

JAERI-M

6504

単一制御棒実験に基づく複数本制御棒
反応度価値の推定法

1976年3月

中野正文

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.

単一制御棒実験に基づく複数本制御棒反応
度値の推定法

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部

中野正文

(1976年2月20日受理)

単一制御棒実験の組合せから任意の複数本制御棒の反応度値を実験的に求める方法を提案した。本方法では各制御棒の反応度値への寄与を、単一制御棒反応度値をもとに、その値に対して他の制御棒挿入による中性子束の歪みの効果を補正して求める。補正係数は個々の制御棒挿入による補正係数の積で表わされ、それぞれは単一制御棒挿入体系と基準体系におけるサンプル反応度値の比の平方根から得られる。

原型炉級の高速炉体系をモデルに種々の制御棒パターンについて本方法の妥当性を検討した。取扱ったのは最高4本までの制御棒反応度値で干渉効果は+10~-20%であった。数値実験の結果、本方法による反応度値の推定値の誤差は最大1.4%程度であり、単一制御棒実験にもとづく本方法は複数本制御棒反応度値の「実験値」を求めるのに有効な方法であることが分かった。

A Method for Estimating Multiple-rod Worth by Single-rod Experiment

Masafumi NAKANO

Division of Reactor Engineering, Tokai, JAERI

(Received February 20, 1976)

A method is proposed of estimating experimentally the reactivity worth of multiple control rods by single-rod experiment. In the method, the contribution of each control rod to the multiple-rod worth is obtained by the measured single-rod worth, to which the effect of a flux distortion due to the other rods is corrected. The correction factor to the single-rod worth is obtained from the reactivity worth of the sample measured in the systems with and without an individual rod.

To examine validity of the method, a numerical study was made with the model of a prototype fast reactor. In the model, natural and/or 90% enriched B_4C rods are introduced into sodium channels of the reference system, the worth of the individual rod ranging from $-0.4\% \Delta k/k$ to $-1.9\% \Delta k/k$. There is no large difference between the multiple-rod worths obtained by the present method and by the direct k -calculation. The difference is 1.4% at most in several rod patterns used in the study, covering up to four rods insertion and the interaction effect ranging about $+10\% \sim -20\%$.

The method proposed is useful in estimating the 'experimental' value of a multiple-rod worth.

目 次

1. はじめに	1
2. 測定原理	2
3. 数値実験による検討	7
4. ま と め	11
5. 謝 辞	12
6. 参考文献	12

1 はじめに

基準となる体系と単一制御棒を挿入した体系におけるサンプルの反応度値の比からその制御棒による中性子束の歪み、すなわち、干渉の効果を推定し、単一制御棒実験の組合せから複数本制御棒の反応度値を実験的に求める方法を提案する。

制御棒反応度値の評価は原子炉の設計上重要な課題である。そのため、各種の制御棒挿入パターンに対してその反応度値を測定したり、実験値を計算値と比較して計算方法を確立することが必要である。制御棒の反応度値測定の困難さは、基本的には、取扱う反応度値が大ききことにあるといえる。特に、複数本制御棒の反応度値を直接測定する場合、反応度値が大きくて測定精度をあげるのがむずかしいうえ、対象となる制御棒挿入パターンが多く、取り上げるべき実験パターンの選択がむずかしい。したがって、単一、或いは少数本制御棒実験の組合せから制御棒間の干渉の効果を測定し、その結果から複数本制御棒の反応度値を推定する方法の開発が望まれる。

複数本制御棒反応度値を計算する簡単な方法として、最近、「disturbance parameter 法」が開発された。⁽¹⁾この方法によれば、単一制御棒反応度値の計算結果を利用して干渉の効果を推定し、それらの組合せから任意の複数本制御棒の反応度値を精度良く求めることができる。実験的にも、この方法にもとづいて、複数本制御棒反応度値を求めることが原理的には可能である。しかし、実際の測定を考えると、体系全体にわたっての中性子束およびインポートンス分布等の測定が必要で、この方法を直接適用することは事実上不可能である。

そこで、「disturbance parameter 法」を基礎にその考え方を拡張することによって、簡単な単一制御棒実験にもとづいて任意の複数本制御棒の反応度値を実験的に推定する方法を導出した。この方法では、単一制御棒挿入体系と基準体系におけるサンプル反応度値の比からその制御棒挿入による干渉の効果を推定し、別に測定した単一制御棒の反応度値とから複数本挿入時の反応度値を求める。この方法を「サンプル反応度値法」と名付ける。本方法を採用することによって、測定すべき反応度値が小さくて済むうえ、個々の制御棒挿入による干渉の効果を分離して測定できるので、複数本制御棒の反応度値或いは制御棒の干渉効果の構成を実験的に成分に分けて把握することができる。数値実験の結果本方法によって複数本制御棒の反応度値を、直接測定する場合の測定精度をそこなうことなく、実験的に求めることができると考えられる。

本報告では、「サンプル反応度値法」の測定原理と、本方法の妥当性を数値実験により検討した結果について述べる。

2 測定原理

複数本制御棒の反応度価値

基準体系に2本の制御棒*i*および*j*が同時に挿入された場合の制御棒反応度価値 $\Delta\rho_{ij}$ を、それぞれの制御棒が単独で挿入された場合の反応度価値 $\Delta\rho_i$ および $\Delta\rho_j$ をもとにして、

$$\Delta\rho_{ij} = f_i(j) \cdot \Delta\rho_i + f_j(i) \cdot \Delta\rho_j \quad (1)$$

と書くことを考える。係数 $f_i(j)$ は単一制御棒*i*の反応度価値 $\Delta\rho_i$ に対する制御棒*j*の干渉の効果をあらわす補正係数と解することが出来、この値は一般には1にならない。複数本制御棒の反応度価値を、(1)式のように、単一制御棒反応度価値をもとにその値を補正する形で書くときの補正係数を、簡単に、しかも精度良く求める方法について考える。

Exact perturbation 理論によると、基準体系0から摂動体系*p*への反応度変化

$\Delta\rho_p = \rho_p - \rho_0$ は

$$\Delta\rho_p = \langle \phi_0^+ P \phi_p \rangle / \langle \phi_0^+ M_p \phi_p \rangle \quad (2)$$

から求められる。ただし、 ϕ_0^+ および ϕ_p はそれぞれ基準体系の随伴中性子束および摂動体系の中性子束、*P*は摂動演算子、*M_p*は摂動体系の核分裂中性子生成に関する演算子であり、 $\langle \rangle$ は全エネルギーおよび空間の積分をあらわす。

いま、基準体系に2本の制御棒*i*および*j*が同時に挿入された場合を考えると、摂動演算子*P_{ij}*はそれぞれの制御棒挿入に対する摂動演算子の和、すなわち、

$$P_{ij} = P_i + P_j$$

であらわせる。したがって、2本の制御棒*ij*の反応度価値 $\Delta\rho_{ij}$ は

$$\Delta\rho_{ij} = \frac{\langle \phi_0^+ P_i \phi_{ij} \rangle}{\langle \phi_0^+ M_{ij} \phi_{ij} \rangle} + \frac{\langle \phi_0^+ P_j \phi_{ij} \rangle}{\langle \phi_0^+ M_{ij} \phi_{ij} \rangle} \quad (3)$$

と書ける。(3)式の右辺はそれぞれの制御棒挿入による反応度価値の和の形をしている。しかし中性子束 ϕ_{ij} および演算子*M_{ij}*には2本の制御棒挿入の効果が混在している。(3)式との比較から(1)式の補正係数は

$$\begin{aligned} f_i(j) &= \frac{\langle \phi_0^+ P_i \phi_{ij} \rangle}{\langle \phi_0^+ M_{ij} \phi_{ij} \rangle} / \Delta\rho_i \\ &= \frac{\langle \phi_0^+ P_i \phi_{ij} \rangle}{\langle \phi_0^+ M_{ij} \phi_{ij} \rangle} / \frac{\langle \phi_0^+ P_i \phi_i \rangle}{\langle \phi_0^+ M_i \phi_i \rangle} \end{aligned} \quad (4)$$

で与えられる。同様にして、一般に複数本制御棒*i, j, …, l*が同時に挿入された場合の反応度価値は次のように書くことができる。

$$\Delta\rho_{ij\dots l} = f_i(j, \dots, l) \cdot \Delta\rho_i + \dots + f_l(i, j, \dots) \cdot \Delta\rho_l \quad (5)$$

$$f_i(j, \dots, l) = \frac{\langle \phi_0^+ P_i \phi_{ij\dots l} \rangle}{\langle \phi_0^+ M_{ij\dots l} \phi_{ij\dots l} \rangle} / \frac{\langle \phi_0^+ P_i \phi_i \rangle}{\langle \phi_0^+ M_i \phi_i \rangle} \quad (6)$$

補正係数の近似式

(A) Disturbance Parameter 法

複数本制御棒の反応度値を(5)式のように書き表わすとき、(6)式で与えられる補正係数を簡単に求める方法として、最近、disturbance parameter法が提案された。⁽¹⁾この方法の基本的な考え方は以下のように書ける。

簡単のため2本制御棒*i*および*j*の場合を考える。たとえば、ナトリウム冷却高速炉体系において、ナトリウム・チャンネルにB₄C制御棒を挿入する場合を考えると、(6)式などに表われる核分裂中性子生成に関する演算子Mは制御棒挿入によって変化しない。したがって、(4)式は、

$$f_{i(j)} = \frac{\langle \phi_0^+ P_i \phi_{ij} \rangle}{\langle \phi_0^+ M \phi_{ij} \rangle} \bigg/ \frac{\langle \phi_0^+ P_i \phi_i \rangle}{\langle \phi_0^+ M \phi_i \rangle} \quad (7)$$

と書ける。また摂動演算子P_iは中性子生成に関する成分を含まない。

補正係数f_{i(j)}の近似式を求めるために、ここで、

$$A_i(j) = \frac{\langle \phi_0^+ P_i \phi_j \rangle}{\langle \phi_0^+ M \phi_j \rangle} \bigg/ \frac{\langle \phi_0^+ P_i \phi_0 \rangle}{\langle \phi_0^+ M \phi_0 \rangle} \quad (8)$$

で定義される中性子束の歪みパラメータ (disturbance parameter) を導入する。A_{i(j)}は単一制御棒*j*の挿入による位置*i*での演算子P_iで与えられる反応に対する中性子束の実効的な歪みを表わす。ただし、中性子束は体系の実効的な核分裂中性子源で規格化されている。補正係数f_{i(j)}はこの歪みパラメータを用いて

$$f_{i(j)} = A_i(i, j) / A_i(i) \quad (9)$$

と書ける。そこで歪みパラメータについて次の仮定をする。

〔仮定〕 複数本の制御棒挿入による中性子束の歪みパラメータは、それぞれの単一制御棒挿入による歪みパラメータの積で与えられる。即ち

$$A_i(j, \dots, \ell) = A_i(j) \cdot \dots \cdot A_i(\ell) \quad (10)$$

(10)式の仮定を用いると、f_{i(j)}は次のように簡単に書ける。

$$f_{i(j)} = A_i(j) = \frac{\langle \phi_0^+ P_i \phi_j \rangle}{\langle \phi_0^+ M \phi_j \rangle} \bigg/ \frac{\langle \phi_0^+ P_i \phi_0 \rangle}{\langle \phi_0^+ M \phi_0 \rangle} \quad (11)$$

つまり、Δρ_iに対する補正係数は、制御棒*i*の挿入による中性子束の歪みとは関係なく、単一制御棒*j*の挿入による位置*i*での歪みパラメータで与えられる。

一般に複数本制御棒の場合も、上の仮定のもとで、Δρ_iに対する補正係数は

$$f_{i(j, \dots, \ell)} = A_i(j) \cdot \dots \cdot A_i(\ell) \quad (12)$$

と、制御棒*i*以外の制御棒がそれぞれ単独で挿入されたことによる位置*i*での中性子束の歪みパラメータの積で与えられる。このように、単一制御棒の反応度値との単一制御棒挿入による中性子束の歪みパラメータの組合せから任意の複数本制御棒の反応度値を推定する

ことが出来る。

以上が「disturbance parameter 法」の概要である。高速原型炉「もんじゅ」のモックアップ実験体系をモデルにこの方法の妥当性が検討され、単一制御棒反応度値計算の組合せから複數本制御棒反応度値を十分な精度で計算できることが確かめられている。⁽¹⁾

この方法によって、単一制御棒実験の組合せから複數本制御棒の反応度値を実験的に求めようとする場合、単一制御棒反応度値の他に(8)式で定義される中性子束の歪みパラメータを実験的に求めることになる。定義から分かるように、このパラメータは、原理的には、基準体系および単一制御棒挿入体系の中性子束やインポートランスなどから求められる。しかし、体系全体にわたっての分布の測定が必要であり、また、適当な検出器の選択がむずかしい。したがって、上に示した「disturbance parameter 法」の範囲では、補正係数を実験的に求めることは事実上不可能と考えられる。

(B) サンプル反応度値による方法

補正係数を実験的に求めようとする立場から、改めて、 $f_i(j)$ を評価する近似式について考える。中性子束の歪みを観測する手段としては反応率あるいはサンプル反応度値の測定が考えられるが、補正係数の物理的意味を考えると、 $f_i(j)$ は単一制御棒 j 挿入体系と基準体系における位置 i でのサンプル反応度値の比 $\delta\rho_i(j)/\delta\rho_i(0)$ と直接関係をもっていると予想される。微小サンプルの場合、反応度値の比は摂動論により次のように書ける。

$$\frac{\delta\rho_i(j)}{\delta\rho_i(0)} = \frac{\langle\phi_j^+ \delta P_i \phi_j\rangle}{\langle\phi_j^+ M \phi_j\rangle} \bigg/ \frac{\langle\phi_0^+ \delta P_i \phi_0\rangle}{\langle\phi_0^+ M \phi_0\rangle} \quad (13)$$

ただし、 δP_i は微小サンプルによる摂動演算子である。(13)式の右辺を(8)式で定義される中性子束の歪みパラメータ $A_i(j)$ と比較すると、分子のインポートランスが、基準体系ではなく、単一制御棒 j 挿入体系のそれである点が異なる。したがって、仮に摂動体系のインポートランス ϕ_j^+ が基準体系のインポートランスに等しい、つまり、制御棒 j の挿入によってインポートランスに歪みが生じないとすれば、中性子束の歪みパラメータ $A_i(j)$ はサンプル反応度値の比と同形の式で与えられることになる。しかし、実際は、制御棒 j の挿入によるインポートランスの歪みは中性子束の歪みと同じオーダーであると考えられる。したがって、中性子束の歪みパラメータ $A_i(j)$ をサンプル反応度値の比 $\delta\rho_i(j)/\delta\rho_i(0)$ と直接関係付けることには無理があるといえる。

ここで、もう一度補正係数 $f_i(j)$ の満たす関係式について考える。exact perturbation 理論によると、基準体系 0 から摂動体系 p への反応度変化 $\Delta\rho_p$ は、(2)式のインポートランスと中性子束とを入れかえて、

$$\Delta\rho_p = \langle\phi_p^+ P \phi_0\rangle / \langle\phi_p^+ M_p \phi_0\rangle \quad (14)$$

と書くことが出来る。したがって、補正係数 $f_i(j)$ は(7)式の代りに

$$f_i(j) = \frac{\langle\phi_{ij}^+ P_i \phi_0\rangle}{\langle\phi_{ij}^+ M \phi_0\rangle} \bigg/ \frac{\langle\phi_i^+ P_i \phi_0\rangle}{\langle\phi_i^+ M \phi_0\rangle} \quad (15)$$

とも書ける。ここで、前の中性子束の歪みパラメータ $A_i(j)$ と同様に、制御棒 j の挿入による位置 i でのインポータンスの歪みパラメータ

$$A_i^+(j) = \frac{\langle \phi_j^+ P_i \phi_0 \rangle}{\langle \phi_j^+ M \phi_0 \rangle} \bigg/ \frac{\langle \phi_0^+ P_i \phi_0 \rangle}{\langle \phi_0^+ M \phi_0 \rangle} \quad (16)$$

を導入し、

[仮定]

複数本の制御棒挿入によるインポータンスの歪みパラメータは、それぞれの単一制御棒挿入による歪みパラメータの積で与えられる、即ち

$$A_i^+(j, \dots, \ell) = A_i^+(j) \cdot \dots \cdot A_i^+(\ell) \quad (17)$$

と仮定する。この仮定を用いると(15)式で与えられる $f_i(j)$ は

$$f_i(j) = A_i^+(i, j) / A_i^+(i) = A_i^+(j)$$

となる。つまり、補正係数はインポータンスの歪みパラメータ $A_i^+(j)$ にも等しくなる。

(11)式と(18)式の辺々を掛けると

$$[f_i(j)]^2 = A_i(j) \cdot A_i^+(j) \quad (19)$$

を得る。すなわち、補正係数は中性子束とインポータンスの歪みパラメータの積の平方根で与えられると考えてもよい。(19)式の右辺で制御棒 j の挿入による中性子束とインポータンスの歪み成分 $\Delta \phi_j = \phi_j - \phi_0$ および $\Delta \phi_j^+ = \phi_j^+ - \phi_0^+$ の積の効果が小さいとして2次以上の項を無視し、演算子 Q に関して近似式

$$\langle \phi_0^+ Q \phi_j \rangle \langle \phi_j^+ Q \phi_0 \rangle \approx \langle \phi_j^+ Q \phi_j \rangle \langle \phi_0^+ Q \phi_0 \rangle \quad (20)$$

$$Q = P_i, M$$

を考える。この場合、(19)式の右辺は

$$A_i(j) \cdot A_i^+(j) \approx \frac{\langle \phi_j^+ P_i \phi_j \rangle}{\langle \phi_j^+ M \phi_j \rangle} \bigg/ \frac{\langle \phi_0^+ P_i \phi_0 \rangle}{\langle \phi_0^+ M \phi_0 \rangle} \quad (21)$$

と近似出来る。(13)式との比較から、(21)式の右辺は制御棒 j 挿入体系における微少演算子変化 P_i による反応度値の比と解することができる。したがって、制御棒 i 挿入を表わす摂動演算子 P_i に類似した核特性をもつ物質をサンプルに選べば、補正係数 $f_i(j)$ は

$$f_i(j) \approx [\partial \rho_i(j) / \partial \rho_i(0)]^{1/2} \quad (22)$$

で与えられる。つまり、制御棒 i に対する j の干渉の効果をあらわす補正係数は、単一制御棒 j 挿入体系と基準体系における位置 i でのサンプル反応度値の比の平方根として実験的に求めることが出来ると考えられる。

一般的に、複数本制御棒 i, j, \dots, ℓ の反応度値 $\Delta \rho_{i,j,\dots,\ell}$ を(5)式で表わすとき、 $\Delta \rho_i$ に対する補正係数は、

$$f_i(j, \dots, \ell) = f_i(j) \cdot \dots \cdot f_i(\ell) \quad (23)$$

と単一制御棒挿入による補正係数の積で与えられ、それぞれは(22)式から実験的に求める

ことができる。

以上のようにして、単一制御棒挿入体系と基準体系におけるサンプル反応度値の比から制御棒の干渉の効果を評価し、単一制御棒実験の結果から複数本制御棒の反応度値を実験的に求めることが出来る。この方法を「サンプル反応度値法」と名付ける。

3 数値実験による検討

単一制御棒実験の結果から任意の複数本制御棒の反応度値を実験的に求める「サンプル反応度値法」について、その方法の妥当性を数値実験により検討した。

計算体系をFig. 1に示す。モデルは高速原型炉「もんじゅ」の工学的モックアップ体系の一つであるFCA VII-1集合体を単純化したものである。炉心部は内炉心と外炉心の2領域から成る。基準体系はR1~R4およびS0~S2がナトリウム・チャンネルで、記号RおよびSの位置にそれぞれ天然 B_4C および90%濃縮 B_4C の制御棒を挿入した場合の制御棒反応度値を求めた。

計算は2次元XYモデルについて6群拡散近似で行った。Table 1に単一制御棒の反応度値を示す。この値は、基準体系と単一制御棒挿入体系の固有値 k_{eff} の違いから、

$$\Delta\rho_i = \rho_i - \rho_0 = 1/k_{eff_0} - 1/k_{eff_i}$$

によって求めた。単一制御棒反応度値は $-0.4\% \Delta k/k$ (R4) から $-1.9\% \Delta k/k$ (S0) の範囲にある。

補正係数 $f_i(j, \dots, l)$ を単一制御棒挿入体系と基準体系におけるサンプル反応度値から推定する本方法は、前章で述べたように、

- (1) 複数本制御棒の挿入による中性子束およびインポートランスの歪みパラメータは、ともに、単一制御棒挿入による歪みパラメータの積で表わせる。
- (2) 中性子束とインポートランスの歪みパラメータの積はサンプル反応度値の比で与えられる。という2つの近似のもとに導かれた。これらの近似の妥当性を検討した結果をTable 2および3に示す。

中性子束の歪みパラメータを個々の制御棒の歪みパラメータの積で表わす近似は十分良い近似であることがすでに報告されているが、⁽¹⁾インポートランスの歪みについても近似度はほとんど変わらない。隣接した3本制御棒(S1, R1, R4)の場合積の仮定はやや精度は悪い。しかし、対象となる制御棒位置でこの近似が過大評価であったり過少評価であったりするので、後に示すように、結果としてこの近似は悪くない。

Table 3に単一制御棒挿入による体系の各点の歪みパラメータの積 $A_i(j) \cdot A_i^+(j)$ とサンプル反応度値の比 $\delta\rho_i(j)/\delta\rho_i(0)$ の値を比較する。サンプルとしては90%濃縮 B_4C を採った。天然 B_4C サンプルの場合も比の値に有意な差はみられなかった。これは、 B_4C サンプルの反応度値がほとんど ^{10}B の中性子吸収によるためであると考えられる。

歪みパラメータの積 $A_i(j) \cdot A_i^+(j)$ とサンプル反応度値の比 $\delta\rho_i(j)/\delta\rho_i(0)$ の違いは挿入された制御棒からの距離に依らずほぼ一定である。反応度値の小さい制御棒R1およびR4の場合両者の違いは0.1~0.3%と小さい。反応度値が大きく、したがって、歪みの比較的大きいS1制御棒挿入に対しては両者は1%ことなる。しかし、補正係数はサンプル反応度値の比の平方根で与えられるので、この場合も、 $A_i(j) \cdot A_i^+(j)$ を $\delta\rho_i(j)/\delta\rho_i(0)$ で近似することによる誤差は結果として0.5%程度である。

サンプル反応度値法によって求めた複数本制御棒反応度値の推定値を、固有値計算によ

って得られる k_{eff} 値から直接得られる値と比較して Table 4 に示す。取り上げた制御棒パターンの干渉効果は約 11% から -19% までの広い範囲にわたっている。サンプル反応度値法により推定した反応度値と真の値との差は小さく、大抵の場合 1% 以下である。本方法の推定精度と所謂干渉効果との相関は特にみられない。90% B_4C 制御棒が複数本入った場合反応度値の推定精度がやや悪く、真値からのずれは最大 1.4% になる。しかし、大きい負の反応度を直接測定する場合の実験精度を考えると、本方法によって、通常の実験誤差に比べて十分良い精度で複数本制御棒の反応度値を求めることが出来ると考えられる。

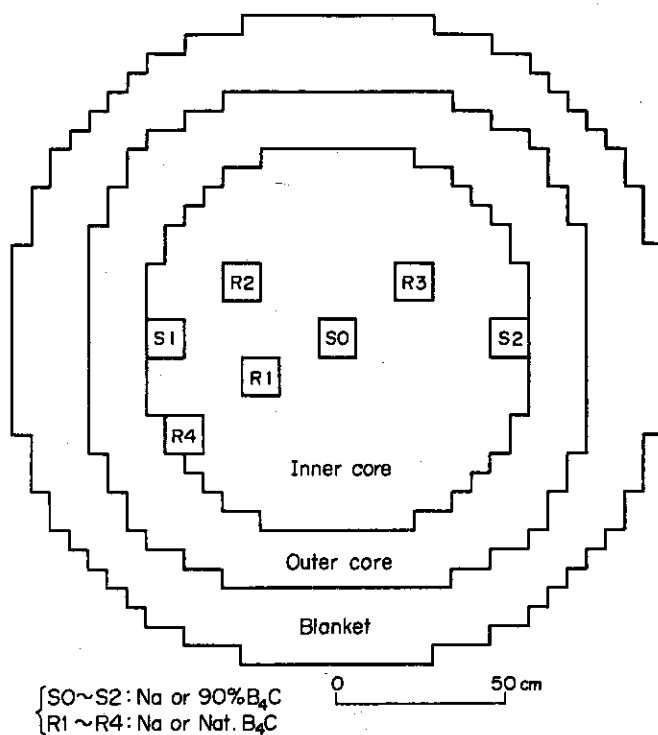


Fig. 1 Reactor Model

Table 1 Single rod worths

Position	¹⁰ B Enrichment (%)	Worth $-\Delta\rho(\% \Delta k/k)$
S0	90	1.85
S1	90	0.86
S2	90	1.06
R1	Nat.	0.68
R2	Nat.	0.62
R3	Nat.	0.70
R4	Nat.	0.42

Table 2 Accuracies of the factorization of the disturbance parameters

j, \dots, k	i	$A_i(j \dots k)$	$\frac{A_i(j) \dots A_i(k)}{A(j \dots k)}$	$\frac{A_i^+(j) \dots A_i^+(k)}{A_i^+(j \dots k)}$
R1, R4	R1	0.741	1.000	1.000
	R4	0.683	1.003	1.003
	S1	0.873	1.001	1.000
	S2	1.086	1.004	1.004
S1, S2	S1	0.489	0.990	0.991
	S2	0.516	0.994	0.995
	S0	1.020	0.999	1.001
S1, R1, R4	S1	0.382	0.991	0.990
	R1	0.667	1.002	1.004
	R4	0.558	1.021	1.023
	S2	1.166	1.021	1.021

Table 3 Comparison between the product of the disturbance parameters $A_i(j) \cdot A_i^+(j)$ and the ratio of the sample worths $\partial \rho_i(j) / \partial \rho_i(o)$

j	i	$A_i^+(j) \cdot A_i(j)$	$\partial \rho_i(j) / \partial \rho_i(o)$
R1	S0	0.931	0.930
	S1	0.864	0.862
	S2	1.098	1.096
R4	S0	1.011	1.008
	S1	0.865	0.863
	S2	1.086	1.083
S1	S0	1.010	1.000
	S2	1.190	1.179
	R1	0.849	0.841
	R4	0.738	0.731

Table 4 Comparison of Multiple Rod Worth

Rod Configuration	Rod Worth $-\Delta\rho$ (% k/k)		Raito Present/Direct-k	Interaction Effect (%)
	Present	Direct-k ^(a)		
S0*S2	2.940	2.925	1.005	+ 0.7
S1*S2	2.118	2.147	0.986	+11.4
S0*S1*S2	3.997	4.030	0.992	+ 6.9
R1*R3	1.412	1.415	0.998	+ 2.7
R1*R4	1.032	1.034	0.998	- 5.7
S1*R4	1.160	1.164	0.997	- 9.5
S1*R1*R4	1.667	1.672	0.997	-14.4
S1*R1*R2*R4	2.089	2.091	0.999	-19.0

(a) $\Delta\rho_{ij\dots\ell} = (1/k_{eff})_0 - (1/k_{eff})_{ij\dots\ell}$

(b) Interaction Effect = $\left[\frac{\Delta\rho_{ij\dots\ell}}{\Delta\rho_i + \Delta\rho_j + \dots + \Delta\rho_\ell} - 1 \right]$

4. ま と め

単一制御棒挿入体系と基準体系におけるサンプル反応度値の比からこの制御棒による中性子束の歪みの影響すなわち干渉の効果を推定し、単一制御棒実験の組合せから複数本制御棒の反応度値を実験的に求める「サンプルの反応度値法」を提案する。数値実験の結果、この方法により複数本の制御棒反応度値を十分な精度で推定出来ることが確認された。本方法によれば、体系に挿入する制御棒は1本で済み、測定すべき反応度値も高々制御棒1本程度でよい。したがって、測定技術上からも、材料面からも極めて有利な方法であるといえる。

実際の測定を考えると、基準体系は臨界体系で、単一制御棒挿入体系は未臨界体系になる。したがって、単一制御棒を挿入した未臨界体系で、定義に合ったサンプル反応度値を如何に精度よく測定できるかが、本方法の成否を決める鍵になると予想される。この問題は、

(1) 軸方向に制御棒と同じ長さをもつ比較的大きいサンプルを用いることにより、摂動論が適用出来る範囲で大きな反応度変化を取り扱う、(2) 制御棒挿入体系に燃料を追加して体系を臨界にし、その追加燃料の効果を計算による補正するなど解決方法がいくつか考えられる。

「サンプル反応度値法」を確立するためにはこれらの問題を含めて本方法の適用性を実験的に検討することが必要である。

5. 謝 辞

本研究を遂行するに当り有益な討論と助言をいただいた高速炉物理研究室主任研究員飯島勉氏に深く感謝いたします。研究の遂行上多くの励ましをいただいた原子炉工学部主任研究員弘田実弥氏と報告をまとめるに当り御支援をいただいた高速炉物理研究室長黒井英雄氏にあらためて感謝の意を表します。

6. 参 考 文 献

- (1) Konishi, T. and Yamamoto, M.: "A Method of Predicting Interaction on Control Rod Worth through Disturbance Parameters", J. Nucl. Sci. Technol. 12, 336 (1975).

5. 謝 辞

本研究を遂行するに当り有益な討論と助言をいただいた高速炉物理研究室主任研究員飯島勉氏に深く感謝いたします。研究の遂行上多くの励ましをいただいた原子炉工学部主任研究員弘田実弥氏と報告をまとめるに当り御支援をいただいた高速炉物理研究室長黒井英雄氏にあらためて感謝の意を表します。

6. 参 考 文 献

- (1) Konishi, T. and Yamamoto, M. : " A Method of Predicting Interaction on Control Rod Worth through Disturbance Parameters ", J. Nucl. Sci. Technol., 12, 336 (1975).