

「常陽」MK-Ⅲ性能試験炉心の過剰反応度解析

(研究報告書)

2003年10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村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課
電話：029-282-1122 (代表)
ファックス：029-282-7980
電子メール：jserv@jnc.go.jp

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)
2003

「常陽」MK-III性能試験炉心の過剰反応度解析

(研究報告書)

前田 茂貴*1、横山 賢治*2、沼田 一幸*3

要 旨

高速実験炉「常陽」は、高速中性子照射炉としての照射性能を向上させ、照射試験ニーズの多様化に対応するための高度化計画（MK-III計画）を進めている。これに伴う炉心改造では、Pu 富化度の異なる燃料を用いて炉心を2領域化するとともに、径方向は炉心領域を拡大し、燃料スタック長を5cm短くした。また、炉心第9、10列のステンレス鋼反射体を炭化ホウ素の遮へい集合体に置換した。MK-III性能試験用の炉心構成においては、移行炉心運転期間の燃料交換で使用済みのMK-II燃料と順次交換された20体のMK-III外側燃料が装荷されており、また、炉中心に材料照射用反射体を4体装荷している。

このMK-III性能試験炉心の過剰反応度を精度良く評価するため、最新の炉定数JFS-3-J3.2Rを使用し、これまで予測に用いてきた「常陽」MK-II炉心管理コードシステムMAGIに加えて、MK-IIIの炉心管理用に新たに開発したコードシステムHESTIA、大洗工学センターのシステム技術開発部中性子工学グループで整備したJUPITER標準解析手法及びモンテカルロ計算コードを用いて過剰反応度を評価した。JUPITER標準解析手法では、基準計算となる3次元Tri-Z 70群拡散計算に、輸送、メッシュ効果、非均質効果補正を行うとともに、直近のMK-II第35サイクルをモックアップ炉心としてバイアス補正を行った。また、積分データに基づく炉定数調整が行われた統合炉定数ADJ2000Rによる解析も行った。一方、モンテカルロ法では炉心構成を詳細にモデル化し、バイアス補正を行った。解析誤差としては、竹田らの定式に基づいて、バイアス補正法を適用したケース、ADJ2000Rを用いたケースについてそれぞれ評価した。

その結果、MK-III性能試験炉心の過剰反応度は2.8~3.4% $\Delta k/kk'$ と手法によらずよく一致し、MK-III炉心管理コードシステムHESTIAの解析値は3.13% $\Delta k/kk'$ であった。また、解析誤差(1 σ)はバイアス補正法で0.1~0.2% $\Delta k/kk'$ 、炉定数調整法で0.3% $\Delta k/kk'$ となった。

*1 大洗工学センター 照射施設運転管理センター 実験炉部 技術課

*2 大洗工学センター システム技術開発部 中性子工学グループ

*3 株式会社 NESI

Analysis of Excess Reactivity of JOYO MK-III Performance Test Core

Shigetaka MAEDA*¹, Kenji YOKOYAMA*² and Kazuyuki NUMATA*³

ABSTRACT

JOYO is currently being upgraded to the high performance irradiation bed "JOYO MK-III core". The MK-III core is divided into two fuel regions with different plutonium contents. To obtain a higher neutron flux, the active core height was reduced from 55cm to 50cm. The reflector subassemblies were replaced by shielding subassemblies in the outer two rows. Twenty of the MK-III outer core fuel subassemblies in the performance test core were partially burned in the transition core. Four irradiation test rigs, which do not contain any fuel material, were loaded in the center of the performance test core.

In order to evaluate the excess reactivity of MK-III performance test core accurately, we evaluated it by applying not only the JOYO MK-II core management code system MAGI, but also the MK-III core management code system HESTIA, the JUPITER standard analysis method and the Monte Carlo method with JFS-3-J3.2R constant set. The excess reactivity evaluations obtained by the JUPITER standard analysis method were corrected to results based on transport theory with zero mesh-size in space and angle. A bias factor based on the MK-II 35th core, which sensitivity was similar to MK-III performance test core's, was also applied, except in the case where an adjusted nuclear cross-section library was used. Exact three-dimensional, pin-by-pin geometry and continuous-energy cross sections were used in the Monte Carlo calculation. The estimated error components associated with cross-sections, methods correction factors and the bias factor were combined based on Takeda's theory.

Those independently calculated values agree well and range from 2.8 to 3.4 % $\Delta k/k'$. The calculation result of the MK-III core management code system HESTIA was 3.13 % $\Delta k/k'$. The estimated errors for bias method range from 0.1 to 0.2 % $\Delta k/k'$. The error in the case using adjusted cross-section was 0.3 % $\Delta k/k'$.

*1. Reactor Technology Section, Experimental Reactor Division, Irradiation Center, O-arai Engineering Center, JNC

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

*3. NESI Inc.

目次

1.	緒言.....	1
2.	MK-III 性能試験炉心の概要.....	3
3.	過剰反応度解析.....	4
3.1	使用データ.....	5
3.2	炉心管理コードシステムによる解析.....	6
3.2.1	MK-II 炉心管理コードシステム MAGI.....	6
3.2.2	MK-III 炉心管理コードシステム HESTIA.....	6
3.2.3	結果.....	7
3.3	JUPITER 標準解析システムによる解析.....	9
3.3.1	JUPITER 標準解析手法.....	9
3.3.2	結果.....	12
3.4	モンテカルロ法による解析.....	17
3.4.1	モンテカルロコード MCNP による解析.....	17
3.4.2	結果.....	17
3.5	その他の補正.....	20
3.5.1	非均質効果.....	20
3.5.2	バイアス補正で考慮されない計算誤差.....	20
3.5.3	評価結果.....	21
3.6	各手法の解析結果.....	25
4.	解析精度評価.....	26
4.1	解析精度評価手法.....	26
4.2	感度係数.....	26
4.2.1	感度係数計算方法.....	26
4.2.2	計算結果.....	26
4.3	誤差評価.....	27
4.3.1	炉心管理コード.....	27
4.3.2	JUPITER 標準解析.....	27
4.3.3	モンテカルロ法について.....	28
4.3.4	実験誤差.....	28
4.4	解析精度評価結果.....	28
5.	結果と考察.....	30
6.	結言.....	31
	謝辞.....	32
	参考文献.....	33
	付録.....	35

表リスト

表 1-1	MK-Ⅲ炉心と MK-Ⅱ炉心の主要目の比較	1
表 3-1	解析手法の計算条件.....	4
表 3-2	移行炉心で照射された燃料の燃焼度 (MAGI 計算値)	5
表 3-3	炉心管理コード解析結果	7
表 3-4	計算時の温度設定条件	13
表 3-5	JUPITER 標準解析手法による解析結果.....	13
表 3-6	FP 核種の内訳	18
表 3-7	モンテカルロ法による計算結果	19
表 3-8	非均質効果の解析結果.....	22
表 3-9	バイアス補正で考慮されない計算誤差評価結果.....	22
表 3-10	解析結果のまとめ	25
表 4-1	解析精度の解析結果.....	29
表 5-1	過剰反応度解析結果.....	30

図リスト

図 1-1	MK-III計画の概要	2
図 2-2	性能試験炉心構成図.....	3
図 3-1	炉心管理コード解析フロー.....	8
図 3-2	JUPITER 標準解析手法	14
図 3-3	集合体の格子計算モデル	15
図 3-4	次世代炉定数の概略.....	16
図 3-5	モンテカルロ法による計算モデル.....	19
図 3-6	反射体及び制御棒の計算モデル	23
図 3-7	バイアス補正で考慮されない計算誤差評価用の炉心構成	24

1. 緒言

「常陽」では、多種多様な照射試験をより効率的に行うことを目的として、炉心の高中性子束化、照射運転時間の増大及び照射技術の高度化により、照射性能を向上させる MK-III 計画^[1-1~1-3]を進めている。MK-III 計画の全体概要を図 1-1 に、MK-III 炉心の主要目を MK-II 炉心と比較して表 1-1 に示す。

「常陽」MK-III 炉心は、Pu 富化度の異なる燃料を用いて炉心領域を 2 領域化するとともに、径方向には炉心領域を拡大し、軸方向は 55cm から 50cm に短くした。また、炉心第 9、10 列のステンレス鋼反射体を炭化ホウ素の遮へい集合体に置換した。MK-III 性能試験用の炉心構成においては、移行炉心運転期間の燃料交換で使用済みの MK-II 燃料と順次交換された 20 体の MK-III 外側燃料が装荷されており、また、炉中心に材料照射用反射体を 4 体装荷している。

従来の臨界点（ゼロ出力臨界状態での制御棒位置）予測は、炉心管理コードシステム^[1-4,1-5]の計算値に、直近の運転サイクルの計算値と測定値の差を補正し、これに加えて照射試験用集合体の装荷本数や装荷パターン等の炉心構成の違いに起因する解析誤差を別途置換反応度により補正してきた。

今回、MK-III 性能試験炉心の臨界点を精度よく予測するため、炉心管理コードシステムに加えて、中性子工学グループで整備した JUPITER 標準解析手法^[1-6]及び統合炉定数 ADJ2000R^[1-7]を適用し、モンテカルロ法による計算と合わせて過剰反応度を評価した。

本報告書の内容は以下のとおりである。第 2 章では、MK-III 性能試験炉心について述べ、第 3 章では、過剰反応度の解析手法及び結果を示し、第 4 章では、解析精度の評価を行い、第 5 章では、結果を考察し、第 6 章で全体のまとめを行う。

表 1-1 MK-III 炉心と MK-II 炉心の主要目の比較

項目		MK-III 炉心	MK-II 炉心
		(内側/外側)	
原子炉熱出力	(MWt)	140	100
最大燃料集合体数	(体)	85	67
炉心等価直径	(cm)	80	73
炉心高さ	(cm)	50	55
燃料ペレット外径	(mm)	4.63	4.63
燃料ペレット密度	(%T.D.)	94	94
²³⁵ U濃縮度	(wt%)	18	18
Pu富化度	(wt%)	23/29	~30
(²³⁹ Pu+ ²⁴¹ Pu)/(Pu+U)	(wt%)	16/21	20
被覆管外径	(mm)	5.5	5.5
集合体内ピン本数	(本)	127	127
集合体ピッチ	(cm)	8.15	8.15
最大線出力	(W/cm)	420	400
最大燃焼度(要素平均)	(GWd/t)	90	75
制御棒配置	第3列 (本)	4	6
	第5列	2	0
反射体/遮へい集合体		SUS/B ₄ C	SUS/SUS
1次冷却材流量	(t/h)	2,700	2,200
定格運転日数	(d)	60	70

下線は、MK-II 炉心から変更となる項目

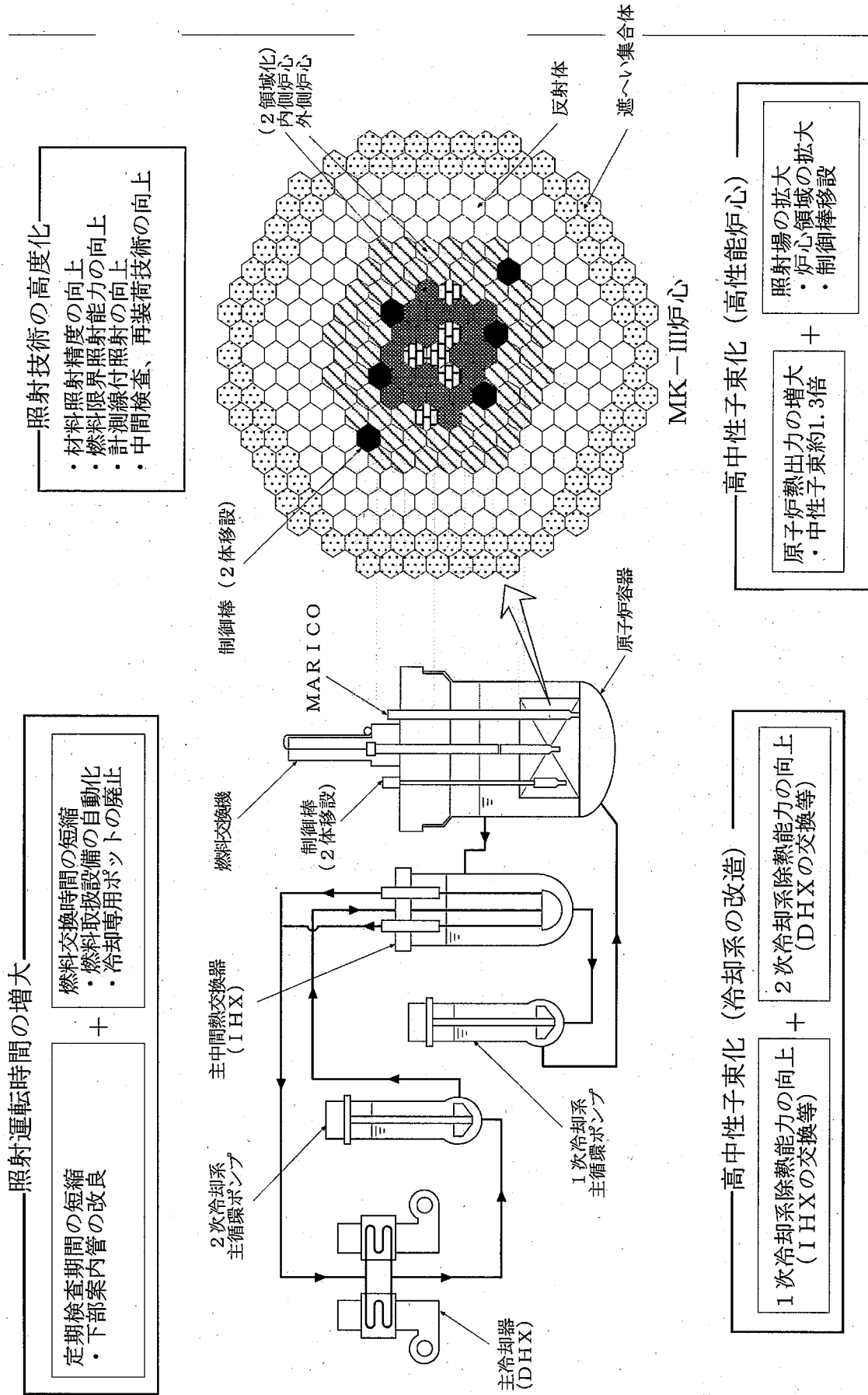


図 1-1 MK-III計画の概要

2. MK-III性能試験炉心の概要

MK-II炉心からMK-III炉心への移行方法については、現行の燃料・材料照射計画を遅らせることなく運転を継続し、移行に伴う炉心特性の変化を緩和するためMK-III燃料をMK-II炉心に段階的に装荷していった。

性能試験炉心構成を図2-1に示す。性能試験炉心の特徴として、①臨界近接による最小臨界炉心の構成は行わず、運転用の過剰反応度を持った炉心を最初から構成している、②外側燃料54体のうち、20体についてはMK-III移行炉心である第32～35サイクルで、燃料領域を段階的に拡大するために装荷されて燃焼している、③第0、1列に燃料がまったく入っていない照射試験用集合体が4体装荷されていることが挙げられる。

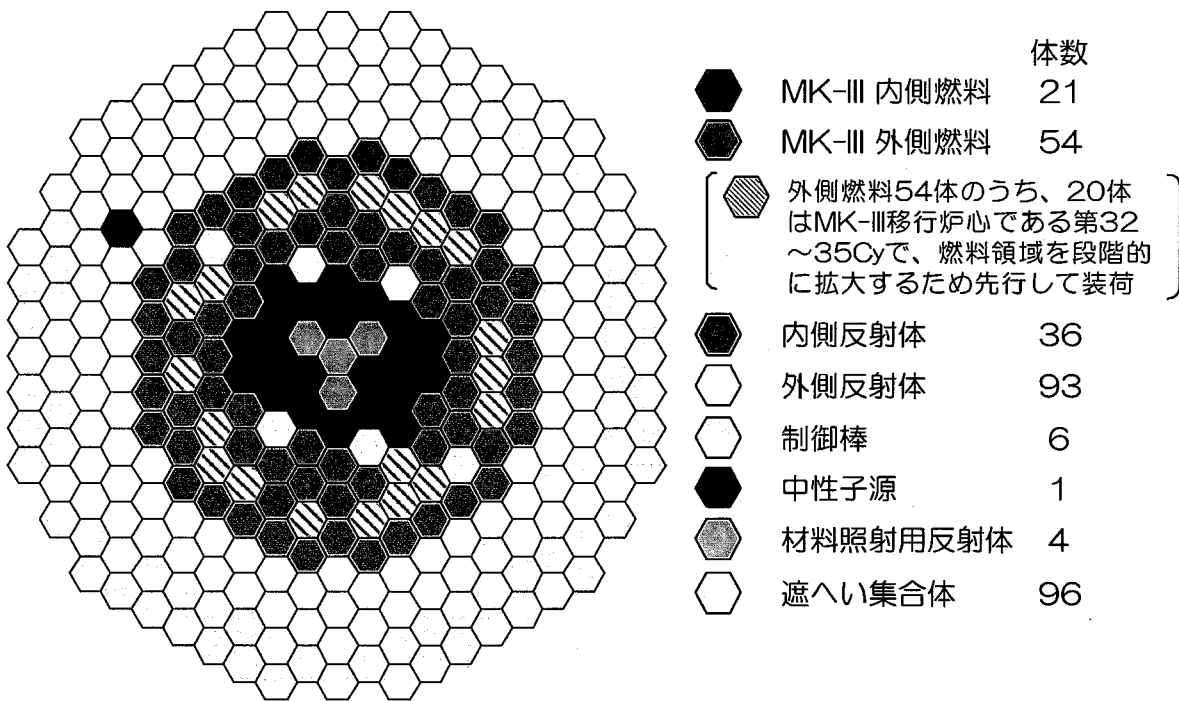


図 2-1 性能試験炉心構成図

3. 過剰反応度解析

従来から用いている過剰反応度の予測は、MAGI の計算結果に直近の運転サイクルでの実測値と計算値との差 (E-C) 補正を実施し、照射試験用集合体の装荷・脱荷については別途置換反応度の(E-C)補正を適用してきた。今回は、MK-III炉心管理コードシステムとして開発した”HESTIA”についても同様の補正をして、これを最確値とする。また、炉心管理コードに加えて JNC の標準解析手法である JUPITER 標準解析手法及びモンテカルロコード”MCNP”を適用し、解析精度評価を検証した。

各解析手法の計算条件は、温度、メッシュ、輸送効果、非均質効果、断面積の取扱、核分裂スペクトル、燃焼組成等の項目を、基準計算、補正計算及びバイアス補正にて考慮している。表 3-1 に各解析手法の計算条件を示す。炉心管理コード以外では、各手法で詳細計算に相当するように計算を行い、基本炉定数のもつ誤差及び決定論的手法が持つ計算誤差の一部をバイアス補正することとした。

表 3-1 解析手法の計算条件

	MAGI (JFS-3-J3.2R) +バイアス補正	HESTIA (JFS-3-J3.2R) +バイアス補正	JUPITER 標準解析手法 (JFS-3-J3.2R) +バイアス補正	JUPITER 標準解析手法 (ADJ-2000R)	MCNP (JENDL-3.2) +バイアス補正
温度	250℃ (E-C)補正で考慮	250℃ (E-C)補正で考慮	250℃ 膨張は補正で考慮	250℃ 膨張は補正で考慮	250℃
メッシュ効果	(E-C)補正	(E-C)補正	補正	補正	詳細メッシュ化
輸送効果	(E-C)補正	(E-C)補正	補正	補正	近似なし
非均質効果	均質	均質	2次元に補正	2次元に補正	詳細メッシュ化
断面積の取扱	基本炉定数 7群	基本炉定数 18群	基本炉定数 連続エネルギー相当	統合炉定数 連続エネルギー相当	連続エネルギー
核分裂スペクトル	(Pu-239で代用) (E-C)補正	(Pu-239で代用) (E-C)補正	物質、領域依存	物質、領域依存	物質、領域依存
燃焼組成の効果	メッシュ単位	メッシュ単位	メッシュ単位を 補正計算で考慮	メッシュ単位を 補正計算で考慮	MAGIの メッシュ単位
その他	E-Cで考慮でき ない効果を補正	E-Cで考慮でき ない効果を補正	E-Cで考慮できない 効果を補正	決定論的手法の持つ 計算誤差を考慮	なしと仮定
断面積の誤差	(E-C)補正	(E-C)補正	(E-C)補正	炉定数調整で考慮	(E-C)補正

: 基準計算内で考慮
 : 補正計算により考慮
 : E-C補正の中で考慮

3.1 使用データ

本解析評価に用いたデータについて述べる。新燃料の組成については東海事業所プルトニウム燃料センターでの製造時におけるデータを用いており、その分析精度は U,Pu 同位体の重量については測定誤差 (1σ) 0.14%、Am については約 3%となっている。このデータに基づいて計算に使用するデータを作成しており、個数密度の誤差 (1σ) についても、U,Pu の同位体が 0.14%、Am が約 3%である。MK-III 移行炉心期間中から装荷した MK-III 外側炉心燃料集合体 20 体については HESTIA での解析以外は MK-II 炉心管理コードシステム MAGI による燃焼計算結果を用いた。燃焼度を表 3-2 に示す。これら 20 体の燃焼度の平均は 16,000MWd/t、最大は第 4 列で最大 4 サイクル照射された 31,000MWd/t である。最小は第 5 列で 1 サイクルのみ照射された 5,000MWd/t となっている。この燃焼計算結果については照射後試験 (PIE) との比較により ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu については 1%以内、 ^{241}Pu については 4%以内で一致していることを確認している。HESTIA については、MK-II 性能試験炉心から連続計算を行い、引き続きその組成を使用した。HESTIA の燃焼計算結果については、MK-II 炉心解析での検証から、MAGI と ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu は 1%以内、 ^{241}Pu については 4%以内で一致していることを確認している。また、燃料製造日 (分析日) または照射終了から初臨界日までの ^{241}Pu の崩壊も考慮している。

解析対象炉心としては MK-III 性能試験炉心の他に、バイアス補正法のために MK-II 性能試験炉心及び直近の運転サイクルである MK-II 第 35 サイクル (移行炉心第 4 サイクル) 炉心の解析も行った。MK-II 性能試験炉心を選定したのは、すべての燃料が新燃料で燃料組成に燃焼計算の誤差がないことと、第 1 列以外に照射試験用集合体が装荷されておらず、炉心の大きさは違うが、構成が類似しているからである。MK-II 第 35 サイクル炉心を選定した理由は、炉心を段階的に拡大し、炉心の大きさ (燃料集合体の装荷体数) がほぼ等しいためである。付録 A に MK-II 性能試験炉心 MK-II 第 35 サイクル炉心の炉心構成図を示す。

表 3-2 移行炉心で照射された燃料の燃焼度 (MAGI 計算値)

	集合体平均燃焼度 (MWd/t)
平均	16,000
最大	31,000
最小	5,000

3.2 炉心管理コードシステムによる解析

3.2.1 MK-II 炉心管理コードシステム MAGI^[1-4]

MAGI は MK-II 炉心の炉心管理及び運転計画策定のために開発し、運用整備してきたコードで、実効増倍率、中性子束及び γ 線束分布、出力分布、燃焼度、各種反応度係数、炉内冷却材流量配分及び各集合体の熱流力解析を行う総合炉心核特性計算コードシステムである。MAGI は JFS-3-J3.2R 炉定数セット^[3-2]を用いて 70 群の実効断面積を作成し、これを 2 次元 RZ 体系で中性子 7 群、 γ 線 3 群に縮約し、各運転サイクルの炉心構成と運転履歴の実績に基づいた 3 次元 Hex-Z 体系で拡散計算を行っている。図 3-1 に MAGI 及び後述する HESTIA の解析フローを示す。拡散計算のモデルは、X-Y 平面は、集合体ピッチ (8.15cm) を対辺間距離とする 331 の六角格子 (炉心を構成する集合体数は計 313 体) に分割し、軸方向には、炉心部とその上下の反射体部を含む 140cm の計算範囲を、第 31 サイクルまでは 20 メッシュに分割 (燃料部は、各メッシュ 5cm で 11 等分割) している。また、MK-III 移行炉心である第 32 サイクル以降は、燃料ペレットスタック長さが 5cm 短い MK-III 外側炉心燃料集合体が装荷される。これに対応するため、炉心部最上端と最下端、上部インシュレータ及び下部インシュレータの計 4 ヶ所をそれぞれ更に 2 分割して各メッシュ 2.5cm とし、軸方向を 24 メッシュに分割している。燃焼計算は ORIGEN2^[3-3]と同様の行列指数法を用いており、運転サイクル終了後に、当該運転期間中の出力履歴、制御棒挿入位置等の実績記録データに基づいてメッシュごとに燃焼させている。なお、MAGI の計算条件のうち炉心サイズ及び原子数密度は 300K (室温) として計算し、熱膨張補正については (E-C) 補正に含めている。ただし、ナトリウムについては 643.15K (370°C) である。また、実効断面積の作成は 300K (室温) として計算し、ドップラ反応度の補正についても (E-C) 補正に含めている。

従来から過剰反応度予測はこの MAGI 計算結果に対して、直近の運転サイクルでの実測値と計算値との差 (E-C) の補正を実施し、照射試験用集合体の装荷・脱荷についても置換反応度の (E-C) 補正を別途実施することで予測してきた。この予測の実績は約 0.2% $\Delta k/k'$ 以内とよい一致を示している。

3.2.2 MK-III 炉心管理コードシステム HESTIA^[1-5]

HESTIA は MK-III 炉心における炉心管理及び照射条件評価を高精度で行うために開発したコードである。HESTIA は、JFS-3-J3.2R 炉定数セットを用いて 70 群の実効断面積を作成し、これを 2 次元 RZ 体系で中性子 18 群、 γ 線 7 群に縮約し、各運転サイクルの炉心構成と運転履歴の実績に基づいた 3 次元 Tri-Z 体系 (集合体当たり 24 メッシュ) で拡散計算を行い、運転サイクル初期及び末期の中性子束分布及び γ 線束分布を求め、主要な核特性を計算している。燃料部の軸方向メッシュ幅は、2.5cm である。エネルギー及び空間メッシュの詳細化により、MAGI では十分模擬できなかったステンレス鋼製反射体と隣接した炉心燃料集合体内での中性子束の空間分布及びスペクトル変化を詳細に計算でき、反射体

に隣接した炉心燃料集合体内の出力分布の計算精度が向上している。燃焼計算は ORIGEN2 と同様の行列指数法を用いており、運転サイクル終了後に、当該運転期間中の出力履歴、制御棒挿入位置等の実績記録データに基づいて Hex-Z 体系で燃焼させている。核計算の際の炉心サイズ及び原子数密度の取扱は MAGI と同様である。

HESTIA の妥当性は MK-II 炉心の記録計算結果を MAGI と比較することによって確認し、過剰反応度についてはエネルギー群縮約効果及びメッシュ効果を考慮すると約 0.01% $\Delta k/kk'$ 以内で、最大中性子束及び炉心平均燃焼度は約 3% 以内で一致することを確認している。

3.2.3 結果

表 3-3 にゼロ出力 250°C 等温状態での MAGI 及び HESTIA による過剰反応度の解析結果を示す。ここで、MK-II 炉心の性能試験、第 35 サイクルの解析結果はバイアス補正のためのものである。

MAGI では MK-III 性能試験炉心の過剰反応度は 2.274% $\Delta k/kk'$ となった。MK-II 炉心性能試験及び第 35 サイクルはそれぞれ、2.111、3.358% $\Delta k/kk'$ となり、E-C はそれぞれ 0.819、0.688% $\Delta k/kk'$ となった。HESTIA では MK-III 性能試験炉心の過剰反応度は 0.913% $\Delta k/kk'$ となった。MK-II 炉心性能試験及び第 35 サイクルはそれぞれ 0.684、2.161% $\Delta k/kk'$ となり E-C はそれぞれ 2.246、1.885% $\Delta k/kk'$ となった。

MAGI 及び HESTIA では輸送補正等の補正を行っておらず、(E-C)補正に含めているため、(E-C)値が大きい結果となっている。ただし、MAGI ではエネルギー群縮約効果及びメッシュ補正も(E-C)補正に含めているため、HESTIA に対して見かけ上(E-C)補正量が小さくなっている。

表 3-3 炉心管理コード解析結果

MK-II性能試験		MAGI	HESTIA
		JFS-3-J3.2R	JFS-3-J3.2R
基準計算	(k_{eff})	1.0216	1.0069
	(% $\Delta k/kk'$)	2.111	0.684
実験値	(% $\Delta k/kk'$)	2.930	
(E-C)値	(% $\Delta k/kk'$)	0.819	2.246

MK-II第35サイクル		MAGI	HESTIA
		JFS-3-J3.2R	JFS-3-J3.2R
基準計算	(k_{eff})	1.0347	1.0221
	(% $\Delta k/kk'$)	3.358	2.161
実験値	(% $\Delta k/kk'$)	4.046	
(E-C)値	(% $\Delta k/kk'$)	0.688	1.885

MK-III性能試験		MAGI	HESTIA
		JFS-3-J3.2R	JFS-3-J3.2R
基準計算	(k_{eff})	1.0233	1.0092
	(% $\Delta k/kk'$)	2.274	0.913

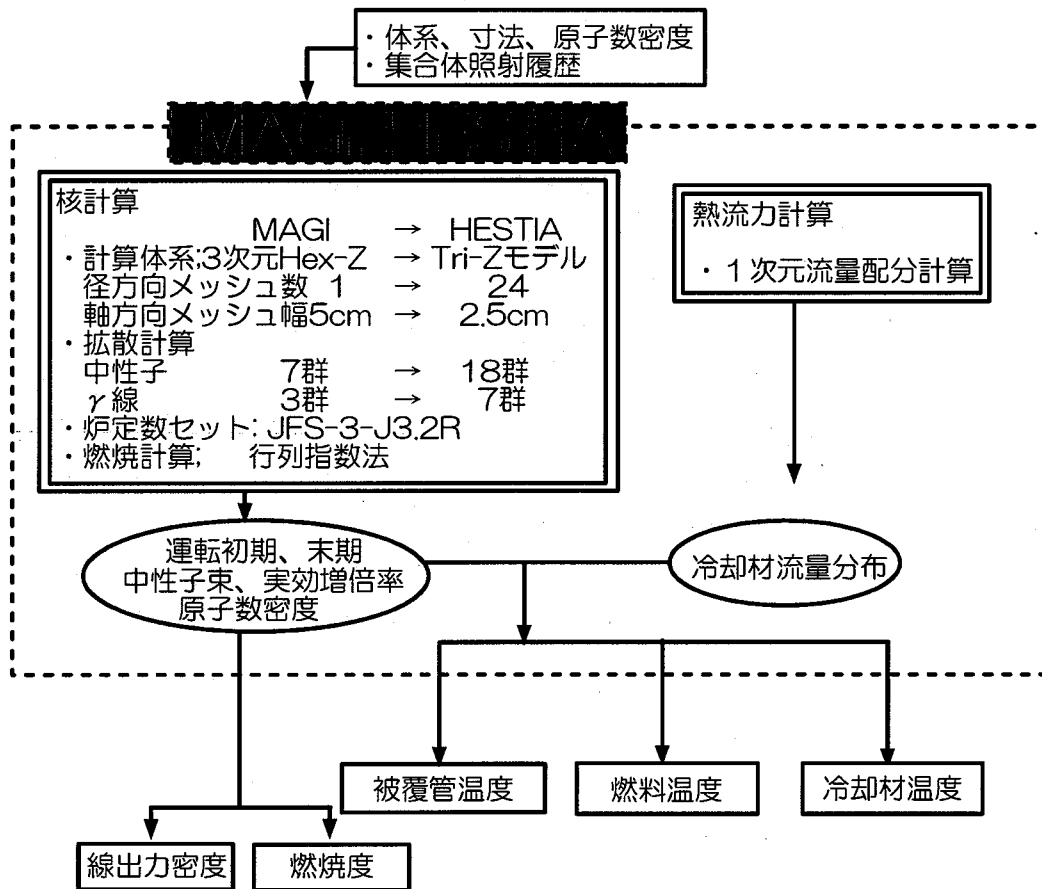


図 3-1 炉心管理コード解析フロー

3.3 JUPITER 標準解析手法による解析

3.3.1 JUPITER 標準解析手法

JUPITER 標準解析手法は、JUPITER 実験解析で確立された解析手法^[1-6]であり、核燃料サイクル開発機構の標準解析手法とされているものである。JUPITER 標準解析手法の概略を図 3-2 に示す。

なお、基準計算や輸送補正・次世代炉定数効果などの膨張補正以外の計算条件は、表 3-4 に示すように、炉心サイズ・原子数密度は 300K（室温）のものを用いて断面積作成時の温度指定は 523.15K した。ただし、ナトリウムについては 300K において固体であるため、523.15K（250℃）で原子数密度を計算している。

3.3.1.1 断面積作成手法

「常陽」は六角形状の集合体にピン形状の燃料が装填されているので、1次元プレートによりモデル化することはできない。また、燃料ピンと集合体の二重の非均質性を考慮する必要もあり、図 3-3 に示すようなリング化モデルを用いて、二重非均質性を一度に直接取り扱う手法（直接法リングモデル）^[3-4]を用いた。本手法の妥当性はモンテカルロコード MVP^[3-5]及び欧州炉物理解析システム ERANOS^[3-6]との検証により確認している。制御棒についても、ピン形状となっているため、同様にリング化モデルを用いており、制御棒の実効断面積を均質化する際には、制御棒の周りの燃料における反応率との割合を保存する方法（反応率割合保存法）^[3-4]を採用している。

なお、燃料領域及び制御棒吸収体領域の実効断面積作成は、格子計算コード CASUP^[3-7]を用いた。その他の反射体などの均質領域には SLAROM コード^[3-8,3-9]を用いた。CASUP コードでは、Tone の方法によりバックグラウンド断面積を求め、格子の非均質性を考慮している。

また、核データとしては、評価済み核データライブラリ JENDL-3.2^[3-10]に基づく 70 群の高速炉用炉定数セット JFS-3-J3.2R 及び JFS-3-J3.2R を炉定数調整した統合炉定数 ADJ2000R を用いた。

3.3.1.2 基準計算

基準計算では、燃料集合体の六角形状を模擬するため、3次元 Tri-Z 体系で計算を行う。径方向には 1 集合体あたり 6 メッシュ（正方格子で約 3cm/1 メッシュに相当）、軸方向には 2.5cm/1 メッシュとした。エネルギー群数は 70 群とし、群縮約補正は行わない。なお、拡散計算コードとしては、CITATION-FBR コード^[3-11,3-12]を用いており、Benoist の非等方拡散係数^[3-13]を適用している。

3.3.1.3 補正計算

補正計算としては、メッシュ補正、輸送補正、2次元セル補正、次世代炉定数補正、AMM

(All Master Model) 補正及び体系膨張補正の6項目を考慮した。なお、JUPITER 標準解析手法では、燃料ドロワの個体差に基づく原子数密度の差をすべて考慮するモデルを All Master Model と呼んでおり、ここでは燃焼に基づく原子数密度分布の効果を AMM 補正と呼ぶこととする。以下にそれぞれの算出方法を記す。

(1)メッシュ補正

CITATION-FBR を用いて、基準空間メッシュ (1 集合体当たり 6 メッシュ、軸方向は 2.5cm/1 メッシュ) に対して、更に、XY 方向及び Z 方向別にメッシュを 2 倍に細かくした計算 (1 集合体当たり 24 メッシュ、軸方向は 1.25cm/1 メッシュ) を行い、無限メッシュ相当に外挿する。以下に算出方法を記す。なお、メッシュ補正計算時のエネルギー群も 70 群とした。

$$\begin{aligned}k_{XY} &= (4k_{XY,D} - k_s)/3 \\k_Z &= (4k_{Z,D} - k_s)/3 \\ \Delta k_{XYZ} &= (k_{XY} - k_s) + (k_Z - k_s) \\ &= k_{XY} + k_Z - 2k_s\end{aligned}$$

ここで、

- k_{XY} : XY 方向無限メッシュ外挿時の実効増倍率
- k_Z : Z 方向無限メッシュ外挿時の実効増倍率
- k_s : 基準メッシュ計算の実効増倍率
- $k_{XY,D}$: X 方向及び Y 方向倍メッシュ計算の実効増倍率
- $k_{Z,D}$: Z 方向倍メッシュ計算の実効増倍率
- Δk_{XYZ} : 3次元メッシュ効果補正量 (Tri-Z 体系)

である。

(2) 輸送補正

TRITAC コード^[3-14]を用いた。TRITAC コードは、3次元 XYZ 体系の S_N 法に基づく輸送計算コードであるため、輸送補正のみを取り出すために、XYZ 体系でのメッシュ補正を別途算出し、その効果を除いている。

輸送補正係数は、基準空間メッシュ、 S_8 角度メッシュの 70 群計算を行い、以下の式により算出した。

$$\Delta k_{TRI} = k_{TRI} - k_{CIT} - \Delta k_{XYZ}$$

ここで、

- k_{TRI} : TRITAC コードによる 3次元 XYZ 体系輸送計算の実効増倍率
- k_{CIT} : CITATION コードによる 3次元 XYZ 体系等方拡散計算 ($D=1/3 \Sigma_{tr}$) の実効増倍率

Δk_{xyz} : 3次元メッシュ効果補正量 (XYZ 体系)

Δk_{trr} : 輸送補正量

である。

(3) 2次元セル補正

直接法 1次元リングモデルでは燃料ピンの配置までは模擬できないため、2次元格子形状を1次元リングモデルで近似する効果を別途補正した。この補正は2次元格子形状をモデル化することができる SLAROM-UF コード^[3-15]を用いて行った。

直接法 1次元リングモデルで作成した実効断面積及び、2次元モデルで作成した実効断面積を用いて炉心計算を行い、両者の差を2次元セル補正とした。炉心計算は3次元 Tri-Z 体系拡散近似モデルで行った。なお、SLAROM-UF で計算した実効断面積に関しては、炉心計算では等方拡散係数を用いている。

(4) 次世代炉定数補正

次世代炉定数システム^[3-15]では、41keV 以下のエネルギーに対して超詳細群構造炉定数を使うことで、JFS-3 形式ライブラリでは扱えない共鳴干渉効果を適切に取り扱うことが可能となる。一方、JFS-3 形式ライブラリは典型的な Na-MOX 炉心である「もんじゅ」の内側炉心の衝突密度スペクトルを重みとして、70 群エネルギー構造に縮約されている。このため、解析対象となる炉心によっては JFS-3 形式ライブラリ作成時の重み関数の影響があることが知られている。次世代炉定数システムでは、この重み関数の影響を大幅に低減することが可能な VITAMIN-J 型 175 群構造のライブラリを用いて計算を行うことが可能となる。図 3-4 に次世代炉定数効果の概略を示す。

この 175 群構造と 41keV 以下の超詳細群構造炉定数を用いたときの結果と、従来の 70 群構造を用いたときの結果の差を、次世代炉定数効果補正とする。なお、断面積作成コードは SLAROM-UF コードを使用している。

(5) AMM(All Master Model)補正

「常陽」を始め実機高速炉では、燃焼に伴う原子数密度のばらつきが集合体毎及び軸方向に存在し、特に、バイアス補正で用いる MK-II 炉心の第 35 サイクルでは比較的燃焼度が高いため、この効果が無視できない。そこで、燃料集合体を軸方向に 5cm 毎の領域に分割し、集合体毎に組成を考慮して計算を行った。

ここでは、前述のように JUPITER 標準解析手法に倣って、燃焼に基づく原子数密度分布の効果を AMM 補正と呼ぶこととする。なお、軸方向を 5cm 毎の領域とした理由は、MAGI で求められた燃焼組成を用いているためである。

(6) 膨張補正

「常陽」性能試験での実際の冷却材温度は 523.15K (250°C) である。そのため、膨張効果が無視できない。温度による断面積の変化はすでに基準計算で考慮しているため、温度による炉心サイズと原子数密度の変化のみを考慮すればよいことになる。

523.15K 時の炉心サイズは線膨張率^[3-16,3-17]を用いて算出し、その体積を元にして原子数密度を作成した。

この膨張前後の反応度差を膨張補正とする。

3.3.2 結果

MK-III 性能試験炉心と、バイアス補正法のための MK-II 炉心性能試験及び第 35 サイクルについて、高速炉用炉定数 JFS-3-J3.2R と統合炉定数 ADJ2000R を用いた JUPITER 標準解析手法による解析結果を表 3-5 に示す。

MK-III 性能試験炉心の過剰反応度は各種補正を含めて 2.533% $\Delta k/kk'$ となった。MK-II 炉心第 0 サイクル及び第 35 サイクルはそれぞれ、2.054、3.371% $\Delta k/kk'$ となり、E-C はそれぞれ 0.876、0.675 % $\Delta k/kk'$ となった。

統合炉定数 ADJ2000R を用いた場合でも、補正係数は JFS-3-J3.2R を用いた JUPITER 標準解析手法のものが使える。その結果、MK-III 性能試験炉心の過剰反応度は各種補正を含めて 2.635% $\Delta k/kk'$ となった。MK-II 炉心性能試験及び第 35 サイクルはそれぞれ、2.282、3.551% $\Delta k/kk'$ となり、E-C はそれぞれ 0.648、0.495% $\Delta k/kk'$ となり、JFS-3-J3.2R を用いたときよりも実験値に近い結果となった。

表 3-4 計算時の温度設定条件

	MVP、基準計 算、各種補正計	膨張体系計算時
断面積作成温度	523K	523K
原子数密度	300K (Naは523K)	523K
体系寸法	300K	523K

表 3-5 JUPITER 標準解析手法による解析結果
MK-II性能試験

		JUPITER標準解析手法	
		JFS-3-J3.2R	ADJ2000R
基準計算(k_{eff})		1.0061	1.0085
補正計算	メッシュ補正	-0.0026	←
	輸送補正	0.0202	←
	2次元セル補正	0.0000	←
	次世代炉定数効果	0.0004	←
	AMM補正	0.0000	←
	膨張補正	-0.0032	←
補正後 計算値	(k_{eff})	1.0210	1.0234
	(% $\Delta k/kk'$)	2.054	2.282
実験値	(% $\Delta k/kk'$)	2.930	
E-C値(% $\Delta k/kk'$)		0.876	0.648

MK-II第35サイクル

		JUPITER標準解析手法	
		JFS-3-J3.2R	ADJ2000R
基準計算(k_{eff})		1.0248	1.0267
補正計算	メッシュ補正	-0.0024	←
	輸送補正	0.0185	←
	2次元セル補正	0.0000	←
	次世代炉定数効果	0.0005	←
	AMM補正	-0.0021	←
	膨張補正	-0.0043	←
補正後 計算値	(k_{eff})	1.0349	1.0368
	(% $\Delta k/kk'$)	3.371	3.551
実験値	(% $\Delta k/kk'$)	4.046	
(E-C) 値(% $\Delta k/kk'$)		0.675	0.495

MK-III性能試験

		JUPITER標準解析手法	
		JFS-3-J3.2R	ADJ2000R
基準計算(k_{eff})		1.0116	1.0127
補正計算	メッシュ補正	-0.0031	←
	輸送補正	0.0207	←
	2次元セル補正	0.0009	←
	次世代炉定数効果	0.0004	←
	AMM補正	0.0001	←
	膨張補正	-0.0046	←
補正後 計算値	(k_{eff})	1.0260	1.0271
	(% $\Delta k/kk'$)	2.533	2.635

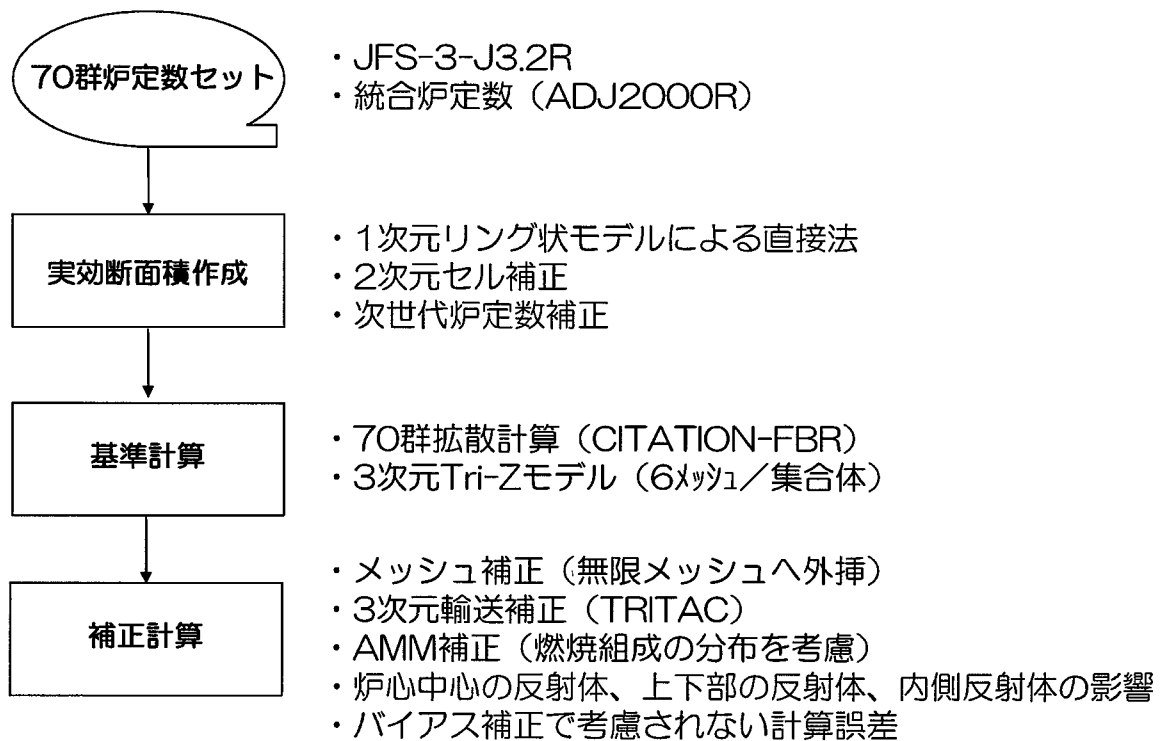
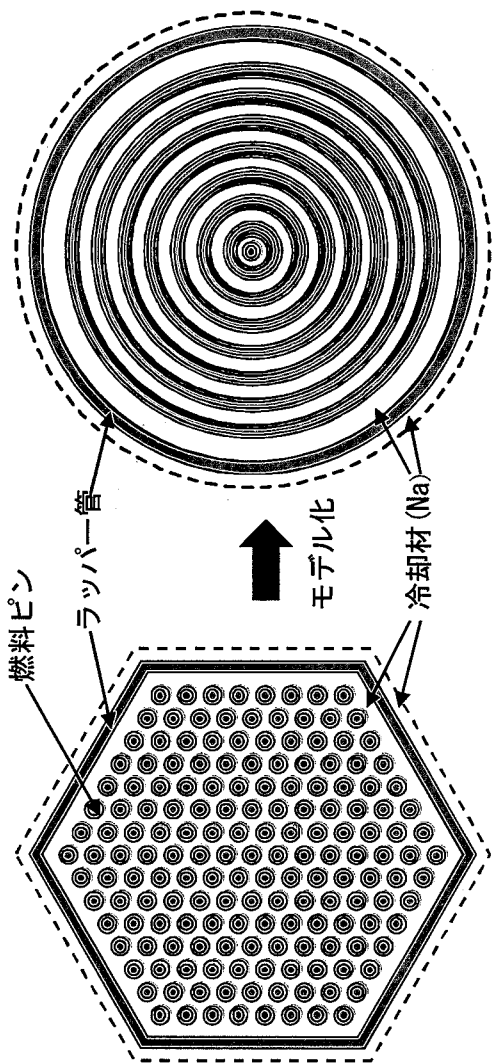


図 3-2 JUPITER 標準解析手法

燃料集合体の格子計算モデル



制御棒の均質化モデル

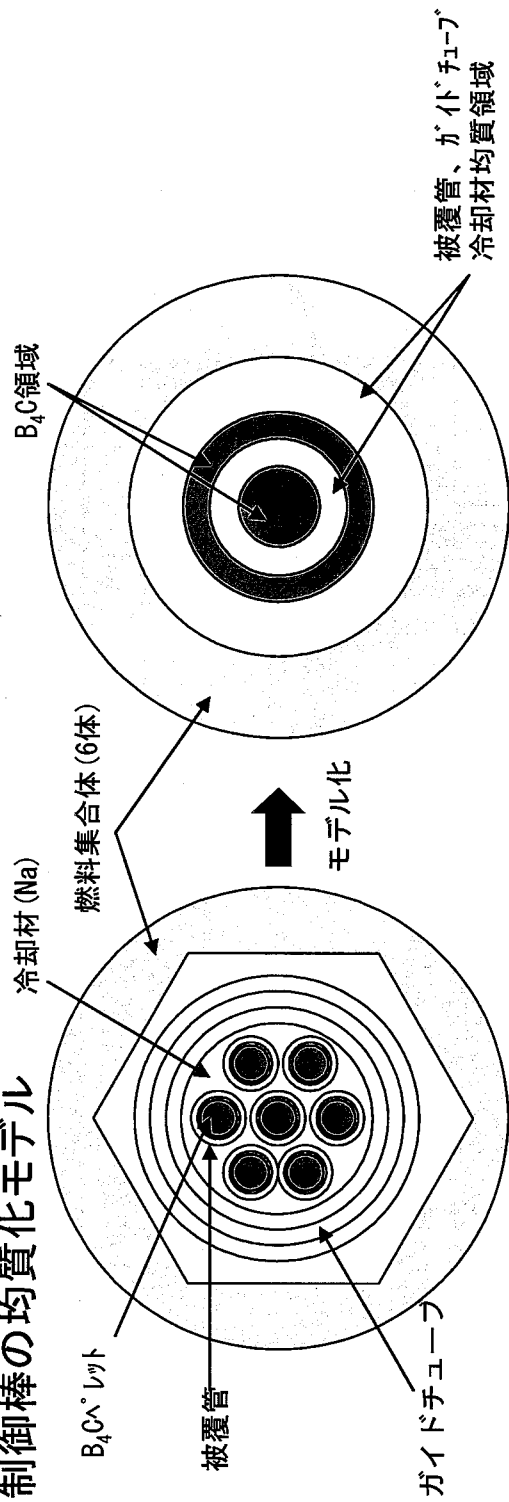


図 3-3 集合体の格子計算モデル

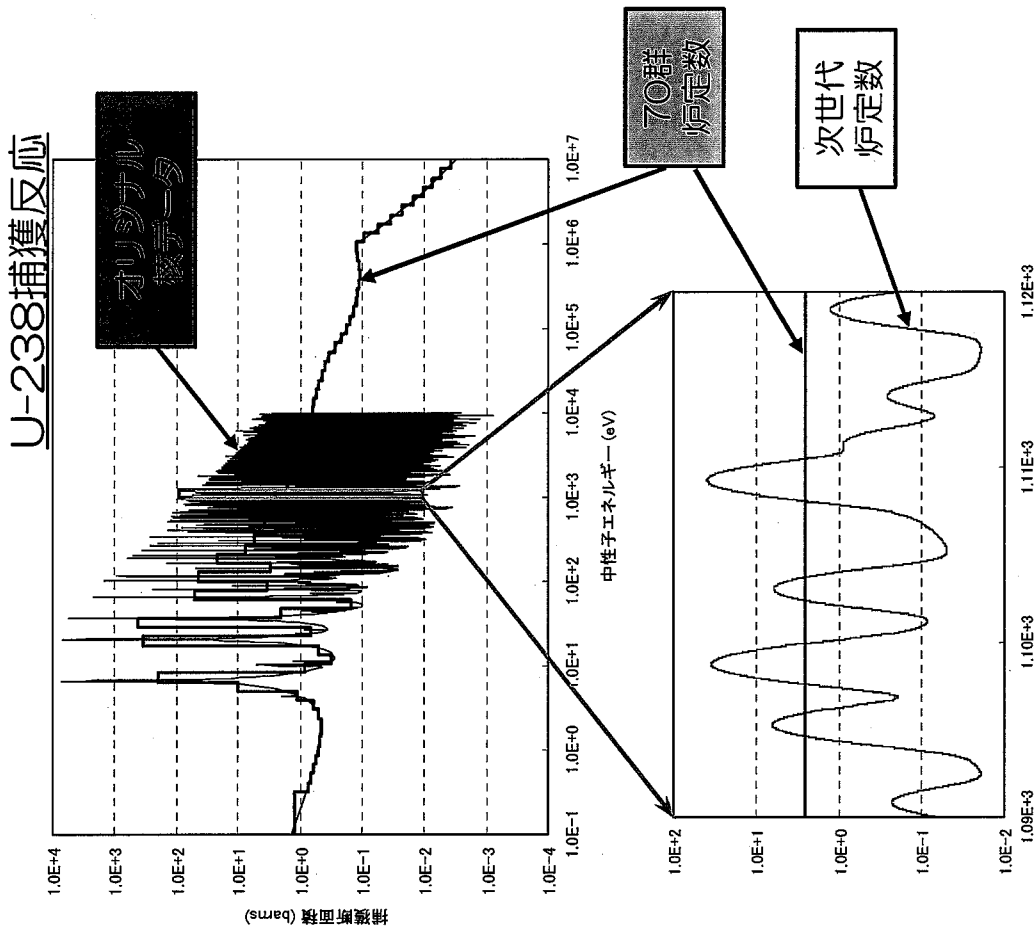


図 3-4 次世代炉定数の概略

- 従来の高速炉用炉定数は、10MeV~0.32eVを69群 ($\Delta u=1/4$) に均等分割し、熱エネルギー (0.32eV~ 1.0×10^{-5} eV) を足した70群としていた。

異核種間や温度の異なる領域間の、「共鳴干渉効果」を精度良く評価できない場合がある

- 個々の共鳴ピークを明確に表現できる次世代炉定数 (40keV~熱エネルギーまで約10万群、1keV付近の $\Delta u=1/8,000$) を開発。

3.4 モンテカルロ法による解析

3.4.1 モンテカルロコード MCNP による解析

連続エネルギーモンテカルロ法は、中性子エネルギーを連続で取り扱うことができ、また、炉心幾何形状を忠実に模擬できるため、モンテカルロ法特有の統計誤差を除けば、解析モデル化による誤差を含まないと考えられている。MCNP^[8-11]のバージョンは 4B を用いた。中性子断面積ライブラリは JENDL-3.2 に基づく FSXLIB-J3R2^[8-18]を用いた。

MCNP コードによる解析では、燃料集合体については、燃料ペレット、被覆管及びラッパ管、制御棒については B₄C ペレット、被覆管及び案内管等の形状を可能な限りモデル化した。図 3-5 に MCNP によるモデル図を示す。詳細にモデル化したため、炉心管理コードのような均質化や JUPITER 標準解析で用いた燃料集合体や制御棒のリング化モデルといった近似は含まれない。また、中性子のエネルギーも連続で取り扱っており群縮約による近似も含まれない。構造及び組成をモデル化する際には、温度膨張及び燃焼組成の分布も考慮した。解析は MK-III 炉心及びバイアス補正法のために MK-II 性能試験、第 35 サイクルを実施した。

なお、FP 核種の中性子吸収を考慮することにより、中性子束が 1% 程度変化することがわかっているため^[8-19]、モンテカルロ法の計算においてもこれを考慮することとした。MCNP コードの核データライブラリにはランプ化 FP が用意されていないため、表 3-6 に示す、中性子吸収割合の大きい 35 核種（全 FP 核種による中性子吸収の 90% 程度）を FP 核種の代表として取扱い、この核種の比でランプ化 FP を振り分け、各 FP 核種による中性子反応を取り扱った。

3.4.2 結果

MK-III 性能試験炉心と、バイアス補正法のための MK-II 炉心性能試験炉心及び第 35 サイクルについて、モンテカルロ法による解析結果を表 3-7 に示す。

MK-III 性能試験炉心の過剰反応度は 2.902% $\Delta k/kk'$ となった。MK-II 炉心第 0 サイクル及び第 35 サイクルはそれぞれ、2.930、3.792% $\Delta k/kk'$ となり、(E-C) はそれぞれ、0.620、0.254% $\Delta k/kk'$ となった。

表 3-6 FP 核種の内訳

番号	核種	中性子 吸収割合	累積中性子 吸収割合	原子数密度 割合
1	Ru-101	8.93%	8.93%	0.05
2	Pd-105	7.90%	16.83%	0.03
3	Tc-99	7.06%	23.89%	0.04
4	Rh-103	6.02%	29.91%	0.03
5	Cs-133	5.72%	35.63%	0.05
6	Pd-107	4.65%	40.29%	0.02
7	Mo-97	4.54%	44.83%	0.04
8	Sm-149	4.39%	49.21%	0.01
9	Pm-147	3.77%	52.98%	0.01
10	Nd-145	3.37%	56.35%	0.03
11	Cs-135	2.74%	59.09%	0.06
12	Nd-143	2.64%	61.73%	0.03
13	Xe-131	2.38%	64.11%	0.03
14	Ru-102	2.21%	66.31%	0.05
15	Sm-151	2.19%	68.51%	0.01
16	Mo-95	2.15%	70.66%	0.02
17	Mo-98	1.89%	72.55%	0.05
18	Ag-109	1.80%	74.35%	0.01
19	Ru-104	1.69%	76.04%	0.04
20	Mo-100	1.58%	77.63%	0.05
21	Eu-153	1.56%	79.19%	0.00
22	Zr-93	1.27%	80.45%	0.04
23	Ru-103	1.19%	81.65%	0.01
24	Pr-141	1.03%	82.67%	0.03
25	I-129	0.97%	83.65%	0.01
26	Zr-95	0.88%	84.53%	0.01
27	Zr-96	0.75%	85.28%	0.04
28	Nd-146	0.70%	85.98%	0.02
29	Xe-132	0.69%	86.67%	0.04
30	Pd-108	0.68%	87.35%	0.01
31	Nb-95	0.67%	88.02%	0.01
32	Ce-141	0.62%	88.63%	0.01
33	Zr-91	0.61%	89.24%	0.02
34	Zr-92	0.48%	89.72%	0.03
35	Xe-134	0.48%	90.20%	0.06

表 3-7 モンテカルロ法による計算結果

MK-II性能試験

		モンテカルロ法MCNP JENDL-3.2
基準計算	k_{eff}	1.0237
	$(\% \Delta k / kk')$	2.310
実験値	$(\% \Delta k / kk')$	2.930
(E-C)値	$(\% \Delta k / kk')$	0.620

MK-II第35サイクル

		モンテカルロ法MCNP JENDL-3.2
基準計算	k_{eff}	1.0394
	$(\% \Delta k / kk')$	3.792
実験値	$(\% \Delta k / kk')$	4.046
(E-C)値	$(\% \Delta k / kk')$	0.254

MK-III性能試験

		モンテカルロ法MCNP JENDL-3.2
基準計算	k_{eff}	1.0299
	$(\% \Delta k / kk')$	2.902

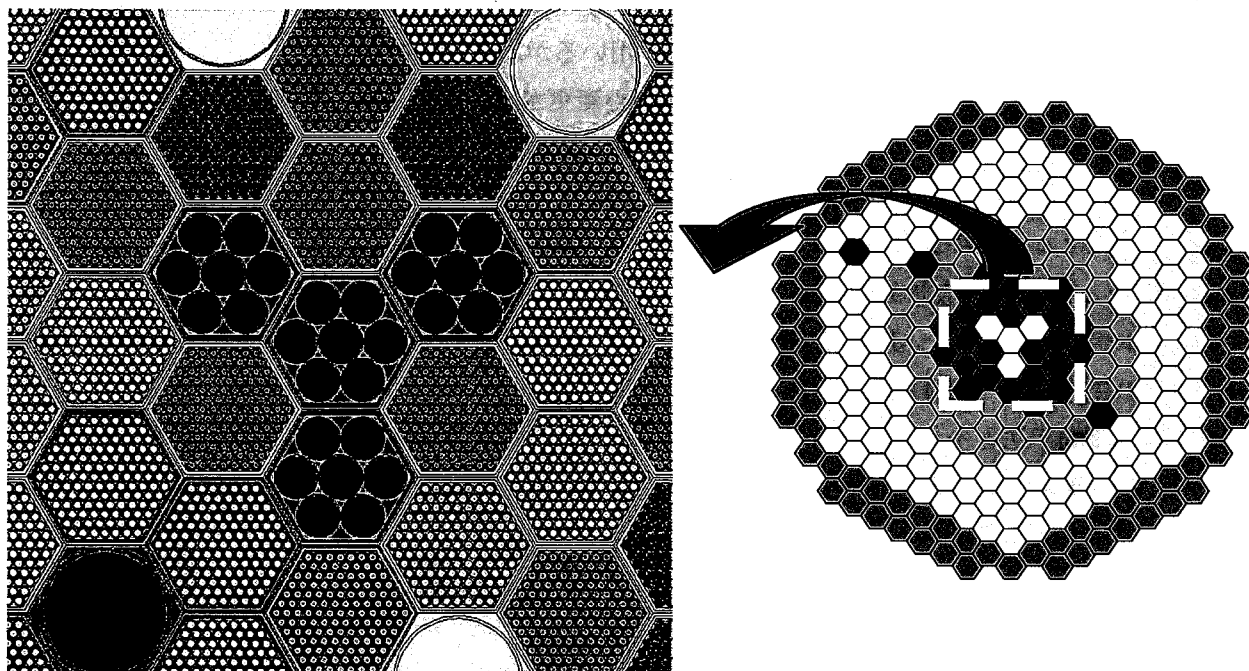


図 3-5 モンテカルロ法による計算モデル

3.5 その他の補正

3.5.1 非均質効果

MK-III性能試験炉心の特徴として炉心中心に装荷された照射試験用集合体 4 体がある。JUPITER 解析において、燃料及び制御棒については非均質性を考慮するが、通常、反射体は炉心周辺に存在するため、その非均質効果は小さく均質モデルで取り扱うことが可能である。しかしながら、MK-III 性能試験炉心には炉心中心に反射体が装荷されているため、反射体の非均質効果が小さく無視できるという保証はない。炉心中心の反射体 4 体、炉心に接する第 5・6 列に装荷される内側反射体、上下部の軸方向反射体及び制御棒アダプタは、図 3-6 に示すような構造となっており、ストリーミングの影響が無視できない可能性がある。しかしながら、JUPITER 標準解析手法では、このような構造を持った反射体の非均質性を取り扱った経験がない。そのため、別途連続エネルギーモンテカルロコード MVP^[3-5]を用いて均質、非均質のモデルを作成し、非均質効果を評価した。MVP コードによる解析では、燃料集合体については、燃料ペレット・被覆管・ラップ管、制御棒については B₄C ペレットや被覆管等の形状を、図 3-5 の MCNP によるモデル化と同等にモデル化した。ただし、本節ではモデル化の違いについてのみ検討することとし、炉心の膨張や集合体及び軸方向の燃焼組成などは考慮しないこととした。

3.5.2 バイアス補正で考慮されない計算誤差

炉心管理コードや基本炉定数を用いた JUPITER 標準解析手法ではバイアス補正法として断面積誤差や計算誤差等を補正することとしている（表 3-1 参照）。バイアス補正を行う場合、MK-II 炉心をモックアップとして用いるが、炉心の 2 領域化、中心に照射試験用集合体、最外周に遮へい集合体と大幅な炉心変更が行われるため、この炉心変更に伴う計算誤差はバイアス法では十分に補正できない。これら MK-II 炉心を用いたバイアス補正では考慮できない補正量を別途、モンテカルロコードを用いて評価することとした。まず、連続エネルギーモンテカルロコード MVP が一切の計算誤差をもたない参照解とみなし、以下の 4 ケースの仮想的な体系で計算を行った。それぞれのケースで炉心管理コードまたは基本炉定数を用いた JUPITER 標準解析手法（決定論的手法）とモンテカルロ法による結果の差をとり、この差を決定論的手法が持つ計算誤差と考えた。各ケース間での計算誤差（決定論的手法とモンテカルロ法の差）の変化量を、材料照射用反射体、B₄C 遮へい体の存在が計算に与える影響量として評価した。

- ・基準ケース : MK-III性能試験炉心
- ・ケース 1 : 炉心中心にある材料照射用反射体を内側炉心燃料に置換
- ・ケース 2 : B₄C 遮へい体を外側反射体に置換
- ・ケース 3 : 炉心中心にある材料照射用反射体を内側炉心燃料に、B₄C 遮へい体を外側反射体に置換。（ケース 1 とケース 2 を同時に置換。MK-II 炉心の

炉心構成に一番近い計算モデル。)

各ケースの炉心構成を図 3-7 に示す。

3.5.3 評価結果

非均質効果（ストリーミングの影響評価）についての解析結果を表 3-8 に示す。今回、非均質効果の影響があると思われる燃料領域に接した部分、すなわち、内側反射体・上部反射体・下部反射体・制御棒アダプタ部・材料照射用反射体の非燃料領域の非均質効果を算出した。その結果、これらの非燃料領域の非均質効果は -0.0004 であり、MVP の統計誤差を考慮すると、非燃料領域の非均質効果は無視できることを確認した。

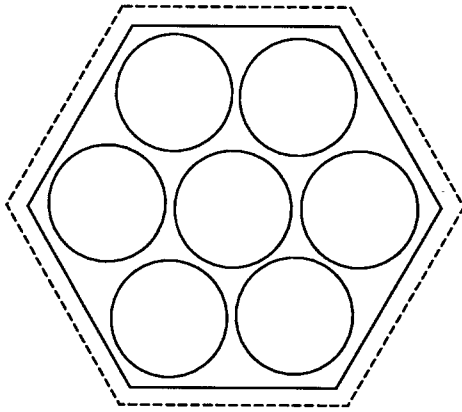
バイアス補正で考慮されない計算誤差の計算結果を表 3-9 に示す。MVP と決定論で実効増倍率の差は、性能試験炉心では 0.0029 あったものが、ケース 1 では 0.0019 、ケース 2 では 0.0027 、ケース 3 では 0.0013 となった。このことから、炉心中心にある材料照射用反射体の影響が実効増倍率で約 0.0010 、B4C 遮へい体の影響は約 0.0002 と、ほとんどないことが分かる。

表 3-8 非均質効果の解析結果

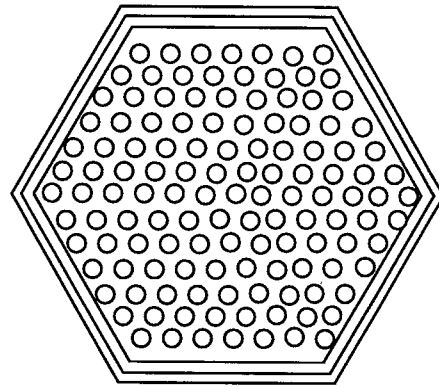
	実効増倍率	統計誤差
非均質	1.0343	0.0003
均質	1.0347	0.0004
効果	-0.0004	——

表 3-9 バイアス補正で考慮されない計算誤差評価結果

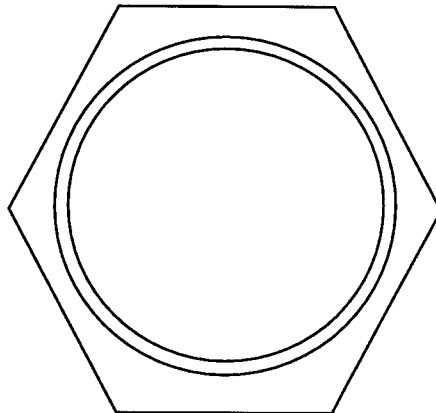
JUPITER					
		MK-III 性能試験炉心	ケース1	ケース2	ケース3
基準計算		1.0087	1.0499	1.0199	1.0600
補正計算	メッシュ補正	-0.0031	-0.0028	-0.0020	-0.0018
	輸送補正	0.0209	0.0191	0.0199	0.0182
	2次元セル補正	0.0010	0.0011	0.0010	0.0011
補正後計算値		1.0275	1.0673	1.0387	1.0775
MVP		1.0304	1.0692	1.0414	1.0788
差(Δk)		0.0029	0.0019	0.0027	0.0013
改善幅			0.0009	0.0001	0.0016
MAGI					
		MK-III 性能試験炉心	ケース1	ケース2	ケース3
計算値		1.0232	1.0640	1.0326	1.0725
MVP		1.0304	1.0692	1.0414	1.0788
差(Δk)		0.0071	0.0052	0.0089	0.0063
改善幅			0.0019	-0.0017	0.0008
HESTIA					
		MK-III 性能試験炉心	ケース1	ケース2	ケース3
計算値		1.0092	1.0515	1.0199	1.0610
MVP		1.0304	1.0692	1.0414	1.0788
差(Δk)		0.0211	0.0177	0.0216	0.0178
改善幅			0.0034	-0.0005	0.0034



材料照射用反射体及び内側反射体



軸方向反射体



制御棒アダプタ

図 3-6 反射体及び制御棒の計算モデル

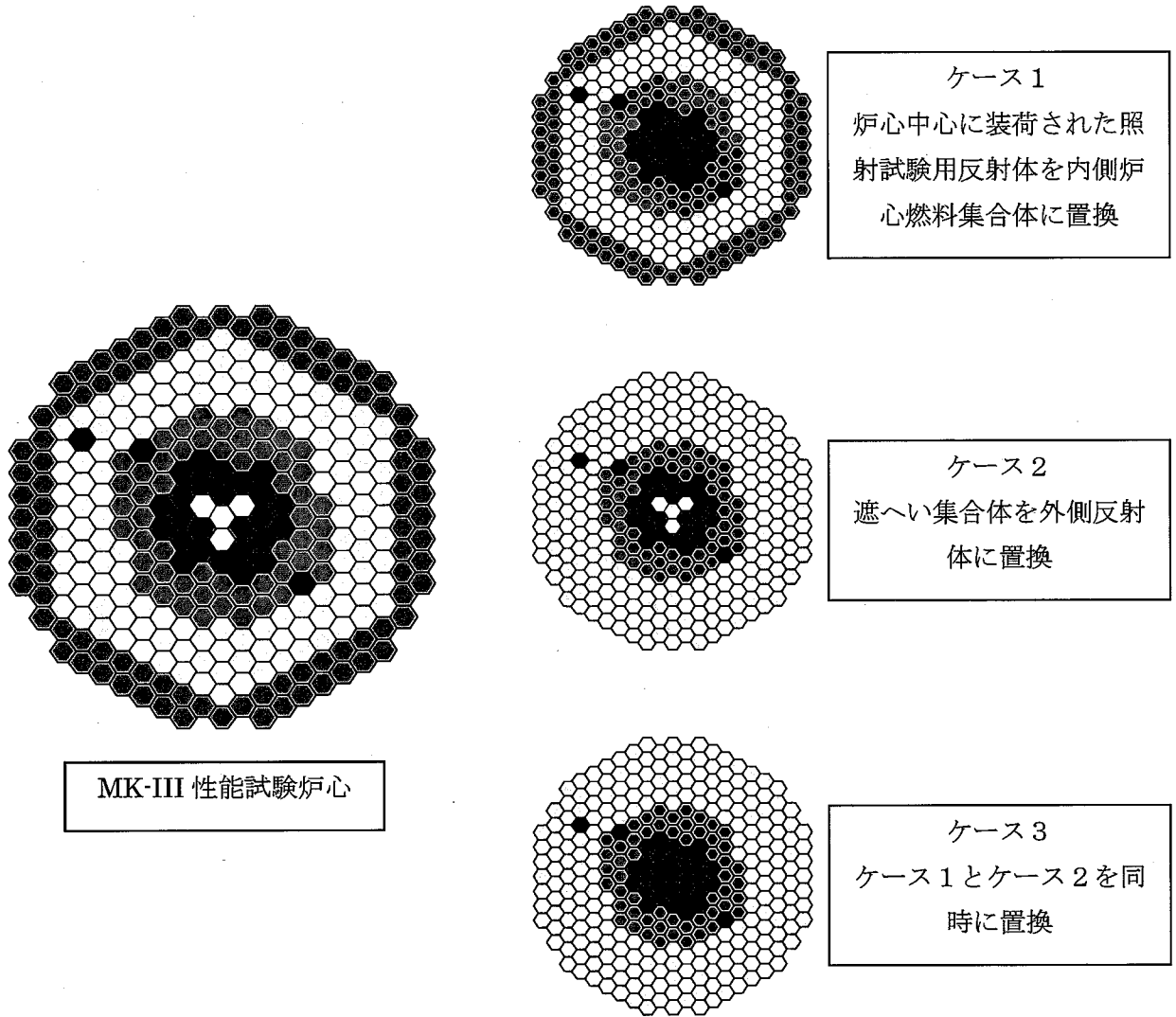


図 3-7 バイアス補正で考慮されない計算誤差評価用の炉心構成

3.6 各手法の解析結果

炉心管理コード、JUPITER 標準解析手法及びモンテカルロ法により MK-III性能試験炉心の過剰反応度を評価した。バイアス法の場合、モックアップとして MK-II 炉心性能試験または MK-II 第 35 サイクル（移行炉心第 4 サイクル）を用いることとし、これらについても解析した。また、モンテカルロ法との比較により、非均質効果や計算誤差について検討も行った。モックアップ炉心の選定については、次章の感度解析の結果から第 35 サイクルとした。表 3-10 にそれぞれの手法による解析結果の一覧を示す。

表 3-10 解析結果のまとめ

MK-III性能試験		JUPITER標準解析手法				ゼロ出力250°C
		MAGI JFS-3-J3.2R	HESTIA JFS-3-J3.2R	JFS-3-J3.2R	ADJ2000R	モンテカルロ法MCNP JENDL-3.2
基準計算(k_{eff})		1.0216	1.0069	1.0061	1.0085	1.0237
補正計算 (Δk)	メッシュ補正	---	---	-0.0026	←	---
	輸送補正	---	---	0.0202	←	---
	2次元セル補正	---	---	0.0000	←	---
	次世代炉定数効果	---	---	0.0004	←	---
	AMM補正	---	---	0.0000	←	---
	膨張補正	---	---	-0.0032	←	---
補正後 計算値	(k_{eff})	1.0216	1.0069	1.0210	1.0234	1.0237
	(% $\Delta k/kk'$)	2.111	0.684	2.054	2.282	2.310
実験値(% $\Delta k/kk'$)		2.930				
E-C補正值(% $\Delta k/kk'$)		0.82	2.25	0.88	0.65	0.62

MK-III第35サイクル		JUPITER標準解析手法				ゼロ出力250°C
		MAGI JFS-3-J3.2R	HESTIA JFS-3-J3.2R	JFS-3-J3.2R	ADJ2000R	モンテカルロ法MCNP JENDL-3.2
基準計算(k_{eff})		1.0347	1.0221	1.0248	1.0267	1.0394
補正計算 (Δk)	メッシュ補正	---	---	-0.0024	←	---
	輸送補正	---	---	0.0185	←	---
	2次元セル補正	---	---	0.0000	←	---
	次世代炉定数効果	---	---	0.0005	←	---
	AMM補正	---	---	-0.0021	←	---
	膨張補正	---	---	-0.0043	←	---
補正後 計算値	(k_{eff})	1.0347	1.0221	1.0349	1.0368	1.0394
	(% $\Delta k/kk'$)	3.358	2.161	3.371	3.551	3.792
実験値(% $\Delta k/kk'$)		4.046				
E-C補正值(% $\Delta k/kk'$)		0.69	1.89	0.67	0.49	0.25

MK-III性能試験		JUPITER標準解析手法				ゼロ出力250°C
		MAGI JFS-3-J3.2R	HESTIA JFS-3-J3.2R	JFS-3-J3.2R	ADJ2000R	モンテカルロ法MCNP JENDL-3.2
基準計算(k_{eff})		1.0233	1.0092	1.0116	1.0127	1.0299
補正計算 (Δk)	メッシュ補正	---	---	-0.0031	←	---
	輸送補正	---	---	0.0207	←	---
	2次元セル補正	---	---	0.0009	←	---
	次世代炉定数効果	---	---	0.0004	←	---
	AMM補正	---	---	0.0001	←	---
	膨張補正	---	---	-0.0046	←	---
	その他の補正*	0.0008	0.0034	0.0016	←	---
補正後 計算値	(k_{eff})	1.0241	1.0126	1.0276	1.0287	1.0299
	(% $\Delta k/kk'$)	2.35	1.24	2.68	2.79	2.90
E-C補正值(% $\Delta k/kk'$)		0.69	1.89	0.67	---	0.25
予測値(% $\Delta k/kk'$)		3.04	3.13	3.36	2.79	3.16

*3.5節で評価した補正

4. 解析精度評価

4.1 解析精度評価手法

竹田らの定式^[4-1]を用いて、主要な核特性の設計精度を、積分情報を用いない場合（基本炉定数）、バイアス補正法（炉心管理コードシステム、JUPITER 標準解析手法及びモンテカルロ法を用いた場合）を適用した場合、炉定数調整法を適用した場合について比較した。

以下に、基本炉定数と上記 2 手法の解析精度評価式をまとめて示す。

(1) 基本炉定数

$$V [R_{CR}^{(2)}] = G^{(2)} M G^{(2)t} + V_m^{(2)}$$

(2) バイアス補正法

$$V [R_{CB}^{(2)}] = \Delta G M \Delta G^t + V_e^{(m)} + V_m^{(m)} + V_m^{(2)} - V_m^{(m2)} - V_m^{(m2)t}$$

(3) 炉定数調整法

$$V [R_{CA}^{(2)}] = G^{(2)} M' G^{(2)t} + V_m^{(2)} - N V_m^{(12)} - V_m^{(12)t} N^t$$

$$N = G^{(2)} M G^{(1)t} [G^{(1)} M G^{(1)t} + V_e^{(1)} + V_m^{(1)}]^{-1}$$

ここで、添字(1)、(2)、(m)はそれぞれ実験体系、実機体系、モックアップ体系を表す。 $V [R_{CR}^{(2)}]$ 、 $V [R_{CB}^{(2)}]$ 、 $V [R_{CA}^{(2)}]$ は各手法による核設計解析精度（分散）を、 $G^{(1)}$ は(1)の感度係数を、 ΔG は(2)と(m)の感度係数の差を、 $V_e^{(1)}$ 、 $V_m^{(1)}$ はそれぞれ(1)の実験誤差、解析誤差（共分散）を、 $V_m^{(12)}$ は(1)と(2)の解析誤差の相関を、 M 、 M' はそれぞれ調整前後の炉定数の誤差（共分散）を表す。

4.2 感度係数

解析精度を求めるために必要な感度係数を計算した。

4.2.1 感度係数計算方法

感度係数計算は一般化摂動論に基づく SAGEP コード^[4-2]を用いて行った。解析は 2 次元 RZ 体系 18 群で行い、核データライブラリとしては、前章までの解析と同様に JENDL-3.2 に基づく高速炉用炉定数セット JFS-3-J3.2R を用いた。なお、感度係数計算ではすべての領域で均質モデルを用いている。

4.2.2 計算結果

付録 B に MK-III 性能試験炉心、MK-II 性能試験炉心、第 35 サイクルの感度係数計算結果を示す。

全体的に感度係数は類似しているが、Pu 富化度などの違いにより感度係数に差がみられる。例えば、感度の最も大きい Pu-239 中性子発生数 (ν) を例にとると、MK-III 性能試験炉心は 0.4858、MK-II 第 0 サイクルは 0.6306、第 35 サイクルは 0.5055 となっている。

この違いは炉心に入っている Pu-239 の原子数に差があるためである。MK-II 第 0 サイクルの Pu 富化度は 29.0wt% であり、MK-III 性能試験炉心の Pu 富化度は内側燃料が 23.0wt%、外側燃料が 28.8wt% であり、MK-III 性能試験炉心の方が感度係数は小さくなる。同様に MK-II 第 35 サイクルは燃料の一部が MK-III 性能試験炉心の外側燃料に置換されるため、MK-II 性能試験炉心に比べて感度係数が小さくなっている。

この感度係数から、MK-III 性能試験炉心は MK-II 第 35 サイクルに近い核特性を有することが分かる。

今回のように、バイアス補正法を行う際に MK-II 炉心のどのサイクルをモックアップとして採用するかが重要である。感度係数の類似度からすると $\Delta GM \Delta G$ が小さいことから第 35 サイクルの方が MK-III 性能試験に近く、燃焼計算の誤差は PIE との比較と感度係数からほとんど過剰反応度へ与える影響は小さいことが確認されており、第 35 サイクルのバイアス補正値を採用することとした。

4.3 誤差評価

4.3.1 炉心管理コード

MAGI 及び HESTIA の解析誤差は、今までの実績から算出した。直近の運転サイクルでの (E-C) 補正を行い基本炉定数の断面積の誤差やその他の効果を補正した解析値と実測値との差の平均を炉心管理コードの解析誤差と設定した。これに 3.5 節で求めたバイアス補正で考慮されない誤差補正量の 30% を誤差と仮定して加えることにより、MAGI 及び HESTIA の解析誤差（実効増倍率に対する相対誤差）をそれぞれ 0.10%、0.14% と設定した。

4.3.2 JUPITER 標準解析

JUPITER 標準解析手法の解析誤差は、統合炉定数作成時の経験に基づき、各補正値の 30% の二乗和の平方根としている。ただし、次世代炉定数効果は、従来の手法では取り扱えない効果であるので、その補正値の 100% を解析誤差とした。この結果、「常陽」MK-III 性能試験炉心、MK-II 性能試験炉心、第 35 サイクルの解析誤差は、すべて 0.2% となった。なお、「常陽」のような小型炉では輸送効果が大きく、大型炉心である JUPITER 炉心での経験と同様に評価すると解析誤差を過大評価する。今回の評価では、第 3.5 節で検討したように、決定論的手法である輸送計算よりも更に詳細なモンテカルロ法を使って、輸送計算では取り扱えない効果を評価し計算誤差としている。このため、輸送効果は解析誤差の評価には含めていない。

解析誤差の相関係数は、他の臨界実験等の臨界性との相関は弱いとし、0.3 に設定した。基本的に解析手法は同じであるため、相関は強いと考えられるが、JUPITER 炉心などに比べて、輸送効果が大きいこと、集合体の形が違うこと（JUPITER 炉心はプレート、常陽はピン形状）等から相関は弱いと判断した。一方、同じ実験装置間の場合には解析手法がほぼ同じとなり、解析誤差の相関係数はかなり強いと考えられる。このため、統合炉定数作

成時には、同じ実験装置間では相関が強いとして相関係数は 0.8 と設定している。同様に、「常陽」炉心間の相関係数も強いとして 0.8 と設定した。なお、前述のように、MK-III 性能試験炉心、MK-II 性能試験炉心、MK-II 第 35 サイクル炉心の感度係数が類似していることから解析誤差の相関は強いと推測される。

4.3.3 モンテカルロ法

モンテカルロ法における誤差設定は、MCNP の統計誤差を解析誤差とした。

4.3.4 実験誤差

バイアス補正法の場合の実験誤差は制御棒の読取誤差、制御棒駆動機構の熱収縮、倍増時間の測定誤差、校正曲線のフィッティング誤差を積み上げている。MK-II 炉心性能試験炉心では 0.07%、第 35 サイクルは 0.09%である。

相関係数は、同じ実験装置である場合は実験誤差の相関係数は大きいと予測されるため、0.8 と設定した。実験装置が違う場合には相関がないので、0.0 とした。

4.4 解析精度評価結果

解析精度の評価結果を表 4-1 に示す。ここで示す相対誤差は実効増倍率 (k_{eff}) に対する標準偏差 (1σ) である。

基本炉定数を用いた JUPITER 標準解析手法で、バイアス補正をしないケースでは、断面積誤差に起因する誤差が大きいため、解析誤差が 1.7%と非常に大きい結果となっている。同じ JUPITER 解析手法でも統合炉定数を用いたケースでは断面積誤差が基本炉定数に比べて小さいため、解析誤差も 0.34%と小さくなっている。また、バイアス補正を適用したケースではモックアップ炉心と解析対象炉心の類似度が高いことから解析精度の向上が図られており、第 35 サイクルをバイアス補正に使用した場合、解析誤差は 0.17%となっている。

炉心管理コードでもバイアス補正を使用しているため、解析誤差は 0.15、0.16%と小さくなっている。

表 4-1 解析精度の解析結果

JUPITER 標準解析手法（基本炉定数）による精度評価の内訳(JFS-3-J3.2R)

	$\sqrt{G^{(2)}}M'G^{(2)t}$	$\sqrt{V_m^{(2)}}$	合計
MK-II性能試験	1.77	0.20	1.78
MK-II第35サイクル	1.58	0.20	1.60
MK-III性能試験	1.65	0.20	1.67

(unit:%)

炉心管理コード MAGI+バイアス補正

核特性	$\sqrt{\Delta G^{(m)}}M\Delta G^{(m)t}$	実験・解析誤差				小計	合計
		$\sqrt{V_e^{(m)}}$	$\sqrt{V_m^{(m)}}$	$\sqrt{V_m^{(2)}}$	$-\sqrt{2V_m^{(m2)}}$		
MK-II性能試験をモックアップ	0.16	0.07	0.10	0.10	-0.13	0.09	0.18
MK-II第35サイクルをモックアップ	0.10	0.09	0.10	0.10	-0.13	0.11	0.15

(unit:%)

炉心管理コード HESTIAS+バイアス補正

核特性	$\sqrt{\Delta G^{(m)}}M\Delta G^{(m)t}$	実験・解析誤差				小計	合計
		$\sqrt{V_e^{(m)}}$	$\sqrt{V_m^{(m)}}$	$\sqrt{V_m^{(2)}}$	$-\sqrt{2V_m^{(m2)}}$		
MK-II性能試験をモックアップ	0.16	0.07	0.14	0.14	-0.18	0.11	0.19
MK-II第35サイクルをモックアップ	0.10	0.09	0.14	0.14	-0.18	0.13	0.16

(unit:%)

JUPITER 標準解析手法（基本炉定数）+バイアス補正

	$\sqrt{\Delta G^{(m)}}M\Delta G^{(m)t}$	実験・解析誤差				小計	合計
		$\sqrt{V_e^{(m)}}$	$\sqrt{V_m^{(m)}}$	$\sqrt{V_m^{(2)}}$	$-\sqrt{2V_m^{(m2)}}$		
MK-II性能試験をモックアップ	0.16	0.07	0.17	0.18	-0.22	0.13	0.20
MK-II第35サイクルをモックアップ	0.10	0.09	0.13	0.18	-0.19	0.14	0.17

(unit:%)

モンテカルロ法 MCNP+バイアス補正

	$\sqrt{\Delta G^{(m)}}M\Delta G^{(m)t}$	実験・解析誤差				小計	合計
		$\sqrt{V_e^{(m)}}$	$\sqrt{V_m^{(m)}}$	$\sqrt{V_m^{(2)}}$	$-\sqrt{2V_m^{(m2)}}$		
MK-II性能試験をモックアップ	0.16	0.07	0.03	0.03	-0.04	0.07	0.17
MK-II第35サイクルをモックアップ	0.09	0.09	0.03	0.03	-0.04	0.09	0.13

(unit:%)

JUPITER 標準解析手法（統合炉定数）

	$\sqrt{G^{(2)}}M'G^{(2)t}$	実験・解析誤差			小計	合計
		$\sqrt{V_m^{(2)}}$	$-\sqrt{NV_m^{(12)}}$	$-\sqrt{V_m^{(12)}N^t}$		
MK-III性能試験	0.32	0.18	-0.11	-0.11	0.09	0.34

(unit:%)

5. 結果と考察

最終的な過剰反応度の解析結果をまとめた結果を表 5-1 に示す。どの手法も概ね同じ値となった。ここで、統合炉定数を用いた JUPITER 標準解析手法がやや小さい結果となっている。統合炉定数を用いた解析では、他の手法のようにバイアス補正（基準計算値に実測値と計算値の差を補正）していない。統合炉定数の調整に反映された積分実験は主として JUPITER 等の大型炉データであり、小型高速炉は FCA や「常陽」MK-I データのみであるため、小型炉心の解析では過剰反応度を過小評価する傾向があることがわかっている。ちなみに、統合炉定数を用いて MK-I 炉心を解析した場合も、過剰反応度は $0.2\% \Delta k/kk'$ 程度実測値を過小評価となる傾向がわかっている。

表 5-1 過剰反応度解析結果

予測手法	予測値 (ゼロ出力250°C) [% $\Delta k/kk'$]	予測誤差 (1 σ) [% $\Delta k/kk'$]
炉心管理コードシステム“MAGI”+バイアス補正	3.04	0.15
炉心管理コードシステム“HESTIA”+バイアス補正	3.13	0.16
JUPITER標準解析手法+バイアス補正(JFS-3-J3.2R)	3.36	0.17
モンテカルロ法(MCNP、FSXLIB-J3.2)+バイアス補正	3.16	0.13
JUPITER標準解析手法+統合炉定数(ADJ2000R)	2.79	0.34

6. 結 言

MK-Ⅲ性能試験炉心の臨界点（ゼロ出力臨界状態での制御棒位置）予測のため、過剰反応度について、炉心管理コードシステム、JUPITER 標準解析手法、モンテカルロ法に基づき、各種補正計算を行った評価値を求めた。

各手法による解析値は 2.8～3.4% $\Delta k/kk'$ と 0.5% $\Delta k/kk'$ 以内で一致し、MK-Ⅲ炉心管理コードシステム HESTIA の解析値は 3.13% $\Delta k/kk'$ であった。MK-Ⅲ炉心の特徴として、炉心中心に核物質をまったく含まない照射試験用集合体が装荷されているが、それによるストリーミング効果はモンテカルロ計算によると無視できる結果となっている。炉心の 2 領域化及び遮へい集合体の装荷の影響については、決定論的手法とモンテカルロ法による解析値の差が大きくなることが確認されたが、現時点では補正法に課題が残っている。

今後は実測値との検証を行い、各手法及び補正方法等についての妥当性を確認し、炉心管理コードシステムの改良や設計・解析精度の向上に反映していく予定である。

謝 辞

本報告書は、実験炉部技術課とシステム技術開発部中性子工学グループの協力推進を目的とした大洗炉心技術連絡会で議論し、平成 14 年度 FBR 炉心技術専門委員会で報告した内容をまとめたものである。炉心技術連絡会においては多数の方々から有意義な議論を頂いた。また、炉心管理コードに係わる計算作業でアイ・ティ・ジェイ(株)の伊藤智之氏にご協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1-1] S. Suzuki *et al.*, "Upgrading Program of Experimental Fast Reactor JOYO -The MK-III Program-," *Proc. of 10th Pacific Basin Nuclear Conference*, Kobe, Japan, Vol.1, p.759-768 (1996).
- [1-2] T. Sekine *et al.*, "Upgrade of irradiation test capability of the experimental fast reactor JOYO," *Proc. of 11th International Symposium on REACTOR DOSIMETRY*, Belgium, Aug. 18-23, 2002, to be published.
- [1-3] S. Miyakawa *et al.*, "The Fruits and Hope of the Experimental Fast Reactor "JOYO"," *Proc. of 13th Pacific Basin Nuclear Conference*, Shenzhen, China, Oct. 21-25, 2002, p.247 (2002).
- [1-4] 大川内 靖、前田茂貴、他：「常陽」MK-II 炉心特性データベース-JENDL3.2 への改訂」、JNC TN9410 2001-019 (2001)
- [1-5] 大川内 靖、前田茂貴、他：「常陽」MK-III 炉心管理コードシステム"HESTIA"の開発」、JNC TN9400 2002-070 (2003)
- [1-6] 石川眞、他：「核設計基本データベースの整備 (VIII) —JUPITER 実験解析結果の集大成—」、PNC TN9410 97-099 (1997)
- [1-7] 羽様平、他：「高速炉用統合炉定数 ADJ2000R の作成」、JNC TN9400 2002-064 (2002)
- [3-1] J. F. Briesmeister, "MCNP-general Monte Carlo N-particle transport code version 4B", Report LA-12625, Los Alamos National Laboratory (1997).
- [3-2] 千葉 豪他、"JENDL-3.2 に基づく高速炉用炉定数 JFS-3-J3.2R の作成"、JNC TN9400 2001-124 (2002)
- [3-3] Croff, A. G., "A Revised and Updated Version of the Oak Ridge Isotope Generation and Depletion Code", ORNL-5621 (1980).
- [3-4] 杉野和輝、他：「実機高速炉核特性解析手法の高度化—二重非均質性取り扱い手法及び制御棒均質化断面積計算法の検討—」、PNC TN9410 98-067 (1998)
- [3-5] 森貴正、中川正幸：「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 (1994)
- [3-6] Gérald Rimpault, et al. "THE ERANOS CODE AND DATA SYSTEM FOR FAST REACTOR NEUTRONIC ANALYSES," *Proc. of Physor 2002*, Seoul, Korea, October 7-10 (2002)
- [3-7] S. Ono, et al.: *Technol. Rep. Osaka Univ.* 33, 1708, 207 (1983)
- [3-8] 中川正幸、他：「SLAROM：高速炉の非均質系炉心解析コード」、JAERI-M 5916 (1974)
- [3-9] M.Nakagawa, et al. : "SLAROM: A Code for Cell Homogenization Calculation of Fast Reactor", JAERI 1294 (1984)

- [3-10] T. Nakagawa, et al.: "Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-2: JENDL-3.2," Journal of Nuclear Science and Technology 32, p.1259 (1995)
- [3-11] 中川正幸、他:「高速炉の核特性解析コードシステム」、JAERI-M 83-006 (1983)
- [3-12] S. Ono, et al.: Technol. Rep. Osaka Univ. 33, 1708, 207 (1983)
- [3-13] P. Benoist: "Streaming Effects and Collision Probabilities in Lattices," Nuclear Science and Engineering 34, p.285 (1968)
- [3-14] M. Bando, et al.: "Three-Dimensional Transport Calculation Method for Eigenvalue Problems Using Diffusion Synthetic Acceleration" , Journal of Nuclear Science and Technology 22(10), p.841 (1985)
- [3-15] 杉野和輝:「次世代炉定数システムを用いた JUPITER 臨界実験解析」、JNC TN9400 2001-091 (2001)
- [3-16] GEAP- 13582、NUMEC-2389-9
- [3-17] "Mechanical and physical properties of the Austenitic chromium-nickel S.S. at elevated temperatures" Inter national nickel comp. (1963)
- [3-18] 小迫和明他、「JENDL3.2 に基づいた MCNP 用連続エネルギー断面積ライブラリ」、JAERI-DATA-CODE-94-20(1994)
- [3-19] 田渕士郎他、「JENDL-3.2 に基づく高速炉遮へい計算用ランプ化 FP 断面積の作成」、JNC TN9400 2001-033 (2001)
- [4-1] T. Takeda, A. Yosimura, T. Kamei and K. Shirakata: "Prediction Uncertainty Evaluation Methods of Core Performance Parameters in Large Liquid-Metal Fast Breeder Reactors", Nucl. Sci. Eng. 103, 157-165 (1989)
- [4-2] 原昭浩、竹田敏一、菊池康之:「SAGEP: 一般化摂動理論に基づく二次元感度解析コード」、JAERI-M 84-027 (1984)

付録

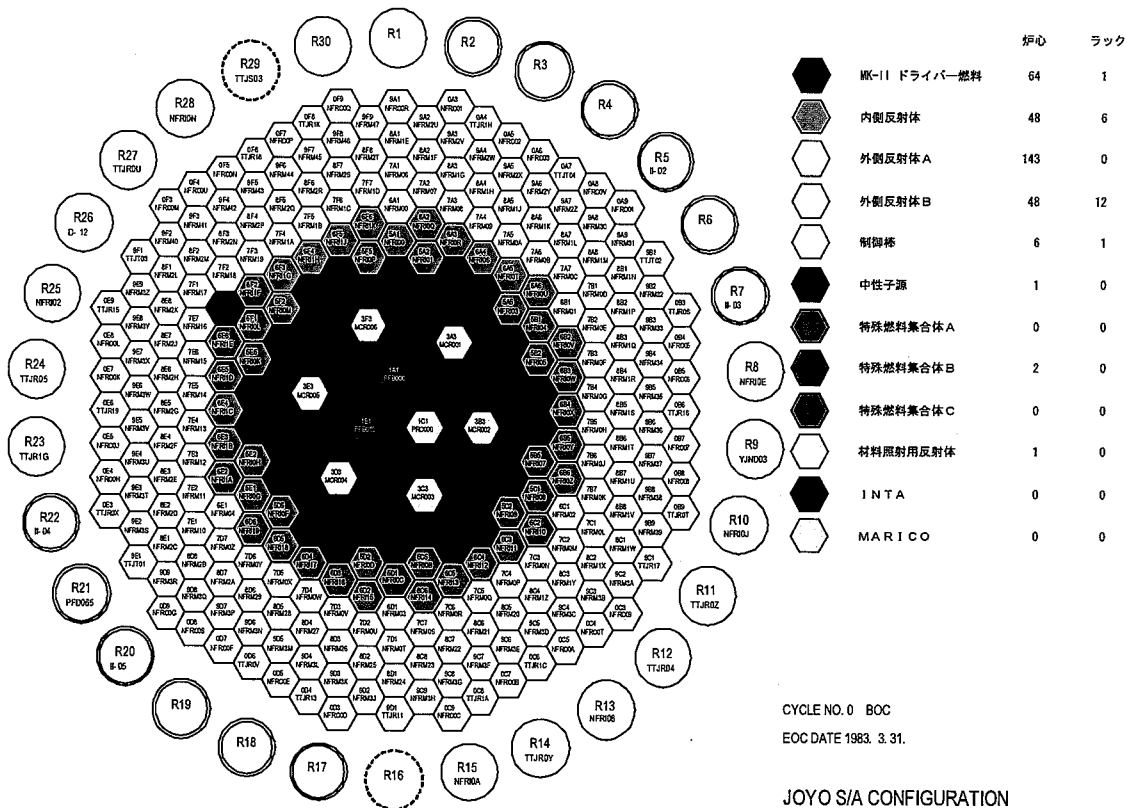


図 A-1 「常陽」 MK-II 性能試験炉心構成図

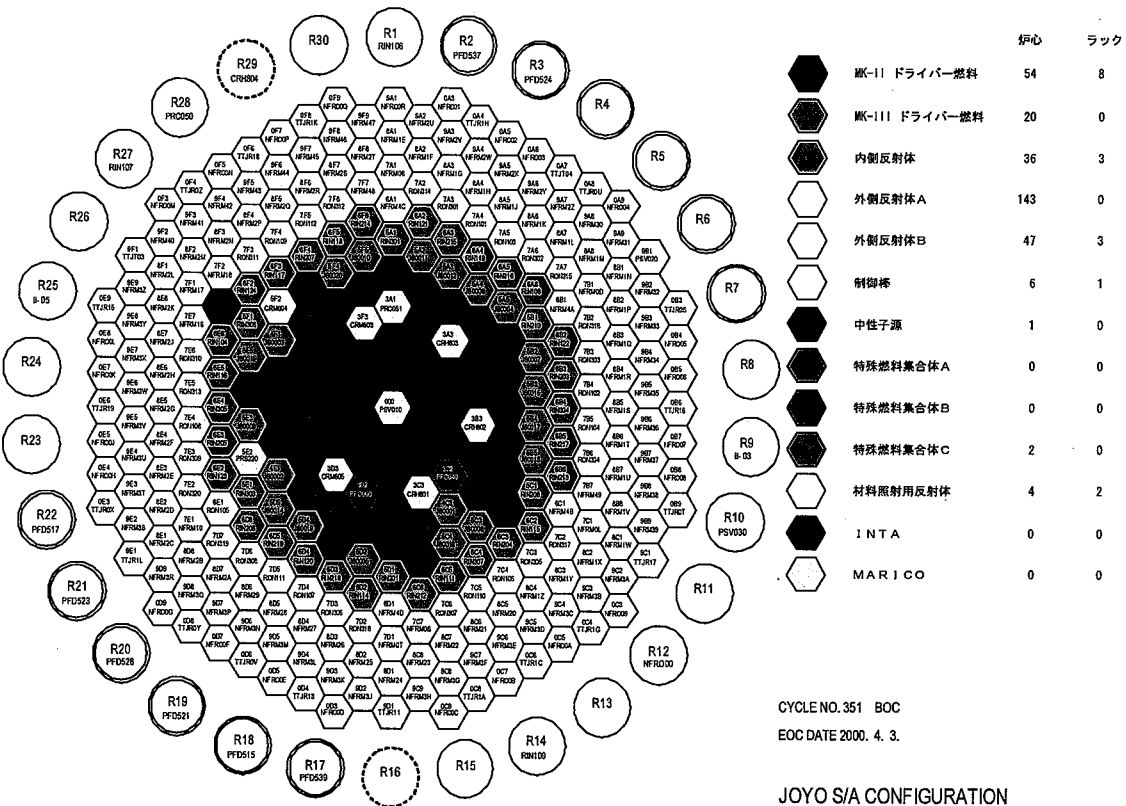


図 A-2 「常陽」 MK-II 第 35 サイクル炉心構成図

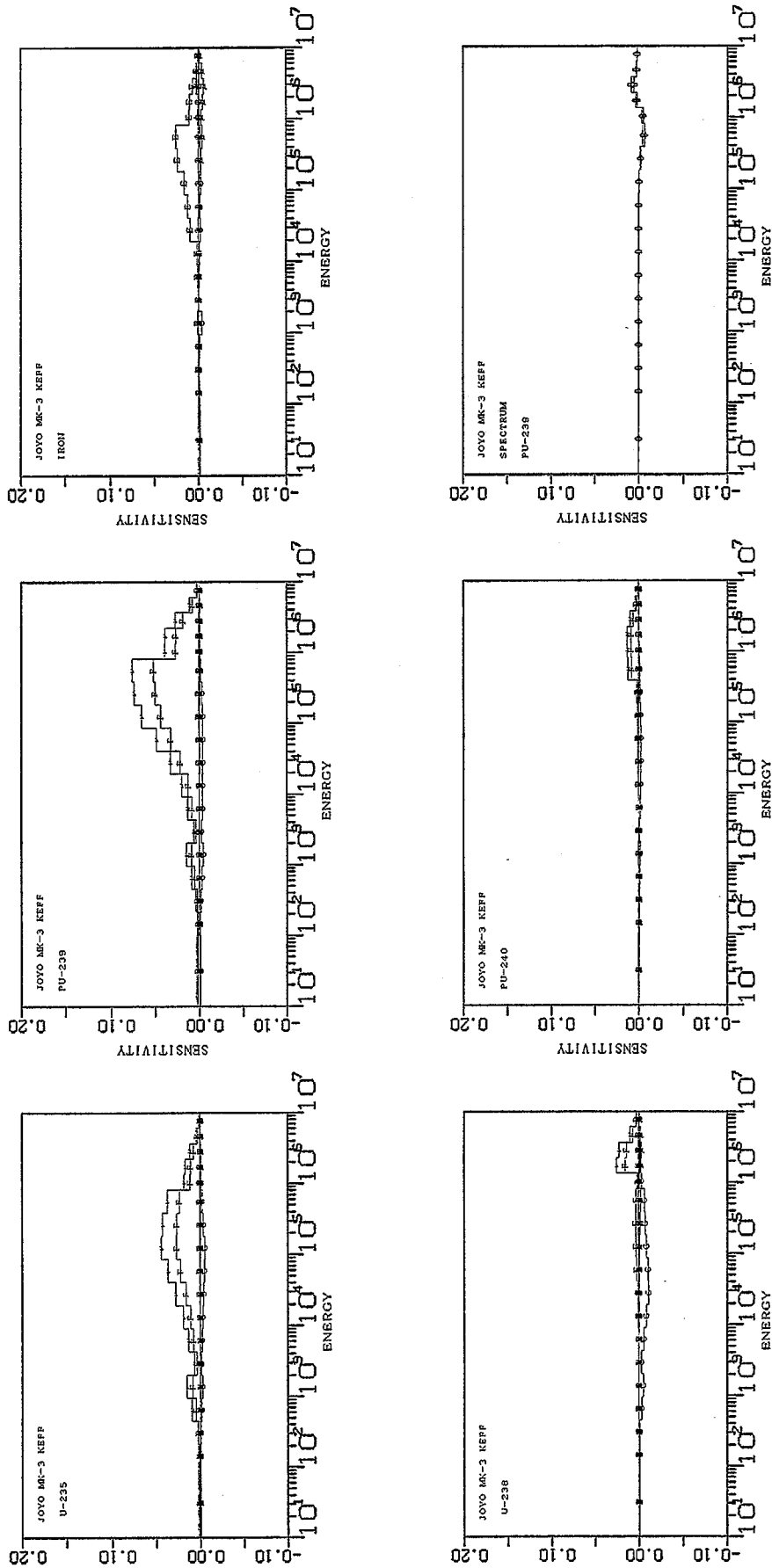


図 B-1 「常陽」MK-III 性能試験における臨界性の感度係数

表 B-1 (3) 「常陽」MK-III 性能試験における臨界性の感度係数

TABLE		JOYO MK-3 KEFF														(STRUCTURE, COOLANT & FISSION SPECTRUM)														MULT:1.0E-4
NUCL.	REACTION	TOTAL	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G										
OXYGEN	CAPTURE	-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8	-4									
OXYGEN	ELAS.SCT	415	-1	0	0	-1	2	0	3	10	27	40	57	94	93	34	17	25	15	0	0									
OXYGEN	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
OXYGEN	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
OXYGEN	MU-AVE.	-45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	-32	-5	-5	-3	-6	-1	-1									
SODIUM	CAPTURE	-3	0	0	0	0	-1	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1									
SODIUM	ELAS.SCT	522	-2	-1	0	-3	3	2	4	7	24	52	68	122	131	49	33	24	8	1	1									
SODIUM	INEL.SCT	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	3	7	7	0	0									
SODIUM	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
SODIUM	MU-AVE.	-104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-8	-23	-20	-22	-19	-7	-1	-1									
CHROMIUM	CAPTURE	-42	-3	0	0	-1	-10	-2	-8	-1	-4	-2	-5	-3	-2	-1	0	0	0	0	0									
CHROMIUM	ELAS.SCT	393	-1	0	0	0	0	0	4	2	9	29	97	77	81	41	33	16	5	0	0									
CHROMIUM	INEL.SCT	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	5	0	0									
CHROMIUM	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
CHROMIUM	MU-AVE.	-70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-4	-7	-6	-15	-21	-11	-3	-3									
MANGAN	CAPTURE	-22	-1	0	-12	0	-6	0	-1	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
MANGAN	ELAS.SCT	31	0	0	-3	-1	1	0	0	0	5	5	7	6	6	2	2	1	0	0	0									
MANGAN	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
MANGAN	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
MANGAN	MU-AVE.	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0									
IRON	CAPTURE	-190	-11	-3	-3	-3	-40	-1	-7	-9	-20	-16	-22	-19	-16	-4	-3	-5	-5	-3	-3									
IRON	ELAS.SCT	1137	-14	-8	-2	-12	10	0	7	12	91	117	159	233	254	104	98	65	20	3	3									
IRON	INEL.SCT	57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	6	0	23	21	4	0	0									
IRON	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
IRON	MU-AVE.	-264	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-9	-24	-43	-28	-48	-57	-38	-12	0	0									
NICKEL	CAPTURE	-129	-3	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-16	-11	-10	-12	-10	-7	-3	-6	-18	-18	-6	-6									
NICKEL	ELAS.SCT	446	-5	-3	-1	-5	3	0	2	26	41	57	66	105	72	36	30	17	5	0	0									
NICKEL	INEL.SCT	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	3	0	0									
NICKEL	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
NICKEL	MU-AVE.	-70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-10	-11	-8	-12	-13	-9	-3	-3									
MOLYBDEN	CAPTURE	-56	-9	-3	-3	-7	-5	-2	-4	-4	-5	-4	-4	-3	-3	0	0	0	0	0	0									
MOLYBDEN	ELAS.SCT	41	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	8	11	10	3	2	1	0	0	0									
MOLYBDEN	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
MOLYBDEN	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
MOLYBDEN	MU-AVE.	-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-4	-2	-2	-1	0	0	0									
BORON-10	CAPTURE	-62	0	0	0	0	-1	0	-1	-3	-8	-14	-16	-13	-6	0	0	0	0	0	0									
BORON-10	ELAS.SCT	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0									
BORON-10	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
BORON-10	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
BORON-10	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
BORON-11	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
BORON-11	ELAS.SCT	6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0									
BORON-11	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
BORON-11	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
BORON-11	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
CARBON	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
CARBON	ELAS.SCT	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0									
CARBON	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
CARBON	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
CARBON	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
W	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
W	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
W	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
W	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
W	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
BE-9	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
BE-9	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
BE-9	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
BE-9	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
BE-9	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
SPEC.	U-235 -1.00	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-18	-55	-42	25	63	19	12	12									
SPEC.	U-235 -0.90	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-18	-54	-41	24	62	19	12	12									
SPEC.	U-235 -0.80	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-18	-53	-40	24	60	19	12	12									
SPEC.	U-235 -0.70	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-18	-52	-39	23	59	18	12	12									
SPEC.	U-235 -0.60	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-18	-51	-39	22	57	18	12	12									
SPEC.	U-235 -0.50	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-18	-50	-38	22	56	18	12	12									
SPEC.	U-235 -0.40	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-18	-50	-37	21	54	18	12	12									
SPEC.	U-235 -0.30	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-18	-49	-36	21	53	18	12	12									
SPEC.	U-235 -0.20	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-18	-48	-36	20	52	17	12	12									
SPEC.	U-235 -0.10	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-18	-47	-35	20	51	17	12	12									
SPEC.	U-235 -0.05	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-17	-47	-35	19	50	17	12	12									
SPEC.	U-235 0.05	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-17	-46	-34	19	49	17	12	12									
SPEC.	U-235 0.10	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-17	-46	-34	19	48	17	12	12									
SPEC.	U-235 0.20	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-17	-45	-33	18	47	17	12	12									
SPEC.	U-235 0.30	-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-17	-45	-33	18	46	16	12	12									
SPEC.	U-235 0.40	-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-17	-44	-32	17	45	16	12	12									
SPEC.	U-235 0.50	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-17	-43	-32	17	45	16	12	12									
SPEC.	U-235 0.60	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-17	-43	-31	17	44	16	12	12									
SPEC.	U-235 0.70	-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-17	-42	-31	16	43	16	12	12									
SPEC.	U-235 0.80	-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-17	-42	-30	16	42	15	12	12									
SPEC.	U-235 0.90	-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-17	-41	-30	16	41	15	12	12									
SPEC.	U-235 1.00	-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-16	-41	-29	15	41	15	12	12									

表 B-1 (4) 「常陽」MK-III 性能試験における臨界性の感度係数

SPEC. PU-239 -0.40	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-5	-21	-39	-45	26	70	25	19
SPEC. PU-239 -0.30	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-5	-21	-38	-44	26	69	24	19
SPEC. PU-239 -0.20	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-5	-21	-37	-43	25	67	24	19
SPEC. PU-239 -0.10	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-5	-21	-36	-42	24	66	24	18
SPEC. PU-239 -0.05	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-5	-21	-36	-42	24	65	24	18
SPEC. PU-239 0.05	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-5	-21	-35	-41	24	63	23	18
SPEC. PU-239 0.10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-5	-21	-35	-41	23	63	23	18
SPEC. PU-239 0.20	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-5	-21	-34	-40	23	61	23	18
SPEC. PU-239 0.30	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-5	-20	-33	-40	22	60	23	18
SPEC. PU-239 0.40	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-5	-20	-32	-39	22	59	23	18
SPEC. PU-239 0.50	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-5	-20	-32	-38	21	58	22	18
SPEC. PU-239 0.60	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-5	-20	-31	-38	21	57	22	18
SPEC. PU-239 0.70	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-5	-20	-30	-37	20	56	22	18
SPEC. PU-239 0.80	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-5	-20	-30	-36	20	54	22	18
SPEC. PU-239 0.90	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-5	-20	-29	-36	20	53	21	18
SPEC. PU-239 1.00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-5	-20	-28	-35	19	53	21	18

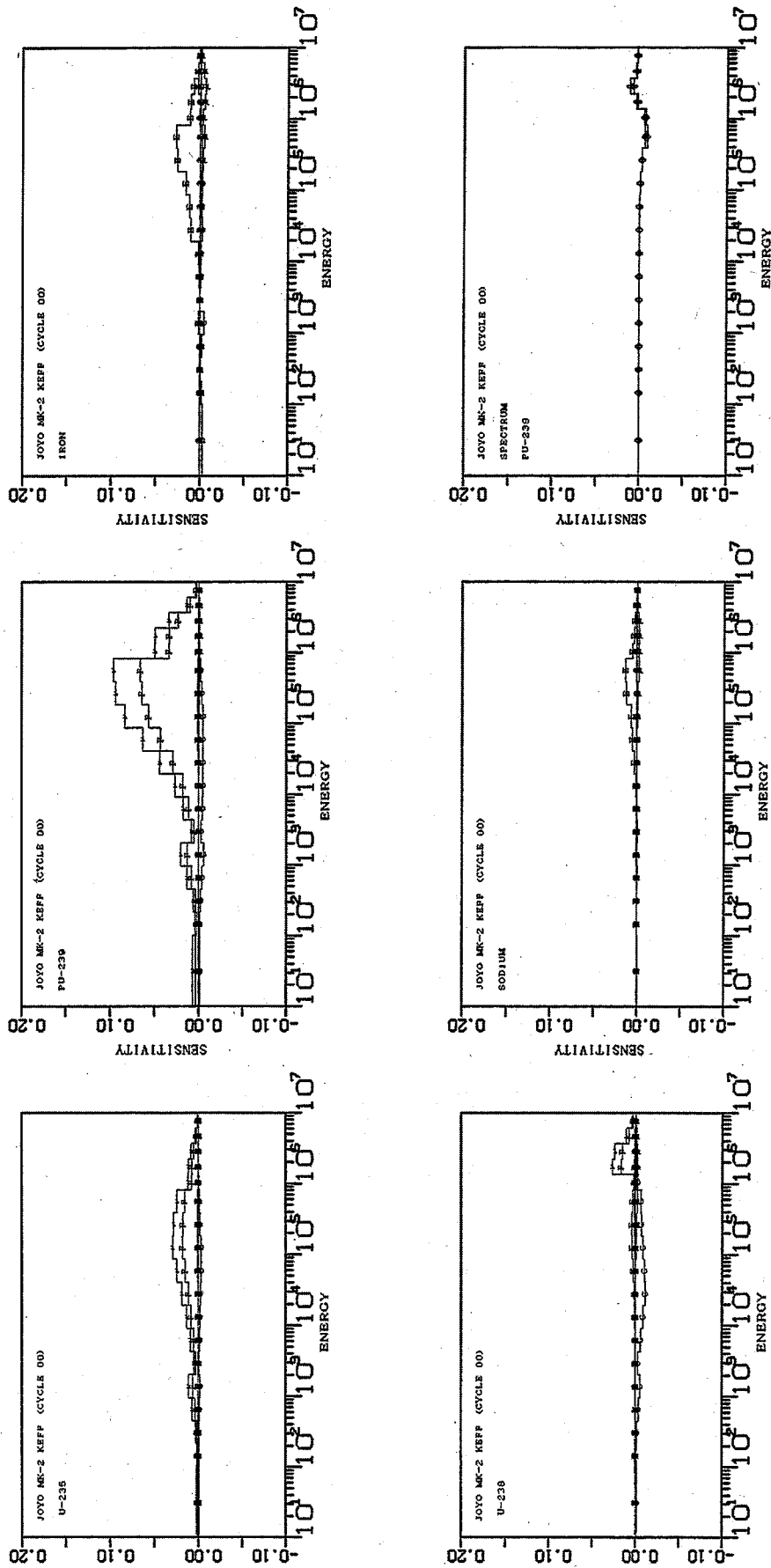


図 B-2 「常陽」MK-II 第 0 サイクルにおける臨界性の感度係数

表 B-2 (1) 「常陽」MK-II 第 0 サイクルにおける臨界性の感度係数

TABLE		JOYO MK-2 KEFF (CYCLE 00)										(HEAVY METAL)						UNIT:1.0E-4			
NUCL.	REACTION	TOTAL	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G	
U-235	CAPTURE	-207	-7	-3	-4	-12	-18	-6	-13	-18	-26	-31	-32	-21	-12	-3	-1	0	0	0	
U-235	NU	2105	24	15	27	70	110	45	90	132	188	245	291	280	118	111	77	30	9		
U-235	FISSION	1266	10	7	13	36	61	25	51	77	113	149	179	175	152	74	69	48	20		
U-235	ELAS.SCT	17	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	4	3	1	1	1	0		
U-235	INEL.SCT	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
U-235	MU-AVE.	-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	-2	-3	-1		
U-235	M2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
U-236	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
U-236	NU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
U-236	FISSION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
U-236	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
U-236	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
U-236	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
U-236	M2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
U-238	CAPTURE	-811	-15	-9	-12	-40	-58	-30	-62	-91	-116	-109	-88	-72	-66	-29	-11	-3	0		
U-238	NU	682	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	21	268	241	110		
U-238	FISSION	431	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	13	166	150	73		
U-238	ELAS.SCT	174	-2	-1	-1	-2	-1	0	1	4	12	24	38	40	33	11	10	6	2		
U-238	INEL.SCT	-10	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	10	14	5	-23	-20	-1	0		
U-238	MU-AVE.	-112	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-6	-13	-22	-12	-18	-23	-14	-3		
U-238	M2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PU-238	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PU-238	NU	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0		
PU-238	FISSION	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0		
PU-238	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PU-238	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PU-238	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PU-238	M2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PU-239	CAPTURE	-457	-15	-9	-19	-40	-58	-26	-44	-46	-49	-46	-46	-35	-18	-4	-2	0	0		
PU-239	NU	6306	64	35	54	131	200	81	172	269	430	632	834	939	962	493	491	339	135		
PU-239	FISSION	4245	33	20	32	79	126	51	111	176	293	427	564	642	661	339	334	233	97		
PU-239	ELAS.SCT	43	0	0	0	0	0	0	1	3	6	9	10	7	2	3	2	0	0		
PU-239	INEL.SCT	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-2	0	0		
PU-239	MU-AVE.	-31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-4	-5	-3	-5	-7	-4	-1		
PU-239	M2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PU-240	CAPTURE	-148	-7	-4	-4	-10	-14	-5	-11	-15	-20	-20	-16	-11	-8	-2	-1	0	0		
PU-240	NU	507	0	0	0	1	2	0	1	3	7	9	11	19	103	113	113	83	33		
PU-240	FISSION	342	0	0	0	0	1	0	1	2	4	6	7	13	70	76	76	56	23		
PU-240	ELAS.SCT	11	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	3	2	0	0	0	0	0		
PU-240	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0		
PU-240	MU-AVE.	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	-1	0	0		
PU-240	M2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PU-241	CAPTURE	-13	0	0	0	-1	0	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-1	0	0	0	0	0		
PU-241	NU	330	6	2	4	9	16	7	14	20	30	38	47	46	38	18	18	12	4		
PU-241	FISSION	220	3	1	2	5	10	4	9	13	20	26	32	31	27	13	12	8	3		
PU-241	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PU-241	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PU-241	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PU-241	M2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PU-242	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PU-242	NU	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3	2	0		
PU-242	FISSION	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	1	0		
PU-242	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PU-242	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PU-242	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PU-242	M2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-241	CAPTURE	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0		
AH-241	NU	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0		
AH-241	FISSION	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0		
AH-241	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-241	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-241	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-241	M2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-242	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-242	NU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-242	FISSION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-242	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-242	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-242	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-242	M2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-242M	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-242M	NU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-242M	FISSION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-242M	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-242M	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-242M	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-242M	M2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-243	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-243	NU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-243	FISSION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-243	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-243	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-243	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AH-243	M2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
NP-237	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
NP-237	NU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
NP-237	FISSION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
NP-237	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
NP-237	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

表 B-2 (2) 「常陽」 MK-II 第 0 サイクルにおける臨界性の感度係数

NP-237	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NP-237	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NP-239	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NP-239	MU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NP-239	FISSION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NP-239	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NP-239	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NP-239	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NP-239	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH-242	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH-242	MU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH-242	FISSION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH-242	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH-242	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH-242	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH-242	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH-243	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH-243	MU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH-243	FISSION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH-243	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH-243	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH-243	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH-243	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH-244	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH-244	MU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH-244	FISSION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH-244	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH-244	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH-244	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH-244	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PU-241FP	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PU-241FP	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PU-241FP	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PU-241FP	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PU-241FP	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U-235FP	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U-235FP	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U-235FP	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U-235FP	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U-235FP	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U-238FP	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U-238FP	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U-238FP	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U-238FP	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U-238FP	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PU-239FP	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PU-239FP	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PU-239FP	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PU-239FP	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PU-239FP	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 B-2 (3) 「常陽」 MK-II 第 0 サイクルにおける臨界性の感度係数

TABLE		JOYO MK-2 KEFF (CYCLE 00)										(STRUCTURE, COOLANT & FISSION SPECTRUM)						UNIT:1.0E-4			
NUCL.	REACTION	TOTAL	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G	
OXYGEN	CAPTURE	-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8	-4
OXYGEN	ELAS.SCT	394	-2	0	0	-1	3	0	3	11	28	36	50	91	84	37	16	24	14	0	0
OXYGEN	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OXYGEN	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OXYGEN	MU-AVE.	-45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	-32	-5	-5	-3	-6	-1	
SODIUM	CAPTURE	-8	-1	0	0	-2	-3	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
SODIUM	ELAS.SCT	522	-3	-2	0	-3	4	2	5	8	26	51	65	124	130	50	32	24	8	1	
SODIUM	INEL.SCT	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	2	5	6	0	
SODIUM	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SODIUM	MU-AVE.	-105	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-9	-23	-20	-22	-19	-7	-1		
CHROMIUM	CAPTURE	-59	-9	-1	-1	-1	-13	-2	-9	-1	-5	-3	-6	-4	-3	-1	0	0	0	0	0
CHROMIUM	ELAS.SCT	413	-2	-1	0	-1	1	0	4	2	10	31	100	84	85	43	35	17	5	0	
CHROMIUM	INEL.SCT	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	4	0
CHROMIUM	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CHROMIUM	MU-AVE.	-76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-5	-8	-7	-16	-22	-12	-3	
MANGAN	CAPTURE	-35	-3	-1	-1	-1	-8	-1	-1	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MANGAN	ELAS.SCT	32	0	0	-4	-1	1	0	0	0	5	5	7	7	6	3	2	1	0	0	0
MANGAN	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MANGAN	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MANGAN	MU-AVE.	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0
IRON	CAPTURE	-238	-29	-6	-4	-5	-49	-1	-8	-11	-23	-18	-24	-22	-18	-4	-3	-5	-5	-3	
IRON	ELAS.SCT	1165	-30	-17	-3	-21	11	0	7	12	103	118	158	235	267	111	102	68	21	3	
IRON	INEL.SCT	47	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	1	1	4	-2	21	19	4	0	
IRON	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IRON	MU-AVE.	-283	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-4	-10	-27	-46	-30	-50	-60	-41	-13	
NICKEL	CAPTURE	-103	-7	-1	-1	-1	-2	-1	-2	-13	-9	-8	-9	-8	-5	-2	-4	-13	-13	-4	
NICKEL	ELAS.SCT	339	-7	-4	-1	-5	3	0	2	23	32	44	49	85	54	27	22	12	3	0	
NICKEL	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	2	0	
NICKEL	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NICKEL	MU-AVE.	-51	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-8	-8	-6	-9	-9	-6	-2		
HOLYBEN	CAPTURE	-38	-7	-2	-2	-4	-3	-1	-3	-3	-3	-3	-3	-2	-2	0	0	0	0	0	0
HOLYBEN	ELAS.SCT	21	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	6	5	2	1	0	0	0	0
HOLYBEN	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HOLYBEN	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HOLYBEN	MU-AVE.	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	-1	0	0	0	0
BORON-10	CAPTURE	-40	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-6	-9	-10	-8	-4	0	0	0	0	0	0
BORON-10	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BORON-10	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BORON-10	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BORON-10	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BORON-11	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BORON-11	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BORON-11	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BORON-11	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BORON-11	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CARBON	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CARBON	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CARBON	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CARBON	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CARBON	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BE-9	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BE-9	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BE-9	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BE-9	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BE-9	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SPEC.	U-235 -1.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-13	-37	-30	15	45	15	9	
SPEC.	U-235 -0.90	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-13	-36	-30	15	43	15	8	
SPEC.	U-235 -0.80	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-13	-35	-29	15	42	15	8	
SPEC.	U-235 -0.70	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-13	-35	-28	14	41	14	8	
SPEC.	U-235 -0.60	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-13	-34	-28	14	40	14	8	
SPEC.	U-235 -0.50	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-13	-34	-27	13	39	14	8	
SPEC.	U-235 -0.40	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-13	-33	-27	13	38	14	8	
SPEC.	U-235 -0.30	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-13	-33	-26	13	37	14	8	
SPEC.	U-235 -0.20	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-13	-32	-26	12	36	14	8	
SPEC.	U-235 -0.10	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-13	-32	-25	12	35	13	8	
SPEC.	U-235 -0.05	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-13	-31	-25	12	35	13	8	
SPEC.	U-235 0.05	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-13	-31	-25	12	34	13	8	
SPEC.	U-235 0.10	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-13	-31	-25	11	34	13	8	
SPEC.	U-235 0.20	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-12	-30	-24	11	33	13	8	
SPEC.	U-235 0.30	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-12	-30	-24	11	32	13	8	
SPEC.	U-235 0.40	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-12	-29	-23	11	32	13	8	
SPEC.	U-235 0.50	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-12	-29	-23	10	31	12	8	
SPEC.	U-235 0.60	-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-12	-29	-23	10	30	12	8	
SPEC.	U-235 0.70	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-12	-28	-22	10	30	12	8	
SPEC.	U-235 0.80	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-12	-28	-22	10	29	12	8	
SPEC.	U-235 0.90	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-12	-28	-21	10	29	12	8	
SPEC.	U-235 1.00	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-12	-27	-21	9	28	12	8	
SPEC.	Pu-239 -1.00	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-8	-31	-84	-71					

表 B-2 (4) 「常陽」 MK-II 第 0 サイクルにおける臨界性の感度係数

SPEC. PU-239 -0.40	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-8	-29	-76	-63	31	94	37	25
SPEC. PU-239 -0.30	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-8	-29	-75	-62	31	92	37	25
SPEC. PU-239 -0.20	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-8	-29	-74	-60	30	90	36	25
SPEC. PU-239 -0.10	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-8	-29	-73	-59	29	88	36	25
SPEC. PU-239 -0.05	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-8	-29	-72	-59	29	87	36	25
SPEC. PU-239 0.05	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-8	-29	-71	-58	28	85	35	25
SPEC. PU-239 0.10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-8	-29	-71	-57	28	84	35	25
SPEC. PU-239 0.20	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-8	-28	-70	-56	27	82	35	25
SPEC. PU-239 0.30	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-8	-28	-69	-55	27	81	34	25
SPEC. PU-239 0.40	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-8	-28	-68	-54	26	79	34	25
SPEC. PU-239 0.50	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-8	-28	-67	-54	25	77	34	25
SPEC. PU-239 0.60	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-8	-28	-66	-53	25	76	33	25
SPEC. PU-239 0.70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-8	-28	-65	-52	24	74	33	24
SPEC. PU-239 0.80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-8	-28	-64	-51	24	73	32	24
SPEC. PU-239 0.90	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-8	-27	-63	-50	23	72	32	24
SPEC. PU-239 1.00	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-8	-27	-63	-50	23	70	32	24

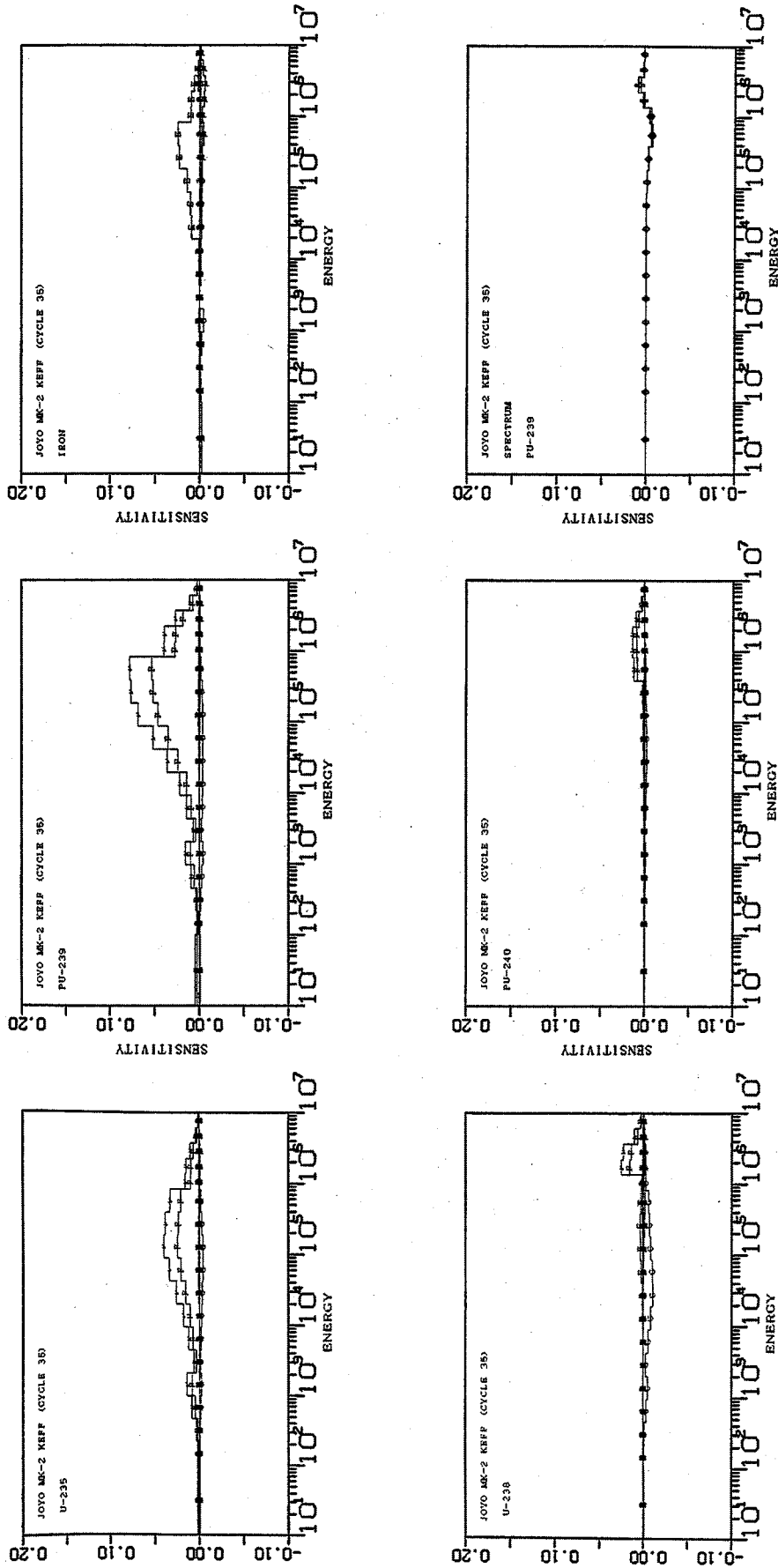


図 B-3 「常陽」MK-II 第 35 サイクルにおける臨界性の感度係数

