

JAERI- M

6072

Sn近似による核融合ブランケット
核特性解析

1975年3月

森山 正敏*・関 泰・前川 洋

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.

Sn 近似による核融合ブランケット核特性解析

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部

森山正敏^{*}，関 泰，前川 洋

(1 9 7 5 年 3 月 1 3 日 受 理)

Sn 近似による核融合ブランケット核特性解析の妥当性を欧米におけるベンチマークモデルの推奨値と比較することにより検証した。さらに中性子断面積のエネルギー群縮約効果をトリチウム増殖比について調べると共に、中性子東方向分割メッシュ数、中性子散乱の非等方性、空間メッシュ選択方法がブランケット核計算の精度に及ぼす影響をトリチウム増殖比に着目して検討を行った。

* 東京大学

Neutronic Calculation on Fusion Reactor Blanket
by S_n Approximation

Masatoshi MORIYAMA*, Yasushi SEKI
and Hiroshi MAEKAWA

Division of Reactor Engineering, Tokai, JAERI
(Received February 13, 1975)

Validity of the S_n approximation which is used for neutronics calculation of the fusion reactor blankets is confirmed by comparing the calculated tritium breeding ratio in the benchmark model with the recommended one.

Effects of the following on accuracy of the calculated tritium breeding ratio were studied: The number of energy groups, the number of directional mesh points in the S_n approximation, anisotropy of neutron scattering, and selection of the spatial mesh number.

* Faculty of Nuclear Engineering, Tokyo University.

目 次

1	総 言	1
2	ニュートロニクス計算法の検証	1
3	エネルギー群縮約効果の検討	3
4	中性子束方向分割メッシュ数及び散乱の非等方性の効果の検討	21
5	空間メッシュ効果の検討	24
6	結 論	27
	参考文献	28

1 緒 言

核融合炉は現在概念設計が行なわれている段階にあり、そのブランケットの設計は炉工学設計の中で重要な位置を占めている。核融合炉におけるブランケットは以下の役割を果たす。中性子の運動エネルギーを熱エネルギーに変換すると、トリチウム増殖、超電導磁石に対する遮蔽等である。

核融合炉ブランケット核設計の中心課題は、上記の役割を対応して、高エネルギー中性子の減速発熱過程の解析、トリチウム増殖比の計算、遮蔽効果の評価等を正しく行うことである。これらの解析、評価には中性子の散乱の非等方性を取り入れることのできる輸送計算コードが使用されるその代表的コードとしてANISN⁽¹⁾があげられる。

はじめに、ANISNコードがブランケット核計算を行う上で妥当であるか否かを調べる。その方法として、核融合炉ブランケットベンチマークモデル⁽²⁾について、トリチウム増殖比を計算し、その結果をベンチマーク計算の推奨値と比較し検討を行う。その後、このANISNコードを使用して、中性子断面積のエネルギー群縮約効果を調べる。100群断面積による計算を基本にして、42群、27群、および4群に縮約した断面積を使用した計算を行い結果を比較検討する。また、中性子速度ベクトルの非等方性近似と中性子散乱の非等方性が、トリチウム増殖比の計算精度に及ぼす影響を、 P_0-S_2 計算より P_5-S_{12} 計算まで行って定量的に調べる。空間メッシュの選び方がベンチマーク体系のトリチウム増殖比の計算精度に及ぼす影響についても検討する。

2 ニュートロニクス計算法の検証

1971～73年の間、アメリカおよびイギリスで、核融合炉ブランケットモデルについてベンチマーク計算が行われ、トリチウム増殖比の推奨値が提案された。⁽²⁾この節ではANISNコード⁽¹⁾を使用して、このベンチマーク計算を行い、トリチウム増殖比の計算結果と推奨値とを比較し、今回使用するANISNコードの妥当性を調べた。

2.1 ベンチマークモデルとベンチマーク計算

1972～73年にアメリカ(BNL, LASL, ORNL)およびイギリス(AERE)で核融合炉ブランケットモデルのベンチマーク計算が行われた。⁽²⁾このベンチマークモデルは、外半径3m、厚さ1mの円筒形状で、その構成をFig. 2.1に示す。中心のプラズマ領域は半径1.5mの等方、一様中性子源であると仮定している。各領域の原子数密度をTable 2.1に示す。

これらのベンチマーク計算で用いられた、Nb, ⁶Li, ⁷Li, Cの中性子断面積は、核データファイルENDF/B-III⁽³⁾より100群群定数に作成されたものである。100群のエネルギー群構造は上位99群にGAM-II構造⁽⁴⁾が使用され(Table 2.7参照)、第100群として熱中性子断面積が用いられている。

中性子束分布の計算は一次元 S_N 輸送計算コードとモンテカルロ計算コードを使用して行われている。トリチウム増殖比の推奨値を Table 2.3 に示す。 ${}^6\text{Li}(n, \alpha)t$ 反応によるトリチウム増殖比の推奨値としては ORNL と AERE のモンテカルロ計算の結果の平均値がとられ ${}^7\text{Li}(n, n'\alpha)t$ 反応によるトリチウム増殖比の推奨値はモンテカルロ計算と P_2-S_{12} 計算結果の平均値がとられている。

2.2 ANISNコードによるベンチマーク計算

ベンチマーク体系におけるトリチウム増殖比を今回使用する ANISN で計算した。

中性子群定数は DLC-2D ライブラリ⁽⁵⁾ テープから必要な核種 ${}^1\text{H}$, ${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$, Nb, C を選び (Table 2.2) 断面積処理コード RETRIEVAL⁽⁶⁾ を通すことによって ANISN 用 100 群群定数を用意した。DLC-2 ライブラリは ENDF/B ファイルより核分裂スペクトルに $1/E$ スペクトルを結合した荷重函数で GAM-II 型の 100 群群定数を作成し編集したものである。100 群エネルギー群構造を Table 2.7 に示す。

100 群でベンチマーク計算を行うためには、計算機の記憶容量の制約から、GIX (Group Independent Cross Section) コードを通して断面積を並べかえて一群ずつ計算を行った (ANISN のオプション ID2=1 を使用した)。断面積を並べかえると ${}^6\text{Li}(n, \alpha)t$, ${}^7\text{Li}(n, n'\alpha)t$ 反応の断面積を加えた。 ${}^6\text{Li}(n, \alpha)t$ 反応断面積は ENDF/B-III ファイルから SUPERTOG⁽⁶⁾ を通して 100 群群定数を作成した。しかし、 ${}^7\text{Li}(n, n'\alpha)t$ 反応断面積は SUPERTOG では出力されなかったため ENDF/B-III データファイルより直接 100 群群定数を作成した。この 2 種の断面積を Fig. 3.3, Fig. 3.4 にそれぞれ示す。また上記計算手順を Fig. 2.2 にまとめた。

上に述べた 100 群群定数を使用してベンチマーク計算を行った。ANISN を用いた計算の主要パラメータを以下に挙げる。

エネルギー群数 IGH = 100

散乱の次数 (P_L) ISCT = 3

Angular Quadrature の次数 ISN = 4

形状 (一次元円筒) IGE = 2

境界条件 左: 反射 IBL = 1

右: 真空 IBR = 0

負中性子束修正 直線外挿が負の中性子束を与えたときステップモデルを用いる

IFLU = 0

Angular Quadrature Set WANL-TMI-1967⁽⁷⁾ より採用

プラズマ領域と真空領域には計算の便宜上 ${}^1\text{H}$ を 1.0^{14} atom/cc 入れた。トリチウム増殖比の計算結果を Table 2.3 に示す。ただし領域 j における ${}^6\text{Li}(n, \alpha)t$ 反応による増殖比を $T_6(j)$, ${}^7\text{Li}(n, n'\alpha)t$ 反応による増殖比を $T_7(j)$ とする。 $T_6 = \sum_{j=1}^{10} T_6(j)$, $T_7 = \sum_{j=1}^{10} T_7(j)$ は各反応による全体系のトリチウム増殖比とする。Table 2.4 に (計算値 - 推奨値) / (推奨値) で定義された相対差を示す。表より、Steiner の推奨値に対する相対差は T_6 が 0.35%, T_7 が 0.42%, T_6, T_7 の合計では 0.38% となりよく一致している。領域ごとの相対差をみ

ると、最大で8.3%となっている。この差を生じるのは $T_6(10)$ であるが、 $T_6(6)$ 、 $T_6(7)$ 、 $T_6(8)$ に比べて一桁小さく、 T_6 に与える影響は小さい。 $T_6(10)$ を除くと $T_6(j)$ の推奨値に対する差は2.5%以下である。しかし、 $T_7(j)$ については推奨値との差が大きい。これは ${}^7\text{Li}(n, n'\alpha)t$ 断面積の違いによると考えられる。 $T_7(j)$ の差は数%あるが T_7 の差は0.4%であったため群定数の修正は行わなかった。

BNL, LASL, ORNLのベンチマーク体系についての P_3 - S_4 計算の結果をTable 25に示す。これらの計算と推奨値との差は今回の計算の差と同程度であることがわかる。また、各領域の $T_7(j)$ と $T_6(j)$ の比を比較したものがTable 2.6である。この比を正確にかけば、

$$\frac{T_7(j)}{T_6(j)} = \frac{\int_{V_j} \int \Sigma_7^j(E) \phi(r, E) dE dv}{\int_{V_j} \int \Sigma_6^j(E) \phi(r, E) dE dv}$$

となる。ここで $\Sigma_7^j(E)$ は領域 j における ${}^7\text{Li}(n, n'\alpha)t$ 反応の巨視的断面積であり、 $\Sigma_6^j(E)$ は領域 j における ${}^6\text{Li}(n, \alpha)t$ 反応の巨視的断面積である。 ${}^6\text{Li}$ 、 ${}^7\text{Li}$ の密度を考慮すれば、この比はスペクトルインデックスとなる。Table 2.6より今回の計算結果はORNLとやや似た傾向を示しているが、推奨値との差はBNL, LASL, ORNLの結果と同程度である。

以上の結果から ${}^7\text{Li}(n, n'\alpha)t$ 反応の群定数を考慮すれば、今回使用したANISNの計算結果はまず妥当であると考えられる。

Table 2.1

**Nuclide Number Densities for the Materials
of the Benchmark Blanket Model**

Zone	Constituent	Number Density
1	Isotropic Flux Source of Neutrons	—
2	Vacuum	—
3,5	Niobium	0.05556 $\times 10^{24}/\text{cc}$
4,6,8	Niobium	0.003334 $\times 10^{24}/\text{cc}$
	Lithium-6	0.003234 $\times 10^{24}/\text{cc}$
	Lithium-7	0.04038 $\times 10^{24}/\text{cc}$
7	Carbon	0.0804 $\times 10^{24}/\text{cc}$

Table 2.2

**DLC-2D Library Material Identification
Numbers for the Nuclides of Interest**

Nuclide	ID Number
Hydrogen-1	1148
Lithium-6	1115
Lithium-7	1116
Niobium-93	1164
Carbon-12	1165

Table 2.3

Calculated and Recommended Values of the Tritium Breeding Ratio

Region Number j	Calculated Value		Recommended Value	
	$T_6(j)^*$	$T_7(j)^\#$	$T_6(j)^*$	$T_7(j)^\#$
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	0.0481	0.0830	0.047	0.077
5	-	-	-	-
6	0.2919	0.2893	0.285	0.287
7	0.2365	0.1093	0.237	0.117
8	0.2818	0.0434	0.288	0.046
9	-	-	-	-
10	0.0495	0.0007	0.054	0.001
T_6 or T_7	0.9078	0.5258	0.911	0.528
T_6+T_7	1.4336		1.439	

* Breeding Ratio by ${}^6\text{Li}(n,\alpha)t$ Reaction

^\# Breeding Ratio by ${}^7\text{Li}(n,n'\alpha)t$ Reaction

Table 2.4

Relative Differences ^{*} between Tritium Breeding Ratios

Region Number (j)	Difference in $T_6(j)$	Difference in $T_7(j)$
3	-	-
4	2.34 (%)	7.79 (%)
5	-	-
6	2.42	0.80
7	-0.21	-6.58
8	-2.15	-5.65
9	-	-
10	-8.33	/
T_6 or T_7	-0.35	-0.42
T_6+T_7	-0.38 (%)	

* (Calculated Value-Recommended Value)/(Recommended Value)

Table 2.5 Comparison of P_3-S_4 Calculation

Region Number (j)	$T_6(j)$			$T_7(j)$		
	BNL*	LASL**	ORNL#	BNL	LASL	ORNL
3	-	-	-	-	-	-
4	0.0471	0.0466	0.0480	0.0815	0.0823	0.0806
5	-	-	-	-	-	-
6	0.2845	0.2790	0.2912	0.2796	0.2680	0.2812
7	0.2244	0.2230	0.2364	0.1064	0.1070	0.1098
8	0.2691	0.2770	0.2944	0.0434	0.0488	0.0458
9	-	-	-	-	-	-
10	0.0578	0.0627	0.0634	0.0008	0.0011	0.0009
Total	0.8829	0.8883	0.9334	0.5117	0.5072	0.5183

* Brookhaven National Laboratory
 ** Los Alamos Scientific Laboratory
 # Oak Ridge National Laboratory

	BNL	LASL	ORNL
Processing Code	ETOG	ETOG	SUPERTO
Weighting Function	1/E	Const.	1/E
Used Code	ANISN	DTF-4	ANISN

Table 2.6 Comparison of $T_7(j)/T_6(j)$

Region Number (j)	a)	b)	BNL	LASL	ORNL
3	-	-	-	-	-
4	1.64	1.726	1.731	1.766	1.679
5	-	-	-	-	-
6	1.01	0.991	0.983	0.964	0.966
7	0.49	0.462	0.474	0.480	0.464
8	0.16	0.154	0.161	0.176	0.136
9	-	-	-	-	-
10	0.02	0.014	0.014	0.018	0.014

a) Recommendation
 b) ANISN Used for this Calculation

Table 2.7 Energy Group Structure--GAM II 99 Groups Type

Group Number	Energy Boundary	Lethergy Width	Group Number	Energy Boundary	Lethergy Width
upper	14.918 Mev	0.1			
1	13.499		41	247.24 Kev	0.1
2	12.214		42	223.71	
3	11.052		43	202.42	
4	10.0		44	183.16	
5	9.0484		45	165.73	
6	8.1873		46	149.96	
7	7.4082		47	135.69	
8	6.7032		48	122.77	
9	6.0653		49	111.09	0.1
10	5.4881		50	86.517	0.25
11	4.9659		51	67.379	
12	4.4933		52	52.475	
13	4.0657		53	40.868	
14	3.6788		54	31.828	
15	3.3287		55	24.788	
16	3.0119		56	19.305	
17	2.7253		57	15.034	
18	2.4660		58	11.709	
19	2.2313		59	9.1188	
20	2.0190		60	7.1017	
21	1.8268		61	5.5308	
22	1.6530		62	4.3074	
23	1.4957		63	3.3546	
24	1.3534		64	2.6126	
25	1.2246		65	2.0347	
26	1.1080		66	1.5846	
27	1.0026		67	1.2341	
28	907.18 Kev		68	961.12 ev	
29	820.85		69	748.52	
30	742.74		70	582.95	0.25
31	672.06		71	454.00	0.243
32	608.10		72	353.58	0.257
33	550.23		73	275.36	0.25
34	497.87		74	214.45	
35	450.49		75	167.02	
36	407.62		76	130.07	
37	368.83		77	101.30	
38	333.73		78	78.893	
39	301.97		79	61.442	
40	273.24		80	47.851	

Energy Group Structure---Continued

Group Number	Energy Boundary	Lethergy Width	Group Number	Energy Boundary	Lethergy Width
81	37.267 ev	0.25	91	3.0590 ev	0.25
82	29.023		92	2.3924	
83	22.603		93	1.8594	
84	17.603		94	1.4450	
85	13.710		95	1.1254	
86	10.677		96	0.87542	
87	8.3153		97	0.68256	
88	6.4760		98	0.53158	
89	5.0435		99	0.41399	
90	3.9279		100	thermal	2.935

	LEFT BOUNDARY					RIGHT BOUNDARY				
DISTANCES (CM)	0.	150.	200.	200.5	203.5	209.	266.	274.	300.	
	PLASMA	VACUUM	NB	${}^7\text{Li}$ ${}^6\text{NB}$	NB		${}^6\text{Li}$ ${}^7\text{NB}$	C	${}^6\text{Li}$ ${}^7\text{NB}$	
ZONE NUMBER	1	2	3	4	5		6	7	8	
REGION NUMBER	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NUMBER OF INTERVALS	1	1	3	6	3	10	20	10	15	3
THICKNESS (CM)	150	20	0.5	3	0.5	20	20	20	30	6

Fig 2.1 Configuration of the Benchmark Blanket Model

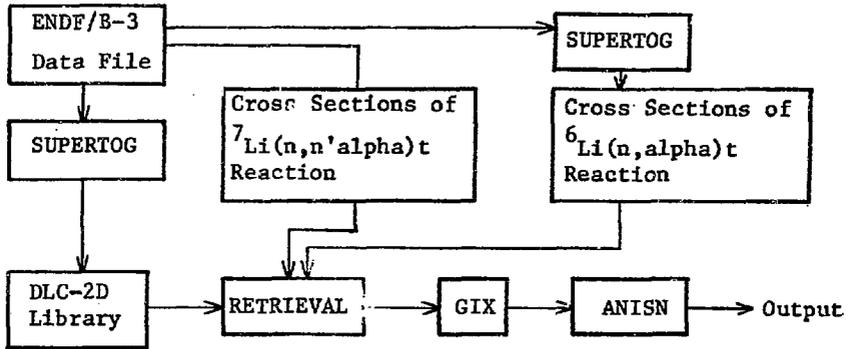


Fig. 2.2 Procedure of Benchmark Calculation

3 エネルギー群縮約効果の検討

2次元計算，3次元計算を行う場合には，計算機容量または計算時間の制約から，エネルギー群数を十分大きくとって計算できるとは限らない。概念設計の場合のように大量の計算をある程度の精度で実行しようとするときには，むしろ，少数群の計算が要求される。そのため，縮約断面積を使用して計算した場合に，計算精度がどの程度落ちるか定量的に調べておく必要がある。ここでは，前節の100群群定数を42群，27群，4群に縮約した群定数を使用した場合の縮約効果について調べた。

群定数縮約の荷重関数として，特定の関数 ($1/E$, E など) を用いる方法と，問題にしている体系のエネルギースペクトルを用いる方法とがある。前者の場合には D L C - 2 D · 1 0 0 群ライブラリより APRFX-I コードを通して群定数を作成する方法がある。後者の場合には，ANISN の縮約サブルーチンが使用できる。ここでは，後者の方法を採用した。この場合，ANISN は各領域につき，各 Material ごとに縮約群定数を出力する。

3.1 42群縮約群定数による計算

原研における C T R 概念設計及び C T R プランケット模擬実験の計算には，ENDF/B-III より $1/E$ 荷重関数を用いて作成した，42群群定数が使用されている。ここで作成した42群群定数は G A M - II のエネルギー群構造を利用し，その群構造は Table 3.1 に示す。

荷重関数として用いる中性子束の計算は P_3-S_4 で23節のベンチマーク計算と同じパラメータを使用した。ANISN の縮約サブルーチンを使用すると領域ごとに，その領域の中性子束を荷重関数とした縮約断面積が出力される。各領域で中性子束は変化しているから，異なる荷重関数で縮約していることになる。そこで， ${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$, Nb について組成が 94% ${}^6\text{Li}$ -6% Nb である領域 4, 6, 7, 8 のスペクトルのひとつで縮約した群定数を使用し，0 は領域 9 のスペクトルで縮約した群定数を使用して，ベンチマーク体系の計算を行った。その結果を Table 3.2 に示す。

表から，領域 4, 6, 7, 8 のいずれのスペクトルを用いて縮約しても，トリチウム増殖比については100群の計算と良い一致を示すことがわかる。領域 4 から領域 5, 6, 7, 8 と体系の外側へ行くに従い中性子エネルギースペクトルは軟らかくなる。Fig. 3.1 に各領域で体積積分した，100群計算の中性子束を示す。横軸はエネルギー群で表わしている。領域 4, 6, 7, 8 の体積比は 1.0 : 7.1 : 7.7 : 8.3 である。 T_6 については群定数縮約のスペクトルが領域 4, 6, 7, 8 とするに従い値が若干小さくなる傾向にある。しかし，領域 4 と 8 のスペクトルにより縮約した群定数を使用した計算の T_6 の差は 0.2% であり，ほとんど無視しうる程度であった。Fig. 3.1 を見ると，領域 8 は領域 6, 7 とは異って黒鉛領域からの反射が多く，スペクトルは軟らかくなっている。これは， ${}^6\text{Li}$ の共鳴吸収エネルギー (約 250 KeV, 第 41 群に対応する) 以下で特に顕著である。領域 4 のスペクトルで縮約した群定数を使用した計算が 100群計算と最も良く一致している。

一方 T_7 については， T_6 ほど縮約スペクトルの影響を受けていない。これは ${}^7\text{Li}(n, n'\alpha)t$

反応がおよそ 3 MeV に閾値を持ち、縮約するとき第 10 群までのエネルギー構造をほとんど変えていないこと、また、3 MeV 以上のエネルギー領域では、各領域のエネルギースペクトル、すなわち荷重関数が、ほとんど変化していないことによる。

結果として、領域 4 または領域 6 の中性子束を用いて縮約された群定数を使用すれば、トリチウム増殖比に関しては、4 2 群の計算で、0.2 % 以下の精度で 100 群計算と一致した。

トリチウム生成率分布を Fig. 3.2 に示す。領域 4 のスペクトルで縮約した結果であるが、100 群計算と比較して有意な差はなかった。

${}^6\text{Li}(n, \alpha)t$, ${}^7\text{Li}(n, n'\alpha)t$ 反応の領域 4 のスペクトルで縮約した群定数をそれぞれ Fig. 3.3, Fig. 3.4 に示す。

3.2 27群縮約群定数による計算

27 群断面積のエネルギー群構造を Table 3.3 に示すエネルギー境界は任意にとつてあるが、ABBN 26 群と比べ MeV 領域に重点をおいた。第 10 群までは 100 群と同一のエネルギー境界とした。荷重関数として使用する中性子束の計算は 4 2 群の計算のときと同様の計算を行った。計算された結果のトリチウム増殖比を Table 3.4 に示す。

各領域のスペクトルによる縮約群定数がトリチウム増殖比の計算に及ぼす影響は、 $T_6 + E_7$ についてみると領域 10 のスペクトルで縮約した場合を除き 4 2 群に縮約した場合と同じ傾向を示す。領域 10 のスペクトルによる縮約群定数を使用したときは、領域 4, 5, 7 の T_6 の値が大きく計算されている。領域 4 のスペクトルを用いて縮約したときは、100 群計算との差が 0.2 % 以下であった。 ${}^6\text{Li}(n, \alpha)t$, ${}^7\text{Li}(n, n'\alpha)t$ 反応の領域 4 での縮約群定数を Fig. 3.3, Fig. 3.4 にそれぞれ示す。

領域 4 のスペクトルで縮約した群定数によるトリチウム生成率分布の計算結果を Fig. 3.2 に示す。 ${}^7\text{Li}(n, n'\alpha)t$ 反応による生成率分布は 100 群計算と有意な差はなかった。 ${}^6\text{Li}(n, \alpha)t$ 反応による生成率分布は領域 4, 6 で 100 群計算より大きく、領域 7 で小さいが、全体としてよく一致した。

3.3 4群縮約群定数による計算

少数群近似計算の例として 4 群を選んだ。4 群のエネルギー群構造を Table 3.5 に示す。群定数縮約のための中性子束を求める計算は $P_3 - S_3$ 近似で行った。この縮約群定数を使用したベンチマーク計算の結果を Table 3.6 に示す。

4 群では 100 群計算との差は当然大きくなる。この場合でも、4 2 群、27 群に縮約した計算のときと同様領域 4 のスペクトルを用いて縮約した群定数による計算の近似が最も良かった。このとき k の値はほぼ一致し、 T_6 の差は 1 % であった。 ${}^6\text{Li}(n, \alpha)t$, ${}^7\text{Li}(n, n'\alpha)t$ 反応の領域 4 のスペクトルによる縮約群定数を Table 3.7 に示す。 ${}^7\text{Li}(n, n'\alpha)t$ 反応による生成率分布は 100 群と比べて大差ないが、 ${}^6\text{Li}(n, \alpha)t$ 反応による生成率分布は 100 群計算とかなり異なる。特に黒鉛による中性子の反射が評価されておらず、低エネルギー領域の中性子束の計算精度が悪くなっている。

3.4 群定数縮約効果の検討

ENDF/B-IIIデータから核分裂スペクトルを荷重関数として作成した100群定数DLC-2Dから42群, 27群, および4群へ縮約した群定数を使用した計算結果を調べた。1/E, E, 定数等の荷重関数を用いた縮約は行えなかったが, 適当な荷重関数を選べばトリチウム増殖比については群数を減少させても精度よく近似できることがわかった。ここで対象としたベンチマーク体系では, 領域4 (すなわちニオブ第一壁と第二壁間のLi 9.4% - Nb 6%領域) の中性子スペクトルで荷重平均した縮約群定数を使用すれば, P₃-P₄近似という同一の計算パラメータに対して, 42群, 27群では0.2%以下の差で, 4群の場合でも1%程度の差で100群のトリチウム増殖比の計算と一致した (Table 3.8 参照)。しかしトリチウム生成率分布を調べるには4群計算では粗すぎるであろう。

次に他の積分量として, 体系の中性子漏洩率を調べた。これはANISNの領域10のRight Leakageとして出力される量, すなわち1個の中性子源に対して体系からもれる中性子の割合である。この量を縮約断面積で計算した結果をTable 3.9に示す。100群の計算結果と比較すると, トリチウム増殖比の計算ほど精度は良くない。領域8での縮約断面積を使用した場合に漏洩率は最も良く保存される。縮約領域が7, 6, 4と体系の内部になるほど, 漏洩率の保存は悪くなる。体系の中性子漏洩率を少数群近似で計算するときは, 体系の外側に近い領域の比較的軟らかいスペクトルを荷重関数に使用して, 群定数を作成すると, 最も良い結果が得られると考えられる。

トリチウム増殖比は中性子束φ(r)の分布が, トリチウム生成反応の断面積を通して現われた量と考えられる。このトリチウム増殖比が縮約断面積を用いて良い精度で計算できることは, 中性子束の計算で生じている差が相殺されていることを意味する。

この節で使用した縮約断面積を作成するには100群計算ができることが前提となっている。実際にはENDF/B核データファイルより直接1/E等の荷重関数を用いて縮約断面積を作成することも多いと思われる。そのため1/E等の荷重関数によりデータファイルより直接縮約した場合の効果を検討するのが残された課題である。また, エネルギー群構造が計算結果に与える影響を調べることも必要である。

ANISNのオプションIDAT1=1を使用し, 断面積を磁気テープから入力しているが (ID2=1を使用), FACOM230-60による計算時間は100群計算でおよそ26分, 42群計算でおよそ6.5分, 27群計算でおよそ3.6分であり, 群数のほぼ2乗に比例した。

Table 3.1 Energy Group Structure--42 Groups

Group Number	Energy Boundary	100 Energy Groups	JAERI*
upper	14.918 Mev		15.0 Mev
1	13.499	1	13.720
2	12.214	2	12.549
3	11.052	3	11.478
4	10.0	4	10.500
5	9.0484	5	9.314
6	8.1873	6	8.261
7	7.4062	7	7.328
8	6.7032	8	6.500
9	6.0653	9	5.757
10	4.9659	10-11	5.099
11	4.4933	12	4.516
12	4.0657	13	4.000
13	3.3287	14-15	3.162
14	2.4660	16-18	2.500
15	1.8268	19-21	1.871
16	1.3534	22-24	1.400
17	1.0026	25-27	1.058
18	0.74274	28-30	0.800
19	0.55023	31-33	0.566
20	0.40762	34-36	0.400
21	0.27324	37-40	0.283
22	0.20242	41-43	0.200
23	0.13569	44-47	0.141
24	86.517 kev	48-50	0.100
25	40.868	51-53	46.5 Kev
26	19.305	54-56	21.5
27	9.1188	57-59	10.0
28	4.3074	60-62	4.65
29	2.0347	63-65	2.15
30	0.96112	66-68	1.00
31	0.45733	69-71	0.465
32	0.21445	72-74	0.215
33	0.10130	75-77	0.100
34	47.851 ev	78-80	46.5 ev
35	22.603	81-83	21.5
36	10.677	84-86	10.0
37	5.0435	87-89	4.65
38	1.8554	90-93	2.15
39	0.87643	94-96	1.00
40	0.53158	97-98	0.465
41	0.41399	99	0.215
42	thermal	thermal	thermal

* Energy boundary used by CTR design group in JAERI

Table 3.2

Comparison of tritium Breeding Ratios in Benchmark Calculations Using 42-Groups Cross Section

Region Number (j)		100 Groups	Spectra Used					
			1/E	Region 4	Region 6	Region 7	Region 8	
T ₆ (j)	3	-	-	-	-	-	-	
	4	0.0481	0.0471	0.0484	0.0483	0.0482	0.0482	
	5	-	-	-	-	-	-	
	6	0.2919	0.2856	0.2939	0.2936	0.2933	0.2933	
	7	0.2365	0.2308	0.2369	0.2367	0.2366	0.2366	
	8	0.2818	0.2833	0.2802	0.2797	0.2798	0.2797	
	9	-	-	-	-	-	-	
	10	0.0495	0.0583	0.0481	0.0480	0.0480	0.0480	
	T ₆		0.9078	0.9051	0.9076	0.9063	0.9059	0.9057
	T ₇ (j)	3	-	-	-	-	-	-
4		0.0830	0.0859	0.0830	0.0830	0.0830	0.0831	
5		-	-	-	-	-	-	
6		0.2893	0.3114	0.2893	0.2894	0.2894	0.2894	
7		0.1093	0.1247	0.1092	0.1093	0.1093	0.1093	
8		0.0434	0.0518	0.0434	0.0434	0.0434	0.0431	
9		-	-	-	-	-	-	
10		0.0007	0.0009	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	
T ₇		0.5258	0.5745	0.5256	0.5258	0.5259	0.5259	
T ₆ +T ₇		1.4336	1.4796	1.4332	1.4321	1.4318	1.4316	

Table 3.3 Energy Group Structure--27 Groups

Group Number	Energy Boundary	100 Energy Groups	ABBN
upper	14.918 Mev		10.5 Mev
1	13.499	1	6.5
2	12.124	2	4.0
3	11.052	3	2.5
4	10.0	4	1.4
5	9.0484	5	0.8
6	8.1873	6	0.4
7	7.4082	7	0.2
8	6.7032	8	0.1
9	6.0653	9	46.5 Kev
10	5.4881	10	21.5
11	4.4933	11-12	10.0
12	3.6788	13-14	4.65
13	3.0119	15-16	2.15
14	2.4660	17-18	1.0
15	2.0190	19-20	0.465
16	1.1080	21-26	0.215
17	0.60810	27-32	0.100
18	0.27324	33-40	46.5 ev
19	0.11109	41-49	21.5
20	40.868 Kev	50-51	10.0
21	9.1188	54-59	4.65
22	1.2341	60-67	2.15
23	0.16702	68-75	1.0
24	22.603 ev	76-83	0.465
25	3.0590	84-91	0.215
26	0.41399	92-99	thermal
27	thermal	thermal	

Table 3.4 Comparison of Tritium Breeding Ratios in Benchmark Calculations Using 27-Groups Cross Section

Region Number (j)		100 Groups	Spectra Used						
			1/E	Region 4	Region 6	Region 7	Region 8	Region 10	
T ₆ (j)	3	-	-	-	-	-	-	-	
	4	0.0481	0.0535	0.0492	0.0484	0.0478	0.0476	0.0524	
	5	-	-	-	-	-	-	-	
	6	0.2919	0.3210	0.3016	0.2976	0.2947	0.2947	0.3200	
	7	0.2365	0.2405	0.2411	0.2396	0.2384	0.2382	0.2486	
	8	0.2818	0.2553	0.2736	0.2747	0.2757	0.2757	0.2644	
	9	-	-	-	-	-	-	-	
	10	0.0495	0.0477	0.0439	0.0442	0.0447	0.0449	0.0401	
	T ₆		0.9078	0.9180	0.9093	0.9046	0.9012	0.9012	0.9255
	T ₇ (j)	3	-	-	-	-	-	-	-
4		0.0830	0.0858	0.0830	0.0830	0.0831	0.0830	0.0831	
5		-	-	-	-	-	-	-	
6		0.2893	0.3110	0.2892	0.2893	0.2894	0.2894	0.2894	
7		0.1093	0.1244	0.1093	0.1093	0.1093	0.1093	0.1093	
8		0.0434	0.0516	0.0434	0.0434	0.0434	0.0434	0.0434	
9		-	-	-	-	-	-	-	
10		0.0007	0.0009	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	
T ₇		0.5258	0.5734	0.5256	0.5258	0.5259	0.5259	0.5259	
T ₆ +T ₇		1.4336	1.4914	1.4350	1.4304	1.4271	1.4271	1.4514	

Table 3.5 Energy Group Structure--4 Groups

Group Number	Energy Range	100 Energy Groups
1	14.918 - 9.048 Mev	1-5
2	9.048 - 1.4957 Mev	6-23
3	1.4957-1.2431 Kev	24-67
4	1.2431- thermal	68-100

Table 3.6

Comparison of Tritium Breeding Ratios in Benchmark Calculations Using 4-Groups Cross Section

Region Number (j)	100 Groups	Spectra Used						
		Region 4	Region 6	Region 7	Region 8	Region 10		
T ₆ (j)	3	-	-	-	-	-		
	4	0.0481	0.0528	0.0513	0.0503	0.0513	0.0601	
	5	-	-	-	-	-	-	
	6	0.2919	0.3134	0.3040	0.2962	0.2967	0.3212	
	7	0.2365	0.2518	0.2415	0.2309	0.2182	0.2057	
	8	0.2818	0.2615	0.2469	0.2319	0.2252	0.1743	
	9	-	-	-	-	-	-	
	10	0.0495	0.0191	0.0176	0.0167	0.0228	0.0213	
	T ₆		0.9078	0.8987	0.8614	0.8260	0.8141	0.7826
	T ₇ (j)	3	-	-	-	-	-	
4		0.0830	0.0845	0.0871	0.0882	0.0882	0.0907	
5		-	-	-	-	-	-	
6		0.2893	0.2852	0.2888	0.2853	0.2796	0.2870	
7		0.1093	0.1097	0.1079	0.1027	0.0977	0.0999	
8		0.0434	0.0457	0.0439	0.0405	0.0377	0.0383	
9		-	-	-	-	-	-	
10		0.0007	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	
T ₇		0.5258	0.5258	0.5283	0.5173	0.5038	0.5163	
T ₆ + T ₇		1.4336	1.4245	1.3897	1.3333	1.3175	1.2989	

Table 3.7 Cross Sections of Tritium Production
--Reduced to 4 Groups

Group Number	$^6\text{Li}(n,\alpha)$ Reaction	$^7\text{Li}(n,n'\alpha)$ Reaction
1	0.0271 barns	0.3420 barns
2	0.1579	0.1002
3	0.8534	0.0
4	5.9706	0.0

Table 3.8 Comparison of the Tritium Breeding Ratios in Benchmark Calculations
Cross Sections were Reduced using Spectra in Region 4 as Weighting Functions

Number of Energy Groups	T_6	T_7	$T_6 + T_7$
100	0.9087	0.5258	1.4336
42	0.9076	0.5256	1.4332
27	0.9093	0.5256	1.4350
4	0.8987	0.5258	1.4245

Table 3.9 Leakage Rate of Neutrons from the System
 P_3-S_4 , 100 groups Calculation ; 4.069×10^{-2}

Number of Groups	Region of Reducing				
	4	6	7	8	10
42	4.190×10^{-2}	1.182×10^{-2}	4.155×10^{-2}	4.104×10^{-2}	3.885×10^{-2}
27 27	4.504	4.509	4.420	4.213	
44	9.509	8.672	7.495	5.051	

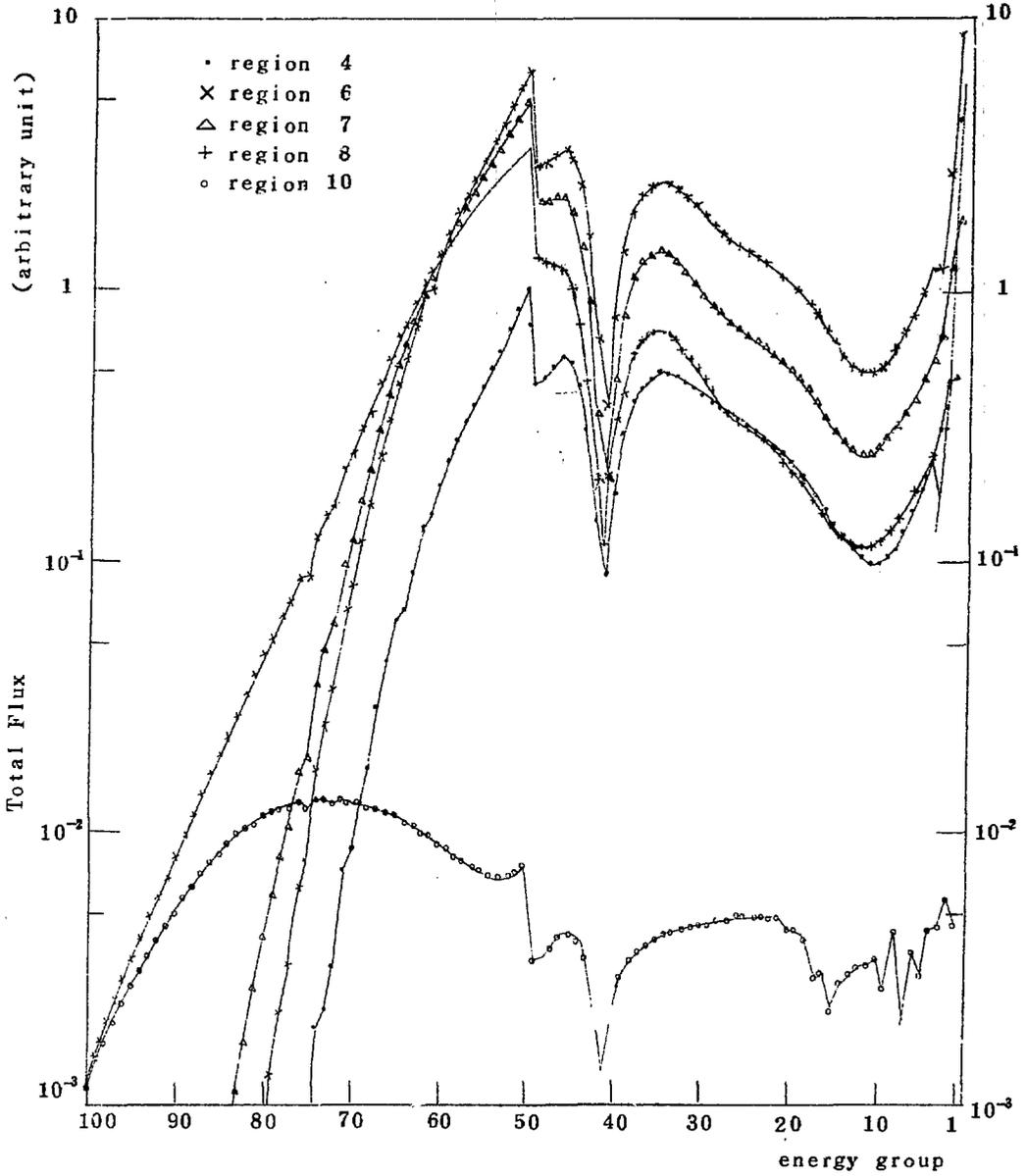


Fig. 3.1 Volume Integrated Total Flux

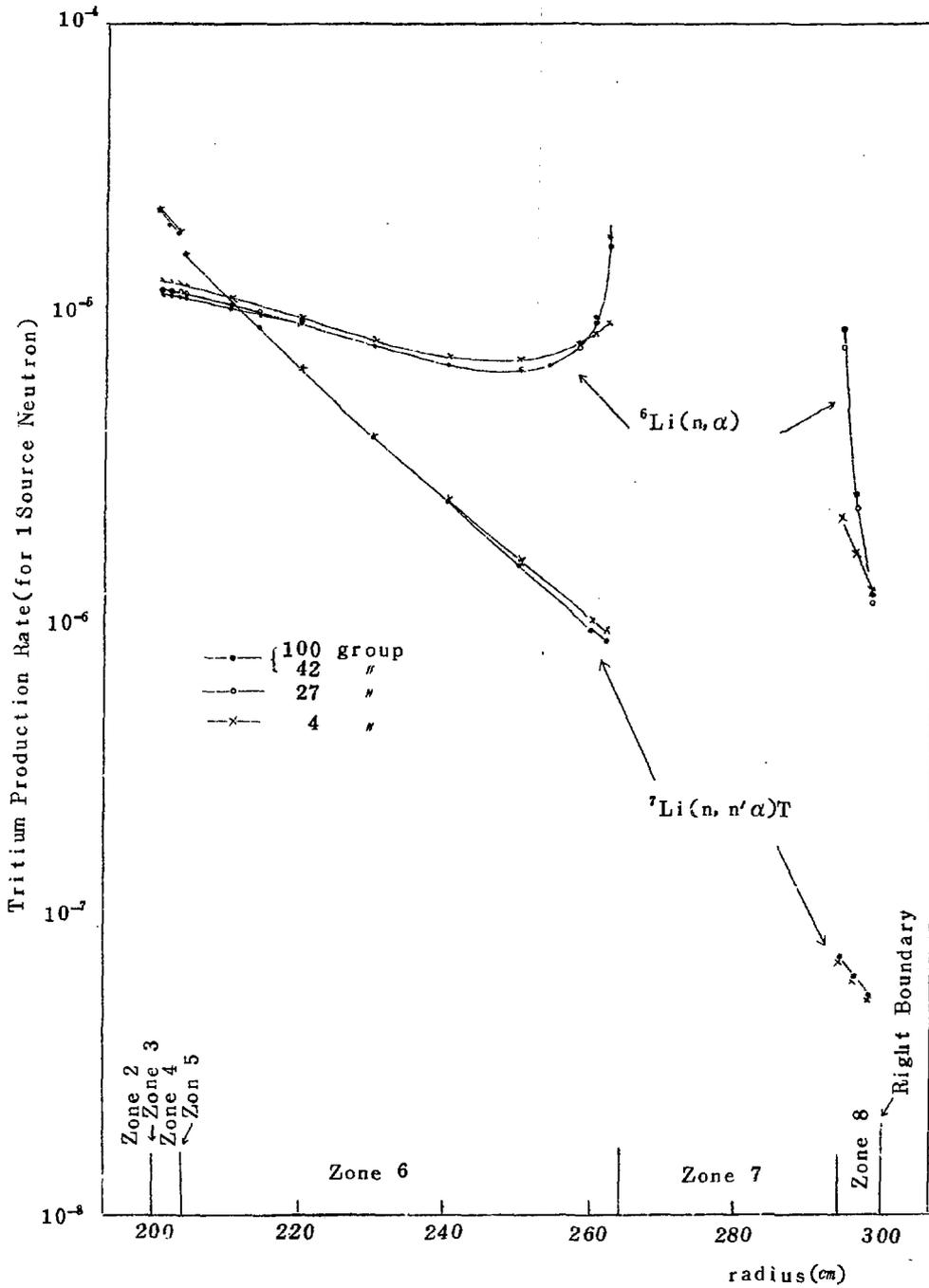


Fig. 3.2 Tritium Production Rate Distribution

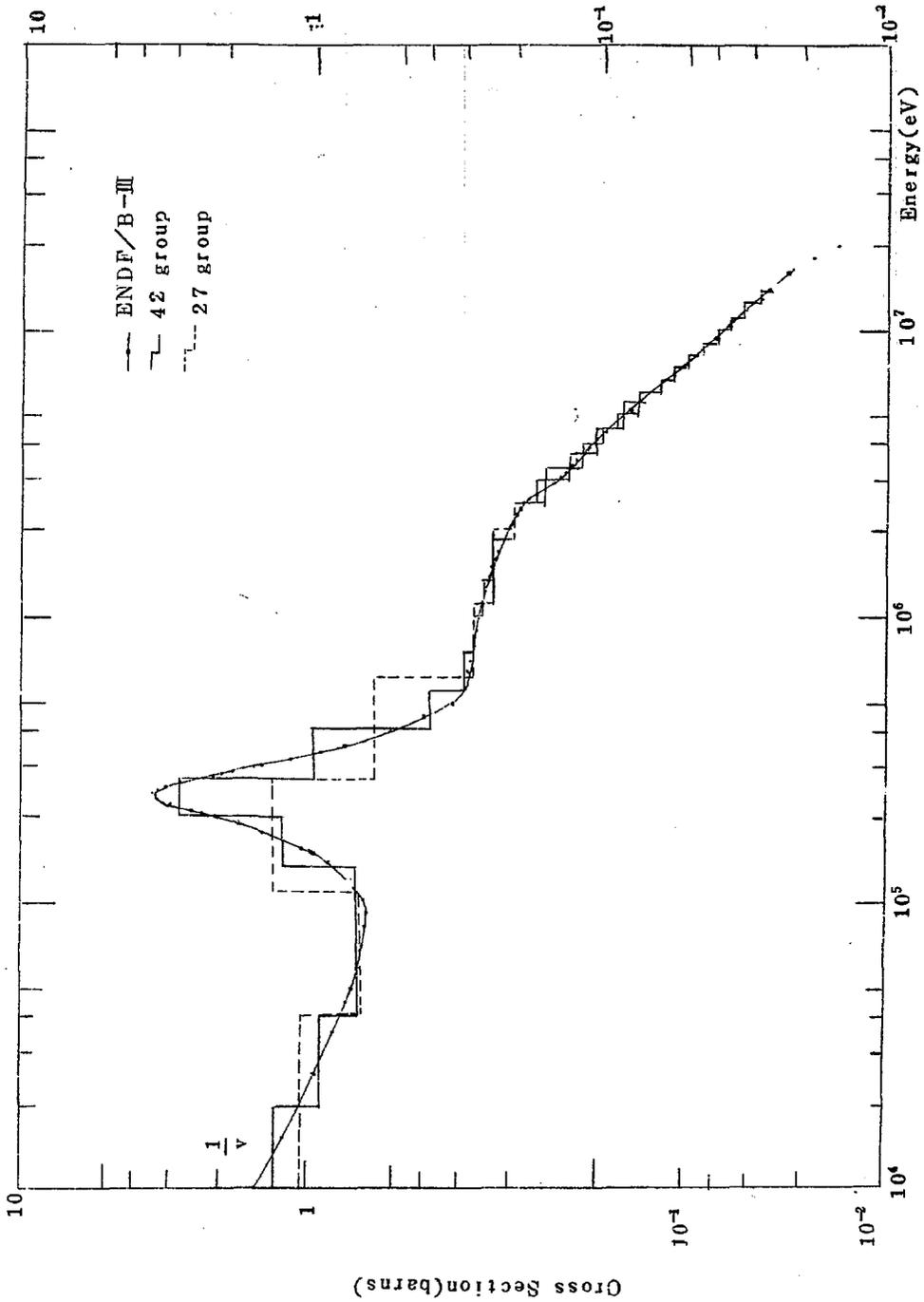


Fig. 3.3 Cross Section of ${}^6\text{Li}(n,\alpha)\text{T}$ Reaction

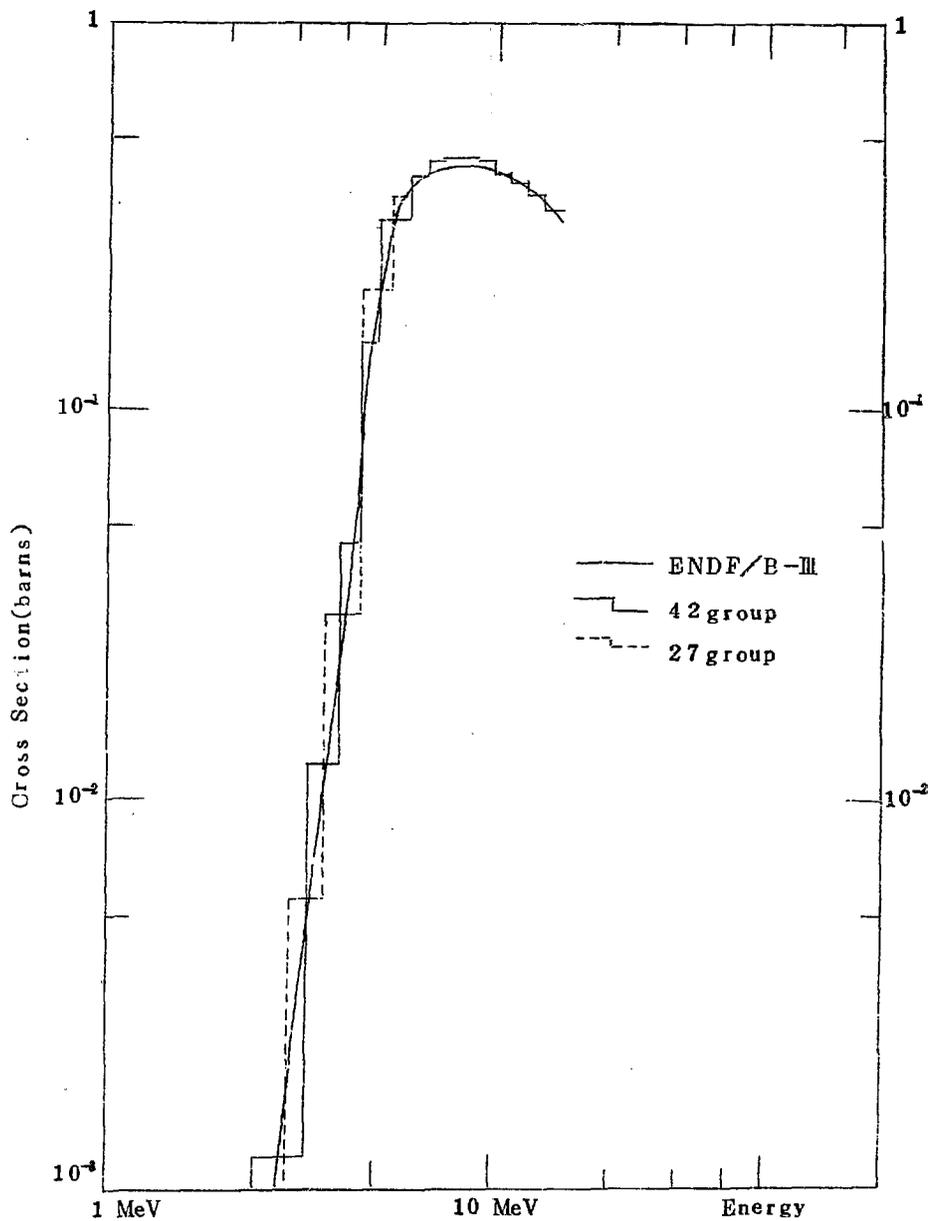


Fig. 3.4 Cross Section of ${}^7\text{Li}(n,n'\alpha)\text{T}$ Reaction

4 中性子束方向分割メッシュ数及び散乱の非等方性の効果の検討

核融合炉ブランケット内では1.4 MeVの中性子が第1壁を透過して入射してくるため、中性子速度ベクトルの方向性が強い。また中性子のエネルギーが高いため、非等方性の強い散乱が支配的となり、中性子輸送方程式を解くには $L=1$ 以上の P_L 近似で計算するのが普通である。ここでは P_L 近似の L 、すなわち中性子輸送方程式の散乱項のルジャンドル展開の項数を計算上のパラメータとして扱ったとき、計算精度へ及ぼす L の影響を調べた。同時に S_N 近似計算の方向余弦の数 N の影響も調べた。

2.2節と同じ計算を L 、 N をパラメータとして変化させて行った。Table 4.1に示す。 P_0-S_2 より P_5-S_{12} までの計算の結果、トリチウム増殖比はTable 4.2のようになった。

T_6 の値は、 L または N が大きくなるに従い、値は減少して P_5-S_{12} の値に収束して行く。一般に L 、 N を増すほど計算は正確になる。Table 4.2では L を3から5にしても T_6 のトリチウム増殖比はほとんど変化せず、 L については $L=5$ でほぼ収束しているとみなせる。しかし、 N についてはまだ収束していない。計算上の真値は1.2以上の大きな N で計算しないと求められないが、 P_5-S_{12} 近似計算の値から大きく変わることはないであろう。 T_6 の値は計算上常に過大評価されていた。 P_5-S_{12} 計算を基準として相対的差を求めたのがTable 4.3である。 P_1-S_6 または P_3-S_4 以上のパラメータを選べば0.6%以下の精度で計算できることがわかった。 N について収束していないことを考慮しても1%以下の精度で計算できるであろう。

T_7 については T_6 と逆の傾向を示す。 L または N を大きくすると、 T_7 の値は増加して収束して行く。 P_5-S_{12} 計算を基準とした相対的差をTable 4.3に示す。 P_1 計算を除けば、 T_7 の値は計算上過小評価されていた。 P_1-S_4 以上のパラメータを使用すれば1.0%以下の精度で計算できる。

Table 4.2から、 T_6+T_7 、すなわち全トリチウム増殖比の計算結果についてみると、 T_6 と T_7 の値の傾向が打消しあっているため、 P_3 以上のパラメータで計算すれば、十分精度良く求めることがわかる。これは、Table 4.3を参照すればより明らかである。

トリチウム増殖比は体系の中性子束分布がトリチウム生成反応断面積を通して表われる積分量である。 ${}^6\text{Li}(n, n'\alpha)t$ 反応断面積は3 MeV付近に閾値を持ち、また、 ${}^6\text{Li}(n, \alpha)t$ 反応断面積は250 KeV付近に共鳴のピークを持つほかは $1/v$ 特性を持つ。従って N を小さくすると T_6 が過大評価され、 T_7 が過小評価されることは、体系内で閾エネルギー以上の高エネルギー中性子束が過小評価され、低エネルギー中性子束が過大評価される傾向を持っていることを示す。しかし、過大評価、過小評価といってもトリチウム生成率分布を問題としなければ差は小さい。

体系からの中性子漏洩率について、各 P_L-S_N 計算の結果をTable 4.4に示す。Table 4.5は P_5-S_{12} 計算を基準にした相対的差を百分率で示したものである。表からわかることは、 L または N を小さくとると中性子漏洩率は過小評価されること、 L を3から5にしても大きな精度の改善はみられないことである。 P_3-S_6 以上のパラメータを選べば、0.5%以内の精度で

中性子漏洩率が求められた。

Table 4.1 Comparison Table for P_L-S_N Calculations.

P_0-S_2	P_0-S_4			
P_1-S_2	P_1-S_4	P_1-S_6	P_1-S_8	
	P_3-S_4	P_3-S_6	P_3-S_8	P_3-S_{12}
		P_5-S_6	P_5-S_8	P_5-S_{12}

Table 4.2 Comparison of Tritium Breeding Ratios.

0.9451	0.9370				<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> T_6 T_7 $T_6 + T_7$ </div>
0.5119	0.5118				
1.4570	1.4488				
0.9214	0.9109	0.9081	0.9074		
0.5396	0.5293	0.5322	0.5329		
1.4611	1.4402	1.4403	1.4404		
	0.9078	0.9044	0.9035	0.9029	
	0.5258	0.5277	0.5283	0.5293	
	1.4336	1.4321	1.4319	1.4322	
		0.9043	0.9035	0.9029	
		0.5280	0.5285	0.5295	
		1.4323	1.4320	1.4323	

Table 4.3 Comparison of Relative Difference of Tritium Breeding Ratio.

$$(P_L S_N - P_5 S_{12}) / P_5 S_{12} (\%)$$

4.69	3.79				<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> T_6 T_7 $T_6 + T_7$ </div>
-3.32	-3.34				
1.72	1.15				
2.06	0.90	0.59	0.57		
1.91	-0.04	0.51	0.64		
2.01	0.55	0.56	0.57		
	0.55	0.18	0.07	0.01	
	-0.70	-0.34	-0.23	-0.04	
	0.09	-0.01	-0.03	-0.01	
		0.17	0.07		
		-0.28	-0.19	-	
		0.00	-0.02		

Table 4.4 Comparison of Neutron Leakage Rate
($\times 10^2$ %))

1.648	2.093			
3.119	3.864	3.955	3.971	
	4.069	4.216	4.241	4.259
		4.215	4.241	4.258

Table 4.5 Comparison of Relative Differences of Neutron Leakage Rate.

$$(P_L S_N - P_S S_{12}) / P_S S_{12} \quad (\%)$$

-6.12	-5.08			
-2.69	-9.25	-7.12	-6.74	
	-4.44	-0.99	-0.40	0.02
		-1.01	-0.40	-

5 空間メッシュ効果の検討

ベンチマーク計算モデルの空間メッシュ総数は62であり、各領域のメッシュ巾は、真空領域で5.0 cm、 Na 壁領域で3.16 cm、領域4のリチウム領域で0.5 cm、領域7~10のリチウムおよび黒鉛領域で2 cmである (Fig. 2.1)。これらのメッシュ巾は各領域中の中性子の平均自由行程を考慮して選んだものと考えられる。この章では、空間メッシュの切り方がトリチウム増殖比の計算結果に及ぼす影響を調べる。

そのため空間メッシュの切り方以外の全ての計算条件を2.2節のベンチマーク計算と同じにした8通りの計算を行なった。すなわち、同一の100群中性子断面積を使用して、 P_3 - P_4 近似に基づいてベンチマーク体系のトリチウム増殖比を計算した。Table 5.1に8通りの空間メッシュの切り方を示す。Case 1はこの検討の基準としたベンチマーク計算である。プラズマ領域のメッシュ巾を細にしても計算されたトリチウム増殖比は不変であったのでプラズマ領域はこの検討では常に1メッシュとすることにした。Table 5.1においてCase 2は各領域のメッシュ数を2倍にした計算であり、Case 3は真空領域のメッシュ数だけを20倍にした計算である。Case 4は真空領域を20等分して、その他の領域のメッシュ数をベンチマーク計算の3倍にした計算であり、最もメッシュ総数が多いものである。Case 5, 6, 7はそれぞれ領域7, 8, 9のメッシュ数を4倍にしたものである。Case 8は領域8と9のメッシュ数をも4倍にしたものである。

以上の8通りのメッシュの切り方を行った場合のトリチウム増殖比の計算結果をTable 5.2にまとめた。この表より以下の結論が得られた。

- (1) 全トリチウム増殖比のメッシュの切り方による変化は0.1%程度に過ぎない。しかしながら
- (2) T_6 と T_7 のメッシュの切り方による変化はそれぞれ0.5と1.0%以下である。

(1)と(2)より T_6 と T_7 のメッシュの切り方による変化は相殺する方向であることがわかる。

- (3) Case 1を基準にとるとCase 2~4は T_6 が減少し、 T_7 が増加しているのに対してCase 5~8は逆の傾向を有している。Table 5.1の計算値ははっきりと上述の3つの群に分けられるように見え、特にCase 5~8はほとんど同一の結果を与えている。

一般にメッシュ数を増加するほど計算精度は向上するものと考えられている。そこで上に述べた8つの計算例ではCase 4が最も信頼できる結果を与えているものと言える。Case 2は領域3~10のメッシュ数がCase 4の場合の半となっているにもかかわらずトリチウム増殖比はほとんど変化していないので、Case 2程度のメッシュの切り方でほぼ十分であると言える。また真空領域だけをCase 4と同程度に細く切ったCase 3がCase 4に近い値を与えていることは偶然の一致と考えられる。

領域3~10のメッシュ数がCase 4の半であるCase 1では T_6 は0.3%増大し、 T_7 は0.5%減少している。これに対して領域7~9のメッシュ巾だけを細かくしたCase 5~8ではCase 4の結果と較べて T_6 が0.5%増大し、 T_7 が1.0%減少している。以上の結果より特定の領域のメッシュ巾だけを極端に小さくすることは却って計算精度を低下させることがわかる。精度良い計算を行うためには、各領域の中性子の平均自由行程、中性子束の空間変化率、体のメッシュ巾のバランスを考慮する必要がある。

Table 5.1 Description of Spatial Interval Numbers

Distances (cm)	0	150	200	2005	2035	204	264	294	300		
	Plasma	Vacuum	Nb	$\frac{94\%Li}{6\%Nb}$	Nb		$\frac{94\%Li}{6\%Nb}$	C	$\frac{94\%Li}{6\%Nb}$		
Region Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total Mesh
Case 1	1	1	3	6	3	10	10	10	15	3	62
Case 2	1	<u>2</u>	<u>6</u>	<u>12</u>	<u>6</u>	<u>20</u>	<u>20</u>	<u>20</u>	<u>30</u>	<u>6</u>	121
Case 3	1	<u>20</u>	3	6	3	10	10	10	15	3	81
Case 4	1	<u>20</u>	<u>9</u>	<u>18</u>	<u>9</u>	<u>30</u>	<u>30</u>	<u>30</u>	<u>45</u>	<u>9</u>	201
Case 5	1	1	3	6	3	10	<u>40</u>	10	15	3	92
Case 6	1	1	3	6	3	10	10	<u>40</u>	15	3	92
Case 7	1	1	3	6	3	10	10	10	<u>60</u>	3	107
Case 8	1	1	3	6	3	10	10	<u>40</u>	<u>60</u>	3	137

Table 5.2 Comparison of Tritium Breeding Ratios in Calculations with Various Spatial Interval Numbers

Region No (j)		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8
T ₆ (j)	3	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	0.0481	0.0476	0.0477	0.0477	0.0485	0.0485	0.0485	0.0485
	5	-	-	-	-	-	-	-	-
	6	0.2919	0.2902	0.2904	0.2903	0.2935	0.2935	0.2935	0.2935
	7	0.2365	0.2360	0.2361	0.2360	0.2368	0.2368	0.2368	0.2368
	8	0.2818	0.2814	0.2820	0.2812	0.2816	0.2814	0.2807	0.2806
	9	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	0.0495	0.0501	0.0497	0.0501	0.0495	0.0495	0.0497	0.0497
		0.9078	0.9052	0.9057	0.9052	0.9098	0.9098	0.9092	0.9092
T ₆ (j)	3	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	0.0830	0.0810	0.0813	0.0811	0.0845	0.0849	0.0849	0.0849
	5	-	-	-	-	-	-	-	-
	6	0.2893	0.2900	0.2901	0.2900	0.2852	0.2886	0.2886	0.2886
	7	0.1093	0.1120	0.1116	0.1119	0.1097	0.1068	0.1068	0.1068
	8	0.0434	0.0448	0.0446	0.0447	0.0457	0.0421	0.0421	0.0421
	9	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	0.0007	0.0008	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007
T ₇		0.5258	0.5286	0.5283	0.5284	0.5258	0.5231	0.5231	0.5231
T ₆ +T ₇		1.4336	1.4338	1.4340	1.4336	1.4356	1.4329	1.4323	1.4323

6 結 論

核融合炉ブランケットの核計算によく用いられる1次元輸送計算コードANISNにより、ブランケットのベンチマークモデルのトリチウム増殖比を計算してANISNコードの効率良い用法を検討した。その結果以下の結論を得た。

- (1) 原研で使用されているANISNは、アメリカとイギリスで行われた核融合炉ブランケットのベンチマークモデルのトリチウム増殖比の推奨値をほぼ再現することからその妥当性が確認された。
- (2) 100群断面積を42群と27群に縮約することに伴うベンチマークモデルのトリチウム増殖比の変化は0.2%以下で、トリチウム生成反応率空間分布もほとんど変化しなかった。しかしながら4群縮約断面積を使用した場合にはトリチウム増殖比は約1%大きくなり反応率分布もより平坦になった。
- (3) 縮約に用いる荷重関数としてはベンチマークモデルの領域4のスペクトルがトリチウム増殖比を最もよく保存できることがわかった。
- (4) P_L-S_N 近似の次数LとNの値としては、 P_3-S_4 以上の近似を用いることによりトリチウム増殖比の計算値が、計算上の収束値の0.1%以下の範囲内で求められることを確かめた。
- (5) 空間メッシュの切り方は各領域の中中性子の平均自由行程を考慮して体系全体でバランス良く決める必要があることが明らかにされた。

以上をまとめるとブランケットベンチマークモデルに類するブランケット核計算にANISNを使用する場合には、適当なスペクトルを荷重関数として得られる30群程度の断面積を用いて、 P_3-S_4 近似によりメッシュ総数100程度の計算を行うことによりトリチウム増殖比は計算上の収束値を0.5%以内の精度で再現できる。

謝 辞

本報告書の作成の際に貴重なコメントをいただきました日本原子力研究所高速炉物理研究室の黒井英雄室長に深く感謝いたします。

References

- (1) Engle, W. W. Jr. "ANISN-A User's Manual", Oak Ridge Gaseous Diffusion Plant, K-1693 (1967).
- (2) D. Steiner and S. Blow, "Neutronics Calculations on a Fusion Reactor Benchmark Model", CLM-P345, (1973).
- (3) Honeck, H. C. "ENDFB. Specification for an Evaluated Nuclear Data File for Reactor Applications", BNL-50066, (1966).
- (4) Joanou, G. D. and Dudek, J. S. "GAM II: A B₃ Code for the Calculation of Fast Neutron Spectra and Associated Multigroup Constants", GA-4265, (1963).
- (5) A Capsule Review of the Data Library Collection (DLC) Packaged by the Radiation Shielding Information Center (RSIC)
- (6) Wright, R. Q. et al. "SUPERTOG: A Program to Generate Fine Group Constants and Pn Scattering Matrices from ENDFB", ORNL-TM-2679, (1969)
- (7) R. G. Soltesz,
"Revised WANL ANISN Program User's Manual", Westinghouse Astronuclear Laboratory, WANL-TM1-1967, (1969)
- (8) Abagyan, L. P., Bazzyants, N. O., and Bondarenko, I. I. and Nikolaev, M. N.,
"Group Constants for Nuclear Reactor Calculations", Consultants Bureau, New York (1964)