PNC-TJ9164 97-001

実証炉設計用統合炉定数の整備（その３）

＜「常陽」性能試験・運転データ解析＞

（動力炉・核燃料開発事業団　契約業務報告書）

1 9 9 7年3月

株式会社　東　芝

PNC-TJ9164 97-001

1997年 3月

実証炉設計用統合炉定数の整備（その3）
＜「常陽」性能試験・運転データ解析＞

山岡　光明[1]、川島　正俊[1]

要　旨

実証炉の基本設計から許認可まで一貫して使用できる統合炉定数の作成のために、従来の積分データとしては使用できなかった小型高速炉「常陽」の測定値および解析値を整備した。

本検討では、臨界実験データを補完する実機データとして、「常陽」性能試験・運転特性データの解析を評価済核データ JENDL-3.2 から作成された高速炉用定数セットを使用して解析し、炉定数調整用積分データとして提示した。これは、実験炉「常陽」ＭＫ－１炉心およびＭＫ－２炉心の積分特性を統一した視点から評価したはじめての解析である。

今年度は、臨界性、Ｎａボイド反応度、燃料置換反応度、燃焼係数を対象とし、解析・測定値について、誤差評価と相関係数の設定を行った。

今後は、臨界実験解析の結果等との比較、炉定数調整への寄与などを更に調べ、炉定数調整への利用データの追加などを行い、大型から小型炉までの予測精度を整合させていく必要がある。

本報告書は株式会社東芝が動力炉・核燃料開発事業団との契約により実施した業務の成果である。

契約番号：０８Ｃ３３６５

事業団担当部課：大洗工学センター基盤技術開発部・炉心技術開発室

事業団担当者：　石川　真

(1) 株式会社東芝　原子力技術研究所　原子炉技術担当

PNC-TJ9164 97-001
March, 1997

Preparation of Unified Cross Section Library for Demonstration Fast Breeder Reactor (III)
<Analysis of Reactor Physics Experiment in "JOYO" Startup Test>

Mitsuaki YAMAOKA* and Masatoshi KAWASHIMA*

ABSTRACT

To prepare unified library applicable to licensing calculation of the demonstration fast breeder reactor as well as base design calculation, the experimental data of the small reactor "JOYO" were re-evaluated and analyzed that had not been utilized in cross section adjustment before.

The data of "JOYO" startup tests and operation were analyzed with cross section set based on the evaluated nuclear data library JENDL3.2 to provide integral data for cross section adjustment as power reactor data to supplement critical experiment data.

The analysis is the first work that evaluated the core characteristics of "JOYO" MK-I and MK-II cores consistently.

In the present work, errors and their correlation factors of both experiment and analysis data were evaluated for criticality, sodium void worth, fuel replacement worth and burnup coefficient.

The recommended future work includes comparison of results with critical experiments, addition of experiment data to adjustment so as to reduce of dependency of prediction error upon core size.

This work was performed by Toshiba Corporation under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

Contract Number ; 08C3365

PNC Liaison ; Makoto Ishikawa, Reactor Physics Research Section,
Advanced Technology Division, O-arai Engineering Center

*)Nuclear Engineering Laboratory, Toshiba Corporation

目　次

表リスト

図リスト

1．はじめに

近年、臨界実験解析などの炉物理研究の成果を大型炉炉心の核設計に反映する手法として、ベイズの定理を基礎とした炉定数調整法が採用されている。動燃殿では、１９８９～１９９１年度に原電殿との共同研究として、ＪＥＮＤＬ－２ベースの基本炉定数を用いてＪＵＰＩＴＥＲ実験解析の結果を反映した修正炉定数を作成している。この１９９１年度版の修正炉定数は、従来、大型模擬臨界実験解析で指摘されてきた制御棒価値及び出力分布のC/E値径方向依存性やＮａボイド反応度の過大評価などを大幅に是正して、かなりの程度で核設計精度を向上させることが示されている。これまで、原電殿の実証炉最適化設計研究や動燃殿の大型炉設計研究において有効に利用されている。

しかし、この１９９１年度版は、積分データとしてＪＵＰＩＴＥＲ実験のみを用いていること、燃焼核特性や温度核特性を扱っていないこと、基本ライブラリが１９８０年代前半に作成されたＪＥＮＤＬ－２ベースであったこと、非弾性散乱マトリックスの調整を行っていないことなど更に改善すべき課題もある。実証炉の基本設計のようなより高度な精度が要求される設計段階においては、最新の研究成果を反映して改良を施す必要があることが認識されている状況である。このような研究の進め方は、動燃殿と原電殿の協議により、実証炉の炉心設計手法及びツールの整備は動燃殿が行うことが決定されている。

本研究は、上記の背景の基で、１９９４年に公開された我が国の最新ライブラリであるＪＥＮＤ－３．２を対象とし、動燃殿が所有している「もんじゅ」炉物理試験データや「常陽」性能試験・運転特性データ、およびＪＵＰＩＴＥＲ以外にこれまでの炉物理研究で蓄積されてきたＭＯＺＡＲＴやＺＰＰＲ－２，３の臨界実験データまで積分データを拡張し、さらに燃焼核特性・温度核特性までその評価対象を広げて、予測精度及び信頼性を向上させることにより、実証炉の基本設計から許認可まで一貫して使用できる統合炉定数を作成することを目的としている。

本件では、この実証炉設計用統合炉定数の整備の（その３）として、臨界実験データを補完する実機データとして、「常陽」性能試験・運転特性データの解析を行い、炉定数調整用積分データとして整備することを作業内容としている。

(1)「常陽」性能試験・運転特性データ解析

実験炉「常陽」は、我が国で最初の高速炉実機であり、増殖炉であるＭＫ－１炉心、照射炉であるＭＫ－２炉心の２つのフェーズからなる。ここでの解析に用いる核データライブラリはＪＥＮＤＬ－３．２とし、解析手法は基本的にはＪＵＰＩＴＥＲ実験解析

の標準手法に準じるが、実機であることによる解析モデルの変更は必要に応じて実施した。今年度の解析は、臨界性、Ｎａボイド反応度、燃料置換反応度、燃焼係数を対象とし、解析結果は臨界実験解析の結果等と比較して、相互の整合性を評価した。

(2)「常陽」性能試験・運転特性データ解析の誤差評価

解析で得られた最確Ｃ/Ｅ値に対し、炉定数調整で必要となる各種の誤差評価を行った。ここでは１９９１年に作成した大型炉用修正炉定数での誤差評価の考え方をベースとした。

(a) 実験誤差の評価

各測定の試験体系・方法を詳細に調査し、実験誤差の要因と定量的な値を整理した。ここでは測定実施機関の報告を基本とするが、炉定数調整用データとしての整合性の観点から必要な場合には、誤差項目の追加または誤差評価値の見直し調査を行った。

(b) 解析誤差の評価

解析誤差は、標準解析手法における各種の補正係数、及び複数の解析モデルの違いによる解析値の差などを定量的に評価した結果をもとに設定した。

(c) 相関係数の評価

上記の実験誤差及び解析誤差に対して、異なる炉心間・炉内位置間・核特性間などに依存する相関係数を設定した。

(3)「常陽」性能試験・運転特性データの感度係数計算

上記で解析した「常陽」性能試験・運転特性データについて、一般化摂動理論による断面積の感度係数計算を行い、比較検討を行い炉定数調整に反映した。

２．「常陽」性能試験・運転特性データ解析

実験炉「常陽」は、我が国で最初の高速炉実機であり、増殖炉であるＭｋ－Ⅰ炉心、照射炉であるＭｋ－Ⅱ炉心の２つのフェーズからなる。ここでの解析に用いる核データライブラリはＪＥＮＤ－３．２とし、解析手法は基本的にはＪＵＰＩＴＥＲ実験解析の標準手法に準じるものとした。今年度の解析は、臨界性、Ｎａボイド反応度、燃料置換反応度、燃焼係数を対象とし、解析結果は臨界実験解析の結果等と比較して、相互の整合性を評価した。

2.1 解析手法と解析モデル

ここでは、基本的な解析手法と解析モデルを示す。特性により異なる場合は、各特性の項で述べる。なお、解析に用いた各炉心の領域ごと原子数密度は付録Ａに示す。

(1) 基本手法

解析手法は基本的にはJUPITER実験の解析手法に基づく。即ち、JFS3型炉定数をベースに実効断面積計算コードにより自己遮蔽を考慮した実効断面積を求め、必要に応じてエネルギー縮約を行い、三次元拡散計算を基準計算とし、輸送効果、メッシュ効果、エネルギー縮約効果等の補正係数を別途求めて補正する手法である。基本解析手法と解析モデルによる解析の流れを図2.1-1 に示す。

(2) 集合体均質化

集合体均質化は、平均原子数密度による均質モデルと、２ステップ非均質モデル（参考文献１、２）により行った。非均質モデルの詳細を表2.1-1 に示す。２ステップ非均質モデルの解析モデルを図2.1-2 に示す。本モデルでは次の２ステップモデルで非均質効果を取り入れる。

○第１ステップ；ピンセル＋ラッパ管＋ギャップNa

１本のピンセルの均質化を行うが、ラッパ管やギャップNaによる自己遮蔽への影響を取り入れるために、ピンセル内の冷却材の外にピン１本あたりの面積としたラッパ管＋ギャップNaの均質化領域を巻く。中央部のピンと外側のピンで自己遮蔽効果が同じになり、平均的に自己遮蔽効果が緩和されすぎ流刑高があるが、逆にラッパ管＋ギャップNaの均質化領域を巻かない場合には自己遮蔽効果が過度になる。実際はこれらの中間となり、どちらに近いかは集合体の大きさに依存する。均質化はラッパ管＋ギャップNaを除いて、ピンセル部のみを対象として行う。

○第２ステップ；均質化ピンセル＋ラッパ管＋ギャップNa

このステップのモデルは集合体レベルでの非均質効果を取り入れた均質化を行うために、バンドル部・ラッパ管・ギャップNaを模擬したモデルである。バンドル部の断面積には第１ステップで求めたピンセル断面積を適用する。この第２ステップで均質化した断面積が拡散計算・輸送計算等に用いられる。

ここで、第２ステップで得られた非等方拡散係数には、ピンセルでの非等方効果は含まれない。これは、第２ステップではピンセルは既に均質化されているためである。そこで、この効果を取り入れるため、補正計算として、第１ステップにおいて得られた断面積を用いた拡散計算を行い、非等方拡散係数の場合と、等方拡散係数の場合の実効増倍率の差を求める。（参考文献３）これを用いて第２ステップ断面積・非等方拡散係数による実効増倍率を補正することとする。なお、基準計算ではすべて等方拡散係数として、以下のように２段階で補正しても同じである。（以下、第１ステップはピンセルと表現）

Ａ；非均質モデル（ピンセル、非等方）－非均質モデル（ピンセル、等方）

Ｂ；非均質モデル（第２ステップ、非等方）－非均質モデル（第２ステップ、等方）

Ａはピンセルでの非等方効果、Ｂは第２ステップモデル（集合体モデル）での非等方効果である。これを基準計算であるＣ；非均質モデル（第２ステップ、等方）に加えれば、結果は下記となる。

Ａ＋Ｂ＋Ｃ

＝非均質モデル（第２ステップ、非等方）＋非均質モデル（ピンセル、非等方）

－非均質モデル（ピンセル、等方）

＝非均質モデル（第２ステップ、非等方）＋ Ａ

即ち、非均質モデル（第２ステップ、非等方）を基準計算としてＡを補正しても同じである。表2.1-1では後者の考えで説明してある。

なお、ここで拡散係数は、均質モデル・非均質モデルともにカレント重みとした。また、等方拡散係数は１／（３Σtr）である。（Σtr；カレント重み輸送断面積）

制御棒については、リングモデルによる均質化を行った。これは「もんじゅ」性能試験・制御棒価値の解析（参考文献４）で用いられているモデルと同様である。調整棒断面図を図2.1-3 、解析モデルを図2.1-4 に示す。

(3) 臨界性の解析手法

臨界性の解析手法を表2.2-2 に示す。

基準計算は三次元HEX-Z１８群拡散計算とする。７０群から１８群への縮約は二次元ＲＺモデルにより行う。

補正としては、メッシュ補正、エネルギー縮約補正、輸送補正を考える。輸送補正では二次元ＲＺ７０群輸送計算と同一モデルの拡散計算の差より求めた。ここで、輸送計算の輸送断面積、比較用拡散計算の拡散係数（等方拡散係数）はどちらもカレント重みとした。等方拡散係数は１／（３Σtr）である。（Σtr；カレント重み輸送断面積）　輸送計算ではＳｎオーダー補正、メッシュ補正を行い、拡散計算ではメッシュ補正を行った後に差を取る。

メッシュ補正、 Ｓｎオーダー補正は無限大への外挿を行って得る。この方法を以下に示す。

keff（無限メッシュ）＝（4/3）*keff(基準メッシュ）-（1/3）*keff（倍メッシュ）

これは二次元ＲＺモデルに適用される。Ｓｎオーダー補正も同様である。これは、メッシュ幅の（Ｓｎオーダー補正では角度分点の幅）の二乗の逆数にメッシュ効果が比例するとの考えに基づく。

炉心モデルは個々の特性解析のところで述べる。

(4) 解析誤差の評価

解析誤差については第３章で詳しく述べるが、基本的に各種補正量をもとに、解析誤差は補正量に比例するとしてその５０％と評価した。

表2.1-1　集合体均質化モデル

項目	炉心及びブランケット	左記以外の集合体
計算コード	ＳＬＡＲＯＭ	同左
均質化モデル	２ステップ非均質モデル（図2.1-2参照） 第１ステップ；ピンセル＋ラッパ管＋ギャップNa 第２ステップ；均質化ピンセル＋ラッパ管＋ギャップNa	均質モデル
拡散係数の定義	カレント重み	同左
拡散係数方向性	基準計算では等方とし、非等方効果は補正とする。 補正方法は、ピンセル非等方効果とラッパ管／ギャップNa非等方効果に分ける。 ピンセル非等方効果；第１ステップのみにより均質化した断面積を用いて、非等方拡散係数／等方拡散係数の場合の実効増倍率の差より評価 ラッパ管／ギャップNa非等方効果；第２ステップからの断面積を用いて、非等方拡散係数／等方拡散係数の場合の実効増倍率の差より評価	等方
バックリング	臨界サーチ	=0.0

注）燃料及びブランケットでは均質モデルも設定

表2.1-2　常陽・臨界性解析方法

項目	方法	使用コード
断面積均質化	均質モデル／２ステップ非均質モデル（図2.1-2）	SLAROM
エネルギー縮約	二次元ＲＺ７０群拡散（１８群へ）	CITATION
基準計算	三次元ＨＥＸ－Ｚ１８群拡散	CITATION
補正計算		
メッシュ補正	三次元ＴＲＩ－Ｚ１８群拡散と基準計算の結果より外挿	CITATION
エネルギー縮約	二次元ＲＺ７０／１８群拡散の比較	CITATION
輸送効果	二次元ＲＺ７０群輸送計算（Ｓｎ）と	TWOTRAN-II
	二次元ＲＺ７０群群拡散計算を比較	CITATION

注１）　拡散係数の定義；カレント重み

（基準拡散計算、輸送計算の比較用拡散計算とも）

輸送計算における輸送断面積の定義；カレント重み

注２）　拡散係数の非等方性の扱い；基準拡散計算→非等方拡散係数

輸送計算の比較用拡散計算→等方拡散係数

等方拡散係数は１／（３Σtr）　（Σtr；カレント重み輸送断面積）

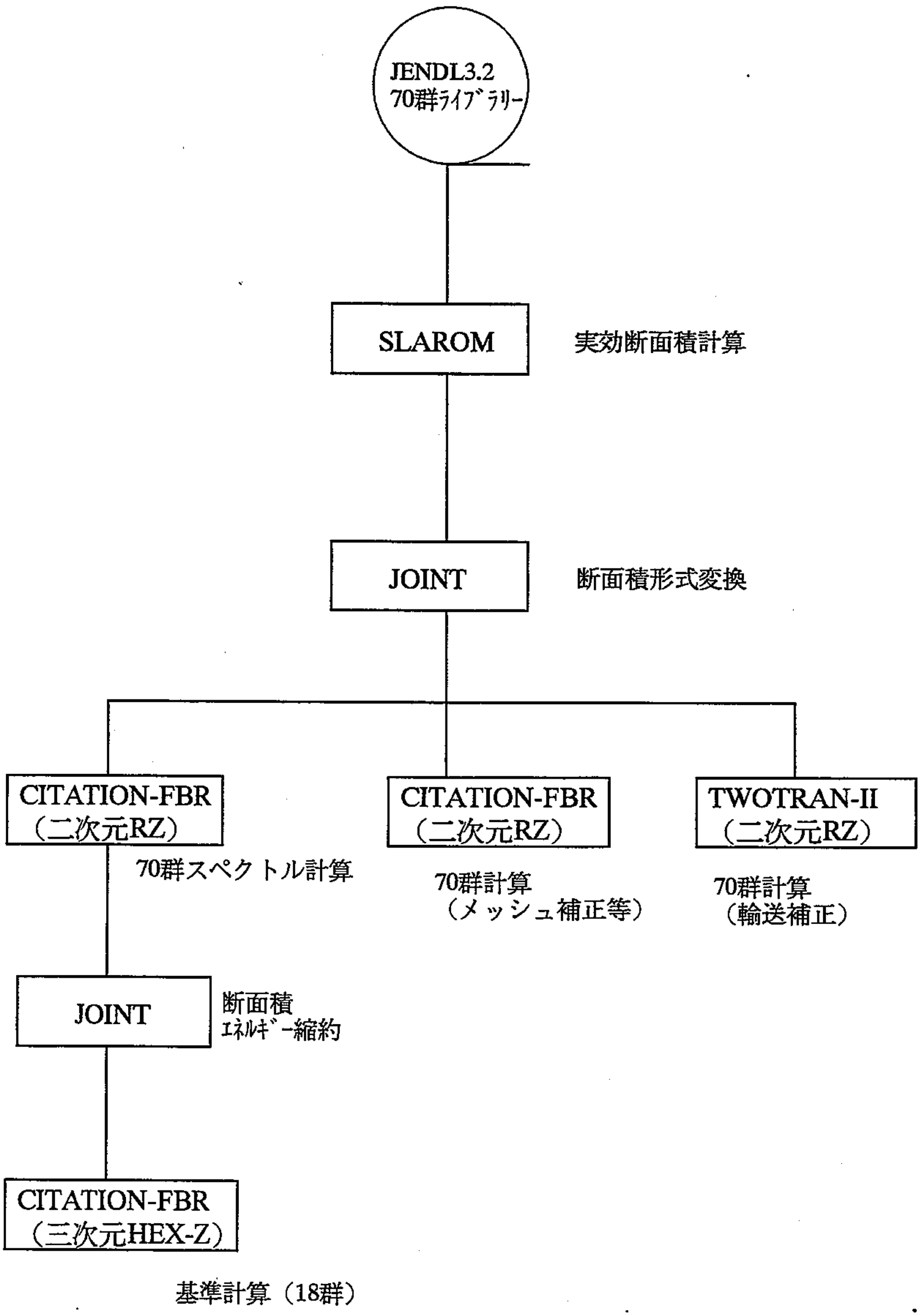
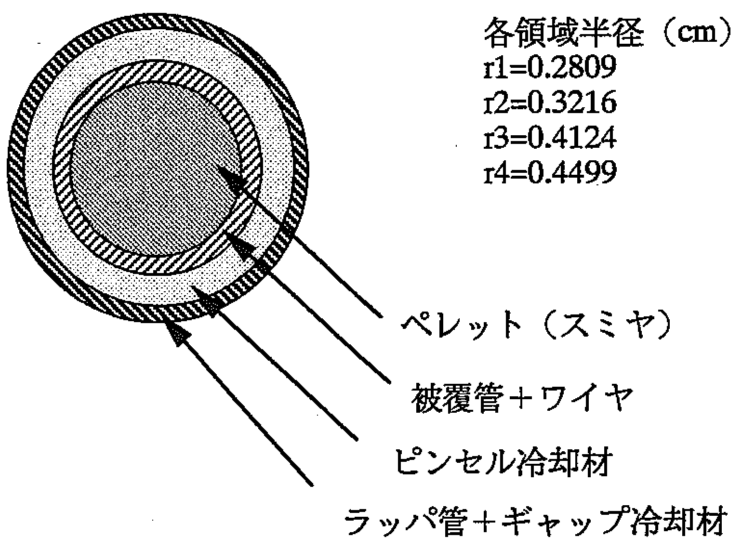
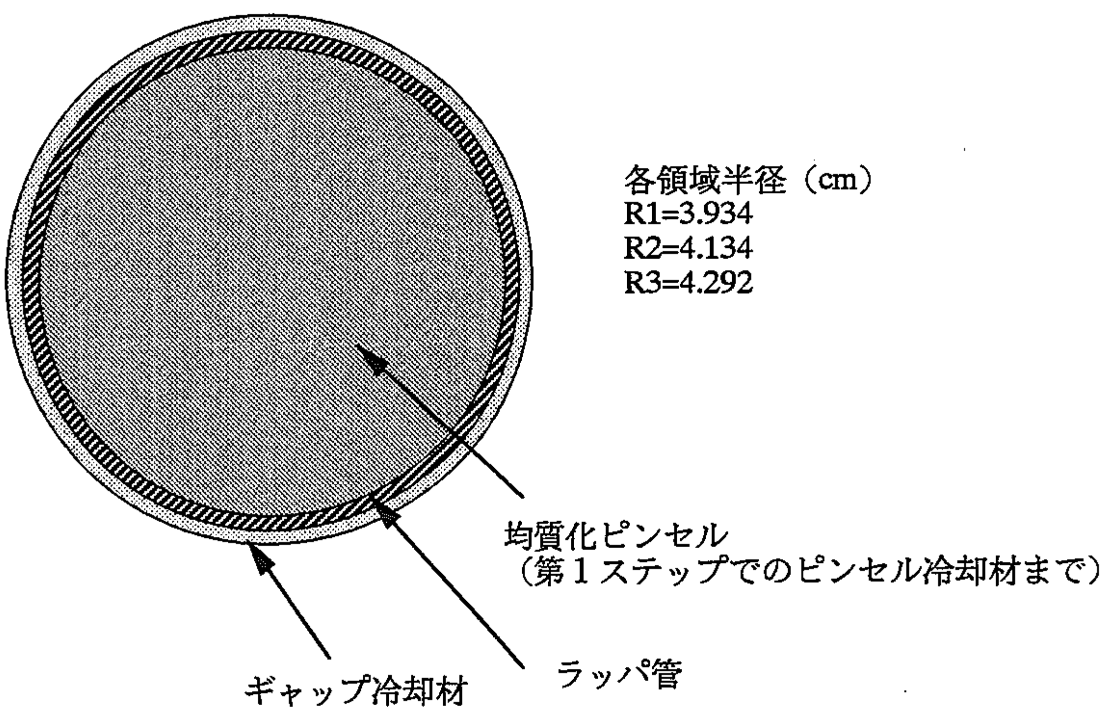


図2.1-1 常陽・試験解析における計算フロー

（1）第1ステップ



（2）第2ステップ



注；数値はMK-I炉心燃料の場合

図2.1-2　炉心燃料集合体均質化モデル；2ステップ非均質モデル

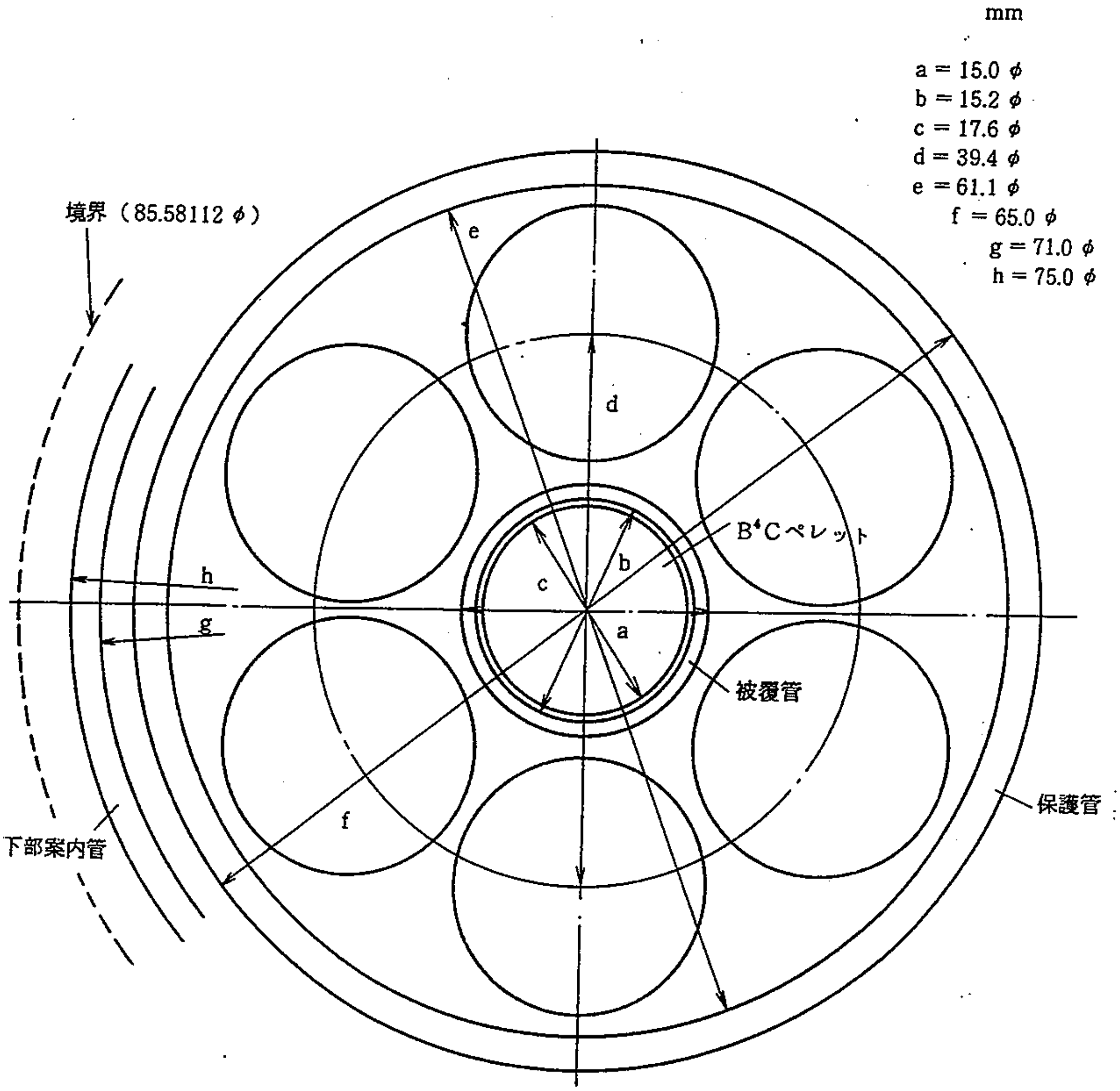


図 2.1-3　制御棒断面図（20℃）

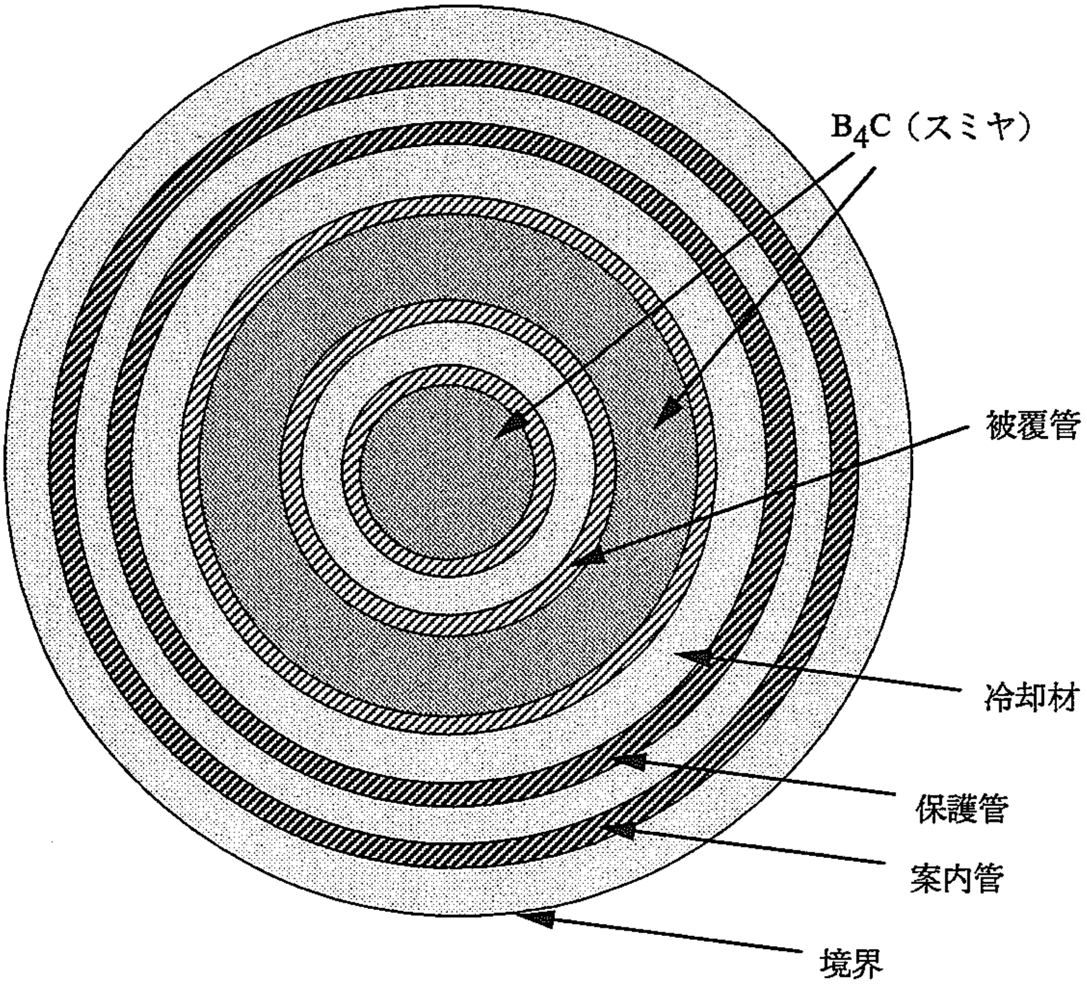


図2.1-4　制御棒均質化モデル（リング化モデル）

2.2 臨界性の解析

2.2.1 常陽MK－Ⅰ臨界性の解析

(1) 試験結果

図2.2.1-1 に最小臨界体系（初臨界体系）を示す。このときの炉心状態は下記であった。（参考文献５、６）

●炉心燃料本数　　６４

●冷却材温度　　２０５℃

●実効増倍率測定値　　1.0028　（今回見直した実効遅発中性子発生割合による）

実効増倍率測定値は、制御棒全引き抜き時への補正後の値である。解析は、上記の冷却材温度の体系寸法・原子数密度を用いて行う。

(2) 炉心モデル

基準計算である三次元拡散計算は、図2.2.1-1 をモデル化し、１８群エネルギーでHEX-Zモデルとした。空間メッシュは、径方向は集合体あたり１、軸方向は５ｃｍ幅とした。

各種補正係数を求めるための二次元ＲＺモデルを図2.2.1-2 に示す。二次元ＲＺモデルのメッシュ幅は、基準メッシュ5cm幅、倍メッシュ2.5cm幅とした。なお、群縮約効果は、倍メッシュを用いて評価した。

(3) 解析結果

臨界性の解析結果を表2.2.1-1 に示す。各補正として、輸送効果を表2.2.1-2、群縮約効果を表2.2.1-3、非均質効果を表2.2.1-4 に示す。

各補正係数のうち、メッシュ効果と輸送効果の補正が非常に大きい。但し、これらが相殺して補正係数の合計は約0.5%Δk程度となる。燃料非均質効果は約0.2%Δkと小さい。燃料の非均質効果をまとめると下記である。

燃料非均質効果

・断面積への非均質効果　　0.3%Δk

・ストリーミング効果　　-0.1%Δk

合計　　0.2%Δk

原型炉・大型炉クラスの0.4%Δk-0.6%Δkと比べて小さいが、これは集合体が小さいことと、高fissile（U238が少ない）であることによると考えられる。

C／E値は約0.994が得られた。

2.2.2 常陽ＭＫ－ＩＩ臨界性の解析

(1) 試験結果

図2.2.2-1 に最小臨界体系（初臨界体系）を示す。このときの炉心状態は下記であった。（参考文献７）

●炉心燃料本数　　　　５０／５１

●冷却材温度　　　　　２４６℃

●実効増倍率測定値　　1.0001/1.0048（今回見直した実効遅発中性子発生割合による）　上記のように２体系のデータが報告されているが、初臨界は５１体炉心であり、それをもとに最小臨界が５０体と評価され、５０体の測定も行われた経緯による。

実効増倍率測定値は、制御棒全引き抜き時への補正後の値である。解析は、上記の冷却材温度の体系寸法・原子数密度を用いて行う。原子数密度は付録Ａに示すが、中性子源については参考文献（８）を用いた。

(2) 炉心モデル

基準計算である三次元拡散計算は、図2.2.2-1 をモデル化し、１８群エネルギーでHEX-Zモデルとした。空間メッシュは、径方向は集合体あたり１、軸方向は５ｃｍ幅とした。

各種補正係数を求めるための二次元ＲＺモデルを図2.2.2-2 に示す。二次元ＲＺモデルのメッシュ幅は、基準メッシュ5cm幅、倍メッシュ2.5cm幅とした。なお、群縮約効果は、倍メッシュを用いて評価した。

(3) 解析結果

臨界性の解析結果を表2.2.2-1 （５１体）、表2.2.2-2 （５０体） に示す。補正として、輸送効果、群縮約効果、非均質効果をそれぞれ表2.2.2-3, -4, -5 に示す。メッシュ効果は炉心室殿メモ（参考文献９）を参考とした。補正のうち、中性子源組成見直し効果は、本計算に用いた中性子源組成（参考文献８）がその後再評価され変更があったので、参考文献（１０）に報告された見直し効果を引用したものである。

各補正係数のうち、メッシュ効果と輸送効果の補正が非常に大きいことがわかる。ＭＫ－Ｉの場合と同様に、これらがかなり相殺して補正係数の合計は約1.0%Δk程度となる。但

し、ＭＫ－Ｉ体系の補正合計値約0.5%Δkの２倍である。これは、一部相殺しあう輸送効果とメッシュ効果についてみると、ＭＫ－Ｉ体系と比べて正の輸送効果が大きく負のメッシュ効果が小さいので相殺され残る部分が大きいためである。これは炉心組成、寸法等の影響の他、炉心周囲がブランケットではなく反射体である影響が考えられる。非均質効果はMK-I体系よりも0.1%Δk小さい0.2%Δkである。これは、主として燃料ピン径が細いことが原因と考えられる。付録ＡからU-238原子数密度は同程度であるのでU-238自己遮蔽効果の差は小さいと考えられる。

Ｃ／Ｅ値としては両体系とも約0.996が得られた。

2.2.3 JUPITER臨界性Ｃ／Ｅ値との比較

常陽ＭＫ－Ｉ，ＩＩの初臨界体系臨界性Ｃ／Ｅ値として下記の値が得られた。

○ＭＫ－Ｉ　　0.994

○ＭＫ－ＩＩ　　0.996

ＭＫ－ＩＩのＣ／Ｅ値が0.2%大きい。JUPITER均質体系のＣ／Ｅ値はおおむね0.993-0.994(JENDL3.2)であり、ＭＫ－ＩのＣ／Ｅ値はかなり一致しているといえる。ＭＫ－ＩＩではＭＫ－ＩよりもPu富化度が高く、U濃縮度が低いこと、ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄがなく直接反射体が炉心に接していることの差があり、これが上記の差の要因と考えられる。

ＭＫ－ＩではJUPITER均質体系と整合するものの、炉心組成として濃縮Ｕを用いていること、高次Puを用いていることもあり、単純なサイズ依存性ではなく、これらの総合としての結果とみる必要がある。

表2.2.1-1　常陽MK－Ｉ初臨界体系（６４体）の臨界性解析結果

項目	結果	備考
基準計算（三次元HEXA-Z, 18群）	0.9911	
補正量		
メッシュ効果	-0.0142 ±	炉心室殿メモ（参考文献８）より
エネルギー群縮約	-0.0002 ± 0.0001	表2.2.1-3
非均質効果	0.0019 ± 0.0010	表2.2.1-4
輸送効果	0.0177 ±	表2.2.1-2
（メッシュ＋輸送の誤差）	± 0.0018	両効果の和に対して誤差を設定
補正合計	0.0052	
補正後のkeff（Ｃ）	0.9964 ± 0.0020	
測定値（Ｅ）	1.0028	
Ｃ／Ｅ	0.9936	

解析誤差の設定；補正量の５０％の積み上げ

表2.2.1-2　臨界性への輸送効果（二次元RZモデルでの評価）

MK－I

	実効増倍率	補正 Δk
７０群RZ拡散計算（基準メッシュ）	0.98706	
７０群RZ拡散計算（RZ倍メッシュ）	0.98547	-0.00159
７０群RZ拡散計算（無限メッシュ）	**0.98494**	-0.00212
７０群RZ輸送計算（基準メッシュ、Ｓ４）	1.00447	
７０群RZ輸送計算（RZ倍メッシュ、Ｓ４）	1.00477	0.00030
７０群RZ輸送計算（基準メッシュ、Ｓ８）	1.00269	-0.00178
７０群RZ輸送計算（無限メッシュ、Ｓ∞）	**1.00250**	-0.00197
輸送効果		**0.01756**

注）断面積は均質モデル

表2.2.1-3　臨界性への群縮約効果（二次元RZ拡散計算での評価）

MK－I

	実効増倍率	補正 Δk
１８群RZ拡散計算	0.98572	-
７０群RZ拡散計算	0.98552	**-0.00020**

注）断面積は均質モデル、RZ倍メッシュ（相当）

表2.2.1-4　常陽MK－I初臨界体系の実効増倍率への非均質効果

	実効増倍率	補正 Δk
均質モデル	0.98552	
非均質モデル（2ステップ、等方拡散係数）	0.98850	**0.00298**
非均質モデル（ピンセル、等方拡散係数）	0.98791	
非均質モデル（ピンセル、非等方拡散係数）	0.98708	**-0.00083**
非均質モデル（2ステップ、等方拡散係数）	0.98850	
非均質モデル（2ステップ、非等方拡散係数）	0.98829	**-0.00021**
非均質効果（各補正の合計）		**0.00194**

注）70群二次元拡散計算・基準メッシュ

表2.2.2-1　常陽ＭＫ－ＩＩ初臨界体系（５１体）の臨界性解析結果

項目	結果	備考
基準計算（三次元HEXA-Z, 18群）	0.9886	
補正量		
メッシュ効果	-0.0113	炉心室殿メモ（参考文献８）より
エネルギー群縮約	0.0008 ± 0.0004	表2.2.2-4
非均質効果	0.0014 ± 0.0007	表2.2.2-5
輸送効果	0.0224	表2.2.2-3
（メッシュ＋輸送の誤差）	± 0.0056	両効果の和に対して誤差を設定
中性子源組成見直し効果	-0.0010	炉心室殿メモ（参考文献９）より
補正合計	0.0123	
補正後のkeff（Ｃ）	1.0009 ± 0.0056	
測定値（Ｅ）	1.0048	
Ｃ／Ｅ	0.9961	

解析誤差の設定；補正量の５０％の積み上げ

表2.2.2-2　常陽ＭＫ－ＩＩ（５０体）の臨界性解析結果

項目	結果	備考
基準計算（三次元HEXA-Z, 18群）	0.9840	
補正量		
メッシュ効果	-0.0113	炉心室殿メモ（参考文献８）より
エネルギー群縮約	0.0008 ± 0.0004	補正量は５１体体系と同一と仮定
非均質効果	0.0014 ± 0.0007	補正量は５１体体系と同一と仮定
輸送効果	0.0224	補正量は５１体体系と同一と仮定
（メッシュ＋輸送の誤差）	± 0.0056	両効果の和に対して誤差を設定
中性子源組成見直し効果	-0.0010	炉心室殿メモ（参考文献９）より
補正合計	0.0123	
補正後のkeff（Ｃ）	0.9963 ± 0.0056	
測定値（Ｅ）	1.0001	
Ｃ／Ｅ	0.9962	

解析誤差の設定；補正量の５０％の積み上げ

表2.2.2-3　臨界性への輸送効果（ＭＫ－ＩＩ初臨界体系）

（二次元RZモデルでの評価）

	実効増倍率	補正 Δk
７０群RZ拡散計算（基準メッシュ）	0.98050	
７０群RZ拡散計算（RZ倍メッシュ）	0.97829	-0.00221
７０群RZ拡散計算（無限メッシュ）	**0.97755**	-0.00295
７０群RZ輸送計算（基準メッシュ、Ｓ４）	1.00196	
７０群RZ輸送計算（RZ倍メッシュ、Ｓ４）	1.00247	0.00051
７０群RZ輸送計算（基準メッシュ、Ｓ８）	0.99993	-0.00203
７０群RZ輸送計算（無限メッシュ、Ｓ∞）	**0.99993**	-0.00203
輸送効果		**0.02238**

注）断面積は均質モデル

メッシュ補正、Ｓｎ次数補正はそれぞれ無限メッシュ、無限次数へと補正

表2.2.2-4　臨界性への群縮約効果（ＭＫ－ＩＩ初臨界体系）

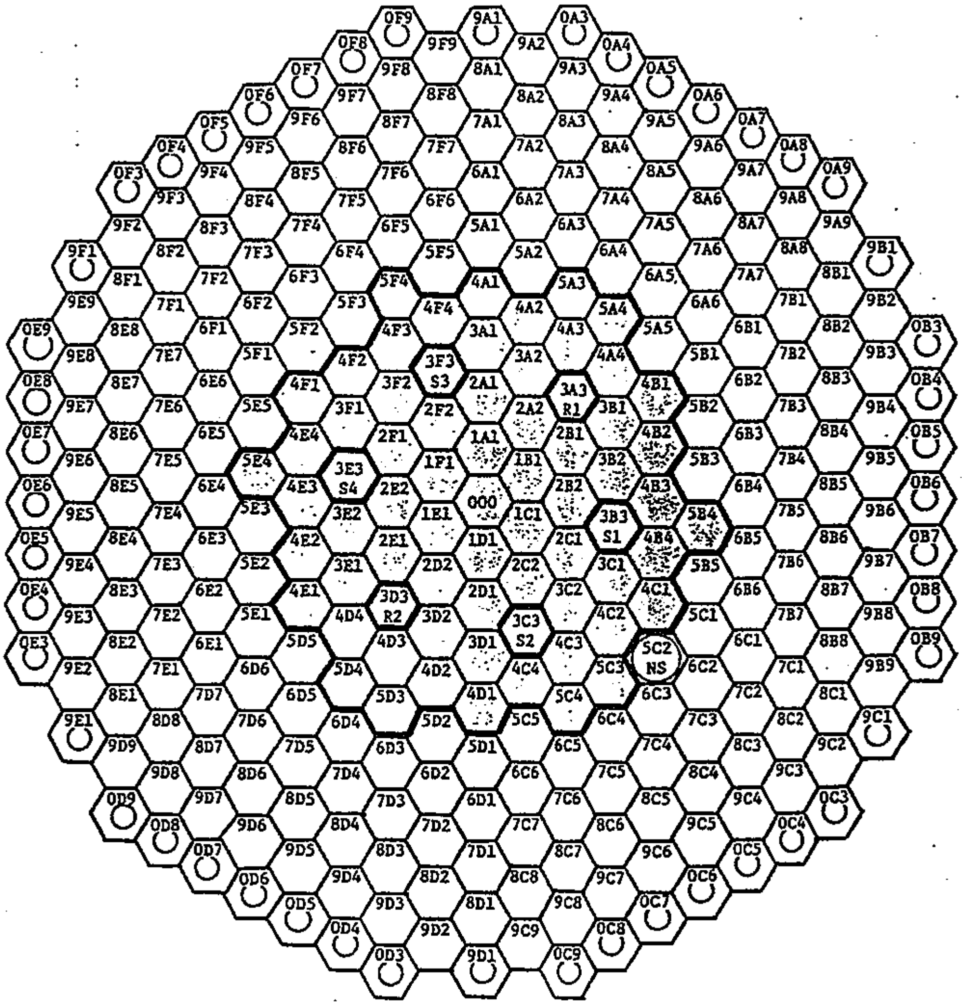
	実効増倍率	補正 dk
１８群RZ拡散計算	0.97350	-
７０群RZ拡散計算	0.97430	**0.00080**

注）断面積は均質モデル、RZ倍メッシュ（相当）

表2.2.2-5　実効増倍率への非均質効果（ＭＫ－ＩＩ初臨界体系）

	実効増倍率	補正 Δk
均質モデル	0.97836	
非均質モデル（２ステップ、等方拡散係数）	0.98065	**0.00229**
非均質モデル（ピンセル、等方拡散係数）	0.97994	
非均質モデル（ピンセル、非等方拡散係数）	0.97930	**-0.00064**
非均質モデル（２ステップ、等方拡散係数）	0.98065	
非均質モデル（２ステップ、非等方拡散係数）	0.98044	**-0.00021**
非均質効果（各補正の合計）		**0.00144**

注）70群二次元拡散計算・基準メッシュ



炉心燃料　　64体
(65本炉心は 5F3 に燃料を追加)

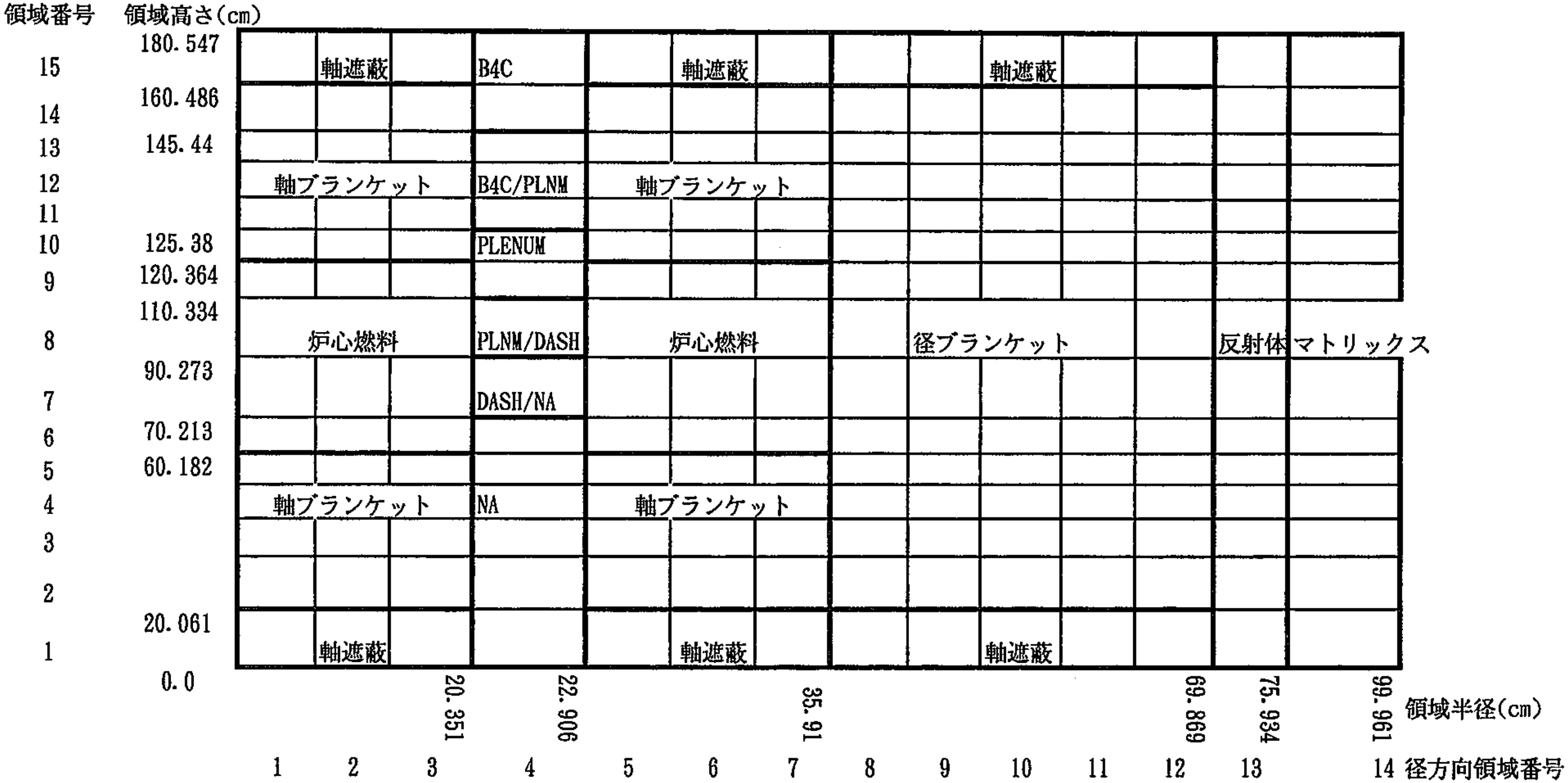
ブランケット

反射体

制御棒　　S：安全棒
　　　　　R：調整棒

中性子源

図 2.2.1-1　常陽MK－I最小臨界炉心配置図



B4C ; B4C部
B4C/PLNM ; B4C部とプレナム部の混合組成（安全棒＋調整棒）
PLNM/DASH ; プレナム部とダッシュラム部の混合組成（安全棒＋調整棒）
NA ; Naフォロワー部

図2. 2. 1-2　　ＭＫ－Ｉ最小臨界体系のＲＺモデル図

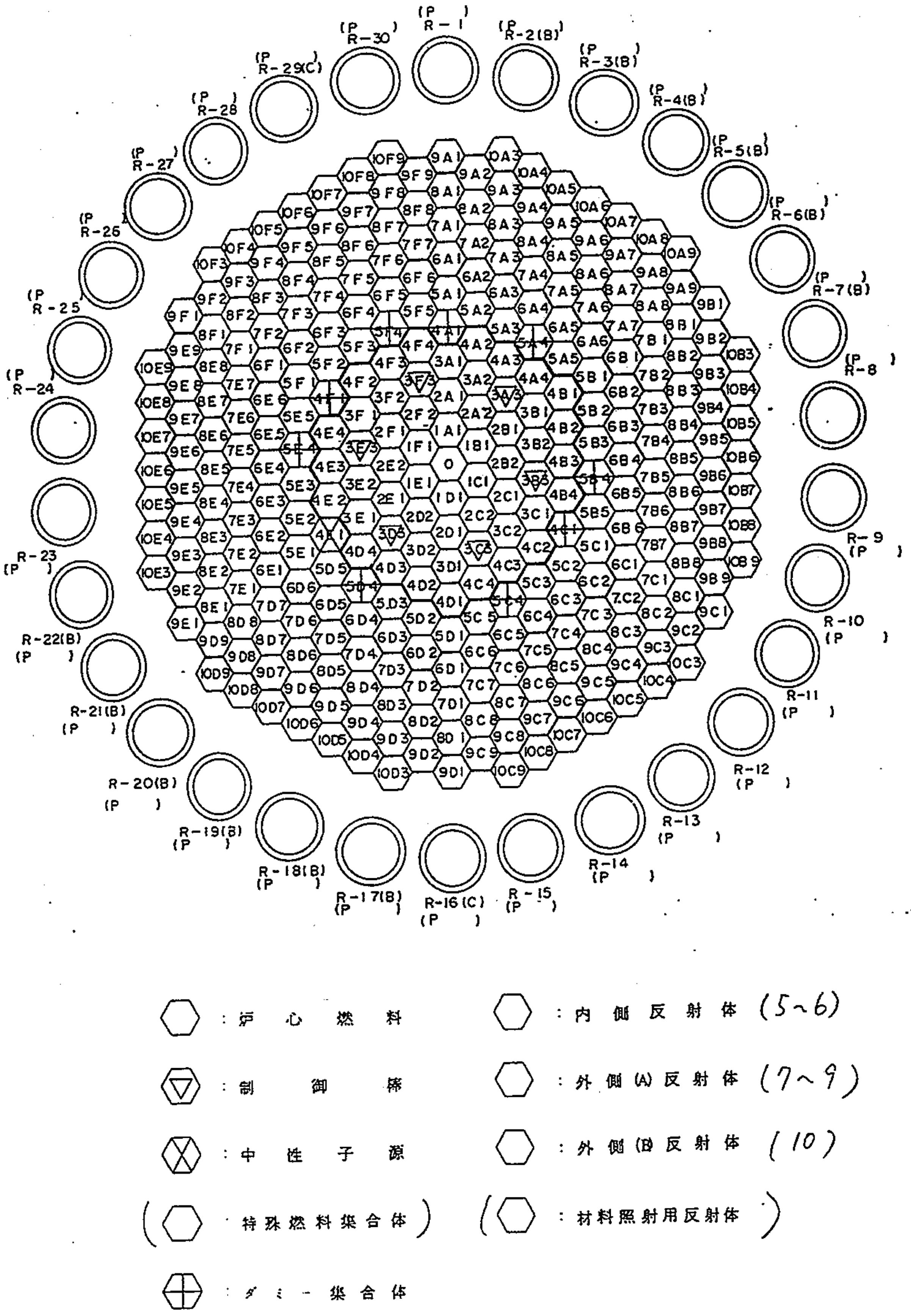


図 2.2.2-1　常陽MK－ＩＩ最小臨界炉心配置図

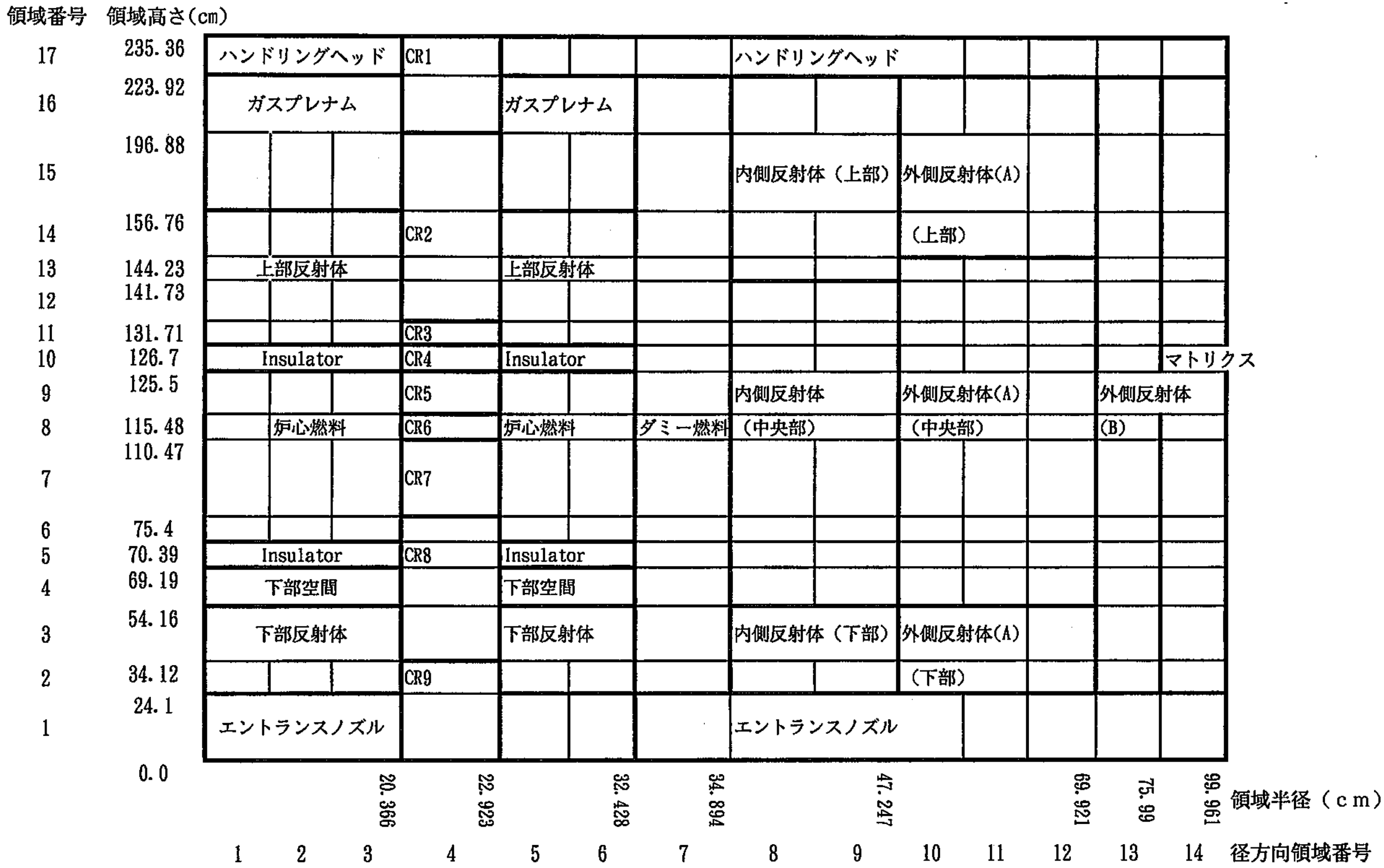


図2.2.2-2　ＭＫ－ＩＩ最小臨界体系のＲＺモデル図

2.3 ナトリウムボイド反応度の解析

ナトリウムボイド反応度の測定はＭＫ－Ｉ体系でのみ行われた。この解析結果を示す。

(1)試験体系（参考文献１１）

図2.3-1 に試験体系と試験集合体位置を示す。試験は70体炉心に対して行われ、ナトリウムボイド化を模擬できる試験集合体への置換反応度を臨界法で測定した。制御棒パターンは３種類用いられたが、測定状態に近い制御棒パターンで制御棒較正が行われているパターン１（調整棒２本を用いる）の結果をC/E評価に用いるべきとされている。詳細は、第３章に示す。このパターンでは、調整棒２本がともにほぼ半挿入状態となっている。今回は、パターン１を対象に解析を行った。

(2)解析方法

解析方法は臨界性の場合に準じる。基準計算は図2.3-1 を模擬した１８群三次元HEXA-Z拡散計算とする。また、補正係数は二次元ＲＺモデルを用いて、炉心中心の測定を対象に求めることとした。二次元ＲＺモデルについては図2.2.1-1 に示した。この二次元ＲＺモデルのメッシュ幅は、基準メッシュ5cm幅、倍メッシュ2.5cm幅とした。なお、群縮約効果は、倍メッシュを用いて評価した。

なお、後述するように反応度スケールの実効遅発中性子割合を今回、JUPITER解析と同じTuttle79年の各核種遅発中性子割合、Saphier77年のスペクトルデータの組み合わせで求め直した。測定値はこれに基づいて改訂している。

(3)解析結果

はじめに、基準計算の結果を表2.3-1 に示す。炉心内では、C/EやC-Eは比較的安定している。炉心内ではC/E値は約1.2前後である。

炉中心燃料のナトリウムボイド反応度を対象とした補正係数として、輸送及びメッシュ効果を表2.3-2 に、群縮約効果を表2.3-3 に、非均質効果を表2.3-4 に示す。輸送効果と非均質効果が大きいことがわかる。輸送効果については、70群輸送計算、70群拡散計算により、それぞれ無限メッシュ相当の値を求め、それらの差とした。輸送計算については、Ｓｎ次数についても無限までの外挿値を求めた。非均質効果は負の値であり、負の基準計算値をさらに負の方向に大きくする値である。内訳として、非等方拡散係数の効果は小さく、断面積への、すなわち、反応率への非均質効果が大きい。これは、U238等の自己遮蔽因子への非均質

効果が大きいと考えられる。２ステップ非均質モデルでは燃料部の共鳴吸収が減少する。これにより、ナトリウムボイド時のスペクトル硬化に伴う共鳴吸収の減少効果、これは正の効果であるが、この効果が減少する、即ち、非均質効果が負の効果を持つ。これは、大型炉でもみいだされており、負の効果であることが知られている。ただし、２ステップモデルのナトリウムボイド反応度に対する精度はあまり検証されていない点に注意が必要である。

炉中心の解析結果に対して、上記補正を行った結果を表2.3-5 に示す。C/E値は約1.3となった。測定値の誤差は第3.2節・表3.2-4 に示すように、制御棒延長管の膨張効果が大きく、相対誤差で約３０％にも達しており、評価はむずかしい面がある。但し、炉心内の他の測定位置についても基準計算では同様な結果を示すことから、今回の解析結果は系統的な傾向を示していると考えられる。

表2.3-1　常陽MK－Iナトリウムボイド反応度測定試験*の解析結果（基準計算）

ボイド集合体位置	ボイド領域	計算値 実効増倍率	計算値 反応度価値 %Δk/k	測定値 反応度価値 %Δk/k	C/E	C-E
基準状態	-	0.99200	-		-	-
0	炉心	0.99159	-0.0413	-0.0355	1.16	-0.0058
1F1	炉心	0.99158	-0.0423	-0.0390	1.09	-0.0033
2F1	炉心	0.99157	-0.0433	-0.0382	1.14	-0.0052
3F1	炉心	0.99164	-0.0363	-0.0312	1.16	-0.0051
4F1	炉心	0.99162	-0.0383	-0.0301	1.27	-0.0083
5F1	径ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ	0.99187	-0.0131	-0.0138	0.95	0.0007
6F1	径ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ	0.99196	-0.0040	-0.0012	3.26	-0.0028

*）７０体炉心、調整棒２本・半挿入状態（制御棒パターン１）

三次元１８群拡散計算

表2.3-2　Naボイド反応度への輸送効果及びメッシュ効果（二次元RZモデルでの評価）

	Naボイド反応度 %Δk/kk'	補正 %Δk/kk'
７０群RZ拡散計算（基準メッシュ）	-0.0456	
７０群RZ拡散計算（RZ倍メッシュ）	-0.0463	-0.0007
７０群RZ拡散計算（無限メッシュ）	-0.0465	-0.0009
７０群RZ輸送計算（基準メッシュ、Ｓ４）	-0.0385	
７０群RZ輸送計算（RZ倍メッシュ、Ｓ４）	-0.0349	0.0036
７０群RZ輸送計算（基準メッシュ、Ｓ８）	-0.0383	-0.0002
７０群RZ輸送計算（無限メッシュ、Ｓ∞）	-0.0340	0.0045
メッシュ効果（拡散）		**-0.0009**
輸送効果		**0.0125**

注）炉中心・炉心燃料のNaボイド反応度を対象
　　断面積は均質モデル

表2.3-3　Naボイド反応度への群縮約効果（二次元RZ拡散計算での評価）

	Naボイド反応度 %Δk/kk'	補正 %Δk/kk'
１８群RZ拡散計算	-0.0451	
７０群RZ拡散計算	-0.0464	-0.0013

注）炉中心・炉心燃料のNaボイド反応度を対象
　　断面積は均質モデル

表2.3-4　Naボイド反応度への非均質効果（二次元RZ拡散計算での評価）

	Naボイド反応度 %Δk/kk'	補正 %Δk/kk'
均質モデル	-0.0464	
非均質モデル（２ステップ、等方拡散係数）	-0.0591	**-0.0127**
非均質モデル（ピンセル、等方拡散係数）	-0.0470	
非均質モデル（ピンセル、非等方拡散係数）	-0.0497	**-0.0027**
非均質モデル（２ステップ、等方拡散係数）	-0.0591	
非均質モデル（２ステップ、非等方拡散係数）	-0.0603	**-0.0012**
非均質効果（各補正の合計）		**-0.0166**

注）炉中心・炉心燃料のNaボイド反応度を対象
　　70群二次元拡散計算・基準メッシュ

表2. 3-5　常陽MK-I・Naボイド反応度測定試験の解析結果

（補正込み、炉中心燃料を対象）

項目	Naボイド反応度 (%Δk/kk')	備考
基準計算（三次元HEXA-Z, 18群）	-0.0413	
補正量		
メッシュ効果	-0.0009 ± 0.0005	表2.3-2
エネルギー群縮約	-0.0013 ± 0.0007	表2.3-3
非均質効果	-0.0166 ± 0.0083	表2.3-4
輸送効果	0.0125 ± 0.0063	表2.3-2
補正合計	0.0103	
補正後のkeff（C）	-0.0476 ± 0.0104	
測定値（E）	-0.0355	
C／E	1.34	
C－E	-0.0121	

注）解析誤差の設定;補正量の５０%の積み上げ

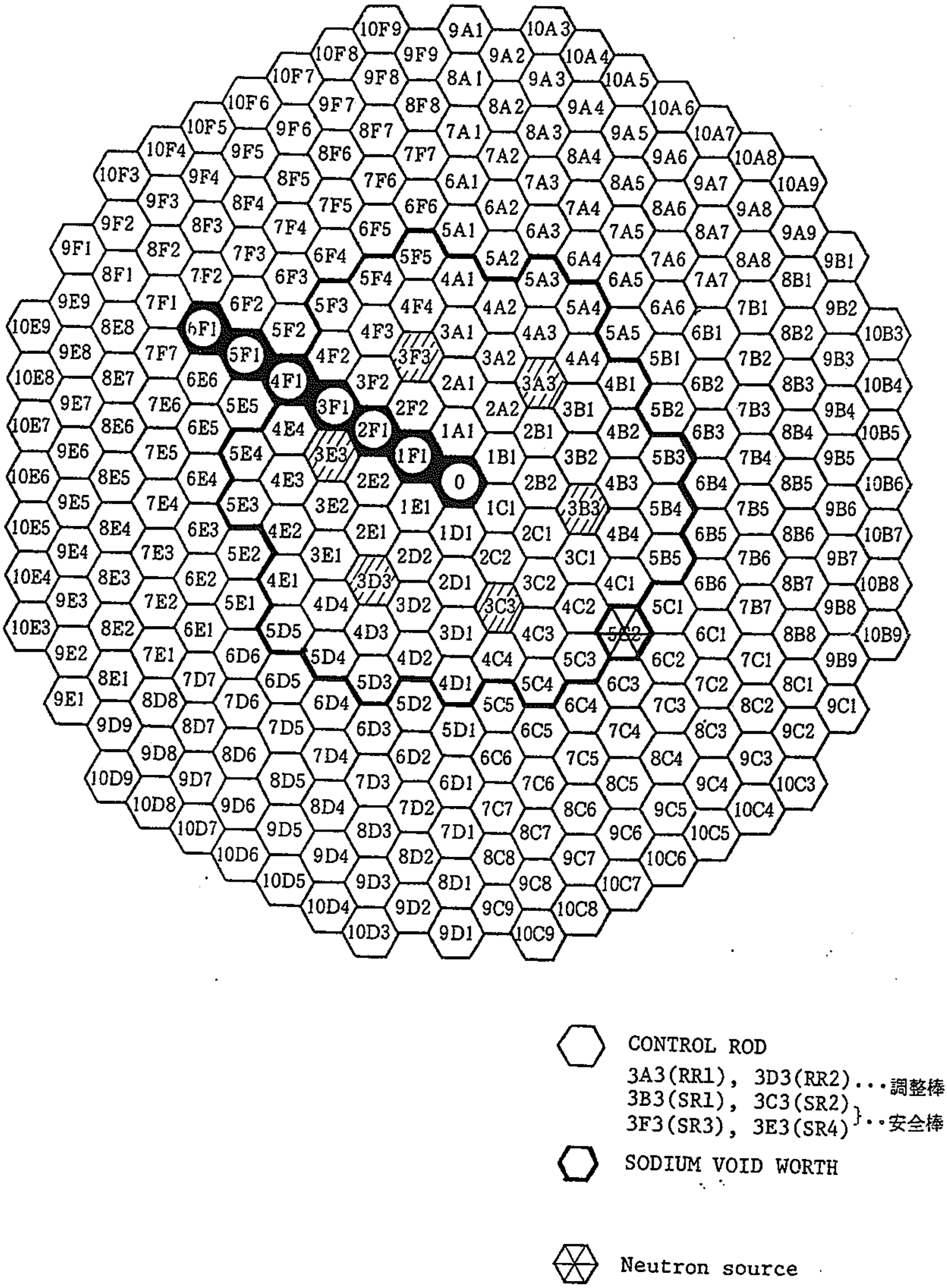


図 2.3-1　常陽MK－Iナトリウムボイド反応度測定時の炉心配置図及び測定位置

2.4 燃料置換反応度の解析

2.4.1 ＭＫ－Ｉ燃料置換反応度の解析

(1)試験体系の概要（参考文献６、１２）

炉心燃料と径ブランケットの置換反応度は、初臨界から燃料を追加するいくつかの段階で何回か測定されている。ここでは、７０体炉心における置換反応度を対象とする。測定位置を図2.4.1-1 に示す。制御棒パターンは２種類用いている。パターン１ではRR1, RR2により、パターン４ではRR1, SR2が用いられた。制御棒較正が行われた挿入パターンに近いパターン１の結果が基準として報告されている。パターン１では両方の調整棒ともに半挿入状態である。測定結果は解析の項に示す。

(2) 解析方法

臨界性解析方法に準じるが、他の測定値に比べて補正量は小さいと考えられるため、基準計算を最終値とし、補正は行っていない。

(3) 解析結果

１８群三次元HEXA-Z拡散計算による解析結果を表2.4.1-1 に示す。測定結果は参考文献(1), (3)によるものをベースとしたが、実効遅発中性子割合を見直して再評価したものである。具体的には後述するように、実効遅発中性子割合が従来値より３％増大したので、測定値（Δk単位）も３％増大した。

Ｃ／Ｅ値は平均で1.0程度で安定している。

2.4.2 ＭＫ－ＩＩ燃料置換反応度の解析

(1)試験体系の概要（参考文献７、１４）

炉心燃料と径ブランケットの置換反応度は、初臨界から初期炉心（６４体）まで燃料を追加するいくつかの段階で測定されている。ここでは、照射用特殊燃料を装荷せず、炉心内中性子束分布や出力分布が乱されておらず、照射用特殊燃料により解析精度が影響されていないクリーンな初臨界５１体炉心における置換反応度（５１体→５０体）を対象とする。

測定体系の炉心配置図を図2.4.2-1 に示す。測定位置は４Ｄ１で、燃料から反射体への置換反応度が測定された。測定結果は解析の項に示す。

(2) 解析方法

臨界性解析方法に準じるが、他の測定値に比べて補正量は小さいと考えられるため、基準計算を最終値とし、補正は行っていない。

(3) 解析結果

１８群三次元HEXA-Z拡散計算による解析結果を表2.4.2-1 に示す。測定結果は参考文献（７）によるものをベースとしたが、実効遅発中性子割合を見直して再評価したものである。具体的には後述するように、実効遅発中性子割合が従来値より３％増大したので、測定値（Δk単位）も３％増大した。

Ｃ／Ｅ値は0.96となった。前述のMK-Iの結果と比べると計算値は４％程度過小評価となっている。この原因として、MK-Iでは炉心→径ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄの置換であったのに対して、炉心→反射体であり、炉心と反射体が直接接した場合に解析精度が悪化している可能性がある。また、第2.2節に示したように臨界性への輸送効果はMK-IよりMK-IIの方が大きく、反射体に対しては拡散計算の精度が落ちる可能性を示した。置換反応度に対しても輸送効果が無視できない可能性もある。これには三次元輸送コードの適用が必要となり、今後の課題である。

表2.4.1-1　常陽MK－Ⅰ燃料置換反応度測定試験*の解析結果

（三次元HEXA-Zモデル、１８群計算結果）

置換集合体位置	計算値		測定値**	C/E
	実効増倍率	反応度価値 %Δk/k	反応度価値 %Δk/k	
基準状態	0.99192	-		-
４Ｆ１（炉心→径ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ）	0.98742	-0.454	-0.456	0.995
５Ａ３（炉心→径ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ）	0.98861	-0.334	-0.331	1.007
５Ｃ３（炉心→径ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ）	0.98795	-0.400	-0.406	0.987
５Ｆ４（炉心→径ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ）	0.98819	-0.376	-0.371	1.015

1.00±0.01

*）７０体炉心、断面積は均質モデル、調整棒２本半挿入状態（制御棒パターン１）

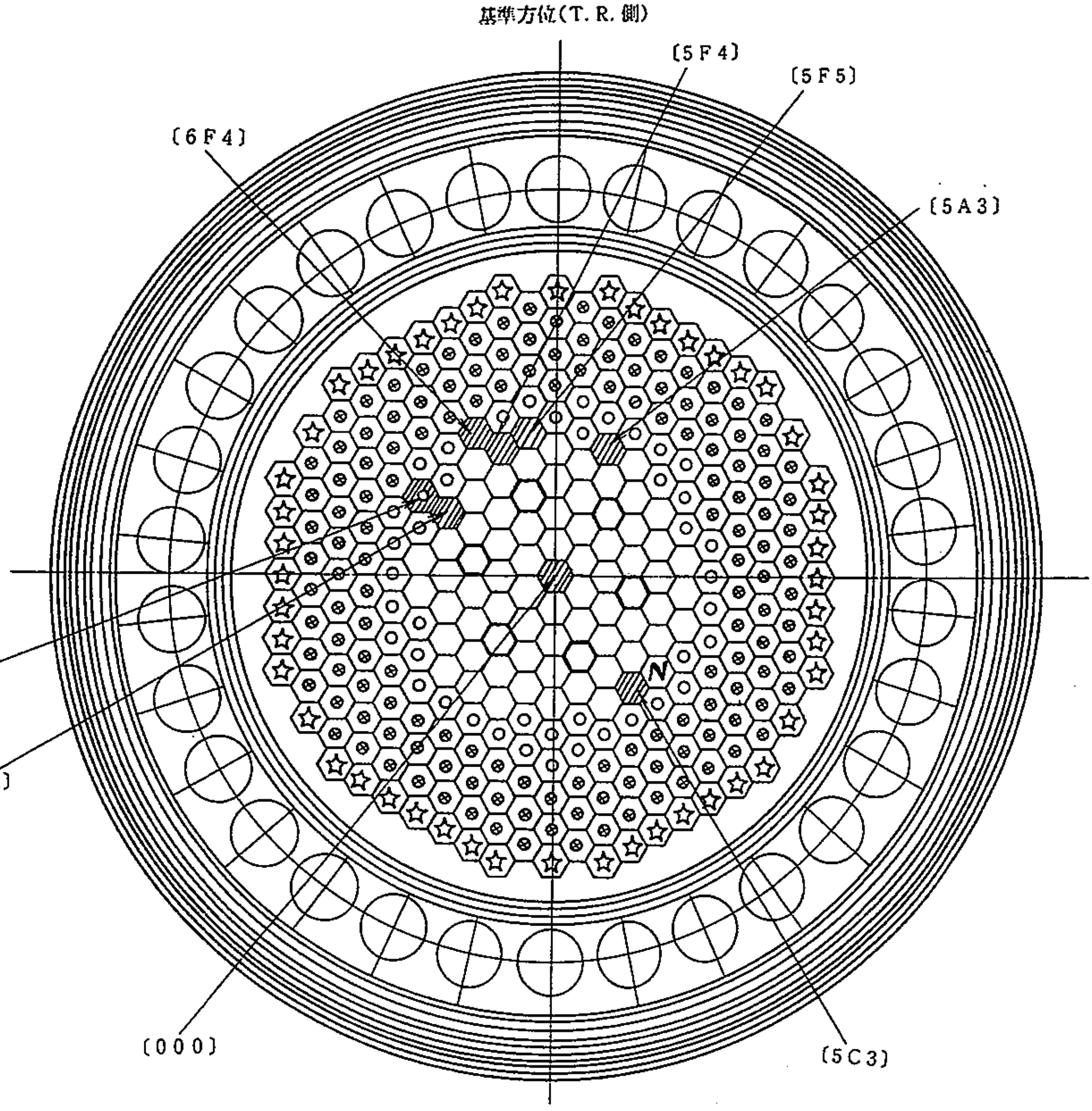
表2.4.2-1　常陽ＭＫ－ＩＩ燃料置換反応度測定試験*の解析結果

（三次元HEXA-Zモデル、１８群計算結果）

置換集合体位置	反応度価値（%Δk/k）		C/E
	計算値	測定値	
４Ｄ１（炉心→反射体）	-0.457	-0.475	0.962

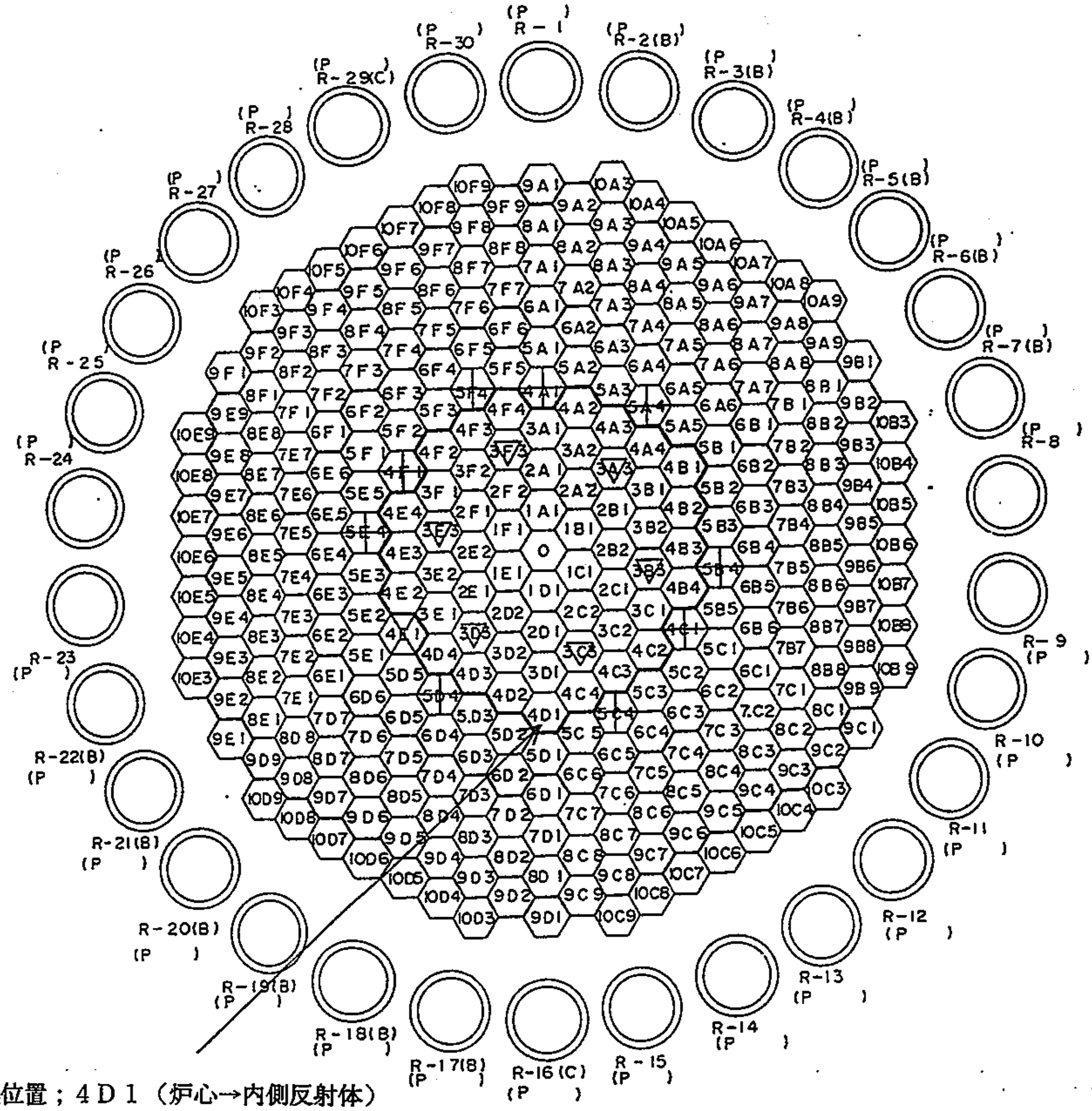
*）５１体炉心

**）実効遅発中性子割合=0.396%（今回評価）



炉心燃料反応度価値の測定

図 2.4.1-1　常陽MK－Ⅰ燃料置換反応度測定時の炉心配置図及び測定位置



置換位置；4D1（炉心→内側反射体）

：炉心燃料

：制御棒

：中性子源

（：特殊燃料集合体）

：ダミー集合体

：内側反射体 (5~6)

：外側(A)反射体 (7~9)

：外側(B)反射体 (10)

（：材料照射用反射体）

図2.4.2-1　常陽MK－ＩＩ燃料置換反応度測定時の炉心配置図（51体炉心）及び測定位置

2.5 燃焼係数の解析

2.5.1 常陽ＭＫ－Ｉ燃焼係数の解析

常陽ＭＫ－Ｉ燃焼係数としては、50MW出力上昇試験時、50MW第１サイクル、50MW第２サイクルを対象に解析を行った。但し、50MW出力上昇試験時については臨界点記録から求めたもので精度はあまり高くないとされており、参考データとした。データは参考文献（１３）による。その詳細は第3.1節にまとめられている。

解析は７群エネルギー二次元ＲＺ拡散燃焼計算によるものとし、燃焼パターンは下記とした。

○50MW出力上昇試験　　50MW×49.4日（2469.6MWD）

○50MW第１サイクル　　50MW×42.5日（2123.2MWD）

○50MW第２サイクル　　50MW×42.8日（2141.3MWD）

用いた燃焼チェーンを図2.5.1 に示す。FP核種はU235, U238, P239, P241のLumped FPを扱かった。二次元ＲＺモデルは、図2.2.1-2に示すもので、燃焼領域もこの図の各ＲＺ小領域ごとに取った。

解析値に対しては、今回見直した実効遅発中性子割合、及び制御棒位置の補正係数（第3.1節参照）を考慮した。

Ｃ／Ｅ値を含めた解析結果を表2.5.1-1 に示す。50MW第１サイクル、50MW第２サイクルのＣ／Ｅ値は大きく異なっている。出力上昇試験時も含めて解析値はほぼ一定であることを考えると、このばらつきは測定値に起因する可能性が大きい。そこで、これらの平均値をとると下記のようになる。

Ｃ／Ｅ平均値＝　1.03±0.06

6%のばらつきは上記のようにおおむね測定値に帰されると考えられる。炉定数調整においては、このばらつきを考慮することが必要である。

2.5.2 常陽ＭＫ－ＩＩ燃焼係数の解析

常陽ＭＫ－ＩＩ燃焼係数の解析は、100MW出力上昇試験時及び100MW第１サイクルを対象とした。データは参考文献（１６）による。その詳細は第3.1節にまとめられている。

解析モデル化、用いた燃焼チェーンはMK-I解析の場合と同じである。二次元ＲＺモデルは、図2.2.2-2に示すもので、燃焼領域もこの図の各ＲＺ小領域ごとに取った。

解析結果を表2.5.1-2 に示す。Ｃ／Ｅ値は1.06となっている。 ＭＫ－Ｉの結果も含めて、燃

焼係数のＣ／Ｅ値については、１からのずれやばらつきがかなり大きいことがわかる。

表2.5.1-1　常陽ＭＫ－Ｉ燃焼係数の解析結果

測定時点	燃焼係数（%Δk/kk'/(50MW*DAY)）			備考
	解析値	測定値	Ｃ／Ｅ	
５０ＭＷ出力上昇試験	-0.00769	-0.00739	1.04	臨界点記録より（参考値）
５０ＭＷ第１サイクル	-0.0076	-0.00708	1.07	
５０ＭＷ第２サイクル	-0.00761	-0.00773	0.98	

注）解析値；７群二次元ＲＺ計算値

測定値；実効遅発中性子割合＝0.528%（第2.6節参照）

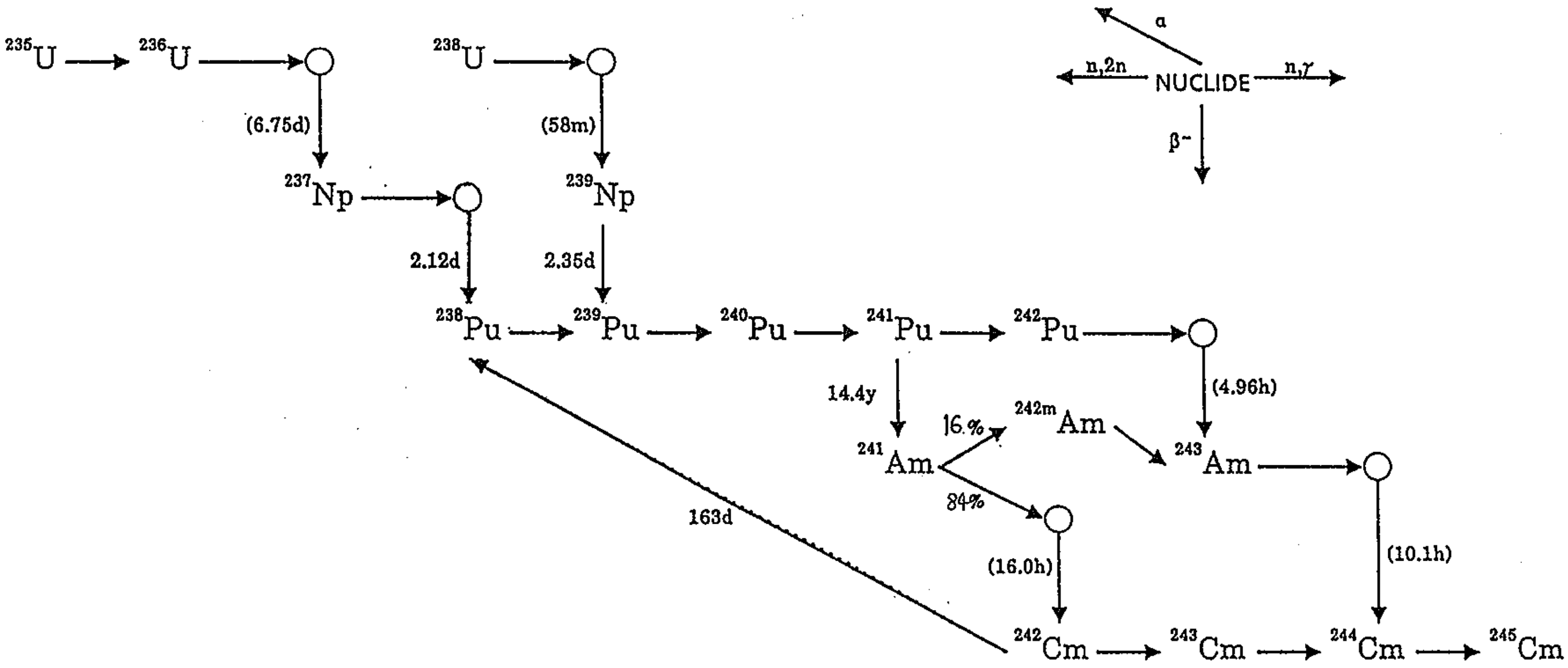
制御棒位置補正係数=0.92（第3.2節参照）

表2.5.1-2　常陽ＭＫ－ＩＩ燃焼係数の解析結果

測定時点	燃焼係数（%Δk/kk'/(100MW*DAY)）			備考
	解析値	測定値	Ｃ／Ｅ	
１００ＭＷ出力上昇試験	na	-0.0236	-	臨界点記録より（参考値）
１００ＭＷ第１サイクル	-0.023	-0.0216	1.06	100時間連続運転データ

注）解析値；７群二次元ＲＺ計算値

測定値；実効遅発中性子割合＝0.396%（第2.6節参照）



○で示した核種は短半減期につき、無視する。

図 2.5.1-1　燃焼係数の解析で用いた燃焼チェーン

2.6　遅発中性子発生割合の評価

種々の測定試験における反応度は反応度絶対値を実効遅発中性子発生割合でわったドル単位で測定され、これを反応度絶対値に直すには、解析による実効遅発中性子発生割合を乗じている。従来から報告されている常陽の実効遅発中性子発生割合は、ＭＫ－ＩがKeepinによるもの、ＭＫ－ＩＩがTomlinsonによるものである。今回、JUPITER解析で統一的に用いている基準データ、すなわち、核種ごとの割合はTuttle79年、スペクトルはSaphier77年のデータで再評価した。これまでに示した測定データはすべて今回見直した実効遅発中性子発生割合により改訂したものである。

解析は二次元ＲＺ70群拡散計算により行った。結果を表2.6-1 に示す。従来の値と比べて、ＭＫ－Ｉは約３％増加、ＭＫ－ＩＩでは約３％減少となっている。これにより、測定値の絶対値は、 ＭＫ－Ｉは約３％増加、ＭＫ－ＩＩでは約３％減少となる。これは、ナトリウムボイド反応度や置換反応度に大きな影響を与える。従来の実効遅発中性子発生割合を用いた場合、ＭＫ－Ｉでは、ナトリウムボイド反応度や置換反応度の計算値は過大評価であること、ＭＫ－ＩＩでは、置換反応度の計算値は過小評価であることから、上記の変化は、結果として改善する方向である。（第2.3節、第2.4節の結果より）

表2.6-1　実効遅発中性子発生割合

	MK-I	MK-II
U235	0.00287	0.00131
U238	0.00143	0.00108
Pu239	0.00080	0.00124
Pu240	0.00009	0.00015
Pu241	0.00008	0.00016
Pu242	0.00000	0.00001
合計	0.00528	0.00396
従来の値	0.00513	0.00402

今回の計算；１８群、Tuttle79/Saphier77

従来の計算値；MK-I　Keepin

MK-II　Tomlinson

３．「常陽」性能試験・運転特性データ解析の誤差評価

前章§２で示したＣ／Ｅの根拠となる測定値（Ｅ）とその誤差検討結果および炉定数調整計算に必要な測定値・解析値の誤差とその相関係数の設定結果を示す。

本年度の検討対象核特性は、「常陽」ＭＫ－１炉心に関しては初期炉心状態の性能試験で行われた臨界性、周辺燃料価値、ナトリウムボイド反応度、燃焼係数に着目した。ＭＫ－２炉心については同様に性能試験炉心の臨界性、周辺燃料価値、燃焼係数に着目した。これらの反応度特性の測定は、制御棒価値測定試験により決定された較正ずみ反応度価値（ストローク曲線）を利用するので、制御棒価値測定試験結果についても調査した。

以下は、§３．１では検討対象核特性測定値の調査と評価、§３．２では炉定数調整に使用するための検討対象核特性測定値の誤差と関連する特性測定値の誤差との相関係数の設定、§３．３では検討対象核特性解析値の誤差と相関係数のまとめを記した。

性能試験に関する詳細記録と性能試験報告書の記載数値の引用を Appendix-B に示し、本検討で炉定数調整のための測定値設定の基礎データとしてまとめた。

３．１　検討対象の「常陽」性能試験・運転特性データと実験誤差の検討評価

3.1.1 検討対象特性の概要

(1) 炉心の特徴

「常陽」ＭＫ－１およびＭＫ－２炉心の主要目を表 3.1.1- 1 に示した。定格出力運転時の一次冷却材の入口温度は３７０℃であるが、”ゼロ”出力性能試験では冷却材温度はＭＫ－１では約２００℃、ＭＫ－２では約２５０℃となっている。

燃料と炉心構成の特徴は下記の様である。

	ＭＫ－１炉心	ＭＫ－２炉心
Ｐｕ富化度	約１８％	約３０％
Ｕ２３５濃縮度	２３％	１２％
体系	炉心・径ブランケット ＋中性子源	炉心・Ｂ型特燃・CMIR ＋中性子源、ダミーSA ＋ＳＳ反射体

ＭＫ－１炉心の初期炉心７０本燃料体系の断面図を図 3.1.1- 1 に示す。炉心燃料は上下に劣化ウラン酸化物ペレットからなる軸方向ブランケットを有している。炉心のまわりは径方向ブランケットが取り囲んでいる。初期炉心の第一期出力は５０MW th である。燃料は混合酸化物ペレットである。Ｐｕ富化度は約１８％であり、小型でもれの大きい炉であることから、核分裂物質の濃度を増大させるために２３％濃縮ウランを併用している。Ｐｕを利用する高速炉であるが、遅発中性子割合は濃縮ウラン使用によるＵ２３５核分裂割合が大きくなり約０．５３％である。

ＭＫ－２炉心の初期体系の炉心断面図を図 3.1.1- 2 に示す。ＭＫ－２体系の初期炉心は６４本のドライバー燃料と３体の照射用特殊燃料が炉心中央近傍に配置されている。Ｂ型特殊燃料２体と材料照射用特殊集合体 CMIR １体である。この装荷状態(64,2,1)と記号で示している。ＭＫ－２炉心燃料はＰｕ富化度は３０％と増大され、ウラン濃縮度は１２％に低減している。炉心の周辺にはブランケットは配置されず反射体などの構造

材で囲まれている。燃料中のＰｕが増加し、Ｕ２３５が減少したので遅発中性子割合は約０．４０％に減少した。しかし、この値でも濃縮ウランを使用しない大型炉心体系の遅発中性子割合よりは１０％程度大きい数値を示している。

ＭＫ－１／ＭＫ－２炉心の比較では、ＭＫ－２炉心のほうがひとまわり小さく、照射用特殊燃料の装荷などにより非均質性が強いと言える。また、燃料中の重核の割合の変動としては、Ｕ２３５とＵ２３８の比率に大きな違いがある。つぎにＰｕ富化度の違いから、Ｐｕ同位体の原子数密度に違いが生じている。さらに、ＭＫ－１では炉心周囲が径ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ、軸ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄで囲まれているが、ＭＫ－２では反射体に囲まれている点が大きく異なっている。

(2) 性能試験の概要

「常陽」ＭＫ－１およびＭＫ－２炉心の性能試験における核特性測定試験のうち、本検討に係わる検討対象特性はつぎのように測定されている。

特性値	ＭＫ－１初期炉心	ＭＫ－２初期炉心
臨界性	最小臨界体系	最小臨界体系
制御棒価値	最小臨界本数＋１体系	最小臨界本数＋１体系
	初期炉心	初期炉心(64, 2, 1)
Ｎａボイド反応度	初期炉心	
燃料置換反応度	最小臨界本数＋１体系	最小臨界本数＋１体系
		初期炉心(57, 0, 0)
	初期炉心	初期炉心(64, 2, 1)
燃焼係数	初期炉心	初期炉心(64, 2, 1)
	50MWth-cycle 1	連続100Hrs運転時
	50MWth-cycle 2	(100MWth)

臨界性は、炉心の余剰反応度の最小な炉心体系における測定値に着目した。定格出力

用炉心では、最小臨界体系に比べ大きな余剰反応度を持つので制御棒の部分挿入量が増大する。これは炉心内部の物質の非均質性を増大させる方向であるので、計算手法・炉定数評価のためには複雑な情報が必要となる。また、余剰反応度の増大は計算解析と比較する際に遅発中性子割合（β eff ）の誤差に基づく不確かさをもちこむことになるためである。

ＭＫ－１炉心の最小臨界体系（燃料本数６４本の炉心）の炉心断面図を図 3.1.1- 3 に示す。この最小臨界体系から初期炉心７０本炉心への移行の様子を図 3.1.1- 4 に示している。最小臨界体系では炉心の余剰反応度が少ないので、燃料１体を追加した６５本体系で制御棒の仮較正と等温係数が測定されている。

等温係数の測定のように体系の温度を変化させるときは、プラントの熱平衡が保たれるようにしている。この様な運転は実プラントでの測定に特有である。”ゼロ”出力炉物理性能試験は体系の温度が約２００℃近傍で行われたが、低温炉停止状態との温度差を小さくすることにより臨界点確認までの時間を短縮していることにもなっている。

また、図 3.1.1- 4(2) に例として示されているように、性能試験では燃料集合体の炉心・ブランケットから燃料ラック領域への移送、燃料の燃料ラックへの搬入などの操作のたびに、制御棒駆動機構と制御棒吸収体は切り放される。一連の操作終了後に炉心の構成が変更された状態で再び臨界操作が行われる。制御棒の挿入位置の指示は、駆動機構の伸び量などに依存して見かけの数値が変動するので、制御棒の位置による臨界点の再現性には注意が払われている。プラントの温度平衡時間とも関係して臨界性の再現性確保と測定精度の確保の要点である。

後述するナトリウムボイド反応度測定試験では、微少な反応度変化を測定するので試験体位置の変更後の臨界操作の同一性の確保が特に測定精度に影響していたことが判った。このようなＭＫ－１炉心における測定経験は、ＭＫ－２炉心の反応度測定に反映されている。

その一方、初期炉心の構成により炉心内の燃料本数は定格出力用炉心に対する状態に増加されている上に、炉心の温度が通常運転状態よりも低く保たれている。したがって、炉心の余剰反応度が大きくなり臨界状態でも制御棒挿入深度が増大することになる。これは、検討対象項目の反応度測定において制御棒挿入状態の選択または測定時の臨界維持のための制御棒挿入パターンとの違いを補正する必要が生ずることになる。

ＭＫ－２の最小臨界体系を図 3.1.1- 5 に示す。最小臨界体系には特殊燃料や材料照

射用燃料は装荷されていない。この点では、炉定数調整の観点からＭＫ－１最小臨界体系と燃料組成と炉心まわりの組成の違い（ブランケットに代わり反射体体系）による予測精度との関係が断面積誤差との関係から整合性があるかどうか調べるデータを提供するものである。

ＭＫ－２体系において、最小臨界炉心から定格出力用炉心への移行の流れを図3.1.1- 6 に示した。初期炉心構成のために５７体炉心まではドライバー燃料で構成されている。特殊燃料の装荷価値を測定し、特殊燃料集合体２体と材料照射用集合体１体の装荷による反応度減少分をドライバー燃料本数の増加で対応し、初期炉心(64,2,1)状態を実現している。

制御棒反応度価値試験は、最小臨界体系では特定の制御棒の較正のみ行われている。炉心の反応度特性測定に利用されている定格出力用初期炉心における制御棒価値測定試験の内容を調査した。これらの反応度特性の評価では、本検討ではβ eff は Tuttle-Saphier の遅発中性子生成データと遅発中性子スペクトルデータの組み合わせに統一して反応度を％Δρの単位に換算した。（従来は、ＭＫ－１炉心性能試験結果は、遅発中性子割合として Keepin の評価値を利用していた。また、ＭＫ－２性能試験では Tomlinson の評価値にもとづく値を使用していた。）

制御棒価値の解析は本年度は対象でないが、反応度特性測定は臨界法で行われているので、反応度測定値は制御棒価値測定値にもとづいて決定されているため初期炉心における制御棒較正試験における測定誤差を調査した。

初期炉心の制御棒価値はすでに述べたように炉心の余剰反応度を打ち消すための基準とする制御棒のストローク曲線をもとめるために相手方の制御棒吸収体との位置関係に依存する影響が含まれている。それぞれの位置における微分反応度はペリオド法により精度よく測定されている。この測定結果に対して、他の制御棒からの干渉効果の影響は約１０％程度までの範囲である。

炉定数調整のための多くのデータベースとなっているＺＰＰＲ装置による臨界集合体では修正中性子源増倍法による未臨界体系の測定結果として求められている。このような測定は着目する制御棒や制御棒パターン、ナトリウムボイド状況、燃料体の反応度価値などの摂動の生ずる領域の変動のみを求めるための方法である。

炉定数調整への応用にあたっては、ＭＫ－１／ＭＫ－２体系では初期炉心の制御棒構

成で余剰反応度のある体系では、反応度測定用の基準制御棒の微分測定されている。これらの結果にもとづいて、炉心の変動にともなう反応度価値は、基準制御棒の引き抜き量から反応度に換算されている。このことは、測定対象の炉心の余剰反応度の違い、または測定用制御棒パターンの選択により測定された反応度の妥当性と干渉効果補正の必要性を検討していくことが重要な点である。補正を必要とする場合には、３次元拡散計算による数値実験から補正係数を算出した。

燃料置換反応度は炉心最外周列において、ＭＫ－１炉心では炉心燃料と径方向ブランケット集合体の置換反応度として、また、ＭＫ－２炉心では炉心燃料と径方向反射体との置換反応度として測定されている。臨界性解析から示される結果とあわせて、燃料との組成の相対的違いをもとに構造材断面積に係わる情報が得られることを期待している。測定に関する臨界点再現性の問題は、燃料反応度価値測定における反応度変化は大きく測定精度については特に問題となることは少ないと考えられる。

ナトリウムボイド反応度はＭＫ－１体系のみで、特殊燃料集合体を利用した１体ごとの径方向分布が測定されている。この測定結果は模擬燃料集合体における板状模擬燃料体系のナトリウム板除去による反応度測定結果と異なり、実際のピン燃料形状内のナトリウムボイドの有無による反応度変化が測定されている数少ない貴重なデータである。微少な反応度変化を測定することになるので臨界点の再現性がポイントになる。

測定では、燃料交換操作を挟んで臨界点確認を行い、２回の臨界点の違いを基準とする制御棒の臨界位置の違いから求め反応度としている。ナトリウムボイドチャンネル位置と制御棒吸収体挿入位置との関係などを調べるために、３種類の測定用制御棒パターンで測定されている。これらの測定値の間の関係を炉定数調整計算に含める観点から検討した。

燃焼反応度減少を示す燃焼係数は模擬臨界実験からは測定されない項目であり、Ｐｕ同位体組成や核分裂生成物の実効中性子吸収断面積に関する断面積精度の情報が得られる期待がある。

出力５０ＭＷ th レベルで運転している炉心体系では、炉心の余剰反応度が初期炉心の性能試験体系の余剰反応度よりも低下しているので制御棒挿入深度が浅くなる。そのために、性能試験で得られたストローク曲線にもとづく反応度変化量を直接適用するこ

とを再評価する必要がある。これについても、補正を必要とする場合には、３次元拡散計算による数値実験から補正係数を算出した。

表3.1.1-1 「常陽」炉心主要目

(PNC N941 85-17より引用)

項　目	MK－Ⅰ炉心 第1期	MK－Ⅰ炉心 第2期	MK－Ⅱ炉心
原子炉出力　MWt	50	75	100
主1次冷却材流量　t/h	2,200	2,200	2,200
原子炉入口温度　℃	370	370	370
原子炉出口温度　℃	435	470	500
炉心高さ　cm	60	60	55
炉心体積 (max.)　l	294	304	250
線出力 (max.)　W/cm	210	320	400
燃料ピン径　mm	6.3	6.3	5.5
$PuO_2/(PuO_2+UO_2)$　W/o	18	18	30
U－235 濃縮度　W/o	23	23	12
中性子束 (max.) $n/cm^2.sec$	2.1×10^{15}	3.0×10^{15}	5.1×10^{15}
中性子束 (炉心平均) $n/cm^2.sec$	1.2×10^{15}	1.9×10^{15}	2.6×10^{15}
最大余剰反応度　$\%\Delta K/K$	～4.5	～4.5	～5.5
制御棒価値　$\%\Delta K/K$	安全棒～5.6	安全棒～5.6	～9
	調整棒～2.8	調整棒～2.8	
最大燃焼度 (ピン平均)　MWD/t	25,000	42,000	50,000

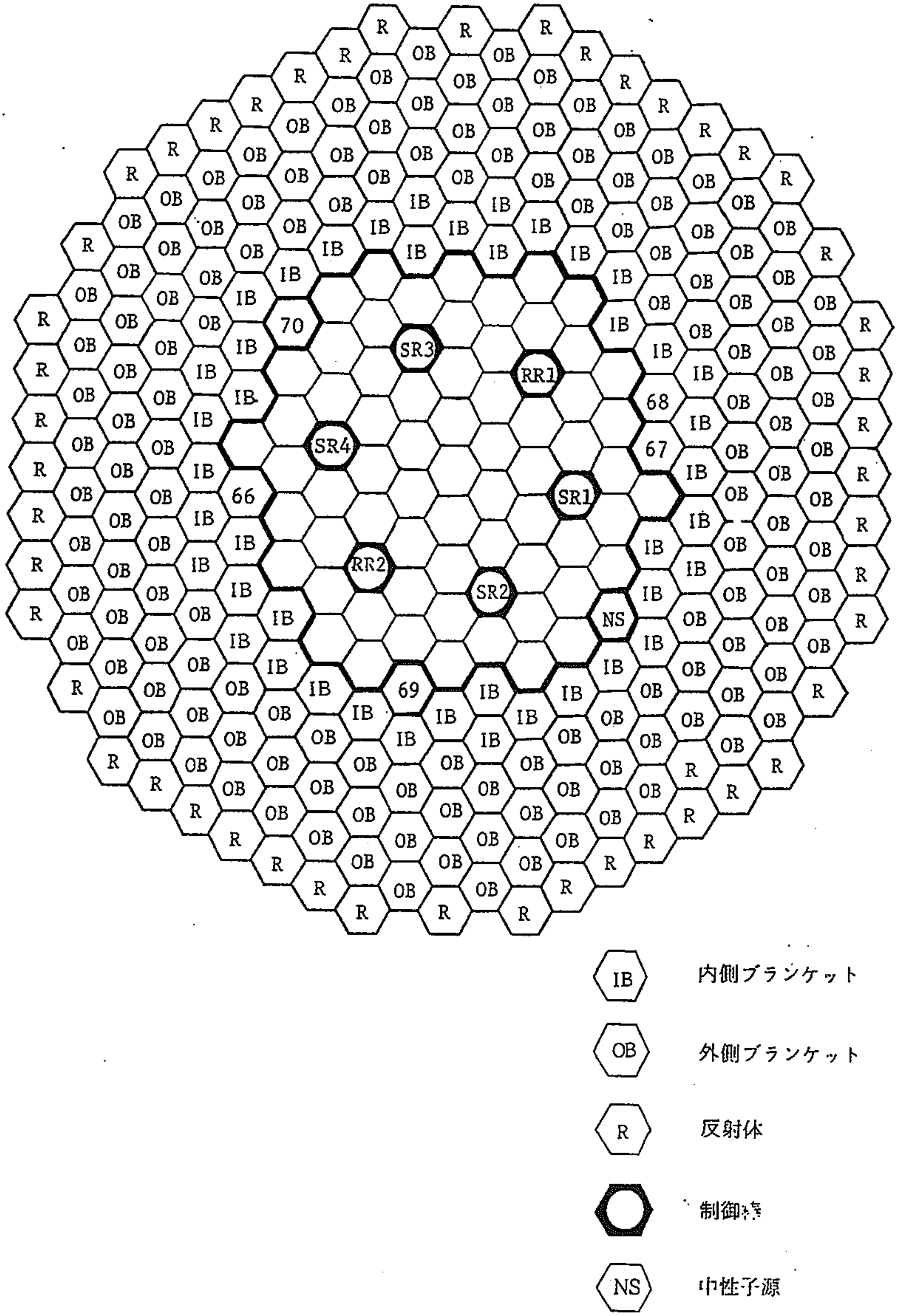


図3.1.1- 1　「常陽」ＭＫ－１初期炉心構成図（燃料集合体本数70本）

（PNC SN941 80-58より引用）

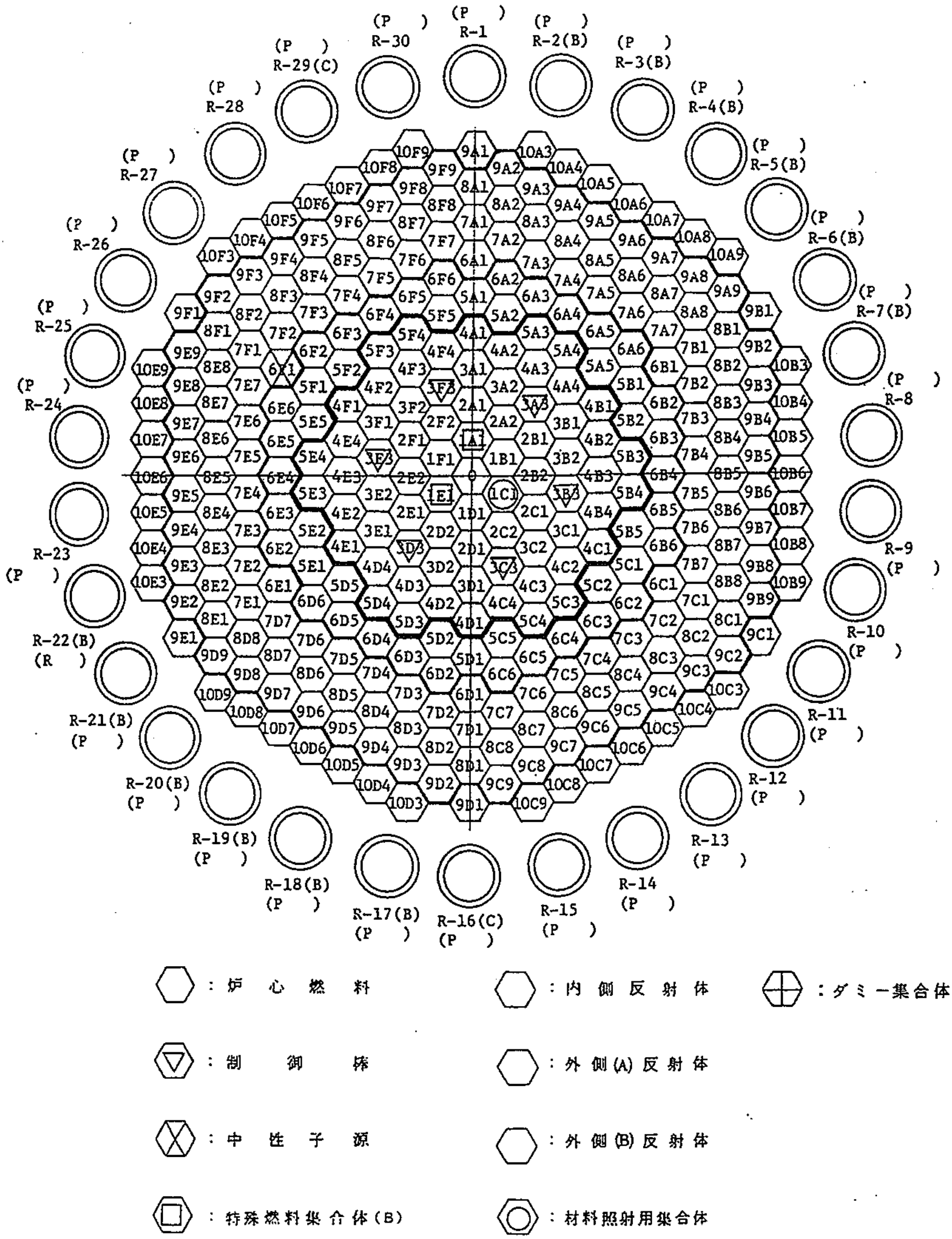


図3.1.1- 2　「常陽」MK－2初期炉心構成図（体系(64,2,1)）

（PNC SN941 85-17より引用）

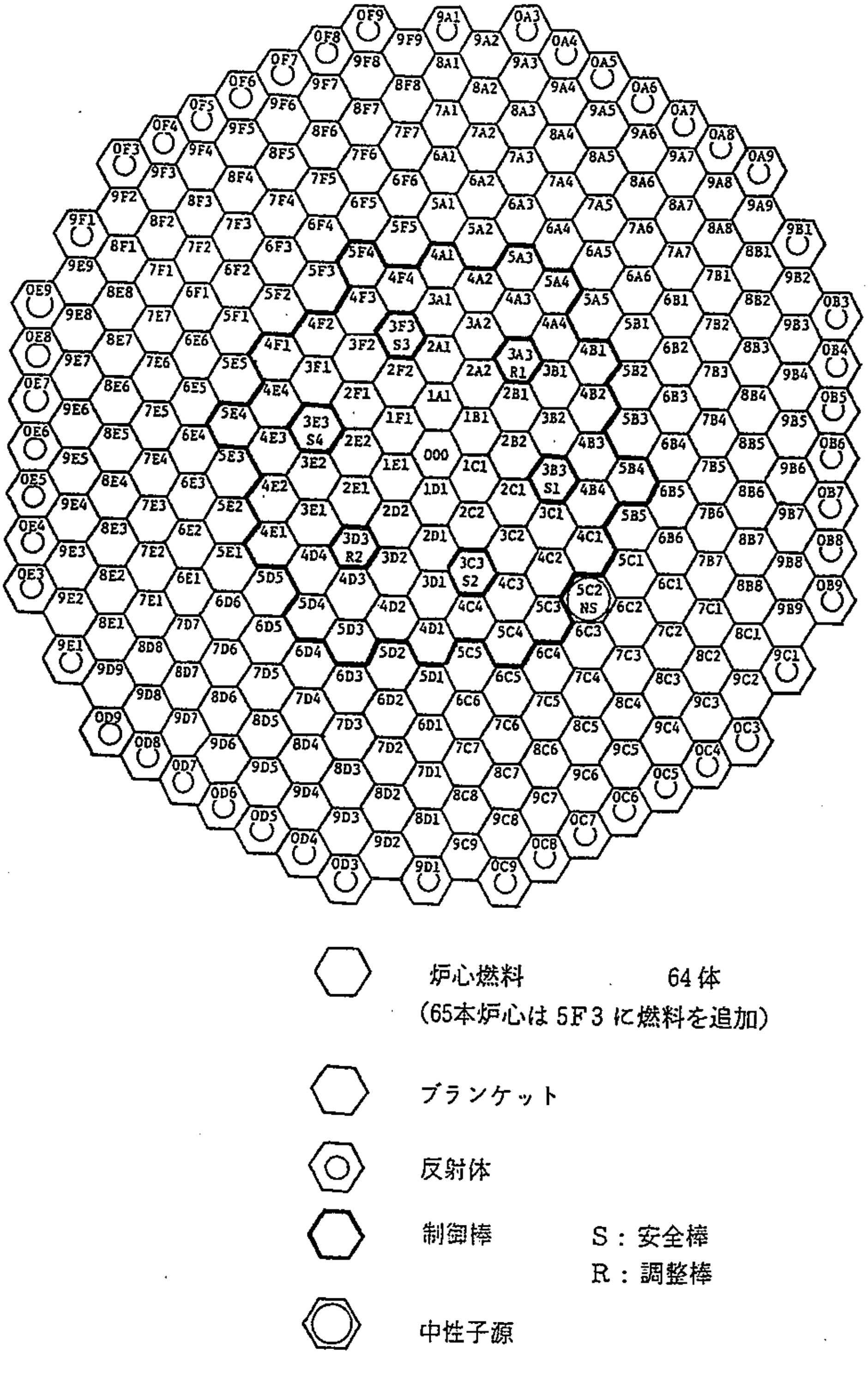


図3.1.1-3 「常陽」ＭＫ－１最小臨界炉心構成図（燃料集合体本数64本）

（PNC SN941 80-58より引用）

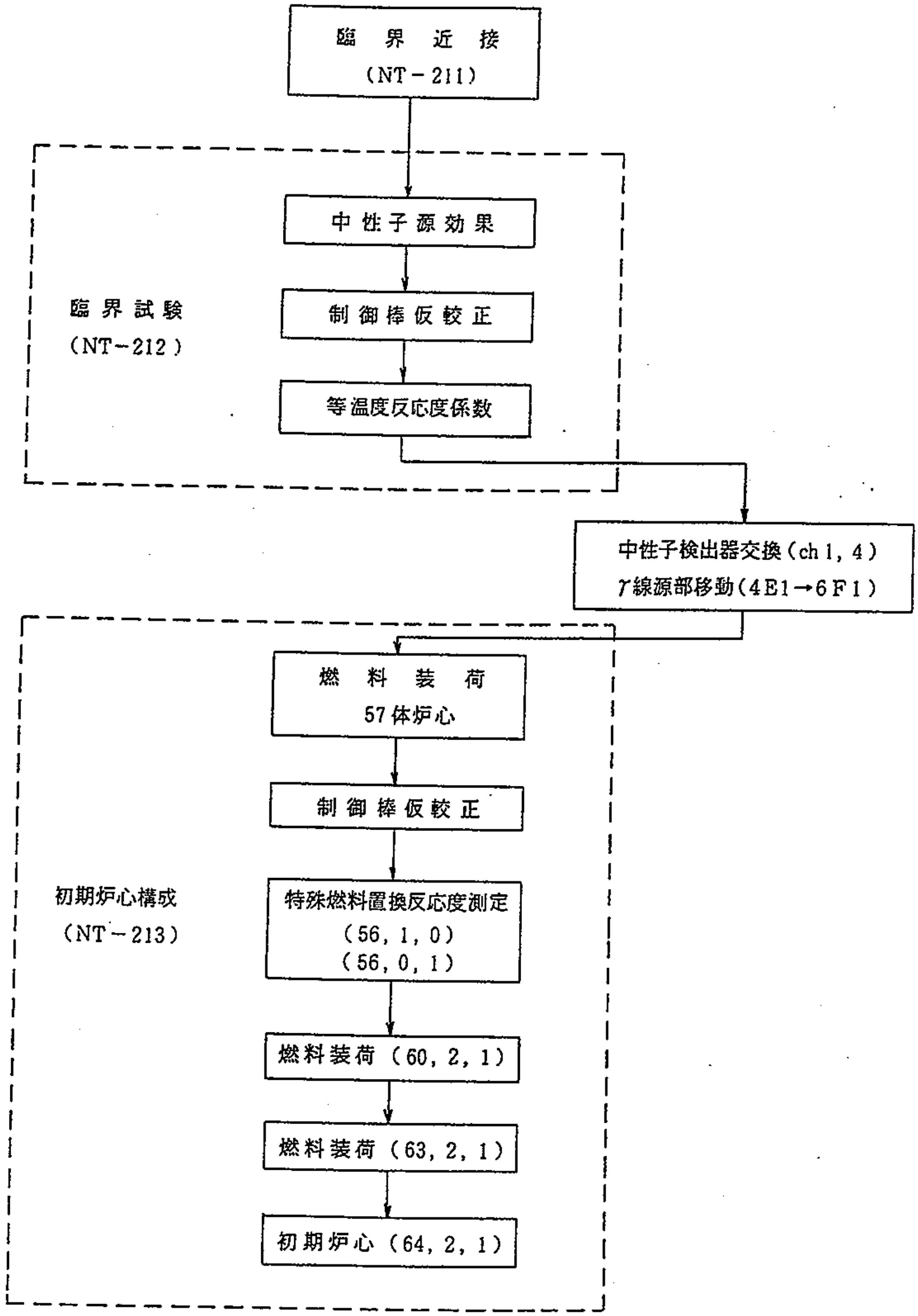


図3.1.1- 6　「常陽」ＭＫ－２炉心臨界試験及び初期炉心構成全体フロー

(PNC SN941 85-17より引用)

臨界試験全体工程表（昭和45年4月25日～5月6日）
（NT－12）

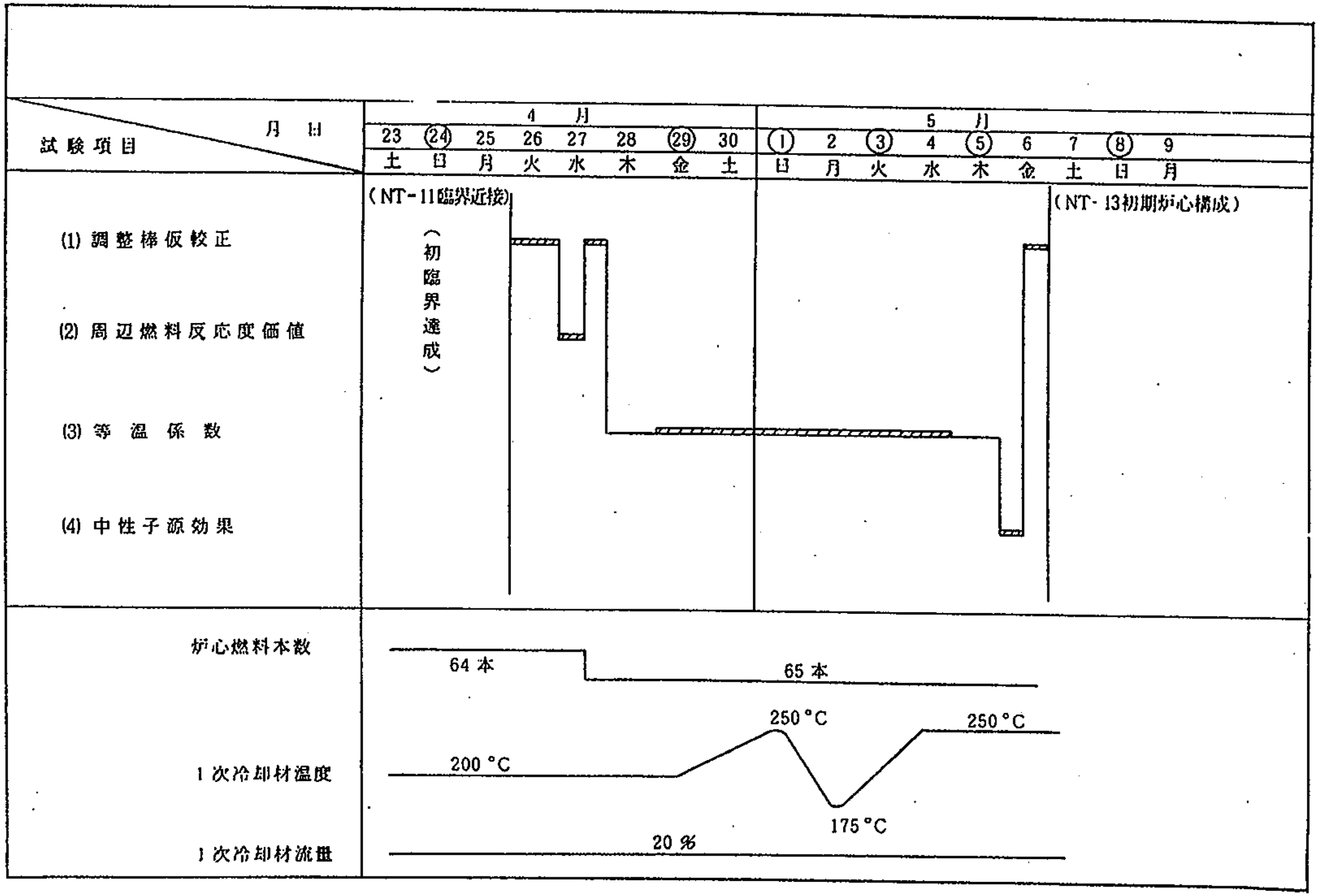


図3.1.1- 4(1) 「常陽」MK－1炉心臨界試験全体工程（１）

（PNC SN941 80-58より引用）

初期炉心構成全体工程表（昭和52年5月9日～5月19日）
（NT－13）

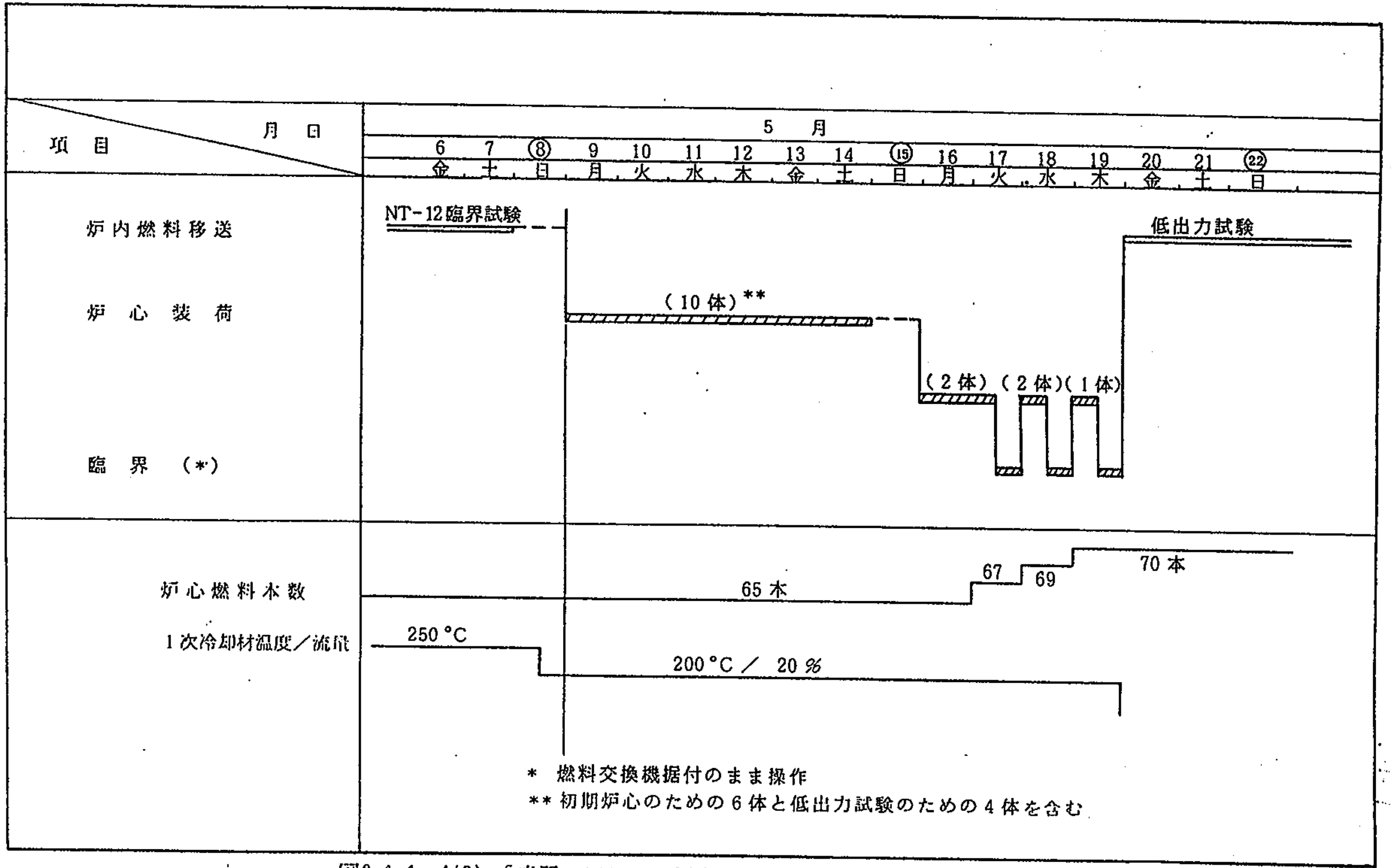


図3.1.1- 4(2) 「常陽」MK－1炉心臨界試験全体工程（2）

（PNC SN941 80-58より引用）

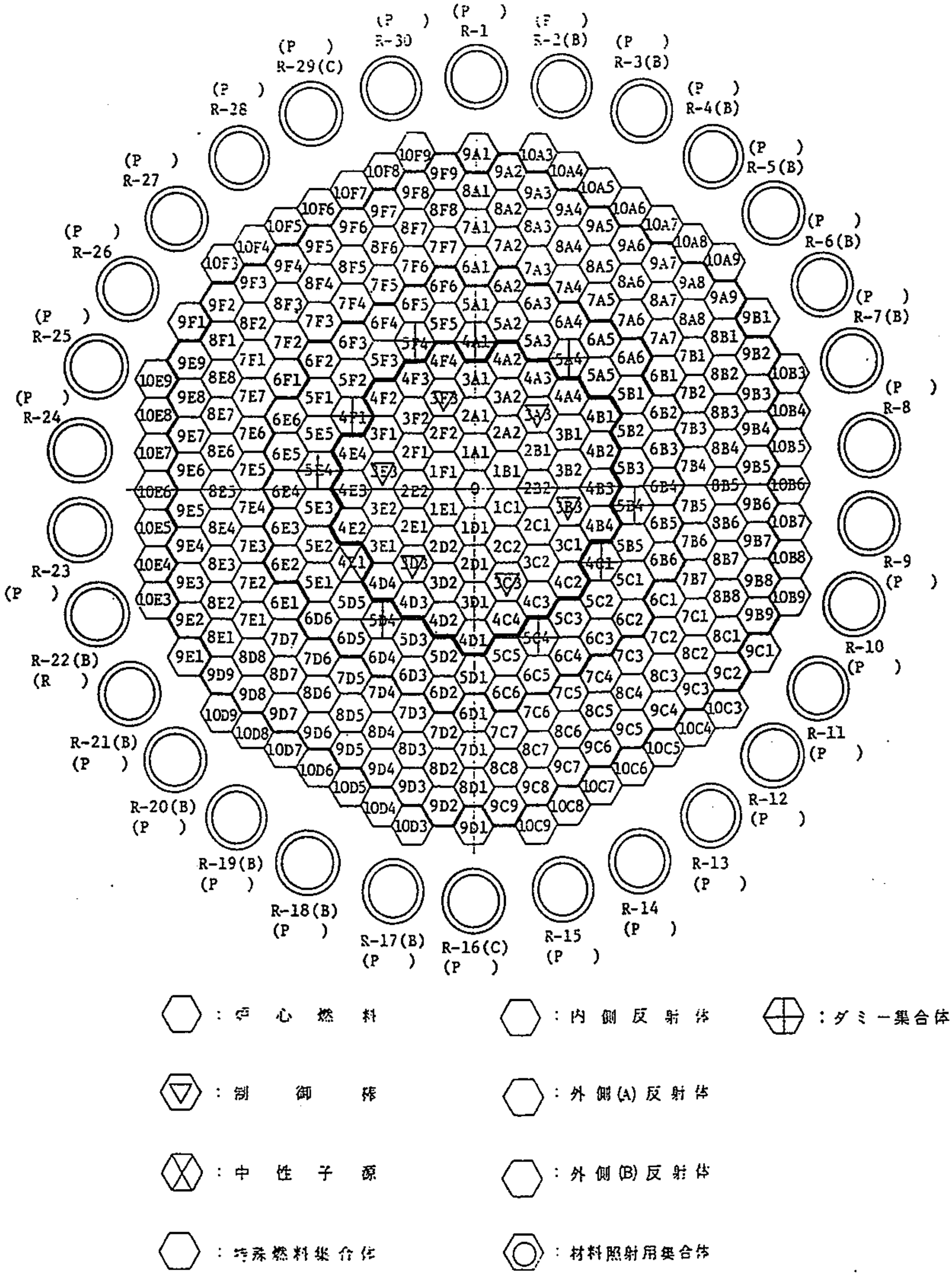


図3.1.1- 5 「常陽」ＭＫ－２最小臨界炉心構成図（体系(51,0,0)）

（PNC SN941 85-17より引用）

3.1.2 試験結果情報

本検討評価に利用したＭＫ－１炉心およびＭＫ－２炉心の性能試験関連報告書はつぎのものである。

特性値	ＭＫ－１初期炉心
・臨界性	PNC SN941 80-58 高速実験炉「常陽」性能試験報告書 臨界試験（ＮＴ－１２）／初期炉心構成（ＮＴ－１３） PNC SN941 79-119 高速実験炉「常陽」性能試験報告書 等温反応度係数（ＮＴ－３３）
・制御棒価値	PNC SN941 79-191 高速実験炉「常陽」性能試験報告書 制御棒特性（ＮＴ－２１，ＮＴ－２２，ＮＴ－２３）
・Ｎａボイド反応度	PNC SN941 80-188 高速実験炉「常陽」性能試験報告書 ナトリウムボイド反応度（ＮＴ－３２）
・燃料置換反応度	PNC SN941 80-58 高速実験炉「常陽」性能試験報告書 臨界試験（ＮＴ－１２）／初期炉心構成（ＮＴ－１３）
・燃焼係数	PNC SN941 80-33 高速実験炉「常陽」性能試験報告書 ＮＴ－３５　燃焼係数 PNC SN941 79-179 高速実験炉「常陽」性能試験報告書 ＰＴ－１１　熱出力較正
・全体	PNC N941 80-179 高速実験炉「常陽」性能試験結果（ＭＫ－１）の総括

特性値	ＭＫ－２初期炉心
・臨界性	PNC N941 85-17 高速実験炉「常陽」 100MW出力上昇試験報告書 臨界試験（ＮＴ－２１２）／初期炉心構成（ＮＴ－２１３） PNC SN9410 87-073 高速実験炉「常陽」 100MW出力上昇試験報告書

	等温反応度係数（ＮＴ－２３３）
	実験炉部技術課メモ　技-62-114 「"MAGI"ｺｰﾄﾞにおけるβeff, λeffの計算方法の改良」
・制御棒価値	初期炉心測定値
	実験炉部技術課メモ　技-57-236 「常陽 MK-II の炉心設計と低出力試験速報」
・燃料置換反応度	PNC　N941 85-17 高速実験炉「常陽」 100MW出力上昇試験報告書
	臨界試験（ＮＴ－２１２）／初期炉心構成（ＮＴ－２１３）
	実験炉部技術課メモ　技-57-236 「常陽 MK-II の炉心設計と低出力試験速報」
・燃焼係数	実験炉部技術課メモ　技-58-103 「性能試験期間中の反応度損失量」
	実験炉部技術課メモ　技-58-135 「定格 100MW第１サイクル定格出力到達以後７日間の余剰反応度変化」
	実験炉部技術課メモ　技-59-116 100MW 時熱出力測定誤差
・全体	PNC　N941 83-92 高速実験炉「常陽」 100MW出力上昇試験総合報告書（速報）

3.1.3 性能試験の測定条件および測定値と誤差要因分析

(1) 臨界性

表 3.1.3- 1 にＭＫ－１およびＭＫ－２炉心の最小臨界体系の測定条件と誤差要因調査結果のまとめを示す。それぞれの性能試験報告に記載されている最小臨界体系の実効増倍率は全制御棒が引き抜き位置に待機されている状態に対応する値である。この実効増倍率測定値は、最小臨界炉心で仮較正された制御棒価値測定試験結果から求められている。 制御棒仮較正試験結果から求められた炉心の余剰反応度は、＄単位から％Δρ単位への換算において、遅発中性子割合（β eff ）が使用されているので、炉定数調整用の実効増倍率測定値はつぎのようになる。

最小臨界体系

実効増倍率測定値	ＭＫ－１	ＭＫ－２
炉定数調整用 Keff	1.00279	1.00484
（β eff ; Tuttle & Saphier Data）	0.528%	0.396%
参考用測定値報告	1.00270 (Keepin)	1.00491 (Tomlinson)

不確かさ要因のうち、組成のバラツキ・不確かさの詳細は動燃殿で調査が続いているが、明確に確定されていない状況である。本検討では、0.1%Δρと暫定的に設定した。

(2) 周辺燃料価値

表3.1.3-2にＭＫ－１およびＭＫ－２炉心の最小臨界体系で測定された周辺燃料価値の測定条件と誤差要因の調査結果のまとめを示す。

今回の炉定数調整のための再評価では、７０本の燃料から構成されるＭＫ－１体系については、炉心の余剰反応度を吸収するために調整棒RR1 とRR2 のそれぞれかほぼ半挿入されている体系で行われた性能試験結果報告を解析対象とした。図3.1.3-1に測定位置を示す。

ＭＫ－１炉心の測定値は制御棒パターン１（調整棒１、２が半挿入状態）で測定された結果である。このパターンは反応度決定の基準とした調整棒１の反応度較正パターン測定位置と周辺燃料価値測定がおこなわれた制御棒位置関係が近いので、制御棒干渉効果の補正は不要である。炉定数調整用データの解析は、この制御棒パターンを模擬したモデルで行うことが整合性の確保のために必要である。

不確かさ要因のうち、制御棒延長管の収縮の影響は、ナトリウムボイド反応度の測定に大きく影響していることが指摘されている。（参考文献１０）　ほぼ同一時期に測定された燃料置換反応度についても同様な影響があると考えられる。組成のバラツキ・不確かさの詳細は動燃殿で調査が続いているが、明確に確定されていない状況である。本検討では、0.3%と暫定的に設定した。

また、ＭＫ－２炉心では初期炉心(57,0,0)体系と(64,2,1)体系で炉心燃料と内側反射体に置換された反応度測定結果を表3.1.3- 4に示した。図3.1.3- 2に初期炉心(57,0,0)体系断面図を示す。また、図3.1.3-3に初期炉心(64,2,1)体系と置換反応度測定位置を示す。

表3.1.3- 3および表3.1.3- 4に示されている反応度は＄単位から％$\Delta\rho$単位への反応度換算において、遅発中性子割合（β eff ）か使用されているので、炉定数調整用の周辺燃料価値は見直している。

(3) ナトリウムボイド反応度

表 3.1.3- 5 にＭＫ－１炉心において、特殊燃料集合体を使用した測定されたナトリウムボイド反応度分布の測定条件と誤差要因の調査のまとめを示した。反応度測定は臨界法で行われている。測定体系の炉心の余剰反応度を調整することと制御棒パターンを変更することにより、制御棒部分挿入チャンネルとナトリウムボイド位置との相対関係を変化させることによる変動を調べることを目指して、３種類の測定パターンが採用された。測定された炉内の位置は図 3.1.3- 4 に示す。

結果として、炉定数調整のための測定値は制御棒パターン１（調整棒１、２が半挿入状態）で測定された結果を選定した。このパターンは反応度決定の基準とした調整棒１の反応度較正パターン測定位置とナトリウムボイド反応度測定がおこなわれた制御棒位置関係が近いので、制御棒干渉効果の補正は不要なためである。炉定数調整用データの解析は、この制御棒パターンを模擬したモデルで行うことが整合性の確保のために必要である。各測定における制御棒位置データは Appendix-B に示してある。

制御棒パターンによる測定値の違いは、計算による干渉効果を補正する方法で検討した。ナトリウムボイド反応度の測定における制御棒パターン１は調整棒 RR1 と調整棒 RR2 で臨界が達成され、調整棒 RR1 の臨界位置の違いで反応度に換算されている。制御棒パターン２は調整棒 RR2 と安全棒 SR4 で臨界が達成され、制御棒パターン３は調整棒 RR2 と安全棒 SR2 で臨界が達成されている。パターン２、３のいずれも、調整棒 RR2 の臨界位置の違いから反応度に換算している。

パターン１については、上述の理由により制御棒価値測定時との挿入位置の違いによる補正は不要である。

一方、制御棒パターン２、３では反応度換算に使用した調整棒 RR2 の基準反応度が、調整棒 RR1 との差し替えで測定されているので、パターン２、３に直接対応するパターンと微分測定範囲がないことである。性能試験報告として使用された反応度は調整棒 RR2 のストローク曲線との違いを３次元 Tri-Z ７群拡散計算により補正することとした。 表 3.1.3- 6 に制御棒パターン１に対するナトリウムボイド反応度分布を示す。また、表 3.1.3- 7 には制御棒パターン２、３に対するナトリウムボイド反応度分布を参考として示した。この測定値には、制御棒価値の違いを補正係数として考慮している。これらの表から、制御棒パターン１と３の結果の整合性は若干改善されている。一方、中心チャンネル、１Ｆ１位置

などの制御棒チャンネルに隣接しない位置の測定値は、測定毎にバラツキはまだ見られる。ナトリウムボイド反応度は高々－6¢／集合体なので、燃料交換操作を通した臨界点の再現性の課題が重要である。測定は基本的に同一の特殊燃料集合体内のナトリウムの”有り”の状態と”無し”の状態を、それぞれの測定位置で実現する度に、炉停止と燃料入れ替え、炉心再起動を繰り返すものである。したがって、前述のバラツキの要因として、臨界位置の再現性が検討された。

結果としては、臨界位置の再現性の確認には、制御棒と制御棒駆動装置の指示のうち、ラッチ点、荷重開始点、臨界点の指示値の挙動を記録することにより、再現性は十分な精度で把握されることが判明した。

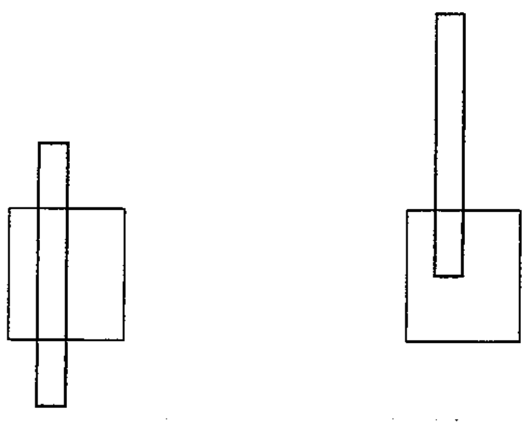
この点については、性能試験報告書（ PNC N941 80-188）より反応度変化の誤差検討をまとめると次のようになる。

(a) MK－1炉心のナトリウムボイド反応度測定試験のときの運転記録からは、以下に示すその後の知見を反映できない。

(b) 反応度測定結果を直接利用した誤差評価はつぎのようである。

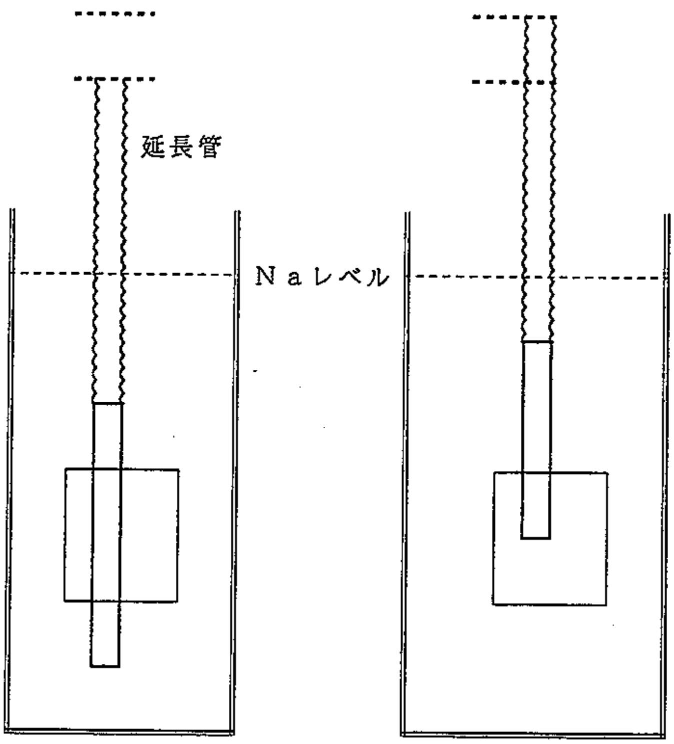
(i) 制御棒延長管の熱収縮効果

制御棒全挿入－→臨界操作－→調整棒1本で臨界



引き抜き後1時間で安定

0.8mm 程度シフトと測定例あり



引き抜き部分の温度が

Ｎａ温度より低下する。

↓

調整棒延長管の熱収縮

0.6mm 程度の測定評価

Ｎａ温度 200℃の時

(ii) 臨界点再現性試験における冷却材流量の影響

キーパラメータとして、１次系流量 100% or 20% の変化、制御棒ラッチ・デラッチ（燃料交換の有無）、燃料集合体の再装荷の有無をとりあげ、整理すると次のようになった。

臨界のためのＣＲパターン

・調整棒ＲＲ１＋ＲＲ２　均等引抜　５回

・調整棒ＲＲ１　　　　　１本引抜　９回

標準偏差　±0.6 ¢

ラッチ・デラッチ前後　最大　1.9 ¢

流量変化　100%　20%

1977/5 No. of Data 16 std=0.012%$\Delta\rho$ Data 4 std=0.009%$\Delta\rho$

1977/10 No. of Data 3 std=0.003%$\Delta\rho$ Data 6 std=0.009%$\Delta\rho$

-------- 流量による差は小さいと結論

１次評価の結論；

・臨界点再現性誤差３¢のうち、約２¢は調整棒延長管の熱膨張効果

－－延長管の熱膨張なし状況における再現性　std=±0.3 ¢

－－12 時間後の延長管収縮後は　反応度 2.3¢はいったことに相当；

これは見かけの測定値 2.3mm に相当

・Ｎａ　２５０℃、　Ａｒカバーガス　１５０℃とし、ＳＳの線膨張率を 1.7E-05 1/C とすると、 2.4mm の収縮が予想され、上記の 2.3mm とよく一致している。

・ラッチ L/S on 位置（-38 mm）・荷重開始位置・臨界点の挙動は完全に一致することが分かった。

→このことから、ラッチ L/S on 位置によって臨界点を補正すれば、あとは制御棒延長管の熱収縮・膨張効果による誤差を除去可能が予想される。

○制御棒延長管の熱膨張なしのとき；

ラッチ L/S on 位置・荷重開始位置の再現性　１σ～0.1mm 読み取り誤差の範囲

○熱膨張の後（12 時間後）；

ラッチ L/S on 位置の変動	-2.5mm	良好な一致と言える。
荷重開始位置の変動	-2.0mm	
臨界点の変動	-2.3mm	

→このことから、ラッチ L/S on 位置を規格化することによって、ＣＲ延長管の熱収縮効果は除去可能。　→反応度誤差　　±0.3 ￠（１σ）が可能。

この内訳分析

調整棒位置の読み取り誤差	±0.2 mm(～0.18￠)
冷却材温度測定誤差	±0.3 ℃(～0.23￠)
合計	±0.3 ￠

一方、ラッチ・デラッチの再現性	ＲＲ１	±0.2 mm 以下
	ＲＲ２	±0.1 mm 以下

→これらの数値の大きさは読み取り誤差の範囲内であり、当初懸念されたラッチ・デラッチの再現性の誤差は殆どないと言えることが示された。

不確かさ要因のうち、組成のバラツキ・不確かさの詳細は集合体組成の差がナトリウムボイド反応度に与える影響の大きさ検討結果（性能試験報告書）を引用した。

(4) 燃焼係数

表 3.1.3-7 にＭＫ－１およびＭＫ－２炉心の燃焼係数の測定条件と誤差要因の調査のまとめを示した。それぞれの測定結果は、連続出力運転状態における制御棒位置の変化分を

反応度に換算している。ここでも、基準として使用された制御棒ストローク曲線は、初期炉心の低出力状態で行われた制御棒価値較正試験から求めた値が使用されている。炉心の余剰反応度の違いにより挿入深度が異なるので、干渉効果に違いが生ずる点を考慮する必要がある。したがって、ここでも燃焼係数測定の結果は、”見かけのスケール”となっているので補正する必要がある。

たとえば、MK－1炉心では、燃焼係数が調整棒RR1 とRR2 が同時に引き抜かれた反応度変化Δρ（RR1; L11→ L12, RR2; LL21 →LL22）を、求める必要がある。

ここで、制御棒価値測定では調整棒RR1 が軸方向位置の L11→ L12への移動に伴う反応度変化Δρ（RR1; L11→ L12, RR2; 112）は、差替え相手の調整棒RR2 は平均して軸方向112 にあった。同様に、調整棒RR2 が軸方向位置の L21→ L22への移動に伴う反応度変化Δρ（RR1; 111, RR2; L21→ L22）は、差替え相手の調整棒RR1 は平均して軸方向111 にあったとする。

測定では、Δρ（RR1; L11→ L12, RR2; LL21 →LL22）＝

Δρ（RR1; L11→ L12, RR2; 112）＋Δρ（RR1; 111, RR2; L21→ L22）

として与えられている。

しかし、111 ≠average(L11→ L12)、112 ≠average(L21→ L22)であるので、上記の式は厳密には成立しない。干渉効果補正が必要である。

Δρ（RR1; L11→ L12, RR2; LL21 →LL22）＝

Δρ（RR1; L11→ L12, RR2;1122）＋Δρ（RR1;1111, RR2; L21→ L22）

として与えるべきである。

ここで、1111＝average(L11→ L12)、1122＝average(L21→ L22)である。したがって、3次元Tri-Z 7g 拡散計算により干渉効果を補正係数として計算した。つぎの補正係数を利用して、反応度変化をもとめる。

$$\text{補正係数}\,\alpha\,1 = \frac{\Delta\rho\ (\mathrm{RR1;\ L11 \rightarrow L12,\ RR2;1122})\ \mathrm{cal.}}{\Delta\rho\ (\mathrm{RR1;\ L11 \rightarrow L12,\ RR2;\ 112})\ \mathrm{cal.}}$$

$$\text{補正係数}\,\alpha\,2 = \frac{\Delta\rho\ (\mathrm{RR1;1111,\ RR2;\ L11 \rightarrow L12})\ \mathrm{cal.}}{\Delta\rho\ (\mathrm{RR1;\ 111,\ RR2;\ L21 \rightarrow L22})\ \mathrm{cal.}}$$

Δρ（RR1; L11→ L12, RR2; LL21 →LL22）＝

α 1*$\Delta\rho$（RR1; L11→ L12, RR2; 112）＋α 2*$\Delta\rho$（RR1; 111, RR2; L21→ L22）
としてもとめる。

燃焼係数はＵ２３８の中性子吸収で生成されるＵ２３９－Ｎｐ２３９がＰｕ２３９に崩壊する過程が平衡に達した状態の一定出力運転による反応度変化から求めた。

また、制御棒較正試験結果から求められた炉心の余剰反応度は、＄単位から％$\Delta\rho$単位への換算において、遅発中性子割合（β eff ）か使用されているので、炉定数調整用の燃焼係数はＭＫ－１／－２共通に Tuttle & Saphier のデータにもとづくβ eff に統一している。

ＭＫ－１炉心の燃焼係数は３つの炉心（性能試験体系、５０ＭＷ定格第一サイクル炉心、５０ＭＷ定格第二サイクル炉心）で測定されている。図 3.1.3-5 に性能試験炉心の配置を示す。性能試験では臨界点から求める方法のほかに、５０ＭＷ１００時間連続運転からも燃焼反応度が測定されているが、運転手順などの関係から上述の核変換において平衡状態とならないので測定値からははずしている。また、臨界点の変動にもとづくデータは参考とした。

５０ＭＷ定格第一サイクル炉心は１体の燃料を５列についかした７１体炉心である。図 3.1.3-6 に炉心配置図を示す。サイクル全体の積算出力は 2101.3MWD である。図 3.1.3-7 に運転中の炉心反応度変化の様子を示している。同図の縦軸は性能試験報告書で使用されているβ eff 値が使用された場合である。サイクル運転途中で制御棒の差し替えによる炉心反応度のズレが見られる。これは、制御棒価値測定時と定格出力運転時の制御棒位置の違いに起因する干渉効果の違いによる例である。干渉効果は５％程度はあることが分かる。５０ＭＷ定格第二サイクル炉心の図を 3.1.3- 8 に示す。図 3.1.3- 9 に燃焼による反応度変化の様子を示す。サイクル全体の積算出力は 2118.4MWD である。

これらの測定から得られた燃焼係数は表 3.1.3-8 に示す。第一サイクルの燃焼係数との違いが約 10% 見られる。　燃焼係数測定に関する制御棒位置の詳細記録・炉心余剰反応度および性能試験報告書に記載されている測定結果のまとめは Appendix-B に引用してある。ＭＫ－２炉心に関する燃焼係数は、初期炉心(64,2,1)体系における１００時間連続運転と定格第一サイクル定格出力到達以後７日間の余剰反応度変化から求められた結果を表 3.1.3- 9 に示す。同表には参考値として、出力上昇試験時の臨界点から求めた反応度減少が得た燃焼係数も示す。図 3.1.3-10 の反応度単位は性能試験報告で使用されたβ eff 値による結果を示した。測定は平衡状態と見なせることが示されている。

表 3.1.3- 1 臨界性の測定条件と誤差要因分析

(a) 最小臨界量

項目	MK－1炉心	MK－2炉心
反応度基準	仮較正制御棒一本	仮較正制御棒一本
	RR2;534.1mm--700.0mm(Max)	CR1;475.1mm--650.7mm(Max)
	または	または
	SR3;562.9mm--900.0mm(Max)	CR3;477.5mm--650.6mm(Max)
反応度仮較正	正のペリオド法	正と負のペリオド法
	(RR2 と SR3 の差替え；	(CR1 と CR3 の差替え；
	干渉効果最小；ほぼ無し)	干渉効果最小；ほぼ無し)
	炉心燃料64本体系	炉心燃料51本体系
温度条件	一様 200℃～250℃ Na	一様 ～250℃ Na
Na流量	約 20%	100%
中性子源位置	5C2 (Sb－Be)	4E1 (Sb－Be)
計測 cps	100 cps level (約 10watt)	15～85 KWatt 「高出力」ﾓｰﾄﾞ
反応度測定範囲	約 0.3%Δρ	約 0.5%Δρ
使用β eff	0.513%(Keepin)	0.402%(Tomlinson)
今回の評価	0.528%(Tuttle&Saphier)	0.396%(Tuttle&Saphier)
主な誤差要因	(a) 臨界点再現性	(a) 臨界点再現性
	(b) 等温係数の誤差	(b) 等温係数の誤差
	(c) 制御棒較正曲線誤差	(c) 制御棒較正曲線誤差
	(d) 組成誤差	(d) 組成誤差

表 3.1.3- 2 周辺燃料価値の測定条件と誤差要因分析

(b) 周辺燃料価値

項目	MK－1炉心	MK－2炉心
反応度基準	仮較正制御棒一本 RR2;534.1mm--700.0mm(Max) または SR3;562.9mm--900.0mm(Max)	仮較正制御棒一本 CR1;475.1mm--650.7mm(Max) または CR3;477.5mm--650.6mm(Max)
反応度仮較正	正のペリオド法 (RR2 と SR3 の差替え； 干渉効果最小；ほぼ無し) 炉心燃料６４，６５本体系	正と負のペリオド法 (CR1 と CR3 の差替え； 干渉効果最小；ほぼ無し) 炉心燃料５０，５１本体系
温度条件	一様 ～205℃　Ｎａ	一様 ～250℃　Ｎａ
Ｎａ流量	約 20%	約 20%
中性子源位置	５Ｃ２（Ｓｂ－Ｂｅ）	４Ｅ１（Ｓｂ－Ｂｅ）
計測 cps	1.0x104 cps （約 1kwatt）	1.0x104 cps 「起動」ﾓｰﾄﾞ
反応度測定範囲	約 0.35%Δρ	約 0.5%Δρ
使用βeff	0.513%(Keepin)	0.402%(Tomlinson)
今回の評価	0.528%(Tuttle&Saphier)	0.396%(Tuttle&Saphier)
主な誤差要因	(a) 温度補正分の誤差 (b) 制御棒較正曲線誤差 (c) 臨界点再現性誤差 (b)+(c) max 0.02%Δρ (d) 組成誤差 (e) 制御棒延長管熱収縮効果	(a) 温度補正分の誤差 (b) 制御棒較正曲線誤差 (c) 臨界点再現性誤差 (d) 組成誤差 (e) 反応度に対する中性子源の影響；相対変化へは無視可能

注）MK-II では従来の知見から制御棒延長管熱収縮効果は無視できるように試験が考慮されている。

表3.1.3- 3　MK－1炉心の周辺燃料価値測定値

項目	測定値 β eff 変更後	制御棒位置 補正係数	測定値 基準値
燃料置換反応度（７０体炉心）			
（単位；%ρ）			
４Ｆ１（Ｆ→Ｂ）	-0.456	------	-0.456
５Ａ３（Ｆ→Ｂ）	-0.331	------	-0.331
５Ｃ３（Ｆ→Ｂ）	-0.406	------	-0.406
５Ｆ４（Ｆ→Ｂ）	-0.370	------	-0.370

1)制御棒パターン１；調整棒１、２が半挿入状態。基準とした調整棒１の反応度較正パターン測定位置と近いので、制御棒位置補正は不要。

2)β eff は炉定数調整の統一データ(Tuttle & Saphier)使用

表3.1.3- 4 「常陽」ＭＫ－２炉心の周辺燃料置換反応度

－－燃料集合体と内側反射体集合体の置換反応度－－

(a) 初期炉心(57,0,0)の周辺燃料置換反応度

集合体位置	測定値（ %Δρ）
５Ｆ２（Ｆ→Ｒ）	-0.376
５Ｂ２（Ｆ→Ｒ）	-0.356
５Ｃ２（Ｆ→Ｒ）	-0.367

1)実験炉部技術課メモ　技-57-236 (S58/2/22)参考。

2)β eff は炉定数調整の統一データ(Tuttle & Saphier)使用

3)反応度測定は、臨界法による制御棒位置の変化から求めている。

初期炉心構成試験として実施。中性子源位置６Ｆ１。

(b) 初期炉心(64,2,1)の周辺燃料置換反応度

集合体位置	測定値（ %Δρ）
５Ｆ２（Ｆ→Ｒ）	-0.410
５Ｂ５（Ｆ→Ｒ）	-0.390
５Ｃ２（Ｆ→Ｒ）	-0.401

1)PNC SN941 83-92 参考。

2)β eff は炉定数調整の統一データ(Tuttle & Saphier)使用

表3.1.3- 5 ナトリウムボイド反応度の測定条件と誤差要因分析

(c) ナトリウムボイド反応度

項目	ＭＫ－１初期炉心
測定方法	特殊燃料集合体を使用し、燃料チャンネル内のＮａの有り無し状態の臨界点の違いを反応度変化に換算、炉心燃料７０本体系
反応度基準	初期炉心で較正された制御棒　３測定パターンの内 測定パターン１による測定値を採用する。 測定パターン１；調整棒２本による測定（安全棒４本引抜） 調整棒 RR2 の臨界点の違いから反応度差を測定、 調整棒 RR1 位置は 350mm 位置に固定（炉心中心レベル） 制御棒価値には RR1 と RR2 の干渉効果が含まれるが、置換法による測定は RR1 350mm-RR2 350mm 近傍での測定であり、測定パターンとしてほぼ再現されるように選択されている。 測定パターン２；安全棒 SR2 と調整棒 RR2 による臨界操作。 測定パターン３；安全棒 SR4 と調整棒 RR2 による臨界操作。
温度条件	一様 ～250℃　Ｎａ
Ｎａ流量	約 20%
中性子源位置	５Ｃ２（Ｓｂ－Ｂｅ）
計測 cps	1.0x104 cps （約 1kwatt）
反応度測定範囲	約-4～ 0￠
使用β eff	0.513%(Keepin)
今回の評価	0.528%(Tuttle&Saphier)
主な誤差要因	(a) 測定位置ごとによる体系温度差影響 (b) 制御棒較正曲線誤差 (c) 臨界点再現性誤差 (d) 制御棒延長管熱収縮効果
その他	測定時の制御棒パターン２，３の影響は参考。

表3.1.3-6　ＭＫ－１炉心のナトリウムボイド反応度分布測定値（１）

（７０体炉心）

（反応度単位；1.0E-04 ρ）

位置	測定値（２） β eff 補正後	制御棒位置 補正係数	測定値（３） 制御棒価値補正後
制御棒パターン１（RR1,RR2 ）			
0	-3.55	1.00	-3.55
１Ｆ１	-3.90	1.00	-3.90
２Ｆ１	-3.82	1.00	-3.82
３Ｆ１	-3.12	1.00	-3.11
４Ｆ１	-3.01	1.00	-3.01
５Ｆ１	-1.38	1.00	-1.38
６Ｆ１	-0.124	1.00	-0.124
０＋１Ｆ１	-9.14	1.00	-9.14

測定値（２）；β eff=0.528%(Tuttle, Saphier)

制御棒位置の違い補正

表3.1.3- 6　　ＭＫ－１炉心のナトリウムボイド反応度分布測定値（２）

（反応度単位；1.0E-04 ρ）

位置	測定値（２） β eff 補正後	制御棒位置 補正係数	測定値（３） 制御棒価値補正後
制御棒パターン２（SR2,RR2 ）			
0	-3.27	0.90	-2.95
１Ｆ１	-3.95	0.90	-3.56
２Ｆ１	-----	0.90	-----
３Ｆ１	-3.57	0.90	-3.21
４Ｆ１	-2.56	0.90	-2.31
５Ｆ１	-----	0.90	-----
６Ｆ１	-----	0.90	-----
０＋１Ｆ１	-8.53	0.90	-7.68
制御棒パターン３（SR4,RR2 ）			
0	-6.02	0.90	-5.42
１Ｆ１	-4.57	0.90	-4.11
２Ｆ１	-5.60	0.90	-5.05
３Ｆ１	-2.22	0.90	-2.00
４Ｆ１	-3.50	0.90	-3.15
５Ｆ１	-----	0.90	-----
６Ｆ１	-----	0.90	-----
０＋１Ｆ１	-8.57	0.90	-7.72

測定値（２）；β eff=0.528%(Tuttle,Saphier)

制御棒位置の違い補正

表 3.1.3- 7 燃焼係数の測定条件と誤差要因分析

項目	ＭＫ－１炉心	ＭＫ－２炉心
反応度基準	調整棒位置移動による反応度差	制御棒位置移動による反応度差
	50MWth cycle-1（７１体炉心）	100MWth cycle-1 (64,2,1)炉心
	（RR1,RR2 差替え後）	定格出力到達後７日間の反応度変化
	RR1 476.3mm--497.6mm	CR#1 450.0mm -- 455.5mm
	RR2 477.0mm--497.0mm	CR#2 448.4mm -- 456.1mm
	50MWth cycle-2（７１体炉心）	CR#3 449.0mm -- 455.0mm
	RR1 501.2mm--543.5mm	CR#4 448.4mm -- 455.0mm
	RR2 501.2mm--545.8mm	CR#5 447.2mm -- 455.0mm
		CR#6 448.0mm -- 456.2mm
反応度較正	70 体初期炉心の較正結果利用	初期炉心の較正試験結果利用
	（RR1 と RR2 の差替え）	（６本制御棒の均等引抜）
	炉心燃料７１本体系	
温度条件	入口温度 370℃ Ｎａ	入口温度 370℃ Ｎａ
Ｎａ流量	100%	100%
中性子源位置	７Ｆ１（Ｓｂ－Ｂｅ）	６Ｆ１（Ｓｂ－Ｂｅ）
炉出力	５０ＭＷｔｈ	１００ＭＷｔｈ
反応度測定範囲	約 0.35%Δρ	約 0.2%Δρ
使用β eff	0.513%(Keepin)	0.402%(Tomlinson)
今回の評価	0.528%(Tuttle&Saphier)	0.396%(Tuttle&Saphier)
主な誤差要因	(a) 入口温度変動	(a) 入口温度変動
	(b) 制御棒価値・干渉効果	(b) 制御棒価値・干渉効果
	(c) 熱出力較正誤差	(c) 熱出力較正誤差

表3.1.3- 8　ＭＫ－１炉心の燃焼係数測定値

項目	燃焼反応度（平衡時）（単位；%ρ/(50MW*Day) 測定値 βeff 変更後	制御棒位置 補正係数	測定値 基準値
(1)　５０ＭＷ出力上昇試験 （臨界点記録より；参考値）	-8.03E-03	0.92	-7.39E-03
(2)　５０ＭＷ第１サイクル	-7.70E-03	0.92	-7.08E-03
(3)　５０ＭＷ第２サイクル	-8.40E-03	0.92	-7.73E-03

測定値；βeff=0.528%(Tuttle, Saphier)

制御棒位置の違い補正

表3.1.3- 9　ＭＫ－２炉心の燃焼係数測定値

項目	燃焼反応度（平衡時）（単位；%ρ/(100MW*Day) 測定値 βeff 変更後	制御棒位置 補正係数	測定値 基準値
(1) １００ＭＷ出力上昇試験 （臨界点記録より；参考値）	-2.36E-02	na	-2.36E-02
(2) １００ＭＷ出力上昇試験 100時間連続運転時データ	-2.16E-02	na	-2.16E-02
(3) １００ＭＷ第一サイクル定格出力 到達以後７日運転時データ	-2.04E-02	na	-2.04E-02

測定値；βeff=0.396%(Tuttle,Saphier)

制御棒位置の違い補正含めていない。

(3) 実験炉部技術課メモ　技-58-135

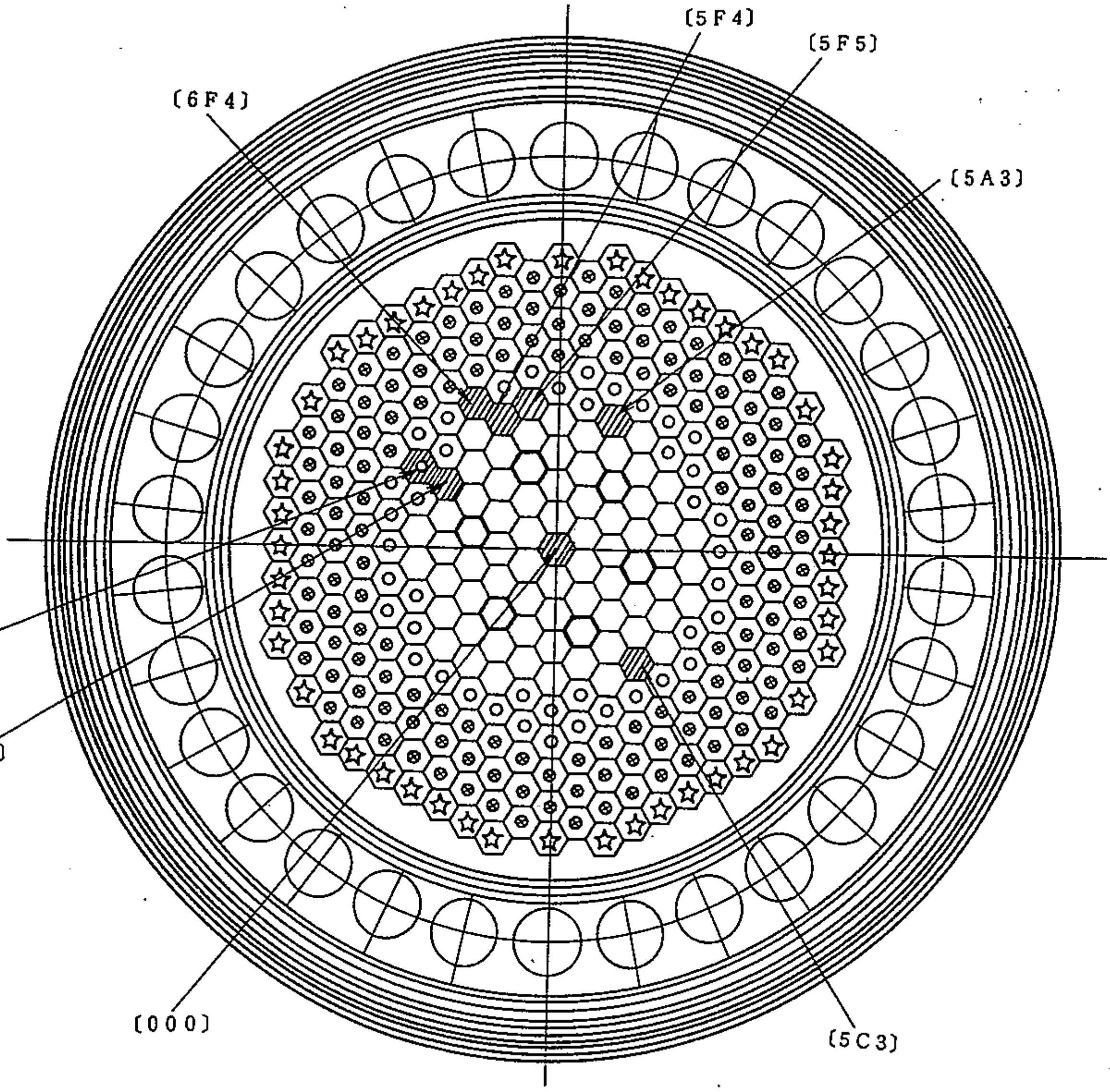


図3.1.3- 1　「常陽」ＭＫ－１初期炉心における周辺燃料価値測定位置

(PNC N941 80-179 より引用)

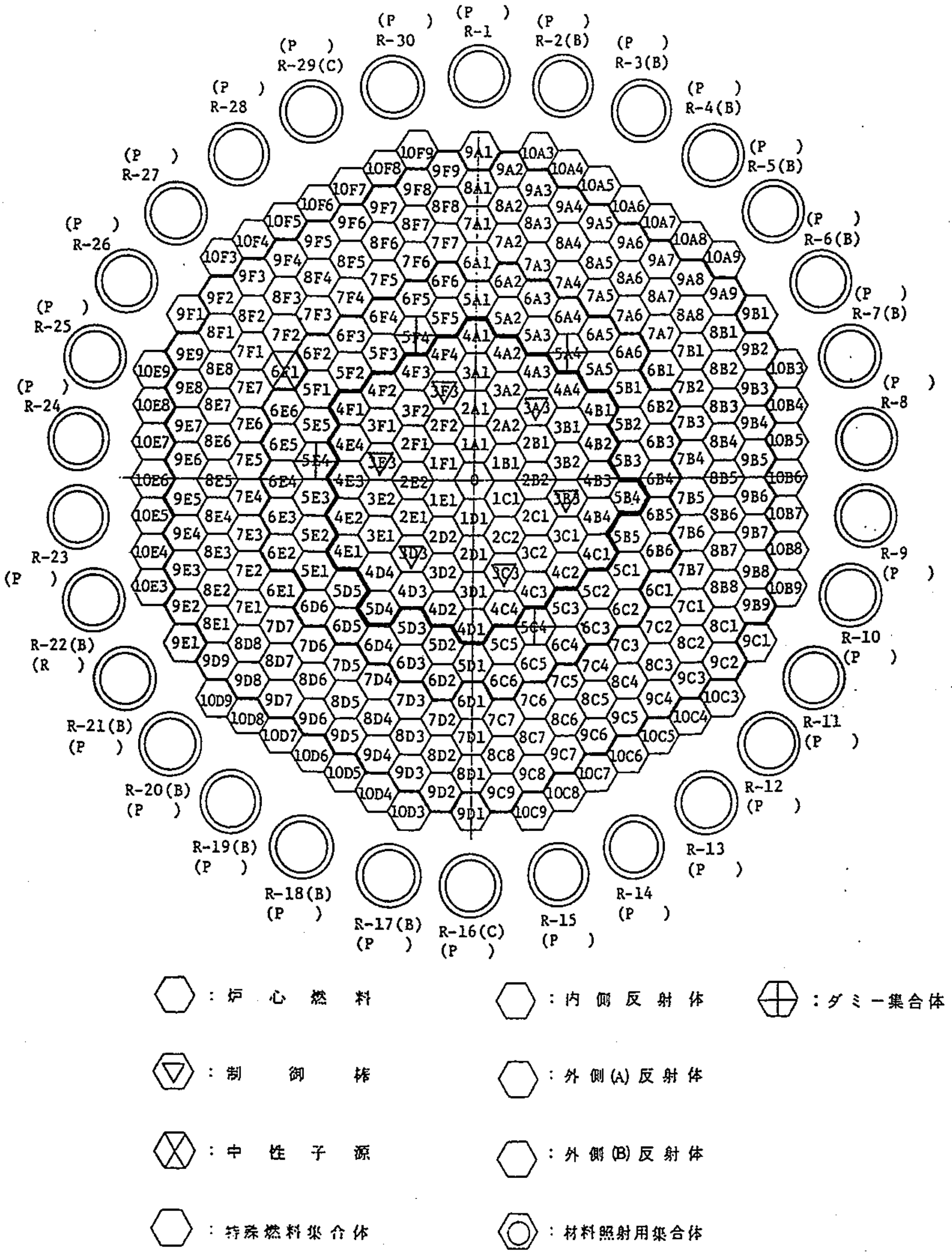


図3.1.3-2　「常陽」MK－2臨界試験における周辺燃料価値測定炉心(57,0,0)

(PNC N941 85-17より引用)

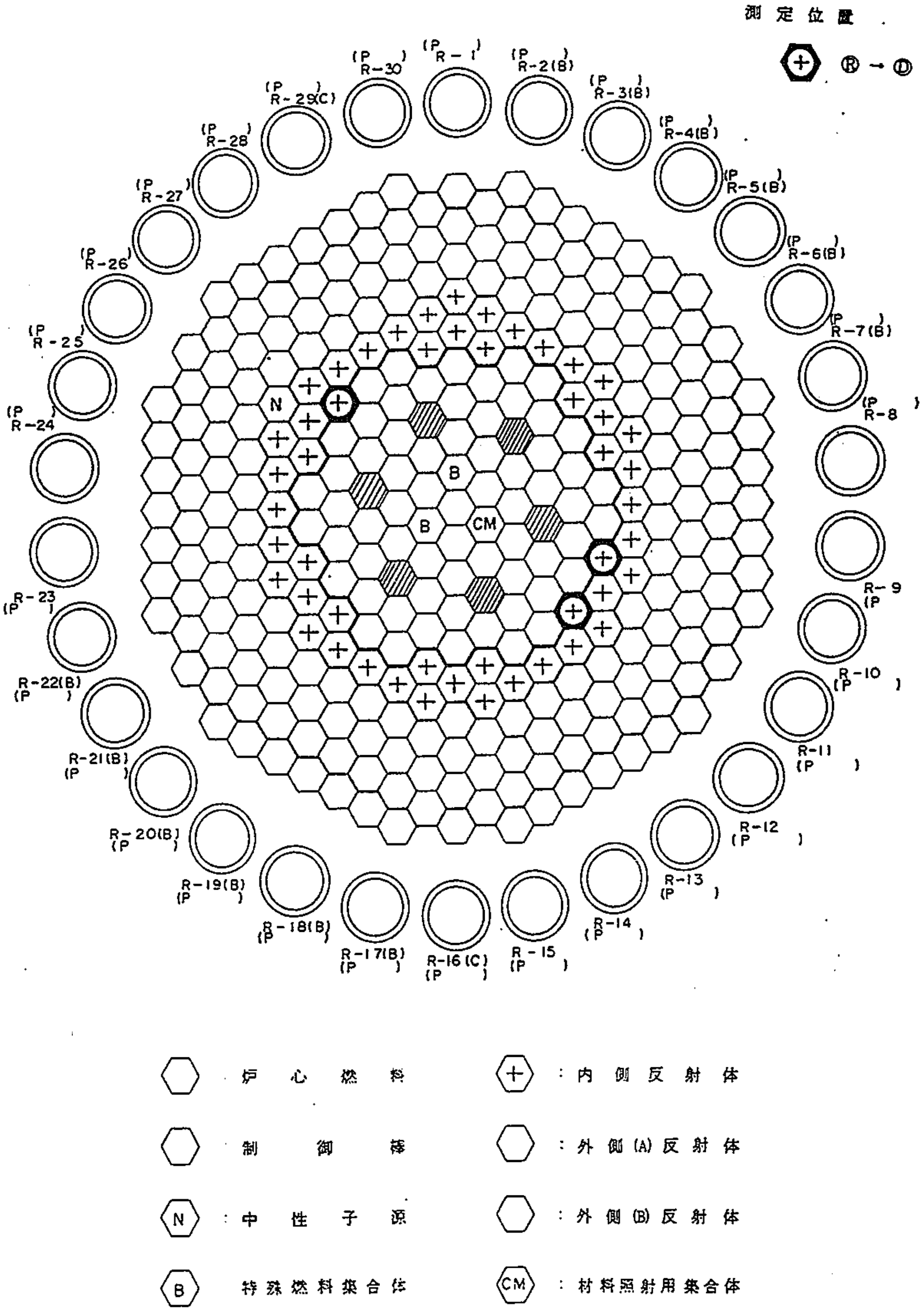
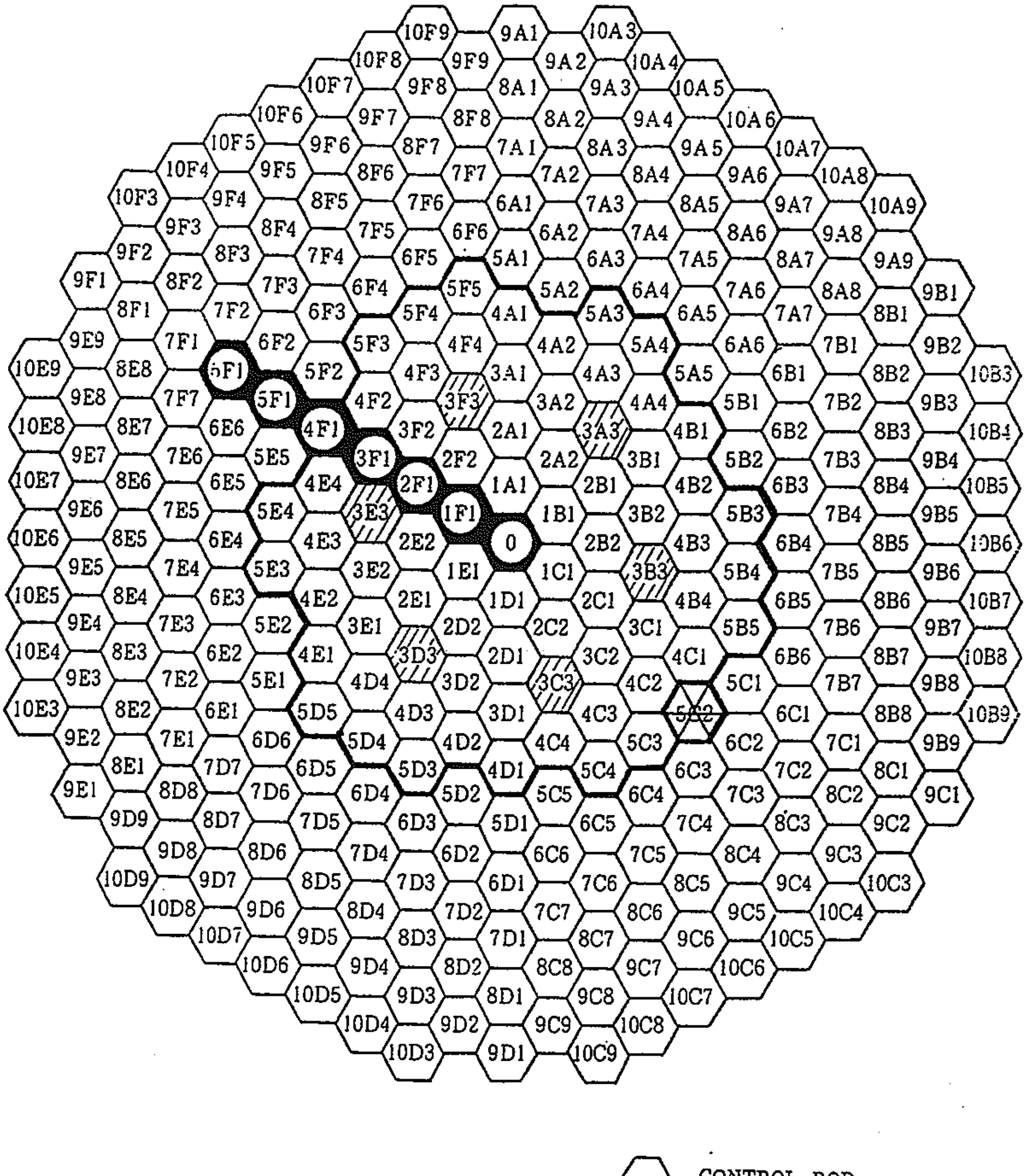


図3.1.3- 3 「常陽」ＭＫ－２初期炉心における周辺燃料価値測定位置；(64,2,1)炉心

(PNC SN941 83-92 より引用)



CONTROL ROD

3A3(RR1), 3D3(RR2)・・・調整棒

3B3(SR1), 3C3(SR2)}・・安全棒
3F3(SR3), 3E3(SR4)

SODIUM VOID WORTH

Neutron source

図3.1.3- 4 「常陽」MK－1初期炉心におけるナトリウムボイド反応度分布測定位置

(PNC N941 80-188 より引用)

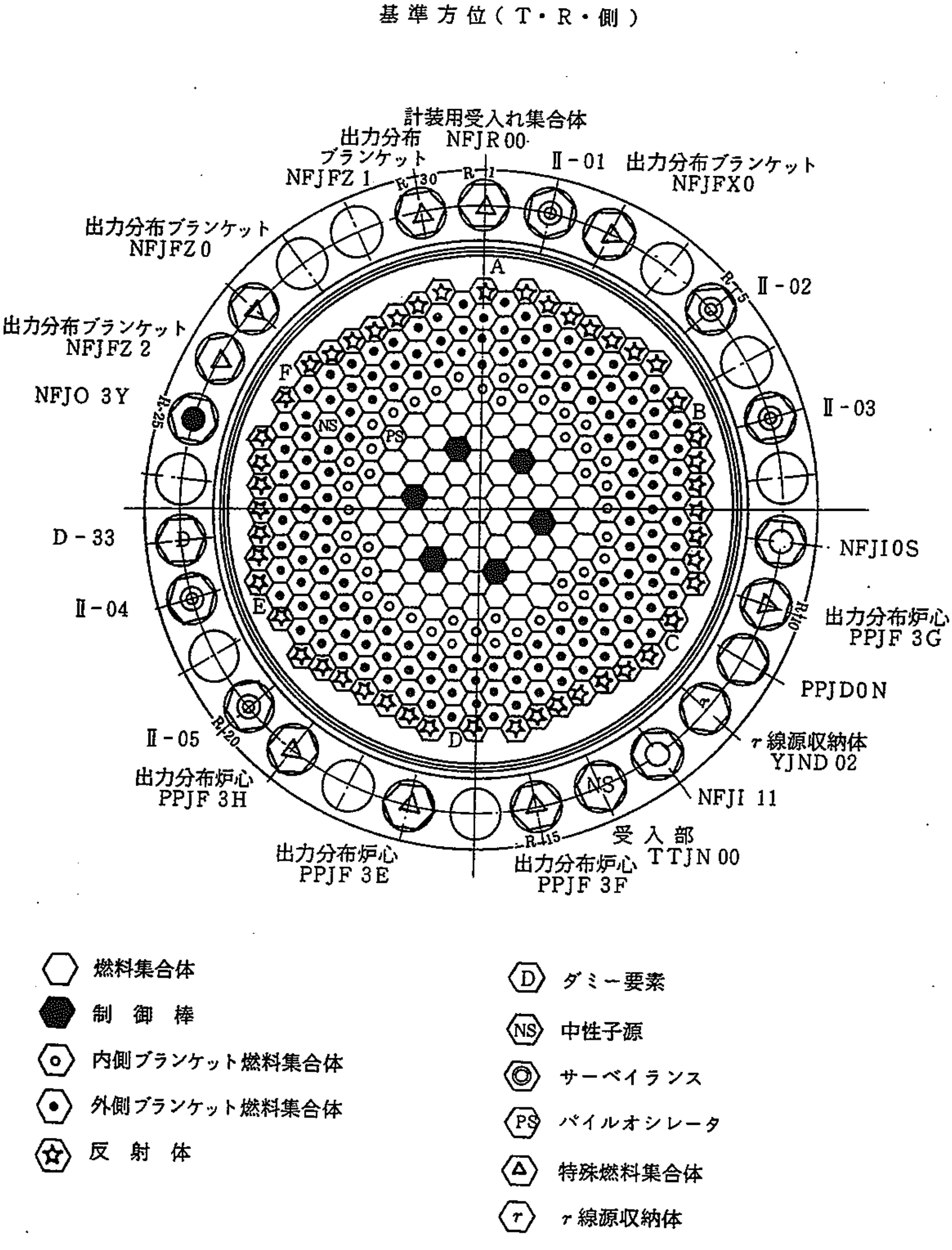


図3.1.3-5 「常陽」MK－1炉心50MW出力上昇試験期間の炉心構成図

（PNC SN941 80-33 より引用）

基 準 方 位（T・R・側）

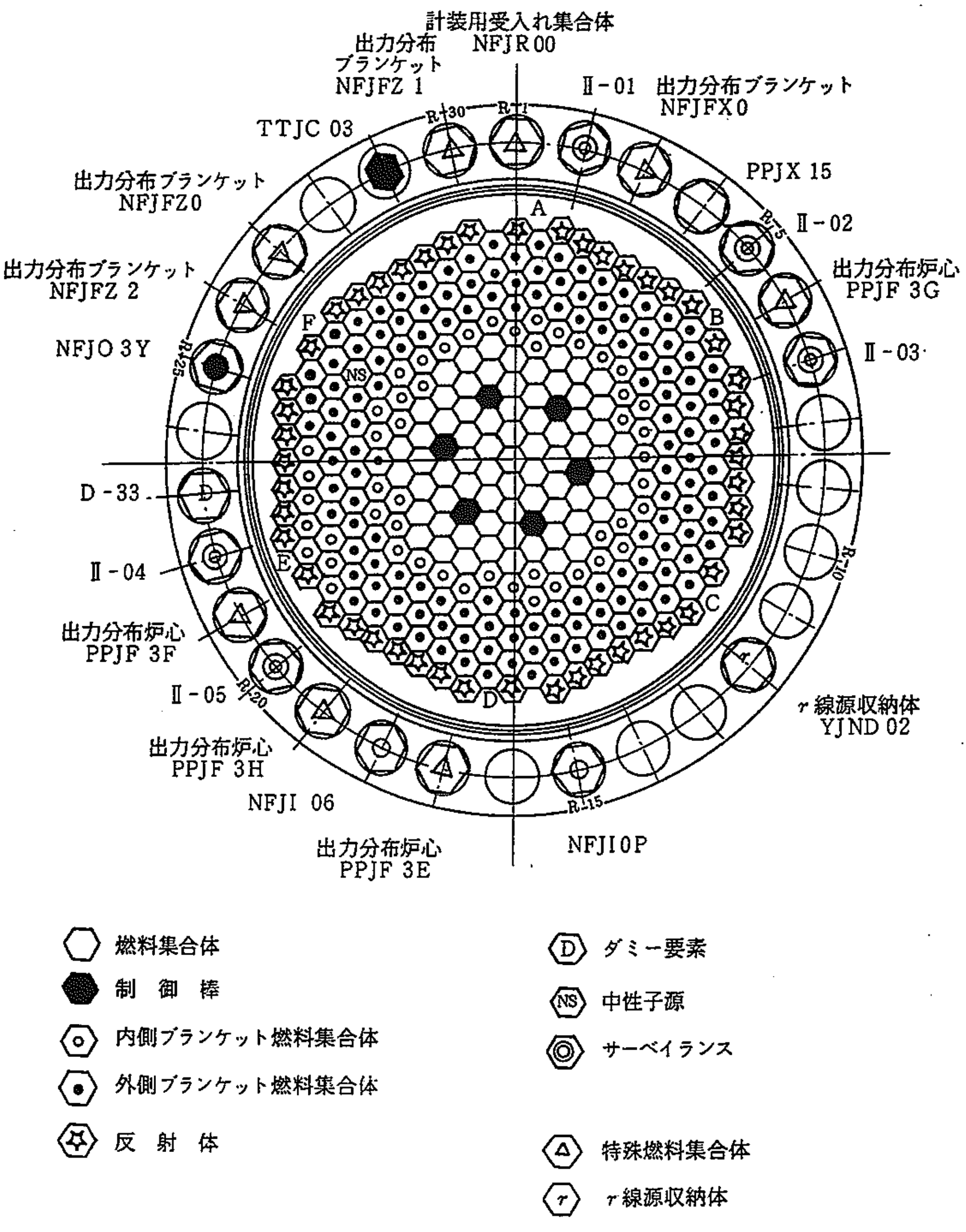


図3.1.3- 6 「常陽」MK－１炉心５０MW定格第一サイクル期間の炉心構成図

（PNC SN941 80-33 より引用）

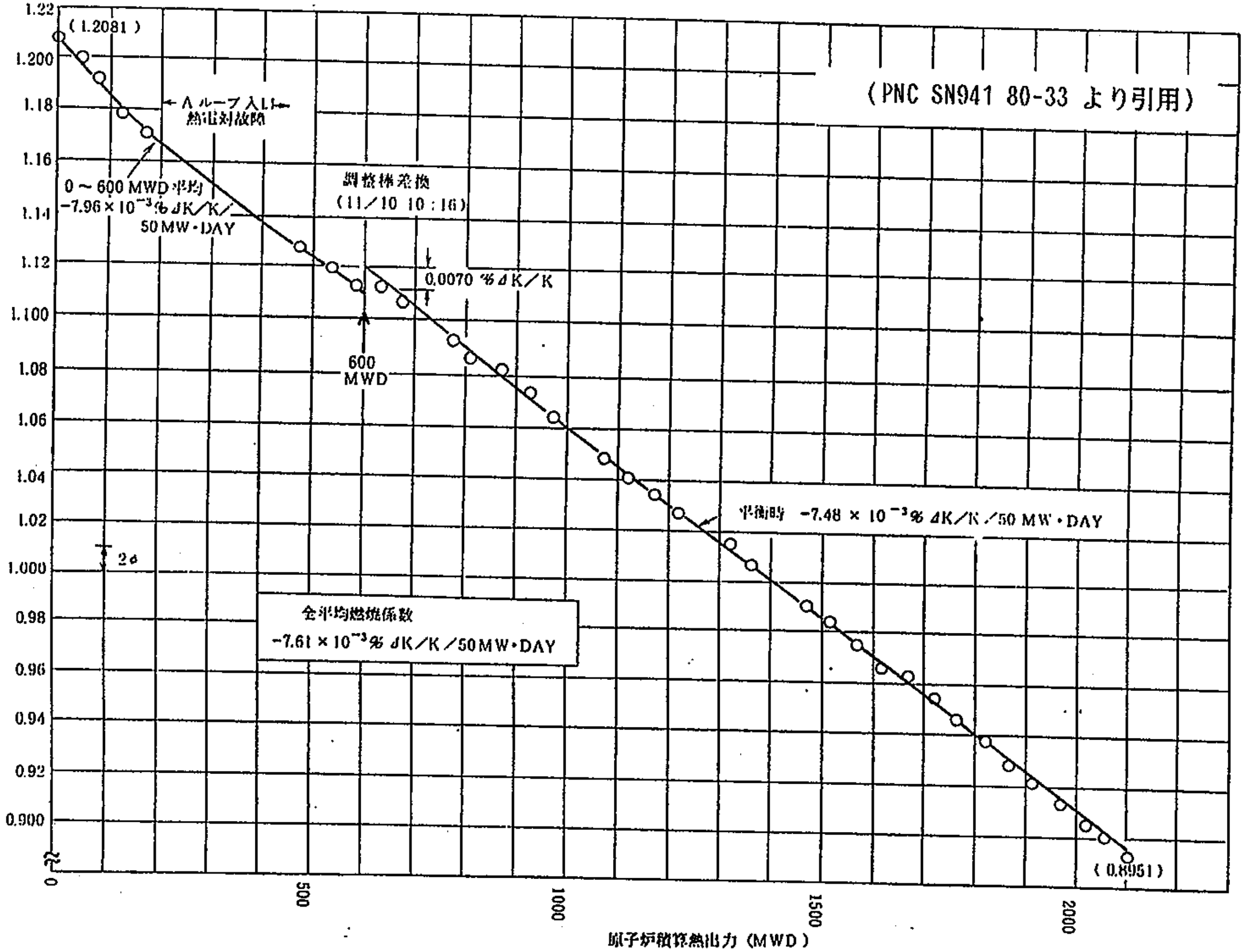
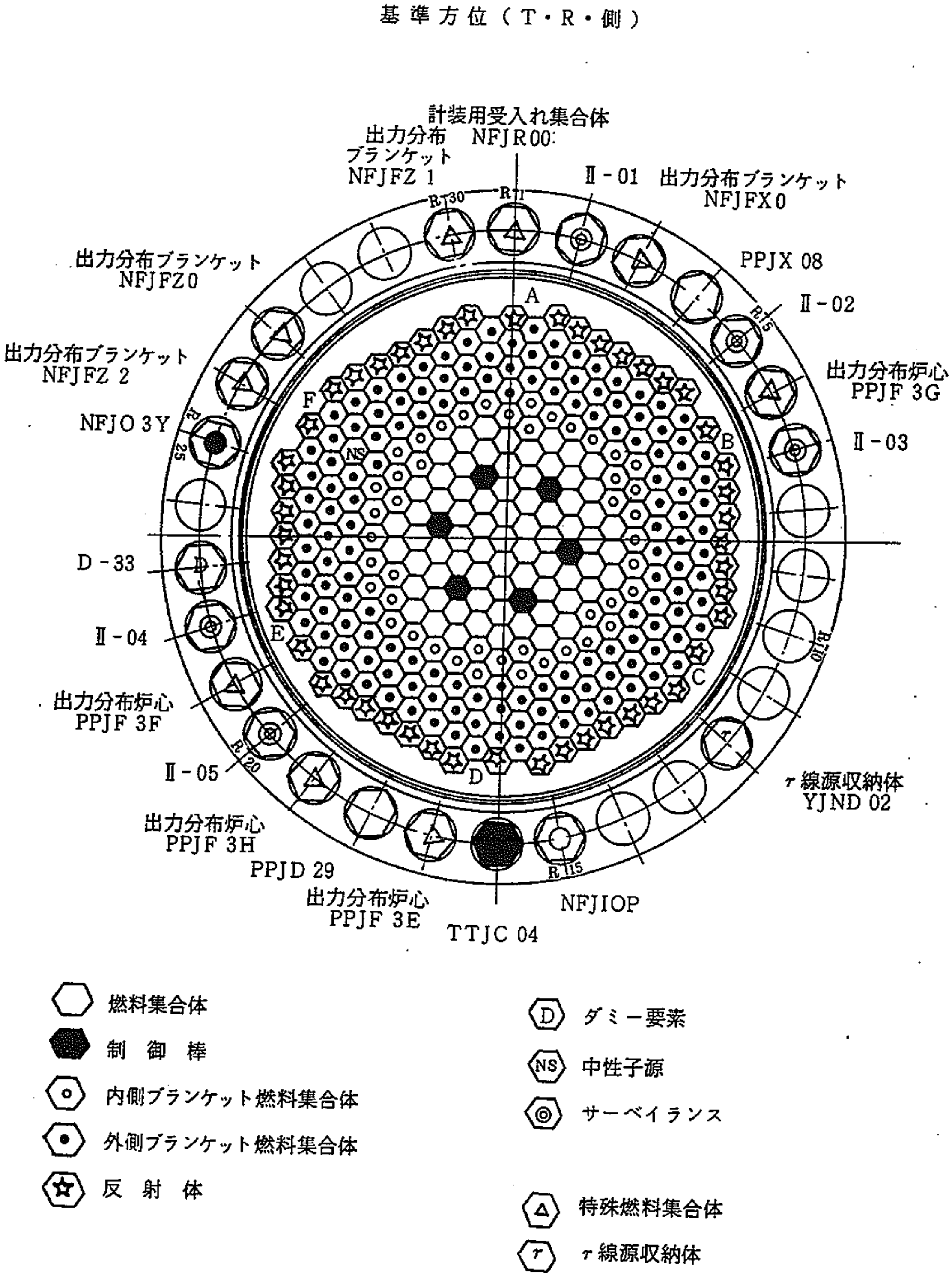


図3.1.3- 7　「常陽」ＭＫ－１炉心５０ＭＷ定格第一サイクルにおける余剰反応度変化



（PNC SN941 80-33 より引用）

図3.1.3-8　「常陽」MK－1炉心50MW定格第二サイクル期間の炉心構成図

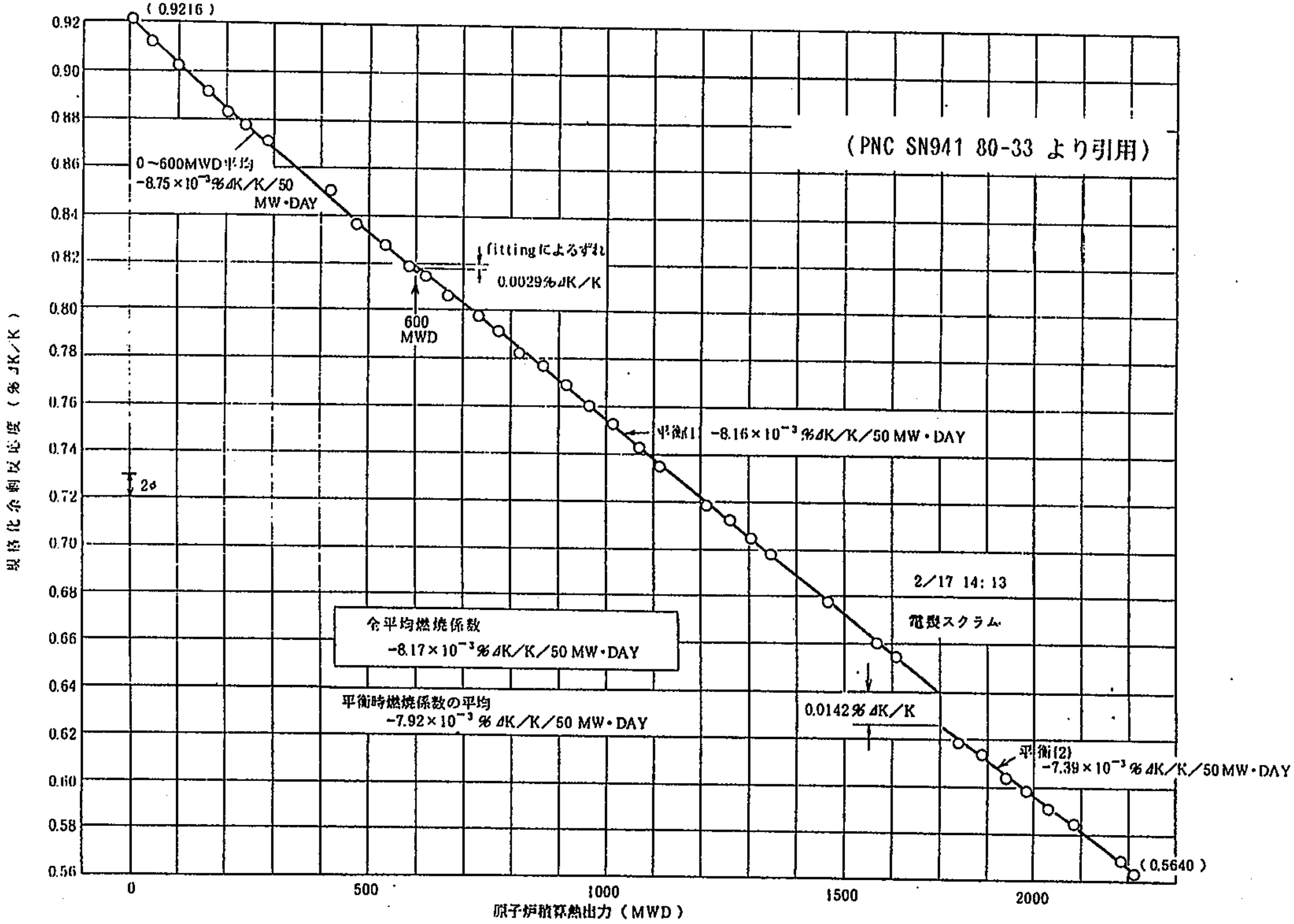
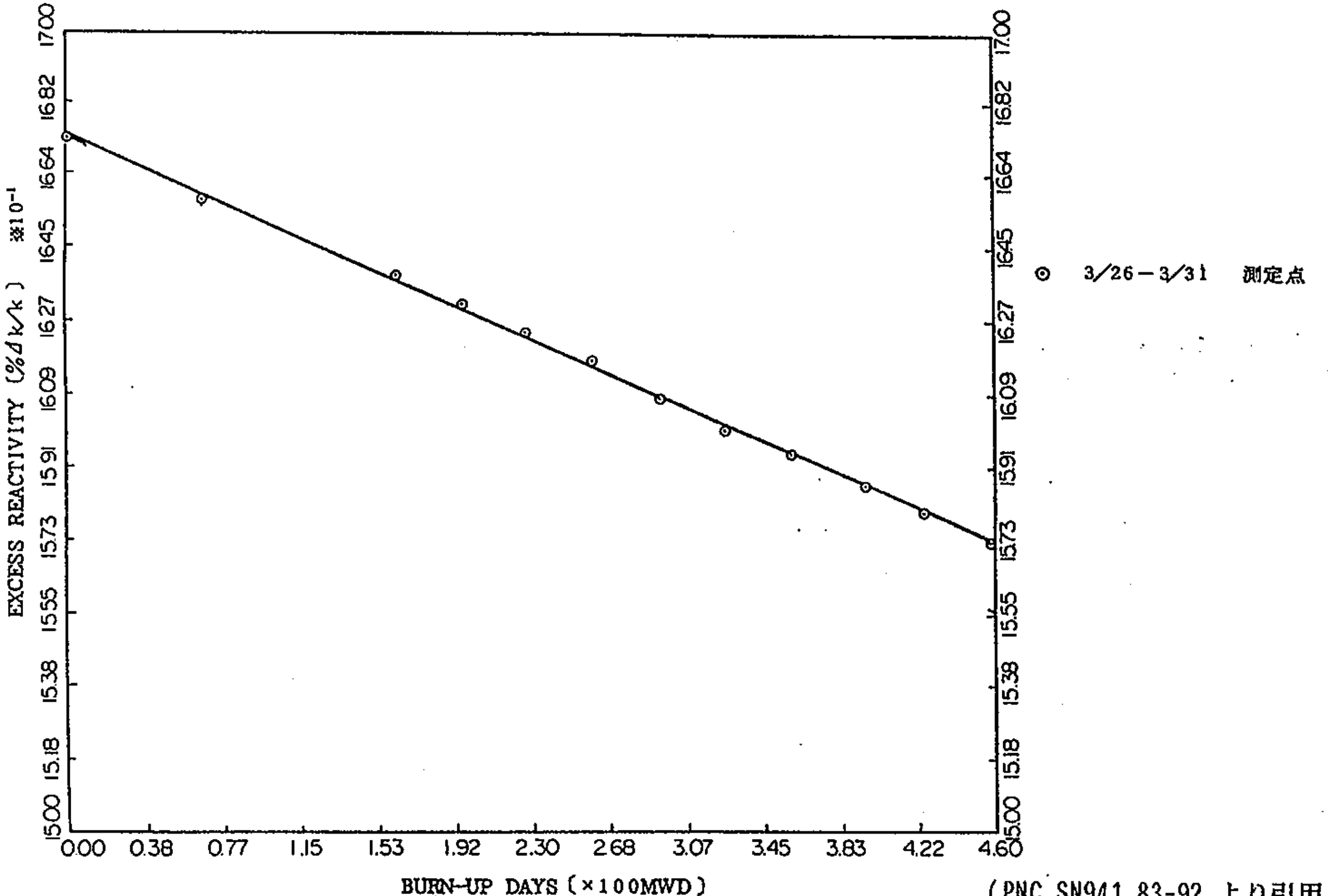


図3.1.3- 9　「常陽」ＭＫ－１炉心５０ＭＷ定格第二サイクルにおける余剰反応度変化



(PNC SN941 83-92 より引用)

図3.1.3-10　「常陽」ＭＫ－２炉心 100MW-100Hr連続運転データからの燃焼係数

３．２　炉定数調整のための対象核特性誤差の大きさと相関係数の設定

炉定数調整に反映する核特性候補の誤差要因と大きさを整理し、核特性値間の誤差要因の性質を通して誤差の相関係数を推定した。また、「常陽」ＭＫ－１体系とＭＫ－２体系の核特性誤差間の相関係数を推定した。

検討対象は臨界性（ＭＫ－１，ＭＫ－２の両体系）、制御棒反応度価値（ＭＫ－１，ＭＫ－２の両体系）、燃料周辺反応度価値（ＭＫ－１，ＭＫ－２の両体系）、ナトリウムボイド反応度（ＭＫ－１体系）、燃焼係数（ＭＫ－１，ＭＫ－２の両体系）である。制御棒反応度価値は本年度の解析対象ではないが、反応度測定の基準として使用されているので、制御棒価値の誤差の大きさは燃料周辺反応度価値、ナトリウムボイド反応度価値、燃焼係数の誤差の評価には重要であるので、整理しておく必要がある。

本評価では反応度を扱っているので、誤差評価には反応度スケールとなる遅発中性子割合β eff の不確かさが系統的に入る。「常陽」ＭＫ－１炉心とＭＫ－２炉心の燃料中のプルトニウム富化度と併用されている濃縮ウラン濃度の違いからそれぞれの体系のβ eff 値は異なるが、不確かさは１σレベルで±５％を共通に想定している。　測定値の単位はΔρまたは％Δρ単位で、解析値と比較されるように変換している。ここでβ eff 値の誤差にもとづく分は系統的な相関があることになる。しかし、今回の誤差・相関係数の評価では、β eff 値の系統的な寄与は含まないものとして扱う。　以下は、対象核特性毎に誤差と相関係数のまとめを示す。

(1) 臨界性

臨界性についての主要な誤差要因と大きさは、前節の検討調査結果をもとにしたまとめを表3.2- 1に示す。

性能試験では、プラントの温度が一様性と再現性の確保をもとに、臨界を予め決められた基準制御棒の引き抜きによる臨界点の再現性を確認している。ＭＫ－１およびＭＫ－２体系で基本的に同一の方法と同一の計測系による中性子カウントを行っている。臨界点の再現性誤差は性能試験報告の誤差値を１σレベルとした。測定系が同一はあるが、制御棒位置読み取り、冷却材温度測定に関する、いわゆる再現性誤差は統計的に独立なものであり、体系間での相関はないと考えられる。

さらに、測定温度から基準評価温度へ外挿するために等温温度係数の測定値を使用する誤差が含まれる。また、測定時の制御棒状態から引き抜き状態へ外挿するために、制御棒較正曲線を用いることの誤差が含まれる。これらについては、中程度の相関がある

と考えた。（但し、MK-Iでは基準評価温度への外挿は必要ないので相関は関係なし）

燃料組成のバラツキ・不純物の寄与などを測定値の誤差として含めている。組成の平均値とバラツキは、炉心内の装荷位置とも関係するが、バラツキ幅などの評価幅が提示されていないので、暫定値として1σレベルは約0.1%$\Delta\rho$と想定した。MK－1炉心燃料とMK－2炉心燃料の測定は時期と方法に違いがあるので、この誤差分は独立相関と考える。

最小臨界体系の特徴は、反応度スケールとなるβ eff の不確かさが殆ど含まれないことが利点である。この影響は、MK－1およびMK－2炉心では殆ど無視できることが示されている。

本表から、β eff の誤差を除いた項目の中では、燃料組成のバラツキにもとづく不確かさが支配的であることがわかる。したがって、臨界性の誤差の相関は”なし”とする。今後の課題としては燃料組成誤差の確定と反応度への影響を確定する必要がある。 また、後述するその他の核特性の誤差要因との関係から、臨界性の誤差と他の核特性の誤差との相関は”なし”とした。

(2) 制御棒価値

「常陽」MK－1体系の性能試験の反応度測定は、予め反応度を較正した制御棒の位置の変化から反応度変化を求めている。そのため、各種反応度測定には制御棒較正曲線の誤差が含まれる。初期炉心の制御棒価値は、その時の炉心の余剰反応度とバランスする分が補償されるように2本の制御棒が部分挿入され、臨界位置からのペリオド法による微分反応度の測定を行なわれている。着目される制御棒はもう1本の制御棒と差し替えられて、臨界操作とペリオド法の繰り返しによりストロークにわたり基準の制御棒価値の測定が行われていた。実際には、制御棒により差替えの組合せが異なるなどの違いはあるが基本的には2本の制御棒により炉の余剰反応度が補償された状態で反応度価値が測定され決められていた。

制御棒価値の測定値には、このように他の制御棒の影響が含まれる。これは、模擬臨界実験体系ＺＰＰＲにおける修正中性子源増倍法による制御棒反応度価値測定と異なる部分である。したがって、MK－1体系では測定により決められた制御棒価値には炉心の余剰反応度を補償する他の制御棒による反応度の影響が含まれている。

MK－2炉心でも、組合せ制御棒の違いなどがあるが基本は同一である。MK－2炉

心では、「常陽」プラントの制御棒駆動システム・ラッチ／デラッチ位置と臨界点の保持時間との関係と臨界再現性の関係が明確になっているので、この経験が反映されていると考え、測定誤差のＭＫ－１とＭＫ－２体系の相関は０．５を想定した。

表 3.2- 2 に示した誤差要因のうち、(1) の測定誤差はそれぞれの制御棒価値の測定誤差として報告されている値を採用した。これに対し、(2) はそれぞれの初期炉心の核特性測定において、制御棒価値測定試験から得られたストローク曲線を使用して、制御棒位置の変化から反応度変化を求めることに関して、付加的に追加するものである。

反応度測定対象により、変動があるものの炉心の温度などの違いにより炉心の余剰反応度が、制御棒価値測定試験状態と異なるので、基準とした制御棒の挿入深度と組合せ制御棒の挿入深度が制御棒価値測定試験時の深度とことなる。したがって、干渉効果による寄与がことなるものとなる。前節で示したように燃焼係数などでは補正分は約１０％に達する大きさである。この補正分の誤差は、補正の最大値１０％の１０％程度が１σレベルとし、制御棒価値の１％とした。測定される反応度項目によっては干渉効果はことなるはずであるが、簡易的な扱いとして、この補正に対する誤差の大きさはすべての反応度測定に適用することとした。

制御棒組成の影響は中性子吸収物質ボロン１０量の誤差がもっとも大きな影響がある。炭化ボロン製造実績から変動量は相対的に１％とすることは十分保守的とみなせるが、これによる反応度変化として約 0.3%を１σレベルとした。

全体の誤差は、ＭＫ－１体系で１．７％、ＭＫ－２体系で１．８％とした。制御棒価値の測定方法は両体系で同一であるが、臨界点確認方法の改良・組合せ制御棒の違いなどから、誤差の相関係数は０．５と仮定した。

ＭＫ－１体系では、周辺燃料価値、ナトリウムボイド反応度、燃焼係数の誤差幅のなかで制御棒価値の誤差に起因する分の寄与を考慮して、制御棒測定誤差との相関は、それぞれ、０．８，０．５，０．３と設定した。

同様に、ＭＫ－２体系では、周辺燃料価値、燃焼係数の誤差幅のなかで制御棒価値の誤差に起因する分の寄与を考慮して、制御棒測定誤差との相関は、それぞれ、０．８，０．３と設定した。

(3) 周辺燃料価値

周辺燃料価値は、炉心燃料と径方向ブランケットまたは反射体との置換による反応度

変化として測定されているが、測定手順はつぎのようになる。 (a) 基準状態の炉心における臨界点の測定（基準制御棒の挿入深度と組合せ制御棒の挿入深度の決定、プラントの熱平衡までの時間温度保持） (b) 原子炉停止し、制御棒切り放し。炉心と燃料ラック間の燃料交換 (c) 制御棒再結合し、原子炉臨界操作。プラント安定まで温度保持し臨界点を基準制御棒の臨界位置測定。（組合せ制御棒は同一位置まで引き抜き。） (d) (a) と(c) の基準制御棒位置の差を反応度に換算。

表 3.2- 3 には、周辺燃料価値の測定誤差評価などを示す。同表の項目(1),(2) は基準とした制御棒価値測定値に直接係わるものである。項目(3) は上記の操作（ｂ）がはいることにより、状態（ａ）と状態（ｃ）の間に制御棒延長管の熱収縮などの系統的な違いがる可能性を考慮したものである。§2.2.1 のＭＫ－１炉心のナトリウムボイド反応度測定値の項で紹介したように、ＭＫ－１性能試験の初期には燃料交換操作を含む反応度測定試験では、臨界点の再現性が周辺燃料価値の最大 5.7%に達することが述べられていたが、測定傾向の分析から、制御棒操作のなかでラッチ位置を基準とすることてより良好な再現性が示されることが判ったことが報告されている。

ＭＫ－１炉心の周辺燃料価値測定時には、この再現性改善の知見が得られていなかったので、約 2%の誤差を見込んでいる。一方、ＭＫ－２体系では、ＭＫ－１の経験から燃料交換を含む試験の測定法に改善が行われたと考えられ、この誤差は”実質なし”としてよいと考えた。

燃料組成のバラツキにもとづく誤差は暫定値として約 0.3%を設定した。今後の確認が必要である。

周辺燃料価値の測定は、制御棒価値の誤差が支配的である。それぞれの体系で、制御棒価値の誤差との相関は強く、相関係数は０．８と設定した。また、ＭＫ－１とＭＫ－２体系の周辺燃料価値の誤差の相関は制御棒の誤差の関係と同様の０．５と設定した。

(4) ナトリウムボイド反応度

ＭＫ－１炉心の中心チャンネルの測定値を炉定数調整に使用する。ナトリウムボイド反応度は、もともと反応度変化が小さいので、燃料交換を含む測定では臨界点の違いが反応度変化に大きな影響をもつことになる。

表 3.2- 4 に性能試験報告としてまとめられた誤差を示してある。測定は制御棒パターン１の値である。この選択は制御棒価値測定との関係からは合理的である。誤差評価

の課題は、ナトリウムボイド反応度測定時には臨界点の再現性にあることが判明しているが、信頼度レベルの決めることが難しい。

Appendix-B に示したように炉内の各種位置で測定されたナトリウムボイド反応度の位置依存性は良好に見られることを考えると、表 2.2.2- 4 に示された誤差 27% を1σレベルと考え、3σの範囲で±80% を考慮することは不自然といえる。また、誤差は、延長管収縮（または膨張）量としてはほぼ最大限に近い値をもとにして決めてあるが、実際の熱収縮状態からは(表 B-3.2,B-3.3)、平均的にはこれよりも少ない収縮（または膨張）となっているものと解釈される。厳密な判断は困難であるが、これらの状況から誤差 27% は2σレベルと想定した。

ナトリウムボイド反応度測定値の誤差は、臨界点の再現性に直接かかわり、制御棒価値自身の誤差の寄与は大きくないと推定しているが、制御棒価値の誤差との相関係数は０．５と設定した。

その他の、核特性の誤差との”相関はなし”とした。

(5) 燃焼係数

表 3.2- 5 には燃焼係数の測定誤差を示すが、制御棒価値と炉出力レベルの絶対値の測定誤差に起因する要因が支配的である。制御棒価値の誤差は報告書の数値である。熱出力誤差は冷却材出口温度測定の誤差に依存する。ＭＫ－１体系は５０ＭＷ th であり、ＭＫ－２体系は１００ＭＷ th であるので、誤差に違いが生じている。これらの項目毎の体系間の誤差相関は、測定方法・同一計測器システムを利用しているので強い相関があるとした。また、制御棒価値の誤差は全体の中で寄与が３０％程度であるので、制御棒価値の誤差との相関係数は約０．３とした。

(6) 測定値の誤差相関係数のまとめ

表 3.2- 6 には、本年度の検討対象として選定された核特性の測定誤差と相関係数をまとめて示した。これらの値は、ＭＫ－１およびＭＫ－２体系のＣ／Ｅ値と誤差相関係数が整合性があることを確認していく必要がある。これらの結果をもとに、今後調整していくことが重要である。

表 3.2-1 臨界性測定誤差・相関係数設定のための誤差内訳

誤差要因項目	誤差の大きさ（反応度単位Δρ） MK-1 炉心	MK-2 炉心(51 体)	体系間の誤差相関
(1) 臨界点再現性の誤差	0.002%	0.002%	0.0
(2) 等温係数の誤差	0.0%	0.0004%	0.0
(3) 制御棒較正曲線の誤差	0.002%	0.007%	~0.5 （測定方法同一）
(4) 組成誤差（暫定値）	~0.1%	~0.1%	0.0 （独立相関）
合計（1σ相当）	~0.1%	~0.1%	0.0

（説明）

(1)各種誤差の設定根拠

○臨界点再現性の誤差の内訳

・制御棒読み取り誤差；0.002%（0.2mm/本）

・冷却材温度測定誤差；0.001%（1℃単位読み取り、5点平均で±0.3℃）

等温温度係数は約-3.7×10^{-3}%Δk/k/℃(MK-I), -4.4×10^{-3}%Δk/k/℃(MK-II)

以上は MK-I での報告値である。MK-II ではこれと同一とする。

（参考文献） PNC SN941 80-188 高速実験炉「常陽」性能試験報告書 ナトリウムボイド反応度（NT-32）、山本、関口他、1980.

→ MK-I 関係では最も詳しく余剰反応度の誤差評価

○等温係数誤差の影響（温度補正への誤差）

MK-II では温度補正（測定温度→250℃）が-0.0072%Δk/k、等温温度係数の誤差が5%とすると、-0.0072%Δk/k×0.05=-0.0004%Δk/k の誤差となる。

（参考文献） PNC ZN941 92-101 「常陽」制御棒非対称炉心の詳細制御棒価値と反応度係数の測定、[制御棒価値詳細測定試験（その1）]、大村他、1992. →等温温度係数の誤差；5%の記述

○制御棒較正曲線の誤差（数値出典と内訳は制御棒価値の項を参照）

・MK-I 約 0.8%（調整棒、初臨界体系）

→余剰反応度 0.28%Δk/k×0.008=0.002%Δk/k

・MK-II 約 1.5%

→余剰反応度 0.49 %Δk/k×0.015=0.007%Δk/k（51体）

(2)その他共通要因としては反応度スケールに関する遅発中性子β eff 誤差に基づく分がある。その大きさは下記の程度である。この大きさは測定炉心の臨界超過反応度が小さいので実質は無視でき、測定値のβ eff 誤差に基づく分は無視することができる。また、β eff も含めて炉定数調整を行うとして、上記の誤差評価には含めていない。

	MK-I	MK-II	
β eff 誤差に基づく（±5%）1 σ相当	0.0015%	0.0025%	相関係数～0.8 富化度・U濃縮度の差

（3）組成誤差が大きいので(1),(2),(3)の寄与は隠れている

（4）それぞれの炉心における制御棒価値、ナトリウムボイド係数、周辺燃料体置換反応度、燃焼係数の測定値誤差との相関はなし。

表3.2-2 制御棒価値（初期炉心）測定誤差・相関係数設定のための誤差内訳

――（参考特性値）――

誤差要因項目	相対誤差の大きさ MK-1炉心	MK-2炉心	体系間の誤差相関
(1) 測定誤差	調整棒1.0% 安全棒1.5%	制御棒1.5%	～0.5 （測定方法同一、補正方法改良MK-2）
(2) 干渉効果補正誤差	～1%以下	～1%以下	～1.0 （補正計算法同一）
(3) 組成誤差	～0.3%	～0.3%	0.0 （独立要因）
合計（1σ相当）	1.7%	1.8%	0.5

（注）：（単位%）

（説明）

(1)測定誤差の出典

MK-Iについては、下記文献による。MK-IIについて報告はない。MK-Iでの制御棒較正曲線の誤差は70体炉心で調整棒1.0%、安全棒1.5%である。（初臨界炉心ではやや小さい。ここでは70体炉心の値を示した。） そこで、MK-IIはこれらの最大と同一とした。

（参考文献）

○MK-I 70体炉心

PNC SN941 79-191 高速実験炉「常陽」性能試験報告書 制御棒特性（NT-21, NT-22, NT-23）、三田他、1979.

○MK-I 64体炉心

PNC SN941 80-188 高速実験炉「常陽」性能試験報告書 ナトリウムボイド反応度（NT-32）、山本、関口他、1980.

(2)干渉効果補正誤差

最大10%変動の10% 想定

(3)組成誤差

吸収体バラツキ1%以下として、暫定設定

(4)その他共通要因

βeff 誤差に基づく誤差があるが、βeff も含めて炉定数調整を行うとして、上記の誤差評価には含めていない。

	相対誤差		相関係数
	MK-I	MK-II	
β eff 誤差に基づく誤差	～5%	～5%	0.8　（±5%）1 σ 相当

(5) 各体系内の反応度変化測定値との相関係数はつぎのように設定した。

－－周辺燃料価値の誤差との相関係数 0.8。

－－中心チャンネルのナトリウムボイド反応度誤差との相関係数 0.5（ＭＫ－１）。

－－燃焼係数の誤差との相関係数 0.3。

表 3.2- 3　周辺燃料価値の測定誤差・相関係数設定のための誤差内訳

誤差要因項目	相対誤差の大きさ MK-1 炉心	MK-2 炉心	体系間の誤差相関	
(1) 測定誤差	調整棒 1.0%	制御棒 1.5%	～0.5	
(2) 干渉効果補正誤差 最大 10% 変動の 10% 想定	～1%以下	～1%以下	～1.0	
(3)制御棒延長管伸び効果 （周辺燃料 1 本価値測定）	2.0%	---	0.0	（MK-2 では測定法改善）
(4) 組成誤差（暫定値）	～0.3%	～0.3%	0.0	
合計（1 σ 相当）	2.5%	1.8%	0.5	

（注）；（単位%）

（説明）

(1)測定誤差

測定値は約 0.3-0.5%Δ k/k のオーダーであり、臨界点再現性の誤差や等温係数の誤差はこれに比べて小さく無視できる。（臨界性の項参照→表 3.2-1）　そこで、測定誤差としては制御棒較正曲線の誤差のみを考慮する。これについては、制御棒価値の項参照→表 3.2-2

(2)干渉効果補正誤差

最大 10% 変動の 10% 想定

(3) 制御棒延長管伸び効果

後述のナトリウムボイド反応度の項（表 3.2-4）より、この効果は二つの炉心状態の反応度差に対して、約 0.0057%Δ k の誤差を生む。測定値は約 0.3-0.5%Δ k/k のオーダーであり、相対誤差としては約 1.0-2.0%である。この知見は MK-II の測定に反映され、MK-II での測定ではこの効果は含まれないと考える。

(4)組成誤差

暫定値である。

(5)その他 共通要因

β eff 誤差に基づく誤差があるが、β eff も含めて炉定数調整を行うとして、上記の誤差評価には含めていない。

	相対誤差		相関係数	
	MK-I	MK-II		
βeff 誤差に基づく誤差	～5%	～5%	0.8	(±5%) 1σ相当

(6)補足

MK-1 炉心の最小臨界体系の周辺燃料価値では制御棒仮校正と臨界点再現性誤差最大値として5.7%の評価例がある。これには3σ程度の値と解釈される。

(7)相関係数

それぞれの体系の制御棒価値の誤差との相関係数は 0.8 と想定。

表3.2- 4　ナトリウムボイド反応度の測定誤差・相関係数設定のための誤差内訳

誤差要因項目	誤差の大きさ MK-1炉心	コメント
(1) 測定値の誤差	1.8 ¢ 相対誤差　27%	中心位置１体　測定絶対値～6.7 ¢ ２σ相当とする
(2) 組成誤差	相対値　4%	
合計（２σ相当）	相対誤差　27%	

（注）対象；炉心中心位置

（説明）

(1) 測定値の誤差

臨界点再現性誤差、制御棒延長管膨張効果による誤差等を含む。次ページの表 3.2-4（その２）測定誤差の内訳を参照

(2) 共通要因

β eff 誤差に基づく誤差があるが、β eff も含めて炉定数調整を行うとして、上記の誤差評価には含めていない。

	相対誤差	
β eff 誤差に基づく誤差	～5%	(±5%) １σ相当

(3) 制御棒価値との相関

誤差相関係数 0.5 とする。制御棒位置から反応度測定しているため。

(4) その他の特性値の測定誤差との相関

なし。

表3.2-4（その２）　Naボイド反応度測定誤差・相関係数設定のための誤差内訳

測定誤差の内訳

項目	内訳	値(Δk)	備考
(1)臨界点の再現性	制御棒延長管の膨張効果	0.000057	
	上記以外の再現性誤差	0.000015	測定結果のばらつきから算出（注２）
	合計	0.000059	
(2)実燃料の場合への反応度変換誤差		0.000008	実燃料と試験燃料の反応度差の最大値の半分と設定
(3)制御棒反応度較正誤差		0.000004	相対誤差0.61-0.75%
合計		0.000089	注１

注１）合計の計算法；基準状態誤差(1)とボイド状態誤差(1)+(2)+(3)の統計和

(3)のみ系統誤差の扱い

注２）制御棒延長管の膨張効果以外の再現性誤差の内訳（概算値なので表の値と整合しない）

制御棒位置の読み取り誤差	0.000020	0.2mm/本
冷却材温度測定誤差	0.000010	1℃単位読み取り、５点平均
等温係数の誤差	0.000008	

（参考文献）　PNC SN941 80-188 高速実験炉「常陽」性能試験報告書　ナトリウムボイド反応度（NT-32）

、山本、関口他、1980.

表 3.2- 5　燃焼係数の測定誤差・相関係数設定のための誤差内訳

誤差要因項目	相対誤差の大きさ MK-1 炉心	MK-2 炉心	体系間の誤差相関
(1) 制御棒価値・干渉効果	1.7%	1.8%	0.7
(2) 熱出力誤差	5.0%	3.8%	0.8
合計（1 σ相当）	5.3%	4.2%	0.8

（注）；（単位%　相対誤差）

（説明）

(1)制御棒価値・干渉効果

制御棒価値の項（表 3.2-2）参照。

(2) 熱出力誤差

流量測定誤差、温度測定誤差、Na 物性値の誤差を含む。

（参考文献）技術課メモ 技-59-116　100MW 時熱出力測定誤差、昭和 59 年 6 月 25 日

(3) その他共通要因

β eff 誤差に基づく誤差があるが、β eff も含めて炉定数調整を行うとして、上記の誤差評価には含めていない。

	相対誤差 MK－I	MK－I I	相関係数	
β eff 誤差に基づく誤差	～5%	～5%	0.8	（±5%） 1 σ相当

(b) 制御棒価値との相関

誤差相関係数 0.3 とする。制御棒位置から反応度測定しているため。

表3.2-6 「常陽」試験結果誤差相関係数のまとめ

(1) 積分特性測定項目番号および誤差値

積分特性測定項目番号と内容	誤差値（%, 1σ）
1. MK-1最小臨界体系 k-eff	0.1 （暫定値）
2. MK-1周辺燃料価値	2.5
3. MK-1ﾅﾄﾘｳﾑﾎﾞｲﾄﾞ反応度（中心ﾁｬﾝﾈﾙ）	13.5
4. MK-1燃焼係数（50MWtサイクル）	5.3
5. MK-2最小臨界体系 k-eff	0.1 （暫定値）
6. MK-2周辺燃料価値	1.8
7. MK-2燃焼係数（100MWtサイクル）	4.2
（8. MK-1制御棒価値	1.7 参考特性）
（9. MK-2制御棒価値	1.8 参考特性）

(2) 積分特性測定誤差の相関係数

積分特性測定項目番号

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
積	1	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
分	2	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.8	0.0
特	3	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0
性	4	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.8	0.3	0.0
測	5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
定	6	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.8
番	7	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	1.0	0.0	0.3
号	8	0.0	0.8	0.5	0.8	0.0	0.0	0.0	1.0	0.5
	9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.3	0.5	1.0

3.3 解析誤差とその相関係数の評価

第２章の性能試験解析結果をもとにして、解析誤差の評価とその相関係数の評価を行った。

3.3.1 解析誤差の評価

解析誤差は、標準解析手法における各種の補正係数、及び複数の解析モデルの違いによる解析値の差などを定量的に評価した結果をもとに設定した。補正係数をもとにした成分は、補正量の５０％が誤差であるとした。

(1) 臨界性

解析誤差として、メッシュ効果、輸送効果、非均質効果、群縮約効果によるものはその絶対値の５０％とした。但し、メッシュ効果と輸送効果は相殺する方向であるので、誤差も相殺するものと考え、両者の和の５０％を両者の和の誤差とした。常陽の場合のように、基準メッシュのメッシュ効果や輸送効果が大きい場合、メッシュ効果と輸送効果について個々に誤差を積み上げると誤差が非常に大きくなり、炉定数調整からは役にたたないデータとなってしまう。ちなみにＭＫ－Ｉを例にとると、下記のようになる。

ＭＫ－Ｉメッシュ効果　-0.0142　　誤差50% →　-0.0071

ＭＫ－Ｉ輸送効果　　　0.0177　　誤差50% →　-0.0089

それぞれの統計和は0.0114、すなわち、１％以上の解析誤差となる。一方、両効果の和の50%を誤差とすれば、これは0.0035の50%、すなわち、0.2%弱となる。ここでは、この考え方を基準とした。

解析誤差として、さらに、f-table内挿誤差と拡散係数の定義誤差を含める。前者は、JUPITER解析にならって0.05%とする。また、後者は、カレント重みの場合と中性子束重みの場合について、それぞれ固有値をもとめ、その差の50%とする。

以上の結果をもとに評価した結果を表3.3.1-1 に示す。ＭＫ－Ｉでは拡散係数の定義誤差が、また、ＭＫ－ＩＩではメッシュ効果／輸送効果による誤差が最も大きい。

この評価は、必ずしもベストではない。例えば、メッシュ効果と輸送効果の扱いであるが、もし、基準メッシュを三角メッシュにすればメッシュ効果は大幅に低減するため、輸送効果とあまり相殺しなくなる。この場合、合計の解析誤差は逆に大きくなってしまう。さらに合理的な誤差評価法を考える必要があることがわかる。この点は今後の課題である。

(2) ナトリウムボイド反応度

解析誤差として、メッシュ効果、輸送効果、非均質効果、群縮約効果によるものはその

絶対値の５０％とした。評価結果を表3.3.1-2 に示す。メッシュ効果と輸送効果は個々に積み上げた。臨界性ではそれぞれの和から誤差を評価したが、 これはJUPITER体系の結果からの知見に基づくものである。ナトリウムボイド反応度の場合は、これが保証されているわかではないので、保守的に個々に誤差を積み上げるものとした。

結果として、解析誤差は22%となった。輸送効果と非均質効果がかなり大きいためである。

(3)燃料置換反応度

今回は、暫定的に解析誤差を２％と設定する。これは、Naボイド反応度のようにスペクトルやもれの状態が大きく変動する特性ではなく、燃料物質の置換による効果が大きく、摂動的な特性によることからである。

(4) 燃焼係数

燃焼係数は炉心組成の異なる２つの体系の固有値の差であり、解析誤差は炉心組成の燃焼計算誤差に起因する。国際ベンチマーク問題による大型炉燃焼欠損反応度の解析機関ごとのばらつきは10%程度である。大型炉ではfissileの生成と消滅がかなり相殺することが誤差が大きくなる理由である。常陽のような内部転換比の低い体系では誤差は低減すると考え、これによる誤差を５％とする。

さらに考慮すべきものとしては、燃焼前後での制御棒位置が制御棒較正が行われたパターンと大きく異なる場合は、その干渉効果の違いが燃焼前後の余剰反応度の差、即ち、燃焼欠損反応度に違いを生じることである。これについては、第３章3.2 節で検討されている。これによる誤差としては、その影響の半分を誤差と考える。補正係数は0.92であり、８％なので、誤差は４％となる。

以上を積み上げて、それらの統計和から、解析誤差を６％とする。上記の評価は暫定的なものである。燃焼係数の解析誤差評価は、これまでにあまり例がないと考えられるので、今後の検討を要する。

3.3.2 解析誤差の相関係数の評価

解析誤差について、体系間の相関係数と特性間の相関係数を評価した。相関係数については、厳密なものは評価できず、また、その設定が少し変わっても炉定数調整結果に大きな影響がないことがわかっているので、目安として、強い相関、中程度の相関、弱い相関の場合

をそれぞれ、0.8、0.5、0.3程度とすることとした。

(1) ＭＫ－ＩとＭＫ－ＩＩの相関係数

臨界性・燃料置換反応度・燃焼係数の解析誤差について、ＭＫ－ＩとＭＫ－ＩＩとでは、体系と炉心組成が似ており、手法も同じなので強い相関として、相関係数を0.8とする。

(2) 特性間の相関係数

特性間では、その炉物理的な現象、解析結果に占める補正項目の内訳が大きく違うことから、特性間では相関はないと考えられる。すなわち、相関係数０とする。

表3.3.1-1　臨界性・解析誤差の設定（単位%）

項目	MK-I	MK-II	備考
メッシュ＋輸送効果	0.18	0.45	補正合計の50%
エネルギー縮約効果	0.01	0.04	補正の50%
非均質効果	0.10	0.10	補正の50%
f-table内挿	0.05	0.05	JUPITER設定
拡散係数の定義	0.30	0.30	注）
合計	0.37	0.55	

注）カレント重み／中性子束重みの場合の差の半分と設定

表3.3.1-2　MK-I炉心・Naボイド反応度・解析誤差の評価

項目	絶対誤差	相対誤差(%)	備考
メッシュ効果	0.0005	1.1	補正の50%
輸送効果	0.0063	13.2	補正の50%
エネルギー縮約効果	0.0007	1.5	補正の50%
非均質効果	0.0083	17.4	補正の50%
合計	0.0105	22.0	

絶対誤差の単位；%Δk/kk'

反応度絶対値（補正後）；-0.0476%Δk/kk'

4．「常陽」性能試験・運転特性データの感度係数計算

第２章で解析した「常陽」性能試験・運転特性データについて、一般化摂動理論による断面積の感度係数計算を行った。計算した結果を臨界実験等の感度係数と比較し、その特徴を評価した。

4.1　解析手法

臨界性、ナトリウムボイド反応度、置換反応度、燃焼係数の感度係数について、一般化摂動理論コードSAGEPを用いて、１８群二次元ＲＺモデルにより計算した。二次元ＲＺモデルは第２章の図2.2.1-2（ＭＫ－Ｉ），表2.2.2-2（ＭＫ－ＩＩ）に示す。

ナトリウムボイド反応度については、炉中心集合体のナトリウムボイド反応度を対象とした。これは、二次元ＲＺモデルにより十分模擬できると考えられる。置換反応度については、実際は１体ごとの置換であり、三次元モデルが望ましいが、今回は二次元ＲＺモデルによりリング状に燃料をブランケットまたは反射体に置換したものとした。この場合、同時に１列分置換したことになるが、１次摂動の範囲では１体の場合と同じ結果となる。但し、置換位置の中性子束と随伴中性子束分布が、リングモデルでの近似が入っている。

4.2 臨界性

ＭＫ－Ｉ，ＭＫ－ＩＩの初臨界炉心について、臨界性感度係数を求めた結果を表4.2-1に示す。付録の表C-1，C-2に群毎の内訳を示す。

どちらの炉心も濃縮ウランを用いているので、JUPITERの体系よりもU-235の感度が高い。両炉心を比べると、ＭＫ－ＩＩの方がPu富化度が高いために、Pu核種の寄与が大きくなっている。また、構造材の寄与が全体として正になっている。これは、中性子漏洩が大きい体系のため、構造材の漏洩低減効果と考えられる。これも寄与が負またはゼロ近辺となる大型実験の場合と異なる。さらに、 ＭＫ－ＩＩでは構造材の寄与がＭＫ－Ｉの２倍以上あるが、これはブランケットがなく反射体が接しており、漏洩を強く抑えるためと考えられる。

以上のように、感度係数はJUPITER等の大型臨界実験の場合と大きく異なることがわかる。

表4.2-1　常陽・臨界性の感度係数（その１）

核種	反応	感度係数(10^{-4})	
		常陽MK-I	常陽MK-II
U235	capture	-441	-205
U235	nu	4550	2088
U235	transport	90	41
U235	fission	2777	1283
U235	elastic	49	22
U235	inelastic	0	-2
U235	mu-averag	-34	-16
U235	(n, 2n)	0	0
U238	capture	-1284	-782
U238	nu	949	718
U238	transport	873	325
U238	fission	620	466
U238	elastic	557	197
U238	inelastic	-40	-34
U238	mu-averag	-314	-132
U238	(n, 2n)	2	1
Pu239	capture	-268	-435
Pu239	nu	4016	6293
Pu239	transport	63	99
Pu239	fission	2725	4298
Pu239	elastic	33	51
Pu239	inelastic	1	-2
Pu239	mu-averag	-24	-39
Pu239	(n, 2n)	0	0
Pu240	capture	-82	-149
Pu240	nu	305	529
Pu240	transport	17	30
Pu240	fission	210	365
Pu240	elastic	10	18
Pu240	inelastic	0	-2
Pu240	mu-averag	-5	-9
Pu240	(n, 2n)	0	0
Pu241	capture	-9	-19
Pu241	nu	174	342
Pu241	transport	2	4
Pu241	fission	118	233
Pu241	elastic	1	2
Pu241	inelastic	0	0
Pu241	mu-averag	-1	-2
Pu241	(n, 2n)	0	0
Pu242	capture	-2	-4
Pu242	nu	7	13
Pu242	transport	0	1
Pu242	fission	5	9
Pu242	elastic	0	1
Pu242	inelastic	0	0
Pu242	mu-averag	0	0
Pu242	(n, 2n)	0	0

表4.2-1　常陽・臨界性の感度係数（その２）

核種	反応	感度係数(10^{-4})	
		常陽MK-I	常陽MK-II
oxygen	capture	-17	-14
oxygen	nu	0	0
oxygen	transport	902	442
oxygen	fission	0	0
oxygen	elastic	996	564
oxygen	inelastic	0	0
oxygen	mu-averag	-106	-54
oxygen	(n, 2n)	0	0
sodium	capture	-12	-16
sodium	nu	0	0
sodium	transport	611	716
sodium	fission	0	0
sodium	elastic	607	694
sodium	inelastic	16	23
sodium	mu-averag	-113	-129
sodium	(n, 2n)	0	0
chromium	capture	-26	-65
chromium	nu	0	0
chromium	transport	191	494
chromium	fission	0	0
chromium	elastic	179	457
chromium	inelastic	-4	6
chromium	mu-averag	-40	-83
chromium	(n, 2n)	0	0
iron	capture	-106	-245
iron	nu	0	0
iron	transport	624	1535
iron	fission	0	0
iron	elastic	546	1311
iron	inelastic	-5	44
iron	mu-averag	-135	-296
iron	(n, 2n)	0	0
nickel	capture	-62	-106
nickel	nu	0	0
nickel	transport	169	401
nickel	fission	0	0
nickel	elastic	164	373
nickel	inelastic	-3	1
nickel	mu-averag	-28	-58
nickel	(n, 2n)	0	0
molybdenum	capture	-25	-42
molybdenum	nu	0	0
molybdenum	transport	23	29
molybdenum	fission	0	0
molybdenum	elastic	20	25
molybdenum	inelastic	-1	-1
molybdenum	mu-averag	-7	-9
molybdenum	(n, 2n)	0	0

表4.2-1　常陽・臨界性の感度係数（その３）

核種	反応	感度係数(10^{-4})	
		常陽MK-I	常陽MK-II
boron-10	capture	-20	-39
boron-10	nu	0	0
boron-10	transport	5	7
boron-10	fission	0	0
boron-10	elastic	3	1
boron-10	inelastic	0	0
boron-10	mu-averag	0	0
boron-10	(n, 2n)	0	0
boron-11	capture	0	0
boron-11	nu	0	0
boron-11	transport	0	0
boron-11	fission	0	0
boron-11	elastic	0	0
boron-11	inelastic	0	0
boron-11	mu-averag	0	0
boron-11	(n, 2n)	0	0
carbon	capture	0	0
carbon	nu	0	0
carbon	transport	1	1
carbon	fission	0	0
carbon	elastic	1	1
carbon	inelastic	0	0
carbon	mu-averag	0	0
carbon	(n, 2n)	0	0

4.3 Naボイド反応度

ＭＫ－Ｉ炉心の炉中心Naボイド反応度の感度係数を表4.3-1 に示す。付録の表C-3に群毎の内訳を示す。

感度係数の定義に注意が必要である。即ち、感度係数Ｓは下記で定義される。

$$S = (\Delta R / R) / (\Delta \sigma / \sigma)$$

Ｒ；特性値

σ；微視的断面積

ここで、ＭＫ－Ｉ炉心の場合、ナトリウムボイド反応度Ｒは負の値である。従って、正の感度係数の場合は、その断面積の増加により、Ｒが負の方向に大きくなることを示す。

ν値の感度係数についてみると、U235については負であり、Pu239については正である。付録Ｃ・表C-3に示す群毎の内訳をみると、どちらの核種の場合も高速群で負、低速群で正であるが、 Pu239では高速群の負の寄与が大きく、全体として負となり、U235では低速群の13,14群の正の寄与が大きく、全体として正という違いがある。感度係数が正の場合、ナトリウムボイド反応度自体が負であるので、ν値の増大に対してナトリウムボイド反応度増分は負であり、逆に感度係数が負の場合、ナトリウムボイド反応度自体が負であるので、ν値の増大に対してナトリウムボイド反応度増分は正となる。

また、fissionの感度係数はどの核種も負であるが、これは直接的に反応度を変化させる影響よりも、摂動分母を変化させて反応度変化の絶対値を相殺する（負の感度係数）規格化の影響が大きいためである。この影響を除いた直接的な影響はν値の感度係数と類似と考えられる。

ナトリウムや酸素についての輸送断面積や散乱断面積の感度係数がかなり大きく、絶対値が0.8-1.0となっている。感度係数の精度確認のために、直接計算からの結果と比較した。ここでは、ナトリウムを一様に（1.3倍）増加させた体系で炉中心ナトリウムボイド反応度を求め、感度係数からのナトリウムボイド反応度の予測値と比較した。これを以下に示す。

直接計算結果（二次元ＲＺ７０群拡散計算）

体系		ナトリウムボイド反応度
基準体系（ナトリウム原子数密度基準値）		-0.00044Δk/kk'
ナトリウム原子数密度増加体系（1.3倍）		-0.00057Δk/kk'
反応度変化	=	-0.00013Δk/kk

一方、感度係数の合計は、表4.3-1より、0.9098である。（捕獲、弾性散乱、非弾性散乱の和）　よって、ナトリウム原子数密度増加体系（1.3倍）のナトリウムボイド反応度の増分は

$$0.9098 \times -0.00044 \Delta k/kk' \times 0.3 = -0.00012 \Delta k/kk$$

となり、直接計算からの値とほぼ一致している。

常陽では、従来炉心と比べて非常に負の漏洩成分が大きく、スペクトル成分を上回るので、散乱断面積を通して負の漏洩成分へ影響の大きいナトリウムの感度が大きくなる可能性がある。一方、大型炉心では、正のスペクトル成分が大きく、他の負の成分とある程度打ち消しあうので、ナトリウムの感度が小さくなると考えられる。以上より上記感度係数は妥当と考えられる。

表4.3-1 常陽・Naボイド反応度の感度係数（その１）

核種	反応	感度係数(10^{-4})
		常陽MK-I
u235	capture	-2080
u235	nu	2106
u235	transport	-503
u235	fission	-1928
u235	elastic	-94
u235	inelastic	-85
u235	mu-averag	386
u235	(n, 2n)	-4
u238	capture	-2345
u238	nu	-6024
u238	transport	-6600
u238	fission	-4436
u238	elastic	-3127
u238	inelastic	-624
u238	mu-averag	3316
u238	(n, 2n)	-27
pu239	capture	-1878
pu239	nu	-4324
pu239	transport	-358
pu239	fission	-5049
pu239	elastic	-47
pu239	inelastic	-35
pu239	mu-averag	267
pu239	(n, 2n)	-1
pu240	capture	-478
pu240	nu	-1560
pu240	transport	-99
pu240	fission	-1204
pu240	elastic	-13
pu240	inelastic	-11
pu240	mu-averag	54
pu240	(n, 2n)	0
pu241	capture	-43
pu241	nu	69
pu241	transport	-11
pu241	fission	-53
pu241	elastic	-4
pu241	inelastic	-1
pu241	mu-averag	10
pu241	(n, 2n)	0
pu242	capture	-11
pu242	nu	-38
pu242	transport	-3
pu242	fission	-29
pu242	elastic	0
pu242	inelastic	0
pu242	mu-averag	2
pu242	(n, 2n)	0

表4.3-1　常陽・Ｎａボイド反応度の感度係数（その２）

核種	反応	感度係数(10^{-4})
		常陽MK-I
oxygen	capture	97
oxygen	nu	0
oxygen	transport	-7571
oxygen	fission	0
oxygen	elastic	-7855
oxygen	inelastic	-4
oxygen	mu-averag	1311
oxygen	(n, 2n)	0
sodium	capture	-474
sodium	nu	0
sodium	transport	7587
sodium	fission	0
sodium	elastic	10089
sodium	inelastic	-517
sodium	mu-averag	-1181
sodium	(n, 2n)	0
chromium	capture	-88
chromium	nu	0
chromium	transport	-1398
chromium	fission	0
chromium	elastic	-1156
chromium	inelastic	-97
chromium	mu-averag	455
chromium	(n, 2n)	0
iron	capture	-267
iron	nu	0
iron	transport	-4392
iron	fission	0
iron	elastic	-3138
iron	inelastic	-534
iron	mu-averag	1537
iron	(n, 2n)	0
nickel	capture	96
nickel	nu	0
nickel	transport	-736
nickel	fission	0
nickel	elastic	-520
nickel	inelastic	-47
nickel	mu-averag	301
nickel	(n, 2n)	0
molybdenum	capture	-82
molybdenum	nu	0
molybdenum	transport	-176
molybdenum	fission	0
molybdenum	elastic	-131
molybdenum	inelastic	-17
molybdenum	mu-averag	82
molybdenum	(n, 2n)	0

表4.3-1　常陽・Ｎａボイド反応度の感度係数（その3）

核種	反応	感度係数(10^{-4})
		常陽MK-I
boron-10	capture	118
boron-10	nu	0
boron-10	transport	-17
boron-10	fission	0
boron-10	elastic	-11
boron-10	inelastic	0
boron-10	mu-averag	2
boron-10	(n, 2n)	0
boron-11	capture	0
boron-11	nu	0
boron-11	transport	-1
boron-11	fission	0
boron-11	elastic	-1
boron-11	inelastic	0
boron-11	mu-averag	0
boron-11	(n, 2n)	0
carbon	capture	0
carbon	nu	0
carbon	transport	-4
carbon	fission	0
carbon	elastic	-3
carbon	inelastic	0
carbon	mu-averag	1
carbon	(n, 2n)	0

4.4　燃料置換反応度

ＭＫ－Ｉ，ＭＫ－ＩＩについて、置換反応度の感度係数を求めた結果を表4.4-1 に示す。付録の表C-4, C-5に群毎の内訳を示す。

計算上は燃料からブランケットまたは反射体に置換する反応度を対象としているが、定義式からわかるように、その逆の場合も感度係数の符号は同じとなる。

同表から、両体系のPu239fissionの感度係数は正である。即ち、この断面積が大きくなると、燃料からブランケットへの置換反応度は大きくなる。但し、もともと負の反応度であり、この負が大きくなることになる。逆の置換の場合は反応度は正であり、今度はこの正が大きくなる。どちらの場合も物理的に整合している。

両体系の感度係数を比較すると、ＭＫ－ＩＩの方が、Pu各核種の感度が高い。これはPu富化度が高いためである。構造材の感度は燃料から反射体に置換しているＭＫ－ＩＩで非常に高くなっている。感度係数合計は鉄がPu239についで大きい。

表4.4-1　常陽・周辺燃料置換反応度の感度係数（その１）

核種	反応	感度係数(10^{-4})	
		常陽MK-I	常陽MK-II
u235	capture	-675	-326
u235	nu	3530	1719
u235	transport	179	88
u235	fission	591	317
u235	elastic	100	54
u235	inelastic	-47	-14
u235	mu-averag	-68	-33
u235	(n,2n)	0	0
u238	capture	1447	-1330
u238	nu	-1058	891
u238	transport	-675	708
u238	fission	-1020	315
u238	elastic	-629	469
u238	inelastic	-224	-172
u238	mu-averag	111	-264
u238	(n,2n)	0	2
pu239	capture	-377	-596
pu239	nu	3472	5625
pu239	transport	127	213
pu239	fission	1174	1971
pu239	elastic	68	124
pu239	inelastic	-19	-20
pu239	mu-averag	-48	-79
pu239	(n,2n)	0	0
pu240	capture	-122	-215
pu240	nu	295	536
pu240	transport	34	64
pu240	fission	105	207
pu240	elastic	21	42
pu240	inelastic	-7	-8
pu240	mu-averag	-10	-19
pu240	(n,2n)	0	0
pu241	capture	-15	-29
pu241	nu	141	279
pu241	transport	4	8
pu241	fission	46	90
pu241	elastic	3	6
pu241	inelastic	-1	-1
pu241	mu-averag	-2	-4
pu241	(n,2n)	0	0
pu242	capture	-3	-6
pu242	nu	6	14
pu242	transport	1	2
pu242	fission	2	5
pu242	elastic	1	1
pu242	inelastic	0	0
pu242	mu-averag	0	-1
pu242	(n,2n)	0	0

注）常陽MK-I；炉心燃料→ブランケット燃料の置換反応度
　　常陽MK-II；炉心燃料→内側反射体の置換反応度

表4.4-1　常陽・周辺燃料置換反応度の感度係数（その２）

核種	反応	感度係数(10^{-4})	
		常陽MK-I	常陽MK-II
oxygen	capture	-9	-36
oxygen	nu	0	0
oxygen	transport	-206	987
oxygen	fission	0	0
oxygen	elastic	-627	1185
oxygen	inelastic	-1	-1
oxygen	mu-averag	-10	-97
oxygen	(n,2n)	0	0
sodium	capture	-1	-4
sodium	nu	0	0
sodium	transport	47	209
sodium	fission	0	0
sodium	elastic	-109	97
sodium	inelastic	-63	-19
sodium	mu-averag	-29	-65
sodium	(n,2n)	0	0
chromium	capture	-1	80
chromium	nu	0	0
chromium	transport	38	-568
chromium	fission	0	0
chromium	elastic	10	-652
chromium	inelastic	-29	40
chromium	mu-averag	-19	22
chromium	(n,2n)	0	0
iron	capture	-22	293
iron	nu	0	0
iron	transport	88	-1849
iron	fission	0	0
iron	elastic	-40	-2115
iron	inelastic	-125	121
iron	mu-averag	-63	155
iron	(n,2n)	0	0
nickel	capture	-35	45
nickel	nu	0	0
nickel	transport	-12	-359
nickel	fission	0	0
nickel	elastic	-40	-451
nickel	inelastic	-16	12
nickel	mu-averag	-12	18
nickel	(n,2n)	0	0
molybdenum	capture	2	-31
molybdenum	nu	0	0
molybdenum	transport	4	35
molybdenum	fission	0	0
molybdenum	elastic	1	29
molybdenum	inelastic	-6	-4
molybdenum	mu-averag	-3	-11
molybdenum	(n,2n)	0	0

注）常陽MK-I；炉心燃料→ブランケット燃料の置換反応度
　　常陽MK-II；炉心燃料→内側反射体の置換反応度

表4.4-1 常陽・周辺燃料置換反応度の感度係数（その３）

核種	反応	感度係数(10^{-4})	
		常陽MK-I	常陽MK-II
boron-10	capture	-5	-20
boron-10	nu	0	0
boron-10	transport	-1	0
boron-10	fission	0	0
boron-10	elastic	-1	-1
boron-10	inelastic	0	0
boron-10	mu-averag	0	0
boron-10	(n, 2n)	0	0
boron-11	capture	0	0
boron-11	nu	0	0
boron-11	transport	0	0
boron-11	fission	0	0
boron-11	elastic	0	0
boron-11	inelastic	0	0
boron-11	mu-averag	0	0
boron-11	(n, 2n)	0	0
carbon	capture	0	0
carbon	nu	0	0
carbon	transport	0	0
carbon	fission	0	0
carbon	elastic	0	0
carbon	inelastic	0	0
carbon	mu-averag	0	0
carbon	(n, 2n)	0	0

注）常陽MK-I；炉心燃料→ブランケット燃料の置換反応度
　　常陽MK-II；炉心燃料→内側反射体の置換反応度

4.5 燃焼係数

燃焼係数はＭＫ－Ｉ炉心の第１サイクルの燃焼係数を対象とする。

燃焼係数の感度係数は、４群エネルギーで求めたものを、１８群へ拡張して得た。４群エネルギーの感度係数は参考文献（２５）による。４群エネルギー構造における各群下限の１８群エネルギー群は、第５群(0.82MeV)、第８群(86.5KeV)、第１４群(961eV)、第１８群(1.0E-5eV)である。ＭＫ－Ｉの燃焼係数の全群合計値を表4.5-1 に示す。付録の表C-6に群毎の内訳を示す。

Pu239 をはじめ、各重核種のfissionの感度係数は負である。これは、自分自身の消滅速度への影響（数密度項）と、反応度への直接効果（直接項）、出力の規格化効果（出力項）等、種々の効果の和である。結果として、感度係数が負であることは、燃焼係数の絶対値を小さくする方向である。

一方、捕獲断面積については、親核種であるU238,Pu240は負である。これは、自分自身が消滅し、核分裂性物質が生まれることによる反応度利得を表す、数密度項の寄与が大きなためであり、燃焼係数の絶対値を小さくする方向である。これに対して、fissile物質や、FP,Fe等吸収物質では正である。常陽では、fissileであるU235,Pu239は燃焼により減少する。吸収量の燃焼変化への影響と、吸収によるU236,Pu240の生成量への影響、その他に、燃焼初期と末期での影響の違い（＝importanceの差）により、感度係数の正負が決まっている。FPの感度係数が正であるのは、燃焼によりFPは増加するので、吸収断面積が大きくなれば、燃焼による吸収量増大が増えるためである。

表4.5-1　燃焼係数の感度係数(10^{-4})

核種	反応	感度係数
U235	capture	582
	fission	-906
	ν	191
U238	capture	-1289
	fission	-2818
	ν	-2252
Pu239	capture	1223
	fission	-3438
	ν	-6848
Pu240	capture	-170
	ν	-814
Pu241	capture	52
	fission	-55
	ν	-255
Na	capture	34
Fe	capture	260
FP	capture	1722

５．おわりに

実証炉の基本設計から許認可まで一貫して使用できる統合炉定数の作成のために、従来の積分データとしては使用できなかった小型高速炉の積分データおよび解析結果を提供した。

本件では、この実証炉設計用統合炉定数の整備の（その３）として、臨界実験データを補完する実機データとして、「常陽」性能試験・運転特性データの解析を行い、炉定数調整用積分データとして整備した。

「常陽」性能試験・運転特性データ解析では、実験炉「常陽」ＭＫ－１炉心およびＭＫ－２炉心の積分特性を統一した視点から、実験データの検討も含めて実施した。このような解析・評価ははじめての試みである。

今年度は、臨界性、Ｎａボイド反応度、燃料置換反応度、燃焼係数を対象とし、解析・測定値について、誤差評価と相関係数の設定を行った。

今後は、臨界実験解析の結果等との比較、炉定数調整への寄与などを更に調べ、炉定数調整への利用データの追加などを行い、大型から小型炉までの予測精度を整合させていく必要がある。

5.参考文献

(1) T.Kamei and T.Yoshida：J. Nucl. Sci. Technol. , 18 , 1 , p74 (1981).

(2) M.Nakagawa and H.Inoue：Nucl. Sci. Eng. , 83 , p214 (1983).

(3) 宇根崎他：日本原子力学会昭和62秋の大会要旨集D52、p238 (1987).

(4) 澤田周作、沖元豊、他、高速増殖原型炉「もんじゅ」性能試験報告書　制御棒価値確認（その1）(SST-R-2-11)：PNC ZN2410 96-013、1996年4月

(5) 山本寿、関口善之、他、高速実験炉「常陽」性能試験報告書　臨界試験(NT-12)/初期炉心構成(NT-13)：PNC SN941 80-58、1980年4月

(6) 川島正俊、石川眞、他、高速実験炉「常陽」性能試験解析書　炉心核特性（その1）：PNC SN941 79-236、1979年12月

(7) 池上哲雄、河北孝司、他、高速実験炉「常陽」100MW出力上昇試験結果報告書　臨界試験(NT-212)/初期炉心構成(NT-213)：PNC N941 85-17、1985年2月

(8) 沼田、他、常陽MK-Ⅱ中性子源の原子数密度：炉心技術メモRP-96-94、1996年12月

(9) 沼田、他、常陽MK-Ⅰ及びMK-Ⅱの臨界性解析（改訂版）：炉心技術メモRP-96-8、1996年4月

(10) 岩井、他、再評価された中性子源のデータを使用した常陽MK-Ⅱ炉心の再解析：炉心技術メモRP-96-107、1997年1月

(11) 山本寿、関口善之、他、高速実験炉「常陽」性能試験報告書　ナトリウムボイド反応度(NT-32)：PNC SN941 80-188、1980年10月

(12) 山本寿、関口善之、他、高速実験炉「常陽」性能試験結果の総括：PNC N941 80-179、1980年10月

(13) 石川眞、巽良隆、他、高速実験炉「常陽」性能試験解析書　燃焼係数(NT-35)：PNC SN941 80-33、1980年2月

(14) 谷山洋、秋山孝夫、他、高速実験炉「常陽」100MW出力上昇試験総合報告書（速報）：PNC SN941 83-92、1983年6月

(15) 山本寿、関口善之、他、高速実験炉「常陽」性能試験結果の総括：PNC N941 80-179、1980年10月

(16) 長山、他、定格100MW第1サイクル定格出力到達以後7日間の余剰反応度変化：技術課メモ　技-58-135、1983年9月

(17) 広瀬正史、妹尾誠、他、高速実験炉「常陽」性能試験報告書　等温反応度係数(NT-33)：PNC SN941 79-119、1979年8月

(18) 三田敏男、池上哲雄、他、高速実験炉「常陽」性能試験報告書　制御棒特性(NT-21,NT-22,NT-23)：PNC SN941 79-191、1979年10月

(19) 石川眞、遠藤雅行、他、高速実験炉「常陽」性能試験報告書　(PT-11)　熱出力較正：PNC SN941 79-179、1979年10月

(20) 森木保幸、河北孝司、他、高速実験炉「常陽」100MW性能試験報告書　等温反応度係数(NT-233)：PNC SN9410 87-039、1987年3月

(21) 青山、他、MAGI"コードにおけるβeff, λ effの計算方法の改良：技術課メモ 技-62-114、1987年7月
(22) 池上、他、常陽MK-Ⅱの炉心設計と低出力試験速報：技術課メモ　技-57-236、1983年2月
(23) 長山、他、性能試験期間中の反応度損失量：技術課メモ　技-58-103、1983年7月
(24) 村田、他、100MW時熱出力測定誤差：技術課メモ　技-59-116、1984年6月
(25) 花木洋、澤田周作、他、「燃焼核特性に対する感度解析コードの整備」：PNC ZJ9124 93-009、1993年3月

付録A　常陽MK-Ⅰ炉心およびMK-Ⅱ炉心の性能試験解析に使用した原子数密度データ

使用した原子数密度データを表A-1(MK-Ⅰ)、表A-2(MK-Ⅱ)に示す。それぞれ、下記の文献による。

(1) 川島正俊、石川眞、他、高速実験炉「常陽」性能試験解析書　炉心核特性（その1）：PNC SN941 79-236、1979年12月

(2) 沼田、他、JOYO MK-Ⅱ原子数密度の再評価：炉心技術メモRP-95-104、1996年3月

表 A-1 (1) MK－I 炉心の原子数密度（200℃）　　　（× 10^{24} atoms／cm^3 ）

＊1） SMART によるデータ
＊2） 技－51－13 によるデータ
＊3） Pu 241 のみ 1972年11月検査時から 1977年5月までの decay を考慮した。

EXPANDA No.	CiTATiON No.	領域 / 核種	炉　心＊1)	径ブランケット＊1)	軸ブランケット＊1)	可動反射体＊2)	固定反射体＊2)	軸反射体＊2)
4	5	Be						
105	6	B 10						
115	7	B 11						
6	8	C						
8	10	O	1.6572－2	2.2024－2	1.6449－2			
11	11	Na	9.4694－3	7.6459－3	9.4694－3	4.6196－3	1.5545－2	9.4694－3
24	19	Cr	3.2754－3	2.8492－3	3.2754－3	1.3462－2	6.0954－3	3.2754－3
26	20	Fe	1.1926－2	1.0374－2	1.1926－2	4.8024－2	2.1745－2	1.1926－2
28	21	Ni	2.0988－3	1.8258－3	2.0988－3	6.2048－3	2.8095－3	2.0988－3
42	25	Mo	2.3599－4	2.0529－4	2.3599－4			2.3599－4
925	34	U 235	1.5834－3	2.2198－5	1.6689－5			
928	36	U 238	5.2368－3	1.0937－2	8.2230－3			
949	37	Pu 239	1.1157－3					
940	38	Pu 240	2.8127－4					
941	39	Pu 241 ＊3)	3.7521－5					
942	40	Pu 242	7.9780－6					
995	42	U^{235} FP						
999	43	Pu^{239} FP						

参考文献：
PNC SN941 79-236 高速実験炉「常陽」性能試験解析書　炉心核特性（その１）、川島、石川他、1979.

（続き）200 ℃

表 A-1 (2) MK－I 炉心の原子数密度（200℃）

EXPANDA No.	CiTATiON No.	領域 / 核種	中性子源	制御棒領域				RZ 用制御棒領域		
				B₄Cペレット	プレナム	ダッシュラム	ナトリウム	B₄C 2/6 ⊕プレナム 4/6	プレナム 2/6 ⊕ダッシュラム 4/6	ダッシュラム 2/6 ⊕ Na 4/6
4	5	Be	5.5931 − 2							
105	6	B 10		2.1639 − 2				7.2130 − 3		
115	7	B 11		1.7814 − 3				5.9380 − 4		
6	8	C		5.6231 − 3				1.8744 − 3		
8	10	O								
11	11	Na	5.9058 − 3	1.3209 − 2	1.3209 − 2	1.9655 − 2	2.1785 − 2	1.3209 − 2	1.7506 − 2	2.1075 − 2
24	19	Cr	3.1874 − 3	3.4447 − 3	3.4447 − 3	2.6429 − 3	1.2416 − 3	3.4447 − 3	2.9102 − 3	1.7087 − 3
26	20	Fe	1.1606 − 2	1.2542 − 2	1.2542 − 2	9.6229 − 3	4.5210 − 3	1.2542 − 2	1.0596 − 2	6.2216 − 3
28	21	Ni	2.0424 − 3	2.2073 − 3	2.2073 − 3	1.6935 − 3	7.9561 − 4	2.2073 − 3	1.8648 − 3	1.0949 − 3
42	25	Mo	2.2964 − 4	2.4819 − 4	2.4819 − 4	1.9042 − 4	8.9458 − 5	2.4819 − 4	2.0968 − 4	1.2311 − 4
925	34	U 235								
928	36	U 238								
949	37	Pu 239								
940	38	Pu 240								
941	39	Pu 241								
942	40	Pu 242								
995	42	U^{235} FP								
999	43	Pu^{239} FP								

表 A-2 (1) MK－ＩＩ炉心の原子数密度（250℃）

UNIT*10^24個/CC

			H/H	ガスプレナム	上部反射体	上部インシュレータ	炉心燃料	下部インシュレータ	下部空間	下部反射体
1	948	PU-238	0.0	0.0	0.0	0.0	3.31612E-06	0.0	0.0	0.0
2	949	PU-239	0.0	0.0	0.0	0.0	1.79589E-03	0.0	0.0	0.0
3	940	PU-240	0.0	0.0	0.0	0.0	5.02866E-04	0.0	0.0	0.0
4	941	PU-241	0.0	0.0	0.0	0.0	7.51024E-05	0.0	0.0	0.0
5	942	PU-242	0.0	0.0	0.0	0.0	1.67930E-05	0.0	0.0	0.0
6	951	AM-241	0.0	0.0	0.0	0.0	8.42600E-06	0.0	0.0	0.0
7	925	U-235	0.0	0.0	0.0	1.87097E-05	7.46360E-04	1.87097E-05	0.0	0.0
8	928	U-238	0.0	0.0	0.0	9.21819E-03	5.34839E-03	9.21819E-03	0.0	0.0
9	8	OXYGEN	0.0	0.0	0.0	1.81957E-02	1.67617E-02	1.81957E-02	0.0	0.0
10	11	NA	1.59522E-02	8.83207E-03	8.74236E-03	8.73107E-03	8.73107E-03	8.73107E-03	1.77567E-02	1.45029E-02
11	24	CR	3.61913E-03	3.47588E-03	8.34413E-03	3.55017E-03	3.55017E-03	3.55017E-03	3.75813E-03	5.93477E-03
12	26	FE	1.29332E-02	1.24213E-02	2.98175E-02	1.26855E-02	1.26855E-02	1.26855E-02	1.34283E-02	2.12119E-02
13	28	NI	2.54535E-03	2.44460E-03	5.86776E-03	2.49750E-03	2.49750E-03	2.49750E-03	2.64307E-03	4.17405E-03
14	42	MO	2.88447E-04	2.78029E-04	6.64778E-04	2.83023E-04	2.83023E-04	2.83023E-04	2.99561E-04	4.73059E-04
15	25	MN	3.52607E-04	3.38650E-04	8.12924E-04	3.45906E-04	3.45906E-04	3.45906E-04	3.66207E-04	5.78227E-04
16	105	BORON-10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	115	BORON-11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	6	CARBON	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

			E/N	ダミー燃料	内側反射体・上部	内側反射体・中央	内側反射体・下部	外側反射体(A)中央	外側反射体(A)中央以外	外側反射体(B)
1	948	PU-238	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	949	PU-239	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	940	PU-240	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	941	PU-241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	942	PU-242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	951	AM-241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	925	U-235	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	928	U-238	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	8	OXYGEN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	11	NA	1.56473E-02	1.10255E-02	1.23853E-02	6.22054E-03	1.23853E-02	4.71447E-03	3.22058E-03	4.55746E-03
11	24	CR	5.16019E-03	8.22772E-03	7.30632E-03	1.14378E-02	7.30731E-03	1.19131E-02	1.31249E-02	1.40818E-02
12	26	FE	1.84403E-02	3.19350E-02	2.82825E-02	4.43944E-02	2.82924E-02	4.36121E-02	4.80482E-02	4.83160E-02
13	28	NI	3.62918E-03	4.05616E-03	3.71456E-03	5.63868E-03	3.71555E-03	6.11600E-03	6.73810E-03	6.07341E-03
14	42	MO	4.11270E-04	6.92411E-05	9.62556E-05	9.62556E-05	9.62556E-05	1.23092E-04	1.23092E-04	0.0
15	25	MN	5.02750E-04	6.77808E-04	6.13778E-04	9.42255E-04	6.06747E-04	8.78382E-04	9.67729E-04	1.22795E-03
16	105	BORON-10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	115	BORON-11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	6	CARBON	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

参考文献；
沼田、「JOYO MK-II原子数密度の再評価」、基盤技術開発部炉心技術開発室　炉心技術メモRP-95-104、96年3月25日

表A-2 (2) MK－ＩＩ炉心の原子数密度（250℃）

UNIT*10²⁴個/CC

			制御棒上部	制御棒 NODE1～3	制御棒 NODE4	制御棒 NODE5	制御棒 NODE6～7	制御棒 NODE8	制御棒 NODE9～15	制御棒 NODE16～19
1	948	PU-238	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	949	PU-239	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	940	PU-240	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	941	PU-241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	942	PU-242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	951	AM-241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	925	U-235	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	928	U-238	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	8	OXYGEN	0.0	0.0	5.69502E-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	11	NA	1.58044E-02	1.30110E-02	1.39220E-02	1.71689E-02	1.41556E-02	1.74259E-02	1.64448E-02	2.16071E-02
11	24	CR	5.06728E-03	2.85165E-03	4.67484E-03	4.12944E-03	6.13963E-03	3.95803E-03	4.61251E-03	1.16871E-03
12	26	FE	1.81123E-02	1.10684E-02	1.81449E-02	1.60280E-02	2.38303E-02	1.53627E-02	1.79029E-02	4.53622E-03
13	28	NI	3.56403E-03	1.40583E-03	2.30464E-03	2.03576E-03	3.02676E-03	1.95126E-03	2.27391E-03	5.76159E-04
14	42	MO	4.03937E-04	2.39983E-05	3.93415E-05	3.47517E-05	5.16686E-05	3.33092E-05	3.88170E-05	9.83538E-06
15	25	MN	4.93756E-04	2.34922E-04	3.85118E-04	3.40188E-04	5.05788E-04	3.26067E-04	3.79983E-04	9.62795E-05
16	105	BORON-10	0.0	2.25191E-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	115	BORON-11	0.0	2.26577E-03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	6	CARBON	0.0	6.26652E-03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	13	AL	0.0	0.0	3.77062E-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

			制御棒 NODE20	特燃B(J)上、下インシュレータ	特燃B(J)炉心部	Matrix
1	948	PU-238	0.0	0.0	0.0	0.0
2	949	PU-239	0.0	0.0	4.19265E-04	0.0
3	940	PU-240	0.0	0.0	1.16775E-04	0.0
4	941	PU-241	0.0	0.0	1.93269E-05	0.0
5	942	PU-242	0.0	0.0	4.59578E-06	0.0
6	951	AM-241	0.0	0.0	0.0	0.0
7	925	U-235	0.0	4.40238E-06	1.74663E-04	0.0
8	928	U-238	0.0	2.16904E-03	1.25163E-03	0.0
9	8	OXYGEN	0.0	4.28168E-03	3.91293E-03	0.0
10	11	NA	1.97151E-02	1.26795E-02	1.26796E-02	1.53460E-02
11	24	CR	2.43092E-03	4.63369E-03	4.63369E-03	6.08010E-03
12	26	FE	9.43533E-03	1.65588E-02	1.65588E-02	2.16900E-02
13	28	NI	1.19841E-03	3.25889E-03	3.25889E-03	2.80240E-03
14	42	MO	2.04576E-05	3.69308E-04	3.69308E-04	0.0
15	25	MN	2.00261E-04	4.51454E-04	4.51454E-04	0.0
16	105	BORON-10	0.0	0.0	0.0	0.0
17	115	BORON-11	0.0	0.0	0.0	0.0
18	6	CARBON	0.0	0.0	0.0	0.0

Ａｐｐｅｎｄｉｘ－Ｂ；

「常陽」ＭＫ－１炉心およびＭＫ－２炉心の性能試験測定結果詳細データの抜粋

「常陽」ＭＫ－１炉心およびＭＫ－２炉心の性能試験関連報告書に記載されている測定値の内、本検討に直接関係し第３章で示した測定値に関するデータや試験関連測定結果をまとめ、炉定数調整用測定値の再評価に役立つと考えられるデータを集めた。それぞれのデータは下記の出典にもとづいている。

特性値	ＭＫ－１初期炉心
・臨界性	PNC SN941 80-58 高速実験炉「常陽」性能試験報告書 臨界試験（ＮＴ－１２）／初期炉心構成（ＮＴ－１３） PNC SN941 79-119　高速実験炉「常陽」性能試験報告書 等温反応度係数（ＮＴ－３３）
・制御棒価値	PNC SN941 79-191　高速実験炉「常陽」性能試験報告書 制御棒特性（ＮＴ－２１，ＮＴ－２２，ＮＴ－２３）
・Ｎａボイド反応度	PNC SN941 80-188　高速実験炉「常陽」性能試験報告書 ナトリウムボイド反応度（ＮＴ－３２）
・燃料置換反応度	PNC SN941 80-58 高速実験炉「常陽」性能試験報告書 臨界試験（ＮＴ－１２）／初期炉心構成（ＮＴ－１３）
・燃焼係数	PNC SN941 80-33 高速実験炉「常陽」性能試験報告書 ＮＴ－３５　燃焼係数 PNC SN941 79-179　高速実験炉「常陽」性能試験報告書 ＰＴ－１１　熱出力較正
・全体	PNC N941 80-179 高速実験炉「常陽」性能試験結果（ＭＫ－１）の総括

特性値	ＭＫ－２初期炉心
・臨界性	PNC N941 85-17 高速実験炉「常陽」 100MW出力上昇試験報告書 臨界試験（ＮＴ－２１２）／初期炉心構成（ＮＴ－２１３） PNC SN9410 87-073 高速実験炉「常陽」 100MW出力上昇試験報告書 等温反応度係数（ＮＴ－２３３） 実験炉部技術課メモ 技-62-114 「"MAGI"ｺｰﾄﾞにおけるβ eff, λ eff の計算方法の改良」
・制御棒価値	初期炉心測定値 実験炉部技術課メモ 技-57-236 「常陽MK-IIの炉心設計と低出力試験速報」
・燃料置換反応度	PNC N941 85-17 高速実験炉「常陽」 100MW出力上昇試験報告書 臨界試験（ＮＴ－２１２）／初期炉心構成（ＮＴ－２１３） 実験炉部技術課メモ 技-57-236 「常陽MK-IIの炉心設計と低出力試験速報」
・燃焼係数	実験炉部技術課メモ 技-58-103 「性能試験期間中の反応度損失量」 実験炉部技術課メモ 技-58-135 「定格 100MW第１サイクル定格出力到達以後７日間の余剰反応度変化」 実験炉部技術課メモ 技-59-116 100MW 時熱出力測定誤差
・全体	PNC N941 83-92 高速実験炉「常陽」 100MW出力上昇試験総合報告書（速報）

次葉から、選別した性能試験測定等を引用文献名とともに示す。内容リストはつぎのものである。なお、提示された反応度はＭＫ－１では遅発中性子割合（β eff ）として、0.512%、ＭＫ－２体系では0.402%とした値である。

(1) 臨界性・周辺反応度価値関連

表B-1.1 「常陽」MK－1炉心初期炉心構成時反応度結果

(PNC SN941 80-58 より引用)

表B-1.2 「常陽」MK－2体系最小臨界炉心の余剰反応度

(PNC N941 85-17より引用)

表B-1.3 「常陽」MK－2初期炉心構成各ステップにおける余剰反応度

(PNC N941 85-17より引用)

(2) 制御棒価値関連

表B-2.1 「常陽」MK－1炉心初期炉心の制御棒価値測定結果

(PNC SN941 79-191より引用)

表B-2.2 「常陽」MK－1炉心初期炉心の調整棒1の較正曲線測定値

(PNC SN941 79-191より引用)

表B-2.3 「常陽」MK－1炉心初期炉心の調整棒2の較正曲線測定値

(PNC SN941 79-191より引用)

表B-2.4 「常陽」MK－1炉心初期炉心の安全棒の較正曲線測定値

(PNC SN941 79-191より引用)

表B-2.5 「常陽」MK－2炉心初期炉心(64,2,1)の制御棒価値測定結果

(実験炉部技術課メモ　技-57-236(S58/2/22) より引用)

(3) ナトリウムボイド反応度価値測定関連

表B-3.1 「常陽」MK－1炉心初期炉心のナトリウムボイド反応度測定順序と使用集合体

(PNC N941 80-188より引用)

表B-3.2 「常陽」MK－1炉心初期炉心のナトリウムボイド反応度測定詳細データ（1）

----測定制御棒パターン1----　(PNC N941 80-188より引用)

表B-3.3 「常陽」MK－1炉心初期炉心のナトリウムボイド反応度測定詳細データ（2）

----測定制御棒パターン1----　(PNC N941 80-188より引用)

表B-3.4 「常陽」MK－1炉心初期炉心のナトリウムボイド反応度測定結果（1）

----測定制御棒パターン1----　(PNC N941 80-188より引用)

(4) 燃焼係数関連

表B-4.3 「常陽」ＭＫ－１炉心５０ＭＷ定格第２サイクルの余剰反応度測定記録（４）

（PNC N941 80-33より引用）

表B-1.1 「常陽」MK－1炉心初期炉心構成時反応度結果

（PNC SN941 80-58 より引用）

炉心燃料本数	臨界調整棒位置		冷却材温度 (℃)	炉心余剰反応度 at 200℃ (%ΔK／K)	燃料等価反応度 1本当り (%ΔK／K)	備　　考
	RR1 (mm)	RR2 (mm)				
64	700.0	543.3	200.0	0.320	—	最小臨界炉心の250℃に於ける余剰反応度　0.13％ΔK／K
65	700.0	440.0	199.0	0.670	0.35	5－2章記載燃料等価反応度 0.355％ΔK／K
67	537.0	350.0	196.5	1.385	0.36	
69	384.5	350.0	201.0	1.985	0.30	
70	350.0	317.0	200.0	2.32	0.33	250℃に於ける余剰反応度：2.13％ΔK／K
70	350.0	361.1	200.0	2.423※	—	※ 252.8℃に於ける余剰反応度 2.223％ΔK／K

※　52年5月31日の等温係数計険時データで，NT－21の調整棒本較正試験結果及びNT－33等温係数 3.8×10^{-5} ΔK／K／℃を用いて得た値

表B-1.2 「常陽」ＭＫ－２体系最小臨界炉心の余剰反応度

（PNC N941 85-17より引用）

炉心体系	起動系（ch 2）計数率（cps）	冷却材温度（℃）	余剰反応度（%ΔK/K）			
			制御棒位置から求めたもの	温度補正*1	中性子源効果	補正後
50体炉心	1.07×10^4	250.4	0.0149	＋0.0018	－0.0075	0.0092
51体炉心*2	1.22×10^4	246.4	0.5140	－0.0161	－0.0062	0.4917
	1.37×10^4	248.6	0.5035	－0.0072	－0.0055	0.4908

*1　等温係数として，51体炉心の実測値である-4.48×10^{-3} %ΔK／K／℃を使用した。

*2　51体炉心については，２つの測定データがある。

表B-1.3 「常陽」MK－2初期炉心構成各ステップにおける余剰反応度

（PNC N941 85-17より引用）

炉　心	余剰反応度 実測値^E （%ΔK/K）	測　定　条　件 主1次冷却材流量	 中性子源位置
（50, 0, 0）	0.009 0.0*3	20％	4E1
（51, 0, 0）	<u>0.491</u> 0.455 0.419 0.482	20％ 20％ 100％	4E1 4E1，6F1 4E1，6F1
（57, 0, 0）	2.997 <u>（3.024）*2</u> 3.015	100％ （20％）	6F1
（56, 1, 0）	1.749 1.740	20％	6F1
（56, 0, 1）	1.455 1.446	20％	6F1
（60, 2, 1）	1.538 1.529	20％	6F1
（63, 2, 1）	2.756 2.747	20％	6F1
（64, 2, 1）	3.141 <u>3.160</u> 3.151	100％ 20％	6F1 6F1

*2　20％流量への外挿値…………（51, 0, 0）と（64, 2, 1）での20％流量と100％流量の差の平均値で補正

*3　右下の数値は，（50, 0, 0）を基準とした反応度差

表B-2.1 「常陽」ＭＫ－１炉心初期炉心の制御棒価値測定結果

制御棒	実測値（%Δρ）
調整棒1（RR1）	2.13±0.02
調整棒2（RR2）	2.12±0.02
安全棒1（SR1）	2.23±0.03
安全棒2（SR2）	2.21±0.03
安全棒3（SR3）	2.17±0.03
安全棒4（SR4）	2.17±0.03

（PNC SN941 79-191より引用）

表B-2.2 「常陽」MK－1炉心初期炉心の調整棒1の較正曲線測定値

（PNC SN941 79-191より引用）

単位（%ΔK/K）

Reg－Rod 1 ストローク	反応度計算値 ρ'	炉心付加反応度 ρ	$\frac{\rho}{\rho*}\times100$ *1 (%)	Reg－Rod 2 ストローク
0～50	0.0214	0.0214	1.01	620.4～609.8
50～90	0.0470	0.0684	3.22	609.8～589.2
90～120	0.0520	0.1204	5.66	589.2～569.4
120～145	0.0562	0.1766	8.30	569.4～550.6
145～170	0.0681	0.2447	11.50	550.6～529.8
170～190	0.0621	0.3068	14.42	529.8～511.9
190～210	0.0682	0.3750	17.63	511.9～493.7
210～225	0.0542	0.4292	20.17	493.7～480.1
225～240	0.0582	0.4874	22.91	480.1～466.0
240～255	0.0612	0.5486	25.79	466.0～451.8
255～270	0.0664	0.6150	28.91	451.8～436.7
270～285	0.0662	0.6812	32.02	436.7～422.2
285～300	0.0694	0.7506	35.28	422.2～407.4
300～315	0.0675	0.8201	38.55	407.4～392.4
315～330	0.0701	0.8902	41.84	392.4～377.8
330～345	0.0734	0.9636	45.29	377.8～362.2
345～360	0.0722	1.0358	48.69	362.2～347.2
360～375	0.0717	1.1075	52.06	347.2～332.0
375～390	0.0720	1.1795	55.44	332.0～316.6
390～405	0.0695	1.2490	58.71	316.6～301.6
405～420	0.0700	1.3190	62.00	301.6～286.0
420～435	0.0672	1.3862	65.16	286.0～272.4
435～450	0.0662	1.4524	68.27	272.4～257.0
450～465	0.0646	1.5170	71.30	257.0～240.8
465～480	0.0602	1.5772	74.13	240.8～225.5
480～495	0.0616	1.6388	77.03	225.5～208.2
495～510	0.0544	1.6932	79.59	208.2～192.6
510～535	0.0913	1.7845	83.88	192.6～163.7
535～560	0.0798	1.8643	87.63	163.7～132.1
560～585	0.0693	1.9336	90.89	132.1～95.9
585～615	0.0699	2.0035	94.17	95.9～32.1
615～650	0.0623	2.0658	97.10	32.1～－0.2 *2
650～700	0.0617	2.1275	100	*3

*1：ρ：Total worth 2.1275%ΔK/K
*2：Saf-Rod 4, 900→711.4
*3：Saf-Rod 4, 711.4→646.6

表B-2.3 「常陽」ＭＫ－１炉心初期炉心の調整棒２の較正曲線測定値

（PNC SN941 79-191より引用）

Reg－Rod 2 ストローク	置換反応度 ρ'（%△K/K）	炉心付加反応度 ρ（%△K/K）	$\frac{\rho}{\rho*}\times 100$(%)
－0.2～ 32.1	0.0049 *1	0.0049	0.23
32.1～ 95.9	0.0699	0.0748	3.53
95.9～132.1	0.0693	0.1441	6.79
132.1～163.7	0.0798	0.2239	10.6
163.7～192.6	0.0913	0.3152	14.9
192.6～208.2	0.0544	0.3696	17.4
208.2～225.5	0.0616	0.4312	20.3
225.5～240.8	0.0602	0.4914	23.2
240.8～257.0	0.0646	0.5560	26.2
257.0～272.4	0.0662	0.6222	29.3
272.4～286.0	0.0672	0.6894	32.5
286.0～301.6	0.0700	0.7594	35.8
301.6～316.6	0.0695	0.8289	39.1
316.6～332.0	0.0720	0.9009	42.5
332.0～347.2	0.0717	0.9726	45.8
347.2～362.2	0.0722	1.0448	49.3
362.2～377.8	0.0734	1.1182	52.7
377.8～392.4	0.0701	1.1883	56.0
392.4～407.4	0.0695	1.2578	59.3
407.4～422.2	0.0694	1.3272	62.6
422.2～436.7	0.0662	1.3934	65.7
436.7～451.8	0.0664	1.4598	68.8
451.8～466.0	0.0612	1.5210	71.7
466.0～480.1	0.0582	1.5792	74.4
480.1～493.7	0.0542	1.6334	77.0
493.7～511.9	0.0682	1.7016	80.2
511.9～529.8	0.0621	1.7637	83.1
529.8～550.6	0.0681	1.8318	86.4
550.6～569.4	0.0562	1.8880	89.0
569.4～589.2	0.0520	1.9400	91.5
589.2～609.8	0.0470	1.9870	93.7
609.8～620.4	0.0214	2.0084	94.7
620.4～650.0	0.0526	2.0610	97.2
650.0～700.0	0.0603	2.1213	100

*1 $\rho = \rho_{R1}$（615～650）$-\rho_{S4}$（900～711.4）
$= \rho_{R1}$（615～650）$-\rho_{R1}$（0.3～82.7）
$= 0.0623 - 0.0574$
$= 0.0049$

表B-2.4 「常陽」MK－1炉心初期炉心の安全棒の較正曲線測定値

(PNC SN941 79-191より引用)

較正安全棒	安全棒ストローク (mm)	置換制御棒ストローク (mm)	置換反応度 (%ΔK/K)	炉心付加反応度 (%ΔK/K)
安全棒 1	0～ 20	RR2 700	0.0088	0.0088
	20～100	700 ～632.3	0.0918	0.1006
	100～200	632.3～529.2	0.2657	0.3663
	200～300	529.2～424.9	0.4242	0.7905
	300～400	424.9～322.5	0.4830	1.2735
	400～500	322.5～223.5	0.4324	1.7059
	500～600	223.5～121.2	0.3009	2.0068
	600～700	RR2 121.2～ −0.1 RR1 700 ～676.8	0.1518	2.1586
	700～800	RR1 676.8～640	0.0509	2.2095
	800～900	640 ～631	0.0160	2.2255
安全棒 2	0～100	RR2 691.8～633.3 RR1 700.9～678.7	0.1064	0.1064
	100～200	RR1 687.1～545.6	0.2829	0.3893
	200～300	545.6～438.1	0.4184	0.8077
	300～400	438.1～337.0	0.4754	1.2831
	400～500	337.0～242.9	0.4253	1.7083
	500～600	242.9～156.3	0.2918	2.0001
	600～700	156.3～ 87.4	0.1421	2.1422
	700～800	87.4～ 41.5	0.0475	2.1897
	800～900	41.5～ 0	0.0178	2.2075
安全棒 3	0～900	RR1 658.4～630.0 RR2 700.1～ −0.3	2.1670	2.1670
	300～350	RR2 416.7～366.5	0.2364	−
	350～400	366.5～317.2	0.2333	−
安全棒 4	0～646.6	RR1 700 ～123.1 RR2 661.2～631.7	2.0471	2.0471
	646.6～711.4	RR1 123.1～ 82.7	0.0669	2.1140
	711.4～900	82.7～ 0.3	0.0595	2.1735
	300～350	RR1 421～370.5	0.2375	−
	350～400	370.5～320.7	0.2382	−

表B-2.5　「常陽」ＭＫ－２初期炉心(64,2,1)の制御棒価値

制御棒	実測値（ %Δρ） 測定値	干渉効果補正	１本の価値
CR#1 (3A3)	2.27	0.957	2.18
CR#2 (3B3)	2.28	0.957	2.19
CR#3 (3C3)	2.43	0.900	2.19
CR#4 (3D3)	2.44	0.900	2.19
CR#5 (3E3)	2.45	0.900	2.20
CR#6 (3F3)	2.32	0.957	2.22

実験炉部技術課メモ　技-57-236 (S58/2/22)より引用。

表B-3.1 「常陽」MK－1炉心初期炉心のナトリウムボイド反応度測定順序と使用集合体

（PNC N941 80-188より引用）

順序	炉心位置	置換相手の集合体名	ボイド集合体		測定年月日
			状態	集合体名	
1	0	PPJX 13	ボイド	PPJV3K	昭和52年10月2日
2	1F1	PPJX 16	〃	〃	〃　〃
3	2F1	PPJD0M	〃	〃	〃　10月3日
4	3F1	PPJD0R	〃	〃	〃　10月4日
5	4F1	PPJD0G	〃	〃	〃　〃
6	5F1	NFJI0A (ブランケット)	〃	NFJVX2 (ブランケット)	〃　10月5日
7	0 +1F1	PPJX 13 PPJX 16	〃	PPJV3K PPJV3J	〃　10月6日
炉心用ボイド集合体（PPJV3K）のバルブを開く　昭和52年10月7日～10月14日					
8	0	PPJX 13	フラッド	PPJV3K	昭和52年10月16日
9	2F1	PPJD0M	〃	〃	〃　10月17日
10	4F1	PPJD0G	〃	〃	〃　10月18日
11	5F1	PPJI0A	〃	〃	〃　10月18日
12	6F1	NFJO4A (ブランケット)	ボイド	NFJVZ3 (ブランケット)	〃　10月19日
13	0	PPJX 13	フラッド	PPJV3K	〃　〃

表B-3.2 「常陽」MK－1炉心初期炉心のナトリウムボイド反応度測定詳細データ（1）

－－測定制御棒パターン1－－　　　（PNC N941 80-188より引用）

（臨界パターン1　RR1：350mm固定）

Naボイド集合体装荷位置	RR1臨界点			RR2臨界点			RR1＋RR2	ナトリウム *2)	余剰反応度 *1)	臨界時刻	測定時の
	補正前位置 (mm)	補正後位置 (mm)	余剰反応度 (%Δk/k)	補正前位置 (mm)	補正後位置 (mm)	余剰反応度 (%Δk/k)	余剰反応度 (%Δk/k)	平均温度 (℃)	at 250℃ (%Δk/k)	1977年	調整棒延長管熱膨張状態
〔0〕void	350.0	349.6	1.1426	355.0	356.2	1.1059	2.2485	241.6	2.2168	10/2 10:14	中間
〔1F1〕void	350.0	350.0	1.1407	354.8	356.4	1.1049	2.2456	241.6	2.2139	〃 19:06	縮み
〔2F1〕void	350.0	349.4	1.1436	354.8	356.2	1.1059	2.2495	240.4	2.2133	10/3 15:26	中間
〔3F1〕void	350.0	349.1	1.1450	354.8	354.9	1.1121	2.2571	240.0	2.2194	10/4 9:55	大きい伸び
〔4F1〕void	350.0	349.9	1.1412	352.8	353.8	1.1174	2.2586	240.0	2.2209	〃 21:42	中間
〔5F1〕void	350.0	350.7	1.1374	347.9	349.7	1.1370	2.2744	240.0	2.2367	10/5 16:14	大きい縮み
〔6F1〕void	350.0	350.2	1.1397	345.2	346.2	1.1538	2.2935	238.8	2.2513	10/19 15:39	中間
〔0〕+〔1F1〕void	350.0	349.1	1.1450	365.4	365.4	1.0618	2.2068	239.0	2.1653	10/6 11:39	大きい伸び

*1）等温係数　-3.77×10^{-5} Δk/k/℃により補正

*2）集合体出口温度　1A1～5A1の5点の値の平均

表B-3.3 「常陽」MK－1炉心初期炉心のナトリウムボイド反応度測定詳細データ（2）

－－測定制御棒パターン1－－　　　（PNC N941 80-188より引用）

（臨界パターン1　RR1：350mm固定）

Naボイド集合体装荷位置	RR－1 臨界点			RR－2 臨界点			RR1+RR2	ナトリウム *2)	余剰反応度 *1)		測定時の
	補正前位置 (mm)	補正後位置 (mm)	余剰反応度 (%Δk/k)	補正前位置 (mm)	補正後位置 (mm)	余剰反応度 (%Δk/k)	余剰反応度 (%Δk/k)	平均温度 (℃)	at 250℃ (%Δk/k)	臨界時刻 1977年	調整棒延長管熱膨張状態
〔 0 〕flood	350.0	349.5	1.1431	345.8	346.3	1.1533	2.2964	237.8	2.2504	10/16 9:53	大きい伸び
〔 0 〕flood	350.0	349.5	1.1431	345.8	346.3	1.1533	2.2964	238.2	2.2519	〃 10:58	伸び
〔 0 〕flood	350.0	349.8	1.1417	346.5	346.9	1.1504	2.2921	237.8	2.2461	〃 14:56	伸び
〔 0 〕flood	350.0	350.3	1.1393	346.6	347.8	1.1461	2.2854	239.0	2.2439	〃 17:55	縮み
〔 0 〕flood	350.0	350.6	1.1378	345.5	346.3	1.1533	2.2911	238.2	2.2466	10/19 23:13	縮み
〔0〕flood 平均	—	—	—	—	—	—	—	—	2.2478 ±0.0033	—	—
〔2F1〕flood	350.0	350.4	1.1388	342.7	344.3	1.1629	2.3017	237.8	2.2557	10/17 15:10	縮み
〔4F1〕flood	350.0	349.5	1.1431	344.2	344.4	1.1624	2.3055	236.4	2.2542	10/18 11:49	大きい伸び
〔5F1〕flood	350.0	350.9	1.1364	344.1	345.7	1.1562	2.2926	237.2	2.2443	〃 20:12	大きい縮み

*1) 等温係数　$-3.77\times10^{-5}\Delta k/k/℃$により補正

*2) 集合体出口温度　1A1～5A1の5点の値の平均

表B-3.4 「常陽」MK－1炉心初期炉心のナトリウムボイド反応度測定結果（1）

－－測定制御棒パターン1－－　　　　（PNC N941 80-188より引用）

（臨界パターン①）

	集合体装荷位置	余剰反応度 (%Δk/k) at 250℃	VOID集合体* 1体の反応度差(%Δk/k)	補正後の余剰反応度 (%Δk/k)	VOID反応度(%Δk/k) (2.2501からの差)
VOID	〔0〕	2.2168	−0.0012	2.2156	−0.0345
	1F1	2.2139	−0.0017	2.2122	−0.0379
	2F1	2.2133	−0.0003	2.2130	−0.0371
	3F1	2.2194	+0.0004	2.2198	−0.0303
	4F1	2.2209	±0.0	2.2209	−0.0292
	5F1	2.2367	0	2.2367	−0.0134
	6F1	2.2513	0	2.2513	−0.0012
	〔0〕+〔1F1〕	2.1653	−0.0041	2.1612	−0.0889
FLOOD	0	2.2478	−0.0012	2.2466	（平均値 2.2501）
	2F1	2.2557	−0.0003	2.2554	
	4F1	2.2542	±0.0	2.2542	
	6F1	2.2443	0	2.2443	

表B-3.5 「常陽」MK－1炉心初期炉心のナトリウムボイド反応度測定詳細データ（1）

－－測定制御棒パターン2－－　　　（PNC N941 80-188より引用）

Naボイド集合体装荷位置	SR－2 臨界点			RR－2 臨界点			SR-2+RR-2	ナトリウム	余剰反応度	臨界時刻
	補正前位置 (mm)	補正後位置 (mm)	余剰反応度 (%Δk/k)	補正前位置 (mm)	補正後位置 (mm)	余剰反応度 (%Δk/k)	余剰反応度 (%Δk/k)	平均温度 (℃)	at 250℃ (%Δk/k)	1977年
〔 0 〕VOID	350.0	349.0	1.1649	338.8	340.0	1.1834	2.3483	241.4	2.3159	10/2 12:05
〔1F1〕VOID	350.0	349.8	1.1610	338.7	340.3	1.1820	2.3430	241.2	2.3098	10/2 20:10
〔2F1〕VOID	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
〔3F1〕VOID	350.0	347.8	1.1706	340.1	340.4	1.1815	2.3521	239.2	2.3114	10/4 12:45
〔4F1〕VOID	350.0	348.6	1.1668	337.2	338.1	1.1925	2.3593	240.0	2.3216	10/4 23:37
〔0〕+〔1F1〕VOID	350.0	347.1	1.1740	351.4	351.2	1.1299	2.3039	240.4	2.2677	10/6 14:20
〔 0 〕FLOOD	350.0	348.4	1.1678	330.0	330.4	1.2291	2.3969	238.2	2.3524	10/16 16:02
〔 0 〕FLOOD	350.0	349.5	1.1625	330.5	331.6	1.2234	2.3859	238.6	2.3429	10/16 18:55

表B-3.6 「常陽」MK－1炉心初期炉心のナトリウムボイド反応度測定詳細データ（2）
－－測定制御棒パターン3－－　　　　　（PNC N941 80-188より引用）

Naボイド集合体装荷位置	SR－4 臨界点			RR－2 臨界点			SR-4+RR-2 余剰反応度 (%Δk／k)	ナトリウム平均温度 (℃)	余剰反応度 at 250 ℃ (%Δk／k)	臨界時刻 1977年
	補正前位置 (mm)	補正後位置 (mm)	余剰反応度 (%Δk／k)	補正前位置 (mm)	補正後位置 (mm)	余剰反応度 (%Δk／k)				
〔 0 〕 VOID	350.0	349.9	1.1938	339.2	340.4	1.1815	2.3753	241.6	2.3436	10／2 11:28
〔1F1〕 VOID	350.0	350.0	1.1933	335.0	336.6	1.1996	2.3929	240.8	2.3582	10／2 19:50
〔2F1〕 VOID	350.0	349.2	1.1972	338.3	339.7	1.1849	2.3821	240.6	2.3467	10／3 16:21
〔3F1〕 VOID	350.0	347.9	1.2036	333.6	333.8	1.2130	2.4166	240.0	2.3789	10／4 11:47
〔4F1〕 VOID	350.0	349.1	1.1977	333.7	334.6	1.2092	2.4069	239.4	2.3669	10／4 23:05
〔0〕+〔1F1〕VOID	350.0	345.9	1.2133	348.6	348.6	1.1423	2.3556	241.0	2.3217	10／6 13:25
〔 0 〕 FLOOD	350.0	346.2	1.2119	326.7	327.3	1.2438	2.4557	237.8	2.4097	10／16 11:33
〔 0 〕 FLOOD	350.0	347.9	1.2036	327.8	329.4	1.2339	2.4375	238.6	2.3945	10／16 18:20

表B-3.7 「常陽」ＭＫ－１炉心初期炉心のナトリウムボイド反応度測定結果（２）

——測定制御棒パターン２、３——　　　　(PNC N941 80-188より引用)

臨界パターン②：SR２とRR２で臨界
臨界パターン③：SR４とRR２で臨界

炉心位置	臨界パターン	ボイド集合体炉心の余剰反応度 (%Δk／k)	ボイド集合体との反応度差 (%Δk／k)	フラッド炉心※の余剰反応度 (%Δk／k)	標準集合体がボイド時の余剰反応度 (%Δk／k)	標準炉心からの反応度差 (%Δk／k)
0	2	2.3159	−0.0012	2.3465	2.3147	−0.0318
	3	2.3436		2.4009	2.3424	−0.0585
1 F 1	2	2.3098	−0.0017		2.3081	−0.0384
	3	2.3582			2.3565	−0.0444
2 F 1	2	−	−0.0003		−	−
	3	2.3467			2.3464	−0.0545
3 F 1	2	2.3114	+0.0004		2.3118	−0.0347
	3	2.3789			2.3793	−0.0216
4 F 1	2	2.3216	0.0		2.3216	−0.0249
	3	2.3669			2.3669	−0.0340
0 (+) 1 F 1	2	2.2677	−0.0041		2.2636	−0.0829
	3	2.3217			2.3176	−0.0833

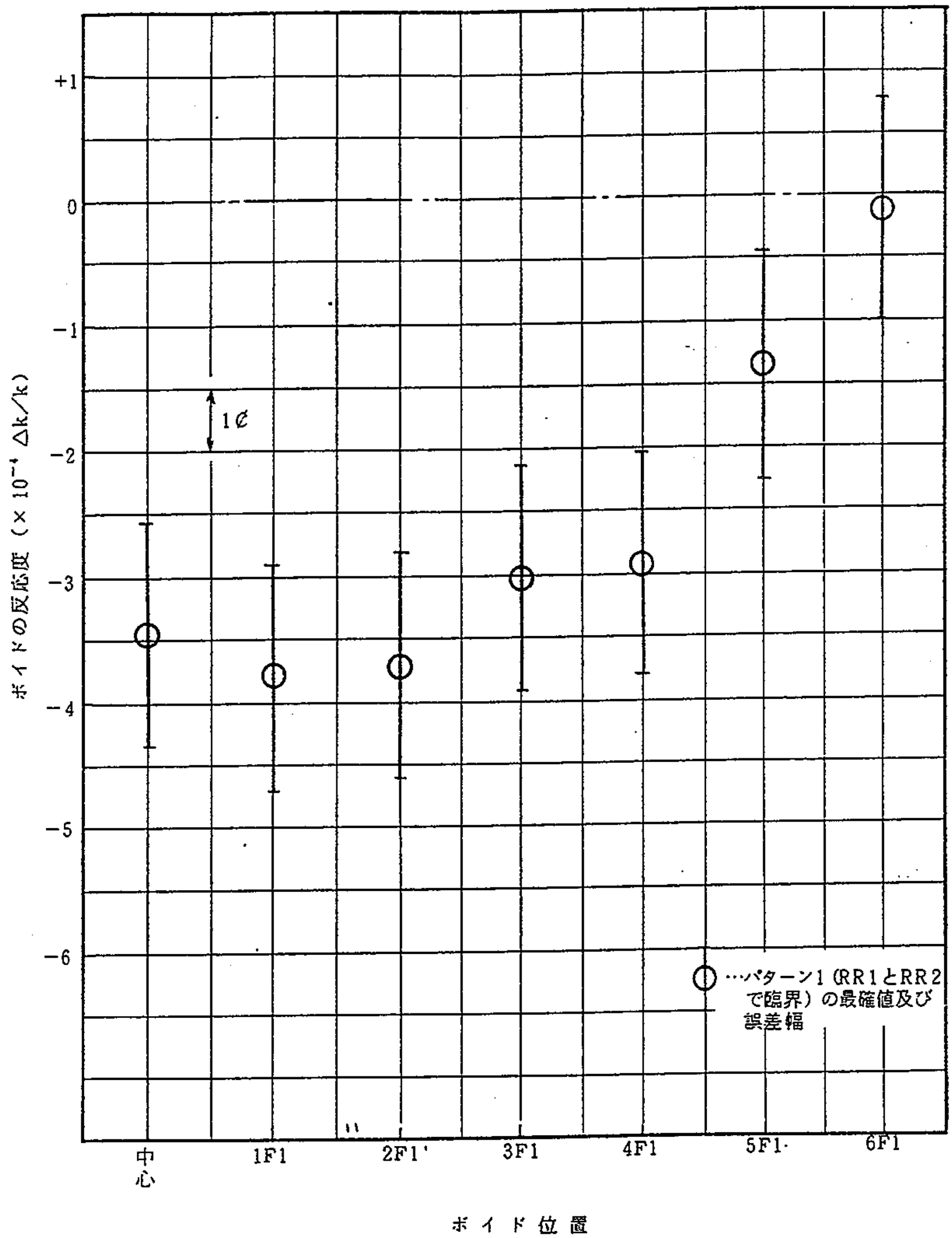
※　標準炉心のフラッド値とするため〔0〕位置の燃料反応度差−0.0012%Δk／kを加えてある。

表B-3.8 「常陽」ＭＫ－１炉心初期炉心のナトリウムボイド反応度測定結果のまとめ
――測定制御棒パターン２、３――　　　（PNC N941 80-188より引用）

（1977年10月測定）

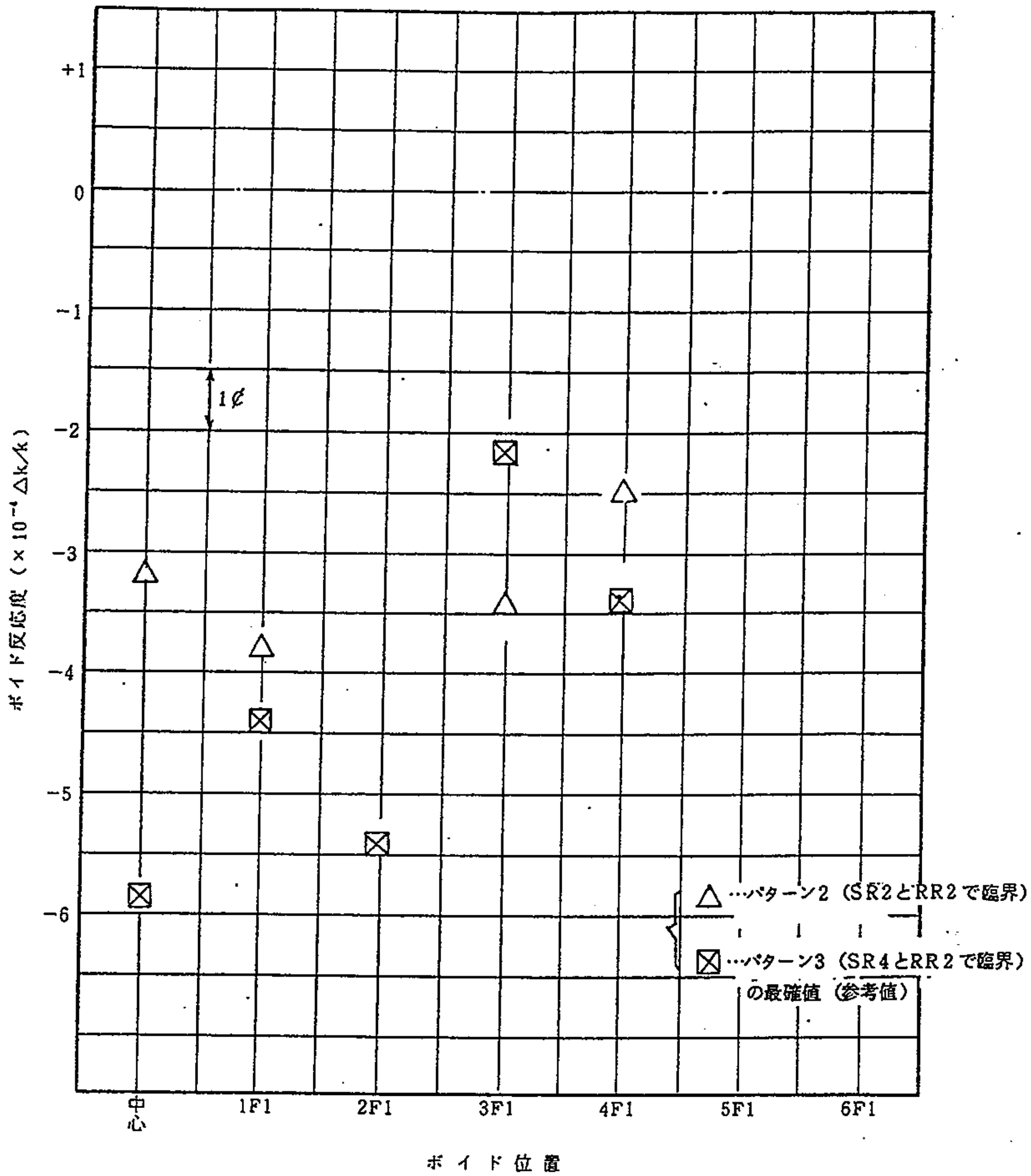
ボイド集合体位置	反応度（$\times 10^{-4}\Delta k/k$）		
	パターン１	パターン２※	パターン３※
0	−3.45	−3.18	−5.85
1 F 1	−3.79	−3.84	−4.44
2 F 1	−3.71	—	−5.45
3 F 1	−3.03	−3.47	−2.16
4 F 1	−2.92	−2.49	−3.40
5 F 1	−1.34	—	—
6 F 1	−0.12	—	—
0 + 1 F 1	−8.89	−8.29	−8.33

※　参考値とする。
注）パターン１：RR１とRR２で臨界
　　パターン２：SR２とRR２で臨界
　　パターン３：SR４とRR２で臨界



図B-3.1 「常陽」MK－1炉心初期炉心のナトリウムボイド反応度測定値分布（1）

－－測定制御棒パターン1－－　　　　（PNC N941 80-188より引用）



図B-3.2 「常陽」MK－1炉心初期炉心のナトリウムボイド反応度測定値分布（2）

――測定制御棒パターン2、3―― (PNC N941 80-188より引用)

表B-4.1 「常陽」ＭＫ－１炉心５０ＭＷ定格第１、２サイクル臨界記録

(PNC N941 80-33より引用)

運転サイクル	臨界時刻	調整棒位置		一次系冷却材温度 (( ) 内CRT)				起動計計数率		Na温度250℃時補正余剰反応度	備考
		RR 1	RR 2	入口A	入口B	出口A	出口B	ch. 1	ch. 2		
50 MW出力上昇試験末期	1978－8－20 8:05	mm 470.0	mm 375.9	℃ 250.9	℃ 251.0	℃ 252.2	℃ 251.5	cps 1×10^4	cps 1.2×10^4	%Δk/k 1.6057	
50 MW第1 cycle (起動)	1978－10－27 11:18	350.0	388.5	242.5 (238)	241.8 (237)	242.3 (238)	241.1 (237)	1.2×10^4	1.5×10^4	2.0618	平均 2.0529 %Δk/k
同上	10－28 7:17	350.0	411.0	266.0 (261)	265.0 (260)	265.7 (261)	264.4 (259)	1×10^4	－	2.0439	
50 MW第2 cycle (起動)	1979－1－12 11:20	350.0	474.8	263.8 (260)	263.3 (259)	264.0 (260)	263.8 (260)	1.0×10^4	8×10^2	1.7564	
75 MW第0 cycle (起動)	1979－4－11 14:58	350.0	385.0	255.5	255.3	257.0	255.5	9.5×10^3	3.3×10^3	2.0828	75MW初期CR較正結果による値
		制御盤メータ		421盤マルチ温度計				制御盤メータ			

等温係数 -3.77×10^{-3} %Δk/k/℃

表B-4.2 「常陽」MK－1炉心50MW定格第1サイクルの余剰反応度測定記録（1）

（PNC N941 80-33より引用）

No. 50 － 1 － 1　　　　＜50MW定格第1サイクル＞

番データ号	調整棒位置からの余剰反応度（%Δk／k）	調整棒位置 RR 1（mm）	調整棒位置 RR 2（mm）	原子炉入口平均Na温度℃	炉入口Na温度補正反応度（%Δk／k）	原子炉熱出力（MW）	炉熱出力補正反応度（%Δk／k）	50MWt・370℃規格余剰反応度（%Δk／k）	測定日時	H－500からの積算熱出力（MWD）	備考
1	1.2120	437.0	495.8	370.69	＋0.0026	49.23	－0.0069	1.2077	1978-10-28 19:35	2.45295×10³ （0.）	
2	1.2160	436.9	494.9	369.68	－0.0012	48.36	－0.0148	1.2000	10-29 16:40	2.49588×10³ （42.93）	
3	1.2160	436.9	494.9	369.32	－0.0025	47.66	－0.0211	1.1924	10-30 9:30	2.52947×10³ （76.52）	
4	1.1866	436.9	502.6	369.72	－0.0010	49.24	－0.0069	1.1787	10-31 8:58	2.57710×10³ （124.15）	
5	1.1824	436.9	503.7	369.40	－0.0022	49.03	－0.0087	1.1715	11-1 9:10	2.62440×10³ （171.45）	
6	1.1776	436.9	505.0						11-2 9:20	2.67338×10³ （220.43）	
7	1.1683	436.9	507.5						11-3 14:15	2.73212×10³ （279.17）	
8	1.1604	436.9	509.6	（原子炉入口Aの熱電対故障）					11-4 13:40	2.77967×10³ （326.72）	
9	1.1517	436.9	512.0						11-5 15:30	2.83214×10³ （379.19）	
10	1.1408	436.9	515.0						11-6 20:10	2.89036×10³ （437.41）	
11	1.1397	436.9	515.3	369.12	－0.0033	48.97	－0.0093	1.1271	11-7 16:15	2.93118×10³ （478.23）	

原子炉入口Na温度補正係数　－3.73×10⁻³%Δk／k／℃（15.25MW平均）
熱出力50MW時出力係数　－9.02×10⁻³%Δk／k／MW

表B-4.2 「常陽」MK−1炉心50MW定格第1サイクルの余剰反応度測定記録(2)

(PNC N941 80-33より引用)

No. 50 −1−2

＜50MW第1サイクル＞

データ番号	調整棒位置からの余剰反応度(%Δk/k)	調整棒位置		原子炉入口平均Na温度(℃)	炉入口Na温度補正反応度(%Δk/k)	原子炉熱出力(MW)	炉熱出力補正反応度(%Δk/k)	50MWt・370℃規格化余剰反応度(%Δk/k)	測定日時	H−500からの積算熱出力(MWD)	備考
		RR 1 (mm)	RR 2 (mm)								
12	1.1297	436.9	518.6	369.08	−0.0034	49.32	−0.0070	1.1193	1978-11-8 19:55	2.98786×10^3 (534.91)	
13	1.1215	436.9	520.4	368.99	−0.0038	49.38	−0.0056	1.1121	11-9 21:50	3.04099×10^3 (588.04)	
14	1.1191	476.0	477.0	368.85	−0.0043	49.71	−0.0026	1.1122	11-10 20:51	3.08826×10^3 (635.31)	調整棒差換え後
15	1.1179	476.3	477.0	368.95	−0.0039	49.08	−0.0083	1.1057	11-11 14:25	3.12441×10^3 (671.46)	
16	1.1048	478.5	478.0	368.84	−0.0043	49.18	−0.0074	1.0931	11-13 18:30	3.23142×10^3 (778.47)	
17	1.0915	479.5	478.8	368.75	−0.0047	49.34	−0.0060	1.0868	11-14 9:50	3.26290×10^3 (809.95)	
18	1.0873	480.8	480.0	369.65	−0.0013	49.54	−0.0041	1.0819	11-15 16:00	3.32498×10^3 (872.03)	
19	1.0821	481.0	481.1	369.17	−0.0031	49.34	−0.0060	1.0730	11-16 17:00	3.37656×10^3 (923.61)	
20	1.0732	482.5	481.8	368.85	−0.0043	49.41	−0.0053	1.0636	11-17 15:45	3.42359×10^3 (970.64)	
21	1.0559	484.6	484.0	369.29	−0.0027	49.45	−0.0050	1.0482	11-19 18:30	3.52861×10^3 (1075.66)	
22	1.0503	485.0	485.0	369.04	−0.0036	49.36	−0.0058	1.0409	11-20 16:40	3.57456×10^3 (1121.61)	

原子炉入口Na温度補正係数　-3.73×10^{-3} %Δk/k/℃ (15.25MW平均)
熱出力50MW時出力係数　-9.02×10^{-3} %Δk/k/MW

表B-4.2 「常陽」MK－1炉心50MW定格第1サイクルの余剰反応度測定記録（3）

（PNC N941 80-33より引用）

No.50 －1－3

＜50MW定格第1サイクル＞

番データ号	調整棒位置からの余剰反応度（%Δk／k）	調整棒位置		原子炉入口平均Na温度（℃）	炉入口Na温度補正反応度（%Δk／k）	原子炉熱出力（MW）	炉熱出力補正反応度（%Δk／k）	50MWt・370℃規格化余剰反応度	測定日時	H－500からの積算熱出力（MWD）	備考
		RR 1（mm）	RR 2（mm）								
23	1.0439	485.4	486.2	368.98	－0.0038	49.36	－0.0058	1.0343	1978-11-21 16：15	3.62322×10^{3} （1170.27）	
24	1.0336	488.0	486.2	369.00	－0.0037	49.74	－0.0023	1.0276	11-22 16：16	3.67293×10^{3} （1219.98）	
25	1.0205	488.5	489.0	369.00	－0.0037	49.53	－0.0042	1.0145	11-24 16：55	3.77384×10^{3} （1320.89）	
26	1.0126	490.5	489.0	368.94	－0.0040	49.85	－0.0014	1.0072	11-25 11：20	3.81203×10^{3} （1359.08）	
27	0.9973	491.9	491.5	369.07	－0.0035	49.59	－0.0037	0.9901	11-27 16：35	3.92248×10^{3} （1469.53）	
28	0.9910	492.4	492.6	369.17	－0.0031	49.53	－0.0042	0.9837	11-28 15：30	3.96995×10^{3} （1517.00）	
29	0.9840	494.2	492.6	369.07	－0.0035	49.46	－0.0049	0.9756	11-29 14：45	4.01800×10^{3} （1565.05）	
30	0.9758	494.2	494.7	369.08	－0.0034	49.36	－0.0058	0.9666	11-30 14：40	4.06749×10^{3} （1614.54）	
31	0.9708	495.0	495.2	368.64	－0.0051	49.66	－0.0031	0.9626	12- 1 16：08	4.12009×10^{3} （1667.14）	
32	0.9642	496.2	495.7	368.97	－0.0038	49.29	－0.0064	0.9540	12- 2 15：15	4.16776×10^{3} （1714.81）	
33	0.9538	497.6	497.0	368.98	－0.0038	49.65	－0.0032	0.9468	12- 3 12：50	4.21232×10^{3} （1759.37）	

原子炉入口Na温度補正係数　-3.73×10^{-3} %Δk／k／℃（15.25MW平均）

熱出力50MW時出力係数　-9.02×10^{-3} %Δk／k／MW

表B-4.2 「常陽」MK－1炉心50MW定格第1サイクルの余剰反応度測定記録（4）

(PNC N941 80-33より引用)

No. 50 － 1 － 4

＜50 MW定格第1サイクル＞

データ番号	調整棒位置からの余剰反応度 (%Δk／k)	調整棒位置 RR 1 (mm)	調整棒位置 RR 2 (mm)	原子炉入口平均 Na 温度 ℃	炉入口 Na 温度補正反応度 (%Δk／k)	原子炉熱出力 (MW)	炉熱出力補正反応度 (%Δk／k)	50MWt・370℃規格化余剰反応度 (%Δk／k)	測定日時	H－500からの積算熱出力 (MWD)	備考
34	0.9492	497.6	498.2	368.97	－0.0038	49.19	－0.0073	0.9381	1978-12- 4 17：16	4.27099×10^3 (1818.04)	
35	0.9400	499.7	498.5	368.29	－0.0064	49.45	－0.0050	0.9286	12- 5 17：27	4.32105×10^3 (1868.10)	
36	0.9327	500.0	500.1	368.67	－0.0050	49.39	－0.0055	0.9222	12- 6 17：28	4.37085×10^3 (1917.90)	
37	0.9194	501.9	501.7	368.69	－0.0049	50.00	0.	0.9145	12- 7 18：15	4.42241×10^3 (1969.46)	
38	0.9126	503.3	502.1	369.09	－0.0034	49.62	－0.0034	0.9058	12- 8 17：30	4.47077×10^3 (2017.82)	
39	0.9055	503.3	504.0	368.94	－0.0040	49.90	－0.0009	0.9006	12- 9 11：20	4.50798×10^3 (2055.03)	
40	0.8998	504.3	504.5	368.97	－0.0038	49.72	－0.0025	0.8935	12-10 9：35	4.55425×10^3 (2101.30)	

原子炉入口 Na 温度補正係数　-3.73×10^{-3} %Δk／k／℃（15.25 MW平均）
熱出力 50 MW時出力係数　-9.02×10^{-3} %Δk／k／MW

表B-4.3 「常陽」ＭＫ－１炉心５０ＭＷ定格第２サイクルの余剰反応度測定記録（１）

（PNC N941 80-33より引用）

No.50 － 2 － 1

＜50 MW定格第２サイクル＞

番デ ー 号タ	調整棒位置からの余剰反応度（％Δk／k）	調整棒位置 RR 1（mm）	調整棒位置 RR 2（mm）	原子炉入口平均 Na 温度 ℃	炉入口 Na 温度補正反応度（％Δk／k）	原子炉熱出力（MW）	炉熱出力補正反応度（％Δk／k）	50MWt・370℃規格化余剰反応度（％Δk／k）	測定日時	H－500からの積算熱出力（MWD）	備考
1	0.9240	501.2	501.2	372.37	＋0.0088	48.87	－0.0102	0.9226	1979-1-13 16:45	4.63041＋3 （ 0.00）	
2	0.9209	502.0	501.2	372.27	＋0.0085	48.23	－0.0160	0.9134	1-14 14:30	4.67454＋3 （ 44.13）	
3	0.9179	502.0	502.0	369.65	－0.0013	48.50	－0.0135	0.9031	1-15 18:15	4.73100＋3 （100.59）	
4	0.9088	503.3	503.1	369.58	－0.0016	48.36	－0.0148	0.8924	1-16 19:50	4.78257＋3 （152.16）	
5	0.9077	503.3	503.4	369.08	－0.0034	47.78	－0.0200	0.8843	1-17 20:55	4.83267＋3 （202.26）	
6	0.9051	504.0	503.4	369.65	－0.0013	47.14	－0.0258	0.8780	1-18 17:10	4.87264＋3 （242.23）	
7	0.8976	504.4	505.0	369.40	－0.0022	47.27	－0.0246	0.87[illegible]	1-19 16:25	4.91822＋3 （287.81）	
8	0.8729	508.0	508.0	369.59	－0.0015	47.58	－0.0218	0.8496	1-22 9:20	5.04598＋3 （415.57）	
9	0.8416	512.4	512.1	370.48	＋0.0018	49.26	－0.0067	0.8367	1-23 13:35	5.10372＋3 （473.31）	
10	0.8329	513.1	513.8	370.23	＋0.0009	49.34	－0.0060	0.8278	1-24 19:25	5.16471＋3 （534.30）	

原子炉入口 Na 温度補正係数　-3.73×10^{-3} ％Δk／k／℃（15.25 MW平均）
熱出力 50 MW時出力係数　-9.02×10^{-3} ％Δk／k／MW

表B-4.3 「常陽」MK－1炉心50MW定格第2サイクルの余剰反応度測定記録（2）

（PNC N941 80-33より引用）

No. 50 － 2 － 2											＜50 MW定格第2サイクル＞
データ番号	調整棒位置からの余剰反応度（%Δk／k）	調整棒位置 RR 1（mm）	調整棒位置 RR 2（mm）	原子炉入口平均Na温度（℃）	炉入口Na温度補正反応度（%Δk／k）	原子炉熱出力（MW）	炉熱出力補正反応度（%Δk／k）	50MWt・370℃規格化余剰反応度（%Δk／k）	測定日時	H－500からの積算熱出力（MWD）	備考
11	0.8256	514.1	514.8	370.27	＋0.0010	49.13	－0.0078	0.8188	1979-1-25 20:00	5.21475＋3 （584.34）	
12	0.8220	515.1	514.8	370.78	＋0.0029	48.86	－0.0103	0.8146	1-26 14:25	5.25220＋3 （621.79）	
13	0.8152	516.3	515.5	370.41	＋0.0015	48.89	－0.0100	0.8067	1-27 14:50	5.30168＋3 （671.27）	
14	0.8051	517.0	517.6	370.20	＋0.0007	49.12	－0.0079	0.7979	1-28 19:50	5.36049＋3 （730.08）	
15	0.8012	518.1	517.6	370.15	＋0.0006	48.90	－0.0099	0.7919	1-29 16:00	5.40140＋3 （770.99）	
16	0.7922	519.4	518.8	370.27	＋0.0010	48.95	－0.0095	0.7837	1-30 15:15	5.44847＋3 （818.06）	
17	0.7823	521.0	520.0	370.40	＋0.0015	49.26	－0.0067	0.7771	1-31 15:55	5.49849＋3 （868.08）	
18	0.7770	521.0	521.5	370.40	＋0.0015	48.98	－0.0092	0.7693	2-1 16:33	5.54837＋3 （917.96）	
19	0.7682	522.0	523.0	370.28	＋0.0010	49.02	－0.0088	0.7604	2-2 14:45	5.59331＋3 （962.90）	
20	0.7612	524.0	523.0	370.26	＋0.0010	48.96	－0.0094	0.7528	2-3 16:15	5.64508＋3 （1014.67）	

原子炉入口Na温度補正係数　-3.73×10^{-3} %Δk／k／℃（15.25 MW平均）
熱出力50 MW時出力係数　-9.02×10^{-3} %Δk／k／MW

表B-4.3 「常陽」MK－1炉心50MW定格第2サイクルの余剰反応度測定記録（3）

（PNC N941 80-33より引用）

No.50－2－3

＜50MW定格第2サイクル＞

番データ号	調整棒位置からの余剰反応度（%Δk／k）	調整棒位置 RR 1（mm）	調整棒位置 RR 2（mm）	原子炉入口平均Na温度（℃）	炉入口Na温度補正反応度（%Δk／k）	原子炉熱出力（MW）	炉熱出力補正反応度（%Δk／k）	50MWt・370℃規格化余剰反応度（%Δk／k）	測定日時	H－500からの積算熱出力（MWD）	備考
21	0.7438	525.4	526.6	370.32	＋0.0012	49.73	－0.0024	0.7426	1979-2-4 19:25	5.70033＋3 (1069.92)	
22	0.7397	526.6	526.6	370.26	＋0.0010	49.45	－0.0050	0.7357	2-5 16:03	5.74132＋3 (1110.91)	
23	0.7191	530.0	529.2	370.51	＋0.0019	49.77	－0.0021	0.7189	2-7 17:15	5.84280＋3 (1212.39)	
24	0.7123	531.0	530.2	370.65	＋0.0024	49.77	－0.0021	0.7126	2-8 15:47	5.88931＋3 (1258.90)	
25	0.7038	532.2	531.5	370.63	＋0.0023	49.88	－0.0011	0.7050	2-9 13:25	5.93400＋3 (1303.59)	
26	0.6961	533.0	533.0	370.48	＋0.0018	50.02	＋0.0002	0.6981	2-10 10:50	5.97820＋3 (1347.79)	
27	0.6757	536.4	535.7	370.68	＋0.0025	49.95	－0.0005	0.6777	2-12 20:20	6.09676＋3 (1466.35)	
28	0.6598	538.8	538.1	370.55	＋0.0021	49.88	－0.0011	0.6608	2-14 20:40	6.19642＋3 (1566.01)	
29	0.6569	538.8	539.0	370.66	＋0.0025	49.53	－0.0042	0.6552	2-15 16:02	6.23633＋3 (1605.92)	
30	0.6207	543.5	545.5	368.81	－0.0044	50.26	＋0.0023	0.6186	* 2-18 18:05	6.36904＋3 (1738.63)	

原子炉入口Na温度補正係数　-3.73×10^{-3} %Δk／k／℃（15.25 MW平均）　＊2／17　14:13に電喪スクラム

熱出力50MW時出力係数　-9.02×10^{-3} %Δk／k／MW

表B-4.3 「常陽」MK－1炉心50MW定格第2サイクルの余剰反応度測定記録（4）

（PNC N941 80-33より引用）

No. 50 － 2 － 4

＜50MW定格第2サイクル＞

番データ号	調整棒位置からの余剰反応度（%Δk／k）	調整棒位置 RR 1（mm）	調整棒位置 RR 2（mm）	原子炉入口平均Na温度（℃）	炉入口Na温度補正反応度（%Δk／k）	原子炉熱出力（MW）	炉熱出力補正反応度（%Δk／k）	50MWt・370℃規格化余剰反応度（%Δk／k）	測定日時	H－500からの積算熱出力（MWD）	備考
31	0.6194	544.3	545.1	368.70	－0.0048	49.92	－0.0007	0.6139	1979-2-19 18:51	6.42045＋3 (1790.04)	
32	0.6083	546.3	546.6	368.52	－0.0055	50.19	＋0.0017	0.6045	2-20 19:27	6.47147＋3 (1841.06)	
33	0.6058	547.1	546.6	368.64	－0.0051	49.83	－0.0015	0.5991	2-21 16:01	6.51411＋3 (1883.70)	
34	0.5979	547.8	548.4	368.57	－0.0053	49.89	－0.0010	0.5916	2-22 15:30	6.56273＋3 (1932.32)	
35	0.5926	548.8	549.1	368.60	－0.0052	49.71	－0.0026	0.5848	2-23 15:40	6.61466＋3 (1984.25)	
36	0.5780	551.2	551.4	368.47	－0.0057	49.64	－0.0032	0.5691	2-25 17:27	6.71507＋3 (2084.66)	
37	0.5688	552.3	553.3	368.57	－0.0053	49.95	－0.0005	0.5630	2-26 9:50	6.74880＋3 (2118.38)	

原子炉入口Na温度補正係数　-3.73×10^{-3} %Δk／k／℃（15.25 MW平均）
熱出力50MW時出力係数　-9.02×10^{-3} %Δk／k／MW

Appendix-C ;

常陽 MK-I 炉心及び MK-II 炉心の主要特性感度係数（エネルギー群ごと内訳）

第4章で示した常陽 MK-I 炉心及び MK-II 炉心の主要特性感度係数のエネルギー群ごと内訳を下記の表に示す。

表 C-1 臨界性への感度係数（MK-I）

表 C-2 臨界性への感度係数（MK-II）

表 C-3 ナトリウムボイド反応度への感度係数（MK-I）

表 C-4 燃料置換反応度への感度係数（MK-I）

表 C-5 燃料置換反応度への感度係数（MK-II）

表 C-6 燃焼係数への感度係数（MK-I ）

表C-1(1)　臨界性への感度係数（ＭＫ－Ⅰ初臨界体系）　単位1.0E-4

Nuclide	Reaction	Total	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
U235	capture	-441	-1	-2	-5	-16	-33	-14	-31	-43	-61	-74	-74	-48	-27	-8	-4	-1	0	0
U235	nu	4550	3	8	28	90	199	92	200	308	441	567	671	619	539	261	252	179	71	22
U235	transport	90	0	0	0	-1	0	0	0	1	4	8	13	14	16	8	12	10	4	1
U235	fission	2777	2	4	14	47	107	50	112	179	264	346	415	387	344	167	159	115	48	15
U235	elastic	49	0	0	0	0	0	0	0	1	3	7	10	10	9	3	4	2	1	0
U235	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	1	-4	-5	-1	0
U235	mu-averag	-34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-4	-6	-3	-6	-7	-4	-1
U235	(n,2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U238	capture	-1284	-4	-8	-16	-50	-86	-49	-107	-161	-207	-189	-145	-111	-94	-38	-15	-5	-1	0
U238	nu	949	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	30	372	337	152	56
U238	transport	873	-1	-1	-2	-2	0	0	4	16	43	87	133	137	149	68	104	89	37	10
U238	fission	620	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	19	238	216	104	40
U238	elastic	557	-1	-1	-2	-2	1	1	4	16	41	82	121	114	102	31	27	17	6	1
U238	inelastic	-40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-4	0	5	9	-24	-23	0	-1
U238	mu-averag	-314	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-6	-20	-39	-67	-31	-48	-59	-34	-8
U238	(n,2n)	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Pu239	capture	-268	-1	-1	-6	-15	-32	-16	-29	-32	-33	-31	-31	-23	-12	-3	-1	0	0	0
Pu239	nu	4016	2	5	16	48	104	47	112	183	298	425	560	605	624	319	324	230	91	24
Pu239	transport	63	0	0	0	0	0	0	0	1	2	5	9	10	11	6	9	7	3	1
Pu239	fission	2725	1	3	9	28	64	29	71	119	199	287	379	413	433	222	224	160	66	18
Pu239	elastic	33	0	0	0	0	0	0	0	1	2	5	7	7	6	2	2	2	1	0
Pu239	inelastic	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	2	1	-2	-2	0	0
Pu239	mu-averag	-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-4	-2	-4	-5	-3	-1
Pu239	(n,2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu240	capture	-82	0	-1	-2	-4	-7	-3	-7	-9	-13	-12	-10	-7	-5	-1	-1	0	0	0
Pu240	nu	305	0	0	0	1	1	0	1	2	4	6	7	11	61	66	68	51	20	6
Pu240	transport	17	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	3	2	3	2	1	0
Pu240	fission	210	0	0	0	0	1	0	1	1	3	4	4	8	42	45	46	35	15	4
Pu240	elastic	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	1	1	1	0	0
Pu240	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0
Pu240	mu-averag	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	-1	-1	-1	0
Pu240	(n,2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表C-1(2)　臨界性への感度係数（ＭＫ－Ｉ初臨界体系）　単位1.0E-4

Nuclide	Reaction	Total	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
Pu241	capture	-9	0	0	0	0	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0
Pu241	nu	174	0	0	1	3	7	3	8	12	17	21	26	24	21	10	10	7	3	1
Pu241	transport	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu241	fission	118	0	0	1	2	4	2	5	8	11	15	18	17	14	7	7	5	2	1
Pu241	elastic	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu241	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu241	mu-averag	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu241	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	capture	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	nu	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	1	0	0
Pu242	transport	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	fission	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
Pu242	elastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	mu-averag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
oxygen	capture	-17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-11	-5
oxygen	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
oxygen	transport	902	0	-1	-1	-2	0	0	2	10	29	64	114	169	218	122	91	56	27	5
oxygen	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
oxygen	elastic	996	0	-1	-3	-2	4	3	7	18	38	59	105	176	270	137	81	62	37	4
oxygen	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
oxygen	mu-averag	-106	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	1	16	-77	-10	-11	-7	-13	-2
oxygen	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sodium	capture	-12	0	0	0	0	-1	-3	-1	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	-1	-2
sodium	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sodium	transport	611	0	0	-1	-1	0	1	3	8	20	50	69	102	147	66	68	54	22	5
sodium	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sodium	elastic	607	0	0	-1	-1	2	7	11	15	28	53	71	111	155	60	46	37	13	2
sodium	inelastic	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	5	-4	1	5	0
sodium	mu-averag	-113	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-3	-8	-24	-18	-25	-23	-8	-2
sodium	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表C-1(3)　臨界性への感度係数（ＭＫ－Ｉ初臨界体系）　単位1.0E-4

Nuclide	Reaction	Total	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
cromium	capture	-26	0	0	0	0	-4	-1	-5	-1	-3	-2	-3	-2	-2	-1	0	-1	-1	0
cromium	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cromium	transport	191	0	0	0	0	0	0	3	2	4	13	42	27	33	17	23	19	8	2
cromium	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cromium	elastic	179	0	0	0	0	0	0	5	4	5	13	41	28	34	17	19	11	4	1
cromium	inelastic	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-3	1	0
cromium	mu-averag	-40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-1	-3	-3	-8	-13	-7	-2
cromium	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
iron	capture	-106	0	0	0	-1	-17	-1	-5	-6	-14	-11	-14	-11	-9	-3	-2	-4	-4	-3
iron	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
iron	transport	624	-1	-1	-2	-3	0	0	4	9	48	51	72	88	109	50	83	75	34	9
iron	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
iron	elastic	546	-1	-1	-3	-3	2	1	5	13	49	51	72	90	115	44	54	42	14	2
iron	inelastic	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	5	-14	-2	3	0
iron	mu-averag	-135	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-4	-9	-18	-11	-26	-35	-24	-7
iron	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nickel	capture	-62	0	0	0	0	-1	-1	-1	-8	-5	-5	-6	-4	-3	-2	-3	-10	-10	-3
nickel	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nickel	transport	169	0	0	-1	-1	0	0	1	14	13	19	24	29	24	12	16	13	6	1
nickel	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nickel	elastic	164	0	0	-1	-1	1	0	2	15	16	19	23	30	24	12	13	8	3	0
nickel	inelastic	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	1	0
nickel	mu-averag	-28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-3	-4	-3	-5	-6	-4	-1
nickel	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
morybdenum	capture	-25	0	0	-1	-1	-2	-1	-2	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-1	0	0	0	0
morybdenum	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
morybdenum	transport	23	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	4	5	2	3	2	1	0
morybdenum	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
morybdenum	elastic	20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	4	5	2	2	1	0	0
morybdenum	inelastic	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0
morybdenum	mu-averag	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	-1	-1	0	0
morybdenum	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表C-1(4)　臨界性への感度係数（ＭＫ－Ｉ初臨界体系）　単位1.0E-4

Nuclide	Reaction	Total	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
boron-10	capture	-20	0	0	0	-1	-1	0	-1	-2	-3	-4	-4	-2	-1	0	0	0	0	0
boron-10	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	transport	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
boron-10	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	elastic	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
boron-10	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	mu-averag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	capture	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	transport	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	elastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	mu-averag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	capture	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	transport	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	elastic	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	mu-averag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表C-2(1)　臨界性への感度係数（ＭＫ－ＩＩ初臨界体系）単位1.0E-4

Nuclide	Reaction	Total	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
U235	capture	-205	-6	-4	-4	-10	-16	-6	-13	-18	-25	-31	-32	-21	-12	-4	-2	0	0	0
U235	nu	2088	21	15	24	61	102	42	85	128	186	246	293	281	246	121	115	81	32	10
U235	transport	41	-1	0	0	-1	0	0	0	1	2	4	6	7	7	4	6	5	2	1
U235	fission	1283	9	7	12	32	57	24	49	76	113	152	183	179	158	78	73	52	22	7
U235	elastic	22	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	5	5	4	2	2	1	0	0
U235	inelastic	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	-2	-2	0	0
U235	mu-averag	-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-3	-2	-3	-4	-2	-1
U235	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U238	capture	-782	-13	-9	-11	-35	-53	-28	-58	-87	-114	-108	-86	-71	-65	-29	-11	-3	-1	0
U238	nu	718	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	22	280	253	116	43
U238	transport	325	-3	-2	-1	-3	-3	0	1	4	11	26	44	53	55	31	47	41	18	5
U238	fission	466	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	14	178	162	80	31
U238	elastic	197	-2	-2	-1	-3	-2	0	1	4	13	27	42	45	38	14	12	8	3	1
U238	inelastic	-34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	5	4	2	-27	-22	-2	-1
U238	mu-averag	-132	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-7	-15	-25	-14	-22	-27	-16	-4
U238	(n, 2n)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Pu239	capture	-435	-13	-9	-17	-34	-54	-24	-41	-44	-48	-45	-45	-35	-18	-4	-2	-1	0	0
Pu239	nu	6293	53	34	48	112	182	75	163	261	433	632	837	941	974	504	507	355	142	39
Pu239	transport	99	-2	-1	-1	-1	-1	0	0	1	4	9	14	17	17	10	14	12	5	1
Pu239	fission	4298	29	20	29	68	116	48	106	172	292	432	573	652	680	352	351	249	104	29
Pu239	elastic	51	0	0	0	-1	-1	0	0	1	3	7	11	11	9	3	4	3	1	0
Pu239	inelastic	-2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	0	-4	-3	-1	0
Pu239	mu-averag	-39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-5	-7	-4	-6	-9	-5	-1
Pu239	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu240	capture	-149	-7	-5	-4	-9	-13	-5	-10	-15	-20	-20	-16	-11	-8	-2	-2	-1	0	0
Pu240	nu	529	0	0	0	2	2	0	2	4	7	10	11	20	106	115	117	87	35	10
Pu240	transport	30	-1	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	5	5	3	5	4	2	0
Pu240	fission	365	0	0	0	1	1	0	1	2	5	6	8	13	73	80	80	61	26	8
Pu240	elastic	18	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	4	3	1	1	1	0	0
Pu240	inelastic	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-1	0	0
Pu240	mu-averag	-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-2	-1	-1	-2	-1	0
Pu240	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表C-2(2)　臨界性への感度係数（ＭＫ－ＩＩ初臨界体系）単位1.0E-4

Nuclide	Reaction	Total	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
Pu241	capture	-19	-1	0	-1	-1	-2	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-1	0	0	0	0
Pu241	nu	342	5	2	4	9	16	7	14	21	30	40	49	47	40	20	20	13	5	1
Pu241	transport	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0
Pu241	fission	233	3	1	3	5	10	4	9	14	21	27	34	33	28	14	14	9	4	1
Pu241	elastic	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Pu241	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu241	mu-averag	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu241	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	capture	-4	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	nu	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	3	2	1	0
Pu242	transport	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	fission	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	1	0
Pu242	elastic	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	mu-averag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
oxygen	capture	-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-9	-4
oxygen	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
oxygen	transport	442	-2	-1	-1	-2	-2	0	1	3	10	26	49	85	104	69	51	33	16	3
oxygen	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
oxygen	elastic	564	-2	-1	-1	-2	3	1	4	12	31	45	66	116	126	65	39	36	24	2
oxygen	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
oxygen	mu-averag	-54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	8	-36	-6	-6	-4	-8	-1
oxygen	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sodium	capture	-16	-1	0	0	-1	-2	-4	-1	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	-1	-2
sodium	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sodium	transport	716	-4	-2	-1	-2	-2	0	3	8	24	62	81	138	167	83	75	58	23	6
sodium	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sodium	elastic	694	-4	-3	-1	-5	3	2	5	10	31	63	83	156	167	76	53	40	14	2
sodium	inelastic	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	-1	4	8	2
sodium	mu-averag	-129	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-3	-10	-27	-23	-27	-24	-9	-2
sodium	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表C-2(3)　臨界性への感度係数（ＭＫ－ＩＩ初臨界体系）単位1.0E-4

Nuclide	Reaction	Total	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
cromium	capture	-65	-8	-2	-1	-2	-12	-3	-9	-1	-6	-4	-6	-4	-3	-1	-1	-1	-1	-1
cromium	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cromium	transport	494	-2	-1	0	-1	0	0	5	5	13	36	109	90	91	47	48	34	15	4
cromium	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cromium	elastic	457	-2	-1	0	-2	1	0	5	3	11	34	107	92	91	48	41	21	6	1
cromium	inelastic	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	1	5	1
cromium	mu-averag	-83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-5	-8	-7	-17	-24	-13	-4
cromium	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
iron	capture	-245	-25	-7	-5	-5	-53	-1	-8	-11	-24	-19	-25	-22	-18	-4	-3	-6	-5	-3
iron	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
iron	transport	1535	-27	-11	-6	-7	0	0	7	19	118	152	191	274	294	141	173	138	62	16
iron	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
iron	elastic	1311	-27	-17	-4	-22	12	0	7	14	114	133	176	280	292	126	118	79	25	4
iron	inelastic	44	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-2	0	0	0	6	-1	18	20	6
iron	mu-averag	-296	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-4	-10	-28	-47	-31	-53	-65	-44	-13
iron	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nickel	capture	-106	-6	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-13	-9	-9	-10	-8	-5	-3	-5	-13	-13	-4
nickel	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nickel	transport	401	-6	-3	-2	-2	0	0	2	25	39	52	57	88	57	29	30	22	10	3
nickel	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nickel	elastic	373	-6	-4	-1	-6	3	0	2	24	35	48	54	89	57	30	26	15	4	1
nickel	inelastic	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	2	1
nickel	mu-averag	-58	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-3	-8	-9	-6	-10	-10	-7	-2
nickel	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
morybdenum	capture	-42	-10	-2	-2	-4	-3	-1	-3	-3	-4	-3	-3	-2	-2	-1	0	0	0	0
morybdenum	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
morybdenum	transport	29	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	6	6	3	3	2	1	0
morybdenum	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
morybdenum	elastic	25	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	6	6	2	2	1	0	0
morybdenum	inelastic	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
morybdenum	mu-averag	-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-3	-2	-1	-1	0	0
morybdenum	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表C-2(4)　臨界性への感度係数（ＭＫ－ＩＩ初臨界体系）単位1.0E-4

Nuclide	Reaction	Total	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
boron-10	capture	-39	0	0	0	0	-1	0	-1	-3	-5	-9	-9	-7	-3	-1	-1	0	0	0
boron-10	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	transport	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
boron-10	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	elastic	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	mu-averag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	capture	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	transport	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	elastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	mu-averag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	capture	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	transport	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	elastic	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	mu-averag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表C-3(1)　ナトリウムボイド反応度に対する感度係数（MK－Ⅰ）単位1.0E-4

Nuclide	Reaction	Total	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
U235	capture	-2080	-4	-19	-92	-377	-776	-19	-200	-330	-310	-169	-75	137	91	45	13	6	0	0
U235	nu	2107	12	68	444	1949	4211	18	1013	1924	1661	633	-70	-2437	-2511	-1802	-1097	-1237	-507	-165
U235	transport	-503	-1	-1	1	16	45	3	16	51	76	57	40	-108	-218	-127	-120	-153	-64	-17
U235	fission	-1928	3	28	194	913	2089	-41	444	936	769	127	-327	-1773	-1831	-1266	-807	-882	-376	-127
U235	elastic	-94	0	0	1	8	28	2	12	42	64	47	32	-74	-116	-50	-36	-37	-12	-3
U235	inelastic	-85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	-10	-30	-24	-12	-8	-10	-1
U235	mu-averag	386	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-4	-6	28	83	54	57	104	59	14
U235	(n, 2n)	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4
U238	capture	-2345	-14	-45	-144	-678	-1332	-110	-335	-630	-400	20	158	443	414	224	54	25	5	1
U238	nu	-6024	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	-2	-17	-212	-1862	-2398	-1109	-425
U238	transport	-6600	0	-1	7	50	152	11	54	156	150	-156	-438	-1187	-1853	-902	-1008	-1084	-434	-118
U238	fission	-4436	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-12	-152	-1377	-1725	-836	-333
U238	elastic	-3127	0	0	6	46	151	10	55	163	167	-128	-381	-985	-1268	-407	-264	-208	-68	-16
U238	inelastic	-624	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	54	-1	-60	-198	-155	-164	-116	-18
U238	mu-averag	3316	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-5	11	64	341	828	407	465	719	397	93
U238	(n, 2n)	-27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-27
Pu239	capture	-1878	-4	-15	-107	-371	-767	-29	-191	-246	-173	-73	-32	66	39	16	5	2	0	0
Pu239	nu	-4324	16	52	264	1062	2272	17	574	1157	1142	490	-44	-2370	-2925	-2198	-1412	-1583	-654	-183
Pu239	transport	-358	-1	0	1	11	30	2	11	34	51	40	29	-74	-153	-91	-86	-106	-44	-12
Pu239	fission	-5049	7	27	140	593	1321	-10	308	665	636	171	-228	-1823	-2254	-1647	-1098	-1201	-511	-146
Pu239	elastic	-47	0	0	0	6	20	1	9	29	44	33	23	-50	-76	-32	-23	-23	-8	-2
Pu239	inelastic	-35	0	0	0	0	0	0	0	5	3	2	2	-3	-15	-14	-6	-5	-5	0
Pu239	mu-averag	267	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-3	-5	20	58	36	38	73	41	10
Pu239	(n, 2n)	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
Pu240	capture	-478	-2	-6	-28	-93	-171	-5	-44	-73	-65	-29	-10	19	16	8	3	2	0	0
Pu240	nu	-1560	0	0	0	16	26	0	5	14	17	7	-1	-44	-313	-452	-294	-350	-146	-43
Pu240	transport	-99	0	0	0	3	8	0	3	10	14	11	7	-18	-39	-25	-25	-31	-13	-3
Pu240	fission	-1204	0	0	0	8	14	0	3	8	9	2	-3	-34	-237	-336	-227	-264	-114	-34
Pu240	elastic	-13	0	0	0	2	7	0	3	10	14	10	7	-15	-24	-9	-6	-8	-3	-1
Pu240	inelastic	-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	-1	-3	-4	-2	-2	-2	0
Pu240	mu-averag	54	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	5	13	7	7	14	8	2
Pu240	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表C-3(2) ナトリウムボイド反応度に対する感度係数（ＭＫ－Ｉ）単位1.0E-4

Nuclide	Reaction	Total	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
Pu241	capture	-43	0	0	-3	-9	-18	0	-4	-7	-6	-3	-1	3	3	2	1	0	0	0
Pu241	nu	69	1	3	20	65	154	0	39	73	64	25	-2	-96	-96	-69	-44	-46	-19	-6
Pu241	transport	-11	0	0	0	0	1	0	0	1	2	1	1	-3	-5	-3	-3	-3	-1	0
Pu241	fission	-53	0	2	11	37	90	-1	21	42	36	9	-11	-74	-74	-52	-34	-35	-15	-4
Pu241	elastic	-4	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	-2	-3	-1	-1	-1	0	0
Pu241	inelastic	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu241	mu-averag	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	2	3	1	0
Pu241	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	capture	-11	0	0	-1	-2	-4	0	-1	-2	-2	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	nu	-38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-6	-12	-7	-8	-3	-1
Pu242	transport	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0
Pu242	fission	-29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-9	-5	-6	-3	-1
Pu242	elastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0
Pu242	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	mu-averag	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
oxygen	capture	97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	64	30
oxygen	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
oxygen	transport	-7571	0	0	4	35	101	7	40	129	159	-38	-262	-1435	-2705	-1645	-877	-698	-323	-63
oxygen	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
oxygen	elastic	-7855	0	0	2	50	190	0	75	279	392	189	-40	-1474	-3197	-2003	-997	-820	-446	-58
oxygen	inelastic	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4
oxygen	mu-averag	1311	0	0	0	-2	-4	0	-2	-6	-6	1	-2	-138	950	142	107	90	153	27
oxygen	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sodium	capture	-474	0	-1	-3	-12	-64	-104	-21	-1	-44	-29	-23	-34	-17	-4	-4	-3	-25	-86
sodium	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sodium	transport	7587	-3	-7	-13	-7	77	45	91	227	445	891	1079	1136	1539	573	782	494	191	46
sodium	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sodium	elastic	10089	-3	-6	-19	-1	164	193	428	618	1014	1387	1578	1787	2039	318	233	229	125	4
sodium	inelastic	-517	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	426	-108	-421	-310	-36	-69
sodium	mu-averag	-1181	0	0	0	0	-2	-1	-3	-7	-13	-28	-47	-85	-255	-158	-287	-208	-74	-15
sodium	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表C-3(3)　ナトリウムボイド反応度に対する感度係数（ＭＫ－Ｉ）単位1.0E-4

Nuclide	Reaction	Total	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
cromium	capture	-88	0	0	-1	-4	-74	0	-19	-4	-12	-3	0	7	6	4	2	3	3	2
cromium	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cromium	transport	-1398	0	0	0	5	18	5	57	32	28	6	-69	-223	-426	-229	-228	-241	-105	-28
cromium	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cromium	elastic	-1156	0	0	0	5	21	5	71	55	38	10	-62	-227	-435	-238	-196	-151	-44	-9
cromium	inelastic	-97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-11	-35	-38	-8
cromium	mu-averag	455	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	3	12	38	36	81	170	91	27
cromium	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
iron	capture	-267	0	-1	-5	-11	-283	0	-20	-33	-49	-23	-4	37	38	15	8	24	25	16
iron	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
iron	transport	-4392	-2	-2	6	60	154	9	90	130	362	24	-116	-717	-1393	-691	-803	-969	-420	-112
iron	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
iron	elastic	-3138	-2	-2	4	67	190	7	99	189	384	74	-55	-715	-1438	-628	-560	-555	-169	-29
iron	inelastic	-534	0	0	0	0	0	0	0	1	24	6	1	0	-3	-87	-91	-199	-149	-38
iron	mu-averag	1537	0	0	0	-1	-2	0	-1	-2	-7	-1	6	70	228	151	248	457	296	93
iron	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nickel	capture	96	0	0	-1	-4	-10	0	-5	-43	-18	-4	2	16	12	9	11	54	58	19
nickel	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nickel	transport	-736	-1	-1	2	19	55	5	23	220	93	9	-39	-244	-305	-159	-153	-168	-74	-20
nickel	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nickel	elastic	-520	-1	-1	1	21	67	4	33	231	139	22	-27	-245	-310	-168	-136	-113	-32	-5
nickel	inelastic	-47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5	-16	-20	-4
nickel	mu-averag	301	0	0	0	0	-1	0	0	-3	-2	0	2	23	47	35	50	80	52	18
nickel	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
morybdenum	capture	-82	-1	-1	-8	-22	-35	0	-10	-15	-10	-2	1	7	7	3	1	1	0	0
morybdenum	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
morybdenum	transport	-176	0	0	0	1	4	0	2	5	6	1	-6	-36	-60	-28	-25	-26	-11	-3
morybdenum	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
morybdenum	elastic	-131	0	0	0	1	4	0	2	6	7	2	-5	-35	-58	-23	-16	-12	-4	-1
morybdenum	inelastic	-17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-3	-4	-3	-1
morybdenum	mu-averag	82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	9	28	16	13	10	4	2
morybdenum	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表C-3(4) ナトリウムボイド反応度に対する感度係数（MK－Ｉ）単位1.0E-4

Nuclide	Reaction	Total	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
boron-10	capture	118	0	0	-2	-4	-2	1	2	6	16	27	33	25	12	1	2	1	0	0
boron-10	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	transport	-17	0	0	1	1	1	0	0	0	0	-1	-3	-6	-6	-2	-2	-2	-1	0
boron-10	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	elastic	-11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	-3	-4	-2	-1	-2	0	0
boron-10	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	mu-averag	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
boron-10	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	capture	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	transport	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	elastic	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	mu-averag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	capture	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	transport	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0
carbon	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	elastic	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0
carbon	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	mu-averag	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表C-4(1)　燃料置換反応度に対する感度係数（ＭＫ－Ⅰ）単位1.0E-4

Nuclide	Reaction	Total	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
U235	capture	-675	0	1	2	-2	-25	-15	-39	-63	-100	-130	-137	-89	-52	-16	-9	-2	0	0
U235	nu	3530	-5	-11	-34	-57	-10	24	98	214	358	508	619	559	501	254	252	173	67	21
U235	transport	179	-2	-2	-4	-6	-4	-1	0	2	9	20	31	33	35	16	23	19	8	2
U235	fission	591	-4	-10	-29	-65	-78	-20	-13	26	72	119	147	126	125	68	61	40	20	7
U235	elastic	100	0	-1	-2	-3	-2	0	0	2	8	16	24	22	18	6	7	5	1	0
U235	inelastic	-47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	-2	2	-1	-17	-20	-7	-1
U235	mu-averag	-68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-8	-13	-7	-11	-13	-7	-2
U235	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U238	capture	1447	7	20	42	115	165	93	184	231	241	167	94	55	25	6	1	1	0	0
U238	nu	-1058	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-33	-398	-382	-175	-64
U238	transport	-675	2	3	2	-6	-22	-5	-23	-57	-97	-135	-140	-102	-76	-11	-3	-5	0	0
U238	fission	-1020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-31	-386	-367	-169	-62
U238	elastic	-629	2	3	2	-5	-22	-5	-24	-58	-100	-136	-135	-90	-53	-5	-1	-1	0	0
U238	inelastic	-224	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-10	-19	-18	-21	-33	-54	-50	-17	-2
U238	mu-averag	111	0	0	0	0	0	0	0	1	3	10	21	30	34	5	2	5	0	0
U238	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu239	capture	-377	0	0	1	-4	-25	-18	-38	-48	-56	-56	-57	-44	-23	-6	-3	-1	0	0
Pu239	nu	3472	-5	-8	-17	-25	1	15	59	135	253	394	532	560	593	316	331	226	89	24
Pu239	transport	127	-2	-2	-3	-4	-3	0	0	2	6	14	22	23	25	12	17	14	5	1
Pu239	fission	1174	-4	-7	-16	-30	-31	-5	7	39	89	147	194	197	221	123	122	81	36	10
Pu239	elastic	68	0	-1	-1	-2	-2	0	0	2	5	11	17	15	12	4	4	3	1	0
Pu239	inelastic	-19	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	-1	-8	-8	-3	0
Pu239	mu-averag	-48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-6	-9	-5	-7	-9	-5	-1
Pu239	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu240	capture	-122	0	0	0	-1	-6	-3	-9	-14	-21	-22	-19	-13	-9	-3	-2	-1	0	0
Pu240	nu	295	0	0	0	-1	0	0	1	2	4	5	6	10	58	65	69	50	20	6
Pu240	transport	34	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	2	4	6	6	6	3	5	4	2	0
Pu240	fission	105	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	2	2	3	21	24	24	17	8	2
Pu240	elastic	21	0	0	0	-1	-1	0	0	1	2	3	5	5	4	1	1	1	0	0
Pu240	inelastic	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-3	-1	0
Pu240	mu-averag	-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-2	-1	-1	-2	-1	0
Pu240	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表C-4(2) 燃料置換反応度に対する感度係数（ＭＫ－Ｉ）単位1.0E-4

Nuclide	Reaction	Total	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
Pu241	capture	-15	0	0	0	0	-1	0	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-1	0	0	0	0
Pu241	nu	141	0	0	-1	-2	0	1	4	9	14	20	25	23	20	10	10	7	3	1
Pu241	transport	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0
Pu241	fission	46	0	0	-1	-2	-2	0	0	3	5	8	9	8	8	4	4	2	1	0
Pu241	elastic	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Pu241	inelastic	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu241	mu-averag	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu241	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	capture	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	nu	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	1	0	0
Pu242	transport	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	fission	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Pu242	elastic	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	mu-averag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
oxygen	capture	-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-6	-3
oxygen	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
oxygen	transport	-206	1	1	-1	-5	-13	-3	-12	-30	-49	-65	-59	-44	-10	31	31	13	8	2
oxygen	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
oxygen	elastic	-627	1	0	0	-9	-26	-5	-25	-58	-90	-121	-132	-115	-91	28	-3	11	8	1
oxygen	inelastic	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
oxygen	mu-averag	-10	0	0	0	0	1	0	1	1	2	1	0	-5	1	-2	-4	-1	-4	-1
oxygen	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sodium	capture	-1	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1	-2
sodium	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sodium	transport	47	0	0	-1	-4	-13	-17	-11	-12	-13	-10	5	20	35	21	23	18	6	2
sodium	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sodium	elastic	-109	0	0	-1	-5	-16	-20	-17	-19	-23	-29	-19	-8	23	14	2	7	3	0
sodium	inelastic	-63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-11	-4	-21	-17	-8	-3
sodium	mu-averag	-29	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	-6	-6	-9	-7	-2	-1
sodium	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表C-4(3)　燃料置換反応度に対する感度係数（ＭＫ－Ｉ）単位1.0E-4

Nuclide	Reaction	Total	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
cromium	capture	-1	0	0	0	0	4	1	2	0	0	-1	-2	-1	-1	-1	0	-1	-1	0
cromium	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cromium	transport	38	0	0	0	-1	-2	-2	-11	-4	-3	-3	5	8	13	9	13	10	4	1
cromium	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cromium	elastic	10	0	0	0	-1	-2	-2	-13	-6	-4	-4	3	4	12	8	8	6	2	0
cromium	inelastic	-29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-9	-13	-5	-2
cromium	mu-averag	-19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-5	-7	-4	-1
cromium	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
iron	capture	-22	0	0	1	1	16	0	2	1	-2	-4	-8	-7	-7	-2	-2	-4	-4	-3
iron	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
iron	transport	88	0	-1	-5	-12	-17	-3	-17	-15	-41	-12	8	26	41	26	47	40	17	5
iron	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
iron	elastic	-40	0	-1	-5	-14	-20	-3	-19	-21	-43	-24	-11	9	35	22	25	21	7	1
iron	inelastic	-125	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-1	0	0	0	-12	-45	-34	-21	-6
iron	mu-averag	-63	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-2	-7	-6	-14	-19	-12	-4
iron	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nickel	capture	-35	0	0	0	0	1	0	0	1	-1	-2	-3	-3	-2	-1	-3	-9	-10	-3
nickel	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nickel	transport	-12	0	0	-1	-4	-6	-2	-5	-26	-10	-4	3	8	9	6	9	7	3	1
nickel	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nickel	elastic	-40	0	0	-1	-4	-7	-2	-6	-27	-15	-7	-1	6	8	6	6	4	1	0
nickel	inelastic	-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5	-7	-3	-1
nickel	mu-averag	-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-3	-3	-2	-1
nickel	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
morybdenum	capture	2	0	0	1	2	2	1	1	0	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0
morybdenum	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
morybdenum	transport	4	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	1	2	1	1	1	0	0
morybdenum	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
morybdenum	elastic	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	1	1	1	1	0	0	0
morybdenum	inelastic	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-2	-1	0
morybdenum	mu-averag	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0
morybdenum	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表C-4(4)　燃料置換反応度に対する感度係数（ＭＫ－Ｉ）単位1.0E-4

Nuclide	Reaction	Total	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
boron-10	capture	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0
boron-10	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	transport	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	elastic	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	mu-averag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	capture	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	transport	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	elastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	mu-averag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	capture	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	transport	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	elastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	mu-averag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表C-5(1)　燃料置換反応度に対する感度係数（ＭＫ－ＩＩ）　　単位1.0E-4

Nuclide	Reaction	Total	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
U235	capture	-326	2	3	5	0	-11	-4	-23	-37	-54	-65	-67	-41	-22	-6	-4	-1	0	0
U235	nu	1719	-33	-29	-50	-58	-31	-11	70	147	217	284	337	293	194	98	115	112	48	15
U235	transport	88	-5	-2	-1	-2	-2	0	0	1	5	11	16	20	15	9	10	9	4	1
U235	fission	317	-29	-22	-37	-59	-61	-24	5	36	63	87	106	91	38	21	30	41	21	8
U235	elastic	54	-1	-1	0	-1	-1	0	0	1	5	9	12	14	8	3	3	2	1	0
U235	inelastic	-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	0	0	-7	-9	-3	0
U235	mu-averag	-33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-5	-6	-4	-5	-6	-3	-1
U235	(n,2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U238	capture	-1330	-2	5	10	-5	-39	-21	-105	-186	-240	-225	-182	-141	-115	-51	-23	-8	-2	0
U238	nu	891	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	18	281	350	173	65
U238	transport	708	-11	-7	-5	-10	-13	-1	1	9	34	76	118	150	114	66	80	68	29	8
U238	fission	315	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	74	126	78	33
U238	elastic	469	-8	-6	-4	-9	-11	-1	2	11	38	76	110	128	78	29	20	13	5	1
U238	inelastic	-172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	4	14	1	-2	-80	-92	-20	-3
U238	mu-averag	-264	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-5	-18	-44	-51	-30	-37	-45	-27	-6
U238	(n,2n)	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Pu239	capture	-596	5	9	18	-1	-35	-18	-74	-94	-100	-95	-95	-69	-33	-8	-5	-2	0	0
Pu239	nu	5625	-86	-68	-100	-106	-54	-19	134	300	504	729	964	984	767	410	508	490	211	58
Pu239	transport	213	-11	-4	-3	-5	-5	0	1	3	12	25	38	49	37	21	25	20	9	2
Pu239	fission	1972	-76	-55	-79	-108	-99	-39	31	112	208	310	407	409	246	138	191	230	112	33
Pu239	elastic	124	-2	-1	-1	-3	-3	0	1	3	11	21	29	33	18	7	6	4	2	0
Pu239	inelastic	-20	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	3	1	0	-11	-13	-4	0
Pu239	mu-averag	-79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-13	-14	-8	-11	-14	-8	-2
Pu239	(n,2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu240	capture	-215	3	4	5	0	-9	-4	-19	-31	-42	-42	-34	-22	-15	-4	-4	-2	0	0
Pu240	nu	536	0	0	0	-2	-1	0	1	4	8	11	13	21	81	94	117	120	52	15
Pu240	transport	64	-3	-1	-1	-1	-1	0	0	1	4	7	11	13	10	6	8	7	3	1
Pu240	fission	207	0	0	0	-2	-1	0	0	1	3	4	5	8	24	30	43	55	27	8
Pu240	elastic	42	-1	-1	0	-1	-1	0	0	1	4	7	10	11	6	2	2	2	1	0
Pu240	inelastic	-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	-4	-5	-1	0
Pu240	mu-averag	-19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-4	-4	-2	-2	-3	-2	-1
Pu240	(n,2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表C-5(2)　燃料置換反応度に対する感度係数（ＭＫ－ＩＩ）　　単位1.0E-4

Nuclide	Reaction	Total	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
Pu241	capture	-29	0	0	1	0	-1	0	-2	-3	-4	-5	-5	-4	-3	-1	-1	0	0	0
Pu241	nu	279	-8	-5	-9	-8	-5	-2	12	24	35	46	56	49	32	16	20	18	8	2
Pu241	transport	8	-1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	1	1	1	0	0
Pu241	fission	90	-7	-4	-7	-8	-9	-3	3	9	15	20	24	21	11	6	8	9	4	1
Pu241	elastic	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Pu241	inelastic	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
Pu241	mu-averag	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	-1	-1	0	0
Pu241	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	capture	-6	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0
Pu242	nu	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3	3	1	0
Pu242	transport	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	fission	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Pu242	elastic	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	mu-averag	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pu242	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
oxygen	capture	-36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-24	-11
oxygen	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
oxygen	transport	987	-7	-4	-3	-8	-9	0	1	8	30	74	131	243	217	145	86	53	26	5
oxygen	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
oxygen	elastic	1185	-7	-4	-4	-8	-5	0	5	27	89	118	150	321	209	152	47	54	39	4
oxygen	inelastic	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
oxygen	mu-averag	-97	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	1	24	-76	-13	-10	-7	-12	-2
oxygen	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sodium	capture	-4	1	0	0	0	1	2	0	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	-1	-3
sodium	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sodium	transport	209	-3	-3	-3	-8	-17	-13	0	3	6	16	41	9	27	10	48	61	27	7
sodium	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sodium	elastic	97	-3	-4	-4	-10	-20	-16	-3	2	4	9	31	10	9	5	27	40	16	3
sodium	inelastic	-19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8	-4	-10	-5	6	1
sodium	mu-averag	-65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	-5	-3	-17	-26	-10	-2
sodium	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表C-5(3) 燃料置換反応度に対する感度係数（MK－ＩＩ） 単位1.0E-4

Nuclide	Reaction	Total	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
cromium	capture	80	9	2	2	3	20	4	16	2	6	3	5	3	3	1	1	1	1	0
cromium	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cromium	transport	-568	1	0	-1	-2	-4	-3	-8	-4	-17	-45	-112	-176	-127	-78	-22	16	11	3
cromium	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cromium	elastic	-652	1	-1	-1	-3	-6	-3	-15	-14	-28	-50	-119	-198	-134	-81	-15	11	5	1
cromium	inelastic	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	6	20	11	4
cromium	mu-averag	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	10	11	12	7	-11	-10	-3
cromium	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
iron	capture	293	30	10	9	10	90	2	13	17	23	13	18	18	18	5	3	5	6	4
iron	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
iron	transport	-1849	10	-5	-9	-31	-36	-5	-11	-18	-138	-209	-212	-534	-426	-246	-89	57	42	12
iron	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
iron	elastic	-2115	10	-7	-16	-33	-68	-8	-17	-46	-161	-262	-251	-591	-455	-218	-50	38	17	4
iron	inelastic	121	0	0	0	0	0	0	0	-1	-19	-6	-1	-2	-2	-42	59	66	49	19
iron	mu-averag	155	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	11	54	68	53	26	-27	-30	-10
iron	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nickel	capture	45	6	2	2	2	3	2	2	9	5	4	3	2	2	1	1	-1	0	0
nickel	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nickel	transport	-359	-1	-2	-3	-9	-11	-2	-2	-9	-38	-48	-37	-129	-56	-35	-3	16	9	3
nickel	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nickel	elastic	-451	-1	-3	-4	-10	-18	-3	-6	-14	-70	-58	-44	-138	-60	-36	-1	11	4	1
nickel	inelastic	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	5	2
nickel	mu-averag	18	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	13	8	8	1	-7	-7	-2
nickel	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
morybdenum	capture	-31	1	0	0	-1	-1	0	-3	-4	-5	-5	-4	-3	-3	-1	-1	0	0	0
morybdenum	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
morybdenum	transport	35	-1	0	0	-1	0	0	0	0	1	3	6	7	6	3	4	4	2	0
morybdenum	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
morybdenum	elastic	29	-1	0	0	-1	0	0	0	0	2	3	6	7	6	2	2	1	1	0
morybdenum	inelastic	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-2	0	0
morybdenum	mu-averag	-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-3	-2	-2	-1	-1	0
morybdenum	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表C-5(4)　燃料置換反応度に対する感度係数（ＭＫ－ＩＩ）　　単位1.0E-4

Nuclide	Reaction	Total	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
boron-10	capture	-20	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-4	-5	-3	-2	0	-1	0	0	0
boron-10	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	transport	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	elastic	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	mu-averag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-10	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	capture	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	transport	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	elastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	mu-averag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
boron-11	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	capture	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	nu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	transport	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	fission	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	elastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	inelastic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	mu-averag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carbon	(n, 2n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表C-6　燃焼係数に対する感度係数（ＭＫ－Ｉ第１サイクル）　　単位1.0E-4

Nuclide	Reaction	Total	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
U235	capture	582	13	13	13	13	70	70	70	70	70	70	34	34	34	2	2	2	2	2
U235	nu	191	-46	-46	-46	-46	-178	-178	-178	-178	-178	-178	236	236	236	147	147	147	147	147
U235	fission	-906	-49	-49	-49	-49	-204	-204	-204	-204	-204	-204	23	23	23	89	89	89	89	89
U238	capture	-1289	38	38	38	38	-98	-98	-98	-98	-98	-98	-250	-250	-250	-21	-21	-21	-21	-21
U238	nu	-2251	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-3	-3	-448	-448	-448	-448	-448
U238	fission	-2818	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	-4	-4	-561	-561	-561	-561	-561
Pu239	capture	1223	34	34	34	34	135	135	135	135	135	135	87	87	87	3	3	3	3	3
Pu239	nu	-6848	-114	-114	-114	-114	-526	-526	-526	-526	-526	-526	-862	-862	-862	-130	-130	-130	-130	-130
Pu239	fission	-3438	-85	-85	-85	-85	-313	-313	-313	-313	-313	-313	-392	-392	-392	-9	-9	-9	-9	-9
Pu240	capture	-170	-1	-1	-1	-1	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-22	-22	-22	-2	-2	-2	-2	-2
Pu240	nu	-814	-1	-1	-1	-1	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-83	-83	-83	-101	-101	-101	-101	-101
Pu241	capture	52	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	6	6	6	1	1	1	1	1
Pu241	nu	-255	-3	-3	-3	-3	-24	-24	-24	-24	-24	-24	-28	-28	-28	-3	-3	-3	-3	-3
Pu241	fission	-55	-1	-1	-1	-1	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-2	-2	-2	2	2	2	2	2
FP	capture	1722	29	29	29	29	178	178	178	178	178	178	157	157	157	13	13	13	13	13
Na	capture	34	1	1	1	1	4	4	4	4	4	4	2	2	2	1	1	1	1	1
Fe	capture	260	2	2	2	2	28	28	28	28	28	28	20	20	20	5	5	5	5	5

注）本感度係数は、４群エネルギーで求めた感度係数を１８群へ拡張したもので、４群エネルギー各群内部ではレサージー幅に比例するとして割り振った。

但し、４群目における詳細群１８群のレサージー幅は非常に大きいため、これは他の詳細群と同一の値と近似した。