

JAERI-M

6736

JMTR炉心の核計算（その2）

（中性子束計算法の改良）

1976年10月

安藤 弘栄・飯田 浩正・永岡 芳春・小山田六郎

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

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問合わせは、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.

J M T R 廉心の核計算（その2）
(中性子束計算法の改良)

日本原子力研究所大洗研究所材料試験炉部
安藤弘栄・飯田浩正⁺・永岡芳春・小山田六郎

(1976年9月16日受理)

J M T R の炉心配置検討に使用される核計算の方式については、ほぼ確立されたものになっている。しかし核計算技術の進歩に伴って一部改良を施した。主な改良点は、高速群定数の算出の際、B-1近似によるスペクトルを用いることを止め、ANISNにより求めた空間依存のスペクトルを用いること、および軸方向バックリングを領域別エネルギー別に入力することである。計算コードは高速群定数は GGC-4、熱群定数は THERMOS-JMTR、二次元拡散計算は CITATION を用いた。その他拡散計算における最外層での境界条件の取り方が中性子束分布に与える影響などについても検討した。

* 現在日本原子力研究所東海研究所核融合研究部

JAERI - M 6736

Nuclear Calculation of the JMTR core (part II)
(Revision of the neutron flux calculation method)

Hiroei ANDO, Hiromasa IIDA[†], Yoshiharu NAGAOKA

and Rokuro OYAMADA

Division of JMTR Project, Oarai, JAERI

(Received September 16, 1976)

The method of nuclear calculation for JMTR core configuration is well established. Due to advance in the calculation techniques, however, the method has been partly revised, as follows.

In calculating the fast neutron group constants, spacedependent spectra obtained with code ANISN are used, not the spectra calculated by B-1 approximation.

And, regional, group-dependent axial bucklings (B_z^2) are fed in the diffusion code.

The codes employed are GCC-4 for fast neutron group constants, THERMOS-JMTR for thermal neutron group constants and CITATION for diffusion calculation.

It is then considered in the diffusion code how the boundary conditions at the exterior influence the neutron flux distribution.

+) Present address : Division of Thermonuclear Fusion Research, Tokai,
JAERI

目 次

| | |
|-------------------------------------|----|
| 1. まえがき | 1 |
| 2. 中性子束計算方法 | 1 |
| 2.1 JMTR 核計算の概要 | 1 |
| 2.2 高速群定数計算 | 3 |
| 2.2.1 中性子束および中性子流スペクトル | 3 |
| 2.2.2 計算コードの入力方法 | 4 |
| 2.3 領域別エネルギー別バックリング | 4 |
| 2.4 拡散計算 | 6 |
| 3. 計算結果 | 6 |
| 3.1 ANISNによる空間依存スペクトル使用群定数の効果 | 6 |
| 3.1.1 単純な炉心での従来方式との比較 | 6 |
| 3.1.2 実際の炉心での従来方式との比較 | 6 |
| 3.2 領域別エネルギー別バックリングの効果 | 13 |
| 3.3 拡散計算における最外層境界条件の取り方による影響 | 13 |
| 3.4 照射物均質装荷による中性子スペクトル擾乱の影響 | 13 |
| 3.5 ガンマ線遮蔽板北側スペクトルの影響 | 19 |
| 4. 結 言 | 19 |
| 5. あとがき | 20 |
| 付録 1 GGC-4コードインプットの書き方 | 21 |
| 付録 2 第3・4サイクル炉心群定数 | 26 |

1 まえがき

JMTR 廉心は小型で高出力密度を持ち、照射物の内容及び照射位置により各運転サイクルで廉心の特性が大幅に変動する。特に燃料試料の基本的な照射条件である発熱率を決める熱中性子束の変動が大きい。しかも計算による発熱率(Q_{cal})の推定がむずかしい中性子束の勾配が大きい反射体領域で、計算精度を上げることが望まれる。また材料試料の照射においては高速中性子の照射量が基本的なデータである。高速中性子束の計算精度が良くなれば、現在キャップセルに装荷されているフルエンスモニタの省略も可能となろう。そのため高速群定数の算出法の改良、軸方向パックリングの改良を試みた。

核計算方法の問題点については、既に指摘されており⁽¹⁾、その中でいくつかは改良され解決に至っている。本報告書では残された問題点として、主として高速群定数の算出方法の改良及び軸方向パックリングの改良について述べる。また熱群定数計算コードTHERMOS の改良も行われたが、既に報告されている⁽⁴⁾のでここでは触れない。

高速群定数の算出法の改良点は高速群の縮約群定数を求める際の重みとなる中性子束、中性子流スペクトル空間依存性を考慮するものである。JMTR の空間依存のスペクトルがANISNコードを用いて計算されており⁽²⁾、このスペクトルをGGC-4コード⁽³⁾に代入して高速群定数を求めることが可能である。軸方向パックリングについては従来一定値を用いていたが、領域別エネルギー別に求めたパックリングを使用するものである。

以下高速群定数及び軸方向パックリングの計算方法、計算条件について述べ、計算結果として拡散計算によって得られた中性子束分布を従来の方式と対比させて検討する。また上述の空間依存スペクトルは燃料要素と反射体要素(プラグ入り)のみから成る一次元体系における計算値であり、実際照射物が入るとこのスペクトルが乱され、中性子分布に影響を与えることが考えられる。そのため照射物を均質と仮定して装荷した場合のスペクトルの変動が中性子束分布に与える影響についても言及する。

2. 中性子束計算方法

2.1 JMTR 核計算の概要

第1図にJMTR の廉心配置図を示す。燃料領域及び反射体領域に多数の照射孔を持ち、各サイクル多種の照射物がほとんど不規則に装荷される。JMTR の廉特性(過剰反応度、燃料出力分布、中性子束分布など)解析のための廉物理計算は、従来より熱中性子群定数はTHERMOS-JMTR⁽⁴⁾(THERMOS を改良したもので中性子吸収の大きい体系での計算精度を高めた)、高速群定数はUGMG42⁽⁵⁾を用い、二次元拡散計算はEXTERMINATOR-2⁽⁶⁾を用いて行っていたが、中性子束、発熱密度などの推定精度を高めるため高速群定数の算出方法及び軸方向パックリングを改良した。第2図に従来の方法と対比してフローチャートで示す。なお CITATIONへの切換えは便宜上行ったもので、計算精度上 CITATION と EXTERMINATOR-2 に差はない。

1 まえがき

JMTR 廉心は小型で高出力密度を持ち、照射物の内容及び照射位置により各運転サイクルで廉心の特性が大幅に変動する。特に燃料試料の基本的な照射条件である発熱率を決める熱中性子束の変動が大きい。しかも計算による発熱率(Q_{cal})の推定がむずかしい中性子束の勾配が大きい反射体領域で、計算精度を上げることが望まれる。また材料試料の照射においては高速中性子の照射量が基本的なデータである。高速中性子束の計算精度が良くなれば、現在キャブセルに装荷されているフルエンスモニタの省略も可能となろう。そのため高速群定数の算出法の改良、軸方向パックリングの改良を試みた。

核計算方法の問題点については、既に指摘されており⁽¹⁾、その中でいくつかは改良され解決に至っている。本報告書では残された問題点として、主として高速群定数の算出方法の改良及び軸方向パックリングの改良について述べる。また熱群定数計算コードTHERMOSの改良も行われたが、既に報告されている⁽⁴⁾のでここでは触れない。

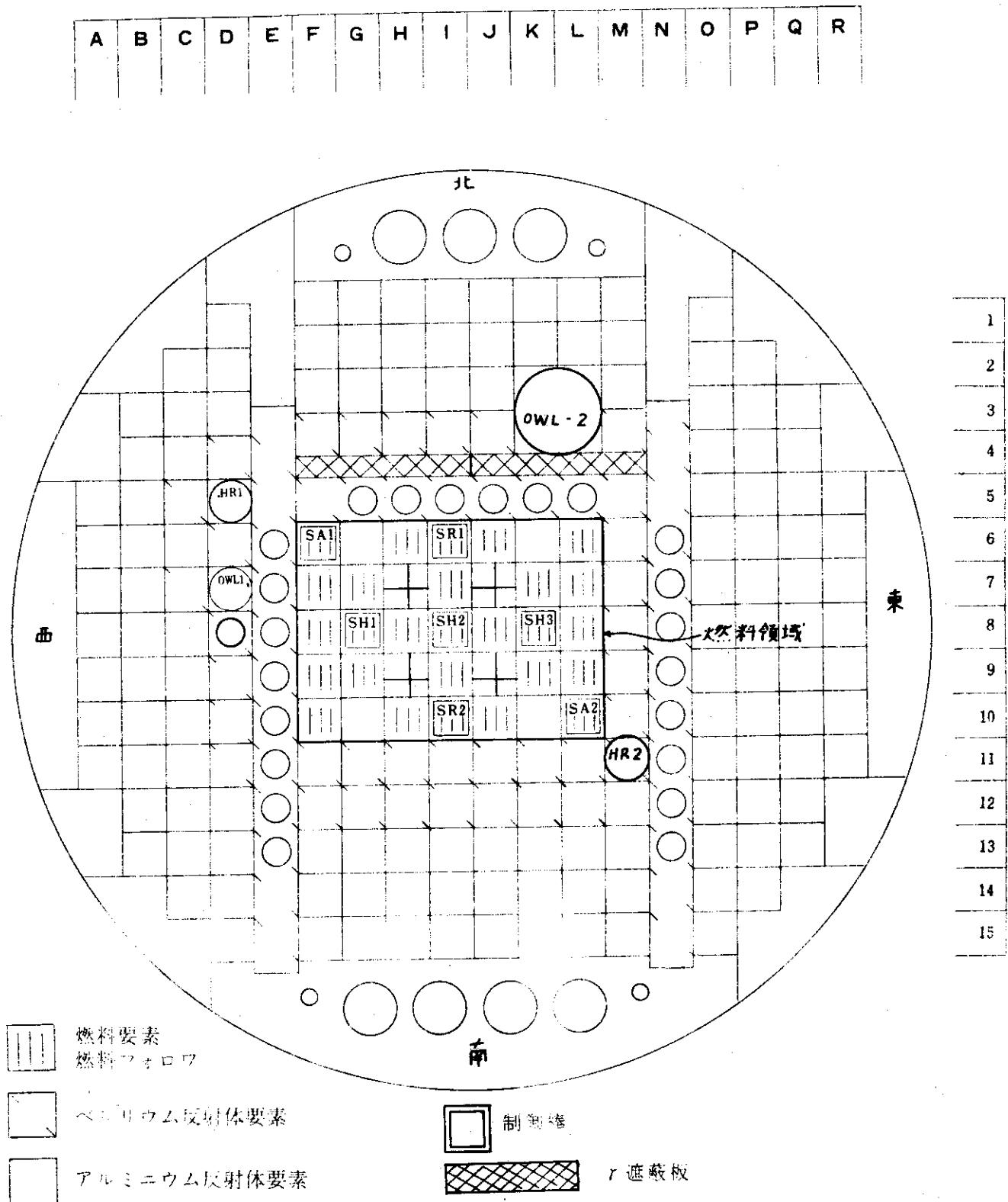
高速群定数の算出法の改良点は高速群の縮約群定数を求める際の重みとなる中性子束、中性子流スペクトル空間依存性を考慮するものである。JMTR の空間依存のスペクトルがANISNコードを用いて計算されており⁽²⁾、このスペクトルをGGC-4コード⁽³⁾に代入して高速群定数を求めることが可能である。軸方向パックリングについては従来一定値を用いていたが、領域別エネルギー別に求めたパックリングを使用するものである。

以下高速群定数及び軸方向パックリングの計算方法、計算条件について述べ、計算結果として拡散計算によって得られた中性子束分布を従来の方式と対比させて検討する。また上述の空間依存スペクトルは燃料要素と反射体要素(プラグ入り)のみから成る一次元体系における計算値であり、実際照射物が入るとこのスペクトルが乱され、中性子分布に影響を与えることが考えられる。そのため照射物を均質と仮定して装荷した場合のスペクトルの変動が中性子束分布に与える影響についても言及する。

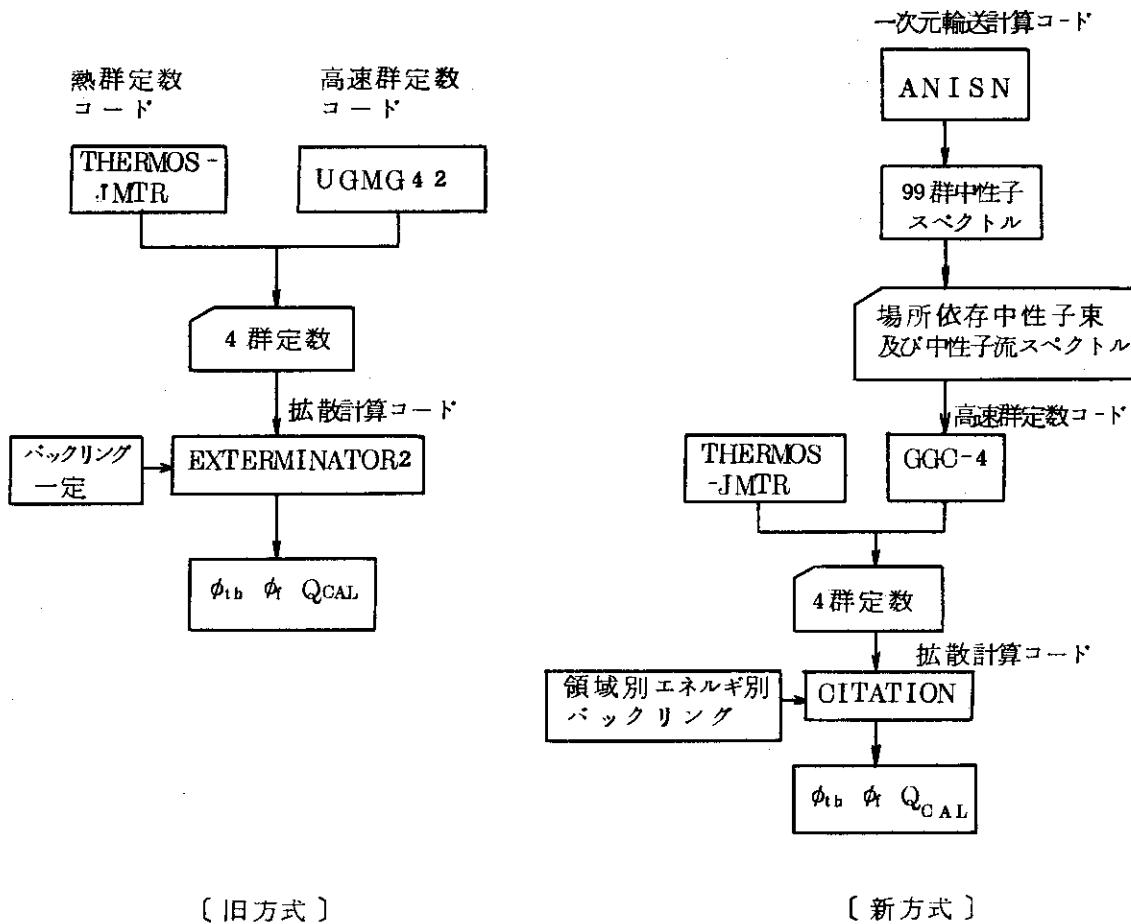
2. 中性子束計算方法

2.1 JMTR 核計算の概要

第1図にJMTRの廉心配置図を示す。燃料領域及び反射体領域に多数の照射孔を持ち、各サイクル多種の照射物がほとんど不規則に装荷される。JMTRの廉特性(過剰反応度、燃料出力分布、中性子束分布など)解析のための廉物理計算は、従来より熱中性子群定数はTHERMOS-JMTR⁽⁴⁾(THERMOSを改良したもので中性子吸収の大きい体系での計算精度を高めた)、高速群定数はUGMG4.2⁽⁵⁾を用い、二次元拡散計算はEXTERMINATOR-2⁽⁶⁾を用いて行っていたが、中性子束、発熱密度などの推定精度を高めるため高速群定数の算出方法及び軸方向パックリングを改良した。第2図に従来の方法と対比してフローチャートで示す。なお CITATIONへの切換えは便宜上行ったもので、計算精度上 CITATIONと EXTERMINATOR-2 に差はない。



第1図 JMTR 廉心配置図



第2図 核計算フローチャート

2.2 高速群定数計算

2.2.1 中性子束および中性子流スペクトル

中性子束のスカラースペクトルは一次元輸送計算コード ANISNにより、99群の空間依存のスペクトルを求め利用する。すなわち燃料領域は中心から 9.65 cm, Be反射体第一層, Be 反射体第二層, Al 反射体第一層, Al 反射体第二層は各中点のスペクトルをそれぞれの領域の代表的なスペクトルとして群定数を求める際に用いる。スペクトル計算は照射物無装荷の炉心で行ったが、照射物を無視することによる影響については 3.4 節で述べる。

群定数を求める際には中性子流のスペクトルも中性子束スペクトルと同様に必要となるが、ANISN コードでは出力されないので、角度依存中性子束スペクトルから(1)式に従って中性子流スペクトルを求めるサブルーチンを作成した。

$$J_i(z) = \sum_k w_k \mu_k N_i(\mu_k, z) \quad (i=1 \sim 99) \quad (1)$$

$J_i(z)$; ある位置 z における第 i 群の中性子流

$N_i(\mu_k, z)$; 第 i 群の μ_k におけるスカラー中性子束

w_k ; quadrature weight

μ_k ; cosine of scattering angle ($-1 \leq \mu_k \leq 1$)

2.2.2 計算コードの入力方法

JMTR のような非均質性の強い体系では従来行われてたような、 B_1 近似によるスペクトル計算では精度を上げることはむずかしい。前述のように空間依存のスペクトルを入力して群定数を求めることが望ましい。以前使用されていた UGMG42 ではこのことが不可能であったが、 GGC-4 コードの整備が行われて⁽⁷⁾、スペクトルを入力として群定数を計算できるようになった。また GGC-4 はそのライブラリの核種数も豊富である。GGC-4 は GAM セクション（高速群）と GATHER セクション（熱群）があるが、 GAM セクションのみを使用する。

計算の概要は次の通りである。インプットの書き方については付録 1 に述べる。

- ① 単位セル内均質、 $B^2 = 0.0001$
- ② エネルギー群：多数群 99 群、小数群 3 群（1.0 MeV 以上、1.0 MeV から 183 keV、183 keV から 0.6826 eV）
- ③ 中性子スペクトル：ANISN で求めた値を入力。
- ④ 共鳴：燃料要素は均質、燃料照射試料は一次元円筒計算。

2.3 領域別エネルギー別バックリング

二次元拡散コード EXTERMINATOR-2 を用いて、第 3、4 図に示す計算体系で $R-Z$ 計算を行った。JMTR 延心を図の様に領域に分ける。領域 I, II は各要素（279 g 燃料、237 g 燃料、燃料フォロワ、4 孔キャブセルホルダ、1 孔キャブセルホルダ）の体積平均の群定数を用い、面積等価の円環に置きかえて計算する。他の領域は各単体（Be, Al 反射体においては、そのプラグを挿入したもの）の群定数を用い同様に計算する。

軸方向のバックリング B_z^2 は次の計算式に従って領域別エネルギー別（4 群）の値が求められる。

$$B_z^2 = \frac{J_a \cdot S_a \cdot 2}{\bar{\phi}_a \cdot H \cdot S_a \cdot D_a}$$

$\bar{\phi}_a$: 要素 a の第 i 群の平均中性子束 $\frac{\int_{-z}^z \phi_a dV}{V_a}$

V_a : 要素 a の体積

$H \cdot S_a$

S_a : 要素 a の z 軸に垂直な面の表面積（片面）

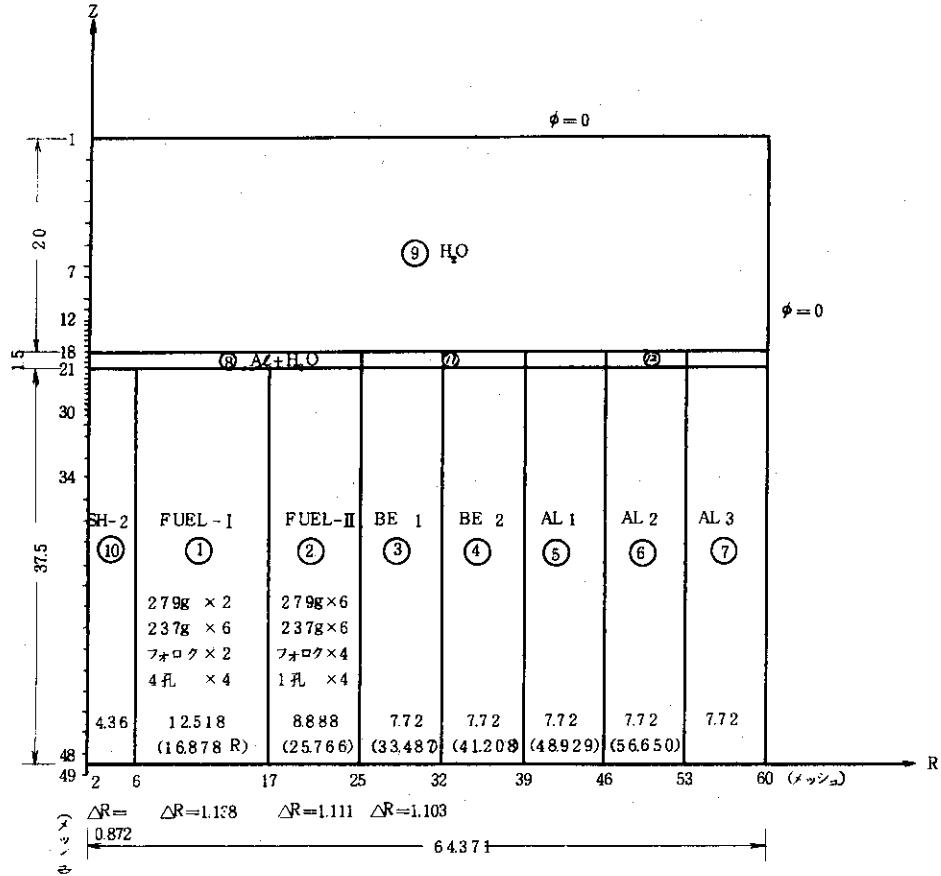
H : 延心の高さ

7.5 cm

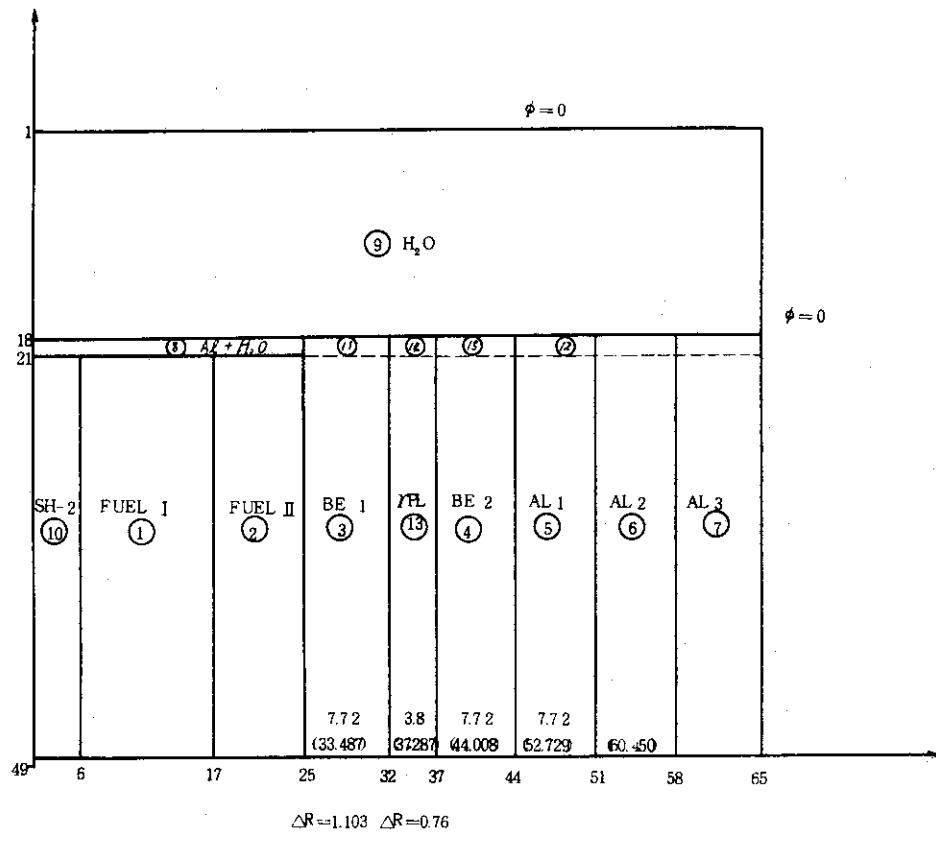
J_a : S_a から延心外に流れる中性子流 $-D_a \frac{d \bar{\phi}_a(r, z)}{dz}$

D_a : 要素 a の第 i 群の拡散係数

i : エネルギー群（i = 1 ~ 4）



第3図 EXTERMINATOR-2 R-Z 計算体系



第4図 EXTERMINATOR-2 R-Z 計算体系（炉心北側）

2.4 拡散計算

拡散コードは2次元コード CITATION⁽⁸⁾を用いた。第5図に空間分点とEDIT領域の採り方を示す。エネルギー群は、従来どおり高速群3群、熱群1群の計4群である。熱群について制御棒条件は対数微分条件を用い、その定数CはTHERMOSによって求めた0.191を採用している。

3. 計算結果

3.1 ANISNによる空間依存スペクトル使用群定数の効果

3.1.1 単純な炉心における従来方式との比較

純粋にANISNによる空間依存スペクトルを使用して求めた群定数の効果を見るため、第6図に示すように空間分点の取り方、燃料要素の配置、反射体要素の配置が実際の炉心とほぼ同じ「1/4象限炉心」を考え、照射物は反射体領域には装荷しない炉心体系でCITATIONにより従来UGMG42、THERMOS-JMTRで求めた定数を使用した場合との比較計算を行った。外側の境界条件の取り方は第6図で上側と左側でSymmetry boundary、下側と右側がvacuum boundaryである。軸方向バックリングは一定値0.001218を使用した。その結果を第7、8図に示す。

第7図は各セル平均の熱中性子束の比較である。従来の値に対する比は反射体第1層で0.96、第2層で0.98、第3層で1.01、第4層で1.03である。熱中性子束については従来の方式との差異は小さいが、明らかに層依存性があり、第1層と第4層では~7%異なる。すなわち燃料領域から離れるに従ってスペクトルが軟化するため熱中性子群のsourceとなる第3群の除去断面積(Σ_R)が大きくなり熱中性子束も徐々に大きくなるからである。

第8図は1.0MeV以上の高速中性子束について同様に比較したものである。UGMG42の計算で従来非弾性散乱による減速を考慮しなかったが、ここでは考慮してある。反射体領域では従来との比が0.96~1.06である。なお従来のUGMG42では($n, 2n$)反応(Beの場合断面積大きい)を取り扱っていないためGGC-4による群定数から($n, 2n$)反応の分を差引いて比較検討した。 $(n, 2n)$ 反応を考慮すると高速中性子束(1.0MeV以上)は第1層で4%、第2層で13%、第3、4層で15%大きくなる。

3.1.2 実際の炉心で従来方式との比較

第9図に示すJMTR第34サイクル炉心について、空間依存のANISNスペクトルを使用し、全ての領域の群定数を求め拡散計算を行った。外側境界条件は最外点で中性子束を0とし、軸方向バックリングは前項と同様一定値を使用した。使用した群定数を付録3に示す。比較のため、従来方式でも同様に群定数を求め拡散計算を行った。熱中性子束の比を第10図に示す。照射物が不規則に装荷されており、スペクトル計算も一次元であることにより前項で得られたような規則性のある結果は得られない。しかし数%の層依存性は認められる。

なお従来UGMG42計算の際、非弾性散乱を減速断面積に加えなかつたため、高速群での比較は行うことができなかつた。

2.4 拡散計算

拡散コードは2次元コード CITATION⁽⁸⁾を用いた。第5図に空間分点とEDIT領域の採り方を示す。エネルギー群は、従来どおり高速群3群、熱群1群の計4群である。熱群について制御棒条件は対数微分条件を用い、その定数CはTHERMOSによって求めた0.191を採用している。

3. 計算結果

3.1 ANISNによる空間依存スペクトル使用群定数の効果

3.1.1 単純な炉心における従来方式との比較

純粹にANISNによる空間依存スペクトルを使用して求めた群定数の効果を見るため、第6図に示すように空間分点の取り方、燃料要素の配置、反射体要素の配置が実際の炉心とほぼ同じ「1/4象限炉心」を考え、照射物は反射体領域には装荷しない炉心体系でCITATIONにより従来UGMG42、THERMOS-JMTRで求めた定数を使用した場合との比較計算を行った。外側の境界条件の取り方は第6図で上側と左側でSymmetry boundary、下側と右側がvacuum boundaryである。軸方向バックリングは一定値0.001218を使用した。その結果を第7、8図に示す。

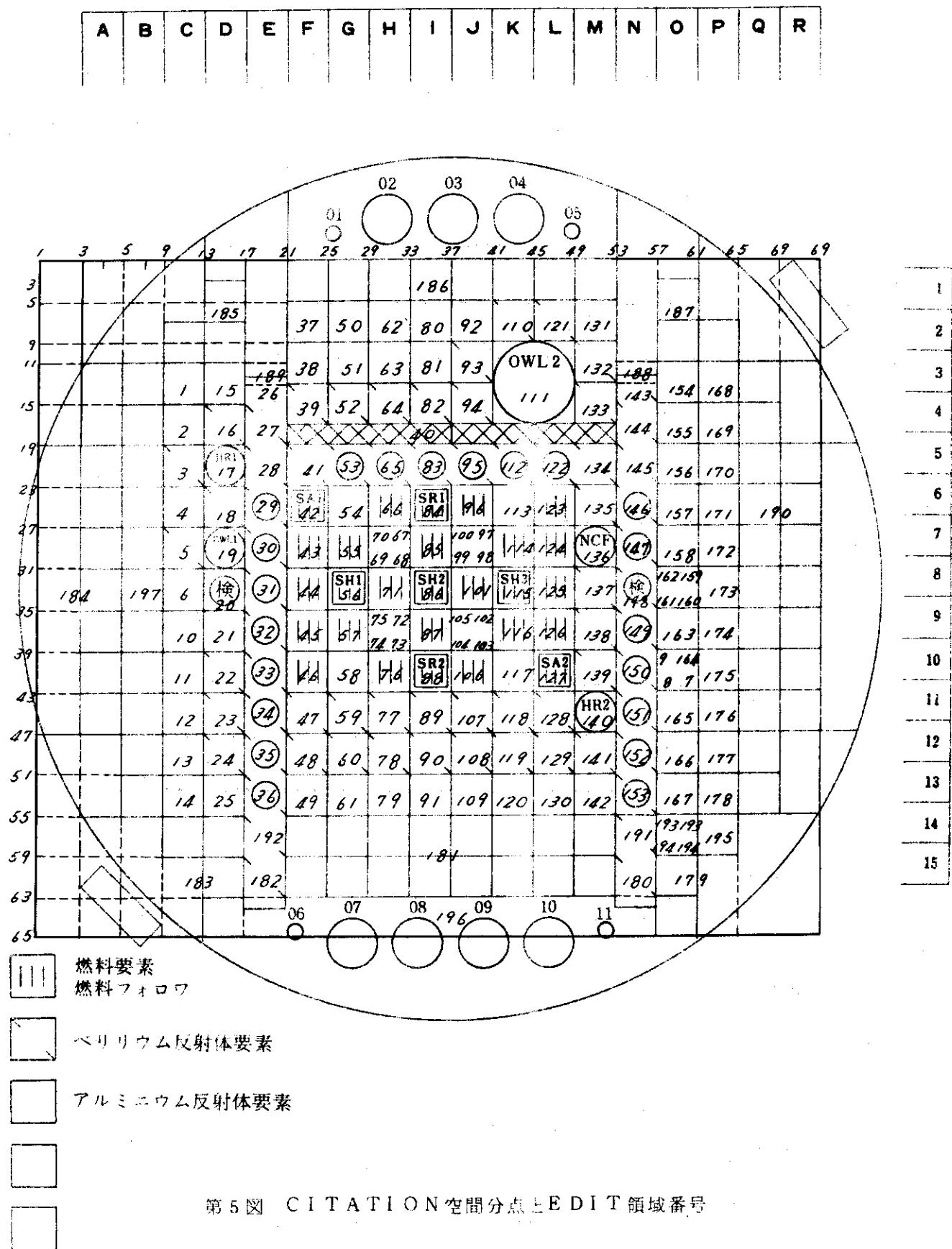
第7図は各セル平均の熱中性子束の比較である。従来の値に対する比は反射体第1層で0.96、第2層で0.98、第3層で1.01、第4層で1.03である。熱中性子束については従来の方式との差異は小さいが、明らかに層依存性があり、第1層と第4層では~7%異なる。すなわち燃料領域から離れるにつれてスペクトルが軟化するため熱中性子群のsourceとなる第3群の除去断面積(Σ_R)が大きくなり熱中性子束も徐々に大きくなるからである。

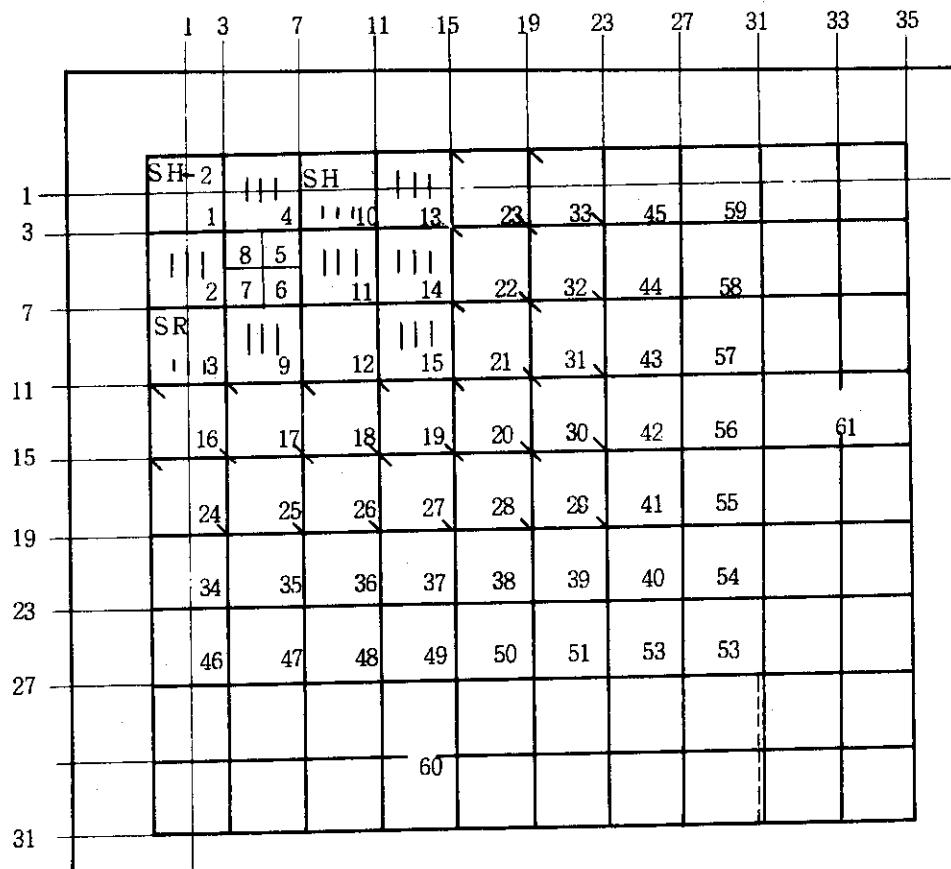
第8図は1.0MeV以上の高速中性子束について同様に比較したものである。UGMG42の計算で従来非弾性散乱による減速を考慮しなかったが、ここでは考慮してある。反射体領域では従来との比が0.96~1.06である。なお従来のUGMG42では($n, 2n$)反応(Beの場合断面積大きい)を取り扱っていないためGGC-4による群定数から($n, 2n$)反応の分を差引いて比較検討した。 $(n, 2n)$ 反応を考慮すると高速中性子束(1.0MeV以上)は第1層で4%，第2層で13%，第3，4層で15%大きくなる。

3.1.2 実際の炉心で従来方式との比較

第9図に示すJMTR第34サイクル炉心について、空間依存のANISNスペクトルを使用し、全ての領域の群定数を求め拡散計算を行った。外側境界条件は最外点で中性子束を0とし、軸方向バックリングは前項と同様一定値を使用した。使用した群定数を付録3に示す。比較のため、従来方式でも同様に群定数を求め拡散計算を行った。熱中性子束の比を第10図に示す。照射物が不規則に装荷されており、スペクトル計算も一次元であることにより前項で得られたような規則性のある結果は得られない。しかし数%の層依存性は認められる。

なお従来UGMG42計算の際、非弾性散乱を減速断面積に加えなかつたため、高速群での比較は行うことができなかつた。





燃料要素
燃料フォロク

$\frac{1}{4}$ 象限 JMTR 炉心



ペリリウム反射体要素



アルミニウム反射体要素

第6図 空間分点とE D I T領域番号

| | | | | | | | | | |
|-------------|--------------------|-------------|-------------|------|------|------|------|--|--|
| SH-2 | III 1.03 | 1.04 SH | III 1.01 | .963 | .981 | 1.01 | 1.03 | | |
| III 1.02 | 996.996 992.992 | III 1.02 | III 1.00 | .960 | .980 | 1.01 | 1.03 | | |
| .967 | III 1.00 | .986 | III .982 | .950 | .975 | 1.01 | 1.03 | | |
| .967 | .963 | .958 | .951 | .951 | .993 | 1.01 | 1.03 | | |
| .984 | .987 | .981 | .973 | .971 | .988 | 1.01 | 1.03 | | |
| 1.02 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.03 | 1.04 | | |
| 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.04 | 1.05 | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |



燃料要素
燃料フォロク

1/4象限 JMTR 炉心



ペリリウム反射体要素



アルミニウム反射体要素

第7図 単純炉心における熱中性子束の比: $\phi_{th}^{revised} / \phi_{th}^{former}$

| | | | | | | | | |
|---------------------------|-------------------|---------------------------|----------|------|------|------|------|--|
| SH-2 .943 | .976 | .995 SH .990 | .971 | 1.02 | 1.06 | 1.03 | | |
| .971 | 962 968 964 | 967 982 986 | .968 | 1.02 | 1.06 | 1.03 | | |
| 974 S R .969 | .951 | .962 | 955 | 1.01 | 1.05 | 1.03 | | |
| .964 | .962 | .974 | .949 | .971 | 1.02 | 1.05 | 1.03 | |
| 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.01 | 1.02 | 1.06 | 1.06 | 1.03 | |
| 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.02 | |
| 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.00 | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |



燃料要素
燃料フォロク

1/4 象限 JMTR 炉心



ベリリウム反射体要素



アルミニウム反射体要素

第8図 単純炉心における高速中性子束の比: $\phi_f^{\text{revised}} / \phi_f^{\text{former}}$
($(n, 2n)$ 反応を含まない)

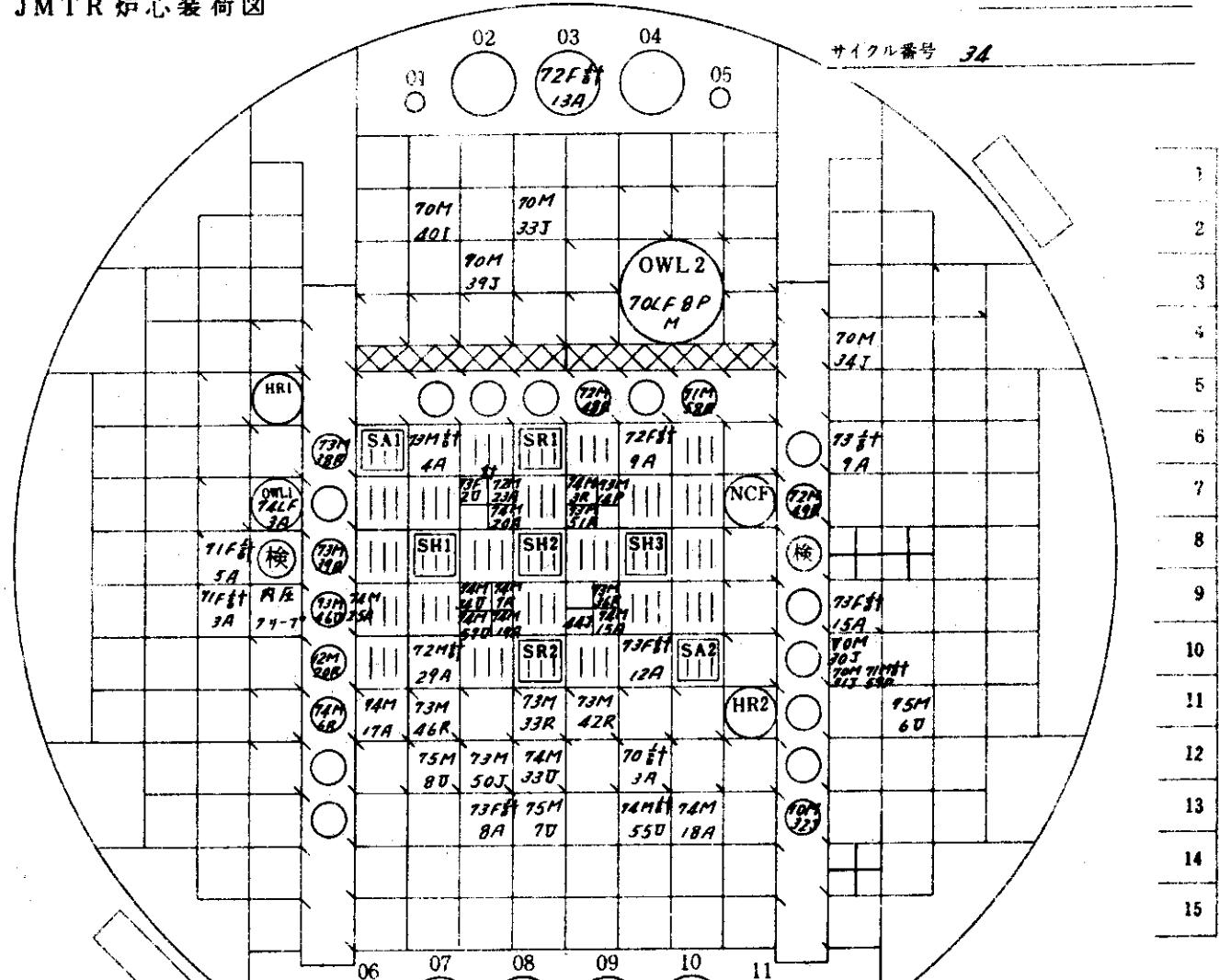
A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R

日付： 年 月 日

記録表

JMTR 炉心裝荷圖

サイクル番号 34



三

燃料要素

1

ベリリウム反射体要素

1

アルミニウム反射体要素

1

1

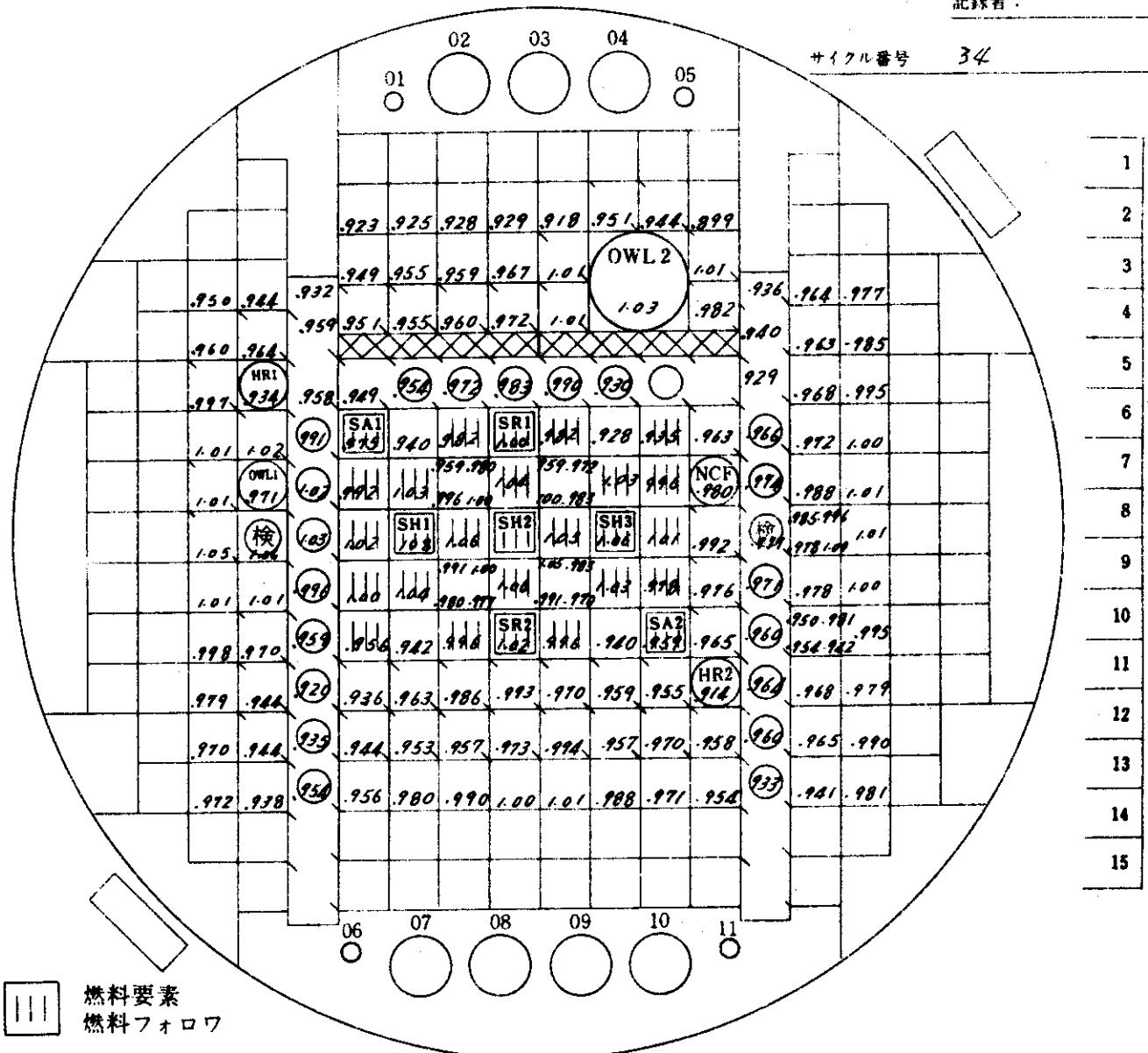
第9回 J M T R 炉心計算体系

| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

日付： 年 月 日

記録者：

サイクル番号 34

第10図 JMTR炉心での熱中性子束の比: $\phi_{th}^{rev1 Sed} / \phi_{th}^{former}$

3.2 領域別エネルギー別バックリングの効果

2次元拡散コードによりR-Z計算を行って求めた領域別エネルギー別のバックリングを第1表に示す。形状バックリングから求めた一定値(0.001218)と比較して、反射体領域ではかなり小さな値が得られた。また燃料領域ではバックリングが負となり、もれ込みがあることを示している。

この結果を使用して、EXTERMINATOR-2にて実際の炉心体系でX-Y計算を行い、バックリングを一定として求めた場合と各群の中性子束分布について比較すると第11図の様になる。熱中性子束分布については、反射体第3層目以降で領域別エネルギー別バックリングの効果が現れる。第3層で2~3%増、第4層では5~6%増となる。他の領域については特に影響ない。高速群については全体として2~3%減となる。

3.3 拡散計算における最外層境界条件の取り方による影響

拡散計算の場合、最外層での境界条件の取り方で反射体領域の中性子束分布に影響を与えることが考えられる。CITATIONでは境界条件を自由に設定できるので、境界条件パラメータ $C = -\frac{D}{\phi} \frac{d\phi}{dx}$ を変えて計算を行った。その結果を第12図に示す。すなわちvacuum boundary ($C = \infty$)のときとsymmetry boundary ($C = 0$)のときで熱中性子束は後者の方が大きく、反射体第2層で~1%，第3層で~5%，第4層では~14%大きい値となる。

3.4 照射物均質装荷による中性子スペクトル擾乱の影響

ANISNによるスペクトルを使用した高速群定数計算では既に述べた通り照射物の装荷を無視した。それ故照射物が均質に装荷された炉心についてスペクトルを計算し、照射物を無視することの影響を調べた。

実際にはスペクトルもキャブセル内で三次元的に変化するものと思われるが、一次元計算では照射物(キャブセル等)と反射体とを均質化した体系しか扱えない。とりあえず照射物を均質に含む体系で一次元のスペクトル計算をANISNを用いて行い、このスペクトルを使用して前述と同様に各層毎に群定数を求め拡散計算により、無装荷の場合との比較検討を行った。なお拡散計算は、照射物有無それぞれのスペクトルの高速群定数-中性子束分布への影響を調べるには一次元コードで十分なのでFOGコードを用いた。

第13図に照射キャブセルと反射体を含む単位セルを示す。すなわちJMT-Rで照射される代表的な材料照射キャブセルが一様に装荷された体系のスペクトル計算を行った。第14図に1次元拡散計算の計算モデルおよび熱中性子束分布を示す。

照射物を装荷した場合のスペクトルから求めた群定数による中性子束と無装荷の場合との中性子束の比は各領域中点で第2表のようになる。この表から明らかのように1MeV以上の高速中性子束、熱中性子束には照射物を装荷したことによる影響が見られない。第3群の中性子束に2~5%の変動が認められる。

今回行われた照射物均質装荷の場合のスペクトル計算において、核データはENDF/B-Nから得られたものを使用した。既に行われた無装荷の場合のスペクトル計算はENDF/B-IIから核データを得ているので両者の違いを中性子束で比較すると第3表のようになる。この表

から第3群、第4群(熱群)の中性子束分布にはほとんど影響を与えないが、第1群、第2群の高速中性子束分布には数%の差異が認められる。この原因は核データの違いによるものと思われるが、詳細は別途検討の上報告される⁽⁹⁾。

第1表 領域別エネルギー別バックリングの計算結果

(1) 廉心東、南、西側(図3の体系)

| エネルギー群 | Fuel I | Fuel II | Be 1 | Be 2 | Al 1 | Al 2 |
|--------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 1.800 ⁻³ | 1.894 ⁻³ | 1.592 ⁻³ | 1.241 ⁻³ | 1.163 ⁻³ | 1.256 ⁻³ |
| 2 | 1.714 ⁻³ | 1.794 ⁻³ | 1.759 ⁻³ | 1.560 ⁻³ | 1.286 ⁻³ | 1.314 ⁻³ |
| 3 | 1.106 ⁻³ | 1.206 ⁻³ | 1.544 ⁻³ | 1.521 ⁻³ | 8.791 ⁻⁴ | 8.632 ⁻⁴ |
| 熱 | -2.865 ⁻³ | -2.211 ⁻³ | 4.060 ⁻⁴ | 7.656 ⁻⁴ | 3.245 ⁻⁴ | 2.713 ⁻⁴ |

(2) 廉心北側(図4の体系)

| エネルギー群 | Be 1 | γ遮蔽板 | Be 2 | Al 1 | Al 2 |
|--------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 1.575 ⁻³ | 1.299 ⁻³ | 1.279 ⁻³ | 1.175 ⁻³ | 1.244 ⁻³ |
| 2 | 1.743 ⁻³ | 1.481 ⁻³ | 1.559 ⁻³ | 1.277 ⁻³ | 1.324 ⁻³ |
| 3 | 1.499 ⁻³ | 1.316 ⁻³ | 1.491 ⁻³ | 8.980 ⁻⁴ | 8.874 ⁻⁴ |
| 熱 | 3.098 ⁻⁴ | 6.042 ⁻⁴ | 7.532 ⁻⁴ | 3.432 ⁻⁴ | 2.879 ⁻⁴ |

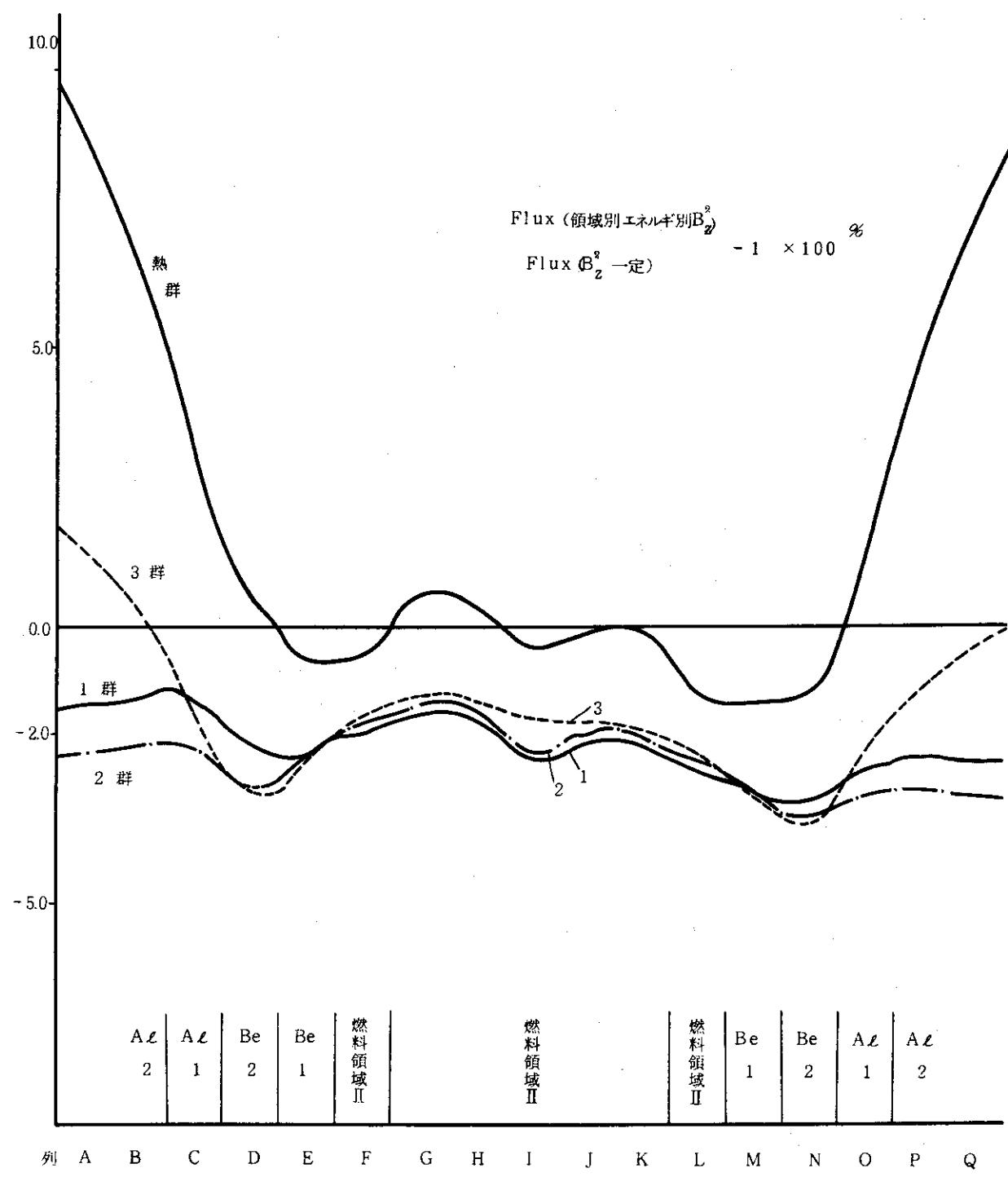
第2表 照射物荷スペクトルによる中性子束対照射物なしスペクトルによる中性子束の比

| 領域 | 第1群 >1 MeV | 第2群 1~0.183 MeV | 第3群 0.183 MeV~ 0.6826 eV | 第4群 <0.6826 eV |
|---------|---------------|--------------------|--------------------------------|-------------------|
| 第1層(Be) | 0.998 | 1.015 | 1.007 | 0.995 |
| 第2層(Be) | 0.989 | 1.017 | 1.024 | 0.993 |
| 第3層(Al) | 1.003 | 1.016 | 1.039 | 0.995 |
| 第4層(Al) | 1.005 | 1.016 | 1.049 | 0.992 |

第3表 核データの違いによる中性子束への影響

| 領域 | $\phi_{(B-N)} / \phi_{(B-II)}$ | | | |
|---------|--------------------------------|-------|-------|-------|
| | 第1群 | 第2群 | 第3群 | 第4群 |
| 第1層(Be) | 0.997 | 0.988 | 1.013 | 0.991 |
| 第2層(Be) | 0.986 | 0.967 | 1.004 | 1.001 |
| 第3層(Al) | 0.957 | 0.958 | 0.994 | 0.997 |
| 第4層(Al) | 0.962 | 0.969 | 0.989 | 0.991 |

(注) $\phi_{(B-N)}$: ENDF/B-Nから核データを得てスペクトル計算したときの中性子束
 $\phi_{(B-II)}$: ENDF/B-IIから核データを得た場合

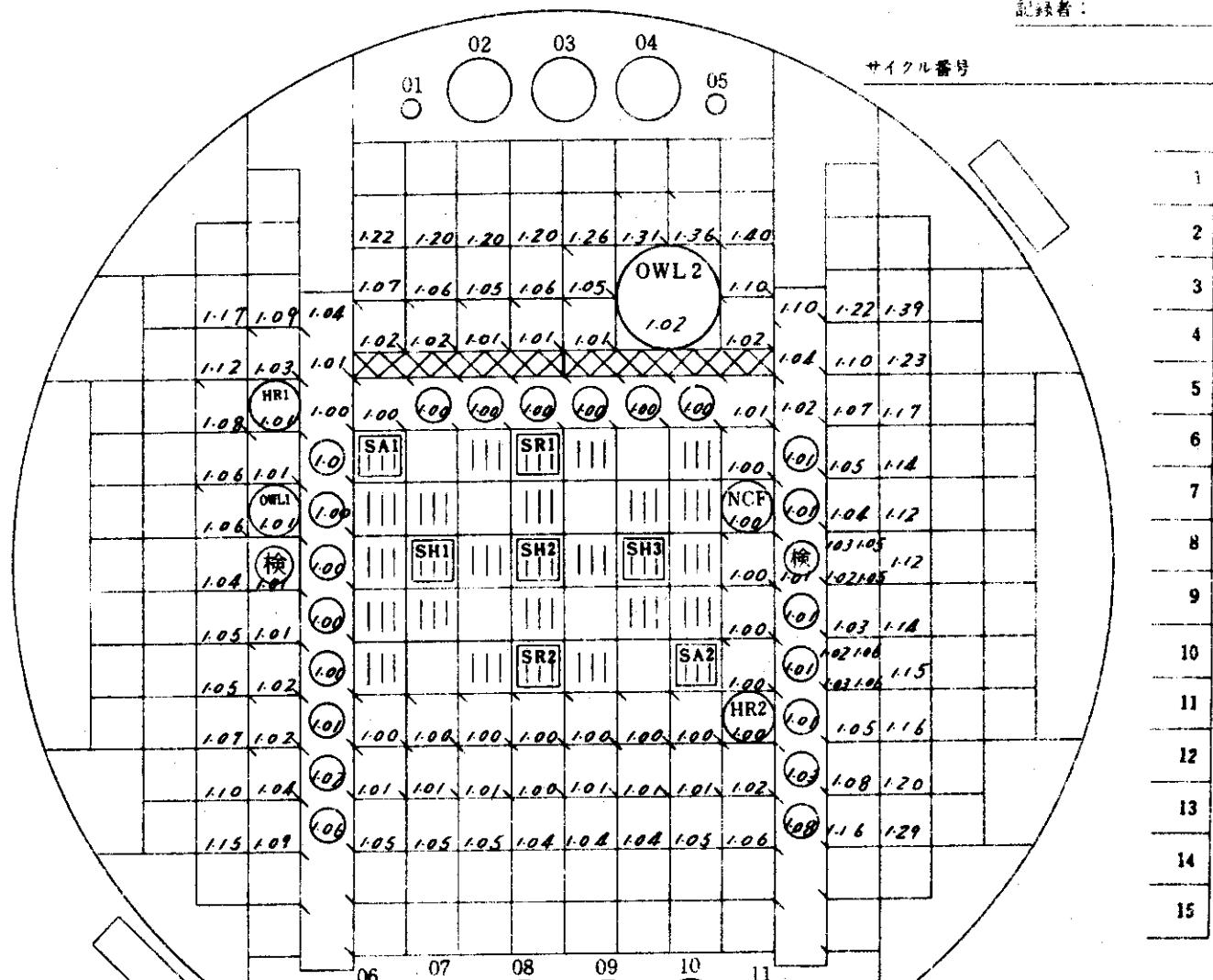


第11図 領域別エネルギー別 Buckling の効果（第8行目）

| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |

日付： 年 月 日

記録者：

燃料要素
燃料フォロワ

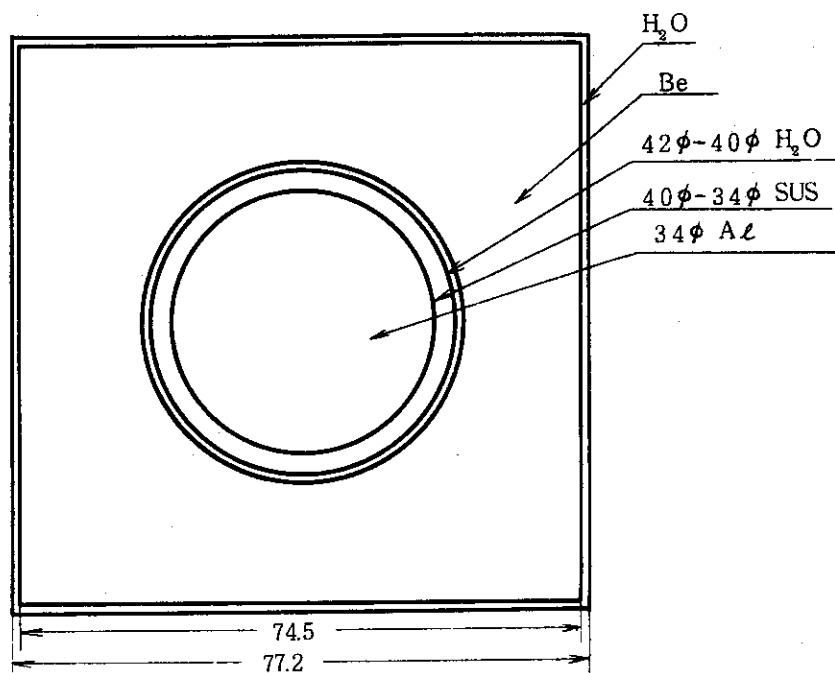
ベリリウム反射体要素



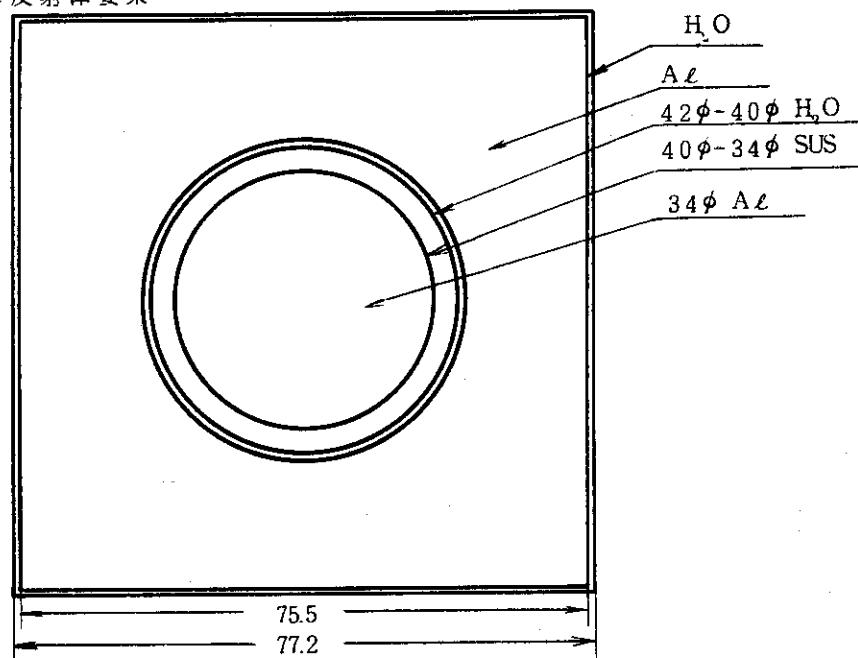
アルミニウム反射体要素

第12図 外側境界条件の取り方による影響: $\phi_{th}^0 \neq \phi_{th}^\infty$

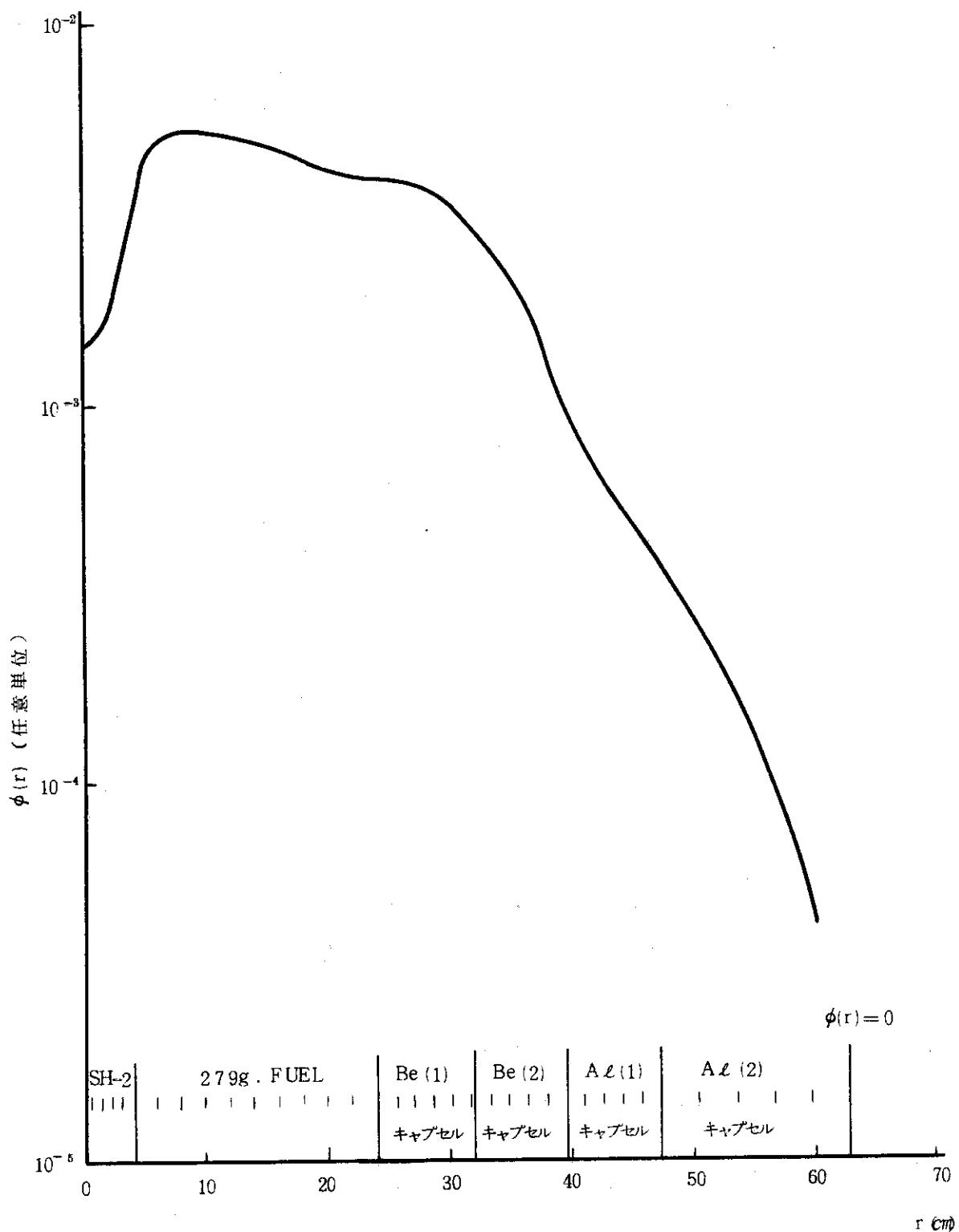
Be 反射体要素



Al 反射体要素



第13図 単位セル



第14図 Thermal Neutron Flux by FOG
(Source Normalized Flux)

3.5 ガンマ線遮蔽板比例スペクトルの影響

今まで述べた検討結果は、JMT-R 廉心のガンマ線遮蔽板北側の反射体の配置が他と異り、ガンマ線遮蔽板の材質ガジルカロイであることにより北側廉心に対しては正しくない。新たにANISN^cより別途計算する必要があった。今回ENDF/B-V からガジルカロイの核データが得られたため、スペクトル計算を行い前述の手法を用いて比較検討されている⁽⁹⁾。その結果の詳細については別に発表される予定であるが、中性子束分布について比較検討した結果を一部引用して第4表に示す。この表から熱中性子束ではガンマ線遮蔽板北側スペクトルを用いると1~3%の増加、1.0 MeV以上の中性子束では2~4%の減少が認められる。

第4表 γ 遮蔽板北側スペクトル計算の効果熱中性子束比(新/旧) ($E < 0.6826 \text{ eV}$)

| | F | G | H | I | J | K | L | M |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|
| 2 | 1.006 | 1.005 | 1.010 | 1.009 | 1.017 | 1.020 | 1.036 | 1.016 |
| 3 | 1.008 | 1.007 | 1.008 | 1.013 | 1.021 | 1.029 | 1.021 | |
| 4 | 1.008 | 1.014 | 1.012 | 1.013 | 1.015 | (OWL-2) | 1.015 | |

高速中性子束比(新/旧) ($E > 1.0 \text{ MeV}$)

| | F | G | H | I | J | K | L | M |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|
| 2 | 0.964 | 0.956 | 0.955 | 0.957 | 0.955 | 0.955 | 0.954 | 0.951 |
| 3 | 0.965 | 0.960 | 0.956 | 0.949 | 0.957 | 1.00 | 0.957 | |
| 4 | 0.979 | 0.978 | 0.978 | 0.976 | 0.984 | (OWL-2) | 0.974 | |

(注) これ以外の照射孔での変動はない。

4 結 言

- (1) 単純な照射物無装荷の「1/4象限」廉心体系において、ANISN^cによる空間依存スペクトルを使用して求めた高速群定数の影響は、熱中性子束で反射体第1層と第4層では~7%の層依存性がある。1 MeV 以上の高速中性子束で最大6% (反射体第3層) 従来より大きくなる。
- (2) 実際の廉心では不規則な照射物の配置により、従来の熱中性子束との比に規則性は認め難いが、数%の層依存性がある。
- (3) (1), (2)から考察するに、熱中性子束については従来の高速群定数計算法でも十分なる計算精度を持っている。すなわち従来のB-1近似スペクトルを使用しても空間依存のスペクトルを使用しても計算結果はあまり変わらないと言える。
- (4) 領域別エネルギー別バックリングの中性子束分布に与える影響は、バックリングを一定とした場合に比較して、 ϕ_{1b} については反射体第3層で2~3%増、第4層で5~6%増となる。 ϕ_f については全体的に2~3%減となる。
- (5) 拡散計算において最外層での境界条件の取り方により、反射体領域3層目以降の中性子束

3.5 ガンマ線遮蔽板比例スペクトルの影響

今までに述べた検討結果は、JMTR 廉心のガンマ線遮蔽板北側の反射体の配置が他と異り、ガンマ線遮蔽板の材質ジルカロイであることにより北側廉心に対しては正しくない。新たにANISNにより別途計算する必要があった。今回ENDF/B-V からジルカロイの核データが得られたため、スペクトル計算を行い前述の手法を用いて比較検討されている⁽⁹⁾。その結果の詳細については別に発表される予定であるが、中性子束分布について比較検討した結果を一部引用して第4表に示す。この表から熱中性子束ではガンマ線遮蔽板北側スペクトルを用いると1～3%の増加、1.0 MeV以上の高速中性子束では2～4%の減少が認められる。

第4表 γ 遮蔽板北側スペクトル計算の効果熱中性子束比(新/旧) ($E < 0.6826 \text{ eV}$)

| | F | G | H | I | J | K | L | M |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|
| 2 | 1.006 | 1.005 | 1.010 | 1.009 | 1.017 | 1.020 | 1.036 | 1.016 |
| 3 | 1.008 | 1.007 | 1.008 | 1.013 | 1.021 | | 1.029 | 1.021 |
| 4 | 1.008 | 1.014 | 1.012 | 1.013 | 1.015 | | (OWL-2) | 1.015 |

高速中性子束比(新/旧) ($E > 1.0 \text{ MeV}$)

| | F | G | H | I | J | K | L | M |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|
| 2 | 0.964 | 0.956 | 0.955 | 0.957 | 0.955 | 0.955 | 0.954 | 0.951 |
| 3 | 0.965 | 0.960 | 0.956 | 0.949 | 0.957 | | 1.00 | 0.957 |
| 4 | 0.979 | 0.978 | 0.978 | 0.976 | 0.984 | | (OWL-2) | 0.974 |

(注) これ以外の照射孔での変動はない。

4 結 言

- (1) 単純な照射物無装荷の「1／4象限」廉心体系において、ANISNによる空間依存スペクトルを使用して求めた高速群定数の影響は、熱中性子束で反射体第1層と第4層では～7%の層依存性がある。1 MeV以上の中性子束で最大6%（反射体第3層）従来より大きくなる。
- (2) 実際の廉心では不規則な照射物の配置により、従来の熱中性子束との比に規則性は認め難いが、数%の層依存性がある。
- (3) (1), (2)から考察するに、熱中性子束については従来の高速群定数計算法でも十分なる計算精度を持っている。すなわち従来のB1近似スペクトルを使用しても空間依存のスペクトルを使用しても計算結果はあまり変わらないと言える。
- (4) 領域別エネルギー別バックリングの中性子束分布に与える影響は、バックリングを一定とした場合に比較して、 ϕ_{th} については反射体第3層で2～3%増、第4層で5～6%増となる。 ϕ_f については全体的に2～3%減となる。
- (5) 拡散計算において最外層での境界条件の取り方により、反射体領域3層目以降の中性子束

分布に影響を与える。 $\phi = 0$ のときと $\frac{d\phi}{dx} = 0$ のときを比較すると後者の方が反射体第3層で～5%，第4層で～14%大きくなる。

- (6) 照射物を無視した場合のスペクトルの相違が中性子束分布の計算値に与える影響は小さい。第3群の中性子束が2～5%小さくなるのみである。

5 あとがき

JMTR の炉心配置検討に使用される核計算の方法については過去多数の人々の参画を得、すでに報告されているようにほぼ確立されているものである。

その後年々計算コードの整備、改良が行われ、かつ照射予測精度の向上の要望と相まって、本報告書で述べたような核計算精度を高めるための努力が払われてきた。ここに現在JMTRで行われている核計算の手法、及び種々の検討結果についてまとめ報告するものである。本報告書のまとめは安藤が担当した。

なお GGC-4 の使用に際して、数値解析研究室の伊勢武治氏、筒井恒夫氏には適切な御指導を頂いたので感謝致します。

参考文献

- (1) 小山田六郎、田中利幸、飯田浩正：JAERI-memo 4180（公開）(1970)
- (2) 飯田浩正、野村正之、安藤弘栄ほか：JAERI-M 6205 (1975)
- (3) J.Adir, K.D.Lathrop GA-9021 (1968)
- (4) 飯田浩正、永岡芳春：JAERI-M 6071 (1975)
- (5) 桂木 学、森口欽一、久家靖史：JAERI-1104 (1966)
- (6) T.B.Fowler, M.L.Tobias, D.R.Vondy ORNL-4078 (1967)
- (7) 筒井恒夫、伊勢武治：JAERI-M 5991 (1975)
- (8) T.B.Fowler, D.R.Vondy ORNL-TM-2496 (1969)
- (9) 野村正之 他：「JMTRの中性子スペクトル」（仮題）出版予定

分布に影響を与える。 $\phi = 0$ のときと $\frac{d\phi}{dx} = 0$ のときを比較すると後者の方が反射体第3層で～5%，第4層で～14%大きくなる。

- (6) 照射物を無視した場合のスペクトルの相違が中性子束分布の計算値に与える影響は小さい。
第3群の中性子束が2～5%小さくなるのみである。

5 あとがき

JMTR の炉心配置検討に使用される核計算の方法については過去多数の人々の参画を得、すでに報告されているようにほぼ確立されているものである。

その後年々計算コードの整備、改良が行われ、かつ照射予測精度の向上の要望と相まって、本報告書で述べたような核計算精度を高めるための努力が払われてきた。ここに現在JMTRで行われている核計算の手法、及び種々の検討結果についてまとめ報告するものである。本報告書のまとめは安藤が担当した。

なお GGC-4 の使用に際して、数値解析研究室の伊勢武治氏、筒井恒夫氏には適切な御指導を頂いたので感謝致します。

参考文献

- (1) 小山田六郎、田中利幸、飯田浩正：JAERI-memo 4180（公開）(1970)
- (2) 飯田浩正、野村正之、安藤弘栄ほか：JAERI-M 6205 (1975)
- (3) J.Adir, K.D.Lathrop GA-9021 (1968)
- (4) 飯田浩正、永岡芳春：JAERI-M 6071 (1975)
- (5) 桂木 学、森口欽一、久家靖史：JAERI-1104 (1966)
- (6) T.B.Fowler, M.L.Tobias, D.R.Vondy ORNL-4078 (1967)
- (7) 筒井恒夫、伊勢武治：JAERI-M 5991 (1975)
- (8) T.B.Fowler, D.R.Vondy ORNL-TM-2496 (1969)
- (9) 野村正之 他：「JMTRの中性子スペクトル」（仮題）出版予定

**付録1 GGC-4 コードインプットの書き方
(Fast Section のみ使用する場合)**

(1) コントロールカードの書き方

```

¥ NO
¥ GJOB
¥ EXEC.DT△NONAME, JOO51.GGO4EB60
¥ DISK△F02
¥ DISK△F03
¥ TAPE△F04, J0051.GGC4MAKE, OLD, 000654
¥ DISK△F08
¥ DISK△F22
¥ DISK△F23
¥ DISK△F24
¥ DISK△F30
¥ DATA
¥ JEND

```

- (2) マニュアル：
 ° GA - 9021 " Theory of methods used in the GGC-4 multigroup cross section code "
 ° JAERI-M-5991 " GGC-4 コードによる多群群定数作成とその検討

(3) 主な計算方法

スペクトル： flux, current 共に ANISN で計算した値を使用。燃料領域、ベリリウム第一層、ベリリウム第二層、アルミニウム第一層、アルミニウム第二層、北側ベリリウム第二層、北側アルミニウム第一層、北側アルミニウム第二層の計 8 種のうちから適切なものを使用。

共鳴：²³⁸U, ²⁴⁰Pu について行う。燃料要素は均質、燃料ピンは一次元（円筒）計算

- (4) ライブラリテープに記載されている核種とコード番号は別添1のとおりである。

- (5) インプットの書き方 (GGC-4 マニュアル参照)

No.1 Card

| | |
|---------|---|
| col 1 2 | 1 |
| col 2 4 | 0 |

No.2

| | |
|-----------|------------|
| col 1~1 2 | GAM RESION |
|-----------|------------|

No.3

| | |
|-------------|----------|
| col 1~1 2 | 1 9 7 3. |
| col 1 3~2 4 | 1.0 |

No. 4 card

col 1~7 2 タイトルを書く(キャプセル名など)

No. 5

col 1~1 2 核種の数

col 1 3~2 4 3.0 (小数エネルギー群数)

col 3 7~4 8 0.0 (B1近似のとき 1.0)

col 4 9~6 0 0.0

col 6 1~7 2 2.0 (B1近似のとき 0.0)

No. 6

col 1~1 2 1.0 (up to 2nd moment)

col 1 3~2 4 2.0 (Fission Spectrum U235)

col 3 7~4 8 0.0

col 4 9~6 0 1.0 (σ_{tr} のdefinition)

col 6 1~7 2 0.0

No. 7 (小数群エネルギーmesh)

col 1~1 2 1.0 0 2 5 8 9 E+0 6 (右につめる)

col 1 3~2 4 1.8 3 1 5 6 4 E+0 5 ("")

col 2 5~3 6 0.6 8 2 5 6 0 7

fluxとcurrentをインプットする場合は*No. 8, 9*カードいらない。*No. 10*col 1~1 2 バックリング($B^2 = 0.0 0 0 1$)*No. 11*

col 1~1 2 核種のコード番号(別添1参照)

col 1 3~2 4 核種の原子数密度(10^{24} 個/cm³)

col 2 5~3 6 共鳴計算するとき 1.0, しないとき 0.0

col 3 7~4 8 0.0

col 4 9~6 0 0.0

col 6 1~7 2 0.0

self-shielding factorを考えないときは, *No. 12*カードいらない。*No. 13* (カード*No. 15*までは共鳴計算用データ)

col 1~1 2 燃料棒温度(K)

col 1 3~2 4 geometry : 0.0 = homo, 1.0 = slab, 2.0 = cylinder

3.0 = sphere

col 2 5~3 6 \bar{a} : 燃料ペレット半径(cm), 均質のときは 3.86 cm(\bar{a} は Po - 媒質から逃れる確率 - の計算に用いられ, 均質系では $P_o=0$ であるので, \bar{a} の値には無関係)

col 37~48 C: ダンコフ補正(通常 0.0)

col 49~60 $(\sigma_m)_{\text{eff}} = \sigma_p + \sigma_e$

○ cylinder 計算の場合

$$\sigma_p = \frac{(N \cdot \sigma)_0 + (N \cdot \sigma)_{U_235} + (N \cdot \sigma)_{U_238}}{N_{U_238}} \quad (\text{UO}_2 \text{ ピンの場合})$$

$$\sigma_e = \frac{1 - C}{N_0 \bar{\ell}} \quad \bar{\ell} = 2r \quad (r: \text{ペレット半径})$$

$$N_0 = N_{U_238}$$

 σ : Epithermal scattering cross section (別添 2)

○ 均質計算の場合

$$\sigma_e = 0$$

$$\sigma_p = \frac{N_H \sigma_H + N_O \sigma_O + N_{Al} \sigma_{Al} + N_{U_235} \sigma_{U_235} + N_{U_238} \sigma_{U_238}}{N_{U_238}}$$

セル平均の値

col 61~72 N_0 (共鳴吸収を持つ核種の個数密度。U238など)

No. 1 4

col 1~12 1.0 (Nordheims integral)

col 13~24 第一減速材の質量数

UO₂ の場合は 16.0 (O), 燃料要素では 1.0 (H)

$$\text{col } 25 \sim 36 \quad \sigma_{m1} = \frac{N_{m1} \sigma_{m1}^s}{N_0}$$

col 37~48 2.0 (Asymptotic approximation)

col 49~60 第二減速材の質量数

UO₂ ピンの場合は 235.0, 燃料要素では 16.0

$$\text{col } 61 \sim 72 \quad \sigma_{m2} = \frac{N_{m2} \sigma_{m2}^s}{N_0}$$

No. 1 5

col 1~12 2.0 (Asymptotic approximation)

No. 1 5 A, 1 5 B, 1 5 C カードは不需要

No. 1 5 D flux for each fine group

6 E 1 2.5 で 1~99 群まで。各領域のスペクトルを代入

No. 1 5 E current for each fine group

6 E 1 2.5 で 1~99 群まで。各領域のスペクトルを代入

No. 1 6

col 1~12 0.0

No 2 0

col 1~1 2 0.0
col 1 3~2 4 0.0
col 2 5~3 6 0.0

No 4 4

col 1~3 type A³:COR
col 4~6 0 1 4 A 4, A 1 : CORE INPUT
col 6 3~6 4 I 4 : 0
col 6 5~6 8 I 4 : 2

No 4 5

col 1~1 2 I 1 2 : 1
col 1 3~ プランク

No 4 6 プランク

Number of Nuclides = 54

| Nuclide I.D. Number | Nuclide Description |
|------------------------|-------------------------------------|
| 1.000000 | Hydrogen |
| 1.200000 | Deuterium |
| 3.000000 | Lithium |
| 4.000000 | Beryllium GA-5905 |
| 5.000000 | Boron Natural |
| 5.010000 | Boron 10 |
| 6.000000 | Carbon |
| 8.000000 | Oxygen |
| 11.00000 | Sodium |
| 13.00000 | Aluminum GA-5884 |
| 14.00000 | Silicon |
| 15.00000 | Phosphorus |
| 16.00000 | Sulfur |
| 22.00000 | Titanium |
| 24.00000 | Chromium |
| 25.00000 | Manganese |
| 26.00000 | Iron |
| 27.00000 | Cobalt |
| 28.00000 | Nickel |
| 29.00000 | Copper |
| 40.00000 | Zirconium |
| 41.09300 | Niobium EVAL APRIL 1965 |
| 42.00000 | Molybdenum |
| 47.00000 | Silver |
| 48.00000 | Cadmium |
| 49.00000 | Indium |
| 50.00000 | Tin |
| 54.13500 | Xenon 135 |
| 54.61800 | SUS304 FROM AGN TM-407 |
| 54.65800 | SUS321 AGN TM-407 |
| 54.68400 | SUS347 AGN TM-407 |
| 55.28900 | SUS316 AGN TM-407 |
| 58.46100 | Inconel AGN TM-407 |
| 58.62700 | Hastelloy-X AGN TM-407 |
| 59.13200 | Inconel-X AGN TM-407 |
| 62.14900 | Samarium 149 |
| 64.00000 | Gadolinium Natural |
| 72.00000 | Hafnium Natural |
| 73.00000 | Tantalum Natural |
| 74.00000 | Tungsten GA-5885 |
| 90.23200 | Thorium 232 |
| 91.23300 | Protactinium 233 |
| 91.33690 | Zry-4 From JAERI-M 4881 |
| 91.34960 | Zry-2 From JAERI-M 4881 |
| 92.23330 | Uranium 233 GA BEST FIT FEB 1965 |
| 92.23500 | Uranium 235 nasa report |
| 92.23800 | Uranium 238 NASA REPORT JAN 1965 |
| 92.23810 | Uranium 238 Resonance NASA REPORT |
| 94.23900 | Plutonium 239 GA-6576 |
| 94.24000 | Plutonium 240 GA-6576 |
| 94.24010 | Plutonium 240 Resonance GA-6576 |
| 94.24100 | Plutonium 241 GA-6576 |
| 94.24120 | Plutonium 241 ENDF/B DATA JAN. 1967 |
| 94.24200 | Plutonium 242 GA-6576 |

別添 2

Epithermal scattering cross section

| Nuclide | σ_s (born) |
|-------------------|-------------------|
| H | 20.65 |
| D | 3.35 |
| Li-7 | 1.1 |
| Be | 5.8 |
| C | 4.8 |
| N | 11.0 |
| O | 3.7 |
| Na | 3.2 |
| Al | 1.3 |
| Cr | 4.3 |
| Fe | 11.8 |
| Ni | 17.0 |
| Zr | 6.3 |
| ^{232}Th | 12.5 |
| ^{233}U | 12.5 |
| ^{234}U | 11.0 |
| ^{235}U | 12.5 |
| ^{236}U | 9.0 |
| ^{238}U | 9.0 |
| ^{239}Np | 10.0 |
| ^{239}Pu | 12.0 |
| ^{240}Pu | 9.0 |
| ^{241}Pu | 12.0 |
| ^{242}Pu | 9.0 |

付録 2

第34サイクル群定数

| 燃・材料 | 工 ネ ル ギ | D | Σ_A | Σ_r | $\nu\Sigma_f$ | 備 考 |
|--|------------------|---------|------------|------------|---------------|---------------------------------|
| 燃料要素 (279g) | 1 | 2.313 | 6.602-4 | 7.768-2 | 5.698-4 | 使用スペクトル Fuel |
| | 2 | 1.405 | 2.545-4 | 1.301-1 | 5.008-4 | |
| | 3 | 9.246-1 | 5.146-3 | 5.885-2 | 6.618-3 | |
| | 4 | 2.409-1 | 7.961-2 | | 1.366-1 | |
| 燃料要素 (237g) | 1 | 2.312 | 6.274-4 | 7.758-2 | 4.822-4 | Fuel |
| | 2 | 1.400 | 2.179-4 | 1.305-1 | 4.220-4 | |
| | 3 | 9.273-1 | 4.473-3 | 5.917-2 | 5.596-3 | |
| | 4 | 2.390-1 | 7.158-2 | | 1.195-1 | |
| 燃料フォロワ (195g) | 1 | 2.366 | 5.944-4 | 6.994-2 | 4.000-4 | Fuel |
| | 2 | 1.433 | 1.889-4 | 1.146-1 | 3.516-4 | |
| | 3 | 1.004 | 3.783-3 | 5.167-2 | 4.662-3 | |
| | 4 | 2.949-1 | 5.735-2 | | 9.141-2 | |
| γ線 遮蔽板 | 1 | 2.358 | 2.672-4 | 4.005-2 | | Be 2層 |
| | 2 | 1.213 | 3.015-4 | 3.599-2 | | |
| | 3 | 9.699-1 | 3.431-3 | 1.517-2 | | |
| | 4 | 5.400-1 | 7.905-3 | | | |
| $A\ell$ 要素 RR' | 1 | 2.682 | 2.669-4 | 2.988-2 | | $A\ell$ 1層 (スペクトル補正層が Be) |
| | 2 | 1.660 | 5.164-5 | 2.361-2 | | |
| | 3 | 2.440-1 | 5.559-4 | 9.117-3 | | |
| | 4 | 1.385 | 1.184-2 | | | |
| $(A\ell.1)$ $A\ell$ 要素 R R ($A\ell$ 領域) | 1 | 2.682 | 2.669-4 | 2.988-2 | | $A\ell$ 1層 |
| | 2 | 1.660 | 5.164-5 | 2.361-2 | | |
| | 3 | 2.441 | 5.559-4 | 9.117-3 | | |
| | 4 | 1.458 | 1.082-2 | | | |
| $(A\ell.2)$ $A\ell$ 要素 R R ($A\ell$ 領域) | 1 | 2.663 | 2.569-4 | 3.139-2 | | $A\ell$ 2層 |
| | 2 | 1.716 | 5.174-5 | 2.384-2 | | |
| | 3 | 2.683 | 5.742-4 | 9.055-3 | | |
| | 4 | 1.458 | 1.082-2 | | | |
| Be要素 F R (Be.1) | 1 | 1.670 | 4.730-3 | 4.782-2 | | Be 1層 |
| | 2 | 8.143-1 | 1.483-6 | 7.202-2 | | |
| | 3 | 5.271-1 | 8.417-5 | 1.866-2 | | |
| | 4 | 3.640-1 | 2.531-3 | | | |
| Be要素 F R (Be.2) | 1 | 1.731 | 4.201-3 | 5.424-2 | | Be 2層 |
| | 2 | 8.105-1 | 1.481-6 | 7.595-2 | | |
| | 3 | 5.197-1 | 9.089-5 | 2.129-2 | | |
| | 4 | 3.640-1 | 2.531-3 | | | |
| Be棒 West (6~11) | 1 | 1.665 | 4.824-3 | 4.597-2 | | Be 1層 |
| | 2 | 8.079-1 | 1.515-6 | 6.847-2 | | |
| | 3 | 5.238-1 | 7.285-5 | 1.688-2 | | |
| | 4 | 3.758-1 | 2.212-3 | | | |

| 燃・材料 | エネ ルギ | D | Σ_A | Σ_r | Σ_t | |
|----------------------------|----------|---------|------------|------------|------------|-------|
| Be枠 East (6~12) | 1 | 1.728 | 4.285-3 | 5.231-2 | | Be 2層 |
| | 2 | 8.053-1 | 1.513-6 | 7.235-2 | | |
| | 3 | 5.179-1 | 7.868-5 | 1.940-2 | | |
| | 4 | 3.758-1 | 2.212-3 | | | |
| Be枠 G, H, I, J, K, L | 1 | 1.669 | 4.762-3 | 4.715-2 | | Be 1層 |
| | 2 | 8.122-1 | 1.495-6 | 7.073-2 | | |
| | 3 | 5.260-1 | 8.008-5 | 1.801-2 | | |
| | 4 | 3.675-1 | 2.428-3 | | | |
| Be枠 F, M | 1 | 1.774 | 4.145-3 | 4.255-2 | | Be 1層 |
| | 2 | 8.780-1 | 9.301-6 | 6.067-2 | | |
| | 3 | 5.882-1 | 1.365-4 | 1.501-2 | | |
| | 4 | 4.249-1 | 3.623-3 | | | |
| 4孔 Al プラグ RR | 1 | 2.595 | 2.576-4 | 3.735-2 | | Al 2層 |
| | 2 | 1.672 | 4.932-5 | 3.404-2 | | |
| | 3 | 2.293 | 5.828-4 | 1.474-2 | | |
| | 4 | 1.044 | 1.125-2 | | | |
| 4孔 Al プラグ FR | 1 | 2.732 | 4.255-4 | 3.060-2 | | Fuel |
| | 2 | 1.657 | 4.470-5 | 3.364-2 | | |
| | 3 | 1.764 | 4.310-4 | 1.141-2 | | |
| | 4 | 9.036-1 | 1.128-2 | | | |
| Be枠 5-West | 1 | 1.694 | 4.667-3 | 4.367-2 | | Be 1層 |
| | 2 | 8.248-1 | 4.043-6 | 6.368-2 | | |
| | 3 | 5.406-1 | 8.600-5 | 1.512-2 | | |
| | 4 | 3.999-1 | 2.454-3 | | | |
| Be枠 5-East | 1 | 1.801 | 3.885-3 | 4.816-2 | | Be 2層 |
| | 2 | 8.519-1 | 7.373-6 | 6.426-2 | | |
| | 3 | 5.647-1 | 1.205-4 | 1.673-2 | | |
| | 4 | 4.200-1 | 3.075-3 | | | |
| Be枠 14, 15 | 1 | 1.684 | 3.801-3 | 6.912-2 | | Al 2層 |
| | 2 | 7.946-1 | 1.464-6 | 7.460-2 | | |
| | 3 | 5.134-1 | 9.517-5 | 2.272-2 | | |
| | 4 | 3.724-1 | 2.299-3 | | | |
| Be枠 4-S | 1 | 1.725 | 4.388-3 | 4.996-2 | | Be 2層 |
| | 2 | 7.987-1 | 1.553-6 | 6.796-2 | | |
| | 3 | 5.155-1 | 6.368-5 | 1.707-2 | | |
| | 4 | 3.927-1 | 1.797-3 | | | |
| Be枠 4-N | 1 | 1.743 | 3.671-3 | 5.511-2 | | Al 1層 |
| | 2 | 8.525-1 | 7.745-5 | 5.987-2 | | |
| | 3 | 4.992-1 | 1.111-3 | 1.614-2 | | |
| | 4 | 3.919-1 | 1.579-2 | | | |

| 燃・材料 | エネ ルギ | D | Σ_A | Σ_r | $\nu\Sigma_f$ | 備考 |
|-----------------------------|----------|---------|------------|------------|---------------|---------------|
| 制御棒 | 1 | 2.837 | 1.815-3 | 6.997-2 | | 従来使用してい た値 |
| | 2 | 1.212 | 2.408-4 | 8.663-2 | | |
| | 3 | 8.631-1 | 1.874-2 | 1.725-2 | | |
| | 4 | — | — | — | | |
| 71F-5A (Be) | 1 | 1.883-1 | 3.169-3 | 5.598-2 | 2.302-4 | Aℓ 1層 |
| | 2 | 9.286-1 | 1.047-4 | 6.488-2 | 1.089-4 | |
| | 3 | 5.880-1 | 1.931-3 | 2.055-2 | 1.643-3 | |
| | 4 | 3.944-1 | 1.534-2 | | 1.068-2 | |
| 71F-3A (Aℓ) | 1 | 2.662 | 3.814-4 | 3.013-2 | 2.302-4 | Aℓ 1層 |
| | 2 | 1.670 | 1.435-4 | 2.335-2 | 1.089-4 | |
| | 3 | 1.937 | 2.280-3 | 8.658-3 | 1.643-3 | |
| | 4 | 1.288 | 2.045-2 | | 1.063-2 | |
| HR-1 | 1 | 2.097 | 3.849-4 | 8.418-2 | | Be 2層 |
| | 2 | 1.363 | 1.021-4 | 1.261-1 | | |
| | 3 | 7.878-1 | 1.545-3 | 5.567-2 | | |
| | 4 | 2.546-1 | 3.685-2 | | | |
| 74LF-23A (OWL-1) | 1 | 2.082 | 9.699-4 | 6.525-2 | 1.185-3 | Be 2層 |
| | 2 | 1.380 | 3.980-4 | 8.171-2 | 7.473-5 | |
| | 3 | 7.211-1 | 5.298-3 | 3.546-2 | 1.068-3 | |
| | 4 | 3.539-1 | 5.918-2 | | 1.138-2 | |
| 内圧クリープ | 1 | 2.430 | 3.988-4 | 5.891-2 | | Be 2層 |
| | 2 | 1.462 | 1.301-4 | 8.044-2 | | |
| | 3 | 1.004 | 1.595-3 | 3.479-2 | | |
| | 4 | 3.908-1 | 2.004-2 | | | |
| 73M-7G | 1 | 1.744 | 3.379-3 | 5.225-2 | | Be 2層 |
| | 2 | 9.017-1 | 1.219-4 | 6.452-2 | | |
| | 3 | 5.007-1 | 1.640-3 | 1.917-2 | | |
| | 4 | 3.488-1 | 2.391-2 | | | |
| 73M-38R 73M-39R | 1 | 1.730 | 4.173-3 | 4.728-2 | | Be 1層 |
| | 2 | 8.602-1 | 1.846-5 | 6.868-2 | | |
| | 3 | 5.627-1 | 2.764-4 | 1.852-2 | | |
| | 4 | 3.707-1 | 8.776-3 | | | |
| 71M-19(R) (U) 73M-46U | 1 | 1.686 | 4.475-3 | 5.030-2 | | Be 1層 |
| | 2 | 8.422-1 | 5.788-5 | 7.488-2 | | |
| | 3 | 5.231-1 | 5.839-4 | 2.112-2 | | |
| | 4 | 3.528-1 | 1.037-2 | | | |
| 72M-20R 74M-6R | 1 | 1.522 | 5.475-3 | 4.803-2 | | Be 1層 |
| | 2 | 7.839-1 | 2.761-4 | 6.531-2 | | |
| | 3 | 4.144-1 | 2.277-3 | 1.715-2 | | |
| | 4 | 3.628-1 | 1.457-2 | | | |

| 燃・材料 | 工 序 ル ギ | D | Σ_A | Σ_f | $\nu\Sigma_f$ | 備 考 |
|--------------------|------------------|----------|------------|------------|---------------|------|
| 74M-17A | 1 | 1.6160 | 3.8830-3 | 6.3410-2 | | Be 1 |
| | 2 | 8.4960-1 | 1.6620-4 | 9.3480-2 | | |
| | 3 | 5.1180-1 | 4.0490-3 | 3.0540-2 | | |
| | 4 | 3.0350-1 | 1.8360-2 | | | |
| 73M-4A 72M-29A | 1 | 2.6650 | 5.5090-4 | 2.4740-2 | | Fuel |
| | 2 | 1.6440 | 1.0400-4 | 2.0880-2 | | |
| | 3 | 1.3490 | 9.1540-4 | 6.1920-2 | | |
| | 4 | 8.6520-1 | 2.2260-2 | | | |
| 73M-46R 73M-33R | 1 | 1.821 | 3.708 -3 | 4.748 -2 | | Be 1 |
| | 2 | 9.201-1 | 1.086 -5 | 6.985 -2 | | |
| | 3 | 6.181-1 | 1.848 -4 | 2.008 -2 | | |
| | 4 | 3.802-1 | 5.216 -3 | | | |
| 75M-8U | 1 | 2.6820 | 2.6690-4 | 2.9884-2 | | Be 2 |
| | 2 | 1.6600 | 5.1640-5 | 2.3610-2 | | |
| | 3 | 2.4410 | 5.5590-4 | 9.1170-3 | | |
| | 4 | 1.4580 | 1.0820-2 | | | |
| 72M-23A | 1 | 2.3960 | 4.7640-4 | 4.2287-2 | | Fuel |
| | 2 | 1.5610 | 1.2810-4 | 5.1810-2 | | |
| | 3 | 1.0160 | 1.3870-3 | 1.9100-2 | | |
| | 4 | 5.1370-1 | 2.6070-2 | | | |
| 74M-20A | 1 | 2.8540 | 4.4250-4 | 3.6780-2 | | Fuel |
| | 2 | 1.8190 | 2.3270-4 | 4.4310-2 | | |
| | 3 | 1.1400 | 5.0020-3 | 1.6230-2 | | |
| | 4 | 5.4420-1 | 3.4190-2 | | | |
| 73F-2U | 1 | 2.4900 | 4.7290-4 | 3.3184-2 | | Fuel |
| | 2 | 1.6200 | 1.2780-4 | 3.3430-2 | | |
| | 3 | 1.1520 | 1.3220-3 | 1.1660-2 | | |
| | 4 | 6.4080-1 | 3.4630-2 | | | |
| 74M-7R | 1 | 2.4190 | 5.3840-4 | 3.9812-2 | | Fuel |
| | 2 | 1.5720 | 1.3640-4 | 4.7170-2 | | |
| | 3 | 1.0520 | 1.4140-3 | 1.7210-2 | | |
| | 4 | 5.0880-1 | 3.7980-2 | | | |
| 74M-19A | 1 | 2.5940 | 4.0000-4 | 3.6842-2 | | Fuel |
| | 2 | 1.6280 | 1.0440-4 | 4.6890-2 | | |
| | 3 | 1.0340 | 1.1110-3 | 1.6710-2 | | |
| | 4 | 5.1540-1 | 3.0640-2 | | | |
| 74M-57U | 1 | 2.2970 | 5.9820-4 | 3.5606-2 | | Fuel |
| | 2 | 1.5720 | 2.6420-4 | 3.3310-2 | | |
| | 3 | 9.1690-1 | 4.4630-3 | 1.1770-2 | | |
| | 4 | 5.4700-1 | 5.4820-2 | | | |

| 燃・材料 | 工具 ル番 | D | Σ_A | Σ_r | $\nu \Sigma_f$ | 備 考 |
|---------|----------|----------|------------|------------|----------------|------|
| 74M-34U | 1 | 2.5430 | 6.2950-4 | 3.8324-2 | | Fuel |
| | 2 | 1.5790 | 1.0020-4 | 4.7450-2 | | |
| | 3 | 1.2380 | 9.2630-4 | 1.7130-2 | | |
| | 4 | 5.6990-1 | 2.4310-2 | | | |
| 73M-50J | 1 | 1.8680 | 3.3120-3 | 4.9150-2 | | Be 2 |
| | 2 | 9.1820-1 | 2.9770-5 | 6.4930-2 | | |
| | 3 | 6.0450-1 | 4.5390-4 | 1.8770-2 | | |
| | 4 | 4.0340-1 | 1.2710-2 | | | |
| 73F-8A | 1 | 2.6060 | 3.3050-4 | 3.0504-2 | 7.5080-5 | Al 1 |
| | 2 | 1.6420 | 1.0170-4 | 2.3390-2 | 2.8250-5 | |
| | 3 | 1.9080 | 1.4420-3 | 8.6600-3 | 4.2540-4 | |
| | 4 | 1.2470 | 1.9270-2 | | 4.3360-3 | |
| 74M-33U | 1 | 1.8570 | 3.3150-3 | 4.9670-2 | | Be 2 |
| | 2 | 9.2000-1 | 4.4090-5 | 6.5260-2 | | |
| | 3 | 5.8760-1 | 5.9670-4 | 1.9060-2 | | |
| | 4 | 3.8630-1 | 1.2610-2 | | | |
| 75M-7U | 1 | 2.5510 | 2.8540-4 | 3.1365-2 | | Al 1 |
| | 2 | 1.6360 | 9.8480-5 | 2.3240-2 | | |
| | 3 | 1.6400 | 1.2660-3 | 8.7730-3 | | |
| | 4 | 1.1160 | 2.1010-2 | | | |
| 72M-48R | 1 | 1.7910 | 3.9490-3 | 4.4940-2 | | Be 1 |
| | 2 | 9.0080-1 | 2.4030-5 | 6.4600-2 | | |
| | 3 | 5.8880-1 | 3.2900-4 | 1.7330-2 | | |
| | 4 | 3.8780-1 | 9.5870-3 | | | |
| 73M-14P | 1 | 2.4640 | 4.7320-4 | 4.3581-2 | | Fuel |
| | 2 | 1.5190 | 1.1330-4 | 5.5840-2 | | |
| | 3 | 1.1210 | 1.1950-3 | 2.0660-2 | | |
| | 4 | 4.7220-1 | 2.6140-2 | | | |
| 73M-51R | 1 | 2.7320 | 4.2550-4 | 3.0602-2 | | Fuel |
| | 2 | 1.6540 | 4.4700-5 | 3.3640-2 | | |
| | 3 | 1.7640 | 4.3100-4 | 1.1410-2 | | |
| | 4 | 9.0360-1 | 1.1280-2 | | | |
| 74M-3R | 1 | 2.7320 | 4.2550-4 | 3.0602-2 | | Fuel |
| | 2 | 1.6540 | 4.4700-5 | 3.3640-2 | | |
| | 3 | 1.7640 | 4.3100-4 | 1.1410-2 | | |
| | 4 | 9.0360-1 | 1.1280-2 | | | |
| 73M-36R | 1 | 2.4190 | 5.3840-4 | 3.9812-2 | | Fuel |
| | 2 | 1.5720 | 1.3640-4 | 4.7170-2 | | |
| | 3 | 1.0520 | 1.4140-3 | 1.7210-2 | | |
| | 4 | 5.0880-1 | 3.7980-2 | | | |

| 燃・材料 | エネルギー | D | ΣA | Σf | $\nu \Sigma f$ | 備考 |
|--------------------|-------|----------|------------|------------|----------------|------|
| 74M-15A | 1 | 2.3960 | 4.7640-4 | 4.2287-2 | | Fuel |
| | 2 | 1.5610 | 1.2810-4 | 5.1810-2 | | |
| | 3 | 1.0160 | 1.3870-3 | 1.9100-2 | | |
| | 4 | 5.1370-1 | 2.6070-2 | | | |
| 44J-4 | 1 | 2.3780 | 5.4040-4 | 4.5272-2 | | Fuel |
| | 2 | 1.5440 | 1.3410-4 | 5.8480-2 | | |
| | 3 | 9.8890-1 | 1.4250-3 | 2.1780-2 | | |
| | 4 | 4.3970-1 | 3.8330-2 | | | |
| 73M-42R | 1 | 1.7810 | 3.5230-3 | 5.5590-2 | | Be 1 |
| | 2 | 8.5080-1 | 3.2490-5 | 7.3830-2 | | |
| | 3 | 5.5970-1 | 6.3510-4 | 1.9750-2 | | |
| | 4 | 3.2520-1 | 1.2540-2 | | | |
| 70LF-8P (OWL-2) | 1 | 2.3550 | 1.6340-3 | 5.7047-2 | 2.8920-3 | Be 2 |
| | 2 | 1.4820 | 7.1610-4 | 5.9830-2 | 3.0030-4 | |
| | 3 | 8.1370-1 | 1.0840-2 | 2.8790-2 | 4.4460-3 | |
| | 4 | 4.7070-1 | 5.5070-2 | | 4.5220-2 | |
| 72F-9A 73F-12A | 1 | 2.6070 | 4.6080-4 | 2.9467-2 | 2.7270-5 | Fuel |
| | 2 | 1.5890 | 2.1550-4 | 2.5560-2 | 5.2680-6 | |
| | 3 | 1.4350 | 4.4760-3 | 8.0610-3 | 6.2540-5 | |
| | 4 | 9.4500-1 | 2.0600-2 | | 1.3340-3 | |
| 70F-3A | 1 | 1.9970 | 3.3660-3 | 5.6550-2 | 1.9570-4 | Be 2 |
| | 2 | 9.6920-1 | 6.7300-5 | 6.4380-2 | 3.0860-5 | |
| | 3 | 6.0710-1 | 1.1250-3 | 1.8860-2 | 4.5150-4 | |
| | 4 | 3.9550-1 | 1.3500-2 | | 5.8820-3 | |
| 74M-55U | 1 | 2.5510- | 2.8540-4 | 3.1365-2 | | Aℓ 1 |
| | 2 | 1.6360 | 9.8520-5 | 2.3240-2 | | |
| | 3 | 1.6390 | 1.2660-3 | 8.7730-3 | | |
| | 4 | 1.0970 | 2.1850-2 | | | |
| 71M-58R | 1 | 1.7800 | 3.9160-3 | 4.5820-2 | | Be 1 |
| | 2 | 8.9880-1 | 2.5620-5 | 6.5900-2 | | |
| | 3 | 5.8750-1 | 3.5140-4 | 1.7960-2 | | |
| | 4 | 3.6520-1 | 1.0920-2 | | | |
| 74M-18A | 1 | 2.3320 | 4.8480-4 | 4.9211-2 | | Aℓ 2 |
| | 2 | 1.4540 | 2.3930-4 | 5.3360-2 | | |
| | 3 | 1.2740 | 6.2040-3 | 2.4390-2 | | |
| | 4 | 5.9810-1 | 2.3760-2 | | | |
| NCF (炉内管) | 1 | 2.2010 | 4.3270-4 | 7.4160-2 | | Be 1 |
| | 2 | 1.4670 | 1.1640-4 | 1.1290-1 | | |
| | 3 | 8.7260-1 | 1.5880-3 | 4.7340-2 | | |
| | 4 | 2.6380-1 | 3.8920-2 | | | |

| 燃・材料 | 工 木 ル ギ | D | Σ_A | Σ_t | $\nu\Sigma_f$ | 備 考 |
|---------------|------------------|------------|------------|------------|---------------|------|
| HR - 2 | 1 | 2.2040 | 4.1850 - 4 | 7.8690 - 2 | | Be 1 |
| | 2 | 1.4610 | 1.0160 - 4 | 1.2280 - 1 | | |
| | 3 | 8.7460 - 1 | 1.4460 - 3 | 5.1680 - 2 | | |
| | 4 | 2.5460 - 1 | 3.6850 - 2 | | | |
| 72M - 49R | 1 | 1.7730 | 3.7800 - 3 | 5.4940 - 2 | | Be 2 |
| | 2 | 8.5000 - 1 | 1.8820 - 5 | 6.8980 - 2 | | |
| | 3 | 5.4930 - 1 | 2.8560 - 4 | 1.9440 - 2 | | |
| | 4 | 3.8370 - 1 | 8.6380 - 3 | | | |
| (檢 (東側) | 1 | 1.8120 | 3.7750 - 3 | 4.9220 - 2 | | Be 2 |
| | 2 | 8.6220 - 1 | 7.9720 - 6 | 6.6210 - 2 | | |
| | 3 | 5.7220 - 1 | 1.3460 - 4 | 1.7940 - 2 | | |
| | 4 | 4.1230 - 1 | 3.4120 - 3 | | | |
| 73F - 15A | 1 | 1.8040 | 3.2370 - 3 | 5.7560 - 2 | 3.0060 - 4 | Al 1 |
| | 2 | 8.8550 - 1 | 1.5260 - 4 | 6.5270 - 2 | 1.2680 - 4 | |
| | 3 | 5.6180 - 1 | 2.5650 - 3 | 2.0720 - 2 | 1.9100 - 3 | |
| | 4 | 3.9600 - 1 | 1.8510 - 2 | | 9.4380 - 3 | |
| 71M - 59P | 1 | 2.4490 | 3.4590 - 4 | 3.7312 - 2 | | Al 1 |
| | 2 | 1.5890 | 1.2190 - 4 | 3.3380 - 2 | | |
| | 3 | 1.3510 | 1.5960 - 3 | 1.4240 - 2 | | |
| | 4 | 7.7740 - 1 | 3.0470 - 2 | | | |
| 75M - 6U | 1 | 2.5220 | 2.7620 - 4 | 3.3375 - 2 | | Al 2 |
| | 2 | 1.6860 | 1.0470 - 4 | 2.3480 - 2 | | |
| | 3 | 1.6220 | 1.4190 - 3 | 9.3160 - 3 | | |
| | 4 | 1.0830 | 2.2090 - 2 | | | |
| 70M - 30J | 1 | 2.444 | 2.581 - 4 | 3.814 - 2 | | |
| | 2 | 1.506 | 8.893 - 5 | 3.750 - 2 | | |
| | 3 | 1.114 | 2.692 - 3 | 1.521 - 2 | | |
| | 4 | 7.262 - 1 | 3.045 - 2 | | | |
| 70M - 31J | 1 | 1.792 | 3.556 - 3 | 5.567 - 2 | | |
| | 2 | 8.679 - 1 | 1.857 - 5 | 7.799 - 2 | | |
| | 3 | 5.387 - 1 | 1.323 - 3 | 2.389 - 2 | | |
| | 4 | 3.852 - 1 | 1.003 - 2 | | | |
| 70M - 33J | 1 | 2.535 | 2.596 - 4 | 3.893 - 2 | | |
| | 2 | 1.630 | 6.280 - 5 | 3.613 - 2 | | |
| | 3 | 1.697 | 1.853 - 3 | 1.576 - 2 | | |
| | 4 | 9.172 - 1 | 1.850 - 2 | | | |
| 70M - 34J | 1 | 2.621 | 2.692 - 4 | 3.043 - 2 | | |
| | 2 | 1.624 | 6.630 - 5 | 2.445 - 2 | | |
| | 3 | 1.851 | 1.336 - 3 | 8.881 - 3 | | |
| | 4 | 1.255 | 1.687 - 2 | | | |

| 燃・材料 | 工 木 ルギ | D | ΣA | Σr | $\nu \Sigma f$ | 備 考 |
|---------|--------------|---------|------------|------------|----------------|-----|
| 70M-39J | 1 | 2.562 | 2.692-4 | 3.674-2 | | |
| | 2 | 1.592 | 6.270-5 | 3.574-2 | | |
| | 3 | 1.619 | 1.787-3 | 1.490-2 | | |
| | 4 | 9.172-1 | 1.850-2 | | | |
| 70M-40J | 1 | 2.603 | 2.597-4 | 3.234-2 | | |
| | 2 | 1.674 | 6.640-5 | 2.476-2 | | |
| | 3 | 1.962 | 1.386-3 | 9.395-3 | | |
| | 4 | 1.255 | 1.687-2 | | | |