

JAERI-M

6063

密度係数法の大型高速炉への適用性

1975年3月

飯 島 勉

日 本 原 子 力 研 究 所  
Japan Atomic Energy Research Institute

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

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

密度係数法の大型高速炉への適用性

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部

飯島 勉

(1975年2月12日受理)

FCA VI-1 炉心の密度係数を用いて大型高速炉の臨界性を予測する場合の精度，適用性等について検討した結果の報告である。密度係数法は臨界実験を行なう体系において炉心構成物質の密度係数を測定して，組成，体積の異なる炉心の臨界性を実験値にもとづく外挿により求めようとする方法で，これは組成外挿と体積外挿の2つのステップに分けられる。組成外挿については $-30\% \Delta k/k$ 以上の大きな反応度変化に対しても $0.1\% \Delta k$ 程度の精度（反応度スケールの誤差も含めれば $0.3\% \Delta k$ ）で臨界性を外挿予測出来ることが示された。体積外挿についても2倍程度の炉心体積変化に対しては問題がなく，6倍以上も大きい炉心に対しても実用的な精度で外挿出来ることが示された。これらのことは，Na冷却大型高速炉に関するかぎりほとんどすべての炉心の臨界性はVI-1炉心から外挿可能であることを示しており，又，高速炉系には組成，体積，スペクトルが異なっても相互の関連をつかむのに都合のよいSystematicsを確立できる可能性があるということを示している。

Applicability of the Density Coefficient Method for  
Large Fast Reactors

Tsutomu IIJIMA

Div. of Reactor Engineering, Tokai, JAERI

( Received February 12, 1975 )

Applicability of the Density Coefficient Method ( D.C.M.)

for large fast reactors has been studied, with the density coefficients of FCA Assembly VI-1. The method is to predict experimentally criticality of a given reactor, using the density coefficients obtained by critical experiment. It consists of two steps of extrapolation; i.e., core composition and core volume. For the former, accuracy in the criticality extrapolation is excellent. Criticality can be predicted with accuracy of  $0.1\% \Delta k$  (  $0.3\% \Delta k$  including the reactivity scale error ), even when the reactivity change due to composition change is over  $-30\% \Delta k/k$ . Criticality can also be estimated for the core volumes about six times as large, with practical accuracy.

## 目 次

1. 緒 論 .....	1
2. 密度係数法の概要 .....	1
3. FCA VI-1 集合体における密度係数の測定 .....	5
4. FCA VI-1 集合体密度係数の大型炉臨界性予測への適用 .....	5
5. 考 察 .....	15
6. むすび .....	16
謝 辞 .....	16
参考文献 .....	16

## 1. 緒 論

密度係数法 (D.C.M.) は臨界実験を行なう体系において炉心構成物質の密度係数を測定して、組成、体積の異なる炉心の臨界性を実験値にもとづく外挿により求めようとする方法である<sup>(1)</sup>。本法の開発の発端は高速実験炉「常陽」とそのモックアップ炉心である FCA V 炉心との fissile 物質の密度の違い、とくにプルトニウム高次同位元素の違いの影響を実験的に求めようとしたところに発している。しかしその後本法の適用性を調べて行くうちに適用性 (外挿可能範囲) が意外に広いことが判明し又、系統的、一般論的な理論的裏付けがなされてその有用性が確立されるに至った。FCA V-2 炉心で測定された密度係数は実験炉クラスの中型炉の臨界性予測には精度良く適用され、実際にも「常陽」の設計に際してそのプルトニウム富化度決定に用いられた。高速原型炉「もんじゅ」のモックアップ実験が始まった後、本法を大型炉に適用するため「もんじゅ」の外側炉心の物理的モックアップである FCA VI-1 炉心<sup>(2)</sup>で密度係数が測定された。大型炉の臨界性を系統的に研究するのが目的であり、出来るだけ用途の広い汎用の密度係数を限られた量の燃料を用いて得るため種々の工夫がなされた。VI-1 炉心は U-235 ドライバーを持つ 2 領域ゾーン炉心であるがテストゾーン組成だけの一領域炉心の密度係数を実験的に求めるためセクター系に組み変えて測定を行なった。ウラン、プルトニウムについては同位元素組成の異なるサンプル物質の密度係数から各同位元素別の値に分離した<sup>(3)</sup>。反応度スケールは燃料物質の組成密度係数を計算値に規格化する方法<sup>(1)</sup>に依った。これら VI-1 炉心の密度係数を用いて大型炉の臨界性を予測する場合の精度、適用可能範囲等について詳細な検討が行なわれた。その結果、ナトリウム冷却の Pu-U 酸化物燃料大型高速炉に関する限りほとんどすべての炉心は VI-1 炉心の密度係数の適用範囲内にあることが明らかになった。

本報告書では第 2 章で密度係数法の概要、第 3 章で FCA VI-1 集合体における密度係数の測定、第 4, 5 章でこれら密度係数の大型炉への適用性について実験、計算両面から検討した結果について述べる。

## 2. 密度係数法の概要<sup>(1)</sup>

一般に体系の各領域の組成とその寸法 (体積) を与えればその体系と臨界性が決まる。そこで体系ベクトル (assembly vector) を

$$\vec{A} \equiv \begin{pmatrix} N_{km} \\ V_k \end{pmatrix} \equiv \begin{pmatrix} N_{11} \\ \vdots \\ N_{km} \\ V_1 \\ \vdots \\ V_k \end{pmatrix}, \quad \begin{array}{l} k : \text{領域} \\ m : \text{物質} \end{array} \quad (1)$$

## 1. 緒 論

密度係数法(D.C.M.)は臨界実験を行なう体系において炉心構成物質の密度係数を測定して、組成、体積の異なる炉心の臨界性を実験値にもとづく外挿により求めようとする方法である<sup>(1)</sup>。本法の開発の発端は高速実験炉「常陽」とそのモックアップ炉心であるFCA V炉心との fissile 物質の密度の違い、とくにプルトニウム高次同位元素の違いの影響を実験的に求めようとしたところに発している。しかしその後本法の適用性を調べて行くうちに適用性(外挿可能範囲)が意外に広いことが判明し又、系統的、一般論的な理論的裏付けがなされてその有用性が確立されるに至った。FCA V-2炉心で測定された密度係数は実験炉クラスの中型炉の臨界性予測には精度良く適用され、実際にも「常陽」の設計に際してそのプルトニウム富化度決定に用いられた。高速原型炉「もんじゅ」のモックアップ実験が始まった後、本法を大型炉に適用するため「もんじゅ」の外側炉心の物理的モックアップであるFCA VI-1炉心<sup>(2)</sup>で密度係数が測定された。大型炉の臨界性を系統的に研究するのが目的であり、出来るだけ用途の広い汎用の密度係数を限られた量の燃料を用いて得るため種々の工夫がなされた。VI-1炉心はU-235ドライバを持つ2領域ゾーン炉心であるがテストゾーン組成だけの一領域炉心の密度係数を実験的に求めるためセクター系に組み変えて測定を行なった。ウラン、プルトニウムについては同位元素組成の異なるサンプル物質の密度係数から各同位元素別の値に分離した<sup>(3)</sup>。反応度スケールは燃料物質の組成密度係数を計算値に規格化する方法<sup>(1)</sup>に依った。これらVI-1炉心の密度係数を用いて大型炉の臨界性を予測する場合の精度、適用可能範囲等について詳細な検討が行なわれた。その結果、ナトリウム冷却のPu-U酸化物燃料大型高速炉に関する限りほとんどすべての炉心はVI-1炉心の密度係数の適用範囲内にあることが明らかになった。

本報告書では第2章で密度係数法の概要、第3章でFCA VI-1集合体における密度係数の測定、第4、5章でこれら密度係数の大型炉への適用性について実験、計算両面から検討した結果について述べる。

## 2. 密度係数法の概要<sup>(1)</sup>

一般に体系の各領域の組成とその寸法(体積)を与えればその体系と臨界性が決まる。そこで体系ベクトル(assembly vector)を

$$\vec{A} \equiv \begin{pmatrix} N_{km} \\ V_k \end{pmatrix} \equiv \begin{pmatrix} N_{11} \\ \vdots \\ N_{km} \\ V_1 \\ \vdots \\ V_k \end{pmatrix}, \quad \begin{array}{l} k : \text{領域} \\ m : \text{物質} \end{array} \quad (1)$$

で定義すれば臨界性は  $\vec{A}$  で一義的に決まる。すなわち

$$k = k(\vec{A}) \quad \text{or} \quad \rho = \rho(\vec{A}) = \frac{k(\vec{A}) - 1}{k(\vec{A})} \quad (2)$$

又、組成と体積を変えることによりどの炉心からどの炉心へも移ることが出来る。一般論で記述すれば密度係数（ある領域  $k$  のある物質  $m$  の密度を一様に変えたときの反応度変化の割合）

$$C_{km} = \frac{\partial \rho}{\partial N_{km}} \quad (3)$$

と周辺質量係数（体積係数：組成を一定にして体積を変えたときの反応度変化の割合）

$$M_k = \frac{\partial \rho}{\partial V_k} \quad (4)$$

を用いて、微分形式では

$$d\rho = \sum_{k,m} C_{k,m} dN_{k,m} + \sum_k M_k dV_k \quad (5)$$

積分形式では

$$\Delta\rho(\vec{A}_1 \rightarrow \vec{A}_2) = \rho(\vec{A}_2) - \rho(\vec{A}_1) = \int_{\vec{A}_1 \rightarrow \vec{A}_2} \left\{ \sum_{k,m} C_{k,m} dN_{k,m} + \sum_k M_k dV_k \right\} \quad (6)$$

と表わされる。C, M はもちろん  $\vec{A}$  の関数である。

密度係数法により、臨界実験を行なう炉心から組成、体積の異なる炉心の臨界性を外挿する実際の procedure は次の如くである（Fig. 1）。まず、臨界実験を行なう体系 1 で測定された密度係数を用いて体積を  $V_1$  のまま組成だけを目標とする体系 2 のものに変えたときの反応度変化（ $\Delta\rho'$ ）を求め（組成外挿）、次に組成 2 のまま体積を最終目標値まで変化させたときの反応度変化  $\Delta\rho''$  を求める（体積外挿）。各ステップの実効増倍係数  $k$ 、反応度変化  $\Delta\rho$  の間には

$$\Delta\rho' = \frac{1}{k_1} - \frac{1}{k'} \quad (7)$$

$$\Delta\rho'' = \frac{1}{k'} - \frac{1}{k_2} \quad (8)$$

$$\Delta\rho_{1 \rightarrow 2} = \frac{1}{k_1} - \frac{1}{k_2} \quad (9)$$

の関係がある。ブラケットの組成、厚さの違いは  $k'$  又は  $k_2$  の段階で、shape factor 等は  $k_2$  の段階で計算値にもとづき補正するが一般にそれらによる誤差は小さい。



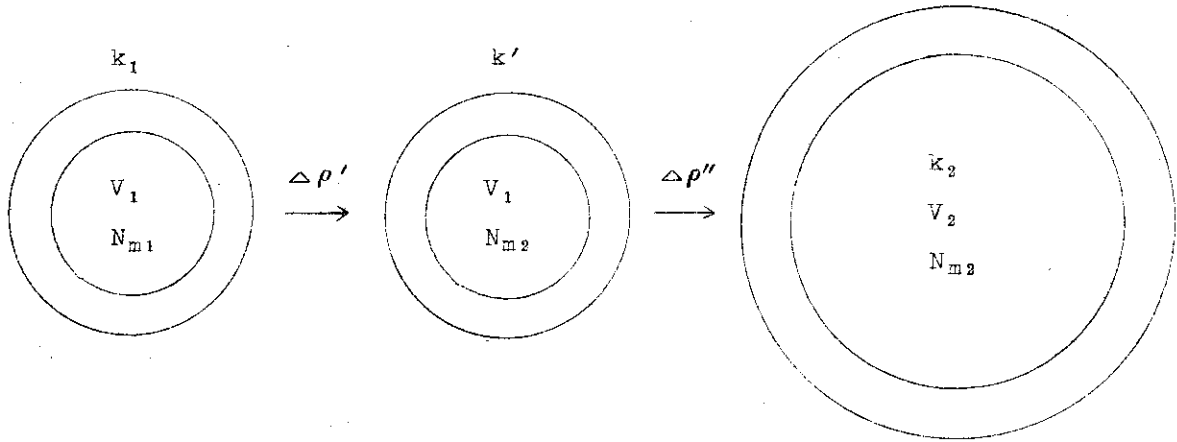


Fig. 1 Procedure of D.C.M.

(1) 組成外挿

$\vec{A}_1$ における係数の値を用いて通常の摂動論で直線外挿できる範囲は比較的せまい。したがって係数の変化をとり入れた“曲線外挿”を行なう。 $\vec{A}_1$ で臨界実験を行ない測定される密度係数は $\vec{A}_1$ における微小密度変化に対する値であり一次近似的摂動論による計算値に対応する。組成1から2への密度変化による反応度変化の“曲線外挿”のやり方は次の如くである。すなわち、1→2間の実効的な密度係数 $\bar{C}_m$ を求めて外挿する。原子炉方程式を $(-A + \frac{F}{K})\phi = 0$ とすると exact perturbation theory では

$$\Delta\rho_{1\rightarrow 2} = \frac{\frac{1}{k_2} \langle \phi_1^+ \Delta F \phi_2 \rangle - \langle \phi_1^+ \Delta A \phi_2 \rangle}{\langle \phi_1^+ F \phi_2 \rangle} \quad (10)$$

と表わされる。 $\langle \rangle$ はエネルギーおよび空間についての積分、 $\Delta F = \Delta(\nu \Sigma_f)$ 、 $\Delta A = \Delta \Sigma_a + \text{grad} \cdot \Delta D \text{grad}^*$ である。したがって容易に分るように実効的(平均的)な密度係数は初期値 $C_{m1}$ に対し次の如く補正係数を掛ければ求まる(10式で $\phi_2$ を $\phi_1$ でおきかえて考える)。

$$\text{核分裂物質に対しては} \quad \bar{C}_m = C_{m1} \left( \frac{\langle \nu \sigma_f \rangle}{k_2} - \langle \sigma_a \rangle \right) / \left( \frac{\langle \nu \sigma_f \rangle}{k_1} - \langle \sigma_a \rangle \right) \quad (11)$$

$$\text{吸収物質に対しては} \quad \bar{C}_m = C_{m1} \quad (12)$$

$$\text{散乱物質に対しては} \quad \bar{C}_m = C_{m1} \frac{\bar{D}_2}{\bar{D}_1} \quad (13)$$

全反応度変化は $\Delta\rho = \sum_m \bar{C}_m \cdot \Delta N_m$ により求められる。(11)式で右辺の断面積における $\langle \rangle$ は $\vec{A}_1$ のスペクトルおよび随伴スペクトルでのm物質断面積の双加重平均を表わす。 $1/k_2$ については正確には iteration が必要である。又、散乱物質については厳密には散乱項成分にだけ $\bar{D}_2/\bar{D}_1$ を掛けるべきであるが $\bar{D}$ の変化が大きくない場合には密度係数自体に $\bar{D}_2/\bar{D}_1$ を掛けても大きな誤差は生じない。 $\bar{D}$ は1, 2各組成でのスペクトル平均(一群拡散係数)である。実際の応用の場合も補正係数としては計算値を用いるが補正係数の誤差にもとづく結果の誤差は一般に小

\*) 注  $\Delta D = \frac{1}{3 \sum_{tr2}} - \frac{1}{3 \sum_{tr1}} = \frac{\sum_{tr1} - \sum_{tr2}}{3 \sum_{tr1} \cdot \sum_{tr2}} = -3 D_1 D_2 \sum_m \sigma_{trm} \Delta N_m$

さい。(11)式において  $\langle \nu \sigma_f \rangle / k_1 - \langle \sigma_a \rangle = \langle \sigma_t \rangle$  とかくと、

$$\frac{\langle \nu \sigma_f \rangle}{k_2} - \langle \sigma_a \rangle = \langle \sigma_t \rangle + \frac{\langle \nu \sigma_f \rangle}{k_1} \left( \frac{k_1}{k_2} - 1 \right)$$

となるので、核分裂物質に対する補正係数  $f_m = \bar{C}_m / C_{m1}$  は

$$f_m = 1 + \frac{\frac{1}{k_1} \langle \nu \sigma_f \rangle}{\langle \sigma_t \rangle} \left( \frac{k_1}{k_2} - 1 \right) \quad (14)$$

となる。 $\langle \sigma_t \rangle$ 、 $\langle \nu \sigma_f \rangle / k_1$  は夫々核分裂物質  $m$  の体系  $\vec{A}_1$  における密度係数およびその fission source 成分に比例するので、摂動計算結果から容易に  $f_m$  が求められる。 $-\langle \sigma_a \rangle$  は吸収、減速、拡散等 fission source 以外の項すべてを表わす。

(2) 体積外挿

次のステップである、組成を 2 にした状態で炉心体積を目標とする炉心まで変えたときの反応度変化は周辺質量係数を用いて求める。周辺質量係数も炉心体積とともに変わるのでやはり“曲線外挿”を行なう。大きな体積変化に対しても正確にこの外挿を行なうため“normalized edge mass coefficient (規格化周辺質量係数)”  $B$  を次の如く定義して用いる。

$$\frac{d\rho}{dV} = \frac{B}{kV} \quad (15)$$

$d\rho = dk/k^2$  の関係を使うと

$$\frac{dk}{dV} = B \frac{k}{V} \quad \text{又は} \quad B = \frac{dk}{dV} \bigg/ \frac{k}{V} \quad (16)$$

$V_1 \rightarrow V_2$  間では実効的係数  $\bar{B}$  として

$$\frac{k_2}{k_1} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{\bar{B}} \quad (17)$$

この  $B$  (又は  $\bar{B}$ ) は計算精度の良い量である。臨界量については 10% 以上、 $k$  値については 3~5% の差のある断面積セット間でも ~2% の差しか生じない。これは  $k-V$  曲線が同体積での  $k$  値で規格化してしまえば断面積の誤差の影響が大部分打消されることによる。周辺質量係数の実験値を 1~2% の精度で求めることは困難なので計算値を用いて外挿する。(17)式の  $\bar{B}$  も精度良く計算される。その理由は、近似的には

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{k_\infty P(V_2)}{k_\infty P(V_1)} = \frac{P(V_2)}{P(V_1)} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{\bar{B}} \quad (18)$$

のように  $V_1$  と  $V_2$  での non-leakage probability  $P(V)$  の比のみが関係し、 $\nu \sigma_f$  や  $\sigma_a$  の如き  $k_\infty$  に関係する断面積の誤差は大部分打消されてしまうからである。(17)式により体系  $\vec{A}_2$  の臨界性  $k_2$  が求まる。 $\bar{B}$  を計算により求めるには体積  $V_1, V_2$  での  $k$  値の計算値から(17)式により求める。

### 3. FCA VI-1 集合体における密度係数の測定<sup>(3)</sup>

求めようとする密度係数はある物質の密度を炉心全体にわたって一様に微少変化させた場合の反応度変化の割合であるが、実際に炉心全体にわたって一度に密度を微少変化させることは実行不可能である。したがって密度係数の測定は測ろうとする物質の反応度値の空間分布を測定しそれを炉心全体にわたって体積積分するという方法による。実際の測定では、体系が円筒炉心なので測ろうとする物質の量を標準の燃料引出しと変えた“サンプル引出し”の炉心半径方向反応度トラバースの結果を炉心断面について数値積分することによって求めた(軸方向については測定の際積分済み)。

密度係数の測定を行なった体系はVI-1 集合体<sup>(2)</sup>(ゾーン系)のドライバー領域のうち90°をテストゾーン組成に置換したセクター系(VI-1-S2 集合体)であるがこれによりテストゾーン領域炉心の密度係数が実験的に求められた。Table 1 に VI-1 集合体の組成を示す。

炉心構成物質すべてについて密度係数が測定された。サンプル引出しの装填状態その他詳細な測定の実際については別の告報<sup>(3)</sup>に述べられている。密度係数を  $\Delta k/k$  単位で表わすため燃料物質(プルトニウムと U-235)の組成密度係数<sup>(1)</sup>の実験値  $1135.6 \rho_0$  を計算値  $0.5394$  (J-F-0 (0.546), RCBN (0.537), ABBN (0.535) の平均値) に等しいとおいて  $\rho_0$  を較正した ( $\rho_0 = 0.0475\% \Delta k/k$ )。ここで  $\rho_0$  は 169 安全棒の 0-50 mm ストロークに対応する反応度値である。 $\Delta k/k / 10^{24} \text{ atoms/cm}^3$  の単位で表わした密度係数実験値を一次元拡散・振動コード SIMPLE-D<sup>(4)</sup> による計算値とともに示す。計算値は J-F-II セットが実験値の球形臨界体積 (Table 3 参照) に対するもので、他は  $k=1$  に対応する NU ブランケット付球形炉心に対するものである。Table 2 より、とくに Pu-240, Pu-241, U-238, SUS の一致が良くないことが分る。同表の実験値の誤差の中には反応度スケールの誤差は入っていないが、それは  $\pm 1\%$  程度と考えられる。

セクター方式の妥当性についてのチェックは別の報告書<sup>(3)</sup>に述べられているが、実験、計算両面からの検討により十分の精度で一領域炉心の密度係数の値が得られたことが示されている。

### 4 FCA VI-1 集合体密度係数の大型炉臨界性予測への適用

本章では FCA VI-1 集合体の密度係数を用いて組成、体積の異なる大型高速炉の臨界性を予測する場合の精度、適用可能範囲等について検討した結果について述べる。

未知炉心の臨界性外挿のための出発点になる炉心は VI-1 テストゾーン領域炉心でその臨界量実験値を Table 3 に示す<sup>(2)</sup>。劣化ウランブランケット付円筒炉心の臨界体積は  $472.6 \ell$  である。2次元 R-Z による円筒計算と球形計算の比較から求めた shape factor =  $0.8963$  を用いて球形臨界量は  $423.6 \ell$  となる。J-F-II セットによる  $k_{\text{eff}}$  計算値は  $0.99484$  で

### 3. FCA VI-1 集合体における密度係数の測定<sup>(3)</sup>

求めようとする密度係数はある物質の密度を炉心全体にわたって一様に微少変化させた場合の反応度変化の割合であるが、実際に炉心全体にわたって一度に密度を微少変化させることは実行不可能である。したがって密度係数の測定は測ろうとする物質の反応度値の空間分布を測定しそれを炉心全体にわたって体積積分するという方法による。実際の測定では、体系が円筒炉心なので測ろうとする物質の量を標準の燃料引出しと変えた“サンプル引出し”の炉心半径方向反応度トラバースの結果を炉心断面について数値積分することによって求めた(軸方向については測定の際積分済み)。

密度係数の測定を行なった体系はVI-1 集合体<sup>(2)</sup>(ゾーン系)のドライバー領域のうち90°をテストゾーン組成に置換したセクター系(VI-1-S2 集合体)であるがこれによりテストゾーン領域炉心の密度係数が実験的に求められた。Table 1 に VI-1 集合体の組成を示す。

炉心構成物質すべてについて密度係数が測定された。サンプル引出しの装填状態その他詳細な測定の実際については別の告報<sup>(3)</sup>に述べられている。密度係数を $\Delta k/k$ 単位で表わすため燃料物質(プルトニウムとU-235)の組成密度係数<sup>(1)</sup>の実験値1135.6  $\rho_0$ を計算値0.5394 (J-F-0(0.546), RCBN(0.537), ABBN(0.535)の平均値)に等しいとおいて $\rho_0$ を較正した( $\rho_0 = 0.0475\% \Delta k/k$ )。ここで $\rho_0$ は169安全棒の0-50mmストロークに対応する反応度値である。 $\Delta k/k/10^{24}$  atoms/cm<sup>3</sup>の単位で表わした密度係数実験値を一次元拡散・振動コードSIMPLE-D<sup>(4)</sup>による計算値とともに示す。計算値はJ-F-IIセットが実験値の球形臨界体積(Table 3 参照)に対するもので、他は $k=1$ に対応するNUブランケット付球形炉心に対するものである。Table 2 より、とくにPu-240, Pu-241, U-238, SUSの一致が良くないことが分る。同表の実験値の誤差の中には反応度スケールの誤差は入っていないが、それは±1%程度と考えられる。

セクター方式の妥当性についてのチェックは別の報告書<sup>(3)</sup>に述べられているが、実験、計算両面からの検討により十分の精度で一領域炉心の密度係数の値が得られたことが示されている。

### 4 FCA VI-1 集合体密度係数の大型炉臨界性予測への適用

本章ではFCA VI-1集合体の密度係数を用いて組成、体積の異なる大型高速炉の臨界性を予測する場合の精度、適用可能範囲等について検討した結果について述べる。

未知炉心の臨界性外挿のための出発点になる炉心はVI-1 テストゾーン領域炉心でその臨界量実験値をTable 3 に示す<sup>(2)</sup>。劣化ウランブランケット付円筒炉心の臨界体積は472.6ℓである。2次元R-Zによる円筒計算と球形計算の比較から求めたshape factor = 0.8963を用いて球形臨界量は423.6 ℓとなる。J-F-IIセットによる $k_{eff}$ 計算値は0.99484で

Table 1 Composition of Assembly VI-1 ( $10^{22}/\text{cm}^3$ )

Material	Core (Test zone)	Blanket (D.U.)
Pu-239	0.15687	
Pu-240	0.01400	
Pu-241	0.00160	
U-235	0.001516	0.0086
U-238	0.69051	4.0070
O	1.5598	
Na	0.7656	
Al	0.13542	
Cr	0.3552	0.1827
Fe	1.3004	0.6652
Ni	0.1639	0.07964

Table 3 Critical parameters of Assembly VI-1  
(One region core-DU blanket)

	Experiment	Calculation
Core height	91.44 cm	
Core radius	40.56 cm	
Core volume	472.6 l	
Equivalent sphere core volume*	423.6 l	
Blanket thickness	22 cm	
k-effective	1.000	0.99484 (J-F-II) 0.9855 (J-F-O) 0.9713 (RCBN) 1.0238 (ABBN)

\* Shape factor = 0.8963

Table 2 Density coefficients of FCA VI-1 core

( $\Delta k/k / 10^{3\%}$  atoms/cm<sup>3</sup>)

Material	J-F-II	J-F-O	RCBN*	RCBN3**	ABBN	Experiment
Pu-239	3 4 0.4	3 3 4.0	3 3 0.0	3 2 4.4	3 2 6.0	3 3 2.6 ± 1.5
Pu-240	6 5.0	7 0.7	6 0.1	6 2.9	3 8.5	5 4.6 ± 3.
Pu-241	5 6 3.1	5 6 2.5	4 8 0.1	4 3 5.0	4 4 8.3	4 7 1. ± 15
U -235	2 4 7.1	2 3 6.6	2 5 0.4	2 3 7.5	2 2 9.5	2 3 3.1 ± 1
U -238	-2 0 6	-1 0.3	-1 0.6	-7 7.8	-7 1.6	-6.3 ± 0.5
O	1.1 3 3	1.0 2 2	1.5 8 8	1.0 3 6	1.8 4 7	1.8 0 ± 0.0 3
Na	1.5 8 6	1.5 0 0	1.9 6 7	1.3 0 4	1.9 2 2	2.7 3 ± 0.0 9
AL	0.9 0 9	0.7 8 4	0.8 3 7	0.7 7 1	1.1 3 6	1.5 8 ± 0.0 5
SUS	0.8 4 3	0.0 9 3	0.3 1 4	0.7 7 4	0.6 0 2	0.8 5 ± 0.0 2
Mo	-1 2.7 7	-1 2.7 7	-1 2.7 7	-8.0 9	-6.8 2	—

\* Original data; ENDF/B-I

\*\* Original data; ENDF/B-III

ある。外挿の出発点としてはこの炉心体積423.6ℓ, 22cm厚劣化ウランブランケット付球形体系を考える(以後これをVI-1炉心と称する)。

外挿の対象として選んだ炉心は「もんじゅ」の外側炉心の組成の一領域炉心(ブランケットの組成および厚さはVI-1と同じ), 「もんじゅ」の内側炉心の一領域炉心, FCA VI-2集合体テストゾーン一領域炉心, および臨界量実験値のあるZPR-VI Assembly #7である。

#### (1) 「もんじゅ」外側炉心

「もんじゅ」外側炉心の組成<sup>\*</sup>はVI-1炉心のそれに比較的近い。これはVI-1炉心が「もんじゅ」外側炉心の物理的モックアップであるから当然である。しかしVI-1炉心では92% fissileのPu燃料を用いているのに対し「もんじゅ」では80% fissile Puを用いており高次Pu同位元素の違いが大きい。

Table 4に密度係数法(D.C.M.)による臨界性予測結果が示されている。同表にはVI-1および「もんじゅ」外側炉心の組成および組成差, 実効密度係数のための補正係数 $f_m$ , 組成外挿による反応度変化(計算値および実験値), 反応度変化から(7)式で求めた $k_{eff}$ (同上), およびdirect拡散計算による $k_{eff}$ , 体積外挿により求めた臨界量等が示されている。計算値はすべてJ-F-IIセットによるものである。

補正係数 $f_m$ はVI-1およびVI-1と同体積の「もんじゅ」外側炉心について拡散計算を行ない(8)および(10)式に従って求めたものである。Table 2に示すVI-1炉心の密度係数にこの $f_m$ を掛けてVI-1→「もんじゅ」組成間の実効(平均)密度係数(計算値および実験値)を求め $\Delta\rho = \sum_m C_m f_m \Delta N_m$ より全反応度変化を求めた。この反応度変化からさらに(7)式により $k_{eff}$ 値を求めた。

全反応度変化は実験値 $-9.42 \pm 0.16\% \Delta k/k$ に対し計算値は $-8.435\% \Delta k/k$ で両者に1%  $\Delta k/k$ もの差がある。この差は主としてPu-240, Pu-241, U-238の断面積誤差によるもので, この例からも分るように, モックアップ炉心で臨界実験を行なっても対象とする炉心との組成の差の影響を計算値にもとづいて補正しようとするとき大きな誤差を生ずることである。

VI-1炉心体積に対する「もんじゅ」外側炉心組成の $k_{eff}$ 計算値はdirect拡散計算による値0.9164に対しD.C.M.による外挿値は0.9178でその差は0.0014である。このことはD.C.M.による組成外挿の適用性が良いことを示している。(17)式により求められた体積外挿による臨界体積実験値は673±7ℓである。この誤差には反応度スケールの誤差(±1%)は考慮されているが体積外挿に伴う誤差は考慮されていない。それを考えても誤差は±10ℓ程度と考えられる。

#### (2) 「もんじゅ」内側炉心

VI-1から「もんじゅ」内側炉心への外挿結果をTable 5に示す。内側炉心のfissile濃度は同表に示す如く外側炉心にくらべかなり薄い。組成の違いや反応度変化が大きいため補正係数 $f_m$ もfissile物質に対しては1.5前後の大きな値になっている。これはVI-1組成と内側炉心組成の間の実効的(平均的)密度係数がVI-1組成での密度係数の値の約1.5倍に

\*注: 「もんじゅ」炉心の現在の組成は数次の設計変更で今回用いたものとは多少異なっている。

Table 4 Prediction of criticality of MONJU-OUTER core by Density Coefficient Method (D.C.M.)

Material m	Core composition ( $10^{22}/\text{cm}^3$ )			Correction factor $f_m$	Reactivity change ( $\% \Delta k/k$ )	
	$N_{VI-1}$	$N_{II}(\text{MONJU-O})$	$\Delta N_{II}$		J-F-II	Experiment
Pu-239	0.15687	0.117464	-0.039406	1.1314	-1.5177	-1.4842
Pu-240	0.01400	0.031323	0.017323	1.1781	1.326	1.114
Pu-241	0.00160	0.007831	0.006231	1.1263	3.952	3.305
U-235	0.001516	0.001302	-0.000214	1.1536	-0.061	-0.058
U-238	0.69051	0.519350	-0.171160	1.0	1.550	1.078
O	1.5598	1.3410	-0.2188	1.1076	-0.275	-0.435
Na	0.7656	0.9762	0.2106	"	0.370	0.636
AZ	0.13542	0.	-0.13542	"	-0.136	-0.237
SUS	1.8195	1.8362	0.0167	"	0.016	0.016
Total					-8.435	-8.42 ± 0.16
$k_{eff}$ *	D.C.M.				0.9178	0.9139 ± 0.0015
	Direct calc.				0.9164	± 0.0018**
Critical volume					664ℓ	673 ± 7ℓ**

\* For VI-1 core volume (4236ℓ).  $k_{eff}$  (D.C.M.) obtained by Eq. (7)

\*\* Including error of reactivity scale



Table 5 Prediction of criticality of MONJU-INNER core by D.C.M.

Material m	Core composition ( $10^{22}/\text{cm}^3$ )		Correction factor $f_m$	Reactivity change ( $\Delta k/k$ )	
	$N_m$ (MONJU-I)	$\Delta N_m$ (VI-I-MONJU-I)		J-F-U	Experiment
Pu-239	0.086986	-0.069884	1.4434	-3.4338	-3.3549
Pu-240	0.023196	0.009196	1.6009	0.956	0.804
Pu-241	0.005799	0.004199	1.4261	3.372	2.820
U-235	0.001400	-0.000116	1.5182	-0.044	-0.041
U-238	0.55989	-0.13062	1.0	1.183	0.823
O	1.3410	-0.2188	1.0900	-0.270	-0.429
Na	0.9762	0.2106	"	0.364	0.625
AZ	0	-0.13542	"	-0.134	-0.233
SUS	1.8362	0.0167	"	0.015	0.016
Total				-2.8896	-2.916 ± 0.19
$k_{eff}$	* D.C.M. * Direct calc.			0.7727	0.7742 ± 0.0015 ** ± 0.0027
Critical volume				1903L	1872 ± 40L **

\* For VI-1 core volume (4236L)

\*\* Including reactivity scale error

なっていることを示しているのであるが、微係数としての密度係数は組成とともにさらに大きく変り、内側炉心組成では2倍以上の値になる。このように遠く離れた組成への“曲線外挿”でも Table 5 から分るように極めて精度よく臨界性を外挿出来る。すなわち、VI-1 炉心体積に対する内側炉心組成の  $k_{\text{eff}}$  の計算値は direct 拡散計算値 0.7720 に対し D.C.M. による外挿値 0.7727 とわずか 0.07%  $\Delta k/k$  しか違わない。-30%  $\Delta k/k$  近い反応度変化に対してもこの程度にうまく外挿出来るということである。実験値による  $k_{\text{eff}}$  値は  $0.7742 \pm 0.0015$  (反応度スケールの誤差を考慮すれば  $\pm 0.0027$ )、体積外挿による臨界量実験値は  $1872 \pm 40 \ell$  である。

### (3) FCA VI-2 炉心<sup>(5)</sup>

これは「もんじゅ」内側炉心の物理的モックアップである FCA VI-2 集合体のテストゾーン組成より成る一領域球形炉心でブランケットは VI-1 炉心と同じである。VI-1 から VI-2 への外挿結果を Table 6 に示す。種々の点で様子は「もんじゅ」内側炉心の場合に近い。VI-2 炉心の場合、組成変化としては 92% fissile Pu 燃料板が 1 パック当たり 3 枚から 2 枚に変わりスペーサーとして  $Al_2O_3$  (1/16") 1 枚が加わっただけなので組成外挿の実験値の精度は良い。D.C.M. による VI-2 炉心臨界体積実験値は  $1710 \pm 27 \ell$  である。この誤差の大部分は反応度スケールの誤差にもとづくものである。

### (4) ZPR-VI Assembly #7<sup>(6)</sup>

ZPR-VI Assembly #7 は炉心体積が VI-1 炉心の 6 倍以上もあり、又、臨界量の実験値があることから体積外挿も含めた密度係数法の適用性のチェックには恰好の炉心である。Table 7 に VI-1 から Assembly #7 への外挿結果を示す。まず、組成外挿に関しては、J-F-II セットによる D.C.M. 外挿値 0.73135 に対し direct 拡散計算値 0.73135 と全く一致している。-36%  $\Delta k/k$  にもおよぶ大きな反応度変化と大きなスペクトル変化が予想されるにもかかわらず VI-1 の密度係数から正確に外挿出来ることは驚異的である。実験値による  $k_{\text{eff}}$  は  $0.7372 \pm 0.0029$  である。Assembly #7 の臨界実験による臨界体積  $2622 \ell$  に対する  $k_{\text{eff}}$  値の D.C.M. 実験値は  $0.994 \pm 0.004$  であり体積外挿もうまく行っていることが分る。体積外挿の精度をみるため  $423.6 \ell$  (VI-1 体積) と  $610 \ell, 935 \ell, 1546 \ell, 2286 \ell$ 、との間の周辺質量係数  $\bar{B}$  の計算を J-F-II と ABBN 両セットで行ない各体積での  $k_{\text{eff}}$  を求めた。結果を Table 8 に示す。両セット間ではかなりの差があるが直接計算の両セット間の差に比べれば数分の一である。ABBN は直接計算による臨界体積を  $2047 \ell$  と J-F-II の  $2967 \ell$  に比べ 2/3 程度に見積るという極端なセットであるためであろうが、それでも VI-1 の 2 倍以上の体積である  $935 \ell$  においては両者の差は 0.5%  $\Delta k$  におさまっている。ABBN による  $\bar{B}$  を用いると #7 炉心体積における D.C.M. 実験値は  $1.005 \pm 0.004$  となる。しかし直接計算による  $0.986$  (J-F-II) と  $1.032$  (ABBN) の差に比べればはるかに小さい。後述する如く  $\bar{B}$  としては J-F-II による値を用いるのが適当である。体積外挿自身は計算そのものであるが、出発点となる  $V_1$  での実効増倍係数として組成外挿による実験値を使っているところに、体積外挿も含めた最終的な臨界性予測にとって密度係数法の利点があるのである。

Table 6 Prediction of criticality of FCA VI-2 core by D.C.M.

Material m	Core composition ( $10^{22}/\text{cm}^3$ )		Correction factor $f_m$	Reactivity change ( $\% \Delta k/k$ )	
	$N_m(\text{VI-2})$	$\Delta N_m(\text{VI-1} \rightarrow \text{VI-2})$		J-F-II	Experiment
Pu-239	0.104580	-0.052290	1.3819	-2.4598	-2.4034
Pu-240	0.009325	-0.004675	1.5176	-0.461	-0.387
Pu-241	0.001069	-0.000531	1.3670	-0.406	-0.342
U -235	0.001516	0.	1.4463	0.	0.
U -238	0.69051	0.	1.0	0.	0.
O	1.7286	0.1688	0.9667	0.185	0.294
Na	0.7656	0.	"	0.	0.
AL	0.24029	0.10487	"	0.092	0.160
SUS	1.7494	-0.0701	"	-0.057	-0.057
Total				-2.5248	-2.434 ± 0.07
$k_{\text{eff}}$	D.C.M.			0.7951	0.8041 ± 0.0006
	Direct calc.			0.7968	± 0.0021
Critical volume				1813ℓ	1710 ± 27ℓ

\* For VI-1 core volume (4236ℓ)

\*\* Including error of reactivity scale

Table 7 Prediction of criticality of ZPR-VI Assembly #7 by D.C.M.

Material m	Core composition ( $10^{22}/\text{cm}^3$ )		Correction factor $f_m$	Reactivity change ( $\% \Delta k/k$ )	
	$N_m$ (Assy #7)	$\Delta N_m$ (VI-1 $\rightarrow$ Assy #7)		J-F-II	Experiment
Pu-239	0.08874	-0.06813	1.5612	-3.6208	-3.5377
Pu-240	0.01178	-0.00222	1.7605	-0.254	-0.213
Pu-241	0.001341	-0.000259	1.5392	-0.224	-0.188
U-235	0.001249	-0.000267	1.6557	-0.109	-0.103
U-238	0.57775	-0.11301	1.0	1.024	0.712
O	1.3780	-0.1818	1.0994	-0.226	-0.360
Na	0.9278	0.1622	"	0.283	0.487
AL	0.	-0.13542	"	-0.135	-0.235
SUS	1.3779	-0.0816	"	-0.076	-0.076
Mo	0.02251	0.02251	1.0	-0.287	-0.287 (calc.)
Total				-3.6214	-3.564 $\pm$ 0.17
keff for VI-1 core volume (4236L) $\left\{ \begin{array}{l} \text{D.C.M.} \\ \text{Direct calc.} \end{array} \right.$					
				0.73135	0.7372 $\pm$ 0.0012
				0.73135	$\pm$ 0.0029
keff for Assy #7 core volume (2622L)**				0.9860	0.994 $\pm$ 0.004

\* Including error of reactivity scale

\*\* 3085L (cylinder)  $\times$  0.85 (Shape factor)

Table 8 Comparison of volume extrapolation with two different Edge Mass Coefficients (J-F-II and ABBN) in ZPR-VI Assembly #7 composition

Core volume	4236ℓ (VI-1)	610ℓ	935ℓ	1546ℓ	2286ℓ	2622ℓ <sup>***</sup> (Assy #7)
Direct calc.*						
k <sub>eff</sub> (J-F-II)	0.731	0.786	0.849	0.920	0.969	0.986
k <sub>eff</sub> (ABBN)	0.757	0.816	0.884	0.960	1.015	1.032
Experiment (D.C.M.)						
k <sub>eff</sub> (B/J-F-II)	0.737 ± 0.003 <sup>**</sup>	0.793	0.856	0.927	0.977	0.994
k <sub>eff</sub> (B/ABBN)		0.795	0.861	0.935	0.988	1.005

\* Critical volume : 2967ℓ (J-F-II) and 2047ℓ (ABBN)

\*\* Including error of reactivity scale

\*\*\* 3085ℓ (cylinder) × 0.85 (Shape factor)

Table 9 Comparison of k-effective values for VI-1 core volume

Core composition	k <sub>eff</sub> (J-F-II)	
	D.C.M.	Direct calc.
MONJU-OUTER	0.9178	0.9164
MONJU-INNER	0.7727	0.7720
FCA VI-2	0.7951	0.7968
ZPR-VI Assy #7	0.73135	0.73135

## 5. 考 察

先づ4章で述べた如く組成やスペクトルの変化が大きいにもかかわらず組成外挿の精度が極めて良いという点について考察してみる。VI-1 炉心体積(423.6ℓ)に対する各炉心組成の  $k_{\text{eff}}$  値の直接拡散計算値と D.C.M. による外挿値(いずれも J-F-II セット)の一覧を Table 9 に示す。このように両者の一致が良いということはスペクトル変化が小さいのか、あるいはスペクトル変化があってもその影響が巧妙に打消されているのか、いずれにしても VI-1 炉心でのデータ(密度係数)からこのようにうまく外挿出来るのは一見不思議であるように思われる。外挿の対象として選んだ4つの炉心のうち FCA VI-2, MONJU-INNER, ZPR-VI Assembly #7 の3つの臨界炉心のスペクトルは相互に近いのでここではこのうち Assembly #7 だけを取りあげて考察してみる。Fig. 2 に J-F-II セットによる VI-1 炉心と Assembly #7 の各臨界状態でのスペクトル(fundamental mode spectrum)を示すがたしかに両者にはかなりの差があり Assembly #7 はずいぶんソフトなスペクトルであることが分る。しかし Fig. 3 に示す如く組成外挿を行なう VI-1 炉心体積に対するスペクトルを見ると両者にはそれほど大きな差はないことが分る。Fig. 4 は Assembly #7 組成で VI-1 炉心体積(423.6ℓ)と臨界体積(296.7ℓ)におけるスペクトルを示すが意外と差が大きいことが分る。以上のことから分ることは体積を一定にしたままの組成外挿の際にはスペクトル変化はそれほど大きくはなく、したがって精度良く臨界性を外挿出来るということである。Fig. 3 に示す程度のスペクトルの差があっても組成外挿が予想外に精度良くいつているのは組成の変化とともに密度係数が変化することを取り入れた“曲線外挿”法のおかげである。スペクトル変化の影響は摂動論的に取り入れられていて極めて小さいと考えられる。そもそも摂動論はスペクトル変化の影響を巧妙に取入れていてスペクトル的には適用範囲がきわめて広がったにもかかわらず通常は直線外挿をするため fission source の  $1/k$  効果等のため適用範囲をせばめてしまい、あたかも本質的に適用範囲がせまいかの如く思いこんでいたにすぎない。

次に体積外挿について考えてみる。Normalized edge mass coefficient  $\bar{B}$  として J-F-II と ABBN セットのどちらの値を使うかによって体積比が大きくなるにつれ臨界性に差が出てくるが、ABBN セットは臨界量を極端に小さく見積る傾向があるので J-F-II セットによる  $\bar{B}$  を用いるのが妥当であると思われる。その場合 Assembly #7 の体積(臨界実験値)に対する  $k_{\text{eff}}$  外挿値は  $0.994 \pm 0.004$  でありやや未臨界であるが VI-1 と Assembly #7 の非均質効果の差を考慮すればほぼ正しく外挿していると考えられる。これは、外挿の出発点になっている VI-1 炉心の臨界体積の実験値は非均質板状セル体系に対するものであるが、Assembly #7 のセルの方が非均質効果(正の)が大きいと考えられるからである。(18式からの予想に反して断面積セットによって  $\bar{B}$  に差が出るのはこれも予想に反して Fig. 4 の如く体積外挿の際スペクトルがかなり変るといことから来ていると思われる。すなわち(18式)の如く  $k_{\infty}$  と non-leakage probability の積で表わした場合  $k_{\infty}$  が体積とともに変ってしまい、したがって  $\nu \sigma_f$  や  $\sigma_a$  等の断面積も  $\bar{B}$  にかなり影響するということが考えられる。

以上の考察および4章での結果から分ることは、組成外挿については組成が大きく変わっても外挿の“適用性”自身には問題はなく外挿結果の臨界性の精度は主として反応度スケールの精度で決まるということである。体積外挿についてはJ-F-IIセットによる $\bar{\beta}$ を用いればVI-1の数倍の炉心体積までうまく外挿出来るということである。すなわちVI-1炉心の密度係数によりVI-1炉心からほとんどすべてのPu-U 酸化物燃料Na 冷却大型高速炉の臨界性が $\pm 0.5\%$   $\Delta k$ 程度の精度で予測出来るということである。又、これらのことは、高速炉系には組成、体積、スペクトルが異なっているにもかかわらず相互の関連をつかむのに都合のよいsystematicsを確立できる可能性があるということを示している。

## 6. む す び

密度係数法は大型炉心に対しても外挿可能範囲が予想外に広く、モックアップ等の実用的な面からも、系統的な臨界性の研究という面からもきわめて有用な方法であることが明らかになった。FCA VI-1 炉心の密度係数はPu 燃料Na 冷却大型高速炉に関するかぎりほとんどすべてその適用範囲内にあることが示された。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたって種々の御援助と御支持をいただいた弘田実弥氏に深く感謝致します。VI-1 集合体での密度係数の測定およびデータ解析については弘田実弥、大部誠、草野譲一、山岸耕二郎、渡辺秀明、小川弘伸の諸氏の御協力を頂きました。又SIMPLE-DおよびRCBN, RCBN3 セットについては西村秀夫氏の御教示を頂きました。ここにあらためて感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) 飯島 勉他；FCA V 炉心系における密度係数，JAERI-M 5890 (1974)
- (2) 弘田実弥他；FCA VI-1 集合体の臨界実験，Private communication (JAERI-memo) (1973)
- (3) 飯島 勉他；FCA VI-1 集合体における密度係数の測定，JAERI-M 6062 (1975)
- (4) 西村 秀夫；次元拡散・擾動計算コードSIMPLE-D，JAERI-memo 4381 (公開) (1971)
- (5) 飯島 勉他；FCA VI-2 集合体の臨界実験，Private communication (1974)
- (6) Till, C.E., et. al.; ZPR-6 Assemblies 6A and 7, ANL-7910, PP. 86-101 (1971)

以上の考察および4章での結果から分ることは、組成外挿については組成が大きく変わっても外挿の“適用性”自身には問題はなく外挿結果の臨界性の精度は主として反応度スケールの精度で決まるということである。体積外挿についてはJ-F-IIセットによる $\bar{B}$ を用いればVI-1の数倍の炉心体積までうまく外挿出来るということである。すなわちVI-1炉心の密度係数によりVI-1炉心からほとんどすべてのPu-U 酸化物燃料Na 冷却大型高速炉の臨界性が $\pm 0.5\%$ 程度の精度で予測出来るということである。又、これらのことは、高速炉系には組成、体積、スペクトルが異なっているにもかかわらず相互の関連をつかむのに都合のよいsystematicsを確立できる可能性があるということを示している。

## 6. 　　む　　す　　び

密度係数法は大型炉心に対しても外挿可能範囲が予想外に広く、モックアップ等の実用的な面からも、系統的な臨界性の研究という面からもきわめて有用な方法であることが明らかになった。FCA VI-1 炉心の密度係数はPu 燃料Na 冷却大型高速炉に関するかぎりほとんどすべてその適用範囲内にあることが示された。

## 謝　　辞

本研究を遂行するにあたって種々の御援助と御支持をいただいた弘田実弥氏に深く感謝致します。VI-1 集合体での密度係数の測定およびデータ解析については弘田実弥、大部誠、草野譲一、山岸耕二郎、渡辺秀明、小川弘伸の諸氏の御協力を頂きました。又SIMPLE-DおよびRCBN, RCBN3 セットについては西村秀夫氏の御教示を頂きました。ここにあらためて感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) 飯島 勉他；FCA V 炉心系における密度係数，JAERI-M 5890 (1974)
- (2) 弘田実弥他；FCA VI-1 集合体の臨界実験，Private communication (JAERI-memo) (1973)
- (3) 飯島 勉他；FCA VI-1 集合体における密度係数の測定，JAERI-M 6062 (1975)
- (4) 西村 秀夫；次元拡散・擾動計算コードSIMPLE-D，JAERI-memo 4381 (公開) (1971)
- (5) 飯島 勉他；FCA VI-2 集合体の臨界実験，Private communication (1974)
- (6) Till, C.E., et. al.; ZPR-6 Assemblies 6A and 7, ANL-7910, PP. 86-101 (1971)



以上の考察および4章での結果から分ることは、組成外挿については組成が大きく変わっても外挿の“適用性”自身には問題はなく外挿結果の臨界性の精度は主として反応度スケールの精度で決まるということである。体積外挿についてはJ-F-IIセットによる $\bar{B}$ を用いればVI-1の数倍の炉心体積までうまく外挿出来るということである。すなわちVI-1炉心の密度係数によりVI-1炉心からほとんどすべてのPu-U 酸化物燃料Na 冷却大型高速炉の臨界性が $\pm 0.5\%$   $\Delta k$ 程度の精度で予測出来るということである。又、これらのことは、高速炉系には組成、体積、スペクトルが異なっているにもかかわらず相互の関連をつかむのに都合のよいsystematicsを確立できる可能性があるということを示している。

## 6. 　　む　　す　　び

密度係数法は大型炉心に対しても外挿可能範囲が予想外に広く、モックアップ等の実用的な面からも、系統的な臨界性の研究という面からもきわめて有用な方法であることが明らかになった。FCA VI-1炉心の密度係数はPu燃料Na冷却大型高速炉に関するかぎりほとんどすべてその適用範囲内にあることが示された。

## 謝　　辞

本研究を遂行するにあたって種々の御援助と御支持をいただいた弘田実弥氏に深く感謝致します。VI-1集合体での密度係数の測定およびデータ解析については弘田実弥、大部誠、草野譲一、山岸耕二郎、渡辺秀明、小川弘伸の諸氏の御協力を頂きました。又SIMPLE-DおよびRCBN, RCBN3セットについては西村秀夫氏の御教示を頂きました。ここにあらためて感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) 飯島 勉他；FCA V炉心系における密度係数，JAERI-M 5890 (1974)
- (2) 弘田実弥他；FCA VI-1集合体の臨界実験，Private communication (JAERI-memo) (1973)
- (3) 飯島 勉他；FCA VI-1集合体における密度係数の測定，JAERI-M 6062 (1975)
- (4) 西村 秀夫；次元拡散・擾動計算コードSIMPLE-D，JAERI-memo 4381 (公開) (1971)
- (5) 飯島 勉他；FCA VI-2集合体の臨界実験，Private communication (1974)
- (6) Till, C.E., et. al.; ZPR-6 Assemblies 6A and 7, ANL-7910, PP. 86-101 (1971)

以上の考察および4章での結果から分ることは、組成外挿については組成が大きく変わっても外挿の“適用性”自身には問題はなく外挿結果の臨界性の精度は主として反応度スケールの精度で決まるということである。体積外挿についてはJ-F-IIセットによる $\bar{B}$ を用いればVI-1の数倍の炉心体積までうまく外挿出来るということである。すなわちVI-1炉心の密度係数によりVI-1炉心からほとんどすべてのPu-U 酸化物燃料Na 冷却大型高速炉の臨界性が $\pm 0.5\%$ 程度の精度で予測出来るということである。又、これらのことは、高速炉系には組成、体積、スペクトルが異なっているにもかかわらず相互の関連をつかむのに都合のよいsystematicsを確立できる可能性があるということを示している。

## 6. 　　む　　す　　び

密度係数法は大型炉心に対しても外挿可能範囲が予想外に広く、モックアップ等の実用的な面からも、系統的な臨界性の研究という面からもきわめて有用な方法であることが明らかになった。FCA VI-1 炉心の密度係数はPu 燃料Na 冷却大型高速炉に関するかぎりほとんどすべてその適用範囲内にあることが示された。

## 謝　　辞

本研究を遂行するにあたって種々の御援助と御支持をいただいた弘田実弥氏に深く感謝致します。VI-1 集合体での密度係数の測定およびデータ解析については弘田実弥、大部誠、草野譲一、山岸耕二郎、渡辺秀明、小川弘伸の諸氏の御協力を頂きました。又SIMPLE-DおよびRCBN, RCBN3 セットについては西村秀夫氏の御教示を頂きました。ここにあらためて感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) 飯島 勉他；FCA V 炉心系における密度係数，JAERI-M 5890 (1974)
- (2) 弘田実弥他；FCA VI-1 集合体の臨界実験，Private communication (JAERI-memo) (1973)
- (3) 飯島 勉他；FCA VI-1 集合体における密度係数の測定，JAERI-M 6062 (1975)
- (4) 西村 秀夫；一次元拡散・擾動計算コードSIMPLE-D，JAERI-memo 4381 (公開) (1971)
- (5) 飯島 勉他；FCA VI-2 集合体の臨界実験，Private communication (1974)
- (6) Till, C.E., et. al.; ZPR-6 Assemblies 6A and 7, ANL-7910, PP. 86-101 (1971)

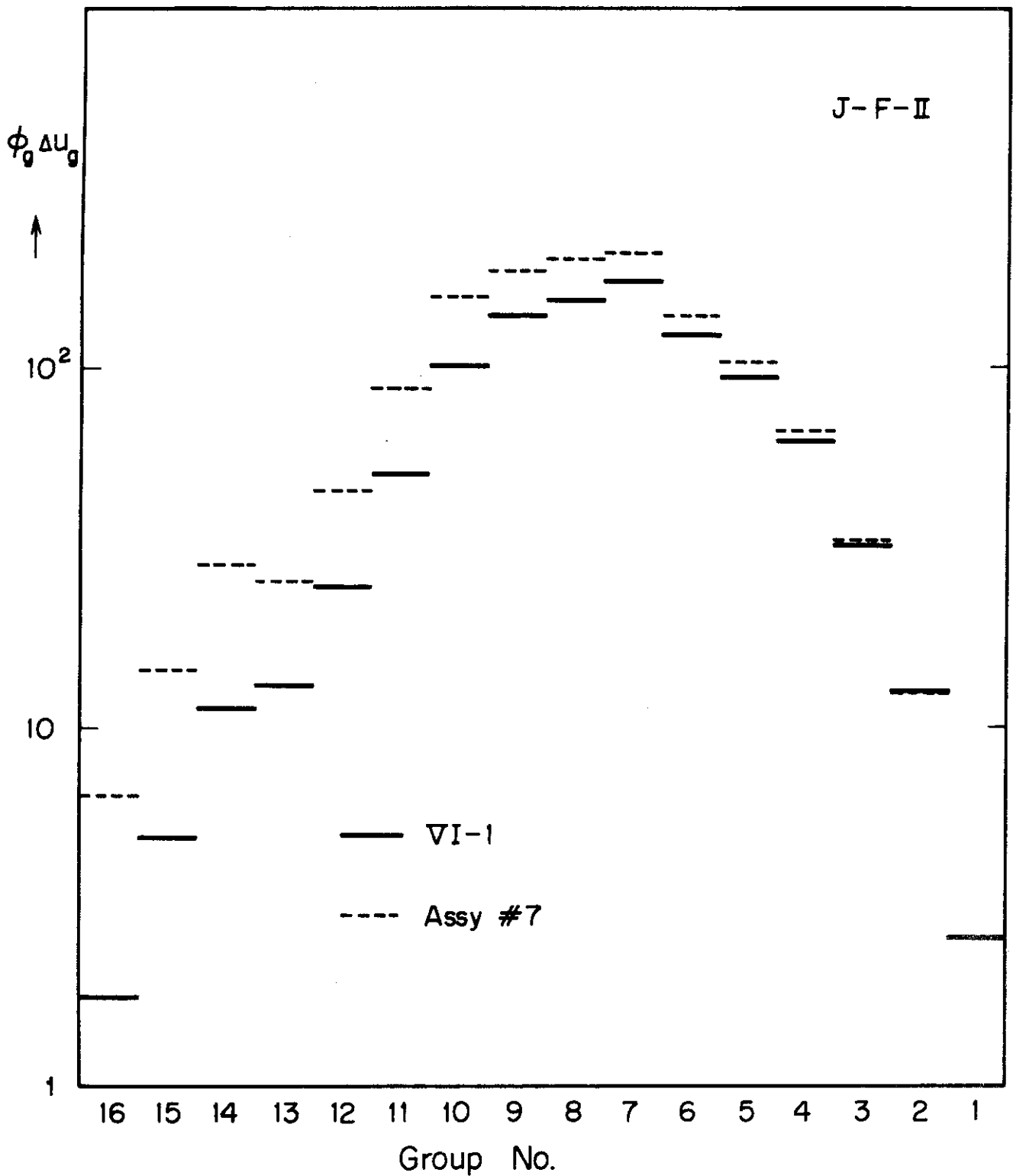


Fig. 2 Fundamental mode neutron spectra of FCA VI-1 and ZPR-VI Assembly #7

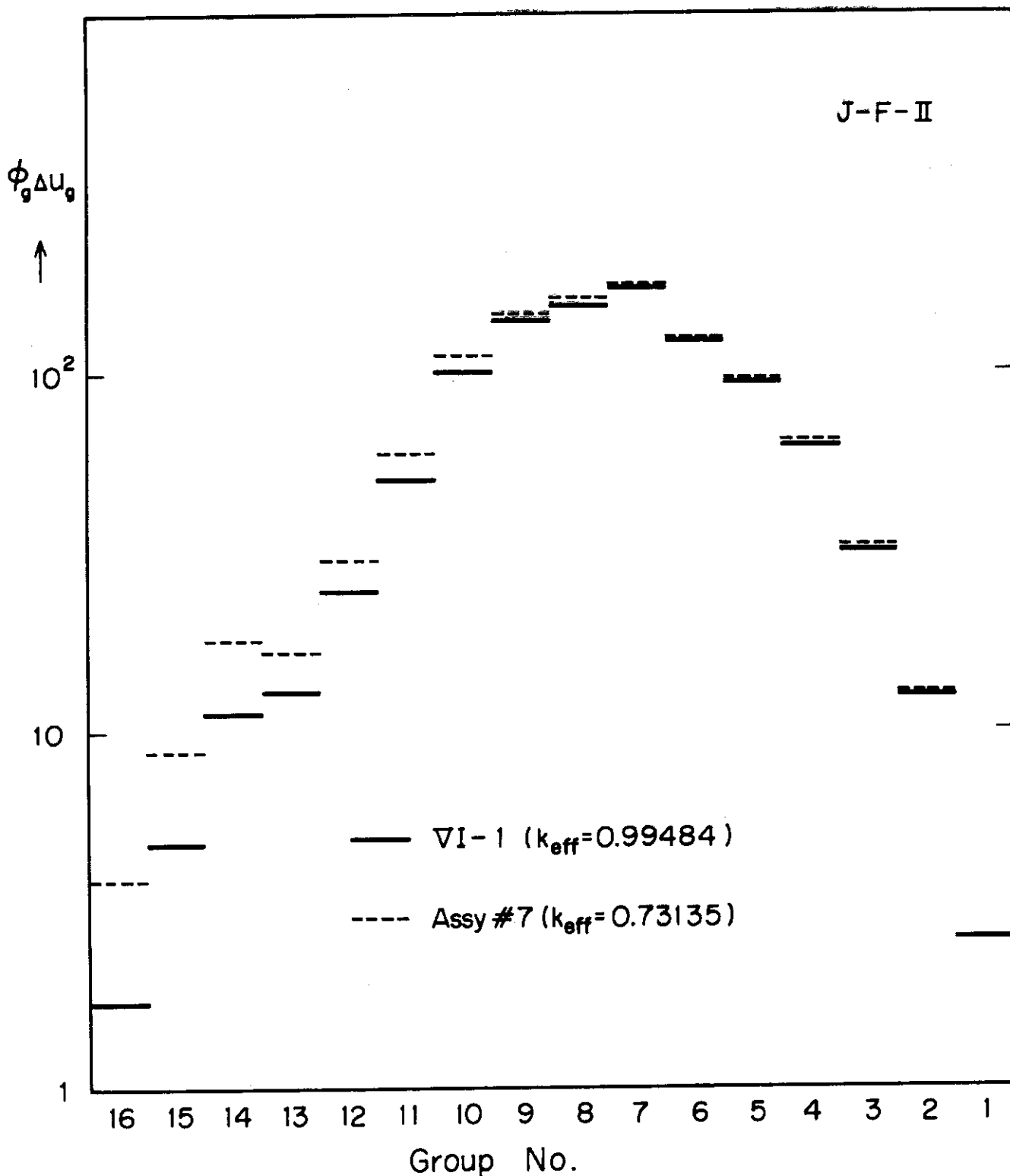


Fig. 3 Neutron spectra of  $\nabla I-1$  and Assembly #7 for  $\nabla I-1$  core volume (423.6 l).

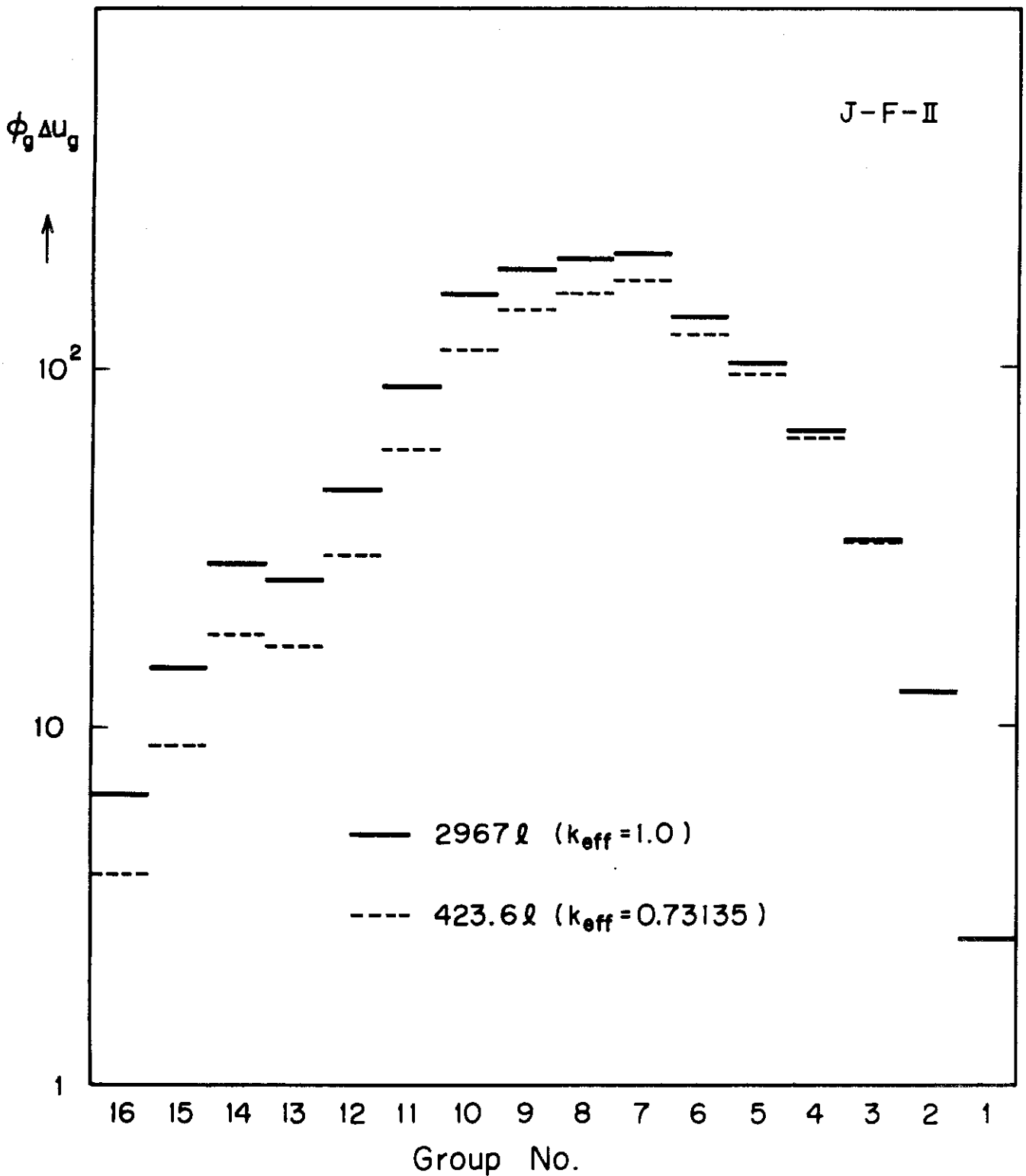


Fig. 4 Neutron spectra of Assembly #7 for  $\nabla$ I-1 and critical core volumes.