

JAERI-M
4472

高速炉用一次元濃度サーチコード
(EXPANDA-3, EXPANDA-6)

1971年6月

鈴木友雄

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

高速炉用一次元濃度サーチコード (EXPANDA-3, EXPANDA-6)

日本原子力研究所東海研究所

原子炉工学部核設計研究室

鈴木 友雄

(1971年6月受理)

要旨　すでに報告したEXPANDA-2 (JAERI-1118), EXPANDA-4 (JAERI-memo 3660)は臨界調整のオプションとして任意一領域の厚さを変化させることができるが、元素の組成は固定されていた。体系を固定して、一つ以上の領域で元素の濃度を変化させる臨界調整の機能を備えた二つのコードを作成したので、その概要と入力形式を述べた。

EXPANDA-3はABBN定数セット、EXPANDA-6はJAERI-fastセットを用いるが、後者は $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ 中の PuO_2 富化度のサーチもできるようになっている。両者とも、臨界調整を行わない単なる臨界計算も可能である。

EXPANDA-3 and EXPANDA-6: The One-Dimensional
Diffusion Equation Codes for Fast Reactors
with an Option of Concentration Adjustment

Tomoo SUZUKI

Reactor Physics Analytical Laboratory
Division of Reactor Engineering, Tokai, JAERI
(Received June, 1971)

Abstract — The codes EXPANDA-2 and EXPANDA-4 (reported previously in JAERI-1118 and JAERI-memo 3660, respectively) have an option of criticality adjustment by changing the thickness of a region, but the concentration of each element is not changed during calculations.

Two computer codes EXPANDA-3 and EXPANDA-6 have been developed for treating the concentration adjustment. In these codes the spatial dimensions of a reactor are not varied, but the concentrations of elements in one or more spatial regions can be changed for attaining the criticality condition.

In this report, the functions of these codes and input format of data are described.

In EXPANDA-3, the ABEN group constants set is utilized as library data. On the other hand, in EXPANDA-6, the JAERI-fast set is utilized. The latter code has another advantage of adjusting the concentration of PuO_2 in the PuO_2 - UO_2 mixture.

Both the codes can also treat simple criticality calculation without adjusting the criticality.

目 次

1. EXPANDA-3 コード	1
1.1 ライブラリー作成用プログラム LTFR-3	1
1.2 入力データ	3
1.3 実効断面積の計算	8
1.4 臨界計算と臨界調整	9
1.5 出力データ	11
2. EXPANDA-6 コード	13
2.1 ライブラリー作成用プログラム LTFR-4	13
2.2 入力データ	16
2.3 実効断面積の計算	20
2.4 富化度調整	22
2.5 出力データ	23
文 献	26

Contents

1. The code EXPANDA-3	1
1.1 The program LTFR-3 for preparing the library tape	1
1.2 Input data	3
1.3 Calculation of effective cross sections	8
1.4 Criticality calculation and criticality adjustment	9
1.5 Output data	11
2. The code EXPANDA-6	13
2.1 The program LTFR-4 for preparing the library tape	13
2.2 Input data	16
2.3 Calculation of effective cross sections	20
2.4 Criticality adjustment by enrichment	22
2.5 Output data	23
References	26

1. EXPANDA-3コード

ABBN 定数系⁽¹⁾を用いた高速炉用一次元拡散コードとしてはEXPANDA-2⁽²⁾があるが、臨界調整の方法は、一つの領域の厚さを調整することはできるが、元素の密度を調整することはできない。EXPANDA-3はこの濃度調整を目的として開発された高速炉用一次元拡散コードである。従つて臨界調整の方法以外は、機能としてはEXPANDA-2と同一であるが、プログラム上は種々の改良が加えられている。初めIBM-7044Fortranで作成され、現在までにCDC-3600, IBM-360/75, 最近ではFACOM-230/60にも書き換えられ、近い将来CDC-6600でも使用可能となる。以下にEXPANDA-3コードとその使い方を説明する。

1.1 ライブラリー作成用プログラムLTFR-3

分裂スペクトル, 核種毎の微視断面積, 非弾性散乱マトリックス, 共鳴自己遮蔽因子はバイナリー形式で, ライブラリー・テープにしておき, EXPANDA-3に入力される。LTFR-3はこのライブラリー・テープを作成するためのコードで, カードにBCD形式で穿孔された上記のデータを読み込み, 核種毎にデータのリストを印刷し, 次に群毎に全核種のデータをまとめて1論理レコードとして, 2進テープを作る。テープへ編集される核種の数は20で, 現在下記の20核種がライブラリーとして直ちに使用できるようにテープができています。 χ^1 としては $\nu=2.4$ のものが入っている。

元素の順序	元素名	コード・ナンバー	データの性質
1	²³⁵ U	9 2 5	<ul style="list-style-type: none"> ○ σ_f 有 ○ f は 4 種類 (f_f, f_c, f_t, f_e) ○ 温度変化有
2	²³⁹ Pu	9 4 9	
3	²⁴⁰ Pu	9 4 0	<ul style="list-style-type: none"> ○ σ_f 有 ○ f は 3 種類 (f_c, f_t, f_e) ○ 温度変化有 ○ σ_0 は (0, 10, ..., 10⁵) <p style="text-align: center;">但し f_c の σ_0 は (10, 10², ..., 10⁶)</p>
4	²³⁸ U	9 2 8	
5	²⁴² Pu	9 4 2	<ul style="list-style-type: none"> ○ σ_0 は (0, 10, ..., 10⁵)
6	Zr	4 0	<ul style="list-style-type: none"> ○ f は 3 種類 (f_c, f_t, f_e) ○ 温度変化有
7	Mo	4 2	
8	F.P. (²³⁹ Pu)	9 9 9	<ul style="list-style-type: none"> ○ σ_0 は (0, 10, ..., 10⁵)

元素の順序	元 素 名	コード・ナンバー	データの性質
9	Na	1 1	<ul style="list-style-type: none"> ○ f は 3 種類 (f_c, f_t, f_e) ○ σ_0 は $(0, 10, \dots, 10^5)$
10	Cr	2 4	
11	Cu	2 9	
12	O	8	<ul style="list-style-type: none"> ○ f は 3 種類 (f_c, f_t, f_e) ○ σ_0 は $(0, 1, 10, \dots, 10^4)$
13	Al	1 3	
14	Fe	2 6	
15	Ni	2 8	<ul style="list-style-type: none"> ○ f は 2 種類 (f_t, f_e) ○ σ_0 は $(0, 1, 10, \dots, 10^4)$
16	Be	4	
17	C	6	<ul style="list-style-type: none"> ○ f 無
18	^{10}B	1 0 5	
19	^{11}B	5	<ul style="list-style-type: none"> ○ σ_f 有 ○ f 無
20	^{241}Pu	9 4 1	

以下は LTFR-3 の入力データの説明である。

#1001 (I6, 11A6) 1 枚

- テープの番号 (任意)
- タイトル (col. 7~72)

#1002 (F5.3) 2 5 枚

- 分裂スペクトル ($\chi^i, i = 1, 2, 5$)

但し $\sum_{i=1}^{25} \chi^i = 1$

以下 #1003 ~ 1008 は核種毎にこの順をくり返して、前記の 20 核種を入力する。共鳴自己遮蔽因子 f の表の性質の違いを考慮して、前記の順序で入力する。但し、この順序は LTFR-3 の入力だけで、EXPANDA-3 の入力は関係ない。

#1003 (2A5, A3, I3, 2I2, 2X, I2, 2X, 2I2) 1 枚

- 元素の名前 (col. 1~13)
- コード・ナンバー
- 非弾性散乱の存在する一番下の群 $\text{INMAX} \leq 11$
- 減速散乱の群の数 $\text{MDS} \leq 9$

○ f-table の存在 $\text{MSF} = \begin{cases} 0 - \text{無} (\#18 \sim 20) \\ 1 - \text{有} (\sigma_0 \text{ は } 0, 10, \dots, 10^5) (\#1 \sim 11) \\ 2 - \text{有} (\sigma_0 \text{ は } 0, 1, 10, \dots, 10^4) (\#12 \sim 17) \end{cases}$

- f-table の与えられている最初の群の番号 MSFMIN
- f-table の与えられている最後の群の番号 MSFMAX

$\text{MSFMAX} - \text{MSFMIN} \leq 14$

$\text{MSF} = 0$ の時は $\text{MSFMIN} = \text{MSFMAX} = 0$ でよい。

#1004 (80X) 1 枚

。ブランク・カード (dummy) 25枚
 #1005 (8F8.0)

№1~5, №20の核分裂の有る核種では,

。 $(\sigma_t^i, \sigma_f^i, \nu^i, \sigma_c^i, \sigma_{in}^i, \sigma_e^i, \mu_e^i, \sigma_{b(e)}^i, i=1, 25)$

№6~19の核分裂のない核種では,

。 $(\sigma_t^i, \sigma_c^i, \sigma_{in}^i, \sigma_e^i, \mu_e^i, \sigma_{b(e)}^i, i=1, 25)$

($i > INMAX$ では $\sigma_{in}^i = 0$, $i = 25$ では $\sigma_{b(e)}^i = 0$ とする。)

#1006 (10F5.0) INMAX枚

。 $(\sigma_{in}^{i \rightarrow j}, j = i, i + MDS)$

#1007, 1008は№1と2の核種では f_f, f_c, f_t, f_e の順に, №3~15の核種では f_c, f_t, f_e の順に, №16と17の核種では f_t, f_e の順にそれぞれ繰り返す。№18~20の核種では #1007, 1008は要らない。

#1007 (F5.0) 1枚

。 f の表が与えられている σ_0 の最大値の常用対数

#1008 (6F5.0) (MSFMAX-MSFMIN+1)枚

。 $f^i(\sigma_0)$: #1007で与えた最大の σ_0 から, σ_0 の減る順に入力する。№1~8の核種では (5X, 6F5.0)として, 1群について, 300, 900, 2100 °K の順に3枚入力し, 1核種1反応につき, 3 (MSFMAX-MSFMIN+1)枚入力する。1枚のカード内で $\sigma_0 = 0$ に近い方の $f^i(\sigma_0)$ が存在しないときは0を入れる。

1.2 入力データ

カードで入力するデータは次のようなものである。EXPANDA-2と同様に, 連続していくつもの問題を解くさい, ブランク・チェックの手法により, カード枚数とパンチするワード数ができるだけ少なくて済むようにしてある。2ケース以上実行することによつて, 温度係数や Na ボイド係数などの反応度係数を, 各ケースの k_{eff} から求めることも可能である。この場合は通常最初のケースで臨界調整を行い, 調整した結果得られた組成を以後のケースへ伝達して使用できるように工夫されている。

#101 (16A5) 1枚

。 Jobのタイトル (col. 1~80)

#101は最初のケースの前にも必要。#0~#9までは各ケース毎に必要なものを繰り返して入力する。

#0 (I1, I6, 9I1, 2I3, 9A6, A4) 1枚

。 col.1 — 0

。 prob. no. NPROB

NPROB ≥ 0 の場合, 密度と体質比は,

① 最初の prob. なら全部入力する。

② 直前の prob. までに入力してきた履歴を考慮して, 変更すべきものがあれば入力する。

その際先行する prob. の中に臨界調整を行つたものがあつても、入力履歴のみを考慮すればよい。

NPROB < 0 の場合、調整領域の調整核種の実効密度は、

- ① 直前の prob. が臨界調整をした場合は、調整した結果の値を用いる。
- ② 臨界調整を行つた prob. 以後、NPROB < 0 且つ、ICRIT=0 の prob. が続いているならば、調整結果の実効密度が続けて用いられる。

NPROB < 0 でも調整しない核種の密度と体積比については NPROB ≥ 0 の場合と同様の扱いがなされる。

○ 次の 9 columns (col. 8~16)

#1 ~ #9 のカードで、この prob. で入力すべきものの番号を左へつめて書く。

○ #8 のガードの枚数 ICARD_g (col. 17~19の右へつめて書く)

○ #9 のカード枚数 ICARD_c (col. 20~22の右へつめて書く)

○ prob のタイトル (col. 23~80)

#1 ~ #9 は必ずしも全部必要ではないが、その指定は #0 の 9 columns のところで行う。以後の説明で枚数に { } 印のついているものは、9 columns のところで指定されないならば 0 枚という意味である。最初の prob. では #1, 2, 3, 5, 6, 8, は必ず入力しなければならない。以後の prob. では直前の prob. までに入力してきた履歴を考慮して、変更すべきデータのみを与えればよい(但し、密度と体積比については NPROB のところでの説明に注意)。即ち、変更すべきデータの載っているカードのみを与え、しかもそのカード上の不変のデータのフィールドはブランクでよい。但し、col. 3の数字、#7の col. 80, #8, 9の col. 79, 80 の数字は必ずパンチする。#0のカードはブランク・チェックをしていないから各 prob. で必要であり、数値を入力すべきフィールドをブランクにしておくと 0 を入れたことになる。#1 ~ 9 のカードは最初の prob. でブランク・フィールドがあると、その時点までに計算機のコアにあつた数値が保存されることになるから、0でも必ずパンチしなければならない。NPROB < 0 の場合でも、#1の ICRITは自動的に 0 になるわけではないから注意を要する。

#1 (1 4 I 3 , 4 E 6 . 0) { 1 枚 }

○ col. 3-1

○ 領域の数 KMAX ≤ 10

○ 対称条件
$$ISYM = \begin{cases} +1 & \dots \phi(0) = 0 \\ -1 & \dots \phi(0) = 0 \text{ (平板の場合のみ)} \end{cases}$$

○ 群の数 IMAX = 25

○ 臨界調整の仕方

$$ICRIT = \begin{cases} >0 & \dots \text{fuel の濃度} \\ =0 & \dots \text{調整せず} \\ <0 & \dots \text{poison の濃度} \end{cases}$$

ICRIT ≠ 0 のときは |ICRIT| 種類の元素の濃度を調整する。元素の指定は #8 のところで述べる。|ICRIT| = 1 のときは 1 種類の元素の濃度が単純に調整される。

$|ICRIT| \geq 2$ のときは、最初の $(|ICRIT|-1)$ 種類の元素の密度が調整領域を通じて比例的に調整され、第 $|ICRIT|$ 番目の元素の密度は、 $|ICRIT|$ 種類の元素の密度の和が、各調整領域内で保存されるように調整される。従つて $|ICRIT| \geq 2$ の場合、 $|ICRIT|$ 種類の元素は比重、原子量ともに殆んど等しい元素の集りのような場合である。この場合 ICRIT の符号は、最初の $(|ICRIT|-1)$ 種類の元素が k_{eff} に正に寄与するならば正とする。

◦ 出力の選択

$$ISW = \begin{cases} +1 & \dots \Sigma, \phi(, \text{縮約データ}, BR, \phi^*) \\ 0 & \dots \phi(, \text{縮約データ}, BR, \phi^*) \\ -1 & \dots \text{縮約データ} \end{cases}$$

括弧内のものは以下に選択のスイッチ・ワードがある。

- 減速散乱の群の数 $IDS=9$
- 臨界調整をする最初の領域の番号 $KRFROM$
- 臨界調整をする最後の領域の番号 $KRTO$

$1 \leq KRFROM \leq KRTO \leq KMAX \dots ICRIT \neq 0$ のとき

$KRFROM = KRTO = 0 \dots ICRIT = 0$ のとき

第 $KRFROM$ 領域から第 $KRTO$ 領域までの $(KRTO - KRFROM + 1)$ 箇の領域のすべてにおいて、それぞれの領域内の最初の $|ICRIT|$ 種類の元素の濃度が調整される。元素の指定は #8 のところで述べる。

領域番号は原点に近い方から付ける。即ち、球、円筒あるいは対称な平板ならば中心から外へ向けて付ける。

◦ 体系

$$IP = \begin{cases} 0 & \dots \text{平板} \\ 1 & \dots \text{円筒} \\ 2 & \dots \text{球} \end{cases}$$

◦ 群定数セットの種類

$$KFK = \begin{cases} +1 & \dots \text{ABBN} \\ -1 & \dots \text{YOM, HR (使用できない)} \end{cases}$$

◦ 随伴中性子束

$$NADJ = \begin{cases} +1 & \dots \text{計算する} \\ -1 & \dots \text{計算しない} \end{cases}$$

◦ 増殖比算出のための核種毎の捕獲と吸収の反応率

$$IBR = \begin{cases} +1 & \dots \text{計算する} \\ -1 & \dots \text{計算しない} \end{cases}$$

◦ 縮約データ

$$LAPSE \begin{cases} > 0 \dots 25 \text{群を LAPSE 群に縮約した群定数を計算する。} (1 \leq LAPSE \leq 10) \\ = 0 \dots \text{計算しない} \end{cases}$$

$ISW = -1$ のときは $LAPSE = 0$ はゆるされない。

LAPSE>0 且つ IBR=+1 とすれば、核種毎に縮約された Σ_c, Σ_a も計算する。(ISW=-1でも計算する。)

◦ 固有値および臨界調整における収束判定条件 ϵ_1

◦ 各点の S(r) における収束判定条件 ϵ_2

◦ 加速因子 θ

$$0 \leq \theta < 1 \quad (\theta = 0.5 \text{ でよい。})$$

◦ 臨界調整で目的とする k_{eff} の値 λ_2

(最初の prob. では ICRIT=0 なら 0 を入力すればよい。)

#2 (I 3 , 1 0 I 6)

{ 1 枚 }

◦ col. 3 — 2

◦ 各領域の核種の数 (MM(K), K=1, KMAX)

$$1 \leq \text{MM}(K) \leq 13 \quad (\text{各領域で独立に 13 種まで})$$

但し, ICRIT=0 のとき, KRFROM \leq K \leq KRTO なる K に対しては, |ICRIT| \leq

$$\text{MM}(K) \leq 13$$

#3 (I 3 , 1 0 I 6)

{ 1 枚 }

◦ col. 3 — 3

◦ 各領域外端の格子番号 (偶数) (INTER(K), K=1, KMAX)

$$\text{INTER}(KMAX) \leq 100$$

(格子番号の定義は原点から 0, 1, 2, ... と目盛り, 領域間境界で番号を重複させず, 各領域内でメッシュ・インタバル数が偶数であるように決めたものである。)

#4 (I 3 , 1 0 I 6) (LAPSE=0 なら不要)

{ 1 枚 }

◦ col. 3 — 4

◦ 25 群を LAPSE 群に縮約した群定数を計算するときの少数群の各群に対応する多数群の最後の群番号。(IX(n), n=1, LAPSE)

$$1 \leq \text{IX}(1) < \text{IX}(2) < \dots < \text{IX}(\text{LAPSE}) \leq 25$$

(群の番号はいずれもレサジーの小さい方から付けてある。)

#5 (I 3 , 1 0 E 6 . 0)

{ 1 枚 }

◦ col. 3 — 5

◦ 各領域の格子巾 $\Delta r(\text{cm})$ (DR(K), K=1, KMAX)

#6 (I 3 , 1 0 E 6 . 0)

{ 1 枚 }

◦ col. 3 — 6

◦ 各領域の絶対温度 (T(K), K=1, KMAX)

$$T \geq 300.$$

#7 (I 3 , 5 E 1 2.5 , 1 5 X , 2 I 1)

{ 2 枚以内 }

◦ col. 3 — 7

◦ 各領域の垂直方向バックリング B_{\perp}^2

$$(\text{BSQ}(K), K=L+1, \min \{ L+5, KMAX \})$$

◦ col. 7 9 — 1 (但し, #7 が 2 枚必要なときは, 1 枚目は 0)

- col.80—NC = $\begin{cases} 1 \dots L=0 \text{ のとき} \\ 2 \dots L=5 \text{ のとき (KMAX} \geq 6) \end{cases}$

最初の prob. が入力される前に BSQ(K) ≡ 0. とクリアされるので、0.でない値のみ入力すればよい。従つて、KMAX ≥ 6 でも 2 枚必要とは限らない。例えば、最初の prob. で IP=2 ならば、#7 は要らない。しかし、IP=2 の prob. の直後の IP=2 の prob. ではクリアを敢えてする必要が起り得る。

#8 (I3, 5 (I3, E12.5), 2 I1)

ICARD₈ 枚

(各領域で3枚以内)

- col.3—8
- 核種のコード・ナンバーと密度 (10^{24} cm^{-3})
(MCODE(M, K), AN(M, K), M=L+1, min { L+5, MM(K) })
- col.79—K (K=10 のときは 0 と書けばよい。)

- col.80—NC = $\begin{cases} 1 \dots L=0 \text{ のとき} \\ 2 \dots L=5 \text{ のとき} \\ 3 \dots L=10 \text{ のとき} \end{cases}$

Mの番号付けはテープに入っている核種の順序(1.1節)には従う必要はない。但し、コード・ナンバーはテープ内のものと一致させなければならない。

臨界調整を行う領域では、最初の |ICRIT| 箇の核種の実効密度が調整される。調整領域が二つ以上ある場合は、各調整領域を通じて最初の |ICRIT| 箇の核種の種類と順序が一致しなければならない。但し、密度は一致しなくてもよい。

NPROB ≥ 0, ICRIT ≠ 0 の prob. のあとに、NPROB < 0, ICRIT = 0 の prob. が一つ以上続くと、先の prob. で調整された核種の実効密度は、調整された領域で保存されて、後続の prob. へ伝えられる。調整を受けない核種(たとえば Na ボイド係数を計算するさいの Na) の密度や体積比は #8, 9 の入力で変えることができる。

#9 (I3, 5 (3X, E12.5), 2 I1)

ICARD₉ 枚

(各領域で3枚以内)

- col.3—9
- 各元素の体積比 (VR(M, K), M=L+1, min { L+5, MM(K) })
- col.79 } #8 に同じ
- col.80 }

Mの番号付けは #8 と一致させなければならない。#8 の AN に体積比を既に乗じた実効密度を入力したときは、VR = 1. である。最初の prob. が入力される前に VR ≡ 1. とセットされているので、最初の prob. では 1. でない値のみ入力すればよい。従つて最初の prob. の AN がすべて実効密度で与えてあるならば、#9 は不要である。後続の prob. では常に直前の prob. までに入力して来た履歴を計算機が記憶していることを考慮して、変更すべきデータのみを与えてゆく。このことは #1 ~ 9 のすべてのカードに共通のことである。#8 のところで説明したように NPROB < 0 のとき、|ICRIT| 核種の実効密度が先行した prob. から保存されてくるが、この値は臨界計算に用いられるだけで、#8,

9 の入力履歴とは独立に、別のところに保存されているのである。

2 prob.以上を 1 job で扱うときは、このあと再び # 1 ~ # 9 が繰返される。

1 0 2 (I 1 , 7 9 X) last card

1 枚

最後の prob. のうしろにだけ 1 枚つける。

◦ col. 1 — 1

◦ col. 2 ~ 8 0 — ブランク

1 0 1 と 1 0 2 は、1 job において # 0 ~ # 9 を、この順序で 1 prob. 以上重ねたカード・デッキ全体の、最初と最後をはさむカードである。

1.3 実効断面積の計算

前節までに、テープとカードによつて入力されるデータがすべて与えられた。各領域において元素の実効密度 N (# 8 の AN と # 9 の VR の積) と温度 T (# 6) が与えられ、ライブラリー・テープから $ABBN$ 群定数系が読み込まれると、 $EXPANDA-2$ と同様に共鳴自己遮蔽因子の内挿あるいは外挿が行われ、⁽²⁾ 各元素 m 、各群 i において、

$$\bar{f}_f^{mi}, \bar{f}_c^{mi}, \bar{f}_t^{mi}, \bar{f}_e^{mi}, \bar{\sigma}_t^{mi}$$

が決定されて、これと無限希釈における微視断面積 σ とから、25 群実効微視断面積 $\bar{\sigma}$ が次のように求められる。

$$\bar{\sigma}_D^{mi} = \{ \bar{f}_t^{mi} \sigma_t^{mi} - (\bar{\sigma}_t^{mi} - \bar{f}_e^{mi} \sigma_e^{mi}) \} (1 - \mu_e^{mi}) + (\bar{\sigma}_t^{mi} - \bar{f}_e^{mi} \sigma_e^{mi})$$

$$\bar{\sigma}_c^{mi} = \bar{f}_c^{mi} \sigma_c^{mi}$$

$$\bar{\sigma}_a^{mi} = \bar{f}_c^{mi} \sigma_c^{mi} + \bar{f}_f^{mi} \sigma_f^{mi}$$

$$\bar{\sigma}_T^{mi} = \bar{f}_c \sigma_c^{mi} + \bar{f}_f^{mi} \sigma_f^{mi} + \bar{f}_e^{mi} \sigma_{b(e)}^{mi} + \sigma_{in}^{mi} - \sigma_{in}^{m, i \rightarrow i}$$

$$(\nu \bar{\sigma}_f)^{mi} = \nu^{mi} \bar{f}_f^{mi} \sigma_f^{mi}$$

$$\bar{\sigma}_S^{mi} = \bar{f}_e^{mi} \sigma_e^{mi} + \sigma_{in}^{mi}$$

$$\bar{\sigma}_S^{m, i \rightarrow i+j} = \bar{f}_e^{mi} \{ \delta_{j0} \sigma_e^{mi} + (\delta_{j1} - \delta_{j0}) \sigma_{b(e)}^{mi} \} + \sigma_{in}^{m, i \rightarrow i+j}$$

但し、 $j = 0, 1, \dots, 9$

δ_{jk} はクロネツカーのデルタ

($n, 2n$) 反応が含まれている場合は、 $\bar{\sigma}_S^{mi} < \sum_{j=0}^9 \bar{\sigma}_S^{m, i \rightarrow i+j}$

である。

巨視断面積は次のように計算される。

$$D^i = (3 \sum_m N^m \bar{\sigma}_D^{mi})^{-1}$$

$$\sum_c^{mi} = N^m \bar{\sigma}_c^{mi}$$

$$\sum_a^{mi} = N^m \bar{\sigma}_a^{mi}$$

$$\begin{aligned} \Sigma_a^i &= \sum_m \Sigma_a^{mi} \\ \Sigma_T^i &= \sum_m N^m \bar{\sigma}_T^{mi} + B_{\perp}^2 D^i \\ (\nu \Sigma_f)^i &= \sum_m N^m (\nu \bar{\sigma}_f)^{mi} \\ \Sigma_s^i &= \sum_m N^m \bar{\sigma}_s^{mi} \\ \Sigma_s^{i \rightarrow i+j} &= \sum_m N^m \bar{\sigma}_s^{m, i \rightarrow i+j} \quad , j=0, 1, 2, \dots, 9 \end{aligned}$$

以上の手続きが各領域で行われる。Dⁱ, Σ_Tⁱ, (νΣ_f)ⁱ と Σ_s^{i→i+j} (j=1, 2, ..., 9) は拡散方程式の係数として用いられる。Σ_c^{mi}, Σ_a^{mi} は増殖比を求めるための核種毎の反応率の計算に用いられる。Σ_sⁱ と Σ_s^{i→i} は縮約データを求めるさい、縮約後も(n, 2n)反応の利得を保存するために必要である。Σ_aⁱ はプリントのために用いられるだけである。

σ_T^{mi} の式で、σ_{in}^{m, i→i} にもしも(n, 2n)反応が含まれているならば、その正味の利得が負の吸収として寄与することになる。

1.4 臨界計算と臨界調整

1.4.1 一次元25群拡散方程式

各領域内ではD, Σなどの係数と格子巾Δrが一定であるとして、拡散方程式

$$-D^i(r) \left(\frac{d^2}{dr^2} + \frac{p}{r} \frac{d}{dr} \right) \phi^i(r) + \Sigma_T^i(r) \phi^i(r) = \chi^i S(r) + \sum_{j=1}^{i-1} \Sigma_s^{j \rightarrow i}(r) \phi^j(r)$$

によつて臨界計算が行われる。

ここで、r = 原点からの距離

$$p = IP \quad (1.2 \text{ 節の入力カード \#1 参照})$$

$$\phi^i(r) = \int_{\Delta u_i} \phi(r, u) du$$

$$S(r) = \frac{1}{\lambda} \sum_i (\nu \Sigma_f)^i(r) \phi^i(r)$$

$$\lambda = \int_V dv \sum_i (\nu \Sigma_f)^i(r) \phi^i(r)$$

である。

拡散方程式は、領域内で組成とΔrが一定であることを利用して微分係数を中心階差式で近似し、領域間境界で中性子束と中性子流の連続条件を用い、原点ではφ'(0)=0あるいはφ(0)=0、外側外挿境界(r=R)ではφ(R)=0として解かれる。初めφⁱ(r) ≡ 1としてS(r)を与えてφⁱ(r)を第1群から逐次的に第25群まで求め、以後λおよび各格子点でのS(r)が反復の前後で、それぞれε₁, ε₂の範囲内で、等しくなるまで反復してφⁱ(r)が決定される。反復回数の限界は150である。詳しい解法は参考文献(3)に述べた。このコードでは対称な平板の場合は、すべての積分値は2倍され、鏡像の部分も含めた値を出すようになっている。即ち

$$dV = \begin{cases} dr & \dots\dots\dots \text{対称でない平板} \\ 2dr & \dots\dots\dots \text{対称な平板の半分} \\ 2\pi r dr & \dots\dots\dots \text{円筒} \\ 4\pi r^2 dr & \dots\dots\dots \text{球} \end{cases}$$

によつて、シンプソン則で数値積分が行われる。そのために各領域内ではΔr一定として、偶

数箇の（即ち2以上の）区間に分けたのである。

1.4.2 臨界調整

1.4.1 節で求めた λ の収束値は与えられた体系と組成での実効増倍係数 k_{eff} である。 k_{eff} が入力で与えた λ_2 に等しくなるように、一種以上の元素の密度を変えて、実効断面積の計算と臨界計算を数回試行し、 λ の収束値を λ_2 に、 ϵ_1 の範囲内で、等しくさせる操作、即ち濃度サーチ⁽⁴⁾ を行うことができる。 $\lambda_2 = 1$ ならば系は臨界になる。濃度を調整される元素は入力によつて指定されるが、その元素の種類が二つ以上（例えば n 種）あるならば、初めの $(n-1)$ 種の元素の密度は全調整領域を通じて比例的に変えられ、 n 種の元素の密度の和は、各調整領域内において一定に保たれるように、第 n 番目の元素の密度が変えられる。 l を調整の試行回数として、次のように密度 N_l を変えてゆく。 $l = 1$ は入力した組成による第1回目の試行で、そのときの k_{eff} を λ_1 とし、 $V_1 = 1$ とする。

(1) 第2回目の試行

$$V_2 = \begin{cases} 1 + 10(\lambda_2 - \lambda^1) / \lambda^1 & (\lambda^1 < \lambda_2) \\ 1 / (1 + 10W) & (\lambda_2 < \lambda^1 \leq 1.25 \lambda_2) \\ 1 / (1 - 2.62W + 50W^2) & (\lambda^1 > 1.25 \lambda_2) \end{cases}$$

ただし、 $W = (\lambda^1 - \lambda_2) / \lambda_2$

を求め、

$$N_2 = \begin{cases} N_1 V_2 & (\text{fuel のとき}) \\ N_1 / V_2 & (\text{poison のとき}) \end{cases}$$

(2) 第3回目の試行

$$V_3 = V_2^X, \quad X = (\lambda^1 - \lambda_2) / (\lambda^1 - \lambda^2)$$

を求め、

$$N_3 = N_1 V_3 \text{ or } N_1 / V_3$$

(3) 第4回目以降の試行

$$\begin{cases} V_{l-3} - a)(\lambda^{l-3} - b) = c \\ V_{l-2} - a)(\lambda^{l-2} - b) = c \\ V_{l-1} - a)(\lambda^{l-1} - b) = c \end{cases}$$

によつて a, b, c を決め、

$$(V_l - a)(\lambda_2 - b) = c$$

から V_l を求めて、

$$N_l = N_1 V_l \text{ or } N_1 / V_l$$

調整試行中の臨界計算においては、固有値のみで収束判定を行い、

$$|\lambda^l - \lambda_2| < 10 \epsilon_1$$

になると、各点の $S(r)$ の収束判定も課すようにし、しかる後に、

$$|\lambda^l - \lambda_2| < \epsilon_1$$

を満たしたときの N_l を解とする。これによつて途中の臨界計算における反復回数を減らして、計算時間の節約をはかった。少くとも一つの元素の密度が負になつたとき、および20回までの試行で調整が完了しない場合は計算を中止し、次の prob. の計算を開始する。

この方法は、EXPANDA-3 が作られた後で、二次元燃焼コード FURNACE⁽⁵⁾ に応用された。

1.4.3 随伴方程式

このコードは随伴中性子束の計算もできるようになっている。臨界調整と随伴中性子束の両者が入力で指定された場合は調整後の組成で随伴中性子束を求める。随伴中性子束は随伴方程式

$$-D^i(r) \left(\frac{d^2}{dr^2} + \frac{p}{r} \frac{d}{dr} \right) \phi^{*i}(r) + \sum_T^i(r) \phi^{*i}(r) = (\nu \Sigma_f)^i(r) S^*(r) + \sum_{j=i+1}^{25} \Sigma_S^{i \rightarrow j}(r) \phi^{*j}(r)$$

によつて求められる。

ここで、

$$\phi^{*i}(r) = \frac{1}{\Delta u_i} \int_{\Delta u_i} \phi^{*i}(r, u) du$$

$$S^*(r) = \frac{1}{\lambda^*} \sum_i \chi^i \phi^{*i}(r)$$

$$\lambda^* = \int_V dV \sum_i \chi^i \phi^{*i}(r)$$

である。

解法は 1.4.1 節と、次の点を除いて、全く同じである。即ち中性子束 $\phi^i(r)$ は、 $S(r)$ を与えて、第 1 群から逐次的に第 2-5 群まで求められるが、随伴中性子束 $\phi^{*i}(r)$ は $S^*(r)$ を与えて、逆に第 2-5 群から逐次的に第 1 群まで求めてゆく。このためコード内では臨界計算をサブ・プログラムにしておき (Subroutine EXPAND)，係数の順序を入れかえて、このサブ・プログラムを再度 Call すると随伴中性子束が群について順序が逆転した形で得られる。プリントは正しい群の順序に直してから行われる。係数の入れかえの方法については省略する。⁽⁶⁾

1.5. 出力データ

- (1) 入力データのリスト
- (2) 調整する $N_{\ell, k}^m$ と λ_j^{ℓ}
- (3) 巨視断面積 $D_k^i, \Sigma_{a, k}^i, \Sigma_{T, k}^i, (\nu \Sigma_f)_k^i, \Sigma_{S, k}^i, \Sigma_{S, k}^{i \rightarrow j} (j=0, 1, \dots, 9)$
- (4) 縮約データ $\Sigma_{c, k}^{mn}, \Sigma_{a, k}^{mn}, \Sigma_{D, k}^n, D_k^n, \Sigma_{a, k}^n, (\nu \Sigma_f)_k^n, \Sigma_{S, k}^n, \Sigma_{S, k}^{n \rightarrow \ell} (\ell=n, n+1, \dots, n+LAPSE-1)$

縮約データは次のようにして求められる。 $n=1, 2, \dots, LAPSE$ を coarse group の番号とし、 $i \in n$ のとき、

$$\Phi_k^i = \int_{V_k} \phi^i(r) dV$$

$$\Phi_k^n = \sum_{i \in n} \Phi_k^i$$

とにおいて、

$$\Sigma_{c, k}^{mn} = \frac{1}{\Phi_k^n} \sum_{i \in n} \Phi_k^i \Sigma_{c, k}^{mi}$$

$$\Sigma_{a, k}^{mn} = \frac{1}{\Phi_k^n} \sum_{i \in n} \Phi_k^i \Sigma_{a, k}^{mi}$$

$$\Sigma_{D,k}^n = \frac{1}{\Phi_k^n} \sum_{i \in n} \Phi_k^i (3 D_k^i)^{-1}$$

$$D_k^n = \frac{1}{\Phi_k^n} \sum_{i \in n} \Phi_k^i D_k^i$$

$$\Sigma_{a,k}^n = \frac{1}{\Phi_k^n} \sum_{i \in n} \Phi_k^i \Sigma_{a,k}^i$$

$$(\nu \Sigma_f)_k^n = \frac{1}{\Phi_k^n} \sum_{i \in n} \Phi_k^i (\nu \Sigma_f)_k^i$$

$$\Sigma_{S,k}^n = \frac{1}{\Phi_k^n} \sum_{i \in n} \Phi_k^i \Sigma_{S,k}^i$$

$$\Sigma_{S,k}^{n \rightarrow \ell} = \frac{1}{\Phi_k^n} \sum_{i \in n} \Phi_k^i \left(\sum_{j \in \ell} \Sigma_{S,k}^{j \rightarrow i} \right)$$

(5) 各格子点 n での $S(r_n)$ と $\int_{V_k} S(r) dV$

(6) 領域毎の体積 $\int_{V_k} dV$

ただし、円筒の場合は面積、平板の場合は厚さである（対称な平板なら厚さの2倍）。

(7) $\phi^i(r_n)$, $\sum \Phi_k^i$, Φ_k^i

(8) Region Checks

$$RCH2_k^i = \int_{V_k} dV \left\{ \chi^i S(r) + \sum_{j=1}^{i-1} \Sigma_{S,k}^{j \rightarrow i} \phi^j(r) - \Sigma_{T,k}^i \phi^i(r) \right\}$$

$$RCH1_k^i = -D_k^i \int_{V_k} dV \left\{ \left(\frac{d}{dr^2} + \frac{\rho}{r} \frac{d}{dr} \right) \phi^i(r) \right\} = -r^p D_k^i \left(\frac{d\phi^i(r)}{dr} \right) \Big|_{R_{k-1}}^{R_k}$$

ただし、 R_k は領域 K の外径である。このデータは領域毎に階差近似の精度をたしかめるために対比してプリントされるもので、 k_{eff} への寄与の大きい群或いは領域で良い一致を示さないときは、その領域の格子巾 Δr を小さくする（区間数をふやす）必要がある。逆に Δr が不必要に小さすぎる場合も検出できるわけである。此の量は領域毎の正味の源と洩れが定常状態で等しいという物理的な意味をもつ。ただし RCH2 と RCH1 の積分は、円筒あるいは球の場合、 2π あるいは 4π がそれぞれ掛けてない。各格子点のデータから積分して得られる RCH2 の値の方が誤差が少い。

(9) 増殖比算出のための反応率

$$\Sigma_{c,k}^{mi} \Phi_k^i, \Sigma_{a,k}^{mi} \Phi_k^i, \sum_i \Sigma_{c,k}^{mi} \Phi_k^i, \sum_i \Sigma_{a,k}^{mi} \Phi_k^i$$

(10) 随伴中性子束

$$\lambda_j^*, S_j^*(r_n), \int_{V_k} S_j^*(r) dV, \phi_j^{*i}(r_n), \sum_k \int_{V_k} \phi_j^{*i}(r) dV, \int_{V_k} \phi_j^{*i}(r) dV, \text{Region checks}$$

($\phi^i(r)$ は $\int_{\Delta u_i} \phi(r, u) du$ で定義されるのに対して、 $\phi_j^{*i}(r)$ は $\frac{1}{\Delta u_i} \int_{\Delta u_i} \phi_j^*(r, u) du$ と

いうスペクトルの形で定義されている。)

2. EXPANDA - 6 コード

原研で整備された高速炉核計算用群定数系 JAERI-fast セット⁽⁷⁾を用いた一次元拡散コードとしては、今までに EXPANDA-4⁽⁸⁾などが用いられてきたが、臨界調整の方法は EXPANDA-2 と同様 Δr サーチのみが可能であつた。これを改良して EXPANDA-3 と同様の濃度サーチ用コード、EXPANDA-6 が CDC-6600 で完成した。此のコードには新しい機能として $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ 中の PuO_2 富化度 (PuO_2 の重量割合) のサーチも付け加えられた。本章では EXPANDA-3 との共通点は省略して、主として EXPANDA-6 の特長に重点をおいて概説する。

2.1 ライブラリー作成用プログラム LTFR-4

EXPANDA-6 用の群定数ライブラリー・テープとしては、EXPANDA-4 用のテープがそのまま使用出来る。JAERI-fast セットを CONDENSE コード⁽⁸⁾で 30 群以内に縮約したデックから、EXPANDA-4, 6 用のライブラリー・テープを作成するコード LTFR-4⁽⁸⁾の説明をする。現在 ABBN セットと同様に 25 群構造に縮約された JAERI-fast セットのテープが用意されている。 X^1 としては ^{239}Pu の分裂スペクトルが入れている。含まれている元素は下記の 20 核種である。

元素の順序	元素名	コード・ナンバー	データの説明
1	^{239}Pu	949	^{238}U との共鳴相互干渉あり
2	^{240}Pu	940	^{238}U との共鳴相互干渉あり
3	^{241}Pu	941	
4	^{234}U	924	第 15 ~ 25 群は ABBN セット
5	^{235}U	925	^{238}U との共鳴相互干渉あり
6	^{238}U	928	第 25 群は ABBN セット
7	F.P. (^{239}Pu)	999	ABBN セット
8	F.P. (^{235}U)	995	ABBN セット
9	^{10}B	105	
10	^{11}B	115	
11	C	6	
12	O	8	
13	Na	11	
14	Al	13	
15	Cr	24	
16	Mn	25	
17	Fe	26	
18	Ni	28	
19	Cu	29	
20	Mo	42	

JAERI-fast セットでは ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{235}U , ^{238}U では f_e の他に弾性除去反応の実効断面積計算用に f_r が用意されており (71年2月には ^{241}Pu についても f_r が追加されたが、
 此处では70年4月までのものについて述べる), ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{235}U では上の表に記したように ^{238}U との共鳴相互干渉を考慮して, $R^m = N^{238}/N^m$ の値の2点をとつて f -table が与えられているので, ABBNセットでは f は最大4種類であつたのに対して, $(f_t, f_e, f_r, f_i, f_r) \times 2$ 即ち最大10種類に増えている。 R^m の2点については, R^m の小さい方に対応するものから f_{t1}, f_{t2} のように記すことにする。更に此のセットの特長としては, $f > 1$ の値が存在し, さらに σ_0 の増加に対して ABBNセットでは f は単調増大であつたのに対して, 減少するものも有ることは, 実効断面積計算手続きのさい細い注意を要する。上記の f_r や相互干渉のデータも共鳴領域以下だけに存在するものであるから, 1核種についての扱い方もエネルギー領域によつて異つてくるわけである。

テープの操作については計算時間の節約のために, 一つの工夫がなされた。EXPANDA-3ではテープを読みこむさいに領域毎にテープを読み, たとえば IBM-7044 ではテープ巻戻し (Rewind) の待ち時間をなくすために磁気ディスクに複写して用いていた。それによつて待ち時間はなくなつたが, 領域毎にテープを読み込むのは時間がむだである。EXPANDA-6では群毎のレコードの形式を利用して, 一つの群のレコードを読み込んだら全領域の実効微視断面積を計算して終了。従つてテープを Rewind するときはすでに断面積計算は全領域について25群まで終つているわけであり, 調整試行1回につきテープを1回読めばよいようにしてある。

以下は LTFR-4 の入力データの説明である。

1001 (3 I 4, 17 A 4) 1 枚

- テープの番号 (任意)
- 群の数 $\text{IMAX} \leq 30$
- 核種の数 $\text{MMAX} \leq 20$
- タイトル (col. 13~80)

1002 (2 F 5.3) IMAX 枚

- 分裂スペクトル χ^i ($\sum_i \chi^i = 1$)
- レサジー巾 Δu^i
 $(\chi^i, \Delta u^i, i=1, \text{IMAX})$

1003~# 1009は核種毎にこの順を MMAX 回繰返して入力する。LTFR-4 の入力では LTFR-3 と違つて, 核種の順序や種類は自由に換えられる。

1003 (4 A 4, I 4, 12 I 3, F 14.7) 1 枚

- 元素名 (col. 1~16)
- コード・ナンバー
- 弾性減速散乱の群の数 $\text{MDSE} \leq \text{IMAX}-1$
 $(\text{同一群内への散乱を第0番目として数える。次も同じ。})$
- 非弾性減速散乱の群の数 $\text{MDSIN} \leq \text{IMAX}-1$
 非弾性散乱のデータが存在しない場合は $\text{MDSIN}=0$

- 核分裂の存在 MF = $\begin{cases} 0 & \text{ない} \\ 1 & \text{ある} \end{cases}$
 - f-tableの存在 MSF = $\begin{cases} 0 & \text{ない} \\ 1 & \text{ある} (\sigma_0 = 0, 10, \dots, 10^5) \\ 2 & \text{ある} (\sigma_0 = 0, 1, 10, \dots, 10^4) \end{cases}$
 - f-tableの温度依存 MTEMP = $\begin{cases} 0 & \text{ない} \\ 1 & \text{ある} \end{cases}$
 - f-tableの与えられている最初の群の番号 MSFMIN
 - f-tableの与えられている最後の群の番号 MSFMAX
 - f_f の存在 MSFF
 - f_c の存在 MSFC
 - f_e の存在 MSFE
 - f_t の存在 MSFT
 - f_r の存在 MSFR
- $$= \begin{cases} 0 & \text{ない} \\ 1 & \text{ある} ({}^{238}\text{U} \text{ との共鳴相互干渉なし}) \\ 2 & \text{ある} ({}^{238}\text{U} \text{ との共鳴相互干渉あり, 即ち } f_{f1}, f_{f2} \text{ のよ} \\ & \text{うに 2種類与える。)} \end{cases}$$
- 原子量 AW

1004 (4E15.5) IMAX枚

$(\sigma_t^i, \sigma_f^i, \nu^i, \sigma_c^i, i=1, \text{IMAX})$

MF = 0 の核種では $\sigma_f = \nu = 0$ とする。

1005 (4E15.5)

$(\sigma_{in}^i, \sigma_e^i, \mu_e^i, \sigma_r^i, i=1, \text{IMAX})$

$\sigma_r^{\text{IMAX}} = 0$ とする。

1006 (5E13.5) (MDSE ≤ 1 なら不要)

$\text{IMAX} \times \left\lfloor \frac{\text{MDSE} + 5}{5} \right\rfloor$ 枚

$(\sigma_e^{i \rightarrow i+j}, j=0, \text{MDSE})$

MDSE ≥ 5 の場合は群毎に 2 枚以上になる。これを群についてカードをあらためて繰り返す。次も同じ。

1007 (5E13.5) (MDSIN = 0 なら不要)

$\text{IMAX} \times \left\lfloor \frac{\text{MDSIN} + 5}{5} \right\rfloor$ 枚

$(\sigma_{in}^{i \rightarrow i+j}, j=0, \text{MDSIN})$

1008 と # 1009 のくり返については # 1009 のあとの図を参照されたい。

1008 (E8.1)

1 枚

1009 で f の与えられている σ_0 のうち最大の値 (例えば 1000.)

1009 (6F8.4)

$(\text{MSFMAX} - \text{MSFMIN} + 1)$ 枚

1008 で与えられた σ_0 から $\sigma_0 = 0$ まで σ_0 の減る順に最大 6 件の $f_x^i(\sigma_0, T, R)$

入力カード順序

1001

i = 1, IMAX

1002

```

    m=1, MMAX
    # 1003
      i=1, IMAX
    # 1004
      i=1, IMAX
    # 1005
      i=1, IMAX } MDSE≤1 なら不要
    # 1006
      i=1, IMAX } MDSIN=0 なら不要
    # 1007
      Rm=R1m, R2m } 分類の有る核種についてのみくり返す
      T=300,900,2100°K }
      X=f, c, e, t, r } 存在するもののみくり返す
    # 1008
      i=MSFMIN, MSFMAX
    # 1009

```

2.2 入力データ

ブランク・チェックやNPROB<0 のオプションに関してはEXPANDA-3 と同様であるので説明を省略する。{} の記号についても 1.2 節と同じ意味に用いている。

#101 (20A4) 1枚

◦ Jobのタイトル (col.1~80)

#101は最初のケースの前にもみ必要。#0~#12 までは各ケース毎に必要なものを繰返して入力する。

#0 (11, 16, 911, 213, 14A4) 1枚

◦ col.1—0

◦ prob.no. NPROB (符号についてはEXPANDA-3参照)

◦ 次の9 columns (col.8~16)

#1~9のカードで、このprob.で入力するものの番号を左へつめて書く。

◦ #8のカード枚数 ICARD₈

◦ #9のカード枚数 ICARD₉

◦ prob.のタイトル (col.23~78)

#1 (1313, 5E6.0) {1枚}

◦ col.3—1

◦ 領域の数 KMAX≤10

◦ 対称条件 ISYM = { +1..... φ'(0)=0
 -1..... φ(0)=0 (非対称平板)

◦ 群の数 IMAX≤30

◦ 臨界調整の仕方

$$\text{ICRIT} \begin{cases} > 0 \dots \text{fuel の濃度} \\ = 0 \dots \text{調整せず} \\ < 0 \dots \text{poison の濃度} \end{cases}$$

ICRITの値については EXPANDA - 3での説明をみよ。富化度サーチのときは ICRIT=+6 としておき、# 10で富化度サーチが通常の濃度サーチかの情報を与える。

出力の選択

$$\text{ISW} = \begin{cases} + 2 \dots \Sigma, \phi, \psi, (B_m^2, \text{BR}, \text{縮約データ}, \phi^*, \psi^*) \\ + 1 \dots \Sigma, \phi, (B_m^2, \text{BR}, \text{縮約データ}, \phi^*) \\ 0 \dots \phi, (B_m^2, \text{BR}, \text{縮約データ}, \phi^*) \\ - 1 \dots (B_m^2, \text{縮約データ}, \phi^*) \end{cases}$$

括弧内のもは以下に選択のスイッチ・ワードがある。 ϕ, ψ^* は各点毎の規格化されたスペクトラムであり、2.5節で説明される。

減速散乱の群の数 $\text{IDS} \leq \text{IMAX} - 1$

25群 JADRI-fast セットを用いるときは $\text{IDS} = 11$ とすればよい。

dummy word (=0)

体系

$$\text{IP} = \begin{cases} 0 \dots \text{平板} \\ 1 \dots \text{円筒} \\ 2 \dots \text{球} \end{cases}$$

随伴中性子束

$$\text{NADJ} = \begin{cases} + 1 \dots \text{計算する} \\ - 1 \dots \text{計算しない} \end{cases}$$

増殖比算出のための核種毎の捕獲と吸収、および領域毎の吸収と分裂の反応率、および核種毎の質量

$$\text{IBR} = \begin{cases} + 1 \dots \text{計算する} \\ - 1 \dots \text{計算しない} \end{cases}$$

物質バックリング B_m^2

$$\text{IBSQM} = \begin{cases} + 1 \dots \text{計算する} \\ 0 \dots \text{計算しない} \end{cases}$$

縮約データ

$$\text{LAPSE} \begin{cases} > 0 \dots \text{IMAX 群を LAPSE 群に縮約した群定数を計算する。} \\ \quad \quad \quad (1 \leq \text{LAPSE} \leq 12) \\ = 0 \dots \text{計算しない} \end{cases}$$

EXPANDA - 3と違って $\text{ISW} = -1$ 且つ $\text{LAPSE} = 0$ もゆるされる。 $\text{LAPSE} > 0$, $\text{IBR} = +1$ とすれば、核種毎に縮約された $\Sigma_c, \Sigma_a, \sigma_c, \sigma_a$ も計算する。これらは $\text{ISW} = -1$ でも計算する。

固有値の収束判定条件 ϵ_1 (臨界調整や B_m^2 の計算にも用いられる)

各点の $S(r)$ の収束判定条件 ϵ_2

dummy word (=0.)

dummy word (=0.)

臨界調整で目的とする k_{eff} の値 λ_2

(最初の prob.では ICRIT=0 なら 0.を入力すればよい。)

- # 2 (I 3, 1 0 I 6) { 1 枚 }
- col.3 — 2
 - 各領域の核種の数 (MM(K), K=1, KMAX)
 $1 \leq MM(K) \leq 20$ (各領域で独立に 20 種まで)
 但し, ICRIT ≠ 0 のとき, 調整領域 (# 1 0 で指定) では, $|ICRIT| \leq MM(K) \leq 20$
- # 3 (I 3, 1 0 I 6) { 1 枚 }
- col.3 — 3
 - 各領域外端の格子番号 (INTER(K), K=1, KMAX)
 偶数かつ $INTER(KMAX) \leq 100$
- # 4 (I 3, 1 2 I 6) (LAPSE=0 なら不要) { 1 枚 }
- col.3 — 4
 - IMAX 群を LAPSE 群に縮約した群定数を計算するときの少数群の各群に対応する IMAX 群の最後の群番号 (IX(n), n=1, LAPSE)
 $IX(LAPSE) \leq IMAX$
- # 5 (I 3, 1 0 E 6.0) { 1 枚 }
- col.3 — 5
 - 各領域の格子巾 $\Delta r(cm)$ (DR(K), K=1, KMAX)
- # 6 (I 3, 1 0 E 6.0) { 1 枚 }
- col.3 — 6
 - 各領域の絶対温度 (T(K), K=1, KMAX)
- # # 7 (I 3, 5 E 1 2.5, 1 5 X, 2 I 1) { 2 枚以内 }
- col.3 — 7
 - 各領域の垂直方向バックリング B_{\perp}^2
 (BSQ(K), K=L+1, min { L+5, KMAX })
 - col.79 — 1 or 0
 - col.80 — NC
 col.79, 80 の値および最初のクリアーについては 1.2 節参照
- # 8 (I 3, 5 (I 3, E 1 2.5), 2 I 1) ICARD₀ 枚
 (各領域で 3 枚以内)
- col.3 — 8
 - 核種のコード・ナンバーと密度 ($10^{24} cm^{-5}$)
 (MCODE(M, K), AN(M, K), M=L+1, min { L+5, MM(K) })
 - col.79 — K
 - col.80 — NC
 col.79, 80 の値, 調整核種の並べ方, NPROB < 0 のときの処置などについては, 1.2 節参照。
 富化度サーチのときは調整核種は ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{235}U , ^{238}U , O の順とし, 密度は # 1 1 の初期富化度 x_0 から計算したものを全調整領域へ入力する。

ICARD 枚
(各領域で3枚以内)

9 (I3, 5(3X, E12.5), I1)

- col.3——9
- 各元素の体積比 (VR(M, K), M=L+1, min {L+5, MM(K)})
- col.79——K
- col.80——NC

col.79,80 の値, 核種の並べ方および最初のクリアーについては1.2節参照。

10 (14 I5) (ICRIT=0 なら不要)

1枚

- 臨界調整の種類

$$IFLAG = \begin{cases} 1 & \text{— 富化度サーチ} \\ 0 & \text{— 通常の濃度サーチ} \end{cases}$$

- 臨界調整を行う領域の総数

$$JREG \leq KMAX$$

- 臨界調整を行う領域の番号 (LBS(J), J=1, JREG)

JREG個の領域はEXPANDA-3のときのように連続的な領域でなくてもよい。

しかし, LBSは小さい方から記入する。LBS(JREG) ≤ KMAX

このカードもブランク・チェックは行いので, 後続のprob.では不変のデータのフィールドをブランクにすることができる。しかしICRIT≠0のときは, 全部ブランクでもカードは省略できない。

11と# 12は富化度サーチのデータでICRIT=0 またはIFLAG=0 なら要らない。ブランク・チェックに関しては# 10と同様である。

11 (7E10.0)

1枚

- 燃料の実効密度と理論密度の比 α $0 < \alpha < 1$

燃料棒の素材であるPuO₂-UO₂ は富化度xのとき, 理論密度ρが,

$$\rho = 11.465x + 10.960(1-x)$$

と与えられ, 棒内の実効密度ρ_{eff}は

$$\rho_{eff} = \alpha \rho$$

となる。

- 領域内での燃料棒の体積比 VR_F

(集合体1セルの面積)に対する, (ペレットの面積) × (本数)の比

- 燃料体のO/M比 Z₀

Pu-U の1原子に対するOの原子数(一般に1.98)

- 初期の富化度 x₀

8で入力した²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, ²⁴¹Pu, ²³⁵U, ²³⁸U, Oの密度と対応する値を入力する。

- a₉ } ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, ²⁴¹Pu の原子個数比
- a₀ } (a₉ + a₀ + a₁ = 1)
- a₁ }

12 (2E10.0)

1枚

- a_5 } ^{235}U , ^{238}U の原子個数比
- a_8 } ($a_5 + a_8 = 1$)

このあとに次のケースの# 0 ~ # 12が続く。

102 (I1, 79X) last card

1枚

- col. 1 — 1
- col. 2 ~ 80 — ブランク

最後のケースの後にだけつける。

2.3 実効断面積の計算

25群構造のJAERI-fast セットの場合、 ^{239}Pu , ^{235}U の第12群以下と、 ^{240}Pu の第11群以下では、 ^{238}U との共鳴相互干渉を考慮して、

$$R^m = N^{238} / N^m$$

の値の2点 R_1^m, R_2^m ($R_1^m < R_2^m$) について f-table が用意されている。 R_1, R_2 の値は核種 m および σ_0 によつて異なり、下記のような値をとつて table が作成された。なお、この場合の σ_0 は ^{238}U の寄与を含まない。

核種 \ σ_0	R_1				R_2			
	10	10^2	10^3	10^4	10	10^2	10^3	10^4
^{239}Pu	1	5	50	/	2	10	100	/
^{235}U	0.2	1	20	/	0.6	5	50	/
^{240}Pu	/	5	20	200	/	15	50	500

共鳴自己遮蔽因子 $f(\sigma_0, T; R)$ の表は先ず R について内挿される。内挿は $R_1^m \leq R^m \leq R_2^m$ のとき、 R^m の点へ直線で行われる。 R^m が $[R_1, R_2]$ の区間の外にあるときは直角双曲線で外挿される。結果として、ABBNセットと同様に $f(\sigma_0, T)$ の表が出来る。

$f(\sigma_0, T)$ は EXPANDA-2 と同様に σ_0, T の順に内外挿される。一般に $\sigma_0 = \frac{1}{N^m} \sum_{i \neq m} \Sigma_i^m$ である。ただし、JAERI-fast セットの場合 $f > 1$ があるので、先ず σ_0 で内挿する際に 1.0 より大きい f があれば、そのうち最大のもので σ_0 のすべての点 (高々6点) の f を除して、すべての f の値を $[0, 1]$ の範囲におさめ、内挿を実行し、結果に先程除した値を乗ずる。 σ_0 の増加に対して f が減少するような場合は f の変化は一般に小さいので、近くの σ_0 の点の f の値がとられる。温度依存がある場合は σ_0 についての内挿を温度の3点の各々で済ませてから σ_0 のときと同様に $f > 1$ を考慮しつつ内挿する。 σ_0 と T の内挿で直角双曲線を用いること、 $\bar{f}_r, \bar{f}_c, \bar{f}_e, \bar{\sigma}_i$ は反復して収束させることは EXPANDA-2 と同様である。収束後にさらに \bar{f}_i, \bar{f}_r が求められる。 \bar{f}_r は ^{239}Pu , ^{235}U の第12群以下と、 ^{240}Pu , ^{238}U の第11群以下にのみ与えられているので他の群や他の核種では減速弾性散乱に \bar{f}_r を用いなければならない。^(*) 各群 i , 各領域 k で、各核種 m の実効微視断面積 $\bar{\sigma}_{x,k}^{mi}$ は上記の $\bar{f}_{x,k}^{mi}$ と無限希釈における微視断面積 σ_x^{mi} とから次のように求められて論理番号2のディスクに記憶される。

$$\bar{\sigma}_D^{mi} = \{ \bar{f}_t^{mi} \sigma_t^{mi} - (\bar{\sigma}_t^{mi} - \bar{f}_e^{mi} \sigma_e^{mi}) \} (1 - \mu_e^{mi}) + (\bar{\sigma}_t^{mi} - \bar{f}_e^{mi} \sigma_e^{mi})$$

$$\bar{\sigma}_{tr}^{mi} = \bar{f}_e^{mi} \sigma_e^{mi} (1 - \mu_e^{mi}) + (\bar{\sigma}_t^{mi} - \bar{f}_e^{mi} \sigma_e^{mi})$$

$$\bar{\sigma}_c^{mi} = \bar{f}_c^{mi} \sigma_c^{mi}$$

$$\bar{\sigma}_f^{mi} = \bar{f}_f^{mi} \sigma_f^{mi}$$

$$\bar{\sigma}_a^{mi} = \bar{\sigma}_c^{mi} + \bar{\sigma}_f^{mi}$$

$$(\nu \bar{\sigma}_f)^{mi} = \nu^{mi} \bar{\sigma}_f^{mi}$$

$$\bar{\sigma}_T^{mi} = \begin{cases} \bar{\sigma}_a^{mi} + \bar{f}_r^{mi} \sigma_r^{mi} + \sigma_{in}^{mi} - \sigma_{in}^{m,i \rightarrow i} & (*) \\ \bar{\sigma}_a^{mi} + \bar{f}_e^{mi} \sigma_r^{mi} + \sigma_{in}^{mi} - \sigma_{in}^{m,i \rightarrow i} & (*) \end{cases}$$

$$\bar{\sigma}_s^{mi} = \bar{f}_e^{mi} \sigma_e^{mi} + \sigma_{in}^{mi}$$

$$\bar{\sigma}_s^{m,i \rightarrow i} = \begin{cases} \bar{f}_e^{mi} \sigma_e^{mi} - \bar{f}_r^{mi} \sigma_r^{mi} + \sigma_{in}^{m,i \rightarrow i} & (*) \\ \bar{f}_e^{mi} (\sigma_e^{mi} - \sigma_r^{mi}) + \sigma_{in}^{m,i \rightarrow i} & (*) \end{cases}$$

$$\bar{\sigma}_s^{m,i \rightarrow i+1} = \begin{cases} \bar{f}_r^{mi} \sigma_r^{mi} + \sigma_{in}^{m,i \rightarrow i+1} & (*) \\ \bar{f}_e^{mi} \sigma_r^{mi} + \sigma_{in}^{m,i \rightarrow i+1} & (MDSE \leq 1) \\ \bar{f}_e^{mi} \sigma_e^{m,i \rightarrow i+1} + \sigma_{in}^{m,i \rightarrow i+1} & (MDSE \geq 2) \end{cases}$$

$2 \leq j \leq IMAX - i$ では,

$$\bar{\sigma}_s^{m,i \rightarrow i+j} = \begin{cases} \sigma_{in}^{m,i \rightarrow i+j} & (MDSE \leq 1) \\ \bar{f}_e^{mi} \sigma_e^{m,i \rightarrow i+j} + \sigma_{in}^{m,i \rightarrow i+j} & (MDSE \geq 2) \end{cases}$$

巨視断面積は次のようにして得られる。

$$D^i = (3 \sum_m N^m \bar{\sigma}_D^{mi})^{-1}$$

$$\Sigma_{tr}^i = \sum_m N^m \bar{\sigma}_{tr}^{mi}$$

これは酸素あるいはそれより軽い核種が含まれているときには、 $\mu_e^{m,i \rightarrow i+j}$, $\mu_{to}^{m,i \rightarrow i+j}$ が考慮されていないので多少の誤差を含む。

$$\Sigma_c^{mi} = N^m \sigma_c^{mi}$$

$$\Sigma_f^i = \sum_m N^m \bar{\sigma}_f^{mi}$$

$$\Sigma_a^{mi} = N^m \bar{\sigma}_a^{mi}$$

$$\Sigma_a^i = \sum_m \Sigma_a^{mi}$$

$$\Sigma_T^i = \sum_m N^m \bar{\sigma}_T^{mi} + B_{\pm}^2 D^i$$

$$(\nu \Sigma_f)^i = \sum_m N^m (\nu \bar{\sigma}_f)^{mi}$$

$$\Sigma_s^i = \sum_m N^m \bar{\sigma}_s^{mi}$$

$$\Sigma_s^{i \rightarrow i+j} = \sum_m N^m \bar{\sigma}_s^{mi, i \rightarrow i+j} \quad j=0, 1, \dots, IDS$$

Σ_{tr}^i は S_n コードの入力などに役立つために、 Σ_f^i は反応率の出力のためにそれぞれ追加された。

2.4 富化度調整

1次元拡散モデルによる臨界計算，通常の濃度サーチによる臨界調整，随伴中性子束の計算については，1.4節と本質的に変るところはない。ここでは新しく追加された富化度サーチによる臨界調整について述べる。

本コードでは富化度 x の定義は PuO_2 と UO_2 混合物中の PuO_2 重量比とし，燃料棒内の PuO_2-UO_2 の理論密度 ρ (g/cm^3) は，

$$\rho = 11.465x + 10.960(1-x)$$

で与えられるものとする。実効密度は入力の #11 で与えた比 α を用いて，

$$\rho_{eff} = \alpha \rho \quad 0 < \alpha < 1$$

となる。 ρ_{eff} から $^{239}Pu, ^{240}Pu, ^{241}Pu, ^{235}U, ^{238}U, O$ の原子数密度 ($10^{24}cm^{-3}$) を次のようにして求める。

$$PuO_2 \text{ の密度} = x \rho_{eff} \quad g/cm^3$$

$$UO_2 \text{ の密度} = (1-x) \rho_{eff} \quad g/cm^3$$

入力 (#11) で， $^{239}Pu, ^{240}Pu, ^{241}Pu$ の同位元素比 a_9, a_0, a_1 ($a_9 + a_0 + a_1 = 1$) と $^{235}U, ^{238}U$ の同位元素比 a_5, a_6 ($a_5 + a_6 = 1$) および酸素原子と Pu-U 原子の個数の比 Z_0 (O/M 比) が与えられると，燃料体中で各元素の密度 (g/cm^3) は

$$\rho^{239} = x \rho_{eff} \times \frac{AW^{239} a_9}{W(PuO_2)}$$

$$\rho^{240} = x \rho_{eff} \times \frac{AW^{240} a_0}{W(PuO_2)}$$

$$\rho^{241} = x \rho_{eff} \times \frac{AW^{241} a_1}{W(PuO_2)}$$

$$\rho_1^{16} = x \rho_{eff} \times \frac{AW^{16} Z_0}{W(PuO_2)}$$

$$\rho^{235} = (1-x) \rho_{eff} \times \frac{AW^{235} a_5}{W(UO_2)}$$

$$\rho^{238} = (1-x) \rho_{\text{eff}} \times \frac{AW^{238} a_8}{W(UO_2)}$$

$$\rho_2^{16} = (1-x) \rho_{\text{eff}} \times \frac{AW^{16} Z_0}{W(UO_2)}$$

で与えられる。ただし、

$$W(PuO_2) = AW^{239} a_9 + AW^{240} a_0 + AW^{241} a_1 + AW^{16} Z_0$$

$$W(UO_2) = AW^{235} a_5 + AW^{238} a_8 + AW^{16} Z_0$$

である。用いた原子量の値は次のようなものである。

$$AW^{239} = 239.1265$$

$$AW^{240} = 240.1286$$

$$AW^{241} = 241.1315$$

$$AW^{235} = 235.1170$$

$$AW^{238} = 238.1249$$

$$AW^{16} = 16.0$$

ここで、アボガドロ数 $N = 0.602486$ を用いて、燃料体中で、

$$N^{239} = \rho^{239} \times \frac{N}{AW^{239}}$$

$$N^{240} = \rho^{240} \times \frac{N}{AW^{240}}$$

$$N^{241} = \rho^{241} \times \frac{N}{AW^{241}}$$

$$N^{235} = \rho^{235} \times \frac{N}{AW^{235}}$$

$$N^{238} = \rho^{238} \times \frac{N}{AW^{238}}$$

$$N^{16} = (\rho_1^{16} + \rho_2^{16}) \times \frac{N}{AW^{16}} = Z_0 (N^{239} + N^{240} + N^{241} + N^{235} + N^{238})$$

次にこの N^m に領域内での燃料体の体積比 VR_f (#11) を乗ずれば実効密度となる。2つ以上の領域で富化度サーチを行うときは、調整領域を通じて比の6核種の密度は共通である。

#8で与えた密度に対応する初期富化度 x_0 (#11で入力) から出発して、各調整試行毎の x_ℓ を1.4.2節の N_ℓ と同様にサーチしてゆく。

2.5 出力データ

(1) 入力データのリスト

(2) 調整する $N_{\ell,K}^m$ と λ_j^ℓ (富化度調整の時は x_ℓ も)

(3) 以下のデータは臨界調整を行う prob. では調整後の値である。

(3) 各格子点 n での $S(r_n)$ と $\int_{V_K} S(r) dV$

(4) 巨視断面積 $D_K^i, \Sigma_{tr,K}^i, \Sigma_{a,K}^i, \Sigma_{s,K}^i, \Sigma_{T,K}^i, (\nu\Sigma_f)_K^i, \Sigma_{f,K}^i, \Sigma_{s,K}^{i \rightarrow i+1}$ ($j=0,1,\dots,IDS$)

(5) 各領域の体積

(6) $\phi^i(r_n), \sum_K \phi_K^i, \phi_K^i$

(7) Region Checks

(8) $\psi_n = \sum_i \phi^i(r_n) = \int_0^\infty \phi(r_n, u) du$

$\phi_n^i = \phi_n^i / \psi_n$ (normalized fluxes)

ϕ_n^i / Du^i (normalized spectrum)

$\phi_K = \int_{V_K} \psi(r) dV = \int_{V_K} dV \int_0^\infty du \phi(r, u) = \sum_i \phi_K^i$

(9) 物質バックリング B_m^2

第 i 領域の組成で

$$(D^i B_m^2 + \Sigma_t^i) \phi^i = \chi^i + \sum_{j=1}^{i-1} \Sigma_s^{j \rightarrow i} \phi^j$$

$$\Sigma_t^i = \Sigma_T^i - B_\perp^2 D$$

の解 ϕ^i が,

$$|k-1| < \epsilon_1, \quad k = \sum_i (\nu\Sigma_f)^i \phi^i$$

を満すように B_m^2 を求める。初め $B_m^2 = B_\perp^2 + 10^{-4}$ として試算し、 $|k-1| \geq \epsilon_1$ ならば、

$$B_m^2 \cdot k \rightarrow B_m^2$$

と置き換えながら繰り返してゆく。このまま $|k-1| < \epsilon_1$ を満すようになれば、その時の B_m^2 , ϕ^i は解であるが、条件を満たさぬまま、 $B_m^2 \leq 10^{-6}$ になつたときは、結果の B_m^2 は負であると想定して、新たに $B_m^2 = -10^{-4}$ において試算を始める。以後のくり返しは、初め2回は

$$B_m^2 / k \rightarrow B_m^2$$

と置き換えるが、そのあともこの方式をくり返すと、 B_m^2 の値が振動を繰返して、いつ迄経つても収束しないことがあるので、第3回目以後は直前3回の (B_m^2, k) の値から、1.4.2節(3)のように直角双曲線て次回の B_m^2 を与え乍らくり返してゆく。

$$D^i B_m^2 + \Sigma_t^i < 0$$

になると、 ϕ^i に負のものが生じるから、その時は B_m^2 の計算は打切られるが、それ以前に $|k-1| < \epsilon_1$ がみたされれば、その時の B_m^2 , ϕ^i は解である。

収束すると、

$$B_m^2, k, \phi^i$$

をリストし、この B_m^2 を用いて、随伴方程式

$$(D^i B_m^2 + \Sigma_i^i) \phi^{*i} = (\nu \Sigma_f)^i + \sum_{j=i+1}^{IMAX} \Sigma_s^{i \rightarrow j} \phi^{*j}$$

も解き、

$$k^*, \phi^{*i}, \phi^i \phi^{*j}$$

をリストする。ただし、 $k^* = \sum_i \chi^i \phi^{*i}$ である。

(10) 随伴中性子束

$$\lambda_j^*, S^*(r_n), \int_{V_K} S^*(r) dV, \phi^{*i}(r_n), \sum_K \int_{V_K} \phi^{*i}(r) dV, \int_{V_K} \phi^{*i}(r) dV,$$

Region Checks

$$\phi_n^* = \sum_i \phi^{*i}(r_n) \Delta u_i = \int_0^\infty \phi^*(r_n, u) du$$

$$\phi_n^{*i} = \phi_n^{*i} / \phi_n^* \text{ (normalized adjoint spectrum)}$$

ϕ_n^{*i} は各点で群に関して逆転した順序で (第 IMAX 群から第 1 群まで) プリントされる。

(11) 各種の Reaction Rates

$$\sum_{e,K}^{mi} \phi_K^i, \sum_{a,K}^{mi} \phi_K^i, \sum_{a,K}^i \phi_K^i, \sum_{f,K}^i \phi_K^i, \sum_i \sum_{e,K}^{mi} \phi_K^i, \sum_i \sum_{a,K}^{mi} \phi_K^i, \sum_i \sum_{a,K}^i \phi_K^i,$$

$$\sum_i \sum_{f,K}^i \phi_K^i$$

(12) 各核種の質量 (グラム単位)

$$M_K^m = N_K^m \cdot V_K \cdot AW^m / 0.6025$$

(8) と (10) の Δu^i は 2.1 節の #1002, (12) の AW^m は同じく #1003 で与えられた値が用いられる。

(13) 縮約データ

$$\Sigma_{e,K}^{mn}, \Sigma_{a,K}^{mn}, \bar{\sigma}_{e,K}^{mn}, \bar{\sigma}_{a,K}^{mn}, D_K^n, \Sigma_{tr,K}^n, \Sigma_{a,K}^n, \Sigma_{S,K}^n, \Sigma_{T,K}^n, (\nu \Sigma_f)_K^n, \Sigma_{S,K}^{n \rightarrow n+l}$$

($l = 0, 1, \dots, \text{LAPSE}-1$)

$\Sigma_{T,K}^n$ は $\Sigma_{a,K}^n + \Sigma_{S,K}^n - \Sigma_{S,K}^{n \rightarrow n}$ で定義された。

謝 辞

EXPANDA-3をFACOM-230/60へ変換するさいお世話になつた計算センター室プログラム第1係の出田隆士氏, EXPANDA-6作成に関してお世話になつた動力炉・核燃料開発事業団高速増殖炉開発本部の井上晃次, 吉野富士男両氏と伊藤忠電子計算サービス株式会社技術営業第4部の久保諒洋氏に感謝します。

文 献

- (1) ABAGJAN, L. P. , et al. : Gruppenkonstanten schneller und intermediärer Neutronen für die Berechnung von Kernreaktoren, KFK-tr-144.
- (2) 鈴木友雄, 桂木学 : 高速炉用一次元拡散コードEXPANDAの改良 (EXPANDA-2)コード, JAERI-1118 (1966)
- (3) 桂木学, 鈴木友雄 : 高速炉用一次元拡散コードEXPANDA, JAERI-1091 (1965)
- (4) 鈴木友雄 : 高速炉用一次元多群燃焼コードTORCH, JAERI-memo2312 (1966)
- (5) 鈴木友雄 : 高速炉用二次元燃焼コードFURNACE, JAERI-1164 (1968)
- (6) 平田昭, 他 : 二次元燃焼計算コード臨界調整部分, JAERI-memo 1228 (1963) (第V章)
- (7) KATSURAGI, S. , et al. : JAERI Fast Reactor Group Constants Systems Part I, JAERI-1195 (1970)
KATSURAGI, S. , et al. : JAERI Fast Reactor Group Constants Systems Part II-1, JAERI-1199 (1970)
- (8) 鈴木友雄 : JAERI-FAST-SETを用いた高速炉用一次元拡散コード (EXPANDA-4), JAERI-memo 3660 (1969)

謝 辞

EXPANDA-3をFACOM-230/60へ変換するさいお世話になつた計算センター室プログラム第1係の出田隆士氏, EXPANDA-6作成に関してお世話になつた動力炉・核燃料開発事業団高速増殖炉開発本部の井上晃次, 吉野富士男両氏と伊藤忠電子計算サービス株式会社技術営業第4部の久保諄洋氏に感謝します。

文 献

- (1) ABAGJAN, L. P. , et al. : Gruppenkonstanten schneller und intermediärer Neutronen für die Berechnung von Kernreaktoren, KFK-tr-144.
- (2) 鈴木友雄, 桂木学 : 高速炉用一次元拡散コードEXPANDAの改良 (EXPANDA-2)コード, JAERI-1118 (1966)
- (3) 桂木学, 鈴木友雄 : 高速炉用一次元拡散コードEXPANDA, JAERI-1091 (1965)
- (4) 鈴木友雄 : 高速炉用一次元多群燃焼コードTORCH, JAERI-memo 2312 (1966)
- (5) 鈴木友雄 : 高速炉用二次元燃焼コードFURNACE, JAERI-1164 (1968)
- (6) 平田昭, 他 : 二次元燃焼計算コード臨界調整部分, JAERI-memo 1228 (1963)
(第V章)
- (7) KATSURAGI, S. , et al. : JAERI Fast Reactor Group Constants Systems Part I, JAERI-1195 (1970)
KATSURAGI, S. , et al. : JAERI Fast Reactor Group Constants Systems Part II-1, JAERI-1199 (1970)
- (8) 鈴木友雄 : JAERI-FAST-SETを用いた高速炉用一次元拡散コード (EXPANDA-4), JAERI-memo 3660 (1969)