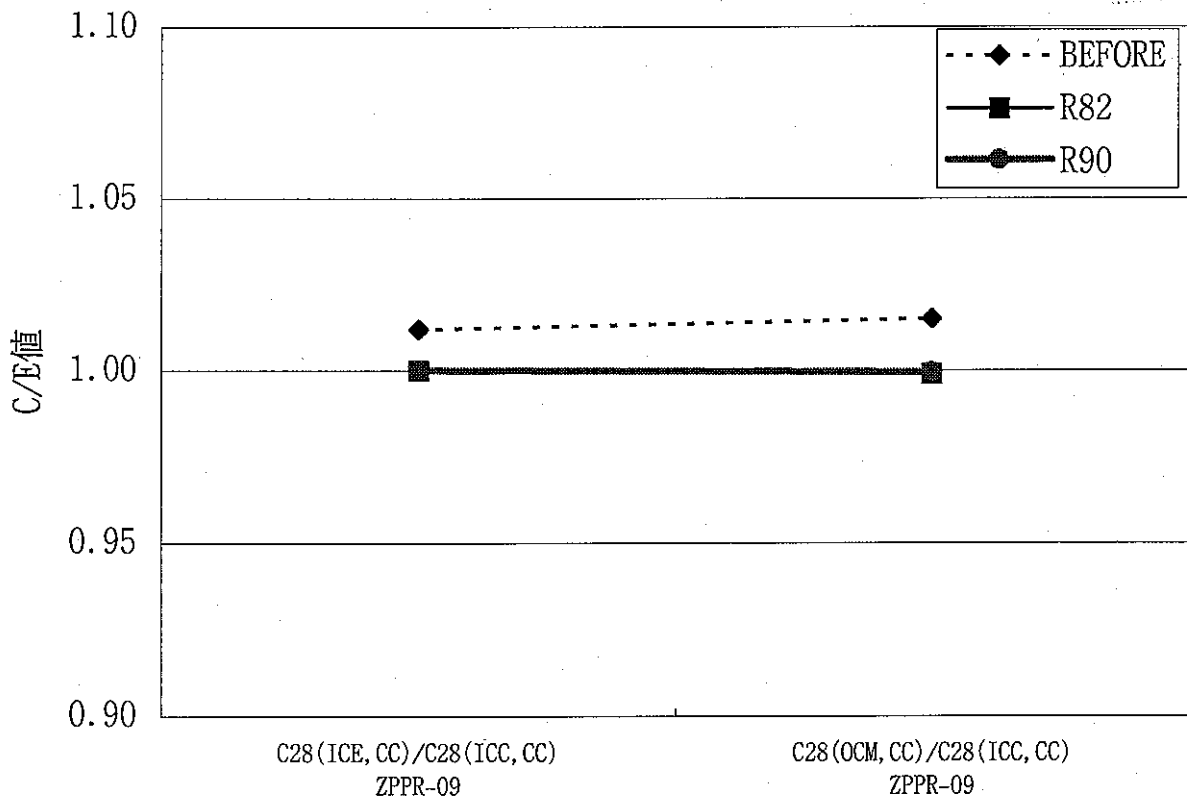


図6.5 炉定数調整前後のC/E値 (C28反応率分布)

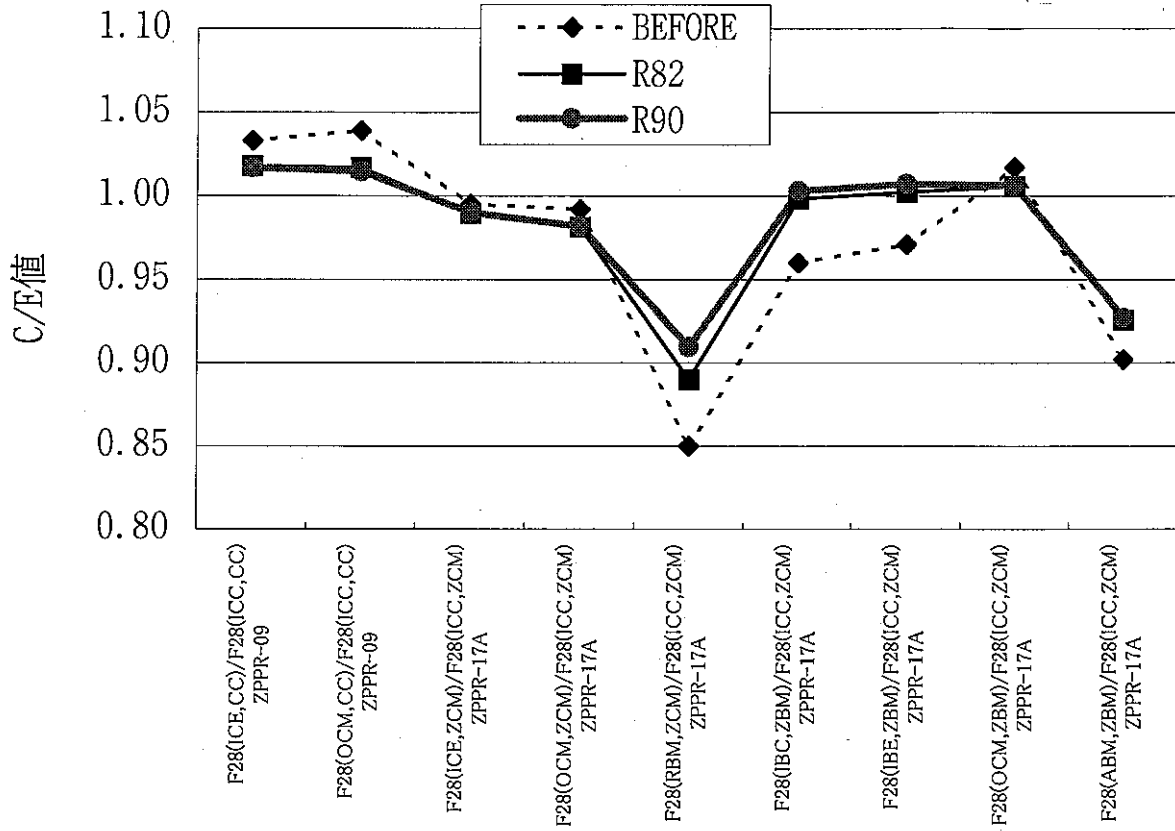


図6.6 炉定数調整前後のC/E値 (F28反応率分布)

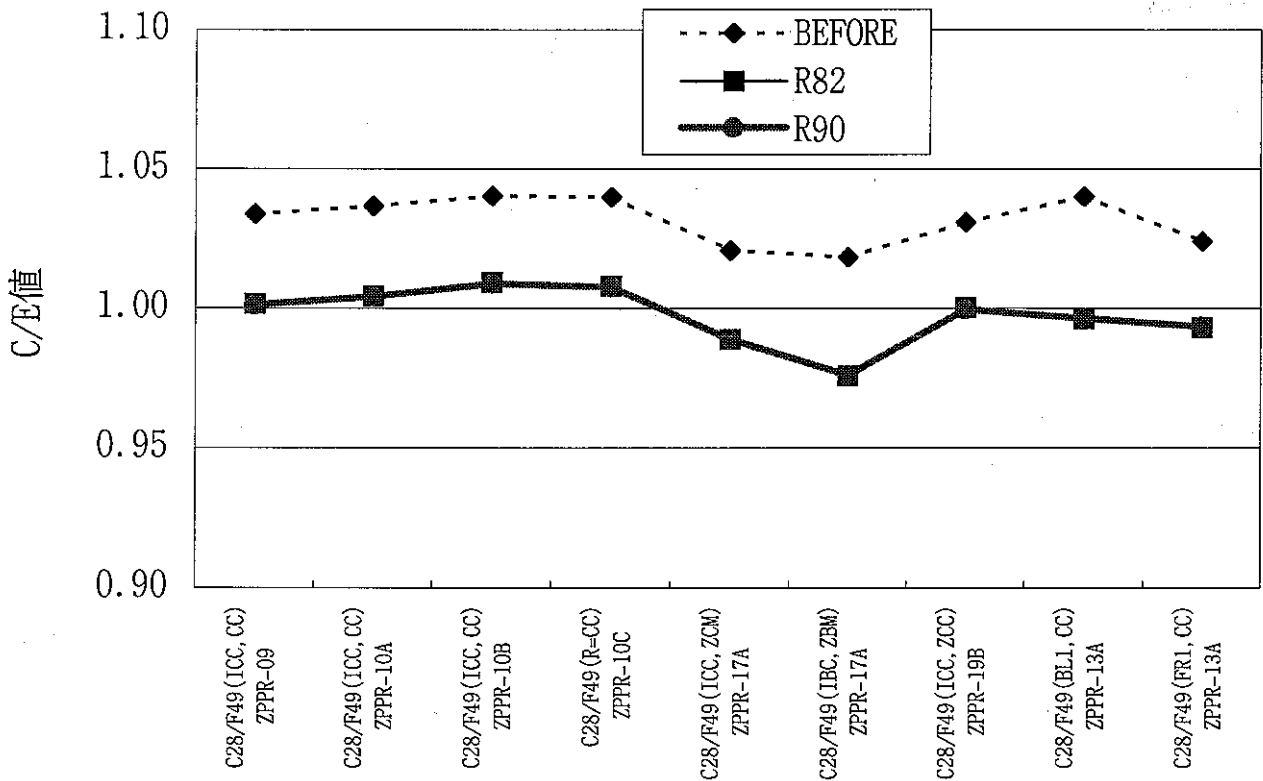


図6.7 炉定数調整前後のC/E値 (C28/F49反応率比)

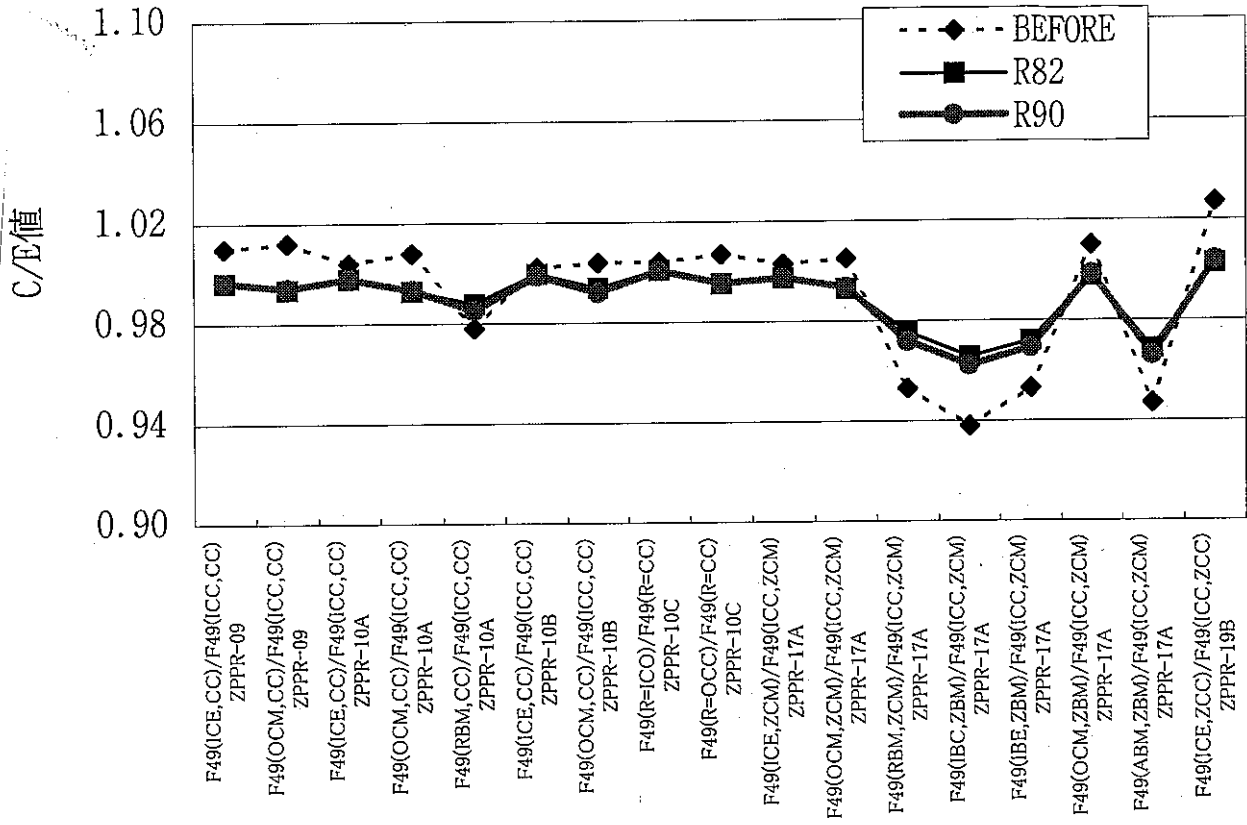


図6.8 炉定数調整前後のC/E値 (F49反応率分布)

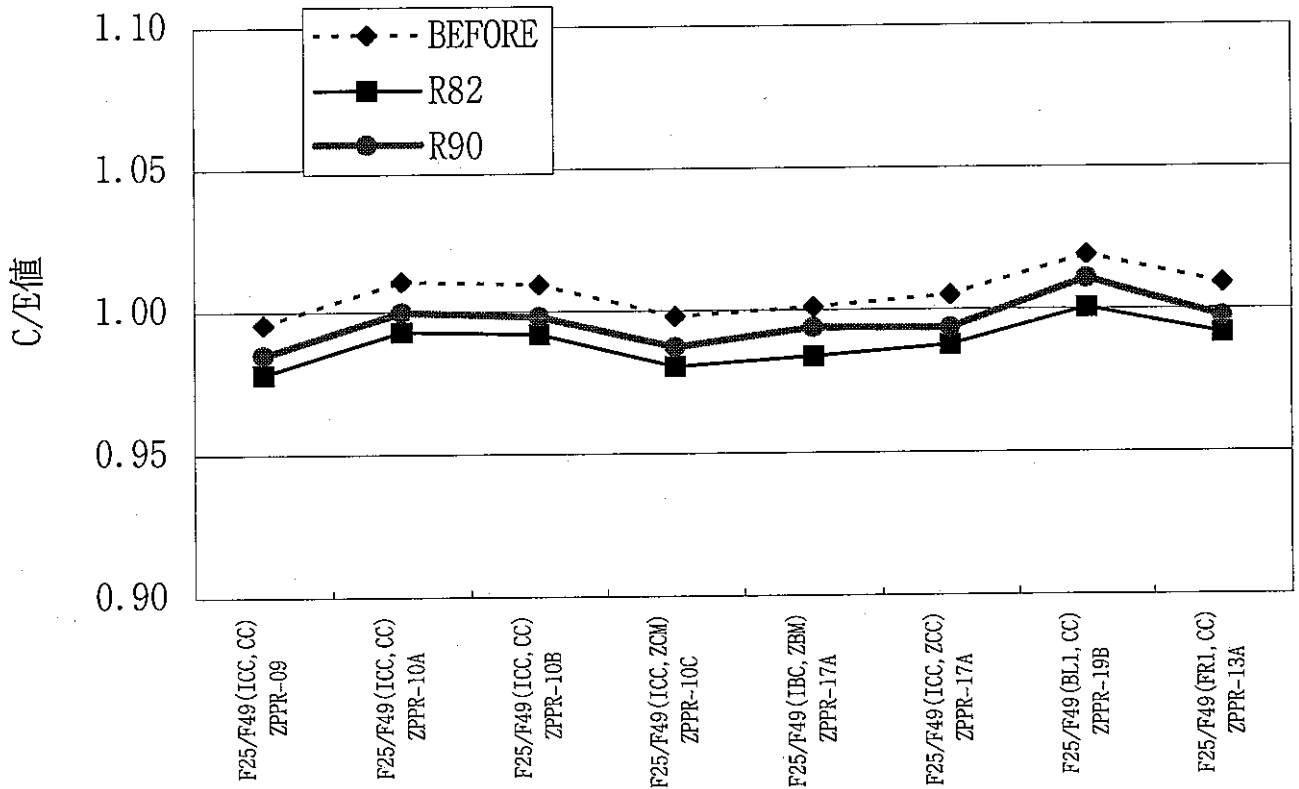
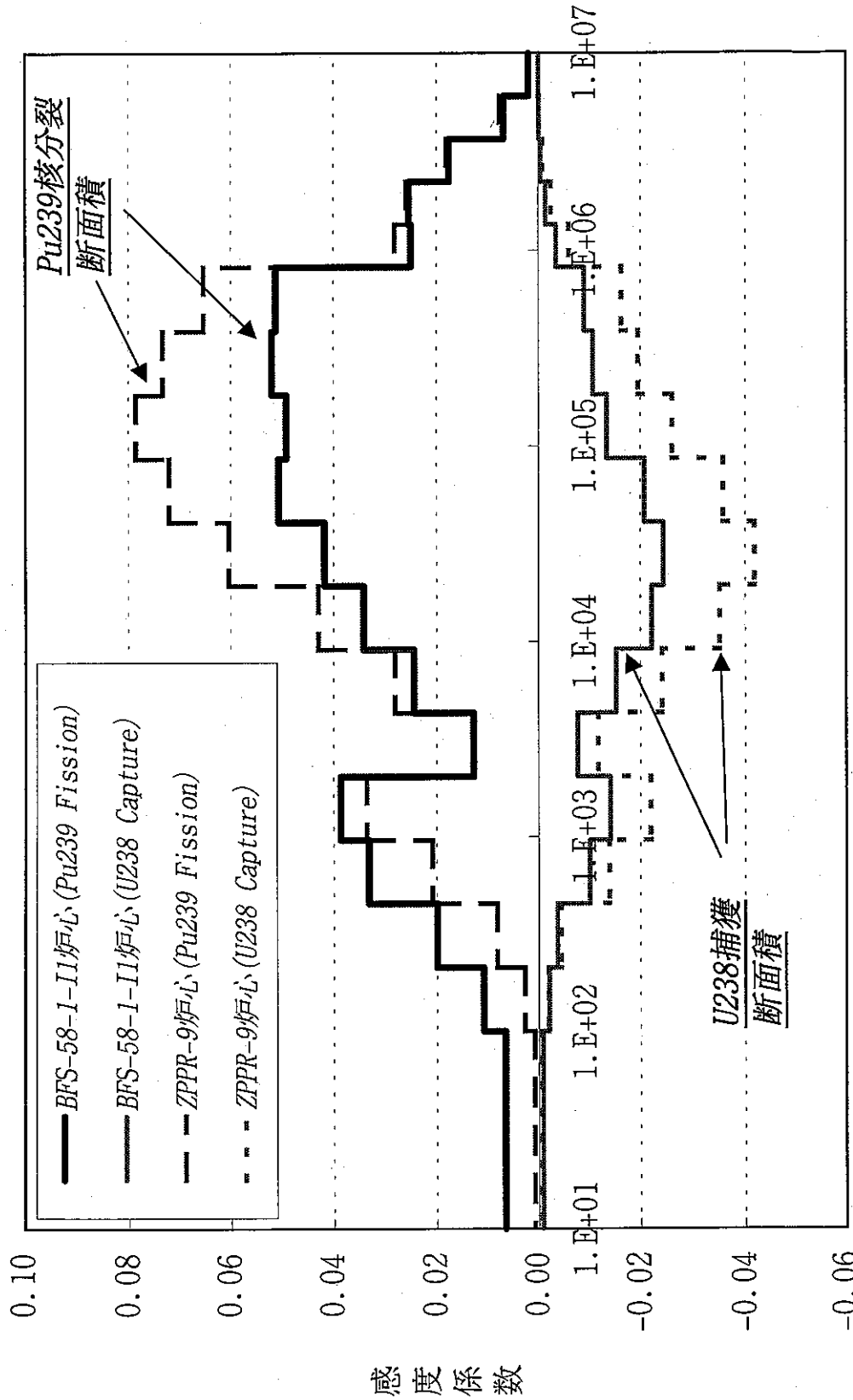


図6.9 炉定数調整前後のC/E値 (F25/F49反応率比)



中性子エネルギー[eV]

図6.10 臨界性におけるPu239核分裂断面積及びU238捕獲断面積の感度係数の比較
(ZPPR-9炉心、BFS-58-1-II炉心)

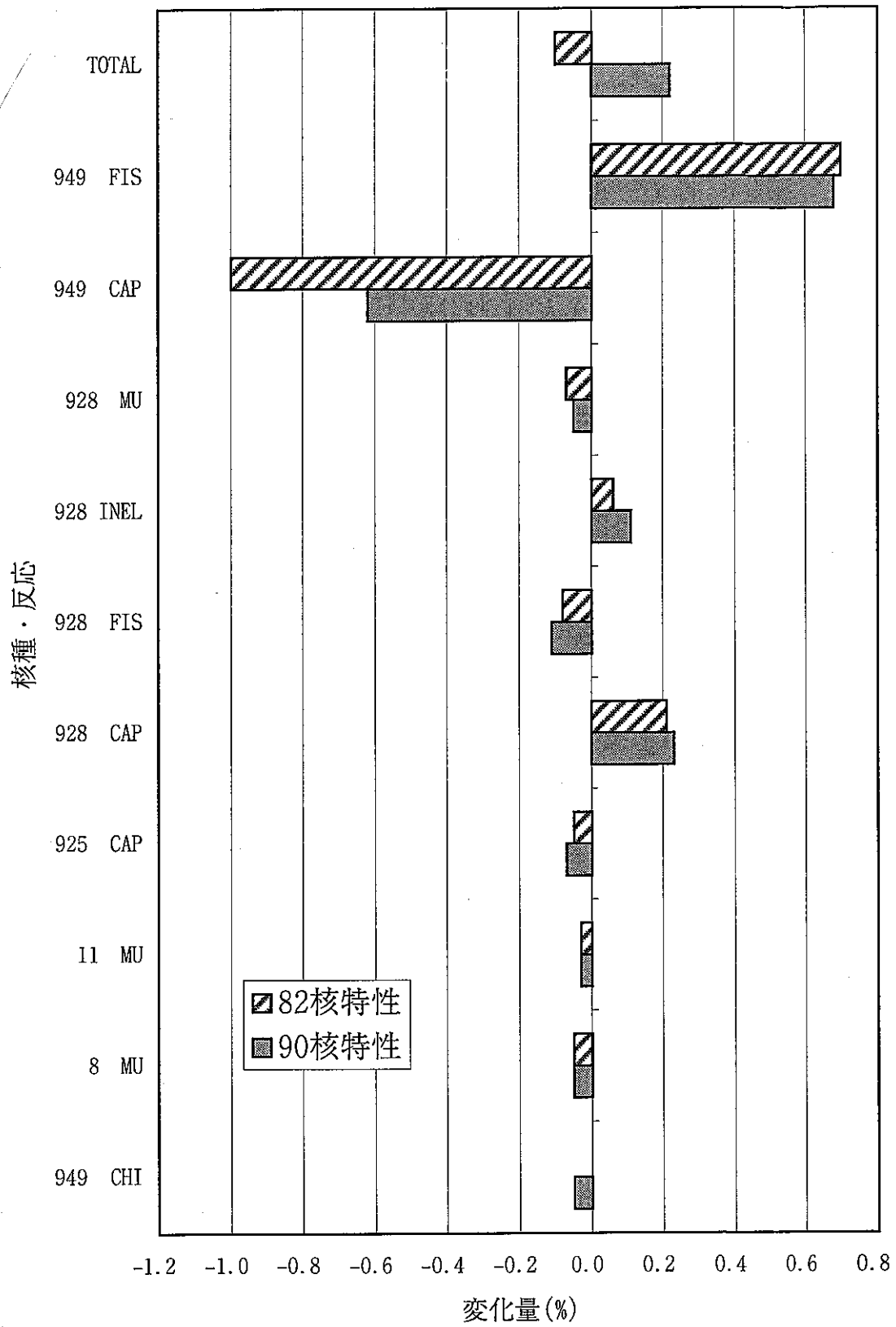


図6.11 臨界性に対するC/E値変化の各核種・反応の寄与量

核種・反応

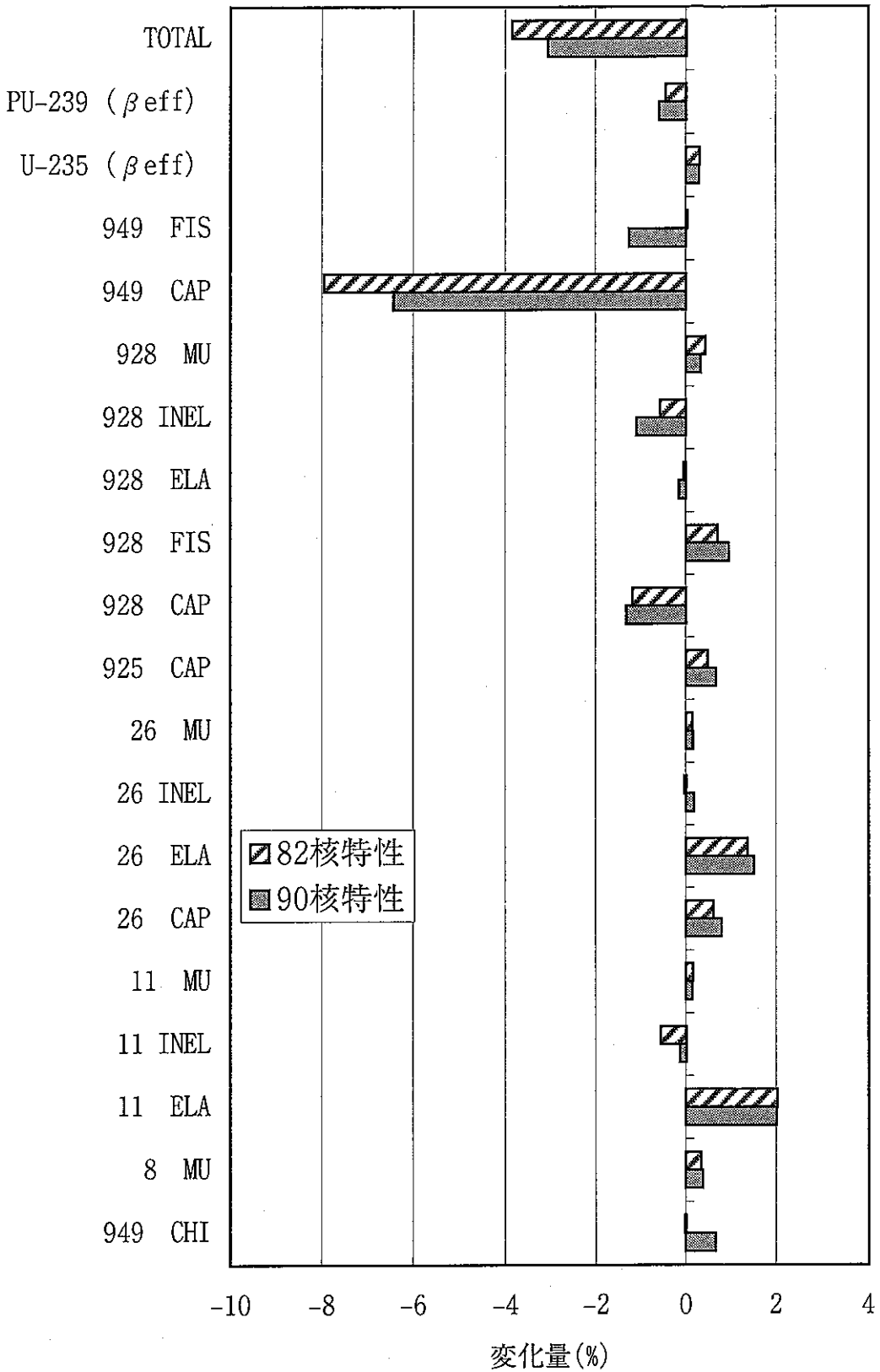


図6.12 Naボイド反応度に対するC/E値変化の各核種・反応の寄与量 (18S/Aをボイド化した場合)

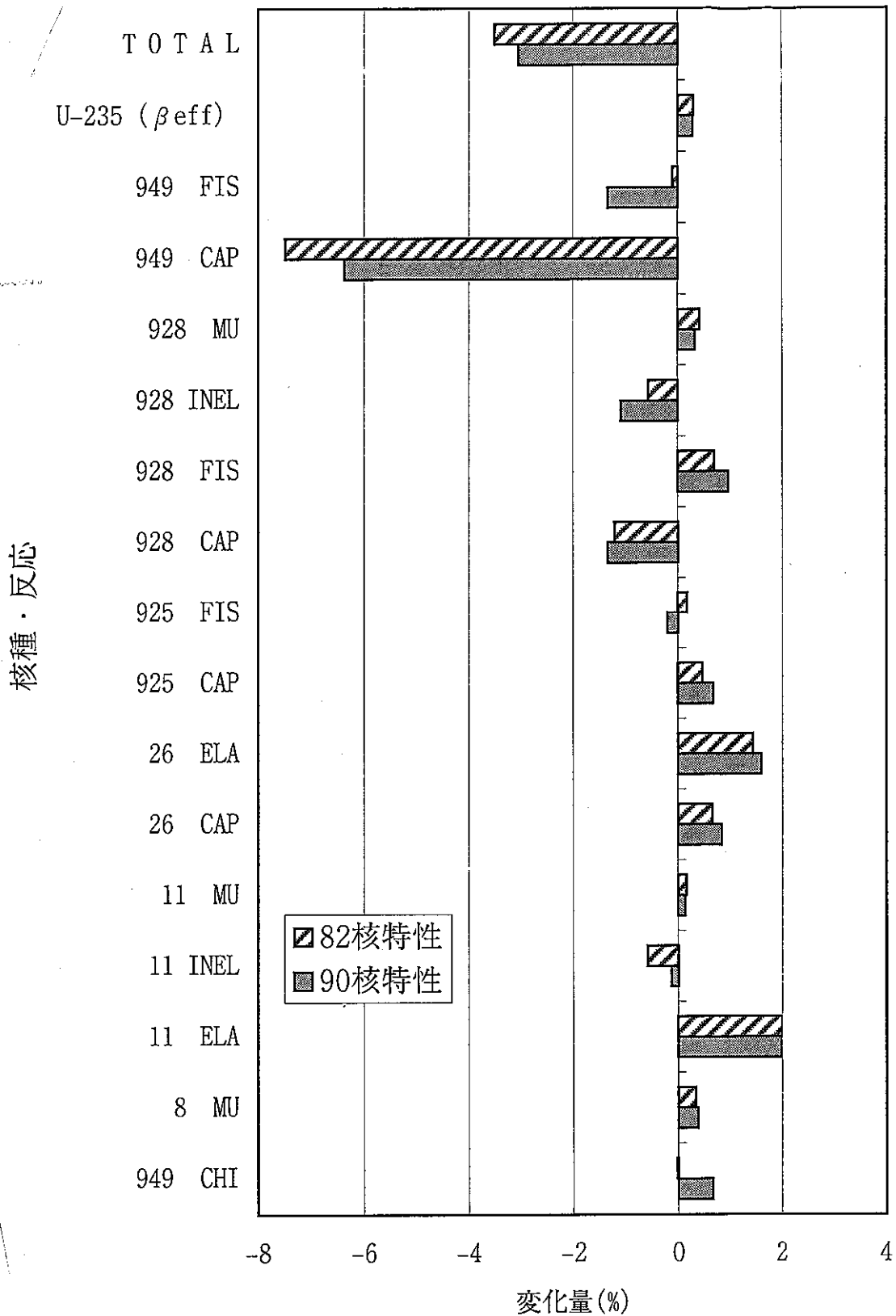


図6.13 Naボイド反応度に対するC/E値変化の各核種・反応の寄与量 (37S/Aをボイド化した場合)

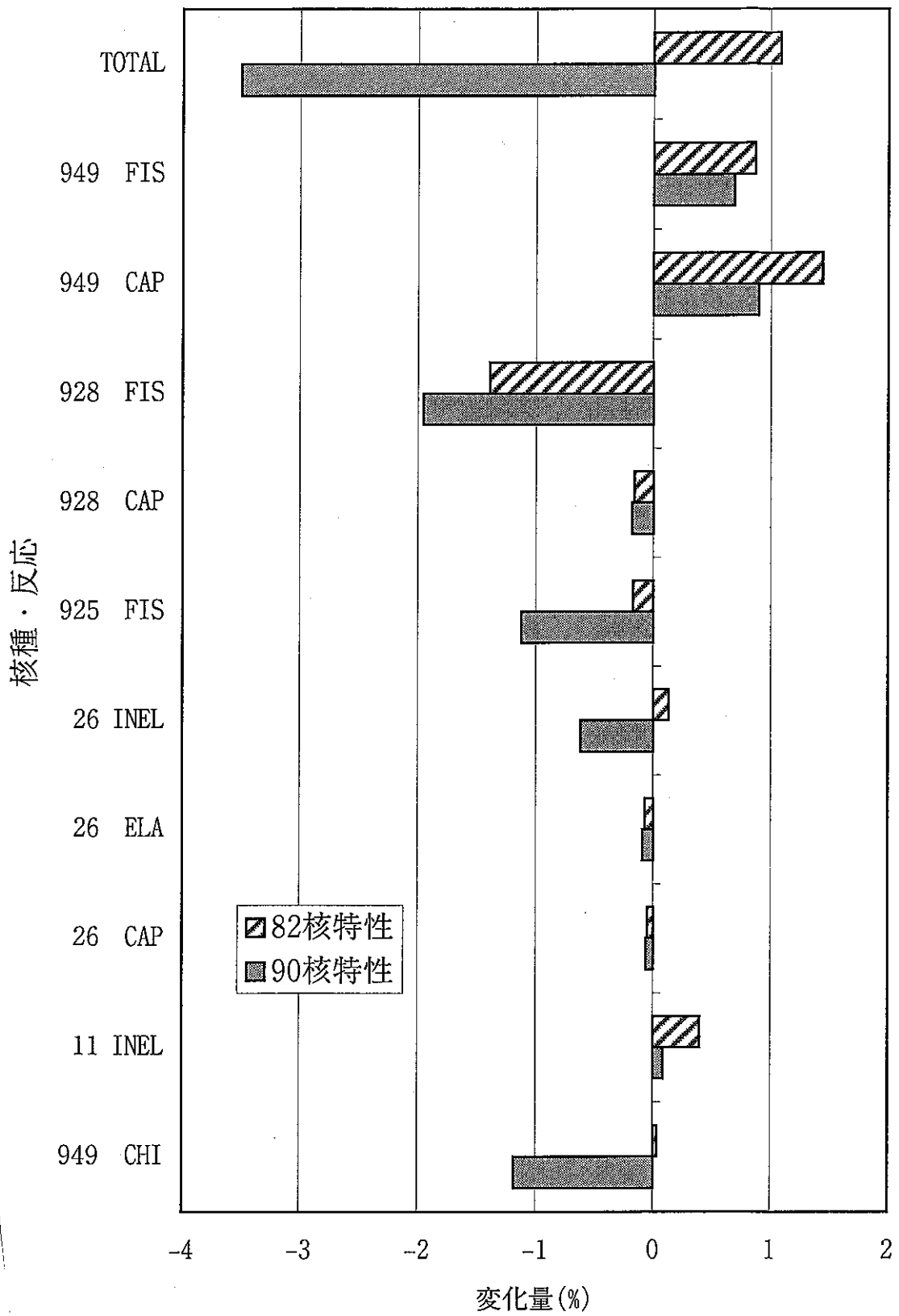


図6.14 F28/F25に対するC/E値変化の各核種・反応の寄与量

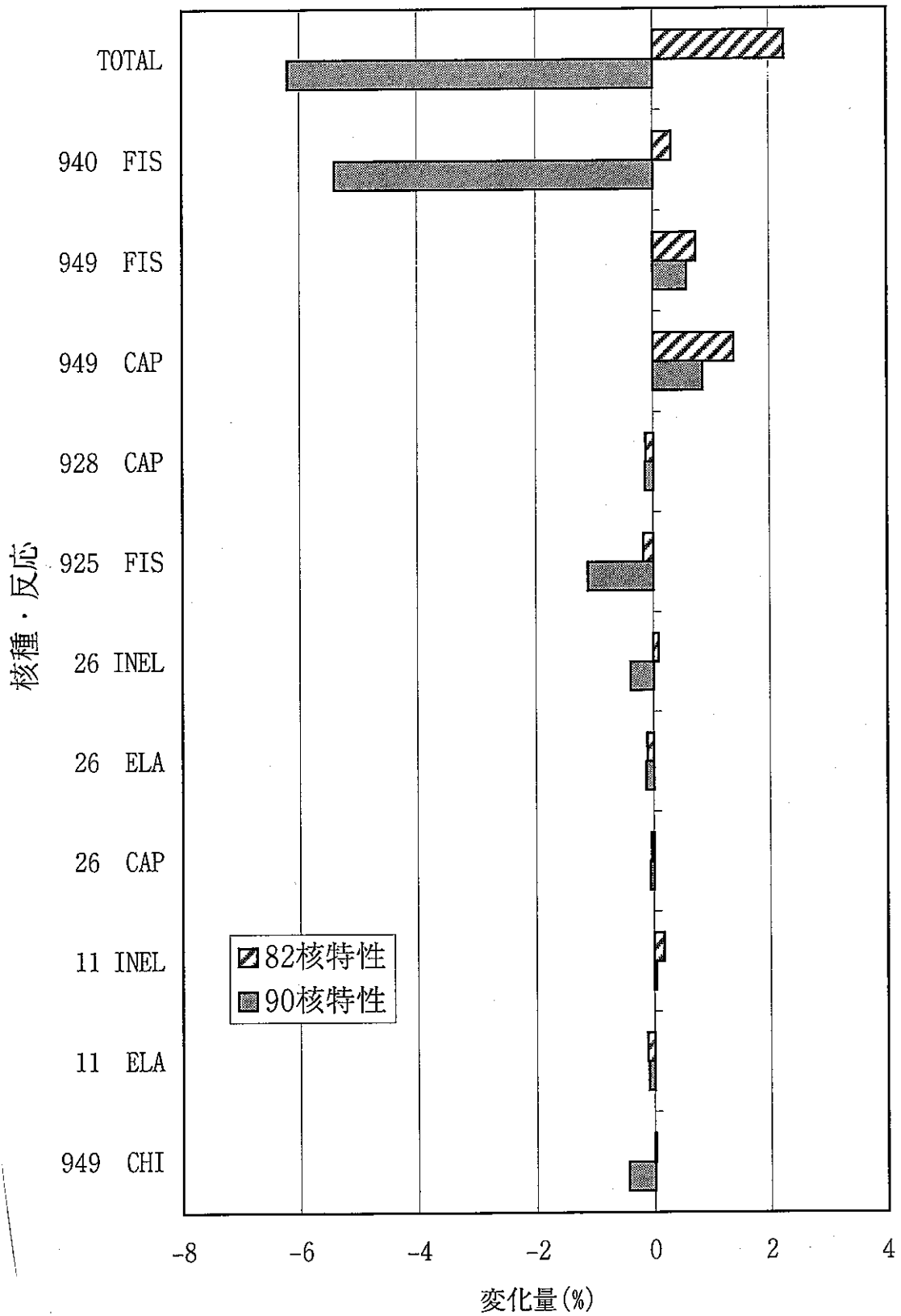


図6.15 F40/F25に対するC/E値変化の各核種・反応の寄与量

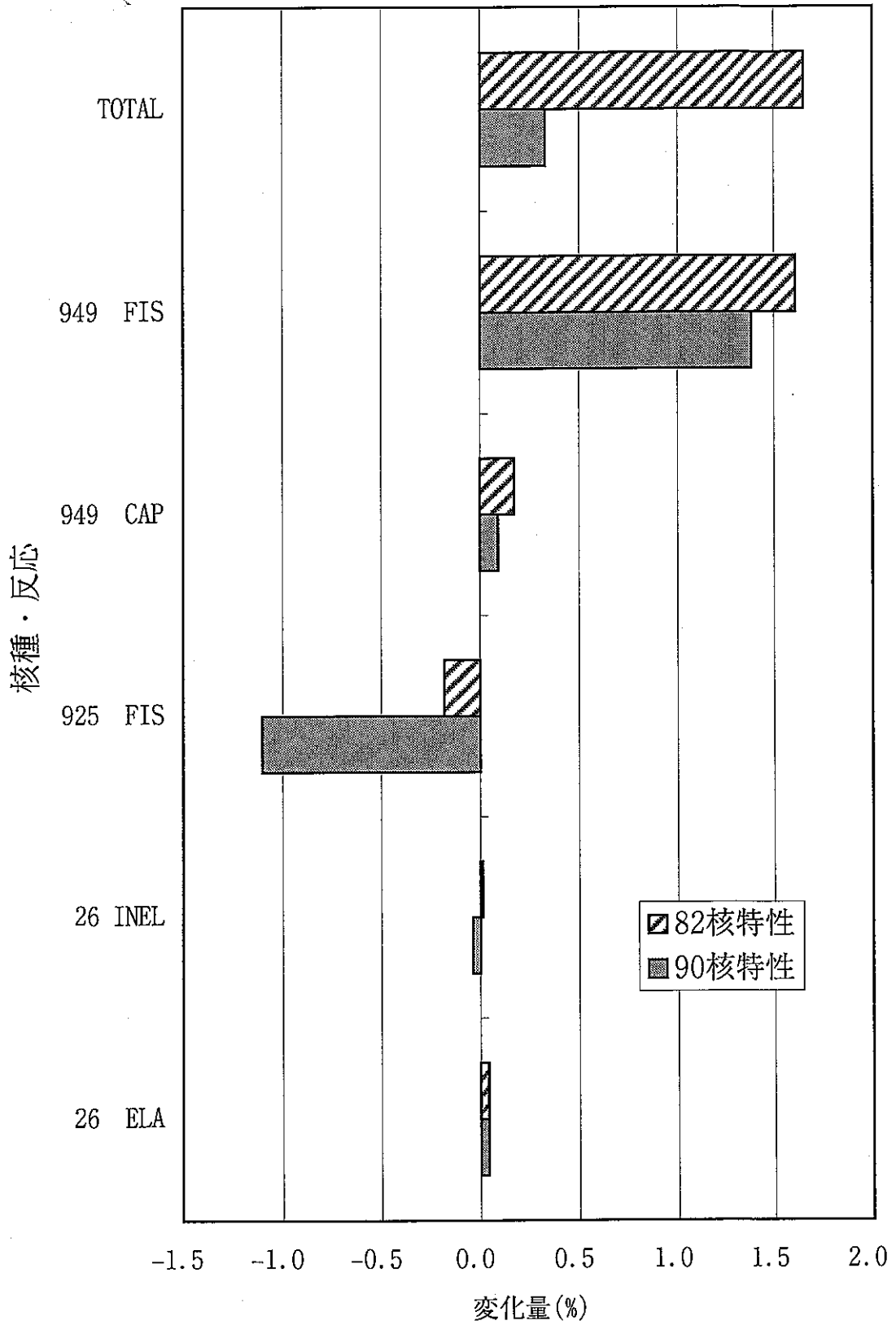


図6.16 F49/F25に対するC/E値変化の各核種・反応の寄与量

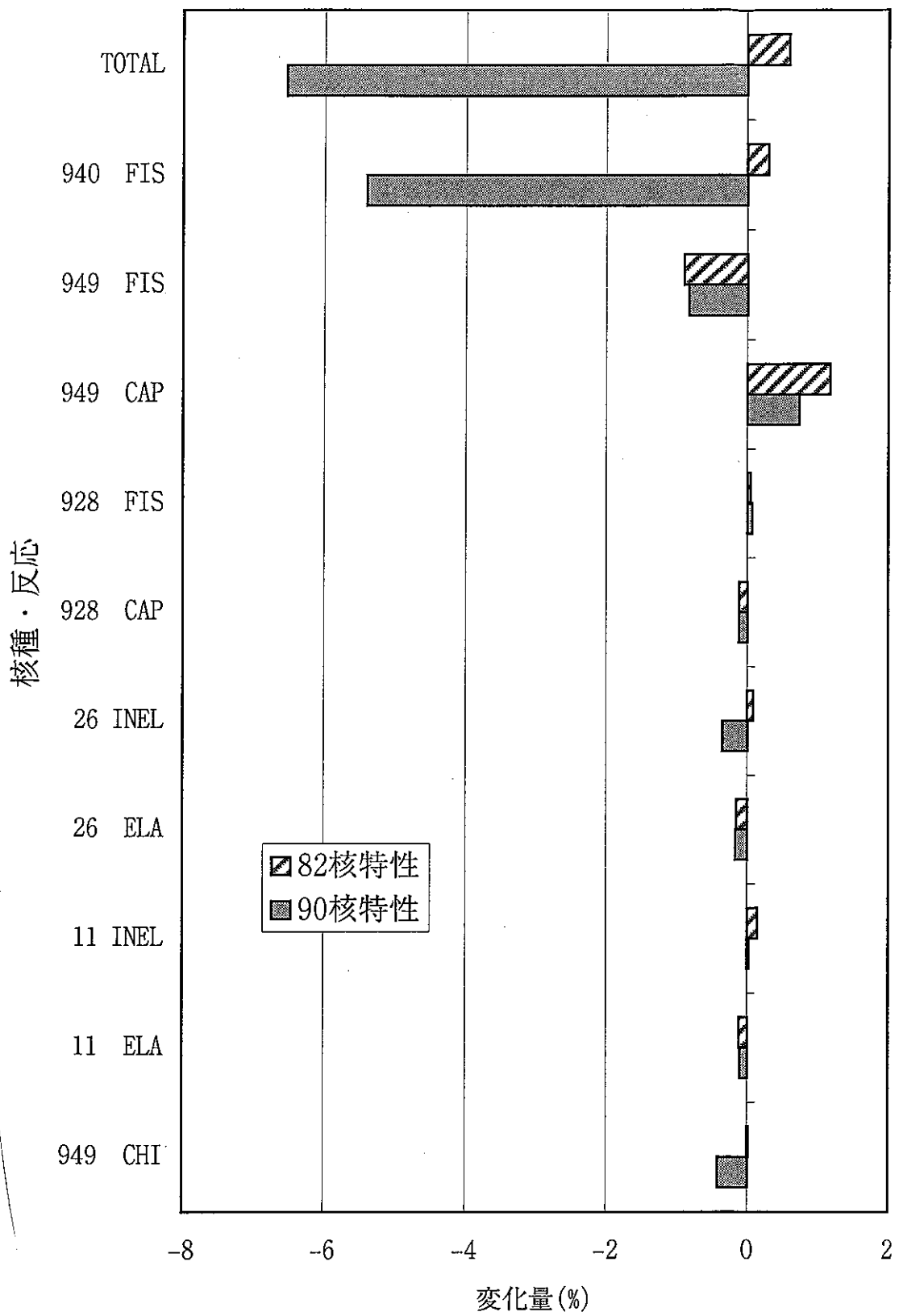


図6.17 F40/F49に対するC/E値変化の各核種・反応の寄与量

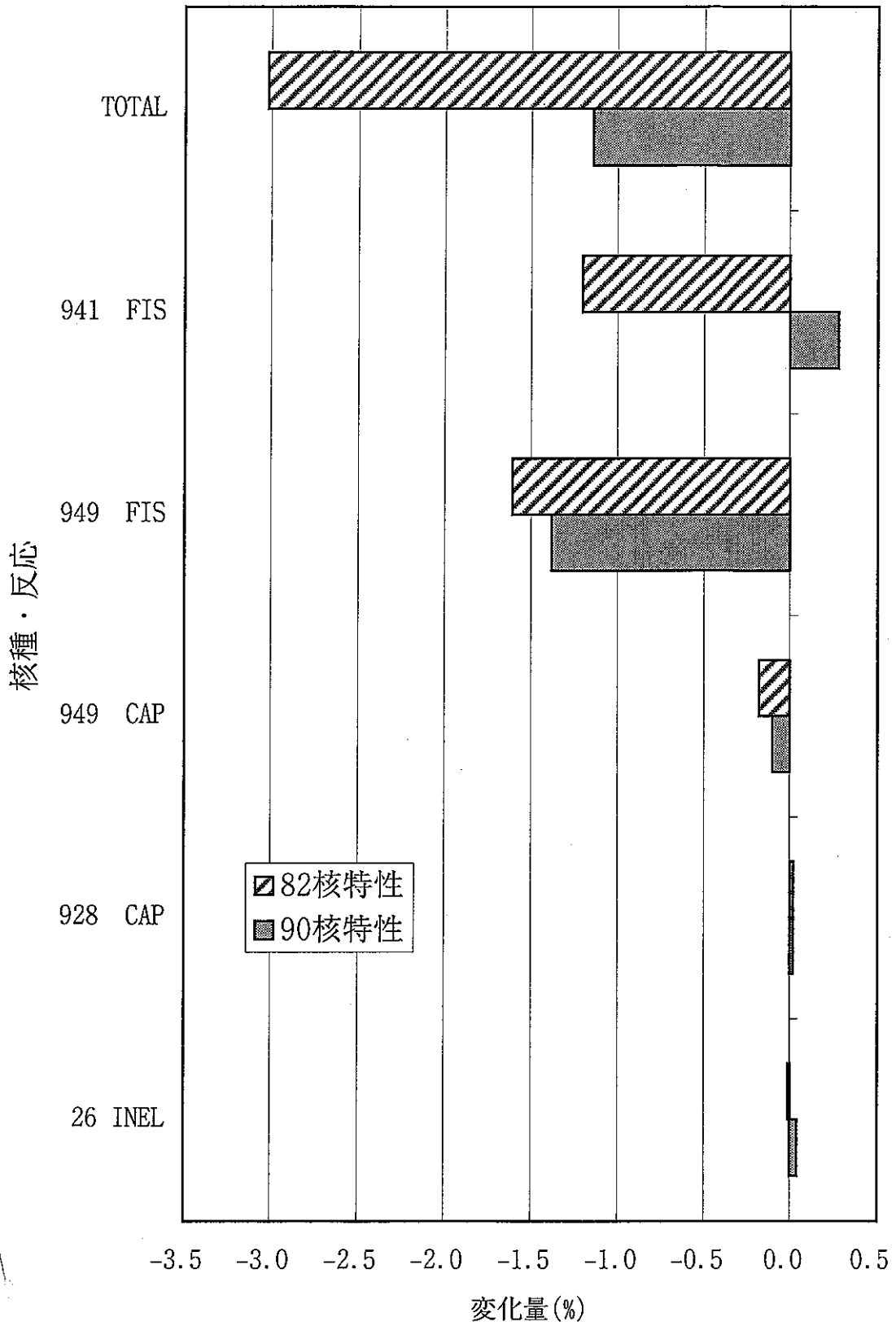


図6.18 F41/F49に対するC/E値変化の各核種・反応の寄与量

第7章 まとめ

BFS-58-1-I1炉心の実験解析を行って2次元R-Zモデルによる最確C/E値を得るとともに、炉定数調整法を用いてJUPITER実験解析結果との整合性を暫定的に評価した。主要な結論は以下のとおりである。

- [1] BFS-58-1-I1炉心中央部に位置するU無し燃料領域では、通常のNa冷却MOX燃料高速炉に比べて中性子スペクトルがきわめて軟らかいため、共鳴領域の自己遮蔽効果の取扱いが核特性解析値に大きな影響を及ぼす。
- [2] U無し燃料領域の実効断面積作成時に、ペレットの数密度を保存する1次元セルモデルを用い、軽核(Na, O, Fe, Al)の散乱断面積を高速炉より軟らかい中性子スペクトルを考慮したSRACライブラリに置換することにより、炉中心反応率比について良好な解析精度が得られた。
- [3] MOX燃料領域及びUO₂燃料領域では、1次元セルモデルの相違による影響は小さく、プレートストレッチモデルが適用可能である。
- [4] 上記を考慮して求めた輸送・メッシュ補正後の実効増倍係数は、共鳴領域の正確な評価のためにサブグループ法を導入しているIPPE (ロシア) 及びCEA (フランス) の解析結果とよく一致した。
- [5] 炉定数調整法を用いた暫定的な検討により、BFS-58-1-I1炉心の解析結果は、JUPITER解析結果との整合性に大きな問題はなく、従来の核設計データベースを補完する有効なデータになり得る。
- [6] 上記 [1] ~ [5] の結論より、今後ロシアの解体核処分協力³⁾を通じて入手できるBN-600 炉心を模擬した BFS-2 実験シリーズの実験解析がサイクル機構の核特性解析システムの解析精度向上に向けて有用であり、設計用統合炉定数の信頼性・汎用性を拡大する上で重要なデータになり得ることを確認した。

なお、BFS-58-1-I1 炉心の解析に関する今後の課題としては下記のものあげられる。

- 炉定数調整法による整合性評価における当面の課題（解析誤差の設定値見直し、JUPITER185核特性による調整値との整合性確認等）を完了し、本炉心のデータを統合炉定数に反映する。
- 微小サンプル反応度の解析精度を確認し、統合炉定数への反映の可否を調査する。
- 本炉心の中央部（軟スペクトル場）でU238, Np237 のサンプルに対して行われたドップラー反応度の解析に必要な実験データを入手し、解析精度を確認する。

参考文献

- 1) MINATOM, "State Scientific Center of the Russian Federation - Institute for Physics and Power Engineering named after Acad. A. I. Leypunsky", (露英文パンフレット。1995年に入手)
- 2) S. Hunter, "Analysis of measurements for a Uranium-free core experiment at the BFS-2 critical assembly", JNC TN9400 99-049 (April 1999)
- 3) A. Yamato et al., "The Present Status of International Cooperation pertaining to Russian Surplus Weapons Plutonium Disposition", p103-106, The 2nd Annual JNC International Forum on the Peaceful Use of Nuclear Energy, Tokyo, Japan, Feb. 21-22, 2000
- 4) I. Krivitski et al., "Calculational analysis of the critical assembly BFS-58-1-11 simulating a fast reactor core with Uranium-free fuel", ENC'98, p90-94, Vol.IV, Nice, France, Oct. 25-28, 1998
- 5) 杉野和輝他、「核設計基本データベースの整備(VII) ---JUPITER 実験解析の高度化---」、PNC TN9410 97-098、(1997年11月)
- 6) 森貴正、他「MVP/GMVP 連続エネルギー法及び多群法に基づく汎用中性子・光子輸送計算モンテカルロコード」、JAERI-Data/Code 94-007、日本原子力研究所 (1994年8月)
- 7) T. Nakagawa, et al.: "Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-2: JENDL 3.2", Journal of Nuclear Science and Technology 32, p1259(1995)
- 8) 高野秀機、他:「速中性子エネルギー領域群定数作成コードシステム:TIMS-PGG」、JAERI-M 82-072 (1982年7月)
- 9) 技術開発部 核設計データベース WG、「核設計基本データベースの整備(IV) ---核特性解析コードシステムの整備---」、PNC TN9440 94-004、1994年3月
- 10) 中川正幸、他:「SLAROM: A Code for Cell Homogenization Calculation of Fast Reactor」、JAERI 1294 (1984年)
- 11) T. Tone, "A Numerical Study of Heterogeneity Effects in Fast Reactor Critical Assemblies", Journal of Nuclear Science and Technology 12(8), p467(1975)
- 12) H.H. Hummel and D. Okrent, "Reactivity Coefficients in Large Fast Power Reactors", American Nuclear Society, p38(1970)
- 13) 中川正幸他、「高速炉の核特性解析コードシステム」、JAERI-M 83-066、日本原子力研究所 (1983年4月)
- 14) P. Benoist, "Streaming Effects and Collision Probabilities in Lattices", Nuclear Science and Engineering 34, p285 (1968)
- 15) K. D. Lathrop, et al., "TWOTRAN-II: An Interfaced, Exportable Version of the TWOTRAN Code for Two-Dimensional Transport", LA-4848-MS, Los Alamos Scientific Laboratory (1973)
- 16) 飯島進他、「高速炉設計計算プログラム・2(2次元・3次元拡散摂動理論計算コード:PERKY)」、

JAERI-M 6993、日本原子力研究所(1977年2月)

- 17) 佐々木誠他、「常陽」輸送コードシステムの作成---Sn 輸送コード・使用マニュアル---」、PNC TN952 81-08、動燃事業団、(1981年8月)
- 18) 奥村啓介、他：「SRAC95；汎用核計算コードシステム」、JAERI-Data/Code 96-015 (1996年3月)
- 19) 土橋敬一郎、他：「SRAC：核設計と解析のための原研熱中性子炉標準コードシステム」、JAERI1285 (1983年1月)
- 20) 庄野彰、他：「水冷却型増殖炉の核特性に関する検討結果」、JNC TN9400 2000-037、(2000年3月)
- 21) 岩井武彦、他：「ZPPR-9 炉心ベンチマーク問題の整備」、PNC TN9410 98-079、(1998年7月)
- 22) 横山賢治、他：「JENDL-3.2 に基づく大型高速炉用統合炉定数の整備」、JNC TN9400 99-042、(1999年4月)

付録 I BFS-58-1-I1 炉心体系及び測定に関する情報

付録 I BFS-58-1-I1 炉心体系及び測定に関する情報

BFS-58-1-I1 炉心体系の構成等、実験解析を行う上で必要な情報を記載する。

炉心の構造

BFS-2 の炉心体系（臨界集合体）は、炉心支持構造物の上に、約 1 万本に及ぶ金属管（以下、「ラッパ管」と記す）を直立させ、その中に種々の組成を持つ円盤状物質（以下、「ペレット」と記す。外径 46.7mm）を配置することによって、実験対象とする炉心の物質組成を模擬する。各ラッパ管はピッチ 51.0mm の三角格子状に配列されており、その外径は 50.0mm、肉厚は 1.0mm である。ラッパ管間に存在する間隙部には、ステンレス鋼製の棒（以下、「ステンレス鋼棒」と記す）が挿入される場合と何も挿入されない場合がある。また、微小核分裂検出器を挿入して局所的な反応率を測定する場合もある。炉心を密閉する構造物はなく、大気に開放されている。炉心最大出力は 1kW であり、原子炉級 Pu を大量に使用する場合はみ強制通風による冷却を行うが、それ以外は自然循環によって除熱される。

ペレット仕様

BFS-58-1-I1 炉心では、全部で 12 種類のペレットが使用された。ペレットは主成分の物質（例えば、Pu や Na など）を、腐食や汚染を防止するために金属で被覆してある。Table A1.1 に、BFS-58-1-I1 炉心で使用されたペレットの原子数密度及び高さを示す。これらは、被覆部も含めたペレット全体積でスミアした値である。被覆部及び内包される物質それぞれの寸法については正確な情報はない。Pu ペレット及び Na ペレットの被覆材はステンレス鋼である。Depleted UO₂ 及び B₄C ペレットの被覆材は Al と Fe⁵⁸ が主成分である。Steel ペレットはステンレス鋼の組成を模擬するものである。B₄C ペレットのボロン組成は、B₁₀ が 20%、B₁₁ が 80% である。Na ペレットは、green Na と laser Na の 2 種類が存在する。両者はペレット高さが異なるが、含有する Na 量は同一である。最大の相違点は、laser Na には H が含まれていないのに対し、green Na には H が含まれていることである。green Na の方が古い時期に購入したものらしい。また、両ペレットとも、Na ボイド反応度測定時には、内部の Na を取り除いて使用される（Table A1.1 中に、green Na(empty), laser Na(empty) と記されたもの）。また、同 Table には、steel support（下部支持部）、wrapper tube（ラッパ管）、steel specimen（ラッパ管間隙に挿入するステンレス鋼棒）の原子数密度も記載されている。

炉心体系

BFS-58-1-I1 炉心は全部で 1519 体のラッパ管（英語報告書では S/A と標記されている）を

用いて構成された。これらは、ラッパ管内に装荷されたペレットの組み合わせによって、6種類に分類される。それぞれの配置を含めた全体構成図を Fig. AI.1 に示す。また、それぞれの名称、ラッパ管数、セル構成（軸方向見取り図）図番を下記に示す。

- ・ U無し燃料部 (Diluent Fuel) ; 229S/A, Fig. AI.2
- ・ MOX 燃料部 (LEZ Fuel (laser Na)) ; 224S/A, Fig. AI.3
- ・ MOX 燃料部 (LEZ Fuel (green Na)) ; 234S/A, Fig. AI.4
- ・ UO₂ 燃料部 (MEZ Fuel) ; 415S/A, Fig. AI.5
- ・ 制御棒 (Control Rod) ; 36S/A, Fig. AI.6
- ・ 径方向ブランケット (Radial Blanket) ; 381S/A, Fig. AI.7

U無し燃料部 (Diluent Fuel)は、高さ 88.015cm で同じセルを 5 個積み上げることによって構成されている。このセルには、核燃料物質は 2 個の Pu ペレットだけであり、ウランは存在しない。中心のアルミナペレットの中心線で上下対称の配置になっている。そもそも、このセルは、BN-800 の MOX 燃料領域（低富化度領域）模擬セルの UO₂ ペレットをアルミナペレットで置換して構成されたという経緯がある。U無し燃料部の下方には、軸方向ブランケットを模擬する UO₂ ペレットが、上方には、炉上部 Na プレナムを模擬する Na ペレット、軸方向遮蔽体を模擬する B₄C ペレット、さらにその上方の冷却材領域を模擬する Al ペレットが、それぞれ配置されている。

MOX 燃料部 (LEZ Fuel)は、Na ペレットにどちらの種類を使ったかによって 2 つに分類される。燃料部高さは、laser Na を使用した領域では 86.944cm、green Na を使用した領域では 87.384cm と報告されている。いずれも同じセルを 4 個積み上げることによって構成されており、核燃料物質として Pu ペレットと UO₂ (劣化ウラン) ペレットが使用され、MOX 燃料の組成を模擬している。いずれも、中央の Na ペレットの中心線で上下対称の配置になっている。燃料部上方及び下方の物質配置は、U無し燃料部と同様である。

UO₂ 燃料部 (MEZ Fuel)は、高さ 89.096cm で同じセルを 4 個積み上げることによって構成されている。このセルに含まれる核燃料物質は濃縮 U ペレット（濃縮度約 36.5w/o）と UO₂ (劣化ウラン) ペレットである。このセルは完全な上下対称にはなっておらず、中心の濃縮 U ペレットとアルミナペレットの部分が非対称である。燃料部下方の軸方向ブランケット模擬部及び上方の炉上部 Na プレナム模擬部は他の燃料部と同様の配置だが、その上方は UO₂ (劣化ウラン) ペレットが配置されている。

制御棒 (Control Rod) チャネルの B₄C 装荷部の高さは 35.070cm であり、燃料部に対して上方に位置している。その下方は Na ペレットであり、制御棒全引抜き時を模擬した配置となっている。この Na ペレットがいずれの種類かは不明だが、どちらのペレットの高さを考慮しても、Na ペレットの最上端は燃料部よりやや高く、2cm 程度のずれがある。

径方向ブランケット (Radial Blanket) は、UO₂ (劣化ウラン) ペレットを 280 個積み重ねて構成されており、Na ペレットや Steel ペレットは使用されていない。

ラッパ管間隙部に装荷できるステンレス鋼棒については、UO₂燃料部 (MEZ Fuel)にのみ使用し、他の領域では使っていないと報告されていたが、その後ラッパ管間隙部の一部にはステンレス鋼棒を装荷できない場所もあるという情報も得たので、解析モデル作成にあたっては、UO₂燃料部に存在する対象間隙部の数の50%の本数だけ装荷されているものとした。

測定値

BFS-58-1-I1 炉心で測定されたデータのうち、本報告書に記載する実験解析の対象としたNaボイド反応度及び炉中心反応率比について、以下に記載する。

Naボイド反応度測定は、炉心中央部の37個(中心+3リング)のラッパ管(S/A)を対象として実施された。これらのラッパ管について、軸方向炉中心に位置するセル1個に含まれるNaペレットをNaが存在しないNa(empty)ペレットに置換することによって変化する反応度を測定し、これをNaボイド反応度とした。測定パターンと測定結果をTable AI.2に示す。合計4種類のパターンで測定されているが、このうち2つのパターン(中心の19体をボイド化した場合、及びその状態からさらに18体をボイド化した場合)については解析結果と測定結果が大きく異なり、測定結果に何らかの問題がある可能性が強いことがIPPE及びJNCの既存解析結果から共通認識として得られているため、他の2つのパターン(中心の19体をボイド化した場合、中心の37体をボイド化した場合)を解析対象として選定した。また、Naボイド状態を作った際に低下する反応度を補償してわずかに超臨界とするために、UO₂燃料部 (MEZ Fuel)を外側に5 S/Aだけ拡大された。

炉中心反応率比は、Table AI.3に示すように、4種類の検出器を使って種々の核種に対する核分裂反応率の比(全17種類、ただしAu97のみ中性子捕獲反応率)が測定された。これらはいずれも、炉心中心のラッパ管(S/A)で、軸方向中心のセル位置で測定されたものである。このうち、CFCは"Compact Fission Chamber"の略で、小型核分裂検出器をラッパ管間隙部に挿入し、軸方向中心セルの全長にわたって、1~2cmずつ移動させながら計数率を測定するものである。また、SFC(Section Fission Chamber)及びAFC(Absolute Fission Chamber)の測定は、炉中心のラッパ管からペレットを取り出し、その空間に核分裂検出器を装荷して測定を行うものである。特に、SFCは同時に複数の核種の計数率を測定することができる。本報告書の評価には、既発行文献の参照値やTable AI.3の複数の測定値の比較等を勘案してエンジニアリング・ジャッジで測定値を決定した(本文表4.3の右端の欄に記載)が、評価終了後にIPPEのA. Kotchetkov氏より現在のBFS-2測定担当者が推奨する測定値とその不確定幅に関する情報を入手した。(Table AI.4参照のこと) これによれば、F23/F25(約0.8%増加)、F40/F49(約1.9%減少)の2項目に相違が見られるが、その他は同一の値を採用していることから、C/E値の見直しは行わず、不確定幅を評価に活用した。

Table AI.1 Composition and dimensions of material blocks and other BFS-2 components

Material	Pu	U-235	Depleted UO ₂	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
Height, mm	3.24	5.65	9.55	10.07	5.73
H			1.468x10 ⁻⁵		
C	1.046x10 ⁻⁴	5.862x10 ⁻⁵	9.052x10 ⁻⁴		
B					
O			3.786x10 ⁻²	6.715x10 ⁻²	6.564x10 ⁻²
Na					
Al	3.984x10 ⁻⁴	1.837x10 ⁻⁴	5.969x10 ⁻³	4.477x10 ⁻²	4.376x10 ⁻²
Si					
Ti	1.623x10 ⁻⁴	9.790x10 ⁻⁵		4.758x10 ⁻⁵	4.648x10 ⁻⁵
Cr	4.350x10 ⁻³	2.029x10 ⁻³			
Mn	3.425x10 ⁻⁴	2.348x10 ⁻⁴			
Fe	1.562x10 ⁻²	7.745x10 ⁻³	3.326x10 ⁻⁴	4.120x10 ⁻⁵	4.027x10 ⁻⁵
Ni	2.034x10 ⁻³	9.991x10 ⁻⁴			
Ga	1.370x10 ⁻³				
U-235		1.434x10 ⁻²	7.951x10 ⁻⁵		
U-238		2.500x10 ⁻²	1.884x10 ⁻²		
Pu-238	1.235x10 ⁻⁶				
Pu-239	2.265x10 ⁻²				
Pu-240	1.096x10 ⁻³				
Pu-241	5.949x10 ⁻⁵				
Pu-242	2.380x10 ⁻⁶				

Table AI.1 (continued, 1)

Material	'laser' Na (empty)	'laser' Na	'green' Na (empty)	'green' Na	B ₄ C
Height, mm	10.0	9.9	10.0	10.0	10.01
H			1.928x10 ⁻⁵	1.928x10 ⁻⁵	
C	3.914x10 ⁻⁵	3.953x10 ⁻⁵	3.914x10 ⁻⁵	3.914x10 ⁻⁵	2.015x10 ⁻²
B					7.631x10 ⁻²
O					9.502x10 ⁻⁵
Na		2.158x10 ⁻²		2.137x10 ⁻²	
Al	1.489x10 ⁻⁴	1.505x10 ⁻⁴	1.489x10 ⁻⁴	1.489x10 ⁻⁴	3.743x10 ⁻⁴
Si					
Ti	6.075x10 ⁻⁵	6.136x10 ⁻⁵	6.075x10 ⁻⁵	6.075x10 ⁻⁵	
Cr	1.629x10 ⁻³	1.645x10 ⁻³	1.629x10 ⁻³	1.629x10 ⁻³	
Mn	1.285x10 ⁻⁴	1.298x10 ⁻⁴	1.285x10 ⁻⁴	1.285x10 ⁻⁴	
Fe	5.841x10 ⁻³	5.908x10 ⁻³	5.841x10 ⁻³	5.841x10 ⁻³	1.463x10 ⁻⁴
Ni	7.605x10 ⁻⁴	7.694x10 ⁻⁴	7.605x10 ⁻⁴	7.605x10 ⁻⁴	
Ga					
U-235					
U-238					
Pu-238					
Pu-239					
Pu-240					
Pu-241					
Pu-242					

Table AI.1 (continued, 2)

Material	Al	steel	steel support	wrapper tube	steel specimen
Height, mm	9.95	9.93			
H					
C		3.900x10 ⁻⁴	1.016x10 ⁻⁴	3.631x10 ⁻⁴	3.084x10 ⁻⁴
B					
O					
Na					
Al	5.903 x 10 ⁻²	1.485x10 ⁻³	4.356x10 ⁻⁴	1.556x10 ⁻³	1.322x10 ⁻³
Si			3.771x10 ⁻⁴	1.347x10 ⁻³	1.142x10 ⁻³
Ti		6.065x10 ⁻⁴	1.780x10 ⁻⁴	6.360x10 ⁻⁴	5.391x10 ⁻⁴
Cr		1.622x10 ⁻²	5.115x10 ⁻³	1.827x10 ⁻²	1.546x10 ⁻²
Mn		1.279x10 ⁻³	2.105x10 ⁻⁴	7.523x10 ⁻⁴	6.366x10 ⁻⁴
Fe	1.139x10 ⁻⁴	5.824x10 ⁻²	1.722x10 ⁻²	6.151x10 ⁻²	5.214x10 ⁻²
Ni		7.581x10 ⁻³	2.158x10 ⁻³	7.711x10 ⁻³	6.537x10 ⁻³
Ga					
U-235					
U-238					
Pu-238					
Pu-239					
Pu-240					
Pu-241					
Pu-242					

Table AI.2 Measured values of Na void reactivity worth

No. of S/As with Na voided			Na void worth	uncertainty
change in test	initial state	final state	(% β_{eff})	(% β_{eff})
18	0	18	7.3	1.0
18	19	37	3.2	0.8
19	0	19	12.2	1.0
37	0	37	15.4	1.8

Table AI.3 Measured values of reaction rate ratios

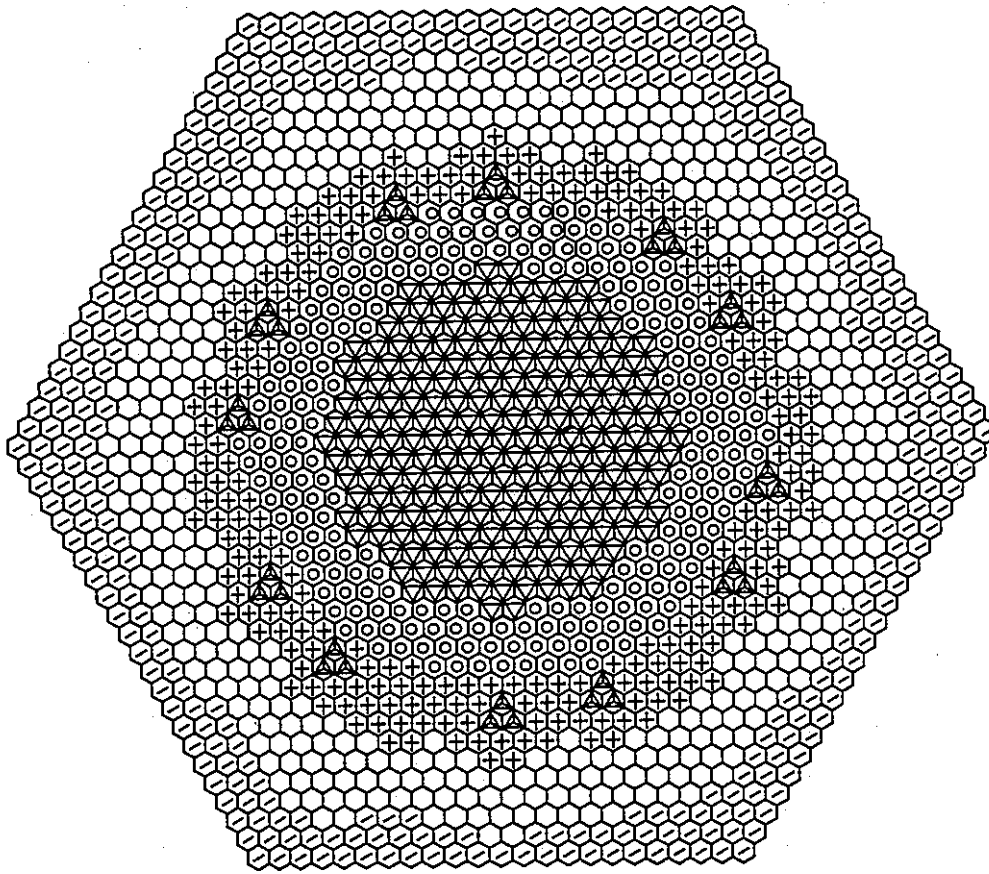
Case no.	Reaction Ratio Measured *	Detector type			
		SSD	CFC	SFC	AFC
1	U238 / U235		0.0118		0.0117
2	Pu239 / U235		0.904		0.903
3	Pu241 / Pu239		1.556		
4	U233 / U235		1.414		
5	Pu242 / Pu239	0.0710	0.0753		
6	Am241 / Pu239	0.0897	0.0886	0.0880	
7	Am243 / Pu239	0.0660	0.0656	0.0632	
8	Np237 / Pu239		0.0971	0.0935	0.0947
9	Pu238 / Pu239	0.390	0.364	0.397	0.394
10	Pu240 / Pu249		0.108	0.106	
11	Cm244 / Pu239		0.119	0.135	
12	Pu240 / U235				0.0958
13	U233 / Pu239			1.554	1.570
14	U236 / Pu239		0.0264		
15	Th232 / U235		0.0027		
16	Pu241 / U235		1.40		1.40
17	Au97 / U235				0.922

* - all reactions are fission, except Au97 is capture

Table AI.4 Recommended value and its uncertainty on the reaction rate ratio measurement in BFS-58-1-II core

Reaction Rate Ratio	Exp
F28/F25	0.0118±0.0003
F49/F25	0.904±0.015
F40/F25	0.0958±0.0026
F41/F25	1.40±0.05
F23/F25	1.414±0.028
F02/F25	0.0027±0.0010
F48/F49	0.397±0.020
F40/F49	0.106±0.002
F41/F49	1.556±0.042
F42/F49	0.0753±0.005
F37/F49	0.0935±0.003
F51/F49	0.088±0.006
F53/F49	0.063±0.003
F64/F49	0.135±0.004
F23/F49	1.554±0.025
F26/F49	0.0264±0.0008
C97/F25	0.900±0.030

This information was sent from IPPE to JNC in the information exchange, according to JNC-IPPE collaboration on Experimental Investigation of Excess Weapons Pu Disposition in BN-600 Reactor using BFS-2 Facility.



- ⊗ Pu & diluent fuel S/A
- ⊙ LEZ fuel S/A ('laser' Na)
- ⊕ LEZ fuel S/A ('green' Na)
- MEZ fuel S/A
- ⊠ Control Rod S/A
- ⊖ Radial Blanket S/A

Figure AI.1 Layout of S/As in BFS-58-1-II

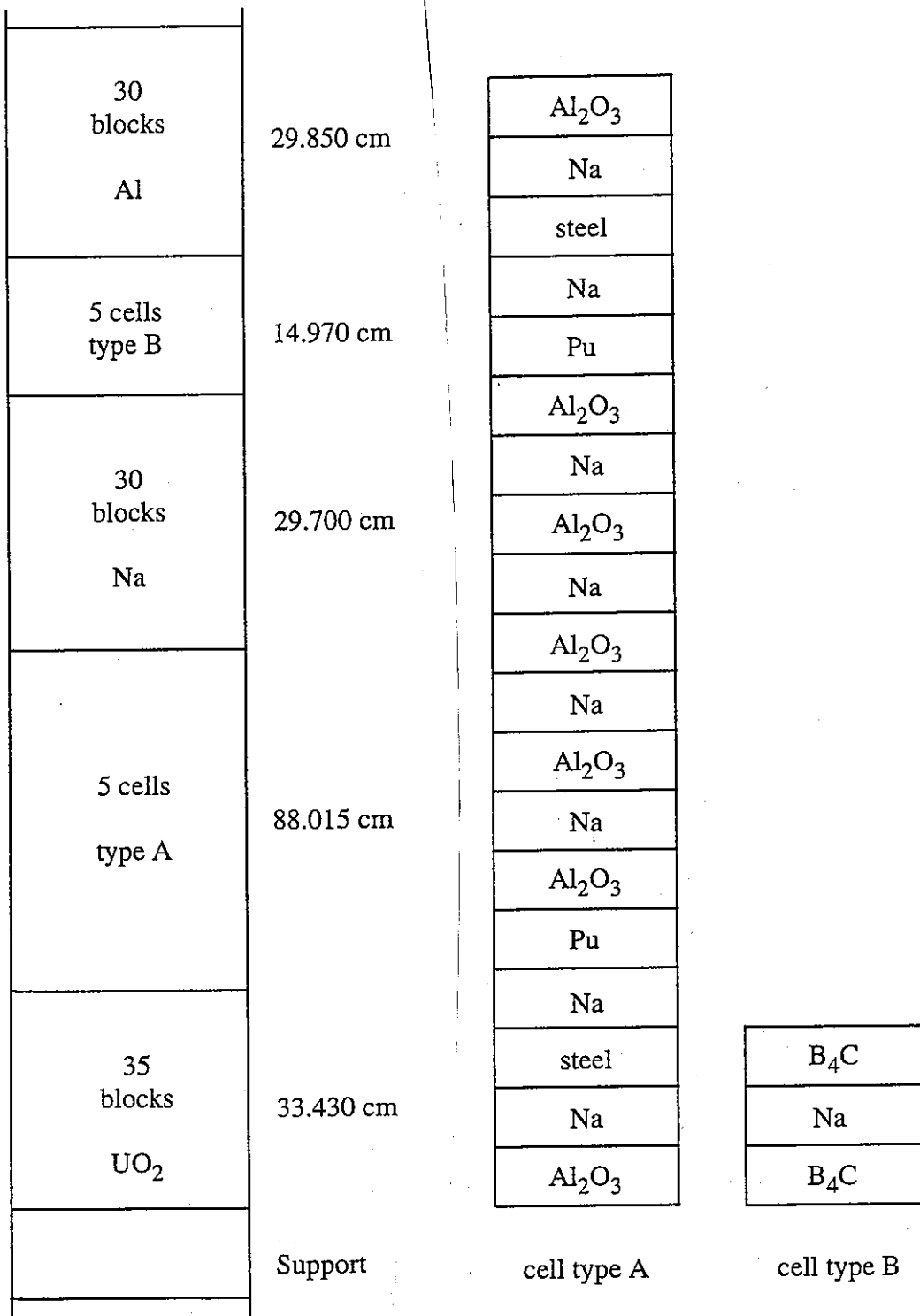


Figure AI.2 Axial structure of Pu & diluent fuel S/A

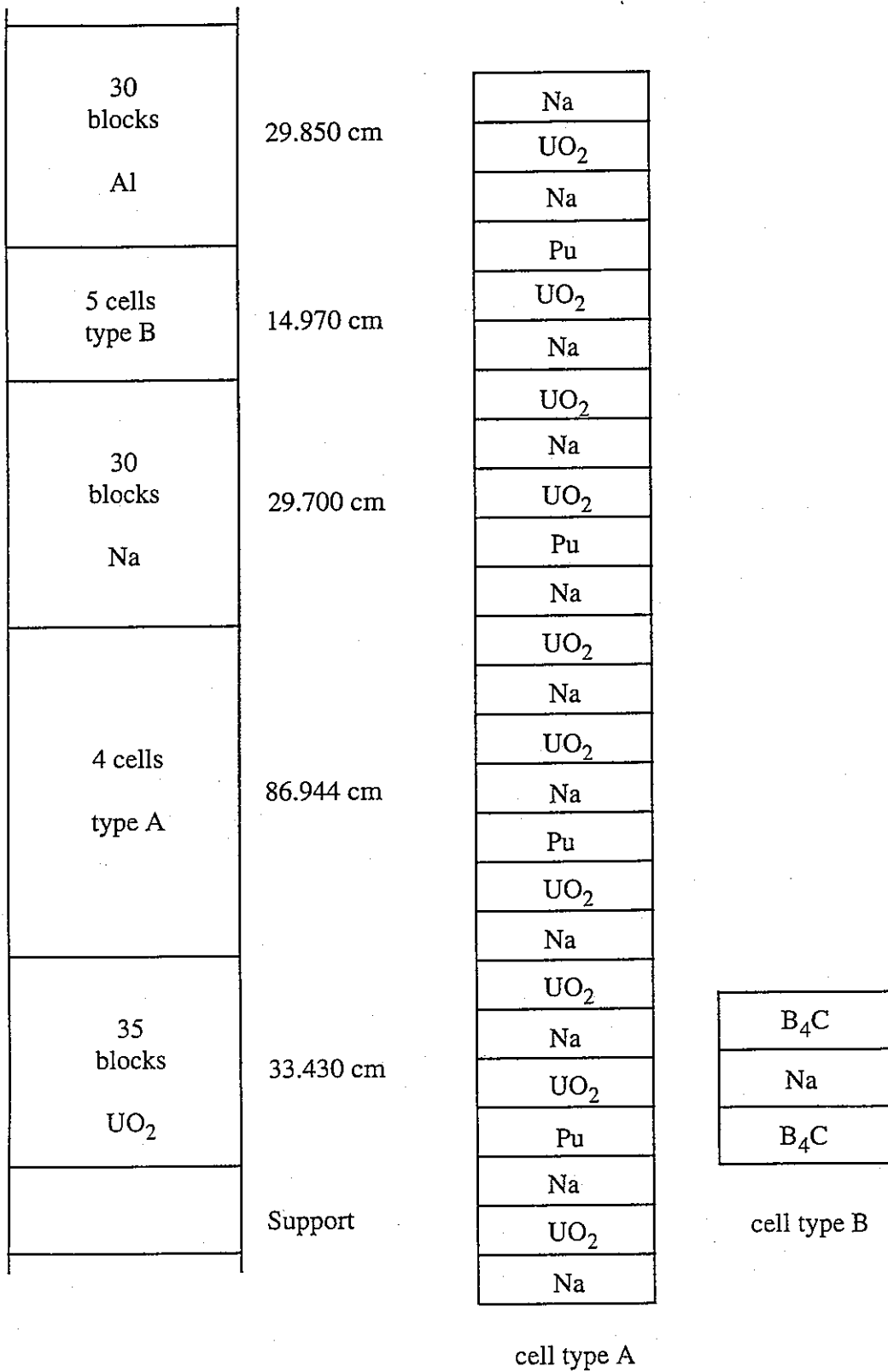


Figure AI.3 Axial structure of LEZ fuel with 'laser' Na S/A

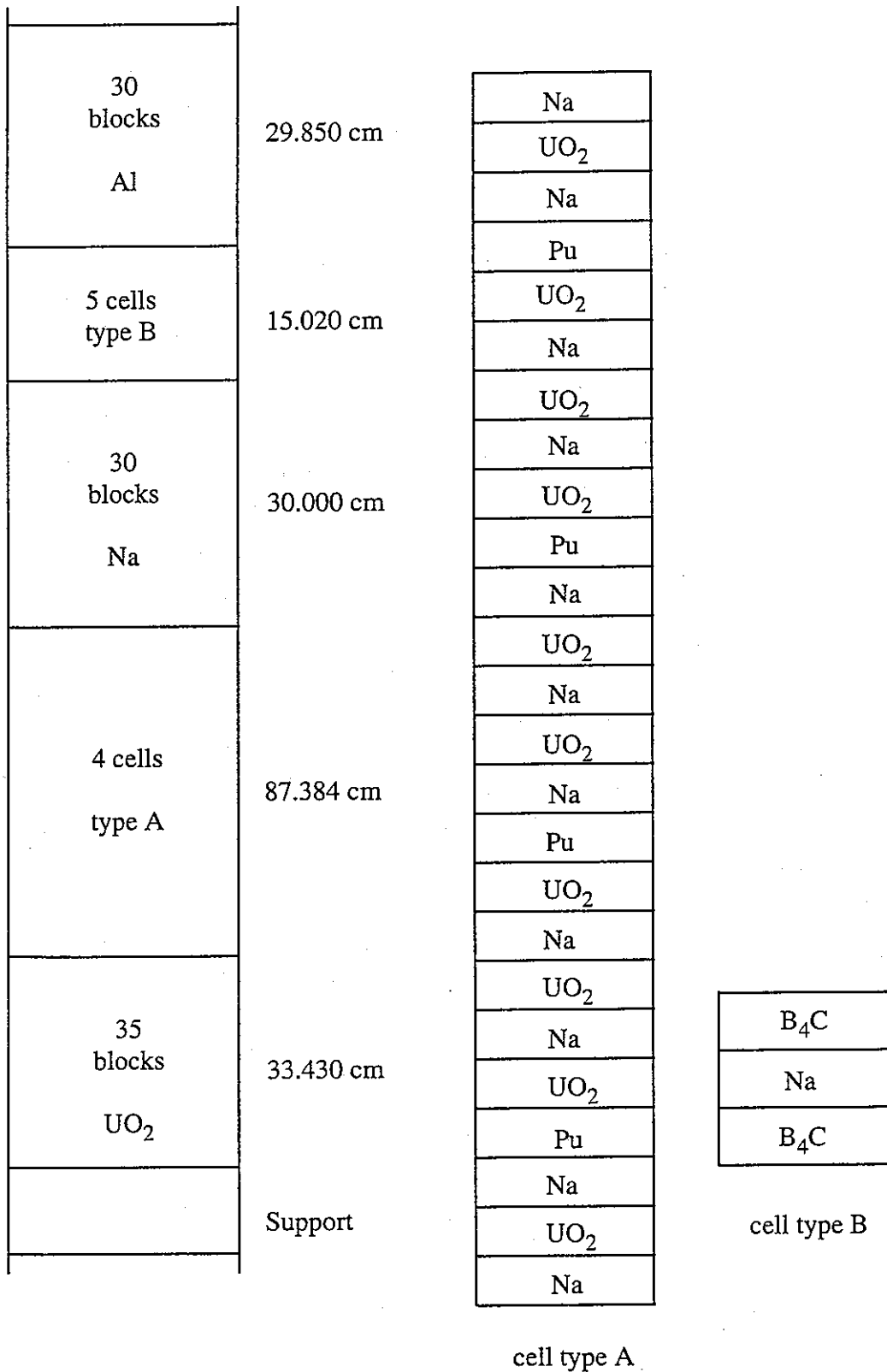


Figure AI.4 Axial structure of LEZ fuel with 'green' Na S/A.

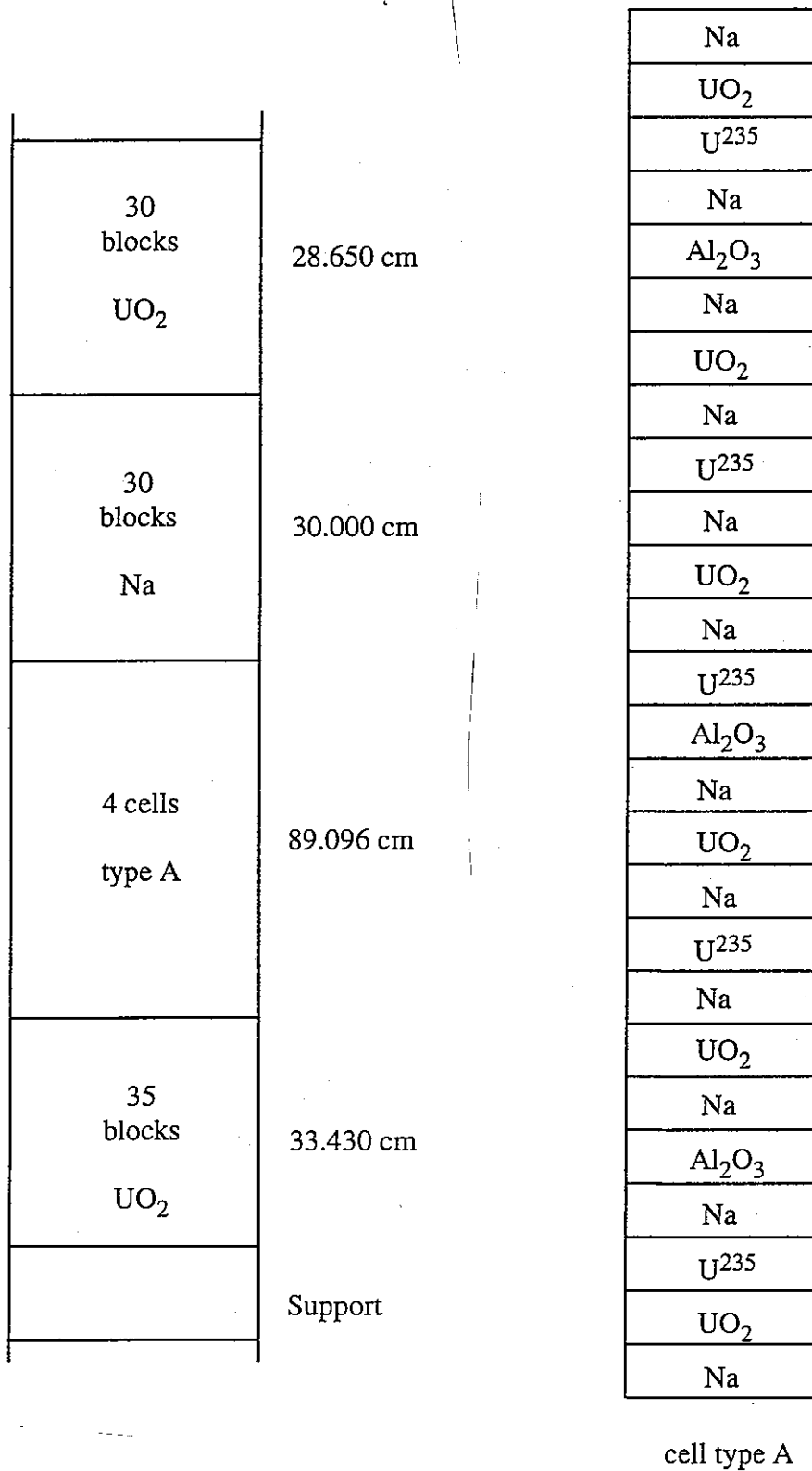


Figure AI.5 Axial structure of MEZ fuel S/A

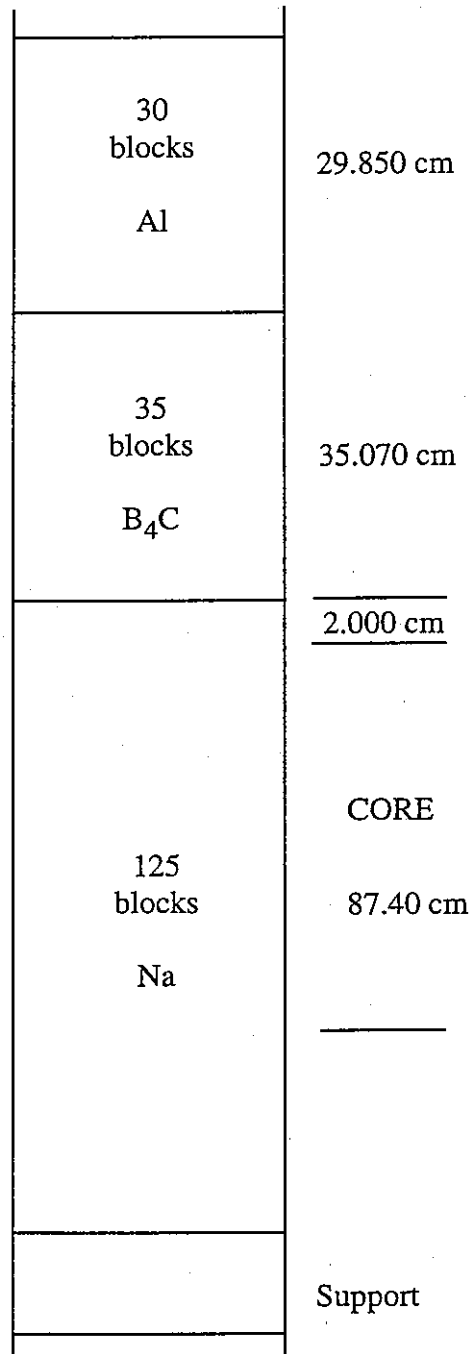


Figure AI.6 Axial structure of control rod S/A

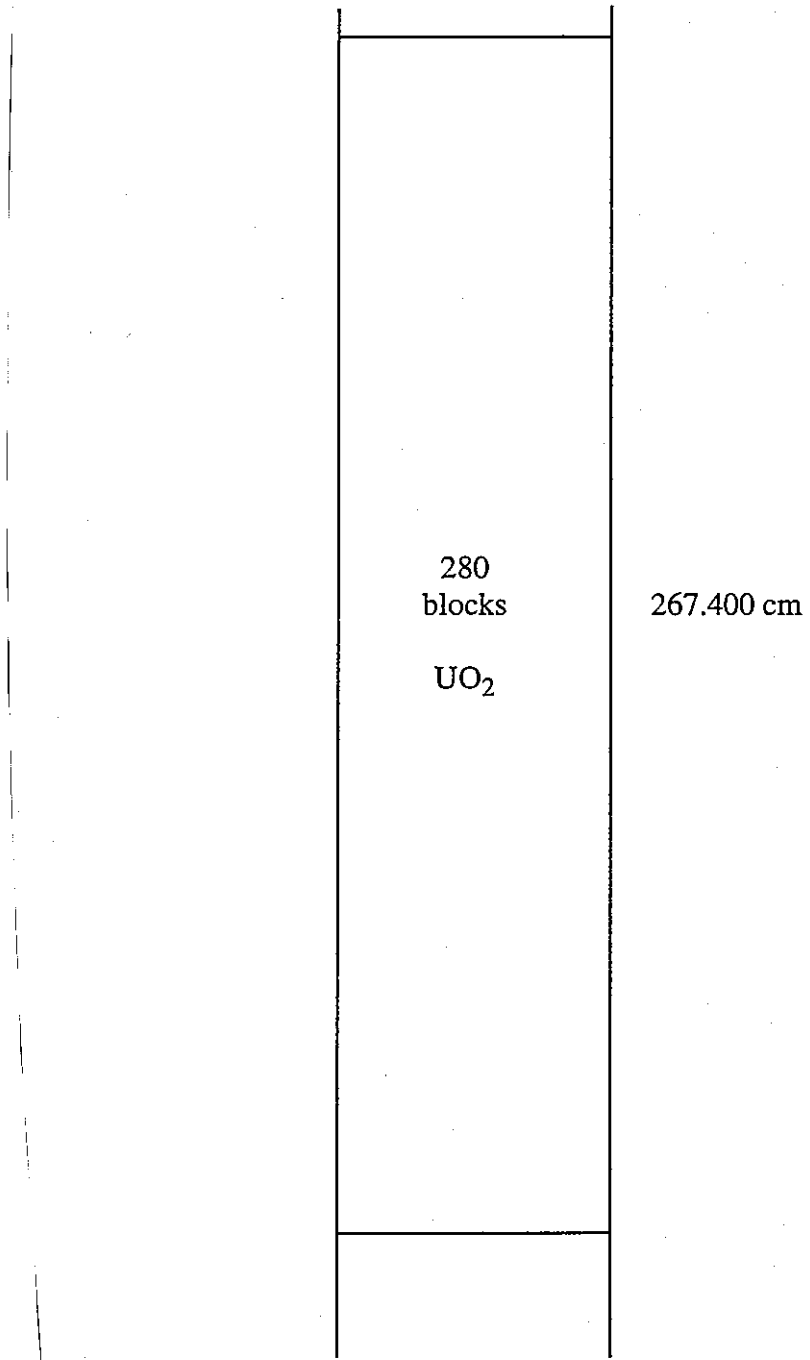


Figure AI.7 Axial structure of radial blanket S/A

付録 II BFS-58-1-II 炉心体系の計算モデルに関する情報

付録 II BFS-58-1-I1 炉心体系の計算モデルに関する情報

IPPE から入手した実験情報をもとに設定した 1 次元セルモデルに関する図表及び解析に使用した原子数密度を算出したプロセスを以下に示す。2 次元 r-z 体系モデル及びその設定根拠は本文の図 3.3 に示したとおりである。

炉心軸方向の寸法調整

付録 I に示したように、燃料部の高さはすべて異なっているため、2 次元 r-z モデルを作成するために高さを U 無し燃料部 (Diluent Fuel) の値にそろえることとした。Fig. AII.1 に、炉心の各領域の高さについて、実験報告書記載内容から算出した値を上段に、上記調整後の値を中段に示す。下段の値は、両者の値の比である。この値を軸長調整係数 (Raa) と名付け、Table AII.1~5 に示すように、もとの原子数密度に乗じることにより、総原子数を保存するようにした。(Table AII.1 に記す STEP1)

プレートストレッチモデルの作成

本文の図 2.2 に示す BFS 実験体系の基本的な構成を考慮すると、ユニットセルはラッパ管を取り囲む対面間距離 (Du) 51.0mm の六角形になる。ペレットの外径 (Db) は 46.7mm であり、両者の水平断面積の比 ($R_{bu}=0.76042$) をペレット内スミア原子数密度に乗じることにより、ペレットをユニットセル全体にスミアした原子数密度を算出した (Table AII.1 に記す STEP2)。また、ラッパ管自体及びラッパ管間隙部に存在するステンレス鋼棒については、核燃料物質を含まないペレット (非燃料ペレット) すべてに均一にスミアした。(Table AII.1 に記す STEP3)

以上の 3 つのステップを実施するために使用した数値、各ペレットの配置及び計算結果を Table AII.1~5 に示す。また、セル計算に均質組成を用いた非燃料部の原子数密度を Table AII.6 に示す。

ペレット数密度保存モデル

3 種類の燃料部のセル計算手法の検討に使用したペレット数密度保存モデルの原子数密度を Table AII.7~9 に示す。また、ラッパ管をペレット周辺部の体積でスミアして設定したペレットを挿入した位置を Table AII.2 に示す。

Table AII.1 ユニットセル、ラッパ管、ペレット等の寸法 (1999.7.30見直し版)

Db	ペレットの直径(cm)	4.67	Sb	ペレットの水平断面積(cm ²)	17.12867
Dw	ラッパ管の外径(cm)	5.00	Sw	ラッパ管の水平断面積(cm ²)	1.53938
Tw	ラッパ管の肉厚(cm)	0.10			
Du	ユニットセルの対辺間距離(cm)	5.10	Su	ユニットセルの水平断面積(cm ²)	22.52532
Ds	ステンレス鋼棒の直径(cm)	0.80	Ss	ステンレス鋼棒の水平断面積(cm ²)	0.50265

ラッパ管を非燃料ペレット内にスミアするための換算係数	$R_{wu}=S_w/S_u$	0.06834
各ペレットをユニットセル内にスミアするための換算係数	$R_{bu}=S_b/S_u$	0.76042
ステンレス鋼棒を非燃料ブロック内にスミアするための換算係数	$R_{su}=S_s/S_u$	0.02232

(MEZ領域のみ、ユニットセル当たり1本のステンレス鋼棒が装荷されていると想定)

SLAROMに入力する組成の作成方法 (燃料領域)

STEP	計算処理
1	各ペレットの数密度に対して、 R_{aa} ; 軸長調整係数を乗じる。 (注)LEZ領域のlaser Naは、greenNaからHを抜いた組成を用いる。
2	STEP1で得た値に対して、 R_{bu} を乗じる。
3	非燃料ペレットに対してのみ、STEP2で得た値に対して、ラッパ管組成に R_{wu} と R_{nf} を乗じた値を加える。(MEZ燃料領域には、さらにステンレス鋼棒組成に R_{su} と R_{nf} を乗じた値を加える。)

Table AII.2 各燃料領域の1次元非均質モデルの寸法設定値
 (プレートストレッチモデルについて記載。ペレット数密度保存型モデルでは→部にラッパ管ペレットを挿入)

(1) U無し炉心領域
 接続；対称

ブロック種類	軸方向厚さ(cm)
A1203	1.0070
laser Na	0.9900
steel	0.9930
laser Na	0.9900
SUS clad	0.0400
Pu	0.2440
SUS clad	0.0400
A1203	1.0070
laser Na	0.9900
A1203	1.0070
laser Na	0.9900
A1203	0.5035

(2) LEZ燃料(green/laser Na)領域
 接続；対称

ブロック種類	軸方向厚さ(cm)
green Na	1.0072
Depleted UO2	0.9619
green Na	1.0072
SUS clad	0.0403
Pu	0.2458
SUS clad	0.0403
Depleted UO2	0.9619
green Na	1.0072
Depleted UO2	0.9619
green Na	1.0072
Depleted UO2	0.9619
SUS clad	0.0403
Pu	0.2458
SUS clad	0.0403
green Na	1.0072
Depleted UO2	0.9619
green Na	0.5036

(3) MEZ燃料領域
 接続；対称

ブロック種類	軸方向厚さ(cm)
green Na	0.9879
Depleted UO2	0.9434
SUS clad	0.0296
U235	0.4989
SUS clad	0.0296
green Na	0.9879
A1203	0.5660
green Na	0.9879
Depleted UO2	0.9434
green Na	0.9879
SUS clad	0.0296
U235	0.4989
SUS clad	0.0296
green Na	0.9879
Depleted UO2	0.9434
green Na	0.9879
SUS clad*	0.0148
U235*	0.2494
SUS clad*	0.0148
A1203*	0.2830

軸長/調整前軸長	1.00000
----------	---------

Raa; 軸長調整係数	1.00000
-------------	---------

Rnf; 全軸長/ U, Puが存在しない 領域の軸長	1.0285
-----------------------------------	--------

全軸長(cm)	8.8015
---------	--------

軸長/調整前軸長	1.00722
----------	---------

Raa; 軸長調整係数	0.99283
-------------	---------

Rnf; 全軸長/ U, Puが存在しない 領域の軸長	1.9299
-----------------------------------	--------

全軸長(cm)	11.0019
---------	---------

軸長/調整前軸長	0.98787
----------	---------

Raa; 軸長調整係数	1.01228
-------------	---------

Rnf; 全軸長/ U, Puが存在しない 領域の軸長	1.5888
-----------------------------------	--------

全軸長(cm)	11.0019
---------	---------

*実際の半分の厚さを設定して対称性を模擬した

Table AII.3 U無し燃料領域のプレートストレッチモデルで使用した原子数密度
(太い罫線で囲んだセルの数値を使用)

(1) U無し燃料領域 (1999.7.30 Du見直し後)

各プレートの数密度($\times 10^{21}/\text{cm}^3$)

Material	Pu	SUS clad (2 pieces)	Al203	laser' Na	steel
Height (mm)	2.44	0.4	10.07	9.9	9.93
H					
C		4.236E-04		3.953E-05	3.900E-04
B10					
B11					
O			6.715E-02		
Na				2.158E-02	
Al		1.614E-03	4.477E-02	1.505E-04	1.485E-03
Si					
Ti		6.573E-04	4.758E-05	6.136E-05	6.065E-04
Cr		1.762E-02		1.645E-03	1.622E-02
Mn		1.387E-03		1.298E-04	1.279E-03
Fe		6.326E-02	4.120E-05	5.908E-03	5.824E-02
Ni		8.238E-03		7.694E-04	7.581E-03
Ga	1.819E-03				
U235					
U238					
Pu238	1.640E-06				
Pu239	3.008E-02				
Pu240	1.455E-03				
Pu241	7.899E-05				
Pu242	3.160E-06				

STEP1 & 2 (Raa:軸長調整係数とRbu(ブロッカーエントセルへのミソ係数)を乗じる。)

Raa 1.0000 Rbu 0.76042

Material	Pu	SUS clad (2 pieces)	Al203	laser' Na	steel
Height (mm)	2.44	0.4	10.07	9.9	9.93
H	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
C	0.000E+00	3.221E-04	0.000E+00	3.006E-05	2.966E-04
B10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
B11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
O	0.000E+00	0.000E+00	5.106E-02	0.000E+00	0.000E+00
Na	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.641E-02	0.000E+00
Al	0.000E+00	1.227E-03	3.404E-02	1.144E-04	1.129E-03
Si	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Ti	0.000E+00	4.998E-04	3.618E-05	4.666E-05	4.612E-04
Cr	0.000E+00	1.340E-02	0.000E+00	1.251E-03	1.233E-02
Mn	0.000E+00	1.055E-03	0.000E+00	9.870E-05	9.726E-04
Fe	0.000E+00	4.810E-02	3.133E-05	4.493E-03	4.429E-02
Ni	0.000E+00	6.264E-03	0.000E+00	5.851E-04	5.765E-03
Ga	1.383E-03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
U235	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
U238	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Pu238	1.247E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Pu239	2.287E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Pu240	1.107E-03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Pu241	6.007E-05	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Pu242	2.403E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

STEP3 (非燃料ブロックに対してのみ、STEP2で得た値に対して、ラッパ管組成にRwuとRnfを乗じた値を加える。)

Rwu 0.06834 Rnf 1.02851

Material	Pu	SUS clad (2 pieces)	Al203	laser' Na	steel	SS stick *Rwu*Rnf
Height (mm)	2.44	0.4	10.07	9.9	9.93	
H	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
C	0.000E+00	3.477E-04	2.552E-05	5.558E-05	3.221E-04	2.552E-05
B10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
B11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
O	0.000E+00	0.000E+00	5.106E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Na	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.641E-02	0.000E+00	0.000E+00
Al	0.000E+00	1.336E-03	3.415E-02	2.238E-04	1.239E-03	1.094E-04
Si	0.000E+00	9.468E-05	9.468E-05	9.468E-05	9.468E-05	9.468E-05
Ti	0.000E+00	5.445E-04	8.088E-05	9.136E-05	5.059E-04	4.470E-05
Cr	0.000E+00	1.468E-02	1.284E-03	2.535E-03	1.362E-02	1.284E-03
Mn	0.000E+00	1.108E-03	5.288E-05	1.516E-04	1.025E-03	5.288E-05
Fe	0.000E+00	5.243E-02	4.355E-03	8.816E-03	4.861E-02	4.323E-03
Ni	0.000E+00	6.806E-03	5.420E-04	1.127E-03	6.307E-03	5.420E-04
Ga	1.433E-03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
U235	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
U238	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Pu238	1.292E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Pu239	2.370E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Pu240	1.147E-03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Pu241	6.225E-05	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Pu242	2.490E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Table AII.4 MOX燃料領域のプレートストレッチモデルで使用した原子数密度
(太い算線で囲んだセルの数値を使用)

(2) LEZ燃料(green/laser Na)領域 (1999.7.30 Du見直し後)
各プワックの数密度($\times 10^{21}/\text{cm}^3$)

Material	Pu	SUS clad (2 pieces)	Depleted UO2	green Na
Height (mm)	2.44	0.4	9.55	10
H			1.468E-05	1.928E-05
C		4.236E-04	9.052E-04	3.914E-05
B10				
B11				
O			3.786E-02	
Na				2.137E-02
Al		1.614E-03	5.969E-03	1.489E-04
Si				
Ti		6.573E-04		6.075E-05
Cr		1.762E-02		1.620E-03
Mn		1.387E-03		1.285E-04
Fe		6.326E-02	3.326E-04	5.841E-03
Ni		8.238E-03		7.605E-04
Ga	1.819E-03			
U235			7.951E-05	
U238			1.884E-02	
Pu238	1.640E-06			
Pu239	3.008E-02			
Pu240	1.455E-03			
Pu241	7.899E-05			
Pu242	3.160E-06			

STEP1 & 2 (Raa:軸長調整係数とRbu(プワックユニットセルへのスリ係数)を乗じる。)

Raa 0.9928 Rbu 0.76042

Material	Pu	SUS clad (2 pieces)	Depleted UO2	green Na
Height (mm)	2.44	0.4	9.55	10
H	0.000E+00	0.000E+00	1.108E-05	1.456E-05
C	0.000E+00	3.198E-04	6.834E-04	2.955E-05
B10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
B11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
O	0.000E+00	0.000E+00	2.858E-02	0.000E+00
Na	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.613E-02
Al	0.000E+00	1.218E-03	4.506E-03	1.124E-04
Si	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Ti	0.000E+00	4.963E-04	0.000E+00	4.586E-05
Cr	0.000E+00	1.330E-02	0.000E+00	1.230E-03
Mn	0.000E+00	1.047E-03	0.000E+00	9.701E-05
Fe	0.000E+00	4.776E-02	2.511E-04	4.410E-03
Ni	0.000E+00	6.219E-03	0.000E+00	5.742E-04
Ga	1.373E-03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
U235	0.000E+00	0.000E+00	6.003E-05	0.000E+00
U238	0.000E+00	0.000E+00	1.422E-02	0.000E+00
Pu238	1.238E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Pu239	2.271E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Pu240	1.099E-03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Pu241	5.964E-05	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Pu242	2.386E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

STEP3 (非燃料プワックに対してのみ、STEP2で得た値に対して、ラガ管組成にRwuとRnfを乗じた値を加える。)

Rwu 0.06834 Rnf 1.92986

Material	Pu	SUS clad (2 pieces)	Depleted UO2	green Na	ラガ管 *Rwu*Rnf
Height (mm)	2.44	0.4	9.55	9.9	
H	0.000E+00	0.000E+00	1.148E-05	1.456E-05	0.000E+00
C	0.000E+00	3.677E-04	7.082E-04	7.744E-05	4.789E-05
B10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
B11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
O	0.000E+00	0.000E+00	2.962E-02	0.000E+00	0.000E+00
Na	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.613E-02	0.000E+00
Al	0.000E+00	1.423E-03	4.670E-03	3.176E-04	2.052E-04
Si	0.000E+00	1.777E-04	0.000E+00	1.777E-04	1.777E-04
Ti	0.000E+00	5.801E-04	0.000E+00	1.297E-04	8.388E-05
Cr	0.000E+00	1.571E-02	0.000E+00	3.639E-03	2.410E-03
Mn	0.000E+00	1.146E-03	0.000E+00	1.962E-04	9.922E-05
Fe	0.000E+00	5.587E-02	2.602E-04	1.252E-02	8.112E-03
Ni	0.000E+00	7.236E-03	0.000E+00	1.591E-03	1.017E-03
Ga	1.423E-03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
U235	0.000E+00	0.000E+00	6.220E-05	0.000E+00	0.000E+00
U238	0.000E+00	0.000E+00	1.474E-02	0.000E+00	0.000E+00
Pu238	1.283E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Pu239	2.353E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Pu240	1.139E-03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Pu241	6.180E-05	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Pu242	2.472E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Table AII.5 UO₂燃料領域のプレートストレッチモデルで使用した原子数密度
(太い罫線で囲んだセルの数値を使用)

(3) ME2燃料領域 (1999.7.30 Du見直し後)
各プロックの数密度(×10²¹/cm³)

Material	U235	SUS clad (2 pieces)	Al203	green' Na	Depleted UO2
Height (mm)	5.05	0.3	5.73	10	9.55
H				1.928E-05	1.468E-05
C		5.520E-04		3.914E-05	9.052E-04
B10					
B11			6.564E-02		3.786E-02
O				2.137E-02	
Na				1.489E-04	5.969E-03
Al		1.730E-03	4.378E-02		
Si					
Ti		9.219E-04	4.648E-05	6.075E-05	
Cr		1.911E-02		1.629E-03	
Mn		2.211E-03		1.285E-04	
Fe		7.293E-02	4.027E-05	5.841E-03	3.326E-04
Ni		9.408E-03		7.605E-04	
Ga	0.000E+00				
U235	1.604E-02				7.951E-05
U238	2.797E-02				1.884E-02
Pu238	0.000E+00				
Pu239	0.000E+00				
Pu240	0.000E+00				
Pu241	0.000E+00				
Pu242	0.000E+00				

STEP1 & 2 (Raa:軸長調整係数とRbu(プロックユニット比へのスリ係数)を乗じる。)

Raa 1.0123

Rbu 0.76042

Material	U235	SUS clad (2 pieces)	Al203	green' Na	Depleted UO2
Height (mm)	5.05	0.3	5.73	10	9.55
H	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.484E-05	1.130E-05
C	0.000E+00	4.249E-04	0.000E+00	3.013E-05	6.968E-04
B10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
B11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
O	0.000E+00	0.000E+00	5.053E-02	0.000E+00	2.914E-02
Na	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.645E-02	0.000E+00
Al	0.000E+00	1.332E-03	3.368E-02	1.146E-04	4.595E-03
Si	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Ti	0.000E+00	7.096E-04	3.578E-05	4.676E-05	0.000E+00
Cr	0.000E+00	1.471E-02	0.000E+00	1.254E-03	0.000E+00
Mn	0.000E+00	1.702E-03	0.000E+00	9.891E-05	0.000E+00
Fe	0.000E+00	5.614E-02	3.100E-05	4.496E-03	2.560E-04
Ni	0.000E+00	7.242E-03	0.000E+00	5.854E-04	0.000E+00
Ga	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
U235	1.235E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	6.120E-05
U238	2.153E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.450E-02
Pu238	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Pu239	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Pu240	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Pu241	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Pu242	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

STEP3 (非燃料プロックに対してのみ、STEP2で得た値に対して、ラッパ管組成にRwuとRnfを乗じた値と、SS stick組成にRsuとRnfを乗じた値とを加える。)

Rwu 0.06834

Rnf 1.58884

Rsu 0.02232

Material	U235	SUS clad (2 pieces)	Al203	green' Na	Depleted UO2	ラッパ管の組成		SS stickの組成	
						*Rwu*Rnf	*Rsu*Rnf	*Rwu*Rnf	*Rsu*Rnf
Height (mm)	5.05	0.3	5.73	10	9.55				
H	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.484E-05	1.171E-05	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
C	0.000E+00	4.753E-04	5.036E-05	8.049E-05	7.220E-04	3.943E-05	1.093E-05		
B10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00		
B11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00		
O	0.000E+00	0.000E+00	5.053E-02	0.000E+00	3.020E-02	0.000E+00	0.000E+00		
Na	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.645E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00		
Al	0.000E+00	1.547E-03	3.390E-02	3.304E-04	4.761E-03	1.690E-04	4.687E-05		
Si	0.000E+00	1.867E-04	1.867E-04	1.867E-04	0.000E+00	1.463E-04	4.049E-05		
Ti	0.000E+00	7.978E-04	1.240E-04	1.349E-04	0.000E+00	6.906E-05	1.911E-05		
Cr	0.000E+00	1.724E-02	2.532E-03	3.786E-03	0.000E+00	1.984E-03	5.481E-04		
Mn	0.000E+00	1.806E-03	1.043E-04	2.032E-04	0.000E+00	8.169E-05	2.257E-05		
Fe	0.000E+00	6.467E-02	8.558E-03	1.302E-02	2.653E-04	6.679E-03	1.849E-03		
Ni	0.000E+00	8.311E-03	1.069E-03	1.654E-04	0.000E+00	8.373E-04	2.318E-04		
Ga	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00		
U235	1.280E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	6.342E-05	0.000E+00	0.000E+00		
U238	2.231E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.503E-02	0.000E+00	0.000E+00		
Pu238	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00		
Pu239	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00		
Pu240	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00		
Pu241	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00		
Pu242	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00		

Table AII.6 均質組成を用いて実効断面積を求めた領域の原子数密度 (1/2)
(1999.7.30 Du見直し後)

名称; Steel support SLAROMでの名称; SUPPORT		名称; Depleted UO2 SLAROMでの名称; UO2WWW		名称; B4C Absorber SLAROMでの名称; ABSWWW		名称; AL Shield SLAROMでの名称; ALSWWW	
炉心の下部支持部。組成データが均質で与えられているのでそのまま使用する。		炉心の上下及びMEZ燃料より外側のプリアクト領域。Depleted UO2プリアクト組成にRbuを乗じた値とラッパ管組成にRwuを乗じた値の和。		制御棒吸収材部。燃料頂部より上方に位置する。B4C7プリアクト組成にRbuを乗じた値とラッパ管組成にRwuを乗じた値の和。		Al遮蔽体。実験体系の最上部を遮蔽。 Alプリアクト組成にRbuを乗じた値とラッパ管組成にRwuを乗じた値の和。	
Material	steel support (homogenized)	Material	Depleted UO2	Material	B4C Absorber	Material	AL Shield
Height		Height		Height		Height	
H		H	1.116E-05	H	0.000E+00	H	0.000E+00
C	1.016E-04	C	7.131E-04	C	1.535E-02	C	2.481E-05
B10		B10	0.000E+00	B10	1.161E-02	B10	0.000E+00
B11		B11	0.000E+00	B11	4.642E-02	B11	0.000E+00
O		O	2.879E-02	O	7.225E-05	O	0.000E+00
Na		Na	0.000E+00	Na	0.000E+00	Na	0.000E+00
Al	4.356E-04	Al	4.645E-03	Al	3.910E-04	Al	4.499E-02
Si	3.771E-04	Si	9.205E-05	Si	9.205E-05	Si	9.205E-05
Ti	1.780E-04	Ti	4.346E-05	Ti	4.346E-05	Ti	4.346E-05
Cr	5.115E-03	Cr	1.249E-03	Cr	1.249E-03	Cr	1.249E-03
Mn	2.105E-04	Mn	5.141E-05	Mn	5.141E-05	Mn	5.141E-05
Fe	1.722E-02	Fe	4.457E-03	Fe	4.315E-03	Fe	4.290E-03
Ni	2.158E-03	Ni	5.270E-04	Ni	5.270E-04	Ni	5.270E-04
Ga		Ga	0.000E+00	Ga	0.000E+00	Ga	0.000E+00
U235		U235	6.046E-05	U235	0.000E+00	U235	0.000E+00
U238		U238	1.433E-02	U238	0.000E+00	U238	0.000E+00
Pu238		Pu238	0.000E+00	Pu238	0.000E+00	Pu238	0.000E+00
Pu239		Pu239	0.000E+00	Pu239	0.000E+00	Pu239	0.000E+00
Pu240		Pu240	0.000E+00	Pu240	0.000E+00	Pu240	0.000E+00
Pu241		Pu241	0.000E+00	Pu241	0.000E+00	Pu241	0.000E+00
Pu242		Pu242	0.000E+00	Pu242	0.000E+00	Pu242	0.000E+00

Table AII.6 均質組成を用いて実効断面積を求めた領域の原子数密度 (2/2)
(1999.7.30 Du見直し後)

名称; green Na SLAROMでの名称; NGRWWW		名称; laser Na SLAROMでの名称; NLAWWW		名称; laser Na added H SLAROMでの名称; NLHWWW		名称; B4C+Na shield SLAROMでの名称; NBCWWW	
Material	green Na	Material	laser Na	Material	laser Na added H	Material	B4C+Na shield
Height		Height		Height		Height	
H	1.466E-05	H	0.000E+00	H	1.481E-05	H	0.000E+00
C	5.458E-05	C	5.487E-05	C	5.488E-05	C	1.029E-02
B10	0.000E+00	B10	0.000E+00	B10	0.000E+00	B10	7.765E-03
B11	0.000E+00	B11	0.000E+00	B11	0.000E+00	B11	3.106E-02
O	0.000E+00	O	0.000E+00	O	0.000E+00	O	4.835E-05
Na	1.625E-02	Na	1.641E-02	Na	1.641E-02	Na	5.430E-03
Al	2.196E-04	Al	2.208E-04	Al	2.207E-04	Al	3.347E-04
Si	9.205E-05	Si	9.205E-05	Si	9.205E-05	Si	9.205E-05
Ti	8.966E-05	Ti	9.012E-05	Ti	9.013E-05	Ti	5.890E-05
Cr	2.487E-03	Cr	2.499E-03	Cr	2.500E-03	Cr	1.662E-03
Mn	1.491E-04	Mn	1.501E-04	Mn	1.501E-04	Mn	8.407E-05
Fe	8.645E-03	Fe	8.696E-03	Fe	8.690E-03	Fe	5.765E-03
Ni	1.105E-03	Ni	1.112E-03	Ni	1.111E-03	Ni	7.206E-04
Ga	0.000E+00	Ga	0.000E+00	Ga	0.000E+00	Ga	0.000E+00
U235	0.000E+00	U235	0.000E+00	U235	0.000E+00	U235	0.000E+00
U238	0.000E+00	U238	0.000E+00	U238	0.000E+00	U238	0.000E+00
Pu238	0.000E+00	Pu238	0.000E+00	Pu238	0.000E+00	Pu238	0.000E+00
Pu239	0.000E+00	Pu239	0.000E+00	Pu239	0.000E+00	Pu239	0.000E+00
Pu240	0.000E+00	Pu240	0.000E+00	Pu240	0.000E+00	Pu240	0.000E+00
Pu241	0.000E+00	Pu241	0.000E+00	Pu241	0.000E+00	Pu241	0.000E+00
Pu242	0.000E+00	Pu242	0.000E+00	Pu242	0.000E+00	Pu242	0.000E+00

名称; green Na
SLAROMでの名称; NGRWWW
制御棒ブロー領域に装荷されたNaブロック。わずかに水素を含む。green Naブロック組成にRbuを乗じた値とラップ管組成にRwuを乗じた値の和。

名称; laser Na
SLAROMでの名称; NLAWWW
無し燃料領域の上方に装荷されたNaブロック。laser Naブロック組成にRbuを乗じた値と、ラップ管組成にRwuを乗じた値の和。(Raa=1.0なので乗じていない)

名称; laser Na added H
SLAROMでの名称; NLHWWW
green Naを用いたL2燃料及びMEZ燃料の上方に装荷されたgreen Naを意味する。Green Naブロック組成に30/29.7とRbuを乗じた値と、ラップ管組成にRwuを乗じた値の和。

名称; B4C+Na shield
SLAROMでの名称; NBCWWW
各燃料領域上部のNaプレナムのさらさらにあるB4C遮蔽体部を意味する。Naはすべてlaser Naとする。B4C(20.02mm)とNa(9.9mm)を均質化してRbuを乗じた値と、ラップ管組成にRwuを乗じた値の和。

Table AII.7 ペレット数密度保存モデルに使用した寸法及び数密度 (U無し燃料領域)

(UNIT: $10^{24}/\text{cm}^3$)

Material	Pu	SUS clad (2 pieces)	Al203	laser' Na	steel	wrapper tube (plate model)
Height (mm)	2.44	0.4	10.07	9.9	9.93	9.24
H						
C		4.236E-04		3.953E-05	3.900E-04	1.036E-04
B10						
B11						
O			6.715E-02			
Na				2.158E-02		
Al		1.614E-03	4.477E-02	1.505E-04	1.485E-03	4.438E-04
Si						3.842E-04
Ti		6.573E-04	4.758E-05	6.136E-05	6.065E-04	1.814E-04
Cr		1.762E-02		1.645E-03	1.622E-02	5.211E-03
Mn		1.387E-03		1.298E-04	1.279E-03	2.146E-04
Fe		6.326E-02	4.120E-05	5.908E-03	5.824E-02	1.755E-02
Ni		8.238E-03		7.694E-04	7.581E-03	2.200E-03
Ga	1.819E-03					
U235						
U238						
Pu238	1.640E-06					
Pu239	3.008E-02					
Pu240	1.455E-03					
Pu241	7.899E-05					
Pu242	3.160E-06					

Table AII.8 ペレット数密度保存モデルに使用した寸法及び数密度
(MOX燃料領域)

(UNIT:10²⁴/cm³)

Material	Pu	SUS clad (2 pieces)	Depleted UO ₂	green Na	wrapper tube (plate model)
Height (mm)	2.44	0.4	9.55	10	17.21
H			1.468E-05	1.928E-05	
C		4.236E-04	9.052E-04	3.914E-05	1.036E-04
B10					
B11					
O			3.786E-02		
Na				2.137E-02	
Al		1.614E-03	5.969E-03	1.489E-04	4.438E-04
Si					3.842E-04
Ti		6.573E-04		6.075E-05	1.814E-04
Cr		1.762E-02		1.629E-03	5.211E-03
Mn		1.387E-03		1.285E-04	2.146E-04
Fe		6.326E-02	3.326E-04	5.841E-03	1.755E-02
Ni		8.238E-03		7.605E-04	2.200E-03
Ga	1.819E-03				
U235			7.951E-05		
U238			1.884E-02		
Pu238	1.640E-06				
Pu239	3.008E-02				
Pu240	1.455E-03				
Pu241	7.899E-05				
Pu242	3.160E-06				

Table AII.9 ペレット数密度保存モデルに使用した寸法及び数密度
(UO₂燃料領域)(UNIT:10²⁴/cm³)

Material	U235	SUS clad (2 pieces)	Al203	green' Na	Depleted UO2	wrapper tube & steel specimen (plate model)
Height (mm)	5.05	0.3	5.73	10	9.55	17.54
H				1.928E-05	1.468E-05	
C		5.520E-04		3.914E-05	9.052E-04	1.323E-04
B10						
B11						
O			6.564E-02		3.786E-02	
Na				2.137E-02		
Al		1.730E-03	4.376E-02	1.489E-04	5.969E-03	5.670E-04
Si						4.906E-04
Ti		9.219E-04	4.648E-05	6.075E-05		2.316E-04
Cr		1.911E-02		1.629E-03		6.651E-03
Mn		2.211E-03		1.285E-04		2.739E-04
Fe		7.293E-02	4.027E-05	5.841E-03	3.326E-04	2.240E-02
Ni		9.408E-03		7.605E-04		2.808E-03
Ga						
U235	1.604E-02				7.951E-05	
U238	2.797E-02				1.884E-02	
Pu238						
Pu239						
Pu240						
Pu241						
Pu242						

Al 29.850 29.850 1.0 <hr/> Na/B4C 14.970 14.970 1.0 <hr/> Na 29.700 29.700 1.0 <hr/> Fuel 88.015 88.015 1.0 <hr/> dep. UO2 33.425 33.425 1.0 <hr/> Support 77.500 77.500 1.0	Al 29.850 29.850 1.0 <hr/> Na/B4C 14.970 14.970 1.0 <hr/> Na 29.700 29.700 1.0 <hr/> Fuel 86.944 88.015 0.98783 <hr/> dep. UO2 33.425 33.425 1.0 <hr/> Support 77.500 77.500 1.0	Al 29.850 29.850 1.0 <hr/> Na/B4C ** 15.020 14.970 1.00334 <hr/> Na * 30.000 29.700 1.01010 <hr/> Fuel 87.384 88.015 0.99283 <hr/> dep. UO2 33.425 33.425 1.0 <hr/> Support 77.500 77.500 1.0	Al 0 16.170 1.0 <hr/> dep. UO2 28.650 28.650 1.0 <hr/> Na * 30.000 29.700 1.01010 <hr/> Fuel 89.096 88.015 1.01228 <hr/> dep. UO2 33.425 33.425 1.0 <hr/> Support 77.500 77.500 1.0	Al 29.850 37.450 1.0 <hr/> B4C 35.07 35.07 1.0 <hr/> Na 122.825 to 125.00 123.440 1.0 <hr/> Support 77.500 77.500 1.0	dep. UO2 267.400 273.460 1.0
---	---	--	---	---	---------------------------------------

Pu fuel

LEZ fuel,
'laser' Na

LEZ fuel,
'green' Na

MEZ fuel

control rod

radial
blanket

experiment height

* replace 'green' Na with 'laser' Na, then add 'H' isotope (n.d. 1.204×10^{-5})

model height

** replace 'green' Na with 'laser' Na (i.e. use the equivalent Pu S/A region)

N. D. multiplier

Figure AII.1 Height and density adjustments by axial zones

付録 III 炉定数調整前後での断面積調整量

付録 III 炉定数調整前後での断面積調整量

本報告書の第 6 章に記載した炉定数調整計算を行った場合の断面積調整量を示すグラフをまとめた。図中、“82 核特性”が JUPITER82 核特性で調整した炉定数、“90 核特性”が JUPITER82 核特性に BFS-58-1-I1 炉心の 8 核特性を加えて調整した場合の断面積調整量を示している。

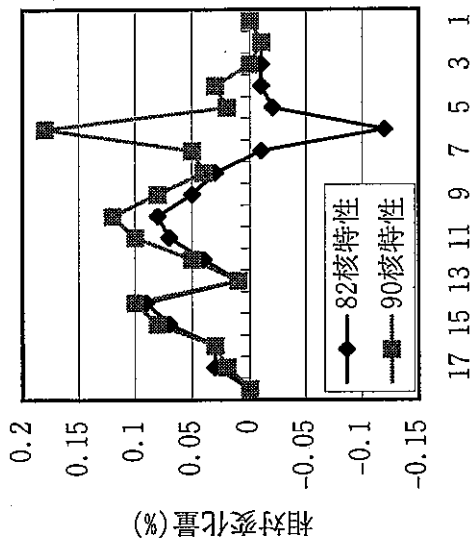


Fig. AIII.3 酸素弾性散乱断面積調整量

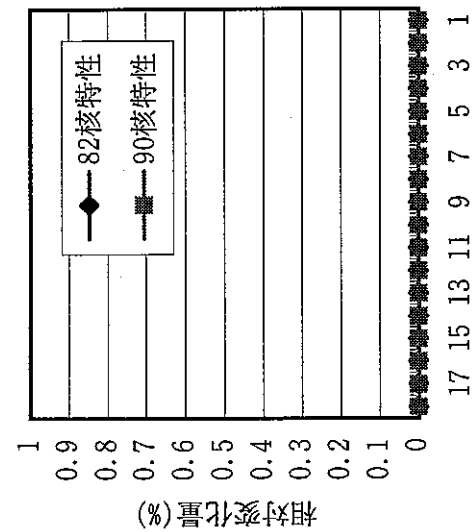


Fig. AIII.2 炭素捕獲断面積調整量

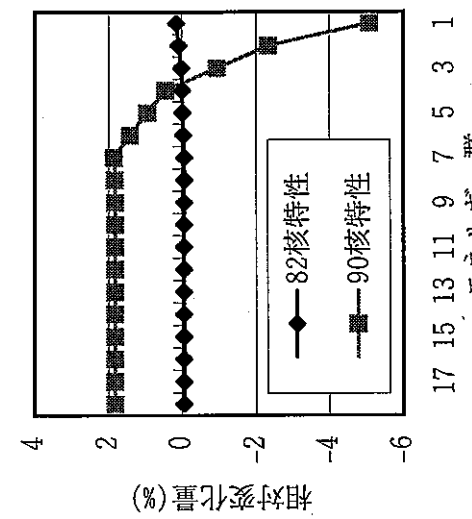


Fig. AIII.1 Pu-239核分裂スペクトル調整量

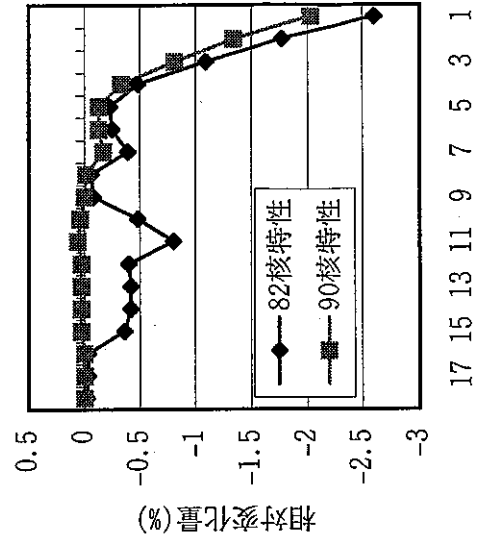


Fig. AIII.6 Na捕獲断面積調整量

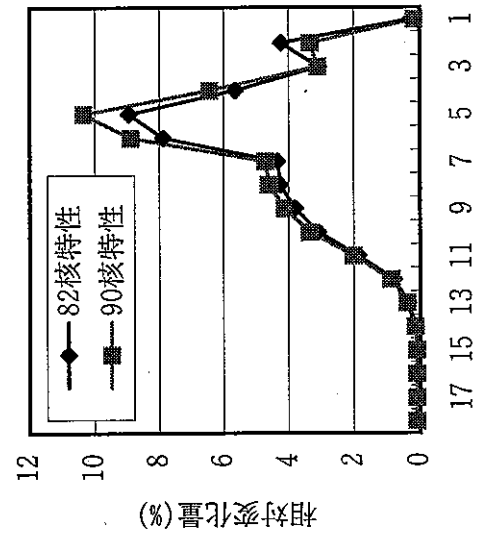


Fig. AIII.5 酸素μ断面積調整量

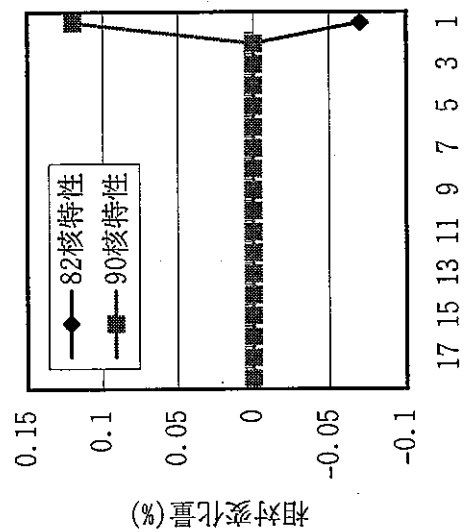


Fig. AIII.4 酸素非弾性散乱断面積調整量

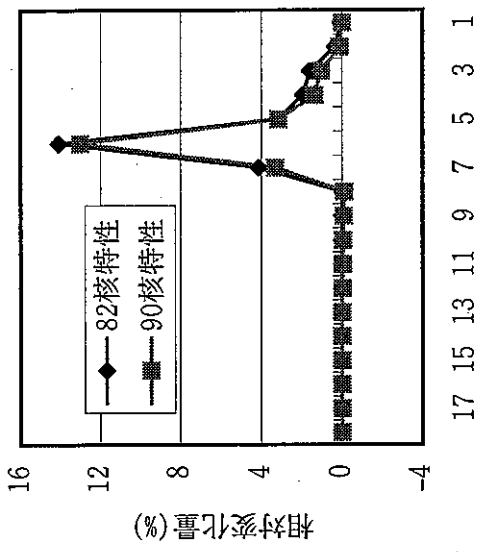


Fig. AIII.9 エネルギー群 Na μ 断面積調整量

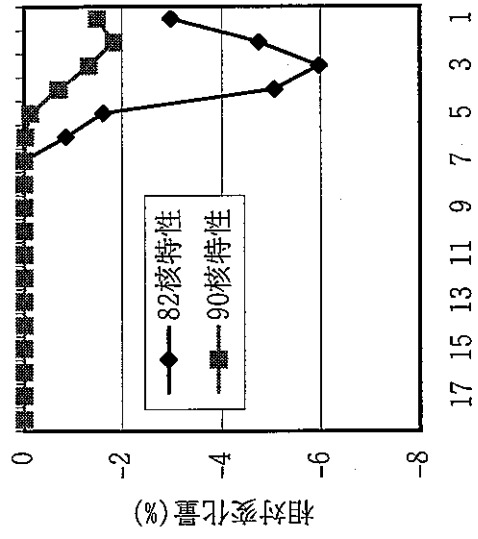


Fig. AIII.8 エネルギー群 Na非弾性散乱断面積調整量

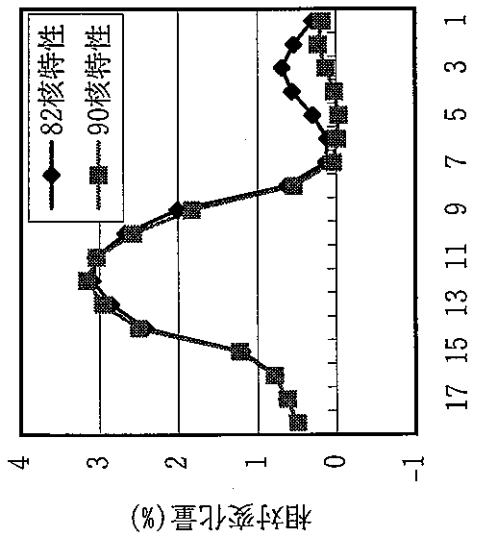


Fig. AIII.7 エネルギー群 Na弾性散乱断面積調整量

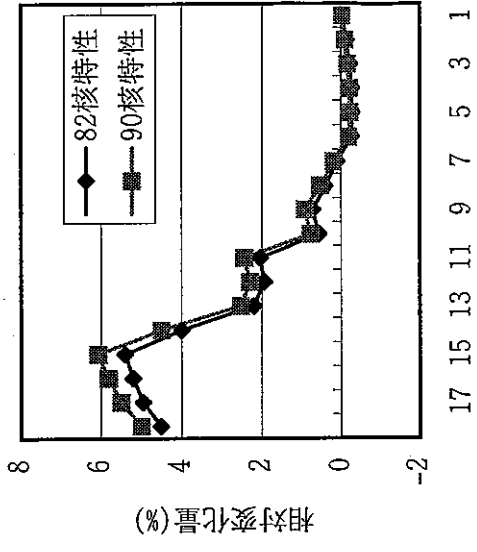


Fig. AIII.12 エネルギー群 Fe弾性散乱断面積調整量

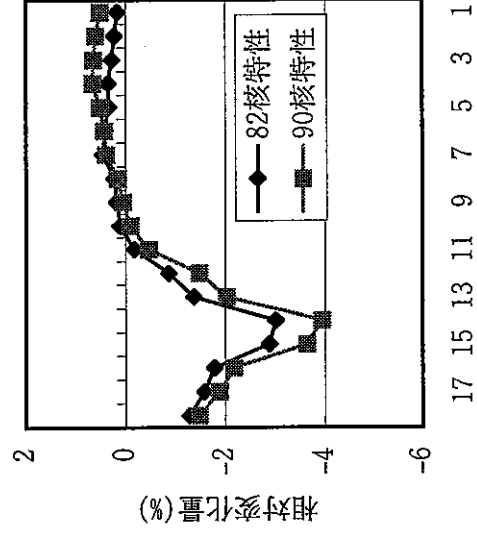


Fig. AIII.11 エネルギー群 Fe捕獲断面積調整量

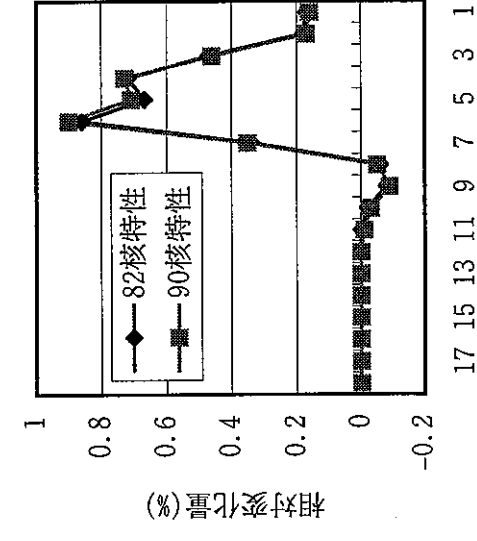


Fig. AIII.10 エネルギー群 Cr μ 断面積調整量

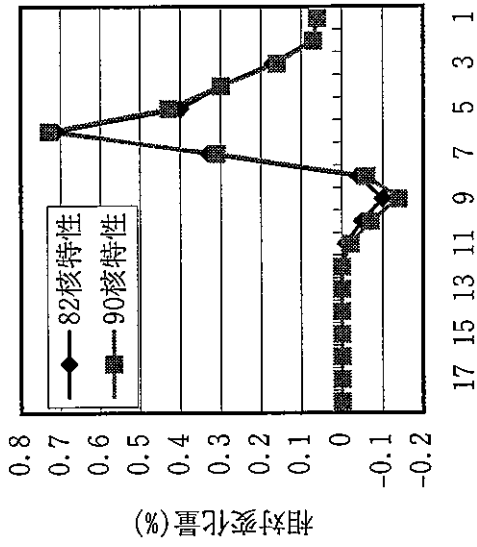


Fig. AIII.13 Fe非弾性散乱断面積調整量
エネルギー群

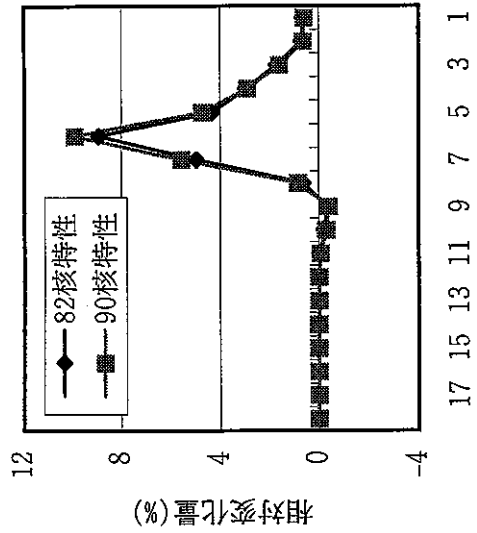


Fig. AIII.14 Fe μ 断面積調整量
エネルギー群

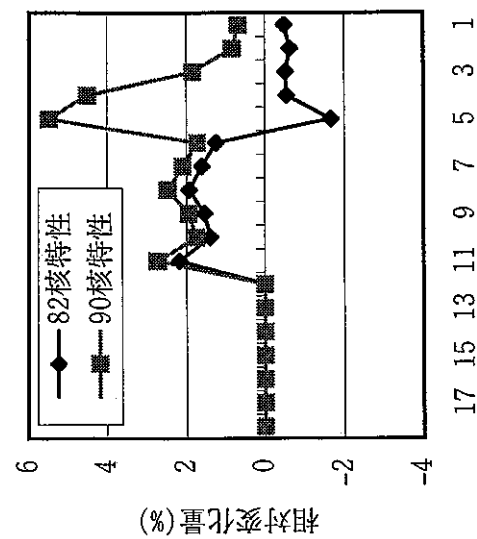


Fig. AIII.15 Ni μ 断面積調整量
エネルギー群

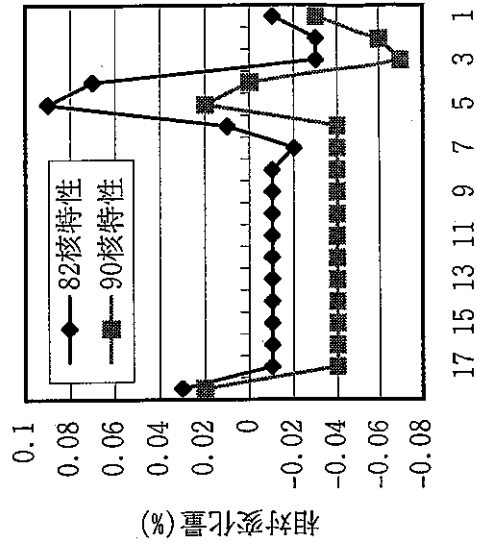


Fig. AIII.16 U-235捕獲断面積調整量
エネルギー群

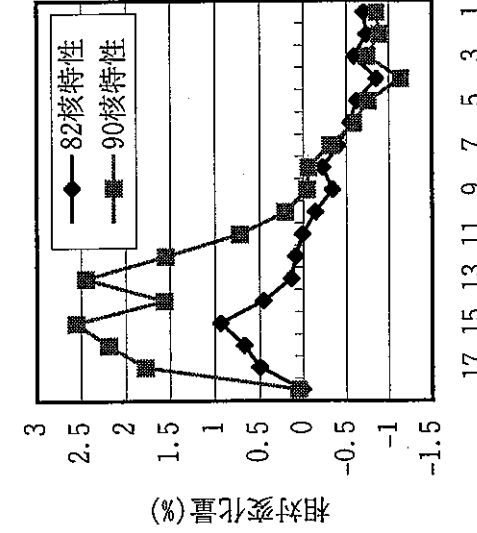


Fig. AIII.17 U-235核分裂断面積調整量
エネルギー群

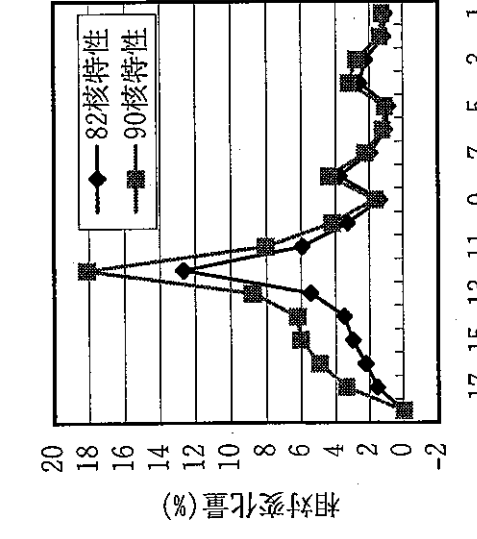


Fig. AIII.18 U-235 μ 断面積調整量
エネルギー群

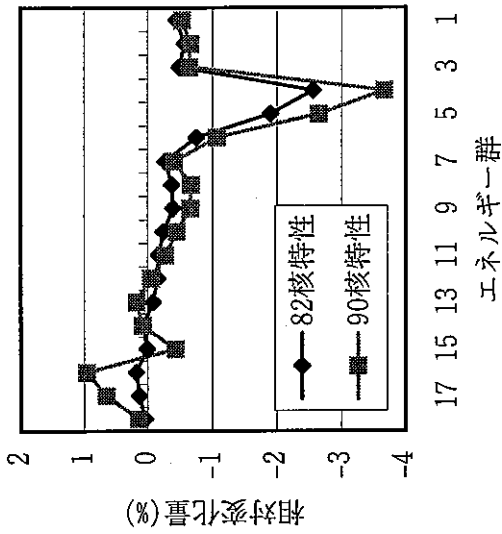


Fig. AIII.19 U-235非弾性散乱断面積調整量

エネルギー群

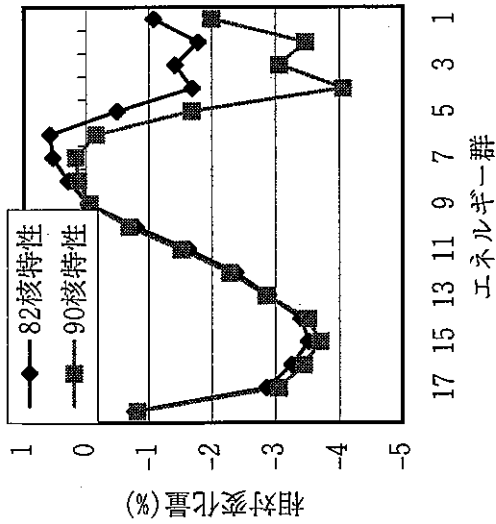


Fig. AIII.20 U-238捕獲断面積調整量

エネルギー群

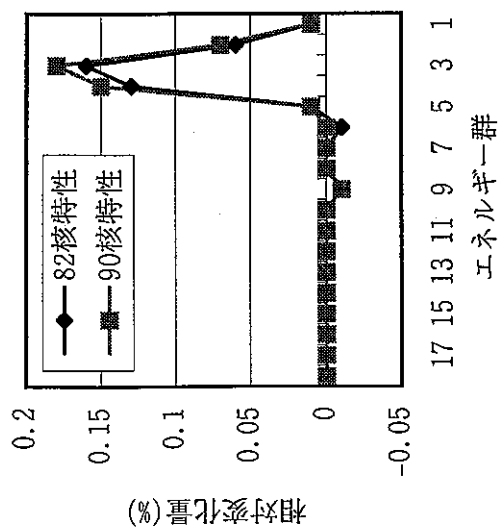


Fig. AIII.21 U-238核分裂断面積調整量

エネルギー群

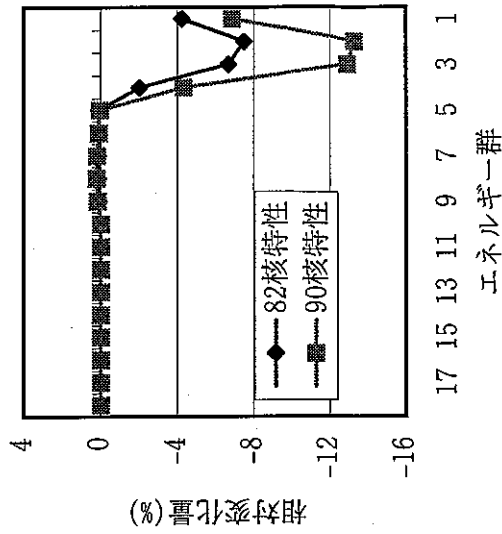


Fig. AIII.22 U-238 ν 断面積調整量

エネルギー群

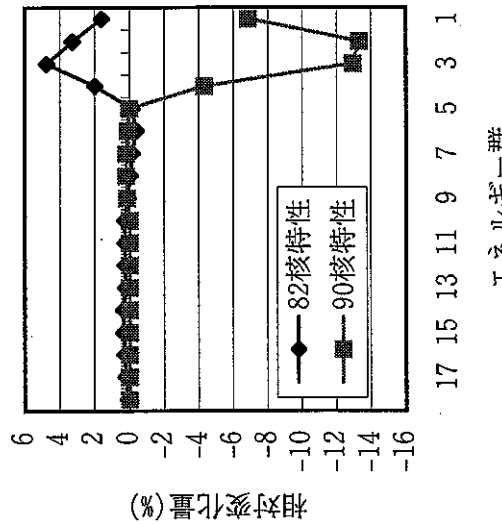


Fig. AIII.23 U-238弾性散乱断面積調整量

エネルギー群

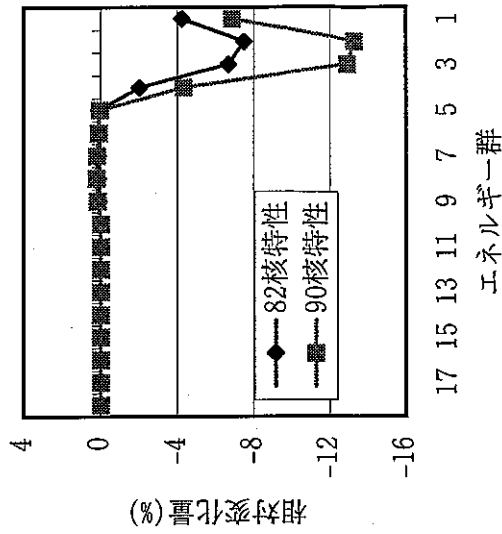


Fig. AIII.24 U-238非弾性散乱断面積調整量

エネルギー群

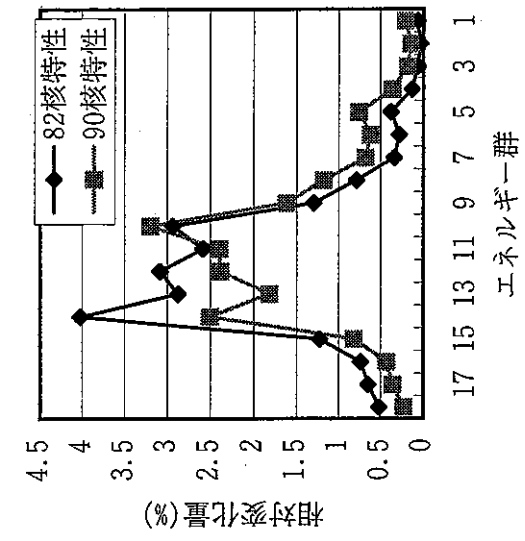


Fig. AIII.27 Pu-239核分裂断面積調整量

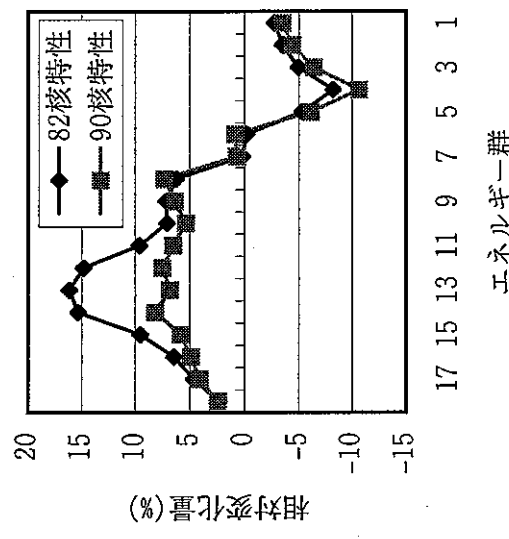


Fig. AIII.26 Pu-239捕獲断面積調整量

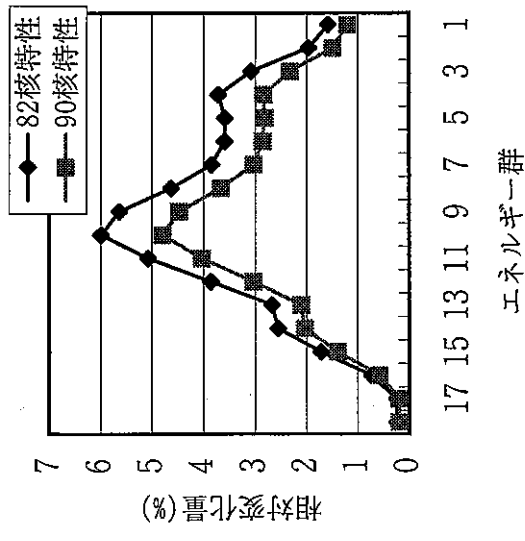


Fig. AIII.25 U-238 μ 断面積調整量

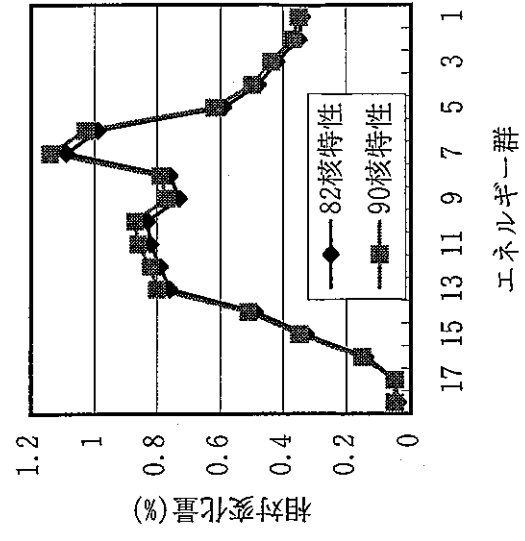


Fig. AIII.30 Pu-239 μ 断面積調整量

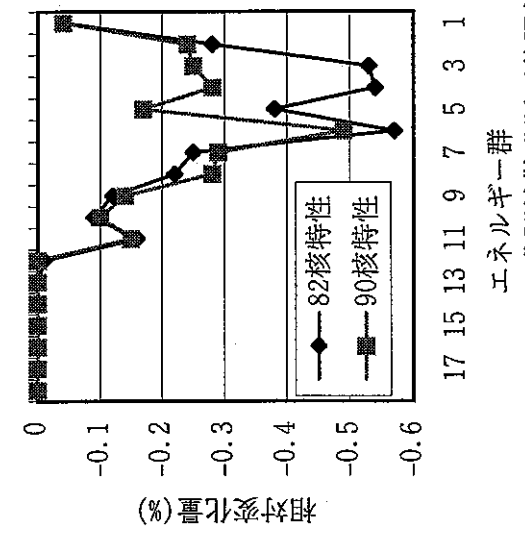


Fig. AIII.29 Pu-239非弾性散乱断面積調整量

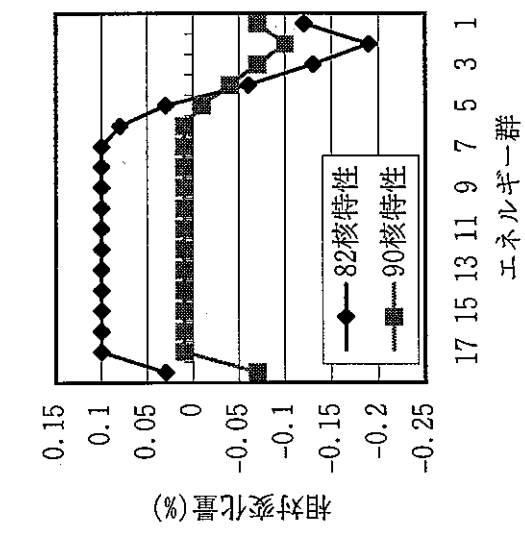


Fig. AIII.28 Pu-239 ν 断面積調整量

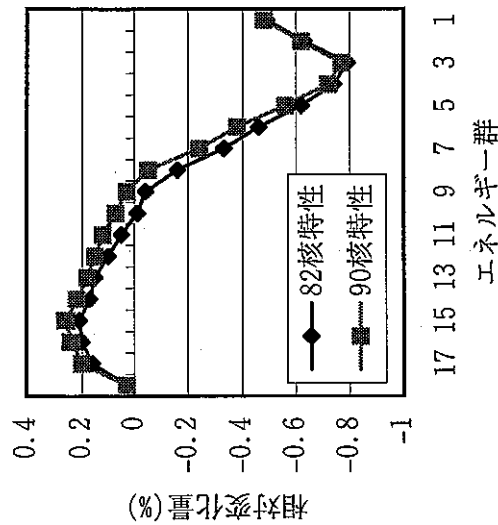


Fig. AIII.31 Pu-240捕獲断面積調整量 エネルギー群

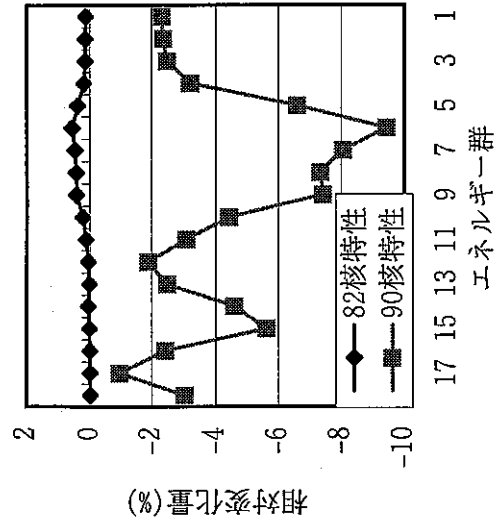


Fig. AIII.32 Pu-240核分裂断面積調整量 エネルギー群

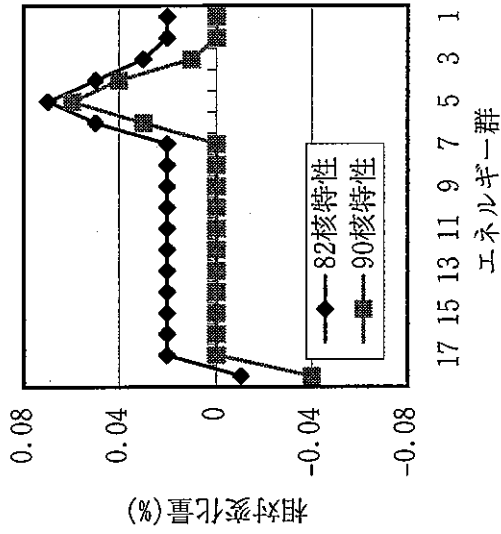


Fig. AIII.33 Pu-240ν断面積調整量 エネルギー群

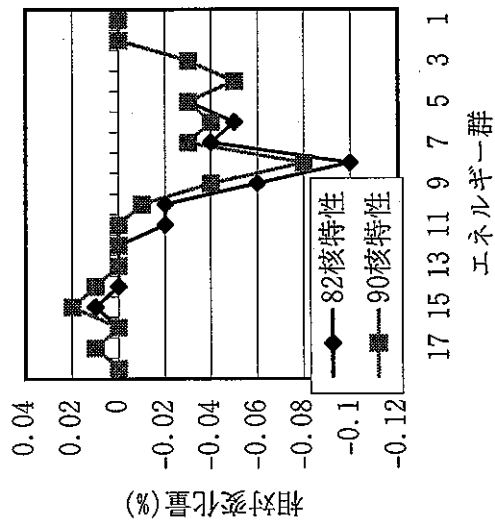


Fig. AIII.34 Pu-241捕獲断面積調整量 エネルギー群

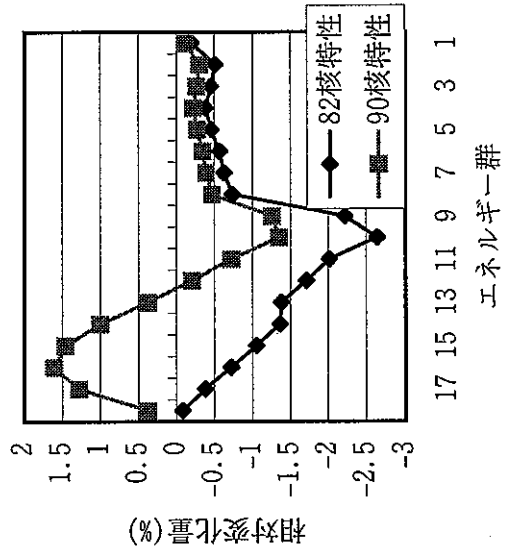


Fig. AIII.35 Pu-241核分裂断面積調整量 エネルギー群

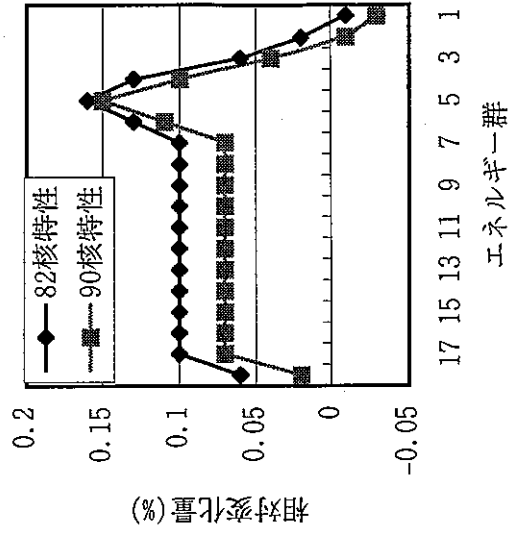


Fig. AIII.36 Pu-241ν断面積調整量 エネルギー群

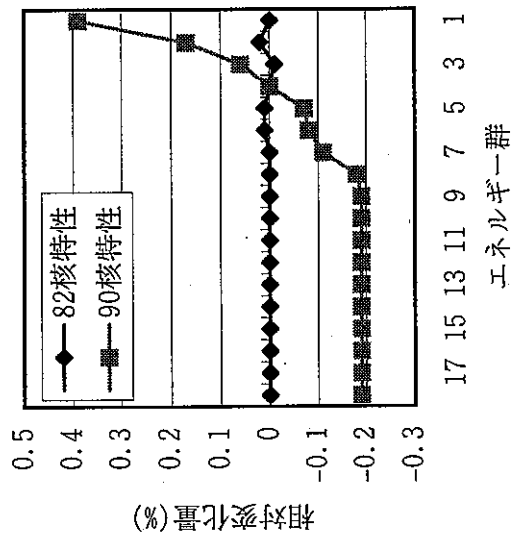


Fig. AIII.37 U-235核分裂スペクトル調整量