

## 「もんじゅ」の臨界予測

(1994年9月12日受理)

動燃事業団

中島 文明、鈴木 隆之

### 1. はじめに

高速増殖原型炉もんじゅは平成6年4月5日初臨界を達成した。本報では初臨界達成に先立って実施した臨界性に関する予測解析の手法、解析結果及び試験結果との比較を報告する。

### 2. もんじゅ炉心の概要

もんじゅは、プルトニウム・ウラン混合酸化物燃料を使用したナトリウム冷却型高速増殖炉であり、3ループの冷却系と発電設備を備えている。原子炉の熱出力は約714 MWであり電気出力は約280 MWである。

その炉心は、炉心燃料集合体、制御棒集合体並びにこれらの周囲を取り囲むブランケット燃料集合体および中性子しゃへい体等によって構成され、ほぼ六角形の断面をなしている。炉心燃料領域はプルトニウム富化度の異なる2種類の炉心燃料集合体よりなり、高富化度の炉心燃料集合体を外側に配置することにより出力平坦化を計った2領域炉心である。炉心燃料集合体は上下に軸方向ブランケットを内蔵した密封型炉心燃料要素で構成され、さらにその上下に中性子しゃへい体を設けている。炉心燃料領域の周囲にはブランケット燃料を円環状に配置し、増殖比を高めると同時に外部への中性子的もれを減少させている。ブランケット燃料集合体の外側には中性子しゃへい体を配置し、反射体の役目を果たすと同時にその外周の構成機器への中性子照射量を軽減させている(図1)。

### 3. 解析手法

臨界性の予測解析に用いた炉心解析手法は、動燃事業団が米国と実施した大型高速炉臨界実験(JUPITER)での解析手法を基本とした(図2)。核定数はJENDL-2から作成された高速炉用群定数セット(JFS-3-J2)を用いた。これより格子計算コード(SLAROM)で実効断面積を作成し、群縮約を経て、3次元拡散計算(CITATION、18群)による基準計算を行い、これにメッシュ効果、輸送効果、群縮約効果、集合体内の非均質効果の補正等を実施した。メッシュ補正は、径方向については六角メッシュ

と3角メッシュ、軸方向は倍メッシュとの比較で無限小メッシュへ外挿した。輸送補正は3次元輸送コード（TRITAC）を用いて評価した。非均質効果では、燃料ピンとラッパ管の2重非均質性を考慮し、燃料集合体内の中性子束分布や中性子ストリーミング効果を評価して算定した。

さらに、予測精度向上のため、実験解析での計算値と実験値の比（C/E値）を用いた補正を施した。具体的には、もんじゅのモックアップ実験であるモーツアルト実験、もんじゅと同程度の炉心容積のZPPR2、3での実験、さらにより大型の炉を対象としたJUPITER-I実験の解析結果からC/E補正值を得た。これら実験解析はもんじゅ実機と同一の群定数セットと同等の解析手法で解析されたものである。

そして、臨界性予測値の不確かさ評価を解析の各段階で行い、予測値の総合的な確度評価を実施した。

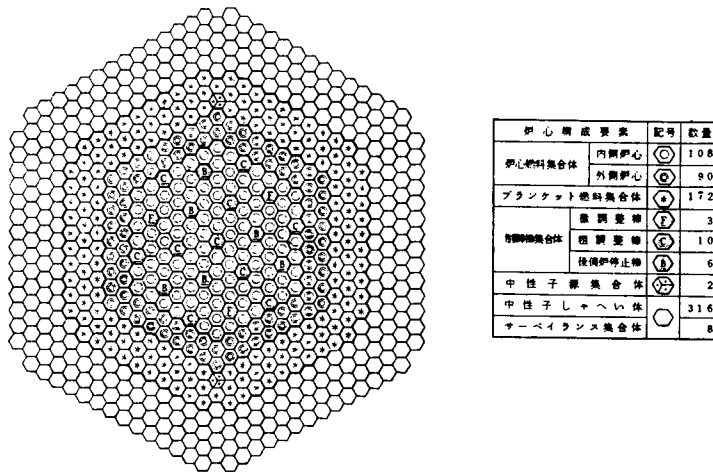


図1 炉心配置説明図

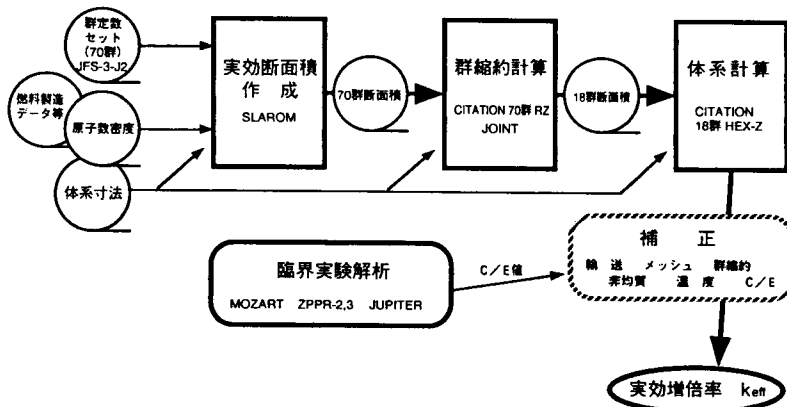


図2 臨界性予測解析概念図

#### 4. 予測解析結果

予測解析は前項の解析手法に沿って実施した。燃料組成は燃料の製造検査データを順次処理することにより、製造実績を反映したものを使用した。また実効増倍率の評価体系は燃料装荷ステップ毎の制御棒全数全引抜状態を対象とした。

基準計算に対する解析補正值として、メッシュ補正、輸送補正等を評価した。結果を表1に示す。群縮約効果は70群と18群の比較でその効果が小さい( $\ll 0.1\% \Delta k$ )ため計上しないものとした。非均質効果補正では、燃料ピン及び燃料集合体をモデル化した円筒モデルの組み合わせで、2重非均質性による非均質効果を評価した。<sup>1)</sup>温度補正については基準計算(室温)と実機体系(200℃)の温度差分の燃料や構造材の膨張効果を評価した。ドップラ温度については実機体系の温度で実効断面積を作成した。

臨界実験のC/E値については、もんじゅの臨界性解析と同等の手法で解析した場合には、モーツアルト実験、ZPPR2、3、JUPITER-I実験では、非常に小型の炉心であるMZA炉心を除き、ほぼ0.994近傍にありことが分かった(図3)。これは本解析手法で解析した場合の系統的な傾向であると考えられ、解析値は実測値を0.6%過小評価するものとしてこの分を補正(バイアスファクタ)するものとした。

基準計算に対して上記補正を施し、燃料装荷順に応じ算出した周辺燃料価値を用いて燃料体数について実効増倍率を外挿した。その結果、燃料装荷に伴い実効増倍率が増加して1を超え臨界が可能となる燃料体数を、 $169 \pm 4$ 体(1 $\sigma$ )と予測した(図4)。

表1 解析補正值

補正項目	補正值 ( $\Delta k$ )	不確かさ (1 $\sigma$ 相当)
メッシュ効果	-0.0060	—
輸送効果	0.0074	0.0010
非均質効果	0.0039	0.0020
温度補正(200℃)	-0.0020	0.0010
制御棒残留効果	-0.0010	0.0010
SUS材組成製造データ反映	-0.0010	—
C/E補正(実験解析)	0.0060	0.0025
実験体系と実験の組成差		0.0025
実機製造公差等		0.0010
初臨界日(H6.4.5)への補正	0.0003	—
合計	0.0076	0.0045

注1) 補正・不確かさが小さく無視できるものは算定に入れず。

注2) 不確かさは周辺燃料価値約4体分に相当

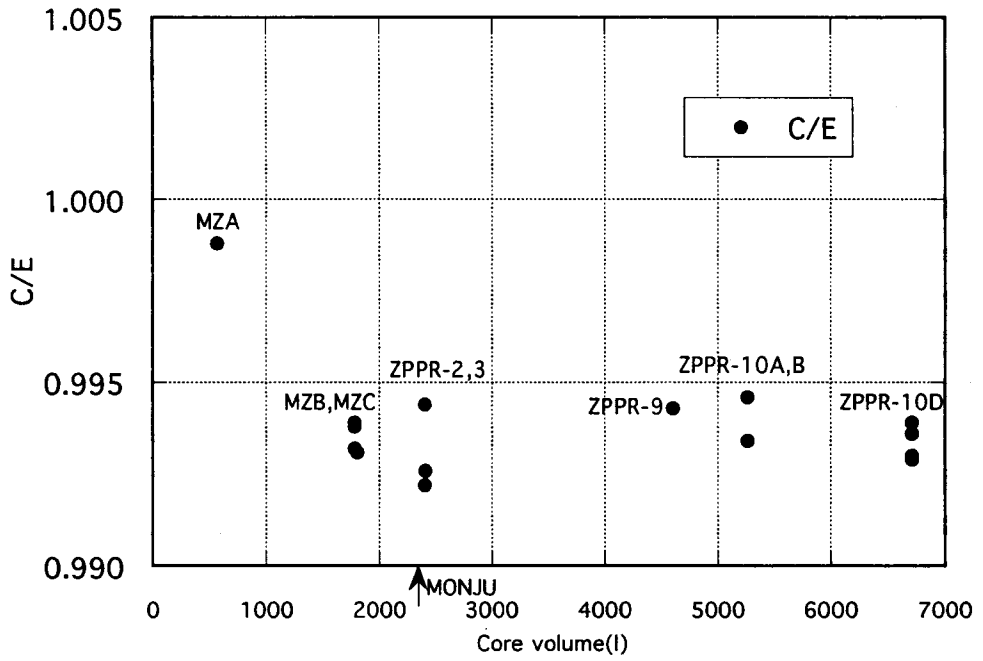


図3 臨界実験解析 C/E 値

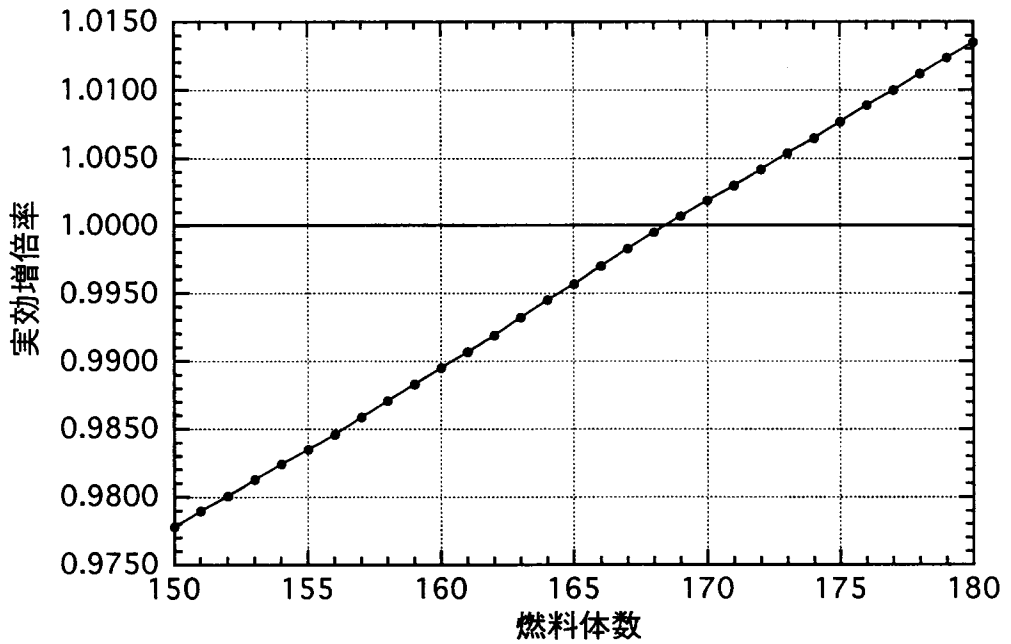


図4 実効増倍率予測値

## 5. 結果評価

「もんじゅ」は、平成5年10月から燃料装荷を開始した。順次燃料を追加し、燃料装荷ステップ毎に制御棒引抜を実施して中性子計数率を測定しながら逆増倍曲線を作成し臨界近接を実施した。その結果、平成6年4月5日に燃料168体で初臨界を達成した。臨界の達成は中心以外の制御棒を全引抜した後、中心制御棒を引抜くことでおこなわれた。<sup>2)</sup>

臨界となった状態では中心の制御棒1本がまだ少し炉内に残った状態であるので、この分の制御棒の反応度価値評価から、この体系での制御棒全数全引抜状態での実効増倍率は1.0016と評価された。一方、予測解析による168体での実効増倍率は $0.9995 \pm 0.045$  ( $1\sigma$ )であった。従って解析値と実測値の比は0.998であり、予測精度の範囲での良い一致が確認された。

今回の予測解析は、JENDL-2ベースの群定数セットを使用し、臨界実験結果をバイアスファクタとして用いる方法をとった。実機解析と臨界実験解析手法の整合を図り、解析上の補正因子を適切に評価することで、高速炉の臨界性について精度よく予測できることが確認された。

- 1) 宇根崎、竹田他、二重非均質モデルによる高速炉の中性子ストリーミング効果  
日本原子力学会 秋の大会 D52 (1987)
- 2) 高橋他、「もんじゅ」臨界を達成して  
日本原子力学会誌 Vol.36, No.5, 391-395 (1994)



もんじゅ初臨界時 中央制御室