

JAERI-M

6491

拡散近似による摂動計算コード: GURNET-2

1976年3月

伊勢 武治

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

JAERI-M 6491

拡散近似による摂動計算コード: GURNET-2

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部

伊勢武治

(1976年2月20日受理)

汎用一次元拡散コード GURNET に摂動の計算を追加し、動特性パラメータ (λ_p および β_{eff})、組成核断面積および体系の径方向寸法の摂動による反応度係数を計算できるように改良した。この計算コードは全部 FORTRAN 言語で書かれていて、現在 FACOM 版と CDC 版とが用意されている。FACOM 230/75 における計算例では、臨界計算および動特性パラメータ計算を合わせて、エネルギー群数 9、空間格子点の数 82 で、9.7 秒 (CPU 時間) であった。使用記憶容量は 62K 語と非常に少ない。

GURNET-2, Perturbation theory code in one-dimensional diffusion approximation

Takeharu ISE

Division of Reactor Engineering, Tokai JAERI

(Received February 20, 1976)

Perturbation calculations have been incorporated into the one-dimensional diffusion code GURNET to obtain the reactor kinetics parameters (λ_p and β_{eff}), and the reactivity changes caused by perturbations in the nuclear cross sections of a reactor region and in the dimensions in radial direction. The computer program is written in FORTRAN language. Computing time is 9.7 seconds (CPU time) for the sample case with 9 energy-groups and 82 spatial points on the FACOM 230/75 computer. It requires 62000 words of the core storage.

目 次

1. はじめに	1
2. 一次摂動理論に基づく諸パラメータの計算法	2
3. 入力形式	6
4. 計算例	13
5. あとがき	19
謝 辞	19
参考文献	19

Contents

1. Introduction	1
2. Calculational procedure based on first order perturbation	2
3. Input form	6
4. Numerical examples	13
5. Conclusions	19
Acknowledgements	19
References	19

1. はじめに

GURNET-2 コードは、まづ、1次元拡散理論によって中性子束および随伴中性子束を求め、これらを用いて摂動理論により、径方向寸法の摂動、あるいは核断面積の摂動による反応度係数、および即発中性子寿命 ℓ_p と実効遅発中性子率 β_{eff} を計算するプログラムである。摂動理論³⁾の計算部分は既に公刊されている汎用一次元拡散コードGURNET¹⁾に付け加えられたので、コードの使用法および使用制限は、GURNETコードに準ずる。このコードの主な特徴は次の通りである(但し、GURNETコードで述べた特徴は除く)。

- (i) 中性子束および随伴中性子束は内部で計算することもできるし、カード入力することもできる。
- (ii) 動特性パラメータ(即発中性子寿命 ℓ_p および実効遅発中性子率 β_{eff})を求めることができる。
- (iii) 組成断面積の摂動($\Delta\Sigma_s$, $\Delta\Sigma$, $\Delta(\nu\Sigma_f)$ および ΔD)による反応度係数($\Delta K_{eff}/K_{eff}$)を求めることができる。
- (iv) 径方向の寸法の摂動(Δr)による反応度係数を求めることができる。
- (v) 連続ケースの取扱いが簡単である。

第2章では、摂動理論に基づく諸パラメータの計算式、第3章では、入力形式について述べ、第4章では、動特性パラメータを求める計算例を掲げた。尚、記号は一般的な表示に従っているので自明と思われるが、不明の向きはGURNETコードの説明を参照されたい。

2. 一次摂動理論に基づく諸パラメータの計算法

エネルギー群 i , 空間格子 $r_k < r < r_{k+1}$ に対する中性子束 (ϕ) および随伴中性子束 (ϕ^\dagger) は次の1次元拡散方程式を解いて得られる。

$$-D_{m(k)}^i \nabla^2 \phi^i + \Sigma_{m(k)}^i \phi^i = \frac{f_{m(k)}^i}{K_{eff}} \sum_j (\nu \Sigma_f)_{m(k)}^j \phi^j + \sum_{j(\neq i)} \Sigma_{s,m(k)}^{ji} \phi^j, \quad (1a)$$

$$-D_{m(k)}^i \nabla^2 \phi^{\dagger i} + \Sigma_{m(k)}^i \phi^{\dagger i} = \frac{(\nu \Sigma_f)_{m(k)}^i}{K_{eff}} \sum_j f_{m(k)}^j \phi^{\dagger j} + \sum_{j(\neq i)} \Sigma_{s,m(k)}^{ij} \phi^{\dagger j}, \quad (1b)$$

$$i = 1, 2, \dots, IMAX; k = 1, 2, \dots, KSUP$$

ここに

$$\nabla^2 = \left(\frac{1}{r^u} \right) \left(\frac{d}{dr} \right) r^u \left(\frac{d}{dr} \right), \quad \begin{cases} u=0 : \text{板状, 円柱 (軸方向)} \\ u=1 : \text{円柱 (半径方向)} \\ u=2 : \text{球} \end{cases} \quad (2)$$

$m = 1, 2, \dots, MMAX$; 組成指標,

$m(k)$; 格子点 k の右側の組成指標,

$r_k, k = 1, 2, \dots, KMAX (=KSUP+1)$; 格子点 k の半径, 或いは x 座標

$$\Sigma^i = \Sigma_c^i + \Sigma_f^i + \sum_{j(\neq i)} \Sigma_s^{ij} + \Sigma_\ell^i \quad (3)$$

板状と円柱(軸方向)との区別は Σ_ℓ^i の中でもなされる(記号も含めて GURNET コードのマニュアル参照)。

(1a)式は上方散乱を含んでいるので Fig. 1 の流れ図に従い解くことができる。(1b)式は,(1a)式の解法に際して, Σ_s^{ij} の ji マトリックスについて転置を採り, 各エネルギー群方程式において, f^i と $(\nu \Sigma_f)^j$ を交換すれば, (1a)式と同じ解法で解くことができる。

いま, 以下では m を摂動を受ける領域と仮定すると, D_m (あるいは $\Sigma_{tr,m}$), $(\nu \Sigma_f)_m$, および $\Sigma_{s,m}^{ij}$ の摂動による反応度係数を求める式は次によって与えられる^{2,3)}。

$$\begin{aligned} \frac{1}{(K_{eff})^2} \cdot (\Delta K_{eff}) \cdot S_F &= \sum_i \sum_j \sum_m (\Delta \Sigma_{s,m}^{ij}) F(i, j, m) \\ &\quad - \sum_{i,m} (\Delta \Sigma_m^i) F(i, i, m) \\ &\quad + \frac{1}{K_{eff}} \sum_i \sum_j \sum_m f_m^i (\Delta (\nu \Sigma_f)_m^j) F(j, i, m) \\ &\quad + D_p \end{aligned} \quad (4)$$

ここに,

$$D_p = \begin{cases} 3 \sum_{i,m} (\Delta \Sigma_{tr,m}^i) G(i, m) & (5) \\ - \sum_{i,m} (\Delta D_m^i) H(i, m) & (6) \end{cases}$$

(5)式は $\Delta \Sigma_{tr}$ の摂動による効果を求めたいとき, (6)式は ΔD の摂動による効果を求めたいとき,

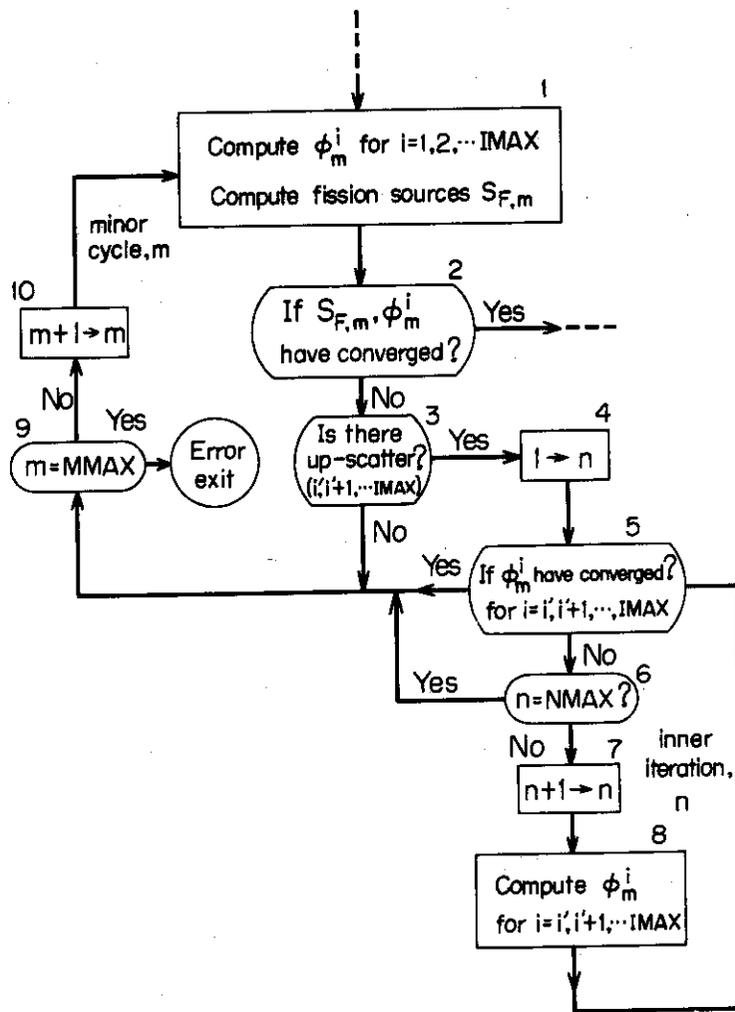


Fig. 1 Flow diagram of source iteration procedure including up-scattering of neutrons

用いられる。さらに、

$$K_{eff} = \sum_i \sum_j \sum_m f_m^i \cdot (\nu \Sigma_f)_m^j \cdot FLUX_m^j \quad (7)$$

$$S_F = \sum_i \sum_j \sum_m f_m^i \cdot (\nu \Sigma_f)_m^j \cdot F(j, i, m) \quad (8)$$

$$\Delta \Sigma_m^i = \Delta \Sigma_{c,m}^i + \Delta \Sigma_{f,m}^i + \sum_{j(\neq i)} \Delta \Sigma_{s,m}^{ij} \quad (9)$$

$$F(i, j, m) = \sum_{k \in m(k)=m} \int_{r_k}^{r_{k+1}} \phi^i \phi^{+j} r^u dr \quad (10)$$

$$G(i, m) = \sum_{k \in m(k)=m} \int_{r_k}^{r_{k+1}} (D_m^i \frac{d\phi^i}{dr}) \cdot (D_m^i \frac{d\phi^{+i}}{dr}) r^u dr \quad (11)$$

$$H(i, m) = \sum_{k \in m(k)=m} \int_{r_k}^{r_{k+1}} \frac{d\phi^i}{dr} \cdot \frac{d\phi^{+i}}{dr} \cdot r^u dr \quad (12)$$

$$FLUX_m^i = \sum_{k \in m(k)=m} \int_{r_k}^{r_{k+1}} \phi^i r^u dr \quad (13)$$

したがって、組成断面積の摂動による反応度係数は次式によって求められる。

$$\frac{\Delta K_{eff}}{K_{eff}} = \frac{K_{eff}}{S_F} \cdot [(4)式の右辺] \quad (14)$$

次に、径方向の寸法の摂動について述べる。いま、組成断面積の性質は変化しないとする、径方向の摂動 (Δr_k) による反応度係数は次式によって求められる。すなわち、(4)式に対応する式は次式で与えられる。²⁾

$$\frac{1}{(K_{eff})^2} \cdot (\Delta K_{eff}) \cdot S_F = \sum_k U_k r_k^u \Delta r_k \quad (15)$$

こゝに (ϵ_0^i については文献(1)参照),

$$U_1 = \sum_i \left\{ \Sigma_{m(1)}^i - \frac{1}{\epsilon_0^i} \left(\frac{u}{r_1} + \frac{1}{\epsilon_0^i D_{m(1)}^i} \right) \right\} \phi_1^i \phi_1^{+i} - \sum_{i,j} \left\{ \Sigma_{s,m(1)}^{ji} + \frac{1}{K_{eff}} \cdot f_{m(1)}^j \cdot (\nu \Sigma_f)_{m(1)}^j \right\} \phi_1^{+i} \phi_1^j \quad (16)$$

$$U_k = \sum_i \left(\frac{1}{D_{m(k)}^i} - \frac{1}{D_{m(k-1)}^i} \right) \cdot \left(D_m^i \frac{d\phi^{+i}}{dr} \right)_k \left(D_m^i \frac{d\phi^i}{dr} \right)_k + \sum_{i,j} \left\{ \Sigma_{s,m(k-1)}^{ji} + \frac{1}{K_{eff}} \cdot f_{m(k)}^j \cdot (\nu \Sigma_f)_{m(k)}^j \right\} \phi_k^{+i} \phi_k^j + \sum_i (\Sigma_{m(k)}^i - \Sigma_{m(k-1)}^i) \phi_k^{+i} \phi_k^i, \quad k=2,3,\dots,KSUP \quad (17)$$

最後に、動特性パラメータについて述べる。いま、エネルギー群 i の中性子速度を v^i とすると、即発中性子寿命 ϵ_p (sec) は次式によって求められる。⁴⁾

$$\epsilon_p = \frac{K_{eff}}{S_F} \cdot \left\{ \sum_{i,m} \frac{1}{v^i} F(i, i, m) \right\} \quad (18)$$

さらに、実効遅発中性子率 β_{eff} は、核分裂核種に対する指標を ℓ と付けておくと、次式によって計算される。

$$\beta_{eff} = \sum_{\ell} \beta_{eff}^{\ell} \quad (19)$$

$$\beta_{eff}^{\ell} = \frac{\sum_{i,j,m} \beta^{\ell} \cdot \{ (\nu \Sigma_f)^{\ell} \}_m^i \cdot (f_d^{\ell})^j \cdot F(i, j, m)}{S_F} \quad (20)$$

こゝに、 β^{ℓ} , $\{ (\nu \Sigma_f)^{\ell} \}_m^i$, および $(f_d^{\ell})^j$ は核分裂核種 ℓ の、それぞれ、遅発中性子率、組成 m 中の $\nu \Sigma_f^i$, および遅発中性子の核分裂スペクトラム, である。

以上に述べた摂動理論による計算部分は、GURNET-2コードの流れ図 (Fig. 2 参照) の中の CALCU2ルーチン (径方向の摂動は除く) および CALCU3ルーチン (径方向の摂動) である。

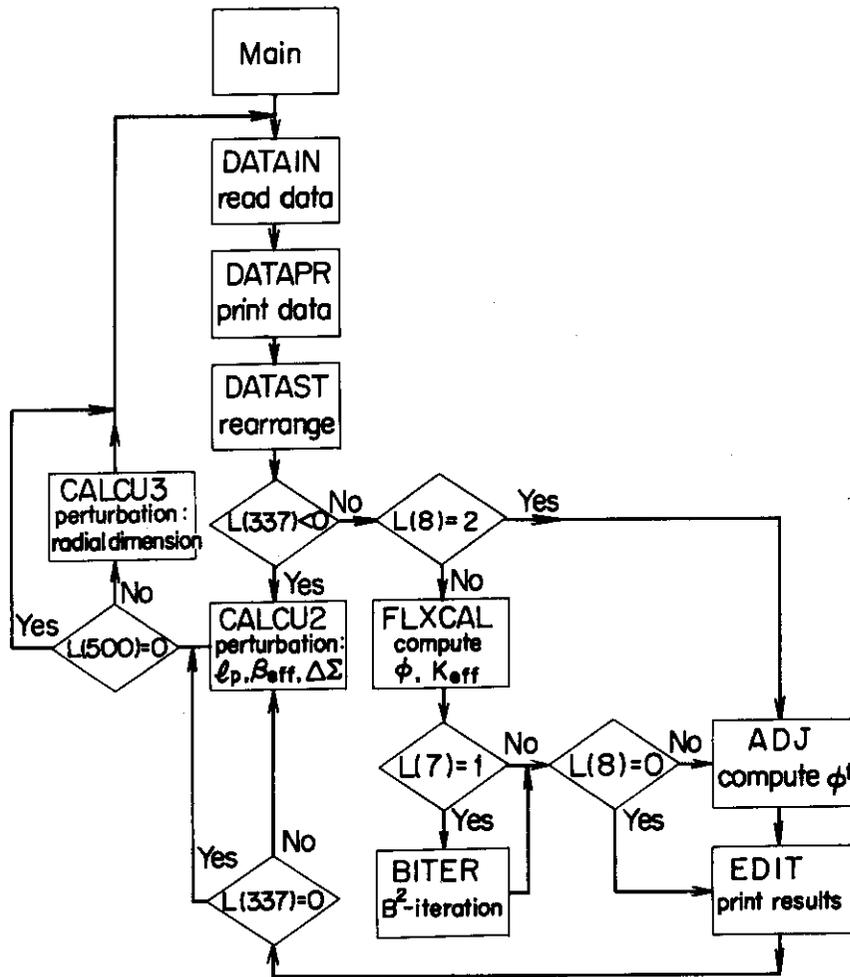


Fig. 2 Flow diagram of GURNET-2 code

3. 入力形式

GURNET-2コードの入力形式は、前半はGURNETコードの入力形式をそのまま踏襲する。後半に、摂動計算のCALCU2ルーチン(径方向の摂動計算は除く)およびCALCU3ルーチン(径方向の摂動計算)の入力が追加される。

連続ケースの問題に対しては、変更データのみを入力すれば事足りる。但し、領域の半径を入力するカード(A(9))は、必ず入力しなければならない。また、これと関連して、最大領域数が19に変更になった。入力データにはすべて番地が付いているので、データの順序が入れ替わっていても差し支えない。

入力データの単位はCGS系であるが、主な量の単位は次の通りである。

長さ: cm, 巨視的核断面積: cm^{-1} , 中性子束: $\text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$, 中性子速度: cm sec^{-1} .

入力データの構成と内容

A. タイトルカード; I, TITLE: Format (I1, R7, 9A8)

I = blank : 最初のケースのときか、次にケースが続いているとき。

= 1 : ケースの終了のときは、これで締め括る。

TITLE = 問題についての情報で何を書いてもよい。

79文字以内の英数字を入れる。

B. 固定小数点(整数)データカード; I, IA, ND: Format (I1, I9, 7I10)

I = blank : 固定小数点データを続けて読む。

= 1 : このケースの固定小数点データの最後のカードであることを示す。

IA = 各カードに記入される一連のデータに番地を与えるもので、各カードに記入される最初のデータの番地を記入する。

ND = 7個の固定小数点のデータを7I10のformatで記入する。

(注) 各7個のデータは一連の番地を持ったものでなければならない。もし、或る番地に記入すべきデータがない場合でも、その場所は空白にしておかななければならない。

固定小数点データの内容と、その番地は次の順に入力する。L(IA) = NDで、IAが番地を、NDがその内容を示す。

1 L(1) 幾何学的形状

= 0 板状

= 1 円柱(径方向)

= 2 球

= 3 円柱(軸方向)

2 L(2) 収束の判定について

= 0 K_{eff} の収束をみる。

= 1 中性子束 ϕ の収束をみる。

= 2 K_{eff} と ϕ の両方の収束をみる。

3 L(3) L(4) = 1のときのみ必要。バックリング(B_z^2)の入力。

= 1 ℓ_s (軸方向境界パラメータ)を入力し、 B_z^2 の計算を行う。

- = 2 $l_s = 2.131338$ として, B_z^2 を計算する。
- = 3 l_s を内部で計算で求め, これを用いて B_z^2 を計算する。
- (注) l_s については GURNET コード使用マニュアルの P 2 参照。L(4) についても同じ。
- 4 L(4) 軸方向の洩れ断面積 (Σ_L)
- = 0 入力する。
- = 1 L(3) の入力によって計算で求める。
- 5 L(5) 核断面積の形式
- = 0 微視的核断面積を入力。
- = 1 巨視的核断面積を入力 (通常は, こちらを用いるときが多い)。
- 6 L(6) L(5) = 0 のときのみ, 微視的核断面積の入力方法。
- = 0 カードで入力。
- = 1 テープから読み込む。
- 7 L(7) バックリング反復について。
- = 0 行わない。
- = 1 行う。
- (注) 軸方向と径方向を交互に反復する。
- 8 L(8) 随伴中性子束 ϕ^+ ((1b) 式) の計算。
- = 0 計算しない。
- = 1 中性子束 ϕ ((1a) 式) を計算した後, ϕ^+ を計算する。
- = 2 ϕ^+ の計算のみを行う。
- 9 L(9) L(8) = 1 のときのみ, ϕ^+ のカードパンチ出力のオプション。
- = 0 パンチ出力させる。
- = 1 パンチ出力しない。
- 10 L(10) 左境界パラメータ (l_0) の入力。
- = 0 入力する。
- = 1 $l_0 = 2.131338$ を用いる。
- = 2 l_0 は内部で計算する。
- (注) l_0 と次に述べる l_R については GURNET コードマニュアル P 2 参照。
- 11 L(11) 右境界パラメータ (l_R) の入力。
- = 0 入力する。
- = 1 $l_R = 2.131338$ を用いる。
- = 2 l_R は内部で計算する。
- 12 L(12) エネルギー群毎, 領域毎, の peaking ratio $\hat{\phi}/\bar{\phi}$ の計算。
- = 0 計算しない。
- = 1 計算し, 結果をプリントする。
- 13 L(13) エネルギー群毎の $\hat{\phi}/\bar{\phi}$ の計算。
- = 0 計算しない。
- = 1 計算し, 結果をプリントする。

- 14 L(14) 領域毎の $\hat{\phi}/\bar{\phi}$ の計算。
 = 0 計算しない。
 = 1 計算し、結果をプリントする。

- 15 L(15) 全体系の $\hat{\phi}/\bar{\phi}$ の計算。
 = 0 計算しない。
 = 1 計算し、結果をプリントする。

- 16 L(16) 組成の数MMAX(≤ 20)を入力。

- 17 L(17) Region check の計算
 = 0 計算しない。
 = 1 計算し、結果をプリントする。

(注) 方程式(1a)式の両辺の値を領域毎に比較し、差分近似の精度の目安とする。

- 18 L(18) 各格子点における反応断面積の反応率の計算。
 = 0 計算しない。
 = 1 計算し、結果をプリントする。

- 19 L(19) 拡散係数Dの計算。
 = 0 Σ_{tr} を入力し、これから計算する。
 = 1 Dそのものを入力する。

- 20 L(20) 入力した巨視的断面積のプリント。
 = 0 プリントしない。
 = 1 プリントする。

- 21 L(21) 軸方向のバックリングのプリント。
 = 0 プリントしない。
 = 1 プリントする。

(注) 軸方向のバックリングの計算に関してはL(3)を参照。

- 22 L(22) 径方向のバックリングの計算。
 = 0 計算しない。
 = 1 計算し、結果をプリントする。

- 23 L(23) 全(軸および径)方向のバックリングのプリント。
 = 0 プリントしない。
 = 1 プリントする。

- 24 L(24) 領域毎およびエネルギー群毎に対する反応率の計算。
 = 0 計算しない。
 = 1 計算する。

(注) 以下の反応率のいずれかのオプションを用いるときには、L(24) = 1 とする。

- 25 L(25) 領域毎およびエネルギー群毎の反応率のプリント。
 = 0 プリントしない。
 = 1 プリントする。

- 26 L(26) 領域毎の反応率のプリント
 = 0 プリントしない。
 = 1 プリントする。
- 27 L(27) エネルギー群毎の反応率のプリント
 = 0 プリントしない。
 = 1 プリントする。
- 28 L(28) K_{eff} および中性子束のカードパンチ出力
 = 0 パンチ出力しない。
 = 1 パンチ出力する。
- 29 L(29) K_{eff} の初期推定値の入力
 = 0 入力しない。
 = 1 入力する。
- 30 L(30) 微視的核断面積の入力 ($L(5) = 0$) のとき必要。全体系に必要な核種の総数
 : ISOMAX。
- 31 L(31) エネルギー群の数: IMAX (≤ 20)。
- 32 L(32) 領域数: RMAX (≤ 19)。
- 33 L(33) 領域毎の空間格子点の分割数: LM(R), $R = 1, RMAX$ 。分割数の総和
 KMAX は 100 以下のこと。
- 34 L(53) 微視的核断面積の入力 ($L(5) = 0$) のとき必要。組織毎の核種の数 (≤ 10)
 : ISO(m), $m = 1, MMAX$ 。
- 35 L(73) 内側 (中性子束計算) 反復の最大許容回数。
- 36 L(74) バックリング反復 ($L(7) = 1$) を行うとき必要。バックリング反復の最大許容
 回数。
- 37 L(75) 微視的核断面積の入力 ($L(5) = 0$) のとき必要。各組成に含まれる核種の標
 識番号を入力。(ISOID(m, ℓ), $\ell = 1, ISO(m)$), $m = 1, MMAX$ 。
 ℓ が 1 つ増す毎に, 番地を 20 増すこと。L(53) も参照のこと。
- 38 L(275) バックリング反復 ($L(7) = 1$) を行うとき必要。バックリング反復を適用す
 る領域の番号。
- 39 L(277) 中性子束の初期推定値の入力。
 = 0 入力しない。
 = 1 入力する。
 = 2 中性子束に対する規格化因子 A を入力。
- (注) 中性子束の初期推定値の入力は前回の計算結果の出力カードを用いると便利である。規
 格化因子 A は, 式 $A / \sum_i \nu \Sigma_f \phi^i dr$ によって, 全ての中性子束に掛けられる。
- 40 L(316) 領域毎に組織の標識番号を入力: MAT(R), $R = 1, RMAX$ 。
- (注) 同一組成には同一の組成標識番号が入る。
- 41 L(336) 巨視的吸収断面積 (Σ_a) の入力方法。
 = 0 Σ_c および Σ_f を入力。

= 1 Σ_a を入力。

42 L(337) 摂動 (l_p , β_{eff} , など) の計算のオプション (径方向の摂動については 48 を見よ)。

= 0 計算しない。

> 0 計算する。中性子および随伴中性子束の計算を行って後、摂動の計算を行う。

< 0 計算する。但し、中性子束および随伴中性子の計算は行わないので、 K_{eff} と共に入力しなければならない。

以下は摂動の計算に関する入力なので、摂動理論の計算を行わないときは必要ない。

43 L(338) 摂動計算の中でのオプション。

= 0 l_p および β_{eff} のみを計算する。

= 1 反応度係数 ($\Delta K_{eff}/K_{eff}$) のみを計算する。

= 2 l_p , β_{eff} , および $\Delta K_{eff}/K_{eff}$ のすべての計算を行う。

44 L(339) L(338) $\neq 0$ のとき必要。拡散係数 D に関する摂動の入力。

= 0 $\Delta \Sigma_{tr}$ を入力。(5)式参照。

$\neq 0$ ΔD を入力。(6)式参照。

45 L(340) 核断面積に対する摂動を適用する領域番号 (KR) を入力。

46 L(341) L(338) $\neq 1$ のとき必要。核分裂核種の数 (LMAX) を入力。

47 L(350) 径方向の摂動を適用するときの領域番号 (KRP) を入力。次の L(500) $\neq 0$ の入力と共に用いる。

48 L(500) 径方向の摂動計算のオプション。

= 0 計算しない。

$\neq 0$ 計算する。

C. 浮動小数点データカード; I, IA, FD: Format (I1, I9, 7E 10.0)

記入方法は、固定小数点データカードと全く同じである。浮動小数点データの番地と内容を以下に示す。A (IA) = FD で、IA が番地を、FD がその内容を示す。

1 A(1) K_{eff} の収束判定因子。

2 A(2) 中性子束の収束判定因子。

(注) 普通は K_{eff} の収束判定因子よりは一桁ぐらい大きい値が用いられる。

3 A(3) バックリング反復の収束判定因子。

4 A(7) 板状体系のときのみ。原点から y 方向外境界までの距離 ($L_Y/2$)。

5 A(8) 球状を除くすべての体系のとき。原点から軸方向外境界までの距離 ($L_Z/2$)。

(注) A(7) および A(8) はバックリングの計算に用いられる。文献(1)の(5)式参照。

6 A(9) 原点からの各領域境界までの距離。原点 (r_1) も入力する。

(注) 普通、 $r = 0$ である。 $r_1 > 0$ のときは体系の中心に空孔があるときで、そのときは、空孔領域に対して外挿境界の条件が適用される。文献(1)の(8)式参照。

以下に示す巨視的核断面積の入力は、エネルギー群 i が増す毎に番地を 20 増して書く。すなわち、組成 (m) 毎に縦形に入力する。入力例 (第 4 章) を合わせて参照すると理解し易い。 j もエネルギー群を示す標識である。

- 7 A(29) 核分裂スペクトラム $f(m, i)$ の入力。MMAX×IMAX 入力する。
- 8 A(429) $L(336)=0$ のとき必要。 $\Sigma_c(m, i)$ の入力。MMAX×IMAX 入力する。
- 9 A(829) $L(336)=0$ のとき必要。 $\Sigma_f(m, i)$ の入力。MMAX×IMAX 入力する。
- 10 A(1229) $L(19)=0$ のとき必要。 $\Sigma_{tr}(m, i)$ の入力。MMAX×IMAX 入力する。
- 11 A(1629) $\nu\Sigma_f(m, i)$ の入力。MMAX×IMAX 入力する。
- 12 A(2029) $\Sigma_s(m, i, j)$ の入力。散乱は $i \rightarrow j$ の向きに行われるとする。 i が増す毎に、番地が 20 増し、 j が増す毎に番地が 400 増す。MMAX×IMAX×IMAX 入力する。
- 13 A(10029) 随伴中性子束 ϕ^+ の計算を行う際の K_{eff} の初期推定値。 $L(8)$ および $L(337)$ を参照。

(注) 普通は、次の A(10030) の値と同じものを入力する。

- 14 A(10030) $L(29)=1$ のとき必要。中性子束 ϕ の計算を行う際の K_{eff} の初期推定値。
- 15 A(12051) $L(3)=0$ のとき必要。 $B_z^2(R, i)$ の入力。 i が増す毎に番地を 20 増して書く。RMAX (領域数) × IMAX 入力する。

(注) 各組成でなく、各領域に対して入力する。

- 16 A(12451) $L(3)=1$ のとき必要。 $\ell_s(m, i)$ の入力。 i が増す毎に番地を 20 増して書く。MMAX×IMAX 入力する。
- 17 A(12851) $L(10)=0$ のとき必要。 $\ell_0(i)$ の入力： $\ell_0(i), i=1, IMAX$ 。
- 18 A(12871) $L(11)=0$ のとき必要。 $\ell_0(i)$ の入力： $\ell_R(i), i=1, IMAX$ 。
- 19 A(12911) $L(19)=1$ のとき必要。 $D(m, i)$ の入力。MMAX×IMAX 入力する。
- 20 A(15832) $L(336)=1$ のとき必要。 $\Sigma_a(m, i)$ の入力。MMAX×IMAX 入力する。
- 21 A(16455) $L(4)=0$ のとき必要。 $\Sigma_\ell(m, i)$ の入力。MMAX×IMAX 入力する。

以下は、摂動計算に関する入力なので、摂動計算を行わないときは必要ない。 $L(337) \sim L(341)$ を合わせて参照のこと。

- 22 A(16875) $L(337) \approx 0$ および $L(338) \approx 1$ のとき必要。中性子速度 $v(i)$ の入力： $v(i), i=1, IMAX$ 。

(注) このデータを入力するときは次の 23, 24 および 25 のデータを必ず一緒に入力する。

- 23 A(16895) 核分裂核種 (l) の遅発中性子率 $\beta(l)$ の入力： $\beta(l), l=1, LMAX$ 。
- 24 A(16905) 核分裂核種 (l) の遅発中性子の核分裂スペクトラム $f_d(l, i), i=1, IMAX$ 。 l が増す毎に番地を 20 増やす。
- 25 A(17105) 核分裂核種 (l) の $\nu\Sigma_f(l, i)$ を入力： $\nu\Sigma_f(l, i), i=1, IMAX$ 。 l が増す毎に番地を 20 増やす。
- 26 A(17305) $L(337) \approx 0$ および $L(338) \approx 0$ のとき必要。核断面積の摂動 $\Delta[\nu\Sigma_f(i)]$ の入力： $\Delta[\nu\Sigma_f(i)], i=1, IMAX$ 。

(注) ここで用いられたオプションのときは、普通、以下のデータも一緒に入力される。摂動を受ける領域は $L(340)$ で既に指定済である。

- 27 A(17325) $\Delta\Sigma_a(i)$ の入力： $\Delta\Sigma_a(i), i=1, IMAX$ 。
- 28 A(17345) $\Delta\Sigma_s(i, j) (i \rightarrow j)$ の入力： $(\Delta\Sigma_s(i, j), j=1, IMAX), i=1, IMAX$ 。

i が増す毎に、番地を 20 増やす。

- 29 A(17745) L(339) の入力に従い、 $4\Sigma_{tr}(i)$ 或いは $4D(i)$ を入力する： $4\Sigma_{tr}(i)$ 、 $i=1, \text{IMAX}$ (或いは $4D(i)$ 、 $i=1, \text{IMAX}$)。
- 30 A(17765) L(500) $\neq 0$ のとき必要。径方向の擾動を受ける領域 (L(350) で指定) の擾動巾 $4r$ 。

D. 微視的核断面積のデータカード (L(5)=0 のときのみ)

1. カードで入力 (L(6)=0 のとき) するのであるが、次の順序で入力する。

- (i) MCARD とパンチしたカード：Format (A5)。
- (ii) 各組成内に含まれる核種の体積比：Format (10E8.0)。 ($V(m, \ell)$, $\ell=1, \text{ISO}(m)$), $m=1, \text{MMAX}$ 。 m が増す毎に新たにカードを変える。

(注) 普通は、1.0 を入力しておく。

以下の (iii) および (iv) のカードは核種の数だけ繰り返す。

(iii) 核種の標識名 (IDNAME) および原子数密度 (AD)：Format (A8, E12.0)。

(iv) 核種の断面積：Format (8E10.0)

(a) $\sigma_c(i)$, $\sigma_f(i)$, $\sigma_{tr}(i)$, $\nu(i)$, $i=1, \text{IMAX}$ の入力。

(b) ($\sigma_s(i, j)$, $j=1, \text{IMAX}$), $i=1, \text{IMAX}$ の入力。 $i \rightarrow j$ とする。 i が増す毎に新たにカードを変える。

2. テープで入力 (L(6)=1 のとき) するのであるが、次のカード (i) を除いては、カードで入力するときと同じである。

(i) MTAPE とパンチしたカード：Format (A5)。

4. 計算例

計算例として、円柱形状である NSRR⁶⁾で、炉心中央の実験孔に軽水入っている場合を採り上げた(体系の寸法については文献(1)の Fig. 1 参照)。まず最初に臨界計算を行い、引続き l_p および β_{eff} の計算を行った。Table 1 にこの計算例で用いられたときのジョブ・コントロールカードおよび入力データ (FACOM 230/75 で) を示してある。

Table 2 は Table 1 の入力データの計算結果であるが、頁数節約のため、途中を省略してある。リスト中の LAMBDA は K_{eff} を指す。プログラムは CDC 6600 版から FACOM 版へ変換されたので、GROUP が GRUP, REGION が REGN, などとなっているが自明と思われる。プログラムの使用記憶容量は 62K 語で、上記の CPU 計算時間は 9.70 秒であった。

Table 1 Control cards and input data for an example on FACOM
230/75 computer

```

.....*.....1.....*.....2.....*.....3.....*.....4.....*.....5.....*.....6.....*.....7.....*.....8
-----/
#NO      F180.
                                           T.1/TIME 20S
                                           W.0/PAGE 40
                                           C.1/CORE 64
                                           P.1/PCH 0
                                           QA230EF95
#G JOB   VD71223,ISE,I,446,01
#EXEC,DP GURNET20,J1223,GURNET20
#DATA
0 GURNET CELL CORE 96 23C
      1      1      2      0      1      1      0
      8      1      0      0      1      1      1
     15      1      3      1      1      1      1
     22      1      1      1      1      1      0
     29      0      9      5      1      1
     33      24      4      4      30      20
     73      100
     277     0
     316     2      3      2      1      2
0      336     1
     53      2
     75      1
     95      2
1      337     1      2
      1 ,0005-01 ,001
      9 12.27 0.64 0.41 19.1 38.46
     29 ,13127
     49 ,44182
     69 ,24543
     89 ,18148
    109 ,0
    129 ,0
    149 ,0
    169 ,0
    189 ,0
    1629 2,8893-03
    1649 2,1165-03
    1669 7,8166-04
    1689 1,0608-03
    1709 1,4096-02
    1729 4,016 -02
    1749 9,485 -02
    1769 1,672 -01
    1789 2,939 -01
    15832 1,7565-03 3.2541-03 3,239 -05
    15852 8,1387-04 0.0 2,1183-04
    15872 4,6032-04 0.0 4,0760-04
    15892 8,353 -04 0.0 1,2038-03
    15912 1,9212-02 6,0275-04 4,764 -03
    15932 2,563 -02 4,189 -03 4,6193-02
    15952 5,858 -02 8,019 -03 8,8422-02
    15972 1,001 -01 1,2986-02 1,432 -01
    15992 1,786 -01 2,4704-02 2,7242-01
    12911 3,5924 2,9469 1,9914
    12931 2,8486 2,2132 1,7894
    12951 2,4364 1,7525 1,8372

```

Table 1 (Continued)

.....*1.....*2.....*3.....*4.....*5.....*6.....*7.....*8
12971	1.7375	1.2099	1.1745					
12991	0.8127	0.6635	0.4778					
13011	0.4748	0.4846	0.3635					
13031	0.3307	0.2739	0.3472					
13051	0.2243	0.1976	0.3277					
13071	0.1122	0.1057	0.2885					
2029								
2429	4.9103-02	6.6080-02	2.6573-02					
2829	1.5596-02	1.6095-02	3.6772-02					
3229	1.3566-02	1.4219-02	2.1574-02					
3629	1.6624-04	2.0392-04	0.1418-05					
4029	1.2213-08	1.5900-08						
4429	7.5008-09	15.8990-09						
4829								
5229								
2049								
2449								
2849	5.6388-02	7.3251-02	3.9253-02					
3249	4.8002-02	5.6446-02	14.4979-03					
3649	6.6172-04	8.1718-04	0.1063-05					
4049	5.1494-08	6.3716-08						
4449	2.9912-08	3.7011-08						
4849								
5249								
2069								
2469								
2869								
3269	1.6902-01	2.1884-01	2.3411-02					
3669	2.3665-03	2.9834-03	0.0019-05					
4069	1.8439-07	2.3261-07						
4469	1.0711-07	13.5120-08						
4869								
5269								
2089								
2489								
2889								
3289								
3689	1.3864-01	1.7766-01	2.6791-03					
4089	1.0757-05	1.3692-05						
4489	6.248 -06	7.9533-06						
4889								
5289								
2109								
2509								
2909								
3309								
3709								
4109	6.8196-02	9.5419-02	0.4857-03					
4509	3.9726-02	5.4509-02						
4909								
5309								
2129								
2529								
2929								
3329								

Table 1 (Continued)

	1	2	3	4	5	6	7	8
3729								
4129								
4529	4.1211-01	5.2230-01	1.6007-02					
4929	1.1285-01	1.0220-01						
5329	3.0939-02	2.7989-02						
2149								
2549								
2949								
3349								
3749								
4149	0.8193-03	1.3000-03	2.8666-04					
4549								
4949	3.4369-01	7.1543-01	8.0226-02					
5349	1.5514-01	1.7261-01						
2169								
2569								
2969								
3369								
3769								
4169	3.3171-07	2.8124-07						
4569	3.0194-02	6.6243-02	9.1427-03					
4969								
5369	1.8816-01	6.0622-01	1.0273-02					
2189								
2589								
2989								
3389								
3789								
4189	0.8389-07	0.6361-07						
4589	1.2881-02	1.3223-02						
4989	2.2066-01	5.2245-01	6.0439-02					
5389								
16875	4.9329+09	2.8349+09	1.8955+09	4.447 +08	9.44 +06	1.1510+06	6.3925+05	
16882	3.7937+05	2.0316+05						
16895	0.0065	0.0148						
16905		0.0213	0.3678	0.5809				
16925		0.0513	0.3678	0.5809				
17105	9.7695-04	8.4924-04	7.3959-04	1.0598-03	1.4021-02	0.03997	0.09558	
17112	0.1672	0.2911						
17125	1.8936-03	1.2478-03	4.1330-05					
12051	0.2156-02	0.2166-02	0.2128-02	0.2173-02	0.2265-02			
12071	0.2156-02	0.2166-02	0.2128-02	0.2173-02	0.2265-02			
12091	0.2156-02	0.2166-02	0.2128-02	0.2173-02	0.2265-02			
12111	0.2156-02	0.2166-02	0.2128-02	0.2173-02	0.2265-02			
12131	0.2156-02	0.2166-02	0.2128-02	0.2173-02	0.2265-02			
12151	0.2156-02	0.2166-02	0.2128-02	0.2173-02	0.2265-02			
12171	0.2156-02	0.2166-02	0.2128-02	0.2173-02	0.2265-02			
12191	0.2156-02	0.2166-02	0.2128-02	0.2173-02	0.2265-02			
12211	0.2156-02	0.2166-02	0.2128-02	0.2173-02	0.2265-02			
1	***** SUCCESSFUL ENDING *****							

Table 2 Sample output print for an example of Table 1

****	LL C	96 2	
INPUT DATA LIST			
L1	1		GEOMETRY (0/1/2/3=SLAB/CYLINDER/SPHERE/AXIAL CYLINDER)
L2	2		CONVERGENCE (0/1=EIGEN VALUE/EIGEN VALUE AND FLUX)
L3	C		BUCKLING (0/1/2/3=INPUT/CALC(PARAMETER INPUT)/CALC(PARAMETER CONT)/CALC(PARAMETER CALC))
L4	1		TRANSVERSE LEAKAGE X, SECTION (0/1=INPUT/CALC)
L5	1		X, SECTION INPUT TYPE (0/1=MICRO/MACRO)
L7	0		BUCKLING ITERATION (0/1=NO/YES)
L8	1		ADJOINT FLUX CALC (0/1/2=NO/FLUX CALC AND ADJOINT FLUX CALC/ADJOINT FLUX CALC ONLY)
L9	0		FLUX, ADJOINT FLUX PUNCH (0/1=NC/YES)
L11	1		RIGHTHAND SLOPE BOUNDARY PARAMETER (0/1/2=INPUT/CONST/CALC)
L16	3		NUMBER OF MATERIAL
L17	1		REGION CHECK CALC (0/1=NO/YES AND PRINT)
L19	1		DIFFUSION COEFFICIENT (0/1=CALC/INPUT)
L396	1		MACRO ABSORPTION X, SECTION INPUT (0/1=NO/YES)
L20	1		MACRO CROSS SECTION, PRINT (0/1=NO/YES)
L28	0		KEFF, FLUX PUNCH (0/1=NC/YES)
L29	0		KEFF, GUESS INPUT (0/1=NO/YES)
L31	9		NUMBER OF ENERGY GROUP
L32	5		NUMBER OF REGION
L73	100		LAMBDA ITERATION: MAX.
L277	0		FLUX GUESS (0/1/2=NO/INPUT/INPUT(NORMALIZED))
L397	1		CALC2 OPTION (0/1/2=NO/ONLY/SKIP/CALC2 AFTER FLUX CALC)
L398	0		PERT CALC OPTION (0/1/2=L, BETA/ DK/K /L, BETA, DK/K)
L341	2		NUMBER OF NUCLIDE (BETA CALC)
LM			NO. OF DIVISIONS IN EACH REGION
			24 4 30 20
MAT			MATERIAL TABLE IN REGIONS
			2 3 1 2
E1	0.50000E-04		CONVERGENCE CRITERION FOR TOTAL SOURCE
E2	0.10000E-02		CONVERGENCE CRITERION FOR POINT SOURCE
RL			REGION LENGTH
	0.12270E 02	0.41000E 00	0.19100E 02
			0.38460E 02

(Omitted midway)

Table 2 (Continued)

OUTPUT - PROMPT NEUTRON LIFETIME
 - EFFECTIVE DELAYED NEUTRON FRACTION

DELAYED NEUTRON FRACTION OF NUCLIDE L

L= 1 L= 2
 0.65000E-02 0.14800E-01

AVERAGE VELOCITY OF GROUP G

G= 1 G= 2 G= 3 G= 4 G= 5 G= 6 G= 7 G= 8 G= 9
 0.49329E 10 0.28349E 10 0.18955E 10 0.44470E 09 0.94400E 07 0.11510E 07 0.63925E 06 0.37937E 06 0.20316E 06

NU-SIG OF NUCL DE L

L= 1 L= 2
 G= 1 0.97695E-03 0.13996E-02
 G= 2 0.84324E-03 0.12478E-02
 G= 3 0.75959E-03 0.41330E-04
 G= 4 0.10598E-02 0.0
 G= 5 0.14021E-01 0.0
 G= 6 0.39970E-01 0.0
 G= 7 0.95580E-01 0.0
 G= 8 0.16720E 00 0.0
 G= 9 0.29110E 00 0.0

DELAYED NEUTRON SPECTRUM FRACTION

L= 1 L= 2
 G= 1 0.0 0.0
 G= 2 0.51300E-01 0.51300E-01
 G= 3 0.36780E 00 0.36780E 00
 G= 4 0.58090E 00 0.58090E 00
 G= 5 0.0 0.0
 G= 6 0.0 0.0
 G= 7 0.0 0.0
 G= 8 0.0 0.0
 G= 9 0.0 0.0

L9 0.3217E-04 (PROMPT NEUTRON LIFETIME)

BETA9 0.73685E-02 (EFFECTIVE DELAYED NEUTRON FRACTION)

BETA(L) 0.72635E-02 0.10500E-03

*****SUCCESSFUL ENDING *****

5. あとがき

GURNET-2コードは、NSRR（安全性研究炉）の核特性解析^{6,7)}に動特性パラメータの計算が至急に必要だったため、既に手元にあったGURNETコードに改良を加えて作成した。現在 EXTERMINATOR-2（2次元拡散コード）の摂動計算部が使えなく、熱中性子炉用としては、GURNET-2コードのみしかないようなので、有用と思われる。このプログラムは、既にいろいろな原子炉計算に使われているので、こゝに公開する次第である。

入力する群定数は、熱中性子炉用としてはGGC-4コードが良いと思われる。GGC-4コードの出力から、GURNETコードの入力カードに変換するプログラムも既に作成して⁵⁾、DISKファイル（永久）に登録されている（このことについては文献(5)の付録参照）。

謝 辞

プログラム作成に際しては、石橋明弘氏（CRC）には大変お世話になりました。CDC版からFACOM板への変換に際しては、磯田和男計算センター室長（当時、現茨城大学工学部教授）には大変お世話になりました。こゝに謝意を表わします。

参考文献

- 1) 伊勢武治, 久保諄洋, "汎用一次元拡散コードGURNET," JAERI-1215 (1971)
- 2) Lenihan S.R., "GAZE-2, a one-dimensional, multigroup, neutron diffusion theory code for the IBM 7090," GA-3152 (1962)
- 3) Tobias M., Fowler T.B., and Vondy D.R., "First-order perturbation theory as used in the multigroup diffusion code EXTERMINATOR-2," ORNL-TM-1741 (1967)
- 4) Hardie R.W., and Little Jr. W.W., "PERT-W, a two-dimensional perturbation code in FORTRAN-W," BNWL-409 (1967)
- 5) 筒井恒夫, 伊勢武治, "GGC-4コードによる多群群定数作成とその検討," JAERI-M 5991 (1975)
- 6) 伊勢武治, 稲辺輝雄, 中原康明, "NSRR（安全性研究炉）の炉特性解析," 日本原子力学会誌, 17, 6, 314~321 (1975)
- 7) 伊勢武治, 稲辺輝雄, "熱中性子パルス炉," 日本原子力学会炉中性子利用研究専門委員会報告書「炉中性子研究の現状と今後の課題」第Ⅳ-3章 (1976年3月)

5. あとがき

GURNET-2コードは、NSRR（安全性研究炉）の核特性解析^{6,7)}に動特性パラメータの計算が至急に必要だったため、既に手元にあったGURNETコードに改良を加えて作成した。現在 EXTERMINATOR-2（2次元拡散コード）の摂動計算部が使えなく、熱中性子炉用としては、GURNET-2コードのみしかないようなので、有用と思われる。このプログラムは、既にいろいろな原子炉計算に使われているので、こゝに公開する次第である。

入力する群定数は、熱中性子炉用としてはGGC-4コードが良いと思われる。GGC-4コードの出力から、GURNETコードの入力カードに変換するプログラムも既に作成して⁵⁾、DISKファイル（永久）に登録されている（このことについては文献(5)の付録参照）。

謝 辞

プログラム作成に際しては、石橋明弘氏（CRC）には大変お世話になりました。CDC版からFACOM板への変換に際しては、磯田和男計算センター室長（当時、現茨城大学工学部教授）には大変お世話になりました。こゝに謝意を表わします。

参考文献

- 1) 伊勢武治, 久保諄洋, "汎用一次元拡散コードGURNET," JAERI-1215 (1971)
- 2) Lenihan S.R., "GAZE-2, a one-dimensional, multigroup, neutron diffusion theory code for the IBM 7090," GA-3152 (1962)
- 3) Tobias M., Fowler T.B., and Vondy D.R., "First-order perturbation theory as used in the multigroup diffusion code EXTERMINATOR-2," ORNL-TM-1741 (1967)
- 4) Hardie R.W., and Little Jr. W.W., "PERT-W, a two-dimensional perturbation code in FORTRAN-W," BNWL-409 (1967)
- 5) 筒井恒夫, 伊勢武治, "GGC-4コードによる多群群定数作成とその検討," JAERI-M 5991 (1975)
- 6) 伊勢武治, 稲辺輝雄, 中原康明, "NSRR（安全性研究炉）の炉特性解析," 日本原子力学会誌, 17, 6, 314~321 (1975)
- 7) 伊勢武治, 稲辺輝雄, "熱中性子パルス炉," 日本原子力学会炉中性子利用研究専門委員会報告書「炉中性子研究の現状と今後の課題」第Ⅳ-3章 (1976年3月)

5. あとがき

GURNET-2コードは、NSRR（安全性研究炉）の核特性解析^{6,7)}に動特性パラメータの計算が至急に必要だったため、既に手元にあったGURNETコードに改良を加えて作成した。現在 EXTERMINATOR-2（2次元拡散コード）の摂動計算部が使えなく、熱中性子炉用としては、GURNET-2コードのみしかないようなので、有用と思われる。このプログラムは、既にいろいろな原子炉計算に使われているので、こゝに公開する次第である。

入力する群定数は、熱中性子炉用としてはGGC-4コードが良いと思われる。GGC-4コードの出力から、GURNETコードの入力カードに変換するプログラムも既に作成して⁵⁾、DISKファイル（永久）に登録されている（このことについては文献(5)の付録参照）。

謝 辞

プログラム作成に際しては、石橋明弘氏（CRC）には大変お世話になりました。CDC版からFACOM板への変換に際しては、磯田和男計算センター室長（当時、現茨城大学工学部教授）には大変お世話になりました。こゝに謝意を表わします。

参考文献

- 1) 伊勢武治, 久保諄洋, "汎用一次元拡散コードGURNET," JAERI-1215 (1971)
- 2) Lenihan S.R., "GAZE-2, a one-dimensional, multigroup, neutron diffusion theory code for the IBM 7090," GA-3152 (1962)
- 3) Tobias M., Fowler T.B., and Vondy D.R., "First-order perturbation theory as used in the multigroup diffusion code EXTERMINATOR-2," ORNL-TM-1741 (1967)
- 4) Hardie R.W., and Little Jr. W.W., "PERT-IV, a two-dimensional perturbation code in FORTRAN-IV," BNWL-409 (1967)
- 5) 筒井恒夫, 伊勢武治, "GGC-4コードによる多群群定数作成とその検討," JAERI-M 5991 (1975)
- 6) 伊勢武治, 稲辺輝雄, 中原康明, "NSRR（安全性研究炉）の炉特性解析," 日本原子力学会誌, 17, 6, 314~321 (1975)
- 7) 伊勢武治, 稲辺輝雄, "熱中性子パルス炉," 日本原子力学会炉中性子利用研究専門委員会報告書「炉中性子研究の現状と今後の課題」第IV-3章 (1976年3月)