

JAERI-Tech

98-017



高温工学試験研究炉(HTTR)の過剰反応度 測定での制御棒干渉効果の解析評価

1998年5月

中野正明・山下清信・藤本 望・野尻直喜・竹内光男
藤崎伸吾・徳原一実*・中田哲夫**

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

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 〒319-1195, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1998

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 日立高速印刷株式会社

高温工学試験研究炉（HTTR）の過剰反応度測定での
制御棒干渉効果の解析評価

日本原子力研究所大洗研究所高温工学試験研究炉開発部

中野 正明・山下 清信・藤本 望・野尻 直喜*

竹内 光男・藤崎 伸吾・徳原 一実*・中田 哲夫**

(1998年5月6日受理)

燃料追加法により高温工学試験研究炉（HTTR）の過剰反応度を求める場合について、実際の測定の制御棒操作を模擬した解析を行い、制御棒の反応度の干渉効果が過剰反応度の測定値に与える影響を解析により評価した。制御棒を全引き抜きした仮想的な状態の炉心の実効増倍率から求める過剰反応度に比べて、測定時に操作する制御棒の組合せによって、-10%～+50%程度測定値が変化することがわかった。また、干渉効果の影響を小さくするために被測定制御棒、補償制御棒とも複数の制御棒を用い、測定時に炉心内の中性子束分布の変化が小さくなるようにすればよいことが明らかとなった。具体的には、①被測定制御棒として第3リング制御棒を除く13対を用い、その1対ごとの測定の際に、補償制御棒としてその他の12対を用いる組合せ、②被測定制御棒として第1リング制御棒6対を用い、その1対ごとの測定の際に、補償制御棒として他の第1リング制御棒5対を用いる組合せが燃料追加法を用いて過剰反応度を測定するのに適しているものと考える。

大洗研究所：〒311-1394 茨城県東茨城郡大洗町成田町新堀3607

* 出向中：科学技術庁

* 富士電機株式会社

** 川崎重工業株式会社

Analytical Estimation of Control Rod Shadowing Effect for Excess
Reactivity Measurement of High Temperature Engineering
Test Reactor (HTTR)

Masaaki NAKANO, Kiyonobu YAMASHITA, Nozomu FUJIMOTO,
Naoki NOJIRI *, Mitsuo TAKEUCHI, Shingo FUJISAKI,
Kazumi TOKUHARA * and Tetsuo NAKATA **

Department of HTTR Project
Oarai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Oarai-machi, Higashibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received May 6, 1998)

The control rod shadowing effect has been estimated analytically in application of the fuel addition method to excess reactivity measurement of High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR). The movements of control rods in the procedure of the fuel addition method have been simulated in the analysis. The calculated excess reactivity obtained by the simulation depends on the combinations of measuring control rods and compensating control rods and varies from -10% to +50% in comparison with the excess reactivity calculated from the effective multiplication factor of the core where all control rods are fully withdrawn. The control rod shadowing effect is reduced by the use of plural number of measuring and compensation control rods because of the reduction in neutron flux deformation in the measuring procedure. As a result, following combinations of control rods are recommended; 1) Thirteen control rods of the center, first, and second rings will be used for the reactivity measurement. The reactivity of each control rod is measured by the use of the other twelve control rods for reactivity compensation. 2) Six control rods of the first ring will be used for the reactivity measurement. The reactivity of each control rod is measured by the use of the other five control rods for reactivity compensation.

Keywords : Control Rod, Shadowing Effect, Fuel Addition Method, Excess Reactivity, HTTR, Effective Multiplication Factor , Start-up Physics Test, HTGR

* On loan to Science and Technology Agency

* Fuji Electric Co., Ltd.

** Kawasaki Heavy Industries, Ltd.

目 次

1. 緒言	1
2. 干渉効果	6
3. 解析方法	11
3.1 計算方法	11
3.1.1 核特性計算手順	11
3.1.2 燃料追加ステップ	11
3.1.3 被測定制御棒と補償制御棒の組合せ	12
3.2 干渉効果の計算方法	12
4. 解析評価	24
4.1 検討ケース	24
4.2 解析結果	26
4.3 考察	27
5. 結言	36
謝 辞	37
参考文献	37
付録A 過剰反応度の測定方法	38
付録B 反応度の加算方法による過剰反応度の相違	41
付録C 計算結果一覧表	44

Contents

1. Introduction	1
2. Shadowing Effect	6
3. Analysis Method	11
3.1 Calculation Method	11
3.1.1 Nuclear Calculation Method	11
3.1.2 Fuel Addition Steps	11
3.1.3 Combination of Measuring and Compensating Rods	12
3.2 Calculation Method of Shadowing Effect	12
4. Result	24
4.1 Investigation Cases	24
4.2 Calculation Results	26
4.3 Investigation	27
5. Conclusion	36
Acknowledgments	37
References	37
Appendix A Excess Reactivity Measurement Method	38
Appendix B Differences in Excess Reactivity by Different Reactivity Addition Procedures	41
Appendix C Table of Calculation Results	44

1. 緒言

高温工学試験研究炉(High Temperature Engineering Test Reactor;以下 HTTR と略す)は、原子炉出力 30MW、原子炉出口冷却材温度 950°C の高温ガス炉であり、高温ガス炉の技術基盤の確立、高度化、先端的基礎研究のための試験研究に供する。現在 HTTR は臨界を目指している段階である。第 1-1 表に HTTR の主要諸元、第 1-1 図に HTTR の原子炉の垂直断面、第 1-2 図に水平断面及び中性子検出器の位置を示す。臨界試験では、常設の中性子検出系の他に、仮設の中性子源及び中性子検出器を可動反射体領域にある照射カラムに設置する。仮設の中性子検出器により、臨界近接、過剰反応度測定、制御棒反応度価値測定、中性子束分布測定などを行う計画である。

原子炉は、炉心の温度上昇による反応度の低下、燃料燃焼及び核分裂生成物の蓄積による反応度低下などを補償するために、過剰反応度を有している必要がある。一方、過剰反応度は、制御棒などの原子炉停止系により安全に制御可能な範囲内に収まっていなければならない。HTTR の場合には、設置許可申請書に核的制限値として最大過剰反応度 $16.5\% \Delta k/k$ を記載している。使用前検査、定期検査では過剰反応度を測定し、この制限値を満足していることを確認しなければならない。

一般に、過剰反応度の測定には、燃料追加法及び中性子吸収置換法の2通りの方法が用いられている^{1),2)}。燃料追加法は、最小臨界炉心から燃料を所定の量だけ追加し、その反応度を測定することを繰り返し、全炉心構成まで積算していく方法である。一方、中性子吸収置換法は、全炉心構成となった後、臨界状態において炉心に挿入している制御棒の反応度から過剰反応度を求めるものであり、全炉心構成で制御棒反応度価値曲線(制御棒校正曲線)を作成して、それをもとにして臨界状態で炉心に挿入している部分の反応度価値を求めるものである。付録 A に燃料追加法と中性子吸収置換法による具体的な過剰反応度の測定方法を示す。

燃料追加法及び中性子吸収置換法による過剰反応度の測定において、一般に、炉周期法(ポジティブペリオド法)または逆運動特性法により反応度を測定することになる。その際には次の 2 種の制御棒が必要である。

①被測定制御棒

測定開始時点で追加した燃料の反応度を補償するために炉心に挿入されている制御棒であり、この制御棒を引き抜くことにより追加した燃料の反応度を測定する。

②補償制御棒

測定中に、炉心を臨界または臨界近傍に維持するための制御棒である。反応度測定に炉周期法及び逆運動特性法を用いる場合とも、被測定制御棒を引き抜き炉心に添加することができる反応度は小さいため、1回に測定できる反応度は小さい。そのため1回の測定の後、炉心を臨界または臨界近傍に回復させるため用いる制御棒である。

これら、2 種の制御棒の操作が必要であるため、測定の際には被測定制御棒と補償制御棒の間には核的な相互作用が生じ、これにより、反応度の測定値が影響を受ける。また、被測定制御棒、補償制御棒以外の制御棒とこれらの制御棒との間にも相互作用があると考えられる。このように、制

御棒の挿入パターンによって、制御棒間の核的な相互作用が変化し、過剰反応度測定の測定値に影響を与える。この核的な相互作用をここでは干渉効果と称することにする。

この問題を解決するために、原子力船「むつ」では、補正係数を別途計算により求めておき、測定結果を補正した³⁾。その他、JRR-2、常陽は、補償制御棒の違いによる影響を測定している^{4),5)}。

さらに、HTTR には次の特徴がある。

- ① 減速材は黒鉛であり、そのため中性子の移動距離が軽水炉より大きい⁶⁾。従って、制御棒間の距離が同じであっても核的には距離が短いため、干渉効果が大きいと考えられる。
- ② HTTR の過剰反応度の測定では燃料追加法を用い、燃料装荷スケジュール短縮のため、最小臨界から全炉心構成までの燃料追加ステップを少なくする計画である。このため、燃料追加法による反応度測定の際、1 回当たりの燃料追加による反応度添加が大きい。従って、測定時に被測定制御棒と補償制御棒の操作量が大きい。

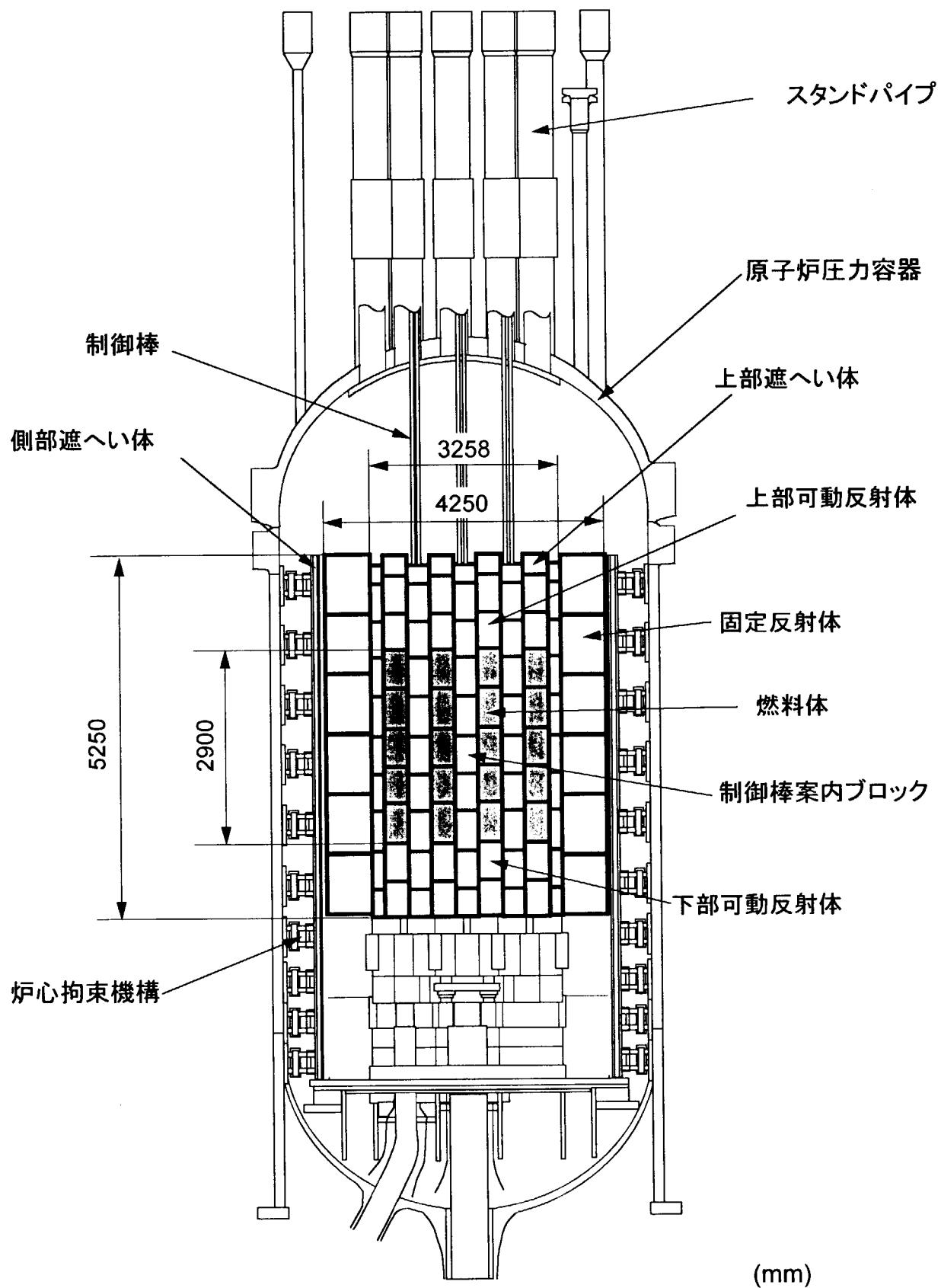
これらの理由により、HTTR は干渉効果は大きく、被測定制御棒と補償制御棒の組み合わせが過剰反応度の測定に大きな影響を与えると考えられる。

HTTR では、第 1-2 図に示すように、燃料は炉心の周辺領域から時計回りに装荷し、18 カラム装荷した時点で燃料領域が 1 層である環状炉心を形成する。その後、炉心の中心領域に燃料を装荷する。その際には炉心の対称性を維持するために 120° 毎に燃料カラムを装荷する。24 カラム装荷した時点で燃料領域が 2 層の環状炉心となり、さらに 6 カラムの燃料を装荷し、30 カラムで全炉心構成となる。最小臨界後、所定の燃料を追加するごとに炉心に加わる反応度を測定し、燃料追加法により過剰反応度を求める計画である。

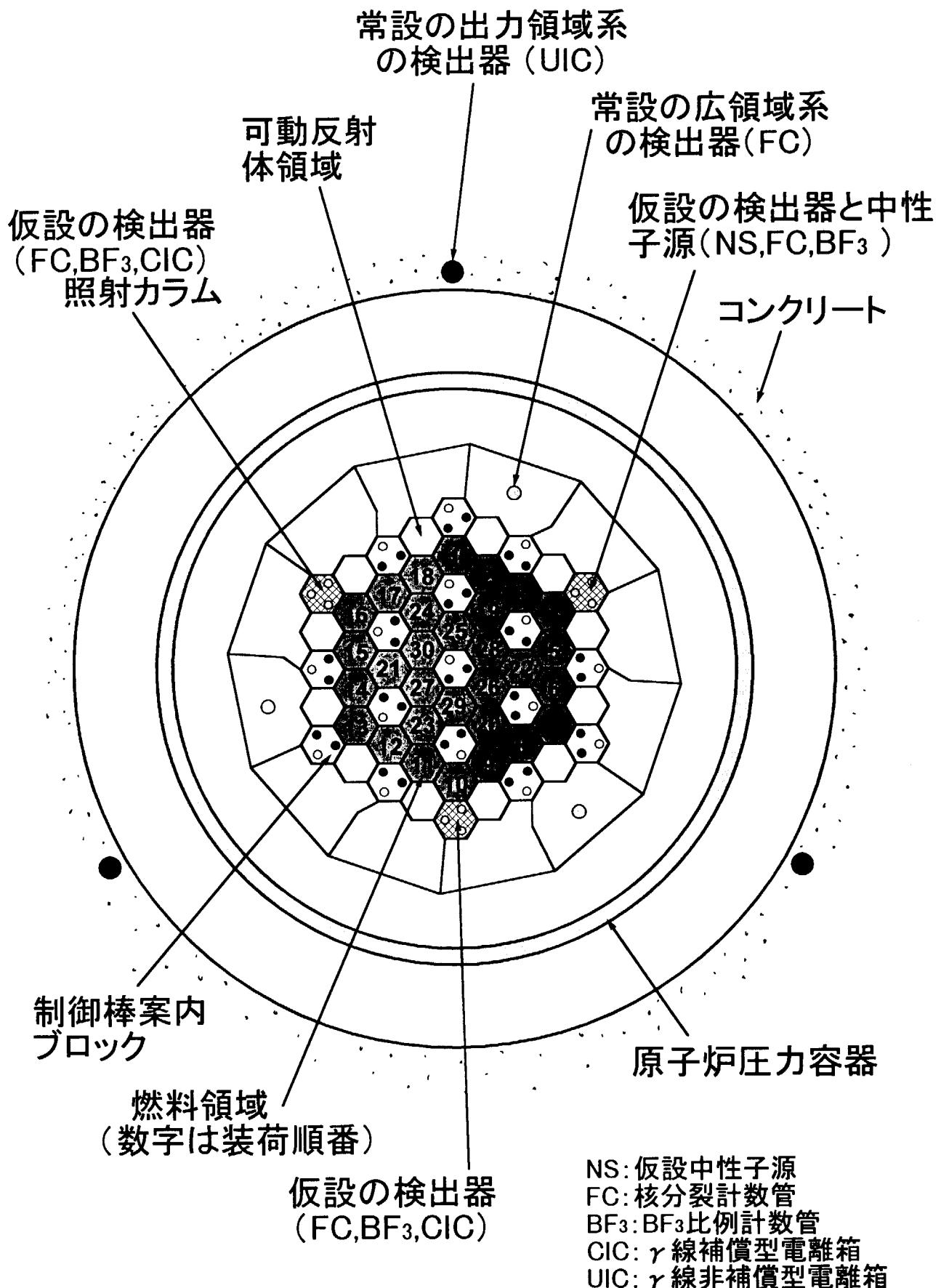
ここでは、HTTR の初期炉心を対象として、過剰反応度の測定に燃料追加法を用いる場合に、被測定制御棒、補償制御棒の組み合わせにより、測定される過剰反応度がどのような影響を受けるかを解析により評価・検討した。

第 1-1 表 HTTR の主要諸元

原子炉熱出力	30 MW
原子炉入口／出口冷却材温度	395／850～950 ℃
1 次冷却材圧力	4 MPa
炉心有効高さ	2.9 m
炉心等価直径	2.3 m
平均出力密度	2.5 MW/m ³
燃料	二酸化ウラン、被覆粒子／黒鉛分散型
ウラン濃縮度	3～10 wt% (平均 6 wt%)
燃料体形式	ブロック型
原子炉圧力容器材質	鋼製(2 1/4 Cr - 1 Mo 鋼)



第1-1図 HTTRの垂直断面図



第1-2図 原子炉の水平断面と検出器の位置

2. 干渉効果

制御棒の反応度価値の測定値は、他の制御棒の挿入状態の影響を受ける。例えば、制御棒が隣接して炉心に挿入されている場合には、挿入されている部分の反応度価値は小さくなる(近接効果)。逆に、ある程度離れた制御棒は互いに反応度価値を大きくする場合がある。過剰反応度は、測定に燃料追加法または中性子吸収置換法を用いる場合とも、炉心に挿入されている制御棒の反応度価値を測定して求めるので、被測定制御棒と補償制御棒の組合せ等の制御棒の挿入状態によって、その測定値は変化することになる。

一般に計算では、過剰反応度は炉心に制御棒が全く挿入されていない状態の実効増倍率から求める。しかし、これは臨界状態を大きく超えた仮想的な炉心状態であるため、この仮想的な状態の過剰反応度を直接測定して求めることはできない。ここでは、制御棒を操作して実際に測定する過剰反応度と、制御棒が挿入されていない仮想的な炉心での過剰反応度の比を、制御棒間の核的な相互作用を示すものとして干渉効果と呼び、次のように定義する。

$$\text{干渉効果} = \frac{\text{制御棒の操作を考慮した過剰反応度の測定値}}{\text{制御棒がない炉心での過剰反応度}} \quad (2-1)$$

実際に測定により得られる過剰反応度の測定値を上記の干渉効果で除すれば仮想的な炉心の過剰反応度が得られることになる。また、逆に、制御棒が挿入されていない炉心の過剰反応度の計算値に干渉効果を乗ずると測定予測値が得られる。

また、過剰反応度の測定に燃料追加法を用いる場合には、燃料を追加する毎(燃料追加ステップと呼ぶ)に、追加した燃料の反応度を測定し、合計することにより過剰反応度を求める。この場合には、干渉効果はそれぞれの燃料追加ステップ毎に次式で求めることができる。

$$\text{干渉効果} = \frac{\text{制御棒の操作を考慮した追加燃料の反応度の測定値}}{\text{制御棒がない炉心での追加燃料の反応度}} \quad (2-2)$$

この干渉効果を以下に示す干渉効果 A と干渉効果 B と呼ぶ 2 つの効果に分けて考える。

(1) 干渉効果 A

過剰反応度を測定する際に操作する被測定制御棒と補償制御棒の間の干渉効果を干渉効果 A と名付ける。この効果についての説明を第 2-1 図に示す。燃料追加法を用いた過剰反応度の測定の際には、次のように被測定制御棒と補償制御棒を操作する。まず、追加した燃料の反応度分だけ被測定制御棒を他の制御棒に比べて深く挿入して臨界にした状態から、被測定制御棒をある微小距離だけ引き抜き、その反応度価値 $\Delta\rho''$ を測定する。次に、超臨界状態から臨界または臨界未満にするために補償制御棒を挿入する。これらの操作を交互に繰り返して被測定制御棒が深く挿入されている部分の反応度 ρ'' を求める(第 2-1 図の左側)。一方、これらの制御

棒間の干渉効果がない状態として、被測定制御棒のみを引き抜いて求めた反応度 ρ^c を求める（第 2-1 図の右側）。干渉効果 A はこれらの比とする。

$$\begin{aligned} \text{干渉効果A} &= \frac{\text{制御棒の操作を考慮した反応度測定値}}{\text{被測定制御棒のみ引き抜いた反応度}} \\ &= \frac{\rho''}{\rho^c} \end{aligned} \quad (2-3)$$

(2) 干渉効果 B

過剰反応度測定の際には、臨界に維持するために被測定制御棒及び補償制御棒以外にも制御棒が挿入されている。燃料追加法による測定の際に、燃料追加ステップが進むに伴い、その時点の過剰反応度を打ち消すために、被測定制御棒及び補償制御棒以外の制御棒をさらに深く挿入するようになる。これらの制御棒が追加燃料の反応度に与える影響を干渉効果 B と呼ぶこととする。第 2-2 図のように、制御棒が炉心に挿入されていない状態での燃料追加前の実効増倍率 k_{eff}^0 及び燃料追加後の k_{eff}^{CR} から計算される反応度を ρ^0 とする。一方、燃料追加前に臨界となるように制御棒を挿入し（このとき、 $k_{eff}^{CR}=1.0$ ）、その制御棒挿入深さを保ったまま燃料を追加した後の実効増倍率 k_{eff}^{CR} から求められる反応度を ρ^{CR} とする。これらの比として干渉効果 B を定義する。

$$\begin{aligned} \text{干渉効果B} &= \frac{\text{制御棒を燃料追加前の臨界位置としたときの追加燃料の反応度}}{\text{制御棒がない炉心での追加燃料の反応度}} \\ &= \frac{\rho^{CR}}{\rho^0} \end{aligned} \quad (2-4)$$

上式の分子、つまり、第 2-2 図の右側に示した反応度の算出において、燃料追加前の炉心は制御棒が挿入され臨界となっているため実効増倍率 $k_{eff}^{CR}=1.0$ である。この状態を、第 2-1 図の干渉効果 A で示した燃料追加後に被測定制御棒を深く挿入して臨界にした状態 $k_{eff}^c=1.0$ と置き換える。このような置き換えを行っても、両者とも、実効増倍率は 1.0 であり、その状態からの反応度変化なので、求める反応度 ρ^{CR} は同一の値となる。つまり、式(2-4)の分子は、干渉効果 A で示した燃料追加後に被測定制御棒を臨界位置から燃料追加前の位置まで引き抜いた場合の反応度と等しい。従って、干渉効果 B は次のように表すことができる。

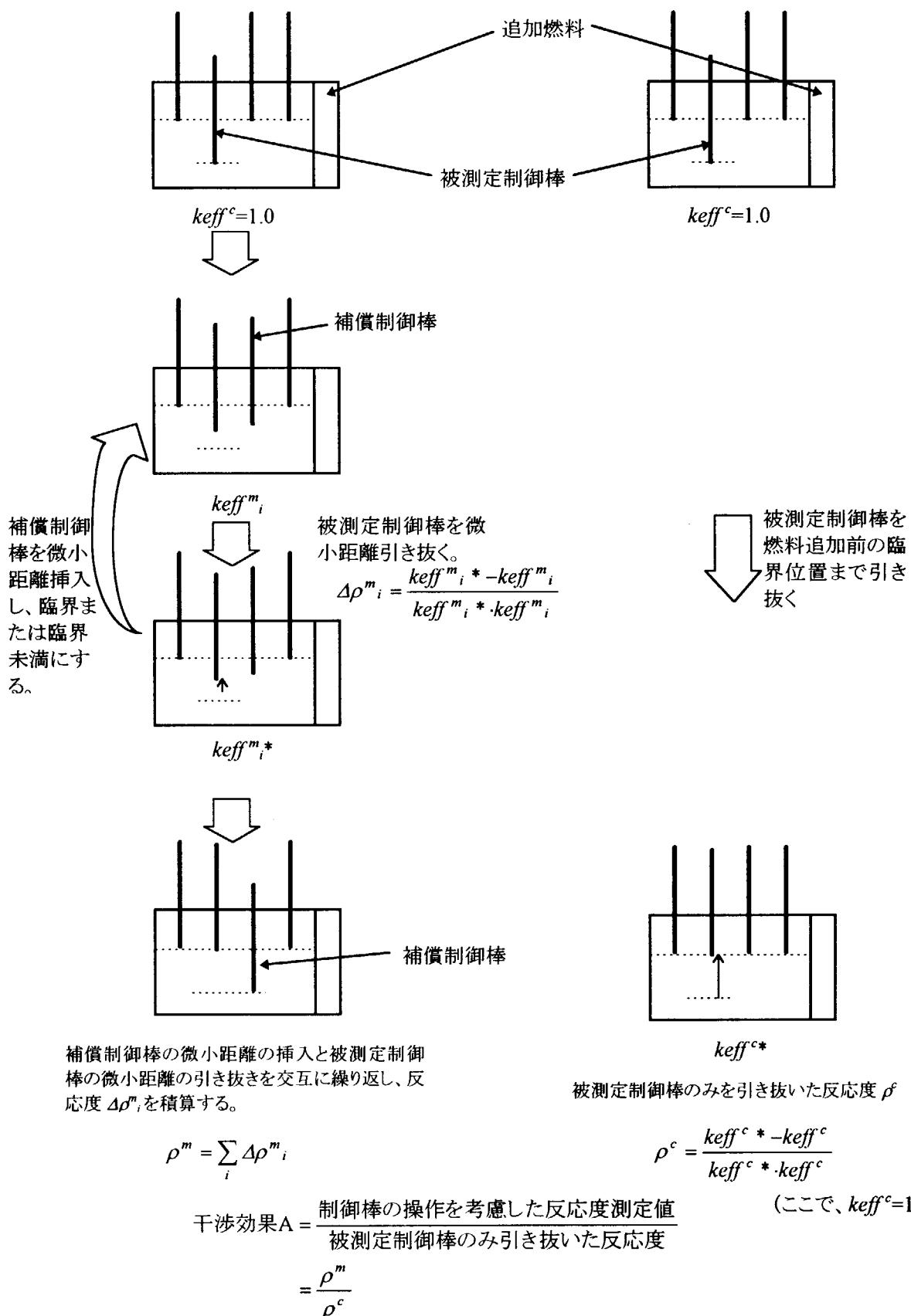
$$\begin{aligned} \text{干渉効果B} &= \frac{\text{制御棒を燃料追加前の臨界位置としたときの追加燃料の反応度}}{\text{制御棒がない炉心での追加燃料の反応度}} \\ &= \frac{\rho^{CR}}{\rho^0} \\ &= \frac{\text{被測定制御棒のみ引き抜いた反応度}}{\text{制御棒がない炉心での追加燃料の反応度}} \end{aligned} \quad (2-5)$$

参考文献 1)、2)で論じている燃料追加法の修正因子 f は、この干渉効果Bの逆数に相当する。この効果は過剰反応度を測定する際に生じる本質的な問題である。

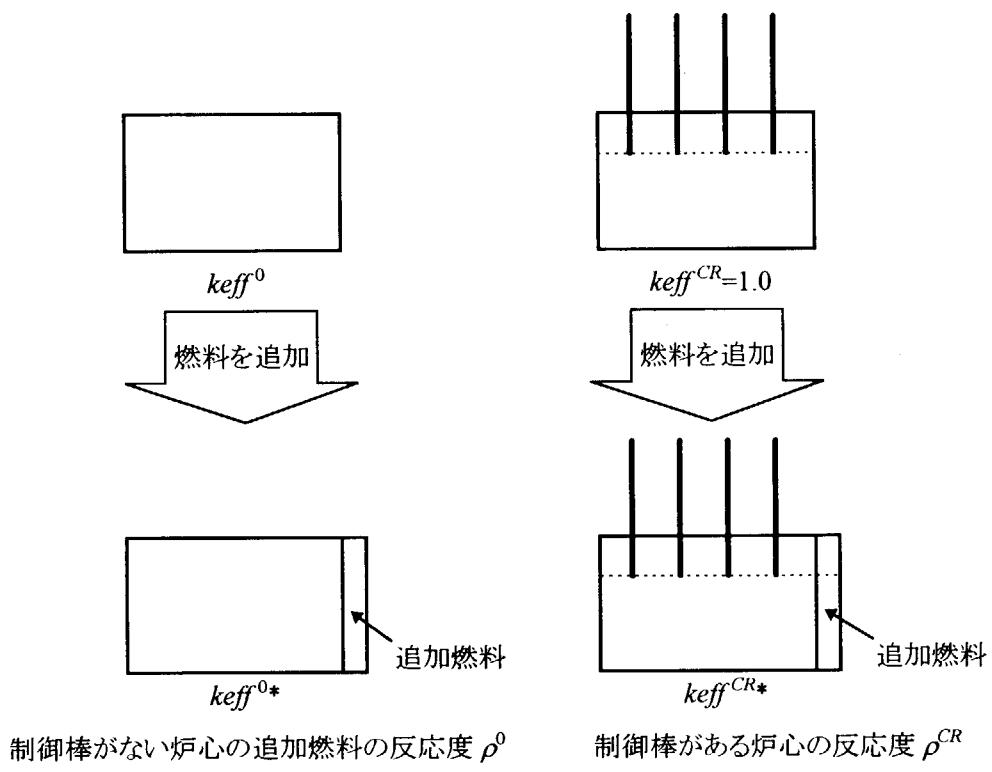
(3) 干渉効果の合計

干渉効果の合計は、前述した通り、過剰反応度の一般的な定義である制御棒がない炉心での反応度に対する、被測定制御棒及び補償制御棒の操作を考慮した反応度の測定値の比である。従って、式(2-3)、式(2-5)を用いると、干渉効果は次のように干渉効果Aと干渉効果Bの積に等しくなる。

$$\begin{aligned}
 \text{干渉効果} &= \frac{\text{制御棒の操作を考慮した反応度測定値}}{\text{制御棒がない炉心での追加燃料の反応度}} \\
 &= \frac{\text{制御棒の操作を考慮した反応度測定値} \rho''}{\text{被測定制御棒のみ引き抜いた反応度} \rho^c} \\
 &\quad \times \frac{\text{被測定制御棒のみ引き抜いた反応度} \rho^{CR}}{\text{制御棒がない炉心での追加燃料の反応度} \rho^0} \\
 &= \text{干渉効果A} \times \text{干渉効果B} \\
 \text{ここで、} \rho^c &= \rho^{CR} \tag{2-6}
 \end{aligned}$$



第 2-1 図 干渉効果 A

制御棒がない炉心の追加燃料の反応度 ρ^0 制御棒がある炉心の反応度 ρ^{CR}

$$\rho^0 = \frac{k_{eff}^0 * -k_{eff}^0}{k_{eff}^0 * k_{eff}^0}$$

$$\rho^{CR} = \frac{k_{eff}^{CR} * -k_{eff}^{CR}}{k_{eff}^{CR} * k_{eff}^{CR}}$$

$$\text{干渉効果B} = \frac{\text{制御棒が燃料追加前の臨界位置での追加燃料の反応度}}{\text{制御棒がない炉心での追加燃料の反応度}}$$

$$= \frac{\rho^{CR}}{\rho^0}$$

第 2-2 図 干渉効果 B

3. 解析方法

被測定制御棒と補償制御棒の組合せ等が干渉効果 A 及び干渉効果 B に与える影響を計算により求める。以下に計算条件、計算方法を記す。

3.1 計算方法

3.1.1 核特性計算手順

炉心の実効増倍率の計算方法を以下に示す。計算コード及び炉心構成要素、燃料等の諸元は、これまで HTTR の設計に用いてきたものを使用した⁷⁾。全体の計算フローを第 3-1 図に示す。

(1) 群定数の作成

炉心計算に用いる群定数の作成には DELIGHT-7⁸⁾を用いた。DELIGHT-7 は衝突確率法に基づく格子定数作成コードである。使用する断面積ライブラリーは ENDF/B IV に基づく。

第 3-2 図に DELIGHT-7 の計算フローを、第 3-1 表にエネルギー群構造を示す。まず、共鳴吸収計算、スペクトル計算により高速群 20 群、熱群 20 群の合計 40 群のミクロ定数を求めた。それを用いて、第 3-3 図(a)に示す衝突確率法の計算モデルにより燃料格子計算を行い、燃料均質化定数を求めた。続いて、この燃料均質化定数を用いて第 3-3 図(b)に示す計算モデルにより反応度調整材格子計算を行い、反応度調整材を含めた格子の 40 群ミクロ均質化定数を求めた。この均質化定数によりポイントモデルの臨界計算を行い、得られたスペクトルによって 40 群均質化定数を高速群 3 群、熱群 3 群の合計 6 群に縮約し、炉心計算用のミクロ群定数を設定した。

(2) 制御棒案内カラム群定数の作成

制御棒案内カラムのうち、制御棒が挿入されている領域については、DELIGTHT-7 により無限希釈の 6 群マクロ断面積を求め、第 3-4 図に示す制御棒格子計算モデルを用い TWOTRAN-II⁹⁾により中性子束分布を計算し、制御棒案内カラム領域の均質化定数を作成した。

(3) 炉心計算

上記(1)、(2)により求めた 6 群定数を用い、炉心計算は拡散計算コード CITATION-1000VP¹⁰⁾を使用して、炉心の実効増倍率を求めた。

炉心計算モデルを第 3-5 図に示す。3 角柱メッシュを用いた 3 次元全炉心モデルである。軸方向は高さ 58cm のブロック 1 段当たり 4 メッシュ、径方向には、ブロック当たり 6 メッシュに分割している。従って、軸方向メッシュ寸法の制限から、制御棒の挿入、引き抜き距離は最小 14.5cm 単位となる。

3.1.2 燃料追加ステップ

最小臨界後、3 カラムずつ燃料を追加し、過剰反応度の測定を行うこととした。検討対象となる炉心は、18、21、24、27、30 燃料カラムが装荷された合計 5 炉心である。第 1-2 図に示した燃料装荷順序に従って燃料を追加していくものとする。

3.1.3 被測定制御棒と補償制御棒の組合せ

制御棒の名称を第3-6図に示す。HTTRには、中心制御棒(C)が1対、第1リング制御棒(R1)が6対、第2リング制御棒(R2)が6対、第3リング制御棒(R3)が3対の合計16対の制御棒がある(HTTRでは、制御棒2本が1組となり、1つの制御棒案内カラム内で同時に駆動されるため、これを「対」として数える)。被測定制御棒及び補償制御棒として、

①第1リング制御棒から被測定制御棒及び補償制御棒を選択するケース

②第3リング制御棒を除く13対すべてを被測定制御棒及び補償制御棒とするケース

を検討対象とした。①は、第1-2図に示すように燃料装荷を外周領域から行うので、その過程において、第1リング制御棒は常に燃料カラムに接しているため、反応度価値が大きく変わることはないと考え、選定した。②は、測定の際の制御棒の操作距離が最も小さくなるケースとして選定した。

具体的な被測定制御棒・補償制御棒の組合せは4.1節に示す。

3.2 干渉効果の計算方法

干渉効果を計算に考慮するために、実際に用いる計画である逆動特性法(Inverse Kinetic Method; IK法)を用いた燃料追加法による過剰反応度測定を模擬した計算を行う。つまり、被測定制御棒をある距離だけ引き抜いた反応度を計算し、その後、臨界未満にするだけ補償制御棒を挿入する。この計算を被測定制御棒の測定すべき範囲にわたって行う。具体的には次の通りである。

- ① ある燃料カラム数が装荷された炉心について、全制御棒が全引き抜き状態の実効増倍率を求める。その値を k_{eff}^0 とする。
- ② 第3リング制御棒(以降、R3と略する)は全抜き、他の制御棒が同一の制御棒位置(挿入深さ)で臨界状態となるような制御棒位置を求める。炉心計算モデルの軸方向メッシュ寸法は 14.5cm であるため、炉心の実効増倍率をちょうど 1.0 とすることできない。従って、1.0 に近い値となる制御棒位置を求める。この時の実効増倍率を k_{eff}^{CR} とする。
- ③ 燃料 3 カラムを所定の位置に追加し、制御棒が無い状態の実効増倍率を求める。その値を k_{eff}^0* とする。この燃料追加により、制御棒が全く挿入されていない仮想的な炉心に加わった反応度 $\Delta\rho^0$ は次のようになる(第2-2図の左側参照)。

$$\Delta\rho^0 = \frac{k_{eff}^0 * -k_{eff}^0}{k_{eff}^0 * \cdot k_{eff}^0} \quad (3-1)$$

過剰反応度は付録 A の式(A-2)、式(A-3)¹¹⁾または式(A-4)の方法で計算することができるが、ここでは、反応度を加算する式(A-2)を用いることとする。炉心の過剰反応度は次の式で求める。

$$\rho^0 = \sum_{Step} \Delta\rho^0 \quad (3-2)$$

ここで、Step は全炉心構成に至るまでの全燃料追加ステップを示しており、①から③を繰り返し各ステップで追加された反応度を合計して過剰反応度とすることを示している。また、

この式は全炉心構成での実効増倍率 $k_{eff}^0_{FullCore}$ から、

$$\rho^0 = \frac{k_{eff}^0_{FullCore} - 1.0}{k_{eff}^0_{FullCore}} \quad (3-3)$$

により求めた反応度と等しく、一般に言う過剰反応度である。

- ④ 全制御棒を②で求めた位置にして実効増倍率を計算する。この時の実効増倍率を k_{eff}^{CR*} とする。次式の $\Delta\rho^{CR}$ が、制御棒が挿入された状態での追加燃料の反応度である(第2-2図の右側参照)。

$$\Delta\rho^{CR} = \frac{k_{eff}^{CR*} - k_{eff}^{CR}}{k_{eff}^{CR*} \cdot k_{eff}^{CR}} \quad (3-4)$$

過剰反応度は式(3-2)と同様に次の式で求める。

$$\rho^{CR} = \sum_{Step} \Delta\rho^{CR} \quad (3-5)$$

干渉効果Bは、制御棒が全引き抜き状態の過剰反応度に対する、制御棒が臨界近傍を維持した状態で追加された反応度の比であるが、燃料追加ステップが進むにつれて変化する¹⁾。従って、過剰反応度 ρ^{CR} と ρ^0 の比で求めるのではなく、各燃料追加ステップ毎に次の式で求めることとする。

$$\text{干渉効果B} = \frac{\Delta\rho^{CR}}{\Delta\rho^0} \quad (3-6)$$

- ⑤ ④の状態から、被測定制御棒を挿入し、臨界となる位置を求める。この場合も炉心計算モデルの軸方向メッシュ分割の理由から実効増倍率をちょうど1.0にすることはできないため、なるべく臨界状態に近い制御棒位置を求め、このときの実効増倍率を k_{eff}^c とする。被測定制御棒が他の制御棒より深く挿入されていることにより打ち消されている反応度は次の通りである。

$$\Delta\rho^c = \frac{k_{eff}^{CR} * -k_{eff}^c}{k_{eff}^{CR} * k_{eff}^c} \quad (3-7)$$

本来この値は式(3-4)の $\Delta\rho^{CR}$ と等しくなるはずであるが、炉心計算モデルの軸方向メッシュ分割のため、完全には一致しない。

逆動特性法による測定を模擬する、つまり、臨界近傍を維持するのではなく、補償制御棒を操作せずに、各燃料追加ステップで被測定制御棒により打ち消している反応度から求める炉心の過剰反応度は式(3-2)と同様に次の通りとなる。

$$\rho^c = \sum_{Step} \Delta\rho^c \quad (3-8)$$

- ⑥ 逆動特性法を模擬した計算を行う。⑤の状態から、被測定制御棒をある微小距離だけ引き抜き実効増倍率 $k_{eff}^{m,i}$ を計算する。次に補償制御棒をある距離だけ挿入し、臨界未満とする。この計算を繰り返し、各微小距離引き抜きに対して $k_{eff}^{m,i}$ を求める。ここで添え字 i は被測定制御棒の微小距離だけ引き抜いたステップである。このように、補償制御棒を操作して臨界近傍を維持した状態での被測定制御棒の微小引き抜きステップ i における反応度は、引き抜き前後の炉心の実効増倍率をそれぞれ $k_{eff}^{m,i}$ 、 $k_{eff}^{m,i*}$ とすると、

$$\Delta \rho^m_i = \frac{k_{eff}^{m_i} * -k_{eff}^{m_i}}{k_{eff}^{m_i} * k_{eff}^{m_i}} \quad (3-9)$$

となる。従って、③で追加した燃料の反応度は逆動特性法を模擬した計算では次の式で表される。

$$\Delta \rho^m = \sum_i \Delta \rho^m_i \quad (3-10)$$

また、炉心の過剰反応度は、燃料追加ステップ全てについて積算し、式(3-2)と同様に次のように求める。

$$\rho^m = \sum_{Step} \Delta \rho^m \quad (3-11)$$

干渉効果 A は各燃料追加ステップに対して次式で求める。

$$\text{干渉効果A} = \frac{\Delta \rho^m}{\Delta \rho^c} \quad (3-12)$$

これは、被測定制御棒と補償制御棒の干渉効果を示している。

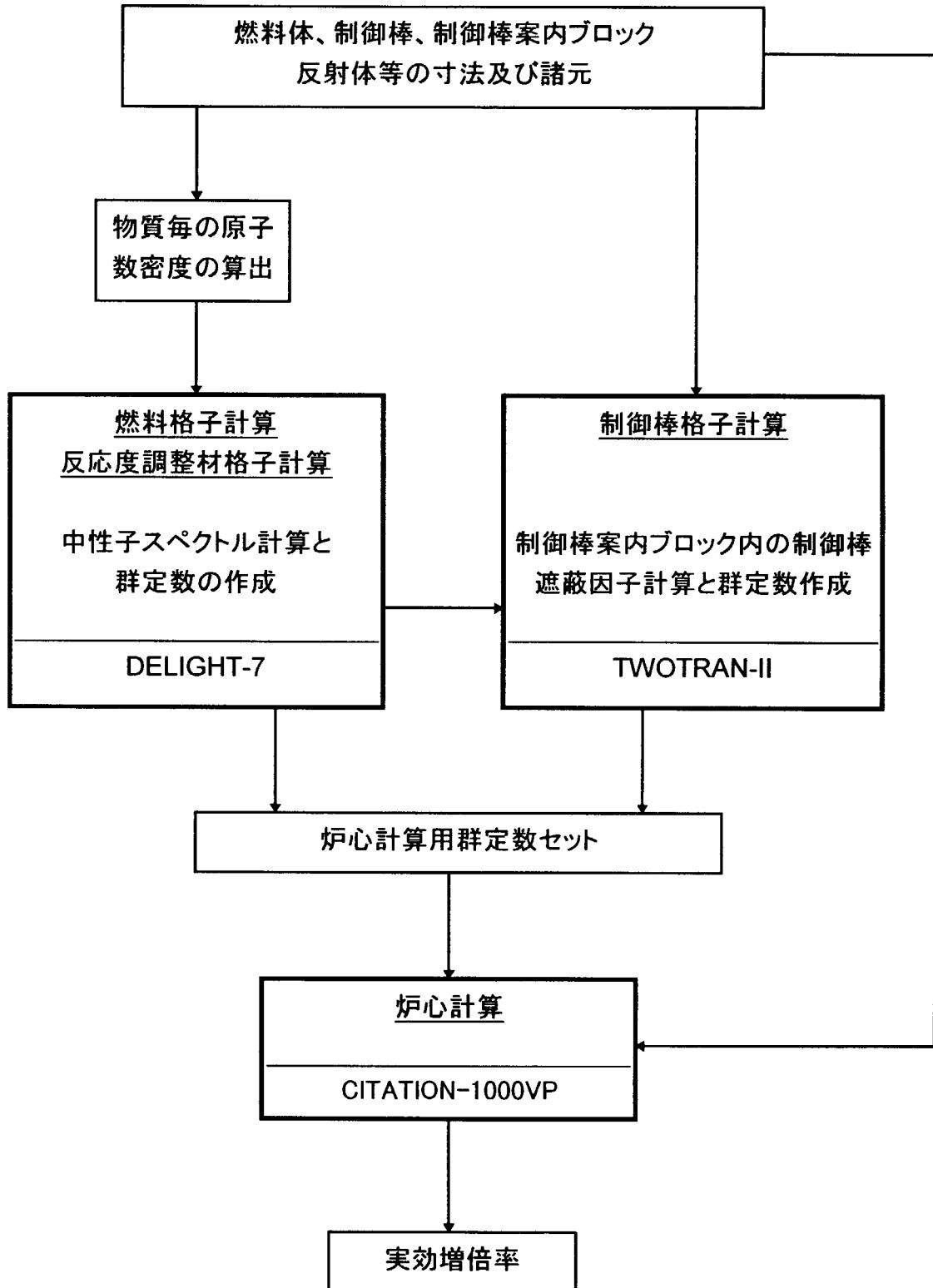
第3-1表 エネルギー群構造 1/2 高速中性子

縮約群	群		レサジー (下限)	エネルギー (下限、eV)	群			レサジー (下限)	エネルギー (下限、eV)
	少數群	多群			縮約群	少數群	多群		
1	1	1	0.25	7.79×10^6	3	35	8.75	1.59×10^3	
		2	0.50	6.07×10^6		10	9.00	1.23×10^3	
		3	0.75	4.72×10^6		37	9.25	961	
	2	4	1.00	3.68×10^6		38	9.50	748	
		5	1.25	2.87×10^6		11	9.75	583	
	3	6	1.50	2.23×10^6		40	10.00	454	
		7	1.75	1.74×10^6		12	10.25	354	
		8	2.00	1.35×10^6		41	10.50	275	
		9	2.25	1.05×10^6		42	10.75	215	
		10	2.50	8.21×10^5		13	11.00	167	
	4	11	2.75	6.39×10^5		43	11.25	130	
		12	3.00	4.98×10^5		14	11.50	101	
		13	3.25	3.88×10^5		47	11.75	78.9	
		14	3.50	3.02×10^5		15	12.00	61.4	
		15	3.75	2.35×10^5		49	12.25	47.9	
	5	16	4.00	1.83×10^5		16	12.50	37.3	
		17	4.25	1.43×10^5		51	12.75	29.0	
		18	4.50	1.11×10^5		17	13.00	22.6	
	6	19	4.75	8.65×10^4		53	13.25	17.6	
		20	5.00	6.74×10^4		18	13.50	13.7	
		21	5.25	5.25×10^4		54	13.75	10.68	
		22	5.50	4.09×10^4		55	14.00	8.32	
		23	5.75	3.18×10^4		56	14.25	6.48	
2	7	24	6.00	2.48×10^4		57	14.50	5.04	
		25	6.25	1.93×10^4		58	14.75	3.93	
		26	6.50	1.50×10^4		59	15.00	3.06	
		27	6.75	1.17×10^4		60	15.25	2.38	
		28	7.00	9.12×10^3		61	15.50	1.86	
	8	29	7.25	7.10×10^3		62	15.75	1.44	
		30	7.50	5.53×10^3		63	16.00	1.125	
		31	7.75	4.31×10^3		64	16.25	0.876	
	9	32	8.00	3.36×10^3		65	16.50	0.683	
		33	8.25	2.61×10^3		66	16.75	0.532	
		34	8.50	2.04×10^3		67	17.00	0.414	

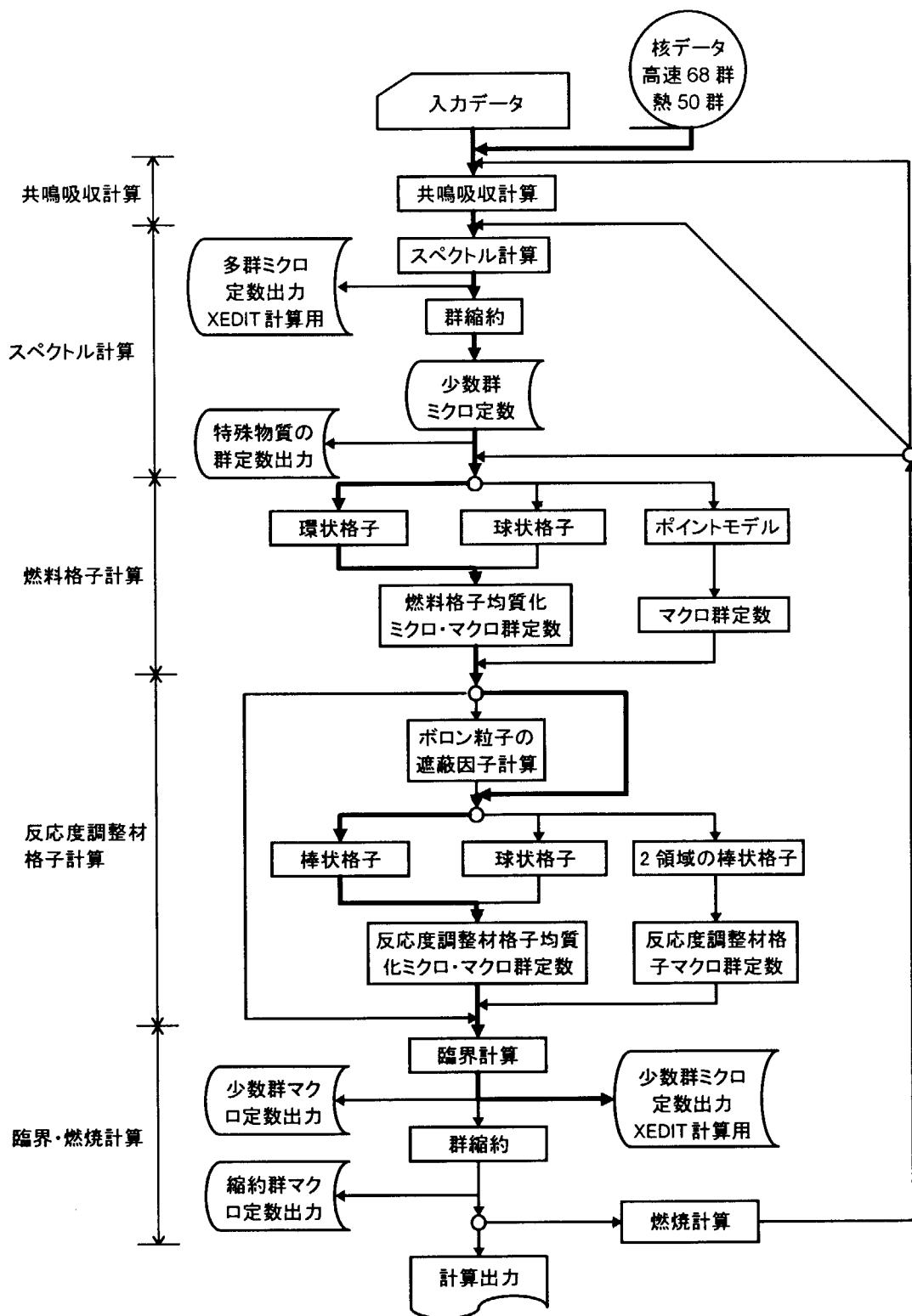
*1群の上限エネルギーは 10^7 eV である。

第 3-1 表 エネルギー群構造 2/2 热中性子

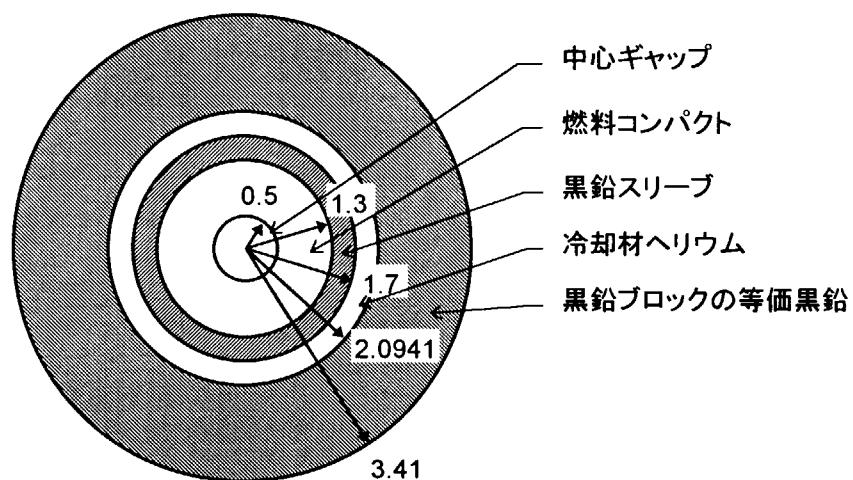
群		エネルギー (上限、eV)	幅(eV)	群		エネルギー (上限、eV)	幅(eV)
縮約群	少數群			縮約群	少數群		
6	40	1	0.002	4	28	26	0.55
		2	0.004			27	0.65
		3	0.006			28	0.75
	39	4	0.008			29	0.85
		5	0.015			30	0.95
	38	6	0.025			31	0.99
		7	0.035			32	1.01
	37	8	0.045			33	1.03
		9	0.055			34	1.045
	36	10	0.065			35	1.055
		11	0.075			36	1.065
	35	12	0.085			37	1.08
		13	0.105			38	1.10
	34	14	0.135			39	1.16
		15	0.165			40	1.24
5	33	16	0.195			41	1.35
		17	0.225			42	1.45
	32	18	0.255			43	1.55
		19	0.285			44	1.65
	31	20	0.295			45	1.75
		21	0.305			46	1.85
	30	22	0.335			47	1.95
		23	0.35			48	2.05
	29	24	0.39			49	2.15
		25	0.45			50	2.38



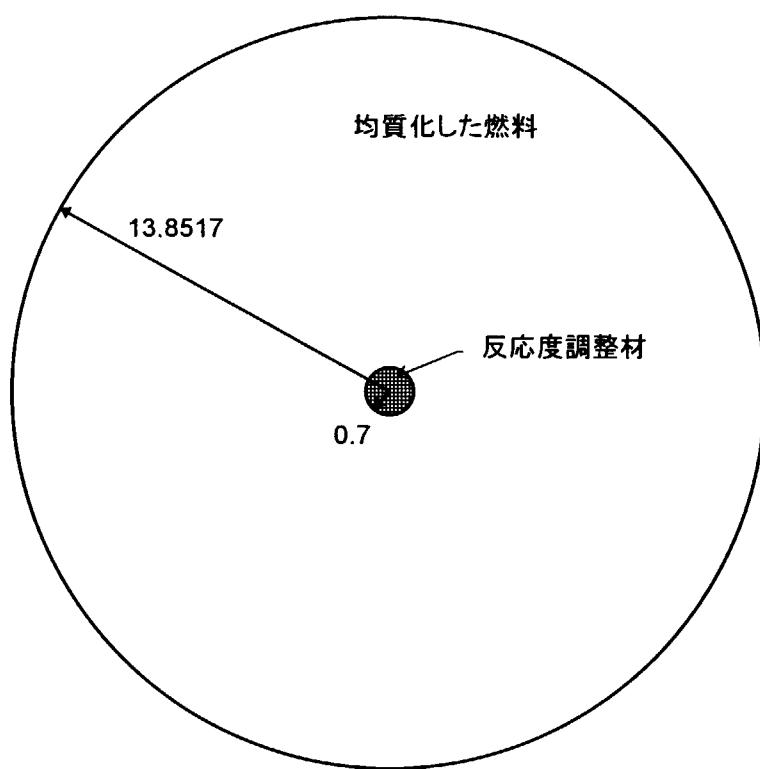
第 3-1 図 核特性計算のフロー



第3-2図 DELIGHT-7の計算フロー(太線が本計算のフローを示す)

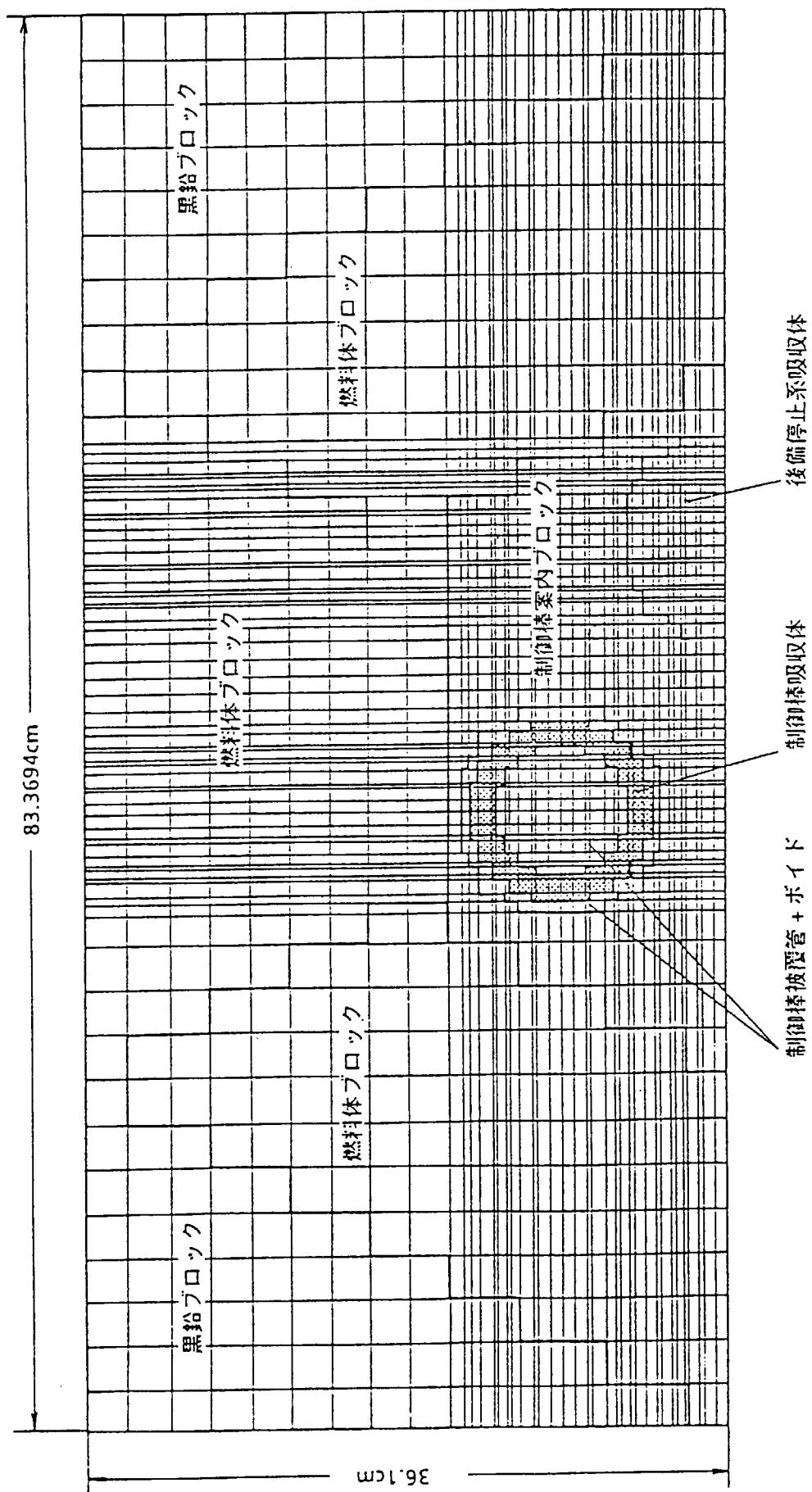


(a) 燃料格子計算モデル



(b) 反応度調整材格子計算モデル

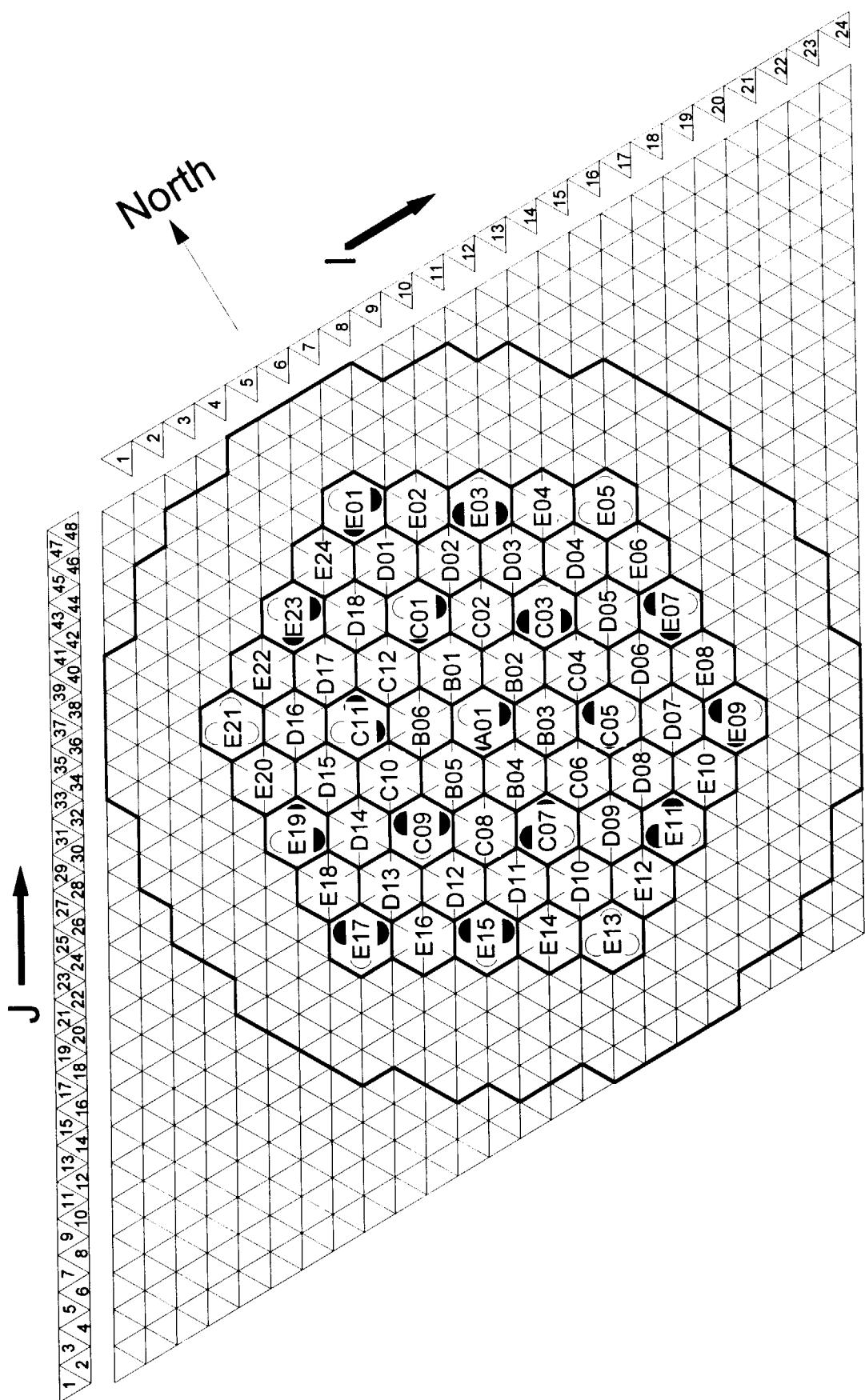
第 3-3 図 DELIGHT-7 の計算モデル (単位:cm)



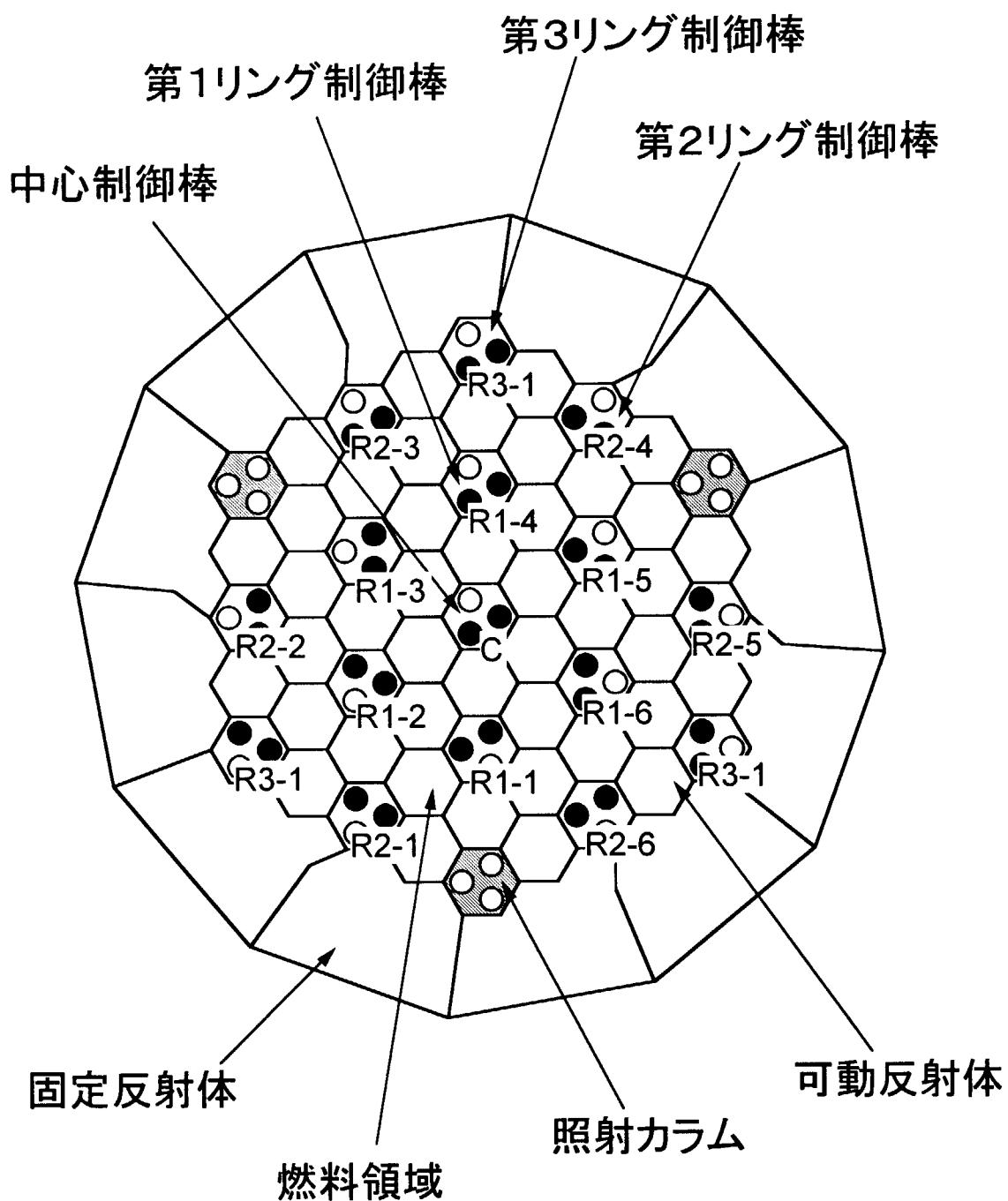
第3-4図 制御棒格子計算モデル

第3-5図 炉心計算モデル 1/2 軸方向断面

二三五



第3-5図 炉心計算モデル 2/2 水平方向断面



第3-6図 制御棒の名称

4. 解析評価

4.1 検討ケース

HTTR は過剰反応度に比べ、燃料追加ステップ数を少なくしていることから 1 ステップ当たりの追加燃料分の反応度が大きい。さらに隣接する制御棒間の距離が小さい特徴がある。このため、制御棒の干渉効果が大きいことが見込まれる。そこで、被測定制御棒、補償制御棒の組合せとしては次に示すようにそれぞれ 1 対の制御棒を用いるケースだけでなく、被測定制御棒が他の制御棒からあまり深く挿入されないように、複数の被測定制御棒を用いるケースも検討対象とした。

各燃料追加ステップにおける、被測定制御棒と補償制御棒の組合せとして、大きく分けて次の 4 通りを検討対象とした。①で示したものは、被測定制御棒を 1 対使用したものである。②、③、④は、被測定制御棒を複数対用いている。

① 被測定制御棒として第 1 リング制御棒(以下、R1 制御棒と略す)を 1 対使用した場合

燃料追加前の炉心で臨界となる制御棒位置から、燃料追加後に被測定制御棒である R1 の 1 対を深く挿入して臨界にした場合について、補償制御棒として次の 4 ケースを検討対象とした。1 対で追加反応度に見合う反応度が得られない場合には隣接する R1 制御棒を 2 対用いた。

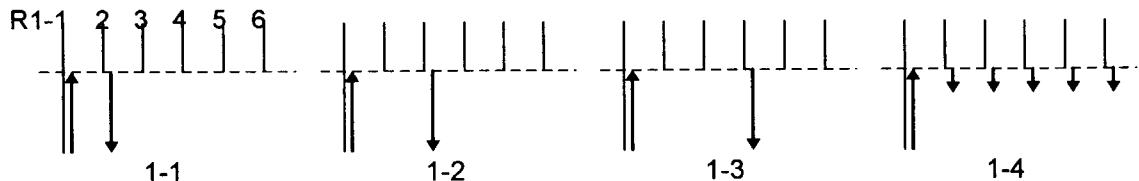
1-1 補償制御棒が被測定制御棒から 60°離れた R1 制御棒

1-2 補償制御棒として、被測定制御棒から 120°離れた R1 制御棒 1 対

1-3 補償制御棒として、被測定制御棒から 180°離れた R1 制御棒 1 対

1-4 補償制御棒として、被測定制御棒以外の R1 制御棒 5 対

これらのケースは、追加燃料分の反応度がすべて 1 対の被測定制御棒の挿入分に相当する。このため、測定開始時に被測定制御棒は他の制御棒に比べ著しく深く挿入されている。



上向き矢印は被測定制御棒の操作、下向き矢印は補償制御棒の操作を示す。
破線は燃料追加前の炉心での臨界制御棒位置

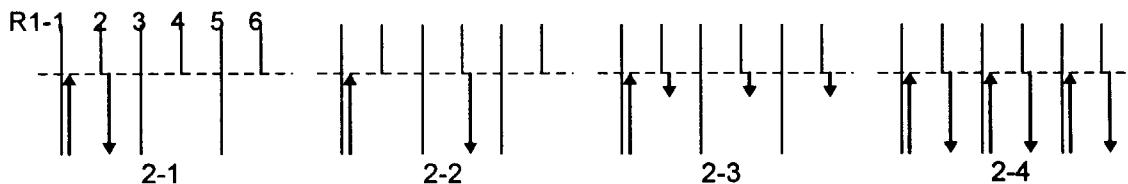
② 被測定制御棒として R1 を 120°離れた 3 対使用した場合

燃料追加前の炉心で臨界となる制御棒位置から、燃料追加後に被測定制御棒である R1 の 3 対を深く挿入して臨界にした場合について、次の 4 ケースを検討対象とした。これらのケースで、被測定制御棒は中性子束分布の歪みを少なくするために 120°離れた 3 対の R1 制御棒を用いている。

2-1 補償制御棒として、被測定制御棒から 60°離れた R1 制御棒 1 対

- 2-2 補償制御棒として、被測定制御棒から 180° 離れた R1 制御棒 1 対
- 2-3 補償制御棒として、被測定制御棒から 60° 離れた R1 制御棒 2 対と 180° 離れた R1 制御棒 1 対の合計 3 対(深く挿入されていない R1 制御棒 3 対)
- 2-4 被測定制御棒 3 対と補償制御棒 3 対がそれぞれ均等に引き抜き・挿入されるケース

このうち、2-1 から 2-3 のケースについては、追加された燃料の反応度は、被測定制御棒が 3 対あり、それらが個別の測定により反応度が求められることになる。このため、3 対の内の 1 対についての反応度計算結果を 3 倍して追加燃料の反応度を求めた。一方、ケース 2-4 については、一連の測定により被測定制御棒 3 対の反応度を測定するため、解析においても同様に一連の計算により追加燃料の反応度を計算することができる。



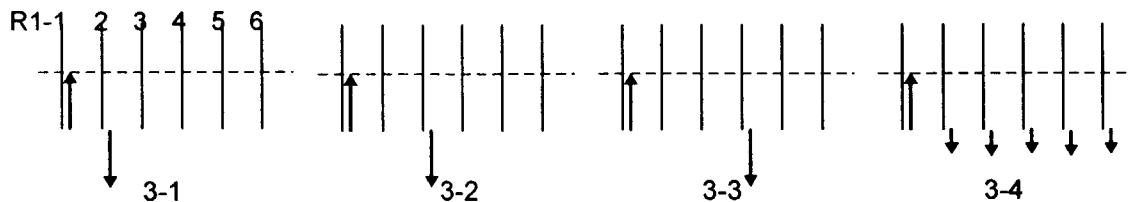
上向き矢印は被測定制御棒の操作、下向き矢印は補償制御棒の操作を示す。
破線は燃料追加前の炉心での臨界制御棒位置

③ 被測定制御棒として R1 を 6 対使用した場合

燃料追加前の炉心で臨界となる制御棒位置から、燃料追加後に被測定制御棒である R1 制御棒の 6 対を深く挿入して臨界にした場合について、次の 4 ケースを検討対象とした。それぞれのケースとも測定は被測定制御棒のうち 1 対ずつに対して行う。

- 3-1 補償制御棒として、被測定制御棒から 60° 離れた R1 制御棒 1 対
- 3-2 補償制御棒として、被測定制御棒から 120° 離れた R1 制御棒 1 対
- 3-3 補償制御棒として、被測定制御棒から 180° 離れた R1 制御棒 1 対
- 3-4 補償制御棒として、被測定制御棒以外の R1 制御棒 5 対

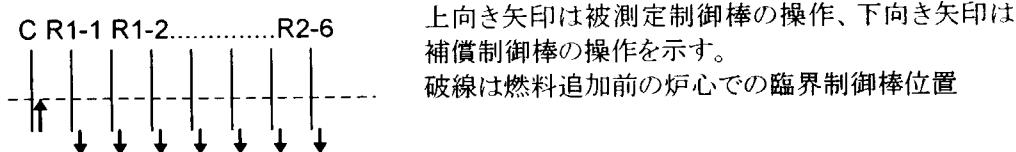
被測定制御棒が 6 対あることから、1 対の被測定制御棒についての反応度の計算結果を 6 倍して追加燃料の反応度とした。



上向き矢印は被測定制御棒の操作、下向き矢印は補償制御棒の操作を示す。
破線は燃料追加前の炉心での臨界制御棒位置

④ 被測定制御棒、補償制御棒とも R3 を除く 13 対を使用した場合

4-1 燃料追加後に R3 を除く 13 対をすべて同一位置の臨界状態にして、被測定制御棒として一対ずつ選択し、燃料追加前の臨界位置まで引き抜く。その際、補償制御棒としては他の 12 対を順に用いる。



4-1

4.2 解析結果

解析結果を第 4-1 表から第 4-5 表に示す。それぞれの計算ケースの制御棒位置、実効増倍率などの計算条件、結果は付録 C に示す。第 4-1 表から第 4-5 表では、左欄から以下の内容を示している。

- ① 「ケース名」: 4.1 節で示したケース名。
- ② 「R1 制御棒の状態」: 被測定制御棒と補償制御棒の組み合わせ図。
- ③ 「IK 法模擬 a 」: 補償制御棒を操作して逆動特性法を模擬した場合の、被測定制御棒のうち 1 対の反応度計算値。
- ④ 「干渉無視 b 」: 補償制御棒を操作せずに、被測定制御棒 1 対のみを引き抜いた場合の反応度の計算値。
- ⑤ 「比 a/b 」: ③と④の比。
- ⑥ 「IK 法模擬 a' 」: 被測定制御棒全対を逆動特性法を模擬した場合の反応度計算値(③ × 被測定制御棒の数)。
- ⑦ 「干渉無視 c 」: 補償制御棒を操作せずに被測定制御棒全対を引き抜いた場合の反応度の計算値。
- ⑧ 「比 a'/c 」: ⑥と⑦の比。これは、干渉効果 A を示している。
- ⑨ 「有 e 」: 燃料追加前に制御棒を挿入して臨界にし、その状態で燃料を追加した場合の反応度の計算値。
- ⑩ 「無 f 」: 制御棒がまったく挿入されていない状態で燃料を追加した場合の反応度の計算値。
- ⑪ 「比 g 」: ⑨と⑩の比。これは、干渉効果 B を示している。
- ⑫ 「比 $d \times g$ 」: ⑧と⑪の積。反応度の測定値が干渉効果によってこの値だけ大きくなると考えられる。

ただし、表中に示した 18 カラム炉心は最小臨界炉心からの最初の燃料追加ステップにより構成された炉心であるため、被測定制御棒以外の制御棒は全引き抜きである。このため、2 章で示した通り、干渉効果 B は無い。

4.3 考察

干渉効果を考慮して過剰反応度の測定予測値を計算した結果を第 4-6 表に示す。表中、「制御棒なし炉心」の値が、制御棒が炉心に挿入されていない仮想的な炉心における各燃料追加ステップでの実効増倍率とその変化から求めた反応度増分である。その合計値が最終的な全炉心構成の過剰反応度であり、 $12.7\%\Delta k/k$ となった。過剰反応度の制限値は $16.5\%\Delta k/k$ であるため、 $+30\%$ 程度の測定余裕があることになる。

第 4-6 表の下欄「1-1」から「4-1」に示したものが、過剰反応度の測定予測値である。各燃料追加ステップにおいて、「制御棒なし炉心」の反応度増加分に、第 4-1 表から第 4-5 表に示した干渉効果を乗じて、そのステップでの反応度増分の測定予測値を計算した。それを燃料追加ステップにわたり合計して過剰反応度の測定予測値を求めた。

(1) 被測定制御棒 1 対(または 2 対)用いたケース

被測定制御棒 1 対(または 2 対)用いた 1-1 から 1-4 は、被測定制御棒を最小数用いたケースである。従って、燃料追加後に被測定制御棒のみ深く挿入して臨界にしたときに、追加反応度を打ち消すために被測定制御棒が他の制御棒に比べて大きく挿入される。また、補償制御棒の操作距離も大きい。従って、測定時の被測定制御棒・補償制御棒間の干渉効果 A の影響が大きい。

ケース 1-1 では、被測定制御棒・補償制御棒間が隣接しているため、制御棒の近接効果により、被測定制御棒が深く挿入された距離分の反応度価値が小さくなり、燃料追加による反応度増分は小さく評価される。一方、ケース 1-3 は、被測定制御棒と補償制御棒が対称な位置にある。この場合、補償制御棒が深く挿入され、炉内の中性子束分布が被測定制御棒側に極大値を持つようになってインポータンスが大きくなつた状態で被測定制御棒を引き抜くことにより、被測定制御棒の反応度価値が大きく評価される。以上のことが計算結果にも表れており、ケース 1-1 では干渉効果 A は 0.72 から 0.92 の範囲であるが、1-3 では 1.0 から 1.4 程度となっている。ケース 1-2 ではその間の結果となっている。ケース 1-4 は、補償制御棒を 5 対用い、なるべく均一に挿入することにより炉内の中性子束分布の歪みを小さくしようとしており、その結果干渉効果 A は 1 に近い値となっている。

(2) 被測定制御棒を 3 対用いたケース

第 4-6 表の 2-1 から 2-3 のケースでは、1-1 から 1-4 のケースと比べて、干渉効果 A は小さい(1 に近づく)結果となっている。これは次の理由による。被測定制御棒 3 対を用いているため、他の制御棒に比べて被測定制御棒の挿入距離が小さい。測定の際には、それら 3 対の被測定制御棒を 1 対ずつ測定するため、被測定制御棒・補償制御棒の移動距離も小さくなる。このため炉内の中性子束分布の変化は小さくなる。従って 1-1 から 1-4 のケースと比べて、干渉効果 A は小さくなる。

補償制御棒の選択については、1-1 から 1-4 のケースと同様な傾向となっている。つまり、被測定制御棒と補償制御棒が隣接する場合には反応度は小さく測定され、対称な位置にある補償制御棒を用いた場合には大きくなる。また、補償制御棒を 3 対用いたケース 2-3 では干渉効

果が小さくなっている。

ケース 2-4 は過剰反応度の測定予測値は制御棒なし炉心と比べて小さい値となっているものの、炉内の中性子束分布が乱されないと考えられるケースである。

(3) 被測定制御棒を 6 対用いたケース

さらに被測定制御棒の数を増やしたケースが 3-1 から 3-4 であり、干渉効果 A は小さく(1 に近く)なっている。また、補償制御棒の選択の違いが測定される反応度に与える影響も小さい。ケース 3-4 が干渉効果が小さく被測定制御棒を 6 対用いた中では最もよい結果となっている。

(4) 全制御棒を被測定制御棒、補償制御棒としたケース

(3)と同様に、被測定制御棒の引き抜き距離が短く、補償制御棒が均一に挿入されていくので、炉内の中性子束分布の変化は小さく、干渉効果 A は小さい結果となっている。

(5) 臨界制御棒位置と燃料追加ステップ(干渉効果 B)

燃料追加ステップとともに過剰反応度が大きくなり、炉心に深く制御棒が挿入される。2 章で示した通り、この状態での追加燃料の反応度と、制御棒が挿入されていない仮想的な炉心での追加燃料の反応度の比が干渉効果 B である。第 4-6 表に示した通り、燃料追加が進んだ過剰反応度の大きい炉心ほど干渉効果 B は大きくなっている。特に最終ステップである 27 から 30 カラムへの燃料追加の場合には干渉効果 B は 2.4 であり、2 倍以上測定値が大きくなる。干渉効果 B は過剰反応度測定に燃料追加法を用いる場合に生じる固有の問題であると考えられる。

(6) 好ましい被測定制御棒・補償制御棒の組合せ

被測定制御棒と補償制御棒の干渉効果を少なくしようとして、それらの距離を大きくしたケース 1-3 では、かえって干渉効果が大きくなり、過剰反応度が+50%程度大きく測定されてしまい、好ましくない。

過剰反応度の測定の際の被測定制御棒と補償制御棒の組合せは、過度に保守的な過剰反応度を評価しないようなものが好ましい。つまり、制御棒がない状態の実効増倍率から求めた値に近くなるような干渉効果が小さい組合せが望ましい。第 4-6 表から、過剰反応度の測定予測値の制御棒なし炉心の値に対する比が 1.0 に近いケースとして、順に、3-4、2-1、4-1、2-4、3-1 が挙げられる。これらはそれぞれ、

- 3-4 被測定制御棒を 6 対用い、それぞれの測定の際に、補償制御棒を 5 対用いるケース
- 2-1 被測定制御棒を 3 対用い、それぞれの測定の際に、補償制御棒として被測定制御棒に隣接する 1 対用いるケース
- 4-1 被測定制御棒、補償制御棒とも R3 を除く全対の制御棒を用いるケース
- 2-4 被測定制御棒を 3 対を連続的に、補償制御棒を 3 対を使用して測定するケース
- 3-1 被測定制御棒 6 対用い、それぞれの測定の際に、補償制御棒として被測定制御棒に隣接する 1 対用いるケース

である。

この内、ケース 2-1 および 3-1 は被測定制御棒と補償制御棒が隣接するケースであり、それぞれの制御棒の移動距離が大きいものの制御棒の近接効果により干渉効果 A は小さな値とな

っている。ケース 3-4、4-1 および 2-4 は測定の際、複数の補償制御棒を用いるケースであり、炉内の中性子束分布の変化が小さいものである。

測定時の制御棒の操作性を考慮した場合、ケース 2-1、3-1 が単純であるが、

- ① 炉内の中性子束分布にひずみを生じさせない
- ② 通常の運転の際には、制御棒は揃えた位置を維持する

の観点から、4-1 または 3-4 が好ましいケースであると考える。この場合、過剰反応度の測定予測値はそれぞれ $13.6\%\Delta k/k$ 、 $12.9\%\Delta k/k$ 程度になり、制御棒が無い仮想的な炉心の値 $12.5\%\Delta k/k$ に比べて、 $+7\%$ 、 $+1\%$ の違いがある。

以上はすべて、各追加燃料ステップにおける反応度 $\rho = \frac{k_{eff} * -k_{eff}}{k_{eff} * \cdot k_{eff}}$ を、付録の式(A-1)で示

したように積算して過剰反応度を求めた結果である。式(A-2)、式(A-3)に示した過剰反応度の積算方法を使用した場合にも同様な傾向となっている。これについては付録 B に示す。

第 4-1 表 燃料追加時の反応度(最小臨界炉心→18カラム)

ケース		干渉効果 A						干渉効果 B			合計			
ケース名	R1 制御棒の状態	被測定制御棒 1 対の反応度			被測定制御棒全数の反応度			制御棒の有無		比 $g = e/f$	比 $d \times g$			
		IK 法模擬 a %Δk/k	干渉無視 b %Δk/k	比 a/b	IK 法模擬 a' %Δk/k	干渉無視 c %Δk/k	比 $d = a'/c$	有 e %Δk/k	無 f %Δk/k					
1-1		2.159	3.002	0.719	a 2.159	3.002	0.719					0.719		
1-2		3.627		1.208	3.627		1.208					1.208		
1-3		4.220		1.406	4.220		1.406					1.406		
1-4		3.081		1.026	3.081		1.026					1.026		
2-1		0.886	1.088	0.814	$a \times 3$ 2.658	2.954	0.899					0.899		
2-2		1.197		1.100	3.592		1.216					1.216		
2-3		0.959		0.882	2.878		0.974					0.974		
2-4		—		—	2.324		0.787					0.787		
3-1		0.486	0.520	0.935	$a \times 6$ 2.914	3.602	0.809					0.809		
3-2		0.536		1.032	3.219		0.894					0.894		
3-3		0.548		1.055	3.288		0.913					0.913		
3-4		0.509		0.980	3.056		0.848					0.848		
4-1	R3 を除く全制御棒	—	—	—	2.329	2.441	0.954					0.954		

・ R1 制御棒の状態

●、◎はすべての被測定制御棒を示しており、他の制御棒に比べて臨界時に深く挿入されている。

反応度測定の際には、●が被測定制御棒、◎が補償制御棒の組合せとなる。

○は、C, R2 と同一レベルまで挿入されており、被測定または補償制御棒とはならない R1 制御棒を示す。

・縦方向に比べて意味が有るのは「比」の欄のみであり、他は計算モデルのメッシュ分割の理由で縦方向の比較は意味が無い。

・干渉効果 A とは被測定制御棒と補償制御棒の相互作用、干渉効果 B とは制御棒がない状態の超臨界炉心での追加燃料の反応度と、制御棒が挿入され臨界に維持されている状態での追加燃料の反応度の相違

第 4-2 表 燃料追加時の反応度(18 カラム→21 カラム)

ケース		干渉効果 A						干渉効果 B			合計
ケース名	R1 制御棒の状態	被測定制御棒 1 対の反応度			被測定制御棒全数の反応度			制御棒の有無		比 $g = e/f$	比 $d \times g$
		IK 法模擬 a %Δk/k	干渉無視 b %Δk/k	比 a/b	IK 法模擬 a' %Δk/k	干渉無視 c %Δk/k	比 d=a'/c	有 e %Δk/k	無 f %Δk/k		
1-1		3.415	3.947	0.865	α	3.415	3.947	0.865			0.899
1-2		4.782		1.211	4.782	1.211				1.258	
1-3		5.645		1.430	5.645	1.430				1.486	
1-4		4.548		1.152	4.548	1.152				1.197	
2-1		1.244	2.269	0.548	$\alpha \times 3$	3.732	3.707	1.007			1.046
2-2		1.658		0.731	4.975	1.342				1.395	
2-3		1.331		0.587	3.993	1.077		3.984	3.835	1.039	
2-4		—		—	3.097	0.835				0.868	
3-1		0.477	0.525	0.909	$\alpha \times 6$	2.864	3.384	0.846			0.879
3-2		0.557		1.061	3.342	0.988				1.026	
3-3		0.578		1.101	3.470	1.026				1.066	
3-4		0.523		0.996	3.138	0.927				0.964	
4-1	R3 を除く全制御棒	—	—	—	2.344	2.375	0.987				1.025

・ R1 制御棒の状態

- 、■はすべての被測定制御棒を示しており、他の制御棒に比べて臨界時に深く挿入されている。
- 反応度測定の際には、●が被測定制御棒、■が補償制御棒の組合せとなる。
- は、C, R2 と同一レベルまで挿入されており、被測定または補償制御棒とはならない R1 制御棒を示す。
- 縦方向に比べて意味が有るのは「比」の欄のみであり、他は計算モデルのメッシュ分割の理由で縦方向の比較は意味が無い。
- 干渉効果 A とは被測定制御棒と補償制御棒の相互作用、干渉効果 B とは制御棒がない状態の超臨界炉心での追加燃料の反応度と、制御棒が挿入され臨界に維持されている状態での追加燃料の反応度の相違

第 4-3 表 燃料追加時の反応度(21 カラム→24 カラム)

ケース		干渉効果 A						干渉効果 B			合計
ケース名	R1 制御棒の状態	被測定制御棒 1 対の反応度			被測定制御棒全数の反応度			制御棒の有無		比 $g = e/f$	比 $d \times g$
		IK 法模擬 a %Δk/k	干渉無視 b %Δk/k	比 a/b	IK 法模擬 a' %Δk/k	干渉無視 c %Δk/k	比 $d = a'/c$	有 e %Δk/k	無 f %Δk/k		
1-1		2.879	3.367	0.855	a 2.879	3.367	0.855	3.343	3.102	1.078	0.922
1-2		3.995		1.187	3.995		1.187				1.280
1-3		4.735		1.406	4.735		1.406				1.516
1-4		3.742		1.112	3.742		1.112				1.199
2-1		0.995	1.167	0.853	$a \times 3$ 2.984	3.139	0.951	3.343	3.102	1.078	1.024
2-2		1.288		1.104	3.864		1.231				1.327
2-3		1.131		0.969	3.391		1.080				1.164
2-4		—		—	2.667		0.850				0.916
3-1		0.348	0.382	0.912	$a \times 6$ 2.088	2.426	0.861	3.343	3.102	1.078	0.927
3-2		0.441		1.157	2.648		1.092				1.176
3-3		0.408		1.070	2.449		1.009				1.088
3-4		0.388		1.016	2.325		0.958				1.033
4-1	R3 を除く全制御棒	—	—	—	3.494	3.482	1.003				1.081

・ R1 制御棒の状態

●、◎はすべての被測定制御棒を示しており、他の制御棒に比べて臨界時に深く挿入されている。

反応度測定の際には、●が被測定制御棒、◎が補償制御棒の組合せとなる。

○は、C, R2 と同一レベルまで挿入されており、被測定または補償制御棒とはならない R1 制御棒を示す。

・縦方向に比べて意味が有るのは「比」の欄のみであり、他は計算モデルのメッシュ分割の理由で縦方向の比較は意味が無い。

・干渉効果 A とは被測定制御棒と補償制御棒の相互作用、干渉効果 B とは制御棒がない状態の超臨界炉心での追加燃料の反応度と、制御棒が挿入され臨界に維持されている状態での追加燃料の反応度の相違

第4-4表 燃料追加時の反応度(24カラム→27カラム)

ケース		干渉効果 A						干渉効果 B			合計
ケース名	R1 制御棒の状態	被測定制御棒 1 対の反応度			被測定制御棒全数の反応度			制御棒の有無		比 $g = e/f$	比 $d \times g$
		IK 法模擬 a %Δk/k	干渉無視 b %Δk/k	比 a/b	IK 法模擬 a' %Δk/k	干渉無視 c %Δk/k	比 $d = a'/c$	有 e %Δk/k	無 f %Δk/k		
1-1		2.168	2.478	0.875	a 2.168	2.478	0.875	2.553	2.096	1.218	1.066
1-2		2.927		1.181	2.927		1.181				1.438
1-3		3.171		1.280	3.171		1.280				1.559
1-4		2.617		1.056	2.617		1.056				1.286
2-1		0.715	1.417	0.505	$a \times 3$ 2.146	2.203	0.974	2.553	2.096	1.218	1.186
2-2		0.828		0.584	2.483		1.127				1.373
2-3		0.767		0.541	2.301		1.044				1.272
2-4		—		—	2.001		0.908				1.106
3-1		0.360	0.391	0.921	$a \times 6$ 2.162	2.501	0.864	2.553	2.096	1.218	1.053
3-2		0.408		1.044	2.450		0.979				1.193
3-3		0.417		1.065	2.499		0.999				1.217
3-4		0.397		1.015	2.383		0.953				1.160
4-1	R3 を除く全制御棒	—	—	—	1.449	1.507	0.962	2.553	2.096	1.218	1.172

・ R1 制御棒の状態

●、◎はすべての被測定制御棒を示しており、他の制御棒に比べて臨界時に深く挿入されている。

反応度測定の際には、●が被測定制御棒、◎が補償制御棒の組合せとなる。

○は、C, R2 と同一レベルまで挿入されており、被測定または補償制御棒とはならない R1 制御棒を示す。

・ 縦方向に比べて意味が有るのは「比」の欄のみであり、他は計算モデルのメッシュ分割の理由で縦方向の比較は意味がない。

・ 干渉効果 A とは被測定制御棒と補償制御棒の相互作用、干渉効果 B とは制御棒がない状態の超臨界炉心での追加燃料の反応度と、制御棒が挿入され臨界に維持されている状態での追加燃料の反応度の相違

第 4-5 表 燃料追加時の反応度(27 カラム→30 カラム)

ケース名	R1 制御棒の状態	干渉効果 A						干渉効果 B			合計	
		被測定制御棒 1 対の反応度			被測定制御棒全数の反応度			制御棒の有無				
		IK 法模擬 a %Δk/k	干渉無視 b %Δk/k	比 a/b	IK 法模擬 a' %Δk/k	干渉無視 c %Δk/k	比 d=a'/c	有 e %Δk/k	無 f %Δk/k			
1-1		0.626	0.683	0.916	^a 0.626	0.683	0.916	0.608	0.253	2.206	2.502	
1-2		0.710		1.039	0.710		1.039					
1-3		0.733		1.072	0.733		1.072					
1-4		0.675		0.987	0.675		0.987					
2-1		0.429	0.461	0.929	^{a×3} 1.286	1.331	0.966	0.608	0.253	2.326	2.606	
2-2		0.480		1.040	1.440		1.082					
2-3		0.462		1.001	1.386		1.041					
2-4		—		—	1.255		0.943					
3-1		0.175	0.186	0.944	^{a×6} 1.053	1.147	0.918	0.951	0.2408	2.210	2.389	
3-2		0.190		1.021	1.138		0.992					
3-3		0.193		1.037	1.157		1.008					
3-4		0.182		0.978	1.091		0.951					
4-1	R3 を除く全制御棒	—	—	—	1.466	1.523	0.962	—	—	—	2.316	

・ R1 制御棒の状態
 ●、◎はすべての被測定制御棒を示しており、他の制御棒に比べて臨界時に深く挿入されている。
 反応度測定の際には、●が被測定制御棒、◎が補償制御棒の組合せとなる。
 ○は、C, R2 と同一レベルまで挿入されており、被測定または補償制御棒とはならない R1 制御棒を示す。
 ・ 縦方向に比べて意味が有るのは「比」の欄のみであり、他は計算モデルのメッシュ分割の理由で縦方向の比較は意味が無い。
 ・ 干渉効果 A とは被測定制御棒と補償制御棒の相互作用、干渉効果 B とは制御棒がない状態の超臨界炉心での追加燃料の反応度と、制御棒が挿入され臨界に維持されている状態での追加燃料の反応度の相違

第4-6表 燃料追加に伴う反応度増分と過剰反応度の測定予測値

燃料カラム数		18	21	24	27	30	過剰反応度		
制御棒なし炉心	実効倍率	1.04692	1.09256	1.13089	1.15835	1.16175	%Δk/k	制御棒なし炉心に対する比	
	反応度増分**(%Δk/k)	3.30	3.99	3.10	2.10	0.25			
1-1 *	干涉効果	A B A × B	0.719 — 0.719	0.865 1.039 0.899	0.855 1.078 0.922	0.875 1.218 1.066	0.916 2.408 2.206	— — —	
	測定予測値(%Δk/k)		2.37	3.59	2.86	2.23	0.56	11.6 0.91	
	干涉効果	A B A × B	1.208 — 1.208	1.211 1.039 1.258	1.187 1.078 1.280	1.181 1.218 1.438	1.039 2.408 2.502	— — —	
1-2		測定予測値(%Δk/k)		3.98	5.02	3.97	3.02	0.63	16.6 1.30
干涉効果	A B A × B	1.406 — 1.406	1.430 1.039 1.486	1.406 1.078 1.516	1.280 1.218 1.559	1.072 2.408 2.581	— — —		
	測定予測値(%Δk/k)		4.63	5.93	4.70	3.27	0.65	19.2 1.51	
1-4	干涉効果	A B A × B	1.026 — 1.026	1.152 1.039 1.197	1.112 1.078 1.199	1.056 1.218 1.286	0.987 2.408 2.377	— — —	
		測定予測値(%Δk/k)		3.38	4.78	3.72	2.70	0.60	15.2 1.19
		干涉効果		A B A × B	0.899 — 0.899	1.007 1.039 1.046	0.951 1.078 1.025	0.974 1.218 1.186	0.966 2.408 2.326
2-1	測定予測値(%Δk/k)		2.96	4.18	3.18	2.49	0.59	13.4 1.05	
2-2	干涉効果	A B A × B	1.216 — 1.216	1.342 1.039 1.394	1.231 1.078 1.327	1.127 1.218 1.373	1.082 2.408 2.605	— — —	
		測定予測値(%Δk/k)		4.01	5.56	4.12	2.88	0.66	17.2 1.35
2-3	干涉効果	A B A × B	0.974 — 0.974	1.077 1.039 1.119	1.080 1.078 1.164	1.044 1.218 1.272	1.041 2.408 2.507	— — —	
		測定予測値(%Δk/k)		3.21	4.47	3.61	2.67	0.63	14.6 1.15
		干涉効果		A B A × B	0.787 — 0.787	0.835 1.039 0.868	0.850 1.078 0.916	0.908 1.218 1.106	0.943 2.408 2.271
2-4	測定予測値(%Δk/k)		2.59	3.46	2.84	2.32	0.57	11.8 0.93	
3-1	干涉効果	A B A × B	0.809 — 0.809	0.846 1.039 0.879	0.861 1.078 0.928	0.864 1.218 1.052	0.918 2.408 2.211	— — —	
		測定予測値(%Δk/k)		2.67	3.51	2.88	2.21	0.56	11.8 0.93
3-2	干涉効果	A B A × B	0.894 — 0.894	0.988 1.039 1.027	1.092 1.078 1.177	0.979 1.218 1.192	0.992 2.408 2.389	— — —	
		測定予測値(%Δk/k)		2.95	4.10	3.65	2.50	0.60	13.8 1.08
		干涉効果		A B A × B	0.913 — 0.913	1.026 1.039 1.066	1.009 1.078 1.088	0.999 1.218 1.217	1.008 2.408 2.427
3-3	測定予測値(%Δk/k)		3.01	4.25	3.37	2.55	0.61	13.8 1.08	
3-4	干涉効果	A B A × B	0.848 — 0.848	0.927 1.039 0.963	0.958 1.078 1.033	0.953 1.218 1.161	0.951 2.408 2.290	— — —	
		測定予測値(%Δk/k)		2.80	3.84	3.20	2.43	0.58	12.9 1.01
4-1 R3を除く全制御棒	干涉効果	A B A × B	0.954 — 0.954	0.987 1.039 1.025	1.003 1.078 1.081	0.962 1.218 1.172	0.962 2.408 2.316	— — —	
		測定予測値(%Δk/k)		3.14	4.09	3.35	2.46	0.59	13.6 1.07

* 検討ケース名とR1制御棒の状態を示す。

●、○はすべての被測定制御棒を示しており、他の制御棒に比べて臨界時に深く挿入されている。

反応度測定の際には、●が被測定制御棒、○が補償制御棒の組合せとなる。

○は、C、R2と同一レベルまで挿入されており、被測定・補償制御棒とはならないR1制御棒を示す。

ケース4-1は、R3を除く全制御棒を同一レベルで臨界にし、ある1対に対して他の12対を補償制御棒とした。

** 反応度増分は、燃料追加前の炉心から追加後の炉心がどれだけ反応度が増加したかを示す。ただし、18カラム炉心の場合には、燃料追加前は最小臨界炉心であり、実効倍率を1.012とした。

5. 結言

HTTR の過剰反応度について実際の制御棒の操作を考慮して測定を模擬した計算を行い、被測定制御棒、補償制御棒の組合せ等の制御棒挿入パターンが測定予測値に与える影響を評価した。

制御棒が挿入されていない炉心の実効増倍率から求められる過剰反応度に比べて、被測定制御棒、補償制御棒の操作を考慮すると-10%～+50%程度測定予測値が変化することが明らかとなつた。被測定制御棒、補償制御棒として離れた位置にあるものを選ぶと、測定予測値は著しく大きくなることがわかつた。制御棒が挿入されていない炉心の実効増倍率から求められる過剰反応度に近い測定予測値が得られる組合せは次の通りである。

- ① 被測定制御棒として第1リング制御棒6対用い、その1対の測定の際に、補償制御棒として他の第1リング制御棒5対を用いる組合せ
この場合、過剰反応度の測定予測値は、制御棒が全引き抜き状態の実効増倍率から求めた過剰反応度に対して、約1%大きい。
- ② 被測定制御棒として、第3リングを除く13対の制御棒を用い、そのうちの1対について測定する場合に、他の12対を補償制御棒として順に用いる組合せ。
この場合、過剰反応度の測定予測値は、制御棒が全引き抜き状態の実効増倍率から求めた過剰反応度に対して、約7%大きい。

以上の結果より、測定値が計算値に近くなるように反応度を測定するには、炉内の中性子束分布の変化が小さくなるような制御棒の操作が適していることと考える。

謝辞

本検討を進める上で、有益な助言を頂いた武藏工業大学 金子義彦教授、株式会社日立エンジニアリングサービス 田村誠司氏、高温工学試験研究炉開発部 HTTR 技術開発室 茂木春義室長に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 金子義彦、島川聰司、長尾美春、山下清信、竹内光男、山根剛:JAERI-Research 97-003, "正の大きな反応度測定における修正法の提案" (1997).
- 2) 長尾美春、島川聰司、金子義彦:JAERI-Research 97-048, "正の大きな反応度測定における修正法の実炉への適用 －JMTRC における超過倍率測定の修正法による解析－" (1997).
- 3) 板垣正文、三好慶典、覚張和彦、岡田昇:JAERI-M 92-172, "原子力船「むつ」出力上昇試験における炉物理試験の概要", (1992).
- 4) 吉田昌宏、山本敏久、有井祥夫、鈴木惣十、坪正義: "「常陽」Mk-II 炉心の制御棒価値測定と解析評価", 日本原子力学会 1994 春の年会要旨集 (1994).
- 5) 研究炉開発部 JRR-2 管理課、研究炉利用課:JAERI-M 6943, "JRR-2 改修後の特性測定", (1977).
- 6) James J. Duderstadt, Louis J. Hamilton: "原子炉の理論と解析", 現代工学社, 382, (1991).
- 7) Yamashita, K, et al. "Nuclear Design of the High-Temperature Engineering Test Reactor (HTTR)", Nucl. Sci. Eng., 122, 212~228 (1996).
- 8) 新藤隆一、山下清信、村田勲:JAERI-M 90-048, "高温ガス冷却炉・格子燃焼特性解析コード－DELIGHT-7－" (1990).
- 9) Lathrop, K. D. and Brinkley, F. W. ; "TWOTRAN-II : An Interfaced, Exportable Version of the TWOTRAN Code for Two-Dimensional Transport", LA-4848MS (1973).
- 10) 原田裕夫、山下清信:JAERI-M 89-135, "高温工学試験研究炉の炉心核特性解析コード CITATION-1000VP" (1989).
- 11) Eich, W. J., et al. : Nucl. Sci. Eng., 24, 272~283 (1966).

付録 A

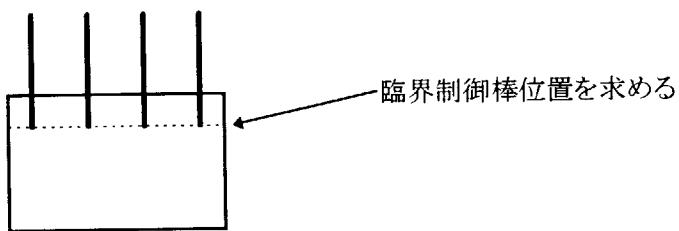
過剰反応度の測定方法

過剰反応度の測定には、主に次の2通りの方法が用いられている。他に燃料体価値法があるが、これは比較的小さな過剰反応度測定に用いられており、ここでは省略する。

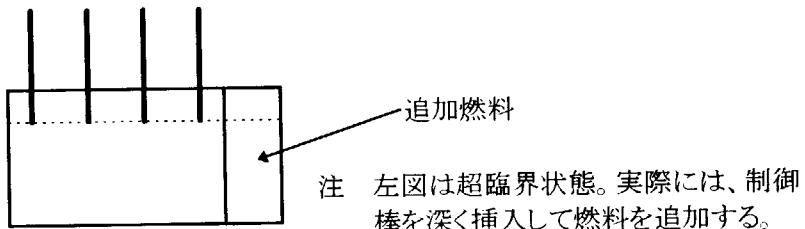
(1) 燃料追加法

最小臨界炉心から燃料を順次追加し、その燃料追加毎に追加燃料分の反応度を測定し、全炉心構成まで積算していく方法である。具体的には次の手順のようを行う。

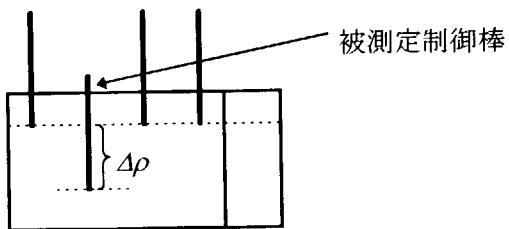
- ① ある炉心において、炉心を臨界にし、その制御棒位置(挿入深さ)を求める。



- ② 燃料を追加する。



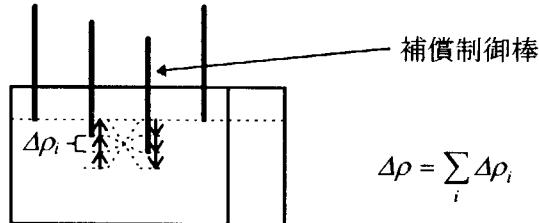
- ③ 特定の制御棒(被測定制御棒と呼ぶ)のみ①の臨界制御棒位置より深く挿入し、他の制御棒は①と同じ位置とした状態で炉心を臨界にする。



- ④ ③において深く挿入した被測定制御棒の深く挿入した分の反応度 $\Delta\rho$ を測定し、それを②で追加した燃料の反応度とする。実際には、被測定制御棒をある微小距離引き抜き、その距離に相当する反応度 $\Delta\rho$ を測定し、その後他の制御棒(補償制御棒と呼ぶ)を挿入して臨界近傍を維持する。これらの操作・測定を繰り返しこの燃料追加ステップの反応度を

$$\Delta\rho = \sum_i \Delta\rho_i \quad (\text{A-1})$$

により求める。



- ⑤ 上記①から④までを燃料追加ステップと呼ぶ。この燃料追加ステップを最小臨界炉心から全炉心構成まで繰り返し、各燃料追加ステップでの追加燃料の反応度を測定し、それらを積算して過剰反応度 ρ とする。積算する方法は、次の3通りがある。

- (i) それぞれの燃料追加ステップで測定した反応度 $\Delta\rho$ をそのまま合計して過剰反応度 ρ とする。

$$\rho = \sum_{Step} \Delta\rho \quad (\text{A-2})$$

- (ii) それぞれの燃料追加ステップで測定した反応度 $\Delta\rho$ を次式により合計する。

$$\rho = 1 - e^{-\sum_{Step} \Delta\rho} \quad (\text{A-3})$$

- (iii) それぞれの燃料追加ステップで測定した反応度 $\Delta\rho$ を実効増倍率の増分 Δk に換算し、それを合計する。

$$k = \sum_{Step} \Delta k \quad (\text{A-4})$$

ここで、"Step"は、燃料追加ステップのことであり、各燃料追加ステップにわたって積算することを示している。

(2) 中性子吸收置換法

全炉心構成となった後、臨界状態において炉心に挿入されている制御棒から反応度を求めるものである。つまり、全炉心構成で、制御棒反応度価値曲線(制御棒校正曲線)を作成し、それをもとにして臨界状態で炉心に挿入されている部分の反応度価値を求める。この方法においても測定の際には被測定制御棒のほか補償制御棒の操作が必要である。

一般に、初装荷炉心の使用前検査の場合には燃料追加法により過剰反応度を求め、その後の定期検査では中性子吸收置換法により過剰反応度を求める場合が多い。しかし、本質的には両者は同じ概念であると考える。つまり、燃料追加法において、最小臨界から全炉心構成に向けての燃料追加ステップ数が1の場合は、中性子吸收置換法と同等であるからである。両者の相違は、測定しようする反応度が、燃料追加法の場合は燃料追加ステップに区切って測定するために小さく、中性子吸收置換法の場合は一度に測定するため大きいことである。このため、中性子吸收置換法の方が、測定の際操作する被測定制御棒、補償制御棒の移動距離が大きい。

また、双方の場合とも測定は制御棒の反応度価値を測定することになり、その反応度測定には炉周期法または逆動特性法を用いるが、双方とも被測定制御棒のほかに炉心を臨界または臨界近傍に維持するために補償制御棒が必要である。その際に被測定制御棒、補償制御棒の相互作用により測定される過剰反応度が影響を受けると考えられる。また、被測定制御棒、補償制御棒以外の制御棒とこれらの制御棒との間にも相互作用があると考えられる。

付録 B

反応度の加算方法による過剰反応度の相違

付録 A で示した通り、燃料追加法において、それぞれの燃料追加ステップでの反応度増加分から過剰反応度を求めるが、その積算方法は次の 3 通りがある。

- ① それぞれの燃料追加ステップでの反応度増分 $\Delta\rho$ をそのまま加算して過剰反応度 ρ とする。

$$\rho = \sum_{Step} \Delta\rho \quad (B-1)$$

- ② それぞれの燃料追加ステップでの反応度増分 $\Delta\rho$ を次式により合計する。

$$\rho = 1 - e^{-\sum_{Step} \Delta\rho} \quad (B-2)$$

- ③ それぞれの燃料追加ステップでの反応度増分 $\Delta\rho$ を実効増倍率の増分 Δk に換算し、それを加算し、全炉心での実効増倍率 k を求め、過剰反応度に換算する。

$$\begin{aligned} \Delta k &= \frac{1}{1 - \Delta\rho} \\ k &= \sum_{Step} \Delta k \\ \rho &= \frac{k - 1}{k} \end{aligned} \quad (B-3)$$

このうち、本文では①の方法により過剰反応度を求めた。ここでは、②及び③の方法により過剰反応度を積算した場合の測定予測値をまとめた。それぞれ第 B-1 表、第 B-2 表に示す。

第B-1表 $\rho = 1 - e^{-\sum_{Step} \Delta \rho}$ による燃料追加に伴う反応度増分と過剰反応度の測定予測値

燃料カラム数		18	21	24	27	30	過剰反応度		
制御棒 なし炉心	実効増倍率	1.04692	1.09256	1.13089	1.15835	1.16175	%Δk/k	制御棒なし炉 心に対する比	
	反応度増分**(%Δk/k)	3.30	3.99	3.10	2.10	0.25			
1-1 *	干渉 効果	A — A × B	0.719 — 0.719	0.865 1.039 0.899	0.855 1.078 0.922	0.875 1.218 1.066	0.916 2.408 2.206	— — —	
	測定予測値(%Δk/k)		2.37	3.59	2.86	2.23	0.56	11.0 0.92	
	干渉 効果	A — A × B	1.208 — 1.208	1.211 1.039 1.258	1.187 1.078 1.280	1.181 1.218 1.438	1.039 2.408 2.502	— — —	
1-2		測定予測値(%Δk/k)		3.98	5.02	3.97	3.02	0.63	
		A — A × B	1.406 — 1.406	1.430 1.039 1.486	1.406 1.078 1.516	1.280 1.218 1.559	1.072 2.408 2.581	15.3 1.28	
		測定予測値(%Δk/k)		4.63	5.93	4.70	3.27	0.65	
1-4	干渉 効果	A — A × B	1.026 — 1.026	1.152 1.039 1.197	1.112 1.078 1.199	1.056 1.218 1.286	0.987 2.408 2.377	— — —	
	測定予測値(%Δk/k)		3.38	4.78	3.72	2.70	0.60	14.1 1.18	
	干渉 効果	A — A × B	0.899 — 0.899	1.007 1.039 1.046	0.951 1.078 1.025	0.974 1.218 1.186	0.966 2.408 2.326	— — —	
2-1		測定予測値(%Δk/k)		2.96	4.18	3.18	2.49	0.59	
		A — A × B	1.216 — 1.216	1.342 1.039 1.394	1.231 1.078 1.327	1.127 1.218 1.373	1.082 2.408 2.605	12.5 1.05	
		測定予測値(%Δk/k)		4.01	5.56	4.12	2.88	0.66	
2-3	干渉 効果	A — A × B	0.974 — 0.974	1.077 1.039 1.119	1.080 1.078 1.164	1.044 1.218 1.272	1.041 2.408 2.507	— — —	
	測定予測値(%Δk/k)		3.21	4.47	3.61	2.67	0.63	13.6 1.13	
	干渉 効果	A — A × B	0.787 — 0.787	0.835 1.039 0.868	0.850 1.078 0.916	0.908 1.218 1.106	0.943 2.408 2.271	— — —	
2-4		測定予測値(%Δk/k)		2.59	3.46	2.84	2.32	0.57	
		A — A × B	0.809 — 0.809	0.846 1.039 0.879	0.861 1.078 0.928	0.864 1.218 1.052	0.918 2.408 2.211	— — —	
		測定予測値(%Δk/k)		2.67	3.51	2.88	2.21	0.56	
3-1	干渉 効果	A — A × B	0.894 — 0.894	0.894 1.039 1.027	0.988 1.078 1.177	0.979 1.218 1.192	0.992 2.408 2.389	— — —	
	測定予測値(%Δk/k)		2.95	4.10	3.65	2.50	0.60	12.9 1.08	
	干渉 効果	A — A × B	0.913 — 0.913	1.026 1.039 1.066	1.009 1.078 1.088	0.999 1.218 1.217	1.008 2.408 2.427	— — —	
3-3		測定予測値(%Δk/k)		3.01	4.25	3.37	2.55	0.61	
		A — A × B	0.848 — 0.848	0.927 1.039 0.963	0.958 1.078 1.033	0.953 1.218 1.161	0.951 2.408 2.290	— — —	
		測定予測値(%Δk/k)		2.80	3.84	3.20	2.43	0.58	
3-4	干渉 効果	A — A × B	0.954 — 0.954	0.987 1.039 1.025	1.003 1.078 1.081	0.962 1.218 1.172	0.962 2.408 2.316	— — —	
	測定予測値(%Δk/k)		3.14	4.09	3.35	2.46	0.59	12.7 1.07	

* 検討ケース名とR1制御棒の状態を示す。

●、○はすべての被測定制御棒を示しており、他の制御棒に比べて臨界時に深く挿入されている。

反応度測定の際には、●が被測定制御棒、○が補償制御棒の組合せとなる。

○は、C、R2と同一レベルまで挿入されており、被測定・補償制御棒とはならないR1制御棒を示す。

ケース4-1は、R3を除く全制御棒を同一レベルで臨界にし、ある1対に対して他の12対を補償制御棒とした。

** 反応度増分は、燃料追加前の炉心から追加後の炉心がどれだけ反応度が増加したかを示す。ただし、18カラム炉心の場合には、燃料追加前は最小臨界炉心であり、実効増倍率を1.012とした。

第B-2表 $k = \sum_{Step} \Delta k$ による燃料追加に伴う反応度増分と過剰反応度の測定予測値

燃料カラム数		18	21	24	27	30	過剰反応度	
制御棒 なし炉心	実効倍率	1.04692	1.09256	1.13089	1.15835	1.16175	% $\Delta k/k$	制御棒なし炉 心に対する比
1-1 * ●○○○	干渉 効果	A B A × B	0.696 — 0.696	0.831 0.966 0.803	0.826 0.917 0.757	0.853 0.970 0.827	0.908 1.863 1.692	— — —
	測定予測値(% Δk)		2.43	3.66	2.90	2.27	0.57	10.6 0.81
1-2 ●○○○○	干渉 効果	A B A × B	1.172 — 1.172	1.160 0.966 1.121	1.145 0.917 1.050	1.148 0.970 1.114	1.030 1.863 1.919	— — —
	測定予測値(% Δk)		4.09	5.11	4.02	3.06	0.65	14.5 1.11
1-3 ●○○○○	干渉 効果	A B A × B	1.359 — 1.359	1.371 0.966 1.324	1.353 0.917 1.241	1.244 0.970 1.207	1.063 1.863 1.980	— — —
	測定予測値(% Δk)		4.75	6.04	4.76	3.31	0.67	16.3 1.25
1-4 ●○○○○	干渉 効果	A B A × B	0.996 — 0.996	1.105 0.966 1.067	1.073 0.917 0.984	1.030 0.970 0.999	0.980 1.863 1.826	— — —
	測定予測値(% Δk)		3.48	4.87	3.77	2.74	0.62	13.4 1.03
2-1 ●○○○○	干渉 効果	A B A × B	0.871 — 0.871	0.970 0.966 0.937	0.918 0.917 0.842	0.953 0.970 0.924	0.952 1.863 1.774	— — —
	測定予測値(% Δk)		3.04	4.28	3.23	2.54	0.60	12.0 0.92
2-2 ●○○○○	干渉 効果	A B A × B	1.182 — 1.182	1.294 0.966 1.250	1.194 0.917 1.095	1.104 0.970 1.071	1.067 1.863 1.988	— — —
	測定予測値(% Δk)		4.13	5.71	4.20	2.94	0.68	15.0 1.15
2-3 ●○○○○	干渉 効果	A B A × B	0.945 — 0.945	1.037 0.966 1.002	1.047 0.917 0.960	1.023 0.970 0.992	1.027 1.863 1.913	— — —
	測定予測値(% Δk)		3.30	4.57	3.68	2.72	0.65	13.0 1.00
2-4 ●○○○○	干渉 効果	A B A × B	0.763 — 0.763	0.804 0.966 0.777	0.823 0.917 0.755	0.888 0.970 0.861	0.931 1.863 1.734	— — —
	測定予測値(% Δk)		2.66	3.54	2.89	2.37	0.59	10.8 0.83
3-1 ●○○○○	干渉 効果	A B A × B	0.780 — 0.780	0.813 0.966 0.785	0.836 0.917 0.767	0.839 0.970 0.814	0.904 1.863 1.684	— — —
	測定予測値(% Δk)		2.72	3.58	2.94	2.23	0.57	10.8 0.83
3-2 ●○○○○	干渉 効果	A B A × B	0.862 — 0.862	0.950 0.966 0.918	1.061 0.917 0.973	0.951 0.970 0.922	0.978 1.863 1.822	— — —
	測定予測値(% Δk)		3.01	4.19	3.73	2.53	0.62	12.3 0.95
3-3 ●○○○○	干渉 効果	A B A × B	0.881 — 0.881	0.987 0.966 0.953	0.981 0.917 0.900	0.970 0.970 0.941	0.994 1.863 1.852	— — —
	測定予測値(% Δk)		3.08	4.35	3.45	2.58	0.63	12.3 0.95
3-4 ●○○○○	干渉 効果	A B A × B	0.817 — 0.817	0.892 0.966 0.862	0.932 0.917 0.855	0.925 0.970 0.897	0.933 1.863 1.738	— — —
	測定予測値(% Δk)		2.85	3.93	3.28	2.46	0.59	11.6 0.89
4-1 R3を除く 全制御棒	干渉 効果	A B A × B	0.952 — 0.952	0.986 0.966 0.952	1.001 0.917 0.918	0.958 0.970 0.929	0.958 1.863 1.785	— — —
	測定予測値(% Δk)		3.32	4.35	3.52	2.55	0.61	13.4 1.03

* 検討ケース名とR1制御棒の状態を示す。

●、○はすべての被測定制御棒を示しており、他の制御棒に比べて臨界時に深く挿入されている。

反応度測定の際には、●が被測定制御棒、○が補償制御棒の組合せとなる。

○は、C, R2と同一レベルまで挿入されており、被測定・補償制御棒とはならないR1制御棒を示す。

ケース4-1は、R3を除く全制御棒を同一レベルで臨界にし、ある1対に対して他の12対を補償制御棒とした。

** 反応度増分は、燃料追加前の炉心から追加後の炉心がどれだけ反応度が増加したかを示す。ただし、18カラム炉心の場合には、燃料追加前は最小臨界炉心であり、実効倍率を1.012とした。

付録 C

計算結果一覧表

炉心計算結果の一覧表を第 C-1 表から第 C-5 表に示す。
(表中、最右欄「No.」は特に意味のない計算ケースの番号である)

第C-1表 計算結果(18カラム炉心) 1/3

Case	制御棒挿入状態							keff	$\Delta k/k$	備考	No.
	R1-1	R1-2	R1-3	R1-4	R1-5	R1-6	Others				
18-1-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1.0469209			18 0
	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	-2	1.0088757	0.03602	補償CR無しの反応度	18 1
	-2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	-2	1.0141928	0.00520	補償CR無しの1対反応度	18 2
	0.25	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	-2	1.0107908	0.00188		18 3
18-1-1	5	1	-2	-2	-2	-2	-2	1.0150170	0.03002		a18 1
	5	1	-2	-2	-2	0	-2	1.0128336			a18 2
	5	0	-2	-2	-2	0	-2	1.0183755	0.00537		a18 3
	5	0	-2	-2	-2	1	-2	1.0128261			a18 4
	5	-2	-2	-2	-2	1	-2	1.0150168	0.00213		a18 5
	5	-2	-2	-2	-2	2	-2	1.0107251			a18 6
	1.5	-2	-2	-2	-2	2	-2	1.0169009	0.00601		a18 7
	1.5	-2	-2	-2	-2	3	-2	1.0138073			a18 8
	1	-2	-2	-2	-2	3	-2	1.0162935	0.00241		a18 9
	1	0	-2	-2	-2	5	-2	1.0120922			a18 10
	0	0	-2	-2	-2	5	-2	1.0167938	0.00457	合計 $\Delta k/k$ 比	a18 11
	0	0.5	-2	-2	-2	5	-2	1.0119330			a18 12
	-2	0.5	-2	-2	-2	5	-2	1.0130541	0.00109	0.02159 0.719	a18 13
18-1-2	5	1	-2	-2	0	-2	-2	1.0104550			a18 14
	5	0	-2	-2	0	-2	-2	1.0162793	0.00567		a18 15
	5	0	-2	-2	0.5	-2	-2	1.0108320			a18 16
	2	-2	-2	-2	0.5	-2	-2	1.0186934	0.00763		a18 17
	2	-2	-2	-2	1	-2	-2	1.0130177			a18 18
	1.5	-2	-2	-2	1	-2	-2	1.0167820	0.00365		a18 19
	1.5	-2	-2	-2	1.5	-2	-2	1.0118822			a18 20
	1	-2	-2	-2	1.5	-2	-2	1.0168207	0.00480		a18 21
	1	-2	-2	-2	2.25	-2	-2	1.0116601			a18 22
	0.5	-2	-2	-2	2.25	-2	-2	1.0174314	0.00561		a18 23
	0.5	-2	-2	-2	5	-2	-2	1.0132699		合計 $\Delta k/k$ 比	a18 24
	-2	-2	-2	-2	5	-2	-2	1.0224979	0.00891	0.03627 1.208	a18 25
18-1-3	5	1	-2	0	-2	-2	-2	1.0100360			a18 26
	5	0	-2	0	-2	-2	-2	1.0155149	0.00534		a18 27
	5	0	-2	0.5	-2	-2	-2	1.0087241			a18 28
	2	-2	-2	0.5	-2	-2	-2	1.0168467	0.00792		a18 29
	2	-2	-2	1	-2	-2	-2	1.0095205			a18 30
	1.5	-2	-2	1	-2	-2	-2	1.0140333	0.00441		a18 31
	1.5	-2	-2	1.5	-2	-2	-2	1.0077991			a18 32
	1	-2	-2	1.5	-2	-2	-2	1.0140995	0.00616		a18 33
	1	-2	-2	2	-2	-2	-2	1.0096391			a18 34
	0.5	-2	-2	2	-2	-2	-2	1.0170057	0.00717		a18 35
	0.5	-2	-2	4	-2	-2	-2	1.0111879		合計 $\Delta k/k$ 比	a18 36
	-2	-2	-2	4	-2	-2	-2	1.0227669	0.01120	0.04220 1.406	a18 37
18-1-4	5	1	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-2	1.0111475			a18 38
	5	0	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-2	1.0165129	0.00522		a18 39
	5	0	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-2	1.0130311			a18 40
	2	-2	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-2	1.0201873	0.00692		a18 41
	2	0	0	0	0	0	-2	1.0133868			a18 42
	1.5	0	0	0	0	0	-2	1.0170726	0.00358		a18 43
	1.5	0	0.25	0.25	0	0	-2	1.0091308			a18 44
	1	0	0.25	0.25	0	0	-2	1.0138438	0.00461		a18 45
	1	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	-2	1.0138438			a18 46
	0.5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	-2	1.0186347	0.00464		a18 47
	0.5	0.25	0.5	0.5	0.25	0.25	-2	1.0146219		合計 $\Delta k/k$ 比	a18 48
	-2	0.25	0.5	0.5	0.25	0.25	-2	1.0206718	0.00584	0.03081 1.026	a18 49

第C-1表 計算結果(18カラム炉心) 2/3

Case	制御棒挿入状態							keff	$\Delta k/k$	備考	No.
	R1-1	R1-2	R1-3	R1-4	R1-5	R1-6	Others				
	0.75	-2	0.75	-2	0.75	-2	-2	1.0155158	0.02954	補償CRなしの3対の反応度	18 31
	-2	-2	0.75	-2	0.75	-2	-2	1.0268624	0.01088	補償CR無しの1対反応度	18 32
18-2-1	0.75	0	0.75	-2	0.75	-2	-2	1.0138800			18 33
	0.5	0	0.75	-2	0.75	-2	-2	1.0166693	0.00271		18 34
	0.5	0.5	0.75	-2	0.75	-2	-2	1.0137141			18 35
	0.25	0.5	0.75	-2	0.75	-2	-2	1.0159640	0.00218		18 36
	0.25	0.75	0.75	-2	0.75	-2	-2	1.0138311			18 37
	0	0.75	0.75	-2	0.75	-2	-2	1.0154972	0.00162	1対 全対	18 38
	0	1	0.75	-2	0.75	-2	-2	1.0131228		$\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	18 39
	-2	1	0.75	-2	0.75	-2	-2	1.0155380	0.00235	0.00886 0.814 0.02657 0.899	18 40
18-2-2	0.75	-2	0.75	0	0.75	-2	-2	1.0138837			18 41
	0.5	-2	0.75	0	0.75	-2	-2	1.0169170	0.00294		18 42
	0.5	-2	0.75	0.5	0.75	-2	-2	1.0143921			18 43
	0.25	-2	0.75	0.5	0.75	-2	-2	1.0172973	0.00282		18 44
	0.25	-2	0.75	0.75	0.75	-2	-2	1.0156966			18 45
	0	-2	0.75	0.75	0.75	-2	-2	1.0181254	0.00235	1対 全対	18 46
	0	-2	0.75	1	0.75	-2	-2	1.0164702		$\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	18 47
	-2	-2	0.75	1	0.75	-2	-2	1.0204805	0.00387	0.01197 1.100 0.03592 1.216	18 48
18-2-3	0.75	-2	0.75	0	0.75	-2	-2	1.0138837			18 41
	0.5	-2	0.75	0	0.75	-2	-2	1.0169170	0.00294		18 42
	0.5	0	0.75	0	0.75	0	-2	1.0133297			18 49
	0.25	0	0.75	0	0.75	0	-2	1.0157403	0.00234		18 50
	0.25	0	0.75	0.25	0.75	0	-2	1.0146776			18 51
	0	0	0.75	0.25	0.75	0	-2	1.0165972	0.00186	1対 全対	18 52
	0	0.25	0.75	0.25	0.75	0	-2	1.0150468		$\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	18 53
	-2	0.25	0.75	0.25	0.75	0	-2	1.0175740	0.00245	0.00959 0.882 0.02878 0.974	18 54
18-2-4	0.75	-2	0.75	-2	0.75	-2	-2	1.0155158			18 31
	0.5	-2	0.75	-2	0.75	-2	-2	1.0184518	0.002839		18 55
	0.5	-2	0.75	-2	0.75	0.5	-2	1.0137138			18 56
	0.5	-2	0.5	-2	0.75	0.5	-2	1.0168295	0.003023		18 57
	0.5	0	0.5	-2	0.75	0.5	-2	1.0148512			18 58
	0.5	0	0.5	-2	0.5	0.5	-2	1.0173239	0.002395		18 59
	0.5	0	0.5	0.25	0.5	0.5	-2	1.0140537			18 60
	0.25	0	0.5	0.25	0.5	0.5	-2	1.0161402	0.002025		18 61
	0.25	0.25	0.5	0.25	0.5	0.5	-2	1.0146221			18 62
	0.25	0.25	0.5	0.25	0.25	0.5	-2	1.0165393	0.001859		18 63
	0.25	0.25	0.5	0.5	0.25	0.5	-2	1.0146253			18 64
	0.25	0.25	0.5	0.5	0.25	0.5	-2	1.0165877	0.001903		18 65
	0.25	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5	-2	1.0144799			18 66
	0.25	0.5	0.25	0.5	0	0.5	-2	1.0158532	0.001333		18 67
	0.25	0.5	0.25	0.75	0	0.5	-2	1.0133183			18 68
	-2	0.5	0.25	0.75	0	0.5	-2	1.0167186	0.003300		18 69
	-2	0.5	0.25	0.75	0	0.5	-2	1.0138482			18 70
	-2	0.5	-2	0.75	0	0.75	-2	1.0169221	0.002981	全対	18 71
	-2	0.75	-2	0.75	0	0.75	-2	1.0138928		$\Delta k/k$ 比	18 72
	-2	0.75	-2	0.75	-2	0.75	-2	1.0155262	0.001586	0.02324 0.787	18 73

第C-1表 計算結果(18カラム炉心) 3/3

Case	制御棒插入状態							keff	$\Delta k/k$	備考				No.
	R1-1	R1-2	R1-3	R1-4	R1-5	R1-6	Others			1対	全対	$\Delta k/k$	比	
18-3-1	0.25	0.75	0.5	0.5	0.5	0.5	-2	1.0083859	0.00131	1対	全対	$\Delta k/k$	比	18 4
	0	0.75	0.5	0.5	0.5	0.5	-2	1.0097169						18 5
	0	1	0.5	0.5	0.5	0.5	-2	1.0070550		$\Delta k/k$	$\Delta k/k$	$\Delta k/k$	比	18 6
	-2	1	0.5	0.5	0.5	0.5	-2	1.0087527		0.00167	0.00486	0.935	0.02914	0.809
18-3-2	0.25	0.5	0.75	0.5	0.5	0.5	-2	1.0085869	0.00145	1対	全対	$\Delta k/k$	比	18 8
	0	0.5	0.75	0.5	0.5	0.5	-2	1.0100650						18 9
	0	0.5	1	0.5	0.5	0.5	-2	1.0077327		$\Delta k/k$	$\Delta k/k$	$\Delta k/k$	比	18 10
	-2	0.5	1	0.5	0.5	0.5	-2	1.0098040		0.00204	0.00536	1.032	0.03219	0.894
18-3-3	0.25	0.5	0.5	0.75	0.5	0.5	-2	1.0086381	0.00148	1対	全対	$\Delta k/k$	比	18 12
	0	0.5	0.5	0.75	0.5	0.5	-2	1.0101488						18 13
	0	0.5	0.5	1	0.5	0.5	-2	1.0079124		$\Delta k/k$	$\Delta k/k$	$\Delta k/k$	比	18 14
	-2	0.5	0.5	1	0.5	0.5	-2	1.0100706		0.00212	0.00548	1.055	0.03288	0.913
18-3-4	0	0.75	0.5	0.75	0.5	0.75	-2	1.0049160	0.00173	0.00509	0.980	0.03056	0.848	18 16
	-2	0.75	0.5	0.75	0.5	0.75	-2	1.0066683						18 17

Case	制御棒插入状態							keff	$\Delta k/k$	備考				No.
	C	R1-1	R1-4	Others	R3	$\Delta k/k$	比			$\Delta k/k$	比	$\Delta k/k$	比	
C	C	0.25	0.25	0.25	0.25	-2	1.0112588	0.00078	0.00037	$\Delta k/k$	比	0.00075	0.963	b18 01
		-2	0.25	0.25	0.25	-2	1.0120540							b18 02
		0	0.25	0.25	0.25	-2	1.0116334							b18 03
		0	0.5	0.25	0.25	-2	1.0099413							b18 04
		-2.0	0.5	0.25	0.25	-2	1.0103310							b18 05
R1	R1	C	R1-1	R2-1	R2-6	Others	R3	0.00249	0.00115	$\Delta k/k$	比	0.00232	0.933	b18 06
			0.25	-2	0.25	0.25	0.25							b18 07
			0.25	0	0.25	0.25	0.25							b18 08
			0.5	0	0.5	0.25	0.25							b18 09
			0.5	-0.5	0.5	0.25	0.25							b18 10
			0.5	-0.5	0.5	0.25	0.25							b18 11
R2	R2	R2-1	R2-2	R2-3	R2-6	Others	R3	0.00024	0.00039	$\Delta k/k$	比	0.00144	0.990	b18 12
			-2	0.25	0.25	0.25	-2							b18 13
			0	0.25	0.25	0.25	-2							b18 14
			0	0.5	0.25	0.25	-2							b18 15
			-0.25	0.5	0.25	0.25	-2							b18 16
			-0.25	0.5	0.5	0.25	-2							b18 17

全対
 $\Delta k/k$
0.02441
0.02329 0.954 干渉効果A

第C-2表 計算結果(21カラム炉心) 1/5

Case	制御棒挿入状態							keff	$\Delta k/k$	備考	No.
	R1-1	R1-2	R1-3	R1-4	R1-5	R1-6	Others				
	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1.048632		18カラム炉心	18 0
	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	1.011259		18カラム炉心	18 1
	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1.092564	0.038345	臨界	21 0
	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	1.053716	0.039844	1.039 干渉効果B	21 1
21-1-1	5	5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	1.011638	0.039473	補償CR無しの反応度	a21 1
	5	3	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	1.013268	0.001590		a21 41
	5	3	0.75	0.25	0.25	0.25	0.25	1.009905			a21 42
	5	2	0.75	0.25	0.25	0.25	0.25	1.013424	0.003439		a21 43
	5	2	1.25	0.25	0.25	0.25	0.25	1.009013			a21 44
	5	1.25	1.25	0.25	0.25	0.25	0.25	1.012493	0.003407		a21 45
	5	1.25	1.5	0.25	0.25	0.25	0.25	1.009825			a21 46
	5	0.25	1.5	0.25	0.25	0.25	0.25	1.013256	0.003352		a21 47
	5	1.25	1.5	0.25	0.25	0.25	0.25	1.009825			a21 48
	3	1.25	1.5	0.25	0.25	0.25	0.25	1.013235	0.003332		a21 49
	3	2	1.5	0.25	0.25	0.25	0.25	1.009956			a21 50
	2	2	1.5	0.25	0.25	0.25	0.25	1.015880	0.005773		a21 51
	2	3.5	1.5	0.25	0.25	0.25	0.25	1.009927			a21 52
	1.5	3.5	1.5	0.25	0.25	0.25	0.25	1.013379	0.003374		a21 53
	1.5	5	2	0.25	0.25	0.25	0.25	1.008862			a21 54
	1	5	2	0.25	0.25	0.25	0.25	1.012929	0.003979	合計 $\Delta k/k$ 比	a21 55
	1	5	4	0.25	0.25	0.25	0.25	1.007937			a21 56
	0.25	5	4	0.25	0.25	0.25	0.25	1.013973	0.005906	0.03415 0.865	
21-1-2	5	5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	1.011638	0.039473	補償CR無しの反応度	a21 1
	4	4	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	1.012342	0.000687		a21 2
	4	4	0.5	0.5	0.25	0.25	0.25	1.007611			a21 3
	3	3	0.5	0.5	0.25	0.25	0.25	1.011057	0.003383		a21 4
	3	3	0.75	0.75	0.25	0.25	0.25	1.005811			a21 5
	2.25	2.25	0.75	0.75	0.25	0.25	0.25	1.012982	0.007038		a21 6
	2.25	2.25	1	1	0.25	0.25	0.25	1.007834			a21 7
	1.75	1.75	1	1	0.25	0.25	0.25	1.015585	0.007573		a21 8
	1.75	1.75	1.5	1.5	0.25	0.25	0.25	1.005756			a21 9
	1.25	1.25	1.5	1.5	0.25	0.25	0.25	1.015321	0.009367		a21 10
	1.25	1.25	2	2	0.25	0.25	0.25	1.006525			a21 11
	1	1	2	2	0.25	0.25	0.25	1.011646	0.005029		a21 12
	1	1	2.25	2.25	0.25	0.25	0.25	1.008017			a21 13
	0.75	0.75	2.25	2.25	0.25	0.25	0.25	1.013214	0.005088		a21 14
	0.75	0.75	2.75	2.75	0.25	0.25	0.25	1.007902			a21 15
	0.5	0.5	2.75	2.75	0.25	0.25	0.25	1.013001	0.004995		a21 16
	0.5	0.5	4	4	0.25	0.25	0.25	1.007875		合計 $\Delta k/k$ 比	a21 17
	0.25	0.25	4	4	0.25	0.25	0.25	1.012631	0.004660	0.04782 1.211	a21 18

第C-2表 計算結果(21カラム炉心) 2/5

Case	制御棒挿入状態							keff	$\Delta k/k$	備考	No.
	R1-1	R1-2	R1-3	R1-4	R1-5	R1-6	Others				
21-1-3	5	5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	1.011638			a21 1
	4	4	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	1.012342	0.000687		a21 2
	4	4	0.25	0.5	0.5	0.25	0.25	1.005772			a21 21
	2.5	2.5	0.25	0.5	0.5	0.25	0.25	1.013528	0.007609		a21 22
	2.5	2.5	0.25	0.75	0.75	0.25	0.25	1.006753			a21 23
	2	2	0.25	0.75	0.75	0.25	0.25	1.013744	0.006850		a21 24
	2	2	0.25	1	1	0.25	0.25	1.007161			a21 25
	1.5	1.5	0.25	1	1	0.25	0.25	1.017033	0.009637		a21 26
	1.5	1.5	0.25	1.5	1.5	0.25	0.25	1.005328			a21 27
	1.25	1.25	0.25	1.5	1.5	0.25	0.25	1.011481	0.006051		a21 28
	1.25	1.25	0.25	1.75	1.75	0.25	0.25	1.006289			a21 29
	1	1	0.25	1.75	1.75	0.25	0.25	1.012822	0.006411		a21 30
	1	1	0.25	2	2	0.25	0.25	1.008430			a21 31
	0.75	0.75	0.25	2	2	0.25	0.25	1.015115	0.006531		a21 32
	0.75	0.75	0.25	2.5	2.5	0.25	0.25	1.008629			a21 33
	0.5	0.5	0.25	2.5	2.5	0.25	0.25	1.015317	0.006531		a21 34
	0.5	0.5	0.25	4	4	0.25	0.25	1.008119			a21 35
	0.25	0.25	0.25	4	4	0.25	0.25	1.014404	0.006147	合計 $\Delta k/k$ 比 0.05645 1.430	a21 36
21-1-4	5	5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	1.011638			a21 1
	4	4	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	1.012342	0.000687		a21 2
	4	4	0.25	0.5	0.5	0.25	0.25	1.005772			a21 21
	2.5	2.5	0.25	0.5	0.5	0.25	0.25	1.013528	0.007609		a21 22
	2.5	2.5	0.5	0.5	0.5	0.25	0.25	1.010835			a21 61
	2	2	0.5	0.5	0.5	0.25	0.25	1.017190	0.006181		a21 62
	2	2	0.75	0.75	0.75	0.75	0.25	1.008086			a21 63
	1.5	1.5	0.75	0.75	0.75	0.75	0.25	1.017000	0.008695		a21 64
	1.5	1.5	1	1	1	0.25	0.25	1.007688			a21 65
	1.25	1.25	1	1	1	0.25	0.25	1.012621	0.004835		a21 66
	1.25	1.25	1	1.25	1.25	1	0.25	1.007541			a21 67
	1	1	1	1.25	1.25	1	0.25	1.012697	0.005053		a21 68
	1	1	1.25	1.25	1.25	1.25	0.25	1.007813			a21 69
	0.75	0.75	1.25	1.25	1.25	1.25	0.25	1.012419	0.004514		a21 70
	0.75	0.75	1.25	1.5	1.5	1.25	0.25	1.008109			a21 71
	0.5	0.5	1.25	1.5	1.5	1.25	0.25	1.012545	0.004346		a21 72
	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.25	1.006793		合計 $\Delta k/k$ 比 0.003564 0.04548 1.152	a21 73
	0.25	0.25	1.5	1.5	1.5	1.5	0.25	1.010418			a21 74

第C-2表 計算結果(21カラム炉心) 3/5

Case	制御棒挿入状態						keff	$\Delta k/k$	備考	No.	
	R1-1	R1-2	R1-3	R1-4	R1-5	R1-6	Others				
21-2-1	1.5	0.25	1.5	0.25	1.5	0.25	0.25	1.014106	0.037068	補償CR無しの反応度	21 31
	0.25	0.25	1.5	0.25	1.5	0.25	0.25	1.029113	0.022688	補償CR無しの1対の反応度	21 32
	1.5	0.75	1.5	0.25	1.5	0.25	0.25	1.011630			21 33
	1.25	0.75	1.5	0.25	1.5	0.25	0.25	1.014844	0.003131		21 34
	1.25	1	1.5	0.25	1.5	0.25	0.25	1.013072			21 35
	1	1	1.5	0.25	1.5	0.25	0.25	1.016061	0.002903		21 36
	1	1.25	1.5	0.25	1.5	0.25	0.25	1.013900			21 37
	0.75	1.25	1.5	0.25	1.5	0.25	0.25	1.016541	0.002563		21 38
	0.75	1.5	1.5	0.25	1.5	0.25	0.25	1.014071			21 39
	0.5	1.5	1.5	0.25	1.5	0.25	0.25	1.016289	0.002152	1対 全対	21 40
21-2-2	0.5	1.75	1.5	0.25	1.5	0.25	0.25	1.013683		$\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	21 41
	0.25	1.75	1.5	0.25	1.5	0.25	0.25	1.015424	0.001692	0.01244 0.548 0.03732 1.007	21 42
	1.5	0.25	1.5	0.75	1.5	0.25	0.25	1.011645			21 43
	1.25	0.25	1.5	0.75	1.5	0.25	0.25	1.015184	0.003446		21 44
	1.25	0.25	1.5	1	1.5	0.25	0.25	1.013658			21 45
	1	0.25	1.5	1	1.5	0.25	0.25	1.017242	0.003476		21 46
	1	0.25	1.5	1.5	1.5	0.25	0.25	1.013858			21 47
	0.75	0.25	1.5	1.5	1.5	0.25	0.25	1.017479	0.003510		21 48
	0.75	0.25	1.5	2	1.5	0.25	0.25	1.013921			21 49
	0.5	0.25	1.5	2	1.5	0.25	0.25	1.017347	0.003321	1対 全対	21 50
21-2-3	0.5	0.25	1.5	2.5	1.5	0.25	0.25	1.014242		$\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	21 51
	0.25	0.25	1.5	2.5	1.5	0.25	0.25	1.017161	0.002829	0.01658 0.731 0.04975 1.342	21 52
	1.5	0.25	1.5	0.75	1.5	0.25	0.25	1.011645			21 43
	1.25	0.25	1.5	0.75	1.5	0.25	0.25	1.015184	0.003446		21 44
	1.25	0.75	1.5	0.75	1.5	0.25	0.25	1.012490			21 53
	1	0.75	1.5	0.75	1.5	0.25	0.25	1.015768	0.003188		21 54
	1	0.75	1.5	0.75	1.5	0.75	0.25	1.012661			21 55
	0.75	0.75	1.5	0.75	1.5	0.75	0.25	1.015397	0.002662		21 56
	0.75	0.75	1.5	1	1.5	0.75	0.25	1.013955			21 57
	0.5	0.75	1.5	1	1.5	0.75	0.25	1.016349	0.002323	1対 全対	21 58
21-2-4	0.5	1	1.5	1	1.5	0.75	0.25	1.014006		$\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	21 59
	0.25	1	1.5	1	1.5	0.75	0.25	1.015749	0.001692	0.01331 0.587 0.03993 1.077	21 60

第C-2表 計算結果(21カラム炉心) 4/5

Case	制御棒挿入状態								keff	$\Delta k/k$	備考	No.
	R1-1	R1-2	R1-3	R1-4	R1-5	R1-6	Others					
21-2-4	1.5	0.25	1.5	0.25	1.5	0.25	0.25	1.014106				21 31
	1.25	0.25	1.5	0.25	1.5	0.25	0.25	1.017481		0.003270		21 61
	1.25	1	1.5	0.25	1.5	0.25	0.25	1.013072				21 62
	1.25	1	1.5	0.25	1.25	0.25	0.25	1.016614		0.003438		21 82
	1.25	1	1.5	0.25	1.25	1	0.25	1.011660				21 83
	1.25	1	1.25	0.25	1.25	1	0.25	1.014723		0.002983		21 84
	1.25	1	1.25	0.75	1.25	1	0.25	1.011816				21 85
	1	1	1.25	0.75	1.25	1	0.25	1.014322		0.002441		21 86
	1	1	1.25	1	1.25	1	0.25	1.012452				21 87
	1	1	1	1	1.25	1	0.25	1.014966		0.002446		21 88
	1	1.25	1	1	1.25	1	0.25	1.012361				21 89
	1	1.25	1	1	1	1	0.25	1.014951		0.002521		21 90
	1	1.25	1	1.25	1	1	0.25	1.012438				21 91
	0.75	1.25	1	1.25	1	1	0.25	1.014604		0.002108		21 92
	0.75	1.25	1	1.25	1	1.25	0.25	1.011799				21 93
	0.75	1.25	0.5	1.25	1	1.25	0.25	1.015329		0.003436		21 94
	0.75	1.5	0.5	1.25	1	1.25	0.25	1.012106				21 95
	0.75	1.5	0.5	1.25	0.5	1.25	0.25	1.015746		0.003541		21 96
	0.75	1.5	0.5	1.5	0.5	1.25	0.25	1.012495				21 97
	0.25	1.5	0.5	1.5	0.5	1.25	0.25	1.015232		0.002662	全対	21 98
	0.25	1.5	0.5	1.5	0.5	1.5	0.25	1.011837			合計 $\Delta k/k$ 比	21 99
	0.25	1.5	0.25	1.5	0.25	1.5	0.25	1.014009		0.002117	0.03097 0.835	21 a0
21-2-5	1	1	1	1	1	1	0.25	1.017441		0.033836	補償CR無しの反応度	21 2
	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	0.25	1.002934				21 3
	0.25	1	1	1	1	1	0.25	1.022905		0.005250	補償CR無しの1対反応度	21 4
21-3-1	1	1.25	1	1	1	1	0.25	1.014951			1対 全対 $\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	21 5
	0.75	1.25	1	1	1	1	0.25	1.017017		0.002002		21 6
	0.75	1.5	1	1	1	1	0.25	1.014214				21 7
	0.5	1.5	1	1	1	1	0.25	1.015847		0.001585		21 8
	0.5	1.75	1	1	1	1	0.25	1.012923		0.001186	0.00477 0.909 0.02864 0.846	21 9
	0.25	1.75	1	1	1	1	0.25	1.014142			21 10	
21-3-2	1	1	1.25	1	1	1	0.25	1.014987			1対 全対 $\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	21 11
	0.75	1	1.25	1	1	1	0.25	1.017246		0.002188		21 12
	0.75	1	1.5	1	1	1	0.25	1.014657				21 13
	0.5	1	1.5	1	1	1	0.25	1.016599		0.001882		21 14
	0.5	1	1.75	1	1	1	0.25	1.013997				21 15
	0.25	1	1.75	1	1	1	0.25	1.015541		0.001500	0.00557 1.061 0.03342 0.988	21 16
21-3-3	1	1	1	1.25	1	1	0.25	1.014986			1対 全対 $\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	21 17
	0.75	1	1	1.25	1	1	0.25	1.017295		0.002236		21 18
	0.75	1	1	1.5	1	1	0.25	1.014760				21 19
	0.5	1	1	1.5	1	1	0.25	1.016784		0.001961		21 20
	0.5	1	1	1.75	1	1	0.25	1.014279				21 21
	0.25	1	1	1.75	1	1	0.25	1.015914		0.001586	0.00578 1.101 0.03470 1.026	21 22
21-3-4	1	1	1	1.25	1	1	0.25	1.014986			1対 全対 $\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	21 17
	0.75	1	1	1.25	1	1	0.25	1.017295		0.002236		21 18
	0.75	1.25	1	1.25	1	1	0.25	1.014604				21 23
	0.5	1.25	1	1.25	1	1	0.25	1.016413		0.001754		21 24
	0.5	1.25	1	1.25	1	1.25	0.25	1.013452				21 25
	0.25	1.25	1	1.25	1	1.25	0.25	1.014726		0.001239	0.00523 0.996 0.03138 0.927	21 26

第C-2表 計算結果(21カラム炉心) 5/5

21-4-1	制御棒挿入状態		k _{eff}	Δk/k	備考	No.
C	C R1-1 R1-4 Others	R3				
	0.75 0.75 0.75 0.75	-2	1.0223449			b21 01
	0.25 0.75 0.75 0.75	-2	1.0235190	0.00112		b21 02
	0.5 0.75 0.75 0.75	-2	1.0230824	0.00071		b21 03
	0.5 1 0.75 0.75	-2	1.0210286		Δk/k 比	b21 04
	0.25 1 0.75 0.75	-2	1.0214200	0.00038	0.00108 0.963	b21 05
R1	C R1-1 R2-1 Others	R3				
	0.75 0.25 0.75 0.75	-2	1.0251036	0.00263		b21 06
	0.75 0.5 0.75 0.75	-2	1.0239424	0.00153		b21 07
	1 0.5 0.75 0.75	-2	1.0227531		Δk/k 比	b21 08
	1 0.25 0.75 0.75	-2	1.0238770	0.00107	0.00260 0.987	b21 09
R2	R2-1 R2-2 R2-3 Others	R3				
	0.25 0.75 0.75 0.75	-2	1.0235368	0.00114		b21 10
	0.75 0.75 0.75 0.75	-2	1.0230392	0.00066		b21 11
	0 0.5 0.25 0.25	-2	1.0220792		Δk/k 比	b21 12
	-0.25 0.5 0.25 0.25	-2	1.0225637	0.00046	0.00113 0.990	b21 13

全対

Δk/k

0.02375

0.02344 0.987 干渉効果A

第C-3表 計算結果(24カラム炉心) 1/4

Case	制御棒挿入状態							keff	$\Delta k/k$	備考	No.
	R1-1	R1-2	R1-3	R1-4	R1-5	R1-6	Others				
24-1-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1.0925641		21カラム炉心	21 0
	1	1	1	1	1	1	1	1.0077429		21カラム炉心	21 1
	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	0.9907575		21カラム炉心	21 2
	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1.1308919	0.031020		24 0
	1	1	1	1	1	1	1	1.0428745	0.033428	1.07763 干渉効果B	24 1
	5	2.25	1	1	1	1	1	1.0075023	0.033665	補償CR無しの反応度	a24 1
24-1-2	5	2.25	1.5	1	1	1	1	1.0029330			a24 2
	5	1	1.5	1	1	1	1	1.0104872	0.007454		a24 3
	5	2	1.5	1	1	1	1	1.0045636			a24 38
	3	2	1.5	1	1	1	1	1.0114625	0.006790		a24 39
	3	3	1.5	1	1	1	1	1.0046995			a24 40
	2.5	3	1.5	1	1	1	1	1.0081798	0.003436		a24 41
	2.5	3.5	1.5	1	1	1	1	1.0053800			a24 42
	2	3.5	1.5	1	1	1	1	1.0091596	0.003725		a24 43
	2	4.25	1.5	1	1	1	1	1.0065374			a24 44
	1.5	4.25	1.5	1	1	1	1	1.0104499	0.003847		a24 45
	1.5	5	2	1	1	1	1	1.0056026		合計 $\Delta k/k$ 比	a24 46
	1	5	2	1	1	1	1	1.0091950	0.003540	0.02879 0.855	a24 47
	5	2.25	1.5	1	1	1	1	1.0029330			a24 2
24-1-3	5	1	1.5	1	1	1	1	1.0104872	0.007454		a24 3
	5	1	2	1	1	1	1	1.0034225			a24 4
	3	1	2	1	1	1	1	1.0109944	0.007464		a24 5
	3	1	2.5	1	1	1	1	1.0046594			a24 6
	2.5	1	2.5	1	1	1	1	1.0098084	0.005075		a24 7
	2.5	1	3	1	1	1	1	1.0046599			a24 8
	2	1	3	1	1	1	1	1.0109968	0.006239		a24 9
	2	1	5	1	1	1	1	1.0034407			a24 10
	1.5	1	5	1	1	1	1	1.0105152	0.006977		a24 11
	1.5	1	5	2	1	1	1	1.0026134		合計 $\Delta k/k$ 比	a24 12
	1	1	5	2	1	1	1	1.0094348	0.006740	0.03995 1.187	a24 13
	5	2.25	1	1.5	1	1	1	0.9999006			a24 14
	5	1	1	1.5	1	1	1	1.0093123	0.009326		a24 15
	5	1	1	2	1	1	1	1.0004379			a24 16
24-1-4	3	1	1	2	1	1	1	1.0088800	0.008364		a24 17
	3	1	1	2.25	1	1	1	1.0048746			a24 18
	2.5	1	1	2.25	1	1	1	1.0106868	0.005723		a24 19
	2.5	1	1	3	1	1	1	1.0009714			a24 20
	2	1	1	3	1	1	1	1.0087705	0.007724		a24 21
	2	1	1	5	1	1	1	1.0003392			a24 22
	1.5	1	1	5	1	1	1	1.0092163	0.008793		a24 23
	1.5	1	1	5	2	1	1	1.0018080		合計 $\Delta k/k$ 比	a24 24
	1	1	1	5	2	1	1	1.0093114	0.007421	0.04735 1.406	a24 25
	5	2.25	1	1.25	1.25	1	1	1.0009207			a24 26
	5	1	1	1.25	1.25	1	1	1.0105686	0.009538		a24 27
	5	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1	1.0048305			a24 28
	3	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1	1.0123786	0.007420		a24 29
	3	1.25	1.5	1.5	1.5	1.25	1	1.0039837			a24 30
	2.5	1.25	1.5	1.5	1.5	1.25	1	1.0093954	0.005340		a24 31
	2.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1.0059261			a24 32
	2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1.0117720	0.005744		a24 33
	2	1.5	1.75	1.75	1.75	1.5	1	1.0039374			a24 34
	1.5	1.5	1.75	1.75	1.75	1.5	1	1.0097498	0.005734		a24 35
	1.5	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1	1.0045941		合計 $\Delta k/k$ 比	a24 36
	1	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1	1.0082860	0.003645	0.03742 1.112	a24 37

第C-3表 計算結果(24カラム炉心) 2/4

Case	制御棒插入状態							keff	$\Delta k/k$	備考	No.
	R1-1	R1-2	R1-3	R1-4	R1-5	R1-6	Others				
	2	1	2	1	2	1	1	1.0098195	0.031388	補償CR無しの反応度	24 21
	1	1	2	1	2	1	1	1.0218570	0.011665	補償CR無しの1対の反応度	24 22
24-2-1	2	1.5	2	1	2	1	1	1.0066929			24 23
	1.75	1.5	2	1	2	1	1	1.0098631	0.003118		24 24
	1.75	1.75	2	1	2	1	1	1.0076869			24 25
	1.5	1.75	2	1	2	1	1	1.0104650	0.002728		24 26
	1.5	2	2	1	2	1	1	1.0078511			24 27
	1.25	2	2	1	2	1	1	1.0101527	0.002261	1対 全対	24 28
	1.25	2.25	2	1	2	1	1	1.0072880		$\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	24 29
	1	2.25	2	1	2	1	1	1.0091572	0.001839	0.00995 0.853 0.02984 0.951	24 30
24-2-2	2	1	2	1.5	2	1	1	1.0067194			24 31
	1.75	1	2	1.5	2	1	1	1.0103034	0.003524		24 32
	1.75	1	2	1.75	2	1	1	1.0084085			24 33
	1.5	1	2	1.75	2	1	1	1.0119002	0.003422		24 34
	1.5	1	2	2	2	1	1	1.0098661			24 35
	1.25	1	2	2	2	1	1	1.0130961	0.003157	1対 全対	24 36
	1.25	1	2	2.25	2	1	1	1.0110008		$\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	24 37
	1	1	2	2.25	2	1	1	1.0138485	0.002778	0.01288 1.104 0.03864 1.231	24 38
24-2-3	2	1	2	1.5	2	1	1	1.006719			24 31
	1.75	1	2	1.5	2	1	1	1.010303	0.003524		24 32
	1.75	1.25	2	1.5	2	1	1	1.0087544			24 39
	1.5	1.25	2	1.5	2	1	1	1.0120115	0.003191		24 40
	1.5	1.25	2	1.5	2	1.25	1	1.0103173			24 41
	1.25	1.25	2	1.5	2	1.25	1	1.0130450	0.002665	1対 全対	24 42
	1.25	1.5	2	1.5	2	1.5	1	1.0085428		$\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	24 43
	1	1.5	2	1.5	2	1.5	1	1.0105050	0.001925	0.01130 0.969 0.03391 1.080	24 44
24-2-4	2	1	2	1	2	1	1	1.0098195			24 21
	1.75	1	2	1	2	1	1	1.0132284	0.003332		24 45
	1.75	1.75	2	1	2	1	1	1.0076869			24 46
	1.75	1.75	1	2	1	1	1	1.0106179	0.002878		24 47
	1.75	1.75	1.75	1.5	2	1	1	1.0073283			24 48
	1.75	1.75	1.75	1.5	1.75	1	1	1.0106275	0.003241		24 49
	1.75	1.75	1.75	1.5	1.75	1.25	1	1.0089897			24 50
	1.5	1.75	1.75	1.5	1.75	1.25	1	1.0116380	0.002595		24 51
	1.5	1.75	1.75	1.5	1.75	1.5	1	1.0094724			24 52
	1.5	1.75	1.5	1.5	1.75	1.5	1	1.0119126	0.002389		24 53
	1.5	1.75	1.5	1.5	1.75	1.75	1	1.0094695			24 54
	1.5	1.75	1.5	1.75	1.5	1.5	1	1.0119619	0.002440		24 55
	1.5	1.75	1.5	1.75	1.5	1.75	1	1.0092852			24 56
	1.25	1.75	1.5	1.75	1.5	1.75	1	1.0112442	0.001919		24 57
	1.25	2	1.5	1.75	1.5	1.75	1	1.0081491			24 58
	1.25	2	1	1.75	1.5	1.75	1	1.0114143	0.003202		24 59
	1.25	2	1	2	1.5	1.75	1	1.0082420			24 60
	1.25	2	1	2	1	1.75	1	1.0116026	0.003295	全対 合計 $\Delta k/k$ 比	24 61
	1.25	2	1	2	1	2	1	1.0082746			24 62
	1	2	1	2	1	2	1	1.0096756	0.001376	0.02667 0.850	24 63

第C-3表 計算結果(24カラム炉心) 3/4

Case	制御棒挿入状態							keff	$\Delta k/k$	備考	No.
	R1-1	R1-2	R1-3	R1-4	R1-5	R1-6	Others				
24-2-4'	2	1	2	1	2	1	1	1.0098195			24 21
	1.75	1	2	1	2	1	1	1.0132284	0.003332		24 45
	1.75	1.75	2	1	2	1	1	1.0076869			24 46
	1.75	1.75	2	1	1.75	1	1	1.0112987	0.003544		24 64
	1.75	1.75	2	1	1.75	1.5	1	1.0075805			24 65
	1.75	1.75	1.75	1	1.75	1.5	1	1.0106055	0.002971		24 66
	1.75	1.75	1.75	1.25	1.75	1.5	1	1.0089802			24 67
	1.5	1.75	1.75	1.25	1.75	1.5	1	1.0113912	0.002363		24 68
	1.5	1.75	1.75	1.5	1.75	1.5	1	1.0094724			24 69
	1.5	1.75	1.75	1.5	1.5	1.5	1	1.0121815	0.002651		24 70
	1.5	1.75	1.75	1.5	1.5	1.75	1	1.0094608			24 71
	1.5	1.75	1.5	1.5	1.5	1.75	1	1.0119517	0.002438		24 72
	1.5	1.75	1.5	1.75	1.5	1.75	1	1.0092852			24 73
	1.25	1.75	1.5	1.75	1.5	1.75	1	1.0112442	0.001919		24 74
	1.25	1.75	1.5	1.75	1.5	2	1	1.0081491			24 75
	1.25	1.75	1.25	1.75	1.5	2	1	1.0101756	0.001990		24 76
	1.25	2	1.25	1.75	1.5	2	1	1.0068723			24 77
	1.25	2	1.25	1.75	1	2	1	1.0087349	0.001834	全対	24 78
	1.25	2	1.25	2	1	2	1	1.0068673		合計 $\Delta k/k$ 比	24 79
	1	2	1	2	1	2	1	1.0096756	0.002762	0.02580 0.822	24 80
24-3-1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1.0171422	0.024259	補償CR無しの反応度	24 2
	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1.0211049	0.003815	補償CR無しの1対反応度	24 3
24-3-2	1.5	1.75	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1.0145714			24 4
	1.25	1.75	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1.0166016	0.001968	1対 全対	24 5
	1.25	2	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1.0136346		$\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	24 6
	1	2	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1.0151892	0.001511	0.00348 0.912 0.02087 0.861	24 7
24-3-3	1.5	1.5	1.75	1.5	1.5	1.5	1	1.0141262			24 8
	1.25	1.5	1.75	1.5	1.5	1.5	1	1.0168132	0.002606	1対 全対	24 9
	1.25	1.5	2	1.5	1.5	1.5	1	1.0140460		$\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	24 10
	1	1.5	2	1.5	1.5	1.5	1	1.0159088	0.001808	0.00441 1.157 0.02648 1.092	24 11
24-3-4	1.5	1.5	1.5	1.75	1.5	1.5	1	1.0145847			24 12
	1.25	1.5	1.5	1.75	1.5	1.5	1	1.0168554	0.002201	1対 全対	24 13
	1.25	1.5	1.5	2	1.5	1.5	1	1.0141282		$\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	24 14
	1	1.5	1.5	2	1.5	1.5	1	1.0160658	0.001880	0.00408 1.070 0.02449 1.009	24 15

第C-3表 計算結果(24カラム炉心) 4/4

24-4-1	制御棒挿入状態					keff	$\Delta k/k$	備考	No.
C	C	R1-1	R1-4	Others	R3	-2	1.0080354	$\Delta k/k$ 比 0.00238 0.00117 0.00072 0.00041	b24 01 b24 02 b24 03 b24 04 b24 05 b24 06 b24 07
	1.5	1.5	1.5	1.5		-2	1.0104584		
	0.75	1.5	1.5	1.5		-2	1.0092211		
	1.25	1.5	1.5	1.5		-2	1.0069481		
	1.25	1.75	1.5	1.5		-2	1.0076739		
	1	1.75	1.5	1.5		-2	1.0052714		
	1	1.75	1.75	1.5		-2	1.0056854		
R1	R1-1	C	R2-1	Others	R3	-2	1.0122279	$\Delta k/k$ 比 0.00411 0.00174 0.00129 0.00093	b24 08 b24 09 b24 10 b24 11 b24 12 b24 13
	0.75	1.5	1.5	1.5		-2	1.0098104		
	1.25	1.5	1.5	1.5		-2	1.0080342		
	1.25	1.75	1.5	1.5		-2	1.0093514		
	1	1.75	1.5	1.5		-2	1.0083469		
	1	1.75	1.75	1.5		-2	1.0092901		
	0.75	1.75	1.75	1.5		-2	1.0078063		
R2	R2-1	R2-2	R2-6	Others	R3	-2	1.0095617	$\Delta k/k$ 比 0.00150 0.00065 0.00048 0.00034	b24 14 b24 15 b24 16 b24 17 b24 18 b24 19
	0.75	1.5	1.5	1.5		-2	1.0086974		
	1.25	1.5	1.5	1.5		-2	1.0078444		
	1.25	1.75	1.5	1.5		-2	1.0083318		
	1	1.75	1.5	1.5		-2	1.0074574		
	1	1.75	1.75	1.5		-2	1.0078063		
	0.75	1.75	1.75	1.5		-2	1.0078063		

全対

 $\Delta k/k$

0.03482

0.03493 1.003 干渉効果A

第C-4表 計算結果(27カラム炉心) 1/3

Case	制御棒挿入状態							keff	$\Delta k/k$	備考	No.
	R1-1	R1-2	R1-3	R1-4	R1-5	R1-6	Others				
27-1-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1.1308919		24カラム炉心	24 0
	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0080354		臨界 24カラム炉心	24 1
	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1.1583527	0.020963		27 0
	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0346646	0.025532	1.21796 干渉効果B	27 1
	5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0088046	0.024775		a27 1
27-1-2	5	2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0052135			a27 2
	3.5	2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0111984	0.005888		a27 3
	3.5	2.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0070703			a27 4
	3	2.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0112259	0.004081		a27 5
	3	3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0067842			a27 6
	2.5	3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0111656	0.004304		a27 7
	2.5	3.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0069735			a27 8
	2	3.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0110272	0.003982		a27 9
	2	4.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0059184		合計 $\Delta k/k$ 比	a27 10
	1.5	4.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0093964	0.003425	0.02168 0.875	a27 11
27-1-3	5	1.5	2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0028497			a27 12
	3.5	1.5	2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0092372	0.006311		a27 13
	3.5	1.5	2.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0060270			a27 14
	3	1.5	2.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0108428	0.004736		a27 15
	3	1.5	2.75	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0044333			a27 16
	2.5	1.5	2.75	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0105591	0.006035		a27 17
	2.5	1.5	3.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0026839			a27 18
	2	1.5	3.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0092376	0.006476		a27 19
	2	1.5	4.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0046870		合計 $\Delta k/k$ 比	a27 20
	1.5	1.5	4.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0104818	0.005708	0.02927 1.181	a27 21
27-1-4	5	1.5	1.5	1.75	1.5	1.5	1.5	1.0055550			a27 22
	3.5	1.5	1.5	1.75	1.5	1.5	1.5	1.0117867	0.006125		a27 23
	3.5	1.5	1.5	2.25	1.5	1.5	1.5	1.0046164			a27 24
	3	1.5	1.5	2.25	1.5	1.5	1.5	1.0097417	0.005053		a27 25
	3	1.5	1.5	2.75	1.5	1.5	1.5	1.0023838			a27 26
	2.5	1.5	1.5	2.75	1.5	1.5	1.5	1.0092310	0.006768		a27 27
	2.5	1.5	1.5	3.25	1.5	1.5	1.5	1.0031232			a27 28
	2	1.5	1.5	3.25	1.5	1.5	1.5	1.0105029	0.007280		a27 29
	2	1.5	1.5	4	1.5	1.5	1.5	1.0046952		合計 $\Delta k/k$ 比	a27 30
	1.5	1.5	1.5	4	1.5	1.5	1.5	1.0112865	0.006487	0.03171 1.280	a27 31
	5	1.5	1.5	1.75	1.5	1.5	1.5	1.0055550			a27 22
27-1-5	3.5	1.5	1.5	1.75	1.5	1.5	1.5	1.0117867	0.006125		a27 23
	3.5	1.75	1.75	1.75	1.5	1.75	1.5	1.0062033			a27 32
	3	1.75	1.75	1.75	1.5	1.75	1.5	1.0109243	0.004641		a27 33
	3	1.75	1.75	2	1.75	1.75	1.5	1.0058184			a27 34
	2.5	1.75	1.75	2	1.75	1.75	1.5	1.0118221	0.005899		a27 35
	2.5	2	1.75	2	1.75	2	1.5	1.0073680			a27 36
	2	2	1.75	2	1.75	2	1.5	1.0129576	0.005478		a27 37
	2	2	2.25	2	2	2	1.5	1.0059677		合計 $\Delta k/k$ 比	a27 38
	1.5	2	2.25	2	2	2	1.5	1.0100617	0.004029	0.02617 1.056	a27 39

第C-4表 計算結果(27カラム炉心) 2/3

Case	制御棒挿入状態							keff	$\Delta k/k$	備考	No.
	R1-1	R1-2	R1-3	R1-4	R1-5	R1-6	Others				
	2.25	1.5	2.25	1.5	2.25	1.5	1.5	1.0116038	0.022033	補償CR無しの反応度	27 21
	1.5	1.5	2.25	1.5	2.25	1.5	1.5	1.0197115	0.014173	補償CR無しの1対の反応度	27 22
27-2-1	2.25	1.75	2.25	1.5	2.25	1.5	1.5	1.0100061			27 23
	2	1.75	2.25	1.5	2.25	1.5	1.5	1.0129359	0.002864		27 24
	2	2	2.25	1.5	2.25	1.5	1.5	1.0108434			27 25
	1.75	2	2.25	1.5	2.25	1.5	1.5	1.0133038	0.002402	1対 全対	27 26
	1.75	2.25	2.25	1.5	2.25	1.5	1.5	1.0107337		$\Delta k/k$ 比	27 27
	1.5	2.25	2.25	1.5	2.25	1.5	1.5	1.0126657	0.001888	0.00715 0.505 0.02146 0.974	27 28
27-2-2	2.25	1.5	2.25	1.75	2.25	1.5	1.5	1.0100062			27 29
	2	1.5	2.25	1.75	2.25	1.5	1.5	1.0131190	0.003042		27 30
	2	1.5	2.25	2	2.25	1.5	1.5	1.0112497			27 31
	1.75	1.5	2.25	2	2.25	1.5	1.5	1.0141222	0.002801	1対 全対	27 32
	1.75	1.5	2.25	2.25	2.25	1.5	1.5	1.0120285		$\Delta k/k$ 比	27 33
	1.5	1.5	2.25	2.25	2.25	1.5	1.5	1.0145279	0.002434	0.00828 0.584 0.02483 1.127	27 34
27-2-3	2.25	1.5	2.25	1.75	2.25	1.5	1.5	1.0100062			27 29
	2	1.5	2.25	1.75	2.25	1.5	1.5	1.0131190	0.003042		27 30
	2	1.75	2.25	1.75	2.25	1.5	1.5	1.0113909			27 35
	1.75	1.75	2.25	1.75	2.25	1.5	1.5	1.0140556	0.002598	1対 全対	27 36
	1.75	1.75	2.25	1.75	2.25	1.75	1.5	1.0121744		$\Delta k/k$ 比	27 37
	1.5	1.75	2.25	1.75	2.25	1.75	1.5	1.0142591	0.002031	0.00767 0.541 0.02301 1.044	27 38
27-2-4	2.25	1.5	2.25	1.5	2.25	1.5	1.5	1.0116038			27 21
	2	1.5	2.25	1.5	2.25	1.5	1.5	1.0146486	0.002966		27 39
	2	1.5	2.25	1.5	2.25	2	1.5	1.0108439			27 50
	2	1.5	2	1.5	2.25	2	1.5	1.0139790	0.003059		27 51
	2	2	2	1.5	2.25	2	1.5	1.0098346			27 52
	2	2	2	1.5	2	2	1.5	1.0126618	0.002765		27 53
	2	2	2	1.75	2	2	1.5	1.0108209			27 54
	1.75	2	2	1.75	2	2	1.5	1.0129579	0.002087		27 55
	1.75	2	2	2	2	2	1.5	1.0107689			27 56
	1.75	2	1.75	2	2	2	1.5	1.0129409	0.002121		27 57
	1.75	2.25	1.75	2	2	2	1.5	1.0100381			27 58
	1.75	2.25	1.75	2	1.75	2	1.5	1.0122674	0.002180		27 59
	1.75	2.25	1.75	2.25	1.75	2	1.5	1.0093915			27 60
	1.5	2.25	1.75	2.25	1.5	2	1.5	1.0127732	0.003308	全対	27 61
	1.5	2.25	1.75	2.25	1.5	2.25	1.5	1.0095981		$\Delta k/k$ 比	27 62
	1.5	2.25	1.5	2.25	1.5	2.25	1.5	1.0111543	0.001524	0.02001 0.908	27 63
27-2-4'	2.25	1.5	2.25	1.5	2.25	1.5	1.5	1.0116038			27 21
	2	1.5	2.25	1.5	2.25	1.5	1.5	1.0146486	0.002966		27 39
	2	2	2.25	1.5	2.25	1.5	1.5	1.0108434			27 40
	2	2	2	1.5	2.25	1.5	1.5	1.0135705	0.002662		27 41
	2	2	2	1.5	2.25	1.5	1.5	1.0098341			27 42
	2	2	2	2	2.25	1.5	1.5	1.0126618	0.002765		27 43
	2	2	2	2	2	2	1.5	1.0085641			27 44
	1.5	2	2	2	2	2	1.5	1.0125583	0.003911		27 45
	1.5	2.25	2	2	2	2	1.5	1.0096792			27 46
	1.5	2.25	1.5	2	2	2	1.5	1.0133240	0.003562	全対	27 47
	1.5	2.25	1.5	2.25	2	2	1.5	1.0105397		$\Delta k/k$ 比	27 48
	1.5	2.25	1.5	2.25	1.5	2	1.5	1.0142615	0.003631	0.01950 0.885	27 49

第C-4表 計算結果(27カラム炉心) 3/3

Case	制御棒挿入状態							keff	$\Delta k/k$	備考		No.
	R1-1	R1-2	R1-3	R1-4	R1-5	R1-6	Others			補償CRなしの反応度	補償CRなしの1対反応度	
27-3-1	2	2	2	2	2	2	1.5	1.0085641	0.025012	補償CRなしの反応度	27 2	
	1.5	2	2	2	2	2	1.5	1.0125583	0.003911	補償CRなしの1対反応度	27 3	
	2	2.25	2	2	2	2	1.5	1.0059409		1対 全対	27 4	
	1.75	2.25	2	2	2	2	1.5	1.0080048	0.002035	$\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	27 5	
27-3-2	1.75	2.5	2	2	2	2	1.5	1.0049818		$\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	27 6	
	1.5	2.5	2	2	2	2	1.5	1.0065680	0.001568	0.00360 0.921 0.02162 0.864	27 7	
	2	2	2.25	2	2	2	1.5	1.0059677		1対 全対	27 8	
	1.75	2	2.25	2	2	2	1.5	1.0082374	0.002238	$\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	27 9	
27-3-3	1.75	2	2.5	2	2	2	1.5	1.0054324		1対 全対	27 10	
	1.5	2	2.5	2	2	2	1.5	1.0073007	0.001845	0.00408 1.044 0.02450 0.979	27 11	
	2	2	2	2.25	2	2	1.5	1.0059409		1対 全対	27 12	
	1.75	2	2	2.25	2	2	1.5	1.0082268	0.002254	$\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	27 13	
27-3-4	1.75	2	2	2.5	2	2	1.5	1.0054172		1対 全対	27 14	
	1.5	2	2	2.5	2	2	1.5	1.0073526	0.001911	0.00416 1.065 0.02499 0.999	27 15	
	2	2	2	2.25	2	2	1.5	1.0059409		1対 全対	27 16	
	1.75	2	2	2.25	2	2	1.5	1.0082268	0.002254	$\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	27 17	

27-4-1	制御棒挿入状態							keff	$\Delta k/k$	備考		No.
	C	R1-1	R1-4	Others	R3							
C	1.75	1.75	1.75	1.75	-2	1.0170912		R3	0.00179	比 0.960		b27 01
	1.5	1.75	1.75	1.75	-2	1.0189482						b27 02
	1.75	2	1.75	1.75	-2	1.0149337						b27 03
	1.5	2	1.75	1.75	-2	1.0167084	0.00172					b27 04
R1	R1-1	C	R2-1	Others	R3			R3	0.00166	比 0.955		b27 05
	1.5	1.75	1.75	1.75	-2	1.0188165						b27 06
	1.75	2	1.75	1.75	-2	1.0145754						b27 07
	1.5	2	1.75	1.75	-2	1.0162156	0.00159					
R2	R2-1	R2-2	R2-6	Others	R3			R3	0.00055	比 0.983		b27 08
	1.5	1.75	1.75	1.75	-2	1.0176581						b27 09
	1.75	2	1.75	1.75	-2	1.0163684						b27 10
	1.5	2	1.75	1.75	-2	1.0169247	0.00054					

全対

 $\Delta k/k$

0.01507

0.01449 0.962 干渉効果A

第C-5表 計算結果(30カラム炉心) 1/2

Case	制御棒挿入状態							keff	$\Delta k/k$	備考	No.
	R1-1	R1-2	R1-3	R1-4	R1-5	R1-6	Others				
30-1-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1.1583527		27カラム炉心	27 0
	2	2	2	2	2	2	2	0.9989371		27カラム炉心	27 1
	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.0170912	臨界	27カラム炉心	27 2
	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1.1617516		30 0	
	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.0234231	0.002526	2.408 干渉効果B	30 1
	2	2	2	2	2	2	2	1.0062490		2.880 干渉効果B	30 2
	2.5	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.0163162		a30 1	
30-1-2	2.5	2	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.0145898			a30 2
	2.25	2	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.0171546	0.002485		a30 3
	2.25	2.25	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.0149877			a30 4
	2	2.25	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.0171545	0.002099	合計 $\Delta k/k$ 比	a30 5
	2	2.5	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.0145898			a30 6
	1.75	2.5	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.0163147	0.001673	0.00626 0.916	a30 7
30-1-3	2.5	1.75	1.75	2	1.75	1.75	1.75	1.0140581			a30 8
	2.25	1.75	1.75	2	1.75	1.75	1.75	1.0167992	0.002658		a30 9
	2.25	1.75	2.25	1.75	1.75	1.75	1.75	1.0142453			a30 10
	2	1.75	1.75	2.25	1.75	1.75	1.75	1.0167999	0.002477	合計 $\Delta k/k$ 比	a30 11
	2	1.75	1.75	2.5	1.75	1.75	1.75	1.0140586			a30 12
	1.75	1.75	1.75	2.5	1.75	1.75	1.75	1.0163147	0.002189	0.00732 1.072	a30 13
30-1-4	2.5	1.75	1.75	2	1.75	1.75	1.75	1.0140581			a30 14
	2.25	1.75	1.75	2	1.75	1.75	1.75	1.0167992	0.002658		a30 15
	2.25	2	1.75	2	1.75	1.75	1.75	1.0149599			a30 16
	2	2	1.75	2	1.75	1.75	1.75	1.0173161	0.002282	合計 $\Delta k/k$ 比	a30 17
	2	2	1.75	2	1.75	2	1.75	1.0153365			a30 18
	1.75	2	1.75	2	1.75	2	1.75	1.0172015	0.001806	0.00675 0.987	a30 19
30-2-1	2.25	1.75	2.25	1.75	2.25	1.75	1.75	1.0096681	0.013311	補償CR無しの反応度	30 41
	1.75	1.75	2.25	1.75	2.25	1.75	1.75	1.0143939	0.004614	補償CR無しの1対の反応度	30 42
30-2-2	2.25	2	2.25	1.75	2.25	1.75	1.75	1.0079749		1対 全対	30 43
	2	2	2.25	1.75	2.25	1.75	1.75	1.0104120	0.002393	$\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	30 44
	2	2.25	2.25	1.75	2.25	1.75	1.75	1.0082206			30 45
	1.75	2.25	2.25	1.75	2.25	1.75	1.75	1.0101485	0.001893	0.00429 0.929 0.01286 0.966	30 46
30-2-3	2.25	1.75	2.25	2	2.25	1.75	1.75	1.0079749		1対 全対	30 47
	2	1.75	2.25	2	2.25	1.75	1.75	1.0105894	0.002567	$\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	30 48
	2	1.75	2.25	2.25	2.25	1.75	1.75	1.0085994			30 49
	1.75	1.75	2.25	2.25	2.25	1.75	1.75	1.0108774	0.002234	0.00480 1.040 0.01440 1.082	30 50
30-2-4	2.25	1.75	2.25	2	2.25	1.75	1.75	1.0079749		1対 全対	30 47
	2	1.75	2.25	2	2.25	1.75	1.75	1.0105894	0.002567	$\Delta k/k$ 比 $\Delta k/k$ 比	30 48
	2	2	2.25	2	2.25	1.75	1.75	1.0087591			30 51
	1.75	2	2.25	2	2.25	1.75	1.75	1.0108514	0.002052	0.00462 1.001 0.01386 1.041	30 52

第C-5表 計算結果(30カラム炉心) 2/2

Case	制御棒挿入状態							keff	$\Delta k/k$	備考	No.
	R1-1	R1-2	R1-3	R1-4	R1-5	R1-6	Others				
30-2-4	2.25	1.75	2.25	1.75	2.25	1.75	1.75	1.0096681			30 41
	2	1.75	2.25	1.75	2.25	1.75	1.75	1.0122236	0.002500		30 53
	2	1.75	2.25	1.75	2.25	2.25	1.75	1.0082206			30 54
	2	1.75	2	1.75	2.25	2.25	1.75	1.0108677	0.002597		30 55
	2	2	2	1.75	2.25	2.25	1.75	1.0088954			30 56
	2	2	2	1.75	2	2.25	1.75	1.0111834	0.002243		30 57
	2	2	2	2	2	2.25	1.75	1.0092465			30 58
	1.75	2	2	2	2	2.25	1.75	1.0110358	0.001754		30 59
	1.75	2.25	2	2	2	2.25	1.75	1.0085834			30 60
	1.75	2.25	2	2	1.75	2.25	1.75	1.0104114	0.001794	全対	30 61
	1.75	2.25	2	2.25	1.75	2.25	1.75	1.0079743		$\Delta k/k$ 比	30 62
	1.75	2.25	1.75	2.25	1.75	2.25	1.75	1.0096663	0.001663	0.01255 0.943	30 63

Case	制御棒挿入状態							keff	$\Delta k/k$	備考	No.
	R1-1	R1-2	R1-3	R1-4	R1-5	R1-6	Others				
	2	2	2	2	2	2	1.75	1.0115459	0.011473	補償CR無しの反応度	30 2
	1.75	2	2	2	2	2	1.75	1.0134511	0.001858	補償CR無しの1対反応度	30 3
30-3-1	2	2.25	2	2	2	2	1.75	1.0092463		$\Delta k/k$ 比	30 4
	1.75	2.25	2	2	2	2	1.75	1.0110365	0.001754	$\Delta k/k$ 比 0.00175 0.944 0.01053 0.918	30 5
30-3-2	2	2	2.25	2	2	2	1.75	1.0092463		$\Delta k/k$ 比	30 6
	1.75	2	2.25	2	2	2	1.75	1.0111822	0.001897	$\Delta k/k$ 比 0.00190 1.021 0.01138 0.992	30 7
30-3-3	2	2	2	2.25	2	2	1.75	1.0092463		$\Delta k/k$ 比	30 8
	1.75	2	2	2.25	2	2	1.75	1.0112137	0.001928	0.00193 1.037 0.01157 1.008	30 9
30-3-4	2	2.25	2	2.25	2	2	1.75	1.0069122		$\Delta k/k$ 比	30 10
	1.75	2.25	2	2.25	2	2	1.75	1.0087588	0.001818	0.00182 0.978 0.01091 0.951	30 11

Case	制御棒挿入状態							keff	$\Delta k/k$	備考	No.
	C	R1-1	R1-4	Others	R3						
	C	2	2	2	-2	1.0062490					b30 01
	1.75	2	2	2	-2	1.0083016	0.00202				b30 02
	2	2.25	2	2	-2	1.0041367			比		b30 03
	1.75	2.25	2	2	-2	1.0061071	0.00195		0.964		b30 04
R1	R1-1	C	R2-1	Others	R3						
	1.75	2	2	2	-2	1.0079483	0.00168				b30 05
	2	2.25	2	2	-2	1.0035226			比		b30 06
	1.75	2.25	2	2	-2	1.0051374	0.00160		0.956		b30 07
R2	R2-1	R2-2	R2-6	Others	R3						
	1.75	2	2	2	-2	1.0067823	0.00053				b30 08
	2	2.25	2	2	-2	1.0055726			比		b30 09
	1.75	2.25	2	2	-2	1.0060965	0.00052		0.984		b30 10

全対
 $\Delta k/k$
0.01523
0.01466 0.962 干渉効果A

This is a blank page.

国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	N·m
工率、放射束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クーロン	C	A·s
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束密度	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束度	ルーメン	lm	cd·sr
照度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名 称	記 号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ', "
リットル	L, l
トントン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

(注)

- 表1～5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC開発理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換 算 表

力	N(=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

$$\text{粘度 } 1 \text{ Pa}\cdot\text{s}(N\cdot\text{s}/\text{m}^2) = 10 \text{ P(ボアズ)}(\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}))$$

$$\text{動粘度 } 1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St(ストークス)}(\text{cm}^2/\text{s})$$

圧力	MPa(=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻²
	6.89476 × 10 ⁻³	7.03070 × 10 ⁻²	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft · lbf	eV	1 cal = 4.18605 J(計量法)					
								熱化学	15 °C	国際蒸気表	仕事率 1 PS(仏馬力)	= 75 kgf·m/s	= 735.499 W
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸	= 4.184 J	= 4.1855 J	= 4.1868 J	仕事率 1 PS(仏馬力)	= 75 kgf·m/s	= 735.499 W
	9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹						
	3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵						
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹						
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹						
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸						
	1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1						

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹
	3.7 × 10 ¹⁰	1

吸収線量	Gy	rad	照 射 線 量	
			C/kg	R
	1	100	1	3876
	0.01	1	2.58 × 10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem	線量当量	
			1	100
	0.01	1		

(86年12月26日現在)

（略）