

JAERI-M
88-035

サンプル反応度値解析のための
非均質効果計算コードの作成

(サンプルサイズ効果とセル内)
(随伴中性子束分布効果の考慮)

1988年3月

岡嶋 成晃・前田 章雄*・向山 武彦

頁	行	誤	正
1	7	K. S. SmithとR. W. Shaeferは、	K. S. SmithとR. W. Schaeferは、
1	21	不銹鋼	不銹鋼
1	22	不銹鋼	不銹鋼
16	2	FCA XI-1 集合体	FCA XI-1 集合体
16	13	本計算コードでの非均質効果は、 サンプルサイズ効果は、サンプル サイズ効果として	本計算コードでの非均質効果は、 サンプルサイズ効果として
25	8	(1)式は次のように	(A-1)式は次のように
26	15	$N_{res,g}^{(k)} = N_{res,g}^{(k)} = N_{born,g}^{(k)} \cdot (1 - \bar{P}_0^g) = \dots$ (A-13)	$N_{res,g}^{(k)} = N_{born,g}^{(k)} \cdot (1 - \bar{P}_0^g) = \dots$ (A-13)
27	4	$N_{acc,g}^{(2)} = \text{Sum}_{g'} A^{g \rightarrow g'} \phi_{g'}^g \bar{V} \bar{P}_0^g$ (A-17)	$N_{acc,g}^{(2)} = \text{Sum}_{g'} A^{g \rightarrow g'} \phi_{g'}^g \bar{V} \bar{P}_0^{g'} \bar{P}_0^g$ (A-17)
28	3	$V_j \Sigma_{tj}^g \phi_j^g - \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^g V_i P_{ij} \Sigma_{si}^{k \rightarrow g} \phi_i^k \dots$ (B-1)	$V_j \Sigma_{tj}^g \phi_j^g - \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^g V_i P_{ij} \Sigma_{si}^{k \rightarrow g} \phi_i^k \dots$ (B-1)

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に発行している研究報告書です。
 入手の間合おせば、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）
 まで、お申しこしください。なお、これは別に財団法人原子力協会資料センター（〒319-11茨城
 県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で種々の方法で頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.
 Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department
 of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun,
 Ibaraki-ken, 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1988

編集兼発行 日本原子力研究所
 印刷 朝日新聞印刷株式会社

サンプル反応度値解析のための非均質効果計算コードの作成
(サンプルサイズ効果とセル内随伴中性子束分布効果の考慮)

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部
岡嶋 成晃・前田章雄*・向山武彦

(1988年1月29日受理)

高速炉臨界実験解析において、中心サンプル反応度値の実験値と計算値の不一致は、これまで炉物理分野での未解決の問題の一つであった。この不一致を解決するために、計算において2つの非物質効果を考慮することが提唱された。(i)測定において生ずる局所的な非均質効果と(ii)随伴中性子束のセル内分布を考慮したセル非均質効果である。

FCAでのアクチノイドサンプル反応度値解析において、この両効果を評価するための計算コードを衝突確率法に基づいて作成した。計算コードは、局所的な非均質効果の1つであるサンプルサイズ効果とセル内随伴中性子束分布非均質効果を評価することができる。

Calculation Code of Heterogeneity Effects
for Analysis of Small Sample Reactivity Worth
(Sample Size Effect and Intracell Adjoint Heterogeneity Effect)

Shigeaki OKAJIMA, Akio MAEDA* and Takehiko MUKAIYAMA

Department of Reactor Engineering
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 29, 1988)

The discrepancy between experimental and calculated central reactivity worths has been one of the most significant interests for the analysis of fast reactor critical experiment. Two effects have been pointed out so as to be taken into account in the calculation as the possible cause of the discrepancy; one is the local heterogeneity effect which is associated with the measurement geometry, the other is the heterogeneity effect on the distribution of the intracell adjoint flux.

In order to evaluate these effects in the analysis of FCA actinide sample reactivity worth the calculation code based on the collision probability method was developed. The code can handle the sample size effect which is one of the local heterogeneity effects and also the intracell adjoint heterogeneity effect.

Keywords: Heterogeneity Effect, Sample Reactivity Worth, Central Reactivity Worth Discrepancy, Sample Size, Adjoint Flux, Collision Probability, First Order Perturbation, FCA, Calculation, Correction Factor

* I.S.L., Inc.,

目 次

1. はじめに	1
2. サンプルサイズ効果の評価	3
3. セル内随伴中性子束分布を考慮した非均質効果の評価	4
4. 計算コードの概要	6
5. 計算例	15
6. まとめ	23
謝 辞	23
参考文献	24
付録A 衝突確率法によるサンプルサイズを考慮した サンプル内中性子数	25
付録B 衝突確率法による中性子バランス方程式と反応度	28
付録C 計算コードの使用法	29

Contents

1. Introduction	1
2. Evaluation of Sample Size Effect	3
3. Evaluation of the Intracell Adjoint Heterogeneity Effect	4
4. Outline of Calculation Code for Sample Size Effect and Intracell Adjoint Heterogeneity Effect	6
5. Example	15
6. Summary	23
Acknowledgement	23
References	24
Appendix A Algorism of Sample Size Effect based on Collision Probability Method.....	25
Appendix B Neutron Balance Equations based on Collision Probability Method	28
Appendix C Sample Input	29

1. は じ め に

高速炉臨界実験解析において、実効増倍係数や反応率等の解析結果に比べてサンプル反応度^{1),2)} 値の解析精度が劣り、これを解決するために種々の計算手法の改善等が提唱された。R.W. Schaefer は、測定の際に生ずる局所的な非均質効果について検討し、計算によりこの非均質効果³⁾ を ANL でのサンプル反応度値解析結果について評価した。また、K.S.Smith は計算手法の改善として随伴中性子束のサンプル反応度値測定セル内の分布を考慮したセル非均質効果^{4),5)} をサンプル反応度値計算に取り込むことを提唱した。K.S.Smith と R.W.Shaefer は、この⁵⁾ K.S.Smith の考え方を導入して、ANL でのサンプル反応度値実験を解析し直した。彼らは、(1)局所的な非均質効果として約 6～10%の補正が必要であること、(2)セル内随伴中性子束分布を考慮した場合の核分裂性核種のサンプル反応度値は約 5%小さくなること、(3)これらの効果を考慮すると解析は改善されること、を示した⁶⁾。

FCA ではアクチノイド核種断面積評価のために、積分実験の 1 つとしてサンプル反応度値測定を行ってきた。断面積の評価は、実験値と十分精度の良い解析手法を用いた解析値の比較により行う。ここでは、従来の解析手法の精度を向上するために、上記の非均質効果を考慮した計算コードを作成した。

(1) 局所的非均質効果

通常の解析では、サンプルを無限小として取扱うためにより厳密な解析を行うためには以下の非均質効果を考慮する必要がある。

- (1) サンプルサイズ効果 (sample size effect) ……有限の大きさのサンプル内での自己増倍 (self-multiplication) や自己遮蔽 (self-shielding) による効果
- (2) 不銹綱効果 (steel effect) ……サンプルカプセル、サンプル駆動棒、スリーブ管等の不銹綱による中性子スペクトルへの影響
- (3) 実験孔効果 (cavity effect) ……サンプルを挿入するために設けた実験孔によるサンプル位置での中性子束レベル低下効果
- (5) ストリーミング効果 (streaming effect) ……実験孔を通過しての中性子ストリーミングの効果
- (5) 密着面効果 (matrix interface effect) ……水平 2 分割集合体の密着面間にある引出し前端面および間隙による中性子スペクトルへの影響

この 5 つの非均質効果の中で、サンプルサイズ効果以外の非均質効果は従来の解析手法を用いて評価が可能である。一方、サンプルサイズ効果は従来の解析手法では評価することができない。サンプルサイズ効果は、ANL の結果によると、衝突確率法に基づく "SARCASM" コード⁷⁾ を用いて補正係数として評価し、その値は、サンプルが核分裂性核種の場合、最大 1.07 であり、この値は実験値と 1% 以内で一致している。従って、このサンプルサイズ効果を評価できるコードを衝突確率法に基づいて作成した。

(2) セル内随伴中性子束分布非均質効果

セル内随伴中性子束分布を考慮した非均質効果については、K.S.Smithの提唱した考え方⁴⁾に沿って衝突確率法を用いて評価した。

これら2つの非均質効果の影響を従来の計算手法によるサンプル反応度値に対する補正係数として評価するようにした。

本報告では、第2章でサンプルサイズ補正について、第3章でセル内随伴中性子束分布非均質効果について述べる。また、第4章では作成した計算コードの処理内容について述べ、第5章では本コードを用いた計算例を示す。

2. サンプルサイズ効果の評価

多群衝突確率法を用いてサンプル内核種による自己増倍 (self-multiplication), 自己吸収 (self-absorption) および自己散乱 (self-scattering) の計算を行って, サンプルサイズ効果を評価した。このコードは, ANL の "SARCASM"⁷⁾ コードと同じ手法を用いている。これら自己増倍等を考慮することにより, サンプル内で発生した k 次中性子に対してサンプル外へ逃れる中性子数 (正の反応度効果) と外部からサンプルへ入射する中性子数 (負の反応度効果) の収支を求めたことになる。

$$N = \sum_{k=2}^{\infty} N_{\text{esc}}^{(k)} - N^{(1)} \quad (2-1)$$

ここで $N_{\text{esc}}^{(k)}$: サンプル内で発生した k 次中性子がサンプル外へ逃れる中性子数
 $N^{(1)}$: 外部からサンプルへ入射する中性子数

(2-1) 式の右辺に随伴中性子束を乗じると, サンプル反応度値計算における摂動分子に対応する。従って, サンプルサイズ補正係数 f_{size} は,

$$f_{\text{size}} = \phi^* N / N_{(\text{FOP})} \quad (2-2)$$

と表わせる。ここで $N_{(\text{FOP})}$ は, 従来の摂動分子である。なお, 詳細な (2-1) 式の記述については付録 A に示す。

ここで, 本コードは, 一次摂動に基づいて円柱形状サンプルを取扱うようにした。本計算において注意を要する点は, 巨大共鳴を有する核種に対して計算精度が劣る点である。これは, 本計算で使用する群定数が共鳴による遮蔽を既に取り入れているにも拘らず, 本計算を行うことによって遮蔽効果を再度考慮したことになるからである。

3. セル内随伴中性子束分布を考慮した非均質効果の評価

通常，サンプル反応度値実験は，測定位置近傍で原子炉特性に対して有為な変化を与えない程度の量および形状のサンプルを用いて行われる。このような場合，サンプル反応度値は一次摂動法によって求められる。すなわち，一次摂動法による体系の固有値の変化 $\delta(\lambda)$ は，

$$\delta(\lambda) = \frac{\langle \psi_0^* | \delta(A) - \lambda_0 \delta(B) | \psi_0 \rangle}{\langle \psi_0^* | B | \psi_0 \rangle} \quad (3-1)$$

で表わせる。ここで，A は中性子消滅演算子であり，B は中性子生成演算子である。また， λ_0 および ψ_0 は次式を満たす固有値と固有関数であり， ψ_0^* はその随伴関数である。

$$A_0 \psi_0 - \lambda_0 B_0 \psi_0 = 0 \quad (3-2)$$

また，

$$\left. \begin{aligned} \delta(\lambda) &= \lambda - \lambda_0 = 1/k - 1/k_0 \\ \delta(A) &= A - A_0 \\ \delta(B) &= B - B_0 \end{aligned} \right\} \quad (3-3)$$

である。板状燃料を用いた臨界集合体（FCA や ZPPR のような）に於て，位相空間でのメッシュ幅が無限小で各模擬物質板に対する中性子生成消滅演算子が記述可能であれば，(3-1) 式より一次摂動での厳密解を得ることができる。しかし，実際の解析では無限小メッシュによる記述は不可能であり，厳密解を得ることはできない。通常の解析では，各領域毎に同一セル繰り返し条件によって得られるセル平均断面積を用いて体系計算を行う。体系計算より得られた中性子束と随伴中性子束及びセル平均断面積を(3-1)式に代入して，サンプル反応度値を導出する。この方法では，セル平均断面積作成時に，セルの非均質性を考慮したセル内中性子束分布を求め，その中性子束を重みとして，エネルギー群毎のセル反応率を保存するようにセル平均断面積を求める。この計算手法では随伴中性子束のセル内分布が考慮されていないため，サンプル反応度値計算精度が悪くなっている。これまでに随伴中性子束分布をも考慮した中性子バランスを記述する bilinear weighting 法が提唱されたが，通常の解析手法にこの方法を取り込むことは，解析手法全搬の変更が必要であり，困難である。そこで，K.S.Smith は次式のように補正係数 (f_{adj}) を用いることにより，従来のサンプルワースをセル内随伴中性子束分布を考慮したサンプルワースに変換することを試みた。⁴⁾

$$\rho = \frac{\langle \tilde{\psi}_0^* | \delta(\tilde{A}) - \lambda_0 \delta(\tilde{B}) | \tilde{\psi}_0 \rangle_{\text{reactor}}}{\langle \tilde{\psi}_0^* | \tilde{B} | \tilde{\psi}_0 \rangle_{\text{reactor}}} \cdot f_{\text{adj}} \quad (3-4)$$

$$f_{\text{adj}} = \frac{\left[\frac{\langle \psi_0^* | \delta(A) - \lambda_0 \delta(B) | \psi_0 \rangle}{\langle \psi_0^* | B | \psi_0 \rangle} \right]_{\text{cell}}}{\left[\frac{\langle \tilde{\psi}_0^* | \delta(\tilde{A}) - \lambda_0 \delta(\tilde{B}) | \tilde{\psi}_0 \rangle}{\langle \tilde{\psi}_0^* | \tilde{B} | \tilde{\psi}_0 \rangle} \right]_{\text{cell}}} \quad (3-5)$$

$$\cong \frac{\left[\frac{\langle \psi_0^* | \delta(A) - \lambda_0 \delta(B) | \psi_0 \rangle}{\langle \psi_0^* | B | \psi_0 \rangle} \right]_{\text{cell}}}{\left[\frac{\langle \tilde{\psi}_0^* | \delta(A) - \lambda_0 \delta(B) | \psi_0 \rangle}{\langle \tilde{\psi}_0^* | B | \psi_0 \rangle} \right]_{\text{cell}}} \quad (3-6)$$

ただし、 ψ_0, ψ_0^* 等は、(3-1)式と同じ。
 \sim は均質セル計算を表わす。

(3-4)式右辺第1項は、従来のサンプル反応度値である。ここで、サンプル反応度値測定位置での随伴中性子束分布は、炉心全体での分布と局所的な分布に分離可能と仮定した。従って、随伴中性子束分布の局所的なサンプル反応度値への影響は、セル内随伴中性子束分布を考慮することにより評価できるとした。

K.S.Smithは、 f_{adj} の計算を輸送 S_n コード"ONEDANT"により行った。計算は、エネルギー群数117群、 S_n 次数48、板状燃料及び模擬物質板当りのメッシュ数7メッシュと、 S_n 計算としては非常に詳細に行っている⁵⁾。セル計算に S_n 輸送コードを使用したために、このように詳細な計算が必要になったと思われる。

本計算コードでは、衝突確率法を用いて f_{adj} を求めることにした。これは、衝突確率法は S_n 計算に比べてセル計算に適しており、これまでのFCAでの解析において、セル平均断面積計算に衝突確率法が用いられることによる。(3-5)式から f_{adj} を計算するには、衝突確率法による中性子束および随伴中性子束の記述および摂動論による反応度値計算が必要である。これらの数式等は、付録Bに詳述する。

4. 計算コードの概要

本計算コード処理フローの概略を Fig. 4.1 に示す。図中，一点鎖線で囲んだ部分が従来の一次摂動（FOP）計算による処理である。本計算コードでは，サンプルサイズおよびセル内随伴中性子束分布を考慮した補正係数を求め，従来の計算結果にその補正係数を乗じて反応度値を求める。

以下に，サンプルサイズ効果補正計算コード（FSIZE）とセル内随伴中性子束効果補正計算コード（FADJ）のプログラム構成等を示す。尚，これらのコードの使用方法は，付録Cに記述する。

4.1 サンプルサイズ効果の評価

サンプルサイズ効果の評価のための計算コード（FSIZE）は，有限な大きさのサンプル内への入射中性子数およびサンプル外へ漏洩する中性子数を衝突確率法により計算して，補正係数を求めるものである。

FSIZE コードが取扱えるサンプルの形状およびコードの入力ファイルを以下に示す。

1. サンプル形状；円柱形状
2. 入力ファイル；PDS 形式断面積ファイル
 拡散計算（CITATION）または輸送計算（TWOTRAN）結果の中性子束，随伴中性子束ファイル
 簡単なカード入力

FSIZEコードのプログラム構成と各ルーチンの処理概要

プログラムの処理フローを Fig. 4.2 に，ツリー構造を Fig. 4.3 に示す。各ルーチンの処理概要は以下に記す。尚，本コードはダイナミックエリアを使用し，各変数の配列はポインターで制御している。

1) CALPE

円柱形状有限サンプルにおいて，エネルギー g 群の中性子がサンプルから炉心へ漏洩する確率（escape probability）は，参考文献 9)より次式で与えられる。

$$P_e^g = P_n^g + P_m^g \quad (4-1)$$

$$P_n^g = \frac{1}{\Sigma^g h} \left[E_3(0) - E_3(h) \right] - \frac{1}{\pi \Sigma^g a^2 h} \int_0^{2a} dt \left[E_3(\Sigma^g t) - E_3(\Sigma^g \sqrt{t^2 + h^2}) \right] \sqrt{4a^2 - t^2} \quad (4-2)$$

$$P_m^g = \frac{1}{\pi a^2 h} \int_0^h (h-u) du \int_0^{2a} dt \frac{t^2 \sqrt{4a^2 - t^2}}{(t^2 + u^2)^{3/2}} e^{-\Sigma^g \sqrt{t^2 + u^2}} \quad (4-3)$$

ここで、 Σ^g : マクロ全断面積,
 a : サンプルの半径 (cm),
 h : サンプルの長さ (cm),
 $E_3(x)$: 指数積分関数, $E_3(x) = \int_1^\infty \frac{e^{-xu}}{u^3} du$

である。

2) CHKWR

ファイルから読み込んだマクロ断面積, 中性子束等をプリント出力する。

3) ERROR

エラーメッセージをプリント出力する。

4) E3X (関数副プログラム)

指数積分関数 $E_3(x)$ を下記の近似式を用いて求める。

$$E_3(x) = 0.5 e^{-x} (1-x) - 0.5 x^2 \left[I_n(x) - 0.000028 x^7 + 0.000231 x^6 - 0.001667 x^5 + 0.010417 x^4 - 0.0555556 x^3 + 0.25 x^2 - x + 0.5772157 \right] \quad \text{for } x < 1.0 \quad (4-4)$$

$$E_3(x) = 0.5 e^{-x} (1-x) + 0.5 e^{-x} x \times \frac{x^4 + 8.5733287 x^3 + 18.059017 x^2 + 8.6347609 x + 0.26777373}{x^4 + 9.5733223 x^3 + 25.632956 x^2 + 21.099653 x + 3.9584969} \quad \text{for } x \geq 1.0 \quad (4-5)$$

5) FLXCIT

拡散計算コード (CITATION) の出力ファイルから, 中性子束と随伴中性子束を読み込む。

6) FLXTWO

輸送計算コード (TWOTRAN) の出力ファイルから, 中性子束と随伴中性子束を読み込む。

7) FUNPMM (関数副プログラム)

(4-3) 式中の被積分関数を計算する。多重積分処理ルーチン AQME より呼び出される関数副プログラム。

8) FUNPN (関数副プログラム)

(4-2) 式中の被積分関数を計算する。積分処理ルーチン SIMP2 より呼び出される関数副プログラム。

9) INCARD

カードイメージデータを読み込む。

10) INITNG

(2-2)式で定義される補正係数 (f_{size}) の分母 $N_{(FOP)}$ と (2-1)式で定義される N_g の初期値を求める。

$$N_g \text{ の初期値} = N_{esc.g}^{(2)} - N_g^{(1)}$$

11) ITER

3次以上の $N_{esc.g}^{(k)}$ を求め、繰り返し計算を行い収束値 N_g を求める。

収束の判定は

$$\epsilon \geq M_{ax}(\epsilon^1, \epsilon^2, \epsilon^3, \dots, \epsilon^g, \dots)$$

$$\epsilon^g = |N_{esc.g}^{(k)} / N_g|$$

で行なっている。

12) LSUB

多重積分処理ルーチンAQMEで用いる(4-3)式の積分の上限, 下限を設定する。

13) MAIN

本コードのメインルーチン。ダイナミックエリアのポインターの設定と各処理ルーチンの呼び出しを行う。

14) SETSGS

散乱データのマトリックス化

4.2 セル内随伴中性子束分布効果の評価

セル内随伴中性子束分布を考慮した非均質効果計算コード(FADJ)は、随伴中性子束のセル内での分布を考慮した場合と、考慮しない場合(空間的に一定)との反応度の相違に基づく補正係数(f_{adj})を求める。随伴中性子束のセル内分布は、従来の衝突確率法によるセル計算コード"SLAROM"⁸⁾に若干の機能を追加したコード(MSLAROM)で求める。MSLAROMコードによるセル計算は、サンプルを加えた摂動系(perturbed)とサンプルのない非摂動系(unperturbed)との2つのセルそれぞれについての計算処理を必要とする。

FADJコードのプログラム構成と各ルーチンの処理概要

セル内随伴中性子束分布を考慮したサンプル反応度値の補正は大きく2つの処理ステップに分かれる。

初めにMSLAROMコードを用いてセル計算を行い、摂動系(perturbed)、非摂動系(unperturbed)のマクロ断面積、中性子束、随伴中性子束等を求める。MSLAROMコードは、SLAROMコードの処理機能に加え、サブルーチンITERで随伴中性子束分布の計算を行い、反応度補正計算コード(FADJ)の入力となるファイルを装置機番94番に出力する。

次にFADJコードの実行をする。FADJコードは、MSLAROMコードの出力ファイルから非摂動系セルの中性子束、随伴中性子束、及び摂動系セルの断面積等を読み込み、サンプル反応

度値補正係数 (f_{adj}) の計算を行う。尚、FADJ コードにはカードイメージの入力はない。Fig.4.4, Fig.4.5 にコードの処理フロー、ツリー構造を、また各ルーチンの処理概要を以下に示す。

1) CLEAR

配列をゼロクリアする。

2) ERROR

ファイルのアサインに誤りがある場合等に、エラーメッセージを出力してプログラムの実行を終了する。

3) HAFLUX

非摂動系セルに対して、中性子束で重み付けしたセル平均断面積を算出し、それを用いて空間的に一定な随伴中性子束を求める。

4) MAIN

本コードのメインルーチンであり、計算機で使用する記憶容量節約の目的で用いているダイナミックエリアのサイズ設定とポインターの設定を行い、補正係数計算制御ルーチン MASTER の呼び出しを行う。

5) MASTER

各処理ルーチンの制御を行い、補正係数 (f_{adj}) を決定する。本ルーチンでは、ファイルから中性子束、断面積等を読み込み、まず空間的に一定な随伴中性子束を求める。次に衝突確率法を用いた反応度計算式において、随伴中性子束を乗じる前の各項の総和 (Fig.4.4 中の A_j^g, B_j^g) を非摂動系・摂動系に対して求める。最後に随伴中性子束を乗じて反応度を求め、 f_{adj} を算出する。

6) RFLXKI

MSTAROM コードの非摂動系セル計算の出力ファイルから、体積、核分裂中性子スペクトル、中性子束、及び随伴中性子束を読み込む。また摂動系セル計算の出力ファイルからも体積、核分裂中性子スペクトルを読み込み、それらが非摂動系セル計算の場合と一致する事を確認する。ここで、中性子束は、後の計算処理の為に体積を乗じた形に置き換えている。

7) RHEAD

MSTAROM コードの出力ファイルから、エネルギー群数、セル領域数等を読み込む。また、非摂動系と摂動系の群数及び領域数が一致する事を確認する。

8) RSIGMA

MSTAROM コードの出力ファイルから、マクロ断面積を読み込む。

9) SUMI

行列の積を計算する。

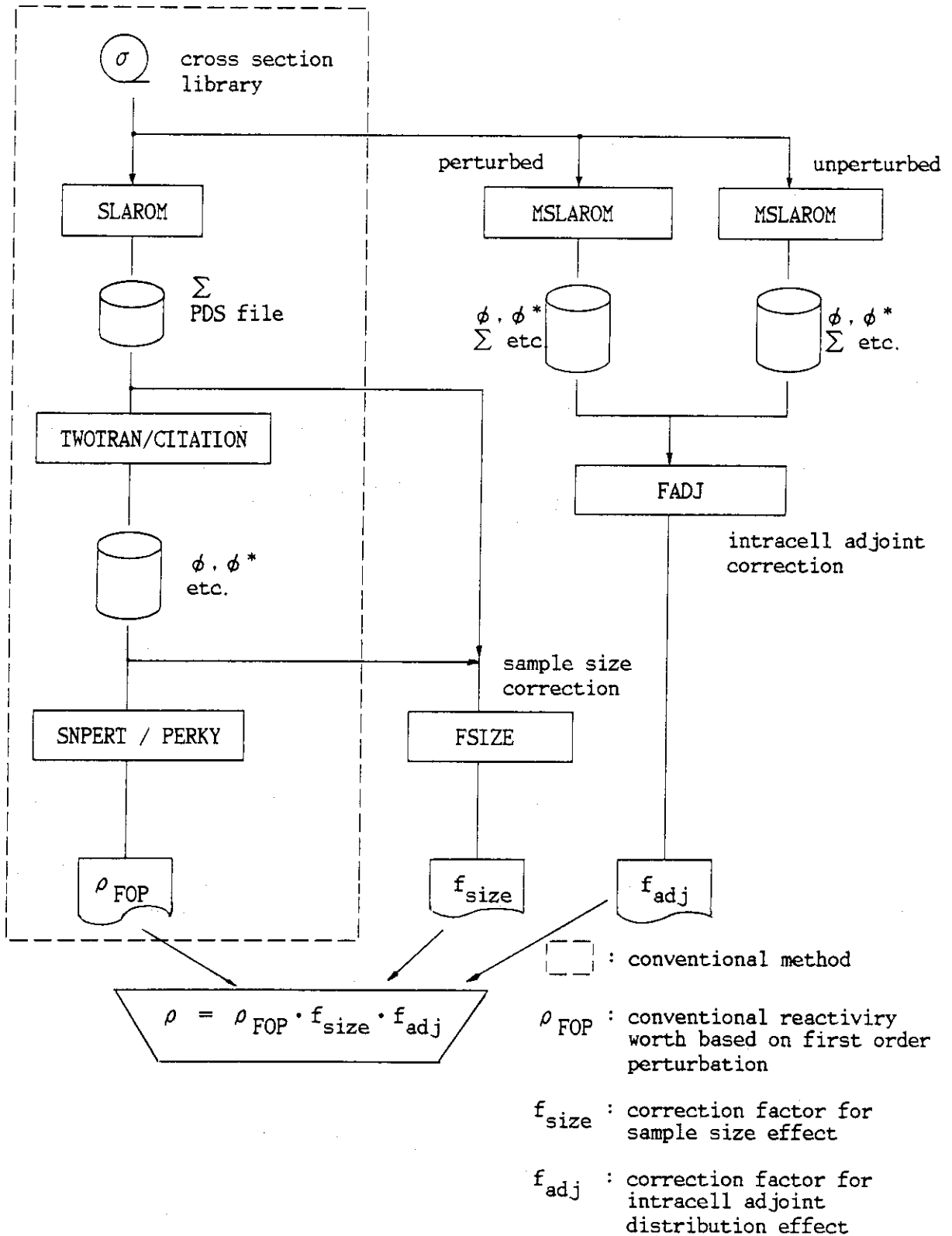


Fig. 4.1 Flow chart of calculational system for reactivity worth

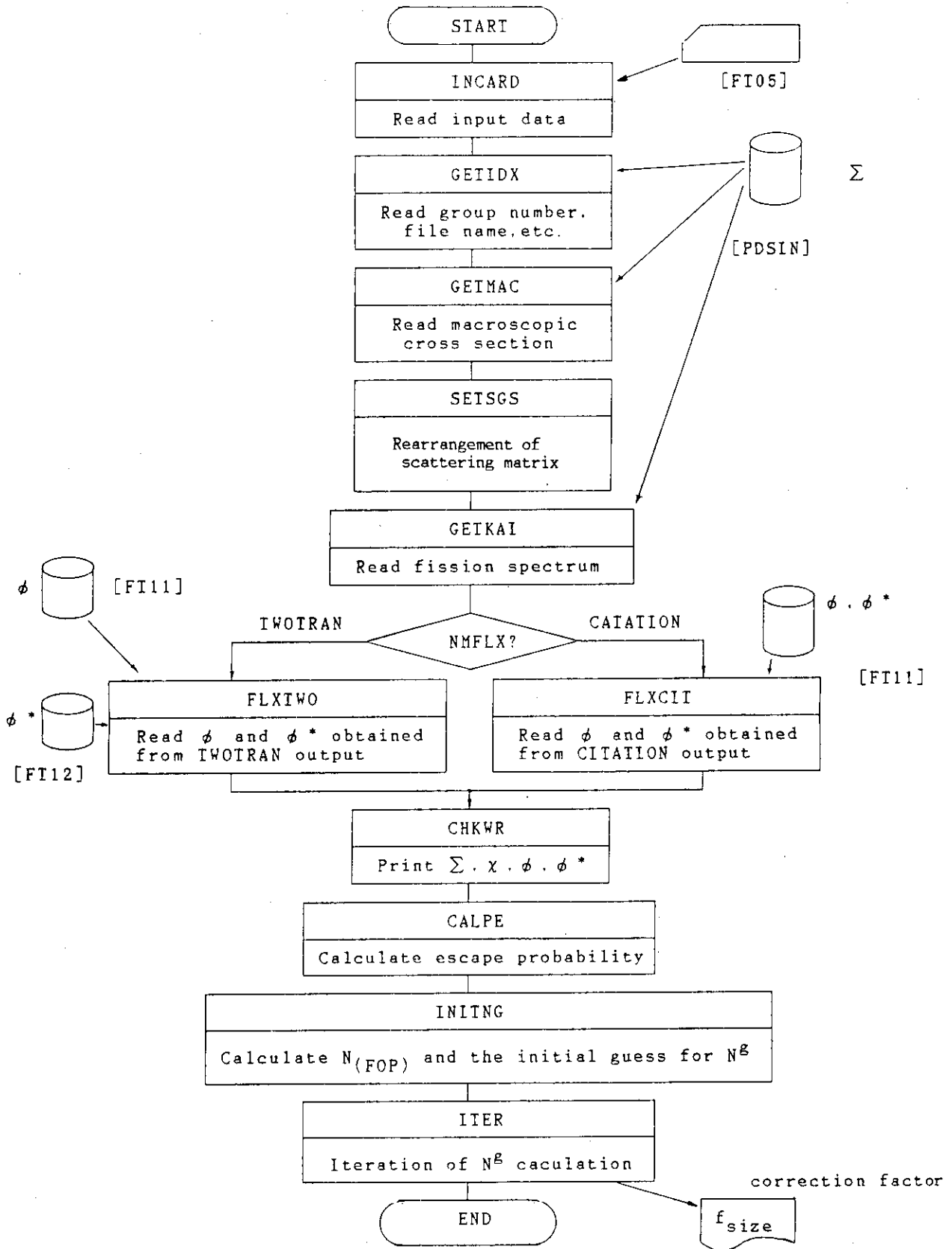
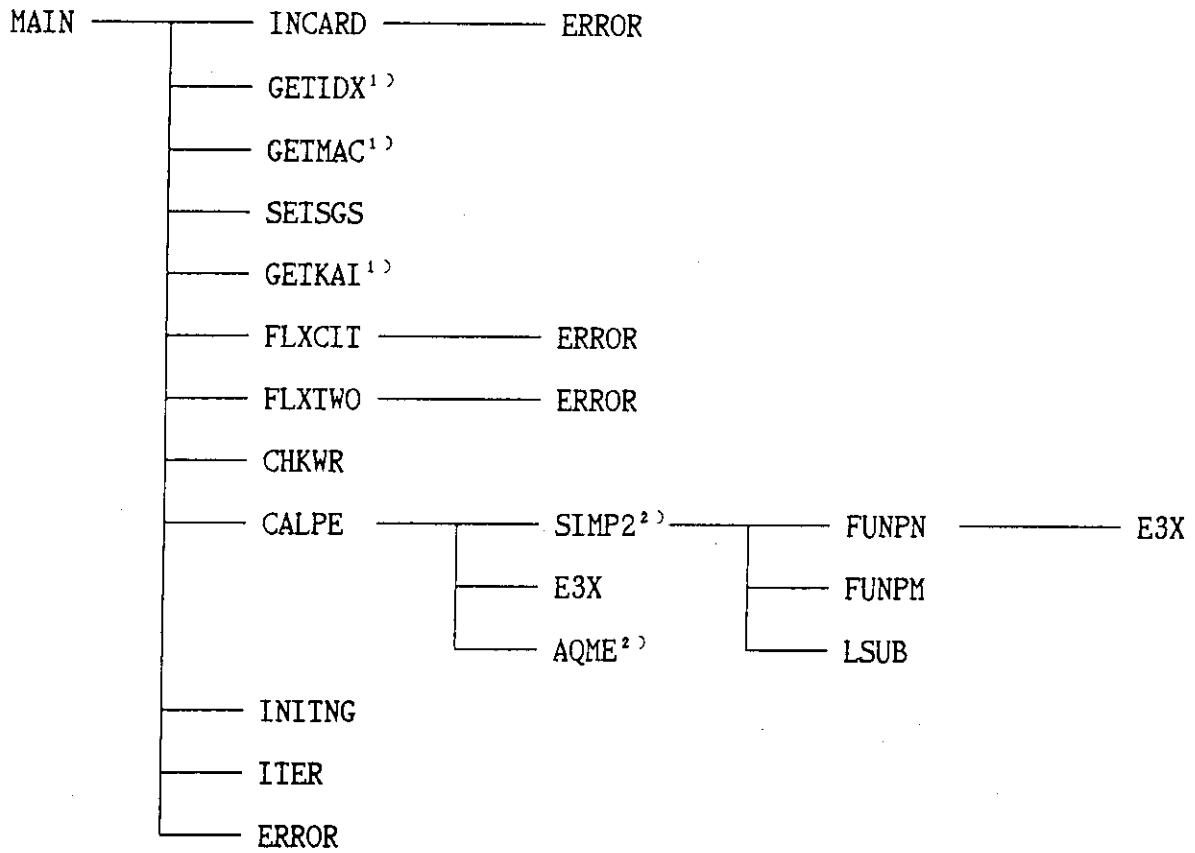


Fig. 4.2 Calculation flow of FSIZE code



- 1) Module in PDS read/write library
- 2) Module in 'SYS9.SSL2.LOAD'

Fig. 4.3 Program tree of FSIZE

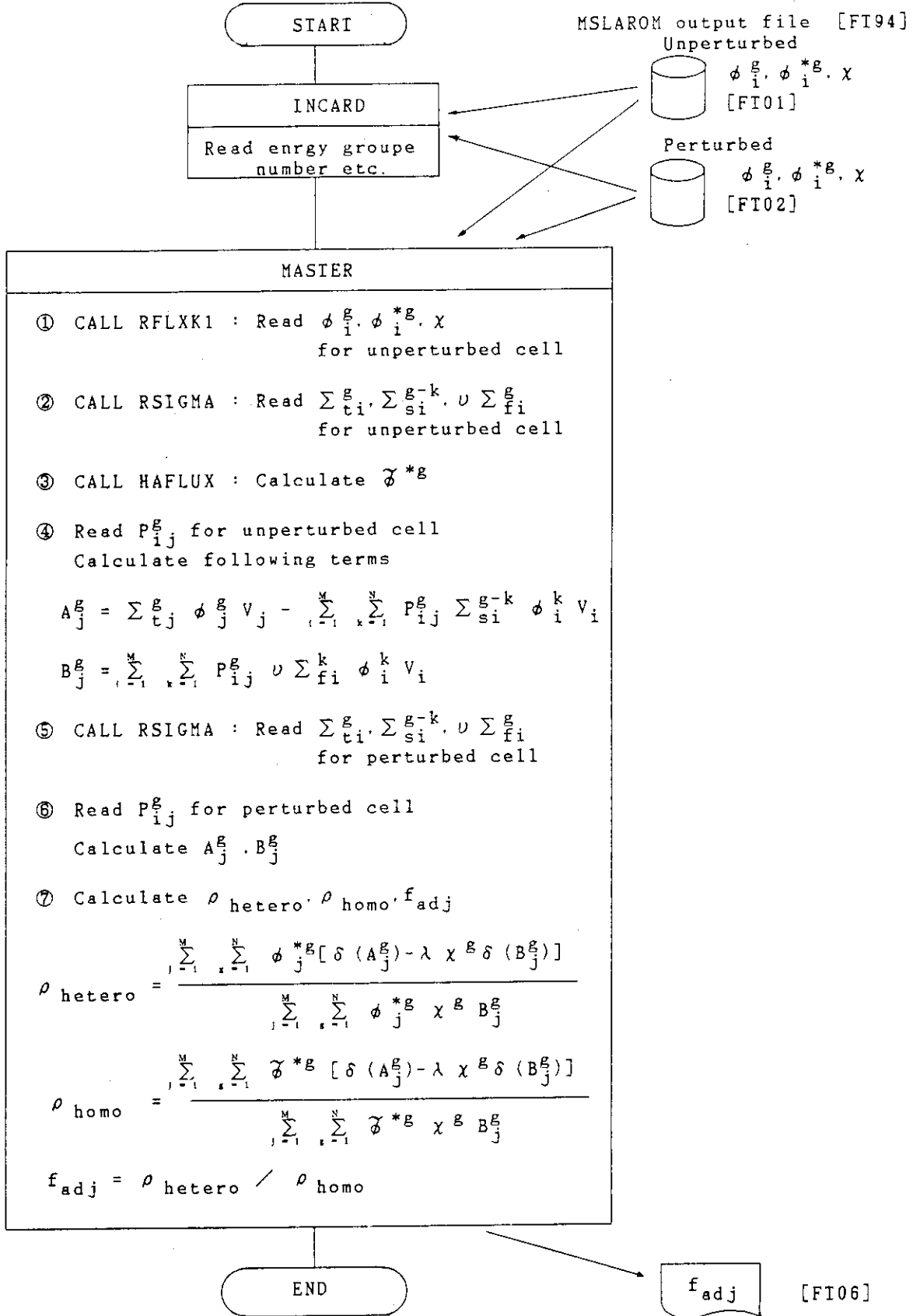


Fig. 4.4 Calculation flow of FADJ code

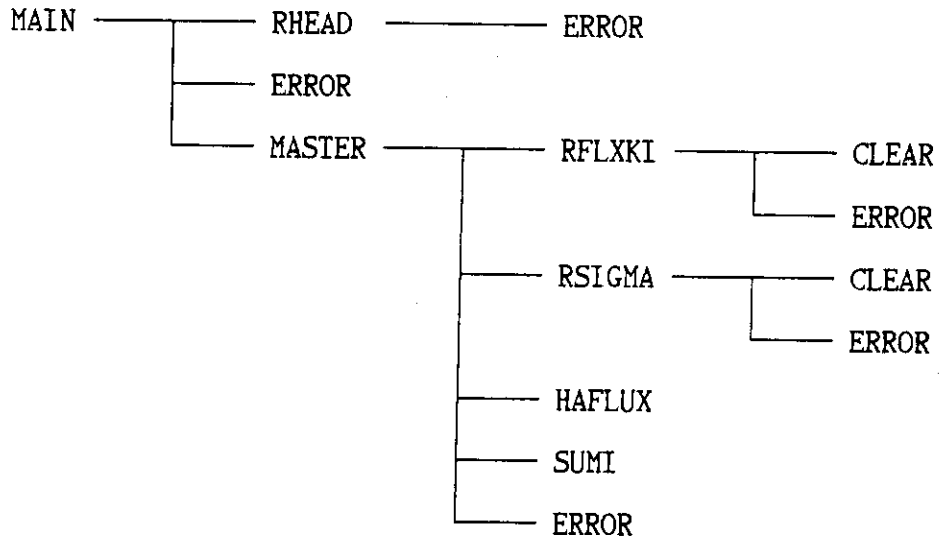


Fig. 4. 5 Program tree of FADJ

5. 計 算 例

作成した計算コードを用いて行ったテスト計算結果について述べる。最初に、サンプルサイズ効果および随伴中性子束分布による非均質効果の計算精度の検証等を目的として、各効果の計算結果をANLの結果と比較した。次に、総合的なテスト計算として、FCA XI-1集合体¹⁰⁾で測定したサンプル反応度値値に対して、サンプルサイズ効果および随伴中性子束分布による非均質効果を評価した。

ANLとの比較計算では、70群定数セットJFS-3-J2を用い、70群拡散計算を行った。計算結果の中性子束および随伴中性子束を使用して、各非均質効果の補正係数を求めた。一方、FCA XI-1集合体でのサンプル反応度値値解析には、同じくJFS-3-J2を用いて、25群輸送計算を行い、従来の反応度値値を求めた。更に、この25群輸送計算結果の中性子束および随伴中性子束を用いて、補正係数を求めた。

5.1 サンプルサイズ効果

ZPPR9で測定に使用されたサンプルに対して、サイズ効果による補正係数を求め、ANLでの計算結果¹²⁾と比較した。サンプルは、核分裂性核種の²³⁵Uと²³⁹Pu、および親物質の²³⁸U、さらに吸収材核種の¹⁰Bの4種類である。これらの形状等をTable 5.1に示す。また、Table 5.2に補正係数(f_{size})をANLでの結果と併せて示す。

表より明らかなように、核分裂性核種、親物質、吸収材核種とも本計算コードの結果はANLでの結果と良い一致を示している。従って、本計算コードによるサンプルサイズ効果の計算精度は、ANLでのサンプルサイズ効果コード(SARCASM)⁷⁾と同程度であり、第1章で述べたように核分裂性核種のサンプルに対しては1%以内であると言える。

5.2 セル内随伴中性子束分布効果

ZPR6-7炉心⁴⁾およびZPR9-34炉心⁵⁾において、核分裂性核種の²³⁵Uと²³⁹Puおよび吸収材核種の¹⁰Bの各サンプル(ただし、¹⁰BサンプルはZPR6-7炉心においてのみである。)に対して、随伴中性子束のセル内での分布を考慮した非均質効果補正係数(f_{adj})を求め、ANLで計算したK.S.Smithの結果と比較した。各サンプルの形状をTable 5.3に示し、サンプル反応度値測定位置での体系の模擬物質板配列図をFig. 5.1に示す。また、本コードによる補正係数(f_{adj})計算結果をK.S.Smithの結果^{4),5)}と併せてTable 5.4に示す。

本コードによる補正係数(f_{adj})は、K.S.Smithの結果と比べると、核分裂性核種で2~3%大きな値である。一方、吸収材核種に対しては両者が一致している。この核分裂性核種に対する不一致の原因として、計算手法の相違(衝突確率法と S_n 法の相違)、計算に使用した断面積セットの相違等が考えられる。しかし、ここではこれら上記相違点に関する詳細な検討は

行わなかった。

5.3 FCA XI-1 集合体でのサンプル反応度値

本計算コードを用いた総合的なテスト計算として、FCA XI-1 集合体でのサンプル反応度値を解析した。FCA XI-1 集合体は、大型高速炉を模擬したテスト領域とドライバ領域から成っている。サンプル反応度値は、テスト領域の中心で測定した。測定位置での模擬物質板配列図を Fig.5.2 に示す。また、測定に使用した ^{235}U 、 ^{238}U 、 ^{239}Pu サンプルの各形状等を Table 5.5 に示す。

これらの各サンプル反応度値に対して、従来解析による結果と本計算コード使用により評価された非均質効果を考慮した場合の結果を Table 5.6 で比較した。

従来解析結果を用いると、サンプル反応度値の計算値と実験値の比 (C/E) は、 ^{235}U サンプルの場合 1.01 であるのに対し、 ^{239}Pu サンプルの場合 0.98 であり、両者に若干の差がある。2つの非均質効果の補正を行うと、 ^{235}U と ^{239}Pu サンプルの中心反応度値の C/E は、0.984 と一致した。本計算コードでの非均質効果は、サンプルサイズ効果は、サンプルサイズ効果として最大 1.6% (^{239}Pu サンプル)、随伴中性子束分布効果として ^{235}U 、 ^{239}Pu サンプルで -1.7%、 ^{238}U サンプルで +1.3% であった。従って、これら 2つの非均質効果を考慮した補正係数は、 ^{235}U サンプルで 0.980、 ^{238}U サンプルで 1.014、 ^{239}Pu サンプルで 1.000 となる。ここで、 ^{239}Pu サンプルの補正係数が 1.000 であるのは、たまたまこれら非均質効果の補正係数が同じ大きさで、符号が逆符号であったためである。

本結果は、反応度値の C/E がたまたま 1 に近い値であった。しかし、例えば ZPR9-34 では、サンプルサイズ補正は 2% 以内であり、セル内随伴中性子束分布非均質効果は約 6% の補正が必要である (Table 5.4 参照)。これら 2つの非均質効果を補正した中心サンプル反応度値の C/E は、サンプル、測定方法等に依存せず同じ傾向を示す。⁵⁾

Table 5.1 Specifications of samples used in ZPPR 9

Sample	Dimension	Sample Mass (Main Components (wt%))
U-235	7.62mm ϕ \times 55.2mm L	46.8887 (g) (U235 93.19, U238 5.60, U234 0.95, U236 0.26)
U-238	7.62mm ϕ \times 55.2mm L	47.4269 (g) (U238 99.78, U235 0.21)
Pu-239	7.62mm ϕ \times 55.2mm L	38.0907 (g) (Pu239 97.20, Pu240 1.01, Pu241 0.05, Al 0.95)
B-10	10.19mm ϕ \times 55.2mm L	4.1928 (g) (B10 87.12, B11 7.38)

Table 5.2 Comparison of sample size correction factors obtained from FSIZE and SARCASM codes

Sample	Sample size correction factor	
	FSIZE code	SARCASM code
U-235	0.985	0.98
U-238	1.002	1.00
Pu-239	1.060	1.05
B-10	0.785	0.78

Table 5.3 Specifications of samples used in ZPR 6-7 and ZPR 9-34

ZPR 6-7

Sample	Dimension	Sample Mass (Main Components (wt%))
U-235	21.3 mm ϕ \times 50.0mm ^L	3.084 (g) (U235 93.26, U238 5.42, U234 0.91, U236 0.45)
Pu-239	21.3 mm ϕ \times 31.8mm ^L	3.524 (g) (Pu239 97.76, Pu240 0.99, Pu241 0.06, Al 1.19)
B-10	1.25mm ϕ \times 50.0mm ^L	0.5553 (g) (B10 19.88, B11 80.12)

ZPR 9-34

Sample	Dimension	Sample Mass (Main Components (wt%))
U-235	21.2 mm ϕ \times 42.9mm ^L	15.8 (g) (U235 93.2, U238 5.8)
Pu-239	21.2 mm ϕ \times 29.4mm ^L	10.0 (g) (Pu239 96.9, Pu240 1.0, Al 1.2)
Pu-241	7.6 mm ϕ \times 55.3mm ^L	4.8 (g) (Pu241 89.9, Pu240 4.3, Pu242 3.0, Pu239 1.0)

Table 5.4 Comparison of intracell adjoint correction factors
calculated with FADJ code and evaluated by K. S. Smith

ZPR 6-7

Sample	Intracell adjoint correction factor	
	FADJ code	K. S. Smith
U-235	0.980	0.950
Pu-239	0.982	0.962
B-10	0.999	1.000

ZPR 9-34

Sample	Intracell adjoint correction factor	
	FADJ code	K. S. Smith
U-235	0.969	0.935
Pu-239	0.971	0.949
Pu-241	0.973	0.949

Table 5.5 Specifications of samples used in FCA assembly XI-1

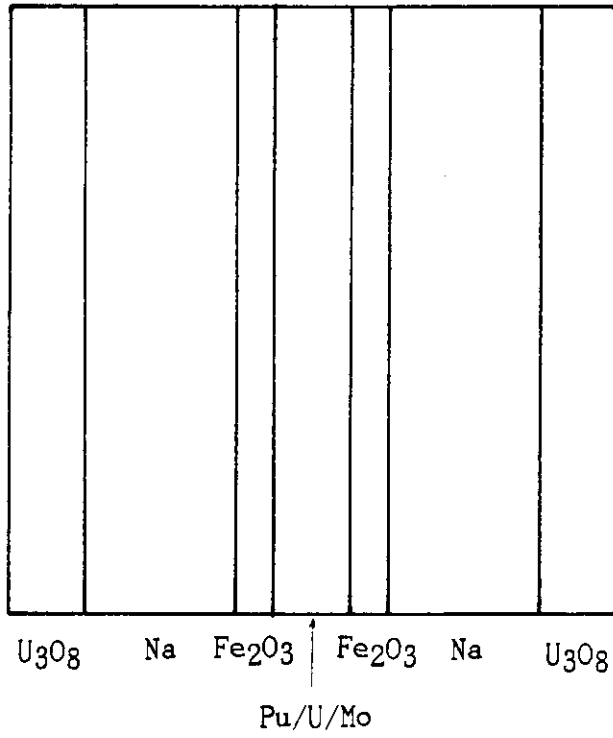
Sample	Dimension	Sample Mass (Main Components (wt%))
U-235	10.7 mm ϕ \times 96.5mm ^L	23.633 (g) (U235 84.58, U238 0.04, O 15.36)
U-238	10.7 mm ϕ \times 88.9mm ^L	23.585 (g) (U238 84.54, O 15.46)
Pu-239	10.7 mm ϕ \times 78.9mm ^L	22.678 (g) (Pu239 87.40, Pu240 0.78, Pu241 0.01, O 11.81)

Table 5.6 Sample reactivity worth results from FCA assembly XI-1

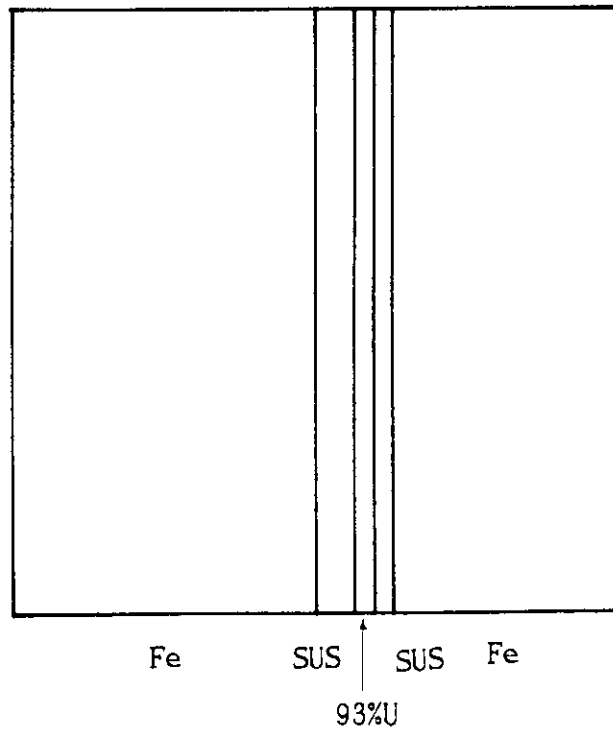
Sample	C/E Conventional method	f_{size}	f_{adj}	C/E Corrected for heterogeneity effects
U-235	1.006	0.997	0.983	0.985
U-238	0.851	1.001	1.013	0.866
Pu-239	0.984	1.016	0.984	0.984

f_{size} : Sample size correction factor

f_{adj} : Intracell adjoint correction factor



ZPR 6-7



ZPR 9-34

Fig. 5.1 Unit cells in ZPR 6-7 and ZPR9-34

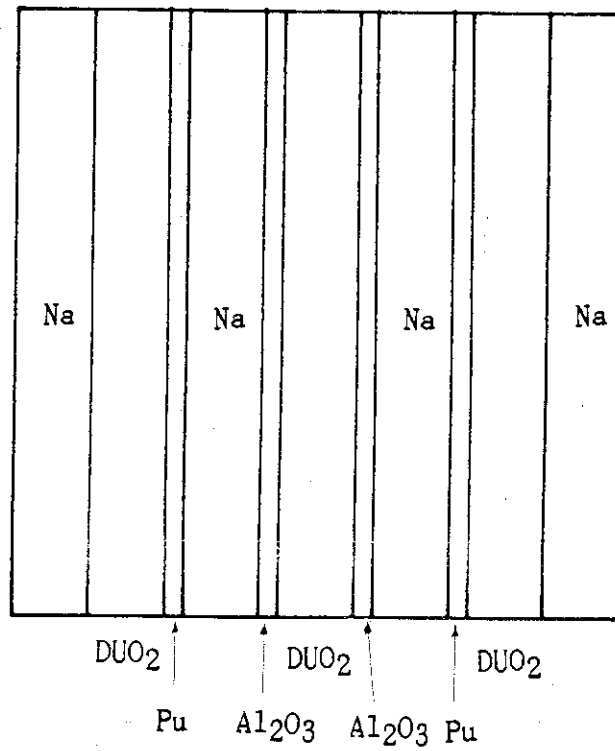


Fig. 5.2 Unit cell in FCA assembly XI-1

6. ま と め

サンプル反応度値解析精度を向上させるために、サンプルサイズ効果および随伴中性子束のセル内分布を考慮した非均質効果を評価する計算コードを作成した。

サンプルサイズ効果は、有限な大きさのサンプル内への入射中性子数とサンプル外へ洩れ出る中性子数の正味の収支を衝突確率法を用いて計算し、従来の反応度値計算結果に対する補正係数として求めた。

一方、セル内随伴中性子束分布非均質効果は、一次摂動計算において随伴中性子束のセル内分布を考慮した場合の反応度値を衝突確率法により評価し、サンプルサイズ効果と同様、補正係数として求めた。

作成した計算コードによる結果は、サンプルサイズ効果に関してはANLでの同様の解析コードを用いた結果と一致した。一方、セル内随伴中性子束分布非均質効果に関しては、本計算コードによる補正係数は、ANLでの結果に比べて核分裂性核種に対して2～3%大きい。

これら非均質効果の評価例として、FCA XI-1集合体を対象にして評価したが、その効果は小さかった。今回は、1つの炉心に対して両非均質効果の有効性を検討したが、さらに複数個の炉心に対して解析を行い、これら非均質効果補正が一般的に必要なかどうか検討を行う。

また、今後の課題として、セル内随伴中性子束分布非均質効果に関するANLでの計算値との不一致の原因について詳細な検討を行う必要がある。さらに、板状燃料を用いたサンプル反応度値に対する非均質効果の評価手法の検討が必要である。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、種々の御助言を載いた高速炉物理研究室吉田弘幸室長に感謝いたします。

6. ま と め

サンプル反応度値解析精度を向上させるために、サンプルサイズ効果および随伴中性子束のセル内分布を考慮した非均質効果を評価する計算コードを作成した。

サンプルサイズ効果は、有限な大きさのサンプル内への入射中性子数とサンプル外へ洩れ出る中性子数の正味の収支を衝突確率法を用いて計算し、従来の反応度値計算結果に対する補正係数として求めた。

一方、セル内随伴中性子束分布非均質効果は、一次摂動計算において随伴中性子束のセル内分布を考慮した場合の反応度値を衝突確率法により評価し、サンプルサイズ効果と同様、補正係数として求めた。

作成した計算コードによる結果は、サンプルサイズ効果に関してはANLでの同様の解析コードを用いた結果と一致した。一方、セル内随伴中性子束分布非均質効果に関しては、本計算コードによる補正係数は、ANLでの結果に比べて核分裂性核種に対して2～3%大きい。

これら非均質効果の評価例として、FCA XI-1集合体を対象にして評価したが、その効果は小さかった。今回は、1つの炉心に対して両非均質効果の有効性を検討したが、さらに複数個の炉心に対して解析を行い、これら非均質効果補正が一般的に必要なかどうか検討を行う。

また、今後の課題として、セル内随伴中性子束分布非均質効果に関するANLでの計算値との不一致の原因について詳細な検討を行う必要がある。さらに、板状燃料を用いたサンプル反応度値に対する非均質効果の評価手法の検討が必要である。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、種々の御助言を載いた高速炉物理研究室吉田弘幸室長に感謝いたします。

参考文献

- 1) Le Sage L.G. and Mcknight R.D.: "Discussion of Integral Experiment C/E Discrepancies," Proc. of International Conference on Nuclear Cross Sections for Technology, Knoxville (1979) 297.
- 2) Bohn E.M.: "The Central Worth Discrepancy in Three Fast Reactor Benchmark Critical Assemblies", ANL-75-14.
- 3) Schaefer R.W. and Bucher R.G.: "Calculated and Measured Reactivities in the U9 Critical Assemblies," Proc. Topl. Mtg, on Advances in Reactor Physics and Core Thermal Hydraulics, Kiamesha-Lake (1982) NUREG/CP-0034 p.93.
- 4) Smith K.S.: "The Effects of Intracell Adjoint Flux Heterogeneity on First-Order Perturbation Reactivity Calculations," Nucl. Sci. Eng. 81 (1982) 451-458.
- 5) Smith K.S. and Schaefer R.W.: "Recent Developments in the Small-Sample Reactivity Discrepancy," Nucl. Sci. Eng. 87 (1984) 314-332.
- 6) Schaefer R.W.: "Local Heterogeneity Effects on Small-Sample Worths," Proc. Topl. Mtg. on Reactor Physics and Safety, Saratoga Springs (1986) 1157.
- 7) Collins P.J. and Palmer R.G.: "Calculated Size Effects for Reactivity Perturbation Samples in ZPPR", ANL-7910 (1971) p.247.
- 8) Nakagawa M. and Tsuchihashi K.: "SLAROM: A Code for Cell Homogenization Calculation of Fast Reactor", JAERI 1294 (1984).
- 9) Fukai Y.: "原子炉計算における衝突確率法の利用", JAERI-memo 2989 (1968) (in Japanese).
- 10) Osugi T et al.: "FCA XI-1集合体による大型高速炉臨界実験", JAERI-M 84-075 (1984) (in Japanese).
- 11) Takano M. and Ishiguro Y.: "Production and Benchmark Tests of Fast Reactor Group Constant Set JFS-3-J2", JAERI-M 82-135 (1982)
- 12) S. Iijima: Private communication
- 13) W.K. Foell: "Small-sample Reactivity Measurements in Nuclear Reactors," American Nuclear Society (1972)

付録 A 衝突確率法によるサンプルサイズを 考慮したサンプル内中性子数

サンプルの表面で一様かつ等方な中性子束 ϕ を考える。今、 g 群の中性子がサンプル内の位置 r に表面から到達する確率を P_0^g とすると、位置 r で 1 次衝突する中性子の数 $N_{g(r)}^{(1)}$ は、

$$N_{g(r)}^{(1)} dr = \Sigma_t^g \phi^g P_{c(r)}^g dr \quad (A-1)$$

ここで Σ_t^g : g 群の全断面積

と表わせる。ここで、サンプル表面から r に到達する確率は r から表面に到達する確率（即ち r からサンプル外へ逃れる確率（escape probability））に等しいことより、(1)式は次のように表わせる。

$$N_{g(r)}^{(1)} dr = \Sigma_t^g \phi^g P_{0(r)}^g dr \quad (A-2)$$

$P_{0(r)}^g$: 位置 r からの escape probability

従って、サンプル表面から入射し、体積 V のサンプル内で 1 次衝突する中性子の数は、

$$N_g^{(1)} = \int_V \Sigma_t^g \phi^g P_{0(r)}^g dr = \Sigma_t^g \phi^g \bar{P}_0^g V \quad (A-3)$$

$$\bar{P}_0^g = \frac{1}{V} \int_V P_{0(r)}^g dr$$

と表わせる。ただし、 Σ_t^g はサンプル内で一定とした。

次に、サンプル内で散乱や核分裂によって発生する g 群の 2 次中性子数 $N_{\text{born},g}^{(2)}$ を考えると、

$$\begin{aligned} (N_{\text{born},g}^{(2)} dr) &= \text{Sum}_{g'} A^{g' \rightarrow g} \phi^{g'} P_{0(r)}^{g'} dr \\ N_{\text{born},g}^{(2)} &= \text{Sum}_{g'} A^{g' \rightarrow g} \phi^{g'} V \bar{P}_0^{g'} \end{aligned} \quad (A-4)$$

$$\text{ここで } A^{g' \rightarrow g} = \Sigma_s^{g' \rightarrow g} + \chi^g (\nu \Sigma_f^{g'})$$

と表わせる。従って、このうち、サンプル外へ逃れる 2 次中性子数 $N_{\text{esc},g}^{(2)}$ は、

$$N_{\text{esc},g}^{(2)} = N_{\text{born},g}^{(2)} \cdot \bar{P}_0^g = \text{Sum}_{g'} A^{g' \rightarrow g} \phi^{g'} V \bar{P}_0^{g'} \bar{P}_0^g \quad (A-5)$$

であり、また、サンプル内に溜まる g 群の 2 次中性子数 $N_{\text{res},g}^{(2)}$ は、

$$N_{\text{res},g}^{(2)} = N_{\text{born},g}^{(2)} \cdot (1 - \bar{P}_0^g) = \text{Sum}_{g'} A^{g' \rightarrow g} \phi^{g'} V \bar{P}_0^{g'} (1 - \bar{P}_0^g)$$

である。ここで、サンプル内に溜まる g 群の 2 次中性子数は、即ちサンプル内で衝突する 2 次中性子数であるから、

$$N_{\text{res},g}^{(2)} = \Sigma_t^g \phi^{(2)g} V \quad (\text{A-6})$$

であり、2 次中性子による中性子束は、

$$\phi^{(2)g} = \frac{1}{\Sigma_t^g V} N_{\text{res},g}^{(2)} \quad (\text{A-7})$$

と表わせる。ここで、 $\phi^{(2)g}$ はサンプル内で等方向一様と仮定した。

次にサンプル内の 3 次中性子について考えると、2 次中性子と同様にして、

$$N_{\text{born},g}^{(3)} = \text{Sum}_{g'} A^{g' \rightarrow g} \phi^{(2)g'} V = \text{Sum}_{g'} \frac{A^{g' \rightarrow g}}{\Sigma_t^{g'}} N_{\text{res},g'}^{(2)} \quad (\text{A-8})$$

$$N_{\text{esc},g}^{(3)} = N_{\text{born},g}^{(3)} \cdot \bar{P}_0^g = \text{Sum}_{g'} \frac{A^{g' \rightarrow g}}{\Sigma_t^{g'}} \cdot N_{\text{res},g'}^{(2)} \cdot \bar{P}_0^g \quad (\text{A-9})$$

$$N_{\text{res},g}^{(3)} = N_{\text{born},g}^{(3)} \cdot (1 - \bar{P}_0^g) = \text{Sum}_{g'} \frac{A^{g' \rightarrow g}}{\Sigma_t^{g'}} \cdot N_{\text{res},g'}^{(2)} \cdot (1 - \bar{P}_0^g) \quad (\text{A-10})$$

とそれぞれ表わせる。以下、同様にして、 k 次の中性子数に対して、

$$N_{\text{born},g}^{(k)} = \text{Sum}_{g'} \frac{A^{g' \rightarrow g}}{\Sigma_t^{g'}} N_{\text{res},g'}^{(k-1)} \quad (\text{A-11})$$

$$N_{\text{esc},g}^{(k)} = N_{\text{born},g}^{(k)} \cdot \bar{P}_0^g = \text{Sum}_{g'} \frac{A^{g' \rightarrow g}}{\Sigma_t^{g'}} N_{\text{res},g'}^{(k-1)} \cdot \bar{P}_0^g \quad (\text{A-12})$$

$$N_{\text{res},g}^{(k)} = N_{\text{res},g}^{(k)} = N_{\text{born},g}^{(k)} \cdot (1 - \bar{P}_0^g) = \text{Sum}_{g'} \frac{A^{g' \rightarrow g}}{\Sigma_t^{g'}} N_{\text{res},g'}^{(k-1)} \cdot (1 - \bar{P}_0^g) \quad (\text{A-13})$$

と求めることができる。従って、外部からサンプルへ入射した中性子数とその中性子がサンプル内で衝突を行ってサンプル外へ逃れた中性子数との収支は、

$$N_g = \text{Sum}_{k=2} N_{\text{esc},g}^{(k)} - N_g^{(1)} \quad (\text{A-14})$$

である。

以上をまとめると、

$$N_g = \text{Sum}_{k=2} N_{\text{esc},g}^{(k)} - N_g^{(1)} \quad (\text{A} - 15)$$

$$N_g^{(1)} = \Sigma_t^g \phi^g V \bar{P}_0^g \quad (\text{A} - 16)$$

$$N_{\text{esc},g}^{(2)} = \text{Sum}_{g'} A^{g' \rightarrow g} \phi^{g'} V \bar{P}_0^g \quad (\text{A} - 17)$$

$$N_{\text{esc},g}^{(k)} = \text{Sum}_{g'} \frac{A^{g' \rightarrow g}}{\Sigma_t^{g'}} N_{\text{res},g'}^{(k-1)} \bar{P}_0^g \quad (k \geq 3) \quad (\text{A} - 18)$$

$$\text{ただし, } A^{g' \rightarrow g} = \Sigma_s^{g' \rightarrow g} + \chi^g (\nu \Sigma_f)^{g'} \quad (\text{A} - 19)$$

$$N_{\text{res},g}^{(2)} = \text{Sum}_{g'} A^{g' \rightarrow g} \phi^{g'} V \bar{P}_0^g (1 - \bar{P}_0^g) \quad (\text{A} - 20)$$

$$N_{\text{res},g}^{(k)} = \text{Sum}_{g'} \frac{A^{g' \rightarrow g}}{\Sigma_t^{g'}} N_{\text{res},g'}^{(k-1)} \cdot (1 - \bar{P}_0^g) \quad (k \geq 3) \quad (\text{A} - 21)$$

である。

(A-15) ~ (A-21) 式より、サンプル反応度値は一次摂動計算の分子において

$$N_{(\text{sample})} = \text{Sum}_g \phi^{*g} N_g = \text{Sum}_g \phi^{*g} \left(\text{Sum}_{k=2} N_{\text{esc},g}^{(k)} - N_g^{(1)} \right) \quad (\text{A} - 22)$$

と表わすことができる。ここで、サンプルサイズを極限值ゼロへ外挿すると $N_{(\text{sample})}$ は通常の一次摂動計算の分子に相当することがわかる。実際に、(A-22)式を用いて、 $N_{(\text{sample})}$ を導出するには、体系計算におけるサンプル位置での中性子束及び随伴中性子束、セル計算によるサンプルの巨視断面積と、サンプル形状により求められる衝突確率が必要である。この衝突確率は、参考文献9)において、ある特定の形状について求められている。

付録 B 衝突確率法による中性子バランス方程式と反応度¹³⁾

衝突確率法による領域 j , エネルギー群 g 群の中性子バランス方程式は,

$$V_j \Sigma_{tj}^g \phi_j^g - \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^g V_i P_{ij} \Sigma_{si}^{k \rightarrow g} \phi_i^k - \lambda x^g \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N V_i P_{ij}^g \nu \Sigma_{fi}^k \phi_i^k = 0 \quad (B-1)$$

であり, この随伴方程式は,

$$V_j \Sigma_{tj}^g \phi_j^{+g} - \sum_{i=1}^M \sum_{k=g}^N V_j P_{ji}^k \Sigma_{sj}^{g \rightarrow k} \phi_i^{+k} - \lambda \nu \Sigma_{fj}^g \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N x^k V_j P_{ji}^k \phi_i^{+k} = 0 \quad (B-2)$$

である。ここで, V_i は領域 i の体積, P_{ij}^g は g 群の中性子の領域 i から j への衝突確率である。(B-1) 及び (B-2) 式に対して摂動論を用いると反応度 ρ は,

$$\rho = \frac{\delta \lambda}{\lambda} = \frac{1}{D_p} \left\{ \sum_{j=1}^M \sum_{g=1}^N \phi_j^{+g} V_j \left[-\delta \Sigma_{tj}^g \phi_j^{+g} + \sum_{i=1}^M \sum_{k=g}^N \delta (P_{ji}^k \Sigma_{sj}^{g \rightarrow k}) \phi_i^{+k} \right. \right. \\ \left. \left. + \lambda \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N x^k \delta (P_{ji}^k \nu \Sigma_{fj}^g) \phi_i^{+k} \right] \right\} \quad (B-3)$$

ただし,

$$D_p = \lambda \sum_{j=1}^M \sum_{g=1}^N \phi_j^{+g} x^g \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N V_i P_{ij}^g (\nu \Sigma_{fi}^k)' \phi_i^{+k} \quad (B-4)$$

である。

付録C 計算コードの使用方法

ここではサンプル反応度値の補正計算をする際に使用する各コードの使用方法、及びファイル形式について記述する。

C.1 FSIZEコード

Fig.C.1 に実行の JCL 例を示す。実行時に使用する入出力ファイルは

FT05F001: カードイメージ入力データ

FT06F001: プリントアウト

PDSIN : マクロ断面積が格納されている PDS 形式ファイル

FT11F001: 中性子束, 随伴中性子束が格納されている体系計算の出力ファイル。

TWOTRAN コードの出力ファイルでは, 中性子束が格納されているファイルを割りあてる。

FT12F001: 体系計算に TWOTRAN コードを使用した場合に随伴中性子束が格納されているファイルを割りあてる。

CITATION コードの出力を用いて計算する場合は不要。

である。

カードイメージの入力はカード2枚を使用する。以下に入力フォーマットを示す。

1 (*) [リスト指示入力文≡フリーフォーマット]

1. RAD 実数, 円柱形状サンプルの半径 (cm)
2. HEIGHT 実数, 円柱形状サンプルの長さ (cm)
3. MESH(I), 整数, 体系計算でのサンプル位置
 I = 1, 3 RZ, XY, XYZ 体系におけるサンプル位置の ϕ, ϕ^* として使用する。
 2次元の体系の場合は3語目をダミーとして入力する事。
 例 RZ 体系で R=2, Z=4 の位置にサンプルがある場合,
 入力は「2 4 1」とする。
4. EPS 実数, N_g を求める際の収束判定値
 ≤ 0.0 デフォルト値 10^{-10} を使用する。
5. NITER 整数, N_g を求める際の最大反復回数
 ≤ 0 デフォルト値 50 を使用する。
6. ICHK 整数, プリントオプション
 < 1 最終結果のみを出力する。
 $= 1$ escape probability と N_g の途中経過を出力する。
 > 1 上記に加え, 入力した断面積, 中性子束を出力する。

2 (3A8) [左づめで入力する事]

1. NMCELL PDS ファイルの領域名 (6文字以内)
2. NMPROG PDS ファイルを作成したコード名
3. NMFLX ϕ, ϕ^* を作成したコード名
(CITATION 又は TWOTRAN)

C.2 MSLAROMコード

MSLAROMコードとSLAROMコードとの違いは次の2点である。

- ・セル内随伴中性子束分布を計算する。
- ・FADJコードの入力となるファイルを装置機番94番に出力する。

実行方法及び入力データフォーマットにも大きな差はなく、次の点が異なるのみである。

- ・装置機番94番に出力ファイルを割りあてる。
- ・PIJFステップまでの入力データが良い。

FADJコードとの接続の為には摂動系 (perturbed) セル、及び非摂動系 (unperturbed) セルの計算が必要である。これは次の手順で実施する。

1) 非摂動系セルの計算

- ・バックリングサーチを行う。

2) 摂動系セルの計算

- ・1)で得られたバックリングを使用する。
- ・微少サンプルはセル内に均等に分布していると仮定して、サンプルとセルの体積比率でサンプルの核種密度をうすめ、さらに非摂動系セルの各プレートに均等に分配したものを入力データとする。

実行のJCL例をFig.C.2に示す。

C.3 FADJコード

本コードには、カードイメージの入力はない。入力ファイルはMSLAROMコードの出力結果のみである。計算された補正係数 (f_{adj}) は装置機番6番にプリントされる。Fig.C.3に本コードの実行JCL例を示す。

実行時に使用する入出力ファイルは、

FT01F001: MSLAROMコードの非摂動系セル計算で94番に出力されたファイル

FT02F001: MSLAROMコードの摂動系セル計算で94番に出力されたファイル

FT06F001: プリントアウト

である。

尚、本コードでは空間的に一定な随伴中性子束は、装置機番1番から入力される非摂動系セルの断面積、中性子束を用いてコード内で算出している。

```

//JCLG JOB
//JCLG EXEC JCLG
//SYSIN DD DATA,DLM='++'
// JUSER XXXXXXXX,YY.YYYYYYY,ZZZZ.ZZ
    T.1 W.O I.4 C.O SRP
    OPTP PASSWORD=PP
//*
//FSIZEGO PROC MEMB=
//RUN EXEC PGM=SINGLE
//SUBSYS DD SUBSYS=(VPCS,'SIZE=(00000K,00M)')
//STEPLIB DD DSN=J3622.FSIZE.LOAD,DISP=SHR
//SYSPRINT DD SYSOUT=*,DCB=(RECFM=FBA,LRECL=137,BLKSIZE=19043)
//FT05F001 DD DSN=J3622.ISLM.SIZECRIN.DATA(&MEMB),DISP=SHR
//FT06F001 DD SYSOUT=*,DCB=(RECFM=FBA,LRECL=137,BLKSIZE=19043)
//PDSIN DD DSN=J2003.Z9PDS.NEW.SSW.DATA,DISP=SHR,LABEL=(,,IN)
//FT11F001 DD DSN=J2003.ZPPR9.RZ7OSSW.DATA,DISP=SHR,LABEL=(,,IN)
//FT12F001 DD DUMMY
// PEND
//*
//* EXEC OF PROC
//*
//PU30 EXEC FSIZEGO,MEMB=PU30
//U60 EXEC FSIZEGO,MEMB=U60
//DU6 EXEC FSIZEGO,MEMB=DU6
//B1 EXEC FSIZEGO,MEMB=B1
++
//

```

Fig.C.1 Sample JCL for FSIZE

```

//JCLG JOB
//JCLG EXEC JCLG
//SYSIN DD DATA,DLM='++'
// JUSER XXXXXXXX,YY.YYYYYY,XXXX.XX
    T.3 W.0 C.2 I.5
    OPTP PASSWORD=PP
//*
//SLAROM PROC LM='J3622.MSLAROM.LOAD',PNM=HETECORR
//*
//* CARD OUT
//*
//PSLP EXEC PGM=JSDGENER,REGION=128K,COND=(4,LT)
//SYSPRINT DD SYSOUT=*
//SYSUT1 DD DSN=J3622.ISLM.SLAIN.DATA(&MEMB),DISP=SHR
//SYSUT2 DD SYSOUT=*
//SYSIN DD DUMMY
//*
//* MAKE CROSS SECTION ETC.
//*
//GO EXEC PGM=&PNM,COND=(4,LT)
//STEPLIB DD DSN=&LM,DISP=SHR
//FT05F001 DD DSN=J3622.ISLM.SLAIN.DATA(&MEMB),DISP=SHR
//FT06F001 DD DSN=J3622.ISLM.SLAROM.FT06(&MEMB),DISP=SHR
//PDSIN DD DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(TRK,(100,10,50)),
// UNIT=WK10,DCB=(BLKSIZE=900,LRECL=0,RECFM=U)
//PDSOUT DD DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(TRK,(100,10,50)),
// UNIT=WK10,DCB=(BLKSIZE=900,LRECL=0,RECFM=U)
//*---PIJ VOL WEIGHTED FLUX INTEGERD BY REGION
//FT40F001 DD DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(TRK,(40,10)),UNIT=WK10
//*--- MAIN LIBRARY ---
//FT08F001 DD DSN=J3622.ISLM.JFS3B4MD.DATA,DISP=SHR,LABEL=(,,IN)
//*---WORK FILE
//FT01F001 DD DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(TRK,(70,10)),UNIT=WK10
//FT02F001 DD DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(TRK,(40,10)),UNIT=WK10
//FT03F001 DD DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(TRK,(70,10)),UNIT=WK10
//FT04F001 DD DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(TRK,(70,10)),UNIT=WK10
//FT09F001 DD DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(TRK,(250,10)),UNIT=WK10
//FT10F001 DD DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(TRK,(70,10)),UNIT=WK10
//FT11F001 DD DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(TRK,(40,10)),UNIT=WK10
//FT20F001 DD DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(TRK,(40,10)),UNIT=WK10
//FT21F001 DD DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(TRK,(40,10)),UNIT=WK10
//FT41F001 DD DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(TRK,(40,10)),UNIT=WK10
//FT42F001 DD DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(TRK,(40,10)),UNIT=WK10
//FT43F001 DD DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(TRK,(40,10)),UNIT=WK10
//FT55F001 DD DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(TRK,(40,10)),UNIT=WK10
//FT56F001 DD DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(TRK,(40,10)),UNIT=WK10
//FT59F001 DD DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(TRK,(100,10)),UNIT=WK10
//FT70F001 DD DISP=(NEW,PASS),SPACE=(TRK,(300,10)),UNIT=WK10,
// DCB=(BLKSIZE=804,LRECL=40,RECFM=VBS,BUFL=804,DSORG=PS)
//FT72F001 DD DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(TRK,(40,10)),UNIT=WK10
//FT73F001 DD DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(TRK,(40,10)),UNIT=WK10
//FT80F001 DD DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(TRK,(40,10)),UNIT=WK10
//FT90F001 DD DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(TRK,(40,10)),UNIT=WK10
//FT94F001 DD DSN=J3622.ISLM.SLAROM.FT94(&MEMB),DISP=SHR
// PEND
//RUN1 EXEC SLAROM,MEMB=SSIN2PU9
//RUN2 EXEC SLAROM,MEMB=SSIN2U5
//RUN3 EXEC SLAROM,MEMB=SSIN2B10
++
//

```

Fig.C.2 Sample JCL for MSLAROM

```

//JCLG JOB
//JCLG EXEC JCLG
//SYSIN DD DATA,DLM='++'
//USER XXXXXXXX,YYYYYYYYYY,ZZZZ.ZZ
   T.O W.O I.1 C.O SRP
   OPTP PASSWORD=PP
//*
//FADJGO PROC M1=,M2=
//RUN EXEC PGM=SLAROM
//SUBSYS DD SUBSYS=(VPCS,'SIZE=(00000K,00M)')
//STEPLIB DD DSN=J3622.FADJ.LOAD,DISP=SHR
//SYSPRINT DD SYSOUT=*,DCB=(RECFM=FBA,LRECL=137,BLKSIZE=19043)
//FT05FOO1 DD DUMMY
//FT06FOO1 DD SYSOUT=*,DCB=(RECFM=FBA,LRECL=137,BLKSIZE=19043)
//FT01FOO1 DD DSN=J3622.ISLM.SLAROM.FT94(&M1),DISP=SHR,LABEL=(,,,IN)
//FT02FOO1 DD DSN=J3622.ISLM.SLAROM.FT94(&M2),DISP=SHR,LABEL=(,,,IN)
// PEND
//*
//* EXEC OF PROC
//*
//RUN1 EXEC FADJGO,M1=IX1STD1C,M2=IX1PU8
//RUN2 EXEC FADJGO,M1=IX1STD1C,M2=IX1PU9
//RUN3 EXEC FADJGO,M1=IX1STD1C,M2=IX1PU0
//RUN4 EXEC FADJGO,M1=IX1STD1C,M2=IX1AM1
//RUN5 EXEC FADJGO,M1=IX1STD1C,M2=IX1AM3
//RUN6 EXEC FADJGO,M1=IX1STD1C,M2=IX1NP7
//RUN7 EXEC FADJGO,M1=IX1STD1C,M2=IX1U5
//RUN8 EXEC FADJGO,M1=IX1STD1C,M2=IX1U8
++
//

```

Fig.C.3 Sample JCL for FADJ