

JAERI-M

4 4 8 1

共鳴領域の超詳細スペクトル計算
コードSDRC

1971年6月

鈴木友雄

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

共鳴領域の超詳細スペクトル計算コードSDRC

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 六方格子状に配列されたピン状燃料炉心の非均質効果を詳細に検討するために、JAERI-fast セットの基になった重い核の共鳴エネルギー領域の ultra-high resolution データを用いた超詳細スペクトル計算コードSDRC を作成した。このコードは英国のSDRコードをもとに、2領域六方格子系を扱うことができるように改造したもので、分裂中性子のエネルギー領域を主として取扱う詳細スペクトル計算コードESELEM-3 と共に用いることにより、全エネルギー域に亘って、セルの非均質効果を詳細に調べることができる。

計算結果から、格子内の全中性子束に対するピン内の中性子束の割合のエネルギー依存性が小さいことが確かめられた。この結果は少数群で非均質系の実効断面積を求める簡便法の基礎となり、30群以内の1次元拡散モデルによる臨界計算コードEXPANDA-5 に応用されている。

SDRC の微視断面積の入力データを準備するための補助コードLTSDR, COMPLETION, PRESDRJ なども作成した。さらに free-format によるカード入力を行なう D.C. Bindon のサブプログラム BINPUT も整備した。使用計算機はダイレクト・アクセス方式のスクラッチが必要なので IBM-360/J75 を用いた。ここでは SDRC コードの概要と使用法について説明する。

SDRC: The Ultra-fine Spectrum Calculation Code
in Resonance Energy Region

Tomoo SUZUKI

Reactor Physics Analytical Laboratory
Division of Reactor Engineering
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute

(Received June 1971)

Summary For the detailed study of heterogeneity effects in hexagonal lattices of pin-typed fuels and coolant, the ultra-fine spectrum calculation code SDRC has been developed. For heavy nuclides, the ultra-high resolution data are used on which the JAERI-fast set was based.

The code was developed from the U.K.'s code SDR, so that it could treat the two-region hexagonal lattices.

Though it deals only with the resonance region, the heterogeneity effects in the lattices can be examined in detail, in all the energy region, when used with the fine spectrum code ESELEM-3 mainly for the fission spectrum region.

From the calculations, it was confirmed that the ratio of the flux in fuel region to the total flux in a cell does not change much with the energy. From these results, a simple method was developed for obtaining the effective cross sections for the heterogeneous systems in few group structure. This method was incorporated in the criticality calculation code EXPANDA-5 with one-dimensional diffusion model for less than 30 energy groups. To prepare the microscopic cross sections as the input data for SDRC, the auxiliary codes LTS DR, COMPLETION and PRES DR J were also made. The subprogram BINPUT originally developed by D.C. Bindon to accept the data cards punched in free-format was introduced in the SDRC. IBM-360/J75 is used because the temporary memory storages of direct access type are necessary for SDRC. In this report, SDRC and its usage are described.

目 次

1. エネルギー・メッシュ構造	1
2. 重い核の断面積データ	2
3. Na の断面積データ	3
4. 軽い核の断面積データ	4
5. 計算体系と組成	11
6. カードによる入力データ	12
7. 衝突確率	18
8. 減速による源の計算	18
9. 減速方程式	20
10. 出力データ	21
11. 計算例	22
文 献	28
付 録：BINPUT ソース・リスト	29

Contents

1. The structure of energy mesh	1
2. The cross section data of heavy elements	2
3. The cross section data of sodium	3
4. The cross section data of light elements	4
5. The configuration and composition of the lattice	11
6. Input data in cards	12
7. Collision probabilities	18
8. Calculation of slowing down source	18
9. Slowing down equations	20
10. Output data	21
11. Examples of calculation	22
References	28
Appendix : BINPUT source program list	29

1. エネルギー・メッシュ構造

重い核の中の狭い共鳴断面積の曲線を追うことができるように、 20.633^{keV} 以下のエネルギー領域を次のように細分して超詳細計算を行う。⁽¹⁾ ΔE は区分的に等間隔で、 E が小さくなる程レサジー巾 Δu が大きくなるので、 ΔE を小さくしてゆく。この構造は後で第7章で述べるように、減速による源の計算を漸化式で取扱うためにも便利である。

ブロック	E_U (eV)	E_L (eV)	ΔE (eV)
1	20633	19353	0.5
2	19353	18073	0.5
3	18073	16793	0.5
4	16793	15513	0.5
5	15513	14233	0.5
6	14233	12953	0.5
7	12953	11673	0.5
8	11673	10393	0.5
9	10393	9753	0.25
10	9753	9113	0.25
11	9113	8473	0.25
12	8473	7833	0.25
13	7833	7193	0.25
14	7193	6553	0.25
15	6553	5913	0.25
16	5913	5273	0.25
17	5273	4633	0.25
18	4633	3993	0.25
19	3993	3673	0.125
20	3673	3353	0.125
21	3353	3033	0.125
22	3033	2713	0.125
23	2713	2393	0.125
24	2393	2073	0.125
25	2073	1913	0.0625
26	1913	1753	0.0625
27	1753	1593	0.0625
28	1593	1433	0.0625
29	1433	1273	0.0625
30	1273	1113	0.0625
31	1113	953	0.0625
32	953	873	0.03125
33	873	793	0.03125
34	793	713	0.03125
35	713	633	0.03125
36	633	553	0.03125
37	553	473	0.03125

38	473	393	0.03125
39	393	313	0.03125
40	313	233	0.03125
41	233	193	0.015625
42	193	153	0.015625
43	153	113	0.015625
44	113	73	0.015625
45	73	33	0.015625
46	33	3	0.01171875
47	3	0	0.001953125

メッシュ・インタバル数は各ブロックで2560で、第47ブロックだけは1536で合計119296である。256インタバルをまとめて1wedgeと名付けultra-fine dataをテープやディスクへ記憶させるときの1論理レコードとすると、上記の47blockが466wedgeとなる。計算はどのwedgeからでも始められる。又出力データの編集は任意エネルギー区間の積分値や平均値が出せるようになっている。

2. 重い核の断面積データ

^{235}U , ^{239}Pu などの重い核は、一般に第1章で示したようなエネルギー・メッシュの各点で $\sigma_c, \sigma_f, \sigma_t, \sigma_{in1}, \sigma_{in2}$ の5種類のデータ(現在は $\sigma_{in1}, \sigma_{in2}$ は0を入れてある)をテープから与えるので"tabulated" materialと呼ぶことにする。JAERI-fastセットのもとになったultra-high resolution dataのテープはMCROSSコードのアウトプットとして、 ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu と ^{240}Pu のものが、300°K, 900°K, 2100°Kの3つの温度について、IBM 360/J75で用意されている⁽²⁾。但し、エネルギー・メッシュが異なるので、これをSDRCのメッシュに合うように編集し直すコードLTSDRを作り、4核種について300°Kと2100°Kのもの計8本のテープを用意した。MCROSSのアウトプット・テープ(^{235}U はディスク)には $\sigma_c, \sigma_f, \sigma_t$ ($\sigma_t = \sigma_c + \sigma_f + \sigma_e$)が次のようなメッシュ構造で入っている。

E_U (eV)	E_L (eV)	ΔE (eV)
21400	10000	0.5
10000	4650	0.25
4650	2150	0.125
2150	1000	0.0625
1000	360	0.03125
476	36	0.015625
54.8	3.6	0.01
10	0.1	0.02

但し、 ^{235}U , ^{239}Pu は 10^{keV} 以下のみで、 ^{238}U の300°K, 900°Kでは 0.4^{eV} 以上、 ^{240}U の2100°Kと ^{239}Pu の300°Kでは 0.5^{eV} 以上である。LTSDRはこのMCROSSのテープから余分なものを除き、必要なものを追加又は内挿して、SDRCへの入力テープを作成する。先ず ^{235}U , ^{239}Pu の 10^{keV} 以上には、JAERI-fast 25群セットの第11群のデータ⁽³⁾

$$\begin{aligned}\sigma_c^{235} &= 0.9999 & \sigma_c^{239} &= 0.8412 \\ \sigma_f^{235} &= 2.9278 & \sigma_f^{239} &= 1.9123 \\ \sigma_t^{235} &= 14.9803 & \sigma_t^{239} &= 14.1196\end{aligned}$$

を各温度で用いた。ここでも $\sigma_t = \sigma_c + \sigma_f + \sigma_e$ として非弾性散乱断面積を省いた。10^{keV} 以下では4核種ともにEに関して σ を内挿する必要がある。内挿は次の式で計算し、プログラムは倍精度で行われた。E_i < E < E_{i+1} のとき、

$$\ln \sigma(E) = \ln \sigma(E_i) + \frac{(\ln E - \ln E_i) [\ln \sigma(E_{i+1}) - \ln \sigma(E_i)]}{\ln E_{i+1} - \ln E_i}$$

即ち

$$\sigma(E) = \sigma(E_i) \exp \left[\frac{(\ln \frac{E}{E_i}) \ln \frac{\sigma(E_{i+1})}{\sigma(E_i)}}{\ln \frac{E_{i+1}}{E_i}} \right]$$

0.4^{eV} 以下は ²³⁸U のデータがないので、4核種共0を入れた。

300°Kの²³⁹Puの0.5~0.4^{eV}を補うために²³⁹Puの900°Kの値を、2100°Kの²³⁸Uの0.5~0.4^{eV}を補うために²³⁸Uの900°Kの値を転用した。この作業は補助コードCOMPLETIONを作成して行った。

3. Na の断面積データ

Naは2.85^{keV}に巾の広い共鳴のピークがあるので、このピークを中心に断面積のカーブに適合するような折れ線グラフを σ_c, σ_e のそれぞれについて描き、その折点のエネルギー、折れ線の勾配、切片をカードで入力して用いる。Naは他の核種と区別して"analytic" material と呼ぶことにする。折点のエネルギーと断面積の値は次のようなものであり、JAERI-fastセツト⁽³⁾のもとになったデータが採用されている。

点	E(eV)	σ_c	σ_e
1	38000	0.0017	3.8983
2	20000	0.0024	4.1976
3	15000	0.0028	4.4972
4	10000	0.0034	5.7466
5	7000	0.002	7.498
6	5000	0.0036	12.996
7	4000	0.0083	29.992
8	3450	0.0269	76.973
9	3200	0.07	166.33
10	3050	0.144	310.256
11	2950	0.231	470.869
12	2900	0.275	544.325
13	2880	0.2892	563.64

14	2860	0.2978	572.71
15	2850	0.3	573.4
16	2840	0.3008	571.53
17	2820	0.2982	560.09
18	2800	0.29	538.41
19	2750	0.253	456.547
20	2700	0.207	362.593
21	2650	0.165	279.835
22	2600	0.131	214.869
23	2500	0.0843	128.916
24	2300	0.0417	57.358
25	2100	0.0247	30.375
26	1700	0.0122	12.788
27	1100	0.00665	5.1933
28	500	0.0055	3.1645
29	10	0.0271	3.1329
30	1	0.0853	3.2007
31	0.1	0.2697	3.2793
32	0.01	0.853	3.3425

この31ケのエネルギー区間について、区間の上限エネルギー (MeV) と σ_c, σ_e の折れ線の勾配と切片の値をカードにパンチしておき、SDRC のサブプログラム SCAT へ最初に入力し、以後任意のエネルギーでの断面積を SCAT が算出する。

4. 軽い核の断面積データ

O, Cr, Fe, Ni, Mo のような Na 以外の軽い核は第1章で述べた47のブロック毎に、 $\sigma_c, \sigma_e, \sigma_t$ ($\sigma_t = \sigma_c + \sigma_e$) が直線で近似されて与えられる。それ故これらの核種は "interpolated material" と呼ぶことにする。直線はブロック内で、軽い核の JAERI-fast セット⁽³⁾ のもとになった high resolution data に fit するように最小自乗法で決められるので、ブロックの境では一般に不連続である。最小自乗法 fitting は次のようにして行われた⁽⁴⁾。先ず各ブロックを等間隔に100 インタバルに分けて、101点のエネルギー点について、第2章で用いたのと同じ内挿式で raw data を編集し直す。次に直線

$$\sigma(E) = aE + b$$

の a, b を

$$\sum_j (aE_j + b - \sigma_j)^2$$

が最小になるように決める。但し、j は101点のエネルギー点を指すものとする。上式に

$$\frac{\partial}{\partial a}, \frac{\partial}{\partial b} \text{ を施して } 0 \text{ とおくと,}$$

$$\sum_j (a E_j + b - \sigma_j) E_j = 0$$

$$\sum_j (a E_j + b - \sigma_j) = 0$$

この2式から a, b を求め、直線が、該当するブロック内で負の値をとらないかどうか確かめる。もしも負になるときは、直線をブロックの端で 0.になるようにしぼり、勾配が再び最小自乗法で決定される。プログラム PRES DRJ が作成され、上記の方法により O, Cr, Fe, Ni, Mo の5核種の raw data が処理され、各核種・各ブロックの $\sigma_c, \sigma_a, \sigma_t$ の勾配と切片の値がカードで出力され、SDRC の入力データとして用意された。カードに打たれた数値を表 1 ~ 5 に示す。

表2 PRES DRJ の出力データ (Cr)

CR	52.0100						block no.
	a_c	b_c	a_e	b_e	a_t	b_t	
-2.4147E-07	1.4120E-02	4.4722E-04	-5.8127E 00	4.4698E-04	-5.7986E 00	CR	1
-3.1733E-07	1.5617E-02	-1.3966E-04	5.6181E 00	-1.3998E-04	5.6337E 00	CR	2
-3.0768E-07	1.5434E-02	-2.1427E-04	7.0492E 00	-2.1458E-04	7.0646E 00	CR	3
-3.8916E-07	1.6818E-02	-2.0921E-04	6.0572E 01	-2.0960E-04	6.0743E 01	CR	4
-5.3322E-07	1.9023E-02	-7.3363E-04	1.4342E 01	-7.3417E-04	1.4361E 01	CR	5
-0.8333E-07	2.1174E-02	-1.0020E-03	1.8139E 01	-1.0027E-03	1.8160E 01	CR	6
-8.6196E-07	2.3498E-02	-2.2390E-03	5.6968E 00	-2.3252E-03	5.7203E 00	CR	7
-1.4241E-06	2.9979E-02	-4.6981E-03	5.8589E 01	-4.6995E-03	5.8619E 01	CR	8
-4.0194E-06	5.7162E-02	1.7990E-03	-8.5686E 00	1.7950E-03	-8.5114E 00	CR	9
-5.2230E-06	6.8727E-02	-2.6854E-03	3.5286E 01	-2.6906E-03	3.5355E 01	CR	10
-6.0041E-06	7.5996E-02	-8.0872E-03	8.4311E 01	-8.0932E-03	8.4387E 01	CR	11
-7.2410E-06	8.6558E-02	5.2581E-04	1.3552E 01	5.1857E-04	1.3642E 01	CR	12
-1.3164E-05	1.3287E-01	-5.1459E-03	5.5244E 01	-5.1590E-03	5.5377E 01	CR	13
-9.3148E-06	1.0429E-01	-5.5107E-03	5.4312E 01	-5.5200E-03	5.4419E 01	CR	14
-1.0342E-05	1.1146E-01	5.2098E-03	-1.5057E 01	5.1995E-03	-1.4945E 01	CR	15
-9.9458E-07	5.5403E-02	-8.8544E-03	7.1762E 01	-8.8554E-03	7.1820E 01	CR	16
-7.8524E-06	9.3199E-03	9.7145E-03	-2.8202E 01	9.7224E-03	-2.8193E 01	CR	17
1.4061E-05	-1.9403E-02	-4.7257E-03	4.0792E 01	-4.7117E-03	4.0772E 01	CR	18
1.0001E-05	-3.0042E-03	1.8919E-02	-5.4967E 01	1.8929E-02	-5.4969E 01	CR	19
1.0000E-05	-3.0008E-03	1.4566E-02	-3.9151E 01	1.4576E-02	-3.9154E 01	CR	20
-5.2803E-07	3.1482E-02	7.3798E-03	-1.4898E 01	7.3793E-03	-1.4867E 01	CR	21
-5.1439E-06	4.6321E-02	4.4130E-03	-5.8686E 00	4.4079E-03	-5.8223E 00	CR	22
-3.4104E-06	1.2528E-01	2.9778E-03	-1.9567E 00	2.9437E-03	-1.8314E 00	CR	23
-5.4144E-05	1.7248E-01	1.8876E-03	6.6211E-01	1.8335E-03	8.3459E-01	CR	24
-7.5270E-05	2.1738E-01	1.1176E-03	2.2651E 00	1.0424E-03	2.4824E 00	CR	25
-8.9389E-05	2.4407E-01	7.7528E-04	2.9359E 00	6.8589E-04	3.1800E 00	CR	26
1.0311E-04	-9.2608E-02	1.7595E-04	3.9844E 00	2.7905E-04	3.8918E 00	CR	27
1.0003E-04	-8.7474E-02	9.7059E-05	4.1061E 00	1.9715E-04	4.0186E 00	CR	28
9.5445E-05	-8.1366E-02	-5.8265E-05	4.3340E 00	3.7179E-05	4.0526E 00	CR	29
7.6978E-05	-5.7840E-02	-6.6248E-05	4.3441E 00	1.0731E-05	4.2863E 00	CR	30
4.4165E-05	-2.2045E-02	-5.6847E-05	4.3346E 00	-1.2682E-05	4.3125E 00	CR	31
-2.4046E-05	4.4879E-02	1.4719E-05	4.2643E 00	-9.3272E-06	4.3092E 00	CR	32
-2.7341E-05	4.7786E-02	1.4828E-05	4.2642E 00	-1.2513E-05	4.3120E 00	CR	33
-2.9799E-05	2.1637E-03	-4.0626E-05	4.3085E 00	-1.0827E-05	4.3106E 00	CR	34
5.0095E-05	1.9527E-03	-4.5498E-05	4.3119E 00	-1.5403E-05	4.3139E 00	CR	35
3.2834E-07	2.0252E-02	-1.9106E-05	4.2958E 00	-1.8778E-05	4.3160E 00	CR	36
-2.1039E-05	3.2433E-02	-9.6509E-07	4.2854E 00	-2.2004E-05	4.3178E 00	CR	37
-2.7136E-05	3.5303E-02	-1.1650E-06	4.2852E 00	-2.8301E-05	4.3208E 00	CR	38
-3.6267E-05	3.8864E-02	-2.4587E-06	4.2860E 00	-3.8726E-05	4.3248E 00	CR	39
-5.3360E-05	4.4155E-02	-3.1850E-06	4.2862E 00	-5.6545E-05	4.3304E 00	CR	40
-7.7058E-05	4.9773E-02	5.1353E-06	4.2844E 00	-7.1923E-05	4.3342E 00	CR	41
-1.0813E-04	5.5739E-02	1.1967E-04	4.2619E 00	1.1542E-05	4.3176E 00	CR	42
-1.6114E-04	6.3752E-02	1.7576E-04	4.2564E 00	-5.3752E-06	4.3201E 00	CR	43
-2.7948E-04	7.6853E-02	2.7174E-04	4.2438E 00	-7.7430E-06	4.3206E 00	CR	44
-6.7577E-04	1.0407E-01	-6.2300E-05	4.2640E 00	-7.3807E-04	4.3681E 00	CR	45
-4.7181E-03	2.1642E-01	2.2847E-03	4.2016E 00	-2.4334E-03	4.4181E 00	CR	46
-8.1587E-01	2.4476E 00	1.2586E-01	3.9184E 00	-6.9001E-01	6.3660E 00	CR	47

表3 PRES DRJ の出力データ (Fe)

FE		55.8500								
a_c	b_c	a_e	b_e	a_t	b_t					block no.
2.9603E-06	-4.5591E-07	-2.5029E-04	6.9208E 00	-2.4733E-04	6.8752E 00FE					1
-4.4956E-06	9.7220E-02	-2.0171E-04	7.5251E 00	-2.8620E-04	7.6223E 00FE					2
8.5261E-06	-1.3158E-01	-3.3062E-04	8.4094E 00	-3.2209E-04	8.2779E 00FE					3
-6.3229E-07	2.0389E-02	-3.7391E-04	9.1246E 00	-3.7454E-04	9.1449E 00FE					4
-1.7656E-05	2.8145E-01	-4.5472E-04	1.0397E 01	-4.7238E-04	1.0678E 01FE					5
2.9195E-05	-3.7339E-01	-4.9540E-04	1.0973E 01	-4.6620E-04	1.0600E 01FE					6
-3.3365E-06	5.4342E-02	-6.7840E-04	1.3597E 01	-7.0182E-04	1.3651E 01FE					7
6.5902E-06	-4.2668E-02	-9.0496E-04	1.6014E 01	-8.9837E-04	1.5972E 01FE					8
-7.3739E-06	9.4364E-02	-1.3699E-03	2.0803E 01	-1.3773E-03	2.0897E 01FE					9
3.3306E-06	1.0502E-02	-2.1430E-03	2.8403E 01	-2.1396E-03	2.8414E 01FE					10
-2.4253E-05	2.4666E-01	-4.3396E-03	4.8339E 01	-4.3639E-03	4.8586E 01FE					11
-4.6361E-05	4.0439E-01	-1.0526E-02	1.0045E 02	-1.0572E-02	1.0085E 02FE					12
1.1635E-05	5.9583E-03	-1.1325E-02	1.0830E 02	-1.1314E-02	1.0831E 02FE					13
6.2511E-05	-3.6481E-01	1.9807E-02	-1.1339E 02	1.9869E-02	-1.1375E 02FE					14
-4.3240E-05	3.4473E-01	-2.3812E-03	2.7481E 01	-2.4244E-03	2.7826E 01FE					15
5.5507E-05	-2.7817E-01	9.1786E-03	-4.0655E 01	9.2341E-03	-4.0933E 01FE					16
9.9828E-07	1.6382E-02	4.6500E-03	-1.7062E 01	4.6510E-03	-1.7046E 01FE					17
-2.0212E-06	2.4045E-02	-1.0303E-03	9.4085E 00	-1.0324E-03	9.4325E 00FE					18
3.1472E-05	-9.3632E-02	-2.2306E-03	1.4870E 01	-2.1991E-03	1.4776E 01FE					19
2.7591E-05	-8.4634E-02	3.0197E-03	-4.9863E 00	3.0473E-03	-5.0709E 00FE					20
5.8623E-06	-1.0008E-02	3.8423E-04	3.8571E 00	3.9009E-04	3.8471E 00FE					21
9.3806E-06	-2.1053E-02	-1.4289E-03	9.4092E 00	-1.4195E-03	9.3881E 00FE					22
3.5257E-06	-5.0083E-03	-1.5293E-03	9.6835E 00	-1.5258E-03	9.6785E 00FE					23
3.1853E-07	2.6721E-03	-1.6096E-03	9.8742E 00	-1.6093E-03	9.8769E 00FE					24
-1.5696E-06	6.6569E-03	-1.7437E-03	1.0155E 01	-1.7453E-03	1.0162E 01FE					25
-3.2916E-05	6.5449E-02	-1.7474E-03	1.0162E 01	-1.7804E-03	1.0228E 01FE					26
-3.5442E-06	6.3899E-01	-1.8515E-03	1.0345E 01	-2.2060E-03	1.0984E 01FE					27
8.9461E-05	-1.5820E-01	-1.9222E-03	1.0457E 01	-1.8328E-03	1.0329E 01FE					28
-1.1017E-06	1.5787E-01	-2.0644E-03	1.0659E 01	-2.1746E-03	1.0817E 01FE					29
-1.4314E-02	1.8222E 01	-2.8401E-03	1.1630E 01	-1.7154E-02	2.9852E 01FE					30
9.6248E-06	-9.1724E-01	-3.6794E-03	1.2587E 01	-2.7169E-03	1.1670E 01FE					31
-6.0955E-06	1.3619E-02	-3.3694E-03	1.2293E 01	-3.3694E-03	1.2307E 01FE					32
-7.6359E-06	2.0302E-02	-3.1596E-03	1.2116E 01	-3.1672E-03	1.2137E 01FE					33
-9.9919E-06	2.2189E-02	-3.0427E-03	1.2024E 01	-3.0527E-03	1.2046E 01FE					34
-1.1834E-05	2.3485E-02	-2.8451E-03	1.1881E 01	-2.8569E-03	1.1902E 01FE					35
-1.4467E-05	2.5110E-02	-2.9279E-03	1.1932E 01	-2.9424E-03	1.1957E 01FE					36
-1.6944E-05	2.6492E-02	-2.7569E-03	1.1840E 01	-2.7738E-03	1.1866E 01FE					37
-2.1719E-05	2.8772E-02	-2.8567E-03	1.1884E 01	-2.8784E-03	1.1913E 01FE					38
-3.0946E-05	3.2358E-02	-2.7836E-03	1.1851E 01	-2.8145E-03	1.1883E 01FE					39
-4.5978E-05	3.6970E-02	-2.6337E-03	1.1807E 01	-2.6797E-03	1.1844E 01FE					40
-6.6580E-05	4.1792E-02	-2.2122E-03	1.1709E 01	-2.2787E-03	1.1750E 01FE					41
-8.7731E-05	4.5827E-02	-1.7452E-03	1.1617E 01	-1.8330E-03	1.1663E 01FE					42
-1.3153E-06	5.2467E-02	-1.0269E-03	1.1508E 01	-1.1584E-03	1.1560E 01FE					43
-2.2992E-06	6.3345E-02	-2.6481E-04	1.1422E 01	-4.9473E-04	1.1485E 01FE					44
-5.5183E-06	8.5602E-02	0.0	1.1400E 01	-5.5183E-04	1.1486E 01FE					45
-3.9010E-03	1.7829E-01	0.0	1.1400E 01	-3.9010E-03	1.1578E 01FE					46
-6.6785E-01	2.0035E 00	1.0872E-01	1.118+E 01	-5.5913E-01	1.3185E 01FE					47

表4 PRES DRJ の出力データ (Ni)

Ni		58.6900								
a _c	b _c	a _e	b _e	a _t	b _t					block no.
-7.5155E-07	2.7007E-02	-3.7203E-03	9.6579E 01	-3.7211E-03	9.6606E 01	01	Ni	1		1
-1.6433E-06	4.4032E-02	-7.1859E-03	1.6324E 02	-7.1875E-03	1.6325E 02	02	Ni	2		2
-9.2230E-06	1.7900E-01	-1.9352E-02	3.8154E 02	-1.9361E-02	3.8172E 02	02	Ni	3		3
-1.6302E-05	3.0735E-01	-6.6258E-02	1.1627E 03	-6.6274E-02	1.1630E 03	03	Ni	4		4
1.4322E-05	-1.6820E-01	6.4800E-02	-8.9720E 02	6.4815E-02	-8.9737E 02	02	Ni	5		5
-1.2983E-06	4.4917E-02	-1.7575E-02	2.7897E 02	-1.7576E-02	2.7901E 02	02	Ni	6		6
2.1346E-06	2.5383E-03	2.2261E-02	-2.2476E 02	2.2264E-02	-2.2475E 02	02	Ni	7		7
9.5007E-06	-8.5799E-02	1.4283E-02	-1.3816E 02	1.4292E-02	-1.3824E 02	02	Ni	8		8
1.3294E-06	3.0734E-04	3.907E-03	-2.1579E 01	3.1920E-03	-2.1578E 01	01	Ni	9		9
1.3906E-07	1.2009E-02	1.0132E-03	-6.5558E-02	1.0134E-03	-5.3550E-02	02	Ni	10		10
0.0	1.3300E-02	4.2928E-04	5.2341E 00	4.2928E-04	5.2474E 00	00	Ni	11		11
-6.7832E-06	1.3862E-02	-9.4888E-04	1.6601E 01	-9.1895E-04	1.6615E 01	01	Ni	12		12
-3.8805E-06	1.3691E-02	-1.7313E-03	2.3133E 01	-1.7313E-03	2.3146E 01	01	Ni	13		13
-7.9981E-07	1.9198E-02	-2.6794E-03	2.9895E 01	-2.6802E-03	2.9915E 01	01	Ni	14		14
-9.2172E-07	1.9972E-02	-5.3826E-03	4.7482E 01	-5.3835E-03	4.7502E 01	01	Ni	15		15
-4.0996E-06	3.8751E-02	-1.0821E-02	7.9863E 01	-1.0825E-02	7.9901E 01	01	Ni	16		16
-7.6423E-06	5.7965E-02	-1.2625E-02	8.9872E 01	-1.2633E-02	8.9930E 01	01	Ni	17		17
6.2824E-06	-7.1348E-03	9.7877E-03	-1.4028E 01	9.7939E-03	-1.4035E 01	01	Ni	18		18
-3.0791E-06	3.8195E-02	1.0395E-02	-1.6510E 01	1.0390E-02	-1.6472E 01	01	Ni	19		19
-1.2044E-05	6.4096E-02	8.3129E-03	-9.0330E 00	8.3008E-03	-8.9689E 00	00	Ni	20		20
-9.0568E-06	5.4272E-02	4.9661E-03	2.3217E 00	4.9570E-03	2.3760E 00	00	Ni	21		21
-7.9990E-06	5.0974E-02	3.3108E-03	7.3267E 00	3.3028E-03	7.3777E 00	00	Ni	22		22
-6.8493E-06	4.7952E-02	1.8086E-03	1.1450E 01	1.8017E-03	1.1498E 01	01	Ni	23		23
2.7103E-06	2.5290E-02	1.5650E-03	1.2016E 01	1.5677E-03	1.2041E 01	01	Ni	24		24
1.1088E-05	7.6939E-03	1.0546E-03	1.3075E 01	1.0557E-03	1.3082E 01	01	Ni	25		25
1.4022E-05	1.9620E-03	8.0351E-04	1.3568E 01	8.1753E-04	1.3570E 01	01	Ni	26		26
2.2319E-05	-1.2572E-02	7.2476E-04	1.3653E 01	7.7708E-04	1.3640E 01	01	Ni	27		27
1.2550E-05	2.6190E-03	6.4871E-04	1.3814E 01	6.6126E-04	1.3817E 01	01	Ni	28		28
-2.0317E-06	2.4032E-02	4.0951E-04	1.4167E 01	4.0748E-04	1.4191E 01	01	Ni	29		29
-5.8369E-06	2.8810E-02	-3.2513E-04	1.5088E 01	-3.3097E-04	1.5117E 01	01	Ni	30		30
-8.1694E-06	3.1372E-02	-5.7295E-04	1.5360E 01	-5.8112E-04	1.5391E 01	01	Ni	31		31
-1.3260E-05	3.6329E-02	-1.3847E-03	1.6145E 01	-1.3979E-03	1.6182E 01	01	Ni	32		32
-1.5233E-05	3.8049E-02	-2.0372E-03	1.6724E 01	-2.0524E-03	1.6759E 01	01	Ni	33		33
-1.7665E-05	3.9974E-02	-3.3608E-03	1.7775E 01	-3.3784E-03	1.7815E 01	01	Ni	34		34
-2.1014E-05	4.2355E-02	-4.1451E-03	1.8331E 01	-4.1661E-03	1.8373E 01	01	Ni	35		35
-2.5418E-05	4.5136E-02	-4.4706E-03	1.8543E 01	-4.4961E-03	1.8588E 01	01	Ni	36		36
-3.1515E-05	4.8446E-02	-4.2986E-03	1.8449E 01	-4.3301E-03	1.8498E 01	01	Ni	37		37
-4.0705E-05	5.2823E-02	-3.2558E-03	1.7964E 01	-3.2965E-03	1.8017E 01	01	Ni	38		38
-5.5451E-05	5.8580E-02	-1.7888E-03	1.7384E 01	-1.8442E-03	1.7443E 01	01	Ni	39		39
-8.1900E-05	6.6745E-02	-1.3532E-03	1.7240E 01	-1.4351E-03	1.7307E 01	01	Ni	40		40
-1.1804E-04	7.5335E-02	-1.3841E-03	1.7246E 01	-1.5022E-03	1.7321E 01	01	Ni	41		41
-1.6153E-04	8.3669E-02	-1.3500E-03	1.7238E 01	-1.5116E-03	1.7321E 01	01	Ni	42		42
-2.4065E-04	9.5636E-02	-1.2188E-03	1.7219E 01	-1.4594E-03	1.7315E 01	01	Ni	43		43
-4.1518E-04	1.1494E-01	-1.2873E-03	1.7229E 01	-1.7025E-03	1.7344E 01	01	Ni	44		44
-1.0050E-03	1.5573E-01	-1.1302E-03	1.7218E 01	-2.1353E-03	1.7374E 01	01	Ni	45		45
-7.0878E-03	3.2410E-01	-7.5020E-04	1.7209E 01	-7.8380E-03	1.7533E 01	01	Ni	46		46
-1.2151E 00	3.6452E 00	2.8606E-01	1.6633E 01	-9.2899E-01	2.0278E 01	01	Ni	47		47

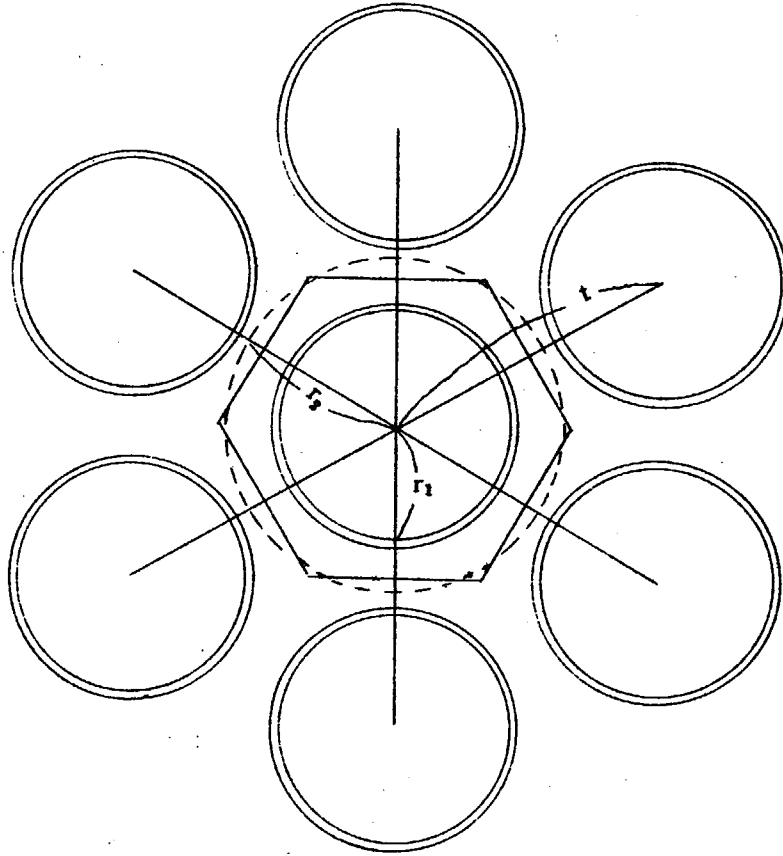
表5 PRES DRJ の出力データ (Mo)

MO	95.950n							
-1.8288E-05	6.255E-01	6.5569E-05	5.6895E-00	4.7281E-05	6.3150E-00	00MO	1	
-2.0027E-05	7.2342E-01	6.922E-05	5.6837E-00	4.5894E-05	6.3425E-00	00MO	2	
-2.3607E-05	8.20009E-01	6.9875E-05	5.6123E-00	4.6268E-05	6.3357E-00	00MO	3	
-2.8179E-05	8.9360E-01	7.4397E-05	5.5364E-00	4.6218E-05	6.3365E-00	00MO	4	
-3.4217E-05	1.0076E-00	7.8032E-05	5.4796E-00	4.3814E-05	6.3732E-00	00MO	5	
-4.2240E-05	1.1489E-00	8.3145E-05	5.4072E-00	4.0903E-05	6.4148E-00	00MO	6	
-5.3174E-05	1.3292E-00	9.0237E-05	5.3155E-00	3.7063E-05	6.4644E-00	00MO	7	
-6.8661E-05	1.4611E-00	9.8924E-05	5.2154E-00	3.0163E-05	6.5446E-00	00MO	8	
-8.1155E-05	1.5084E-00	1.0753E-04	5.1243E-00	2.6378E-05	6.5854E-00	00MO	9	
-8.6110E-05	1.6504E-00	1.1561E-04	5.0453E-00	2.9502E-05	6.5537E-00	00MO	10	
-1.0172E-04	1.7948E-00	1.3501E-04	4.8696E-00	3.3294E-05	6.5200E-00	00MO	11	
-1.1875E-04	1.9135E-00	1.4664E-04	4.7736E-00	2.7606E-05	6.5684E-00	00MO	12	
-1.3402E-04	2.0520E-00	1.6464E-04	4.6295E-00	3.0626E-05	6.5431E-00	00MO	13	
-1.5317E-04	2.2371E-00	1.8818E-04	4.4617E-00	3.5006E-05	6.5138E-00	00MO	14	
-1.8145E-04	2.4755E-00	2.2498E-04	4.3508E-00	2.3536E-05	6.5879E-00	00MO	15	
-1.6423E-04	2.2803E-00	1.9704E-04	4.3990E-00	3.2804E-05	6.5317E-00	00MO	16	
-1.9211E-04	2.4762E-00	2.2006E-04	4.2788E-00	2.7945E-05	6.5591E-00	00MO	17	
-2.3464E-04	2.4762E-00	2.4762E-04	4.1510E-00	1.2976E-05	6.6265E-00	00MO	18	
-1.1204E-04	1.9878E-00	1.4398E-04	4.5644E-00	3.1941E-05	6.5522E-00	00MO	19	
-1.2522E-04	2.0362E-00	1.5563E-04	4.5216E-00	3.0406E-05	6.5578E-00	00MO	20	
-1.4147E-04	2.0906E-00	1.6949E-04	4.4752E-00	2.8021E-05	6.5658E-00	00MO	21	
-1.5130E-04	2.1206E-00	1.7315E-04	4.4658E-00	2.1847E-05	6.5844E-00	00MO	22	
-1.9764E-04	2.2441E-00	2.0930E-04	4.3674E-00	1.1663E-05	6.6115E-00	00MO	23	
-3.0765E-04	2.5106E-00	2.5716E-04	4.1784E-00	-2.0490E-05	6.6890E-00	00MO	24	
-3.3728E-04	2.5740E-00	-9.1155E-04	4.6161E-00	-1.2488E-03	9.1901E-00	00MO	25	
-3.5917E-04	2.6152E-00	-2.0997E-03	8.9255E-00	-2.4589E-03	1.1541E-01	01MO	26	
-4.0585E-04	2.6969E-00	-2.4659E-03	9.5665E-00	-2.8717E-03	1.2263E-01	01MO	27	
-7.5944E-04	3.2474E-00	-2.7723E-03	1.0060E-01	-3.5318E-03	1.3308E-01	01MO	28	
-1.4790E-03	4.2933E-00	-3.0305E-03	1.0420E-01	-4.5095E-03	1.4713E-01	01MO	29	
2.1106E-03	-2.6152E-01	2.8826E-03	2.9201E-00	4.9933E-03	2.6585E-00	00MO	30	
1.5527E-03	3.3457E-01	2.7282E-03	3.0718E-00	4.2809E-03	3.4064E-00	00MO	31	
-2.3753E-02	2.4333E-01	-3.8003E-02	4.1904E-01	-6.1756E-02	6.6238E-01	01MO	32	
-3.2090E-02	2.9722E-01	-4.8312E-02	4.7069E-01	-8.0402E-02	7.6791E-01	01MO	33	
3.7928E-02	-2.5500E-01	2.7958E-01	-1.9934E-02	3.1750E-01	-2.2484E-02	02MO	34	
4.0580E-02	-2.4837E-01	5.0444E-02	-2.5027E-01	9.1024E-02	-4.9865E-01	01MO	35	
-4.5205E-02	2.9187E-01	-7.4240E-02	5.2086E-01	-1.1944E-01	8.1273E-01	01MO	36	
-1.5913E-02	9.7431E-00	-7.1278E-02	4.4960E-01	-8.7190E-02	5.4703E-01	01MO	37	
1.5405E-01	-6.0542E-01	4.0168E-01	-1.5786E-02	5.5573E-01	-2.1840E-02	02MO	38	
1.8703E-01	-5.4079E-01	7.2437E-01	-2.1214E-02	9.1140E-01	-2.6622E-02	02MO	39	
1.0982E-02	-2.0728E-00	-1.8577E-03	5.5399E-00	9.0241E-03	3.4671E-00	00MO	40	
2.9716E-03	-2.7128E-01	-4.1889E-03	6.0799E-00	-1.2174E-03	5.8087E-00	00MO	41	
-3.9951E-02	7.7105E-00	-1.1988E-02	7.5417E-00	-5.1939E-02	1.5252E-01	01MO	42	
-3.6243E-01	7.6781E-01	-2.0764E-01	5.4897E-01	-5.7007E-01	1.3168E-02	02MO	43	
-3.0064E-01	7.7121E-01	-1.4828E-02	6.4382E-00	-1.7835E-02	7.2094E-00	00MO	44	
-8.4504E-01	6.2787E-01	-7.6664E-01	5.9832E-01	-1.6117E-00	1.2262E-02	02MO	45	
1.1252E-03	6.4115E-01	-9.7463E-03	4.9960E-00	-8.6212E-03	5.6372E-00	00MO	46	
-3.7918E-01	1.6605E-00	2.0329E-03	4.9985E-00	-3.7715E-01	6.6591E-00	00MO	47	

a_e b_c a_e b_e a_t b_t block no.

5. 計算体系と組成

計算体系は2領域六方格子又は1領域均質系のいずれかを選べるようになっている。六方格子では燃料体の半径 r_1 とピッチ t とを cm 単位で与える。



ピンの中心点と、隣接する6本のピンの中心点を結ぶ6つの線分の、それぞれの垂直二等分線のできる正六角形を単位のセルとし、 r_1 以内を第1領域 (fuel)、正六角形を等しい面積の円 (点線) で置きかえて、その円内の第1領域を除いた部分を第2領域 (moderator) とする。被覆管の素材である Fe などと、被覆管の外側をみたす Na の密度は、第2領域全体 (被覆管と燃料ペレットとの間のうすい空隙、被覆管、Na の部分) で均質なものとして、"smear" した値を入力する。被覆管の外側半径と内側半径をそれぞれ r_0, r_1 としよう。

$$\text{セル半径} \quad r_2 = \sqrt{\frac{\sqrt{3}}{2\pi}} \cdot t$$

$$\text{第1領域面積} \quad V_1 = \pi r_1^2$$

$$\text{セル面積} \quad V_1 + V_2 = \pi r_2^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} t^2$$

$$\text{第2領域面積} \quad V_2 = \pi (r_2^2 - r_1^2)$$

$$\text{第1領域体積比} \quad VR_1 = V_1 / (V_1 + V_2) = r_1^2 / r_2^2$$

である。Fe 等と Na の密度は V_2 の中で smear して次のような体積比を掛けてから入力すれ

ばよい。

$$VR_{Fe} = (r_0^2 - r_1^2) / (r_2^2 - r_1^2)$$

$$VR_{Na} = (r_2^2 - r_0^2) / (r_2^2 - r_1^2)$$

6. カードによる入力データ

第2章で述べたように "tabulated" material (重い核) の断面積はテープで入力され、第3,4章の "analytic", "interpolated" material の断面積はカードで入力される。これら以外のパラメータは主として、キー・ワードに従って free-format で入力される。free-format で入力される。free-format 入力を扱うサブルーチン BINPUT は付録に FORTRAN リストを載せてある。SDRC は比較的長い計算時間を要するので (第11章)、1回の Run で1ケースしか扱わない。以下に入力カードを順を追って説明する。

* 1. Na のデータ (6E12.8)

① 第3章で示したような 31 エネルギー区間の各々の上限エネルギー (MeV 単位)

② 各区间での σ_c の勾配 a_c

③ 各区间での σ_c の切片 b_c

④ 各区间での σ_c の勾配 a_c

⑤ 各区间での σ_c の切片 b_c

①~⑤が各6枚で Na のデータは計30枚である。

* 2. BINPUT で用いるキー・ワード (12(A4,2X)) (2枚)

キー・ワードは50まで定義しうるが、最初の18ワードを2枚のカードで与える。初めの4文字だけがキー・ワードになる。括弧内は機能の説明である。

① MATerial (組成番号の定義)

② TABUlated

③ INTErpolated

④ ANALitic

(組成内の核種の種類を定義)

⑤ SPATial distribution (組成の密度を各領域に対して与える。密度のデータのワード数で、均質系が2領域六方格子かの区別がなされる。)

⑥ ALPHa (組成に対して $\alpha = \left(\frac{A-1}{A+1}\right)^2$ の値を別途に与える。)

⑦ LIBRary (library data としてのエネルギー・メッシュ構造と interpolated material のデータを与える。)

⑧ MODI fication (不使用)

⑨ ADDI tion (不使用)

⑩ VOLUme (r_1 と t を入力する。均質のときは 1. を入れる。)

⑪ STARt at wedge... finish at... (計算する wedge の区間を指定)

⑫ NTAPes (テープでデータを与える tabulated material の数)

⑬ GROU p boundaries (出力 Editing の群の境界)

⑭ ENDData (すべてのデータ・カードの終りを指示)

⑮ SOURce (計算を開始するエネルギー点へ落ちてくる、上のエネルギーか

- らの源を与える)
- ⑯ RECIpe (不使用)
- ⑰ TOLerance (収束判定条件 ϵ_1 を与える。 ϵ_1 は一応入力しなければならないが、現在はコード内では使用しない)
- ⑱ NANY (analytic material の数を与える。)

3. ライブラリー・データ

- ① (free-format) 'LIBRARY' (キー・ワードのみ) (1枚)

free-format は col.1~72 のどこにパンチしてもよい。又英字だけのキー・ワードは文字の途中でblank・コラムがあってもよい。

- ② ライブラリー・データのタイトル (1枚)

col.1に1をパンチし、col.2~72に任意の文章を書く。

- ③ (2I6)

ライブラリー・データとして与える interpolated material の数 (≤ 6) とエネルギー・ブロック (第1章参照) の数 (=47)

- ④ (E11.4, 5E12.4) (16枚)

各ブロックの上限エネルギー E_U とメッシュ巾 ΔE (いずれも eV 単位) を第1ブロックから順に与える。(第1章)

($E_U(I), \Delta E(I), I=1,47$)

次の⑤と⑥は interpolated material の数だけ⑤, ⑥の順を繰り返して入力する。

(PRES DRJのアウトプットそのまま)

- ⑤ (A4, 2X, F12.4) (1枚)

interpolated material の名前と原子量

元素名は col.1~4 の左へつめる。最初が英字ならあとは数字を含んでもよい。間にblankをはさんではいけない。この元素名は21番目以降のキー・ワードとなる。

- ⑥ (6E12.4) (47枚)

interpolated material の、各ブロック内で $\sigma_c, \sigma_e, \sigma_t$ に fit した直線の勾配と切片

($a_c(I), b_c(I), a_e(I), b_e(I), a_t(I), b_t(I), I=1,47$)

ここまでのデータ (#1~#3) のカードは一応出来ているので、実際にSDRCを用いるときは次の#4以下のカードを準備して、#3までのカードのうしろに付けばよい。

4. 此の problem のタイトル (1枚)

col.1-1

col.2~72-任意

5. 以下はすべて free-format で与える。

5. tabulated material の指定

- ① 'NTAPES' NTAP (1枚)

キー・ワード NTAPES から少くとも1blank以上あけて NTAP (tabulated material の数, $1 \leq NTAP \leq 4$) をパンチする。やはり有効なコラムは1~72の間である。

② (NTAP 枚)

- 各 tabulated material の元素名
- 原子量
- 1st excited level のエネルギー (eV)
- 2nd excited level のエネルギー (eV)

を1枚のカードへパンチする。順番が合っていて col.1~72 の間へパンチするならどこへパンチしてもよい。但し各ワードの間は少なくとも1ブランクあける。

元素名は第47番目以降のキー・ワードとなる。U235 のように第2字以降に数字を入れてもよい。この場合数字(2,3,5)の前にブランクを入れてはいけない。キー・ワードとして識別されるのは初めの四文字だから、PU240, PU241 のように書くと同一視されて区別がつかなくなる。非弾性散乱はいつものところデータに含まれていないので励起レベルは 20.633^{keV} より大きい値を入れておけばよい(たとえば, 50000^{eV} , 100000^{eV} のように)。

6. analytic material の指定 (現在はこれは Na だけであり, Na を用いなければ # 6 のカードは不必要である。)

① 'NANY' NANY (1枚)

キー・ワード NANY と, analytic material の数 NANY (=1)

② (NANY 枚)

- 各 analytic material の元素名
- 原子量

元素名は第41番目以降のキー・ワードとなる。

7. 各組成の定義

①~⑤のカードを各組成毎に繰返して入力する。組成は10まで定義できる。重い核, Na, 軽い核の順に入力する。

① 'MATERIAL' 組成番号 (1枚)

② 'TABULATED', 'ANALYTIC' 又は 'INTERPOLATED' (1枚)

組成を構成する元素の種類 (tabulated 又は analytic の場合は1組成1核種とする。)

③ '元素名' とこの組成内の元素比 a (元素毎に1枚づつ)

interpolated material で原子量の値の近いものを2つ以上まとめて1組成とすることが出来る。このときこの組成の α の値はコード内で,

$$\alpha = 1 - \frac{\sum_m a_m}{\sum_m \frac{(A_m + 1)^2}{4A_m} a_m}$$

となる。

④ 'SPATIAL DISTRIBUTION' と各領域での密度 (1枚)

2領域の場合, 密度のいずれかが0.でも必ず2ワードパンチする。

⑤ 'ALPHA' α (1枚)

③で計算された α でなく別の値を強制したい場合にのみ⑤を入力する。

8. 体系の決定

'VOLUMES' r_1 t (1枚)

均質系では, $r_1=1$. とし t はパンチしない。

9. 出力データの群の境界 (eV) (1枚以上)

'GROUP BOUNDARIES' と境界でのエネルギー (eV) 境界の値は 50 ワードまで入れることができる。2枚以上のカードが必要なときは, 最後の1枚を除く他のカードの col.72 又はそれより左のカラムに \$(\yen)\$ をパンチして, カードが後に続くことを BIN-PUT へ知らせる。

最初の群の上限エネルギーは, 計算開始の wedge (#11) の上限エネルギーが用いられるので, 入力には各群の下限エネルギーだけでよい。各群で, 積分された reaction rate や平均断面積がプリントされる。

10. 最初のエネルギー点へ入ってくる減速中性子源

'SOURCE' q_1 (q_2) (1枚)

11. 計算を行う最初と最後の wedge 番号

'START AT WEDGE' NUP 'FINISH AT' NLO (1枚)

$1 \leq NUP \leq NLO \leq 466$

減速による源を正確に取り入れるためには, # 9 で与える最初のエネルギー点より E/α 以上高い wedge から計算を始めることが必要である。

12. 収束判定条件

'TOLERANCE' ϵ_1 (1枚)

減速方程式を反復法で解く際の収束判定条件である。SDRC では領域の数は高々 2 なので, 直接法で解くように改良したため (第 9 章) ϵ_1 は不必要になったが, # 12. の入力を省くと, ϵ_1 に計算機にその時点まで入っていた任意の値が残ってしまい, 各 wedge で ϵ_1 の値を修正するステートメントが残っているので, アンダーフローやオーバーフローが起ることがある。従って ϵ_1 に 10^{-5} 位の値を形式的に入れる必要がある。

13. last card

'ENDDATA' (1枚)

次ページ以下に # 4 ~ # 13 の入力カードの例として, 2 領域六方格子系と均質系の場合を示す。

```

1 JOYO 1ST LOADING DEC. 22ND 1970
  NTAPES 4
    U235 235.1170 50000. 100000.
    U238 238.1249 50000. 100000.
    P239 239.1265 50000. 100000.
    P240 240.1286 50000. 100000.
  MANY 1
    NA 22.997053
  MATERIAL 1
    TABULATED
    U235 1.
    SPATIAL DISTRIBUTION 0.00438617 0.
  MATERIAL 2
    TABULATED
    U238 1.
    SPATIAL DISTRIBUTION 0.01468415 0.
  MATERIAL 3
    TABULATED
    P239 1.
    SPATIAL DISTRIBUTION 0.00311596 0.
  MATERIAL 4
    TABULATED
    P240 1.
    SPATIAL DISTRIBUTION 0.00103865 0.
  MATERIAL 5
    ANALYTIC
    NA 1.
    SPATIAL DISTRIBUTION 0. 0.01688659
  MATERIAL 6
    INTERPOLATED
    O 1.
    SPATIAL DISTRIBUTION 0.04598536 0.
  MATERIAL 7
    INTERPOLATED
    CR 1.
    SPATIAL DISTRIBUTION 0. 0.00434234
  MATERIAL 8
    INTERPOLATED
    FE 1.
    SPATIAL DISTRIBUTION 0. 0.01415323
  MATERIAL 9
    INTERPOLATED
    NI 1.
    SPATIAL DISTRIBUTION 0. 0.00243038
  MATERIAL 10
    INTERPOLATED
    MO 1.
    SPATIAL DISTRIBUTION 0. 0.00030971
  VOLUMES 0.275 0.76
  GROUP BOUNDARIES 5980. 4450. 3600. 2780. 2150. 1660. 1290. *
    1000. 773. 598. 465. 360. 278.
  SOURCE 1. 1.
  START AT WEDGE 141 FINISH AT 395
  TOLERANCE 0.00001
  ENDDATA

```

1 JOYO 1ST LOADING (HOMOGENIZED) DEC. 22ND 1970

NTAPES 4
 U235 235.1170 50000. 100000.
 U238 238.1249 50000. 100000.
 P239 239.1265 50000. 100000.
 P240 240.1286 50000. 100000.

NANY 1
 NA 22.997053.

MATERIAL 1
 TABULATED
 U235 1.
 SPATIAL DISTRIBUTION 0.00208326

MATERIAL 2
 TABULATED
 U238 1.
 SPATIAL DISTRIBUTION 0.00697439

MATERIAL 3
 TABULATED
 P239 1.
 SPATIAL DISTRIBUTION 0.00147996

MATERIAL 4
 TABULATED
 P240 1.
 SPATIAL DISTRIBUTION 0.00049332

MATERIAL 5
 ANALYTIC
 NA 1.
 SPATIAL DISTRIBUTION 0.00886613

MATERIAL 6
 INTERPOLATED
 O 1.
 SPATIAL DISTRIBUTION 0.02184123

MATERIAL 7
 INTERPOLATED
 CR 1.
 SPATIAL DISTRIBUTION 0.00227990

MATERIAL 8
 INTERPOLATED
 FE 1.
 SPATIAL DISTRIBUTION 0.00743101

MATERIAL 9
 INTERPOLATED
 NI 1.
 SPATIAL DISTRIBUTION 0.00127605

MATERIAL 10
 INTERPOLATED
 MO 1.
 SPATIAL DISTRIBUTION 0.00016261

VOLUMES 1.
 GROUP BOUNDARIES 5980. 4650. 3600. 2780. 2150. 1660. 1290. *
 1000. 773. 598. 465. 360. 278.

SOURCE 1.
 START AT WEDGE 141 FINISH AT 395
 TOLERANCE 0.00001
 ENDDATA

7. 衝突確率

2領域六方格子系の衝突確率は Bonalumi の方法⁽⁵⁾により求められた。その際必要なダンコフ補正 G_m には, Sauer の近似式^{(6),(7)}を Bonalumi が修正したものを⁽⁸⁾を用いた。

$$\begin{aligned} \bar{l}_2 &= 2V_2 / \pi r_1 \\ \tau &= (t - 2r_1) / \bar{l}_2 \\ r_1 &= \tau + \Sigma_{t2} \bar{l}_2 / (7 + 2.125 \Sigma_{t2} \bar{l}_2) \end{aligned}$$

とにおいて,

$$G_m = 1 - e^{-\tau \Sigma_{t2} \bar{l}_2} / \{ 1 + (1 - r_1) \Sigma_{t2} \bar{l}_2 \}$$

$$G_f = 2r_1 \Sigma_{t1} \{ 1 - P_c(\Sigma_{t1} r_1) \}$$

を与え,

$$p_{12} = \{ 1 - P_c(\Sigma_{t1} r_1) \} G_m / \{ 1 - (1 - G_m)(1 - G_f) \}$$

$$p_{11} = 1 - p_{12}$$

$$p_{21} = \frac{\Sigma_{t1} V_1}{\Sigma_{t2} V_2} p_{12}$$

$$p_{22} = 1 - p_{21}$$

として求める。ここで、 $P_c(x)$ は単一な無限円柱の“もれない確率”で、 $C_{ASE}, et al.$ ⁽⁹⁾ の表から内挿して求める関数型サブ・プログラム PC ⁽¹⁰⁾ を用いて計算される。此の計算は超微細群の各々について行われるので、計算時間はできるだけ小さくする必要がある。そのために G_m の式における e^{-x} と、 $P_c(x)$ の $x < 0.1$ のときの展開式

$$\frac{4}{3}x - \frac{1}{2}x^2 \log \frac{2}{x} - \frac{1}{2}x^2 \left(\frac{5}{4} - r \right)$$

における自然対数 $\log x$ はテーブル化しておいて内挿するようにした。即ち e^{-x} の $0 \leq x \leq 1$, $\log x$ の $1 \leq x \leq e$ の区間をそれぞれ 1000 の区間に分け、1001 点について EXP, ALOG を使って計算し、次に2区間づつまとめて、そのなかで放物線の内挿するための係数を500組準備しておき、 e^{-x} では x の小数部分、 $\log x$ では $\log x$ の小数部分を簡単に求めることが出来るようにした。

8. 減速による源の計算

SDRC では減速による源は弾性散乱によるもののみを扱う。各核種による源は

$$S(E) = \int_E^{E/\alpha} \phi(E') \Sigma_s(E') \frac{dE'}{1-\alpha}$$

で与えられるから、第1章で示したようなエネルギー・メッシュの $E_{n+1} < E \leq E_n$ の区間へ落ちてくる源は

$$S_n = \sum_{j=m}^n \frac{\sum_{s_j} \phi_j \Delta_j}{E_j(1-\alpha)} \delta_n^j$$

である。ここで、

$$E_m = \max_j \{ E_j \mid E_j < E_n/\alpha \}$$

$$\Delta_j = E_j - E_{j+1}$$

$$\delta_n^j = \begin{cases} \min\{(E_n - \alpha E_j), \Delta_n\} & E_n \geq \alpha E_j \\ 0 & E_n < \alpha E_j \end{cases}$$

S_n は各群、各核種について計算されるので、計算時間の節約のため漸化式を用いることにする。⁽¹⁾ S_n の式から、

$$\frac{S_{n+1}}{\Delta_{n+1}} - \frac{S_n}{\Delta_n} = \sum_{j=m}^n \frac{\sum_{s_j} \phi_j \Delta_j}{E_j(1-\alpha)} \left(\frac{\delta_{n+1}^j}{\Delta_{n+1}} - \frac{\delta_n^j}{\Delta_n} \right) + \frac{\sum_{s_{n+1}} \phi_{n+1} \Delta_{n+1}}{E_{n+1}(1-\alpha)}$$

この式の右辺の括弧内の値は、 $\delta_{n+1}^j = \Delta_{n+1}$ 且つ $\delta_n^j = \Delta_n$ なる j については0であるから、 $j=m \sim n$ の和はより少い項だけの和になる筈である。先ず $A=1$ のとき(水素)は、 $\alpha=0$ であるから、すべての j と $n(j \leq n)$ で $\delta_n^j \equiv \Delta_n$ であり、

$$\frac{S_{n+1}}{\Delta_{n+1}} = \frac{S_n}{\Delta_n} + \frac{\sum_{s_{n+1}} \phi_{n+1} \Delta_{n+1}}{E_{n+1}}$$

となる。 $A \geq 7$ のとき $\alpha \geq 0.52$ であるが、 $\alpha > 0.5$ のとき、 $\alpha E_m, \alpha E_{m+1}, \alpha E_{m+2}$ は一つの区間 Δ_n に三者共に入ることはない。なぜならば、 $\alpha < 1$ だから、 $\alpha E_m \in \Delta_n$ の時、 $E_m > E_n$ であり、 $\Delta_m \geq \Delta_{m+1} \geq \Delta_n$ 。故に、

$$\alpha(E_m - E_{m+2}) > 0.5(\Delta_m + \Delta_{m+1}) \geq \Delta_{m+1} \geq \Delta_n$$

となるからである。この結果、

$$\delta_n^{m+2} = \delta_n^{m+3} = \dots = \delta_n^n = \Delta_n$$

が成立つ。 $\alpha E_{m+2} < E_{n+1}$ だから、同様にして、

$$\delta_{n+1}^{m+4} = \delta_{n+1}^{m+5} = \dots = \delta_{n+1}^{n+1} = \Delta_{n+1}$$

故に、

$$\frac{S_{n+1}}{\Delta_{n+1}} = \frac{S_n}{\Delta_n} + \sum_{j=m}^{m+3} \frac{\sum_{s_j} \phi_j \Delta_j}{E_j(1-\alpha)} \left(\frac{\delta_{n+1}^j}{\Delta_{n+1}} - \frac{\delta_n^j}{\Delta_n} \right) + \frac{\sum_{s_{n+1}} \phi_{n+1} \Delta_{n+1}}{E_{n+1}(1-\alpha)}$$

として良い。この漸化式はコード内では倍精度で扱われている。

9. 減速方程式

前章までに与られた p_{ij} と源を用いて、2領域系の減速方程式は、各エネルギー点の指標 n を右肩へ移せば、

$$\sum_{ij}^n \phi_j^n V_j = \sum_{i=1}^2 p_{ij}^n V_i (\sum_k S_{i,k}^n + Q_i^n), \quad j=1,2$$

となる。ここで k は核種、 i, j は領域の指標である。 $Q_i^n = q_i / \Delta_n$ であるが、一般に $q_i = 1$ とし最初の群のみ与える ($Q_i^n = 0, n \geq 2$)。 $S_{i,k}^n$ は前章の $\frac{S_n}{\Delta_n}$ である。

減速方程式を解く際、 n 群までの解がすでにあるとき、 $S_{i,k}^{n+1}$ は漸化式で ϕ_i^{n+1} を含む項を除く部分が求められ、それを用いて ϕ_i^{n+1} が求められる。

$$T_i^{n+1} = \sum_k \left\{ S_{i,k}^n + \sum_{\ell=m_k}^{m_k+3} \frac{\sum_{sk}^{\ell} \phi_i^{\ell} \Delta_{\ell}}{E_{\ell} (1-\alpha_k)} \left(\frac{\delta_{n+1}^{\ell}}{\Delta_{n+1}} - \frac{\delta_n^{\ell}}{\Delta_n} \right) \right\}$$

$$U_i^{n+1} = \sum_k \frac{\sum_{s,k}^{n+1} \Delta_{n+1}}{E_{n+1} (1-\alpha)}$$

とおくと、

$$\sum_{ij}^{n+1} V_j \phi_j^{n+1} = \sum_{i=1}^2 p_{ij}^{n+1} V_i (T_i^{n+1} + U_i^{n+1} \phi_i^{n+1})$$

即ち、

$$\begin{cases} (\sum_{i1}^{n+1} V_1 - p_{11}^{n+1} V_1 U_1^{n+1}) \phi_1^{n+1} - p_{21}^{n+1} V_2 U_2^{n+1} \phi_2^{n+1} = p_{11}^{n+1} V_1 T_1^{n+1} + p_{21}^{n+1} V_2 T_2^{n+1} \\ -p_{12}^{n+1} V_1 U_1^{n+1} \phi_1^{n+1} + (\sum_{i2}^{n+1} V_2 - p_{22}^{n+1} V_2 U_2^{n+1}) \phi_2^{n+1} = p_{12}^{n+1} V_1 T_1^{n+1} + p_{22}^{n+1} V_2 T_2^{n+1} \end{cases}$$

から ϕ_1^{n+1} と ϕ_2^{n+1} が求まる。(この時次の群のために $S_{i,k}^{n+1}$ も作っておく。)

$n=1$ では、 ϕ_j^1 は

$$\sum_{ij}^1 V_j \phi_j^1 - \sum_{i=1}^2 p_{ij}^1 V_i U_i^1 \phi_i^1 = \sum_{i=1}^2 p_{ij}^1 V_i Q_i^1, \quad j=1,2$$

から求める。

均質系の場合は簡単で、方程式は

$$\sum_i^n \phi_i^n = \sum_k S_k^n + Q^n$$

であるから、

$$\phi^1 = (\Sigma_1^1 - U^1)^{-1} Q^1$$

$$\phi^{n+1} = (\Sigma_i^{n+1} - U^{n+1})^{-1} T^{n+1}$$

となる。

元の SDR コードは4領域平板格子の衝突確率計算が組込まれていて、減速方程式は4元連

立方方程式になって了るので、直接に解かず反復法で ϕ_j^{n+1} を求めていたが、SDRC では2領域系か均質系だけなので、上記のように直接法で解いた。

テープやディスクの操作は時間節約のために複雑な手順が取られている。文献(4)の19ページに詳しいフロー・チャートが有るが、概略すると次のようになる。中性子束や断面積はコア・メモリーが2wedge分(512群)とっており、半分づつを交互に用いる。tabulated material のテープは、つねに今計算している次のwedgeに相当するものも予めReadしておかれる。計算された ϕ_j^n と重い核の σ_k^n は今計算しているwedgeの直前のwedgeのものも、まだコアに記憶されている。一方最初のwedgeから直前のwedgeまでの ϕ と重い核の $\sigma_{e,k}^n$ はダイレクト・アクセス方式のスクラッチ・ディスクに記憶され、 $S_{i,k}^n$ の計算に用いるために、つねに次のwedgeに於いて、 E/α へさか上って用いるwedgeのものもコアへ移されている。これらの複雑な操作の本来の目的は、補助記憶装置とコアとの間のデータのやりとりを演算と並行して行わせることにより時間の節約をはかろうということにあるが、最近では計算機使用時間は中央演算処理装置とデータ・チャンネルの使用時間に分けてアカウントされるようになっており、バッファなしの入出力もできないのであまり意味はなくなっている。しかし核種毎に α の値が異なり E/α でback referencing を行うwedgeが異なり、一方計算したwedgeの結果を連続したfileに書込むために、ダイレクト・アクセス方式のスクラッチに ϕ と重い核の σ_e を記憶させることは現在でも有用なことである。

10. 出力データ

SDRC の出力データとして次のものがプリントされる。

(1) 入力データのリスト

(a) #3の①, ③, ④, ⑤のプリント。

(b) #4~#13まではすべてプリントされる。

(2) 各wedgeでのモニタリング・プリント

(a) wedge番号, E_U , $2\Delta E$ (2倍したのは ϕ^n がnの一点おきにプリントされるから)

(b) tabulated material 毎の $\sigma_{e,k}^n$ (nは E_U のところから7点で、これは一点おきでない。)

(c) wedgeの最後の点での $S_{i,k}^{n+1}$ (次のwedgeの最初の点で $S_{i,k}^n$ として用いるもの)

(d) 最初のwedge (NUP) の計算開始時からのCPU time(秒)

(3) エネルギー一点の一点おきにプリントされるもの

(a) $\phi^n = \phi_1^n V_1 + \phi_2^n V_2$

(b) $\zeta_1^n = \phi_1^n V_1 / \phi^n$ (これは2領域の場合のみ)

(4) 入力の#9で指定された各区間(coarse group)での積分値

(a) coarse groupの番号と上限及下限エネルギー (E_U, E_L)

$$(b) \text{吸収} \quad A = \sum_{i=1}^2 V_i \sum_k \int_{E_L}^{E_U} \Sigma_{a,i,k}(E) \phi_i(E) dE$$

$$\text{散乱} \quad B = \sum_{i=1}^2 V_i \sum_k \int_0^{E_L} dE' \int_{E_L}^{E_U} dE \Sigma_{s,i,k}(E \rightarrow E') \phi_i(E)$$

源 $C = \sum_{i=1}^2 V_i \left\{ \sum_k \int_{E_U}^{E_1} dE' \phi_i(E') \int_{E_L}^{E_U} dE \Sigma_{s,i,k}(E' \rightarrow E) + q_i \right\}$
 (q_i は第 1 群の場合のみ加える)

中性子バランス (A+B)/C

(c) $\int_{E_L}^{E_U} \phi_i(E) dE$, $\int_{E_L}^{E_U} \phi_i(E) / \sqrt{E} dE$, $\int_{E_L}^{E_U} \phi_i(E) E dE$, $\int_{E_L}^{E_U} \phi_i(E) / \Sigma_{ti} dE$

が各領域毎にプリントされる。

(d)核種毎の積分値

$$\int_{E_L}^{E_U} \sigma_{x,i,k}(E) \phi_i(E) dE$$

$$x = \begin{cases} c, f, t, in1, in2, e & (k: \text{tabulated}) \\ c, t, e & (k: \text{analytic, interpolated}) \end{cases}$$

$$\int_{E_L}^{E_U'} dE' \int_{E_L}^{E_U} dE \sigma_{s,i,k}(E \rightarrow E') \phi_i(E)$$

E_U', E_L' は自群又は下の coarse group

(e)核種毎の平均断面積

$$\bar{\sigma}_{x,i,k} = \int_{E_L}^{E_U} \sigma_{x,i,k}(E) \phi_i(E) dE / \int_{E_L}^{E_U} \phi_i(E) dE$$

$$\bar{\sigma}_{s,i,k}^{g \rightarrow g'} = \int_{E_L}^{E_U'} dE' \int_{E_L}^{E_U} dE \sigma_{s,i,k}(E \rightarrow E') \phi_i(E) / \int_{E_L}^{E_U} \phi_i(E) dE$$

(f)核種毎のセル平均断面積 (2領域の場合で、しかも1核種が2領域に亘って存在することはない場合)

$$\bar{\sigma}_{x,k} = \bar{\sigma}_{x,i,k} h_i$$

$$\bar{\sigma}_{s,k}^{g \rightarrow g'} = \bar{\sigma}_{s,i,k}^{g \rightarrow g'} h_i$$

但し, $(V_1 + V_2) \int_{E_L}^{E_U} \phi_i(E) dE$

$$h_i = \frac{\int_{E_L}^{E_U} \phi_1(E) dE + V_2 \int_{E_L}^{E_U} \phi_2(E) dE}{V_1 \int_{E_L}^{E_U} \phi_1(E) dE + V_2 \int_{E_L}^{E_U} \phi_2(E) dE}$$

1.1. 計算例

第 6 章で入力例として示した非均質系と均質系の 2 つの計算例について結果を述べる。所要時間は非均質系で 24 分、均質系で 20 分であり、エネルギー範囲は 6553^{eV} から 273^{eV} までの 255 wedges である。ABBN の第 13 群から第 15 群までの範囲 ($4650^{eV} \sim 465^{eV}$)

について、 ϕ のグラフを図1に、 ζ_1 のグラフを図2~4に示す。2850^{eV}にNaの共鳴があるが ζ_1 の体積比($VR_1=0.475$)からのずれは比較的小さい。この事は、ESELEM-3⁽¹²⁾の結果と合せて、少数群で非均質系の実効断面積を求める積表示の方法($\phi_i = \phi \zeta_i$ とあらわす)の基礎となり、1次元拡散コードEXPANDA-5⁽¹⁴⁾に応用されている。断面積の平均はJAERI-fastセットの70群構造で行ったが、これからABBN群構造に更に縮約整理したものを²³⁹Puについてまとめると次のようになる。無限稀釈の値 σ_∞ はJAERI-fastセットの値、 $\bar{f}\sigma_\infty$ も同様で、EXPANDA-4⁽¹¹⁾による値である。

group (ABBN)	計算法	σ_c	σ_f	σ_e	σ_t
13 4650~2150 ^{eV}	σ_∞	2.615	2.965	11.79	17.37
	$\bar{f}\sigma_\infty$	2.488	2.872	11.59	16.95
	homo	2.437	2.800	11.54	16.78
	hetero	2.420	2.792	11.53	16.74
14 2150~1000 ^{eV}	σ_∞	3.776	4.464	11.80	20.04
	$\bar{f}\sigma_\infty$	3.559	4.059	11.63	19.25
	homo	3.590	4.114	11.68	19.38
	hetero	3.536	4.062	11.52	19.12
15 1000~465 ^{eV}	σ_∞	6.913	8.845	13.35	29.11
	$\bar{f}\sigma_\infty$	5.449	7.139	12.22	24.81
	homo	5.252	7.085	12.20	24.54
	hetero	5.201	7.012	12.10	24.32

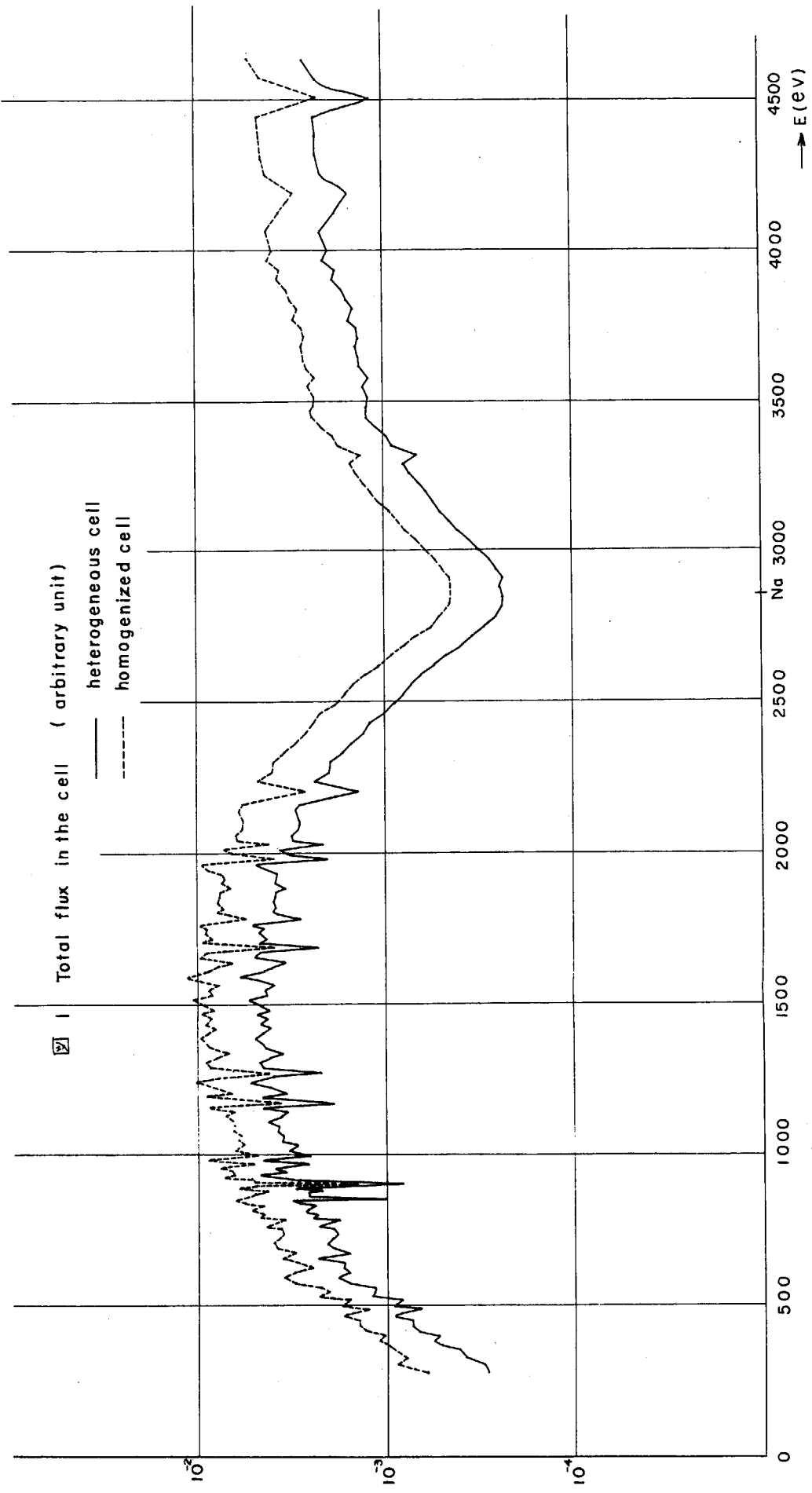


Fig. 2 ζ_1 ABBN gr.13

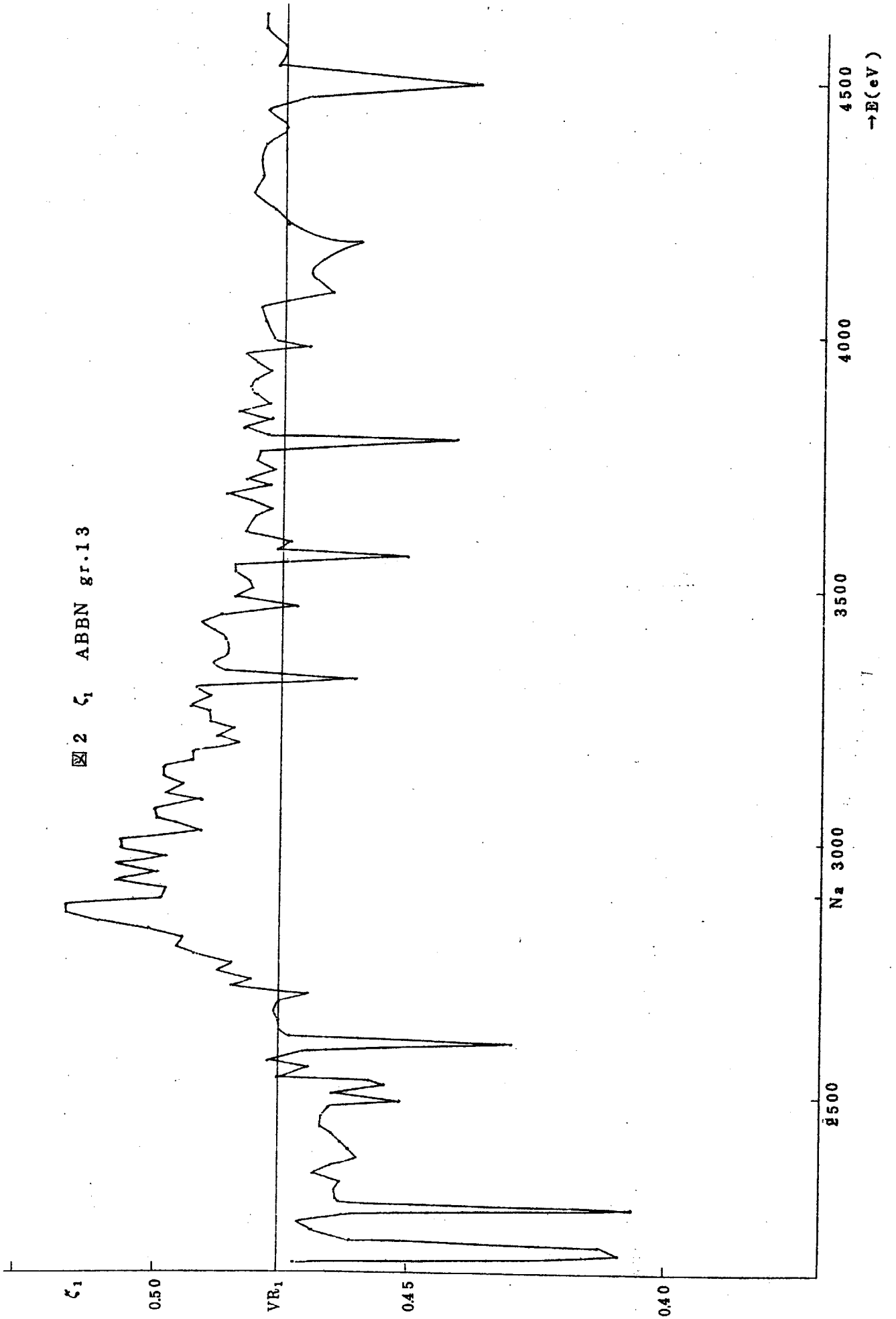


図 3 ζ_1 ABBN gr.14

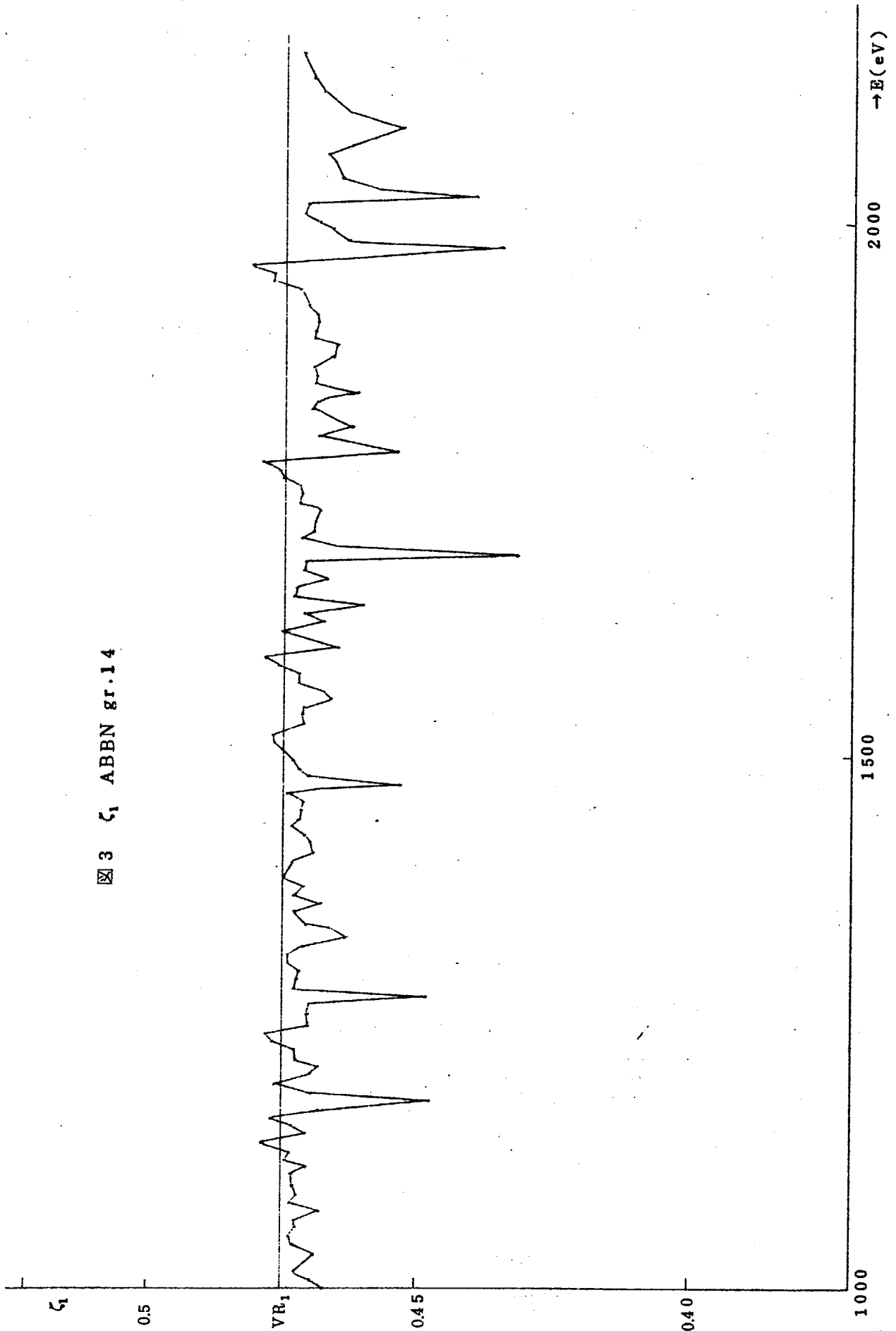
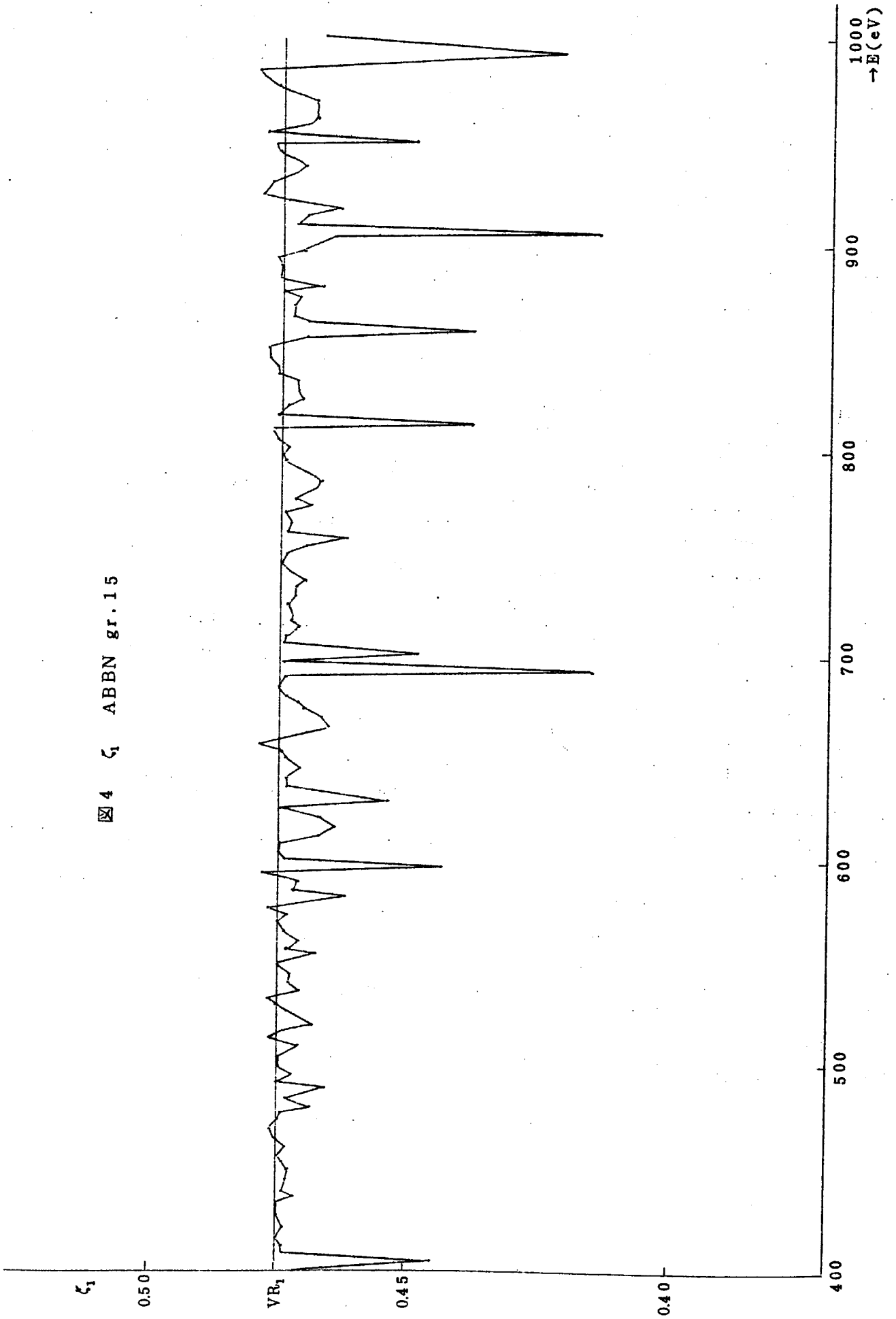


図4 ζ_1 ABBN gr.15



謝 辞

SDRC コードの作成について御指導頂いた核設計研究室の桂木学室長，有益な助言を頂いた石黒幸雄氏，MCROSSコードのアウトプット・テープの使用に際し詳しい情報を頂いた高野秀機氏に感謝します。さらに $P_c(x)$ の計算には炉物理実験研究室の土橋敬一郎氏から頂いた Fortran サブ・プログラム PC を使わせて頂きましたのであわせて謝意を表します。

文 献

- (1) Brissenden, R.J. and Durston, C. : The Calculation of Neutron Spectra in the Doppler Region, ANL-7050(1965), p51~76
- (2) Katsuragi, S., et al. : JAERI Fast Reactor Group Constants Systems Part II-1, JAERI-1199 (1970)
- (3) Katsuragi, S., et al. : JAERI Fast Reactor Group Constants Systems Part I, JAERI-1195 (1970)
- (4) Brissenden, R.J. and Durston, C. : A User's Guide to GENEX, SDR, and Related Computer Codes, AEEW-R622, (1968)
- (5) Bonalumi, R. : Neutron First Collision Probabilities in Reactor Physics, Energia Nucleare vol.8, no.5, p326 (1961)
- (6) Sauer, A. : Approximate Escape Probabilities, N.S.E. vol.16, p329 (1963)
- (7) Carlvik, I. : The Dancoff Correction in Square and Hexagonal Lattices, N.S.E. vol. 29, p325 (1967)
- (8) Bonalumi, R. : Systematic Approximations of Neutron First-Collision Probabilities, Energia nucleare vol.12, no.1, p1 (1965)
- (9) Case, K.M., et al. : Introduction to the Theory of Neutron Diffusion, Volume I, Los Alamos Scientific Laboratory (1953)
- (10) 土橋敬一郎：私信
- (11) 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)
- (12) 桂木 学：ESELEM-3 コード (未刊)
- (13) 鈴木友雄, 桂木 学：高速実験炉諸特性に対する非均質効果解析, JAERI-memo 4420 (1971) (未公開)
- (14) 鈴木友雄, 桂木 学：EXPANDA-5 コード (未刊)

付 録

BINPUT ソース・リスト

BINPUTはSDRC用のものとWIMS-C用のものでは多少異なり、SDRC用のものはキー・ワードにU238のように英字で始まる英数字もゆるされるようになっているが、WIMS-C用のものはデータに1.5E-7のようなEタイプが入力出来る。又IBM-7044, CDC-3600, IBM-360/J75, FACOM-230/60用にそれぞれ整備された。各機種共コア・メモリーの内部表現が異なるので変換にはこまかい配慮が必要である。ここではIBM-360/J75でSDRC用のものを一例として掲げる。BINPUTへの入力カードはすべて29コードでなく26コードでパンチしてあるものとして扱い、BINPUTのプログラムも26コードでパンチしてあるのでfortran parameterに'BCD'が必要である。そのような関係で文字→数値の変換はデータ・ステートメントを用いずに行った(Statement number 902~109)

