

JNC TJ9400 99-002

高速炉核特性の数値解析手法の改良 (IV)

(核燃料サイクル開発機構 研究委託内容報告書)

1999年3月

大阪大学工学部

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。

〒 319-1194 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

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 319-1194, Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
1999

1999年3月

高速炉核特性の数値解析手法の改良(IV)

(核燃料サイクル開発機構 研究委託内容報告書)

竹田 敏一* 山本 敏久* 北田 孝典*

要　旨

高速炉核特性の数値解析手法の改良の一環として、以下の3件に関する研究を実施した。

第1部 ブランケット領域での反応率計算法の改良

断面積の詳細エネルギー群構造から直接にバンドパラメータを計算する手法（詳細エネルギー評価法）を用い、バンド間散乱を含めた詳細な中性子バランス式を解く方法を確立した。また、マルチバンド法の効果を方向依存ミクロ断面積の形で従来のSn法に組み入れる方法を示した。

本手法を「もんじゅ」の反応率分布計算に本手法を適用した結果、ブランケットでの反応率分布の最大増加量は、U-238 capで10%、Pu-239 fisで12%、U-235 fisで12%、U-238 fisで1%となった。また、方向依存ミクロ断面積を使用する効果は小さく、ほとんどがミクロ断面積の絶対値が変化する効果であることがわかった。

第2部 摂動モンテカルロ法による反応度評価手法の改良

モンテカルロ法で摂動を取り扱う手法である、相関サンプリング法と導関数演算子サンプリング法を用いて、非常に大きな密度摂動を伴う場合について検証計算を行った。この結果、導関数演算子サンプリング法については、現状の1次微分項までの展開では不十分で、2次以上の項を考慮する必要があることがわかった。また、摂動に伴う随伴中性子束のエネルギー、空間分布の変化を考慮する手法について理論的検討を行ない、厳密摂動理論に基づく計算式を導き出した。

第3部 高速炉心の中性子スペクトルの誤差評価と計算精度向上策の検討

高速炉の核特性解析精度の向上のために使用されている断面積調整法とドジメトリー解析で使用されている unfolding 法とを理論的に比較し、両者の特徴を明らかにした。両者の特徴を生かした改良法として、断面積誤差による中性子スペクトルへの影響を取り入れた unfolding 法、および中性子スペクトルの unfolding を取り入れた断面積調整法についての理論的検討を行った。

本報告書は、大阪大学が核燃料サイクル開発機構の委託により実施した研究成果に関するものである。

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

*：大阪大学大学院工学研究科原子力工学専攻

Improvement of Numerical Analysis Method for FBR Core Characteristics (IV)

Toshikazu Takeda*, Toshihisa Yamamoto* and Takanori Kitada*

Abstract

Investigation was made on the following three themes as a part of the improvement of numerical analysis method for FBR core characteristics.

Part 1: Improvement of Reaction Rate Calculation Method in Blanket Region

A method to calculate multiband parameters directly from the precise energy structure of a cross section was established. This method can treat the precise neutron balance equation including the inter-band scattering. The procedure to treat the multiband effect with the conventional Sn code by the use of direction-dependent microscopic cross sections is shown.

This procedure was applied to reaction rate distribution analysis on MONJU. As the result, the reaction rates increased in the blanket regions: the maximum increase was 10% for U-238 cap, 12% for Pu-239 fis, 12% for U-235 fis, and 1% for U-238 fis. It became clear that the effect of the use of direction-dependent microscopic cross sections is small; thus most of the effect can be attributed to the change of microscopic cross section itself.

Part 2: Improvement of Reactivity Calculation by the Use of Monte Carlo Perturbation Method

Applicability of the two Monte Carlo perturbation methods; the correlated sampling method and the derivative operator sampling method, to the perturbation problems with large change in material densities was investigated through numerical calculations. The result shows the fact that

the present derivative operator sampling method, which treats only the first order term, is insufficient and higher order terms should be considered for such a large perturbation. Investigation was made on the new method which can treat the effect of adjoint flux change in energy and space distribution due to the perturbation, and a new formulation based on the exact perturbation was derived.

Part 3: Investigation of Error Estimation of Neutron Spectra in FBR and Suggestions to Improve the Accuracy

A comparison was made between the two methods to improve the accuracy in the neutronic characteristics analysis in fast breeder reactors; the cross section adjustment method and the unfolding method, the latter of which is often used in dosimetry analysis. New methods were proposed to improve the both methods; a new unfolding method which treats the effect of cross section errors to neutron spectra, and a new cross section adjustment method which treats the unfolding of neutron spectra.

This work was performed by Osaka University under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

JNC Liaison: O-arai Engineering Center, Reactor Physics Research Group

*: Department of Nuclear Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University

第1部

ブランケット領域での反応率計算法の改良

目 次

第1章 はじめに	5
第2章 詳細エネルギー評価法によるバンドパラメータの作成	6
2.1 計算手法	6
2.2 バンド散乱断面積	8
2.3 NJOYコードによるバンドパラメータの計算	9
2.4 計算結果	9
2.5 NR近似の妥当性評価	10
2.6 方向依存ミクロ断面積の作成	11
2.7 まとめ	12
第3章 マルチバンド法による反応率分布解析	46
3.1 計算条件	46
3.2 計算結果	47
3.3 方向別ミクロ断面積の効果	47
3.4 まとめ	48
第4章 結論	66
付録1 システム全体の計算手順	67
付録2 マルチバンドSn法解析システムの出入力ファイル一覧	70
付録3 NJOYコードの改修箇所の説明	72
付録4 バンド間散乱の効果	73
参考文献	94

図表リスト

第2章

- 表 2.1 U-238 の 5 バンドパラメータ
表 2.2 Fe の 5 バンドパラメータ
表 2.3 U-238 のバンド間散乱遷移確率
表 2.4 Fe のバンド間散乱遷移確率
- 図 2.1 U-238 のバンド別中性子束分布 (30 群、incoming 方向)
図 2.2 U-238 のバンド別中性子束分布 (30 群、outgoing 方向)
図 2.3 U-238 のバンド別中性子束分布 (46 群、incoming 方向)
図 2.4 U-238 のバンド別中性子束分布 (46 群、outgoing 方向)
図 2.5 Fe のバンド別中性子束分布 (15 群、incoming 方向)
図 2.6 Fe のバンド別中性子束分布 (15 群、outgoing 方向)
図 2.7 Fe のバンド別中性子束分布 (25 群、incoming 方向)
図 2.8 Fe のバンド別中性子束分布 (25 群、outgoing 方向)
図 2.9 方向別 U-238 全断面積 (30 群)
図 2.10 方向別 U-238 全断面積 (46 群)
図 2.11 方向別 Fe 全断面積 (15 群)
図 2.12 方向別 Fe 全断面積 (25 群)

第3章

- 図 3.1 簡易化された「もんじゅ」RZ 体系モデル
図 3.2 U-238 (n,g) の反応率分布相対比 (方向依存／通常手法、U-238)
図 3.3 Pu-239 (n,f) の反応率分布相対比 (方向依存／通常手法、U-238)
図 3.4 U-235 (n,f) の反応率分布相対比 (方向依存／通常手法、U-238)
図 3.5 U-238 (n,f) の反応率分布相対比 (方向依存／通常手法、U-238)
図 3.6 U-238 (n,g) の反応率分布相対比 (方向依存／通常手法、Fe)
図 3.7 Pu-239 (n,f) の反応率分布相対比 (方向依存／通常手法、Fe)
図 3.8 U-235 (n,f) の反応率分布相対比 (方向依存／通常手法、Fe)
図 3.9 U-238 (n,f) の反応率分布相対比 (方向依存／通常手法、Fe)
図 3.10 U-238 (n,g) の反応率分布相対比 (方向依存／方向依存なし、U-238)

- 図 3.11 Pu-239 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／方向依存なし、U-238）
- 図 3.12 U-235 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／方向依存なし、U-238）
- 図 3.13 U-238 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／方向依存なし、U-238）
- 図 3.14 U-238 (n,g) の反応率分布相対比（方向依存／方向依存なし、Fe）
- 図 3.15 Pu-239 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／方向依存なし、Fe）
- 図 3.16 U-235 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／方向依存なし、Fe）
- 図 3.17 U-238 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／方向依存なし、Fe）

付録 4

- 図 A.1 U-238 のバンド別中性子束分布（30 群、incoming 方向、バンド間散乱なし）
- 図 A.2 U-238 のバンド別中性子束分布（30 群、outgoing 方向、バンド間散乱なし）
- 図 A.3 U-238 のバンド別中性子束分布（46 群、incoming 方向、バンド間散乱なし）
- 図 A.4 U-238 のバンド別中性子束分布（46 群、outgoing 方向、バンド間散乱なし）
- 図 A.5 Fe のバンド別中性子束分布（15 群、incoming 方向、バンド間散乱なし）
- 図 A.6 Fe のバンド別中性子束分布（15 群、outgoing 方向、バンド間散乱なし）
- 図 A.7 Fe のバンド別中性子束分布（25 群、incoming 方向、バンド間散乱なし）
- 図 A.8 Fe のバンド別中性子束分布（25 群、outgoing 方向、バンド間散乱なし）
- 図 A.9 方向別 U-238 全断面積（30 群、バンド間散乱なし）
- 図 A.10 方向別 U-238 全断面積（46 群、バンド間散乱なし）
- 図 A.11 方向別 Fe 全断面積（15 群、バンド間散乱なし）
- 図 A.12 方向別 Fe 全断面積（25 群、バンド間散乱なし）
- 図 A.13 U-238 (n,g) の反応率分布相対比（方向依存／通常手法、U-238、バンド間散乱なし）
- 図 A.14 Pu-239 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／通常手法、U-238、

バンド間散乱なし)

- 図 A.15 U-235 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／通常手法、U-238、
バンド間散乱なし）
- 図 A.16 U-238 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／通常手法、U-238、
バンド間散乱なし）
- 図 A.17 U-238 (n,g) の反応率分布相対比（方向依存／通常手法、Fe、バンド
間散乱なし）
- 図 A.18 Pu-239 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／通常手法、Fe、バン
ド間散乱なし）
- 図 A.19 U-235 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／通常手法、Fe、バンド
間散乱なし）
- 図 A.20 U-238 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／通常手法、Fe、バンド
間散乱なし）

第1章 はじめに

JUPITER 実験⁽¹⁾⁻⁽³⁾を初めとする実験解析を通じて、高速炉炉心内の反応率分布はかなり精度良く解析できるようになりつつあるが、ブランケット領域で計算値が実験値を過小評価するという傾向は、依然として炉心解析の分野で主要な問題であり続けている。近年、連続エネルギーモンテカルロ法によるブランケット領域の反応率解析が実施され、連続エネルギーモンテカルロ法は実験結果をかなり良く再現することが報告されている⁽⁴⁾。この結果は、現行の計算手法、特に共鳴核種を含んだ体系での中性子束の詳細なエネルギースペクトル構造が再現できていないことを示唆している。

一方、共鳴核種のミクロ断面積の複雑なエネルギー依存性を精度良く取り扱う方法として、近年マルチバンド法が着目され、軽水炉体系の炉心解析などに取り入れられている^{(5),(6)}。昨年度は、フィッティング法に基づく3バンドパラメータを使って、ブランケット領域の反応率分布を詳細に評価する手法を検討した。この結果、構造核種をマルチバンド法で取り扱うことにより、ブランケット深部の各種反応率が上昇する方向に補正がなされ、実験値と解析値のずれが改善されることが確認できた。

しかし、フィッティング法は元来、無限希釈断面積に依存しないようなパラメータ群の存在を仮定しており、必ずしもそれが満たされる物理的根拠はない。この手法上の無理は、共鳴が存在するエネルギー領域でパラメータ群が求められないなどの問題となって現れている。また、フィッティング法を初めとする従来のマルチバンド法ではバンド間を移行する散乱（バンド間散乱）が正確に扱われておらず、高速炉ブランケットのように中性子の減速が支配的で、中性子スペクトルの変化が大きい場合には適用できない。

本研究では、昨年度に追加検討の形で示した、断面積の詳細エネルギー群構造から直接にバンドパラメータを計算する手法（詳細エネルギー評価法）を用い、バンド間散乱を含めた詳細な中性子バランス式を解く方法を確立した。また、マルチバンド法の効果を方向依存ミクロ断面積の形で従来の Sn 法に組み入れる方法を示す。最後に、本手法を「もんじゅ」の反応率分布計算に本手法を適用し、解析結果について評価する。

第2章では、詳細エネルギー評価法によりバンドパラメータを計算する手法、および U-238 と Fe について求めた 5 バンドパラメータの結果を示す。第3章では、「もんじゅ」の反応率分布計算に本手法を適用した結果について報告する。

第2章 詳細エネルギー評価法によるバンドパラメータの作成

フィッティング法によって、既存の f テーブルからバンドパラメータを求める手法は、バンド確率やバンド断面積が直接求められるため、任意の f テーブルから一意的なバンドパラメータが作成できるという利点がある。しかし、マルチバンド法の元来の定義によれば、バンド境界は任意に取れるはずであり、フィッティング法で求められるバンドパラメータが一意的であるということを裏返せば、その分自由度が失われていることを意味する。このことは、共鳴の形が比較的に分離されやすい一部のエネルギー領域を除いて、しばしば物理的な意味をなさないバンドパラメータが計算されることからも裏付けられる。

また、高速炉の解析ではエネルギーが比較的に高い領域（数 keV 以上）のみが計算結果に影響し、U-238 の非分離共鳴領域の扱いを無視することはできない。一方、こういった高エネルギー領域ではフィッティング法でうまくバンドパラメータが求められないことが多い。

そこで、本年度は詳細エネルギー評価法によってバンドパラメータを計算する機能を NJOY コードに組み込んだ。

2.1 計算手法

バックグラウンド断面積 σ_0 に対する反応 r の実効断面積は、通常 NR 近似を仮定した以下のような式に基づいて算出される。

$$\sigma_r = \langle \sigma_r(E) / (\sigma_t(E) + \sigma_0) \rangle / \langle 1 / (\sigma_t(E) + \sigma_0) \rangle \quad (1)$$

ただし、 σ_t はその核種の全断面積であり、 $\langle \rangle$ は着目するエネルギー群のエネルギー範囲で積分することを示している。

ここで、 $\sigma_t(E)$ の大きさに応じてバンド分け ($B=1, 2, \dots, N$) を行い、そのエネルギー範囲を E_B と定義する。すなわち、

$$E_B \in \{E \mid \sigma_{\min,B} < \sigma_t(E) < \sigma_{\max,B}\} \quad (2)$$

ただし、 $\sigma_{\min,B}$ と $\sigma_{\max,B}$ は、バンド B のエネルギー範囲の最小および最大を示す。ここで、バンド確率およびバンド断面積を以下のように定義する。

$$P_B = E_B / \text{Sum}_B E_B \quad (3)$$

$$\sigma_{r,B} = \langle \sigma_r(E) / (\sigma_t(E) + \sigma_0) \rangle_{EB} / \langle 1 / (\sigma_t(E) + \sigma_0) \rangle_{EB} \quad (4)$$

明らかに、

$$\text{Sum}_B P_B = 1 \quad (5)$$

また、

$r = t$ として(4)式を変形すると、

$$\langle \sigma_t(E) / (\sigma_t(E) + \sigma_0) \rangle = 1 - \sigma_0 \langle 1 / (\sigma_t(E) + \sigma_0) \rangle_{EB} \text{より、}$$

$$E_B / (\sigma_{t,B} + \sigma_0) = \langle 1 / (\sigma_t(E) + \sigma_0) \rangle_{EB} \quad (6)$$

(3)式の定義より、

$$P_B / (\sigma_{t,B} + \sigma_0) = \langle 1 / (\sigma_t(E) + \sigma_0) \rangle_{EB} / \text{Sum}_B E_B \quad (7)$$

また、(4)式の定義より、

$$P_B \sigma_{t,B} / (\sigma_{t,B} + \sigma_0) = \langle \sigma_t(E) / (\sigma_t(E) + \sigma_0) \rangle_{EB} / \text{Sum}_B E_B \quad (8)$$

(7),(8)式より、

$$\begin{aligned} \sigma_t &= \langle \sigma_t(E) / (\sigma_t(E) + \sigma_0) \rangle / \langle 1 / (\sigma_t(E) + \sigma_0) \rangle \\ &= \text{Sum}_B \langle \sigma_t(E) / (\sigma_t(E) + \sigma_0) \rangle_{EB} \\ &\quad / \text{Sum}_B \langle 1 / (\sigma_t(E) + \sigma_0) \rangle_{EB} \\ &= \text{Sum}_B P_B \sigma_{t,B} / (\sigma_{t,B} + \sigma_0) / \text{Sum}_B P_B / (\sigma_{t,B} + \sigma_0) \end{aligned} \quad (9)$$

(9)式は、フィッティング法の際に使用される式であり、本手法で求めたパラメータは、フィッティング法の結果と一致することを示している。

NJOY コードでは、詳細群での中性子スペクトル $\phi(E)$ を求め、それを重み関数として実効断面積を計算するようになっている。

$$\sigma_r = \langle \sigma_r(E) \phi(E, \sigma_0) \rangle / \langle \phi(E, \sigma_0) \rangle \quad (10)$$

ただし、NR 近似では

$$\phi(E, \sigma_0) = C / (\sigma_t(E) + \sigma_0) \quad C:\text{定数} \quad (11)$$

である。

この他、NJOY では減速方程式を解いて、 $\phi(E, \sigma_0)$ を直接に解く計算オプションがあり、バンドパラメータの作成にも使用できる（後述）。

2.2 バンド散乱断面積

直接的な手法では、散乱前後の中性子エネルギーがどのバンドに所属するかという情報さえあれば、簡単に求めることが可能である。

簡単のため、ここでは弾性散乱のみを扱うことにする。今、中性子が散乱前にバンド B に属し、散乱後にバンド B'へ遷移したとする。

$$\begin{aligned} E_B &\in \{E \mid \sigma_{\min,B} < \sigma_t(E) < \sigma_{\max,B}\} , \\ E_{B'} &\in \{E' \mid \sigma_{\min,B'} < \sigma_t(E') < \sigma_{\max,B'}\} \end{aligned} \quad (12)$$

前節と同様の式の変形によって、B バンドの全散乱断面積に対して以下の式を得る。

$$\sigma_{s,B} = \langle \sigma_s(E) / (\sigma_t(E) + \sigma_0) \rangle_{EB} / \langle 1 / (\sigma_t(E) + \sigma_0) \rangle_{EB} \quad (13)$$

$$\sigma_{s,B} = \text{Sum}_{B'} \sigma_{s,B \rightarrow B'} \quad (14)$$

弾性散乱後の中性子エネルギーは、以下のエネルギー範囲に等確率で分布する。

$$E' \in \{E' \mid E > E' > \alpha E\} , \alpha = (A-1)^2/(A+1)^2 \quad (15)$$

今、(10)式によってあらかじめ E が属するバンド B' を定義しておけば、

$$E_{B'} \in \{E' \mid E > E' > \alpha E \cap \sigma_{\min,B'} < \sigma_t(E') < \sigma_{\max,B'}\} \quad (16)$$

なるエネルギー領域の大きさを求めることにより、散乱後のバンド遷移確率が与えられる。

$$P(B \rightarrow B') = \langle E_{B'} \rangle_{EB} / \text{Sum}_B \langle E_{B'} \rangle_{EB} \times \{1 - P(g \rightarrow g+1)\} \quad (17)$$

ただし、 $P(g \rightarrow g+1)$ はバンドの低エネルギー側の境界を超えて、次の群へ散乱する確率である。この項を厳密に扱って、 $g \rightarrow g+1$ への散乱にもバンド間散乱を導入することは可能であるが、ここでは自群同士のバンド間散乱のみを考慮するものとする。また、高速炉で問題となる中性子エネルギーでは、共鳴の幅が十分に狭いので、バンドの低エネルギー側の境界を超える分を一括して処理する(17)式の近似は妥当であると予測できる。

バンド B から B'への散乱断面積は、以下の式で与えられる。

$$\begin{aligned} \sigma_{s,B \rightarrow B'} &= P(B \rightarrow B') \\ &\times \langle \sigma_s(E) / (\sigma_t(E) + \sigma_0) \rangle_{EB} / \langle 1 / (\sigma_t(E) + \sigma_0) \rangle_{EB} \end{aligned} \quad (18)$$

NJOY コードでは、中性子詳細群での中性子スペクトル $\phi(E)$ を用いて、それ

を重み関数として実効断面積を計算するようになっている。

$$\sigma_{s, B \rightarrow B'} = P(B \rightarrow B') \\ \times \langle \sigma_s(E) \phi(E, \sigma_0) \rangle_{EB} / \langle \phi(E, \sigma_0) \rangle_{EB} \quad (19)$$

同様に、減速方程式を解いて得られた $\phi(E)$ を使って、バンド散乱断面積を求めることが可能である。

2.3 NJOY コードによるバンドパラメータの計算

NJOY コードでは、合計数十万点以上の詳細な群構造を持つ "pointwise" な核データを扱い、指定されたエネルギー範囲について(10)式に基づく計算を行う (sub PANEL)。バンドパラメータでは、(12)式で定義される積分範囲で分母および分子の総和を計算する必要がある。このため、"pointwise" なエネルギー一群ひとつひとつに対して、全断面積の大きさを判定し、そのエネルギー群が属するバンドを決定し、変数 nscore に記憶される。(10)式の分母と分子の総和の計算結果は、バンド毎に変数 ansbnd に保存され、一回の計算ですべてのバンドの計算が完了するように工夫されている。

バンド間散乱断面積は、各エネルギー群ひとつひとつに対して、散乱後のエネルギー群が属するバンドを判定し、バンド間遷移確率を(17)式に基づいて計算する。ただし、積分範囲は(15)式で定義される区間に限定される。計算結果は変数 sctbnd に保存され、規格化された後に FT03 に出力される。

注意すべき事項としては、対象核種により変更すべき以下の定数が入力ではなく、プログラムに直接書き込まれていることで、計算対象に応じて適宜修正する必要がある。

-バンド境界の断面積の大きさ (group.r.2622 直後)

-着目核種の原子量 (group.r.2647 直後、a = 238.0)

2.4 計算結果

NR 近似から求めた U-238 の 5 バンドパラメータの結果を表 2.1 に示す。組成は「もんじゅ」ブランケット、温度条件は 300K とした。群構造は、昨年までと同様に SRAC ライブラリーの 107 群構造とした。ただし、実際にバンドパラメータを計算したのは 59 群までである。計算に使用したバックグラウンド断面積の値を表 2.2 に示す。

59 群のみ、 NR 近似と厳密解でバンド確率の値が違っているが、これはエネルギー積分範囲を暫定値にしたために生じた数値計算誤差と考えられる。共鳴のピークに属するバンドでは、すべての群で全断面積がバンドの上限と下限の中央値よりも小さくなっていることがわかる。これは、全断面積が大きいほど中性子束が小さくなり、(4)式での重みが小さくなるからである。逆に、共鳴ウインドウに属するバンドでは、むしろ上限値に近い値を取っている。これまでフィッティング法で求められた共鳴ウインドウでの全断面積は、"pointwise" の断面積プロットと比較しても、明らかに小さすぎる結果を示していたが、今回の結果ではそのような問題は見られず、妥当な結果になっている。

同様に、NR 近似による Fe の 5 バンドパラメータを表 2.3 に示す。25-24 群にはっきりとした共鳴ウインドウが現れている。また、昨年度の検討では 18 群を上限としてパラメータを求めたが、それより高いエネルギー群でも同様の共鳴ウインドウが見られることがわかった。

表 2.4 に U-238 のバンド間散乱遷移確率を示す。 i 行 j 列のデータは、 i バンドから j バンドへの遷移確率を示している。特に他のバンドへの遷移確率が大きいものをイタリック体で示した。U-238 は(15)式の α がほとんど 1 に近いため、共鳴幅が大きい低エネルギー群（57 群など）では他のバンドへの遷移確率は小さい。逆に、比較的高エネルギー群（38 群など）では共鳴幅が小さくなり、共鳴ピークで散乱を起こして共鳴ウインドウに飛び込む中性子の割合が多くなることがわかる。38 群の場合、共鳴ピーク（第 3 バンド）から共鳴ウインドウ（第 1 バンド）への遷移確率は、全体の 70% にも達している。

表 2.5 に Fe のバンド間散乱遷移確率を示す。25 群では、共鳴ピーク（第 3 バンド）から共鳴ウインドウ（第 1, 2 バンド）への遷移確率は、ほとんど 100% である他、高エネルギーで同様の傾向が見られる。

2.5 NR 近似の妥当性評価

これまでのマルチバンド法では、バンドパラメータを求める際に NR 近似 (Narrow Resonance Approximation)に基づく式を用い、さらにバンドパラメータを用いて自己遮蔽効果を入れた計算を行う際にも NR 近似を用いていた。NR 近似は、着目する共鳴の全幅 Γ が、その核種の散乱による中性子の最大エネルギー減少の幅よりも十分に小さい場合に成立し、高速炉の炉心計算など比較的に中性子エネルギーが高い領域ではよい近似と見なすことができるが、軽水炉の計算で重要な影響を与える U-238 の 6.68eV 付近の共鳴では、共鳴幅は 0.025eV 程度と大きく、NR 近似が成立しない。このような場合については、共鳴内に供給される減速密度の中に、共鳴内で散乱された中性子の寄与を考慮

する必要がある。

すでに述べたように、本手法では NJOY コードで減速方程式を解いて得られる詳細群中性子束を重み関数として使用できるため、共鳴内で散乱された中性子の寄与を考慮したバンドパラメータを計算することが可能である。

減速方程式を解いて得られた厳密解から求めた U-238 の 5 バンドパラメータの結果を表 2.6 に示す。また、NR 近似による厳密解からの % 誤差を表 2.7 に示す。42 群より上のエネルギー群では、NR 近似の誤差は無視できることがわかる。共鳴のピークに属するエネルギー群（57 群、53 群など）では、共鳴散乱の効果を取り入れることによって、一般的に捕獲断面積が大きくなることが知られているが、バンドによっては必ずしもそうではないことがわかる。51 群や 44 群では、反応間にも傾向の逆転が見られる。

同様の検討を Fe について行った結果を表 2.8、2.9 に示す。Fe の場合は、22 群よりも高いエネルギーでは NR 近似の誤差は無視できることがわかる。しかし、24 群の共鳴ウインドウでは散乱断面積に対して 5-7% 程度の誤差が現れている。高速炉体系では、Fe の捕獲反応の影響はあまりないと考えられることから、NR 近似の影響は 24-30 群のエネルギー領域に集中して現れると考えられる。

2.6 方向依存ミクロ断面積の作成

マルチバンドパラメータは、着目する核種に対して一意的に求められるが、その核種についてしか意味を持たない。例えば、U-238 の第 3 バンドと Fe の第 3 バンドは物理的に何の関係もなく、両者に共通に使用できるようなパラメータを求めるためには、別途、条件式を加えてパラメータを求め直す必要がある。本検討のように、複数の核種が含まれる構造材を解析対象とする場合にも同様の問題が生ずる。この問題を解決するために、以下のような手順をとる。

- 1) まず、着目する核種（例えば Fe）についてマルチバンド Sn 法でバンド中性子束分布を求める。
- 2) 次に各計算ポイントごとに、得られたバンド中性子束とバンド断面積を用いて以下の式で通常の多群定数に戻す。この時、バンド中性子束の方向依存性を生かして、方向別の断面積を求める。ただし、 ϕ_B^+ および ϕ_B^- は、炉心からもれ出す方向 (outgoing) と炉心へもれ込む方向 (incoming) にそれぞれ半球状に角度積分して得られた部分中性子束である。

$$\sigma_{x^+} = \text{Sum}_B (\sigma_{x,B} \cdot \phi_B^+) / \text{Sum}(\phi_B^+) \quad (20a)$$

$$\sigma_x^- = \text{Sum}_B (\sigma_{x,B}^- \cdot \phi_B^-) / \text{Sum}(\phi_B^-) \quad (20b)$$

3) 最終的に、各々の核種で得られた方向依存のミクロ断面積から、方向依存のマクロ断面積を作成し、これを用いて解析する。

$$\Sigma_x^+ = \text{Sum}_m (\sigma_{x,m}^+ \cdot N_m) \quad (21a)$$

$$\Sigma_x^- = \text{Sum}_m (\sigma_{x,m}^- \cdot N_m) \quad (21b)$$

こうして求めたマクロ断面積は、エネルギー依存性に加え、場所依存、方向依存となる。

図 2.1-2.8 に U-238 および Fe の代表的なエネルギー群における、バンド毎の中性子束（バンド中性子束）分布を、図 2.9-2.12 と同じく(20)式に基づいて計算した方向依存ミクロ断面積の分布を示す。どの核種、エネルギー群についても、炉心からブランケットに向かう方向 (outgoing)へは断面積が小さく、逆の方向 (incoming)では断面積が大きくなっている。この傾向によって、中性子がブランケット深部に到達しやすくなり、ブランケット深部での反応率を増加させる方向に働くことが予想できる。特に、Fe の 25 群には良く知られたウインドウが存在し、ミクロ断面積の方向依存性も極端に大きいものになっている。これは、ウインドウ部と同じエネルギーを持つ中性子がブランケット深部に向かって透過しやすくなるためと考えられる(図 2.12)。

2.7 まとめ

U-238 や Fe について、詳細エネルギー評価法によってマルチバンドパラメータを作成し、マルチバンド Sn 法により方向依存ミクロ断面積を作成した。いずれの核種、エネルギー群についても、炉心からブランケットに向かう方向 (outgoing)へは断面積が小さく、逆の方向 (incoming)では断面積が大きくなる傾向が見られ、ブランケット深部での反応率を増加させる方向に補正されたことが確認できた。

また、バンド間散乱の効果を考慮することにより、共鳴ピークで散乱した中性子がウインドウ部に落ち込んで、ブランケット深部に浸透しやすくなる効果が取り扱われることが確認できた（付録 4）。

表 2.1 U-238 の 5 バンドパラメータ*

group	band-1 1-10b	band-2 10-100b	band-3 100-1kb	band-4 1-10kb	band-5 10-100kb
59	3.60E-01	6.40E-01	4.73E-07	0.00E+00	0.00E+00
	9.62E+00	1.15E+01	1.23E+02	0.00E+00	0.00E+00
	9.00E+00	9.39E+00	3.37E+01	0.00E+00	0.00E+00
	2.11E-06	8.98E-06	3.88E-04	0.00E+00	0.00E+00
	6.17E-01	2.08E+00	8.93E+01	0.00E+00	0.00E+00
58	3.28E-01	6.60E-01	1.22E-02	0.00E+00	0.00E+00
	9.49E+00	1.58E+01	1.09E+02	0.00E+00	0.00E+00
	7.40E+00	5.63E+00	1.35E+00	0.00E+00	0.00E+00
	2.85E-06	7.62E-06	5.64E-05	0.00E+00	0.00E+00
	2.10E+00	1.01E+01	1.08E+02	0.00E+00	0.00E+00
57	0.00E+00	7.44E-01	1.22E-01	1.34E-01	0.00E+00
	0.00E+00	2.01E+01	2.55E+02	2.63E+03	0.00E+00
	0.00E+00	1.31E+01	2.88E+01	1.66E+02	0.00E+00
	0.00E+00	1.58E-06	9.61E-05	1.07E-03	0.00E+00
	0.00E+00	7.06E+00	2.26E+02	2.47E+03	0.00E+00
56	1.10E-01	8.90E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	9.81E+00	1.09E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	9.39E+00	1.00E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	4.71E-07	3.36E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	4.20E-01	9.22E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
55	9.69E-01	3.10E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	9.18E+00	1.01E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	8.85E+00	9.12E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	6.59E-07	5.58E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	3.25E-01	9.42E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
54	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	7.99E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	7.54E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	1.43E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	4.58E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
53	4.82E-01	3.69E-01	6.50E-02	8.35E-02	0.00E+00
	7.10E+00	2.94E+01	2.26E+02	2.76E+03	0.00E+00
	4.62E+00	1.70E+01	7.60E+01	8.55E+02	0.00E+00
	6.44E-06	2.90E-05	3.55E-04	4.50E-03	0.00E+00
	2.48E+00	1.24E+01	1.50E+02	1.90E+03	0.00E+00
52	2.92E-01	7.08E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	9.14E+00	1.25E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	8.75E+00	1.16E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	5.37E-07	1.43E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	3.87E-01	8.58E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

*上段より、バンド確率、全断面積、弹性散乱、核分裂、捕獲

(続き)

group	band-1 1-10b	band-2 10-100b	band-3 100-1kb	band-4 1-10kb	band-5 10-100kb
51	7.98E-01	7.71E-02	5.68E-02	5.90E-02	9.48E-03
	6.58E+00	2.71E+01	2.59E+02	3.07E+03	9.30E+03
	5.12E+00	6.45E+00	1.53E+02	1.83E+03	5.55E+03
	1.24E-06	1.10E-05	4.66E-05	5.28E-04	1.60E-03
	1.46E+00	2.06E+01	1.07E+02	1.24E+03	3.75E+03
50	0.00E+00	9.83E-01	1.72E-02	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	2.11E+01	1.49E+02	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.97E+01	1.12E+02	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	3.61E-07	1.28E-05	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.46E+00	3.63E+01	0.00E+00	0.00E+00
49	3.47E-01	6.53E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	9.46E+00	1.15E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	9.27E+00	1.14E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	6.38E-07	2.43E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	1.84E-01	1.24E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
48	2.33E-01	7.03E-01	3.33E-02	3.12E-02	0.00E+00
	7.10E+00	1.57E+01	2.86E+02	1.97E+03	0.00E+00
	5.28E+00	1.43E+01	1.54E+02	1.01E+03	0.00E+00
	4.43E-06	2.93E-06	2.98E-04	2.17E-03	0.00E+00
	1.82E+00	1.39E+00	1.32E+02	9.63E+02	0.00E+00
47	6.60E-01	3.23E-01	1.68E-02	0.00E+00	0.00E+00
	7.22E+00	1.35E+01	1.50E+02	0.00E+00	0.00E+00
	6.51E+00	1.05E+01	1.90E+01	0.00E+00	0.00E+00
	5.12E-07	5.91E-06	3.46E-04	0.00E+00	0.00E+00
	7.03E-01	3.01E+00	1.31E+02	0.00E+00	0.00E+00
46	7.59E-02	8.19E-01	5.92E-02	4.57E-02	0.00E+00
	8.66E+00	1.91E+01	2.56E+02	1.84E+03	0.00E+00
	7.05E+00	1.77E+01	1.73E+02	1.30E+03	0.00E+00
	8.18E-08	5.30E-07	1.88E-05	1.98E-04	0.00E+00
	1.61E+00	1.44E+00	8.27E+01	5.41E+02	0.00E+00
45	1.96E-01	7.92E-01	1.21E-02	0.00E+00	0.00E+00
	9.47E+00	1.23E+01	1.02E+02	0.00E+00	0.00E+00
	9.36E+00	1.13E+01	1.98E+01	0.00E+00	0.00E+00
	2.44E-07	1.68E-07	2.73E-07	0.00E+00	0.00E+00
	1.13E-01	9.87E-01	8.20E+01	0.00E+00	0.00E+00
44	5.14E-01	4.00E-01	4.86E-02	3.74E-02	0.00E+00
	6.16E+00	2.39E+01	2.24E+02	1.36E+03	0.00E+00
	5.55E+00	2.24E+01	1.88E+02	1.13E+03	0.00E+00
	1.74E-06	3.23E-06	9.30E-05	6.05E-04	0.00E+00
	6.16E-01	1.51E+00	3.58E+01	2.35E+02	0.00E+00

*上段より、バンド確率、全断面積、弾性散乱、核分裂、捕獲

(続き)

group	band-1 1-10b	band-2 10-100b	band-3 100-1kb	band-4 1-10kb	band-5 10-100kb
43	6.67E-02	8.93E-01	4.05E-02	0.00E+00	0.00E+00
	8.98E+00	1.44E+01	2.35E+02	0.00E+00	0.00E+00
	8.35E+00	1.38E+01	1.29E+02	0.00E+00	0.00E+00
	7.01E-07	2.93E-07	8.32E-05	0.00E+00	0.00E+00
	6.27E-01	5.41E-01	1.05E+02	0.00E+00	0.00E+00
42	1.30E-01	8.34E-01	3.65E-02	0.00E+00	0.00E+00
	7.84E+00	1.34E+01	2.30E+02	0.00E+00	0.00E+00
	7.50E+00	1.28E+01	1.53E+02	0.00E+00	0.00E+00
	3.69E-06	9.60E-07	2.99E-04	0.00E+00	0.00E+00
	3.39E-01	5.85E-01	7.70E+01	0.00E+00	0.00E+00
41	8.35E-03	9.83E-01	8.20E-03	0.00E+00	0.00E+00
	9.50E+00	1.32E+01	1.22E+02	0.00E+00	0.00E+00
	8.53E+00	1.23E+01	5.91E+01	0.00E+00	0.00E+00
	1.52E-07	8.28E-07	1.52E-07	0.00E+00	0.00E+00
	9.76E-01	8.95E-01	6.34E+01	0.00E+00	0.00E+00
40	2.64E-01	7.02E-01	3.43E-02	0.00E+00	0.00E+00
	8.82E+00	1.28E+01	1.69E+02	0.00E+00	0.00E+00
	8.70E+00	1.17E+01	1.14E+02	0.00E+00	0.00E+00
	1.59E-06	2.19E-05	4.78E-04	0.00E+00	0.00E+00
	1.24E-01	1.11E+00	5.49E+01	0.00E+00	0.00E+00
39	2.10E-01	7.47E-01	4.27E-02	0.00E+00	0.00E+00
	8.30E+00	1.41E+01	1.76E+02	0.00E+00	0.00E+00
	8.10E+00	1.30E+01	1.33E+02	0.00E+00	0.00E+00
	7.75E-06	4.65E-03	5.87E-04	0.00E+00	0.00E+00
	2.06E-01	1.08E+00	4.26E+01	0.00E+00	0.00E+00
38	4.45E-01	5.08E-01	4.72E-02	0.00E+00	0.00E+00
	8.24E+00	1.45E+01	1.78E+02	0.00E+00	0.00E+00
	8.06E+00	1.28E+01	1.46E+02	0.00E+00	0.00E+00
	2.09E-06	1.71E-05	1.11E-03	0.00E+00	0.00E+00
	1.84E-01	1.68E+00	3.19E+01	0.00E+00	0.00E+00
37	1.97E-01	7.59E-01	4.40E-02	0.00E+00	0.00E+00
	7.54E+00	1.53E+01	1.65E+02	0.00E+00	0.00E+00
	7.22E+00	1.42E+01	1.44E+02	0.00E+00	0.00E+00
	1.41E-05	1.20E-03	2.79E-03	0.00E+00	0.00E+00
	3.19E-01	1.11E+00	2.11E+01	0.00E+00	0.00E+00
36	2.91E-01	6.77E-01	3.19E-02	0.00E+00	0.00E+00
	8.07E+00	1.42E+01	1.59E+02	0.00E+00	0.00E+00
	7.91E+00	1.32E+01	1.42E+02	0.00E+00	0.00E+00
	3.76E-07	3.04E-07	4.27E-07	0.00E+00	0.00E+00
	1.59E-01	9.79E-01	1.70E+01	0.00E+00	0.00E+00

*上段より、バンド確率、全断面積、弾性散乱、核分裂、捕獲

(続き)

group	band-1 1-10b	band-2 10-100b	band-3 100-1kb	band-4 1-10kb	band-5 10-100kb
35	3.38E-01	6.04E-01	5.81E-02	0.00E+00	0.00E+00
	7.15E+00	1.68E+01	1.65E+02	0.00E+00	0.00E+00
	6.86E+00	1.59E+01	1.52E+02	0.00E+00	0.00E+00
	1.37E-08	1.37E-08	1.40E-08	0.00E+00	0.00E+00
	2.93E-01	9.74E-01	1.31E+01	0.00E+00	0.00E+00
34	2.62E-01	6.90E-01	4.74E-02	0.00E+00	0.00E+00
	7.56E+00	1.72E+01	1.54E+02	0.00E+00	0.00E+00
	7.33E+00	1.60E+01	1.45E+02	0.00E+00	0.00E+00
	1.98E-09	2.47E-09	1.56E-09	0.00E+00	0.00E+00
	2.25E-01	1.13E+00	8.54E+00	0.00E+00	0.00E+00
33	1.26E-01	8.59E-01	1.49E-02	0.00E+00	0.00E+00
	8.66E+00	1.72E+01	1.32E+02	0.00E+00	0.00E+00
	8.36E+00	1.61E+01	1.24E+02	0.00E+00	0.00E+00
	1.04E-09	1.01E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	3.03E-01	1.11E+00	7.43E+00	0.00E+00	0.00E+00
32	1.29E-01	8.46E-01	2.48E-02	0.00E+00	0.00E+00
	7.95E+00	1.69E+01	1.25E+02	0.00E+00	0.00E+00
	7.71E+00	1.61E+01	1.20E+02	0.00E+00	0.00E+00
	2.02E-09	2.47E-09	1.61E-09	0.00E+00	0.00E+00
	2.37E-01	8.00E-01	5.59E+00	0.00E+00	0.00E+00
31	9.32E-02	9.05E-01	1.83E-03	0.00E+00	0.00E+00
	9.02E+00	1.45E+01	1.17E+02	0.00E+00	0.00E+00
	8.75E+00	1.37E+01	1.13E+02	0.00E+00	0.00E+00
	1.14E-08	9.70E-09	3.93E-09	0.00E+00	0.00E+00
	2.70E-01	8.16E-01	4.02E+00	0.00E+00	0.00E+00
30	1.53E-01	8.41E-01	6.49E-03	0.00E+00	0.00E+00
	8.24E+00	1.58E+01	1.10E+02	0.00E+00	0.00E+00
	8.05E+00	1.49E+01	1.07E+02	0.00E+00	0.00E+00
	5.37E-08	4.69E-05	3.69E-08	0.00E+00	0.00E+00
	1.85E-01	8.58E-01	3.59E+00	0.00E+00	0.00E+00
29	1.19E-01	8.81E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	8.70E+00	1.48E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	8.49E+00	1.41E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	3.20E-05	1.63E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	2.06E-01	6.67E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
28	3.98E-02	9.60E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	9.11E+00	1.45E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	8.79E+00	1.38E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	8.53E-06	6.66E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	3.24E-01	6.58E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

*上段より、バンド確率、全断面積、弾性散乱、核分裂、捕獲

(続き)

group	band-1 1-10b	band-2 10-100b	band-3 100-1kb	band-4 1-10kb	band-5 10-100kb
27	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.47E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.41E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.07E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	6.30E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
26	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.43E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.37E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.22E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	5.68E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
25	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.39E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.34E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	9.69E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	5.16E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
24	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.34E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.30E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	6.35E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	4.53E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
23	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.30E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.26E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	3.49E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	4.02E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
22	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.27E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.23E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	7.67E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	3.49E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
21	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.24E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.19E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	8.93E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	2.75E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
20	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.21E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.15E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	4.28E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	2.21E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

*上段より、バンド確率、全断面積、弾性散乱、核分裂、捕獲

(続き)

group	band-1 1-10b	band-2 10-100b	band-3 100-1kb	band-4 1-10kb	band-5 10-100kb
19	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.18E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.11E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	3.55E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.83E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
18	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.15E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.07E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	4.21E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.57E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
17	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.11E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.02E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	8.86E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.41E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
16	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.06E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	9.41E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	9.86E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.28E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
15	5.81E-01	4.19E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	9.85E+00	1.01E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	8.51E+00	8.87E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	8.80E-05	8.99E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	1.18E-01	1.22E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
14	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	9.40E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	7.95E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	1.66E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	1.12E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
13	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	8.86E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	7.26E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	2.92E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	1.09E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
12	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	8.32E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	6.54E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	6.69E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	1.13E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

*上段より、バンド確率、全断面積、弾性散乱、核分裂、捕獲

(続き)

group	band-1 1-10b	band-2 10-100b	band-3 100-1kb	band-4 1-10kb	band-5 10-100kb
11	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	7.77E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	5.72E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	2.50E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	1.21E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
10	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	7.26E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	4.79E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	1.38E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	1.26E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
9	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	7.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	3.95E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	4.81E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	9.36E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
8	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	7.03E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	3.53E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	3.46E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	5.68E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
7	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	7.29E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	3.51E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	5.27E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	3.60E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
6	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	7.62E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	3.80E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	5.45E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	2.35E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
5	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	7.86E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	4.18E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	5.33E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	1.56E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
4	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	7.84E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	4.36E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	5.59E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	1.06E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

*上段より、バンド確率、全断面積、弾性散乱、核分裂、捕獲

表 2.2 Fe の 5 バンドパラメータ*

group	band-1 0.01-0.1b	band-2 0.1-1b	band-3 1-10b	band-4 10-100b	band-5 100-1kb
59	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	7.89E-07
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.28E+01	1.28E+02
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.14E+01	5.34E+01
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.35E+00	7.48E+01
58	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.15E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.13E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.68E-01	0.00E+00
57	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.15E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.13E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.53E-01	0.00E+00
56	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.15E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.13E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.34E-01	0.00E+00
55	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.14E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.13E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.18E-01	0.00E+00
54	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.14E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.13E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.03E-01	0.00E+00
53	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.13E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.13E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.57E-02	0.00E+00
52	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.13E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.12E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.46E-02	0.00E+00
51	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.13E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.12E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.69E-02	0.00E+00
50	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.12E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.12E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.98E-02	0.00E+00

*上段より、全断面積、弾性散乱、捕獲

(続き)

group	band-1 0.01-0.1b	band-2 0.1-1b	band-3 1-10b	band-4 10-100b	band-5 100-1kb
49	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.11E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.11E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.59E-02	0.00E+00
48	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.11E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.10E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.41E-02	0.00E+00
47	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.10E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.09E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.06E-02	0.00E+00
46	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.09E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.08E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.38E-02	0.00E+00
45	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.07E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.07E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.79E-02	0.00E+00
44	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.05E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.05E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.20E-02	0.00E+00
43	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.03E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.03E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.89E-02	0.00E+00
42	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	1.01E+01	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+01	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	2.34E-02	0.00E+00	0.00E+00
41	0.00E+00	0.00E+00	9.84E-01	1.56E-02	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	9.77E+00	1.01E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	9.75E+00	9.89E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	2.21E-02	2.30E-01	0.00E+00
40	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	9.43E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	9.41E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	1.56E-02	0.00E+00	0.00E+00

*上段より、全断面積、弾性散乱、捕獲

(続き)

group	band-1 0.01-0.1b	band-2 0.1-1b	band-3 1-10b	band-4 10-100b	band-5 100-1kb
39	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	9.08E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	9.07E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	1.29E-02	0.00E+00	0.00E+00
38	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	8.67E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	8.66E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	1.03E-02	0.00E+00	0.00E+00
37	0.00E+00	0.00E+00	9.72E-01	2.83E-02	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	8.27E+00	2.47E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	8.23E+00	9.73E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	4.33E-02	1.49E+01	0.00E+00
36	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	7.63E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	7.62E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	6.69E-03	0.00E+00	0.00E+00
35	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	6.94E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	6.93E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	9.95E-03	0.00E+00	0.00E+00
34	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	6.33E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	6.33E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	5.09E-03	0.00E+00	0.00E+00
33	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	5.87E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	5.87E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	3.32E-03	0.00E+00	0.00E+00
32	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	6.27E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	6.27E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	6.05E-03	0.00E+00	0.00E+00
31	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	5.11E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	5.10E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	4.45E-03	0.00E+00	0.00E+00
30	0.00E+00	0.00E+00	6.14E-01	3.86E-01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	7.77E+00	1.07E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	7.76E+00	1.07E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	1.09E-02	1.70E-02	0.00E+00

*上段より、全断面積、弾性散乱、捕獲

(続き)

group	band-1 0.01-0.1b	band-2 0.1-1b	band-3 1-10b	band-4 10-100b	band-5 100-1kb
29	0.00E+00	0.00E+00	1.56E-01	8.44E-01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	9.80E+00	1.69E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	9.79E+00	1.69E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	8.51E-03	3.54E-02	0.00E+00
28	0.00E+00	0.00E+00	9.93E-01	6.78E-03	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	6.69E+00	1.13E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	6.68E+00	9.69E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	1.57E-02	1.59E+00	0.00E+00
27	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	4.39E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	4.38E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	6.63E-03	0.00E+00	0.00E+00
26	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	3.14E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	3.13E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	2.07E-03	0.00E+00	0.00E+00
25	0.00E+00	4.35E-01	5.65E-01	2.42E-04	0.00E+00
	0.00E+00	5.97E-01	1.77E+00	2.11E+01	0.00E+00
	0.00E+00	5.42E-01	1.73E+00	7.51E+00	0.00E+00
	0.00E+00	3.96E-03	4.66E-03	1.35E+01	0.00E+00
24	0.00E+00	7.56E-02	1.79E-01	7.45E-01	0.00E+00
	0.00E+00	6.94E-01	3.55E+00	3.07E+01	0.00E+00
	0.00E+00	6.09E-01	3.44E+00	3.05E+01	0.00E+00
	0.00E+00	7.32E-03	1.41E-02	3.01E-02	0.00E+00
23	0.00E+00	0.00E+00	8.70E-01	1.30E-01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	6.67E+00	1.12E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	6.59E+00	1.10E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	5.79E-03	6.72E-02	0.00E+00
22	0.00E+00	0.00E+00	9.93E-01	6.69E-03	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	4.68E+00	2.41E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	4.61E+00	2.33E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	3.16E-03	7.74E-01	0.00E+00
21	0.00E+00	0.00E+00	9.98E-01	2.02E-03	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	3.69E+00	2.21E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	3.67E+00	1.90E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	3.62E-03	3.00E+00	0.00E+00
20	0.00E+00	8.39E-02	7.45E-01	1.71E-01	0.00E+00
	0.00E+00	5.50E-01	2.84E+00	1.82E+01	0.00E+00
	0.00E+00	5.33E-01	2.80E+00	1.82E+01	0.00E+00
	0.00E+00	4.43E-03	4.87E-03	3.96E-02	0.00E+00

*上段より、全断面積、弾性散乱、捕獲

(続き)

group	band-1 0.01-0.1b	band-2 0.1-1b	band-3 1-10b	band-4 10-100b	band-5 100-1kb
19	0.00E+00	0.00E+00	9.95E-01	5.25E-03	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	3.84E+00	2.17E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	3.81E+00	2.02E+01	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	4.34E-03	1.56E+00	0.00E+00
18	0.00E+00	4.81E-02	8.54E-01	9.83E-02	0.00E+00
	0.00E+00	9.04E-01	2.24E+00	1.44E+01	0.00E+00
	0.00E+00	8.63E-01	2.18E+00	1.43E+01	0.00E+00
	0.00E+00	2.82E-03	4.04E-03	4.79E-02	0.00E+00
17	0.00E+00	5.27E-02	9.16E-01	3.12E-02	0.00E+00
	0.00E+00	7.88E-01	3.72E+00	1.27E+01	0.00E+00
	0.00E+00	7.20E-01	3.70E+00	1.25E+01	0.00E+00
	0.00E+00	2.37E-03	3.19E-03	9.31E-02	0.00E+00
16	0.00E+00	6.43E-02	8.45E-01	9.09E-02	0.00E+00
	0.00E+00	7.00E-01	4.32E+00	1.26E+01	0.00E+00
	0.00E+00	6.84E-01	4.30E+00	1.25E+01	0.00E+00
	0.00E+00	3.32E-03	3.89E-03	4.35E-02	0.00E+00
15	0.00E+00	9.22E-02	9.04E-01	3.37E-03	0.00E+00
	0.00E+00	6.92E-01	2.69E+00	1.08E+01	0.00E+00
	0.00E+00	6.72E-01	2.67E+00	1.06E+01	0.00E+00
	0.00E+00	5.92E-03	5.31E-03	1.52E-01	0.00E+00
14	0.00E+00	2.18E-01	7.82E-01	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	8.00E-01	3.30E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	7.79E-01	3.28E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	5.86E-03	5.79E-03	0.00E+00	0.00E+00
13	0.00E+00	4.74E-02	9.53E-01	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.43E+00	3.91E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.41E+00	3.89E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	5.40E-03	5.46E-03	0.00E+00	0.00E+00
12	0.00E+00	5.23E-02	9.48E-01	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.01E+00	2.47E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	9.90E-01	2.45E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	5.45E-03	5.38E-03	0.00E+00	0.00E+00
11	0.00E+00	1.01E-01	8.79E-01	1.93E-02	0.00E+00
	0.00E+00	8.99E-01	3.11E+00	7.32E+00	0.00E+00
	0.00E+00	8.73E-01	3.08E+00	7.29E+00	0.00E+00
	0.00E+00	5.52E-03	5.62E-03	5.68E-03	0.00E+00
10	0.00E+00	5.92E-02	9.41E-01	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.03E+00	2.56E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	9.27E-01	2.31E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	4.07E-03	4.27E-03	0.00E+00	0.00E+00

*上段より、全断面積、弾性散乱、捕獲

(続き)

group	band-1 0.01-0.1b	band-2 0.1-1b	band-3 1-10b	band-4 10-100b	band-5 100-1kb
9	0.00E+00	3.61E-02	9.64E-01	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	1.15E+00	2.68E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	8.53E-01	2.23E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	2.78E-03	2.75E-03	0.00E+00	0.00E+00
8	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	2.85E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	2.18E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	2.55E-03	0.00E+00	0.00E+00
7	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	3.06E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	2.25E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	2.74E-03	0.00E+00	0.00E+00
6	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	3.35E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	2.39E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	2.69E-03	0.00E+00	0.00E+00
5	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	3.38E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	2.18E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	2.31E-03	0.00E+00	0.00E+00
4	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	3.62E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	2.28E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	1.71E-03	0.00E+00	0.00E+00
3	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	3.66E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	2.26E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	1.38E-03	0.00E+00	0.00E+00
2	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	3.55E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	2.09E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	1.12E-03	0.00E+00	0.00E+00
1	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	3.28E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	1.79E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	7.78E-04	0.00E+00	0.00E+00

*上段より、全断面積、弾性散乱、捕獲

表 2.3 U-238 のバンド間散乱遷移確率*

group		band-1	band-2	band-3	band-4	band-5
		1-10b	10-100b	100-1kb	1-10kb	10-100kb
59	1-->	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	----	----
	2-->	0.00E+00	1.00E+00	3.41E-12	----	----
	3-->	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
58	1-->	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	----	----
	2-->	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	----	----
	3-->	0.00E+00	8.46E-01	1.54E-01	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
57	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	9.73E-01	2.67E-02	0.00E+00	----
	3-->	----	0.00E+00	5.75E-01	2.20E-01	----
	4-->	----	0.00E+00	2.17E-01	7.68E-01	----
	5-->	----	----	----	----	----
56	1-->	7.56E-01	2.44E-01	----	----	----
	2-->	0.00E+00	9.94E-01	----	----	----
	3-->	----	----	----	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
55	1-->	9.70E-01	4.39E-03	----	----	----
	2-->	6.65E-01	3.35E-01	----	----	----
	3-->	----	----	----	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
53	1-->	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	----
	2-->	6.02E-02	8.56E-01	6.53E-02	1.81E-02	----
	3-->	0.00E+00	3.35E-01	2.85E-01	3.79E-01	----
	4-->	0.00E+00	1.25E-01	2.68E-01	6.07E-01	----
	5-->	----	----	----	----	----
52	1-->	9.33E-01	6.69E-02	----	----	----
	2-->	0.00E+00	9.75E-01	----	----	----
	3-->	----	----	----	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
51	1-->	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	2-->	3.82E-01	6.18E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	3-->	0.00E+00	3.52E-01	2.44E-01	3.31E-01	7.30E-02
	4-->	0.00E+00	1.60E-01	2.97E-01	4.69E-01	7.38E-02
	5-->	0.00E+00	1.60E-01	3.57E-01	3.56E-01	1.27E-01

*イタリック体は、特に他バンドへの遷移確率が顕著なもの

(続き)

group		band-1 0.01-0.1b	band-2 0.1-1b	band-3 1-10b	band-4 10-100b	band-5 100-1kb
50	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	9.77E-01	9.44E-03	----	----
	3-->	----	0.00E+00	1.80E-01	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
49	1-->	1.00E+00	0.00E+00	----	----	----
	2-->	0.00E+00	9.62E-01	----	----	----
	3-->	----	----	----	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
48	1-->	9.32E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	----
	2-->	1.44E-02	9.53E-01	1.87E-02	1.35E-02	----
	3-->	1.78E-01	2.65E-01	2.72E-01	2.85E-01	----
	4-->	1.92E-01	3.53E-01	1.85E-01	2.70E-01	----
	5-->	----	----	----	----	----
47	1-->	8.96E-01	1.04E-01	0.00E+00	----	----
	2-->	6.89E-02	8.37E-01	4.60E-02	----	----
	3-->	0.00E+00	8.27E-01	1.73E-01	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
46	1-->	6.61E-01	3.39E-01	0.00E+00	0.00E+00	----
	2-->	1.05E-02	9.19E-01	3.83E-02	2.07E-02	----
	3-->	2.33E-01	2.02E-01	2.50E-01	2.22E-01	----
	4-->	1.58E-01	2.63E-01	1.57E-01	2.35E-01	----
	5-->	----	----	----	----	----
45	1-->	7.56E-01	2.34E-01	9.68E-03	----	----
	2-->	4.65E-02	9.27E-01	7.12E-03	----	----
	3-->	6.60E-01	2.03E-01	1.37E-01	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
44	1-->	8.69E-01	6.92E-02	0.00E+00	0.00E+00	----
	2-->	5.99E-02	8.04E-01	8.60E-02	4.98E-02	----
	3-->	3.48E-01	2.20E-01	2.16E-01	2.15E-01	----
	4-->	4.85E-01	2.21E-01	1.13E-01	1.81E-01	----
	5-->	----	----	----	----	----
43	1-->	3.27E-01	6.73E-01	0.00E+00	----	----
	2-->	2.65E-02	9.50E-01	2.36E-02	----	----
	3-->	5.14E-01	3.02E-01	1.83E-01	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----

*イタリック体は、特に他バンドへの遷移確率が顕著なもの

(続き)

group		band-1 0.01-0.1b	band-2 0.1-1b	band-3 1-10b	band-4 10-100b	band-5 100-1kb
42	1-->	6.56E-01	3.44E-01	0.00E+00	----	----
	2-->	3.69E-02	8.94E-01	3.73E-02	----	----
	3-->	5.57E-01	2.76E-01	1.68E-01	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
41	1-->	8.68E-02	9.13E-01	0.00E+00	----	----
	2-->	6.68E-03	9.57E-01	7.63E-03	----	----
	3-->	1.56E-01	7.33E-01	1.11E-01	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
40	1-->	6.43E-01	3.57E-01	0.00E+00	----	----
	2-->	8.46E-02	8.41E-01	3.88E-02	----	----
	3-->	7.42E-01	1.50E-01	1.08E-01	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
39	1-->	5.61E-01	3.78E-01	0.00E+00	----	----
	2-->	8.46E-02	8.52E-01	4.69E-02	----	----
	3-->	5.78E-01	3.18E-01	1.04E-01	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
38	1-->	5.92E-01	3.85E-01	2.30E-02	----	----
	2-->	2.77E-01	6.13E-01	5.17E-02	----	----
	3-->	7.08E-01	1.96E-01	9.67E-02	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
37	1-->	3.35E-01	6.48E-01	6.59E-03	----	----
	2-->	1.28E-01	7.88E-01	5.25E-02	----	----
	3-->	5.11E-01	3.98E-01	9.17E-02	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
36	1-->	4.99E-01	4.41E-01	2.94E-03	----	----
	2-->	1.53E-01	7.97E-01	4.25E-02	----	----
	3-->	6.78E-01	1.45E-01	8.18E-02	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
35	1-->	5.05E-01	4.29E-01	1.61E-02	----	----
	2-->	2.22E-01	6.96E-01	7.29E-02	----	----
	3-->	5.49E-01	2.94E-01	1.03E-01	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----

*イタリック体は、特に他バンドへの遷移確率が顕著なもの

(続き)

group		band-1 0.01-0.1b	band-2 0.1-1b	band-3 1-10b	band-4 10-100b	band-5 100-1kb
34	1-->	3.89E-01	<i>5.81E-01</i>	2.98E-02	----	----
	2-->	2.05E-01	7.11E-01	4.54E-02	----	----
	3-->	<i>5.02E-01</i>	<i>3.87E-01</i>	1.11E-01	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
33	1-->	2.07E-01	<i>7.85E-01</i>	8.22E-03	----	----
	2-->	1.11E-01	8.43E-01	1.49E-02	----	----
	3-->	<i>3.57E-01</i>	<i>5.98E-01</i>	4.53E-02	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
32	1-->	1.87E-01	<i>7.72E-01</i>	1.77E-02	----	----
	2-->	9.44E-02	8.56E-01	2.30E-02	----	----
	3-->	<i>2.90E-01</i>	<i>6.61E-01</i>	4.90E-02	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
31	1-->	1.30E-01	<i>8.70E-01</i>	0.00E+00	----	----
	2-->	8.40E-02	8.86E-01	1.71E-03	----	----
	3-->	<i>3.32E-01</i>	<i>6.45E-01</i>	2.29E-02	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
30	1-->	1.84E-01	<i>7.79E-01</i>	1.13E-03	----	----
	2-->	1.39E-01	8.29E-01	7.32E-03	----	----
	3-->	<i>3.54E-01</i>	<i>6.25E-01</i>	2.08E-02	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
29	1-->	1.54E-01	<i>8.38E-01</i>	----	----	----
	2-->	1.14E-01	<i>8.58E-01</i>	----	----	----
	3-->	----	----	----	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
28	1-->	1.01E-01	<i>7.53E-01</i>	----	----	----
	2-->	3.08E-02	<i>9.50E-01</i>	----	----	----
	3-->	----	----	----	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
15	1-->	9.70E-01	2.97E-02	----	----	----
	2-->	0.00E+00	<i>9.53E-01</i>	----	----	----
	3-->	----	----	----	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----

*イタリック体は、特に他バンドへの遷移確率が顕著なもの

表 2.4 Fe のバンド間散乱遷移確率*

group		band-1 0.01-0.1b	band-2 0.1-1b	band-3 1-10b	band-4 10-100b	band-5 100-1kb
42	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	----	----	----	----
	3-->	----	----	5.84E-01	4.16E-01	----
	4-->	----	----	0.00E+00	8.23E-01	----
	5-->	----	----	----	----	----
41	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	----	----	----	----
	3-->	----	----	8.93E-01	1.35E-02	----
	4-->	----	----	1.61E-01	3.91E-02	----
	5-->	----	----	----	----	----
37	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	----	----	----	----
	3-->	----	----	8.48E-01	3.09E-02	----
	4-->	----	----	9.42E-01	5.85E-02	----
	5-->	----	----	----	----	----
36	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	----	----	----	----
	3-->	----	----	8.87E-01	0.00E+00	----
	4-->	----	----	0.00E+00	1.00E+00	----
	5-->	----	----	----	----	----
30	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	----	----	----	----
	3-->	----	----	6.11E-01	2.27E-01	----
	4-->	----	----	5.31E-01	4.69E-01	----
	5-->	----	----	----	----	----
29	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	----	----	----	----
	3-->	----	----	2.55E-01	7.45E-01	----
	4-->	----	----	0.00E+00	8.70E-01	----
	5-->	----	----	----	----	----
28	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	----	----	----	----
	3-->	----	----	8.89E-01	5.42E-03	----
	4-->	----	----	8.55E-01	1.02E-02	----
	5-->	----	----	----	----	----
27	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	----	----	----	----
	3-->	----	----	8.87E-01	0.00E+00	----
	4-->	----	----	0.00E+00	1.00E+00	----
	5-->	----	----	----	----	----

*イタリック体は、特に他バンドへの遷移確率が顕著なもの

(続き)

group		band-1 0.01-0.1b	band-2 0.1-1b	band-3 1-10b	band-4 10-100b	band-5 100-1kb
25	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	7.05E-01	2.95E-01	5.69E-04	----
	3-->	----	1.11E-03	7.81E-01	1.22E-06	----
	4-->	----	3.58E-01	6.42E-01	4.72E-04	----
	5-->	----	----	----	----	----
24	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	1.52E-01	1.21E-04	0.00E+00	----
	3-->	----	2.62E-01	3.38E-01	0.00E+00	----
	4-->	----	2.04E-02	1.41E-01	8.37E-01	----
	5-->	----	----	----	----	----
23	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	----	----	----	----
	3-->	----	----	8.68E-01	9.17E-02	----
	4-->	----	----	9.33E-03	2.64E-01	----
	5-->	----	----	----	----	----
22	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	----	----	----	----
	3-->	----	----	8.83E-01	3.24E-03	----
	4-->	----	----	9.93E-01	6.81E-03	----
	5-->	----	----	----	----	----
21	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	----	----	----	----
	3-->	----	----	8.88E-01	1.98E-03	----
	4-->	----	----	8.37E-01	2.70E-03	----
	5-->	----	----	----	----	----
20	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	1.57E-01	8.38E-01	4.90E-03	----
	3-->	----	3.70E-02	7.06E-01	9.71E-02	----
	4-->	----	2.18E-01	5.89E-01	1.93E-01	----
	5-->	----	----	----	----	----
19	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	----	----	----	----
	3-->	----	----	8.81E-01	5.33E-03	----
	4-->	----	----	8.68E-01	5.76E-03	----
	5-->	----	----	----	----	----
18	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	9.15E-02	8.50E-01	5.83E-02	----
	3-->	----	2.05E-02	8.17E-01	2.35E-02	----
	4-->	----	1.37E-01	7.35E-01	1.26E-01	----
	5-->	----	----	----	----	----

*イタリック体は、特に他バンドへの遷移確率が顕著なもの

(続き)

group		band-1 0.01-0.1b	band-2 0.1-1b	band-3 1-10b	band-4 10-100b	band-5 100-1kb
17	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	6.09E-02	9.35E-01	4.16E-03	----
	3-->	----	4.11E-02	8.06E-01	3.35E-02	----
	4-->	----	1.06E-01	6.67E-01	3.95E-02	----
	5-->	----	----	----	----	----
16	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	6.44E-02	4.77E-01	1.31E-03	----
	3-->	----	5.71E-02	7.96E-01	8.36E-02	----
	4-->	----	1.21E-01	3.56E-01	1.19E-01	----
	5-->	----	----	----	----	----
15	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	1.01E-01	8.66E-01	7.49E-05	----
	3-->	----	7.71E-02	7.99E-01	3.31E-03	----
	4-->	----	2.99E-02	5.39E-01	7.26E-03	----
	5-->	----	----	----	----	----
14	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	2.03E-01	4.36E-01	-----	----
	3-->	----	1.94E-01	7.60E-01	-----	----
	4-->	----	-----	-----	-----	----
	5-->	----	-----	-----	-----	----
13	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	1.18E-01	8.82E-01	-----	----
	3-->	----	4.87E-02	8.34E-01	-----	----
	4-->	----	-----	-----	-----	----
	5-->	----	-----	-----	-----	----
12	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	8.99E-02	9.10E-01	-----	----
	3-->	----	2.15E-02	8.63E-01	-----	----
	4-->	----	-----	-----	-----	----
	5-->	----	-----	-----	-----	----
11	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	1.26E-01	3.90E-01	0.00E+00	----
	3-->	----	8.95E-02	8.11E-01	1.96E-02	----
	4-->	----	4.51E-02	9.02E-01	5.28E-02	----
	5-->	----	-----	-----	-----	----
10	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	8.81E-02	8.70E-01	-----	----
	3-->	----	5.85E-02	8.24E-01	-----	----
	4-->	----	-----	-----	-----	----
	5-->	----	-----	-----	-----	----

*イタリック体は、特に他バンドへの遷移確率が顕著なもの

(続き)

group		band-1 0.01-0.1b	band-2 0.1-1b	band-3 1-10b	band-4 10-100b	band-5 100-1kb
9	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	4.58E-02	8.53E-01	----	----
	3-->	----	3.56E-02	8.51E-01	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----
8	1-->	----	----	----	----	----
	2-->	----	----	----	----	----
	3-->	----	----	8.86E-01	----	----
	4-->	----	----	----	----	----
	5-->	----	----	----	----	----

*イタリック体は、特に他バンドへの遷移確率が顕著なもの

U-238, 30th group

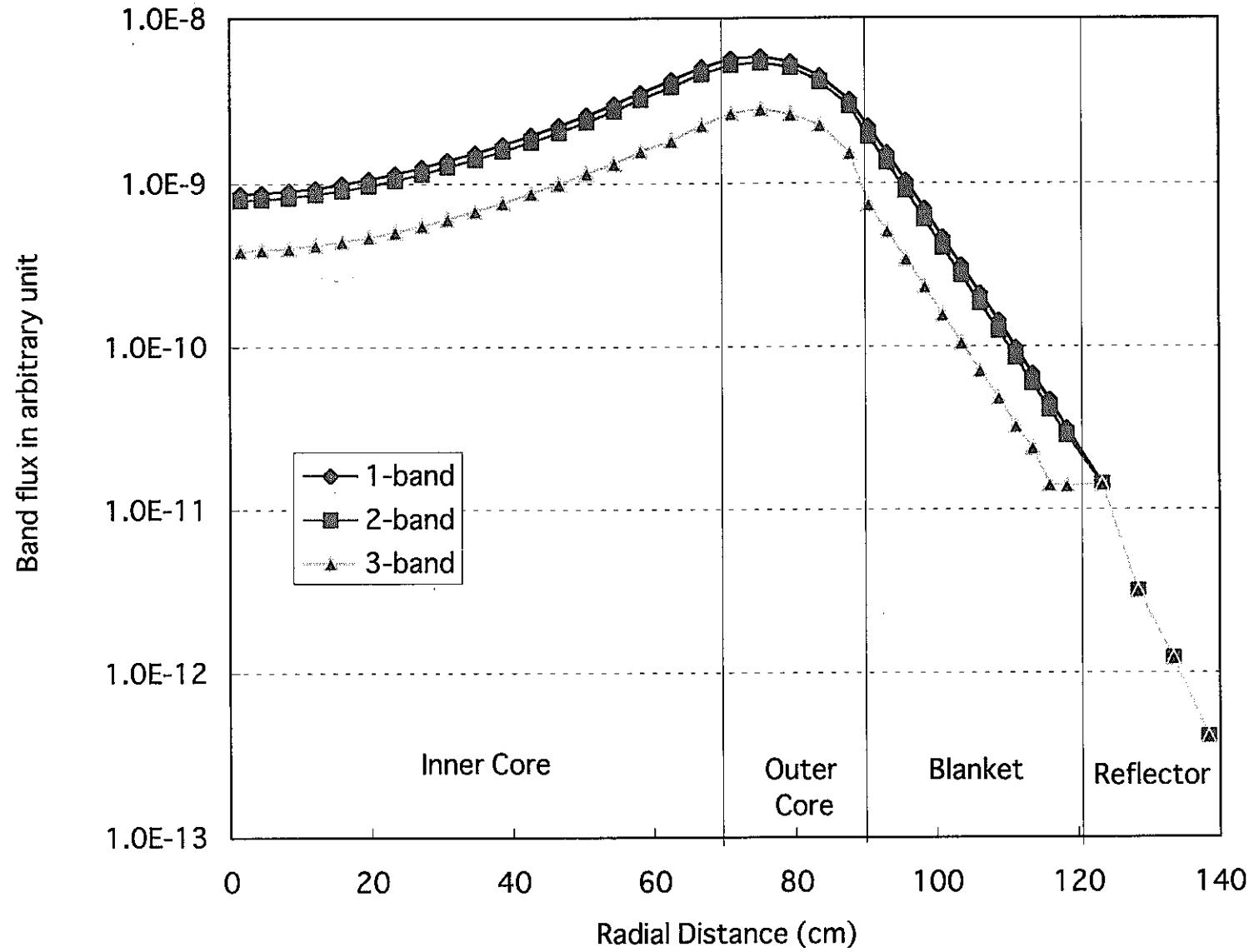


図 2.1 U-238 のバンド別中性子束分布 (30 群、incoming 方向)

U-238, 30th group

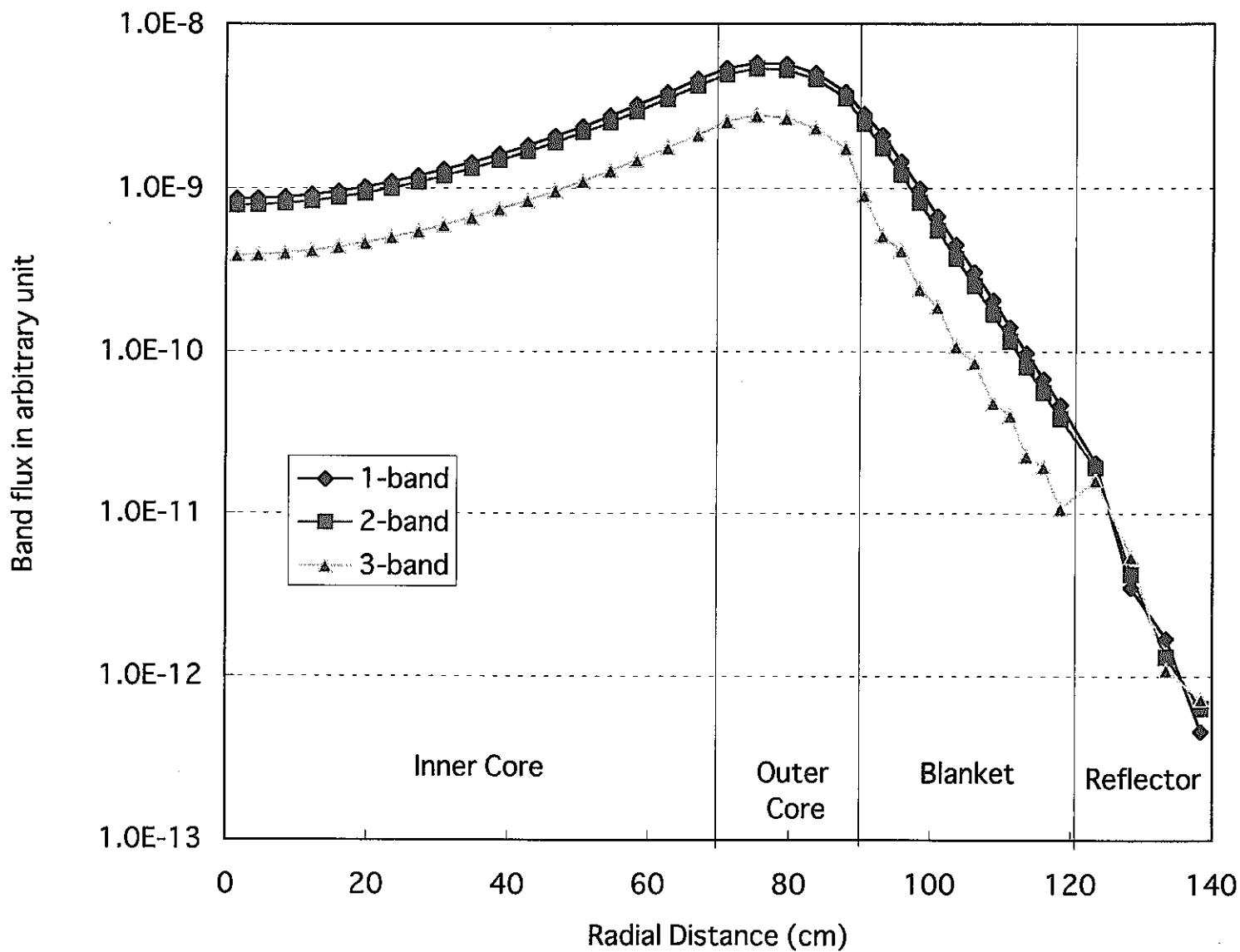


図 2.2 U-238 のバンド別中性子束分布 (30 群、outgoing 方向)

U-238, 46th group

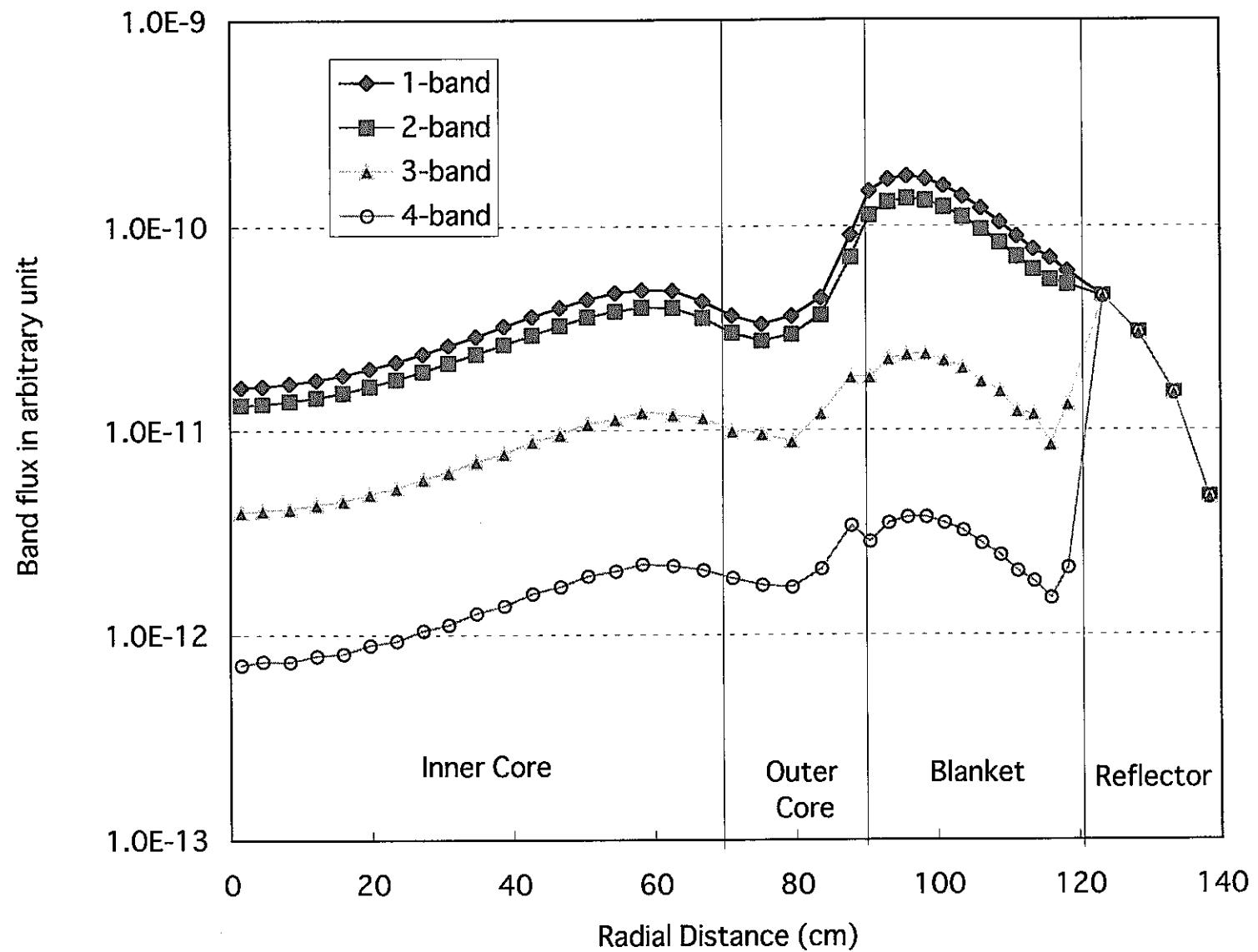


図 2.3 U-238 のバンド別中性子束分布 (46 群、incoming 方向)

U-238, 46th group

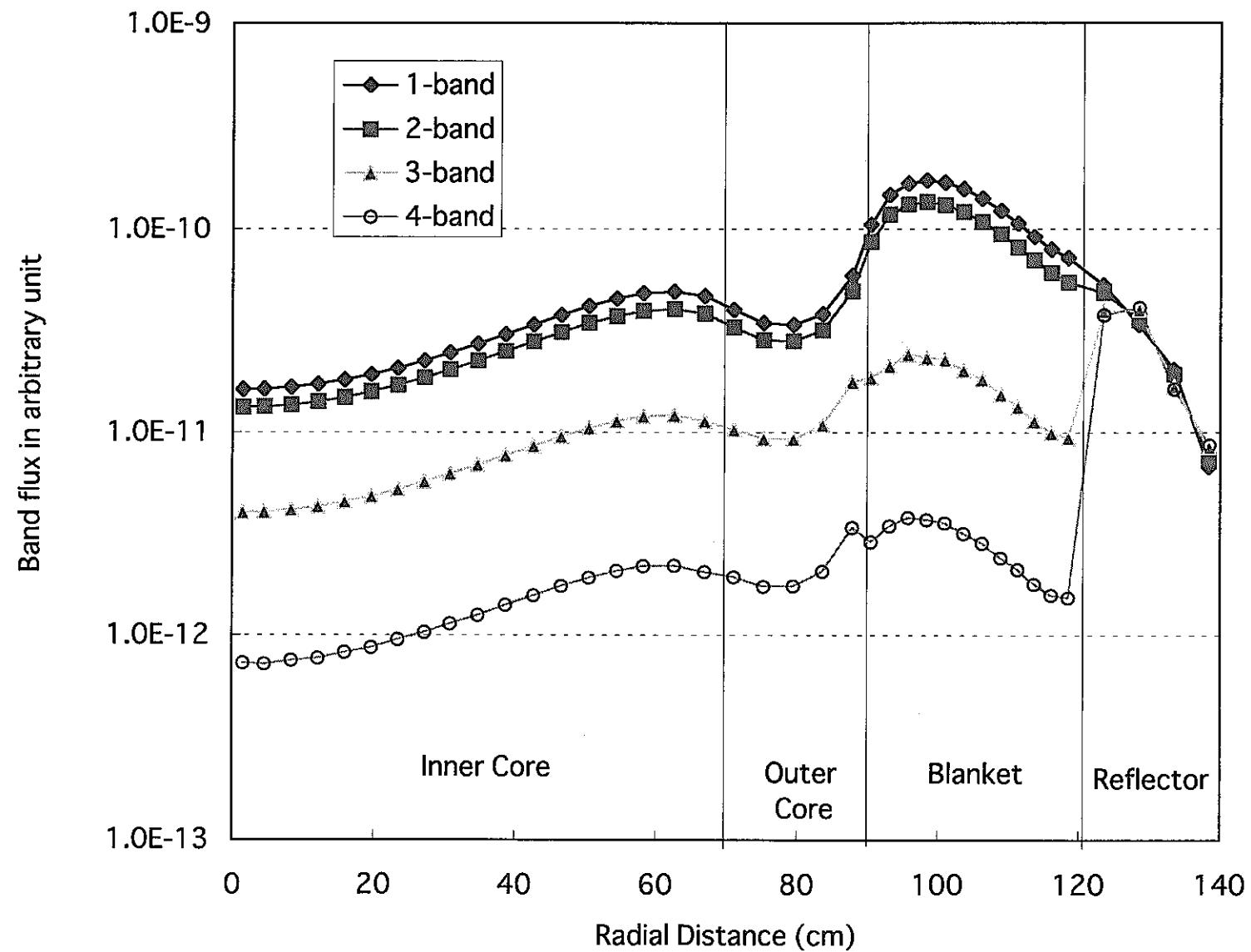


図 2.4 U-238 のバンド別中性子束分布 (46 群、outgoing 方向)

Fe, 15th group

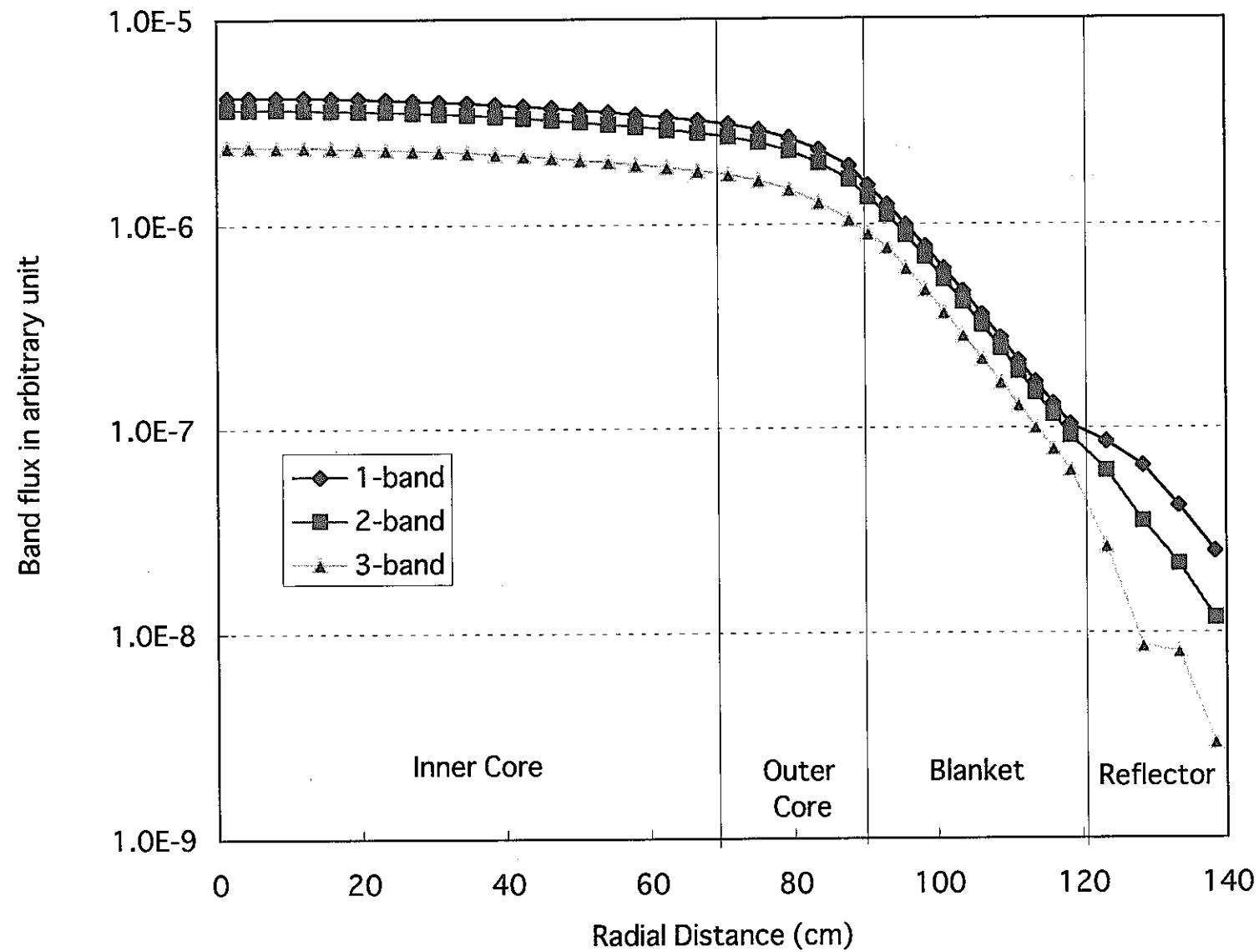


図 2.5 Fe のバンド別中性子束分布 (15 群、incoming 方向)

Fe, 15th group

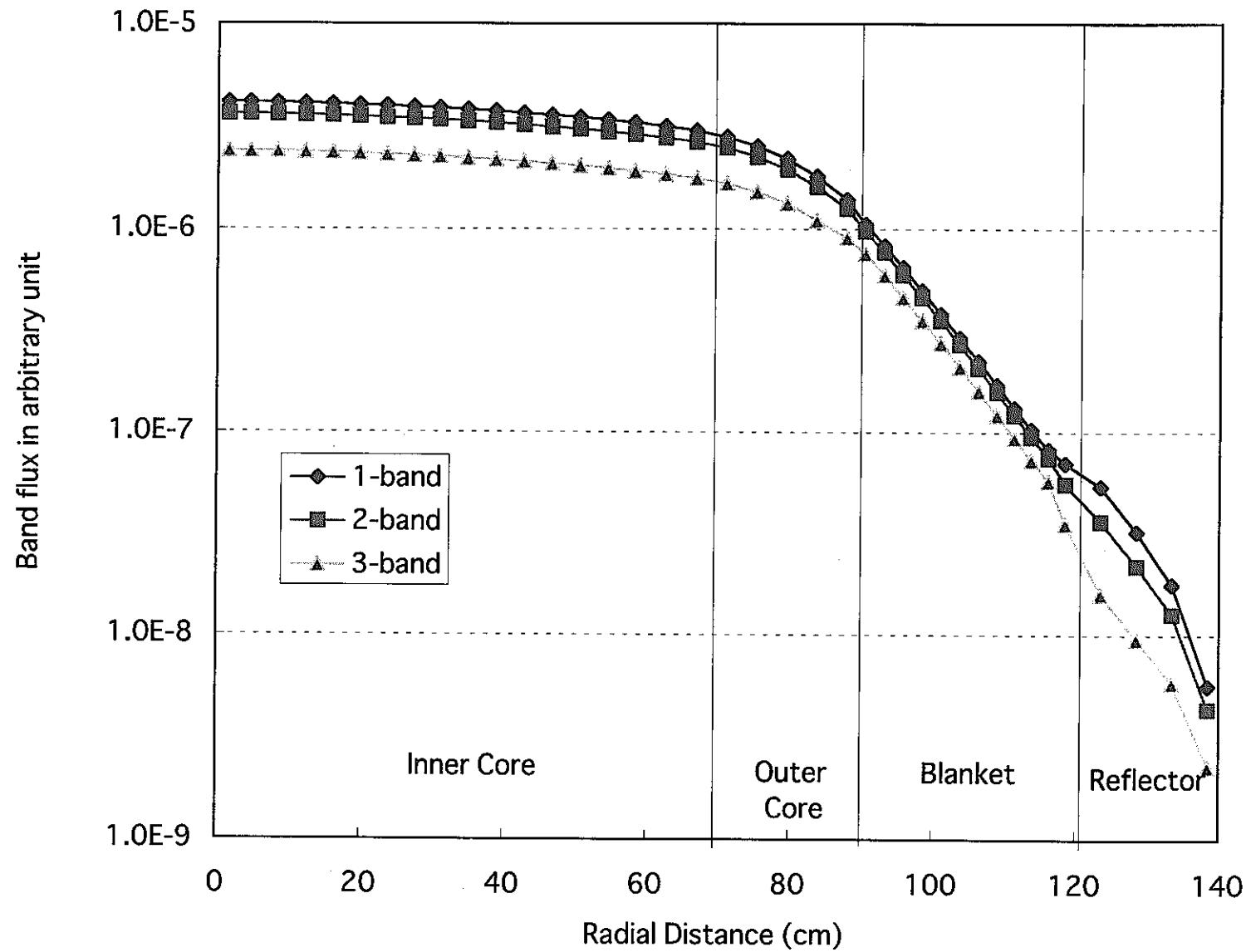


図 2.6 Fe のバンド別中性子束分布 (15 群、outgoing 方向)

Fe, 25th group

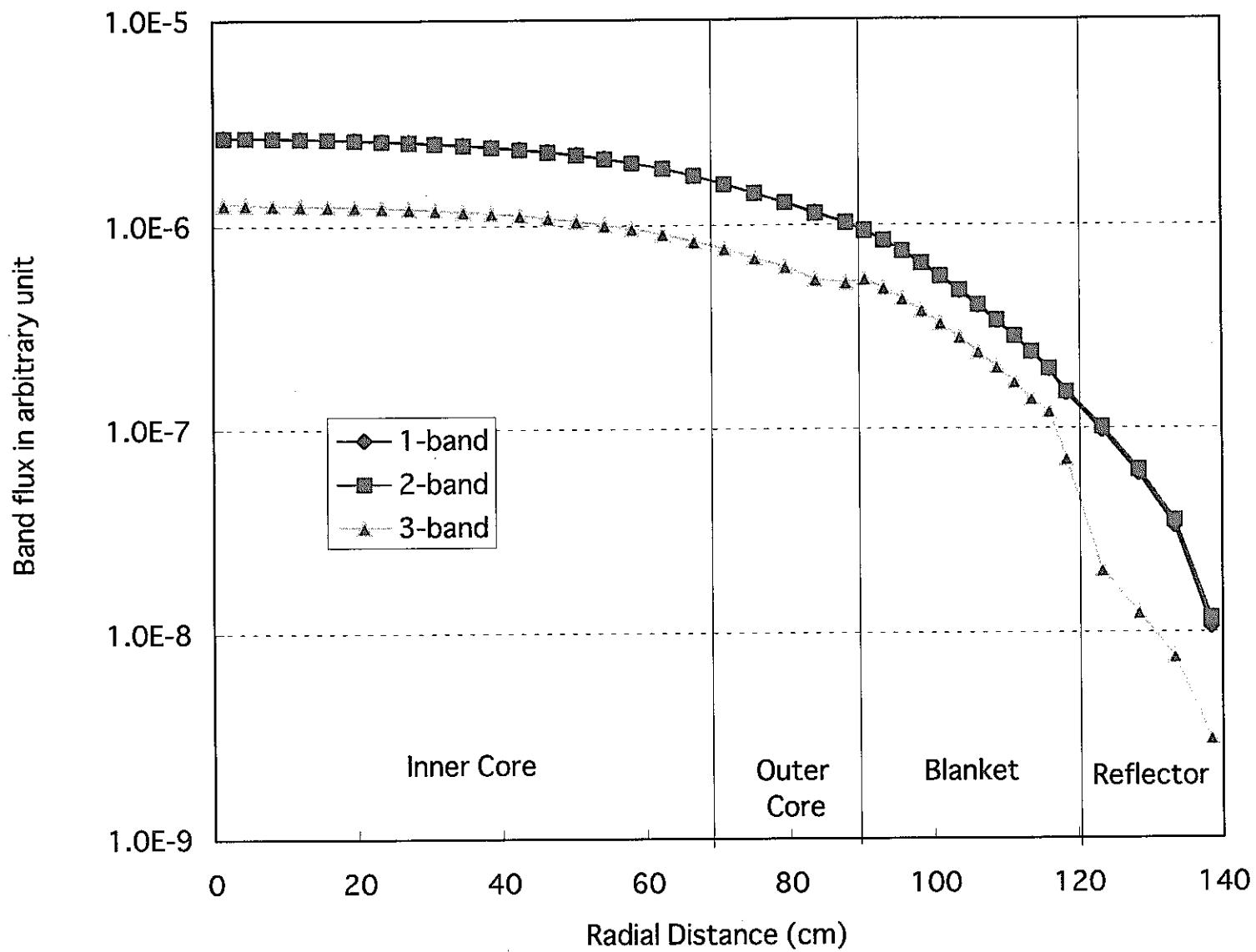


図 2.7 Fe のバンド別中性子束分布 (25 群、incoming 方向)

Fe, 25th group

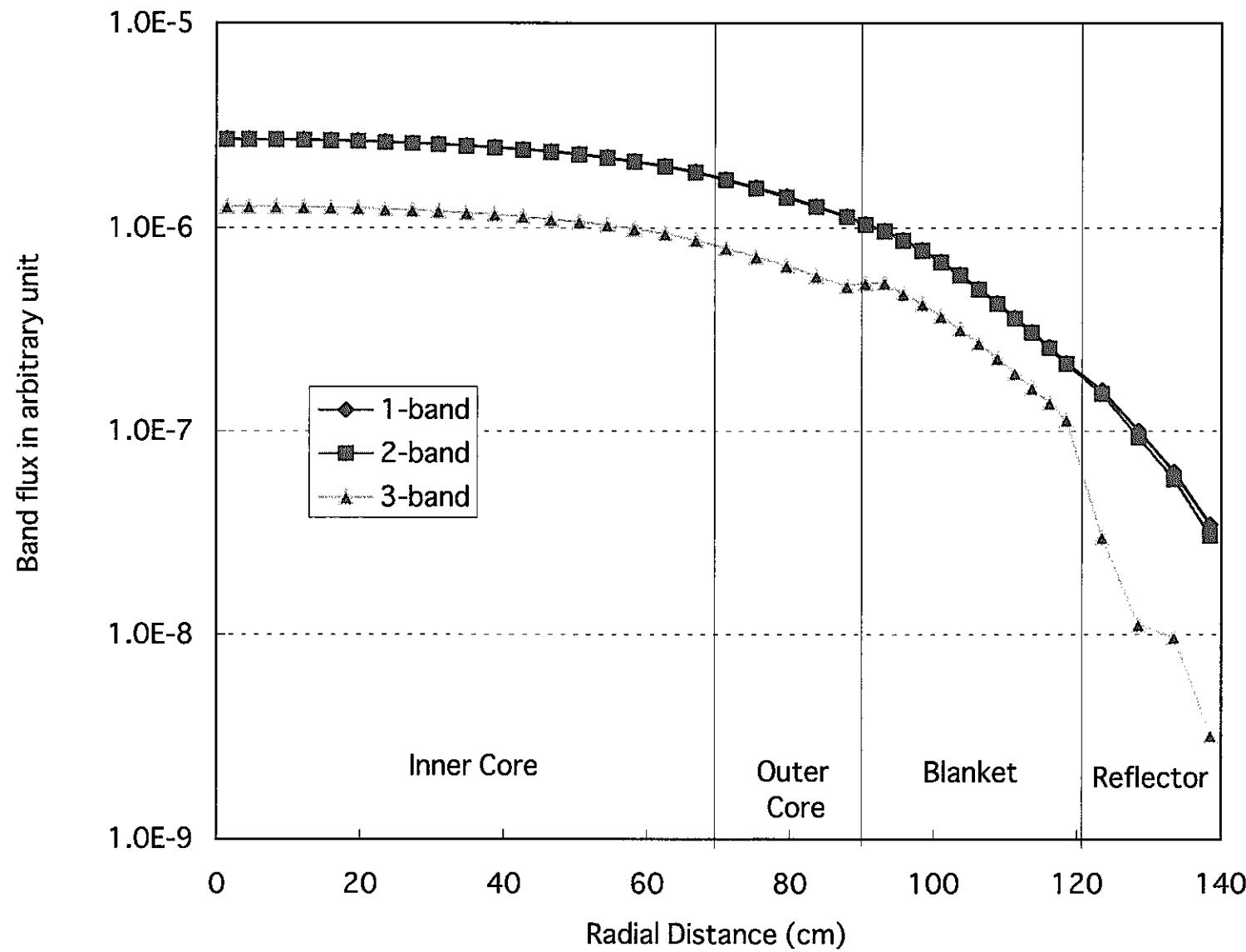


図 2.8 Fe のバンド別中性子束分布 (25 群、outgoing 方向)

U-238, 30th group

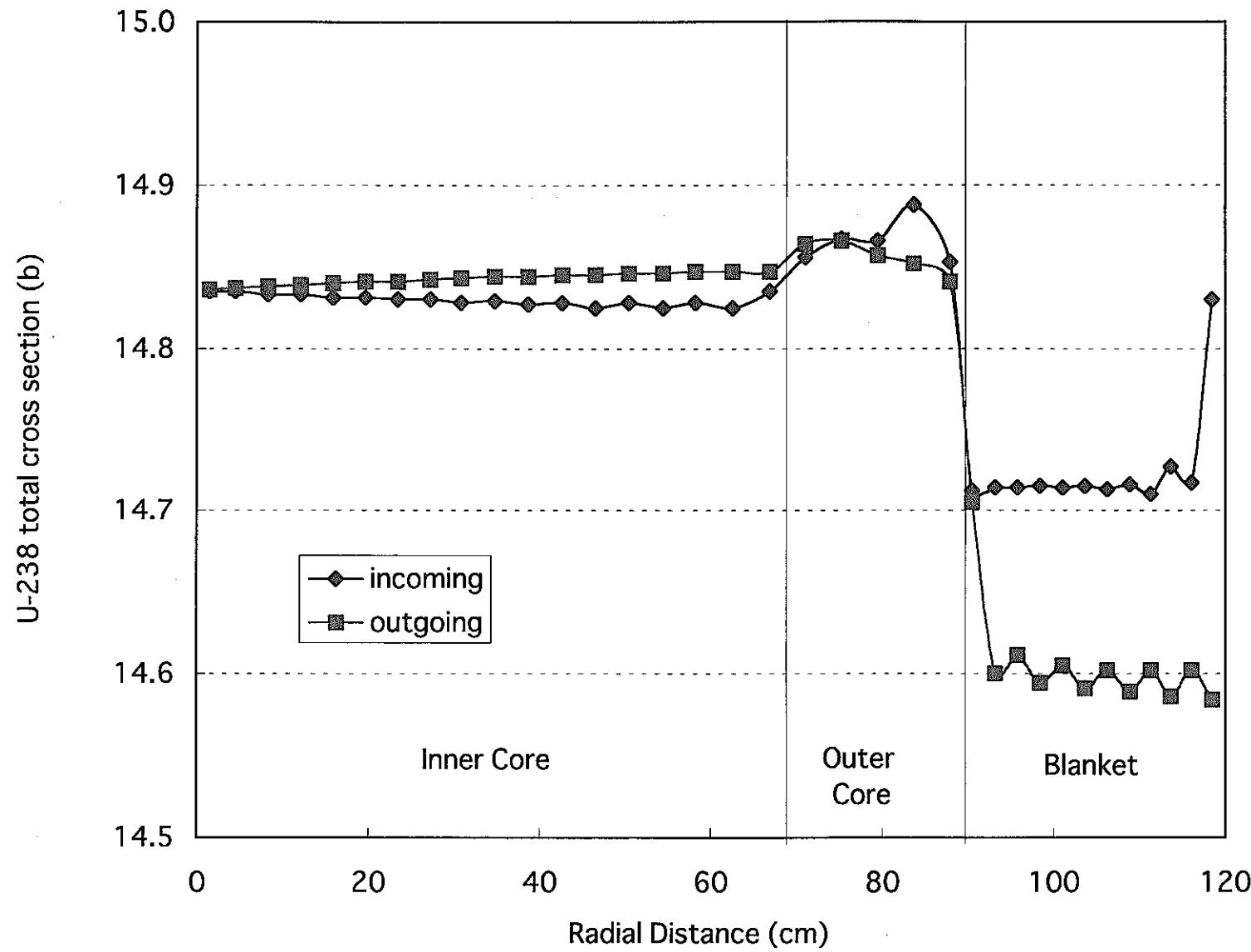


図 2.9 方向別 U-238 全断面積 (30 群)

U-238, 46th group

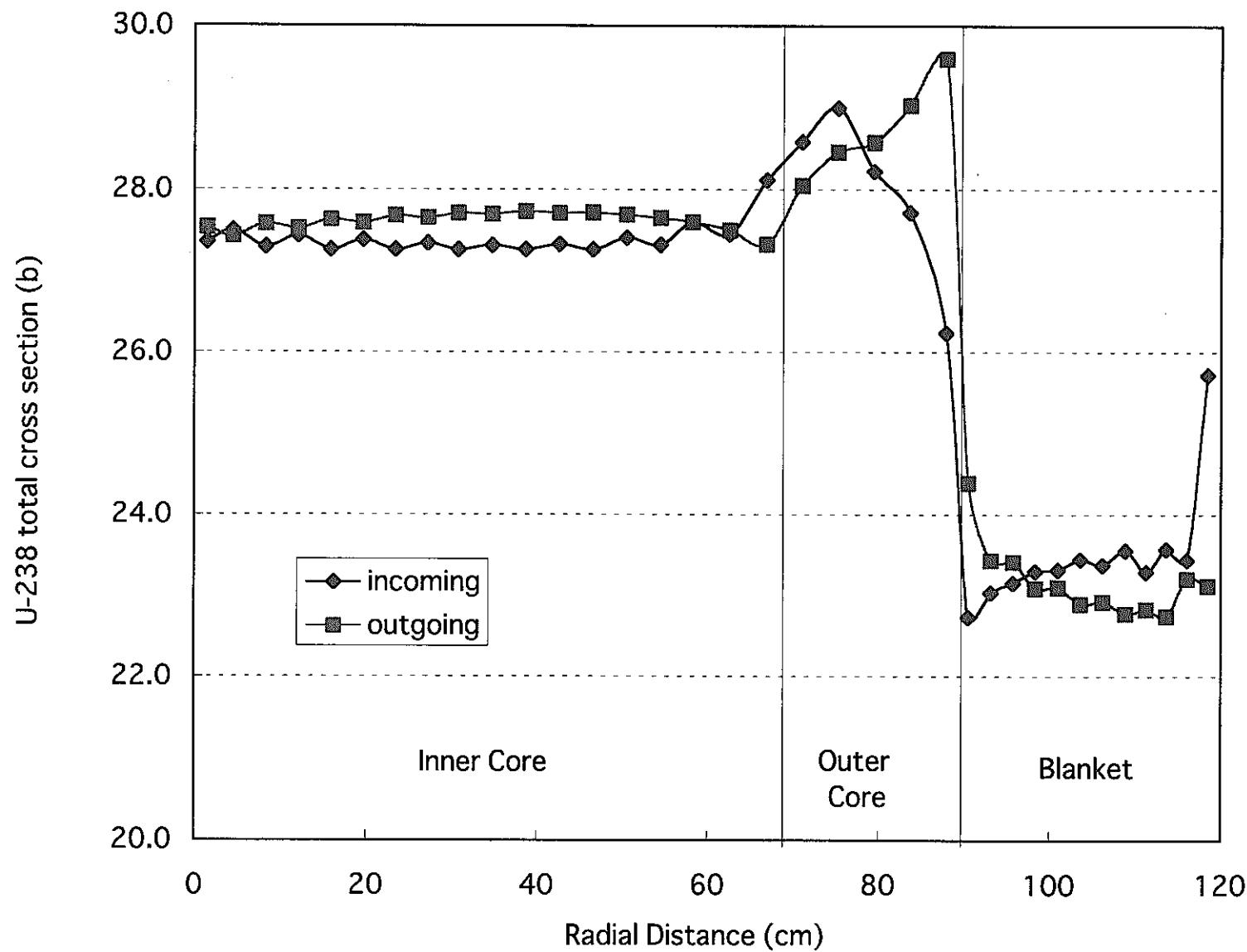


図 2.10 方向別 U-238 全断面積 (46 群)

Fe, 15th group

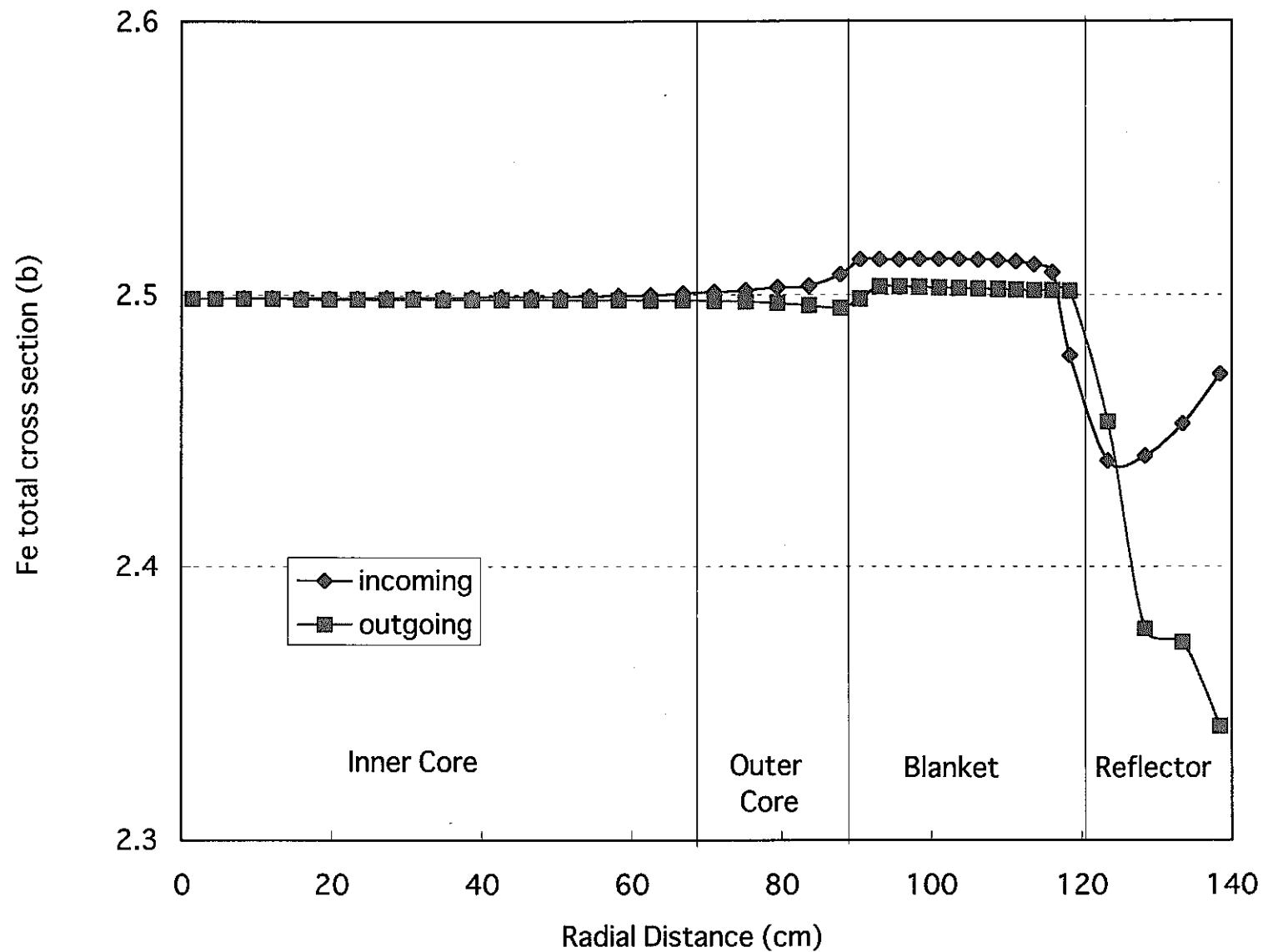


図 2.11 方向別 Fe 全断面積 (15 群)

Fe, 25th group

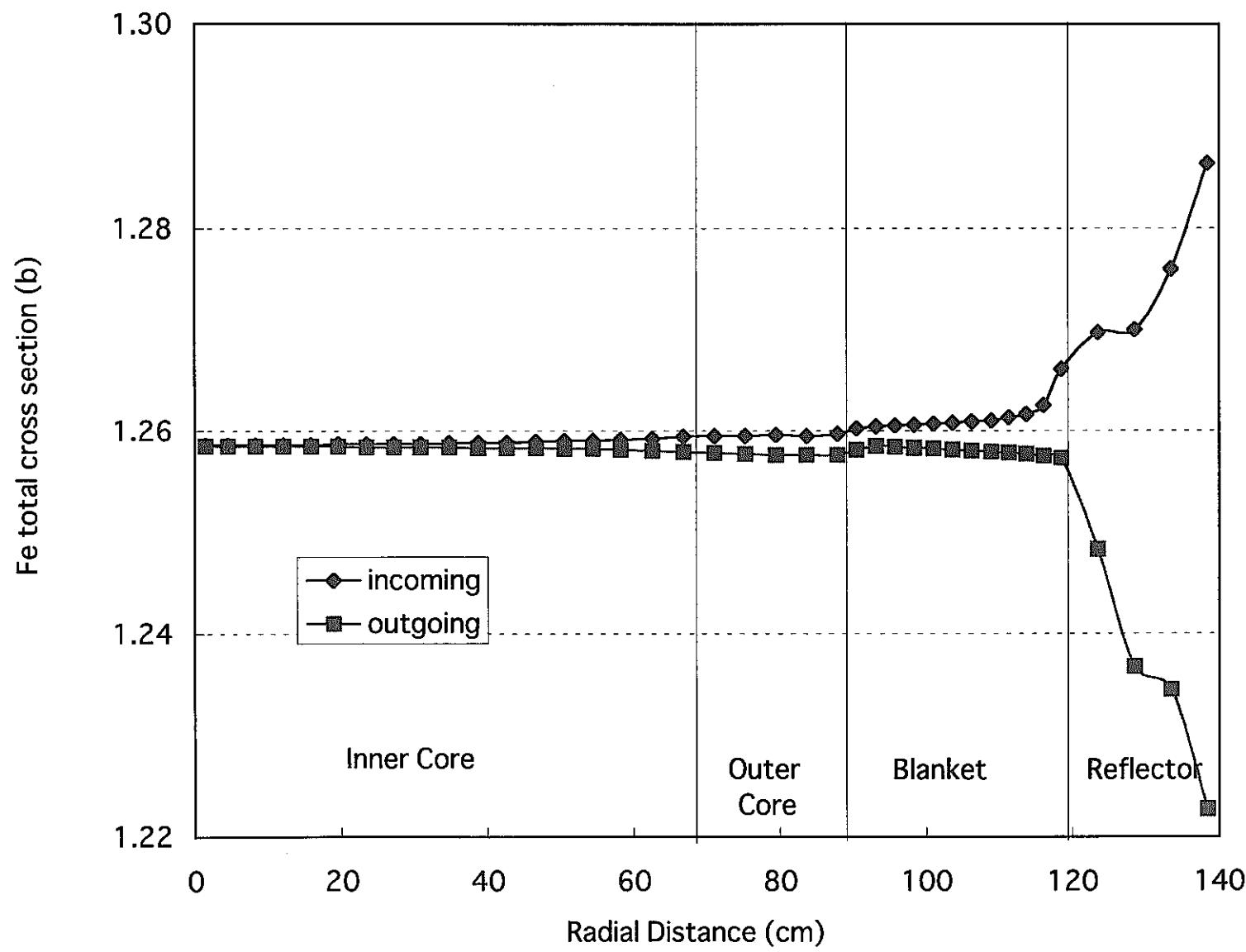


図 2.12 方向別 Fe 全断面積 (25 群)

第3章 マルチバンド法による反応率分布解析

前章で求めたマルチバンドパラメータおよび方向依存ミクロ断面積を使って、「もんじゅ」体系を対象とし主要反応率分布の解析を行った。今回の解析では、径方向(r 方向)のみの方向依存ミクロ断面積が扱われているため、軸方向(z 方向)の効果は考慮されない。このため、今回は炉中心面を通る径方向反応率分布のみを解析対象とした。

3.1 計算条件

まず、「もんじゅ」体系をRZモデル化した(図3.1)。制御棒位置については、燃料集合体で置き換えた。これは、制御棒中途挿入状態を取り入れた計算を行うと、軸方向に非対称となるため、径方向のみの方向依存ミクロ断面積だけでは正確な取り扱いが不可能になるからである。同様の理由により、上下軸ブランケットについても平均値(35.0cm)を使い、中心面に対して完全に対称な体系とした。

Sn計算の計算条件を以下に示す。

使用計算コード	: TWOTRAN (方向依存断面積専用版)
マルチバンド対象核種	: U-238 および Fe (nat)
エネルギー群数	: 107 群 (SRAC ライブラリー)
Sn 次数	: 4
収束条件 (中性子束)	: 5.0E-05

反応率分布を計算する際に使用する放射箔のミクロ断面積は、炉心内の組成に基づく自己遮蔽効果を考慮した。厳密には、箔の環境によっては必ずしも炉心内と同じ自己遮蔽効果を受けるとは限らず、別途詳細な評価が必要と思われる。

放射箔のミクロ断面積の計算条件を以下に示す。

使用計算コード	: RESPLA
重核種反応率	: U-235 fission, U-238 capture, U-238 fission, Pu-239 fission
温度条件	: 300K
核データ	: JENDL-3.2

なお、放射箔用ミクロ断面積についてもマルチバンド法で扱い、バンド毎にバンド中性子束を使って反応率を集計する方法が考えられるが、本手法では一旦、方向依存断面積に変換して通常の Sn 計算を行うという計算の流れとなつており、上記のように多群近似で計算したものを使った。この点に関してはまだ検討の余地があると思われる。

マルチバンドパラメータを使って、プランケット均質体系で Sn 計算を行ない、バンド中性子束を重み付けとして多群定数を求めたところ、NJOY による多群定数と完全に一致した。しかし、RESPLA による多群定数は NJOY とは一致しなかった。これは、両コードの断面積処理法の違いや、元になった核データのバージョンの微妙な違いが現れていると考えられる。本研究では、RESPLA による多群定数を用いて計算したものと通常手法としているため、このままでは RESPLA と NJOY の差が計算結果に現れてしまい、純粋なマルチバンド法の効果が評価できない。そこで、均質体系で RESPLA の多群定数が再現されるようにミクロ断面積を規格化した。具体的には付録 1 に示すような、dir2-dir4 の規格化を行ない、最終的には dir3 の結果を採用した。

3.2 計算結果

前章で検討した通り、マルチバンド Sn 法による効果が現れるのは U-238 で数十 keV 以下、Fe で 1MeV 以下であるため、U-238 fis といった高エネルギーに閾値を持つ反応については、マルチバンド法の効果は小さいであろうことが推測できる。

U-238 のミクロ断面積を方向依存とした場合と通常の Sn 法を用いた場合の反応率分布の相対差を図 3.23-3.34 に示す。反応率分布は炉中心で 1 に規格化した。反応別に見ると、低い中性子エネルギーで断面積が大きくなる捕獲反応で顕著な効果が得られた。その傾向はプランケット深部に向かって大きくなるという共通のパターンを示している。反応率に対する補正量は最大で、U-238 fis については、有意な差は見られなかった。

プランケット領域での反応率の上昇割合に着目すると、U-238 の場合は概ね一定であるのに比べ、Fe の場合はプランケット深部で急速に上昇割合が大きくなり、下に凸の曲線を示している。これも、U-238 と Fe の共鳴と、箔反応の共鳴のエネルギー位置の違いが現れていると推測される。

3.3 方向別ミクロ断面積の効果

マルチバンド Sn 法によってミクロ断面積を計算する際、(20)式のように方向

依存にしたが、方向依存性を考慮しないで角度方向については 4π すべてを積分し、方向依存のないミクロ断面積にすることが考えられ、むしろその方が一般的な手法である。逆に、ブランケットでの反応率分布の解析に方向依存のミクロ断面積を採用する必要があるかどうかについては、前より議論になってきた問題であり興味があるところである。そこで、本手法に対する追加検討として、方向依存性を考慮した場合とそうでない場合の比較を行った。

方向依存性を考慮しない計算では、方向依存ミクロ断面積を以下の式で平均化し、2方向 (+, -) で共通に使用した。

$$\sigma_{x,\text{nodir}} = \text{Sum}_B \{ \sigma_{x,B} \cdot (\phi_B^+ + \phi_B^-) \} / \text{Sum}_B (\phi_B^+ + \phi_B^-) \quad (22)$$

図 3.10-3.17 に、U-238 のミクロ断面積を方向依存とした場合としない場合の反応率分布の相対差を示す。方向依存とする効果は高々 1% 程度であり、U-238 ではブランケットでの反応率を減少させる傾向に、Fe では逆の傾向になった。また、U-238 では反射体境界で急速な変化が見られた。この結果より、マルチバンド Sn 法の効果のほとんどがミクロ断面積の絶対値が変化する効果であり、方向別ミクロ断面積の効果はほとんどないことが確認された。

3.4 まとめ

U-238 のミクロ断面積を方向依存とした場合、ブランケット部での主要反応率が最大で 8% 上昇した。また、この傾向は箱核種の断面積が低エネルギーで大きくなるものほど顕著であった。Fe のミクロ断面積を方向依存とした場合、ブランケット部での主要反応率が最大で 4% 上昇した。両者間には、ブランケット部での上昇傾向（曲線の形）にも違いが見られた。両方の結果を合わせると、ブランケット部での反応率の上昇は 12% に達することになる。

以上の結果を反応率の種類別に見ると以下の通りになる。

	U-238 の効果	Fe の効果	合 計
U-238 cap	6%	3-4%	9-10%
Pu-239 fis	8%	3-4%	11-12%
U-235 fis	8%	3-4%	11-12%
U-238 fis	1%	~0%	1%

方向依存ミクロ断面積を使用する効果は高々 1% に過ぎず、ほとんどがミクロ断面積の絶対値が変化する効果であることがわかった。

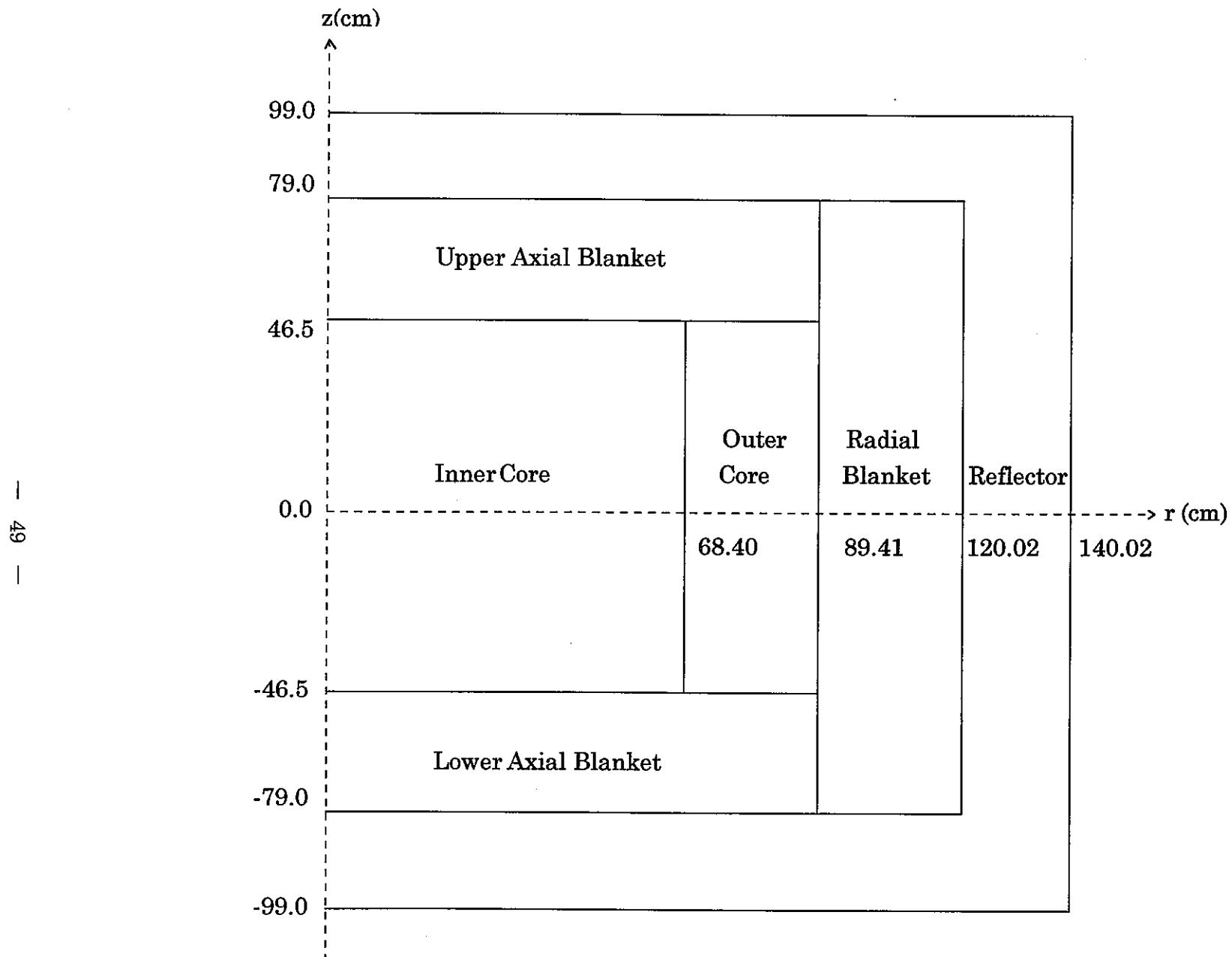


図 3.1 簡易化された「もんじゅ」RZ 体系モデル

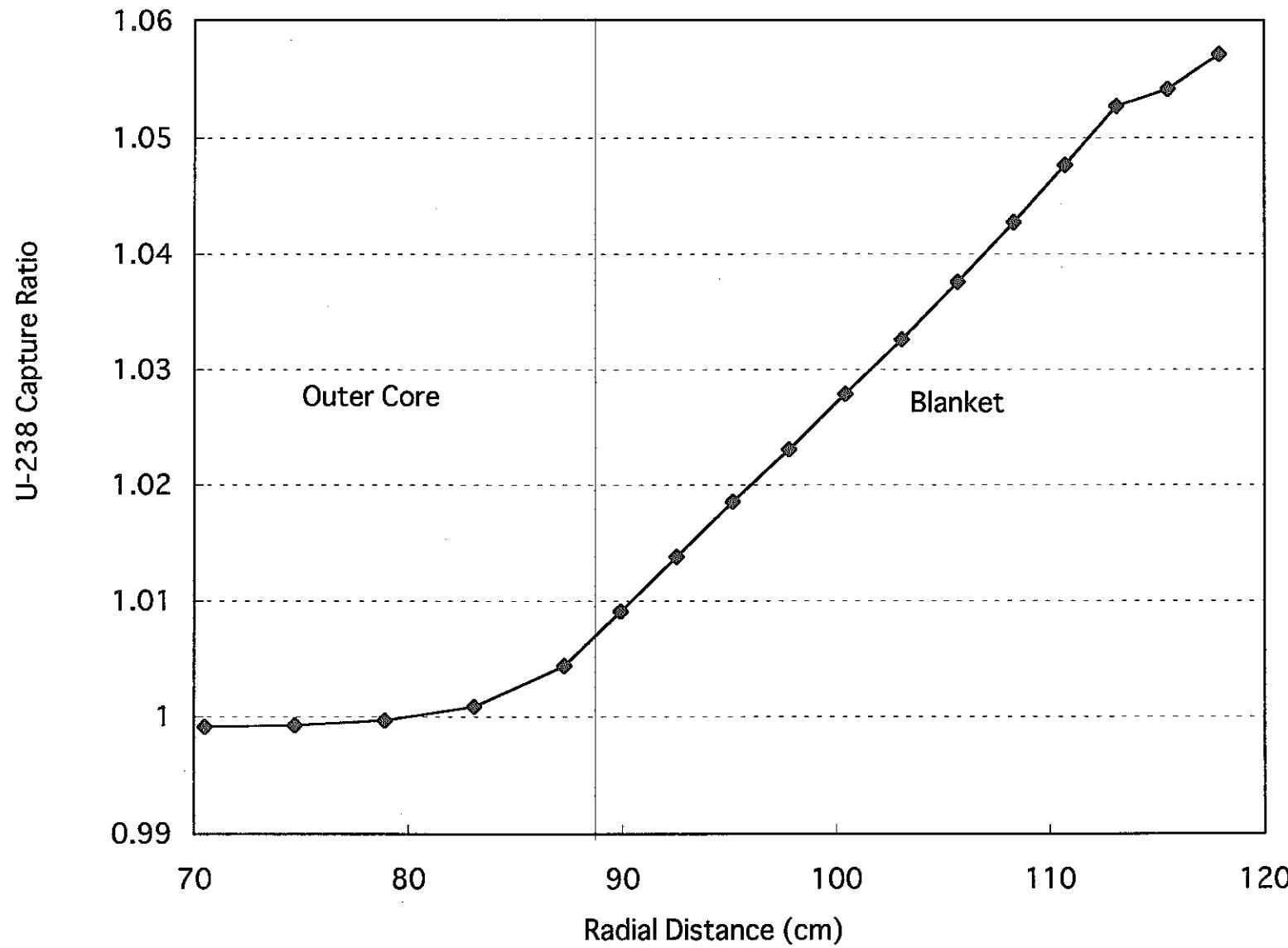


図 3.2 U-238(n,g) の反応率分布相対比（方向依存／通常手法、U-238）

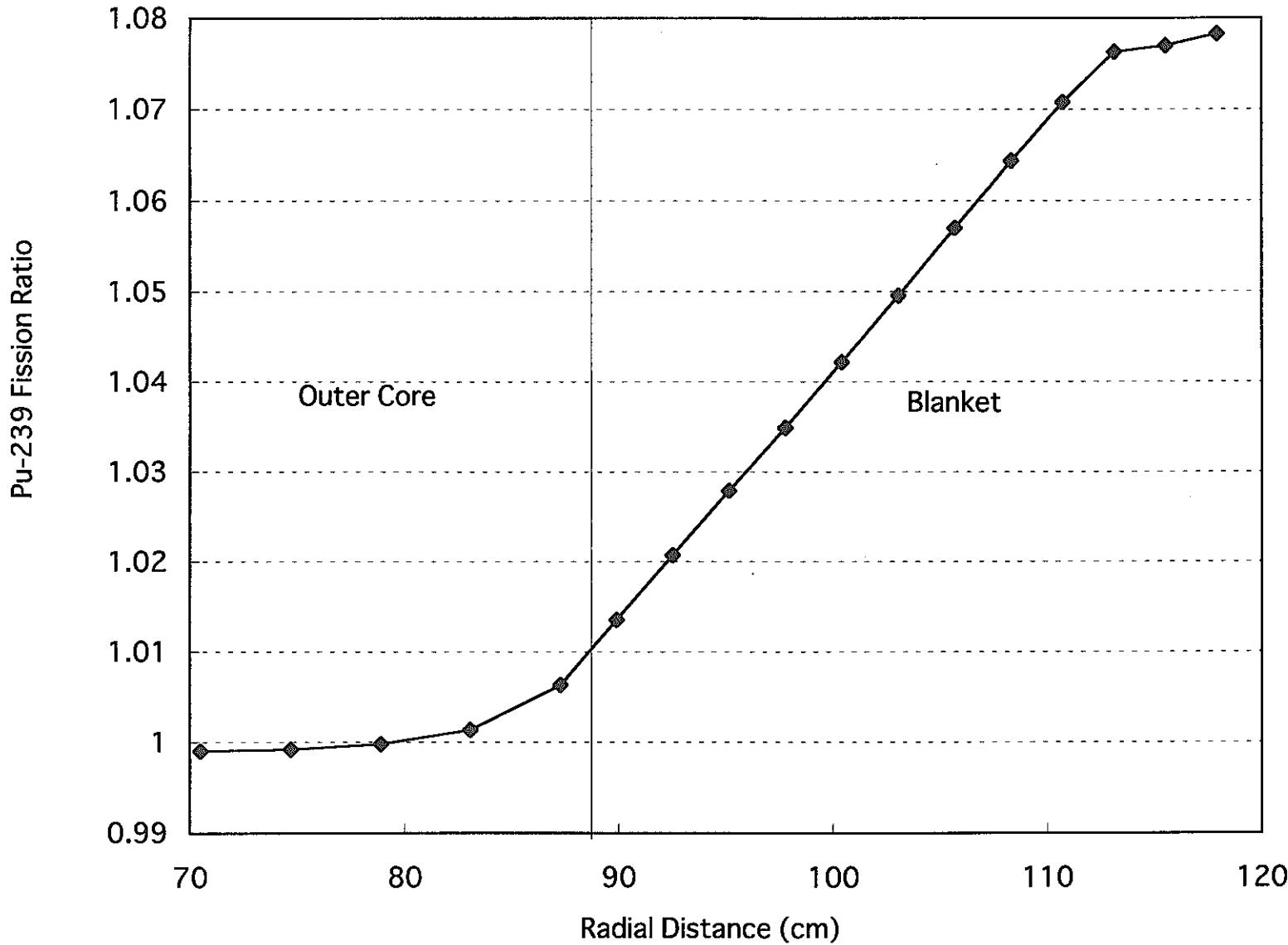


図 3.3 Pu-239 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／通常手法、U-238）

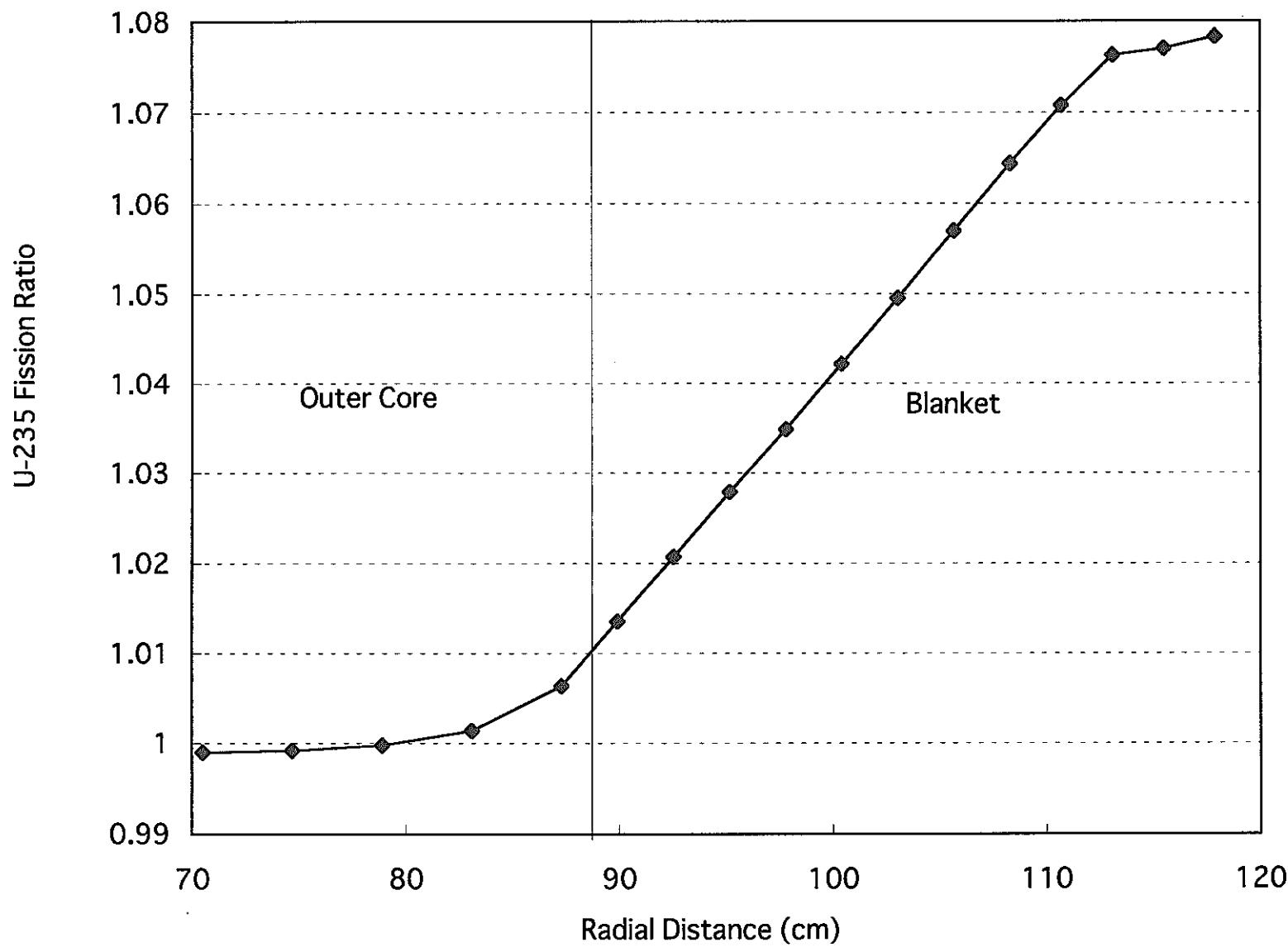


図 3.4 U-235 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／通常手法、U-238）

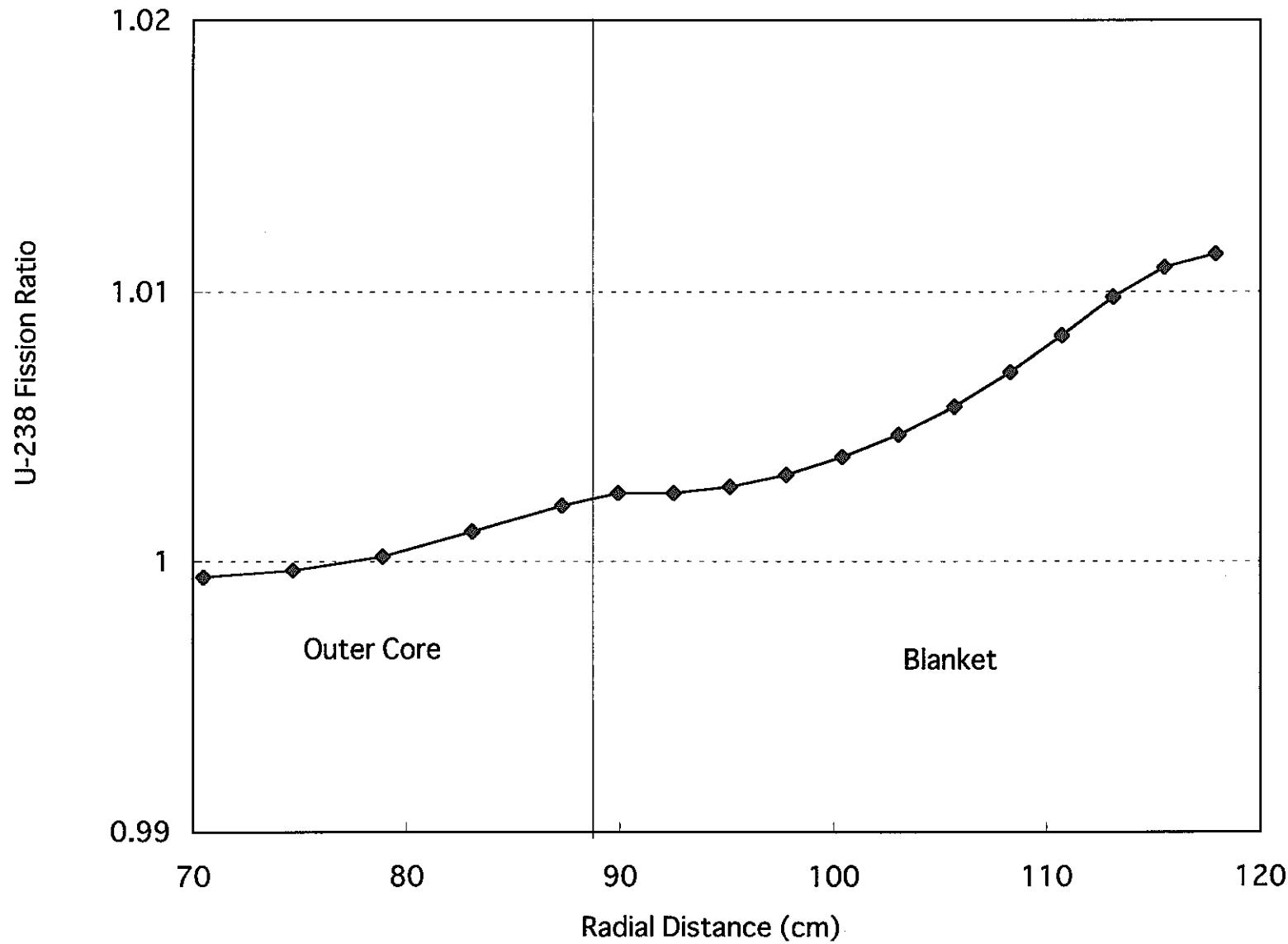


図 3.5 U-238 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／通常手法、U-238）

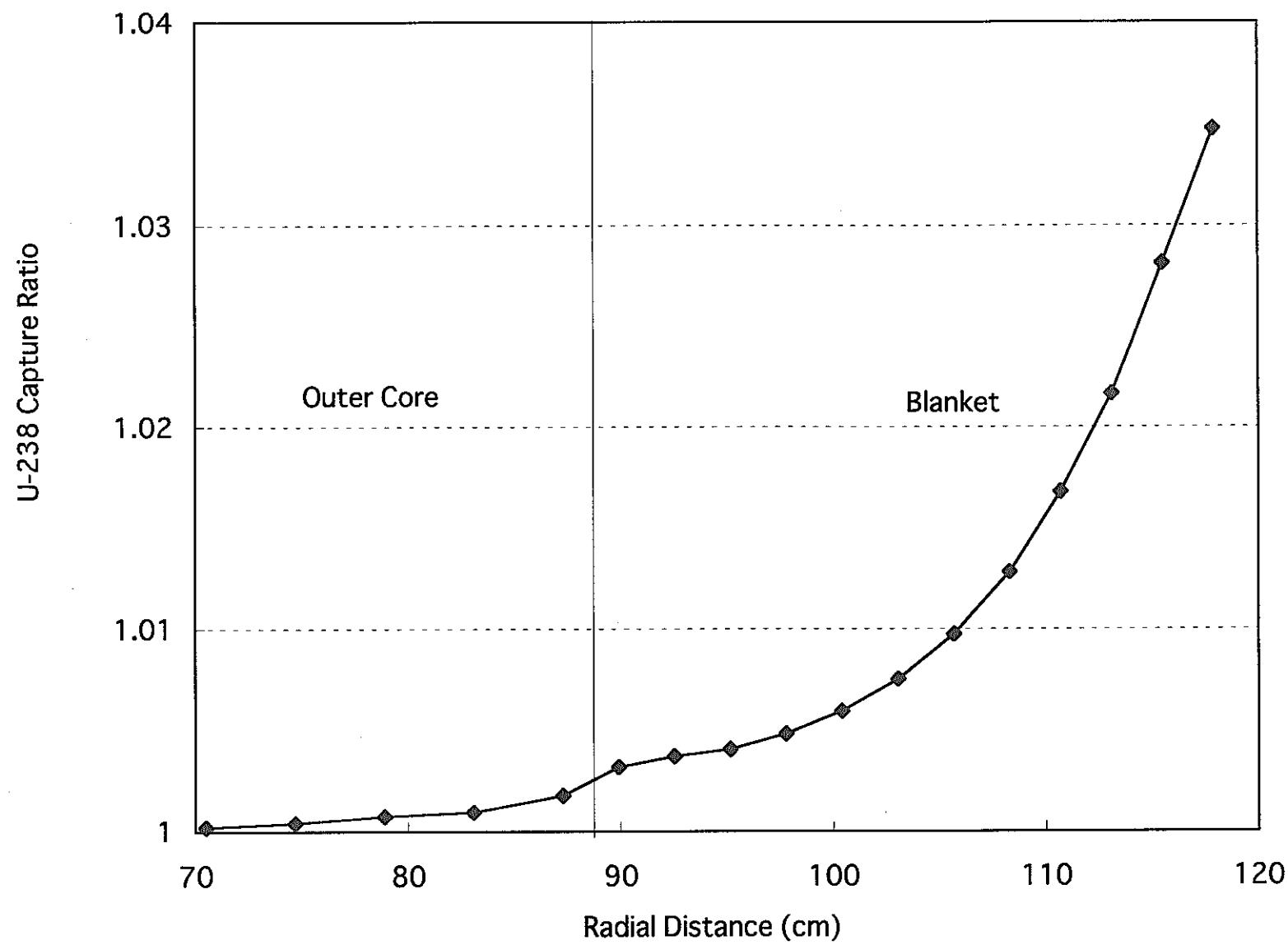


図 3.6 U-238 (n,g) の反応率分布相対比（方向依存／通常手法、Fe）

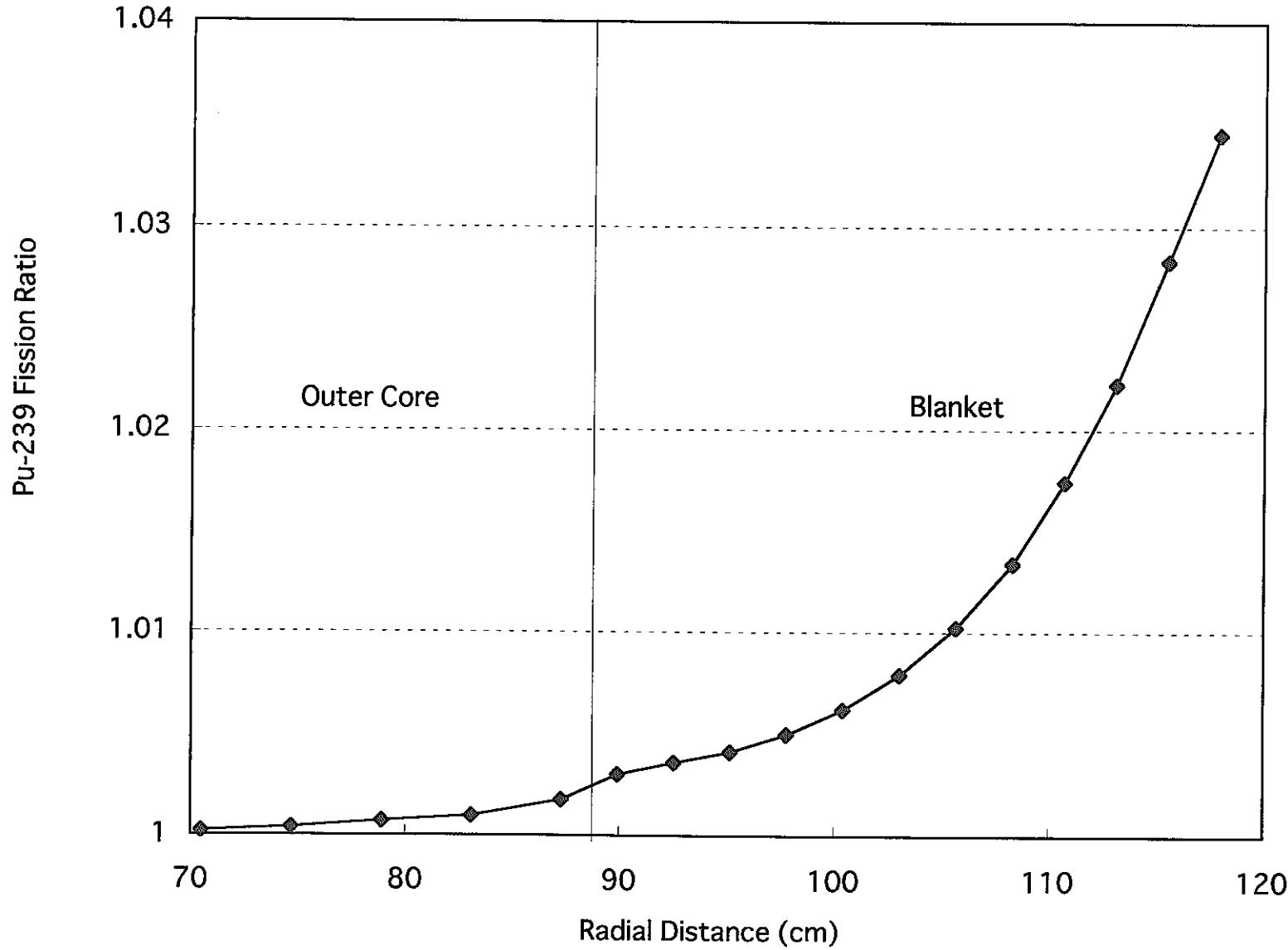


図 3.7 Pu-239 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／通常手法、Fe）

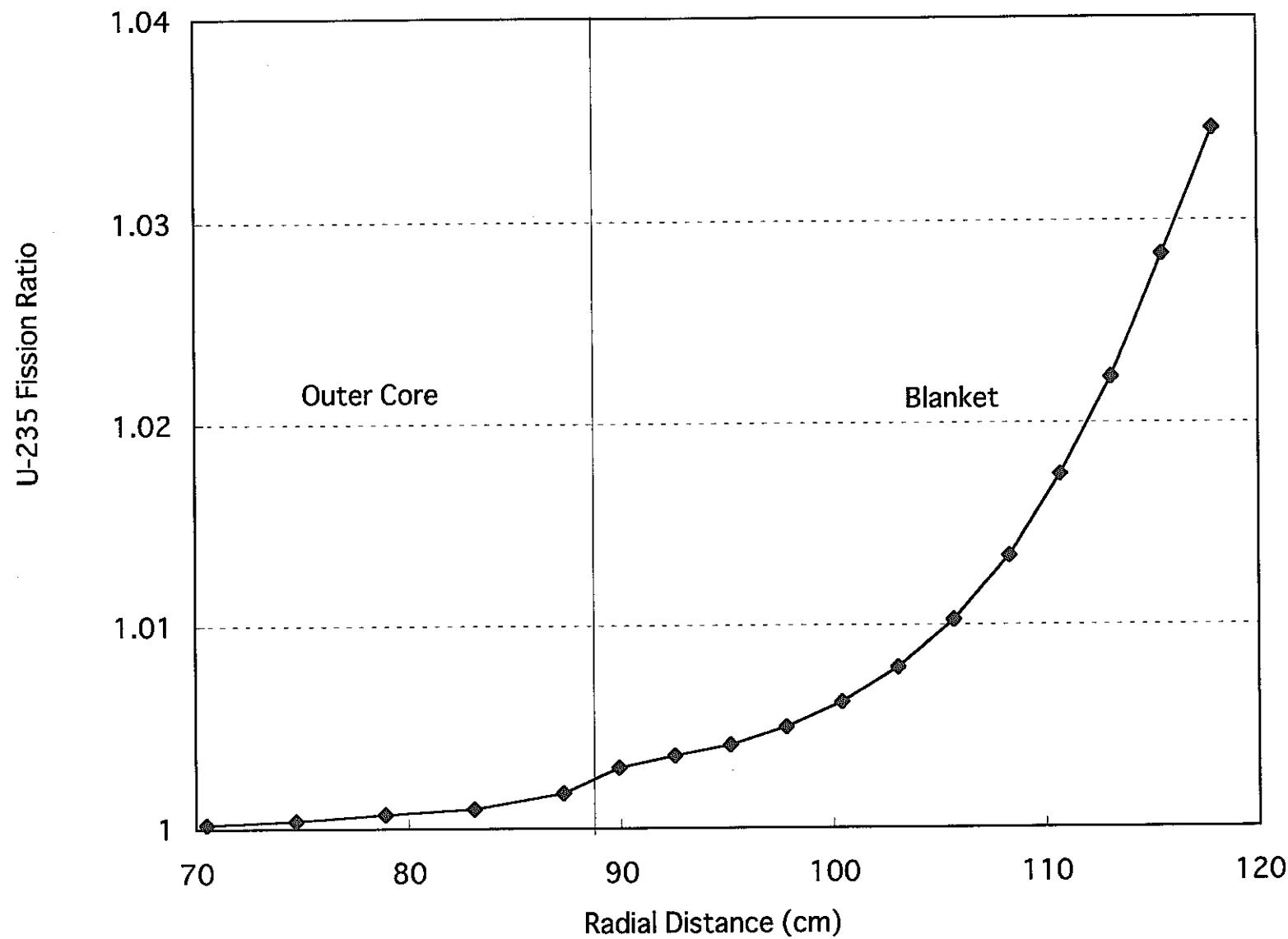


図 3.8 U-235 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／通常手法、Fe）

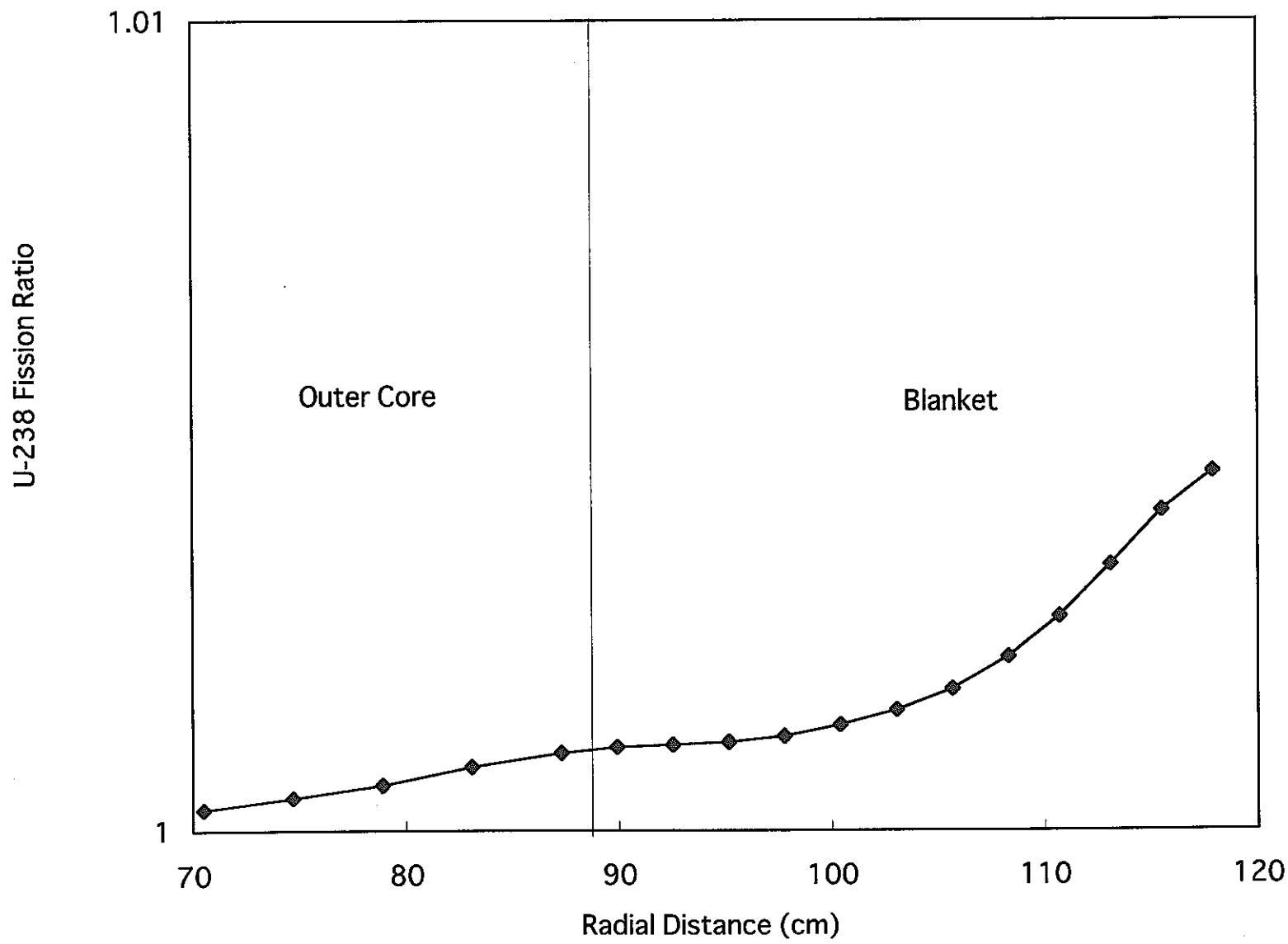


図 3.9 U-238 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／通常手法、Fe）

U-scat

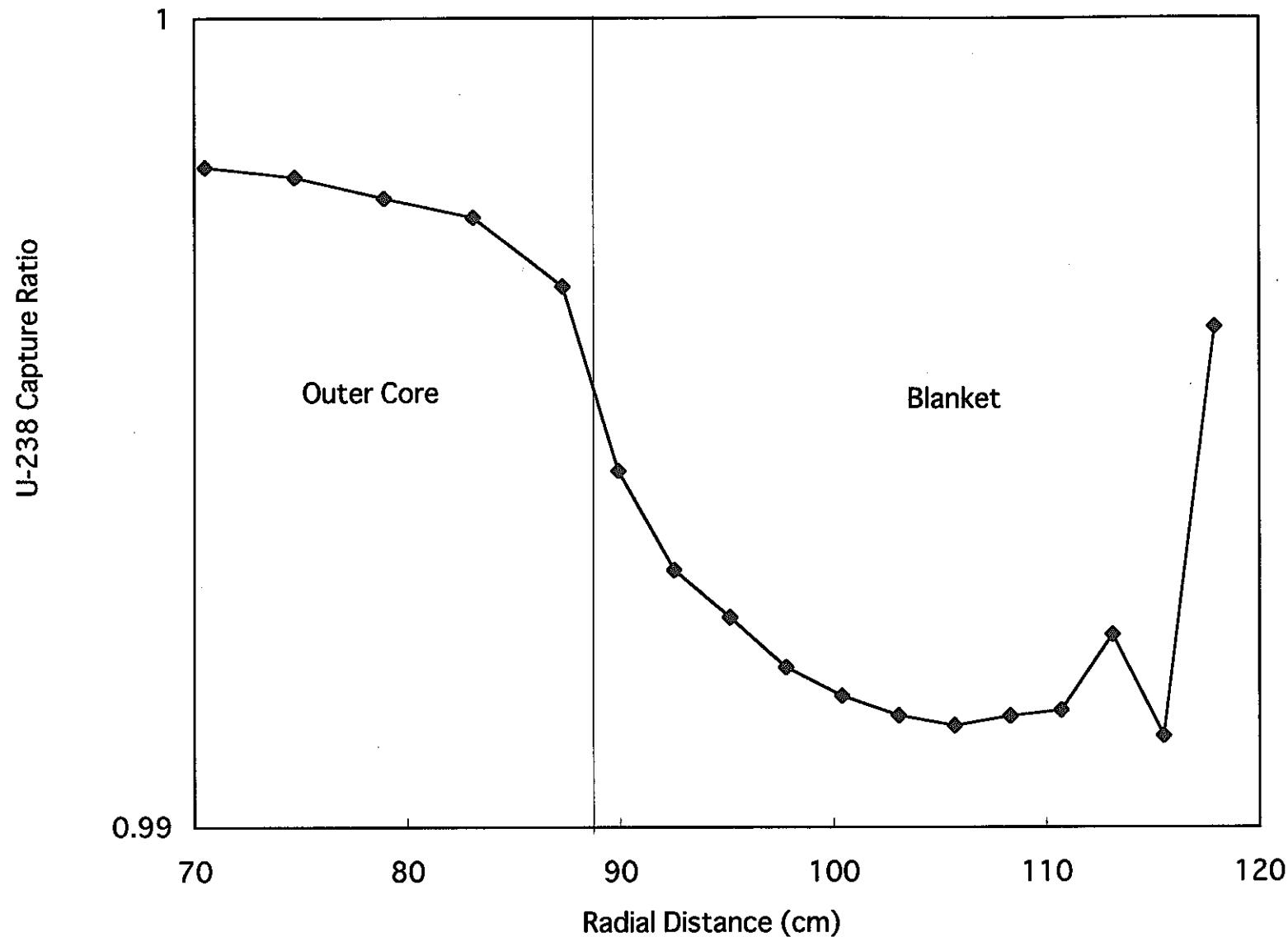


図 3.10 U-238 (n,g) の反応率分布相対比（方向依存／方向依存なし、U-238）

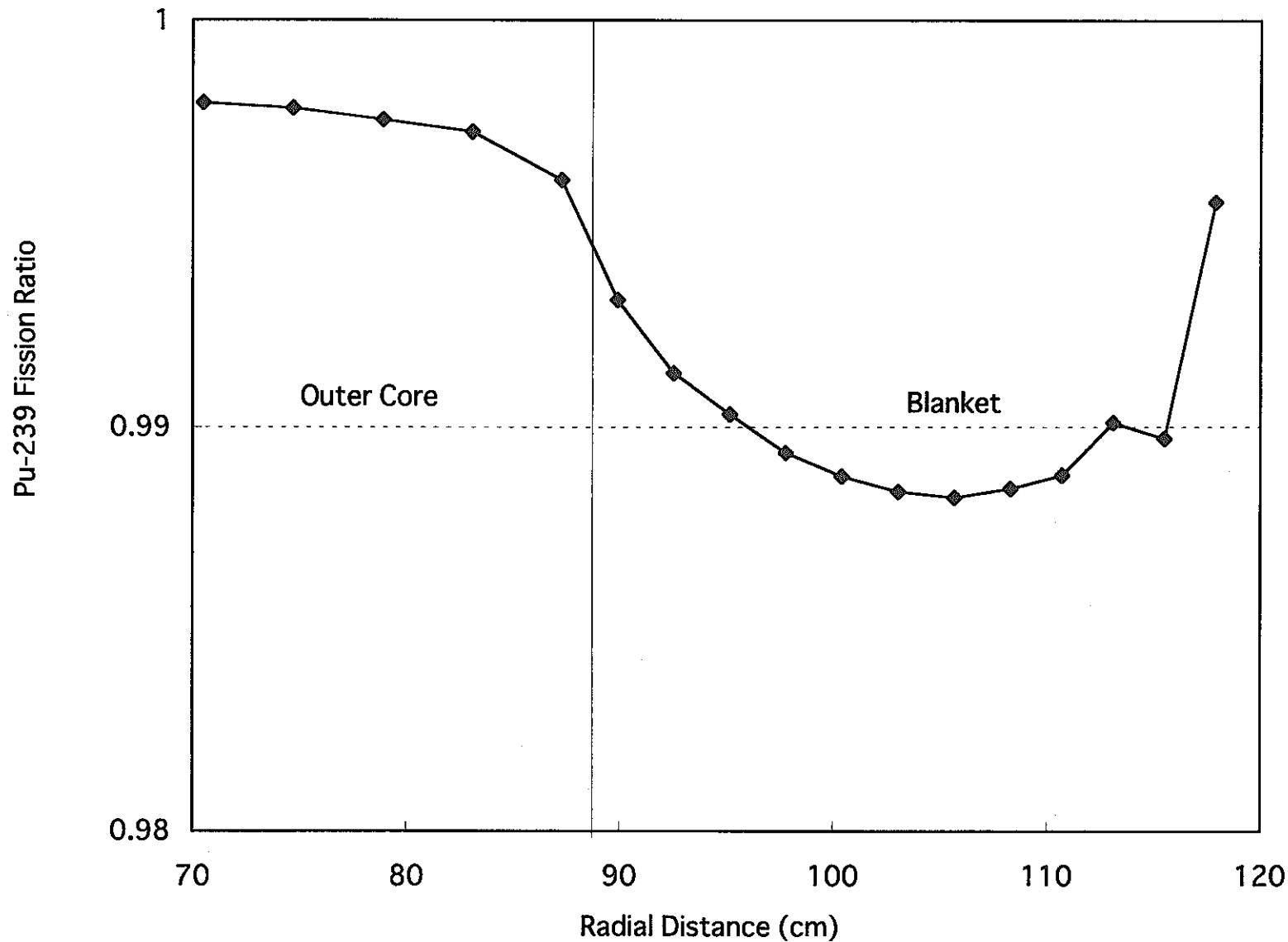


図 3.11 Pu-239 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／方向依存なし、U-238）

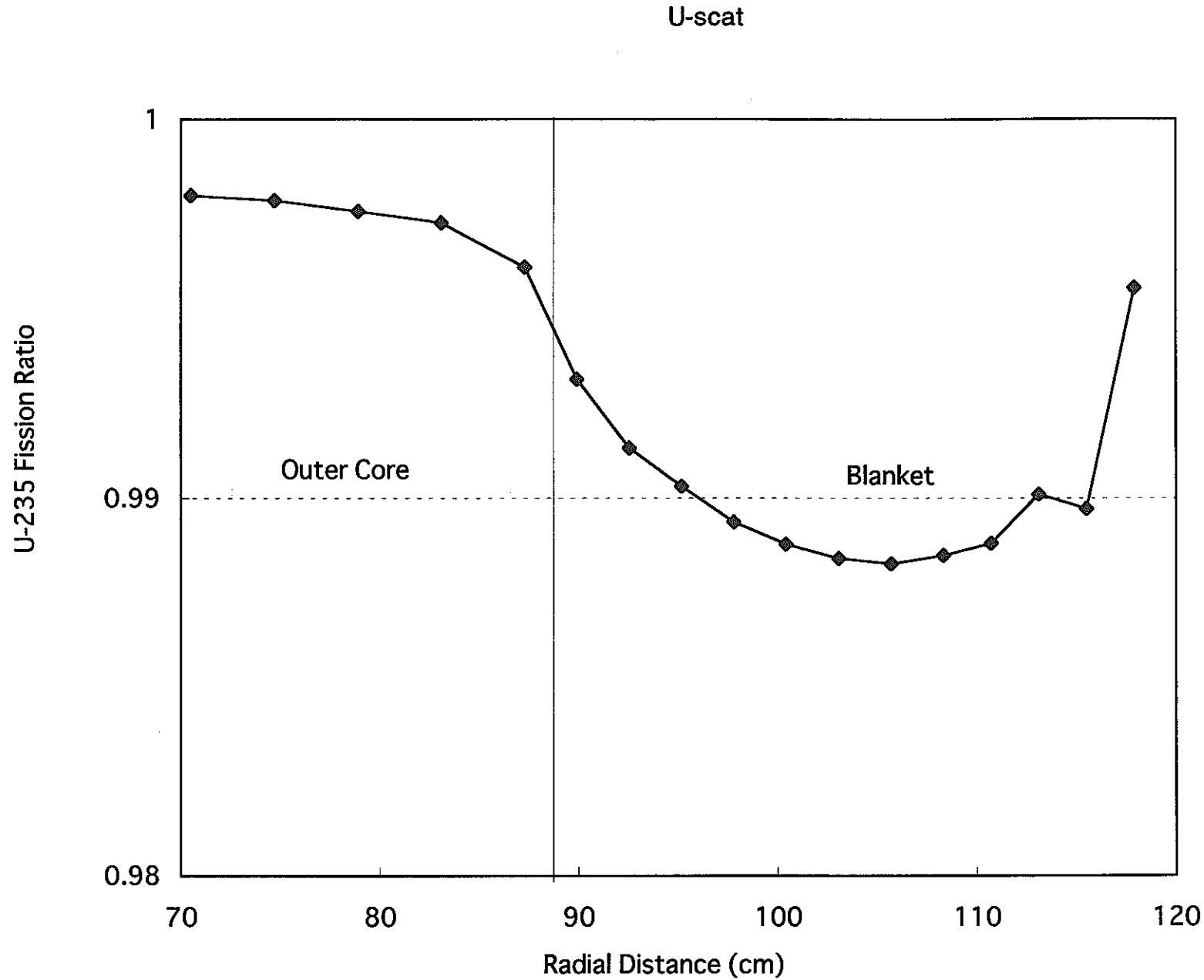


図 3.12 U-235 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／方向依存なし、U-238）

U-scat

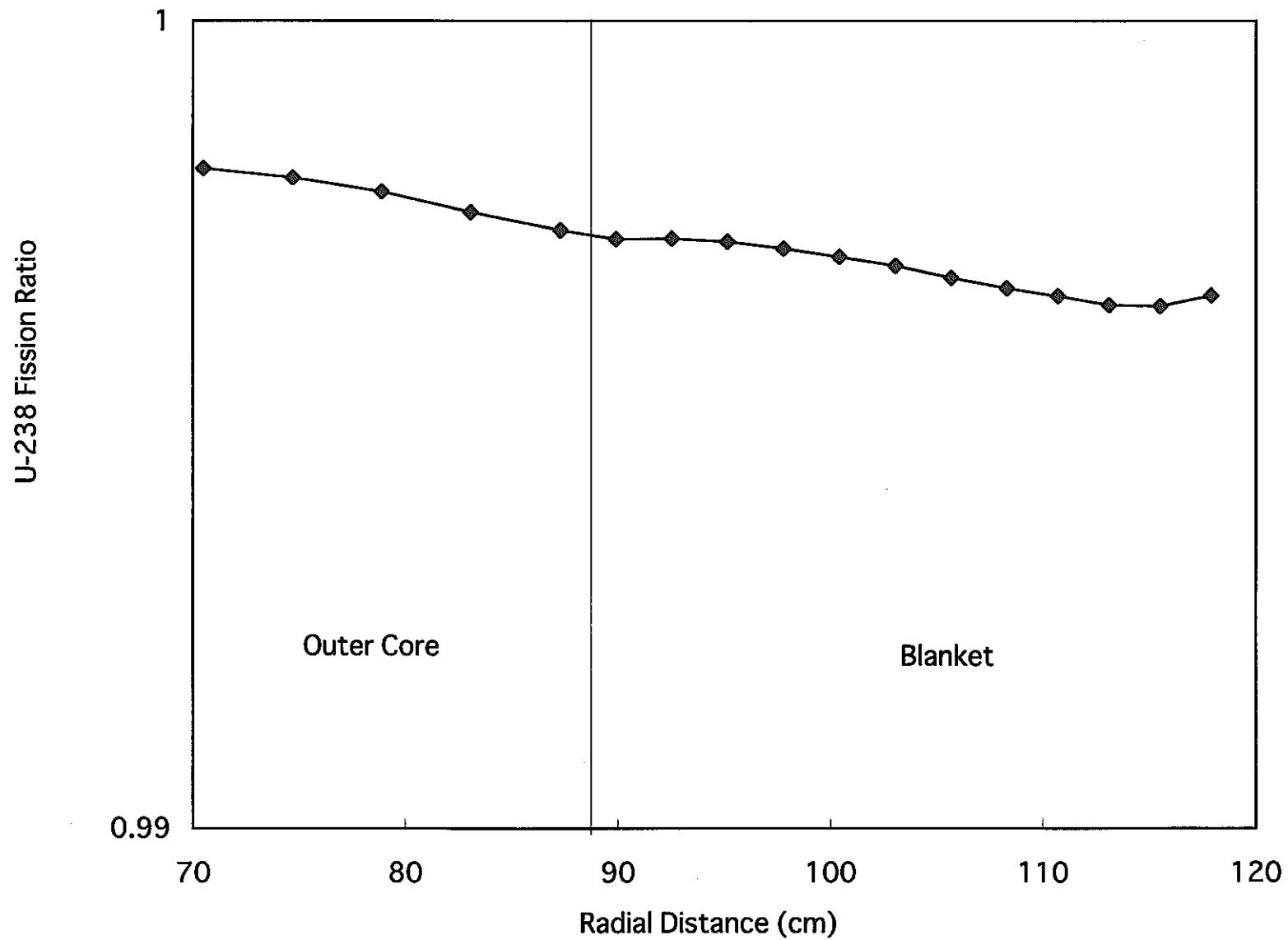


図 3.13 U-238 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／方向依存なし、U-238）

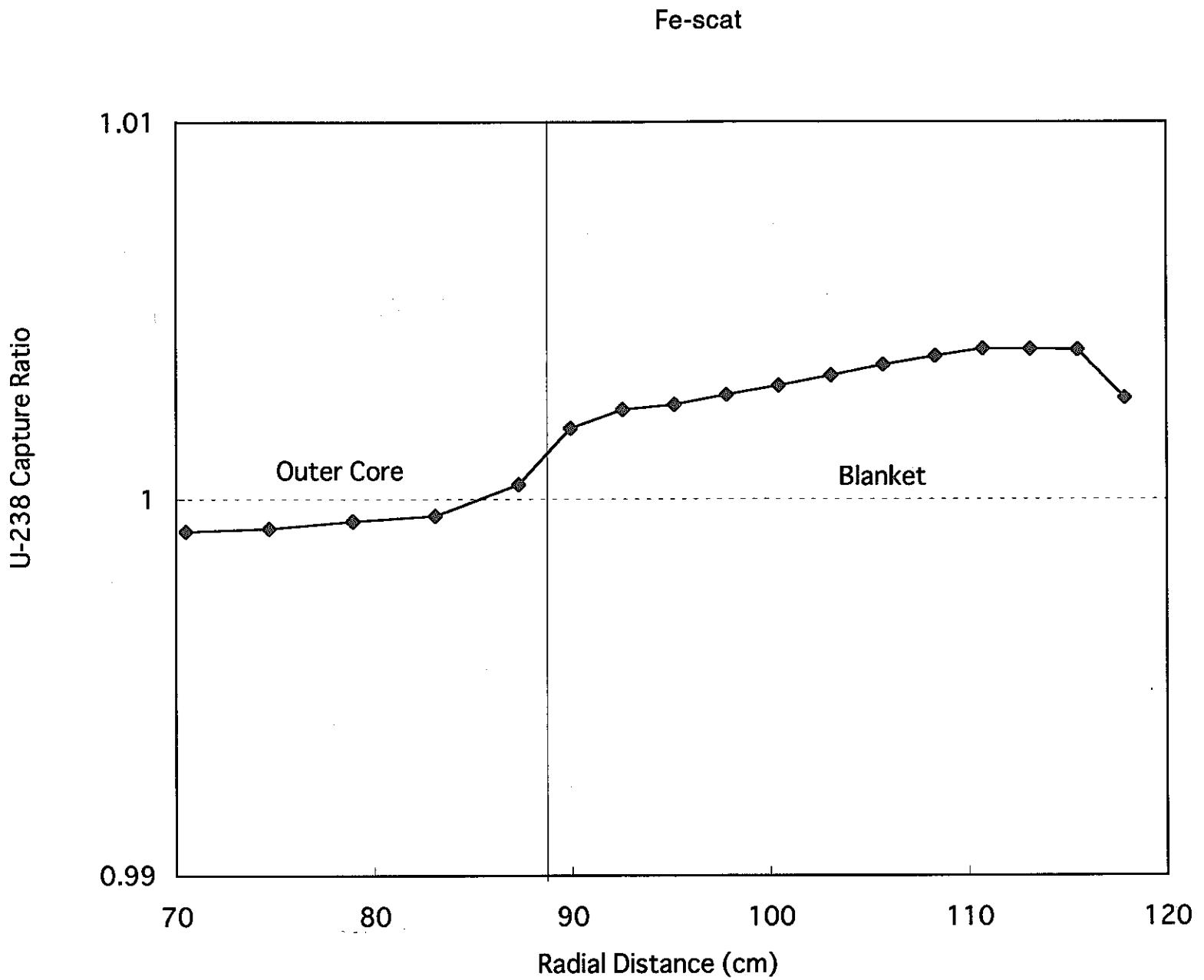


図 3.14 U-238 (n,g) の反応率分布相対比（方向依存／方向依存なし、Fe）

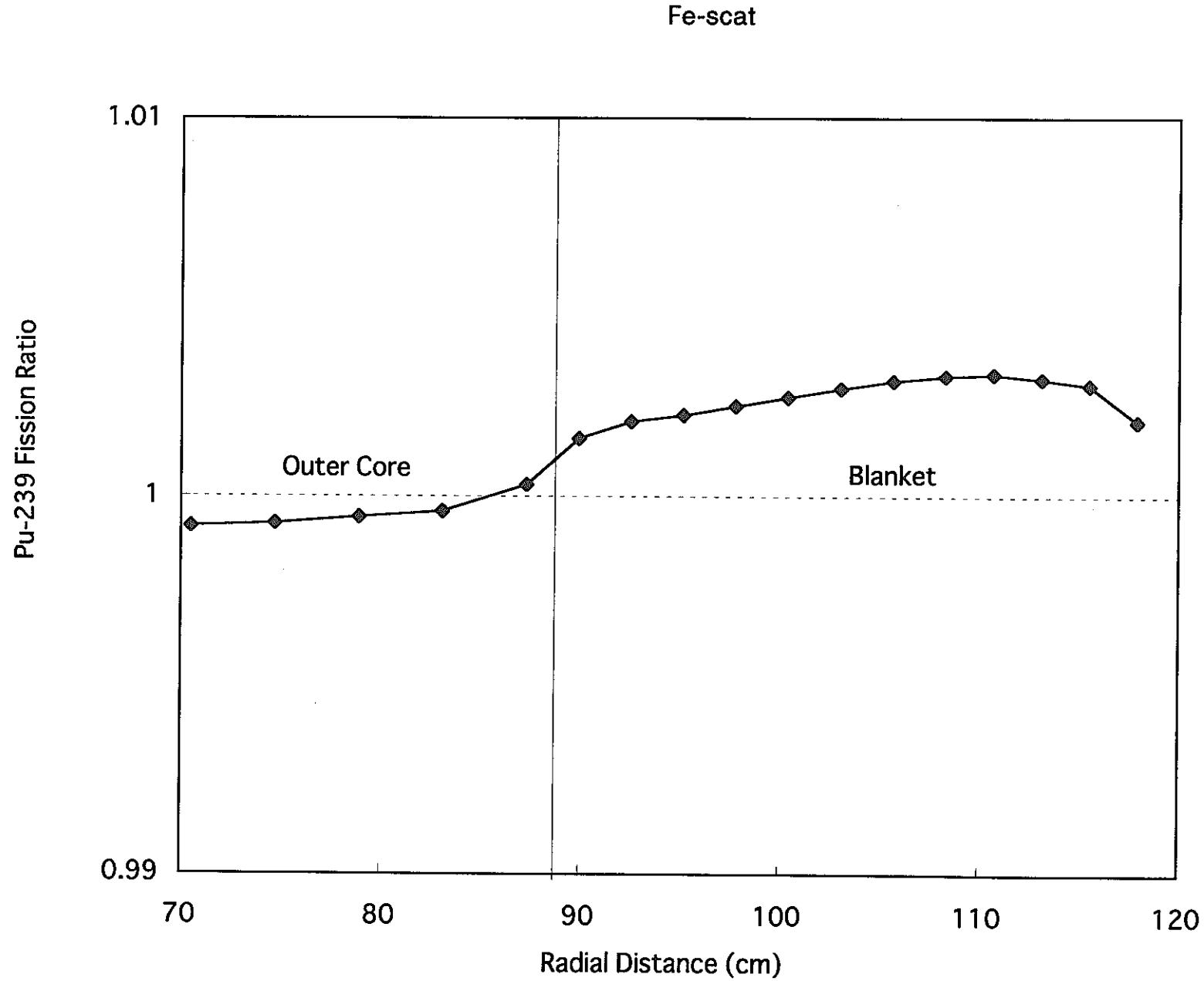


図 3.15 Pu-239 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／方向依存なし、Fe）

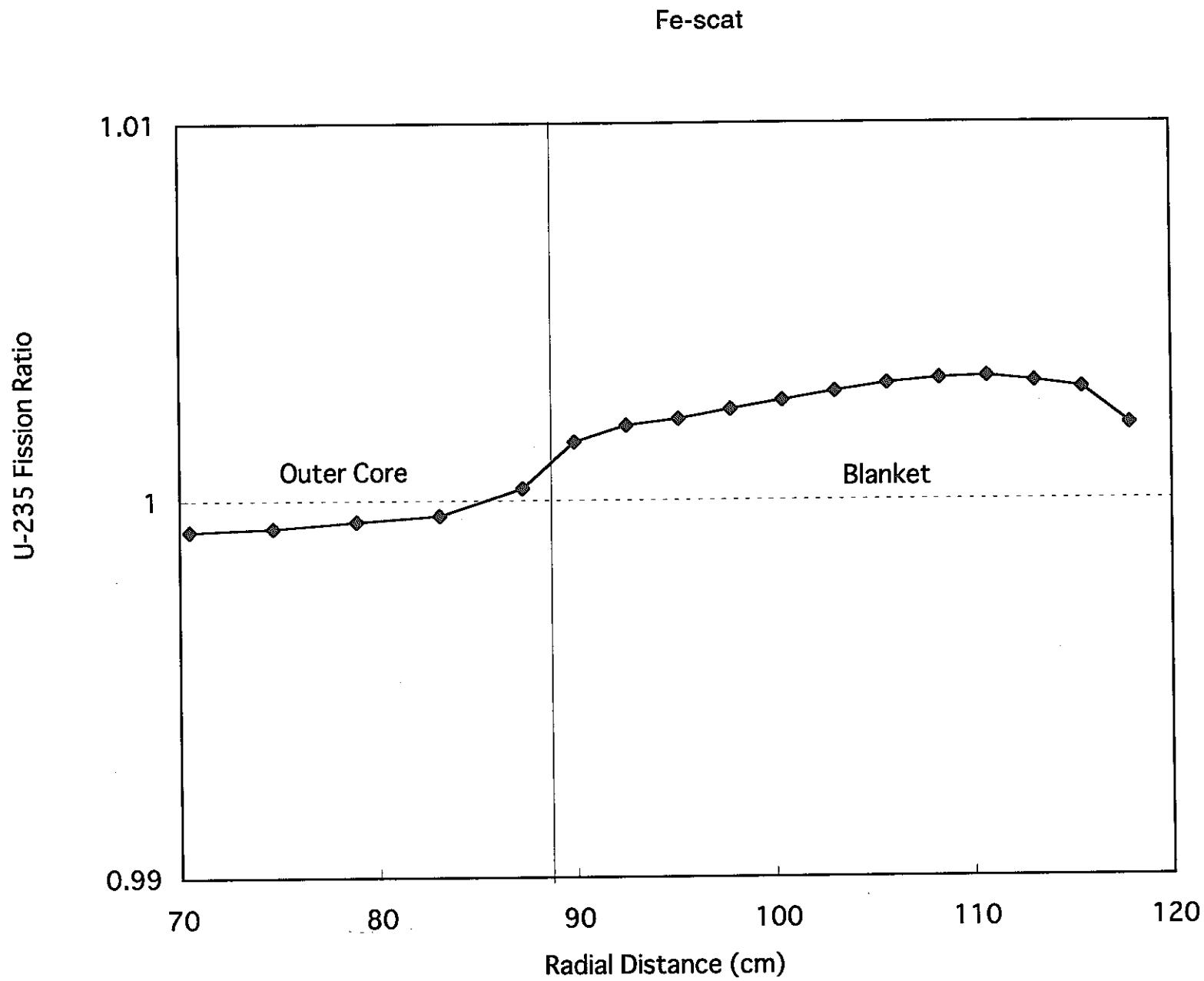


図 3.16 U-235 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／方向依存なし、Fe）

Fe-scat

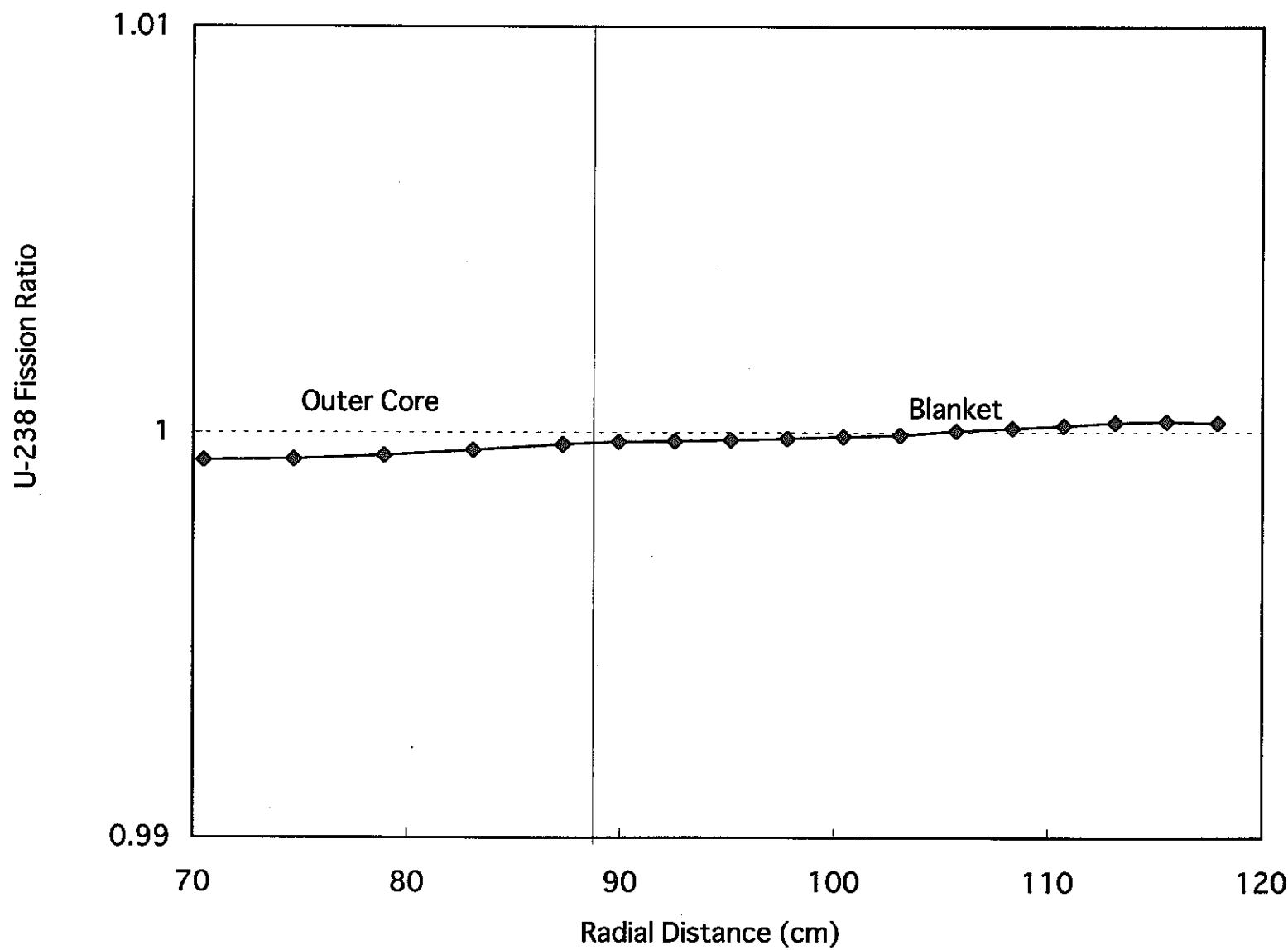


図 3.17 U-238 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／方向依存なし、Fe）

第4章 結論

断面積の詳細エネルギー群構造から直接にバンドパラメータを計算する手法(詳細エネルギー評価法)を用い、バンド間散乱を含めた詳細な中性子バランス式を解く方法を確立した。また、マルチバンド法の効果を方向依存ミクロ断面積の形で従来の Sn 法に組み入れる方法を示した。U-238 や Fe について、詳細エネルギー評価法によってマルチバンドパラメータを作成し、マルチバンド Sn 法により方向依存ミクロ断面積を作成した。いずれの核種、エネルギー群についても、炉心からブランケットに向かう方向(outgoing)へは断面積が小さく、逆の方向(incoming)では断面積が大きくなる傾向が見られ、ブランケット深部での反応率を増加させる方向に補正されることが確認できた。

本手法を「もんじゅ」の反応率分布計算に本手法を適用した結果、ブランケットでの反応率分布の最大増加量は、U-238 cap で 10%、Pu-239 fis で 12%、U-235 fis で 12%、U-238 fis で 1% となった。また、方向依存ミクロ断面積を使用する効果は小さく、ほとんどがミクロ断面積の絶対値が変化する効果であることがわかった。

付録 1 システム全体の計算手順

本システムでのバンドパラメータの作成手順を示す（付録 2 参照）。

(1) バックグラウンド断面積の作成 (RESPLA 改良版)

与えられた数密度を元に、RESPLA により 107 群ベースで実効断面積を計算し、その課程で得られるバックグラウンド断面積を外部ファイル (FT03) に書き出す。また、マルチバンドで扱おうとする核種の寄与を取り除いた（便宜上、その核種のみ数密度をゼロとする）特殊なマクロ断面積を外部ファイル (FT08) に書き出す。また、着目核種の実効ミクロ断面積を外部ファイル(FT95)に書き出す。これらのデータは後ほど TWOTRAN の計算で必要になる。

(2) NJOY によるバンドパラメータ作成 (NJOY 改良版)

バックグラウンド断面積を外部ファイル (FT04) から読み込み、その値に対応する中性子スペクトルを NR 近似、もしくは減速方程式を解いて求める (sub GENFLX)。この重み関数を元にして、バンド毎に実効断面積を求める。既に本文でも述べたように、マルチバンドパラメータ作成は、その積分範囲が異なるだけで NJOY の機能がそのまま使える。1 回の計算ですべてのバンドが求められるよう、新しい変数 ansbnd を固定 dimension で定義し、各 pointwise の所属するバンドを nscore で判断しながら、振り分けを行ないながら総和を求めている。計算結果は、NJOY の実効ミクロ断面積ファイル FT25 に同じフォーマットで出力される。ただし、ひとつの群に 5 バンド分のデータが含まれている。バンド確率の計算については、NJOY の重み関数の積分値（実効ミクロを計算する時の分母に相当）を利用している。すなわち、無限希釈 ($\sigma_0 = \infty$) の時の重み関数の積分値がバンド確率に比例するため、これを 1 に規格化して求めることができる。

バンド間散乱遷移確率は、弾性散乱の計算オプションを立てた時のみこれを計算するようになっており、結果は FT03 に出力される。

この他、使用上留意すべきこととしては、

- 1) 5 バンド、59 群計算に固定されている
- 2) NJOY の群構造と RESPLA の群構造の違いを解消するため、バックグラウンド断面積の並び換えをやっている。これも固定した書き方になっている。
- 3) NJOY では、複数のバックグラウンド断面積を指定し、一回の計算ですべて結果が出てくるが、バンドパラメータ作成の際には、その数を 2 に固定し、最初に無限希釈、次に任意の値を入れて使用すること。2 番目に読んだ値は、FT04 から読み込んだ値に置き換えられる。

(3) マルチバンド Sn 計算 (TWOTRAN 改造版、TWOTRAN6)

新しいバージョンでは、読み込んだバンドパラメータから自動的にバンド数（正確にはバンドの始まり `indexb` と終わり `indexe`）を判定するようにした。バンド数が 1 の時（`indexb= indexe`）には、NJOY で求めた 1 群断面積を使用せず、RESPLA の値を使用する。

バンド間散乱を考慮する、しないによって、outer ルーチンが異なる。

- `outer.noscat.f` 付録 4 の計算を行う
- `outer.noscat2.f` バンド間散乱をすべて自バンド散乱として扱う

テスト計算の結果、`outer.noscat2.f` では中性子バランスがとれず、解が発散した。バンド間散乱の効果は、自バンドのソース以外を足し合わせて、`qcol` に保存する。自バンド散乱は、自群散乱断面積 $c(ih,ic)$ に保存する。この時、自群散乱断面積を修正しないで、自バンドのソースも含めて `qcol` に入れる方法もあり、同じ解が得られるが、収束が非常に遅くなる。バンド間の散乱ソースの収束に要する反復回数は、試行の結果 30 回で十分との結論を得た (`niterb=30`)。

注意事項としては、バンド化対象とした核種の数密度を入力する必要があるので、`bndinp.f` の DATA 文をその都度修正すること。

出力としては、マルチバンド中性子束分布を方向依存の形で FT99 に出力する。バンド数が 1 の群については出力しない。方向依存の半球状中性子は、`sub in` および `out` で毎回計算される。

(4) 方向依存ミクロ断面積の計算 (MBXSEC)

前のステップで計算した方向依存のマルチバンド中性子束分布を読み込み、それを重み関数として方向依存ミクロ断面積を計算する。プログラム中では、`sum1`～`sum6` に必要な情報を保存している。

- `sum1` 左方向の半球状中性子束
- `sum2` 左方向の全ミクロ反応率
- `sum3` 右方向の半球状中性子束
- `sum4` 右方向の全ミクロ反応率
- `sum5` 中性子束（左+右）
- `sum6` 弹性散乱反応率（左+右）

方向依存ミクロ断面積として、以下が出力される。

totlft	左方向の全ミクロ断面積
totrgt	右方向の全ミクロ断面積
totavr	全ミクロ断面積（左+右）
sigcap	弹性散乱断面積（左+右）

均質体系では、上記断面積は NJOY で出力される全ミクロ断面積、弹性散乱断面積と完全に一致するはずである。これをチェックするために 1 領域専用 (mbxsec.one.f)、RESPLA データとのチェック用 (mbxsec.comp.f) プログラムが用意されている。

(5) 方向依存 Sn 計算 (TWOTRAN 改造版、TWOTRANU)

前のステップで計算した方向依存ミクロ断面積を入力として、Sn 計算を行う。方向依存性を扱うオプションにより、以下の 4 種類の outer ルーチンが用意されている。

outer.dir.f	方向依存性ミクロ断面積を直接使用
outer.dir2.f	方向依存／平均（左+右）を factor として保存し、RESPLA の断面積ベースで方向依存性断面積の計算を行う
outer.dir3.f	炉中心 (i=1,j=1)で RESPLA の断面積が再現するように規格化後、方向依存性断面積の計算を行う
outer.dir4.f	dir3 と同様。規格化の方式が若干異なる
outer.nodir.f	平均（左+右）を使用して通常の Sn 計算を行う
outer.homo.f	RESPLA の断面積ベースで通常の Sn 計算を行う

比較すべき組み合わせとしては、以下のようになる。

方向依存	方向依存なし	着眼点
outer.dir.f	outer.nodir.f	方向依存性のみ
outer.dir2-4.f	outer.homo.f	マルチバンド+方向依存性

注意事項としては、バンド化対象とした核種の数密度を入力する必要があるので、bndinp.f の DATA 文をその都度修正すること。

付録 2 マルチバンド Sn 法解析システムの入出力ファイル一覧

RESPLA (基本核定数およびバックグラウンド断面積作成)

FT01	(入力)	SRAC 断面積ライブラリー (高速群)
FT02	(入力)	SRAC 断面積ライブラリー (熱群)
FT05	(入力)	RESPLA 入力データ
FT06	(出力)	RESPLA プリント出力
FT08	(出力)	着目核種を取り除いたマクロ断面積
FT09	(出力)	バックグラウンド断面積
FT95	(出力)	着目核種のミクロ断面積
FT96	(出力)	フィッティング法による 3 バンドパラメータ
FT99	(出力)	中性子スペクトル

NJOY (詳細エネルギー評価法によるバンドパラメータ作成)

FT03	(出力)	バンド間散乱遷移確率
FT04	(入力)	バックグラウンド断面積 (=RESPLA FT09)
FT20	(入力)	ENDF/VI フォーマットファイル
FT25	(出力)	バンド化された実効ミクロ断面積

TWOTRAN (マルチバンド Sn 計算)

FT05	(入力)	TWOTRAN 入力データ
FT06	(出力)	TWOTRAN プリント出力
FT08	(入力)	着目核種を取り除いたマクロ断面積 (=RESPLA FT08)
FT71-	(入力)	バンド間散乱遷移確率 (=NJOY FT03)
FT81-	(入力)	着目核種のミクロ断面積 (=RESPLA FT95)
FT91-	(入力)	バンドパラメータ (=NJOY FT25)
FT99	(出力)	方向依存のバンド中性子束 (メッシュ毎)

(注意) FT71,FT81,FT91 などは、各領域ごとに独立したファイルから入力する。例えば、領域 1、2、3 のデータは FT71,FT72,FT73 から入力する。

MBXSEC (方向別断面積作成)

FT18	(出力)	方向別ミクロ断面積 (メッシュ毎)
FT19	(出力)	FT18 の 1-D トラバース用サマリー
FT71-	(入力)	バンド間散乱遷移確率 (=NJOY FT03)
FT81-	(入力)	着目核種のミクロ断面積 (=RESPLA FT95)

FT91-	(入力)	バンドパラメータ (=NJOY FT25)
FT98	(出力)	FT99 の 1-D トラバース用サマリー
FT99	(入力)	方向依存のバンド中性子束 (メッシュ毎) (=TWOTRAN FT99)

TWOTRANT (方向別断面積を用いた Sn 計算)

FT05	(入力)	TWOTRAN 入力データ
FT06	(出力)	TWOTRAN プリント出力
FT08	(入力)	着目核種を取り除いたマクロ断面積 (=RESPLA FT08)
FT50	(出力)	中性子束 (メッシュ毎)
FT95	(入力)	方向別ミクロ断面積 (=MBXSEC FT18)

付録3 NJOY コードの改修箇所の説明

ただし、2列目の数字は NJOY オリジナルの行番号であり、その直後に改修を行ったことを示す（右端に groupr.xxxx の形でナンバーリングされている）。

- sub PANEL 2622- 全断面積によるバンド境界の定義（5行の if 文）
2633- バンド毎の反応率、重み関数を保存する変数 ansbnd
のゼロセット
2646- 反応率をバンド毎に集計、バンド間散乱遷移確率の集計
2692- 重み関数をバンド毎に集計
- sub GROUPR 522- ansbnd、sctbnd をゼロセット
530- バンド散乱断面積を FT03 に書き出し +
バンド毎の実効ミクロ断面積を FT25 に書き出し
- sub GENFLX 2115- バックグラウンド断面積を FT04 より読み込み
2180- 変数 SIGZ に読み込んだバックグラウンド断面積を代入
2344- " "

付録 4 バンド間散乱の効果

本手法の大きな特長の一つは、バンド間散乱の効果を厳密に扱うことができるることであるが、従来のマルチバンド法と同様にバンド間散乱を無視した場合についても計算を行ない、結果を比較した。

バンド間散乱としては、散乱後はバンド確率に従って各バンドに均等に振り分けられるものとした。即ち、バンド間遷移確率を以下の式で近似した。

$$P(B \rightarrow B') = P_{B'} \times \{1 - P(g \rightarrow g+1)\} \quad (A.1)$$

これは、共鳴幅が十分に小さく、また共鳴と共鳴が重なって存在する高いエネルギーでは妥当な近似であると言える。

図 A.1-A.8 に U-238 および Fe の代表的なエネルギー群における、バンド毎のバンド中性子束分布を、図 A.9-A.12 に方向依存ミクロ断面積の分布を示す。特に Fe の 25 群では、バンド間散乱を取り入れることによって、共鳴ピークで散乱した中性子がウインドウ部に落ち込み、outgoing 方向のミクロ断面積が小さくなる効果が十分に取り扱えていないことがわかる（図 A.8）。

図 A.13-A.20 に U-238 および Fe のミクロ断面積を方向依存とした場合と通常の Sn 法を用いた場合の反応率分布の相対差を示す。反応率分布は炉中心で 1 に規格化した。また、バンド間散乱を取り入れない場合、プランケット均質体系での実効ミクロ断面積を再現しない。よって、中性子漏洩がない体系で元の実効ミクロ断面積 (σ_{hom}) が再現されるようにミクロ断面積を修正した。

$$\sigma_x^+ = 2 \sigma_{x,\text{nos}}^+ / (\sigma_{x,\text{nos}}^+ + \sigma_{x,\text{nos}}^-) \times \sigma_{\text{hom}} \quad (A.2a)$$

$$\sigma_x^- = 2 \sigma_{x,\text{nos}}^- / (\sigma_{x,\text{nos}}^+ + \sigma_{x,\text{nos}}^-) \times \sigma_{\text{hom}} \quad (A.2b)$$

このような規格化を行うことにより、バンド間散乱を取り入れない場合でも反応率の改善効果が見られた。ただし、その改善の幅はやや小さくなつた。

U-238-nos, 30th group

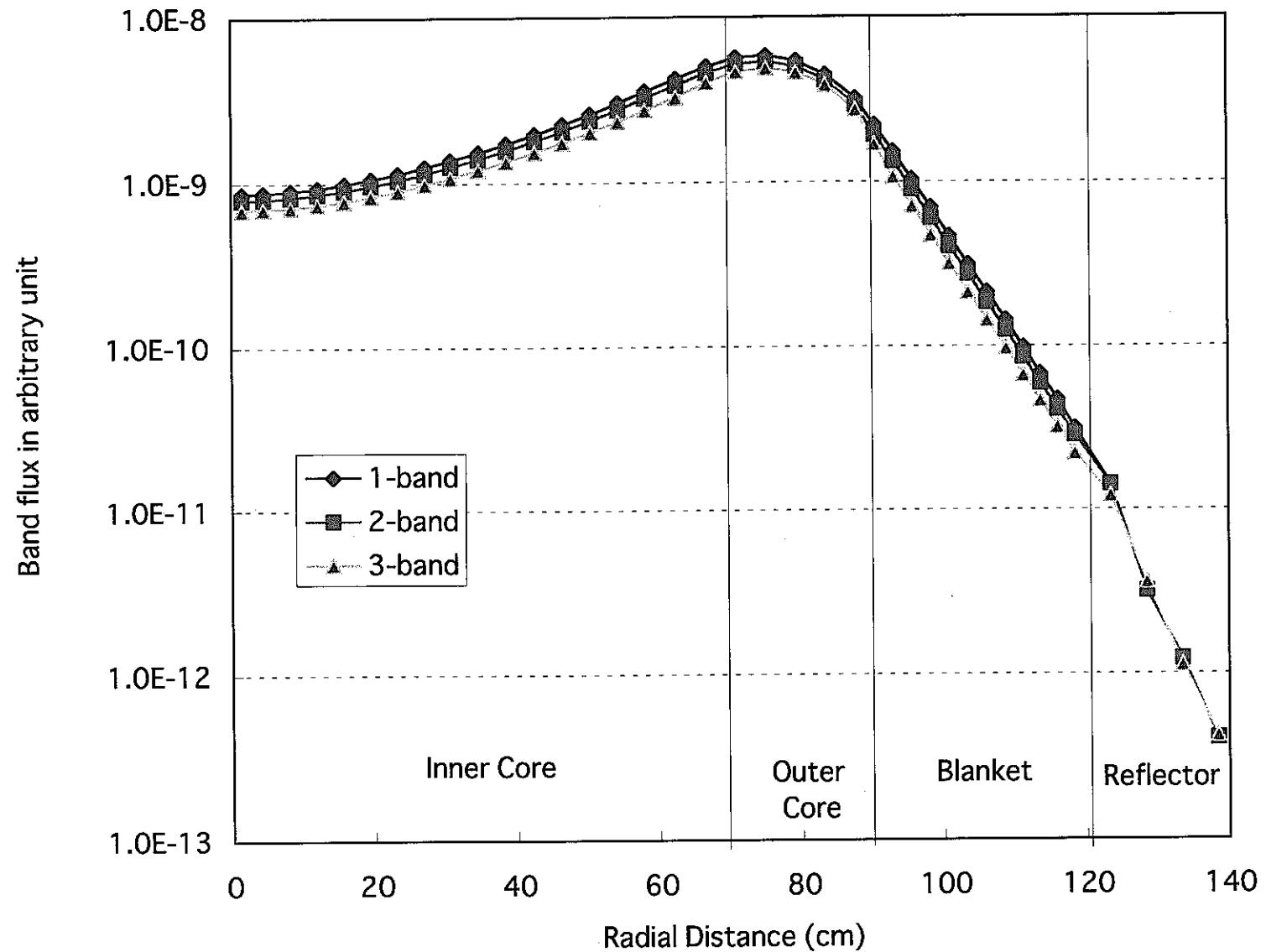


図 A.1 U-238 のバンド別中性子束分布 (30 群、incoming 方向、バンド間散乱なし)

U-238-nos, 30th group

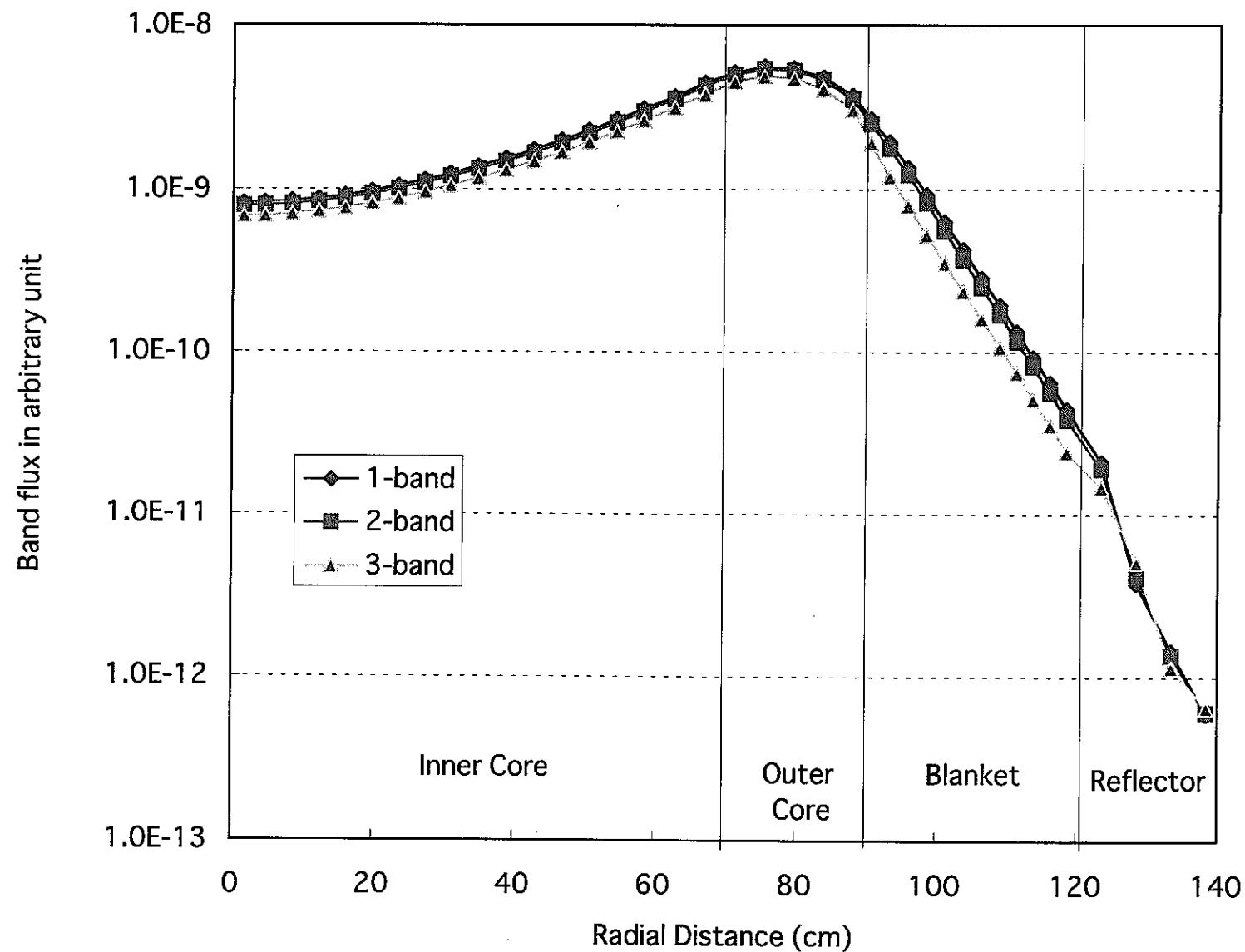


図 A.2 U-238 のバンド別中性子束分布 (30 群、outgoing 方向、バンド間散乱なし)

U-238-nos, 46th group

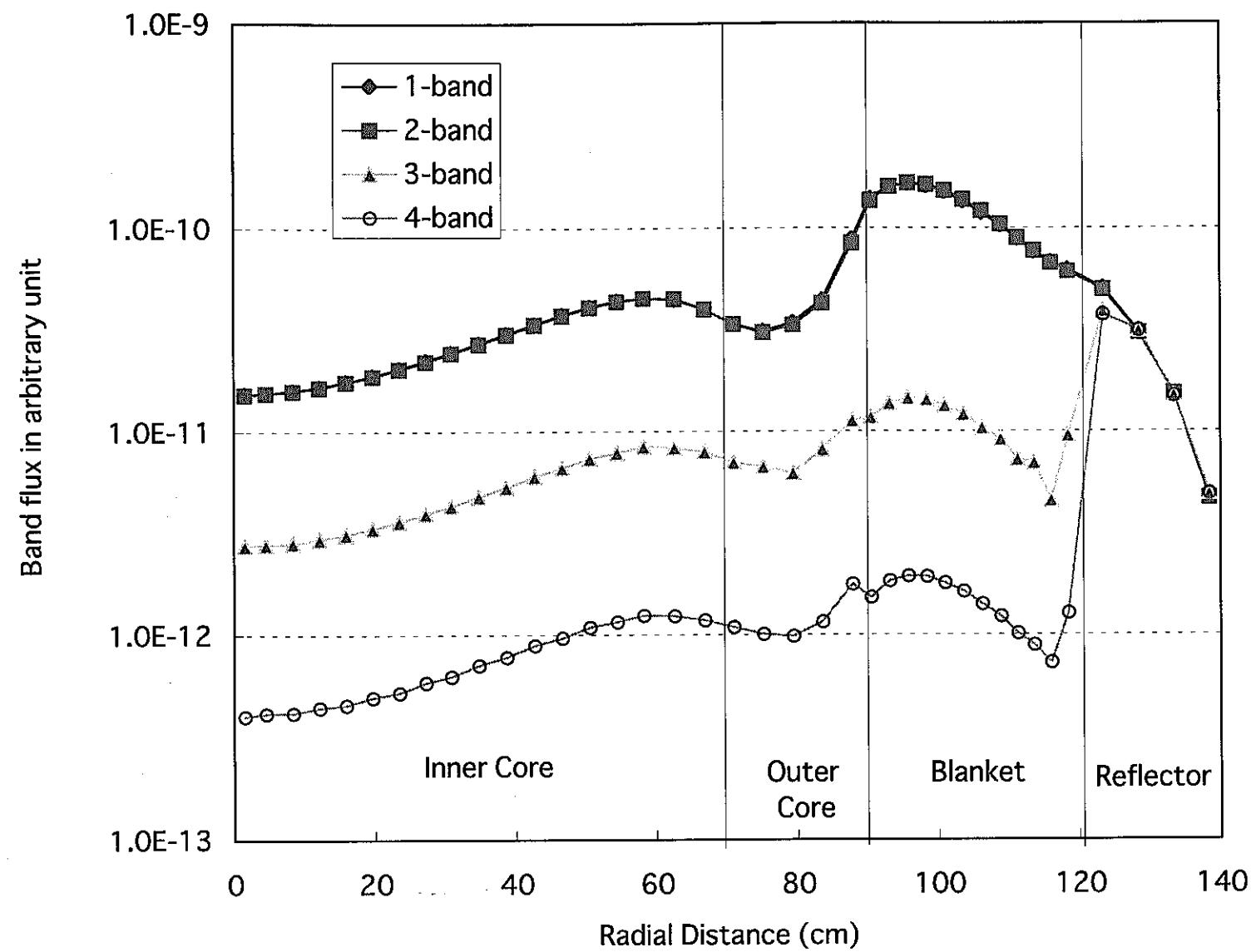


図 A.3 U-238 のバンド別中性子束分布 (46 群、incoming 方向、バンド間散乱なし)

U-238-nos, 46th group

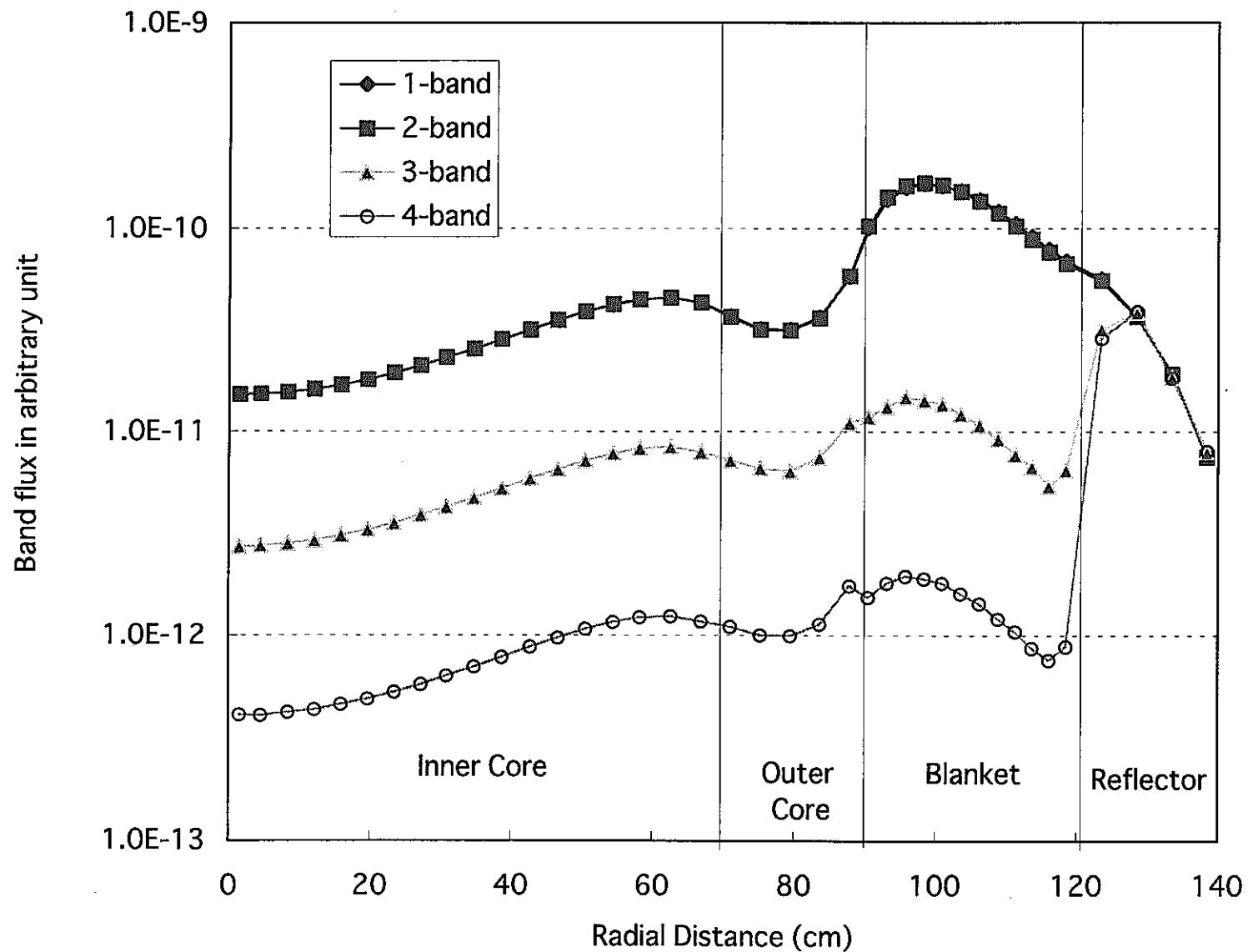


図 A.4 U-238 のバンド別中性子束分布 (46 群、outgoing 方向、バンド間散乱なし)

Fe-nos, 15th group

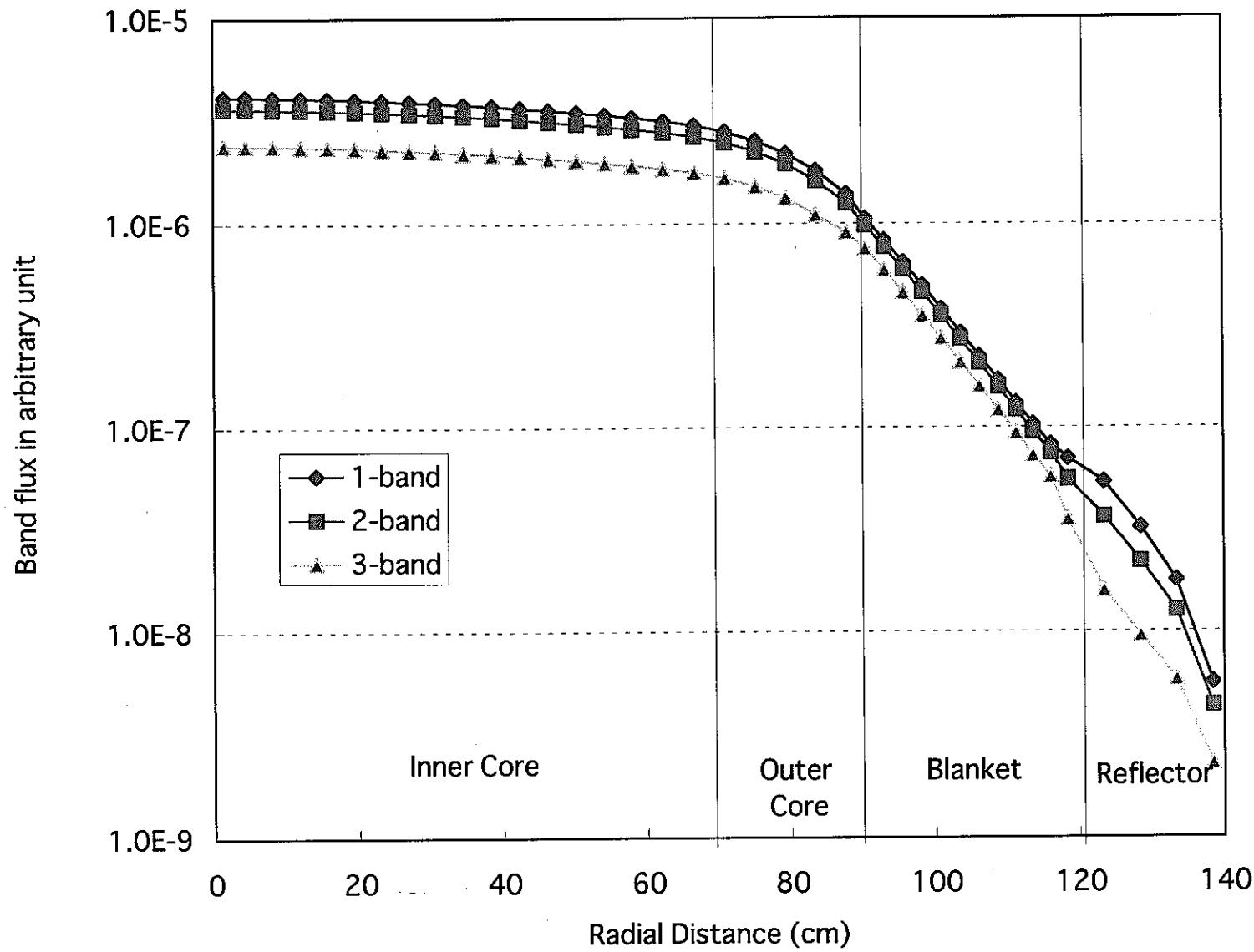


図 A.5 Fe のバンド別中性子束分布 (15 群、incoming 方向、バンド間散乱なし)

Fe-nos, 15th group

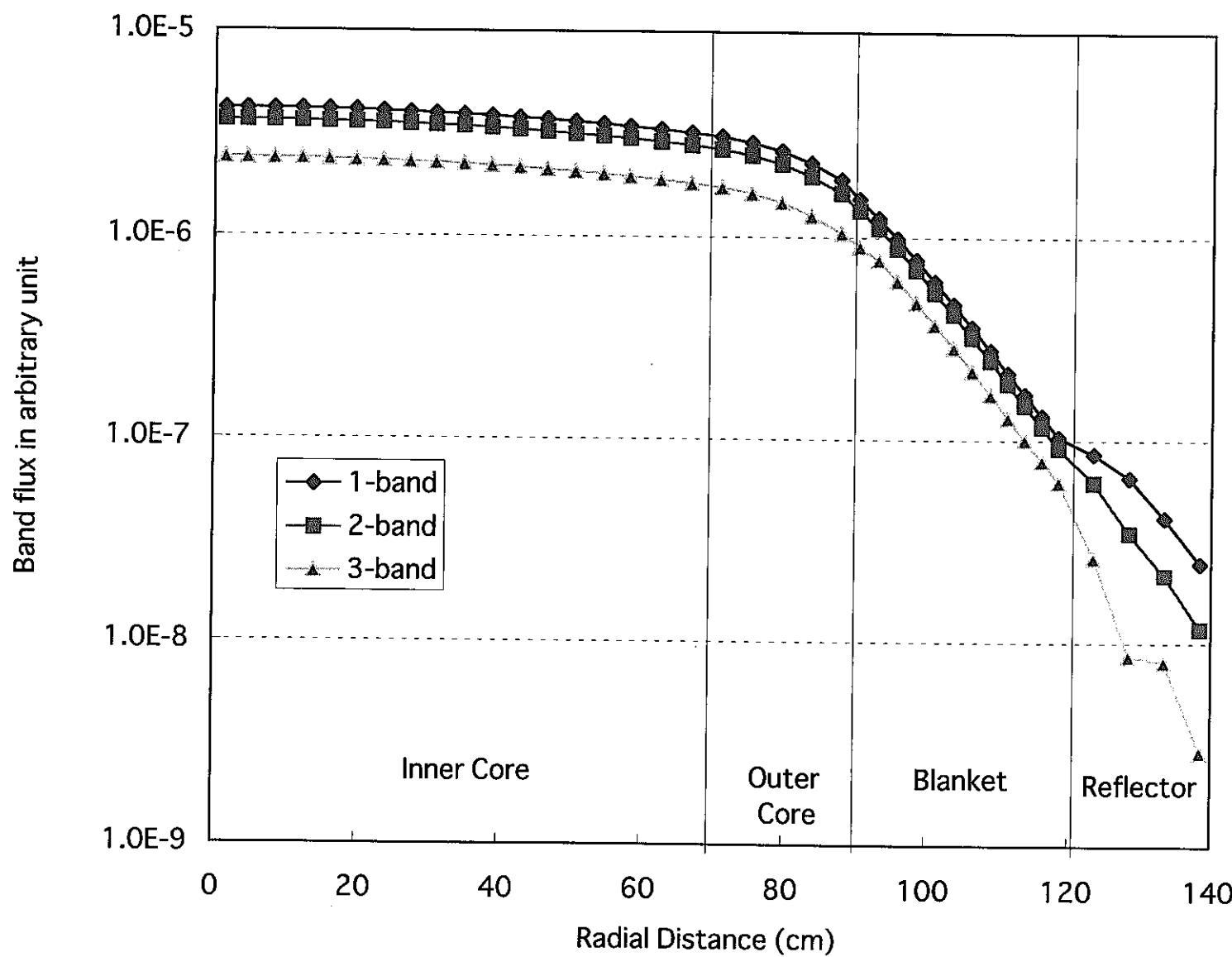


図 A.6 Fe のバンド別中性子束分布 (15 群、outgoing 方向、バンド間散乱なし)

Fe-nos, 25th group

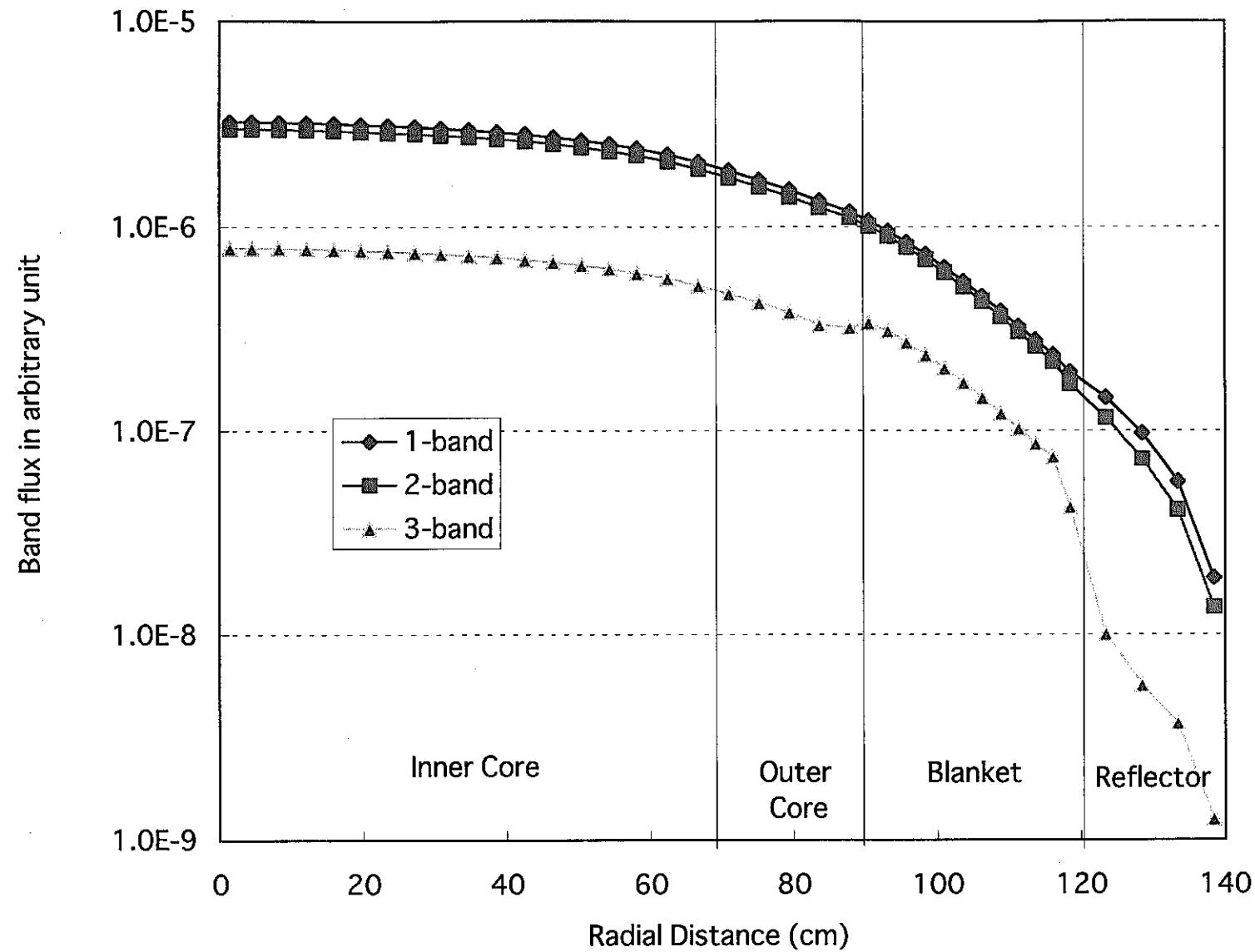


図 A.7 Fe のバンド別中性子束分布 (25 群、incoming 方向、バンド間散乱なし)

Fe-nos, 25th group

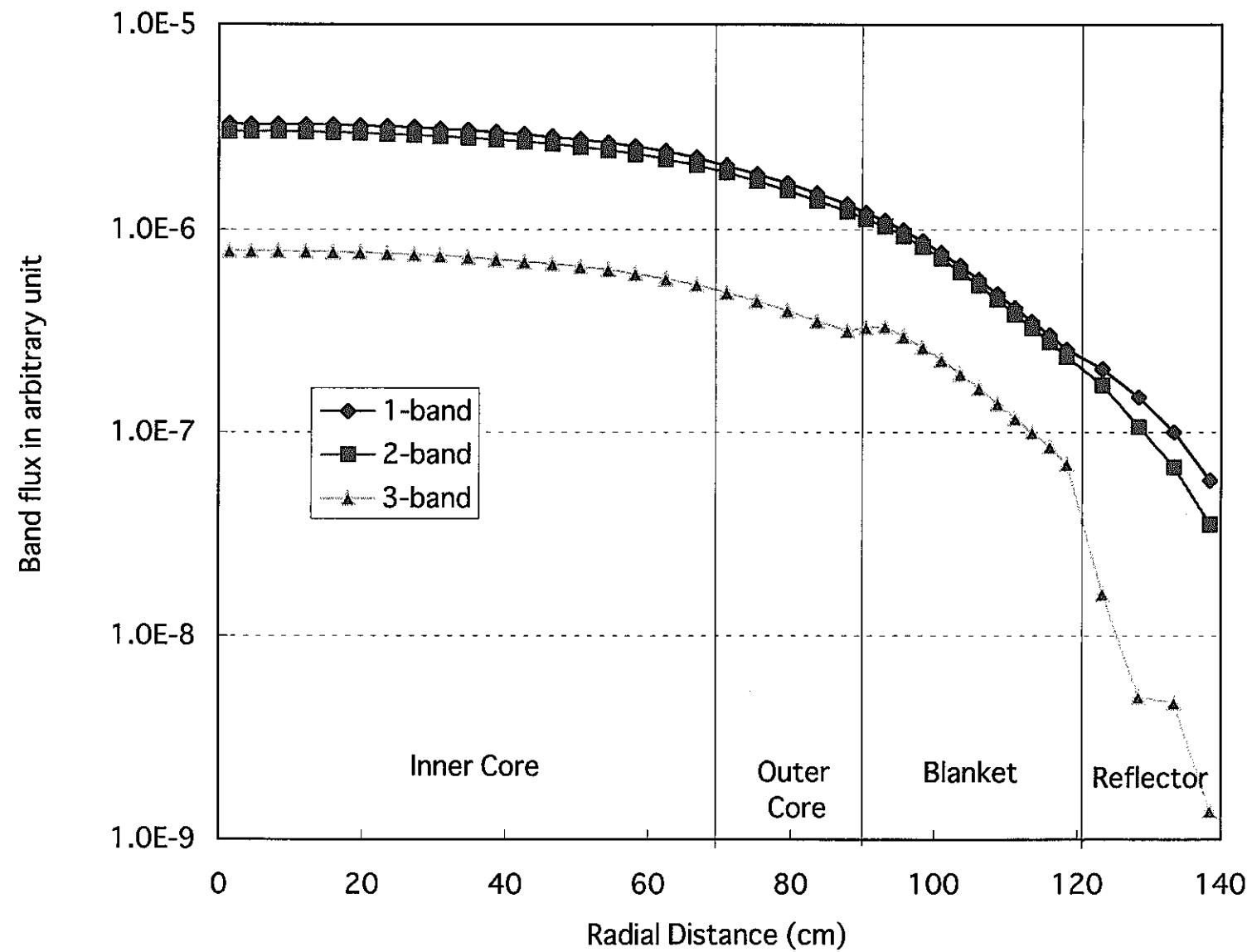


図 A.8 Fe のバンド別中性子束分布 (25 群、outgoing 方向、バンド間散乱なし)

U-238-nos, 30th group

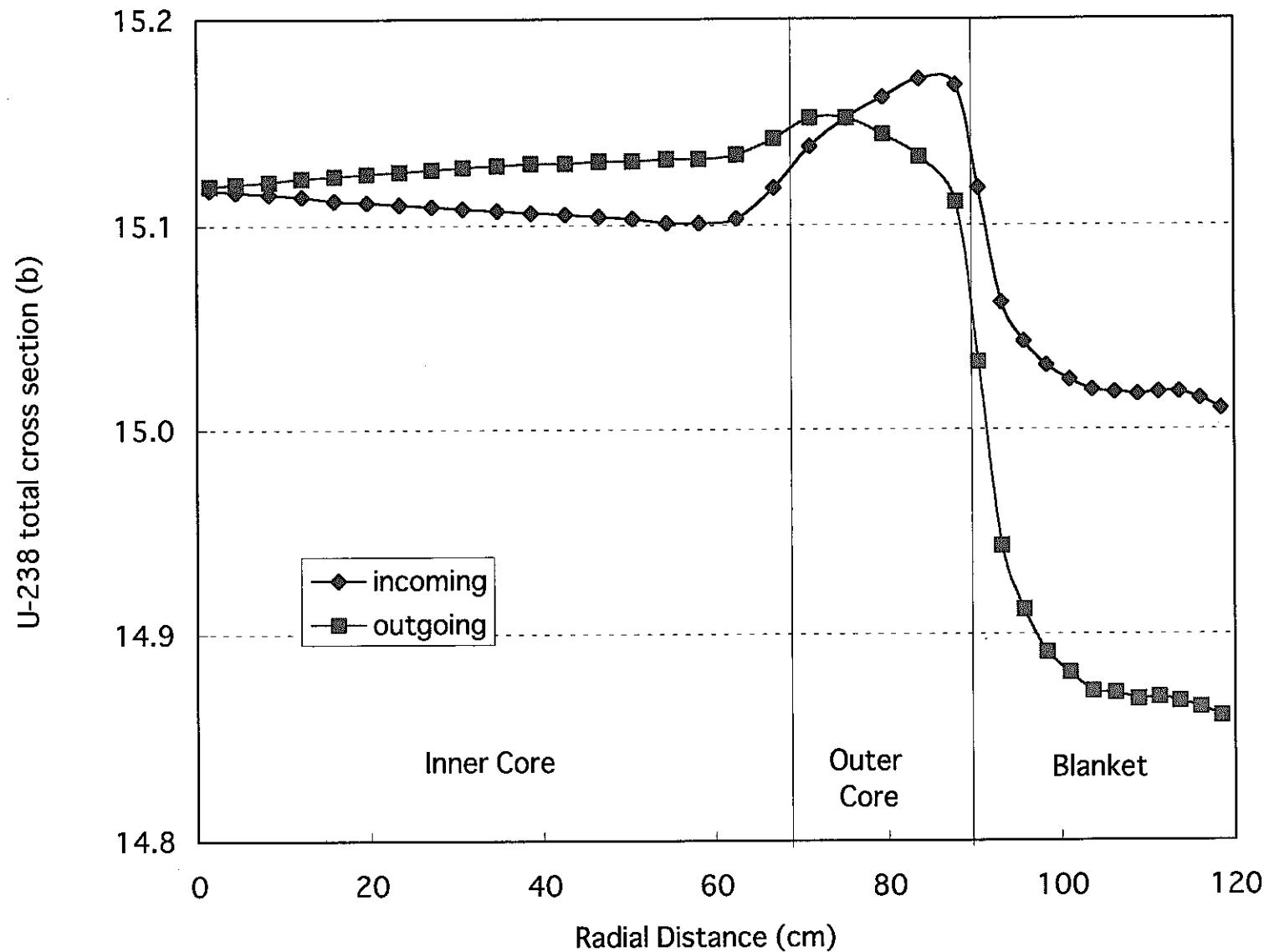


図 A.9 方向別 U-238 全断面積（30 群、バンド間散乱なし）

U-238-nos, 46th group

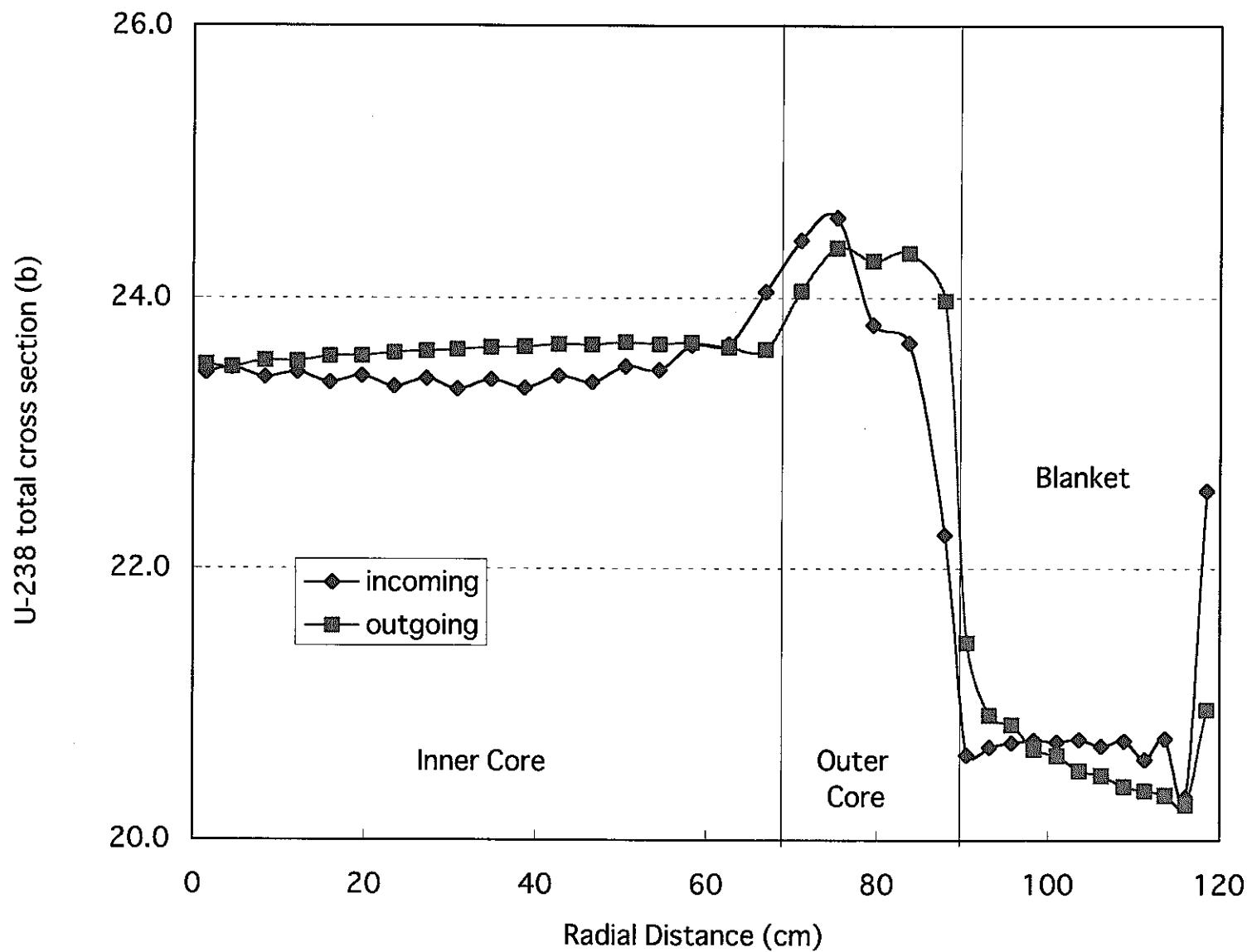


図 A.10 方向別 U-238 全断面積 (46 群、バンド間散乱なし)

Fe-nos, 15th group

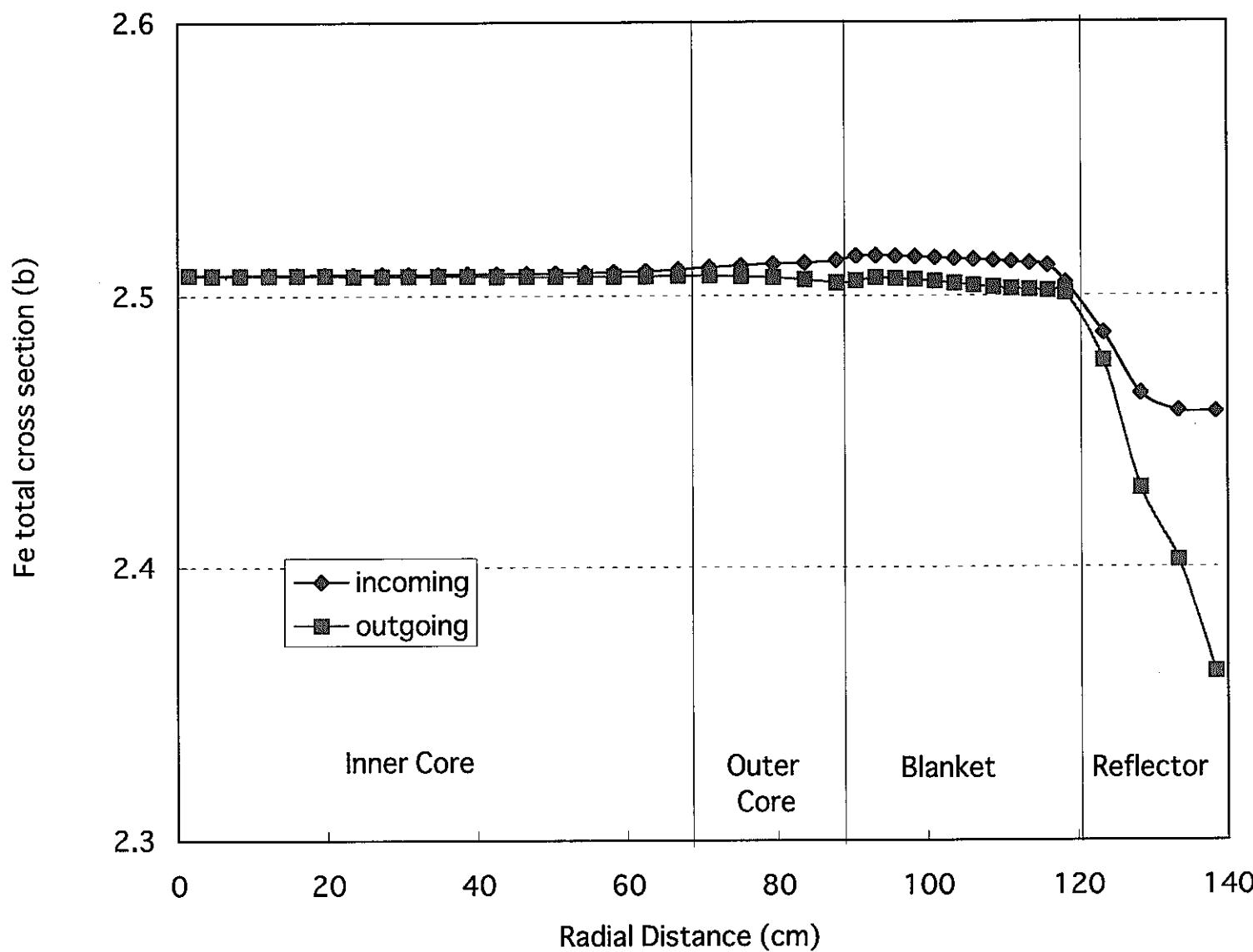


図 A.11 方向別 Fe 全断面積 (15 群、バンド間散乱なし)

Fe-nos, 25th group

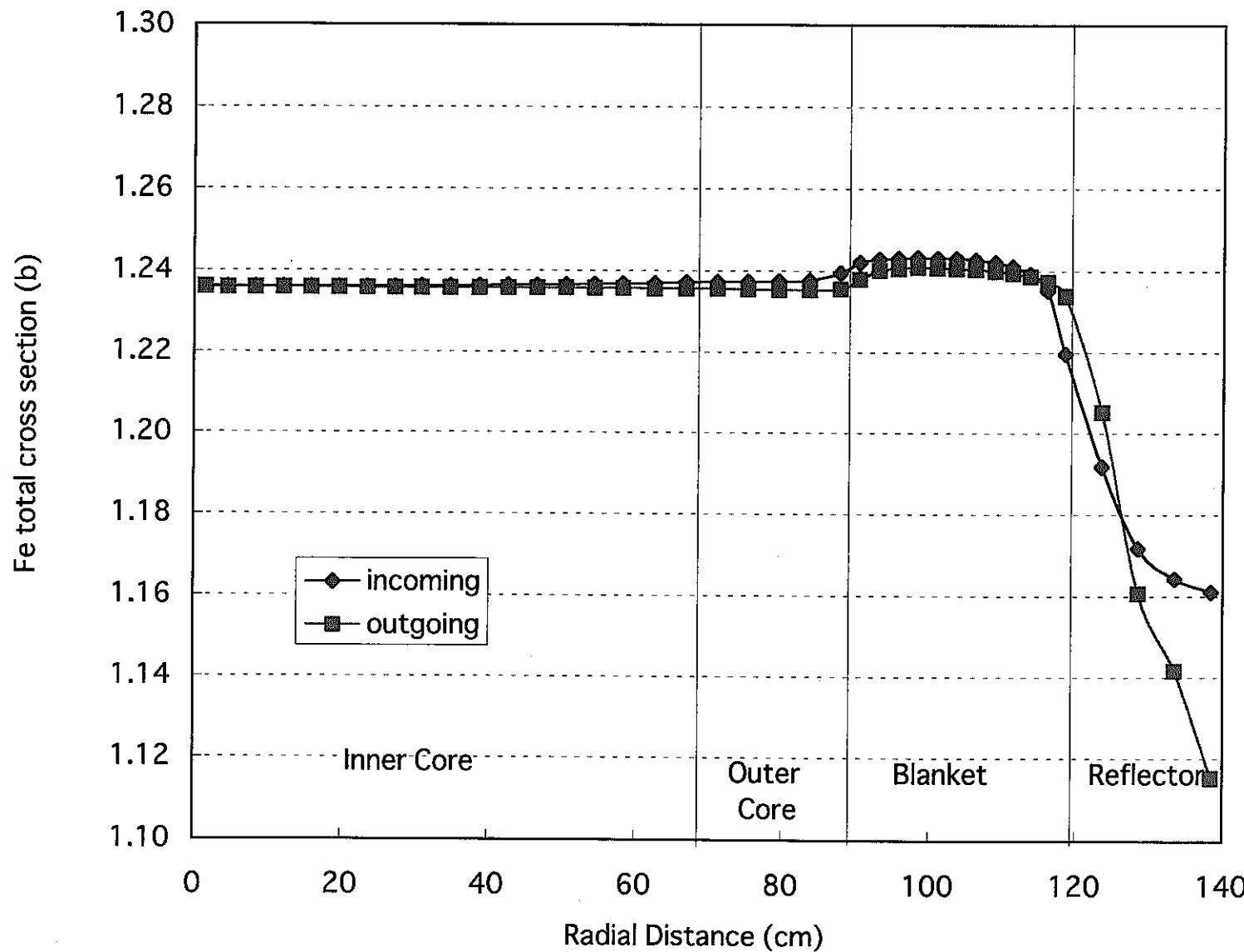
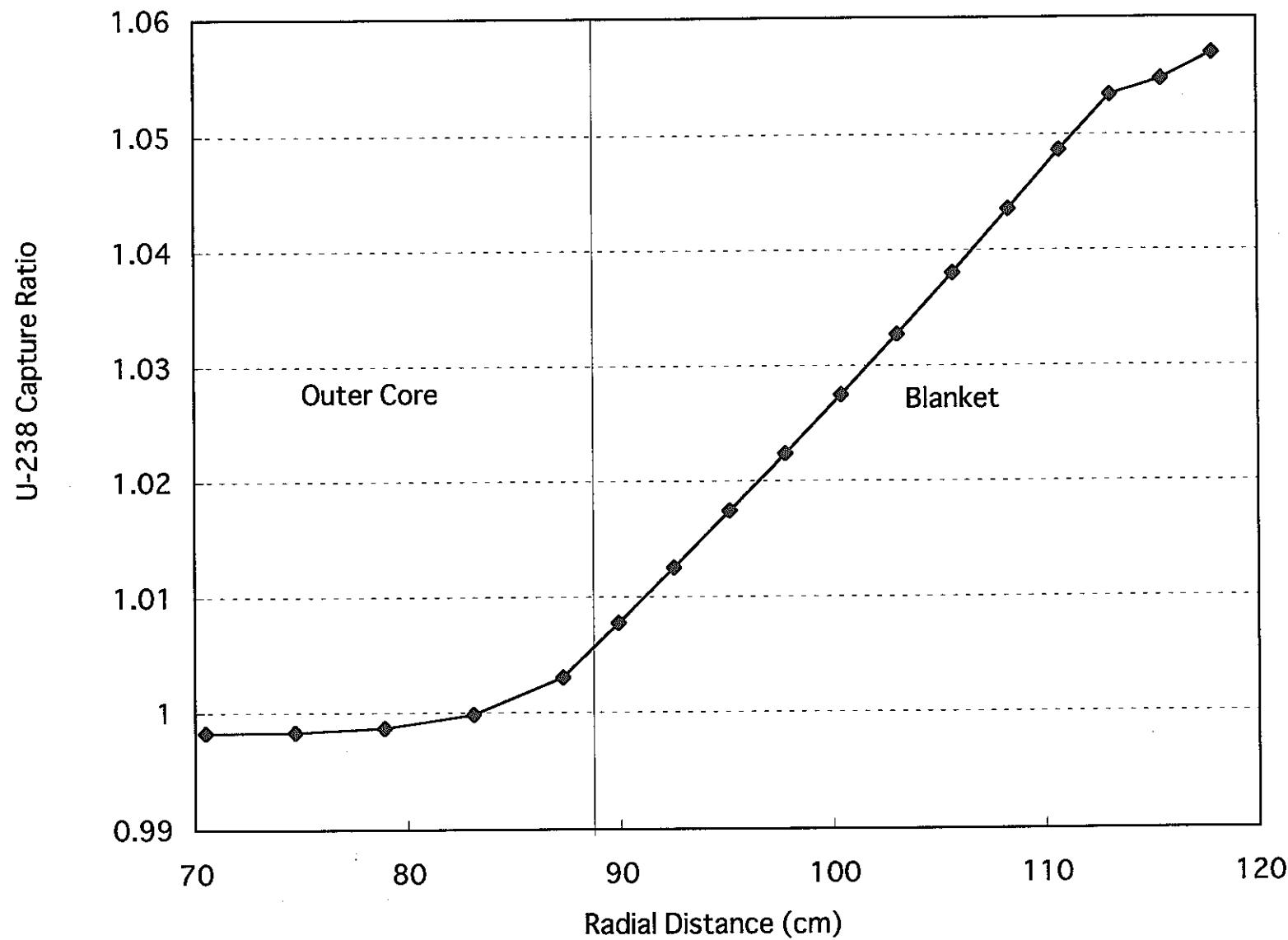


図 A.12 方向別 Fe 全断面積（25 群、バンド間散乱なし）



図A.13 U-238 (n,g) の反応率分布相対比（方向依存／通常手法、U-238、バンド間散乱なし）

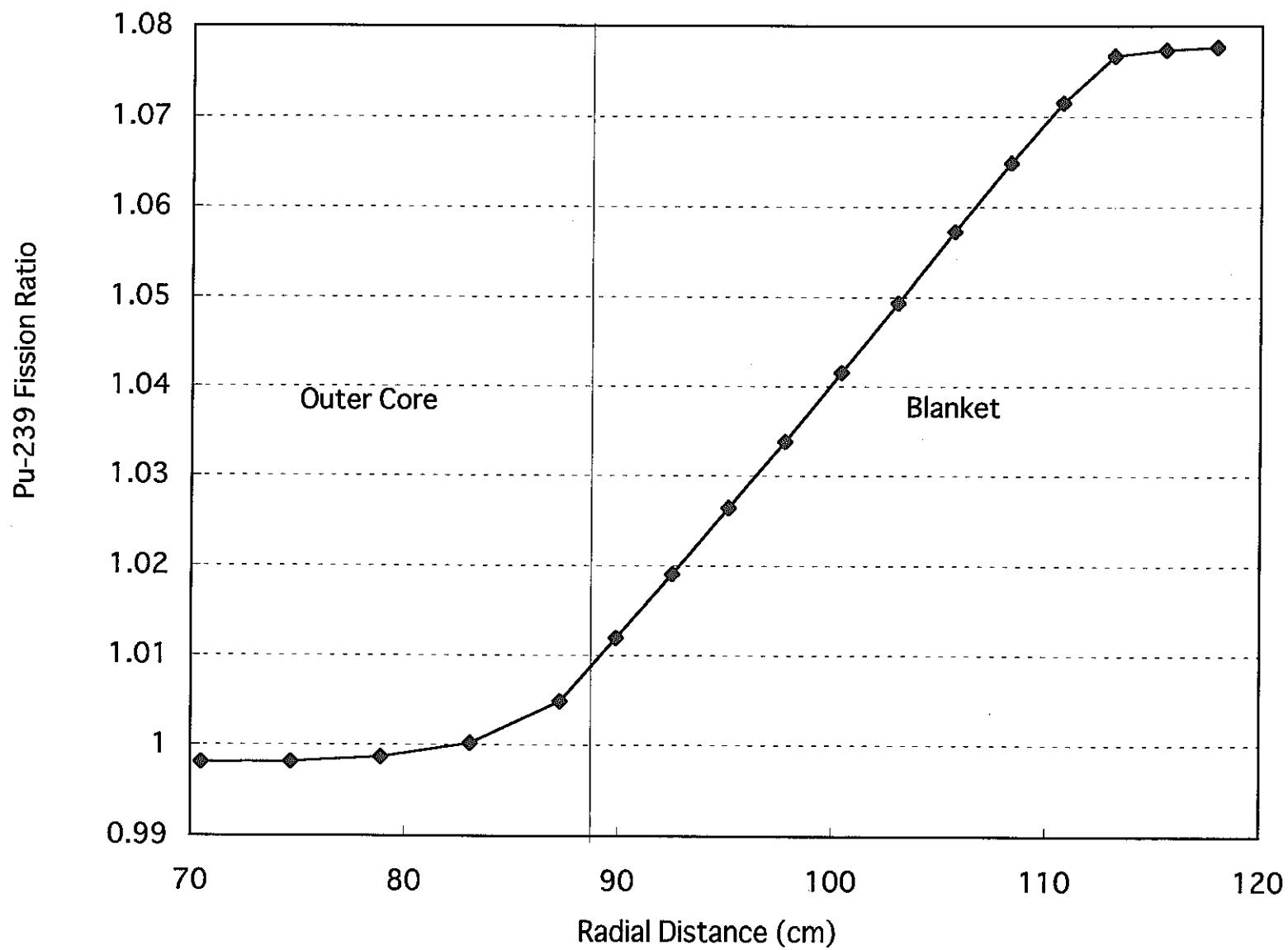


図 A.14 Pu-239 (n,f) の反応率分布相対比 (方向依存／通常手法、U-238、バンド間散乱なし)

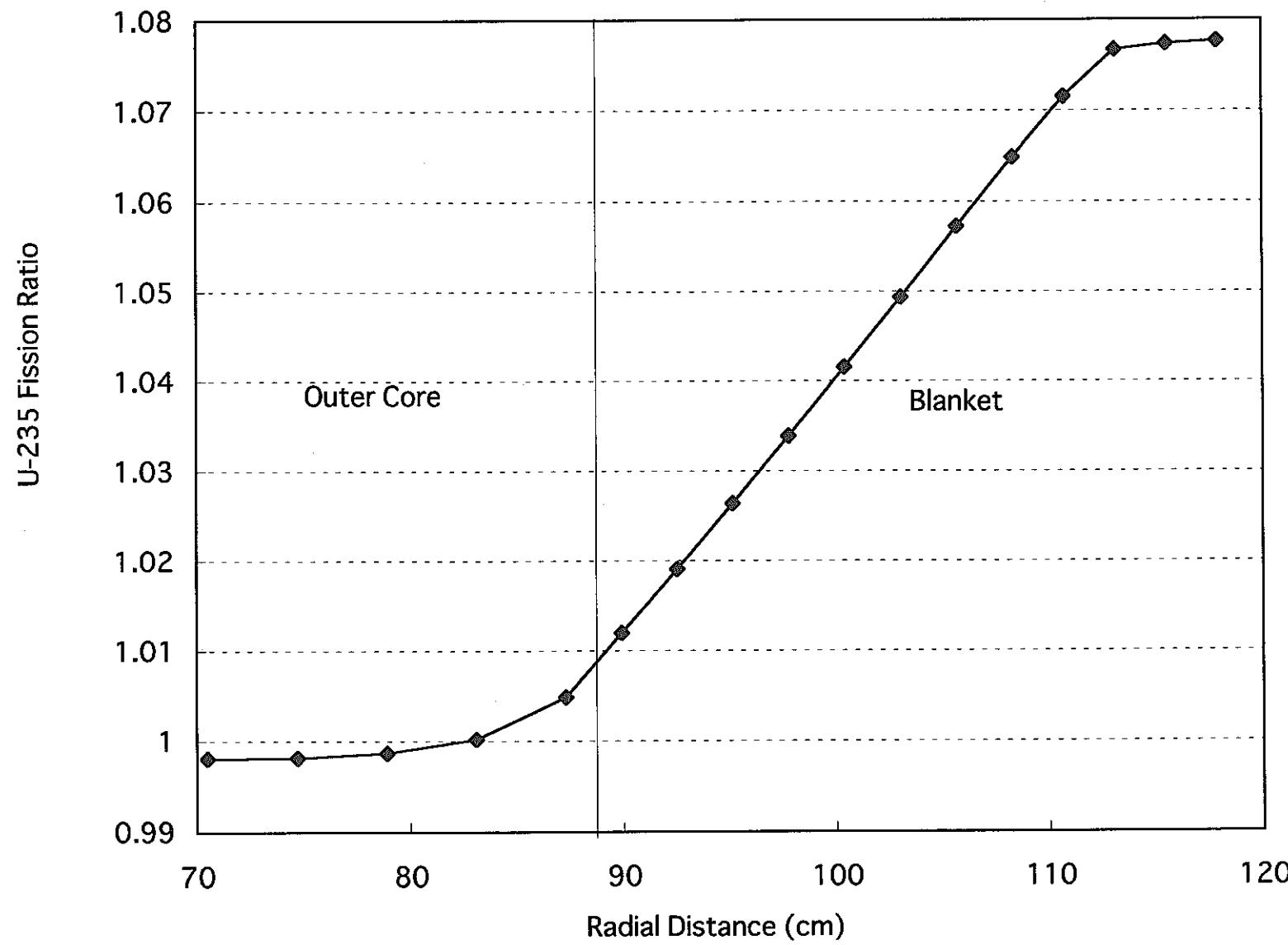


図 A.15 U-235 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／通常手法、U-238、バンド間散乱なし）

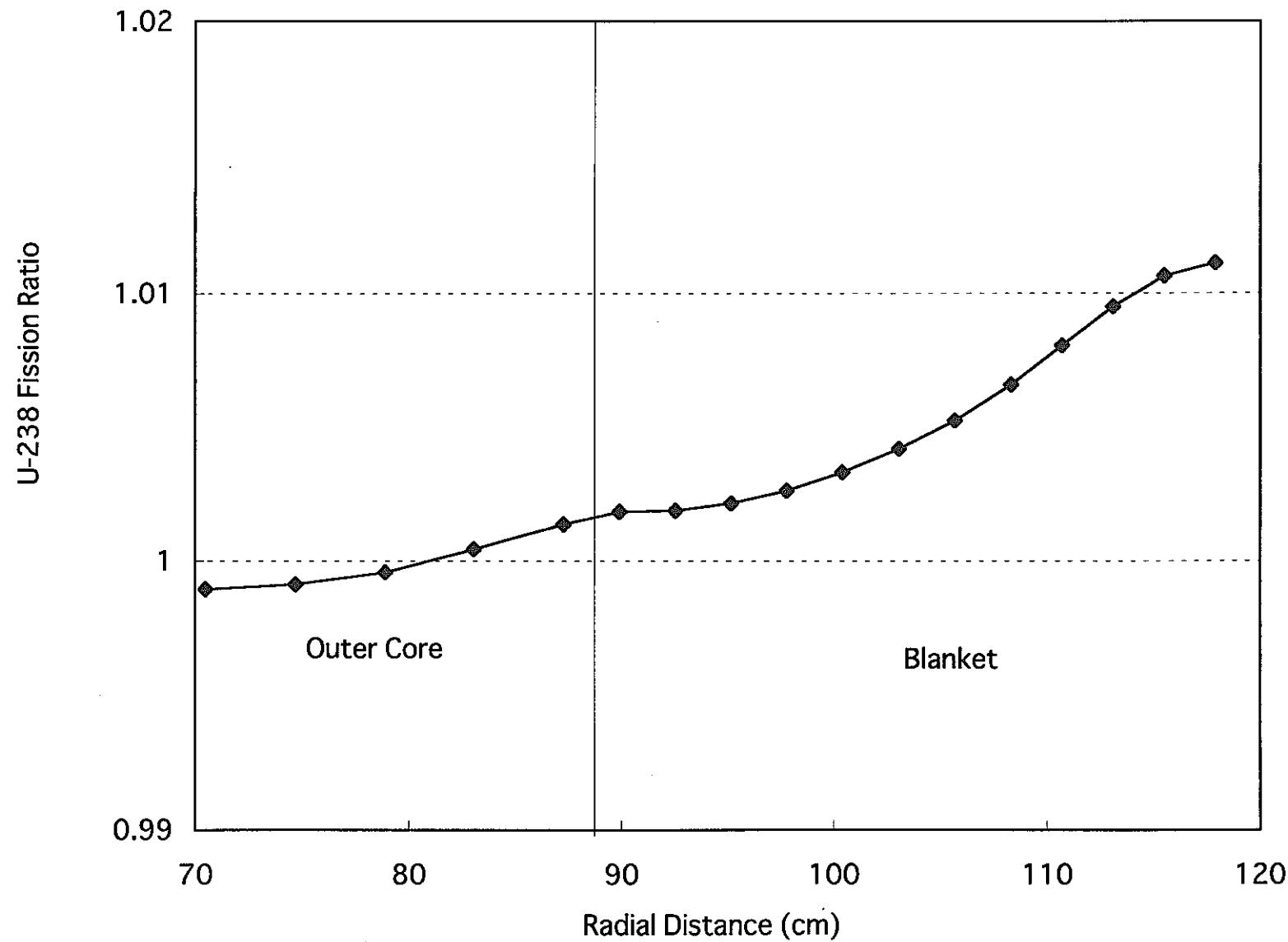


図 A.16 U-238 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／通常手法、U-238、バンド間散乱なし）

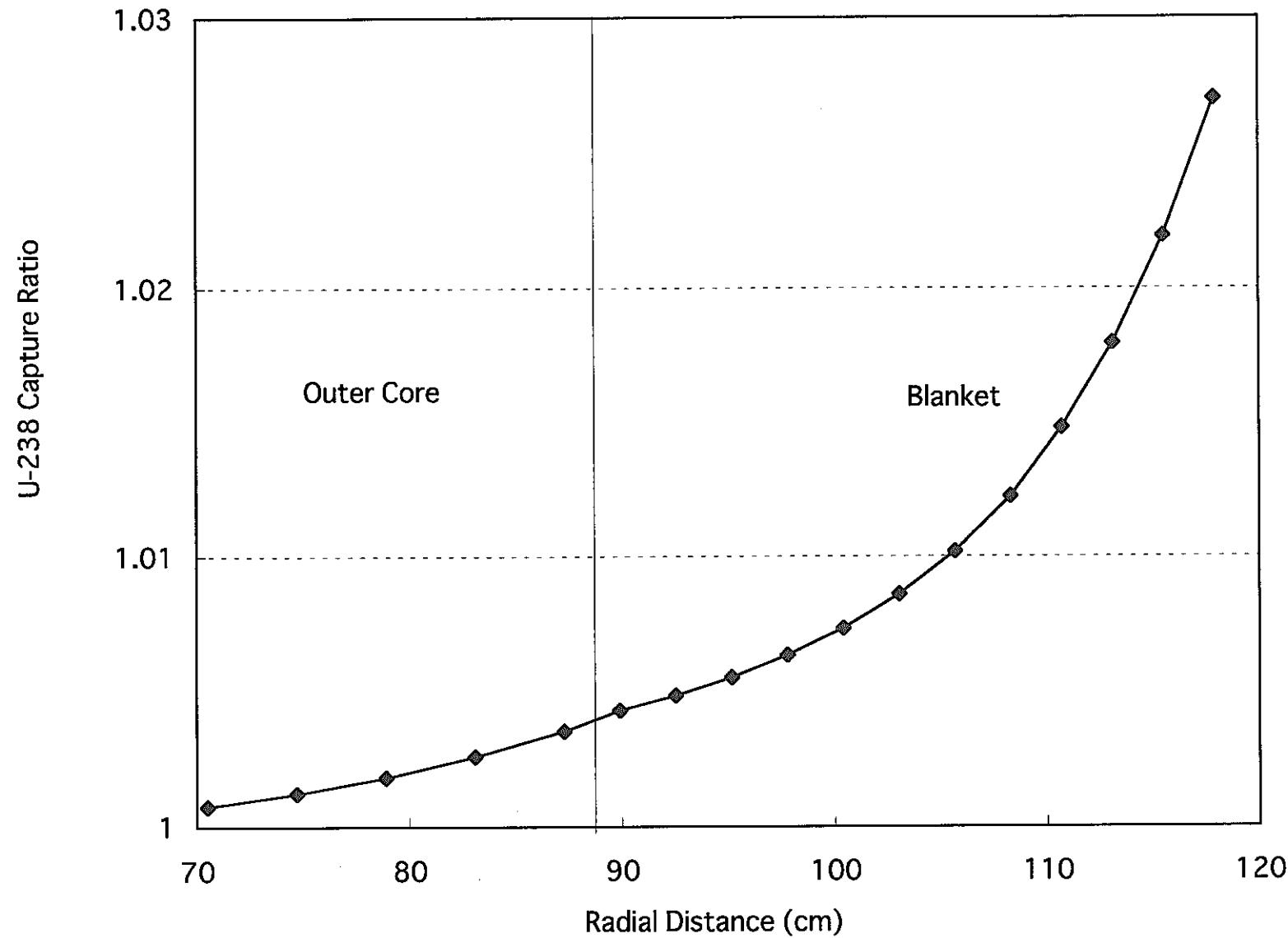


図 A.17 U-238 (n,g) の反応率分布相対比 (方向依存／通常手法、Fe、バンド間散乱なし)

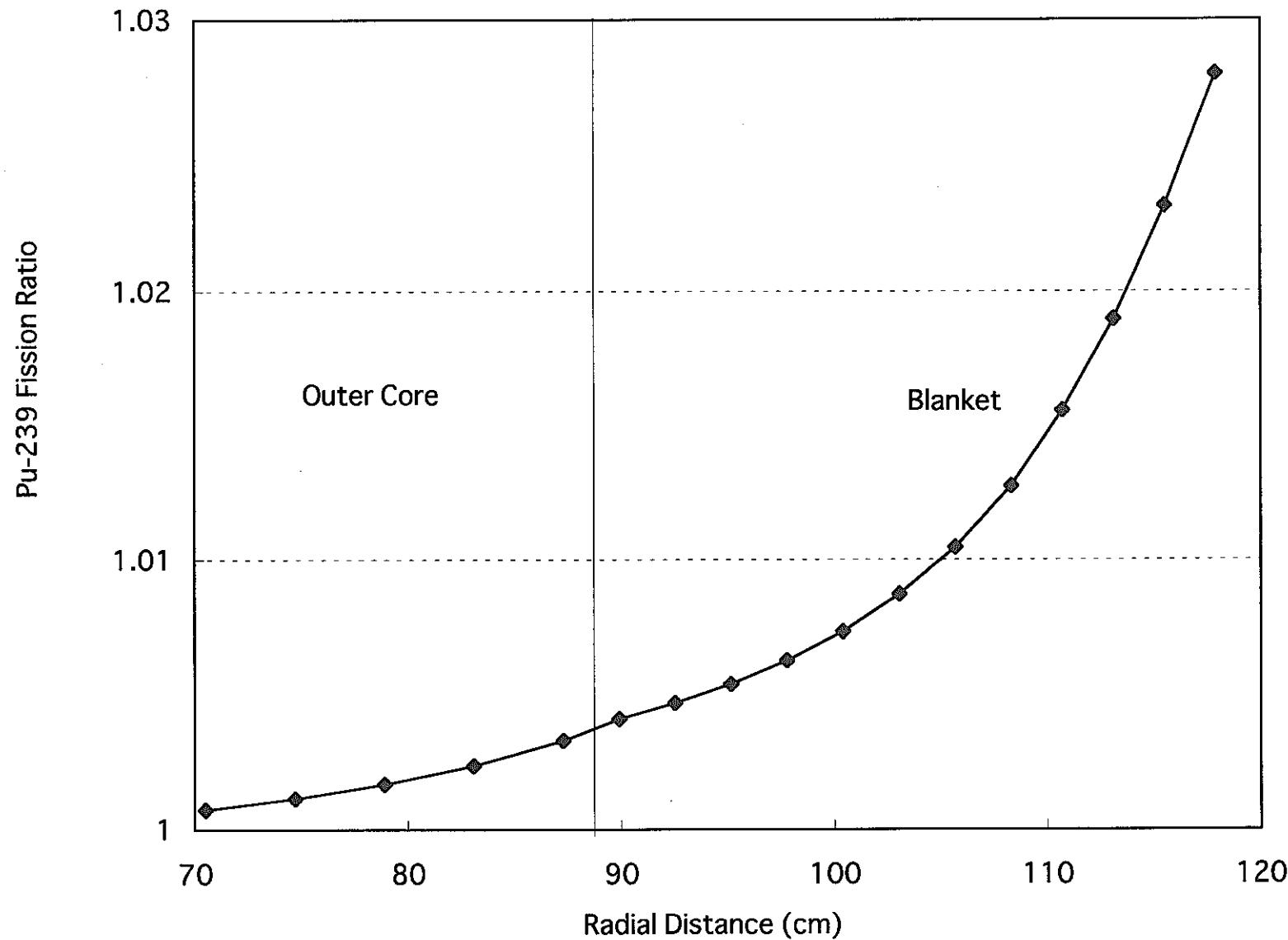


図 A.18 Pu-239 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／通常手法、Fe、バンド間散乱なし）

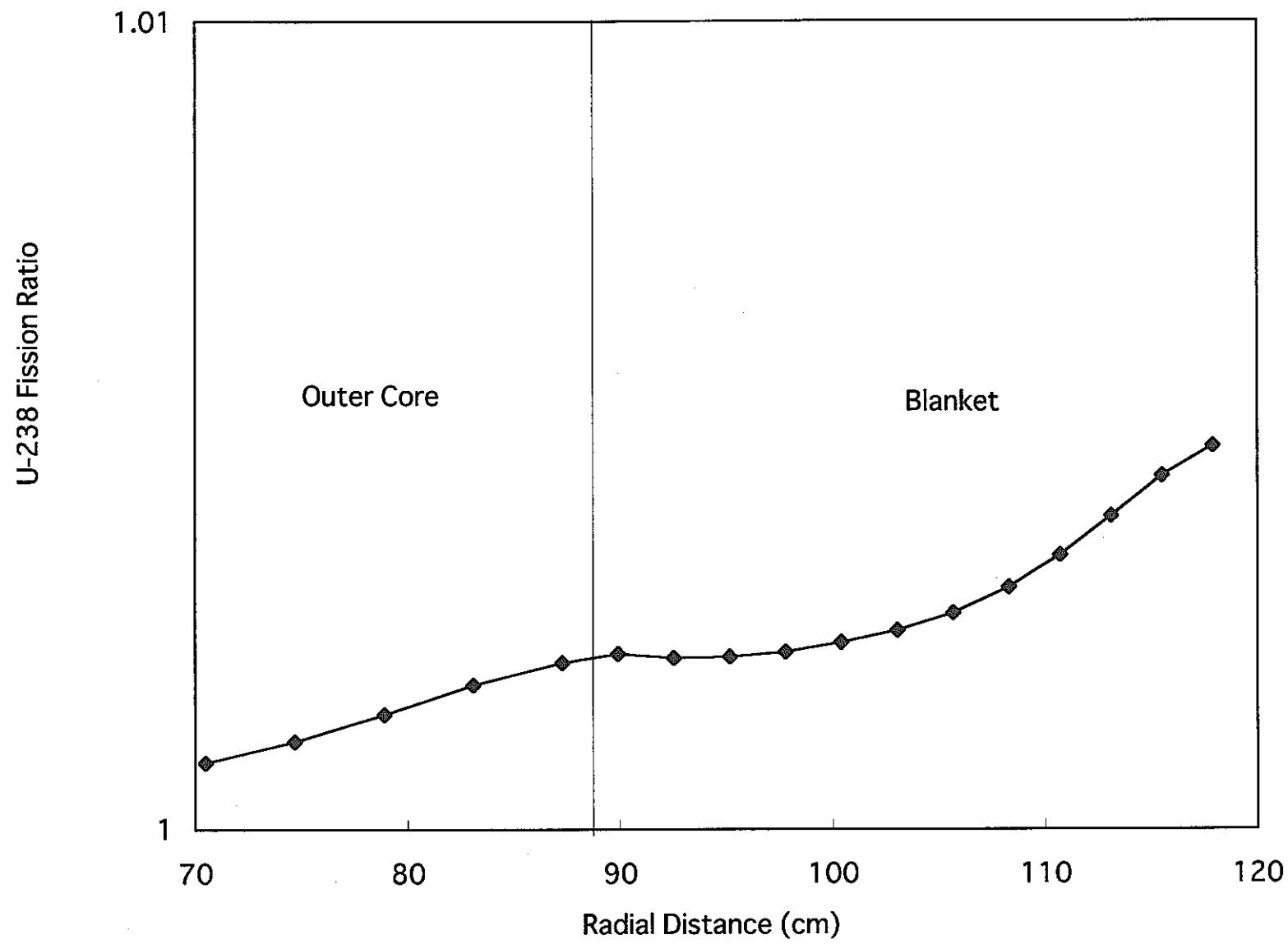


図 A.19 U-238 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／通常手法、Fe、バンド間散乱なし）

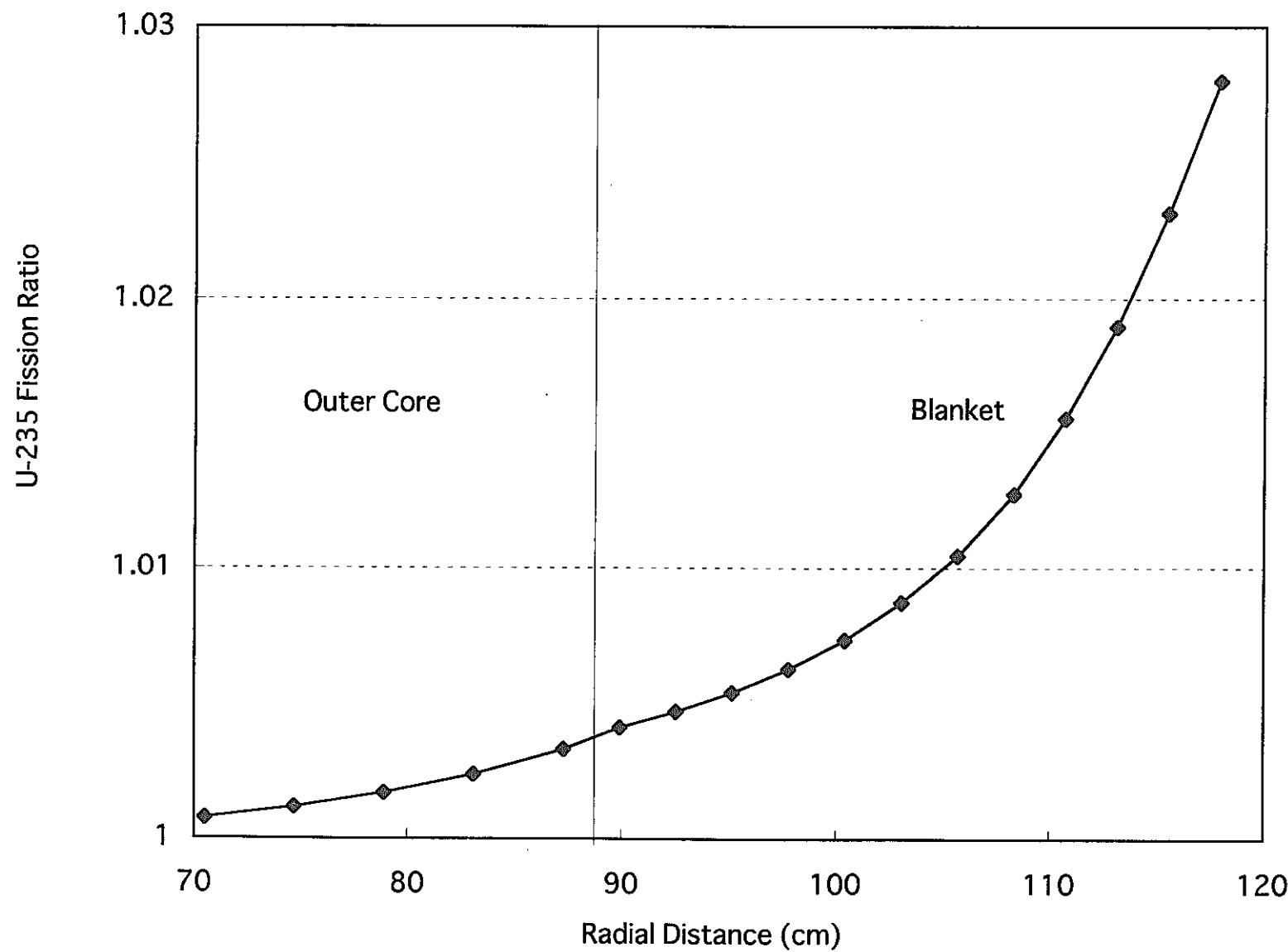


図 A.20 U-235 (n,f) の反応率分布相対比（方向依存／通常手法、Fe、バンド間散乱なし）

参考文献

- (1) K. Shirakata, et al., Proc. Topl. Mtg. Reactor Physics and Shielding, Chicago, Sept. 17-19, 1984, p.580 (1984).
- (2) P. J. Collins, et al., ibid., p.647(1984).
- (3) K. Shirakata, et al., Nucl. Sci. Eng., 98, 118-127 (1988).
- (4) 田渕 士郎他、モンテカルロを用いた MOZART の反応率解析、A45、日本原子力学会 1996 年秋の大会予稿集、東北大学、1996 年
- (5) L. Levitt, Nucl. Sci. Eng., 49, 450 (1972).
- (6) Y. Ronen, "Handbook of Nuclear Reactors Calculations," CRC Press, Florida, Vol. I, p.102 (1986).
- (7) 竹田 敏一他、高速炉核特性の数値解析手法の改良(III), PNC TJ9605 98-001, 1998 年
- (8) 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

第2部

摂動モンテカルロ法による
反応度評価手法の改良

目 次

第1章 まえがき	96
第2章 モンテカルロ法の摂動理論について	97
2.1 相関サンプリング法	97
2.2 導関数演算子サンプリング法	98
2.3 相関サンプリング法と導関数演算子サンプリング法における問題点 ..	100
2.4 隨伴中性子束を考慮した変化量計算手法	100
2.5 2次までの展開項を考慮した導関数演算子サンプリング法	102
第3章 計算結果	104
3.1 プルトニウム密度減少の場合の計算結果	104
3.2 ナトリウム密度減少の場合の計算結果	115
3.3 プルトニウム密度増加の場合の計算結果	125
3.4 ボロン密度減少の場合の計算結果	139
第4章 まとめ	142
参考文献	143

表リスト

表3.1-1 プルトニウム密度減少時の固有値変化評価値

表3.2-1 ナトリウム密度減少時の固有値変化評価値

表3.3-1 プルトニウム密度増加時の固有値変化評価値

図リスト

図3.1-1 プルトニウム密度減少時の計算体系

図3.1-2a 相関サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況（プルトニウム密度10%減少時）

図3.1-2b 導関数演算子サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況（プルトニウム密度10%減少時）

図3.1-3a 相関サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況（プルトニウム密度30%減少時）

図3.1-3b 導関数演算子サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況（プルトニウム密度30%減少時）

図3.1-4a 相関サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況（プルトニウム密度60%減少時）

図3.1-4b 導関数演算子サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況（プルトニウム密度60%減少時）

図3.1-5a 相関サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況（プルトニウム密度99%減少時）

図3.1-5b 導関数演算子サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況（プルトニウム密度99%減少時）

図3.2-1 ナトリウム密度減少時の計算体系

図3.2-2a 相関サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況（ナトリウム密度90%減少時）

図3.2-2b 導関数演算子サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況（ナトリウム密度90%減少時）

図3.2-3a 相関サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況（ナトリウム密度99%減少時）

図3.2-3b 導関数演算子サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況（ナトリウム密度99%減少時）

図3.2-4a 相関サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況（ナトリウム密度100%減少時）

図3.2-4b 導関数演算子サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況（ナトリウム密度100%減少時）

図3.3-1 プルトニウム密度増加時の計算体系

図3.3-2a production estimatorで得られた固有値変化の収束状況（プルトニウム密度10%増加時）

図3.3-2b balance estimatorで得られた固有値変化の収束状況（プルトニウム密度10%増加時）

図3.3-2c all estimatorで得られた固有値変化の収束状況（プルトニウム密度10%増加時）

図3.3-3a production estimatorで得られた固有値変化の収束状況（プルトニウム密度50%増加時）

図3.3-3b balance estimatorで得られた固有値変化の収束状況（プルトニウム密度50%増加時）

図3.3-3c all estimatorで得られた固有値変化の収束状況（プルトニウム密度50%増加時）

図3.3-4a production estimatorで得られた固有値変化の収束状況（プルトニウム密度100%増加時）

図3.3-4b balance estimatorで得られた固有値変化の収束状況（プルトニウム密度100%増加時）

図3.3-4c all estimatorで得られた固有値変化の収束状況（プルトニウム密度100%増加時）

図3.3-5 摂動後の随伴中性子源分布

第1章 まえがき

モンテカルロ計算コードは、決定論的手法に基づく計算コードに比べ、多大な計算機能力を必要とされるが、その反面、幾何形状の近似や連続エネルギーの核データを扱えることからエネルギー多群の群定数にする誤差も含まれず、解析対象を忠実に模擬する事が可能であるという特徴がある。また近年のとりわけワークステーションにおける計算機性能の向上は、計算機性能の限界のために使用が困難であった対象にまでモンテカルロ計算コードを容易に適用することが可能となってきている。しかしながらモンテカルロ計算コードで得られる結果は、統計処理された結果であるため、偏差を伴って得られる事になる。そのために、小さな摂動による小さな変化を、得られる変化量に対して有意な偏差を得るためにには、現在の計算機性能をもってしても途方もない計算時間が必要とされる。

本研究ではこの問題点の一つの解決方法である摂動モンテカルロ法に着目し、摂動モンテカルロ計算コードの開発をすすめ、手法の検討を通して反応度評価手法の改以下、第2章ではモンテカルロ法の摂動理論について簡単に述べたのち、手法の問題点について検討した結果を示す。第3章では計算結果を示し、第4章で全体をまとめている。

第2章 モンテカルロ法の摂動理論について

モンテカルロ法の摂動理論には、相関サンプリング法と導関数演算子サンプリング法があり、これまでにもそれらの手法について報告してきたが、本章ではその手法における問題点を検討する上で必要となる部分についてのみ示し、その後、問題点の検討およびその解決方策について述べている。

2. 1 相関サンプリング法

微少な変化に対して有意な偏差で結果を得るために、微少な変化が起きる前後で、中性子の飛行や衝突の軌跡が変化しないと仮定される。そして、相関サンプリング法では、中性子の飛行や衝突の「確率」が、微少な変化が起きる前後で変化する割合を元に、微少な変化を求めることになる。以下にその理論を簡単に述べる。

モンテカルロ法では物理量を評価する際にいくつかの評価方法を用いているが、ここではその中で最もイメージがとらえやすい衝突数を元に評価する手法について示す事にする。

まず、ある場所での衝突率 $\varphi(u)$ は中性子の飛行や衝突による場所やエネルギー・飛行方向の変化を表すカーネル K_i (i は飛行や衝突の回数を示す) を用いて式(1)のように表現できる。

$$\varphi(u) = \sum_{n=0}^{\infty} \int du_n \dots \int du_0 \prod_{i=0}^n K_i S(u_i) \quad (1)$$

ここで $S(u_i)$ は中性子源分布を示しており、積分は、 u_0 で発生した中性子が K_i により体系内を移動していき n 回の衝突の後、 u で衝突するまでの中性子軌跡について、各衝突での空間エネルギー積分を示しており、さらに n についての和は、 u で衝突するまでの衝突回数について、0 から ∞ までについて考慮している事を示している。モンテカルロ法では式(1)で示されるような中性子軌跡を元に全ての物理量の評価を行っていくことになる。式(1)と同様に、微少な変化が体系に加えられた後での衝突率は式(2)で表される。

$$\varphi'(u) = \sum_{n=0}^{\infty} \int du_n \dots \int du_0 \prod_{i=0}^n K'_i S'(u_i) \quad (2)$$

ここで「」は変化後のものを示している。微少な変化に伴い、中性子源分布や

カーネルが変化するため、衝突率が変化している事を表している。ここで、更に説明を簡略化するために中性子源が摂動が加わる前と後で変化しないと近似する。そして、摂動後の衝突率を摂動前の中性子の軌跡から評価できるように式(2)を変形すると式(3)が得られる。

$$\begin{aligned}\varphi'(u) &= \sum_{i=0}^{\infty} \int du_n \dots \int du_0 \prod_{i=0}^n K'_i S(u_0) \\ &= \sum_{i=0}^{\infty} \int du_n \dots \int du_0 \left\{ \prod_{i=0}^n \frac{K'_i}{K_i} \right\} \prod_{i=0}^n K_i S(u_0)\end{aligned}\quad (3)$$

つまり「{ }」で示されている項の評価を加えるだけで、摂動後での衝突率が摂動前での中性子の軌跡を用いて求めることができる。さらに、摂動に伴う変化分だけを求める場合には式(1),(3)より得られる式(4)を用いて評価することができる。

$$\begin{aligned}\delta\varphi(u) &= \varphi'(u) - \varphi(u) \\ &= \sum_{i=0}^{\infty} \int du_n \dots \int du_0 \left\{ \prod_{i=0}^n \frac{K'_i}{K_i} - 1 \right\} \prod_{i=0}^n K_i S(u_0)\end{aligned}\quad (4)$$

式(4)より、相関サンプリング法を用いて変化量を求めるためには、摂動していない場合の中性子の軌跡を用いながら、摂動していない場合のサンプリング量に対して「{ }」で示されている項を重みとして乗じたものをサンプリングすれば良いことがわかる。このように摂動する前と後で同じ中性子軌跡を用いることにより、摂動前後での相関が強くなり、微少な変化量を有意な偏差で評価することが可能となる。

2. 2 導関数演算子サンプリング法

微少な変化に対して有意な偏差で結果を得るために、相関サンプリング法では、中性子の飛行や衝突の「確率」が、微少な変化が起きる前後で変化する割合を元に微少な変化を求めていたが、導関数演算子サンプリング法では摂動後の物理量を摂動前の物理量を基準にした、摂動量に対する変分で表現できるとしている。摂動量に対する変分には、摂動量の1次の項だけでなく2次以上の項も寄与するが、以下では簡単のため1次までに限定して説明している。

相関サンプリング法のところでも示したように衝突率は式(5)で表現できる。

$$\varphi(u) = \sum_{n=0}^{\infty} \int du_n \dots \int du_0 \prod_{i=0}^n K_i S(u_0) \quad (5)$$

ここで、ある摂動 $\Delta\rho$ が加わった場合、摂動後の衝突率 $\varphi'(u)$ は式(6)のように表現することができる。

$$\begin{aligned} \varphi'(u) &= \varphi(u) + \frac{\partial\varphi(u)}{\partial\rho} \Delta\rho + \frac{1}{2} \frac{\partial^2\varphi(u)}{\partial\rho^2} \Delta\rho^2 + \dots \\ &\approx \varphi(u) + \frac{\partial\varphi(u)}{\partial\rho} \Delta\rho \end{aligned} \quad (6)$$

当然ながら式(6)が成立するには $\Delta\rho$ が十分に小さい、言い換えれば微少な変化の場合となる。また式(6)より摂動前後での衝突率の変化量は式(7)で得られることがわかる。

$$\delta\varphi(u) = \varphi'(u) - \varphi(u) = \frac{\partial\varphi(u)}{\partial\rho} \Delta\rho \quad (7)$$

式(7)に式(5)を適用すると式(8)が得られる。

$$\begin{aligned} \delta\varphi(u) &= \frac{\partial}{\partial\rho} \left(\sum_{n=0}^{\infty} \int du_n \dots \int du_0 \prod_{i=0}^n K_i S(u_0) \right) \Delta\rho \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} \int du_n \dots \int du_0 \frac{\partial}{\partial\rho} \left(\prod_{i=0}^n K_i \right) \Delta\rho S(u_0) \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} \int du_n \dots \int du_0 \left\{ \sum_{i=0}^n \frac{\partial K_i}{K_i \partial\rho} \Delta\rho \right\} \prod_{i=0}^n K_i S(u_0) \end{aligned} \quad (8)$$

式(8)では、先の相関サンプリング法での説明と同じく中性子源分布 $S(u_0)$ が変化しない場合について示している。式(8)からわかるように、導関数演算子サンプリング法でも、摂動前の中性子軌跡 ($\prod_{i=0}^n K_i S(u_0)$ で表現される) から得られる評価量に対して「{ }」で示されている項を重みとして乗じるだけで変化量が得られることがわかる。つまり導関数演算子サンプリング法でも相関サンプリング法の場合と同様に、摂動していない場合の中性子の軌跡を用いながら、摂動していない場合のサンプリング量に対して「{ }」で示されている項を重みとして

乗じたものをサンプリングすることになり、摂動する前と後で同じ中性子軌跡を用いることにより、摂動前後の相関が強くなり、微少な変化量を有意な偏差で評価することが可能となる。

2. 3 相関サンプリング法と導関数演算子サンプリング法における問題点

ここまで述べてきた相関サンプリング法と導関数演算子サンプリング法を用いることで、微少な変化に対する物理量の微少な変化を求めることが可能であるが、それらの手法を用いて反応度を評価する事を考えると、これらの手法では反応度を評価する上で必須条件である随伴中性子束の評価がなされていないため、摂動理論とは異なっている。

摂動前の中性子束分布を元に摂動後の中性子束分布を評価しているため、断面積変化に伴う中性子束分布の変化は計算されている事になるが、これだけでは1次摂動理論にもなっていない。微少な変化量を求める、という目的は達成されているものの、この手法をそのまま反応度評価に適用するには、この手法が厳密摂動理論に当てはまっていること、さらに微少な変化の場合だけを対象としたとしても、この手法が1次摂動理論にも当てはまっていることを考えると、得られる結果がどのような摂動理論相当の結果であるかという判断が困難である。

加えて、相関サンプリング法では、中性子と核との衝突や媒質内のある距離の飛行という事象が起こる「確率」の摂動の前後での比を用いるため、例えば100%のボイド化とうような、ある核種が無くなる摂動においては、摂動前に存在していた核が摂動後では存在しない場合の評価には疑問が残る。

また導関数演算子サンプリング法では、相関サンプリング法と同様に100%のボイド化とうような摂動幅が大きい場合には、級数展開項を何処まで考慮するべきかという問題点が存在する。実際に展開次数としては1次までを主に取り扱ってきているが、今年度では2次展開項のモンテカルロコードへの導入をはかりその効果を確認している。

2. 4 随伴中性子束を考慮した変化量計算手法

前節で述べたように、これまで導入を進めてきたモンテカルロ摂動計算手法である、相関サンプリング法や導関数演算子サンプリング法では随伴中性子束を考慮していないために、得られる反応度が1次摂動理論相当であるという保

証が無い。そこで今年度では、随伴中性子束を考慮した摂動理論に合致するモンテカルロ摂動理論について考察を行った。以下にその理論について述べる。

まず摂動前の輸送方程式を次のように表す。

$$L\phi = \frac{1}{k} \chi F\phi$$

上の式に左から FL^{-1} を作用させると

$$F\phi = \frac{1}{k} FL^{-1} \chi F\phi$$

ここで、 $F\phi = Q$ および $FL^{-1}\chi = P$ とおき

$$kQ(r) = \int dr' P(r' \rightarrow r)Q(r') \quad (9)$$

を得る。中性子源 Q は場所だけに依存した値となっている。

摂動後の随伴輸送方程式(随伴は*で表している)について考えると

$$L^*\phi^* = \frac{1}{k'} v\Sigma'_f F^*\phi^*$$

先と同様の変形を施し、 $F^*\phi^* = W$ および $F^*L^{*-1}v\Sigma'_f = P^*$ を用いると

$$k'W(r) = \int dr' P^*(r \rightarrow r')W(r') \quad (10)$$

を得る。さらに式(9)と(10)をもとに $\delta k = k' - k$ に対する式を作成していく。

式(10) $\times Q$ から式(9) $\times W$ を減じ、さらに空間で積分すると式(11)を得る。

$$\delta k = k' - k = \frac{\int dr' \int dr' W(r') \delta P(r \rightarrow r') Q(r)}{\int dr' W(r') Q(r')} \quad (11)$$

式(11)右辺の分母は、随伴中性子源分布 $W(r')$ を重みとして r' で発生させた中性子に乘じ、空間について総和をとることで評価できる。また式(11)右辺の分子については、 $\delta P(r \rightarrow r')Q(r)$ で表現される r' での核分裂の変化分に対して随伴中性子源分布 $W(r')$ を重みとして乗じ、空間について総和をとることで評価できる。

さらに r' での核分裂の変化分は昨年度までに検討を行ってきている相関サンプリング法や導関数演算子サンプリング法により評価することができる。

また式(11)において $W(r')$ の場所依存性を考慮しない場合には

$$\delta k = \frac{\int dr' \int dr \delta P(r \rightarrow r') Q(r)}{\int dr' Q(r')}$$

となり、これまでの摂動モンテカルロ計算における production estimator と同じとなる。

式(11)を用いる手法では摂動後の随伴系を考慮しているので厳密摂動計算を行うことが可能になると考えられるが、随伴中性子を通常の中性子と同時に計算できないため、摂動後の随伴中性子源分布をこれまでの摂動モンテカルロ計算に先だって別途評価しておく必要がある。同時に評価できないかを含めて現在検討中であるが、現状では別途評価している。また複雑形状の場合には随伴中性子源分布もモンテカルロ計算で評価する必要がある。そのために

- ・ 随伴中性子源分布を求める時の領域分割と随伴中性子源分布の分散
 - ・ 連続エネルギーで随伴計算を行えないため多群定数を用いることによる誤差
- といった問題点が残されているが、第3章ではこの手法を用いた場合の計算結果も示している。

2. 5 2次までの展開項を考慮した導関数演算子サンプリング法

摂動幅が大きい場合には、導関数演算子サンプリング法において高次の展開項を考慮しなければ正確に求めることが困難になることが考えられる。ここでは、これまで1次の展開項だけを考慮していた理論を2次の展開項まで拡張した場合について簡単に述べる。

2次の展開項までを考慮した場合の、衝突率の変化量は先の2. 2で示した表記を用いて式(12)で示される。

$$\delta\varphi(u) = \varphi'(u) - \varphi(u) = \frac{\partial\varphi(u)}{\partial\rho} \Delta\rho + \frac{1}{2} \frac{\partial^2\varphi(u)}{\partial\rho^2} \Delta\rho^2 \quad (12)$$

式(12)に式(5)を適用すると式(13)が得られる。

$$\delta\phi(u) = \frac{\partial}{\partial\rho} \left(\sum_{n=0}^{\infty} \int du_n \dots \int du_0 \prod_{i=0}^n K_i S(u_0) \right) \Delta\rho + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial\rho^2} \left(\sum_{n=0}^{\infty} \int du_n \dots \int du_0 \prod_{i=0}^n K_i S(u_0) \right) \Delta\rho^2 \quad (13)$$

式(13)では、先の説明と同じく中性子源分布 $S(u_0)$ が変化しない場合について示している。1次の展開項については先に述べているため、2次の展開項のみに着目し述べることにする。簡単のために以下では1核種のみが運動している場合に限定する。式(13)における2次展開項は、式(14)のように変形できる。

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial\rho^2} \left(\sum_{n=0}^{\infty} \int du_n \dots \int du_0 \prod_{i=0}^n K_i S(u_0) \right) \Delta\rho^2 \\ &= \frac{1}{2} \left(\sum_{n=0}^{\infty} \int du_n \dots \int du_0 \left\{ \left(\sum_{i=0}^n \frac{\partial K_i}{K_i \partial\rho} \right)^2 \Delta\rho^2 + \frac{\partial}{\partial\rho} \left(\sum_{i=0}^n \frac{\partial K_i}{K_i \partial\rho} \right) \Delta\rho^2 \right\} \prod_{i=0}^n K_i S(u_0) \right) \end{aligned} \quad (14)$$

式(14)において「{ }」内の第1項の微分項は1次の展開項で得られていたものと同じものを2乗する事でえられる。「{ }」内の残りの第2項の微分項は、衝突による中性子のエネルギー・方向の変化を表す衝突カーネル C_i と中性子の飛行による位置の変化を表す飛行カーネル T_i を用いると式(15)のように表すことができる。

$$\frac{\partial}{\partial\rho} \left(\frac{\partial K_i}{K_i \partial\rho} \right) = \frac{\partial}{\partial\rho} \left(\frac{\partial C_i}{C_i \partial\rho} + \frac{\partial T_i}{T_i \partial\rho} \right) \quad (15)$$

つまり、1次の展開項で得られている衝突カーネルと飛行カーネルの1次の変化分をさらに微分したものが必要となる。衝突カーネルや飛行カーネルの1次の変化分は断面積や飛行距離で表現できているため、それを更に ρ で微分することで2次の微分項を断面積や飛行距離を用いて表現することができる。

以上より2次の展開項を考慮するには、式(15)で示されている2次の微分項を求めることが必要になるものの、それ以外の項については、1次の展開項までを考慮していたものと同じものが使用できるため、1次の展開項までを考慮していた場合に比べ若干の追加のみで2次の展開項までを考慮することが可能である。

第3章においては本節で述べた2次の展開項までを考慮した場合の計算結果についても述べている。

第3章 計算結果

第3章では第2章で述べた計算法を用いて計算を行った結果およびその考察について述べる。

3.1 プルトニウム密度減少の場合の計算結果

計算に用いた体系は図3.1-1に示したものである。図3.1-1に示したように、Puの密度の減少という擾動を加えた領域は、中央の1区画であり、その周囲の8区画では媒質内の全ての核種の密度は変化していないとしている。そして密度を変化させた核種は中央の区画に含まれているPu239、Pu240、Pu241、Pu242の4核種であり、これらを同時に同じ割合だけ減少させるという擾動が加わったとし、擾動幅としては密度が10%減少、30%減少、60%減少そして99%減少という4ケースについて計算を行った。計算ヒストリーナンバーは、1バッチ10000ヒストリの100バッチ（さらに中性子源分布を落ちつかせるための10バッチが捨てバッチとして追加されている）という100万ヒストリーである。そして擾動前後を2回の独立なモンテカルロ計算で固有値を求めた結果を参照解としている。

表3.1-1には各ケースで得られた固有値変化を参照解と比較している。この表より、プルトニウム密度が減少し固有値変化が7%近くにまで及んでいても相関サンプリング法や導関数演算子サンプリング法で、密度変化が-60%以上の場合に参照解の偏差の3倍以上離れている結果となっているものの、概ね良い評価値が得られることがわかる。これについては導関数演算子サンプリング法において1次の展開項までだけを考慮している事が原因として考えられる。

また図3.1-2aと図3.1-2bには密度10%減少の場合、図3.1-3aと図3.1-3bには密度30%減少の場合、図3.1-4aと図3.1-4bには密度60%減少の場合、図3.1-5aと図3.1-5bには密度90%減少の場合の固有値及び固有値の変化の収束状況を示している。これらの図をみると相関サンプリング法と導関数演算子サンプリング法の間で、固有値変化の評価値の収束状況はほぼ同じであることがわかる。詳しく見た場合に、相関サンプリング法での収束状況は、導関数演算子サンプリング法の場合に比べ、productionやbalanceといった評価手法間の違いが少し大きくでていることが特徴として挙げられる。

以上より、プルトニウム密度が減少した場合、擾動モンテカルロ法は得られる結果に対する偏差が小さく、収束性も良いことから、妥当な評価値を与えることがわかる。

表3.1-1 プルトニウム密度減少時の固有値変化評価値

Pu密度10%減少

	相関サンプリング法		導関数演算子サンプリング法		参照解	
	Δk	1σ	Δk	1σ	Δk	1σ
track length	-6.49E-3	0.19%	-6.57E-3	0.19%	-6.70E-3	4.60%
collision	-6.49E-3	0.20%	-6.57E-3	0.20%	-6.69E-3	4.11%
analog	-6.38E-3	0.30%	-6.57E-3	0.30%	-7.60E-3	8.01%
production	-6.59E-3	0.49%	-6.60E-3	0.49%	-6.71E-3	4.57%
balance	-6.44E-3	0.26%	-6.55E-3	0.25%	-6.74E-3	4.16%
all	-6.49E-3	0.18%	-6.56E-3	0.19%	-6.67E-3	4.03%

Pu密度30%減少

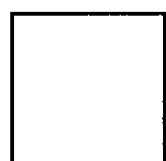
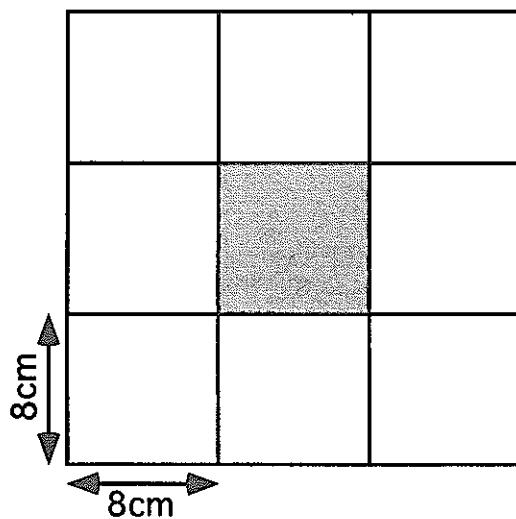
	相関サンプリング法		導関数演算子サンプリング法		参照解	
	Δk	1σ	Δk	1σ	Δk	1σ
track length	-1.97E-2	0.19%	-1.97E-2	0.19%	-1.96E-2	1.52%
collision	-1.97E-2	0.19%	-1.97E-2	0.20%	-1.96E-2	1.35%
analog	-1.94E-2	0.30%	-1.97E-2	0.30%	-2.01E-2	3.10%
production	-2.00E-2	0.50%	-1.98E-2	0.49%	-1.95E-2	1.54%
balance	-1.96E-2	0.26%	-1.97E-2	0.25%	-1.96E-2	1.39%
all	-1.97E-2	0.19%	-1.97E-2	0.19%	-1.96E-2	1.33%

Pu密度60%減少

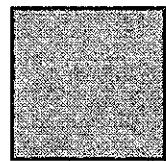
	相関サンプリング法		導関数演算子サンプリング法		参照解	
	Δk	1σ	Δk	1σ	Δk	1σ
track length	-4.03E-2	0.19%	-3.94E-2	0.19%	-4.01E-2	0.79%
collision	-4.03E-2	0.20%	-3.94E-2	0.20%	-4.01E-2	0.69%
analog	-3.96E-2	0.31%	-3.94E-2	0.30%	-4.08E-2	1.55%
production	-4.08E-2	0.52%	-3.96E-2	0.49%	-4.01E-2	0.74%
balance	-4.00E-2	0.27%	-3.93E-2	0.25%	-4.01E-2	0.73%
all	-4.03E-2	0.19%	-3.94E-2	0.19%	-4.01E-2	0.67%

Pu密度99%減少

	相関サンプリング法		導関数演算子サンプリング法		参照解	
	Δk	1σ	Δk	1σ	Δk	1σ
track length	-6.84E-2	0.20%	-6.50E-2	0.20%	-6.72E-2	0.46%
collision	-6.84E-2	0.20%	-6.50E-2	0.20%	-6.73E-2	0.41%
analog	-6.73E-2	0.34%	-6.49E-2	0.30%	-6.81E-2	0.95%
production	-6.92E-2	0.58%	-6.53E-2	0.49%	-6.73E-2	0.43%
balance	-6.80E-2	0.29%	-6.48E-2	0.24%	-6.73E-2	0.43%
all	-6.84E-2	0.19%	-6.49E-2	0.19%	-6.73E-2	0.40%



もんじゅ内側燃料集合体組成
媒質温度：300K



もんじゅ外側燃料集合体組成
媒質温度：300K

プルトニウム密度減少の摂動領域
摂動幅：-10%, -30%, -60%, -99%

図 3.1-1 プルトニウム密度減少時の計算体系

Δk

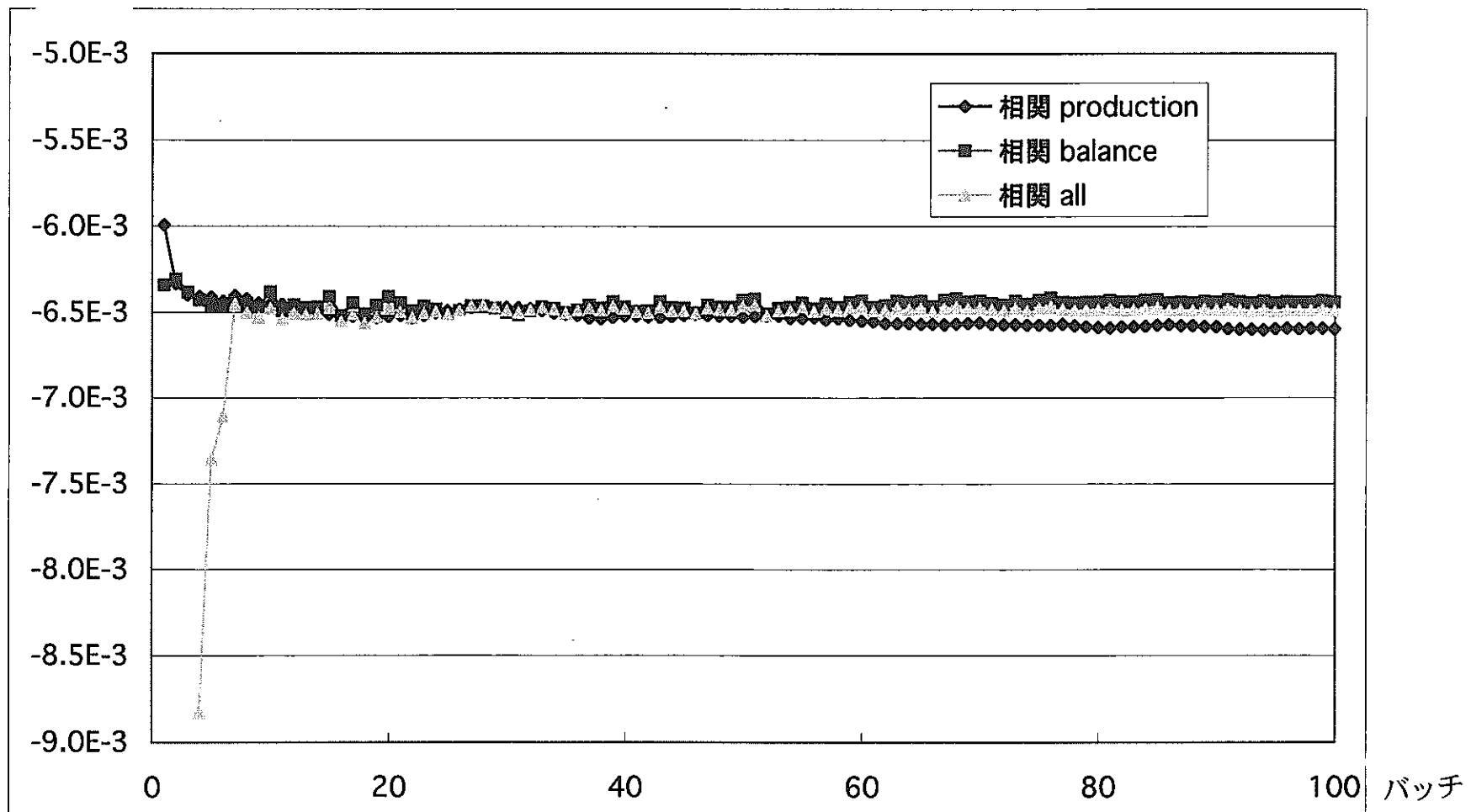


図 3.1-2a 相関サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況
(プルトニウム密度 10%減少時)

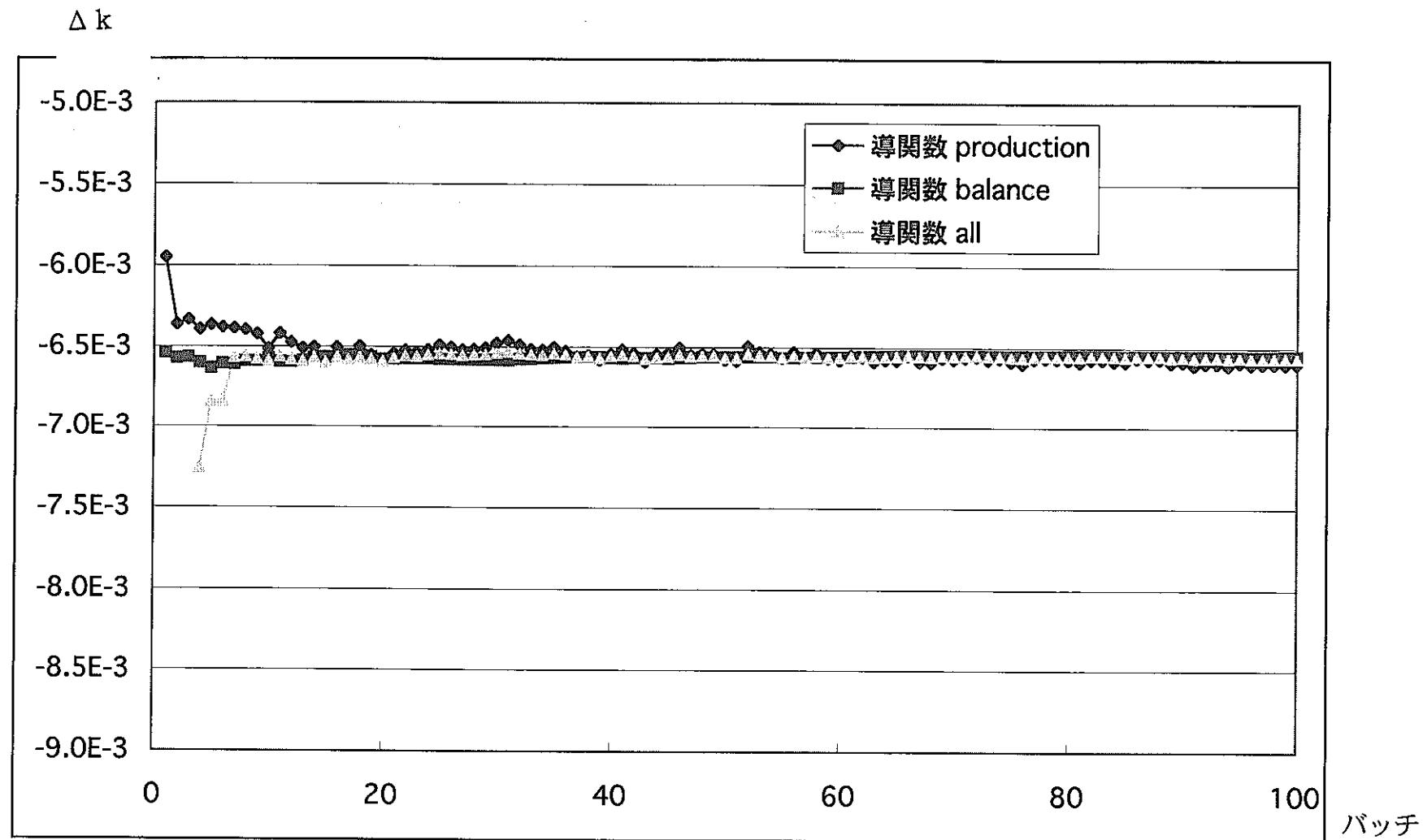


図 3.1-2b 導関数演算子サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況
(プルトニウム密度 10%減少時)

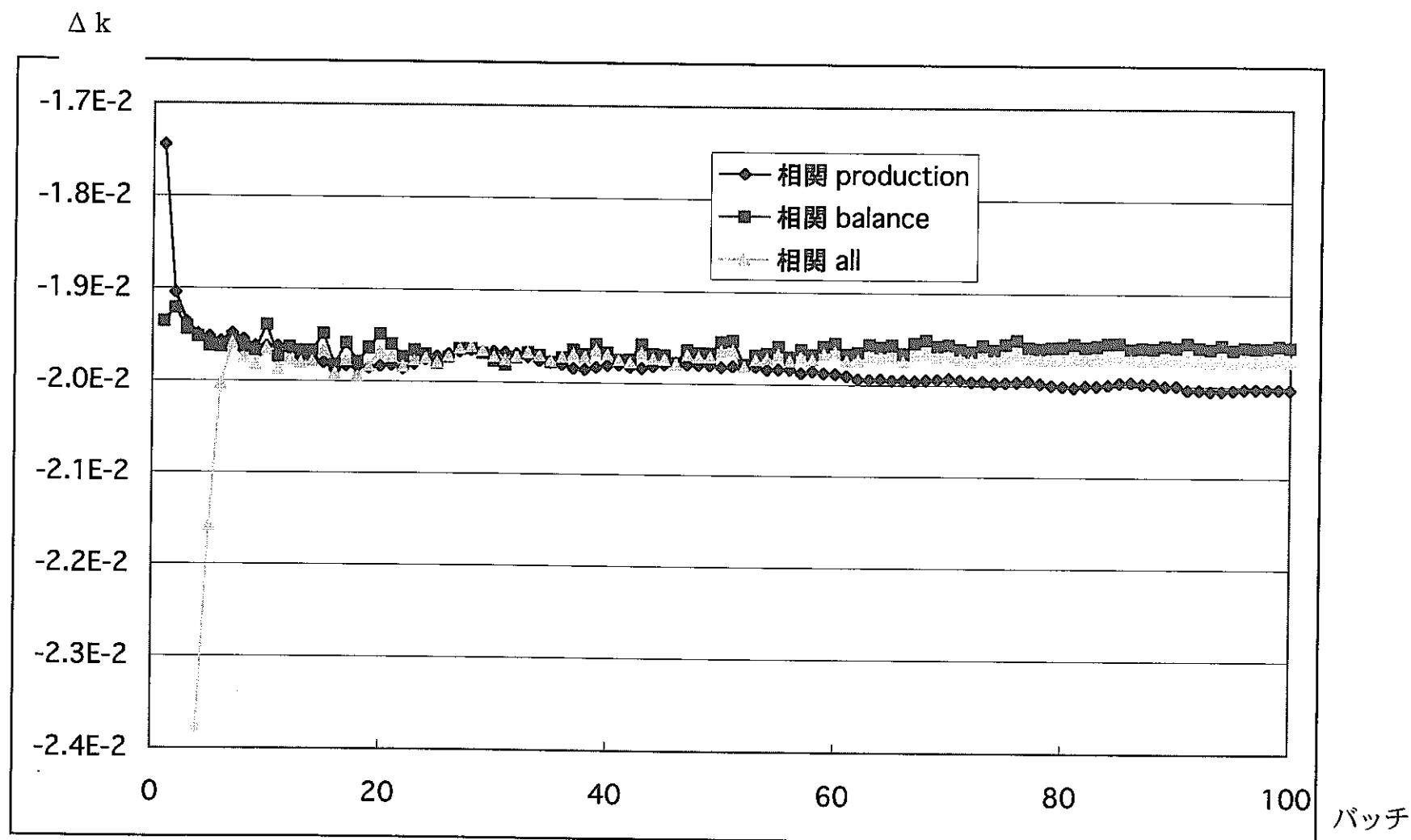


図 3.1-3a 相関サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況
(プルトニウム密度 30% 減少時)

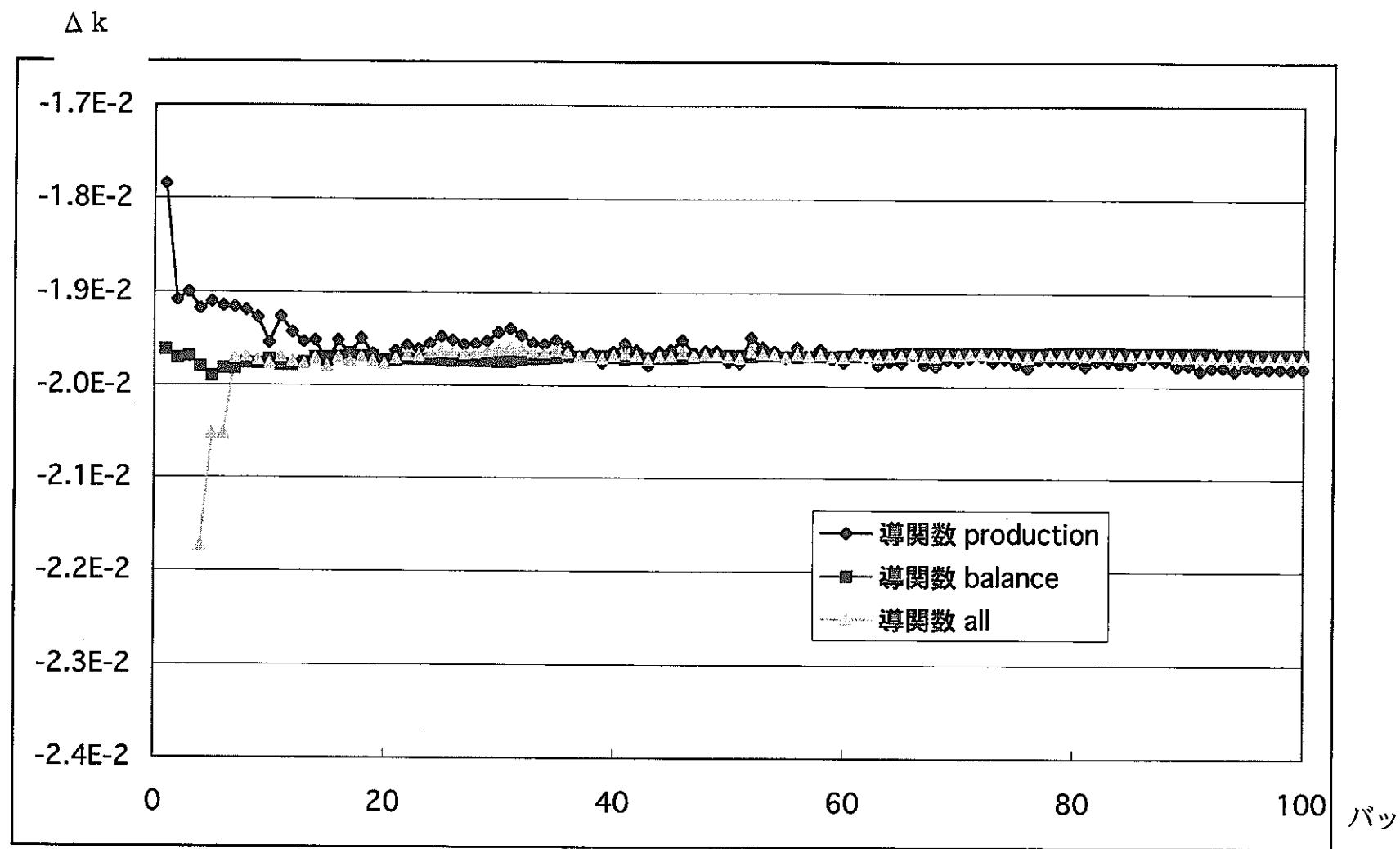


図 3.1-3b 導関数演算子サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況
(プルトニウム密度 30%減少時)

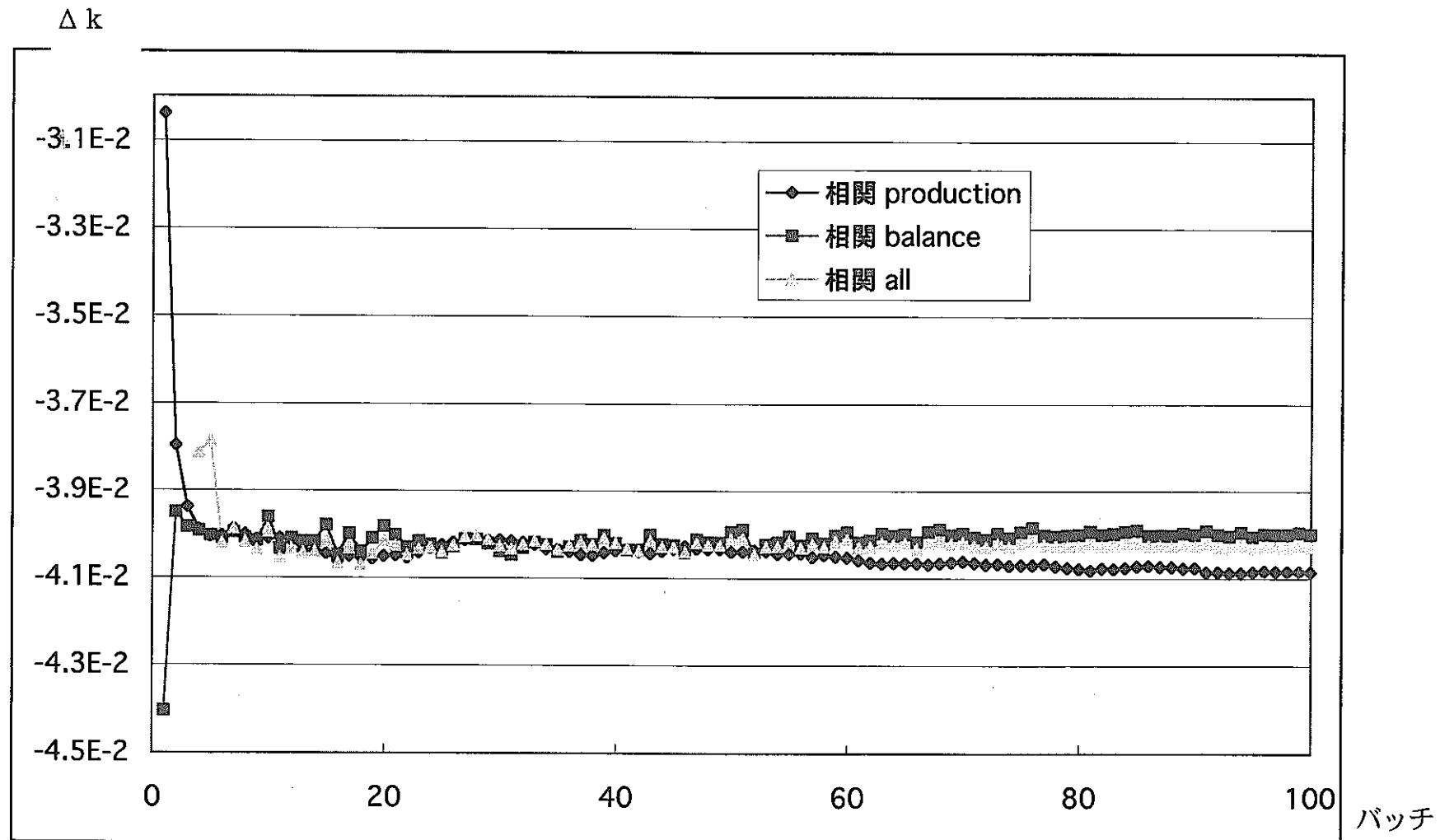


図 3.1-4a 相関サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況
(プルトニウム密度 60% 減少時)

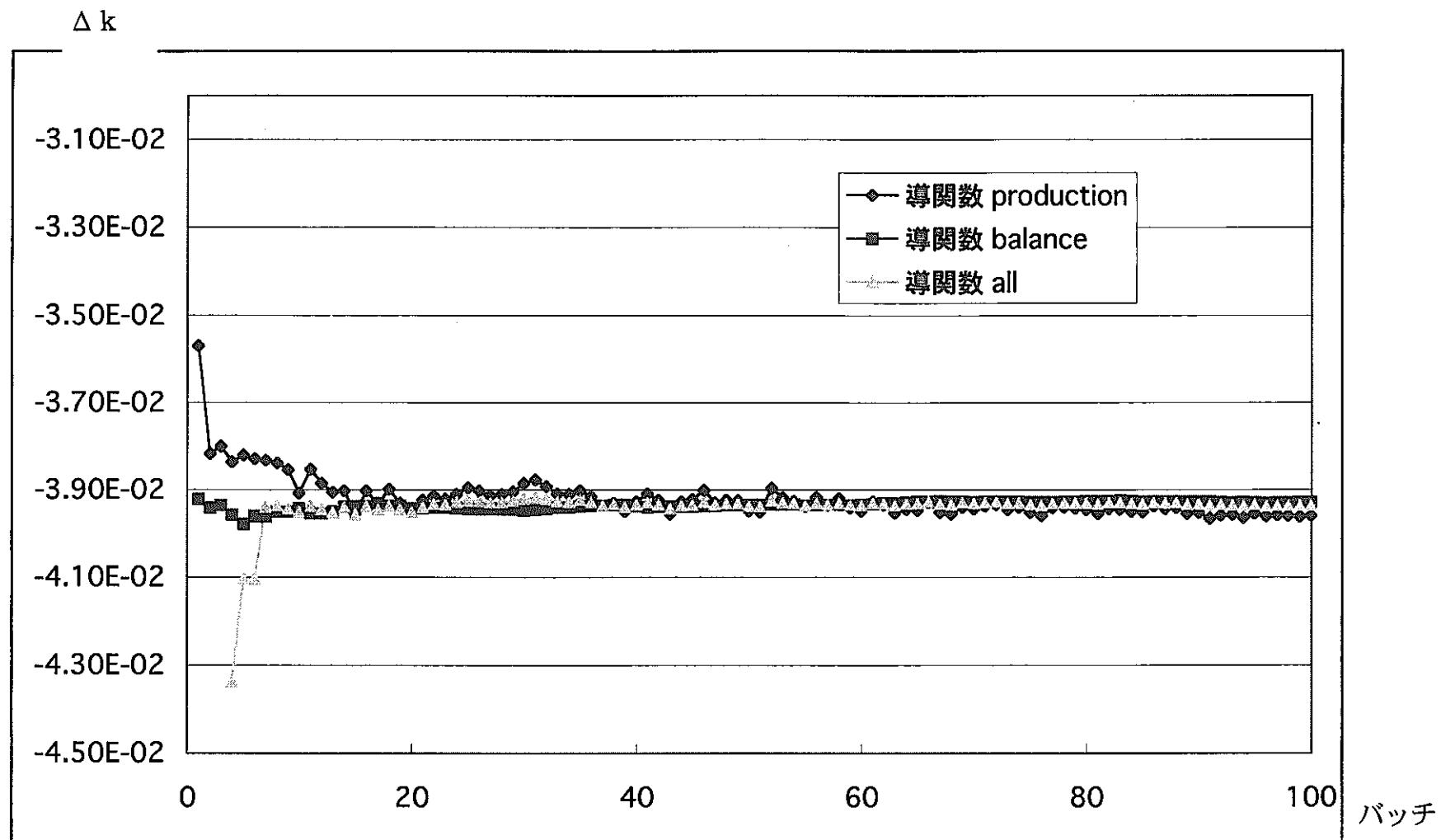


図 3.1-4b 導関数演算子サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況
(プルトニウム密度 60% 減少時)

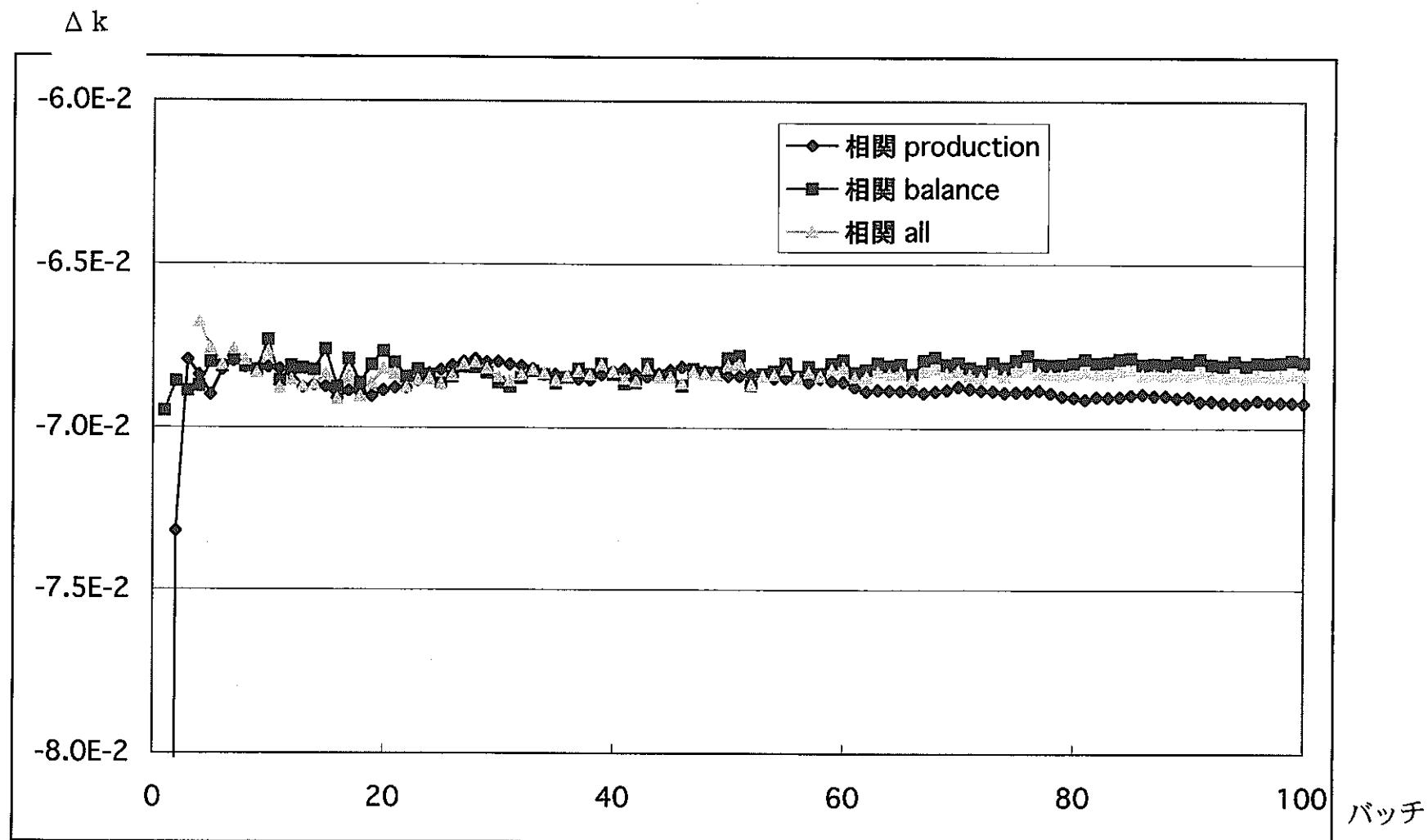


図 3.1-5a 相関サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況
(プルトニウム密度 99% 減少時)

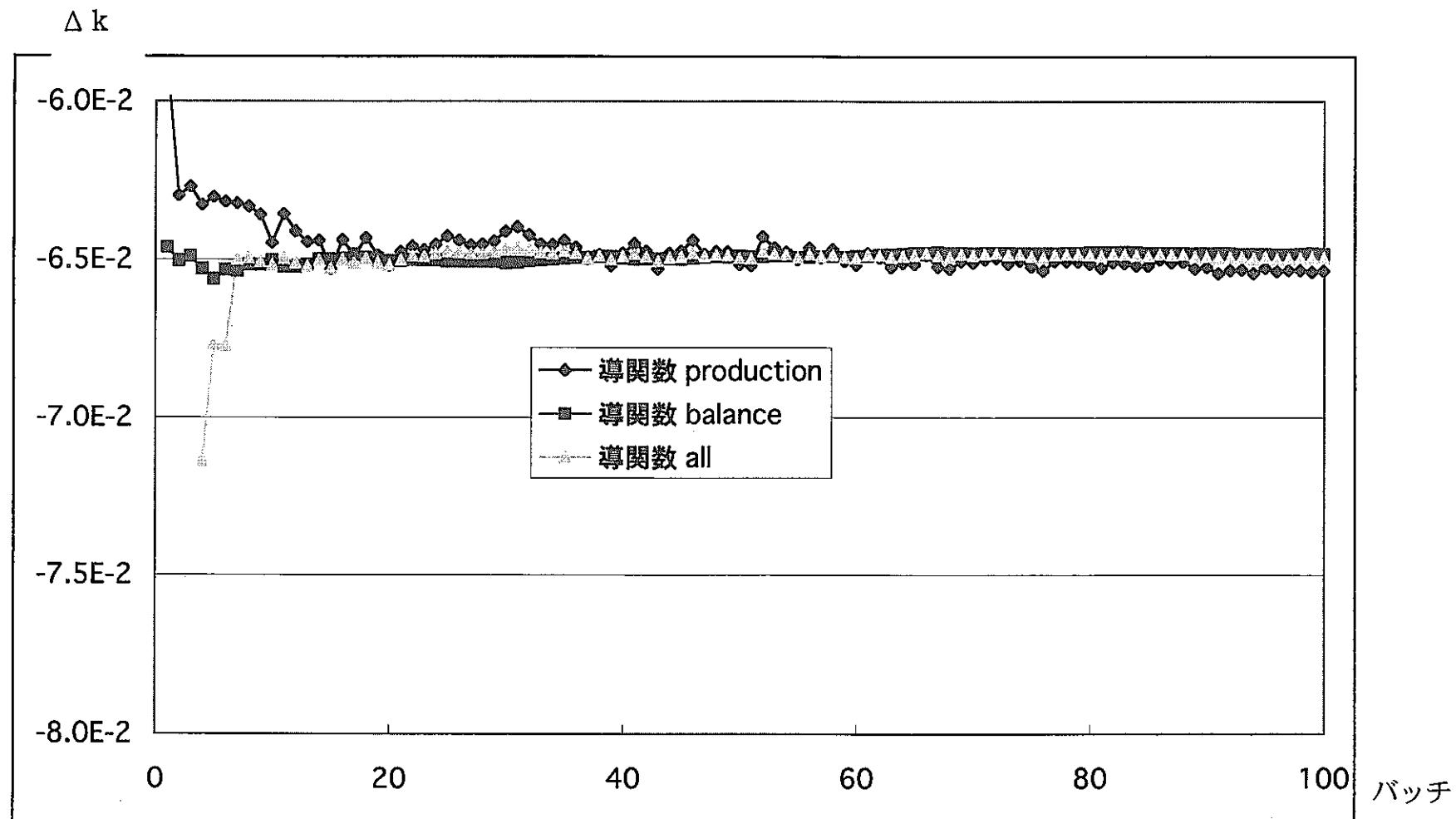


図 3.1-5b 導関数演算子サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況
(プルトニウム密度 99% 減少時)

3.2 ナトリウム密度減少の場合の計算結果

本節では特に変化量の大きい場合の相関サンプリング法と導関数演算子サンプリング法の妥当性について検討する。

計算に用いた体系は先に示した図 3.1-1 と同様の図 3.2-1 である。ナトリウム密度を減少させた領域は、中央の 1 区画であり、その周囲の 8 区画では媒質内の全ての核種の密度は変化していないとしている。摂動幅としては 3.1 節の場合よりも大きめのケースのみを設定しており、具体的には密度が 90% 減少、99% 減少そして 100% 減少という 3 ケースについて計算を行った。計算ヒストリ一数、参照解は 3.1 と同様に計算されている。

表 3.2-1 には各ケースで得られた固有値変化を参照解と比較している。表 3.2-1 より、相関サンプリング法で得られた固有値変化がケースによっては正負が逆転している場合が存在するが、導関数演算子サンプリング法では参照解と比べると偏差の 3 倍までに何とか収まっており、当然ながら正負が逆転しているようなケースは存在していない。また表 3.2-1 を 3.1 節での表 3.1-1 と比較すると摂動モンテカルロ計算で得られた結果の偏差がかなり大きくなっているが、これは得られる固有値変化が小さいことも一つの要因と考えられるが、摂動前後での中性子スペクトル変化が 3.1 節の場合より大きいために、摂動後で中性子数が少なくなる低いエネルギー領域での中性子に対する重みが小さくなり、その結果タリーされた中性子重みが減少したためであると考えられる。

また図 3.2-2a と図 3.2-2b には密度 90% 減少の場合、図 3.2-3a と図 3.2-3b には密度 99% 減少の場合、図 3.2-4a と図 3.2-4b には密度 100% 減少の場合の固有値及び固有値の変化の収束状況を示している。これらの図を見れば、まず相関サンプリング法での収束性の悪さが目につく。とりわけあるバッチを境に収束値が大きく極端に変化するところが見られる。これは相関サンプリング法において、衝突・飛行における衝突カーネルと飛行カーネルの比を乗じていく際に極端に大きな値が比として現れることがあるためである。対して導関数演算子サンプリング法では収束性が良い。さらに導関数演算子サンプリング法においても、production estimator の評価値の収束性が他の balance や all estimator に比べて少し悪くなっている。production estimator は $(\text{production}) / (\text{source})$ で balance estimator は $(\text{production}) / (\text{absorption} + \text{leakage})$ で評価する手法であるが、摂動モンテカルロ計算を行うことで production や absorption, leakage の量が変化したものが得られるが、モンテカルロ計算における各バッチでの評価値にはばらつきがあり、そのためにあるバッチでは

`production` や `absorption` が大きい、といったことが起こる。このとき、`production estimator` では分母の(source)はバッチでの中性子発生数（中性子発生重み）で一定であるが `balance estimator` では分母、分子両方とも変化するため、`balance estimator` での評価値の各バッチでのばらつきが小さくなり、収束性が良くなっている理由と考えられる。

表3.2-1 ナトリウム密度減少時の固有値変化評価値

Na密度90%減少

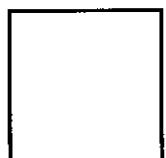
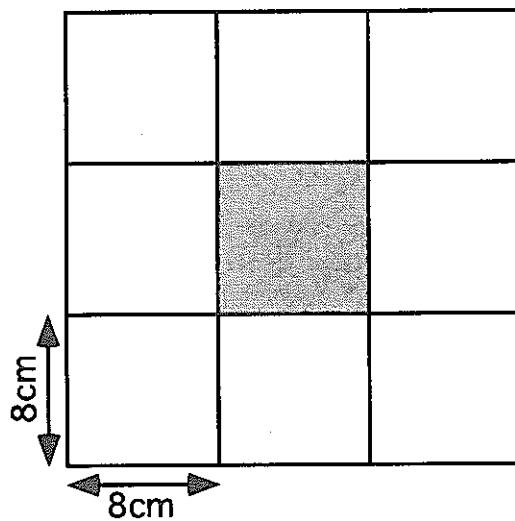
	相関サンプリング法		導関数演算子サンプリング法		参照解	
	Δk	1σ	Δk	1σ	Δk	1σ
track length	2.06E-3	31.78%	5.74E-3	2.44%	6.22E-3	5.54%
collision	1.16E-3	98.47%	5.79E-3	2.16%	6.33E-3	4.71%
analog	1.29E-4	2818.25%	5.64E-3	4.86%	6.02E-3	10.59%
production	-4.39E-3	77.96%	6.22E-3	11.51%	6.54E-3	4.79%
balance	-2.55E-3	99.52%	5.67E-3	3.79%	6.27E-3	4.92%
all	2.03E-3	28.29%	5.80E-3	2.11%	6.43E-3	4.55%

Na密度99%減少

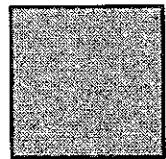
	相関サンプリング法		導関数演算子サンプリング法		参照解	
	Δk	1σ	Δk	1σ	Δk	1σ
track length	-9.27E-3	21.73%	6.32E-3	2.44%	7.13E-3	4.70%
collision	-9.37E-3	25.64%	6.37E-3	2.16%	7.09E-3	4.22%
analog	-2.06E-2	35.73%	6.21E-3	4.86%	6.92E-3	9.01%
production	-6.96E-3	108.75%	6.84E-3	11.51%	6.99E-3	4.62%
balance	4.52E-3	46.87%	6.24E-3	3.79%	7.10E-3	4.31%
all	-2.49E-3	51.31%	6.38E-3	2.11%	7.09E-3	4.14%

Na密度100%減少

	相関サンプリング法		導関数演算子サンプリング法		参照解	
	Δk	1σ	Δk	1σ	Δk	1σ
track length	-1.18E-2	19.63%	6.38E-3	2.44%	7.05E-3	4.44%
collision	-1.19E-2	23.47%	6.44E-3	2.16%	7.17E-3	3.84%
analog	-2.53E-2	31.32%	6.27E-3	4.86%	6.44E-3	9.70%
production	-7.15E-3	111.64%	6.91E-3	11.51%	7.26E-3	4.29%
balance	5.75E-3	37.31%	6.30E-3	3.79%	7.12E-3	3.97%
all	-2.14E-3	64.52%	6.45E-3	2.11%	7.22E-3	3.73%



もんじゅ内側燃料集合体組成
媒質温度 : 300K



もんじゅ外側燃料集合体組成
媒質温度 : 300K

ナトリウム密度減少の摂動領域
摂動幅 : -90%, -99%, -100%

図 3.2-1 ナトリウム密度減少時の計算体系

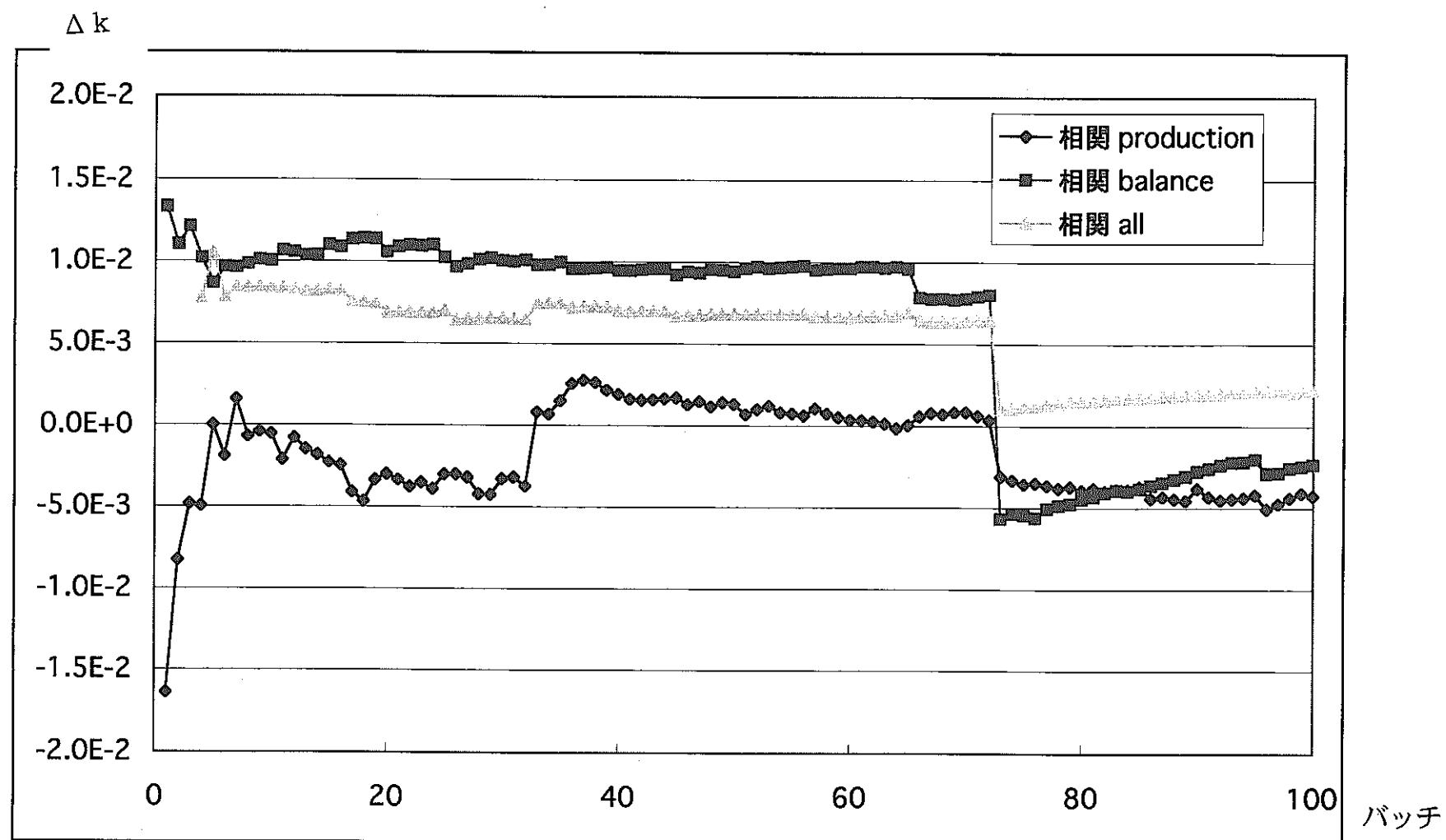


図 3.2-2a 相関サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況
(ナトリウム密度 90% 減少時)

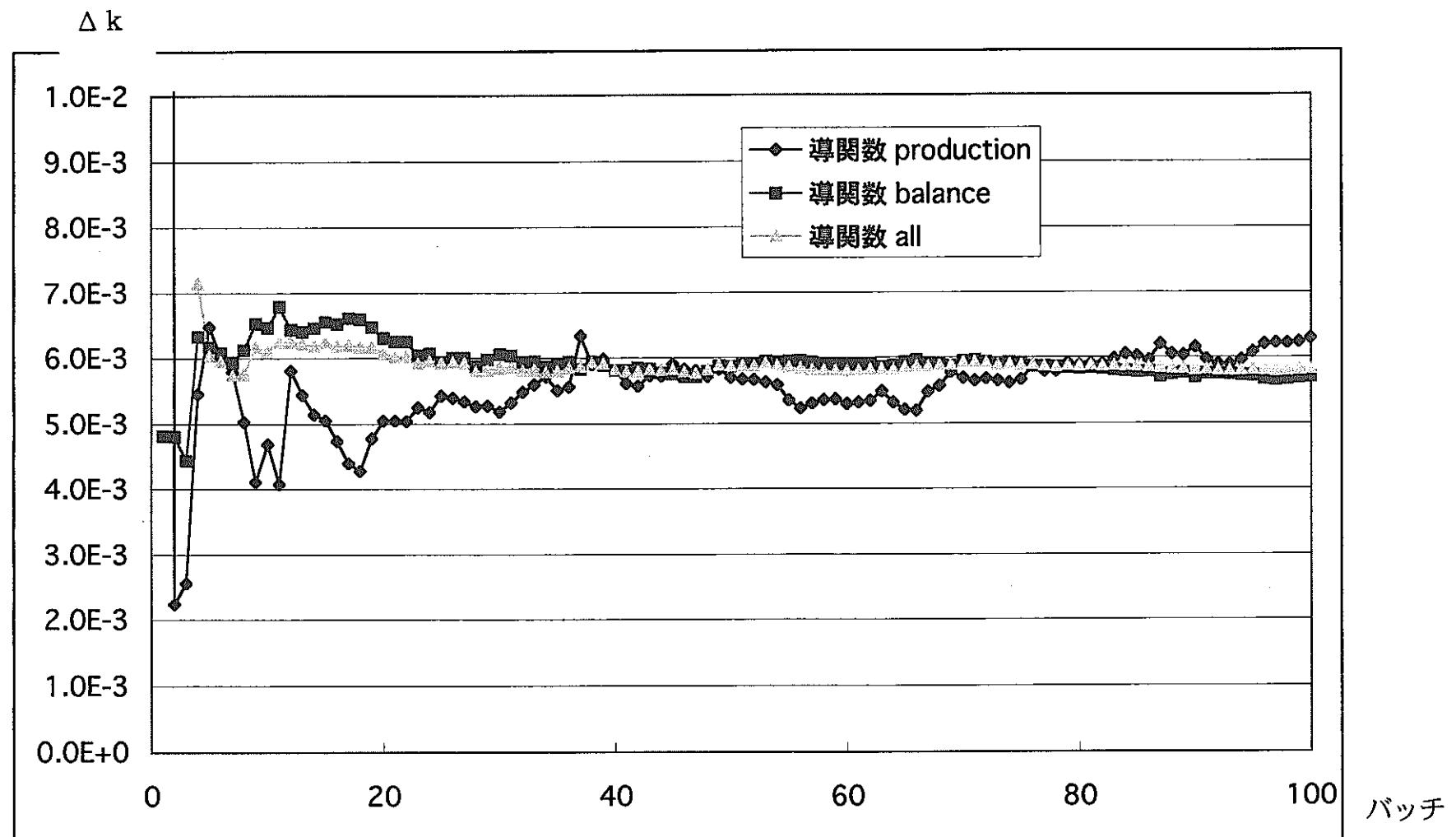


図 3.2-2b 導関数演算子サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況
(ナトリウム密度 90% 減少時)

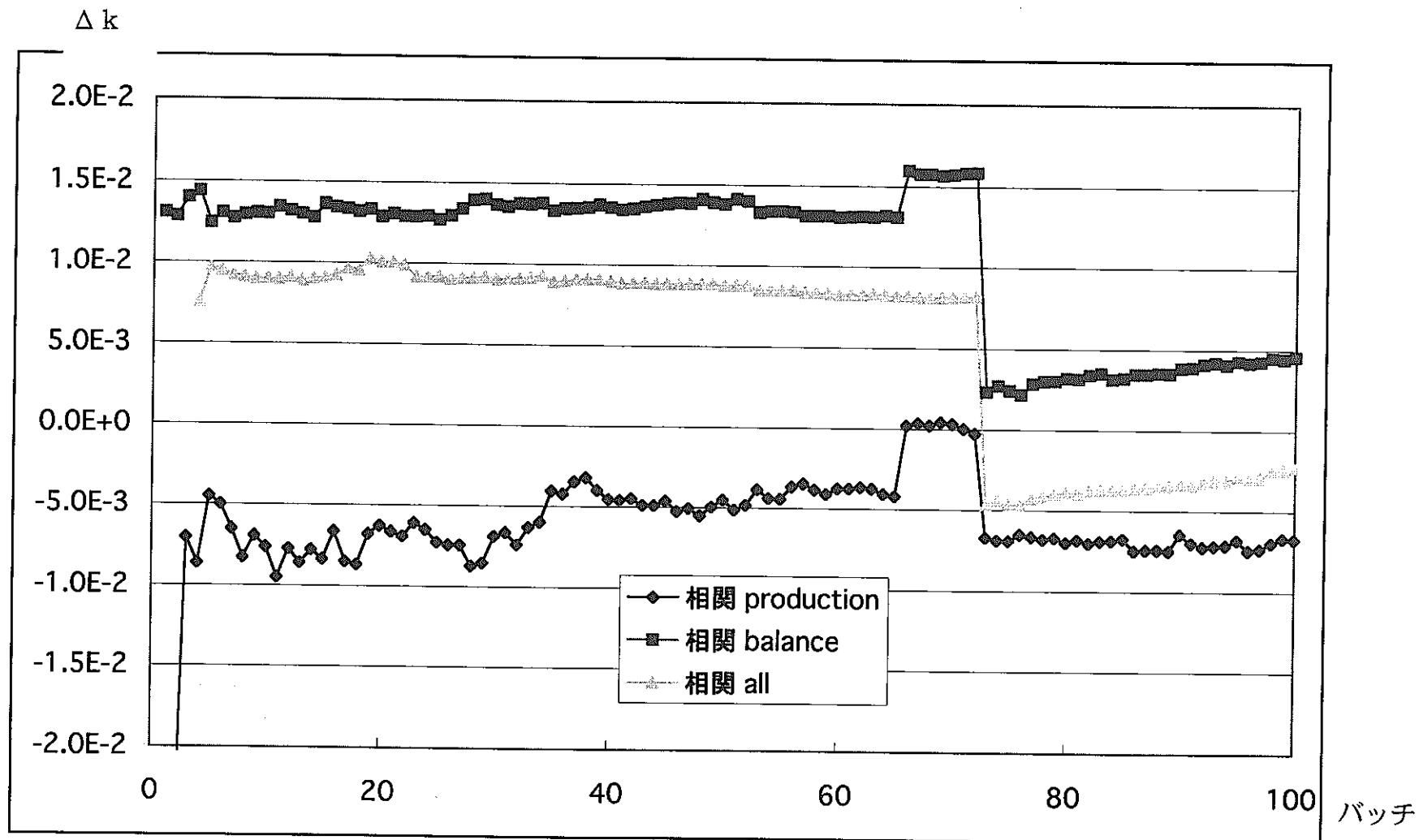


図 3.2-3a 相関サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況
(ナトリウム密度 99% 減少時)

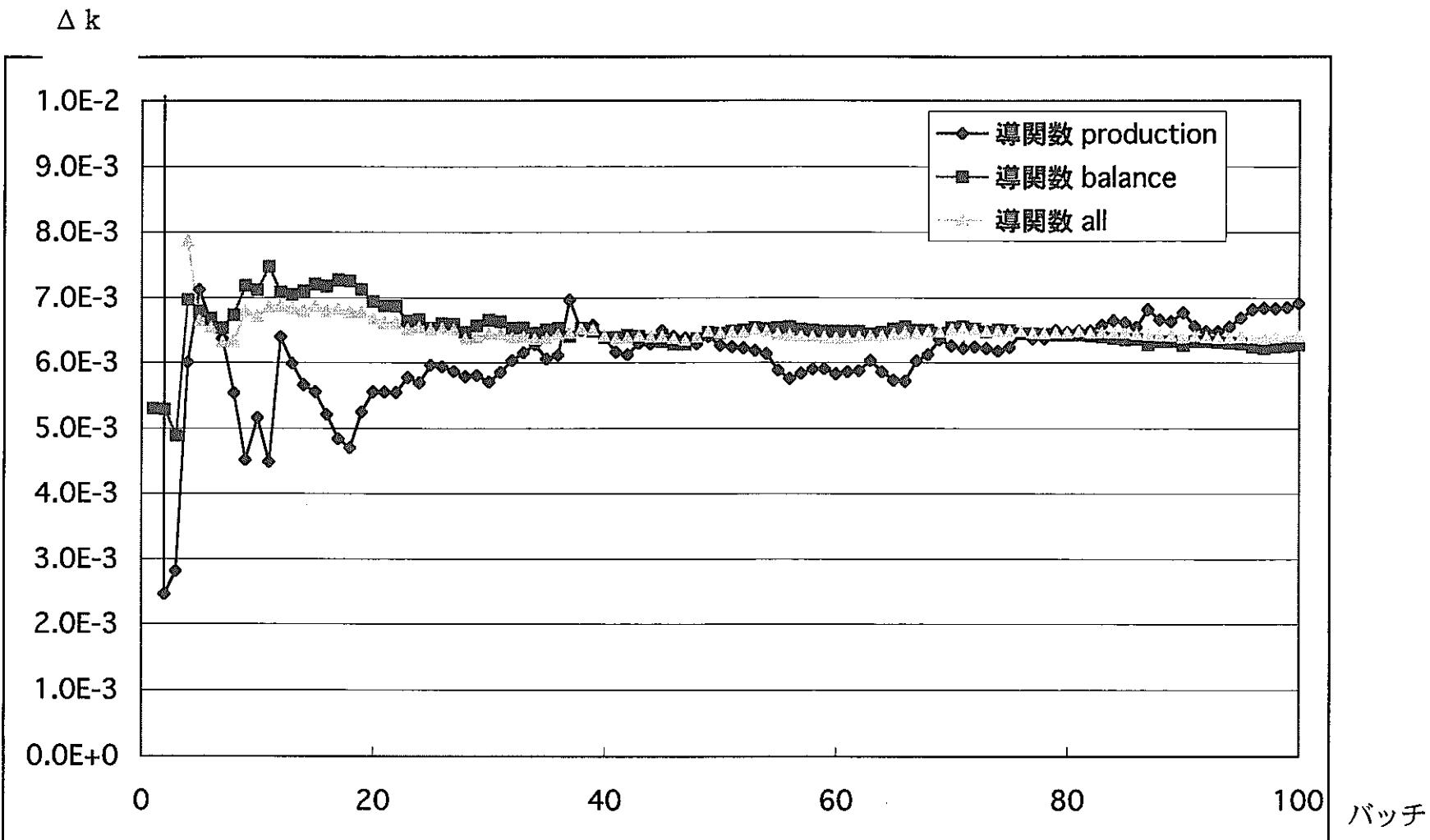


図 3.2-3b 導関数演算子サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況
(ナトリウム密度 99% 減少時)

Δk

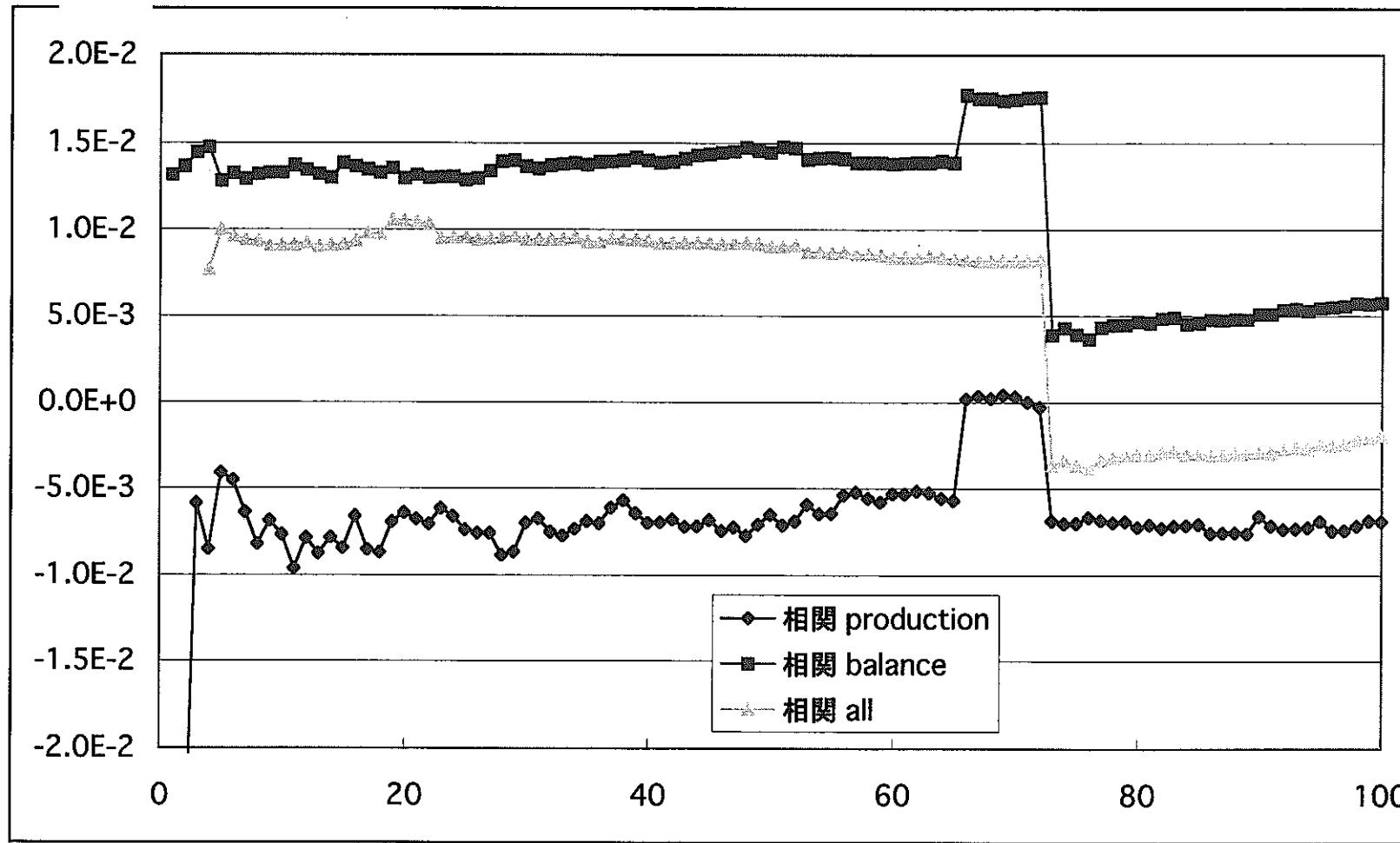


図 3.2-4a 相関サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況
(ナトリウム密度 100% 減少時)

パッチ

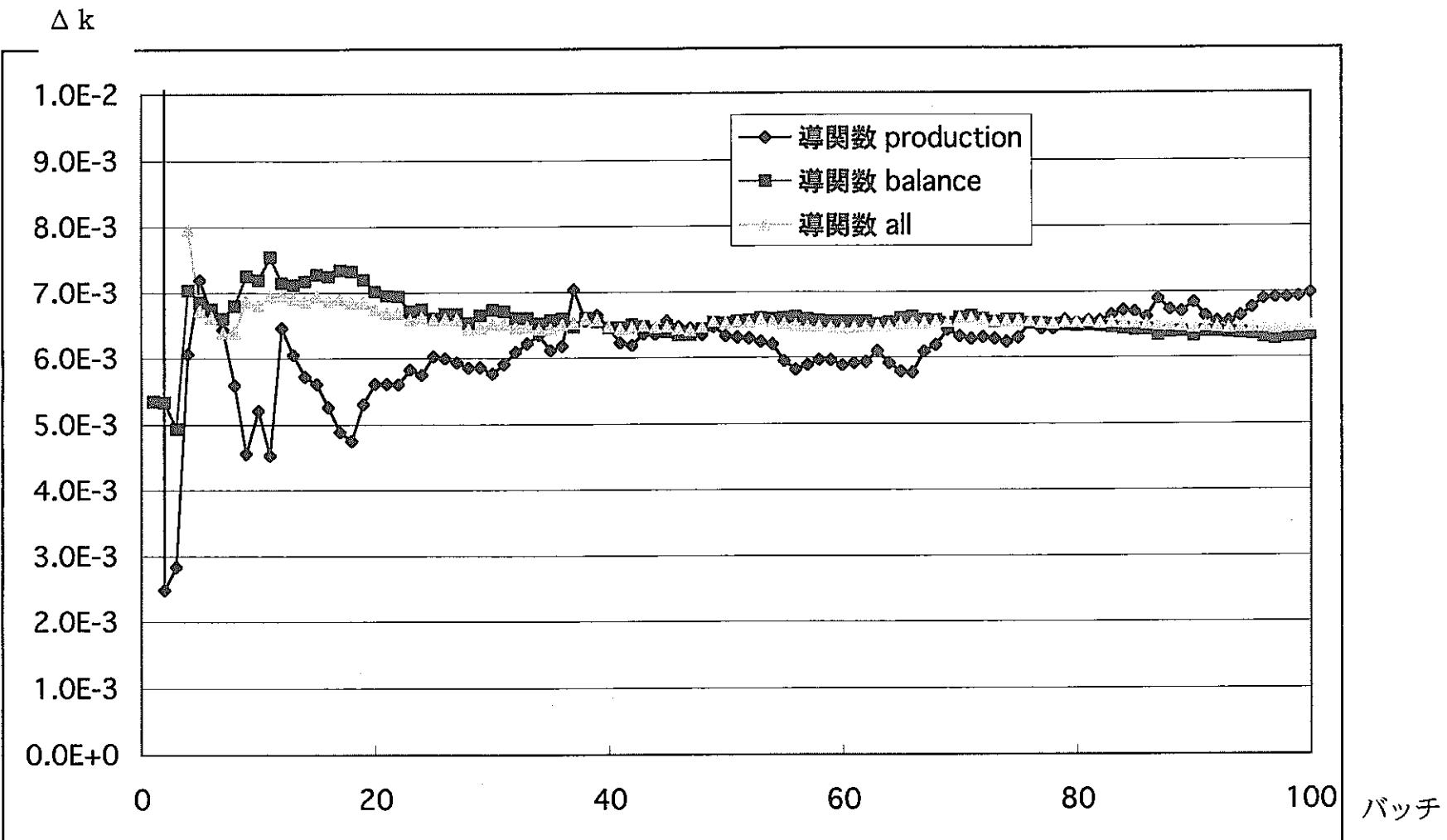


図 3.2-4b 導関数演算子サンプリング法で得られた固有値変化の収束状況
(ナトリウム密度 100%減少時)

3.3 プルトニウム密度増加の場合の計算結果

ここでは、2.4で示した随伴中性子束を考慮した手法の検証も、あわせて行っている。

計算に用いた体系は図3.3-1に示したものであり、先に示した図3.1-1と同様である。またプルトニウム密度の変化を加えた領域、変化させた核種の設定は3.1と同様である。摂動幅としては密度が10%増加、50%増加そして100%増加という3ケースについて計算を行った。計算ヒストリー数、参照解は3.1と同様に計算されている。ただし随伴中性子源分布を求めるためには、連続エネルギーモンテカルロコードではなく多群エネルギーモンテカルロコードを用いる必要があり、さらに随伴中性子源分布を連続エネルギーモンテカルロ計算への入力するために、図3.3-1に示した1区画内をx,yそれぞれの方向について等間隔に4分割することで1区画内に16の領域を作成し、各領域での随伴中性子源分布を求めた。この際に使用した多群定数は決定論的手法での計算コードCASUPを用いて作成したものを使用し、ヒストリー数は各バッチあたり20万ヒストリーの100バッチ計算(更に10バッチが捨てバッチ)の2000万ヒストリーで計算を行った。

表3.3-1には各ケースで得られた固有値の変化を参照解と比較している。また図3.3-2aから図3.3-2cには密度10%増加の場合、図3.3-3aから図3.3-3cには密度50%増加の場合、図3.3-4aから図3.3-4cには密度100%増加の場合の固有値及び固有値の変化の収束状況を示し、図3.3-5には摂動後の随伴中性子源分布を+50%及び+100%の2ケースについて示している。

表より、随伴中性子源分布を考慮していない、これまでの計算方法を用いた場合では、3.1節でも述べたように、摂動幅が大きくなつたところで相関サンプリング法と導関数演算子サンプリング法の間で評価値に違いが見られている。そして随伴中性子源分布を考慮に入れた計算を行つたところ予想に反してほとんど全て参照解からはずれる方向に結果が変化している。(+50%の場合の導関数演算子サンプリング法のproduction、+100%の場合の相関サンプリング法の結果以外がそのような傾向となっている)この傾向は、各ケースでの固有値変化の収束状況をみても明らかである。図3.3-5に示した摂動後の随伴中性子源分布を重みとすることで厳密摂動計算に近い結果を得ることができると考えたわけであるが、この重みとなる分布を見ると、当然ながら摂動によりPuが増加した中央の領域での重みが大きくなつてゐる。そのため摂動量を評価する際に、摂動している領域ほど大きな重みが乗じられることになり、評価値が大きくな

っていると考えられる。また、重みを導入したことにより、図 3.3-2a から 3.3-4c に示しているように収束性が悪くなっている。これについても振動の起こっている領域で大きな重みが乗じられていることから、とりわけ相関サンプリング法における各ヒストリーでの評価値がばらつきやすくなつたためであると考えられるが、収束した評価値が参照解から離れる傾向もみられることから、計算コードへの理論の導入におけるバグも含めて検討する必要があると思われる。

表3.3-1 プルトニウム密度増加時の固有値変化評価値

Pu密度10%増加

	相関サンプリング法		導関数演算子サンプリング法		参照解	
	Δk	1σ	Δk	1σ	Δk	1σ
track length	8.80E-3	0.18%	9.05E-3	0.19%	8.52E-3	3.47%
collision	8.80E-3	0.18%	9.05E-3	0.18%	8.61E-3	3.08%
analog	8.64E-3	0.30%	9.05E-3	0.30%	8.13E-3	6.65%
production	8.95E-3	0.50%	9.19E-3	0.50%	8.30E-3	3.31%
balance	8.75E-3	0.27%	8.99E-3	0.27%	8.61E-3	3.34%
all	8.82E-3	0.18%	9.05E-3	0.18%	8.38E-3	3.04%

Pu密度10%増加-exact-perturbation

	相関サンプリング法（厳密）		導関数演算子サンプリング法（厳密）	
	Δk	1σ	Δk	1σ
track length	9.63E-3	0.32%	9.30E-3	0.31%
collision	9.63E-3	0.32%	9.30E-3	0.31%
analog	9.02E-3	0.41%	9.34E-3	0.40%
production	9.38E-3	0.53%	9.10E-3	0.53%
balance	9.63E-3	0.48%	9.48E-3	0.48%
all	9.41E-3	0.32%	9.30E-3	0.30%

Pu密度50%増加

	相関サンプリング法		導関数演算子サンプリング法		参照解	
	Δk	1σ	Δk	1σ	Δk	1σ
track length	4.25E-2	0.18%	4.53E-2	0.18%	4.37E-2	0.69%
collision	4.25E-2	0.18%	4.53E-2	0.18%	4.37E-2	0.61%
analog	4.17E-2	0.31%	4.52E-2	0.29%	4.27E-2	1.26%
production	4.32E-2	0.51%	4.59E-2	0.50%	4.35E-2	0.65%
balance	4.22E-2	0.27%	4.50E-2	0.28%	4.36E-2	0.65%
all	4.26E-2	0.18%	4.53E-2	0.18%	4.35E-2	0.59%

Pu密度50%増加-exact-perturbation

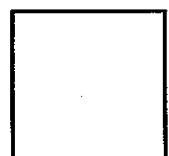
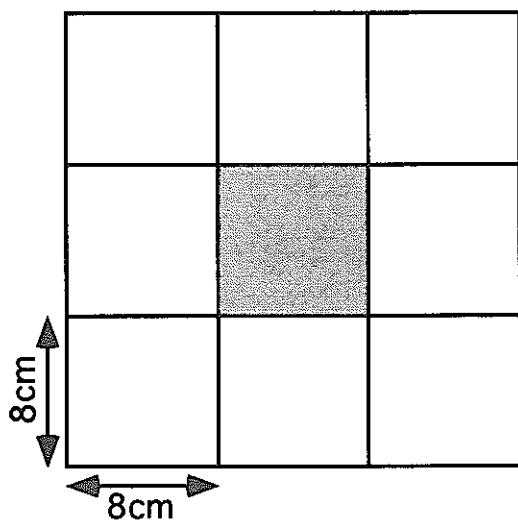
	相関サンプリング法（厳密）		導関数演算子サンプリング法（厳密）	
	Δk	1σ	Δk	1σ
track length	4.65E-2	0.32%	4.65E-2	0.31%
collision	4.65E-2	0.32%	4.65E-2	0.30%
analog	4.36E-2	0.42%	4.67E-2	0.40%
production	4.56E-2	0.54%	4.55E-2	0.53%
balance	4.64E-2	0.48%	4.74E-2	0.48%
all	4.54E-2	0.32%	4.65E-2	0.30%

Pu密度100%増加

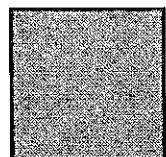
	相関サンプリング法		導関数演算子サンプリング法		参照解	
	Δk	1σ	Δk	1σ	Δk	1σ
track length	8.15E-2	0.19%	9.06E-2	0.18%	8.46E-2	0.36%
collision	8.14E-2	0.19%	9.05E-2	0.18%	8.43E-2	0.32%
analog	8.00E-2	0.32%	9.05E-2	0.29%	8.36E-2	0.65%
production	8.31E-2	0.56%	9.19E-2	0.50%	8.41E-2	0.34%
balance	8.10E-2	0.28%	8.99E-2	0.29%	8.43E-2	0.34%
all	8.16E-2	0.19%	9.05E-2	0.17%	8.42E-2	0.31%

Pu密度100%増加-exact-perturbation

	相関サンプリング法（厳密）		導関数演算子サンプリング法（厳密）	
	Δk	1σ	Δk	1σ
track length	1.02E-1	0.54%	9.80E-2	0.47%
collision	1.02E-1	0.55%	9.80E-2	0.47%
analog	8.40E-2	0.71%	9.85E-2	0.57%
production	9.96E-2	0.60%	9.62E-2	0.54%
balance	3.79E-2	2.21%	1.08E-1	1.26%
all	7.44E-2	0.45%	9.80E-2	0.46%



もんじゅ内側燃料集合体組成
媒質温度：300K



もんじゅ外側燃料集合体組成
媒質温度：300K

プルトニウム密度増加の摂動領域
摂動幅： $+10\%$, $+50\%$, $+100\%$

図 3.3-1 プルトニウム密度増加時の計算体系

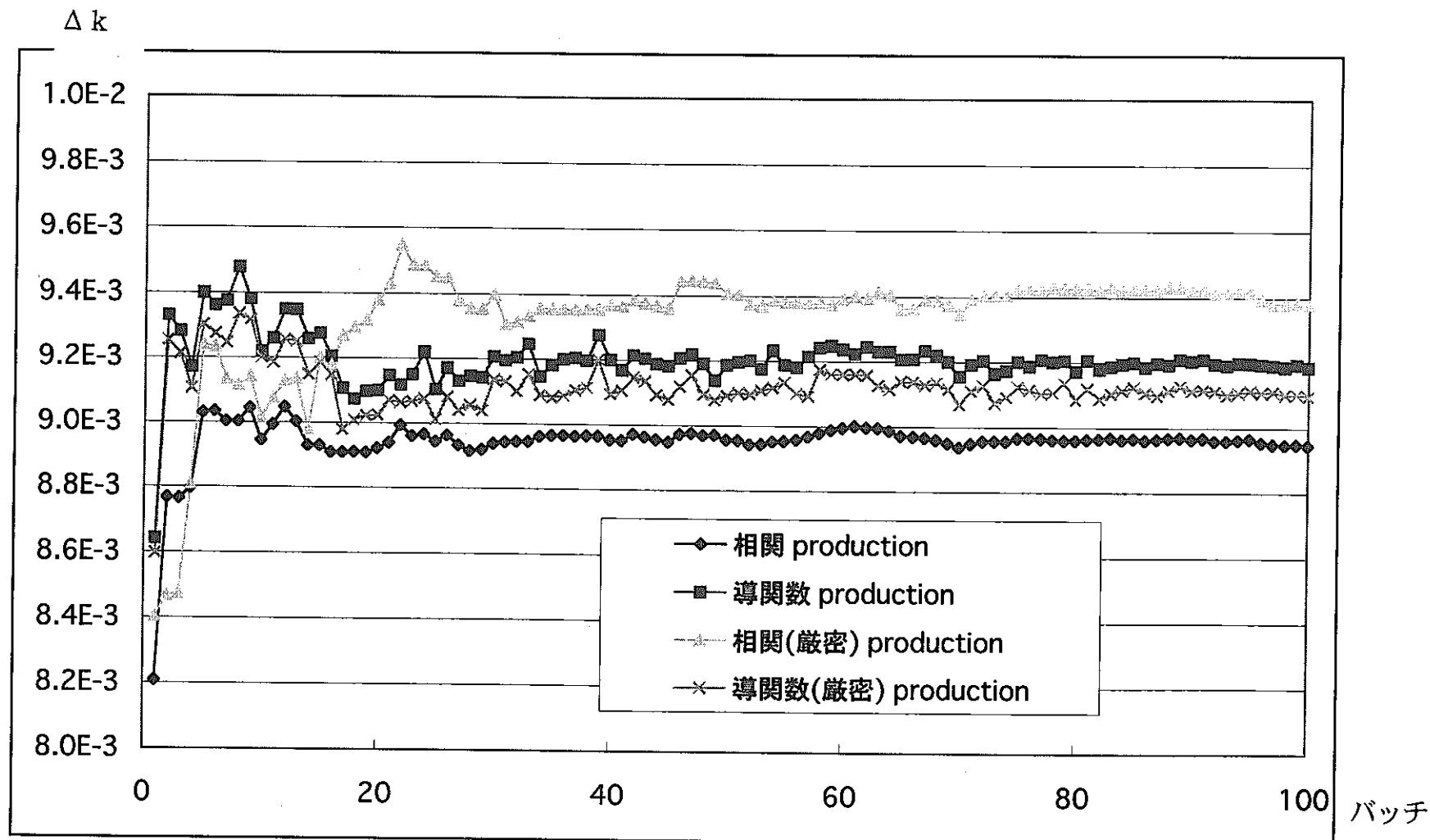


図 3.3-2a production estimator で得られた固有値変化の収束状況
(プルトニウム密度 10%増加時)

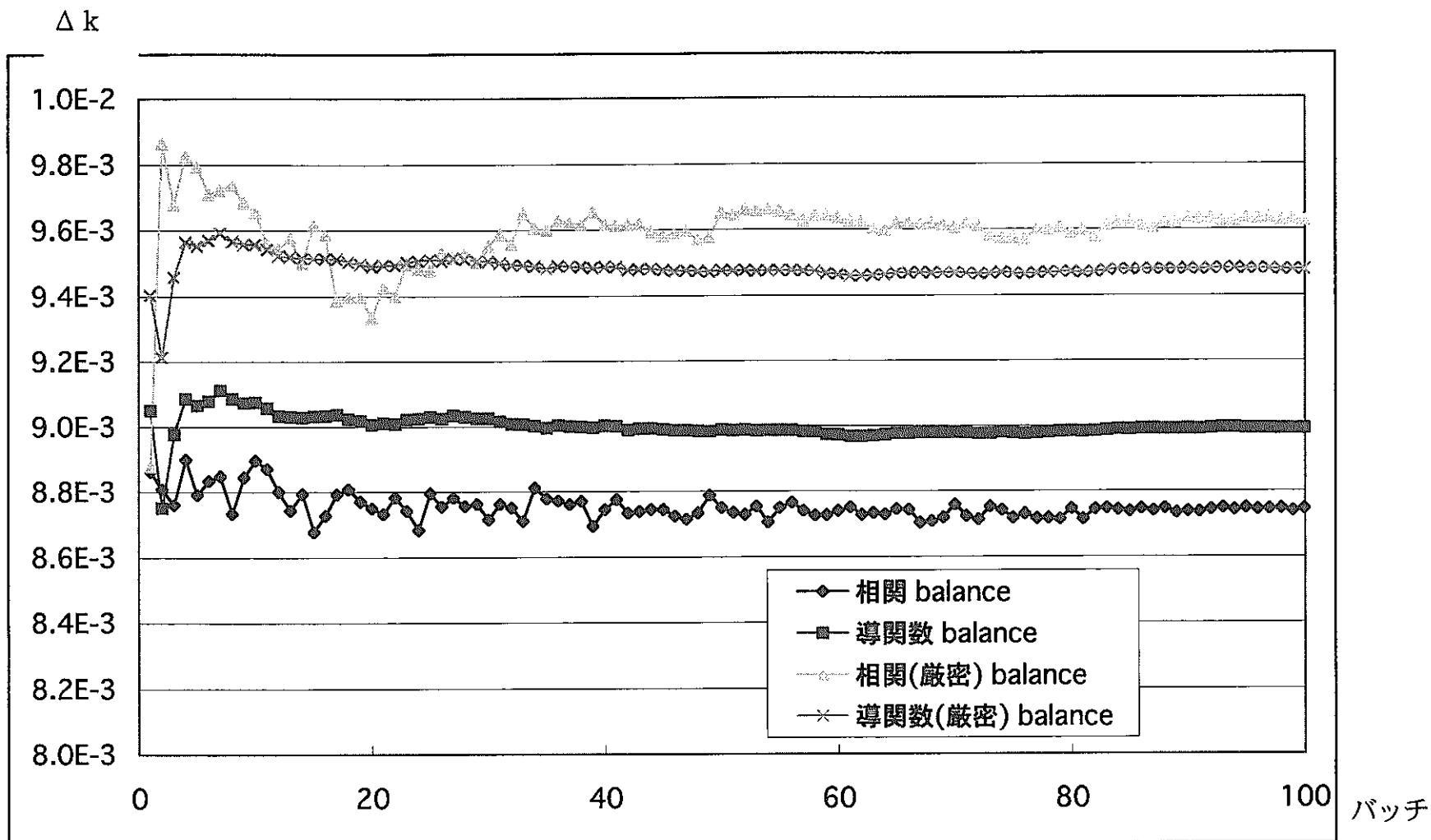


図 3.3-2b balance estimator で得られた固有値変化の収束状況
(プルトニウム密度 10%増加時)

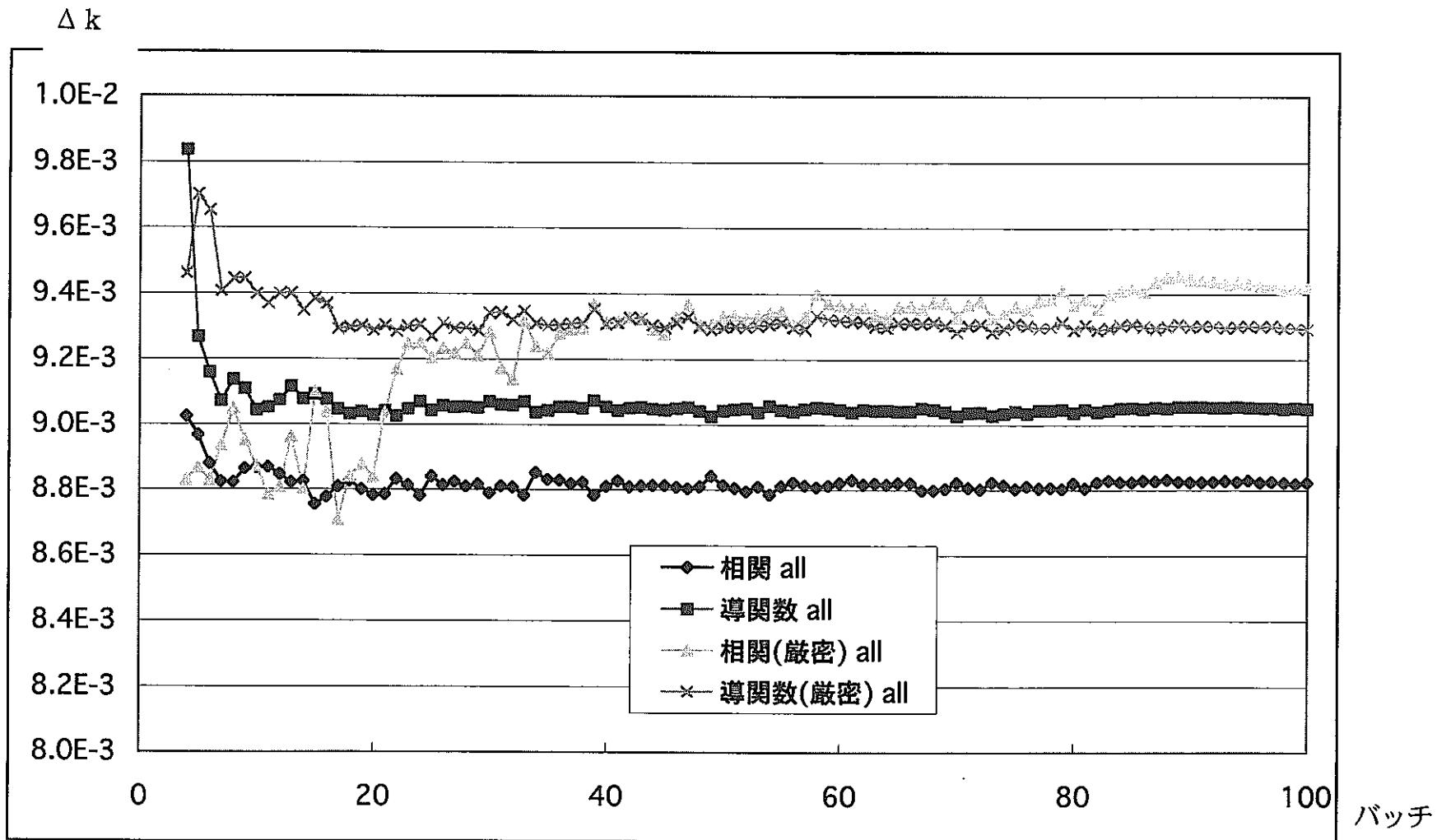


図 3.3-2c all estimator で得られた固有値変化の収束状況
(プルトニウム密度 10%増加時)

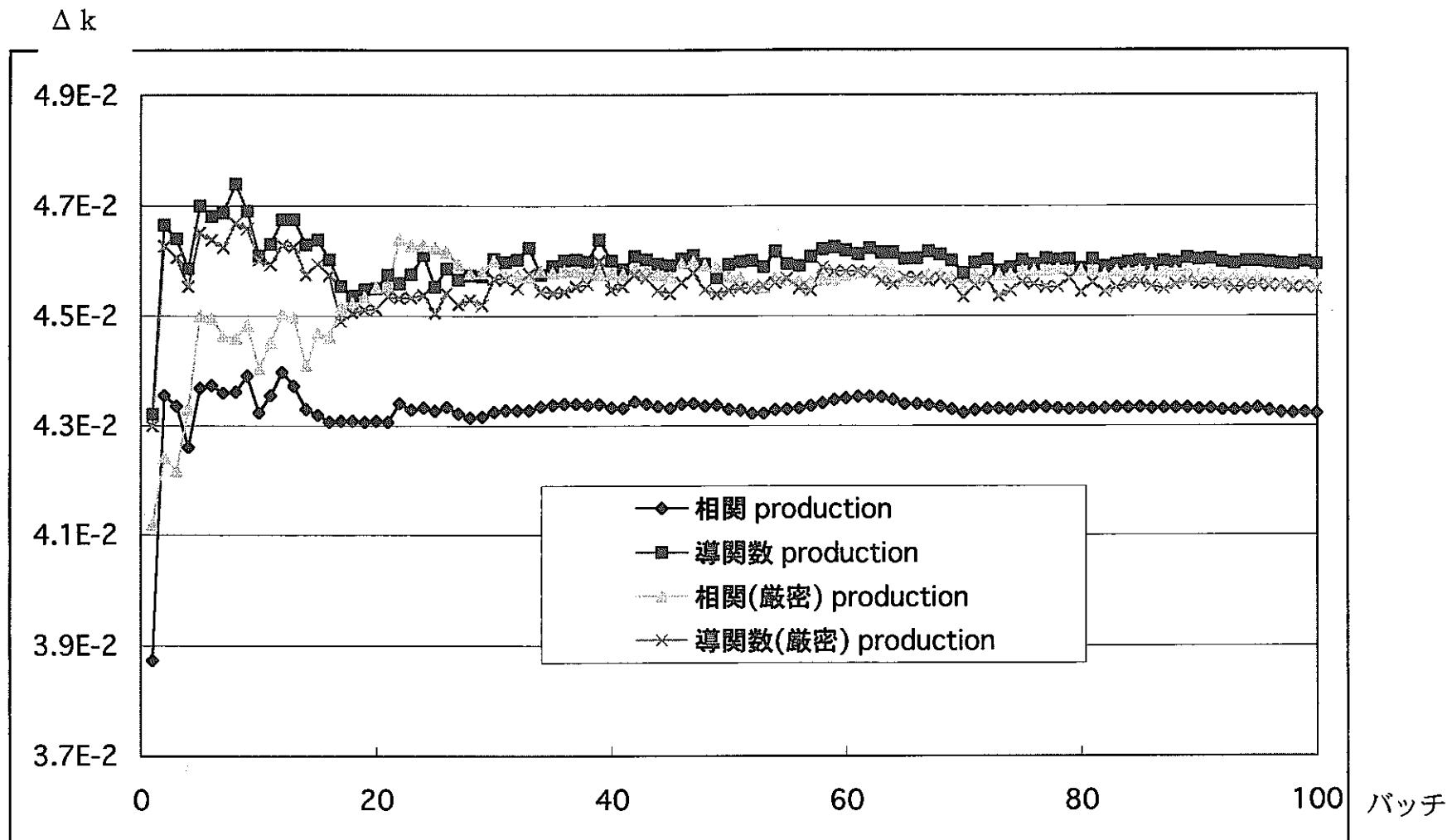


図 3.3-3a production estimator で得られた固有値変化の収束状況
(プルトニウム密度 50% 増加時)

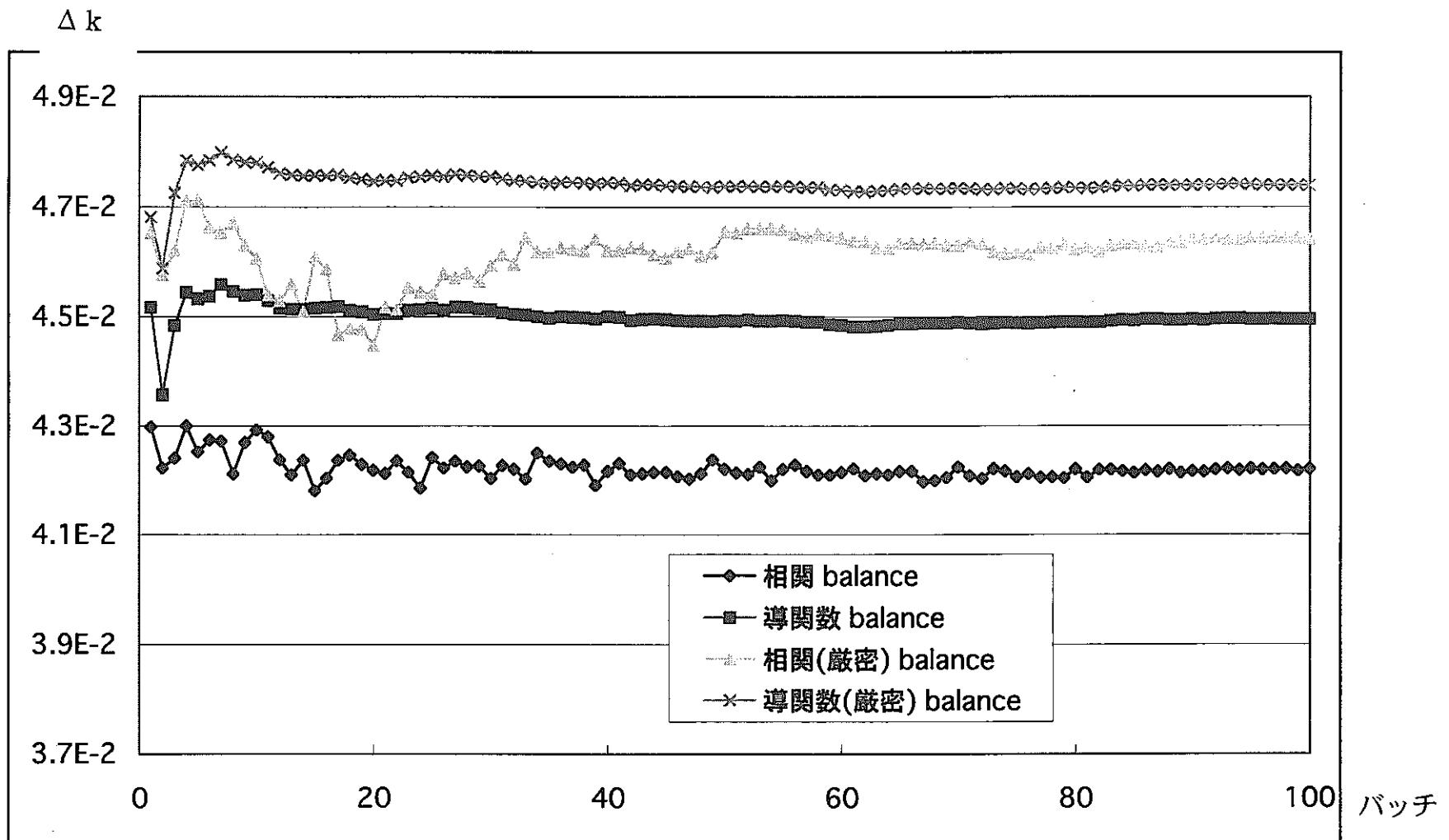


図 3.3-3b balance estimator で得られた固有値変化の収束状況
(プルトニウム密度 50%増加時)

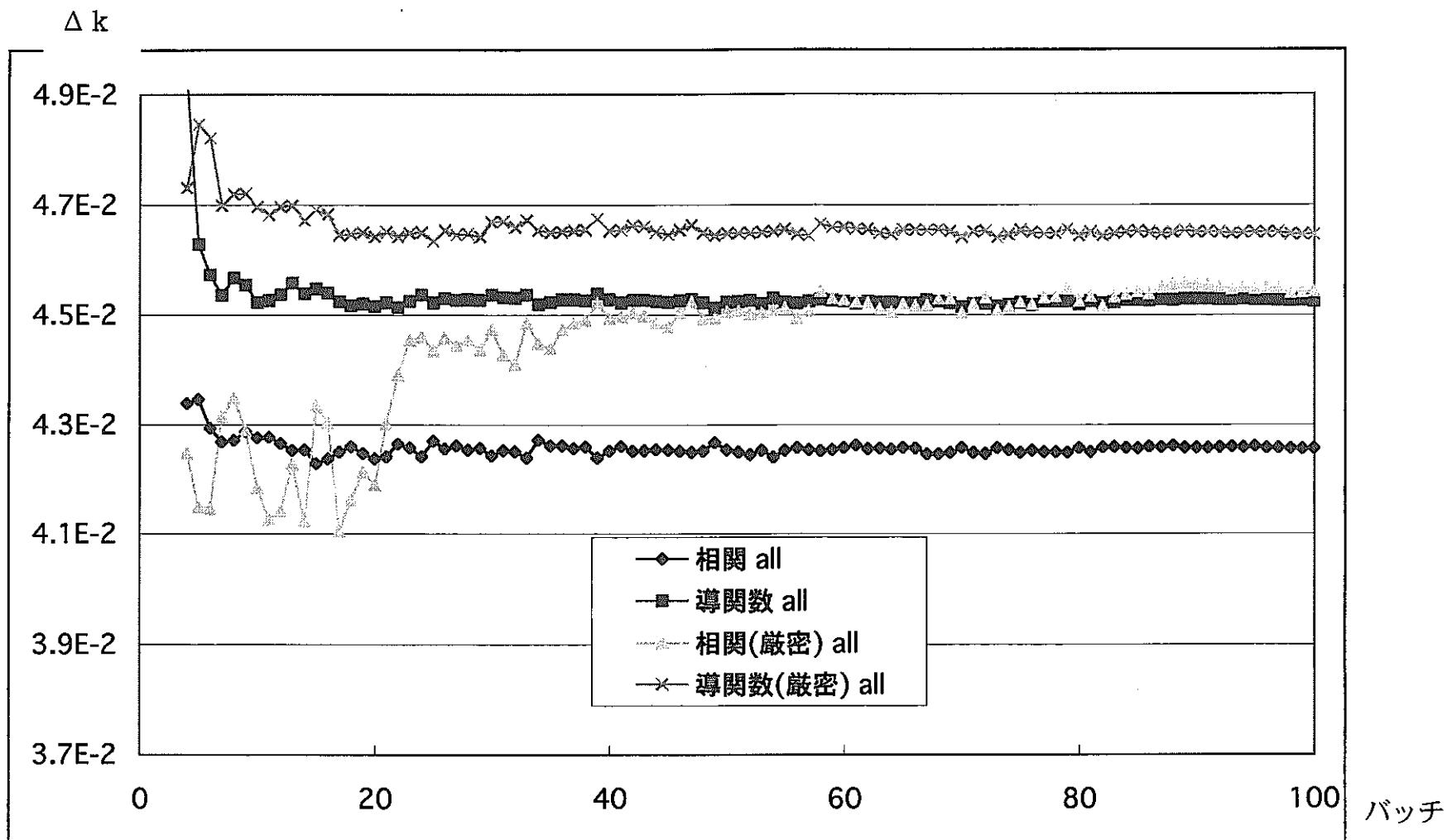


図 3.3-3c all estimator で得られた固有値変化の収束状況
(プルトニウム密度 50%増加時)

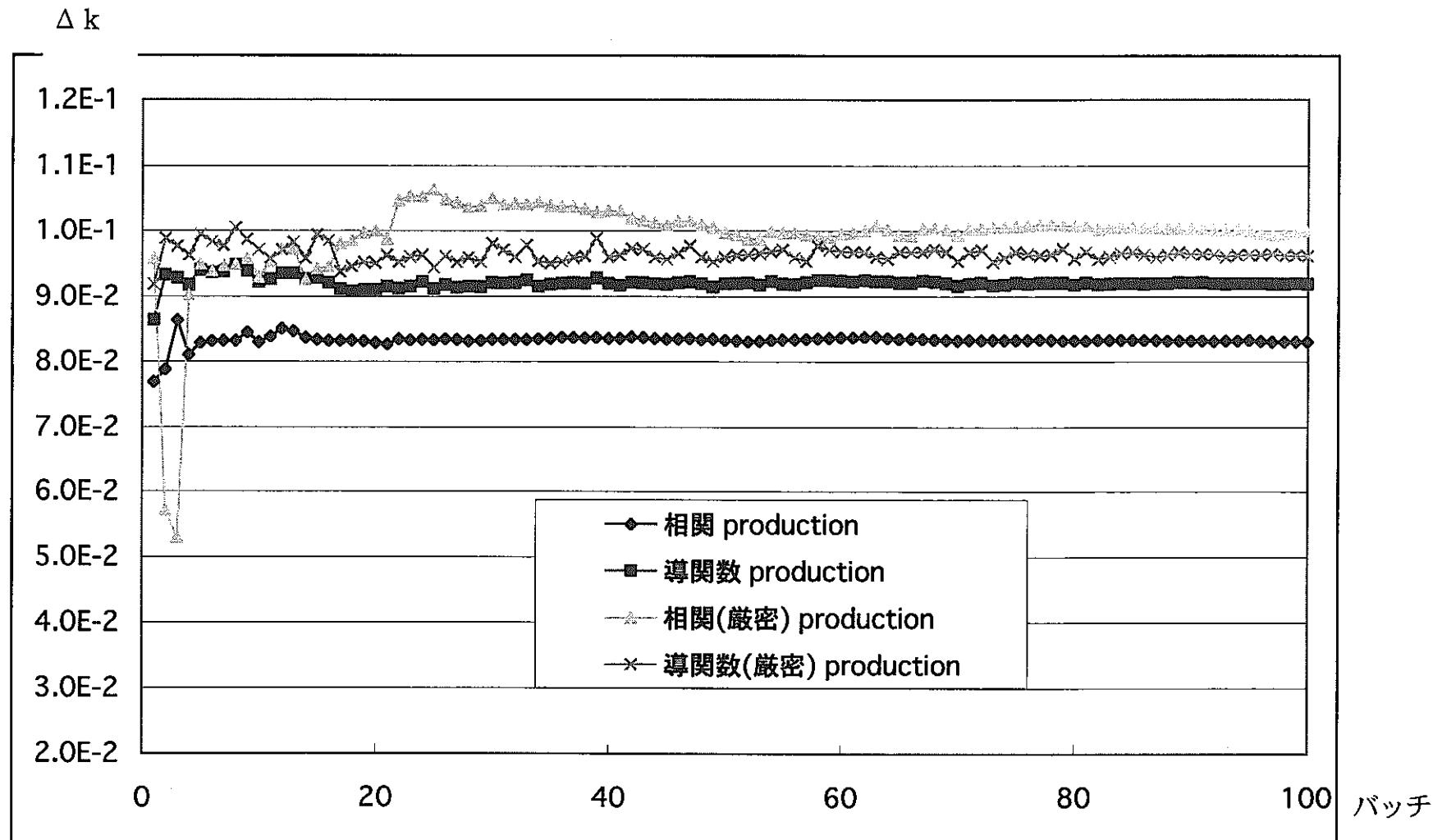


図 3.3-4a production estimator で得られた固有値変化の収束状況
(プルトニウム密度 100%増加時)

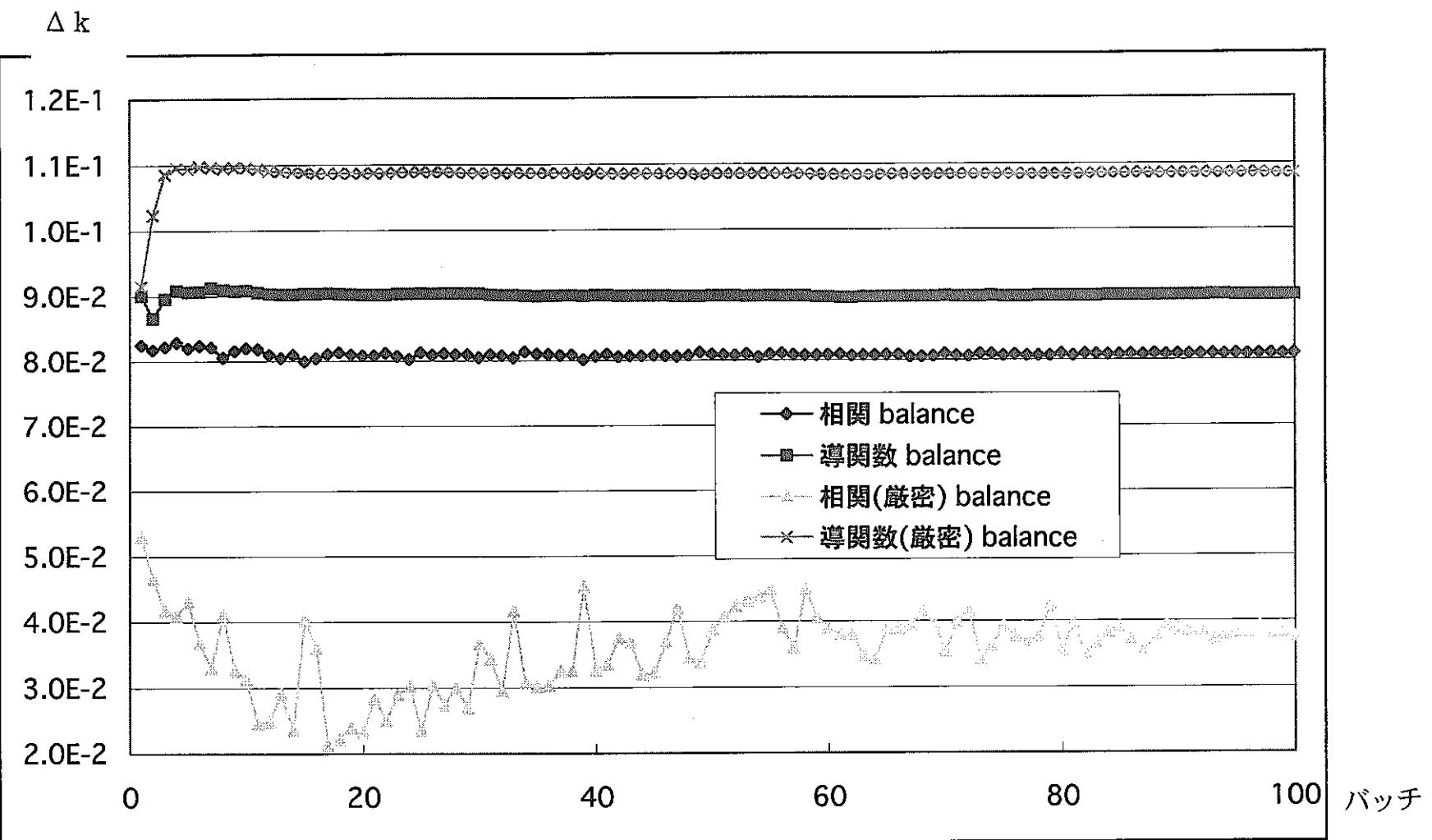


図 3.3-4b balance estimator で得られた固有値変化の収束状況
(プルトニウム密度 100%増加時)

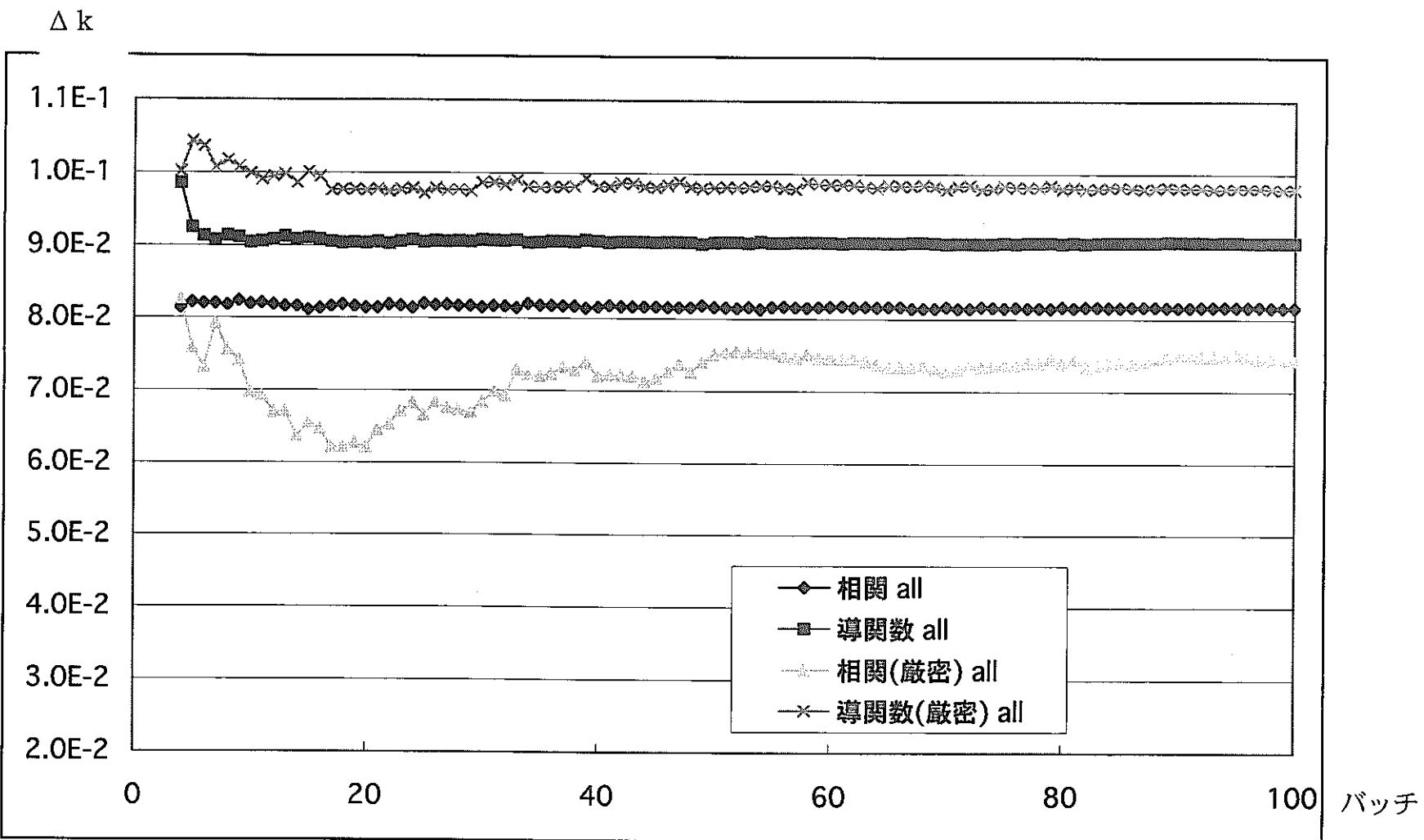
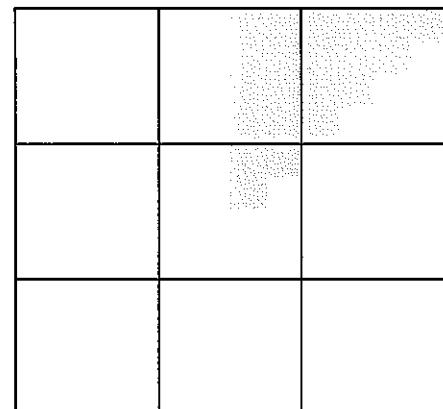


図 3.3-4c all estimator で得られた固有値変化の収束状況
(プルトニウム密度 100%増加時)

Pu密度+100%後の分布

0.9848	0.9835	0.9842	0.9790	0.9783	0.9828
0.9901	0.9882	0.9845	0.9828	0.9780	
1.0003	0.9965	0.9878	0.9863		
1.0237	1.0172	0.9965			
1.0731	1.0557				
1.0930					



Pu密度+50%後の分布

0.9939	0.9920	0.9890	0.9875	0.9826	0.9791
0.9929	0.9945	0.9902	0.9881	0.9844	
0.9987	0.9989	0.9926	0.9893		
1.0159	1.0108	0.9967			
1.0489	1.0373				
1.0602					

図3.3-5 摂動後の隨伴中性子源分布

(体系の対称性から右上の図中、網のかかった部分について分布を示している)

3.4 ボロン密度減少の場合の計算結果

ここでは、2.5で示した2次展開項までを考慮した手法の検証を行っている。計算に用いた体系は図3.4-1に示したものであり、先に示した図3.1-1と同様であるが、中央の1区画が制御棒集合体になっている。この中央の1区画においてボロン10の密度が10%減少、30%減少そして50%減少という3ケースについて計算を行った。計算ヒストリー数は1バッチあたり10000ヒストリーで10バッチ（さらに2バッチが捨てバッチ）という10万ヒストリーと少ないが、検証としては十分な大きさである。また参照解は3.1と同様に計算されている。

表3.4-1に各計算手法で得られた固有値変化を示す。2次までの展開項をあつかった場合については collision estimator（の track-length estimator と balance estimator）と analog estimator（の track-length estimator と balance estimator）についてのみ、導入が正しく行えたと考えられるためそれらの結果のみを示している。

表より、導関数演算子サンプリング法で1次の展開項までしか扱っていない場合にはボロン10密度が30%以上変化した場合に参照解からの有意な差異が認められるが、2次の展開項までを考慮することで、かなり改善されていることがわかる。また、ボロン10密度が10%減少した場合には1次の展開項までを考慮した結果と、2次の展開項までを考慮した結果の間に、少し大きな差が見られているが、結果に対する偏差を考慮すると、この差はあまり意味がないものである。

以上から、collision estimator 及び analog estimator のみであるが導関数演算子サンプリング法において2次の展開項までを考慮することにより、計算精度が大きく改善することが可能であることがわかった。

表3.4-1 ポロン10密度減少時の固有値変化評価値

B10密度10%減少

	相関サンプリング法		導関数演算子サンプリング法		参照解	
	Δk	1σ	Δk	1σ	Δk	1σ
track length	2.38E-2	13.60%	2.25E-2	5.50%	2.05E-2	6.86%
collision	2.35E-2	12.79%	2.33E-2	5.27%	1.93E-2	9.11%
analog	2.44E-2	15.09%	2.40E-2	4.39%	1.97E-2	12.62%
production	2.47E-2	13.26%	2.34E-2	8.69%	1.91E-2	8.21%
balance	2.63E-2	15.73%	2.34E-2	4.42%	2.16E-2	6.44%
all	2.55E-2	6.11%	2.15E-2	1.52%	2.08E-2	6.19%

B10密度10%減少- 2次展開項まで考慮

	導関数演算子サンプリング法（2次展開項まで考慮）	
	Δk	1σ
collision	2.44E-2	6.27%
analog	2.57E-2	4.70%

B10密度30%減少

	相関サンプリング法		導関数演算子サンプリング法		参照解	
	Δk	1σ	Δk	1σ	Δk	1σ
track length	6.77E-2	7.67%	5.73E-2	2.23%	6.57E-2	1.82%
collision	6.74E-2	7.41%	5.79E-2	2.07%	6.58E-2	2.31%
analog	6.91E-2	8.53%	5.86E-2	1.83%	6.44E-2	3.76%
production	6.82E-2	7.42%	5.90E-2	3.60%	6.66E-2	2.16%
balance	7.48E-2	5.76%	5.83E-2	2.01%	6.60E-2	1.83%
all	7.66E-2	3.19%	5.64E-2	1.04%	6.58E-2	1.60%

B10密度30%減少- 2次展開項まで考慮

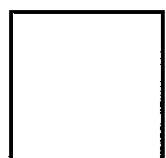
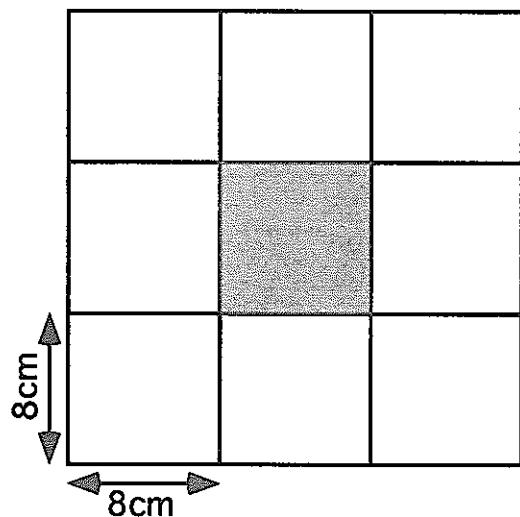
	導関数演算子サンプリング法（2次展開項まで考慮）	
	Δk	1σ
collision	6.68E-2	2.27%
analog	7.14E-2	2.03%

B10密度50%減少

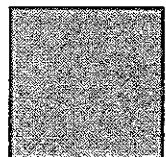
	相関サンプリング法		導関数演算子サンプリング法		参照解	
	Δk	1σ	Δk	1σ	Δk	1σ
track length	1.23E-1	6.96%	9.21E-2	1.46%	1.26E-1	1.06%
collision	1.23E-1	6.60%	9.25E-2	1.31%	1.24E-1	1.17%
analog	1.26E-1	8.15%	9.34E-2	1.27%	1.23E-1	1.87%
production	1.25E-1	6.88%	9.45E-2	2.36%	1.26E-1	1.03%
balance	1.31E-1	6.02%	9.27E-2	1.55%	1.27E-1	1.07%
all	1.29E-1	4.03%	9.21E-2	0.92%	1.26E-1	0.90%

B10密度50%減少- 2次展開項まで考慮

	導関数演算子サンプリング法（2次展開項まで考慮）	
	Δk	1σ
collision	1.16E-1	1.35%
analog	1.29E-1	1.33%



もんじゅ内側燃料集合体組成
媒質温度 : 300K



もんじゅ後備炉停止棒集合体組成
媒質温度 : 300K

ボロン密度減少の擾動領域
擾動幅 : -10%, -30%, -50%

図 3.4-1 ボロン10密度減少時の計算体系

第4章　まとめ

モンテカルロ法で摂動を取り扱う手法である、相関サンプリング法と導関数演算子サンプリング法を導入した連続エネルギーモンテカルロコードを用いて、これまで取り扱うことが無かった大きな摂動幅、つまり密度摂動で 90%から 100%も減少するような場合についての検証計算を行った。その結果、反応度が 1%以内であれば相関サンプリング法と導関数演算子サンプリング法の両手法とも概ね妥当な評価値を求めることができることがわかった。しかしながら反応度が数% Δk 以上となる摂動においては、現在モンテカルロコードに導入している 1 次までの微分項を考慮した導関数演算子サンプリング法では、正確に扱えない場合が存在することもわかった。これについては 2 次までの微分項を考慮することで改善することができる。

また相関サンプリング法および導関数演算子サンプリング法について検討を加えた結果、これらの手法では反応度を評価する上で、通常必要となる随伴中性子束についての評価や、随伴中性子束のエネルギーや空間での分布の考慮がなされておらず、摂動理論とは言いがたい面がある。そこで、随伴中性子束が考慮された摂動を取り扱う手法について検討し、その理論的考察のみならず数値計算を行い検証を行った。新しい手法について検証した結果、理論的には厳密摂動理論に基づくことが示されたが数値計算結果は、これまでの相関サンプリング法や導関数演算子サンプリング法に比べて、少しではあるがむしろ悪くなつた。これについては計算コードへの理論の導入におけるバグも考えられるが、今後に課題を残す事となった。

参考文献

- 1) JAERI-Data/Code 94-007
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.
- 2) T. J. Hoffman, L. M. Petrie, and N. F. Landers,
A Monte Carlo Perturbation Source Method for Reactivity Calculations,
Nuclear Science and Engineering, 66, pp.60-66 (1978).
- 3) H. Rief,
Generalized Monte Carlo Perturbation Algorithms for Correlated Sampling and a Second-Order Taylor Series Approach,
Ann. nucl. Energy, Vol. 11, No. 9, pp.455-476 (1984).

第3部

高速炉心の中性子スペクトルの誤差評価と
計算精度向上策の検討

目 次

第1章 はじめに	144
第2章 unfolding法の改良に関する理論	144
第3章 断面積調整法の改良に関する理論	147
第4章 提言	149
参考文献	149
付録 中性子束に対する感度係数	150

図リスト

図1 unfolding法と断面積調整法の比較

第1章 はじめに

高速炉における照射試験では、従来高速中性子フルーエンスや原子はじき出し損傷量等の積分量で中性子照射量を評価しているが、これらを精度良く求める上では中性子スペクトルの誤差評価が重要である。

常陽では、放射化箔等の積分データを用いて、中性子束・スペクトル及び他の積分量の推定をドジメトリーデータ解析用コードNEUPACを用いて実施している。NEUPACで用いられているJ₁型unfolding法は、中沢氏により開発された理論であり(1)(2)、反応率データの実験値が与えられた場合に、中性子束・スペクトル及び他の積分量の誤差(分散)を最小にする方法である。(図1参照)

一方、高速炉の核特性の精度向上のため、日本では断面積調整に基づく方法が広く用いられており、その成果も数多く発表されている。断面積調整によっても、中性子スペクトルの精度向上が期待できる。NEUPACのunfolding法と断面積調整法で得た中性子スペクトルは、どちらが理論的に妥当なものであり、数値的にもより適用性があるかについて検討する必要がある。本報告書では、NEUPACの方法の改良案を2章に示し、3章では中性子スペクトルを考えた断面積調整法の理論を示す。3章ではこの結果をふまえ、今後の研究の進め方について議論する。

第2章 unfolding法の改良に関する理論

まず、図1に示すように、unfolding法では汎関数J₁の誤差

$$\Delta J_1 = \int \left\{ W(u) - \sum_i C_i \sigma_i(u) \right\} \Delta \phi_0(u) + \sum_i C_i \left\{ \Delta R_i - \int \Delta \sigma_i(u) \phi_0(u) du \right\} \quad (1)$$

の2乗を最小にするため、

$$\frac{d(\Delta J_1)^2}{dC_i} = 0 \quad (2)$$

としてC_iを定めるが、 $(\Delta J_1)^2$ に対する理論式で、 $\Delta \sigma_i \Delta \phi_0$ の項を無視している。

これは、断面積誤差が生じても中性子スペクトルへの影響がないという仮定であり、現実的には成立しない仮定である。

断面積の中性子スペクトルの効果も考慮するには、中性子スペクトルの誤差を計算誤差(例えば、メッシュ、輸送効果に基づく誤差)と断面積誤差に分解すればよい。

$$\Delta \phi_0(u) = \Delta \phi_\sigma(u) + \Delta \phi_c(u) \quad (3)$$

$\Delta \phi_\sigma(u)$: 断面積によるスペクトル誤差

$\Delta \phi_c(u)$: 計算誤差

さらに、

$$\Delta \phi_\sigma(u) = G \Delta \sigma \quad (4)$$

G : 断面積誤差によるスペクトル感度

(3)式を用いると、(1)式は以下のように変形される。

$$\Delta J_1^* = \int \left\{ W(u) - \sum_i C_i \sigma_i(u) \right\} \Delta \phi_C(u) du + \int \left\{ W(u) - \sum_i C_i \sigma_i(u) \right\} G \Delta \sigma du + \sum_i C_i \left\{ \Delta R_i - \int \Delta \sigma_i(u) \phi_0 du \right\} \quad (5)$$

$$= \int \left\{ W(u) - \sum_i C_i \sigma_i(u) \right\} \Delta \phi_C(u) du + \sum_i C_i \Delta R_i + \int \left[W(u)G - \sum_i C_i \left\{ \sigma_i(u)G + \phi_0 \right\} \right] \Delta \sigma du \quad (6)$$

いま、 $(\sigma_i \phi_0)$ の断面積誤差 $\Delta \sigma$ による感度を G_R とすると、

$$G_R = d(\sigma_i \phi_0) / d\sigma = \sigma_i G + \phi_0 \quad (7)$$

となるので、(6)式は、

$$\Delta J_1^* = \int \left\{ W(u) - \sum_i C_i \sigma_i(u) \right\} \Delta \phi_C(u) du + \sum_i C_i \Delta R_i + \int \left[W(u)G - \sum_i C_i G_R \right] \Delta \sigma du \quad (8)$$

$(\Delta J_1^*)^2$ を求める際、 $\Delta \phi_C$ （計算法の誤差）と ΔR_i （実験誤差）と $\Delta \sigma$ （断面積誤差）には相関がないと考えてよい。

$$\begin{aligned} \overline{(\Delta J_1^*)^2} &= \int du_1 \int du_2 \left\{ W(u_1) - \sum_i C_i \sigma_i(u_1) \right\} \Delta \phi_C(u_1) \times \left\{ W(u_2) - \sum_j C_j \sigma_j(u_2) \right\} \Delta \phi_C(u_2) \\ &\quad + \sum_{i,j} C_i C_j \Delta R_i \Delta R_j + \int du_1 \int du_2 \left\{ W(u_1)G - \sum_i C_i G_R \right\} \Delta \sigma_i(u_1) \times \left\{ W(u_2)G - \sum_j C_j G_R \right\} \Delta \sigma_j(u_2) \end{aligned} \quad (9)$$

$(\Delta J_1^*)^2$ の C_i に関する微分をとる。

$$\begin{aligned} \frac{d \overline{(\Delta J_1^*)^2}}{d C_i} &= -2 \cdot \int du_1 \int du_2 \left\{ W(u_1) - \sum_j C_j \sigma_j(u_1) \right\} \times \sigma_i(u_2) \overline{\Delta \phi_C(u_1) \Delta \phi_C(u_2)} + 2 \sum_j C_j \overline{\Delta R_i \Delta R_j} \\ &\quad - 2 \int du_1 \int du_2 \left\{ W(u_1)G - \sum_j C_j G_R \right\} G_R \overline{\Delta \sigma_i(u_1) \Delta \sigma_j(u_2)} \end{aligned} \quad (10)$$

(10)式を0と置くことにより、次式が得られる。

$$\sum_{j=1}^n H_{ij}^* \sigma_j^*(u) = B_i^*(u) \quad (11)$$

但し、

$$\begin{aligned} H_{ij}^* &= \int du_1 \int du_2 \left\{ \sigma_i(u_1) \sigma_j(u_2) \overline{\Delta \phi_C(u_1) \Delta \phi_C(u_2)} + G_R(u_1) G_R(u_2) \overline{\Delta \sigma_i(u_1) \Delta \sigma_j(u_2)} \right\} \\ &\quad + \overline{\Delta R_i \Delta R_j} \end{aligned} \quad (12)$$

$$B_i^*(u_1) = \int du_2 \sigma_i(u_2) \overline{\Delta \phi_C(u_1) \Delta \phi_C(u_2)} + \int du_2 G(u_2) G_R(u_2) \overline{\Delta \sigma_i(u_1) \Delta \sigma_j(u_2)} \quad (13)$$

$\sigma_j^*(u)$ が求められると、 C_i は次式で計算される。

$$C_i = \int W(u) \sigma_i^*(u) du \quad (14)$$

さらに、積分値に対する推定値は、

$$I = J_1(\phi) = \int du W(u)\phi_0(u) + \sum_i C_i \left\{ R_i - \int \sigma_i \phi_0(u) du \right\} \quad (15)$$

により与えられる。

NEUPACコードの原理と異なる点を述べる。NEUPACコードでは、(12)式の H_{ij}^* の第2項目の

$$\begin{aligned} G_{Ri}(u_1) &\rightarrow \phi_0(u_1) \\ G_{Rj}(u_2) &\rightarrow \phi_0(u_2) \end{aligned} \quad (16)$$

となっており、(7)式の第1項目を無視している。すなわち、 $\Delta\sigma$ によるスペクトルの変化 $\Delta\phi_0$ を無視している。さらに、(13)式の B_i^* の第2項目も無視している。これは、 $G \Rightarrow 0$ と仮定することによるものである。NEUPACコードを修正し、 σ^* を(11)式に基づき計算するようすれば、断面積による中性子スペクトルへの影響を取り入れることが可能になる。

unfolding法	断面積調整法
<ul style="list-style-type: none"> 反応率データ R 計算値 $\int \sigma \phi dE \equiv R_c$ ↓ <p>$J_1 = C_i \{ R_i - \int R_{ci} dE \} + \int W \phi du$ の誤差を最小にするよう C_i を決定。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 反応率データ R 計算値 $\int \sigma \phi dE \equiv R_{ci}$ ↓ <p>$J = (R_i - R_{ci})^2 / V_e + (T - T_0)^2 / W$ を最小にする断面積を決定。</p>
<u>仮定</u> $\Delta\sigma$ と $\Delta\phi$ の相関を考えていない。 積分量 I の最尤推定	<u>仮定</u> $\Delta\sigma$ と $\Delta\phi$ の相関を考えている。
<u>メリット</u> 計算法の誤差 $\Delta\phi$ を考慮できる。	<u>メリット</u> $\Delta\sigma$ の $\Delta\phi$ への影響は感度係数で考慮している。
<u>デメリット</u> 断面積誤差のスペクトルへの影響を無視	<u>デメリット</u> $\Delta\phi$ の計算誤差の向上については、suggestion できない。

図1 unfolding法と断面積調整法の比較

第3章 断面積調整法の改良に関する理論

断面積誤差による中性子スペクトルへの影響を取り入れたunfolding法は前節で導出されたが、別のアプローチとして断面積調整法に中性子スペクトルのunfoldingを取り入れる方式が考えられる。

断面積調整法はBayesの原理に基づき、実験データが与えられた時に断面積が真値を取る確率を最大にする方法である⁽³⁾。本節では、この方法を拡張し、断面積のみならず、中性子スペクトルも真値を取る確率を最大にする。

積分データ $R_e^{(1)}$ が与えられた場合、断面積及び中性子スペクトルが真値を取る確率は、

$$P(T, \phi; R_e^{(1)}) = P(R_e^{(1)}; T, \phi) P(T, \phi) / P(R_e^{(1)}) \quad (17)$$

$$P(T, \phi) = P(T) P(\phi; T) \quad (18)$$

$P(T)$ は、断面積Tが真値である確率であり、次の正規分布をしていると仮定される。

$$P(T) = \text{const} \times \exp \left[- (T - T_0)^t W^{-1} (T - T_0) / 2 \right] \quad (19)$$

T_0 は与えられた断面積セットであり、Wはその共分散行列である。 $P(\phi; T)$ は、断面積の真値が与えられた場合、中性子スペクトルが真値をとる確率で、

$$P(\phi; T) = \text{const} \times \exp \left[- (\phi_{(1)} - \phi_t)^t V^{-1} (\phi_{(1)} - \phi_t) / 2 \right] \quad (20)$$

但し、 ϕ_t は真の中性子スペクトルであり、Vは計算法の誤差を示す共分散行列である。

$\phi_{(1)}$ は、断面積Tにより計算された中性子スペクトルである。 $P(R_e^{(1)}; T, \phi)$ は断面積T、中性子スペクトル ϕ が与えられた時に測定値が $R_e^{(1)}$ をとる確率であり、測定データ $R_e^{(1)}$ は、T、 ϕ により計算された核特性計算値 $R_c^{(1)}(T, \phi)$ のまわりに $V_e^{(1)} + V_m^{(1)}$ の分散を持ち、正規分布すると考える。ここで $V_e^{(1)}$ は実験誤差、 $V_m^{(1)}$ は ϕ 以外の計算誤差を示す。

$$P(R_e^{(1)}; T, \phi) = \text{const} \times \exp \left\{ - \left[R_e^{(1)} - R_c^{(1)}(T, \phi) \right]^t \left[V_e^{(1)} + V_m^{(1)} \right]^{-1} \left[R_e^{(1)} - R_c^{(1)}(T, \phi) \right] \right\} \quad (21)$$

(19)～(21)を(17)式に導入すると、

$$P(T, \phi; R_e^{(1)}) \propto \exp [-J/2] \quad (22)$$

但し、

$$\begin{aligned} J &= (T - T_0)^t W^{-1} (T - T_0) + (\phi_{(1)} - \phi_t)^t V^{-1} (\phi_{(1)} - \phi_t) \\ &\quad + \left[R_e^{(1)} - R_c^{(1)}(T, \phi) \right]^t \left[V_e^{(1)} + V_m^{(1)} \right]^{-1} \left[R_e^{(1)} - R_c^{(1)}(T, \phi) \right] \end{aligned} \quad (23)$$

(22)式の $P(T, \phi; R_e^{(1)})$ を最大にするためには、(23)式で与えられるJを最小にすればよい。

T_0 で計算された核特性値 $R_c^{(1)}(T_0, \phi_0)$ に比べ、真値Tで計算された核特性値は、

$$R_c^{(1)}(T, \phi) = R_c^{(1)}(T_0, \phi_0) + G^{(1)}(T - T_0) \quad (24)$$

で表される。(23)式の第2項目は($\phi_m - \phi_i$)に依存しており、Tは真の断面積であるので($\phi_m - \phi_i$)は計算誤差を表している。

計算誤差には前述したように自己遮蔽、輸送効果等による誤差があり、それぞれの誤差要素を ΔM_i にすると、

$$\phi(T) - \phi_i = S H_i \Delta M_i \quad (25)$$

により表される。Jの最小化をTについて考える時には、第2項はTを含まないので、考えなくてよく、 $\frac{dJ}{dT} = 0$ の解は通常の断面積調整法による解となる。即ち、

$$T = T_0 + W G^{(1)t} \{ G^{(1)} W G^{(1)t} + V_e^{(1)} + V_m^{(1)} \}^{-1} \times [R_e^{(1)} - R_c^{(1)}(T_0)] \quad (26)$$

(26)式が調整後の断面積を示す。この式より以下のことがわかる。

①実験誤差、計算誤差が0あるいは、非常に小さい場合には、

$$(V_e^{(1)} + V_m^{(1)}) \approx 0$$

$$T = T_0 + G^{-1} (R_e^{(1)} - R_c^{(1)}(T_0)) \quad (27)$$

即ち、

$$R_c^{(1)}(T) = R_c^{(1)}(T_0) + G(T - T_0) \Rightarrow R_e^{(1)} \quad (28)$$

となり、計算値は実験値を再現するようになる。

②($V_e^{(1)} + V_m^{(1)}$)が $G^{(1)} W G^{(1)t}$ に比べ同程度になると、Tは実験結果を再現せず、誤差分を考え、Tの変化量は少なくなる。

このように中性子スペクトルも正確にするように断面積調整を考えても、断面積の調整幅は通常の方式と同じになる。

次に計算法誤差 ΔM_i についての調整ができるのかどうかについての検討を行う。

$$R_c^{(1)}(T, \phi) = R_T + \sum_j K_j \Delta M_j \quad (29)$$

(但し、 R_T は真値)

と書くことができるので、(23)式のJのうち計算誤差に依存する項は第2項、第3項である。

$$J = (T - T_0)^t W^{-1} (T - T_0) + (H \Delta M)^t V^{-1} (H \Delta M)$$

$$+ [R_e^{(1)} - R_t - K \Delta M]^t [V_e^{(1)} + V_m^{(1)}]^{-1} + [R_e^{(1)} - R_t - K \Delta M]^t \quad (30)$$

$(R_e^{(1)} - R_t)$ は実験誤差 ΔR_e となるので、これがわかれば ΔM に関する微分を0にすることが

できる。しかし、実際には ΔR_e がわからない量である。

いま仮に(30)式に関する

$$\frac{dJ}{dM} = 0 \quad (31)$$

になるよう ΔM が定められたとすると、中性子スペクトルの正解値は、

$$\phi = \phi(T_0) + G_\phi(T - T_0) + H\Delta M \quad (32)$$

により推定することができる。

第4章 提言

以上、3、4節で中性子スペクトルの計算精度向上について述べた。3節の方法は、NEUPACコードを中性子スペクトルの断面積依存性を取り入れられるよう拡張した方法で、4節の方法は、断面積調整法の拡張したものである。後者は断面積調整については従来の方式に帰着した。実験データの真値からのずれ ΔR_e が個々の核特性量について得られないと、計算誤差の改善は不可能になる。しかし、 ΔM がわからなくても $\Delta M = 0$ として(32)式に基づき中性子スペクトルの精度向上は可能である。今後、3、4節の方法のメリット、デメリットを理論・応用の両面から比較検討する必要がある。

今回としては、NEUPACコードを3節に示した原理に基づき修正し、中性子スペクトルの断面積依存性を取り入れられるよう変更する方式を提言する。

参考文献

- (1) M. NAKAZAWA & A. SEKIGUCHI, "New Data Processing Technique for Reactor Neutron Dosimetry", NUREG-CP-0004 (VOL.3), 1423-33 (1977). Proceeding of the 2nd ASTM-Euraton Symposium on Reactor Dosimetry (Palo Alto 1977)
- (2) M. NAKAZAWA & A. SEKIGUCHI, "Several Applications of J1-Unfolding Method of Multiple-foil Data to Reactor Neutron Dosimetry", The 3rd ASTM-Euraton Symposium on Reactor Dosimetry (Ispra, 1979)
- (3) T. TAKEDA et al., "Prediction Uncertainty Evaluation Methods of Core Performance Parameters in Large Liquid-Metal Fast Breeder Reactors", Nuclear Science and Engineering, 103, 157-165 (1989)

【付録：中性子束に対する感度係数】

積分核特性を R として、反応率比を考えると

$$R = \frac{\iint \Sigma_1(\vec{r}, \vec{E}) \Phi(\vec{r}, \vec{E}) d\vec{r} d\vec{E}}{\iint \Sigma_2(\vec{r}, \vec{E}) \Phi(\vec{r}, \vec{E}) d\vec{r} d\vec{E}} = \frac{\langle \Sigma_1 \Phi \rangle}{\langle \Sigma_2 \Phi \rangle} \quad \dots \dots \dots (1)$$

となる。

但し、

$\Sigma(\vec{r}, \vec{E})$: 位置 \vec{r} , エネルギー \vec{E} の断面積

$\langle \dots \rangle$: 全炉心体積及び全エネルギーでの積分

あるパラメーター σ に対する感度係数 S は次式のように表される。

$$S = \frac{dR/R}{d\sigma/\sigma} \quad \dots \dots \dots (2)$$

今回の計算に用いた σ を以下に示す。

$U-235$ fission, capture

$U-238$ fission, capture

$Pu-239$ fission, capture

$Pu-240$ fission, capture

$Pu-241$ fission, capture

$Pu-242$ fission, capture

又、中性子束のエネルギー群は 16 群とした。

以下に前述の式を用いた中性子束に対する感度係数の求め方について述べる。感度係数を求める過程で使用する3次元拡散計算コードにおいて、炉心全体で単位時間に発生する中性子数= $\langle v \sum f \Phi \rangle$ が一定となるように規格化されている。

よって(1)式において分母の $\sum 2$ の変わりに $v \sum f$ を用いると、(1)式の分母は定数となる。

又、(1)式の分子で16群のある特定のエネルギー群に対する $\sum 1 = 1$ とおいて、それ以外のエネルギー群に対する $\sum 1$ をゼロとすると、 $\langle \sum 1 \Phi \rangle$ はある特定のエネルギー群に対する Φ のみが残り、残りのエネルギー群に対する $\sum 1 \Phi$ は消えてしまう。

例えば、1群に対する $\sum 1$ を1とし、その他のエネルギー群に対する $\sum 1$ をゼロとすると、

1群の中性子束 Φ_1 のみが残り、2～16群の中性子束 $\Phi_2 \sim \Phi_{16}$ は消えるので(1)式は(3)式のようになる。

$$R = \frac{\Phi_1}{\langle v \sum_f \Phi \rangle} \quad \dots \dots \dots (3)$$

(3)式の分母は定数になるのでこの式より、一群の中性子束にたいする感度係数が求まる。

以上のことより、1～16群の中性子束に対する感度係数を求めた。

次に、今回実際に計算を行った体系について説明する。

今回は、内側炉心、外側炉心、軸方向ブランケット、半径方向ブランケット、軸方向遮蔽体、半径方向遮蔽体の6領域からなるもんじゅ炉心をRZ体系を模擬した。

以下では、炉心中央部での中性子束に対する感度係数を求めた結果を示す。

<各領域における数密度 10E+24個／cm³>

内側炉心

8	1.37E-02	26	1.39E-02	24	3.88E-03	28	2.73E-03
42	3.09E-04	25	3.24E-04	11	8.75E-03	925	1.13E-05
928	5.57E-03	949	8.07E-04	940	3.33E-04	941	1.93E-04
942	5.50E-05						

外側炉心

8	1.38E-02	26	1.39E-02	24	3.88E-03	28	2.73E-03
42	3.09E-04	25	3.24E-04	11	8.76E-03	925	1.03E-05
928	5.06E-03	949	1.12E-03	940	4.59E-04	941	2.67E-04
942	7.59E-05						

半径方向ブランケット

8	2.04E-02	26	1.11E-02	24	3.11E-03	28	2.19E-03
42	2.48E-04	25	2.60E-04	11	7.51E-03	925	2.06E-05
928	1.02E-02						

軸方向ブランケット

8	1.52E-02	26	1.39E-02	24	3.88E-03	28	2.73E-03
42	3.09E-04	25	3.24E-04	11	8.77E-03	925	1.54E-05
928	7.59E-03						

半径方向遮蔽体

26	4.71E-02	24	1.36E-02	28	6.13E-03	42	1.21E-04
25	1.03E-03	11	4.75E-03				

軸方向遮蔽体

26	1.39E-02	24	3.88E-03	28	2.73E-03	42	3.09E-04
25	3.24E-04	11	8.94E-03				

1群中性子束に対する感度係数

total

2群中性子束に対する感度係数

	$\sigma f\text{-U235}$	$\sigma ca\text{-U235}$	$\sigma f\text{-U238}$	$\sigma ca\text{-U238}$	$\sigma f\text{-Pu239}$	$\sigma ca\text{-Pu239}$	$\sigma f\text{-Pu240}$	$\sigma ca\text{-Pu240}$	$\sigma f\text{-Pu241}$	$\sigma ca\text{-Pu241}$	$\sigma f\text{-Pu242}$	$\sigma ca\text{-Pu242}$
1	-2.76E-06	0.00E+00	-7.92E-04	0.00E+00	-2.80E-04	0.00E+00	-1.10E-04	0.00E+00	-5.93E-05	0.00E+00	-1.60E-05	0.00E+00
2	-1.57E-04	0.00E+00	-3.83E-02	-6.53E-04	-1.75E-02	0.00E+00	-6.55E-03	-2.56E-05	-3.51E-03	0.00E+00	-8.70E-04	-3.81E-06
3	6.95E-05	1.15E-06	1.49E-02	5.65E-04	7.53E-03	4.72E-05	2.79E-03	6.77E-05	1.52E-03	4.50E-05	3.71E-04	1.16E-05
4	9.96E-05	4.68E-06	1.63E-02	1.85E-03	1.09E-02	1.62E-04	3.81E-03	1.86E-04	2.35E-03	1.33E-04	5.35E-04	3.57E-05
5	1.03E-04	8.81E-06	1.26E-03	4.70E-03	1.08E-02	3.20E-04	3.72E-03	2.53E-04	2.35E-03	2.31E-04	5.66E-04	4.29E-05
6	2.43E-04	3.46E-05	1.20E-04	1.23E-02	2.47E-02	1.54E-03	4.01E-03	1.01E-03	5.69E-03	7.97E-04	4.23E-04	1.47E-04
7	3.02E-04	6.51E-05	1.39E-05	1.47E-02	2.65E-02	3.15E-03	8.34E-04	1.49E-03	7.48E-03	1.09E-03	7.29E-05	1.72E-04
8	3.49E-04	1.09E-04	6.36E-06	1.98E-02	2.68E-02	4.49E-03	5.44E-04	2.40E-03	8.82E-03	1.31E-03	2.51E-05	2.81E-04
9	3.20E-04	1.19E-04	6.05E-06	2.73E-02	2.25E-02	5.01E-03	5.24E-04	3.25E-03	8.02E-03	1.48E-03	1.33E-05	4.11E-04
10	2.62E-04	1.05E-04	4.06E-06	3.12E-02	1.72E-02	5.76E-03	4.34E-04	3.56E-03	6.89E-03	1.41E-03	8.19E-06	5.21E-04
11	1.92E-04	7.75E-05	3.54E-06	2.53E-02	1.16E-02	5.73E-03	2.41E-04	2.77E-03	5.19E-03	1.15E-03	3.60E-06	4.43E-04
12	1.41E-04	6.19E-05	1.43E-06	1.83E-02	8.20E-03	5.84E-03	1.22E-04	2.17E-03	4.00E-03	9.73E-04	1.83E-06	3.42E-04
13	7.54E-05	3.22E-05	1.64E-11	9.32E-03	4.21E-03	3.78E-03	3.19E-05	1.18E-03	2.15E-03	5.38E-04	1.13E-06	1.87E-04
14	1.93E-04	9.54E-05	3.76E-06	1.81E-02	1.14E-02	9.04E-03	2.15E-04	3.26E-03	5.47E-03	1.52E-03	3.49E-06	4.23E-04
15	1.04E-04	6.25E-05	6.82E-06	1.13E-02	7.60E-03	5.95E-03	1.54E-04	2.27E-03	3.19E-03	9.81E-04	8.76E-06	2.90E-04
16	-3.03E-05	3.78E-05	2.31E-10	4.61E-03	3.85E-03	3.41E-03	4.79E-06	1.46E-03	1.78E-03	5.50E-04	2.87E-07	1.51E-04

total

3群中性子束に対する感度係数

	σf -U235	σca -U235	σf -U238	σca -U238	σf -Pu239	σca -Pu239	σf -Pu240	σca -Pu240	σf -Pu241	σca -Pu241	σf -Pu242	σca -Pu242
1	2.81E-06	0.00E+00	8.06E-04	0.00E+00	2.60E-04	0.00E+00	1.03E-04	0.00E+00	5.49E-05	0.00E+00	1.50E-05	0.00E+00
2	-1.26E-06	0.00E+00	-3.08E-04	-4.50E-06	-1.96E-04	0.00E+00	-7.22E-05	-1.07E-07	-3.97E-05	0.00E+00	-9.57E-06	-1.59E-08
3	-1.73E-04	-2.83E-06	-3.71E-02	-1.39E-03	-1.90E-02	-1.14E-04	-7.03E-03	-1.64E-04	-3.85E-03	-1.09E-04	-9.37E-04	-2.80E-05
4	9.96E-05	4.68E-06	1.63E-02	1.85E-03	1.09E-02	1.63E-04	3.80E-03	1.86E-04	2.35E-03	1.33E-04	5.34E-04	3.67E-05
5	1.03E-04	8.80E-06	1.26E-03	4.69E-03	1.08E-02	3.20E-04	3.71E-03	2.53E-04	2.34E-03	2.31E-04	5.65E-04	4.30E-05
6	2.43E-04	3.45E-05	1.20E-04	1.23E-02	2.46E-02	1.54E-03	4.00E-03	1.02E-03	5.68E-03	7.98E-04	4.23E-04	1.48E-04
7	3.02E-04	6.50E-05	1.39E-05	1.47E-02	2.65E-02	3.15E-03	8.33E-04	1.49E-03	7.47E-03	1.09E-03	7.28E-05	1.73E-04
8	3.50E-04	1.09E-04	6.36E-06	1.97E-02	2.68E-02	4.49E-03	5.44E-04	2.40E-03	8.82E-03	1.31E-03	2.51E-05	2.81E-04
9	3.20E-04	1.18E-04	6.05E-06	2.72E-02	2.25E-02	5.01E-03	5.25E-04	3.25E-03	8.02E-03	1.48E-03	1.33E-05	4.12E-04
10	2.62E-04	1.05E-04	4.06E-06	3.12E-02	1.72E-02	5.76E-03	4.35E-04	3.56E-03	6.89E-03	1.41E-03	8.20E-06	5.21E-04
11	1.92E-04	7.74E-05	3.53E-06	2.53E-02	1.16E-02	5.73E-03	2.41E-04	2.77E-03	5.20E-03	1.15E-03	3.61E-06	4.43E-04
12	1.40E-04	6.18E-05	1.43E-06	1.82E-02	8.22E-03	5.84E-03	1.22E-04	2.17E-03	4.01E-03	9.72E-04	1.84E-06	3.42E-04
13	7.52E-05	3.22E-05	1.63E-11	9.30E-03	4.22E-03	3.78E-03	3.19E-05	1.18E-03	2.16E-03	5.38E-04	1.13E-06	1.87E-04
14	1.93E-04	9.52E-05	3.76E-06	1.81E-02	1.14E-02	9.03E-03	2.16E-04	3.25E-03	5.49E-03	1.52E-03	3.50E-06	4.22E-04
15	1.04E-04	6.24E-05	6.81E-06	1.13E-02	7.64E-03	5.93E-03	1.55E-04	2.27E-03	3.20E-03	9.79E-04	8.79E-06	2.89E-04
16	-3.21E-05	3.79E-05	1.75E-10	4.61E-03	3.88E-03	3.40E-03	4.83E-06	1.46E-03	1.79E-03	5.49E-04	2.89E-07	1.50E-04

total

4群中性子束に対する感度係数

	$\sigma f\text{-U235}$	$\sigma ca\text{-U235}$	$\sigma f\text{-U238}$	$\sigma ca\text{-U238}$	$\sigma f\text{-Pu239}$	$\sigma ca\text{-Pu239}$	$\sigma f\text{-Pu240}$	$\sigma ca\text{-Pu240}$	$\sigma f\text{-Pu241}$	$\sigma ca\text{-Pu241}$	$\sigma f\text{-Pu242}$	$\sigma ca\text{-Pu242}$
1	3.36E-06	0.00E+00	9.66E-04	0.00E+00	3.15E-04	0.00E+00	1.25E-04	0.00E+00	6.66E-05	0.00E+00	1.81E-05	0.00E+00
2	7.00E-06	0.00E+00	1.71E-03	2.99E-05	7.27E-04	0.00E+00	2.73E-04	1.24E-06	1.45E-04	0.00E+00	3.63E-05	1.85E-07
3	-4.17E-06	-5.99E-08	-8.93E-04	-2.95E-05	-5.52E-04	-1.88E-06	-2.02E-04	-2.70E-06	-1.13E-04	-1.79E-06	-2.70E-05	-4.62E-07
4	-1.65E-04	-7.66E-06	-2.71E-02	-3.03E-03	-1.83E-02	-2.62E-04	-6.38E-03	-3.00E-04	-3.95E-03	-2.15E-04	-8.96E-04	-5.76E-05
5	1.03E-04	8.80E-06	1.26E-03	4.69E-03	1.08E-02	3.20E-04	3.71E-03	2.53E-04	2.34E-03	2.31E-04	5.65E-04	4.29E-05
6	2.43E-04	3.45E-05	1.20E-04	1.23E-02	2.46E-02	1.54E-03	4.00E-03	1.02E-03	5.67E-03	7.98E-04	4.22E-04	1.48E-04
7	3.03E-04	6.50E-05	1.39E-05	1.47E-02	2.65E-02	3.15E-03	8.32E-04	1.49E-03	7.47E-03	1.09E-03	7.28E-05	1.73E-04
8	3.51E-04	1.09E-04	6.39E-06	1.97E-02	2.68E-02	4.49E-03	5.43E-04	2.40E-03	8.81E-03	1.31E-03	2.51E-05	2.81E-04
9	3.22E-04	1.18E-04	6.10E-06	2.72E-02	2.25E-02	5.02E-03	5.24E-04	3.25E-03	8.02E-03	1.48E-03	1.33E-05	4.12E-04
10	2.64E-04	1.05E-04	4.10E-06	3.12E-02	1.72E-02	5.76E-03	4.35E-04	3.56E-03	6.89E-03	1.41E-03	8.20E-06	5.21E-04
11	1.94E-04	7.73E-05	3.58E-06	2.52E-02	1.16E-02	5.73E-03	2.41E-04	2.77E-03	5.20E-03	1.15E-03	3.61E-06	4.43E-04
12	1.43E-04	6.17E-05	1.45E-06	1.82E-02	8.21E-03	5.84E-03	1.22E-04	2.17E-03	4.01E-03	9.73E-04	1.84E-06	3.42E-04
13	7.66E-05	3.21E-05	1.67E-11	9.29E-03	4.22E-03	3.78E-03	3.19E-05	1.18E-03	2.16E-03	5.38E-04	1.13E-06	1.87E-04
14	1.97E-04	9.50E-05	3.85E-06	1.80E-02	1.14E-02	9.03E-03	2.16E-04	3.25E-03	5.49E-03	1.52E-03	3.50E-06	4.22E-04
15	1.08E-04	6.21E-05	7.05E-06	1.13E-02	7.65E-03	5.93E-03	1.55E-04	2.27E-03	3.21E-03	9.79E-04	8.80E-06	2.89E-04
16	-2.46E-05	3.73E-05	6.59E-10	4.55E-03	3.90E-03	3.39E-03	4.85E-06	1.46E-03	1.80E-03	5.47E-04	2.90E-07	1.50E-04

total

5群中性子束に対する感度係数

	$\sigma f\text{-U235}$	$\sigma ca\text{-U235}$	$\sigma f\text{-U238}$	$\sigma ca\text{-U238}$	$\sigma f\text{-Pu239}$	$\sigma ca\text{-Pu239}$	$\sigma f\text{-Pu240}$	$\sigma ca\text{-Pu240}$	$\sigma f\text{-Pu241}$	$\sigma ca\text{-Pu241}$	$\sigma f\text{-Pu242}$	$\sigma ca\text{-Pu242}$
1	3.17E-06	0.00E+00	9.11E-04	0.00E+00	3.00E-04	0.00E+00	1.19E-04	0.00E+00	6.34E-05	0.00E+00	1.73E-05	0.00E+00
2	6.15E-06	0.00E+00	1.50E-03	2.64E-05	6.46E-04	0.00E+00	2.43E-04	1.09E-06	1.29E-04	0.00E+00	3.22E-05	1.62E-07
3	1.66E-05	2.81E-07	3.56E-03	1.38E-04	1.75E-03	1.18E-05	6.48E-04	1.70E-05	3.53E-04	1.13E-05	8.64E-05	2.90E-06
4	-1.66E-05	-7.42E-07	-2.73E-03	-2.93E-04	-1.90E-03	-2.44E-05	-6.58E-04	-2.79E-05	-4.10E-04	-2.00E-05	-9.26E-05	-5.37E-06
5	-1.71E-04	-1.43E-05	-2.08E-03	-7.64E-03	-1.79E-02	-5.17E-04	-6.16E-03	-4.09E-04	-3.90E-03	-3.73E-04	-9.39E-04	-6.94E-05
6	2.44E-04	3.45E-05	1.20E-04	1.23E-02	2.46E-02	1.54E-03	4.00E-03	1.01E-03	5.68E-03	7.97E-04	4.23E-04	1.47E-04
7	3.04E-04	6.50E-05	1.40E-05	1.47E-02	2.65E-02	3.15E-03	8.32E-04	1.49E-03	7.46E-03	1.09E-03	7.27E-05	1.73E-04
8	3.53E-04	1.09E-04	6.43E-06	1.97E-02	2.68E-02	4.49E-03	5.43E-04	2.40E-03	8.80E-03	1.31E-03	2.51E-05	2.82E-04
9	3.26E-04	1.18E-04	6.16E-06	2.72E-02	2.25E-02	5.02E-03	5.24E-04	3.25E-03	8.00E-03	1.48E-03	1.33E-05	4.12E-04
10	2.68E-04	1.05E-04	4.17E-06	3.11E-02	1.72E-02	5.77E-03	4.34E-04	3.56E-03	6.88E-03	1.41E-03	8.18E-06	5.22E-04
11	1.99E-04	7.72E-05	3.66E-06	2.52E-02	1.16E-02	5.73E-03	2.41E-04	2.77E-03	5.19E-03	1.15E-03	3.60E-06	4.43E-04
12	1.47E-04	6.16E-05	1.48E-06	1.82E-02	8.20E-03	5.85E-03	1.22E-04	2.17E-03	4.00E-03	9.73E-04	1.83E-06	3.42E-04
13	7.89E-05	3.20E-05	1.72E-11	9.28E-03	4.20E-03	3.78E-03	3.19E-05	1.18E-03	2.15E-03	5.38E-04	1.12E-06	1.87E-04
14	2.04E-04	9.47E-05	3.98E-06	1.80E-02	1.14E-02	9.04E-03	2.15E-04	3.26E-03	5.47E-03	1.52E-03	3.49E-06	4.23E-04
15	1.16E-04	6.18E-05	7.42E-06	1.12E-02	7.63E-03	5.94E-03	1.54E-04	2.27E-03	3.20E-03	9.79E-04	8.79E-06	2.89E-04
16	-1.11E-05	3.63E-05	1.47E-09	4.46E-03	3.91E-03	3.39E-03	4.85E-06	1.45E-03	1.81E-03	5.45E-04	2.91E-07	1.49E-04

total

6群中性子束に対する感度係数

	$\sigma f\text{-U235}$	$\sigma ca\text{-U235}$	$\sigma f\text{-U238}$	$\sigma ca\text{-U238}$	$\sigma f\text{-Pu239}$	$\sigma ca\text{-Pu239}$	$\sigma f\text{-Pu240}$	$\sigma ca\text{-Pu240}$	$\sigma f\text{-Pu241}$	$\sigma ca\text{-Pu241}$	$\sigma f\text{-Pu242}$	$\sigma ca\text{-Pu242}$
1	2.72E-06	0.00E+00	7.82E-04	0.00E+00	2.61E-04	0.00E+00	1.03E-04	0.00E+00	5.52E-05	0.00E+00	1.50E-05	0.00E+00
2	5.33E-06	0.00E+00	1.30E-03	2.27E-05	5.75E-04	0.00E+00	2.15E-04	9.20E-07	1.15E-04	0.00E+00	2.86E-05	1.37E-07
3	1.61E-05	2.71E-07	3.46E-03	1.33E-04	1.73E-03	1.12E-05	6.42E-04	1.61E-05	3.50E-04	1.07E-05	8.56E-05	2.75E-06
4	-7.67E-07	-1.13E-08	-1.24E-04	-4.43E-06	-1.09E-04	1.32E-07	-3.71E-05	1.59E-07	-2.41E-05	1.12E-07	-5.22E-06	3.05E-08
5	-3.02E-05	-2.50E-06	-3.68E-04	-1.33E-03	-3.16E-03	-8.98E-05	-1.09E-03	-7.10E-05	-6.90E-04	-6.47E-05	-1.66E-04	-1.21E-05
6	-2.42E-04	-3.30E-05	-1.19E-04	-1.18E-02	-2.38E-02	-1.50E-03	-3.87E-03	-9.84E-04	-5.49E-03	-7.73E-04	-4.09E-04	-1.43E-04
7	3.08E-04	6.48E-05	1.41E-05	1.47E-02	2.64E-02	3.15E-03	8.29E-04	1.49E-03	7.44E-03	1.09E-03	7.25E-05	1.73E-04
8	3.61E-04	1.09E-04	6.56E-06	1.97E-02	2.66E-02	4.50E-03	5.41E-04	2.41E-03	8.76E-03	1.31E-03	2.50E-05	2.82E-04
9	3.36E-04	1.18E-04	6.38E-06	2.71E-02	2.24E-02	5.03E-03	5.22E-04	3.26E-03	7.97E-03	1.48E-03	1.33E-05	4.13E-04
10	2.81E-04	1.05E-04	4.38E-06	3.10E-02	1.71E-02	5.78E-03	4.32E-04	3.57E-03	6.85E-03	1.41E-03	8.16E-06	5.23E-04
11	2.11E-04	7.67E-05	3.90E-06	2.51E-02	1.15E-02	5.74E-03	2.40E-04	2.78E-03	5.18E-03	1.16E-03	3.59E-06	4.44E-04
12	1.58E-04	6.13E-05	1.58E-06	1.81E-02	8.18E-03	5.85E-03	1.21E-04	2.18E-03	3.99E-03	9.74E-04	1.83E-06	3.43E-04
13	8.56E-05	3.18E-05	1.87E-11	9.22E-03	4.19E-03	3.78E-03	3.18E-05	1.18E-03	2.15E-03	5.39E-04	1.12E-06	1.88E-04
14	2.25E-04	9.37E-05	4.37E-06	1.79E-02	1.14E-02	9.05E-03	2.14E-04	3.26E-03	5.46E-03	1.52E-03	3.48E-06	4.23E-04
15	1.37E-04	6.06E-05	8.52E-06	1.10E-02	7.64E-03	5.94E-03	1.54E-04	2.27E-03	3.21E-03	9.78E-04	8.80E-06	2.89E-04
16	2.55E-05	3.34E-05	3.79E-09	4.20E-03	4.00E-03	3.35E-03	4.93E-06	1.43E-03	1.85E-03	5.38E-04	2.97E-07	1.47E-04

total

7群中性子束に対する感度係数

	$\sigma f\text{-U235}$	$\sigma ca\text{-U235}$	$\sigma f\text{-U238}$	$\sigma ca\text{-U238}$	$\sigma f\text{-Pu239}$	$\sigma ca\text{-Pu239}$	$\sigma f\text{-Pu240}$	$\sigma ca\text{-Pu240}$	$\sigma f\text{-Pu241}$	$\sigma ca\text{-Pu241}$	$\sigma f\text{-Pu242}$	$\sigma ca\text{-Pu242}$
1	2.59E-06	0.00E+00	7.43E-04	0.00E+00	2.51E-04	0.00E+00	9.90E-05	0.00E+00	5.30E-05	0.00E+00	1.44E-05	0.00E+00
2	5.01E-06	0.00E+00	1.22E-03	2.12E-05	5.50E-04	0.00E+00	2.06E-04	8.42E-07	1.10E-04	0.00E+00	2.74E-05	1.25E-07
3	1.33E-05	2.23E-07	2.86E-03	1.09E-04	1.45E-03	9.09E-06	5.35E-04	1.30E-05	2.93E-04	8.67E-06	7.13E-05	2.23E-06
4	5.48E-06	2.69E-07	9.00E-04	1.07E-04	5.97E-04	9.46E-06	2.08E-04	1.08E-05	1.28E-04	7.74E-06	2.92E-05	2.08E-06
5	-1.67E-05	-1.38E-06	-2.04E-04	-7.35E-04	-1.75E-03	-4.97E-05	-6.02E-04	-3.94E-05	-3.81E-04	-3.59E-05	-9.17E-05	-6.68E-06
6	-1.07E-04	-1.46E-05	-5.28E-05	-5.21E-03	-1.06E-02	-6.62E-04	-1.72E-03	-4.36E-04	-2.43E-03	-3.42E-04	-1.81E-04	-6.33E-05
7	-2.85E-04	-5.79E-05	-1.31E-05	-1.31E-02	-2.38E-02	-2.86E-03	-7.47E-04	-1.36E-03	-6.70E-03	-9.90E-04	-6.53E-05	-1.57E-04
8	3.67E-04	1.08E-04	6.67E-06	1.96E-02	2.66E-02	4.51E-03	5.39E-04	2.41E-03	8.73E-03	1.31E-03	2.49E-05	2.83E-04
9	3.45E-04	1.17E-04	6.55E-06	2.70E-02	2.23E-02	5.04E-03	5.20E-04	3.27E-03	7.95E-03	1.49E-03	1.32E-05	4.14E-04
10	2.91E-04	1.04E-04	4.54E-06	3.09E-02	1.71E-02	5.79E-03	4.31E-04	3.58E-03	6.83E-03	1.42E-03	8.14E-06	5.24E-04
11	2.21E-04	7.64E-05	4.08E-06	2.50E-02	1.15E-02	5.75E-03	2.40E-04	2.78E-03	5.17E-03	1.16E-03	3.59E-06	4.44E-04
12	1.66E-04	6.10E-05	1.66E-06	1.80E-02	8.17E-03	5.86E-03	1.21E-04	2.18E-03	3.99E-03	9.74E-04	1.83E-06	3.43E-04
13	9.08E-05	3.16E-05	1.99E-11	9.17E-03	4.18E-03	3.78E-03	3.17E-05	1.19E-03	2.14E-03	5.39E-04	1.12E-06	1.88E-04
14	2.41E-04	9.30E-05	4.68E-06	1.78E-02	1.13E-02	9.06E-03	2.14E-04	3.26E-03	5.45E-03	1.52E-03	3.48E-06	4.24E-04
15	1.53E-04	5.97E-05	9.38E-06	1.09E-02	7.65E-03	5.93E-03	1.54E-04	2.27E-03	3.22E-03	9.77E-04	8.82E-06	2.89E-04
16	5.35E-05	3.14E-05	5.59E-09	4.02E-03	4.08E-03	3.32E-03	5.00E-06	1.42E-03	1.89E-03	5.33E-04	3.02E-07	1.46E-04

total

156

8群中性子束に対する感度係数

	$\sigma f\text{-U235}$	$\sigma ca\text{-U235}$	$\sigma f\text{-U238}$	$\sigma ca\text{-U238}$	$\sigma f\text{-Pu239}$	$\sigma ca\text{-Pu239}$	$\sigma f\text{-Pu240}$	$\sigma ca\text{-Pu240}$	$\sigma f\text{-Pu241}$	$\sigma ca\text{-Pu241}$	$\sigma f\text{-Pu242}$	$\sigma ca\text{-Pu242}$
1	2.58E-06	0.00E+00	7.41E-04	0.00E+00	2.51E-04	0.00E+00	9.91E-05	0.00E+00	5.31E-05	0.00E+00	1.44E-05	0.00E+00
2	4.89E-06	0.00E+00	1.19E-03	2.04E-05	5.42E-04	0.00E+00	2.03E-04	8.00E-07	1.09E-04	0.00E+00	2.69E-05	1.19E-07
3	1.13E-05	1.86E-07	2.42E-03	9.12E-05	1.23E-03	7.53E-06	4.55E-04	1.08E-05	2.49E-04	7.18E-06	6.07E-05	1.85E-06
4	7.04E-06	3.28E-07	1.15E-03	1.30E-04	7.67E-04	1.13E-05	2.67E-04	1.29E-05	1.65E-04	9.27E-06	3.75E-05	2.49E-06
5	-1.34E-05	-1.13E-06	-1.63E-04	-6.04E-04	-1.42E-03	-4.08E-05	-4.88E-04	-3.23E-05	-3.08E-04	-2.94E-05	-7.43E-05	-5.48E-06
6	-6.71E-05	-9.31E-06	-3.31E-05	-3.32E-03	-6.72E-03	-4.18E-04	-1.09E-03	-2.75E-04	-1.55E-03	-2.16E-04	-1.15E-04	-4.00E-05
7	-1.92E-04	-3.96E-05	-8.83E-06	-8.98E-03	-1.63E-02	-1.95E-03	-5.11E-04	-9.22E-04	-4.58E-03	-6.74E-04	-4.47E-05	-1.07E-04
8	-3.83E-04	-1.12E-04	-6.97E-06	-2.02E-02	-2.76E-02	-4.70E-03	-5.60E-04	-2.51E-03	-9.07E-03	-1.37E-03	-2.59E-05	-2.94E-04
9	3.53E-04	1.17E-04	6.72E-06	2.69E-02	2.23E-02	5.05E-03	5.19E-04	3.27E-03	7.92E-03	1.49E-03	1.32E-05	4.15E-04
10	3.01E-04	1.04E-04	4.70E-06	3.08E-02	1.71E-02	5.80E-03	4.31E-04	3.58E-03	6.82E-03	1.42E-03	8.12E-06	5.25E-04
11	2.30E-04	7.61E-05	4.25E-06	2.49E-02	1.15E-02	5.75E-03	2.40E-04	2.78E-03	5.16E-03	1.16E-03	3.59E-06	4.45E-04
12	1.74E-04	6.07E-05	1.73E-06	1.79E-02	8.16E-03	5.86E-03	1.21E-04	2.18E-03	3.98E-03	9.75E-04	1.83E-06	3.43E-04
13	9.57E-05	3.15E-05	2.09E-11	9.13E-03	4.18E-03	3.79E-03	3.17E-05	1.19E-03	2.14E-03	5.39E-04	1.12E-06	1.88E-04
14	2.57E-04	9.22E-05	4.97E-06	1.76E-02	1.13E-02	9.06E-03	2.14E-04	3.27E-03	5.45E-03	1.52E-03	3.48E-06	4.24E-04
15	1.68E-04	5.89E-05	1.02E-05	1.08E-02	7.68E-03	5.93E-03	1.55E-04	2.27E-03	3.23E-03	9.76E-04	8.85E-06	2.88E-04
16	7.91E-05	2.98E-05	7.27E-09	3.86E-03	4.16E-03	3.29E-03	5.07E-06	1.41E-03	1.92E-03	5.28E-04	3.08E-07	1.45E-04

total

9群中性子束に対する感度係数

	$\sigma f\text{-U235}$	$\sigma ca\text{-U235}$	$\sigma f\text{-U238}$	$\sigma ca\text{-U238}$	$\sigma f\text{-Pu239}$	$\sigma ca\text{-Pu239}$	$\sigma f\text{-Pu240}$	$\sigma ca\text{-Pu240}$	$\sigma f\text{-Pu241}$	$\sigma ca\text{-Pu241}$	$\sigma f\text{-Pu242}$	$\sigma ca\text{-Pu242}$
1	2.60E-06	0.00E+00	7.48E-04	0.00E+00	2.56E-04	0.00E+00	1.01E-04	0.00E+00	5.42E-05	0.00E+00	1.47E-05	0.00E+00
2	4.87E-06	0.00E+00	1.19E-03	2.00E-05	5.51E-04	0.00E+00	2.06E-04	7.70E-07	1.10E-04	0.00E+00	2.73E-05	1.15E-07
3	1.07E-05	1.72E-07	2.28E-03	8.43E-05	1.18E-03	6.84E-06	4.35E-04	9.81E-06	2.39E-04	6.52E-06	5.80E-05	1.68E-06
4	7.40E-06	3.31E-07	1.21E-03	1.31E-04	8.21E-04	1.11E-05	2.85E-04	1.27E-05	1.77E-04	9.10E-06	4.01E-05	2.44E-06
5	-1.22E-05	-1.07E-06	-1.49E-04	-5.69E-04	-1.29E-03	-3.87E-05	-4.46E-04	-3.06E-05	-2.82E-04	-2.79E-05	-6.79E-05	-5.20E-06
6	-5.16E-05	-7.46E-06	-2.55E-05	-2.66E-03	-5.32E-03	-3.30E-04	-8.64E-04	-2.17E-04	-1.23E-03	-1.71E-04	-9.13E-05	-3.16E-05
7	-1.58E-04	-3.35E-05	-7.26E-06	-7.58E-03	-1.37E-02	-1.63E-03	-4.30E-04	-7.71E-04	-3.86E-03	-5.63E-04	-3.76E-05	-8.92E-05
8	-3.29E-04	-9.81E-05	-5.98E-06	-1.78E-02	-2.42E-02	-4.09E-03	-4.90E-04	-2.18E-03	-7.94E-03	-1.19E-03	-2.26E-05	-2.56E-04
9	-5.14E-04	-1.75E-04	-9.76E-06	-4.03E-02	-3.34E-02	-7.54E-03	-7.78E-04	-4.89E-03	-1.19E-02	-2.22E-03	-1.98E-05	-6.19E-04
10	3.11E-04	1.04E-04	4.87E-06	3.07E-02	1.70E-02	5.81E-03	4.29E-04	3.59E-03	6.80E-03	1.42E-03	8.10E-06	5.26E-04
11	2.40E-04	7.58E-05	4.44E-06	2.48E-02	1.15E-02	5.76E-03	2.39E-04	2.79E-03	5.15E-03	1.16E-03	3.58E-06	4.45E-04
12	1.83E-04	6.04E-05	1.81E-06	1.79E-02	8.14E-03	5.87E-03	1.21E-04	2.18E-03	3.98E-03	9.76E-04	1.82E-06	3.43E-04
13	1.01E-04	3.13E-05	2.21E-11	9.09E-03	4.17E-03	3.79E-03	3.16E-05	1.19E-03	2.13E-03	5.40E-04	1.12E-06	1.88E-04
14	2.74E-04	9.16E-05	5.29E-06	1.75E-02	1.13E-02	9.08E-03	2.13E-04	3.27E-03	5.44E-03	1.53E-03	3.47E-06	4.24E-04
15	1.85E-04	5.81E-05	1.11E-05	1.07E-02	7.68E-03	5.93E-03	1.54E-04	2.27E-03	3.23E-03	9.76E-04	8.86E-06	2.88E-04
16	1.08E-04	2.80E-05	9.11E-09	3.69E-03	4.22E-03	3.27E-03	5.13E-06	1.40E-03	1.96E-03	5.24E-04	3.13E-07	1.43E-04

total

10群中性子束に対する感度係数

	$\sigma f\text{-U235}$	$\sigma ca\text{-U235}$	$\sigma f\text{-U238}$	$\sigma ca\text{-U238}$	$\sigma f\text{-Pu239}$	$\sigma ca\text{-Pu239}$	$\sigma f\text{-Pu240}$	$\sigma ca\text{-Pu240}$	$\sigma f\text{-Pu241}$	$\sigma ca\text{-Pu241}$	$\sigma f\text{-Pu242}$	$\sigma ca\text{-Pu242}$
1	2.62E-06	0.00E+00	7.54E-04	0.00E+00	2.60E-04	0.00E+00	1.03E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.49E-05	0.00E+00
2	4.89E-06	0.00E+00	1.19E-03	1.99E-05	5.63E-04	0.00E+00	2.10E-04	7.51E-07	7.51E-07	0.00E+00	2.79E-05	1.12E-07
3	1.05E-05	1.66E-07	2.25E-03	8.16E-05	1.18E-03	6.51E-06	4.35E-04	9.34E-06	9.34E-06	6.21E-06	5.79E-05	1.60E-06
4	7.54E-06	3.25E-07	1.23E-03	1.29E-04	8.51E-04	1.07E-05	2.95E-04	1.22E-05	1.22E-05	8.74E-06	4.15E-05	2.35E-06
5	-1.16E-05	-1.05E-06	-1.42E-04	-5.59E-04	-1.23E-03	-3.82E-05	-4.25E-04	-3.03E-05	-3.03E-05	-2.76E-05	-6.47E-05	-5.13E-06
6	-4.52E-05	-6.82E-06	-2.24E-05	-2.43E-03	-4.80E-03	-2.97E-04	-7.78E-04	-1.95E-04	-1.95E-04	-1.54E-04	-8.22E-05	-2.84E-05
7	-1.43E-04	-3.11E-05	-6.57E-06	-7.04E-03	-1.26E-02	-1.50E-03	-3.97E-04	-7.08E-04	-7.08E-04	-5.17E-04	-3.47E-05	-8.19E-05
8	-3.05E-04	-9.29E-05	-5.55E-06	-1.68E-02	-2.28E-02	-3.84E-03	-4.63E-04	-2.05E-03	-2.05E-03	-1.12E-03	-2.14E-05	-2.41E-04
9	-4.81E-04	-1.67E-04	-9.14E-06	-3.84E-02	-3.18E-02	-7.16E-03	-7.41E-04	-4.64E-03	-4.64E-03	-2.11E-03	-1.88E-05	-5.88E-04
10	-6.68E-04	-2.40E-04	-1.04E-05	-7.12E-02	-3.94E-02	-1.33E-02	-9.94E-04	-8.24E-03	-8.24E-03	-3.26E-03	-1.87E-05	-1.21E-03
11	2.48E-04	7.56E-05	4.59E-06	2.47E-02	1.14E-02	5.77E-03	2.39E-04	2.79E-03	2.79E-03	1.16E-03	3.57E-06	4.46E-04
12	1.90E-04	6.03E-05	1.88E-06	1.78E-02	8.12E-03	5.87E-03	1.21E-04	2.18E-03	2.18E-03	9.77E-04	1.82E-06	3.44E-04
13	1.05E-04	3.12E-05	2.31E-11	9.07E-03	4.16E-03	3.79E-03	3.15E-05	1.19E-03	1.19E-03	5.40E-04	1.11E-06	1.88E-04
14	2.87E-04	9.11E-05	5.55E-06	1.75E-02	1.13E-02	9.09E-03	2.13E-04	3.28E-03	3.28E-03	1.53E-03	3.46E-06	4.25E-04
15	1.99E-04	5.76E-05	1.18E-05	1.06E-02	7.67E-03	5.93E-03	1.54E-04	2.27E-03	2.27E-03	9.76E-04	8.86E-06	2.88E-04
16	1.31E-04	2.65E-05	1.06E-08	3.56E-03	4.27E-03	3.25E-03	5.16E-06	1.39E-03	1.39E-03	5.21E-04	3.16E-07	1.43E-04

total

11群中性子束に対する感度係数

	$\sigma f\text{-U235}$	$\sigma ca\text{-U235}$	$\sigma f\text{-U238}$	$\sigma ca\text{-U238}$	$\sigma f\text{-Pu239}$	$\sigma ca\text{-Pu239}$	$\sigma f\text{-Pu240}$	$\sigma ca\text{-Pu240}$	$\sigma f\text{-Pu241}$	$\sigma ca\text{-Pu241}$	$\sigma f\text{-Pu242}$	$\sigma ca\text{-Pu242}$
1	2.63E-06	0.00E+00	7.57E-04	0.00E+00	2.67E-04	0.00E+00	1.05E-04	0.00E+00	5.65E-05	0.00E+00	1.53E-05	0.00E+00
2	4.90E-06	0.00E+00	1.20E-03	1.98E-05	5.85E-04	0.00E+00	2.18E-04	7.28E-07	1.18E-04	0.00E+00	2.90E-05	1.08E-07
3	1.04E-05	1.63E-07	2.23E-03	7.99E-05	1.21E-03	6.19E-06	4.45E-04	8.88E-06	2.45E-04	5.90E-06	5.92E-05	1.52E-06
4	7.67E-06	3.24E-07	1.25E-03	1.28E-04	9.09E-04	1.01E-05	3.14E-04	1.15E-05	1.97E-04	8.27E-06	4.42E-05	2.22E-06
5	-1.15E-05	-1.05E-06	-1.41E-04	-5.61E-04	-1.19E-03	-3.92E-05	-4.10E-04	-3.10E-05	-2.57E-04	-2.83E-05	-6.24E-05	-5.26E-06
6	-4.17E-05	-6.53E-06	-2.08E-05	-2.33E-03	-4.53E-03	-2.82E-04	-7.33E-04	-1.86E-04	-1.04E-03	-1.46E-04	-7.74E-05	-2.70E-05
7	-1.35E-04	-3.00E-05	-6.21E-06	-6.80E-03	-1.22E-02	-1.43E-03	-3.82E-04	-6.79E-04	-3.43E-03	-4.96E-04	-3.34E-05	-7.86E-05
8	-2.92E-04	-9.06E-05	-5.31E-06	-1.64E-02	-2.22E-02	-3.73E-03	-4.51E-04	-1.99E-03	-7.30E-03	-1.08E-03	-2.08E-05	-2.34E-04
9	-4.64E-04	-1.64E-04	-8.79E-06	-3.76E-02	-3.11E-02	-6.99E-03	-7.25E-04	-4.53E-03	-1.11E-02	-2.06E-03	-1.84E-05	-5.74E-04
10	-6.32E-04	-2.31E-04	-9.86E-06	-6.84E-02	-3.79E-02	-1.28E-02	-9.55E-04	-7.90E-03	-1.51E-02	-3.13E-03	-1.80E-05	-1.16E-03
11	-7.70E-04	-2.67E-04	-1.42E-05	-8.74E-02	-4.02E-02	-2.01E-02	-8.39E-04	-9.72E-03	-1.81E-02	-4.04E-03	-1.25E-05	-1.55E-03
12	1.97E-04	6.02E-05	1.94E-06	1.78E-02	8.09E-03	5.88E-03	1.20E-04	2.19E-03	3.95E-03	9.77E-04	1.81E-06	3.44E-04
13	1.10E-04	3.11E-05	2.41E-11	9.05E-03	4.14E-03	3.80E-03	3.13E-05	1.19E-03	2.12E-03	5.41E-04	1.11E-06	1.88E-04
14	3.01E-04	9.08E-05	5.81E-06	1.74E-02	1.12E-02	9.11E-03	2.11E-04	3.28E-03	5.39E-03	1.53E-03	3.45E-06	4.25E-04
15	2.12E-04	5.71E-05	1.25E-05	1.05E-02	7.64E-03	5.94E-03	1.53E-04	2.27E-03	3.22E-03	9.78E-04	8.82E-06	2.89E-04
16	1.57E-04	2.49E-05	1.22E-08	3.41E-03	4.29E-03	3.24E-03	5.17E-06	1.39E-03	1.99E-03	5.19E-04	3.17E-07	1.42E-04

total

12群中性子束に対する感度係数

	$\sigma f\text{-U235}$	$\sigma ca\text{-U235}$	$\sigma f\text{-U238}$	$\sigma ca\text{-U238}$	$\sigma f\text{-Pu239}$	$\sigma ca\text{-Pu239}$	$\sigma f\text{-Pu240}$	$\sigma ca\text{-Pu240}$	$\sigma f\text{-Pu241}$	$\sigma ca\text{-Pu241}$	$\sigma f\text{-Pu242}$	$\sigma ca\text{-Pu242}$
1	2.64E-06	0.00E+00	7.59E-04	0.00E+00	2.65E-04	0.00E+00	1.05E-04	0.00E+00	5.62E-05	0.00E+00	1.52E-05	0.00E+00
2	4.92E-06	0.00E+00	1.20E-03	1.97E-05	5.79E-04	0.00E+00	2.16E-04	7.32E-07	1.16E-04	0.00E+00	2.87E-05	1.09E-07
3	1.03E-05	1.59E-07	2.20E-03	7.82E-05	1.18E-03	6.12E-06	4.33E-04	8.78E-06	2.39E-04	5.83E-06	5.77E-05	1.50E-06
4	7.80E-06	3.23E-07	1.28E-03	1.28E-04	8.98E-04	1.03E-05	3.11E-04	1.18E-05	1.94E-04	8.44E-06	4.37E-05	2.27E-06
5	-1.16E-05	-1.07E-06	-1.41E-04	-5.72E-04	-1.22E-03	-3.94E-05	-4.21E-04	-3.12E-05	-2.64E-04	-2.84E-05	-6.40E-05	-5.29E-06
6	-3.98E-05	-6.36E-06	-1.99E-05	-2.27E-03	-4.39E-03	-2.71E-04	-7.11E-04	-1.79E-04	-1.01E-03	-1.40E-04	-7.51E-05	-2.60E-05
7	-1.31E-04	-2.95E-05	-6.05E-06	-6.69E-03	-1.19E-02	-1.40E-03	-3.74E-04	-6.63E-04	-3.36E-03	-4.85E-04	-3.27E-05	-7.68E-05
8	-2.86E-04	-8.94E-05	-5.21E-06	-1.62E-02	-2.19E-02	-3.67E-03	-4.44E-04	-1.96E-03	-7.19E-03	-1.07E-03	-2.05E-05	-2.30E-04
9	-4.57E-04	-1.62E-04	-8.66E-06	-3.72E-02	-3.07E-02	-6.90E-03	-7.16E-04	-4.47E-03	-1.09E-02	-2.03E-03	-1.82E-05	-5.66E-04
10	-6.22E-04	-2.28E-04	-9.70E-06	-6.75E-02	-3.73E-02	-1.26E-02	-9.42E-04	-7.79E-03	-1.49E-02	-3.08E-03	-1.78E-05	-1.14E-03
11	-7.47E-04	-2.60E-04	-1.38E-05	-8.50E-02	-3.91E-02	-1.95E-02	-8.16E-04	-9.46E-03	-1.76E-02	-3.93E-03	-1.22E-05	-1.51E-03
12	-8.43E-04	-3.07E-04	-8.41E-06	-9.06E-02	-4.10E-02	-2.95E-02	-6.09E-04	-1.10E-02	-2.00E-02	-4.90E-03	-9.18E-06	-1.73E-03
13	1.10E-04	3.11E-05	2.42E-11	9.04E-03	4.14E-03	3.80E-03	3.14E-05	1.19E-03	2.12E-03	5.41E-04	1.11E-06	1.88E-04
14	3.03E-04	9.07E-05	5.85E-06	1.74E-02	1.12E-02	9.10E-03	2.12E-04	3.28E-03	5.40E-03	1.53E-03	3.45E-06	4.25E-04
15	2.14E-04	5.70E-05	1.26E-05	1.05E-02	7.66E-03	5.93E-03	1.54E-04	2.27E-03	3.23E-03	9.77E-04	8.85E-06	2.89E-04
16	1.58E-04	2.50E-05	1.23E-08	3.42E-03	4.32E-03	3.23E-03	5.20E-06	1.38E-03	2.00E-03	5.18E-04	3.19E-07	1.42E-04

total

13群中性子束に対する感度係数

	$\sigma f\text{-U235}$	$\sigma ca\text{-U235}$	$\sigma f\text{-U238}$	$\sigma ca\text{-U238}$	$\sigma f\text{-Pu239}$	$\sigma ca\text{-Pu239}$	$\sigma f\text{-Pu240}$	$\sigma ca\text{-Pu240}$	$\sigma f\text{-Pu241}$	$\sigma ca\text{-Pu241}$	$\sigma f\text{-Pu242}$	$\sigma ca\text{-Pu242}$
1	2.65E-06	0.00E+00	7.60E-04	0.00E+00	2.70E-04	0.00E+00	1.06E-04	0.00E+00	5.71E-05	0.00E+00	1.54E-05	0.00E+00
2	4.92E-06	0.00E+00	1.20E-03	1.97E-05	5.95E-04	0.00E+00	2.22E-04	7.17E-07	1.20E-04	0.00E+00	2.94E-05	1.07E-07
3	1.02E-05	1.58E-07	2.18E-03	7.74E-05	1.20E-03	5.91E-06	4.41E-04	8.49E-06	2.43E-04	5.64E-06	5.88E-05	1.45E-06
4	7.87E-06	3.27E-07	1.29E-03	1.29E-04	9.44E-04	1.00E-05	3.27E-04	1.14E-05	2.05E-04	8.19E-06	4.59E-05	2.20E-06
5	-1.15E-05	-1.06E-06	-1.41E-04	-5.68E-04	-1.18E-03	-3.99E-05	-4.07E-04	-3.16E-05	-2.55E-04	-2.88E-05	-6.19E-05	-5.36E-06
6	-3.89E-05	-6.29E-06	-1.95E-05	-2.24E-03	-4.31E-03	-2.69E-04	-6.97E-04	-1.77E-04	-9.94E-04	-1.39E-04	-7.36E-05	-2.58E-05
7	-1.29E-04	-2.93E-05	-5.96E-06	-6.64E-03	-1.18E-02	-1.39E-03	-3.71E-04	-6.58E-04	-3.33E-03	-4.81E-04	-3.24E-05	-7.61E-05
8	-2.83E-04	-8.90E-05	-5.15E-06	-1.61E-02	-2.18E-02	-3.64E-03	-4.42E-04	-1.95E-03	-7.16E-03	-1.06E-03	-2.04E-05	-2.28E-04
9	-4.52E-04	-1.61E-04	-8.56E-06	-3.71E-02	-3.06E-02	-6.86E-03	-7.13E-04	-4.45E-03	-1.09E-02	-2.02E-03	-1.81E-05	-5.63E-04
10	-6.15E-04	-2.27E-04	-9.59E-06	-6.72E-02	-3.72E-02	-1.26E-02	-9.39E-04	-7.76E-03	-1.49E-02	-3.07E-03	-1.77E-05	-1.14E-03
11	-7.40E-04	-2.59E-04	-1.37E-05	-8.47E-02	-3.90E-02	-1.95E-02	-8.14E-04	-9.42E-03	-1.75E-02	-3.92E-03	-1.22E-05	-1.50E-03
12	-8.29E-04	-3.03E-04	-8.27E-06	-8.95E-02	-4.06E-02	-2.91E-02	-6.02E-04	-1.08E-02	-1.98E-02	-4.84E-03	-9.07E-06	-1.70E-03
13	-6.46E-04	-2.21E-04	-1.41E-10	-6.41E-02	-2.92E-02	-2.65E-02	-2.21E-04	-8.29E-03	-1.50E-02	-3.77E-03	-7.82E-06	-1.31E-03
14	3.09E-04	9.06E-05	5.96E-06	1.74E-02	1.12E-02	9.11E-03	2.11E-04	3.29E-03	5.38E-03	1.53E-03	3.44E-06	4.26E-04
15	2.20E-04	5.68E-05	1.29E-05	1.05E-02	7.63E-03	5.95E-03	1.53E-04	2.28E-03	3.21E-03	9.78E-04	8.81E-06	2.89E-04
16	1.71E-04	2.40E-05	1.31E-08	3.34E-03	4.31E-03	3.23E-03	5.18E-06	1.38E-03	2.00E-03	5.18E-04	3.18E-07	1.41E-04

total

14群中性子束に対する感度係数

	$\sigma f\text{-U235}$	$\sigma ca\text{-U235}$	$\sigma f\text{-U238}$	$\sigma ca\text{-U238}$	$\sigma f\text{-Pu239}$	$\sigma ca\text{-Pu239}$	$\sigma f\text{-Pu240}$	$\sigma ca\text{-Pu240}$	$\sigma f\text{-Pu241}$	$\sigma ca\text{-Pu241}$	$\sigma f\text{-Pu242}$	$\sigma ca\text{-Pu242}$
1	2.65E-06	0.00E+00	7.61E-04	0.00E+00	2.73E-04	0.00E+00	1.07E-04	0.00E+00	5.77E-05	0.00E+00	1.56E-05	0.00E+00
2	4.94E-06	0.00E+00	1.21E-03	1.96E-05	6.06E-04	0.00E+00	2.26E-04	7.03E-07	1.22E-04	0.00E+00	3.00E-05	1.05E-07
3	1.02E-05	1.57E-07	2.19E-03	7.69E-05	1.22E-03	5.79E-06	4.50E-04	8.31E-06	2.48E-04	5.52E-06	5.99E-05	1.42E-06
4	7.95E-06	3.23E-07	1.30E-03	1.28E-04	9.70E-04	9.64E-06	3.35E-04	1.10E-05	2.10E-04	7.88E-06	4.72E-05	2.12E-06
5	-1.13E-05	-1.07E-06	-1.39E-04	-5.72E-04	-1.15E-03	-4.04E-05	-4.00E-04	-3.20E-05	-2.50E-04	-2.92E-05	-6.08E-05	-5.43E-06
6	-3.80E-05	-6.33E-06	-1.90E-05	-2.26E-03	-4.29E-03	-2.69E-04	-6.94E-04	-1.77E-04	-9.90E-04	-1.39E-04	-7.32E-05	-2.57E-05
7	-1.27E-04	-2.94E-05	-5.86E-06	-6.65E-03	-1.18E-02	-1.38E-03	-3.70E-04	-6.55E-04	-3.32E-03	-4.78E-04	-3.24E-05	-7.58E-05
8	-2.79E-04	-8.91E-05	-5.08E-06	-1.61E-02	-2.17E-02	-3.62E-03	-4.41E-04	-1.94E-03	-7.15E-03	-1.05E-03	-2.03E-05	-2.27E-04
9	-4.47E-04	-1.61E-04	-8.46E-06	-3.71E-02	-3.06E-02	-6.84E-03	-7.12E-04	-4.43E-03	-1.09E-02	-2.01E-03	-1.81E-05	-5.62E-04
10	-6.09E-04	-2.27E-04	-9.49E-06	-6.73E-02	-3.72E-02	-1.25E-02	-9.38E-04	-7.74E-03	-1.49E-02	-3.06E-03	-1.77E-05	-1.13E-03
11	-7.34E-04	-2.59E-04	-1.36E-05	-8.47E-02	-3.90E-02	-1.94E-02	-8.13E-04	-9.41E-03	-1.75E-02	-3.91E-03	-1.22E-05	-1.50E-03
12	-8.21E-04	-3.02E-04	-8.20E-06	-8.92E-02	-4.04E-02	-2.90E-02	-6.00E-04	-1.08E-02	-1.97E-02	-4.82E-03	-9.04E-06	-1.70E-03
13	-6.40E-04	-2.20E-04	-1.40E-10	-6.39E-02	-2.91E-02	-2.64E-02	-2.21E-04	-8.26E-03	-1.49E-02	-3.76E-03	-7.79E-06	-1.31E-03
14	-2.11E-03	-7.97E-04	-4.10E-05	-1.52E-01	-9.71E-02	-7.77E-02	-1.83E-03	-2.80E-02	-4.67E-02	-1.31E-02	-2.98E-05	-3.63E-03
15	2.30E-04	5.64E-05	1.35E-05	1.04E-02	7.61E-03	5.95E-03	1.53E-04	2.28E-03	3.21E-03	9.79E-04	8.80E-06	2.89E-04
16	1.88E-04	2.31E-05	1.41E-08	3.26E-03	4.33E-03	3.22E-03	5.19E-06	1.38E-03	2.01E-03	5.16E-04	3.20E-07	1.41E-04

total

15群中性子束に対する感度係数

16群中性子束に対する感度係数