

JAERI-M

84-027

SAGEP：一般化摂動論に基づく二次元
感度解析コード

1984年2月

原 昭浩*・竹田 敏一*・菊池 康之

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の間合わせは、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）あて、お
申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村
日本原子力研究所内）で複写による実費領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 Section, Division of
Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken
319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1984

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 日立高速印刷株式会社

SAGEP : 一般化摂動論に基づく二次元感度解析コード

日本原子力研究所東海研究所
シグマ研究委員会炉定数専門部会
原 昭浩*・竹田敏一*・菊池康之
(1984年1月26日受理)

計算コードSAGEPは2次元体系において、感度係数を計算するコードである。本コードは拡散理論をベースにしており、各種断面積の核特性に対する感度係数を精度よく評価するため一般化摂動論を用いている。感度係数は各種断面積について、反応ごと、エネルギー群ごとに出力される。

感度係数を計算できる核特性は実効増倍係数、反応度値、中心反応率比、反応率分布である。SAGEPコードでは、中性子束と随伴中性子束は、拡散コードCITATION-FBRで出力されたものを用い、微視的、巨視的断面積はSLAROMより出力されたものを用いる。

本論文には一般化摂動論の基礎方程式、入力データの作成の概要、プログラムの構造を記述し、加えてコードの検証、例題についての入力データと計算結果を示してある。

* 大阪大学工学部

SAGEP: Two-Dimensional Sensitivity Analysis Code
Based on Generalized Perturbation Theory

Akihiro HARA^{*}, Toshikazu TAKEDA^{*} and Yasuyuki KIKUCHI

Japanese Nuclear Data Committee,
Subcommittee on Reactor Constants,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received January 26, 1984)

A program SAGEP has been developed for calculation of sensitivity coefficients in a two-dimensional system. This code precisely predicts sensitivity coefficients for reactor performances to various cross-sections by means of generalized perturbation theory based on diffusion approximation.

SAGEP calculates sensitivity coefficients for multiplication factor, reactivity worth, central reaction rate ratio, reaction rate distribution. The results are given for each reaction type and energy group. Neutron flux and adjoint flux previously calculated by the diffusion code CITATION-FBR are input to SAGEP, as well as microscopic and macroscopic cross sections obtained by SLAROM code.

Included in this paper are the basic formulae of generalized perturbation theory, manual of input data, flow diagram, verification of obtained sensitivity coefficients. Lists of input data and its results for sample problems are given in Appendix.

Keywords: Sensitivity Coefficients, Generalized Perturbation Theory,
Two-Dimensional, Reaction Rate Ratio, Reactivity Worths,
 k_{eff} , Input Manual, SLAROM, CITATION-FBR.

* Faculty of Engineering, Osaka University

目 次

1. はじめに	1
2. 一般化摂動論の基礎方程式	1
3. コードの内容の説明	5
4. 入力形式	8
5. コードの検証	13
謝 辞	15
参考文献	15
付 録	16
A: 本文(9 b)式の証明	16
B: 一般化中性子束の解法	17
C: 計算例	18

Contents

1. Introduction	1
2. Basic Equation for Generalized Perturbation Theory	1
3. Explanation of Code	5
4. Input Data	8
5. Verification of Code	13
Acknowledgment	15
References	15
Appendix	16
A : Proof of Eq. (9b)	16
B : Solution of Generalized Flux	17
C : Calculational Example	18

1. はじめに

核特性を精度よく推定するためには、臨界集合体の解析結果より得られた炉心核特性に対する計算値と測定値の比（C/E値）を有効に用いる必要がある。このC/E値は使用される断面積データ並びに計算法に依存するので、各マイクロ断面積に対する感度係数が計算されておれば、断面積ファイルの見直し、さらには修正を行う事も可能である。

感度係数の計算に1次元モデルを用いる場合にはモデル化のための誤差を考慮しなければならなくなり、また臨界集合体の反応率分布等の感度係数は計算できない。そこで現在の大型計算機の計算のスピードアップを考えると、2次元体系での感度係数計算コードを作成する方が望ましい。

種々の核種の各エネルギー群ごと、各反応タイプごとの断面積を変化させ、断面積変化前後の核特性を直接計算して感度係数を求めようとするに計算時間が膨大になる。しかし、一般化摂動論を用いると着目する核特性量について、一般化中性子束及び随伴一般化中性子束を一旦計算しておけば、各断面積に対する感度係数は断面積変化により生じる中性子束及び随伴中性子束の変化を直接計算しなくとも求められるので、計算時間がかなり短縮される。

SAGEPコードは一般化摂動論に基づき、2次元体系において感度係数を計算するため開発されたコードであり、その内容並びに入力マニュアルについて説明する。

2. 一般化摂動論の基礎方程式

定常状態における系での拡散方程式並びにその随伴方程式は、下記のように表わされる。

$$-\nabla \cdot D(\vec{r}, E) \nabla \phi(\vec{r}, E) + \Sigma_a(\vec{r}, E) \phi(\vec{r}, E) + \int dE' \Sigma_s(\vec{r}, E \rightarrow E') \phi(\vec{r}, E') - \int dE' \Sigma_s(\vec{r}, E' \rightarrow E) \phi(\vec{r}, E') - \frac{\chi(E)}{k_{eff}} \int dE' \nu(E') \Sigma_f(\vec{r}, E') \phi(\vec{r}, E') = 0 \quad (1)$$

$$-\nabla \cdot D(\vec{r}, E) \nabla \phi^*(\vec{r}, E) + \Sigma_a(\vec{r}, E) \phi^*(\vec{r}, E) + \int dE' \Sigma_s(\vec{r}, E \rightarrow E') \phi^*(\vec{r}, E') - \int dE' \Sigma_s(\vec{r}, E' \rightarrow E) \phi^*(\vec{r}, E') - \frac{\nu(E) \Sigma_f(E)}{k_{eff}} \int dE' \chi(E') \phi^*(\vec{r}, E') = 0 \quad (2)$$

但し、

$\phi(\vec{r}, E)$, $\phi^*(\vec{r}, E)$: 位置 \vec{r} , エネルギー E の中性子束と随伴中性子束,

$\Sigma_a(\vec{r}, E)$: 位置 \vec{r} , エネルギー E の吸収断面積,

$\Sigma_s(\vec{r}, E' \rightarrow E)$: 位置 \vec{r} , エネルギー E' から E の散乱断面積,

$\Sigma_f(\vec{r}, E)$: 位置 \vec{r} , エネルギー E の核分裂断面積,

$\nu(E)$: エネルギー E の核分裂中性子数,

$\chi(E)$: エネルギー E の核分裂スペクトル,

k_{eff} : 実効増倍係数。

1. はじめに

核特性を精度よく推定するためには、臨界集合体の解析結果より得られた炉心核特性に対する計算値と測定値の比（C/E値）を有効に用いる必要がある。このC/E値は使用される断面積データ並びに計算法に依存するので、各マイクロ断面積に対する感度係数が計算されておれば、断面積ファイルの見直し、さらには修正を行う事も可能である。

感度係数の計算に1次元モデルを用いる場合にはモデル化のための誤差を考慮しなければならなくなり、また臨界集合体の反応率分布等の感度係数は計算できない。そこで現在の大型計算機の計算のスピードアップを考えると、2次元体系での感度係数計算コードを作成する方が望ましい。

種々の核種の各エネルギー群ごと、各反応タイプごとの断面積を変化させ、断面積変化前後の核特性を直接計算して感度係数を求めようとするに計算時間が膨大になる。しかし、一般化摂動論を用いると着目する核特性量について、一般化中性子束及び随伴一般化中性子束を一旦計算しておけば、各断面積に対する感度係数は断面積変化により生じる中性子束及び随伴中性子束の変化を直接計算しなくとも求められるので、計算時間がかなり短縮される。

SAGEPコードは一般化摂動論に基づき、2次元体系において感度係数を計算するため開発されたコードであり、その内容並びに入力マニュアルについて説明する。

2. 一般化摂動論の基礎方程式

定常状態における系での拡散方程式並びにその随伴方程式は、下記のように表わされる。

$$-\nabla \cdot D(\vec{r}, E) \nabla \phi(\vec{r}, E) + \Sigma_a(\vec{r}, E) \phi(\vec{r}, E) + \int dE' \Sigma_s(\vec{r}, E \rightarrow E') \phi(\vec{r}, E') - \int dE' \Sigma_s(\vec{r}, E' \rightarrow E) \phi(\vec{r}, E') - \frac{\chi(E)}{k_{eff}} \int dE' \nu(E') \Sigma_f(\vec{r}, E') \phi(\vec{r}, E') = 0 \quad (1)$$

$$-\nabla \cdot D(\vec{r}, E) \nabla \phi^*(\vec{r}, E) + \Sigma_a(\vec{r}, E) \phi^*(\vec{r}, E) + \int dE' \Sigma_s(\vec{r}, E \rightarrow E') \phi^*(\vec{r}, E') - \int dE' \Sigma_s(\vec{r}, E' \rightarrow E) \phi^*(\vec{r}, E') - \frac{\nu(E) \Sigma_f(E)}{k_{eff}} \int dE' \chi(E') \phi^*(\vec{r}, E') = 0 \quad (2)$$

但し、

$\phi(\vec{r}, E)$, $\phi^*(\vec{r}, E)$: 位置 \vec{r} , エネルギー E の中性子束と随伴中性子束,

$\Sigma_a(\vec{r}, E)$: 位置 \vec{r} , エネルギー E の吸収断面積,

$\Sigma_s(\vec{r}, E' \rightarrow E)$: 位置 \vec{r} , エネルギー E' から E の散乱断面積,

$\Sigma_f(\vec{r}, E)$: 位置 \vec{r} , エネルギー E の核分裂断面積,

$\nu(E)$: エネルギー E の核分裂中性子数,

$\chi(E)$: エネルギー E の核分裂スペクトル,

k_{eff} : 実効増倍係数。

ここで演算子 A , F , A^* , F^* を導入し, A は漏洩, 吸収, 散乱成分を, F は核分裂成分を表わすとして, A^* , F^* をその随伴演算子を表わすとする(1), (2)式は次のようになる。

$$(A - \lambda F) \phi(\vec{r}, E) = B\phi = 0 \quad (3)$$

$$(A^* - \lambda F^*) \phi^*(\vec{r}, E) = B^* \phi^* = 0 \quad (4)$$

但し,
$$\lambda = \frac{1}{k_{eff}} .$$

さて感度係数を計算する核特性として, 反応率比, 反応度値および実効増倍係数を考えるとする。

a) 反応率比

まず, 積分核特性 R として, 反応率比を考える。

$$R = \frac{\langle \Sigma_1 \phi \rangle}{\langle \Sigma_2 \phi \rangle} = \frac{\iint d\vec{r} dE \Sigma_1(\vec{r}, E) \phi(\vec{r}, E)}{\iint d\vec{r} dE \Sigma_2(\vec{r}, E) \phi(\vec{r}, E)} \quad (5)$$

但し,

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

$\langle \rangle$ は全炉心体積及び全エネルギーで積分することを意味する。もし, ある位置 \vec{r}_0 での反応率比が知りたければ $\delta(\vec{r} - \vec{r}_0)$ を下記のように利用するとよい。

$$R_{\vec{r}_0} = \frac{\iint d\vec{r} dE \Sigma_1(\vec{r}, E) \delta(\vec{r} - \vec{r}_0) \phi(\vec{r}, E)}{\iint d\vec{r} dE \Sigma_2(\vec{r}, E) \delta(\vec{r} - \vec{r}_0) \phi(\vec{r}, E)} \quad (6)$$

あるパラメータ σ に対する R の感度係数 S は次の様に表わされる。

$$S = \frac{dR}{R} \Big/ \frac{d\sigma}{\sigma} = \frac{\langle \frac{d\Sigma_1}{d\sigma} \phi \rangle}{\langle \Sigma_1 \phi \rangle} - \frac{\langle \frac{d\Sigma_2}{d\sigma} \phi \rangle}{\langle \Sigma_2 \phi \rangle} + \frac{\langle \Sigma_1 \frac{d\phi}{d\sigma} \rangle}{\langle \Sigma_1 \phi \rangle} - \frac{\langle \Sigma_2 \frac{d\phi}{d\sigma} \rangle}{\langle \Sigma_2 \phi \rangle} \quad (7)$$

上式第 1, 2 項は, 断面積 Σ_1, Σ_2 の変化に基づく直接効果であり, 第 3, 4 項は中性子束の変化を通じて関与する間接効果である。

断面積が $d\sigma$ だけ変化すると(3)式の B, ϕ も $dB, d\phi$ だけ変化するが, 変化後も拡散方程式

$$(B + dB) (\phi + d\phi) = 0 \quad (8)$$

を満たすので, 近似的に dB と $d\phi$ の間には

$$dB\phi + B d\phi = 0 \quad (8a)$$

なる関係式が満たされる。

ここで, 随伴一般化中性子束 Γ^* を導入する¹⁾。これを(8a)式に左から乗じ, 炉心全体, 全エネルギーで積分すると次の関係式が得られる。

$$\langle \Gamma^* dB \phi \rangle + \langle \Gamma^* B d\phi \rangle = 0 \quad (9a)$$

一方, 付録 A より証明されるように,

$$\langle \Gamma^* B \frac{d\phi}{d\sigma} \rangle = \langle \frac{d\phi}{d\sigma} B^* \Gamma^* \rangle \quad (9b)$$

が成り立つので、(9a), (9b)式より

$$\langle \Gamma^* \frac{dB}{d\sigma} \phi \rangle = - \langle \frac{d\phi}{d\sigma} B^* \Gamma^* \rangle \quad (10)$$

となる。

したがって随伴一般化中性子束 Γ^* が次式を満たすようにすると、

$$B^* \Gamma^* = \frac{\Sigma_1}{\langle \Sigma_1 \phi \rangle} - \frac{\Sigma_2}{\langle \Sigma_2 \phi \rangle} \quad (11)$$

(10)式より、次の関係式を得る。

$$\frac{\langle \Sigma_1 \frac{d\phi}{d\sigma} \rangle}{\langle \Sigma_1 \phi \rangle} - \frac{\langle \Sigma_2 \frac{d\phi}{d\sigma} \rangle}{\langle \Sigma_2 \phi \rangle} = - \langle \Gamma^* \frac{dB}{d\sigma} \phi \rangle \quad (12)$$

よって(7)式の第3, 4項は(12)式の右辺で表わされることになる。以上まとめると、感度係数は次式で書き表わされる。

$$S = \frac{dR}{R} \Big/ \frac{d\sigma}{\sigma} = \frac{\langle \frac{d\Sigma_1}{d\sigma} \phi \rangle}{\langle \Sigma_1 \phi \rangle} - \frac{\langle \frac{d\Sigma_2}{d\sigma} \phi \rangle}{\langle \Sigma_2 \phi \rangle} - \langle \Gamma^* \frac{dB}{d\sigma} \phi \rangle \quad (13)$$

但し、随伴中性子束 Γ^* の数値計算法は付録Bに示す。(13)式の結果を見ると、 Γ^* を一度計算しておけば感度係数は $d\Sigma_1/d\sigma$, $d\Sigma_2/d\sigma$, $dB/d\sigma$ を求めるだけで計算でき、各種断面積の変化に基づく中性子束の変化分 $d\phi/d\sigma$ を計算しなくてよい事がわかる。このように多くの断面積変化に対する感度係数を計算するには、一般化摂動論が非常に有効となる。

b) 反応度値

次に積分核特性量 R として、反応度値のような中性子束と随伴中性子束の双一次汎関数の比を考える。

$$R = \frac{\langle \phi^* H_1 \phi \rangle}{\langle \phi^* H_2 \phi \rangle} \quad (14)$$

あるパラメータ σ に対する R の感度係数 S は次の通りである。

$$\begin{aligned} S = \frac{dR}{R} \Big/ \frac{d\sigma}{\sigma} &= \frac{\langle \phi^* \frac{dH_1}{d\sigma} \phi \rangle}{\langle \phi^* H_1 \phi \rangle} - \frac{\langle \phi^* \frac{dH_2}{d\sigma} \phi \rangle}{\langle \phi^* H_2 \phi \rangle} \\ &+ \frac{\langle \phi^* H_1 \frac{d\phi}{d\sigma} \rangle}{\langle \phi^* H_1 \phi \rangle} - \frac{\langle \phi^* H_2 \frac{d\phi}{d\sigma} \rangle}{\langle \phi^* H_2 \phi \rangle} \\ &+ \frac{\langle \frac{d\phi^*}{d\sigma} H_1 \phi \rangle}{\langle \phi^* H_1 \phi \rangle} - \frac{\langle \frac{d\phi^*}{d\sigma} H_2 \phi \rangle}{\langle \phi^* H_2 \phi \rangle} \end{aligned} \quad (15)$$

上式、第1, 2項は演算子 H_1, H_2 の変化による直接効果を、第3, 4項は中性子束が変動することによる間接効果を、第5, 6項は随伴中性子束が変動することによる間接効果を表わしている。

一般化摂動論によると、上式は一般化中性子束 Γ 、随伴一般化中性子束 Γ^* を用い次式のように

になる。^{2),3)}

$$S = \frac{dR}{R} \bigg/ \frac{d\sigma}{\sigma} = \frac{\langle \phi^* \frac{dH_1}{d\sigma} \phi \rangle}{\langle \phi^* H_1 \phi \rangle} - \frac{\langle \phi^* \frac{dH_2}{d\sigma} \phi \rangle}{\langle \phi^* H_2 \phi \rangle} - \langle \Gamma^* \frac{dB}{d\sigma} \phi \rangle - \langle \Gamma \frac{dB^*}{d\sigma} \phi^* \rangle \quad (16)$$

但し,

$$B^* \Gamma^* = \frac{H_1^* \phi^*}{\langle \phi H_1^* \phi^* \rangle} - \frac{H_2^* \phi^*}{\langle \phi H_2^* \phi^* \rangle} \quad (17)$$

$$B\Gamma = \frac{H_1 \phi}{\langle \phi^* H_1 \phi \rangle} - \frac{H_2 \phi}{\langle \phi^* H_2 \phi \rangle} \quad (18)$$

c) 実効増倍係数

積分核特性量 R として実効増倍係数 k_{eff} を考えると, (14)式において $H_1 = F$, $H_2 = A$ となる。ところで(17)式より,

$$\begin{aligned} B^* \Gamma^* &= \frac{F^* \phi^*}{\langle \phi F^* \phi^* \rangle} - \frac{A^* \phi^*}{\langle \phi A^* \phi^* \rangle} \\ &= \frac{\langle \phi A^* \phi^* \rangle}{\langle \phi F^* \phi^* \rangle} \cdot \frac{F^* \phi^*}{\langle \phi A^* \phi^* \rangle} - \frac{A^* \phi^*}{\langle \phi A^* \phi^* \rangle} \\ &= \frac{(\lambda F^* - A^*) \phi^*}{\langle \phi A^* \phi^* \rangle} = \frac{-B^* \phi^*}{\langle \phi A^* \phi^* \rangle} = 0 \end{aligned} \quad (19)$$

ゆえに, 恒等的に Γ^* は 0 となる。同様にして Γ も恒等的に 0 となる。

よって k_{eff} に対する感度係数は,

$$\begin{aligned} S &= \frac{dk_{eff}}{k_{eff}} \bigg/ \frac{d\sigma}{\sigma} = \frac{\langle \phi^* \frac{dF}{d\sigma} \phi \rangle}{\langle \phi^* F \phi \rangle} - \frac{\langle \phi^* \frac{dA}{d\sigma} \phi \rangle}{\langle \phi^* A \phi \rangle} \\ &= \frac{\langle \phi^* \frac{dB}{d\sigma} \phi \rangle}{\lambda \langle \phi^* F \phi \rangle} \end{aligned} \quad (20)$$

となり, 通常の摂動論の式と一致する結果が得られる。

3. コードの内容の説明

SAGEP コードは FORTRAN 77 で書かれ、その主要部分の変数は、VARIABLE DIMENSION である。全ての可変長配列がストアされる一次元配列は、MAIN プログラムで指定される。中性子束及び随伴中性子束は CITATION-FBR コード⁴⁾で出力されるものを用いる。また他の幾何形状等の入力データは、できるだけ CITATION-FBR 入力データと同形式になるようにされている。なお基準系の巨視断面積、微視断面積、核分裂スペクトル、領域依存バックリング、及び摂動系の巨視断面積、微視断面積、領域依存バックリングは、SLAROM⁵⁾によって作成された PDS ファイルから入力される。

SAGEP の計算の流れ図を Fig.1 に、各サブルーチンのブロックの概略を Table 1 に示す。本コードでは 1 つの JOB で一般化中性子束 Γ 、及び随伴一般化中性子束 Γ^* を計算し、次に感度係数を計算する。一方、JOB が大きい場合にはまず Γ 、 Γ^* を計算するステップと感度係数を計算するステップに分けて計算を行う。具体的には、まず入力で IOPT(6) = 0、IOPT(7) = 0 にして計算を行う。もし、1 つの JOB で計算できなかった場合には、FT 13 F 001 のファイルに計算を続行するための情報が書き込まれるが、FT 11 F 001 又は FT 12 F 001 のファイルには何も書き込まれない。次に計算を続行するためには、入力で IOPT(7) = 1 にするだけでよい。以上の作業を Γ 、 Γ^* が収束するまで続ける。 Γ 、 Γ^* が計算され、FT 11 F 001 又は FT 12 F 001 のファイルに書き込まれたならば入力で IOPT(6) = 3 に変え感度係数を計算する。なお、SAGEP のランで必要とされるファイルを Table 2 に示す。

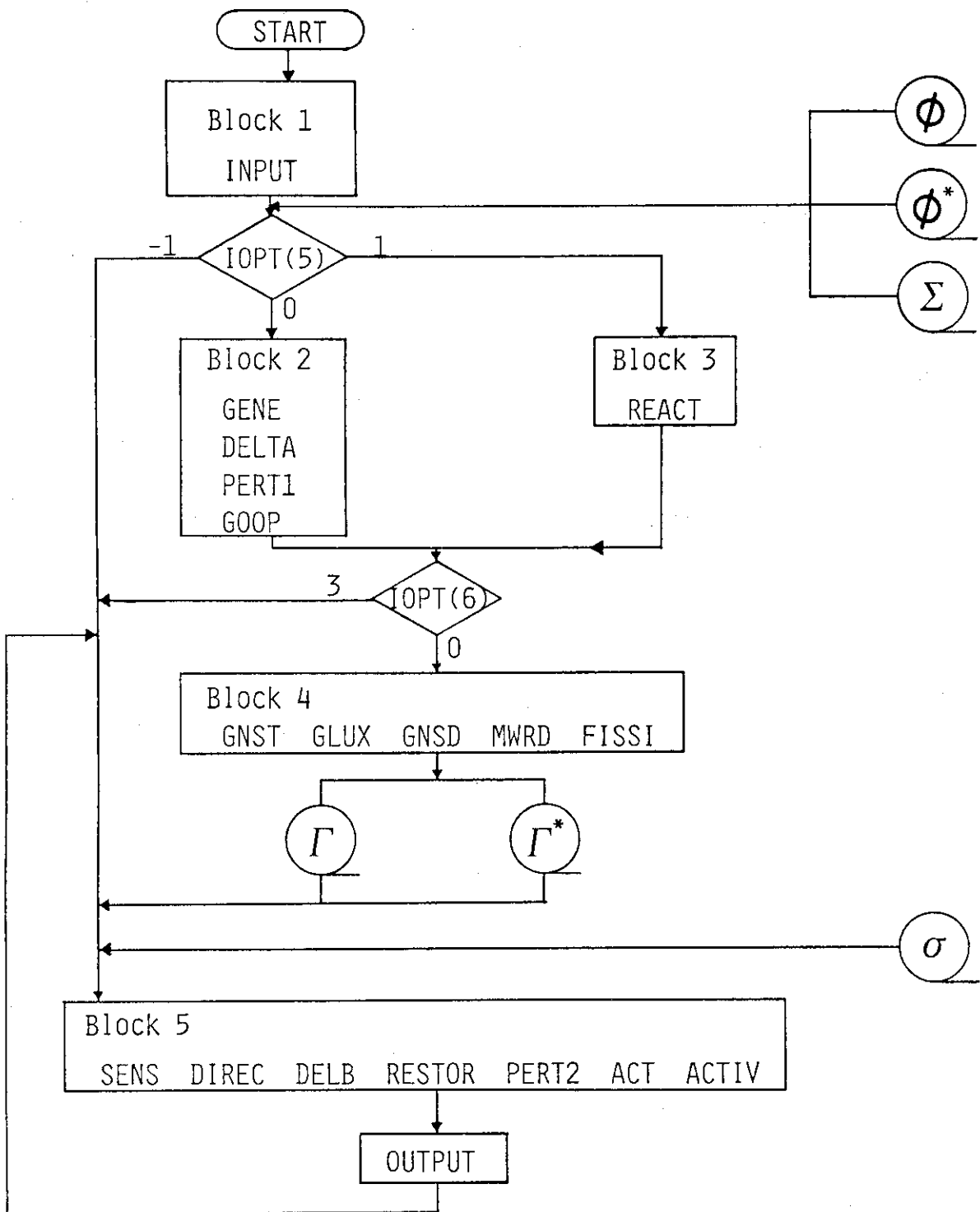


Fig. 1 Schematic Flow Diagram of SAGEP Code

Table 1 サブルーチンのブロックの説明

Block No.	説明
1	入力データを読み込む
2	反応度値を計算する
3	反応率を計算する
4	一般化中性子束 (Γ) , 随伴一般化中性子束 (Γ^*) を計算する
5	感度係数を計算する

Table 2 SAGEP実行時に必要なファイル

DD 名	説明
FT03F001	中性子束 (Φ) と 随伴中性子束 (Φ^*)
FT05F001	SAGEPの主入力データファイル
FT06F001	出力
FT11F001	一般化中性子束 (Γ)
FT12F001	随伴一般化中性子束 (Γ^*)
FT13F001	計算継続用ファイル
MACREF	基準系の断面積、数密度、バックリング、核分裂スペクトルが保存されているPDSファイル
MACPERT	摂動系の断面積、数密度、バックリング、核分裂スペクトルが保存されているPDSファイル。反応度値の感度係数を計算する場合、必要である。

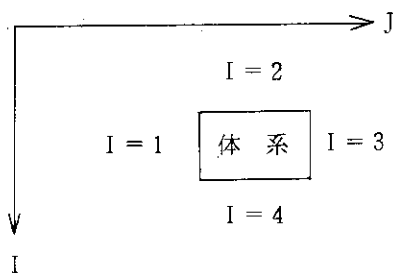
一般化中性子束 (Γ) , 随伴一般化中性子束 (Γ^*) が収束しなかった場合、FT13F001のファイルに計算を続行するための情報が書き込まれる。PDSファイルのDSNAMEは重複しても構わない。

4. 入力形式

入力は以下に示すように § 1 ~ § 4 で構成されている。§ 1 は体系形状及び計算オプションの入力、§ 2 は k_{eff} に対する感度係数のための入力、§ 3 は反応率比、反応率分布の感度係数のための入力、§ 4 は反応度値の感度係数のための入力である。§ 2 ~ § 4 は § 1 で指定したオプションに基づきどれか一つを選択する。§ 2 ~ § 4 を連続して入力する事はできず、種々の核特性量を解析したい場合には、§ 1 + § 2、§ 1 + § 3、§ 1 + § 4 の入力を作成し別々のジョブとする必要がある。以下、§ 1 ~ § 4 の個々の入力形式を示す。

1. 体系形状及び計算オプション

- # 1 TITLE (20 A 4) (注. () は FORMAT を表す.)
 タイトルカード (80 文字以下の任意の英数字)
- # 2 OPTION, ENERGY GROUP, NO OF MAX REGION (6 I 3)
- | | | |
|------------------------|-----|---------|
| 1. IOPT(1); 体系選択 | = 0 | RZ 体系 |
| | = 1 | XY 体系 |
| 2. IOPT(2); メッシュ分割 | = 0 | 等間隔メッシュ |
| | = 1 | 等体積メッシュ |
| 3. IOPT(3); 散乱断面積の | = 0 | 出力しない |
| 出力オプション | = 1 | 出力する |
| 4. IOPT(4); Buckling の | = 0 | 入力しない |
| 入力オプション | = 1 | 入力する |
| 5. KMAX : エネルギー群 | | |
| 6. NRMAX : 領域数 | | |
- # 3 k_{eff} (E 12.0)
 XKEFN : 実効増倍係数
- # 4 BOUNDARY CONDITION (4 I 3)
 (IBOUND(I), I = 1, 4) ; 境界条件 = 0 真空 ($\phi = 0$)
 = 1 反射 ($\nabla\phi = 0$)



* 境界条件の入力は、
 LEFT, TOP, RIGHT, BOTTOM
 の順に行う。

5 CITATIONコードのセクション004の入力で空間メッシュの指定を行う。

1. CARD (I3)

004

2. NO. OF MESH, ZONE WIDTH (6(I3, E9.0))

a: (JCUT(M), DRJ(M), M=1, *MJMAX)

; R又はX方向のZONEのメッシュ数, 及びZONEの幅
ここで MJMAXはR又はX方向のZONEの数を表す。

b: (ICUT(M), DRI(M), M=1, *MIMAX)

; Z又はY方向のZONEのメッシュ数, 及びZONEの幅
ここで MIMAXはZ又はY方向のZONEの数を表す。

※(注) MJMAX又は, MIMAXが6の整数倍の時には, a又はbの入力の後に一行ブランクを挿入する。

6 CITATIONコードのセクション005の入力で, 領域の指定を行う。

1. CARD (I3)

005

2. ZONE MAP (UNPERTURBED) (24I3)

DO I = 1, MIMAX (CITATION形式と同じ)

(IZONE (J, I, 1), J = 1, MJMAX); 非摂動体系のZONEの MATERIAL
NUMBER

7 マクロ断面積入力 (CITATION-FBRと同一入力データ)

1. MATERIAL NUMBER (I3)

M; マクロ断面積が入っている領域の MATERIAL NUMBER

2. REGION NAME, CODE NAME (2A4, 2X, 2A4)

CELL; 断面積のメンバー名 (6文字以内の文字列)

PROG; 上記断面積を作成したプログラム名

1, 2を領域数 (NRMAX) だけくり返す。

8 核分裂スペクトル (CITATION-FBRと同一)

1. REGION NAME, CODE NAME (2A4, 2X, 2A4)

CELL; 核分裂スペクトルのメンバー名 (6文字以内の文字列)

PROG; 上記断面積を作成したプログラム名

IOPT(4)=0の時は#9は不必要である。

9 バックリング (CITATION-FBRと同一)

1. IR1, IR2 (2I3)

バックリングを入力する領域の最初と最後の番号

2. REGION NAME, CODE NAME (2A4, 2X, 2A4)

CELL; バックリングのメンバー名 (6文字以内の文字列)

PROG; 上記断面積を作成したプログラム名

2を(IR2-IR1+1)回だけくり返す。

10 TITLE (72 A 1)

非摂動体系のタイトル (72 文字以下の任意の英数字)

11 OPTION (10 I 6)

1. IOPT(5) : 感度係数の対象 = -1 k_{eff} 実効増倍係数
 となる核特性 = 0 反応度値
 = 1 反応率比及び反応率分布
2. IOPT(6) ; 一般化中性子束 Γ , 随伴一般化中性子束 Γ^* の計算
 オプション
 = 0 Γ , Γ^* を計算する場合
 = 3 Γ , Γ^* は既に計算済みの場合
3. IOPT(7) ; Γ , Γ^* 計算の Restart オプション
 = 0 最初の計算
 = 1 前回の計算の継続
4. IOPT(8) ; Γ , Γ^* の最終 cycle (世代) の出力オプション
 = 0 出力しない
 = 1 出力する
5. IOPT(9) ; Γ , Γ^* の出力オプション
 = 0 出力しない
 = 1 出力する
6. IOPT(10) ; Γ , Γ^* のゼロ cycle (世代) におけるソース分布の出力オプション
 = 0 出力しない
 = 1 出力する

2. k_{eff} に対する感度係数 (IOPT(5) = -1 の場合)

1. SENSITIVITY COEFFICIENT (10 A 1, 3 I 6)

XNAME ; 感度係数の対象となる核種名 (任意の英数字)

ICODE ; 核種のコード番号

IRTYP ; REACTION TYPE

- = 1 CAPTURE
- = 2 ν
- = 3 TRANSPORT
- = 4 FISSION
- = 5 SCATTERING

MREP ; ミクロ断面積の出力オプション

- = 0 出力しない
- = 1 出力する

1 をくり返すことにより感度係数の連続計算ができる。

[4] SENSITIVITY COEFFICIENT (10A1, 3I6)

- | | | | |
|----|-------|---|-------------|
| 1. | XNAME | } | § 2 - 1 に同じ |
| | ICODE | | |
| | IRTYP | | |
| | MREP | | |

4. 反応度値の感度係数 (IOPT(5) = 0 の場合)

[1] タイトル

1. TITLE (72A1)
 摂動体系のタイトル (72文字以下の任意の英数字)

[2] 摂動領域の指定

1. NO.OF VOID REGION, OPTION (2I6)
 NP ; 摂動した領域の分割数
 MAP ; 摂動体系の REGION MAP の出力オプション ;
 = 0 出力しない
 = 1 出力する
2. POSITION OF VOID REGION (5I5)
 NRP(I) ; 分割した I 領域に対する領域番号
 IX 1(I), IX 2(I), IY 1(I), IY 2(I)
 ; 分割した 1 領域をメッシュ番号で指定する。
 NP 枚セットする。

3. 摂動系のマクロ断面積の入力
 # 7 のフォーマットに同じ。
 摂動のケース数だけ繰り返す。
 IOPT(4) = 0 の時は 4 は不必要。

4. 摂動系のバックリングの入力
 # 9 に同じ。

[3] 一般化中性子束 (Γ , Γ^*) の計算 (IOPT(6) = 0 のときのみ必要)

§ 3 - (3) に同じ。

[4] SENSITIVITY COEFFICIENT (10A1, 3I6)

- | | | | |
|----|-------|---|-------------|
| 1. | XNAME | } | § 2 - 1 に同じ |
| | ICODE | | |
| | IRTYP | | |
| | MREP | | |

5. コードの検証

SAGEP コードから得られた感度係数の検証するため、以下の2ケースについて直接計算と比較を行った。

a) k_{eff} および反応率比

$^{239}\text{Pu}_{(n,\gamma)}$ の全エネルギー群の断面積を10%増加させてマクロ断面積を作り直し、それにより k_{eff} と中心反応率比 $-^{238}\text{U}_{(n,\gamma)}/^{239}\text{Pu}_{(n,f)}$, $^{238}\text{U}_{(n,f)}/^{235}\text{U}_{(n,f)}$, $^{239}\text{Pu}_{(n,f)}/^{238}\text{U}_{(n,f)}$ について計算し、断面積変化前後の変化量を Table 3 にまとめた。この表より SAGEP コードにより計算された感度係数は、3%以内の誤差で核特性の変化を予想できることが確認された。

b) Na ボイド反応度

$^{239}\text{Pu}_{(n,f)}$ の断面積を1.0~2.15 keV のエネルギー領域で20%増加させナトリウムボイド反応度を計算し、断面積変化前後の変化量を Table 4 にまとめた。この場合は、約10%の誤差で変化量を予想できた。

Table 3 Recalculation of Performance Parameters and Comparison with GPT[†] Prediction by SAGEP

	k_{eff}	$^{28}\text{C}/^{49}\text{F}$	$^{28}\text{F}/^{25}\text{F}$	$^{49}\text{F}/^{28}\text{F}$
Cross Section Change : $\frac{\Delta\sigma}{\sigma}$	$^{239}\text{Pu}_{(n,f)} +10\%$ over all energy			
Sensitivity Coefficient : ρ	-0.066	-0.020	+0.104	-0.080
Calculation Value : R	0.97773	0.15268	0.020852	43.458
Recalculation Value : R'	0.97141	0.15238	0.021065	43.119
Absolute Change : $\Delta R=R'-R$	-0.00632	-0.00030	+0.000213	-0.338
GPT Prediction : $\Delta R=R+\rho\frac{\Delta\sigma}{\sigma}$	-0.00645	-0.00031	+0.000214	-0.348

† Generalized Perturbation Theory

Table 4 Recalculation of Na-void Reactivity
 Relative to the $^{239}\text{Pu}(n,f)$ Cross Section Change
 and Comparison with GPT Prediction by SAGEP

Cross Section Change : $\frac{\Delta\sigma}{\sigma}$	1.0 to 2.15 kev 20 %
Sensitivity Coefficient : P	-0.430
Calculation Value* : R	1.37203 -4
Recalculation Value : R'	1.26426 -4
Absolute Change : $\Delta R=R'-R$	-0.10777 -4
GPT Prediction : $\Delta R=R \cdot P \cdot \frac{\Delta\sigma}{\sigma}$	-0.11799 -4

* $\Delta k/k$

謝 辞

本コードの作成に先だち日本原子力事業株の吉田 正, 亀井孝信および飯島俊吾の各氏に計算手法の議論をしていただいたことに関し深く感謝致します。また, 原研の中川正幸氏には, CITATION-FBRとSLAROMコードについて, 種々の御教示をいただいた事を感謝します。

参考文献

- (1) L. N. Usachev : J. Nucl. Energy , Parts A/B , 18 , 571 (1964) .
- (2) W. M. STACEY , Jr. : J. Math. Phys. , 13 , 1119 (1972) .
- (3) A. Gandini : J. Nucl. Energy , 21 , 755 (1967) .
- (4) Iijima S. : Private communication .
- (5) Nakagawa M., et al. : JAERI-M 5916 (1974) .

謝 辞

本コードの作成に先だち日本原子力事業株の吉田 正、亀井孝信および飯島俊吾の各氏に計算手法の議論をしていただいたことに関し深く感謝致します。また、原研の中川正幸氏には、CITATION-FBRとSLAROMコードについて、種々の御教示をいただいた事を感謝します。

参考文献

- (1) L. N. Usachev : J. Nucl. Energy, Parts A/B, 18, 571 (1964).
- (2) W. M. STACEY, Jr. : J. Math. Phys., 13, 1119 (1972).
- (3) A. Gandini : J. Nucl. Energy, 21, 755 (1967).
- (4) Iijima S. : Private communication.
- (5) Nakagawa M., et al. : JAERI-M 5916 (1974).

付録A : 本文 (9 b) 式の証明

$$\begin{aligned} \langle \Gamma^* B \frac{d\phi}{d\sigma} \rangle = & \iint d\vec{r} dE \left[-\Gamma^*(\vec{r}, E) \nabla \cdot D(\vec{r}, E) \nabla \cdot \frac{d\phi}{d\sigma}(\vec{r}, E) \right. \\ & + \Gamma^*(\vec{r}, E) \Sigma_a(\vec{r}, E) \frac{d\phi}{d\sigma}(\vec{r}, E) + \Gamma^*(\vec{r}, E) \int dE' \Sigma_s(\vec{r}, E \rightarrow E) \frac{d\phi(\vec{r}, E)}{d\sigma} \\ & - \Gamma^*(\vec{r}, E) \int dE' \Sigma_s(\vec{r}, E' \rightarrow E) \frac{d\phi(\vec{r}, E')}{d\sigma} - \Gamma^*(\vec{r}, E) \frac{\chi(E)}{k_{eff}} \int dE' \nu(E') \times \\ & \left. \Sigma_f(\vec{r}, E') \frac{d\phi(\vec{r}, E')}{d\sigma} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{第1項} \quad & \iint d\vec{r} dE \left\{ -\Gamma^*(\vec{r}, E) \nabla \cdot D(\vec{r}, E) \nabla \cdot \frac{d\phi(\vec{r}, E)}{d\sigma} \right\} \\ & = \iint_{\text{炉心全体}} d\vec{r} dE \left\{ -\nabla \cdot \Gamma^*(\vec{r}, E) D(\vec{r}, E) \nabla \cdot \frac{d\phi(\vec{r}, E)}{d\sigma} \right\} \\ & \quad + \iint_{\text{炉表面}} dS dE \left\{ \Gamma^*(\vec{r}_s, E) D(\vec{r}_s, E) \nabla \cdot \frac{d\phi(\vec{r}_s, E)}{d\sigma} \right\} \end{aligned}$$

ここで、 Γ^* の体系表面での境界条件を ϕ と等しくすると、

$$\begin{aligned} \frac{D(\vec{r}_s, E) \nabla \cdot \frac{d\phi(\vec{r}_s, E)}{d\sigma}}{\frac{d\phi(\vec{r}_s, E)}{d\sigma}} & = \frac{D(\vec{r}_s, E) \nabla \phi(\vec{r}_s, E)}{\phi(\vec{r}_s, E)} = \frac{D(\vec{r}_s, E) \nabla \Gamma^*(\vec{r}_s, E)}{\Gamma^*(\vec{r}_s, E)} \text{ より,} \\ & = \iint_{\text{炉心全体}} d\vec{r} dE \left\{ -\nabla \cdot \Gamma^*(\vec{r}, E) D(\vec{r}, E) \nabla \cdot \frac{d\phi(\vec{r}, E)}{d\sigma} \right\} \\ & \quad + \iint_{\text{炉表面}} dS dE \left\{ \frac{d\phi(\vec{r}_s, E)}{d\sigma} D(\vec{r}_s, E) \nabla \Gamma^*(\vec{r}_s, E) \right\} \\ & = \iint d\vec{r} dE \left\{ -\frac{d\phi(\vec{r}, E)}{d\sigma} \nabla \cdot D(\vec{r}, E) \Gamma^*(\vec{r}, E) \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{第3項} \quad & \iint d\vec{r} dE \Gamma^*(\vec{r}, E) \int dE' \Sigma_s(\vec{r}, E \rightarrow E') \frac{d\phi(\vec{r}, E)}{d\sigma} \\ & = \iint d\vec{r} dE \frac{d\phi(\vec{r}, E)}{d\sigma} \int dE' \Sigma_s(\vec{r}, E \rightarrow E') \Gamma^*(\vec{r}, E) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{第4項} \quad & \iint d\vec{r} dE \Gamma^*(\vec{r}, E) \int dE' \Sigma_s(\vec{r}, E' \rightarrow E) \frac{d\phi(\vec{r}, E')}{d\sigma} \\ & = \iint d\vec{r} dE \frac{d\phi(\vec{r}, E)}{d\sigma} \int dE' \Sigma_s(\vec{r}, E \rightarrow E') \Gamma^*(\vec{r}, E') \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{第5項} & \iint d\vec{r} dE \Gamma^*(\vec{r}, E) \frac{\chi(E)}{k_{eff}} \int dE' \nu(E') \Sigma_f(\vec{r}, E') \frac{d\phi(\vec{r}, E')}{d\sigma} \\ & = \iint d\vec{r} dE \frac{d\phi(\vec{r}, E)}{d\sigma} \cdot \frac{\nu(E) \Sigma_f(\vec{r}, E)}{k_{eff}} \int dE' \chi(E') \Gamma^*(\vec{r}, E') \end{aligned}$$

$$\text{したがって, } \langle \Gamma^* B \frac{d\phi}{d\sigma} \rangle = \langle \frac{d\phi}{d\sigma} B^* \Gamma^* \rangle$$

付録B：一般化中性子束の解法

一般化中性子束及び随伴一般化中性子束の数値計算法について説明する。

随伴一般化中性子束 Γ^* は次式を満たす。

$$B^* \Gamma^* = (A^* - \lambda F^*) \Gamma^* = S^* \quad (B-1)$$

$$\text{但し, } S^* \text{ は } \langle \phi, S^* \rangle = 0 \quad (B-2)$$

なる関係式を満たす。

ここで、 B^* は singular な演算子であるので (B-1) 式を解く際に B^* を A^* と F^* に分け、 Γ^* を次式に示されるノイマン級数の和として計算する。

$$\begin{aligned} \Gamma^* &= \sum_n \Gamma_n^* \quad , \\ \text{但し, } A^* \Gamma_0^* &= S^* \quad , \\ A^* \Gamma_n^* &= \lambda F^* \Gamma_{n-1}^* \quad , \quad n > 0 \quad . \end{aligned} \quad (B-3)$$

また、 S^* が (B-2) 式を満たしているので、 Γ_n^* は演算子 A^* 、 λF^* について ϕ と直交関係が成り立っている。しかし、数値計算を行う際に round-off error を生じ直交関係を満たさなくなる恐れがあるので、それを消去するため次の操作を行う^(*)。

$$\begin{aligned} A^* \xi_0^* &= S^* \quad , \\ A^* \xi_n^* &= \lambda F^* \Gamma_{n-1}^* \quad , \\ \Gamma_n^* &= \xi_n^* - \frac{\langle \phi, \lambda F^* \xi_n^* \rangle}{\langle \phi, \lambda F^* \phi^* \rangle} \phi^* \quad . \end{aligned} \quad (B-4)$$

つぎに、一般化中性子束について考える。一般化中性子束 Γ は、次式を満たす。

$$(A - \lambda F) \Gamma = S \quad (B-5)$$

$$\langle \phi^*, S \rangle = 0 \quad (B-6)$$

(B-3)、(B-4) 式と同様に考えて、次式により解く。

$$\begin{aligned} \Gamma &= \sum_n \Gamma_n \quad , \\ A \xi_0 &= S \quad , \\ A \xi_n &= \lambda F \Gamma_{n-1} \quad , \\ \Gamma_n &= \xi_n - \frac{\langle \phi^*, \lambda F \xi_n \rangle}{\langle \phi^*, \lambda F \phi \rangle} \phi \quad . \end{aligned} \quad (B-7)$$

反応率比の場合には、(B-4) 式において S^* を次のように定める。

*註 W. M. Stacey, Jr. : J. Math. Phys., 13, 1119 (1972).

$$S^* = \frac{\Sigma_1}{\langle \Sigma_1 \phi \rangle} - \frac{\Sigma_2}{\langle \Sigma_2 \phi \rangle} \quad (\text{B-8})$$

また、反応度値値の場合には、(B-4)、(B-7)式において S^* および S を次のように定める。

$$S^* = \frac{H_1^* \phi^*}{\langle \phi H_1^* \phi^* \rangle} - \frac{H_2^* \phi^*}{\langle \phi H_2^* \phi^* \rangle} ,$$

$$S = \frac{H_1 \phi}{\langle \phi^* H_1 \phi \rangle} - \frac{H_2 \phi}{\langle \phi^* H_2 \phi \rangle} . \quad (\text{B-9})$$

付録C：計 算 例

計算例として、高速増殖炉の二次元RZモデルにおける炉中心のナトリウムボイド反応度の $^{239}\text{Pu}(n, f)$ 断面積に対する感度係数を計算する際のジョブ制御文及び入出力を示す。

付録 C.1 ジョブ制御文

DATE 11/09/83 TIME 17:10

```

E40 V12L02 <<< JCL STATEMENTS LIST >>> JOB 6837
1 //F9438051 JOB ('825394382138.000
// 'T.05W.04C.04P.001.04','OPN
// 'TAKEDA.TOSHI',CLASS=D,PRTY=01,TIME=(0005,00),
// MSGCLASS=G,MSGLEVEL=(2,0,1),
// USER=J9438,GROUP=G2138,PASSWORD=
***JOBPARM S=ANY,R=9438,L=0008,C=0000000
*****
*** LIST OF PRIVATE PROC *****
*****
***** LIST OF USER JCL *****
*****
// EXEC LMGO,
// LM='J9438.SAGEPLM'
7 //FT05F001 DD DSN=J9438.FCA62.DATA(CIP70VE),DISP=SHR
9 //FT03F001 DD DSN=J9438.F6216J3.DATA,DISP=SHR ← ϕとϕ*
10 //FT11F001 DD DSN=J9438.F62NA-N.DATA,DISP=SHR ← ϕ
11 //FT13F001 DD DSN=J9438.RESTART.DATA,DISP=SHR ← restart file
12 //FT12F001 DD DSN=J9438.F62NA-A.DATA,DISP=SHR ← ϕ*
13 //MACREF DD DSN=J9438.PDS-F62.DATA,DISP=SHR ← 基準系の断面積
14 //MACPERT DD DSN=J9438.PDS-F62.DATA,DISP=SHR ← 摂動
//

```

付録C.2 入力例

PAGE 00001

```

***** THIS PROGRAM INPUT DATA LIST *****
.....5.....10.....5.....20.....5.....30.....5.....40.....5.....50.....5.....60.....5.....70.....5.....80 *
* FCA-6-2 2D-RZ MODEL 1-ST ORDER PERTURBATION 00010000*
* 0 0 0 0 16 4 00020000*
* 0.99666 00030001*
* 1 1 0 0 00040000*
*004 00050000*
* 6 9.343 3 6.229 3 6.228 3 7.58 6 17.32 10 25.47 00060001*
* 6 10.16 3 5.08 3 5.08 9 25.40 10 20.32 00070001*
*005 00080001*
* 1 1 1 1 2 3 00090001*
* 1 1 1 1 2 3 00100001*
* 1 1 1 1 2 3 00110001*
* 1 1 1 1 2 3 00120001*
* 1 1 1 1 2 3 00130001*
* 4 4 4 4 4 4 00140000*
* 1 00150000*
*VI2T16 SLAROM 00160000*
* 2 00170000*
*VI2D16 SLAROM 00180000*
* 3 00190001*
*VI2R16 SLAROM 00200001*
* 4 00210001*
*VI2A16 SLAROM 00220001*
*VI2T16 SLAROM 00230000*
* FCA-VI-2 NAVOID 00240000*
* 0 0 0 1 00250001*
* NA-VOID 3 X 3 X 4 PACKS 00260001*
* 1 00270000*
* 1 1 6 1 6 00280000*
* 1 00290000*
*VI2V16 SLAROM 00300000*
*3.0 E-4 5.0 E-2 00310003*
* 1000 10 00320001*
* 60 00330001*
*PU-239 949 4 00340001*

```

END OF DATA FOR THIS CASE

13	2.3727E-01	2.3727E-01	1.23368E-02	9.45731E-03
14	9.30311E-01	9.30311E-01	1.63835E-02	1.23686E-02
15	9.34279E-01	9.34279E-01	4.2208E-02	2.21163E-02
16	8.55667E-01	8.55667E-01	3.39169E-02	3.57353E-02
2	V12D16			
1	3.35261E+00	3.35261E+00	1.46605E-02	3.65323E-02
2	2.94800E+00	2.94800E+00	8.89724E-03	2.14056E-02
3	2.69921E+00	2.69921E+00	7.95526E-03	2.02364E-02
4	2.35676E+00	2.35676E+00	7.49694E-03	1.73724E-02
5	1.85645E+00	1.85645E+00	4.97597E-03	9.39637E-03
6	1.61163E+00	1.61163E+00	4.68421E-03	8.32136E-03
7	1.37679E+00	1.37679E+00	5.39321E-03	9.11780E-03
8	1.13871E+00	1.13871E+00	6.85540E-03	1.06744E-02
9	1.13204E+00	1.13204E+00	8.95878E-03	1.25353E-02
10	9.87442E-01	9.87442E-01	1.17335E-02	1.48953E-02
11	9.54560E-01	9.54560E-01	1.43119E-02	1.79911E-02
12	6.89952E-01	6.89952E-01	1.89601E-02	2.40174E-02
13	5.19130E-01	5.19130E-01	2.69400E-02	3.47429E-02
14	8.62188E-01	8.62188E-01	3.74879E-02	5.03271E-02
15	8.78684E-01	8.78684E-01	4.87619E-02	6.76507E-02
16	7.90273E-01	7.90273E-01	7.02816E-02	9.85280E-02
3	V12R16			
1	2.21145E+00	2.21145E+00	3.76462E-02	1.25549E-01
2	1.99580E+00	1.99580E+00	2.35829E-02	6.89667E-02
3	1.77370E+00	1.77370E+00	2.32387E-02	6.13406E-02
4	1.62354E+00	1.62354E+00	1.96787E-02	4.59298E-02
5	1.51425E+00	1.51425E+00	6.18881E-03	4.00816E-03
6	1.24886E+00	1.24886E+00	4.99431E-03	9.43237E-04
7	9.74375E-01	9.74375E-01	5.32035E-03	9.37061E-04
8	7.47887E-01	7.47887E-01	7.40854E-03	1.08902E-03
9	6.37007E-01	6.37007E-01	1.26726E-02	1.28137E-03
10	6.35403E-01	6.35403E-01	1.76137E-02	1.50851E-03
11	6.35138E-01	6.35138E-01	2.07552E-02	1.83266E-03
12	5.74581E-01	5.74581E-01	2.33202E-02	2.46268E-03
13	6.51589E-01	6.51589E-01	2.31215E-02	3.47065E-03
14	7.05270E-01	7.05270E-01	2.59399E-02	5.22896E-03
15	6.59896E-01	6.59896E-01	3.14573E-02	7.21087E-03
16	5.67144E-01	5.67144E-01	3.20080E-02	1.06779E-02
4	V12A16			
1	2.21369E+00	2.21369E+00	3.74875E-02	1.24961E-01
2	2.00146E+00	2.00146E+00	2.34666E-02	6.86832E-02
3	1.77713E+00	1.77713E+00	2.30651E-02	6.09619E-02
4	1.62329E+00	1.62329E+00	1.93815E-02	4.51596E-02
5	1.51044E+00	1.51044E+00	5.90577E-03	3.08260E-03
6	1.23561E+00	1.23561E+00	4.71351E-03	3.39916E-04
7	9.73829E-01	9.73829E-01	5.02917E-03	2.87696E-04
8	7.47644E-01	7.47644E-01	7.05922E-03	3.29000E-04
9	6.36502E-01	6.36502E-01	1.23209E-02	3.86421E-04
10	6.37389E-01	6.37389E-01	1.70236E-02	4.51816E-04
11	6.36904E-01	6.36904E-01	2.00901E-02	5.51764E-04
12	5.76470E-01	5.76470E-01	2.24075E-02	7.40123E-04
13	6.46947E-01	6.46947E-01	2.18519E-02	1.03238E-03
14	7.14629E-01	7.14629E-01	2.35735E-02	1.57105E-03
15	6.64506E-01	6.64506E-01	2.84927E-02	2.21825E-03
16	5.73682E-01	5.73682E-01	2.77960E-02	3.28728E-03
***** FISSION SPECTRUM *****				

GROUP 1 2 3 4 5 6 7 8

CHI	0.030982751	0.119011223	0.209438324	0.223597050	0.1743661408	0.148581326	0.0660768347	0.022019517
		10	11	12	13	14	15	16
GROUP	9							
CHI	0.007530753	0.002505850	0.000823059	0.000268682	0.000087455	0.000027590	0.0	0.0

***** REACTIVITY WORTH *****

振動による断面積の変化量

DIFFERENCE OF CROSS SECTION

REGION GROUP D(Y-Z) D(X)

MUSIGF

SIGA

VI2V16 - VI2T16

1	4.52553E-01	4.52553E-01	-3.65213E-04	-5.90086E-06
2	3.98177E-01	3.98177E-01	-2.64980E-05	2.33948E-06
3	4.05454E-01	4.05454E-01	-1.56462E-06	-1.29640E-06
4	3.48021E-01	3.48021E-01	-3.36394E-06	-5.81890E-06
5	3.03871E-01	3.03871E-01	-1.95135E-06	-2.51830E-06
6	4.08579E-01	4.08579E-01	1.73645E-06	1.06320E-05
7	2.10191E-01	2.10191E-01	-5.67897E-06	-2.38419E-07
8	1.60923E-01	1.60923E-01	-1.00581E-05	1.00583E-07
9	1.87279E-01	1.87279E-01	-1.99974E-05	1.89990E-06
10	1.43259E-01	1.43259E-01	-2.04705E-05	7.04080E-07
11	1.24524E-01	1.24524E-01	-2.25604E-05	2.65986E-06
12	1.21452E-01	1.21452E-01	-8.55587E-05	-1.05798E-06
13	4.65786E-01	4.65786E-01	-1.53200E-03	4.04548E-04
14	1.50344E-01	1.50344E-01	-4.72575E-04	-6.24247E-05
15	6.96656E-02	6.96656E-02	-4.22973E-04	-1.95306E-04
16	5.75919E-02	5.75919E-02	-1.11279E-03	-9.71295E-04

***** SCATTERING MATRIX *****

ZONE GROUP	TO GROUP	1	2	3	4	5	6	7
1	0.0	-1.26123E-03	-1.63524E-03	-2.31690E-03	-2.07918E-03	-1.46463E-03	-9.54911E-04	-2.73600E-04
2	0.0	0.0	-2.59137E-03	-1.28351E-03	-4.51484E-03	-1.85972E-03	-1.07918E-03	-2.76125E-04
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.84865E-04	-5.72629E-04	-4.29504E-04
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.10950E-03	-8.44896E-05	-7.67410E-06
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-7.56889E-03	-3.61647E-04
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-4.61407E-03
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ZONE GROUP	TO GROUP	8	9	10	11	12	13	14
1	-6.85188E-05	-1.61142E-05	-3.68682E-06	-8.34189E-07	-1.81202E-07	0.0	0.0	0.0
2	-4.14995E-04	-1.21147E-04	-2.85707E-05	-6.68176E-06	-1.57975E-06	-3.14514E-07	0.0	0.0
3	-2.14166E-04	-8.23132E-05	-3.04815E-05	-1.68196E-05	-5.54726E-06	-2.10355E-06	-2.12033E-07	-2.41798E-08
4	-2.69269E-06	-2.85483E-05	-2.49397E-05	-1.95415E-06	4.71555E-07	1.06680E-07	2.41798E-08	1.44837E-08
5	-2.55881E-07	4.84521E-07	2.34228E-07	1.77504E-07	9.95351E-08	2.12040E-08	2.12040E-08	1.44837E-08
6	-5.36107E-04	-7.32841E-05	-7.98413E-06	-1.34595E-06	-3.27687E-07	-1.11271E-07	-1.11271E-07	-3.64757E-08

(IF LT. 9.15505E-09, JUMP CRITERION)

NO.	0 CYCLE GENERALIZED FLUX	ITERATIONS	FRAC. CHANGE	IJ-POSITION	0 MIN.	1 SEC.
GROUP= 1	68	0.0001060	17			
	69	0.0000803	17			
GROUP= 2	78	0.0000973	233		0 MIN.	2 SEC.
GROUP= 3	83	0.0000989	141		0 MIN.	3 SEC.
GROUP= 4	87	0.0000954	233		0 MIN.	5 SEC.
GROUP= 5	71	0.0001020	172		0 MIN.	6 SEC.
	72	0.0000906	172			
GROUP= 6	108	0.0000839	236		0 MIN.	7 SEC.
GROUP= 7	102	0.0000906	207		0 MIN.	9 SEC.
GROUP= 8	89	0.0000876	54		0 MIN.	11 SEC.
GROUP= 9	82	0.0001049	25		0 MIN.	12 SEC.
	83	0.0000877	25			
GROUP= 10	76	0.0000908	151		0 MIN.	14 SEC.
GROUP= 11	59	0.0001041	108		0 MIN.	15 SEC.
	60	0.0000804	108			
GROUP= 12	31	0.0001622	27		0 MIN.	16 SEC.
	32	0.0000902	27			
GROUP= 13	27	0.0000674	17		0 MIN.	16 SEC.
GROUP= 14	55	0.0001001	21		0 MIN.	17 SEC.
	56	0.0000696	21			
GROUP= 15	38	0.0000940	23		0 MIN.	18 SEC.
GROUP= 16	35	0.0001007	23		0 MIN.	18 SEC.
	36	0.0000656	23			

以下 iteration の収束情報が同様に表示される。

```
*****  
I *  
* BEGIN TO CALCULATE THE SENSITIVITY OF THE CAPTURE CROSS-SECTION OF PU-239 JENDL CODE NO. 949  
I *  
*****
```

