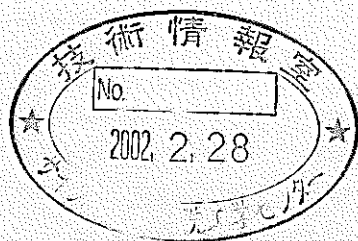


# ナトリウム冷却炉の炉心・燃料設計検討

—再臨界回避型酸化物燃料炉心の検討—

( 研 究 報 告 )



2001年9月

核燃料サイクル開発機構  
大洗工学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 4 9

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184,

Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)  
2001

# ナトリウム冷却炉の炉心・燃料設計検討

## － 再臨界回避型酸化物燃料炉心の検討 －

(研究報告)

山舘 恵<sup>\*1</sup>、佐々木誠<sup>\*2</sup>、黒澤典史<sup>\*3</sup>  
坂下嘉章<sup>\*4</sup>、永沼正行<sup>\*1</sup>

### 要 旨

中長期事業計画を受けて、平成 11 年 7 月から本格的に開始された FBR サイクル実用化戦略調査研究フェーズ I では、平成 12 年度までの 2 年間に亘り多様な FBR サイクルシステムの技術選択肢について検討を実施した。本報告書は、これらの技術選択肢の内、ナトリウム冷却酸化物燃料炉心の炉心・燃料設計についての検討成果を報告するものである。

主な成果を以下に示す。

- (1) Na冷却大型及び中型酸化物燃料炉心における再臨界回避と増殖性確保が両立可能な概念として、軸ブランケット一部削除型径方向非均質炉心が有力候補のひとつであるが、熱設計成立性を見通すためには、詳細検討が必要である。
- (2) Na冷却大型酸化物燃料炉心において内部ダクト付き集合体を用いた場合、均質炉心概念では増殖性の確保が困難であるが、径方向非均質炉心概念との組合せで解決できる可能性がある。
- (3) 遮蔽特性検討の結果、大型炉心、中型炉心のいずれの場合でも、ZrH遮蔽体を用いることにより、径方向遮蔽体の層数は径方向ブランケットあり炉心では 2 層、径方向ブランケットなし炉心では 3 層で成立する見通しである。

<sup>\*1</sup> : 大洗工学センター システム技術開発部 炉心・燃料システムグループ

<sup>\*2</sup> : 現 三菱重工業株式会社 原子力技術センター 炉心技術部

<sup>\*3</sup> : 現 茨城日立情報サービス株式会社 システム解析技術部

<sup>\*4</sup> : 現 株式会社東芝 磯子エンジニアリングセンター 原子力開発設計部

# Design Study on Core Characteristics of Sodium Cooled Fast Breeder Reactor

## – Study on re-criticality evasion type's oxide fuel cores –

Megumi YAMADATE<sup>\*1</sup>, Makoto SASAKI<sup>\*2</sup>  
Norifumi KUROSAWA<sup>\*3</sup>, Yoshiaki SAKASHITA<sup>\*4</sup>  
Masayuki NAGANUMA<sup>\*1</sup>

### Abstract

In the phase-I of the Feasibility Studies (F/S) on Commercialized Fast Reactor Cycle Systems from July 1999 to the end of FY2000, technology candidates of various commercialized fast reactor (FR) recycle concepts were investigated, in response to the JNC middle long term enterprise plan. This report describes about the core concept study of sodium-cooled oxide-fuel fast breeder reactors as a part of the investigation.

The major results of JFY2000 are as follows:

- (1) One of the promising candidates of large and medium scale Na cooled oxide cores is radial heterogeneous core with axial blanket partial elimination driver fuel sub-assemblies, which achieves re-criticality free and high breeding capability. Core thermal hydraulic design is one of the technical matters of this concept to be investigated in detail.
- (2) There are concerns of core breeding capability of large scale Na cooled oxide core with the inner-duct sub-assembly concept. One of the possible solutions of the concerns is selection radial heterogeneous core concept with inner-duct sub-assembly.
- (3) Results of core shielding analysis showed that feasible radial shielding thickness is 2 sub-assemblies layer for the core with radial blanket and 3 sub-assemblies layer for the core without radial blanket.

---

<sup>\*1</sup> : Fuel and Core System Engineering Group, Systems Engineering Technology Division, OEC  
<sup>\*2</sup> : (Present) Reactor Core Engineering Department, Nuclear Energy Systems Engineering Center, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.  
<sup>\*3</sup> : (Present) System Analysis Engineering Department, Ibaraki Hitachi Information Service Co., Ltd.  
<sup>\*4</sup> : (Present) Nuclear Development Design Department, Isogo Engineering Center, Toshiba Corporation.

Feasibility studies on commercialized Fast Breeder Reactor Cycle System, WBS I -1-A① & I -1-B①.

## 編集・執筆担当者

主編集 : 山舘 恵<sup>1</sup>

## 執筆担当

|     |             |                      |
|-----|-------------|----------------------|
| 1 章 |             | : 山舘 恵 <sup>1</sup>  |
| 2 章 | 2.1~2.2     | : 山舘 恵 <sup>1</sup>  |
|     | 2.3.1       | : 山舘 恵 <sup>1</sup>  |
|     | 2.3.2       | : 坂下 嘉章 <sup>4</sup> |
|     | 2.3.3       | : 永沼 正行 <sup>1</sup> |
|     | 2.3.4       | : 佐々木 誠 <sup>2</sup> |
| 3 章 | 3.1.1~3.1.2 | : 山舘 恵 <sup>1</sup>  |
|     | 3.1.3       | : 坂下 嘉章 <sup>4</sup> |
|     | 3.1.4       | : 永沼 正行 <sup>1</sup> |
|     | 3.1.5       | : 佐々木 誠 <sup>2</sup> |
|     | 3.1.6~3.1.7 | : 山舘 恵 <sup>1</sup>  |
|     | 3.2.1~3.2.2 | : 佐々木 誠 <sup>2</sup> |
|     | 3.2.3       | : 坂下 嘉章 <sup>4</sup> |
|     | 3.2.4       | : 永沼 正行 <sup>1</sup> |
|     | 3.2.5       | : 佐々木 誠 <sup>2</sup> |
|     | 3.3         | : 山舘 恵 <sup>1</sup>  |
|     | 3.4         | : 山舘 恵 <sup>1</sup>  |
| 4 章 | 4.1         | : 黒澤 典史 <sup>3</sup> |
|     | 4.2         | : 黒澤 典史 <sup>3</sup> |
|     | 4.3         | : 坂下 嘉章 <sup>4</sup> |
|     | 4.4         | : 永沼 正行 <sup>1</sup> |
|     | 4.5         | : 佐々木 誠 <sup>2</sup> |
|     | 4.6         | : 黒澤 典史 <sup>3</sup> |
| 5 章 |             | : 山舘 恵 <sup>1</sup>  |

---

1: 大洗工学センター システム技術開発部 炉心・燃料システムグループ

2: 現 三菱重工業株式会社 原子力技術センター 炉心技術部

3: 現 茨城日立情報サービス株式会社 システム解析技術部

4: 現 株式会社東芝 磯子エンジニアリングセンター 原子力開発設計部

## 目 次

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 要 旨 .....                          | i   |
| Abstract .....                     | ii  |
| 編集・執筆担当者 .....                     | iii |
| 目 次 .....                          | iv  |
| 表リスト .....                         | vi  |
| 図リスト .....                         | ix  |
| 略語・用語表 .....                       | xii |
| 検討に当たっての定義、基本条件 .....              | xv  |
| 1. はじめに .....                      | 1   |
| 2. 検討対象とする炉心の前提条件 .....            | 2   |
| 2.1 実用化戦略調査研究における設計要求事項 .....      | 2   |
| 2.2 設計条件及び燃料仕様設定の考え方 .....         | 5   |
| 2.2.1 設計条件 .....                   | 5   |
| 2.2.2 設計目標 .....                   | 6   |
| 2.3 炉心設計評価手法 .....                 | 8   |
| 2.3.1 核設計 .....                    | 8   |
| 2.3.2 熱設計 .....                    | 18  |
| 2.3.3 燃料設計 .....                   | 20  |
| 2.3.4 遮蔽設計 .....                   | 21  |
| 3. 大型酸化物燃料炉心における再臨界回避炉心の検討 .....   | 26  |
| 3.1 ABLE 型燃料径方向非均質炉心の検討 .....      | 26  |
| 3.1.1 選定炉心配置及び燃料仕様 .....           | 26  |
| 3.1.2 核特性評価 .....                  | 31  |
| 3.1.3 熱設計検討 .....                  | 58  |
| 3.1.4 燃料特性評価 .....                 | 85  |
| 3.1.5 遮蔽特性評価 .....                 | 89  |
| 3.1.6 燃料仕様等の変更による影響 .....          | 98  |
| 3.1.7 まとめ .....                    | 102 |
| 3.2 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の検討 .....     | 103 |
| 3.2.1 選定炉心配置及び燃料仕様 .....           | 103 |
| 3.2.2 核特性評価 .....                  | 110 |
| 3.2.3 熱設計検討 .....                  | 126 |
| 3.2.4 燃料特性評価 .....                 | 127 |
| 3.2.5 遮蔽特性評価 .....                 | 128 |
| 3.2.6 まとめ .....                    | 146 |
| 3.3 内部ダクト付集合体を用いた径方向非均質炉心の検討 ..... | 147 |
| 3.3.1 選定炉心配置及び燃料仕様 .....           | 147 |
| 3.3.2 核特性評価 .....                  | 148 |

|                  |     |
|------------------|-----|
| 3.3.3 まとめ        | 149 |
| 3.4 まとめ          | 150 |
| 4. 中型径方向非均質炉心の検討 | 151 |
| 4.1 選定炉心配置及び燃料仕様 | 151 |
| 4.2 核特性評価        | 155 |
| 4.2.1 炉心燃焼特性     | 155 |
| 4.2.2 反応度係数      | 159 |
| 4.2.3 制御棒反応度収支   | 164 |
| 4.2.4 出力分布       | 169 |
| 4.3 熱設計検討        | 185 |
| 4.4 燃料特性評価       | 189 |
| 4.5 遮蔽特性評価       | 190 |
| 4.6 まとめ          | 199 |
| 5. おわりに          | 201 |
| 参考文献             | 202 |

## 表リスト

|               |                                                                           |    |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 表 2.3.1-1     | 高速炉用断面積ライブラリのエネルギー群構造 .....                                               | 11 |
| 表 2.3.2-1     | 集合体必要流量計算手法 .....                                                         | 19 |
| 表 2.3.3-1     | 遮蔽計算における少数群エネルギー構造 .....                                                  | 24 |
| 表 3.1.1-1     | ABLE 型集合体による径方向非均質炉心の燃料仕様 .....                                           | 28 |
| 表 3.1.2-1     | ABLE 型集合体による径方向非均質炉心の炉心特性 .....                                           | 36 |
| 表 3.1.2-2     | 大型径方向非均質炉心の領域別物質収支<br>(高速炉多重リサイクル取出し TRU+FP(2Vol%)の組成時) .....             | 37 |
| 表 3.1.2-3     | ABLE 型燃料大型径方向非均質炉心の反応度係数<br>(平衡サイクル末期; 非均質モデル) .....                      | 39 |
| 表 3.1.2-4     | 径方向非均質大型MOX炉心の反応度特性比較<br>(70 群、2次元 RZ 計算) .....                           | 40 |
| 表 3.1.2-5     | ABLE 型燃料使用時の大型径方向非均質炉心の遅発中性子割合<br>及び即発中性子寿命 .....                         | 41 |
| 表 3.1.2-6     | ABLE 型燃料による大型径方向非均質炉心による制御棒反応度<br>価値評価結果 .....                            | 42 |
| 表 3.1.2-7     | ABLE 型燃料による大型径方向非均質炉心の制御棒反応度収支 .....                                      | 42 |
| 表 3.1.2-8     | 制御棒挿入深度パラメータサーベイ計算結果 .....                                                | 43 |
| 表 3.1.2-9     | ABLE 型燃料による大型径方向非均質炉心の制御棒挿入深度固定<br>時の各領域最大線出力等の比較 (3次元 Tri-Z 計算) .....    | 44 |
| 表 3.1.2-10    | 大型径方向非均質炉心の集合体出力および集合体内ピーキング .....                                        | 45 |
| 表 3.1.2-11(1) | 大型径方向非均質炉心の軸方向出力分布 (平衡サイクル初期) .....                                       | 47 |
| 表 3.1.2-11(2) | 大型径方向非均質炉心の軸方向出力分布 (平衡サイクル末期) .....                                       | 48 |
| 表 3.1.2-12    | 大型径方向非均質炉心における領域毎代表集合体の集合体出力履歴 .....                                      | 57 |
| 表 3.1.3-1     | 炉心燃料集合体及び内部ブランケット燃料集合体への配分可能流量 .....                                      | 65 |
| 表 3.1.3-2     | 径方向非均質炉心の必要流量評価結果 .....                                                   | 65 |
| 表 3.1.3-3     | 集合体出力履歴の様子 .....                                                          | 66 |
| 表 3.1.3-4     | 大型径方向非均質炉心の流量配分計画 .....                                                   | 66 |
| 表 3.1.3-5     | 被覆管温度履歴 .....                                                             | 67 |
| 表 3.1.3-6     | 径方向非均質炉心における集合体出口温度差対策案の比較 .....                                          | 70 |
| 表 3.1.3-7     | S-PRISM のサーマルストライピング対策検討例 .....                                           | 71 |
| 表 3.1.3-8     | 内部ブランケット集合体のサイクル毎流量配分の様子 .....                                            | 72 |
| 表 3.1.4-1     | 0.5 以上の CDF 値を有する燃料集合体ピン (集合体 68・集合体 102)<br>における線出力・被覆管最高温度・CDF 履歴 ..... | 87 |
| 表 3.1.5-1     | 各部組成温度と原子数密度<br>(大型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心) .....                            | 92 |
| 表 3.1.5-2     | 100 群と 21 群断面積の対応表<br>(大型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心) .....                      | 93 |
| 表 3.1.5-3     | 遮蔽解析結果 (大型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心) .....                                     | 93 |

|           |                                                                        |     |
|-----------|------------------------------------------------------------------------|-----|
| 表 3.2.1-1 | 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の燃料集合体仕様                                              | 106 |
| 表 3.2.1-2 | 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の炉心主要目                                                | 107 |
| 表 3.2.2-1 | 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の燃焼特性                                                 | 113 |
| 表 3.2.2-2 | 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の遅発中性子割合及び<br>即発中性子寿命                                 | 114 |
| 表 3.2.2-3 | 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の制御棒反応度価値                                             | 115 |
| 表 3.2.2-4 | 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の制御棒反応度収支                                             | 116 |
| 表 3.2.2-5 | 全領域物質収支【燃料スミア密度：82.0%TD 時】<br>－ 高速炉多重リサイクル時 TRU 組成+随伴 FP(2vol%)時       | 117 |
| 表 3.2.2-6 | 炉心部物質収支【燃料スミア密度：82.0%TD 時】<br>－ 高速炉多重リサイクル時 TRU 組成+随伴 FP(2vol%)時       | 118 |
| 表 3.2.2-7 | 軸ブランケット部物質収支【燃料スミア密度：82.0%TD 時】<br>－ 高速炉多重リサイクル時 TRU 組成+随伴 FP(2vol%)時  | 119 |
| 表 3.2.2-8 | 径ブランケット部物質収支【燃料スミア密度：82.0%TD 時】<br>－ 高速炉多重リサイクル時 TRU 組成+随伴 FP(2vol%)時  | 120 |
| 表 3.2.2-9 | 平衡炉心バランス【燃料スミア密度：82.0%TD 時】<br>－ 高速炉多重リサイクル時 TRU 組成+随伴 FP(2vol%)時      | 121 |
| 表 3.2.5-1 | 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の各部原子数密度<br>(EOEC 組成)                                 | 132 |
| 表 3.2.5-2 | 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の 100 群断面積と<br>21 群断面積の対応表                            | 133 |
| 表 3.2.5-3 | 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の検討に用いた<br>B <sub>4</sub> C-ZrH <sub>1.6</sub> 遮蔽体の構成 | 134 |
| 表 3.2.5-4 | 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の遮蔽解析結果と<br>遮蔽評価基準値への満足度 (プラント 40 年寿命)                | 135 |
| 表 3.2.5-5 | 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の遮蔽解析結果と<br>遮蔽評価基準値への満足度 (プラント 60 年寿命：参考)             | 136 |
| 表 4.1-1-1 | 中型径方向非均質炉心の燃料仕様                                                        | 152 |
| 表 4.2.1-1 | 中型径方向非均質炉心の炉心燃焼特性                                                      | 156 |
| 表 4.2.1-2 | 中型径方向非均質炉心の領域別物質収支<br>(高速炉マルチリサイクル組成+FP)                               | 157 |
| 表 4.2.2-1 | 中型径方向非均質炉心の反応度係数<br>(平衡サイクル末期；非均質モデル)                                  | 160 |
| 表 4.2.2-2 | 中型径非均質酸化物燃料炉心のボイド反応度、ドップラ係数<br>(均質モデル)                                 | 161 |
| 表 4.2.2-3 | 中型径方向非均質炉心における均質モデルと非均質モデルの<br>反応度特性の差 (平衡サイクル末期)                      | 162 |
| 表 4.2.2-4 | 中型径方向非均質炉心における動特性パラメータ<br>(平衡サイクル末期)                                   | 163 |

|           |                                                       |     |
|-----------|-------------------------------------------------------|-----|
| 表 4.2.3-1 | 制御棒価値及び最大価値制御棒誤引抜時の反応度変化<br>(平衡サイクル初期；ノミナル計算値) .....  | 166 |
| 表 4.2.3-2 | 中型径方向非均質炉心の制御棒反応度収支 .....                             | 167 |
| 表 4.2.4-1 | 中型径方向非均質炉心における最大線出力 .....                             | 171 |
| 表 4.2.4-2 | 中型径方向非均質炉心における集合体出力履歴 .....                           | 173 |
| 表 4.2.4-3 | 中型径方向非均質炉心における集合体内ピーキング係数の履歴 .....                    | 174 |
| 表 4.2.4-4 | 中型径方向非均質炉心における軸方向出力分布<br>(第 6 サイクル 最大発熱集合体) .....     | 175 |
| 表 4.2.4-5 | 中型径方向非均質炉心における軸方向高速中性子束分布<br>(第 6 サイクル 最大発熱集合体) ..... | 177 |
| 表 4.3-1   | 炉心燃料集合体及び内部ブランケット燃料集合体への配分可能流量 .....                  | 187 |
| 表 4.3-2   | 径方向非均質炉心の必要流量評価結果 .....                               | 187 |
| 表 4.3-3   | 熱設計成立のための課題解決方策案 .....                                | 188 |
| 表 4.5-1   | 各部組成温度と原子数密度<br>(中型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心) .....        | 193 |
| 表 4.5-2   | 100 群と 21 群断面積の対応表<br>(中型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心) .....  | 194 |
| 表 4.5-3   | 遮蔽解析結果 (中型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心) .....                 | 194 |
| 表 4.6-1   | 中型径方向非均質炉心の炉心主要目 .....                                | 200 |

## 図リスト

|               |                                                               |    |
|---------------|---------------------------------------------------------------|----|
| 図 2.3.1-1     | 少数群ミクロ断面積ファイル作成概略フロー .....                                    | 12 |
| 図 2.3.1-2     | 燃焼特性解析概略フロー (PENCIL コードシステム) .....                            | 13 |
| 図 2.3.1-3     | 制御棒反応度価値計算概略フロー .....                                         | 14 |
| 図 2.3.1-4     | ボイド反応度、ドップラ反応度計算概略フロー .....                                   | 15 |
| 図 2.3.1-5     | 動特性パラメータ計算概略フロー .....                                         | 16 |
| 図 2.3.1-6     | 出力分布計算概略フロー .....                                             | 17 |
| 図 2.3.3-1     | 遮蔽計算の流れ .....                                                 | 25 |
| 図 3.1.1-1     | 大型径方向非均質炉心の炉心配置 .....                                         | 29 |
| 図 3.1.1-2     | 大型径方向非均質炉心における炉心燃料集合体基本寸法 .....                               | 30 |
| 図 3.1.2-1     | 大型径方向非均質炉心における 2 次元 RZ 計算の計算体系 .....                          | 49 |
| 図 3.1.2-2     | ABLE 型燃料大型径方向非均質炉心のワンロッドスタック制御棒位置 .....                       | 50 |
| 図 3.1.2-3     | 大型径方向非均質炉心の 3 次元拡散燃焼解析マップ[1/3 炉心体系]<br>(MOSES コード集合体番号) ..... | 51 |
| 図 3.1.2-4     | 大型径方向非均質炉心の燃料交換バッチ番号 .....                                    | 52 |
| 図 3.1.2-5     | 大型径方向非均質炉心の径方向出力分布 (RZ 計算時) .....                             | 53 |
| 図 3.1.2-6     | 大型径方向非均質炉心の径方向中性子束分布 (RZ 計算時) .....                           | 53 |
| 図 3.1.2-7     | 大型径方向非均質炉心における代表サイクル (第 6 サイクル) の<br>集合体出力 .....              | 54 |
| 図 3.1.2-8     | 大型径方向非均質炉心における軸方向出力密度分布 .....                                 | 55 |
| 図 3.1.2-9     | 大型径方向非均質炉心における集合体出力最大値<br>(平衡サイクル 4 サイクル分の最大) .....           | 56 |
| 図 3.1.2-10(1) | 大型径方向非均質炉心における集合体出力履歴 (炉心燃料) .....                            | 57 |
| 図 3.1.2-10(2) | 大型径方向非均質炉心における集合体出力履歴<br>(内部ブランケット、径ブランケット) .....             | 57 |
| 図 3.1.3-1     | 大型径非均質炉心の集合体番号 .....                                          | 73 |
| 図 3.1.3-2     | 大型径非均質炉心の集合体出力分布 .....                                        | 74 |
| 図 3.1.3-3     | 内部ブランケット燃料集合体の集合体出力履歴 (各リング最大集合体) ...                         | 75 |
| 図 3.1.3-4     | 炉心燃料集合体の集合体出力履歴 (各リング最大集合体) .....                             | 75 |
| 図 3.1.3-5     | 集合体必要流量分布と流量領域分けの様子<br>(1/2) 炉心燃料集合体 .....                    | 76 |
| 図 3.1.3-5     | 集合体必要流量分布と流量領域分けの様子<br>(2/2) 内部ブランケット燃料集合体 .....              | 77 |
| 図 3.1.3-6     | 大型径方向非均質炉心の流量領域番号 .....                                       | 78 |
| 図 3.1.3-7     | 内部ブランケットの隣接出口温度差最大値<br>(シャリング*、サイクル毎可変流量調節等の流量調節が無い場合) .....  | 79 |
| 図 3.1.3-8     | 内部ブランケット集合体-隣接燃料集合体間の出口温度差履歴 .....                            | 80 |
| 図 3.1.3-9     | 内部ブランケットの隣接出口温度差最大値<br>(シャリング*、サイクル毎可変流量調節等の流量調節が有る場合) .....  | 81 |

|            |                                                     |     |
|------------|-----------------------------------------------------|-----|
| 図 3.1.3-10 | 内部ブランケット燃料集合体の集合体出力履歴                               | 82  |
| 図 3.1.3-11 | 内部ブランケット出口温度履歴<br>(滞在サイクル毎の可変流調の有無の比較)              | 82  |
| 図 3.1.3-12 | 内部ブランケット集合体-隣接燃料集合体間の出口温度差履歴                        | 83  |
| 図 3.1.3-13 | 制御棒-隣接燃料集合体間出口温度差                                   | 84  |
| 図 3.1.4-1  | 各集合体のピーク出力ピンにおける CDF 値の比較                           | 88  |
| 図 3.1.5-1  | マクロ断面積縮約用 1 次元計算体系<br>(大型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心)      | 94  |
| 図 3.1.5-2  | 2 次元遮蔽計算体系<br>(大型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心)              | 94  |
| 図 3.1.5-3  | 炉心槽内側での高速中性子束軸方向分布<br>(大型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心)      | 95  |
| 図 3.1.5-4  | 炉心上部機構下面での高速中性子束径方向分布<br>(大型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心)   | 95  |
| 図 3.1.5-5  | 下部炉心支持板上面での高速中性子束径方向分布<br>(大型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心)  | 96  |
| 図 3.1.5-6  | 炉心周りの高速中性子束等高線分布<br>(大型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心)        | 97  |
| 図 3.2.1-1  | 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の内部ダクト付燃料集合体概念図                    | 108 |
| 図 3.2.1-2  | 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の炉心配置図                             | 109 |
| 図 3.2.2-1  | 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の 2 次元 RZ 拡散計算体系                   | 122 |
| 図 3.2.2-2  | 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の高速中性子束分布と<br>出力密度分布               | 123 |
| 図 3.2.2-3  | 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の 3 次元計算による<br>径方向出力分布 (BOEC)      | 124 |
| 図 3.2.2-4  | 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の 3 次元計算による<br>径方向出力分布 (EOEC)      | 125 |
| 図 3.2.5-1  | 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の配置図<br>(径方向ブランケット削除炉心)            | 137 |
| 図 3.2.5-2  | 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の配置図<br>(径方向ブランケット 1 層付炉心)         | 138 |
| 図 3.2.5-3  | 検討に用いた $B_4C$ - $ZrH_{1.6}$ 遮蔽体構造の例                 | 139 |
| 図 3.2.5-4  | 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心 (径方向ブランケット削除) の<br>高速中性子束等高線分布    | 140 |
| 図 3.2.5-5  | 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心 (径方向ブランケット 1 層付) の<br>高速中性子束等高線分布 | 143 |
| 図 4.1-1    | 中型径方向非均質炉心の燃料集合体軸方向寸法図                              | 153 |
| 図 4.1-2    | 中型径方向非均質炉心の炉心配置                                     | 154 |
| 図 4.2.3-1  | 制御棒価値評価時に着目した制御棒位置                                  | 168 |
| 図 4.2.4-1  | 中型径方向非均質炉心における集合体番号 (1/3 炉心体系)                      | 178 |

|           |                                                          |     |
|-----------|----------------------------------------------------------|-----|
| 図 4.2.4-2 | 中型径方向非均質炉心における燃料交換パターン<br>(1/3 炉心体系；暫定) .....            | 179 |
| 図 4.2.4-3 | 中型径方向非均質炉心における集合体出力履歴 .....                              | 180 |
| 図 4.2.4-4 | 中型径方向非均質炉心における集合体出力<br>(1/3 炉心体系；平衡サイクル包絡値) .....        | 181 |
| 図 4.2.4-5 | 中型径方向非均質炉心における集合体内ピーキング<br>(1/3 炉心体系；平衡サイクル包絡値) .....    | 182 |
| 図 4.2.4-6 | 中型径方向非均質炉心における軸方向出力分布<br>(第 6 サイクル 最大発熱集合体) .....        | 183 |
| 図 4.2.4-7 | 中型径方向非均質炉心における軸方向高速中性子束分布<br>(第 6 サイクル 最大発熱集合体) .....    | 184 |
| 図 4.5-1   | マクロ断面積縮約用 1 次元計算体系<br>(中型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心) .....     | 195 |
| 図 4.5-2   | 2 次元遮蔽計算体系<br>(中型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心) .....             | 195 |
| 図 4.5-3   | 炉心槽内側での高速中性子束軸方向分布<br>(中型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心) .....     | 196 |
| 図 4.5-4   | 炉心上部機構下面での高速中性子束径方向分布<br>(中型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心) .....  | 196 |
| 図 4.5-5   | 下部炉心支持板上面での高速中性子束径方向分布<br>(中型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心) ..... | 197 |
| 図 4.5-6   | 炉心周りの高速中性子束等高線分布<br>(中型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心) .....       | 198 |

## 略 語 ・ 用 語 表

| 略 語      | 正式表現                                                                           | 説 明                                              |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| AB(A/B)  | Axial Blanket                                                                  | 軸 (方向) ブランケット                                    |
| ABLE     | Axial Blanket Elimination                                                      | 軸方向ブランケット (一部) 削除概念                              |
| ANL      | Argonne National Laboratory                                                    | アルゴンヌ国立研究所<米国>                                   |
| ATWS     | Anticipated Tranjent Without Scram                                             | 異常な過渡変化時のスクラム不作動事象                               |
| AWS      | Accident Without Scram                                                         | スクラム失敗事故                                         |
| at%      | atom per cent                                                                  | 原子数%割合                                           |
| BOC      | Beginning of Cycle                                                             | サイクル初期                                           |
| BOEC     | Beginning of Equilibrium Cycle                                                 | 平衡炉心燃焼サイクル初期                                     |
| BOL      | Beginning of Life                                                              | 寿命初期                                             |
| BR       | Breeding Ratio                                                                 | 増殖比 (転換率)                                        |
| CIDT     | Compound Inventory Doubling Time                                               | 複合インベントリ倍増時間                                     |
| CSDT     | Compound System Doubling Time                                                  | 複合システム倍増時間                                       |
| CITATION |                                                                                | 汎用拡散計算コード<米国>                                    |
| CDA      | Core Disruptive Accident                                                       | 炉心崩壊事故                                           |
| CDF      | Cumulative Damage Fraction                                                     | 使用分数和、寿命分数和                                      |
| DDI      | Duct-Duct Interaction                                                          | ダクトーダクト間相互作用                                     |
| DF       | Decontamination Factor                                                         | 除染係数                                             |
| DOT-3.5  |                                                                                | 遮蔽用 2 次元離散型 Sn 輸送計算コード<br>3.5 版<米国>              |
| CRDM     | Control Rod Driving Mechanism                                                  | 制御棒駆動機構                                          |
| EAGLE    | Experimental Acquisition of Generalized<br>Logic to Eliminate re-criticalities | IGR 炉を用いた再臨界問題の排除に向けた試験研究                        |
| EFPD     | Effective Full Power Day                                                       | 実効定格運転日数                                         |
| EFPM     | Effective Full Power Month                                                     | 実効定格運転月数                                         |
| EOC      | End of Cycle                                                                   | サイクル末期                                           |
| EOEC     | End of Equilibrium Cycle                                                       | 平衡炉心燃焼サイクル末期                                     |
| EOL      | End of Life                                                                    | 寿命末期                                             |
| E/C      | Ratio of Experimental Value to<br>Calculated Value                             | 計算値に対する実験値の比<br>(C/E を使用する場合があります)               |
| FBR      | Fast Breeder Reactor                                                           | 高速増殖炉                                            |
| FCI      | Fuel Coolant Interaction                                                       | 燃料ー冷却材相互作用                                       |
| FCCI     | Fuel Cladding Chemical Interaction                                             | 燃料ー被覆材化学的相互作用                                    |
| FCMI     | Fuel-Cladding Mechanical Interaction                                           | 燃料ー被覆管機械的相互作用                                    |
| FMS      | Ferritic-Martainsitic Steels                                                   | フェライト-マルテンサイト鋼                                   |
| FP       | Fission Product                                                                | 核分裂生成物 (核種)                                      |
| GEM      | Gas Expansion Module                                                           | ガス膨張を利用する受動的な安全装置                                |
| GHSF     | Global Hot Spot Factor                                                         | グローバルホットスポットファクタ (原子炉冷却材温度上昇と被覆管 HS 温度の温度上昇幅との比) |
| Hex-Z    |                                                                                | 3 次元六角メッシュ (体系)                                  |
| HM       | Heavy Metal                                                                    | 重金属                                              |
| HS       | Hot Spot                                                                       | ホットスポット (工学的安全係数を考慮した最高温度点)                      |
| HT-9     |                                                                                | フェライト鋼の名称 <米国>                                   |
| H/D      | Ratio of Core Height to Core Diameter                                          | 炉心の直径に対する炉心高さの比                                  |

|                |                                                             |                                                                                                                                                  |
|----------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IB(I/B)        | Internal Blanket                                            | 内部ブランケット                                                                                                                                         |
| IC(I/C)        | Inner Core                                                  | 内側炉心                                                                                                                                             |
| IGR            |                                                             | 国立原子力センター(NNC)試験炉<カザフスタン>                                                                                                                        |
| JASPER         | Japan-American Shielding Program of Experimental Researches | 日米共同遮蔽実験計画                                                                                                                                       |
| JENDL-3.2      | Japan Evaluated Nuclear Data Library Version 3.2            | 評価済み中性子データライブラリ 3.2 版                                                                                                                            |
| JENDL-3.2ADJ98 |                                                             | JENDL-3.2 に基づく統合炉定数                                                                                                                              |
| JNC            | Japan Nuclear Cycle Development Institute                   | 核燃料サイクル開発機構                                                                                                                                      |
| JSSTD-300-J3.2 | JAERI Shielding Standard Library Version 98                 | JENDL-3.2 に基づく中性子 300 群ライブラリ (遮へい計算用標準群定数)                                                                                                       |
| LOF            | Loss of Flow                                                | 流量異常減少事象                                                                                                                                         |
| LLFP           | Long Lived Fission Products                                 | 長寿命核分裂生成物                                                                                                                                        |
| LWR            | Light Water Reactor                                         | 軽水 (冷却) 炉                                                                                                                                        |
| MA             | Minor Actinides                                             | マイナーアクチニド(または アクチノイド)<br>原子番号 89 のアクチニウム(Ac)から 103 のローレンシウム(Lr)をアクチノイド(Actinoids)と称し、アクチニウムを除いてアクチニド元素と称する。このうち半減期が長い $\alpha$ 放射体の Np、Am、Cm の総称 |
| MOC            | Middle of Cycle                                             | サイクル中期                                                                                                                                           |
| MOEC           | Middle of Equilibrium Cycle                                 | 平衡炉心燃焼サイクル中期                                                                                                                                     |
| MOSES          |                                                             | 3 次元拡散燃焼計算コード                                                                                                                                    |
| MOX            | Mixed Oxide (Fuel)                                          | 酸化物 (燃料)                                                                                                                                         |
| nvt            |                                                             | 累積 (高速) 中性子照射量(フルーエンス)                                                                                                                           |
| ODS 鋼          | Oxide Dispersion Strengthened Stainless Steel               | 酸化物分散強化型ステンレス鋼                                                                                                                                   |
| OC(O/C)        | Outer Core                                                  | 外側炉心                                                                                                                                             |
| ORIGEN-2       |                                                             | 1 点近似の燃料燃焼組成、放射化物生成量及び崩壊熱計算コード<米>                                                                                                                |
| O/M 比          | Atomic Ratio of Oxygen to Metal                             | 金属原子数に対する酸素原子数比                                                                                                                                  |
| PA             | Public Acceptance                                           | 国民的 (公衆の) 合意                                                                                                                                     |
| PE16           |                                                             | 高ニッケル鋼の名称<英国>                                                                                                                                    |
| PENCIL         | Pultronium Enrichment Conversion survey Calculation Code    | CITATION の 2 次元拡散計算を使用した Pu 富化度調整計算コード                                                                                                           |
| PERKY          |                                                             | 2 次元拡散摂動計算コード                                                                                                                                    |
| PNC            | Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation      | 動力炉・核燃料開発事業団(JNC の前身)                                                                                                                            |
| PTM            | Power to Melt                                               | 溶融限界線出力                                                                                                                                          |
| PRISM          | Power Reactor Inherent Safety Module                        | プリズム炉、モジュール型金属燃料高速増殖炉<米: GE 社>                                                                                                                   |
| Purex          | Plutonium Uranium Reduction Extraction (Process)            | ピューレックス法 (再処理法)                                                                                                                                  |
| PWR            | Pressurized Water Reactor                                   | 加圧水型原子炉                                                                                                                                          |
| P/D            | Pin Pitch to Pin Diameter Ratio                             | ピン配列ピッチとピン径との比                                                                                                                                   |

|                |                                       |                                           |
|----------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|
| P/F            | Power to Flow Ratio                   | 出力流量比                                     |
| RB(R/B)        | Radial Blanket                        | 径(方向)ブランケット                               |
| RDT            | Reactor Doubling Time                 | 原子炉倍増時間                                   |
| RIAR           | Research Institute of Atomic Reactors | 国立原子炉科学研究所<ロシア>                           |
| R-Z            |                                       | 2次元円筒(体系)                                 |
| R- $\theta$ -Z |                                       | 3次元円筒(体系)                                 |
| SA             | Subassembly                           | 燃料集合体                                     |
| SASS           | Self-Actuated Shutdown System         | 自己作動型炉停止機構(キュリーポイント型制御棒自動切り離し機構)          |
| SUS            | Stainless Steel                       | ステンレス鋼(不銹鋼)                               |
| TD             | Theoretical Density                   | 理論密度                                      |
| TOP            | Transient OverPower                   | 異常過出力事象                                   |
| Tri-Z          |                                       | 3次元三角メッシュ(体系)                             |
| TRU            | Trans Uranium                         | 原子番号が92(ウラン)を超える元素をいい、アクチニド元素に属する人工の放射性核種 |
| TWOTRAN        |                                       | 核計算用2次元Sn輸送計算コード<米国>                      |
| UAB            | Upper Axial Blanket                   | 上部軸方向ブランケット                               |
| UIS            | Upper Instrumentation Structure       | 炉心上部機構                                    |
| ULOF           | Unprotected Loss of Flow              | 流量低下時スクラム失敗事象                             |
| ULOHS          | Unprotected Loss Of Heat Sink         | 除熱源喪失時スクラム失敗事象                            |
| UO2            |                                       | ウラン燃料(酸化物)                                |
| UTOP           | Unprotected Transient Over-Power      | 過渡過出力時スクラム失敗事象                            |
| vol%           | volume per cent                       | 体積%割合                                     |
| wt%            | weight per cent                       | 重量%割合                                     |
| ZrHx           | Zirconium Hydrides                    | 水素化ジルコニウム(xはZrに対する水素の原子数割合)               |
| %TD            | per cent Theoretical Density          | 理論密度に対する%割合                               |

## 検討に当たっての定義、基本条件

| 項 目                                                           | 定義又は基本条件                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ・ スミア密度 :                                                     | 燃料の 100%理論密度に対し被覆管内面に燃料を均一にならした時の比率                                                                                                                                                                                                                                                             |
| ・ ボイド反応度 :                                                    | ダクトーダクト間、内部ダクト内のナトリウム (冷却材) を残し、炉心部の燃料棒部分 (軸方向非均質炉心の場合には、内部ブランケット高さ部分も含む) のナトリウム (冷却材) を 100%除去したときの全投入反応度                                                                                                                                                                                      |
| ・ プルトニウム富化度 :                                                 | ウラン・プルトニウム・MA の重金属インベントリに対するプルトニウム重量の比<br>$\frac{Pu}{Pu + U + MA}$                                                                                                                                                                                                                              |
| ・ 原子炉倍増時間(RDT) :                                              | 1 基の FBR のみで考えた場合の倍増時間。<br>初装荷核分裂性 Pu インベントリ/年間核分裂性 Pu 利得量                                                                                                                                                                                                                                      |
| ・ 残存比 (残存率) :                                                 | 新燃料集合体に対し、使用済燃料として払い出される燃料中の核分裂性プルトニウムの残存割合<br>$\frac{\text{使用済燃料中の核分裂性プルトニウム量}}{\text{新燃料中の核分裂性プルトニウム量}}$                                                                                                                                                                                      |
| ・ 実効燃料体積割合 :                                                  | 燃料の密度を 100%理論密度としたときの体積割合<br>燃料体積割合×燃料スミア密度                                                                                                                                                                                                                                                     |
| ・ 増殖比 (増殖率) :                                                 | 核分裂性プルトニウムの生成量/消滅量の比 (瞬時値/平均値)<br>$\frac{\int_{\text{炉心全体}} (\Sigma_c(^{238}\text{U})\phi + \Sigma_c(^{238}\text{Pu})\phi + \Sigma_c(^{240}\text{Pu})) dv}{\int_{\text{炉心全体}} (\Sigma_a(^{239}\text{Pu})\phi + \Sigma_a(^{241}\text{Pu})\phi + \lambda(^{241}\text{Pu})N(^{241}\text{Pu})) dv}$ |
| ・ 体積割合 :                                                      | 燃料集合体断面に対する燃料、構造材、冷却材の体積割合。<br>燃料体積割合は被覆管内面で定義。                                                                                                                                                                                                                                                 |
| ・ 燃料組成 :                                                      | 以下に示す 4 種類の TRU 組成及びこれらに FP を随伴させた 3 種類の組成 (計 7 種類の組成) を、FBR 炉心解析に使用した。<br><br>随伴 FP は、新燃料中の FP 存在量として 2vol%とし、随伴 FP の基準元素 ( $^{143}\text{Nd}$ ) 密度から求めた断面積に FP 等価係数(1.5)を乗ずる取り扱いとした。                                                                                                           |
| 高速炉多重リサイクル時の TRU (+随伴 FP)                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 高速炉での多重リサイクルを考慮した平衡サイクル組成 <sup>[1]</sup> 。<br>取り出し後の冷却期間：4 年。 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

| 核種                | %    | 核種                | %   | 核種                | %   | 核種                | %     |
|-------------------|------|-------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|-------|
| <sup>238</sup> Pu | 1.1  | <sup>237</sup> Np | 0.5 | <sup>241</sup> Am | 2.0 | <sup>244</sup> Cm | 1.0   |
| <sup>239</sup> Pu | 54.1 |                   |     | <sup>243</sup> Am | 1.0 | <sup>245</sup> Cm | 0.0   |
| <sup>240</sup> Pu | 32.1 |                   |     |                   |     |                   |       |
| <sup>241</sup> Pu | 4.3  |                   |     |                   |     |                   |       |
| <sup>242</sup> Pu | 3.9  |                   |     |                   |     | 合計                | 100.0 |

高燃焼度ウラン燃料軽水炉からの取り出し TRU (+随伴 FP)

ウラン燃料軽水炉からの取出組成。取出燃焼度 6 万 MWd/t、冷却期間：5 年。

| 核種                | %    | 核種                | %   | 核種                | %   | 核種                | %     |
|-------------------|------|-------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|-------|
| <sup>238</sup> Pu | 3.5  | <sup>237</sup> Np | 6.4 | <sup>241</sup> Am | 3.3 | <sup>244</sup> Cm | 0.9   |
| <sup>239</sup> Pu | 43.5 |                   |     | <sup>243</sup> Am | 2.1 | <sup>245</sup> Cm | 0.1   |
| <sup>240</sup> Pu | 21.8 |                   |     |                   |     |                   |       |
| <sup>241</sup> Pu | 10.2 |                   |     |                   |     |                   |       |
| <sup>242</sup> Pu | 8.2  |                   |     |                   |     | 合計                | 100.0 |

高燃焼 MOX 燃料軽水炉からの取り出し TRU (+随伴 FP)

MOX 燃料軽水炉からの取り出し組成。取出燃焼度 6 万 MWd/t、冷却期間：5 年。

| 核種                | %    | 核種                | %   | 核種                | %   | 核種                | %     |
|-------------------|------|-------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|-------|
| <sup>238</sup> Pu | 3.0  | <sup>237</sup> Np | 0.4 | <sup>241</sup> Am | 5.4 | <sup>244</sup> Cm | 1.7   |
| <sup>239</sup> Pu | 33.7 |                   |     | <sup>243</sup> Am | 3.0 | <sup>245</sup> Cm | 0.3   |
| <sup>240</sup> Pu | 29.1 |                   |     |                   |     |                   |       |
| <sup>241</sup> Pu | 12.9 |                   |     |                   |     |                   |       |
| <sup>242</sup> Pu | 10.6 |                   |     |                   |     | 合計                | 100.0 |

中燃焼度ウラン燃料軽水炉からの取り出し Pu

MOX 燃料軽水炉からの取り出し組成。BWR 取出燃焼度 4.5 万 MWd/t、PWR 取出燃焼度 5 万 MWd/t の平均組成、冷却期間：10 年。

| 核種                | %    | 核種                | % | 核種                | %   | 核種                | %     |
|-------------------|------|-------------------|---|-------------------|-----|-------------------|-------|
| <sup>238</sup> Pu | 2.8  | <sup>237</sup> Np | 0 | <sup>241</sup> Am | 1.5 | <sup>244</sup> Cm | 0     |
| <sup>239</sup> Pu | 52   |                   |   | <sup>243</sup> Am | 0   | <sup>245</sup> Cm | 0     |
| <sup>240</sup> Pu | 27.1 |                   |   |                   |     |                   |       |
| <sup>241</sup> Pu | 9.5  |                   |   |                   |     | 合計                | 100.0 |
| <sup>242</sup> Pu | 7.1  |                   |   |                   |     |                   |       |

- ・複合システム倍増時間(CSDT)： 複数基のFBRが存在するときに核燃料サイクル全体を考慮して定義した倍増時間。核分裂性プルトニウムの増加量が炉内及び炉外に存在する核分裂性プルトニウムの合計量に等しくなるのに必要な時間で倍増時間短縮ファクタ (ln2) を考慮したもの。

$\ln 2 \times (\text{初装荷核分裂性 Pu インベントリ} \times \text{炉外ファクタ}) / (\text{年間核分裂性 Pu 利得量} \times (1 - \text{炉外核分裂性 Pu 損失率}))$

炉外ファクタ； $1 + (\text{燃料炉外滞在期間} < 5 \text{ 年} > / \text{燃料炉内滞在期間})$

燃料炉内滞在期間； $(\text{運転サイクル長} \cdot \text{定検期間}) \times \text{燃交バッチ数}$

炉外核分裂性 Pu 損失率；再処理・加工中の核分裂性 Pu 損失率 < 2% >

・ 平均出力密度：

炉心体積当たりの発熱量。

炉心部出力/炉心体積

・ 平均線出力密度：

炉心燃料ピンの単位長さ当たりの発熱量。

炉心部出力/炉心燃料ピン総延長

・ 炉心部：

MOX 燃料部分（軸方向非均質炉心の場合には、内部ブランケット高さ部分も含む）

・ 炉心部取出平均燃焼度：

バッチ当たり取り出される炉心燃料集合体に対し、炉心部（軸方向非均質炉心の場合には、内部ブランケット高さ部分も含む）の燃焼度の平均値

$$\frac{\int_{\text{燃料炉心滞在日数}} [P(\text{MOX燃料} + \text{内部ブランケット出力})] \times dt}{\text{MOX及び内部ブランケット初期インベントリ}}$$

・ 炉心燃料集合体取出平均燃焼度：

$$\frac{\int_{\text{燃料炉心滞在日数}} [P(\text{MOX燃料} + \text{内部ブランケット} + \text{軸ブランケット出力})] \times dt}{\text{MOX燃料} + \text{内部ブランケット} + \text{軸ブランケット初期インベントリ}}$$

・ 炉心：

炉心燃料、内部ブランケット、制御棒、希釈集合体を含む。

・ 炉心最大外接円径：

遮蔽体までの外接円直径。

・ 炉心上部機構(UIS)：

炉心の上部にあり、制御棒駆動機構延長管、集合体出口温度計装系等を支持している部分

・ 炉心等価直径：

炉心を円柱状に置き換えたときの直径

## 1. はじめに

平成 11 年度から 2 年間の予定で FBR サイクル実用化戦略調査研究フェーズ I を実施した。本報告書は、フェーズ I で検討した多様な FBR サイクルシステムの技術選択肢の内、ナトリウム冷却炉における酸化物燃料炉心の炉心・燃料設計についての検討成果を報告するものである。

調査研究フェーズ I を推進するに当たり、5 つの観点 (①安全性、②経済性、③資源有効利用、④環境負荷低減、⑤核不拡散) から開発目標を設定している。これら 5 つの観点を視野に置き、ナトリウム冷却炉を対象にした平成 11 年度の検討は、燃料形態及び炉心出力規模の組み合わせについて幅広く調査・解析・検討を加え、炉心・燃料特性を把握・比較評価した。平成 12 年度は、これらの結果に基づき、実用化炉心・燃料候補のひとつである径方向非均質炉心を中心に再臨界回避型酸化物燃料炉心についての解析・検討を行った。

2 章では、検討対象とする炉心の前提条件として設計要求事項や設計条件及び評価手法をまとめた。3 章では大型炉心の候補概念の検討結果を示し、4 章には中型炉心の検討結果を示した。

## 2. 検討対象とする炉心の前提条件

炉心燃料概念を検討するにあたり、検討のベースとなる条件は基本的に実用化戦略調査研究における設計要求に従って設定し、ナトリウム冷却酸化物燃料炉心の検討を実施した。

### 2.1 実用化戦略調査研究における設計要求事項

実用化戦略調査研究における設計要求事項は、安全性を前提に、経済性、資源の有効利用性、環境負荷低減性、核拡散抵抗性を有した炉心燃料の開発を目指すことである。以下に、炉心燃料設計と関連する各設計要求事項の概要と炉心燃料設計としての対応方針を示す。

#### 2.1.1 安全性

##### (1) 設計要求

- (a) 現行軽水炉に適用される基準、指針類及び「もんじゅ」の安全審査で適用された基準、指針類、FBR 実証炉の安全基準に関する調査の考え方を参考にし、選定した冷却材の特徴を考慮した設計とする。
- (b) 上記に加え、実用化時代に要請される安全要求として、以下の対策を講じた設計とすること。
  - ・代表的な炉心損傷の起因事象に対して、受動的な炉停止能力を有するか、あるいは、受動的機構により事象進展を緩和し、運転員の介在により事象終息を図ることが可能な設計とする。
  - ・代表的な炉心損傷事象に対しては、急激なエネルギー放出の原因を排除できる設計（再臨界排除）とすること。

##### (2) 対応方針

- (a) 反応度制御系の設計基準、燃料の健全性判断基準等については、既往の基準、指針類を参考としつつ、新たな知見も加味して設計する。
- (b) 上記の基準、指針類の適用に加え、実用化時代に要請される安全要求として、以下の対策を講じた設計とする。
  - ・ループ数の合理化による経済性向上プラントに対応する炉心燃料設計としては、可能な限り炉心圧損の低減に努める。
  - ・再臨界排除は炉心燃料設計へのインパクトが大きい。当面は、集合体内 SASS あるいは内側ダクトを炉心燃料集合体に設けた炉心の検討を進めるが、炉心燃料設計へのインパクトを最小とする他の良い概念の発掘検討も進める。

#### 2.1.2 経済性

##### (1) 設計要求

FBR の本格実用化段階で、発電単価 6 円/kWh、建設費 20 万円/kWe、を達成できる見込みがあることとし、経済性向上に関係する炉心燃料設計に関連する設計要求を以下に示す。

- ・燃焼度：15 万 MWd/t 程度を目標とするが、経済性目標を達成できればこの限りではない。
- ・連続運転期間：12～24 ヶ月程度を目標とするが、経済性をより一層向

上させるために、その成立性見通しを示した上で、24ヶ月を超える連続運転期間としてもよい。

- ・炉心出口温度：冷却材、燃料形態との関係において適正に定めること。
- ・稼働率：同世代の軽水炉の稼働率を考慮し90%程度を目標とする。

## (2) 対応方針

建設費削減を目指し炉心コンパクト化及びシステムの簡素化を追求する。また、燃料費削減の観点で先進燃料サイクルに適合する燃料設計及び高燃焼度化を目指す。さらに、運転費低減の観点で長サイクル化を目指した設計検討を行う。

中型炉心については、大型炉心との比較の観点で検討する。

- ・炉心部取出し燃焼度は15万MWd/t程度を目標として設計を進める。
- ・連続運転期間18ヶ月程度を目標として設計を進める。
- ・炉心材料としてフェライト鋼、ODS鋼、高ニッケル鋼等の適用を考慮し、燃料の健全性に適合するよう設定する。

### 2.1.3 資源の有効利用性

#### (1) 設計要求

- (a) 増殖炉心として、低増殖から高増殖まで柔軟に対応できること。高増殖としては、増殖比1.2程度を目標とする。増殖能力の評価においては、低除染燃料（FP混入率2wt%、MA混入率5wt%程度まで）を装荷した場合の影響について明らかにすること。なお、増殖比1.2を満たさない場合には、そのシステムと整合しうる導入シナリオを合わせて提示するとともに増殖比向上の可能性についても提示すること。
- (b) 資源の有効利用の観点から、MA核種を混入したTRU燃料を経済的に燃焼できる範囲を明確にすること。また、より多くのMA核種を混入したTRU燃料を燃焼させる場合の設計変更点及び経済的負担についても合わせて示すこと。さらに、プルトニウム専焼炉としてのプルトニウム燃焼効率の範囲も示すこと。

#### (2) 対応方針

- (a) 低増殖から高増殖まで柔軟に対応可能な炉心設計を目指す。なお、増殖比そのものよりは、高増殖として倍増時間短縮の観点で検討する。また、低除染燃料装荷の影響も評価する。
- (b) 冷却材及び燃料種別の異なる炉心概念に対し、MAの炉心装荷割合10wt%以下の範囲でMAの燃焼特性及び炉特性への影響を調べる。MA組成は、軽水炉取出及び高速炉リサイクル平衡組成の2種類を基本に検討する。必要な設計変更点は検討するが、経済的負担については概略評価とする。プルトニウム専焼炉については参考文献調査の範囲で整理する。

#### 2.1.4 環境負荷低減性

##### (1) 設計要求

- (a) 将来の廃止措置を考慮し、廃止措置のし易さ（解体性）と廃止に伴う廃棄物発生量の少なくなるよう配慮した設計であること。
- (b) 核変換による低減が有効と考えられる主要な FP 核種の選定を行い、その低減方策を示すこと。また、低減効率を向上させるために、ターゲットピンとして炉内に装荷する場合には、それによる低減効果とともに、必要な設計変更点と経済的負荷との関係を合わせて提示すること。
- (c) MA 核種を混入した TRU 燃料を経済的に燃焼できる範囲を明確にすること。この場合、MA 混入率は、FBR 使用済燃料から回収される U/Pu/MA 組成比（MA～1wt%弱）及び MA を付加的に混入した場合に炉心核特性に影響し始める率（～5wt%）を考慮して、HM あたり 1wt%、2wt%、5wt% の条件は少なくとも考慮すること。この際に MA に同伴してくる希土類元素に留意すること。また、より多くの MA 核種を混入した TRU 燃料を燃焼させる場合の設計変更点及び経済的負担についても合わせて示すこと。

##### (2) 対応方針

- (a) 冷却材及び燃料種別の異なる炉心概念に対し、乾式再処理システムの種類に依存する除染係数（DF）を考慮し、低 DF 燃料を装荷した場合の炉心特性への影響を評価する。また、FP 装荷集合体を炉心又はブランケット部に装荷した場合の FP 消滅特性及び炉特性への影響を調べる。
- (b) 冷却材及び燃料種別の異なる炉心概念に対し、MA の炉心装荷割合 10wt% 以下の範囲で MA の燃焼特性及び炉特性への影響を調べる。MA 組成は、LWR 取出及び高速炉リサイクル平衡組成の 2 種類を基本に検討する。必要な設計変更点は検討するが、経済的負担については概略評価とする。

#### 2.1.5 核拡散抵抗性

##### (1) 設計要求

- (a) 低除染燃料（FP 混入率 2wt%、MA 混入率 5wt% 程度まで）等を適用できる炉心であること。
- (b) ブランケットで純粋なプルトニウムを作る場合は、核拡散抵抗性に資する対策の考え方を示すこと。

##### (2) 対応方針

- (a) 低除染燃料装荷を前提とした炉心燃料設計を行う。
- (b) 炉側のみならずサイクル全体として検討するようにしたい。

## 2.2 設計条件及び燃料仕様設定の考え方

本研究の対象はナトリウム冷却酸化物燃料炉心であり、炉心サイズは実用化戦略調査研究におけるプラント設計との整合により下記の2通りの炉心とする。

- ・大型炉心：出力 150 万 kWe（スケールメリットによる経済性向上炉心）
- ・中型炉心：出力 50 万 kWe（モジュール化活用プラント用の炉心）

### 2.2.1 設計条件

2.1 節の設計要求事項に基づき、炉心設計検討の基本仕様及び設計条件（プラント設計との取合い条件も含む）は下記とした。

#### (1) 原子炉出力

プラント設計側から、大型炉は軽水炉の大型化の動向を考慮し電気出力 150 万 kWe に相当する炉心が設定された。また、中型炉はモジュール効果を期待できる範囲でなるべく大きくするとして電気出力 50 万 kWe 相当の炉心が設定された。プラント設計側からの温度条件により熱効率は約 42% であり、大型炉、中型炉の熱出力は下記である。

- ・大型炉熱出力：3,570 MWth
- ・中型炉熱出力：1,190 MWth

#### (2) 原子炉出入口温度

ナトリウム冷却炉であることから、実証炉設計と同一の温度条件とした。

- ・原子炉出入口温度：550℃/395℃

#### (3) 遮蔽体外接円径及び集合体全長

経済性向上の設計要求に沿って炉容器径コンパクト化を図ったプラント側との取合い条件により外接円径は大型炉、中型炉でそれぞれ下記とし、集合体全長はいずれも実証炉と同等の 4.6m 程度とする。

- ・大型炉遮蔽体外接円径：6.6m 以下
- ・中型炉遮蔽体外接円径：4.0m 以下

#### (4) 燃料バンドル部圧損

経済性向上の設計要求に沿ってループ数を削減したプラントへの適用のため、取合い条件として燃料バンドル部の圧損は約 2kg/cm<sup>2</sup> 以下を条件とする。

#### (5) 運転サイクル長さ

稼働率向上の観点から、運転サイクル長さは 12 ヶ月以上とすることとの要求に対し、実用化初期の定期検査間隔を想定して 18 ヶ月サイクル以上を条件とした。

#### (6) 制御棒配置

燃料交換機が通る通路を設ける切り欠き型 UIS 対応の制御棒配置とする。

#### (7) 再臨界回避対応機能

CDA 事象時の遷移過程における厳しい再臨界を回避するために、熔融燃料による全炉心プール形成を避けるしくみを備えた炉心とする。

(8) 燃料組成及び核定数ライブラリ

燃料組成は H11 年度の電共研<sup>[1]</sup>や JNC 内研究の成果を受け、酸化物燃料での高速炉多重リサイクル時の取出し TRU 組成である下記の組成に低除染再処理による随伴 FP(2Vol%)を考慮したものを標準組成として検討する。(軽水炉取出し TRU や高除染再処理による FP の随伴なし等の燃料組成変動時の核特性変化は別途報告する。<sup>[2]</sup>)

| Pu     | wt%  | Np     | wt% | Am     | wt% | Cm     | wt% |
|--------|------|--------|-----|--------|-----|--------|-----|
| Pu-238 | 1.1  | Np-237 | 0.5 | Am-241 | 2.0 | Cm-244 | 1.0 |
| Pu-239 | 54.1 |        |     | Am-243 | 1.0 | Cm-245 | 0.0 |
| Pu-240 | 32.1 |        |     |        |     |        |     |
| Pu-241 | 4.3  |        |     |        |     |        |     |
| Pu-242 | 3.9  |        |     |        |     |        |     |

(取出し後の冷却期間：4 年)

また、核定数ライブラリには JENDL3.2 に基づく統合炉定数 (JENDL-3.2 ADJ98)を用いる。

(9) 燃料スミア密度

炉心燃料のスミア密度は、振動充填燃料または中空ペレット燃料のいずれとなるかが未定の現状であることから、いずれの場合にも対応できる可能性がある 82%TD と設定する。また、ブランケットは中実ペレットを想定して 91%TD 程度とする。

## 2.2.2 設計目標

2.1 節の設計要求事項に基づき、炉心設計目標は下記とした。

(1) 炉心取出平均燃焼度

高速炉の発電コストを軽水炉並とするためには、燃料サイクルコストを十分に低減する必要がある。高速炉用酸化物燃料の加工コスト、再処理コストが軽水炉燃料の 3 倍であったとしても経済的に競合できるように、炉心取出平均燃焼度は 15 万 MWd/t を目標とする。

(2) 増殖比

高速炉の導入初期は、Pu の余剰が続くと考えられることから、高増殖性は必要ないが、本格導入時期に 1.2 程度の増殖性が可能となるように考慮する。設計においては、径ブラの配置等により増殖比 1.2 達成を条件として検討し、径ブラの削減等により 1.0～1.2 の範囲で柔軟な対応ができる炉心を目指す。

(3) ボイド反応度

CDA 事象時の起因過程における厳しい即発再臨界を回避するためにボイド反応度を 6\$ 程度未満とすることを目標とした。

(4) 燃焼反応度

実証炉設計並の制御棒反応度収支バランスを見込んで、制御棒誤引き抜き時の投入反応度の抑制も念頭に燃焼反応度は  $4.5\% \Delta k/k'$  程度を上限とし小さく抑えることを目標と定めた。

(5) 定格時最大線出力密度

定格時の最大線出力密度の制限は燃料の溶融限界線出力から定まるものである。本研究では実証炉設計並の出力ピーキングを見込んで定格時の最大線出力を  $430\text{W/cm}$  程度を目安として目標値に設定した。

## 2.3 炉心設計評価手法

本研究の対象はナトリウム冷却酸化物燃料炉心であり、これまでの設計研究等で蓄積されてきた核設計、熱設計、燃料設計及び遮蔽設計の各設計評価手法、設計コードシステム等を適用した。

### 2.3.1 核設計

本研究の対象となる大型炉、中型炉の何れもプラント設計側からの取合い条件により遮蔽体外接円径、集合体全長が制限されている。このため、制限寸法内に収まるような炉心配置をパラメータサーベイによる主要な核特性の解析結果を見ながら選定し、その後最終的に選定した炉心の詳細な核特性評価を実施することとした。

#### (1) 核設計評価項目

核設計評価項目は大別して下記の4項目が挙げられる。

- 燃焼特性(取出燃焼度、燃焼反応度、増殖比等)
- 制御棒反応度、反応度収支
- 各種反応度特性(ボイド反応度、ドップラ係数等)、動特性パラメータ
- 出力分布特性(最大線出力、集合体出力分布等)

炉心概念のパラメータサーベイでは、2次元RZ計算手法による燃焼特性の解析結果を比較することにより検討し、炉心・燃料仕様を選定した。制御棒反応度収支の検討は、3次元計算により制御棒反応度価値を求め燃焼反応度との関係から必要な投入反応度を確保することを確認するものである。また、各種反応度特性、出力分布特性は設計条件や設計目標が達成できることを確認すると同時に、熱設計、燃料設計及び安全設計で必要となるデータを整理するものである。

#### (2) 断面積ライブラリ

最新の評価済み中性子データライブラリーである JENDL-3.2 に基づく統合炉定数(実験解析による断面積の調整を反映済み)を用いた。統合炉定数は70群のライブラリーであるが、評価目的により少数群に縮約して用いる。表 2.1.3-1 には70群、18群、7群のエネルギー群構造を示す。

#### (3) 計算コードと計算モデル体系

- SLAROM: 高速炉用格子均質化計算コード

70群の炉定数ライブラリー(本研究では統合炉定数)を用いて、炉心の各領域毎の均質化実効断面積を PDS ファイルに出力する積分型輸送方程式コード。拡散・燃焼計算用の少数群実効断面積作成には均質モデルを用いたが、各種反応度計算用の実効断面積作成にはピンセル体系の非均質モデルを用いた。

## ○ JOINT

炉心核設計で用いる各計算コードの入出力インターフェース機能をもつコード。SLAROM コードにより出力された 70 群実効断面積を CITATION コードや PERKY コードの入力用にフォーマット変換、70 群の中性子スペクトルを用いて 70 群の実効断面積を少数群に縮約する等に用いる。

## ○ CITATION：汎用拡散計算コード

汎用の中性子多群拡散計算コードであり 1 次元から 3 次元体系までさまざまな体系を取り扱い可能である。高速炉核設計では JOINT コードとの連携システムにより入出力インターフェースや燃焼機能等を整備した CITATION-FBR を用いるのが一般的となっている。本研究では、CITATION-FBR を 2 次元 RZ 拡散・燃焼計算モデルに固定して Pu 富化度サーベイ機能や解析結果編集出力機能を付加した PENCIL コードを用いて燃焼特性を評価した。

## ○ PERKY：摂動計算コード

拡散摂動論を用いて、物質反応度価値、反応度変化及び動特性パラメータを 2 次元、3 次元体系で計算するコード。入力データには JOINT コードのインターフェース機能により、SLAROM コードで用意した実効断面積、CITATION コードの出力である中性子束、随伴中性子束を用いる。本研究では、2 次元 RZ 体系を用いて炉心の各反応度、反応度係数分布及び動特性パラメータを評価した。

## ○ MOSES

大型高速炉用に開発された 3 次元拡散・燃焼計算コード。集合体単位で入出力データを取り扱いが可能であり、バッチ分散の燃料交換も模擬出来るためより現実的な 3 次元効果も評価できる。Hex-Z(粗メッシュ、修正粗メッシュ)モデルまたは Tri-Z(詳細メッシュ)モデルがあり、炉心配置の対称性により、1/6 体系、1/3 体系、全炉心体系等の評価目的に合わせて選択できる。本研究では、Tri-Z(詳細メッシュ)モデルにより、3 次元出力分布(最大線出力、集合体出力)は 1/3 体系の拡散・燃焼計算を用いて評価し、制御棒反応度価値は全炉心体系の拡散計算を用いて評価した。

## (3) 評価条件および概略評価フロー

各評価項目の主な評価条件を下記に示す。また、図 2.3.1-1～図 2.3.1-6 に各評価項目毎の計算概略フローを示す。

## ○ 燃焼特性(取出燃焼度、燃焼反応度、増殖比等)

- ・エネルギー群数：7 群
- ・解析体系：2 次元 RZ 体系(拡散メッシュ幅 5cm 程度)
- ・燃焼方法：燃焼領域毎のサブゾーン設定による燃焼計算
- ・Pu 富化度サーベイ判断条件：

- ① 平衡サイクル末期の実効増倍率 $\sim 0.994$
- ② 燃焼ミスマッチ考慮時で最大線出力が約  $390\text{W/cm}$  程度
- 制御棒反応度、反応度収支
  - ・エネルギー群数：7 群
  - ・解析体系：3 次元 Tr-Z 全炉心体系(軸方向拡散メッシュ幅  $5\text{cm}$  程度)
  - ・炉心時期：平衡サイクル初期
  - ・制御棒挿入：最大反応度の制御棒 1 本全引き抜き
- 各種反応度特性(ボイド反応度、ドップラ係数等)
  - ・エネルギー群数：70 群
  - ・解析体系：2 次元 RZ 体系(拡散メッシュ幅  $5\text{cm}$  程度)
  - ・炉心時期：平衡サイクル末期
- 動特性パラメータ
  - ・エネルギー群数：18 群
  - ・解析体系：2 次元 RZ 体系(拡散メッシュ幅  $5\text{cm}$  程度)
  - ・炉心時期：平衡サイクル末期
- 出力分布特性(最大線出力、集合体出力分布等)
  - ・エネルギー群数：7 群
  - ・解析体系：3 次元 Tr-Z 1/3 炉心体系(軸方向拡散メッシュ幅  $5\text{cm}$  程度)
  - ・燃焼方法：分散バッチ考慮による集合体毎の燃焼計算

表 2.3.1-1 高速炉用断面積ライブラリのエネルギー群構造

| Group |     |     | Upper energy  | Lower energy          | Lethargy Width | Pu-239 Fission Spectrum |            |
|-------|-----|-----|---------------|-----------------------|----------------|-------------------------|------------|
| 7G    | 18G | 70G |               |                       |                | JENDL-3.2               | JENDL-2    |
| 1     | 1   | 1   | 10.0 (MeV)    | 7.7880 (MeV)          | 0.250          | 6.7563E-03              | 8.3498E-03 |
|       |     | 2   | 7.7880        | 6.0653                | 0.250          | 2.0776E-02              | 2.2710E-02 |
|       | 2   | 3   | 6.0653        | 4.7237                | 0.250          | 4.5128E-02              | 4.5869E-02 |
|       |     | 4   | 4.7237        | 3.6788                | 0.250          | 7.5223E-02              | 7.3294E-02 |
| 2     | 3   | 5   | 3.6788        | 2.8650                | 0.250          | 1.0288E-01              | 9.7428E-02 |
|       |     | 6   | 2.8650        | 2.2313                | 0.250          | 1.1999E-01              | 1.1210E-01 |
|       | 4   | 7   | 2.2313        | 1.7377                | 0.250          | 1.2243E-01              | 1.1520E-01 |
|       |     | 8   | 1.7377        | 1.3534                | 0.250          | 1.1226E-01              | 1.0837E-01 |
| 3     | 5   | 9   | 1.3534        | 1.0540                | 0.250          | 9.5183E-02              | 9.5137E-02 |
|       |     | 10  | 1.0540        | 0.82085               | 0.250          | 7.7814E-02              | 7.9137E-02 |
|       |     | 11  | 0.82085       | 0.63928               | 0.250          | 6.0822E-02              | 6.3114E-02 |
|       |     | 12  | 0.63928       | 0.49787               | 0.250          | 4.5993E-02              | 4.8710E-02 |
|       | 6   | 13  | 0.49787       | 0.38774               | 0.250          | 3.3801E-02              | 3.6643E-02 |
|       |     | 14  | 0.38774       | 0.30197               | 0.250          | 2.4291E-02              | 2.7021E-02 |
|       |     | 15  | 0.30197       | 0.23518               | 0.250          | 1.7212E-02              | 1.9618E-02 |
|       |     | 16  | 0.23518       | 0.18316               | 0.250          | 1.2080E-02              | 1.4072E-02 |
|       | 8   | 17  | 0.18316       | 0.14264               | 0.250          | 8.4245E-03              | 9.9987E-03 |
|       |     | 18  | 0.14264       | 0.11109               | 0.250          | 5.8271E-03              | 7.0524E-03 |
|       |     | 19  | 0.11109 (MeV) | 0.086517 (MeV)        | 0.250          | 4.0659E-03              | 4.9459E-03 |
| 4     | 9   | 20  | 86.517 (KeV)  | 67.379 (KeV)          | 0.250          | 2.8177E-03              | 3.4531E-03 |
|       |     | 21  | 67.379        | 52.475                | 0.250          | 1.9453E-03              | 2.4025E-03 |
|       |     | 22  | 52.475        | 40.868                | 0.250          | 1.3412E-03              | 1.6671E-03 |
|       |     | 23  | 40.868        | 31.828                | 0.250          | 9.2389E-04              | 1.1543E-03 |
|       | 10  | 24  | 31.828        | 24.788                | 0.250          | 6.3601E-04              | 7.9794E-04 |
|       |     | 25  | 24.788        | 19.305                | 0.250          | 4.3739E-04              | 5.5087E-04 |
|       |     | 26  | 19.305        | 15.034                | 0.250          | 3.0039E-04              | 3.7995E-04 |
|       |     | 27  | 15.034        | 11.709                | 0.250          | 2.0594E-04              | 2.6185E-04 |
|       | 11  | 28  | 11.709        | 9.1188                | 0.250          | 1.4208E-04              | 1.8035E-04 |
|       |     | 29  | 9.1188        | 7.1017                | 0.250          | 9.8079E-05              | 1.2416E-04 |
|       |     | 30  | 7.1017        | 5.5308                | 0.250          | 6.7423E-05              | 8.5444E-05 |
|       |     | 31  | 5.5308        | 4.3074                | 0.250          | 4.6342E-05              | 5.8784E-05 |
| 5     | 12  | 32  | 4.3074        | 3.3546                | 0.250          | 3.1845E-05              | 4.0433E-05 |
|       |     | 33  | 3.3546        | 2.6126                | 0.250          | 2.1874E-05              | 2.7806E-05 |
|       |     | 34  | 2.6126        | 2.0347                | 0.250          | 1.5026E-05              | 1.9120E-05 |
|       |     | 35  | 2.0347        | 1.5846                | 0.250          | 1.0311E-05              | 1.3146E-05 |
|       | 14  | 36  | 1.5846        | 1.2341                | 0.250          | 7.0733E-06              | 9.0376E-06 |
|       |     | 37  | 1.2341 (KeV)  | 0.96112 (KeV)         | 0.250          | 4.8576E-06              | 5.3758E-06 |
| 6     | 15  | 38  | 961.12 (eV)   | 748.52 (eV)           | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 39  | 748.52        | 582.95                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 40  | 582.95        | 454.00                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 41  | 454.00        | 353.58                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       | 16  | 42  | 353.58        | 275.36                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 43  | 275.36        | 214.45                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 44  | 214.45        | 167.02                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 45  | 167.02        | 130.07                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       | 17  | 46  | 130.07        | 101.30                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
| 7     | 18  | 47  | 101.30        | 78.893                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 48  | 78.893        | 61.442                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 49  | 61.442        | 47.851                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 50  | 47.851        | 37.267                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 51  | 37.267        | 29.023                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 52  | 29.023        | 22.603                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 53  | 22.603        | 17.603                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 54  | 17.603        | 13.710                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 55  | 13.710        | 10.677                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 56  | 10.677        | 8.3153                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 57  | 8.3153        | 6.4760                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 58  | 6.4760        | 5.0435                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 59  | 5.0435        | 3.9279                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 60  | 3.9279        | 3.0590                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 61  | 3.0590        | 2.3824                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 62  | 2.3824        | 1.8554                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 63  | 1.8554        | 1.4450                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 64  | 1.4450        | 1.1254                | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 65  | 1.1254        | 0.87642               | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 66  | 0.87642       | 0.68256               | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 67  | 0.68256       | 0.53158               | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 68  | 0.53158       | 0.41399               | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 69  | 0.41399       | 0.32242               | 0.250          | 0.0                     | 0.0        |
|       |     | 70  | 0.32242 (eV)  | 10 <sup>-5</sup> (eV) | 10.65          | 0.0                     | 0.0        |

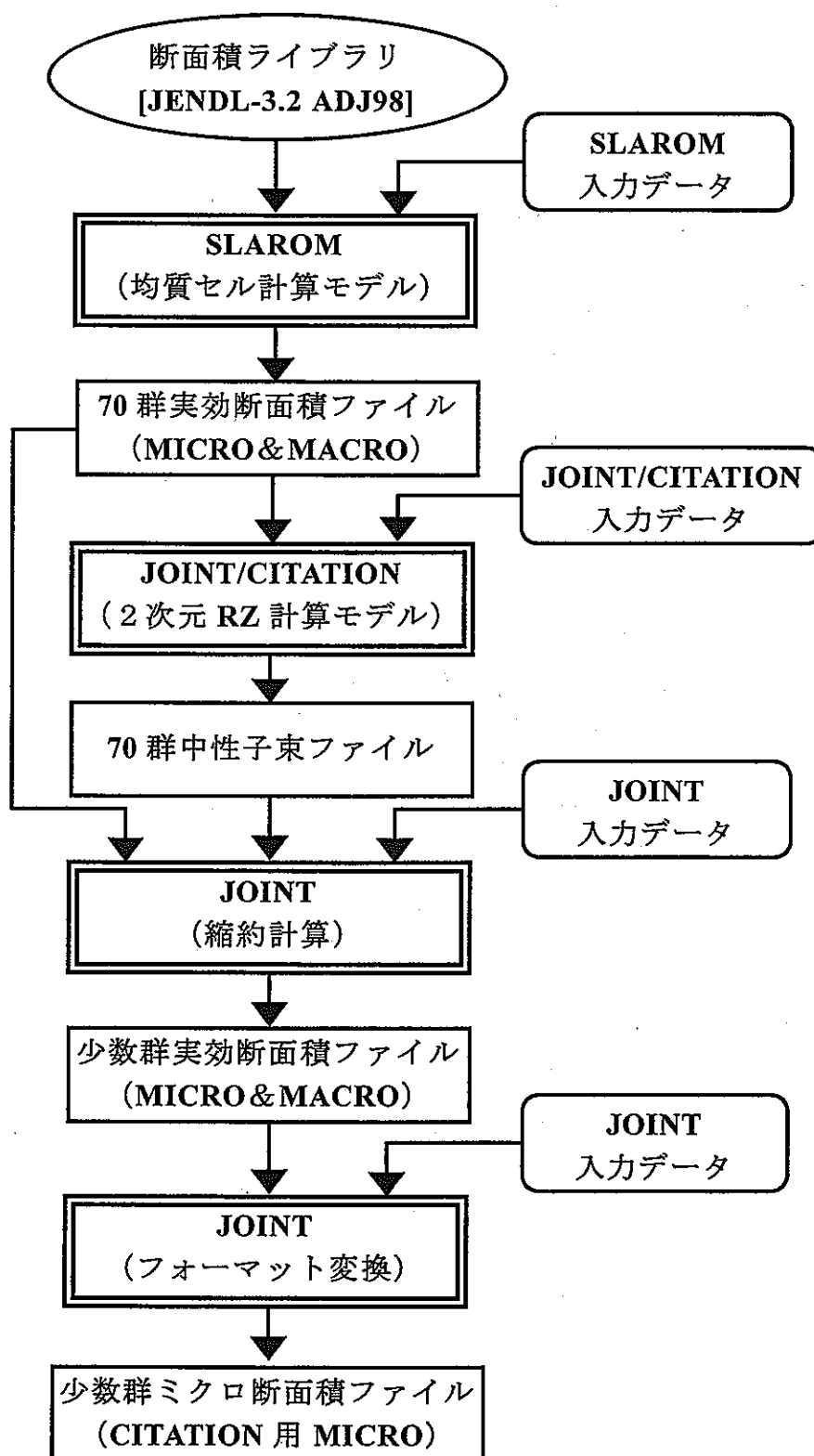


図 2.3.1-1 少数群マイクロ断面積ファイル作成概略フロー

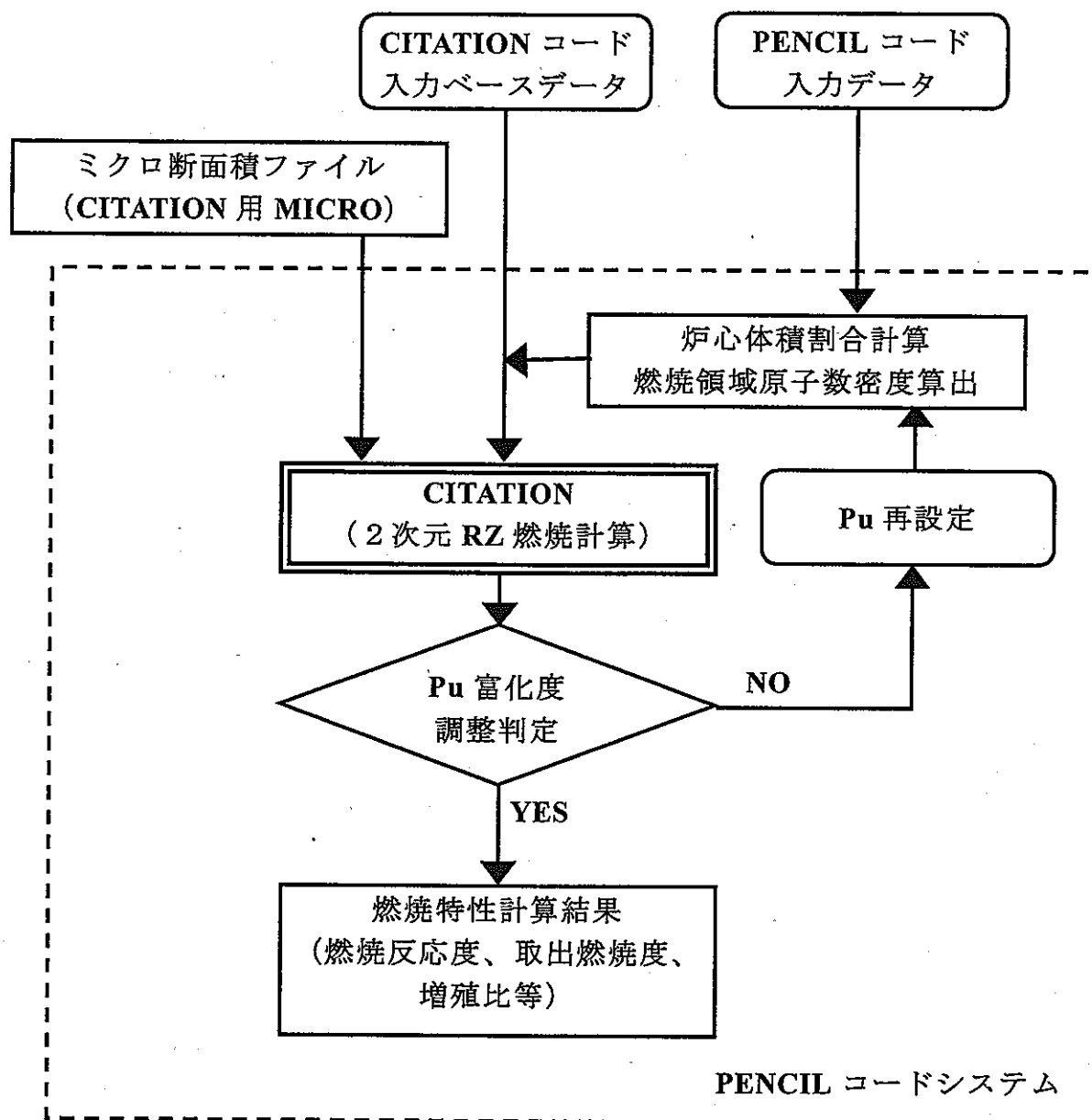


図 2.3.1-2 燃焼特性解析概略フロー (PENCIL コードシステム)

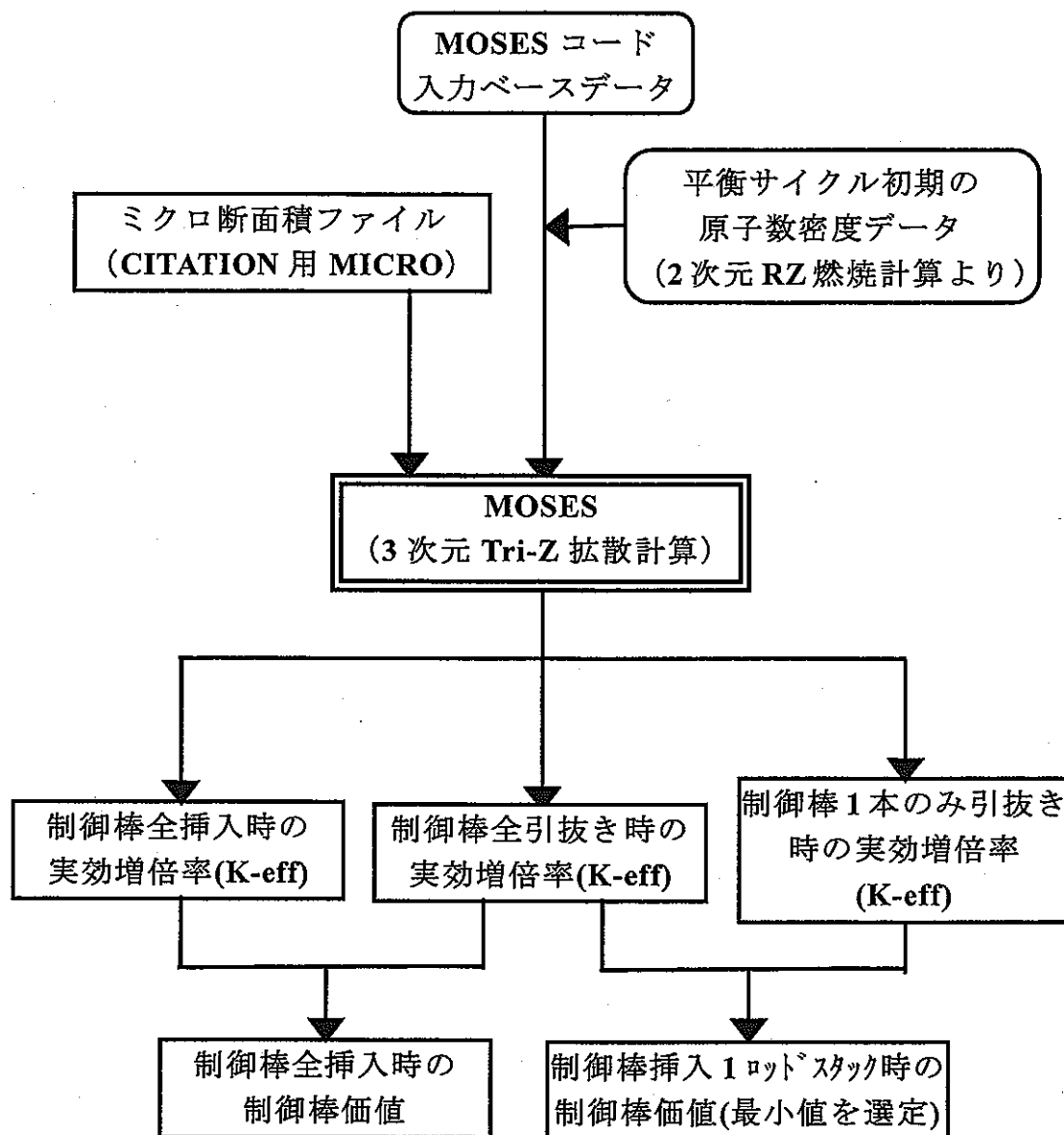


図 2.3.1-3 制御棒反応度価値計算概略フロー

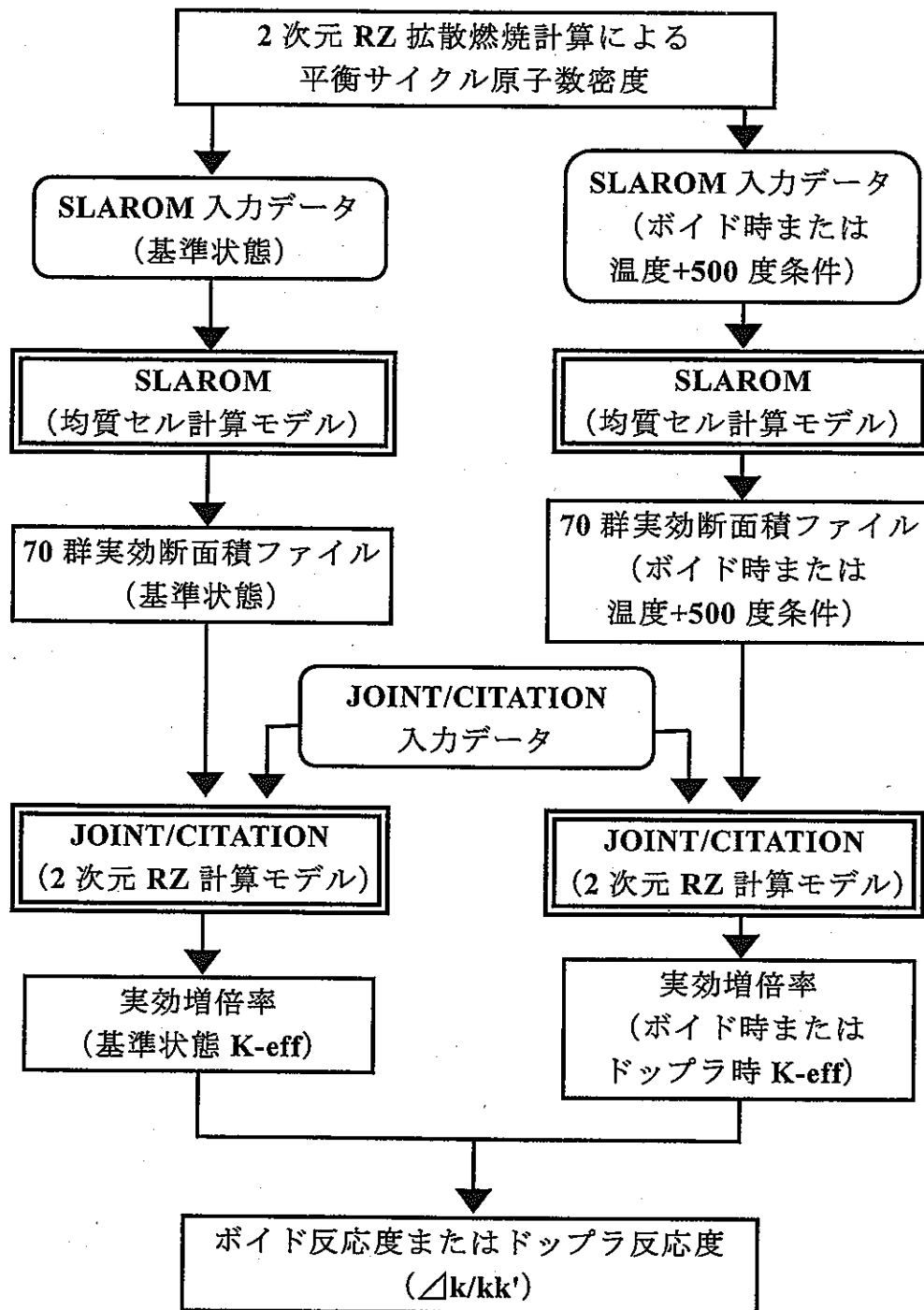


図 2.3.1-4 ボイド反応度、ドップラ反応度計算概略フロー

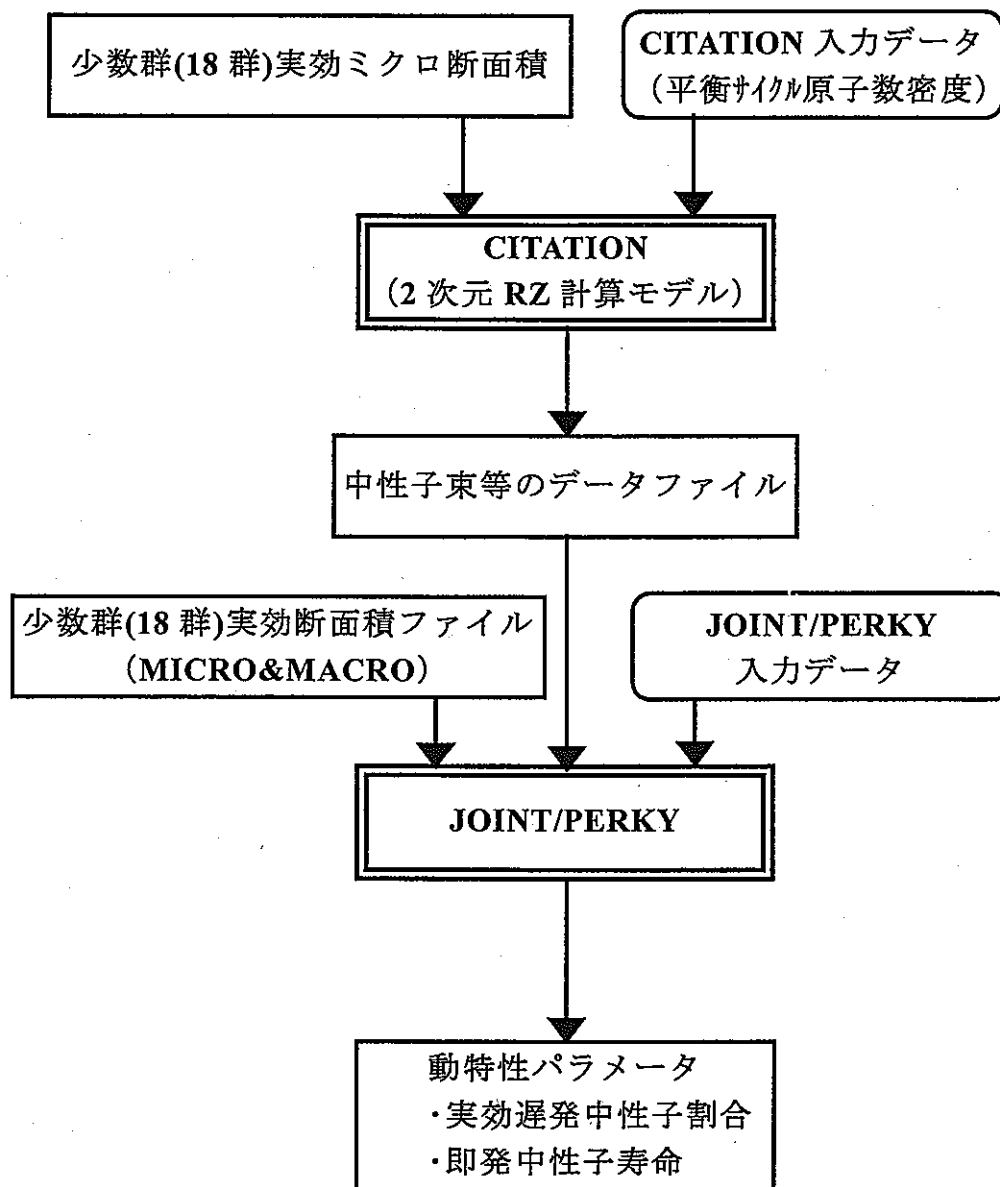


図 2.3.1-5 動特性パラメータ計算概略フロー

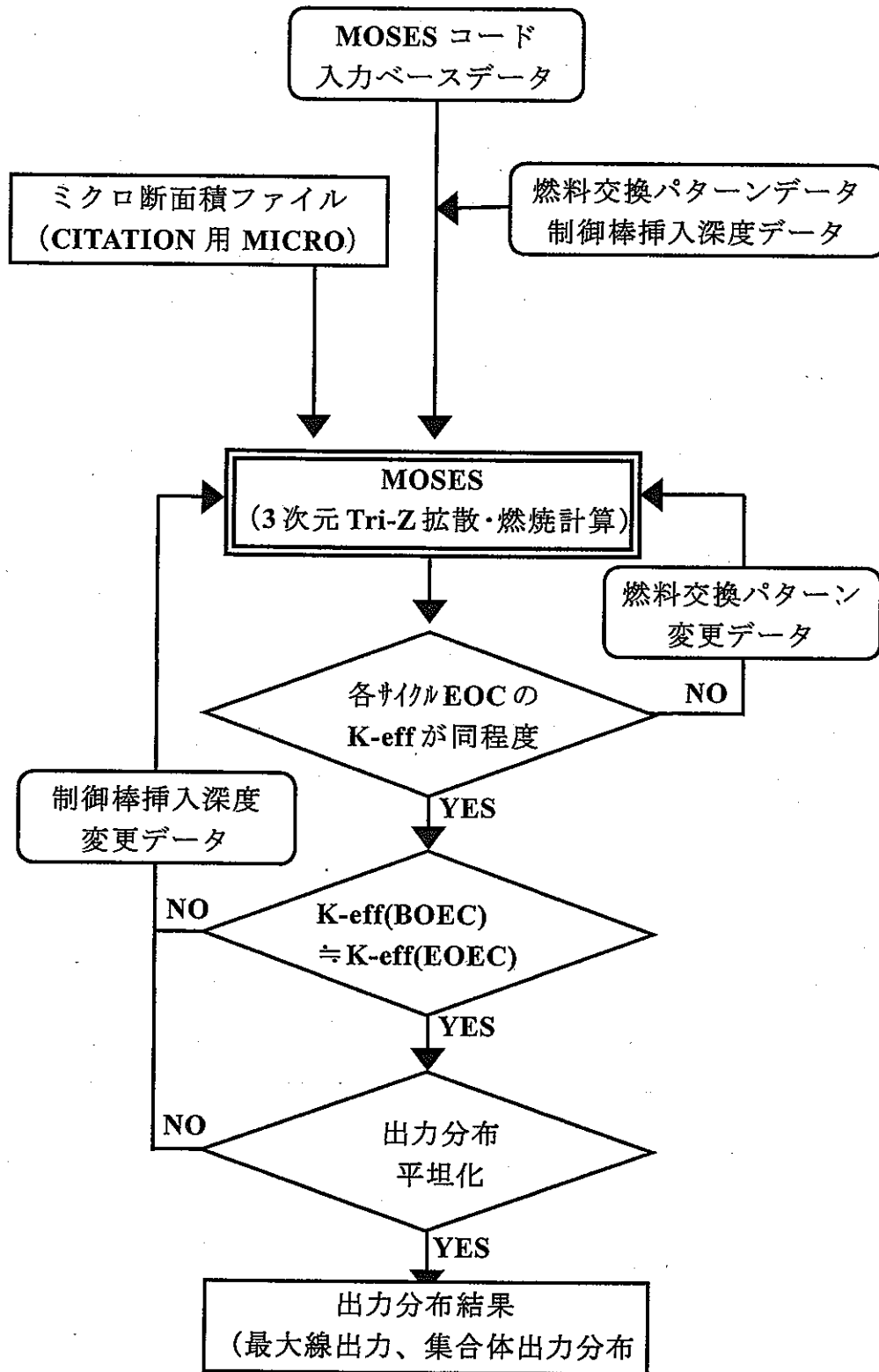


図 2.3.1-6 出力分布計算概略フロー

### 2.3.2 熱設計

#### (1) 検討項目

出力分布／履歴を入力条件として炉心流量配分設計を実施し、被覆管温度履歴、燃料集合体出口温度履歴、集合体間出口温度差等を解析評価した。径方向非均質炉心では、サーマルスライピングの観点から着目すべき項目である集合体出口温度差に関し、シャフリング等集合体出口温度差を緩和する方策についても検討を加えた。

なお、被覆管温度履歴は CDF 評価等の燃料設計検討の入力条件として用いた。

#### (2) 検討条件

検討条件を以下に示す。

- ・出力分布／履歴条件： 対象炉心に関し、3次元7群拡散燃焼計算により算出した各集合体の出力履歴。もしくは、3次元7群拡散計算により算出したバッチ平均組成の集合体出力分布、及び2次元RZ7群拡散燃焼計算により算出した集合体ミスマッチファクタによる各集合体の出力履歴。
- ・出入口温度： 550℃／395℃ ( $\Delta T=155^{\circ}\text{C}$ )
- ・被覆管最高温度： 700℃ (ホットスポット：工学的安全係数考慮)
- ・想定被覆管材： ODS 鋼

#### (3) 検討手法

流量配分検討対象集合体は、炉心燃料集合体(径非均質炉心では炉心燃料集合体と内部ブランケット燃料集合体)とした。先ず、従来検討例を参考として、1次系流量及び炉容器内流量配分を簡易的に評価し、炉心燃料集合体(径非均質炉心では炉心燃料集合体と内部ブランケット燃料集合体)に配分可能な流量を設定した。

集合体必要流量計算手法として、表 2.3.2-1 に示す簡易手法を用いた。ここで、周辺流れ効果係数、冷却材－被覆管肉厚中心の温度上昇量、HSF(ホットスポットファクタ、工学的安全係数)は、経験的な数値を仮定した。また、本手法にて集合体必要流量を評価する場合、従来は炉心上端部にて被覆管最高温度が発生すると仮定し、 $P_{SA}$ として「下部軸ブランケット出力+炉心部出力」の値を用いていたが、ここでは集合体出力を用いた。対象炉心では、上部軸ブランケット出力分担率は1%～2%(BOEC～EOEC)程度と小さいことに加えて、集合体出力が最大となる寿命中第1サイクルにおいては上部軸ブランケット出力分担率はこれらの値より更に小さいことから、 $P_{SA}$ として集合体出力を用いることが流量配分検討結果に与える影響は小さいと判断した。なお、本仮定は、必要流量として多目の値、即ち被覆管最高温度として低めの値を算出することとなり、熱設計において若干の保守側評価となる。

表 2.3.2-1 集合体必要流量計算手法

| 計算式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $T_c = (\Delta T_{Na} \times F_b \times RPF + \Delta T_o) \times HSF + T_{in}$ $W_{req} = P_{SA} / C_p / \Delta T_{Na}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| パラメータ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <p> <math>T_c</math>: 最高温度 (HS)<br/> <math>\Delta T_{Na}</math>: 集合体出口 (混合) 平均冷却材温度上昇<br/> <math>F_b</math>: バンドル部径方向温度ピーキング係数 (周辺流れ効果) 相当値 = 1.1<br/> <math>RPF</math>: 集合体内径方向出力ピーキング係数<br/> <math>\Delta T_o</math>: 冷却材-被覆管肉厚中心間温度上昇 (<math>\Delta T_{film} + 1/2 \Delta T_c</math>) 相当値 = 20°C<br/> <math>HSF</math>: 被覆管工学的安全係数 (合計) 相当値 = 1.18<br/> <math>T_{in}</math>: 入口温度<br/> <math>P_{SA}</math>: 集合体出力<br/> <math>C_p</math>: 冷却材比熱 (温度平均)<br/> <math>W_{req}</math>: 集合体必要流量 </p> |

### 2.3.3 燃料設計

対象となる各炉心について燃料設計成立性を評価するため、上述の核特性・熱特性検討の結果得られた燃料仕様、及び、線出力・被覆管最高温度の履歴に基づき、被覆管クリープ損傷寿命分数和(以下 CDF、ただし疲労の効果は小さいため未考慮)の解析を行う。

本 CDF 解析中、クリープ強度式については、H11 年度に暫定的に策定した ODS 鋼クリープ強度評価式<sup>[1]</sup>を用い、内面腐食式・外面腐食式については暫定的に PNC-FMS 鋼の腐食式<sup>[2]</sup>を適用することとした。また、燃料仕様等の不確かさは実証炉の値を外挿し、各不確かさとも CDF 評価上厳しい側に乗算的に設定することとした。CDF 解析については St ベースで評価するものとした。

### 2.3.4 遮蔽設計

現状、炉心周りの詳細構造が決まっていないこと、及びNISの配置や機能分担が決まっていないことから、炉心周りの構造物（UIS下面、下部炉心支持板上面、炉心槽内側側面）の強度に係わる高速中性子照射量を評価することとした。

以下、ナトリウム冷却酸化物燃料炉心に対し適用した遮蔽設計評価手法を示す。

#### (1) 解析体系

以下に示す考えに基づき、解析体系とする炉心状態を設定した。  
高速中性子照射量を評価するため、定格運転状態とする  
定格運転状態に合わせた各部構造・組成温度を用いる  
軸方向、半径方向ブランケットの線源が大きくなるEOECを採用する  
制御棒チャネルは、制御棒フォロワーから炉心周りへの中性子漏洩を保守的に取り扱うため、基本的にフォロワー体系とする（制御棒挿入効果の検討も実施する）

#### (2) 断面積ライブラリ

実験解析等で、その性能と炉心周り遮蔽計算精度が評価化されている  
JENDL-3.2に基づき作成された中性子300群ライブラリ  
(JSSTDJ-300-J3.2)<sup>[1][2]</sup>を用いる。

#### (3) 計算コードと計算条件

以下に示す計算コードと計算条件を使用し、解析を行った。なお、解析計算の流れを、図2.3.3-1に示す。

|        |              |                        |
|--------|--------------|------------------------|
| 計算コード： | (実効マクロ断面積計算) | MACROJ <sup>[2]</sup>  |
|        | (1次元計算)      | ANISN-W <sup>[3]</sup> |
|        | (2次元計算)      | DOT-3.5 <sup>[4]</sup> |
|        | (縮約計算)       | COMMAND <sup>[5]</sup> |
|        | (後処理計算)      | DOTDOSE                |

中性子遮蔽体より外部への透過計算のため、遮蔽計算用輸送計算コードDOT-3.5を用いる

遮蔽計算条件： 1/1 RZ 炉心モデル

エネルギー群数<sup>[6]</sup>： (1次元計算) 100群  
(2次元計算) 21群 <表2.3.3-1を参照>

角度分点： (1次元計算) S<sub>16</sub>  
(2次元計算) S<sub>8</sub> (均等 S<sub>48</sub> 相当)

散乱展開次数： P<sub>3</sub>

収束条件： <10<sup>-3</sup> (各メッシュ点)

計算メッシュ幅： 以下に示す実証炉設計で設定されたメッシュ幅を

参考に、2次元計算用のメッシュ幅を設定した<sup>1)</sup>。

|                            |                 |
|----------------------------|-----------------|
| ※ 炉心部                      | 拡散計算と同程度        |
| ※ SUS 遮蔽体                  | 2.5～3.0 cm/メッシュ |
| ※ 鉛反射体                     | 2.5～3.0 cm/メッシュ |
| ※ B <sub>4</sub> C(ZrH)遮蔽体 | 1.5～3.0 cm/メッシュ |
| ※ ナトリウム冷却材(UIS)            | 5.0～7.5 cm/メッシュ |

なお、1次元計算用のメッシュ幅は、2次元計算用のメッシュ幅の2倍程度に設定した。

#### (4) 中性子束規格化定数

DOT-3.5 の中性子束規格化定数として、炉心熱出力(Wt)、<sup>239</sup>Pu の核分裂解放エネルギー ( $K_f=198.5\text{MeV/fission}$ )、エネルギー換算係数 ( $1\text{eV}=1.602\times 10^{-19}\text{J}$ )、<sup>239</sup>Pu 高速核分裂当たりの即発中性子発生数 ( $\nu_p=2.878$ ) から、1秒間当たりの中性子発生数( $X_{NF}$ )を以下式に基づき求めた。

$$X_{NF} = \text{熱出力(Wt)} \times 2.878 / (198.5 \times 10^6 \times 1.602 \times 10^{-19}) = 3.4392 \times 10^{20} (\text{n/sec})$$

#### (5) 計算結果への補正

JSD-J2 ライブラリ (JENDL-2 ベース) による遮蔽実験解析 (JASPER) から得られた高速中性子束(<0.1MeV)に対する E/C 及びストリーミングファクター<sup>[6]</sup>を参考にし、計算値に対し以下の補正値を暫定的に使用した。

JSSTD-300-J3.2 は、JSD-J2 と比べ若干大き目の計算値を与える<sup>[7]</sup>ので、保守的評価として、補正値は JSD-J2 を使用する場合と同一とした。

|             |       |
|-------------|-------|
| ※ UIS 下面    | : 3.5 |
| ※ 炉心上部支持板上面 | : 1.7 |
| ※ 炉心槽下部内表面  | : 2.1 |

なお、本検討で用いた炉心の上下軸方向及び径方向の基本的構造は、燃料部分を除き実証炉と同等に設定した。したがって、計算結果への補正値は、実証炉を対象に設定している値を参考にできると考える。なお、遮蔽体の厚み又は材料を変更する場合には、実証炉体系に対して評価・設定した上記補正値を見直す必要がある。しかし、成立性を検討する本概念検討レベルでの補正値見直しは、不要と考えた。

<sup>1</sup> 1つの組成中では、各方向複数メッシュとし、また最低2メッシュを採用する。また、隣接するメッシュの幅は、互いに2倍(1/2)程度の関係とする。

## (6) 評価基準

炉心周りの詳細構造が決まっていない現時点では、実証炉で採られた UIS、炉心支持板、炉心槽への遮蔽基準を準用することとした。

高速中性子束(<0.1MeV)計算値に上記補正值を掛けた値が、以下の制限値以下になることを確認する。2次元 21 群中性子束計算値から、0.1MeV 以上の高速中性子束強度を求めるための重みを、表 2.3.3-1 中に示す。

プラントの運転は、稼働率 90%、40 年寿命がリファレンスであるが、60 年の寿命運転も考慮する。

|            |   | 中性子束                              |                      |                                              |
|------------|---|-----------------------------------|----------------------|----------------------------------------------|
|            |   | nvt 制限値                           | (40 年)               | (60 年)                                       |
| UIS 下面     | : | $1 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$ | $8.8 \times 10^{11}$ | $5.8 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2/\text{s}$ |
| 炉心支持板上面    | : | $5 \times 10^{21}$                | $4.4 \times 10^{12}$ | $2.9 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2/\text{s}$ |
| 炉心槽内面 (側部) | : | $2 \times 10^{21}$                | $1.7 \times 10^{12}$ | $1.1 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2/\text{s}$ |
| 炉心槽内面 (上部) | : | $1 \times 10^{21}$                | $8.8 \times 10^{11}$ | $5.8 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2/\text{s}$ |

なお、上記に示すように、炉心槽内面に対する基準値は、温度条件が高い炉心槽内面上部が一番厳しい。そこで、本検討では、炉心槽内面上部の基準値に基づき、炉心槽内面の高速中性子照射量を評価するものとした。

表 2.3.3-1 遮蔽計算における少数群エネルギー構造<sup>[6]</sup>

|             | 群  | 100 群<br>群数 | エネルギー<br>上限値(eV) | レサジー<br>幅 | 高速中性子<br>束<br>計算重み |
|-------------|----|-------------|------------------|-----------|--------------------|
| 中<br>性<br>子 | 1  | 1-10        | 1.4918+7         | 1.0       | 1.0                |
|             | 2  | 11-15       | 5.4881+6         | 0.5       | 1.0                |
|             | 3  | 16-20       | 3.3287+6         | 0.5       | 1.0                |
|             | 4  | 21-25       | 2.0190+6         | 0.5       | 1.0                |
|             | 5  | 26-30       | 1.2246+6         | 0.5       | 1.0                |
|             | 6  | 31-35       | 7.4274+5         | 0.5       | 1.0                |
|             | 7  | 36-40       | 4.5049+5         | 0.5       | 1.0                |
|             | 8  | 41-45       | 2.7324+5         | 0.5       | 1.0                |
|             | 9  | 46-51       | 1.6573+5         | 0.9       | 0.5613*            |
|             | 10 | 52-55       | 6.7379+4         | 1.0       | 0.0                |
|             | 11 | 56-59       | 2.4788+4         | 1.0       | 0.0                |
|             | 12 | 60-63       | 9.1188+3         | 1.0       | 0.0                |
|             | 13 | 64-67       | 3.3546+3         | 1.0       | 0.0                |
|             | 14 | 68-71       | 1.2341+3         | 1.0       | 0.0                |
|             | 15 | 72-75       | 4.5400+2         | 1.0       | 0.0                |
|             | 16 | 76-80       | 1.6702+2         | 1.25      | 0.0                |
|             | 17 | 81-85       | 4.7851+1         | 1.25      | 0.0                |
|             | 18 | 86-90       | 1.3710+1         | 1.25      | 0.0                |
|             | 19 | 91-95       | 3.9279+0         | 1.25      | 0.0                |
|             | 20 | 96-99       | 1.1254+0         | 1.0       | 0.0                |
|             | 21 | 100         | 4.1399-1         |           | 0.0                |
|             |    |             | 1.0000-3         |           |                    |

$$* \quad \text{LN}(1.6573+5/1.0+5)/\text{LN}(1.6573+5/6.7379+4) = 0.5613_0$$

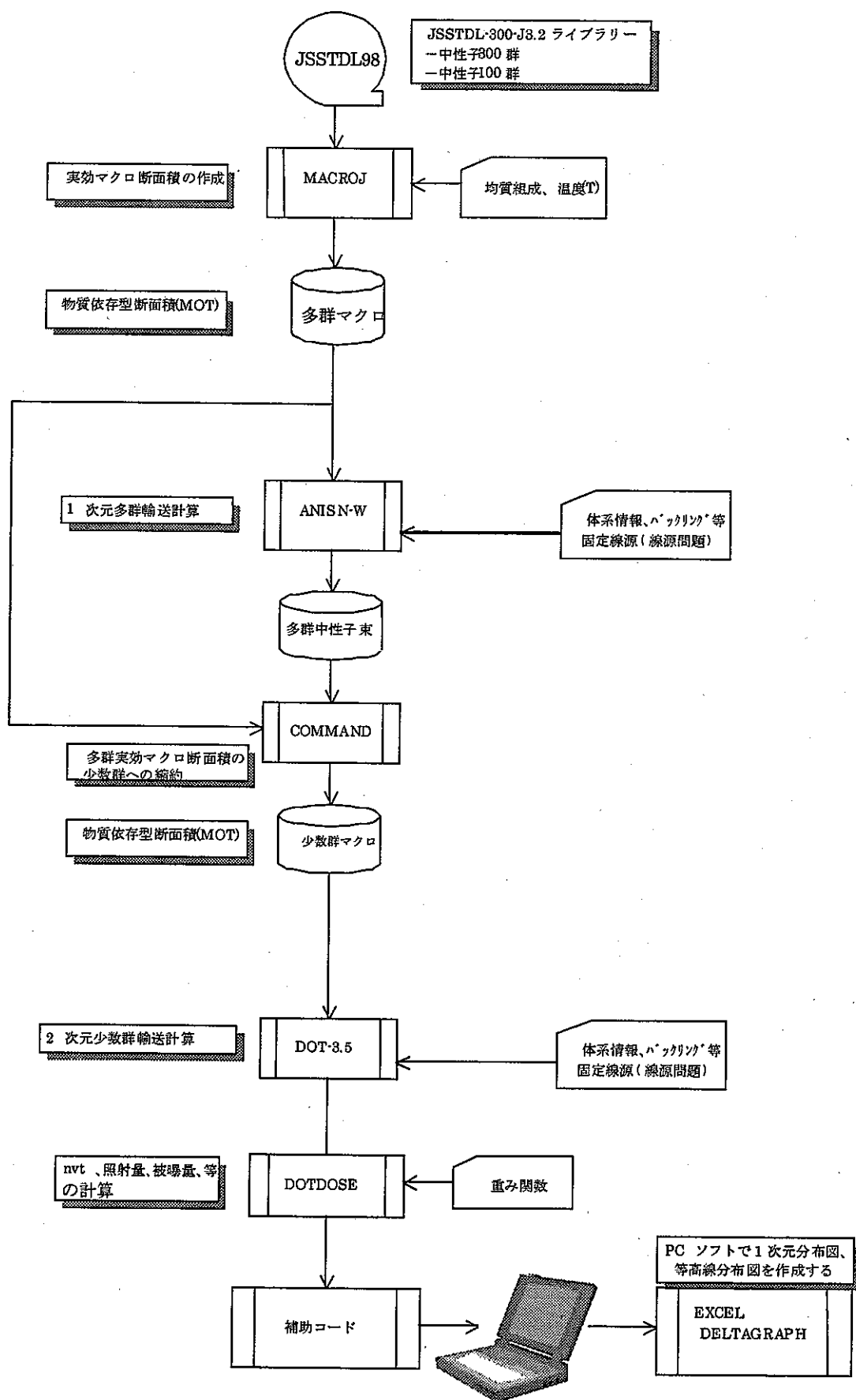


図 2.3.3-1 遮蔽計算の流れ

### 3. 大型酸化物燃料炉心における再臨界回避炉心の検討

H11 年度の検討結果から、大型酸化物燃料炉心における再臨界回避対応としては、内部ダクト付集合体、軸方向ブランケット一部削除、径方向非均質炉心等の採用が候補に上げられた。本研究では、これらの概念を組み合わせた炉心概念をより具体的なものとして仕様を選定し、炉心特性を検討した。

#### 3.1 ABLE 型燃料径方向非均質炉心の検討

ABLE 型燃料は、再臨界回避方策として炉心損傷時の熔融燃料排出を促すために従来型の燃料集合体における上下軸ブランケットの一部(この場合は中央部の 37 ピン)のペレットを削除した集合体概念である。ここでは、H11 年度の検討結果からボイド反応度の低減によって再臨界回避に対応しつつ炉心核特性向上が期待できる径方向非均質炉心に、ABLE 型燃料集合体を用いた場合の炉心特性を検討した。

2.2 節で述べた設計条件や設計目標を満足するような炉心・燃料仕様を設定し、2.3 節の炉心設計手法により炉心特性評価を行った。

##### 3.1.1 選定炉心配置及び燃料仕様

Pu 富化度サーベイにより選定した ABLE 型燃料径方向非均質炉心の炉心・燃料仕様を以下に示す。

|           |                                                                                                          |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ・炉心出力     | 3,570MWth/1,500MWe (熱効率：約 42%)                                                                           |
| ・原子炉出入口温度 | 550℃/395℃                                                                                                |
| ・炉心型式     | 炉心部 Pu 富化度 1 種類の径方向非均質炉心<br>(図 3.1.1-1 の炉心配置参照)                                                          |
| ・炉心有効長    | 100 cm                                                                                                   |
| ・炉心等価直径   | 4.91 m(炉心)/5.28 m(径ブラ)                                                                                   |
| ・遮蔽体外接円径  | 6.45 m                                                                                                   |
| ・運転サイクル長さ | 570 日 (約 19 ヶ月)                                                                                          |
| ・燃料交換バッチ数 | 炉心 4/内部ブラ 2/径ブラ 4                                                                                        |
| ・燃料仕様     | 炉心燃料：331 本バンドル ABLE 型燃料集合体<br>(表 3.1.1-1 及び 内部ブランケット：217 本バンドル集合体<br>図 3.1.1-2 を参照) 径ブランケット：127 本バンドル集合体 |

燃料集合体仕様選定においては、まずピン仕様は H11 年度の検討(再臨界排除を追求した炉心)の仕様と同一にすることとした。(ピン径 8.8mm で被覆管肉厚 0.6mm) 次に暫定仕様により Pu 富化度サーベイ行い、その過程で得られた出力分担、出力ピーキング等に基づいて想定される集合体最大流量を設定し、燃料バンドル部圧損が設計条件である約  $2\text{kg/cm}^2$  となるようなワイヤ径、集合体ピッチを選定した。最終選定仕様

の表 3.1.1-1 及び図 3.1.1-2 は、増殖比の向上に有効な軸ブラ長さ 40cm に設定し、実証炉並みの集合体全長 4.6m に収まるように選定した結果である。また、径ブランケットはブランケット体積向上のため極力太径のピンとした 127 本バンドルであるが、内部ブランケットは燃焼に伴う Pu 蓄積によって発熱量が増大するため、線出力の低減が必要であり幾分細めのピンで 217 本バンドルとした。

炉心配置は、径方向非均質炉心の利点を活かして内部ブランケットの配置により径方向出力分布の平坦化を図ることとし、Pu 富化度は 1 種類にした。制御棒配置は切り欠き UIS 対応を考慮した配置とし、内部ブランケットは再臨界回避の補助的な対策として炉心損傷時の熔融プール拡大防止壁となるような円環状配列である。内部ブランケットの体数は H11 年度の径方向非均質炉心の概略検討に基づき、炉心高さ 100cm で炉心部ボイド反応度が 6 %未満を達成できると見込んで全炉心燃料集合体の約 20%程度を目安に設定した。制御棒は主炉停止系制御棒を A 系統、B 系統の独立 2 系統とする合理化案を採用し、後備炉停止系は廃止した。

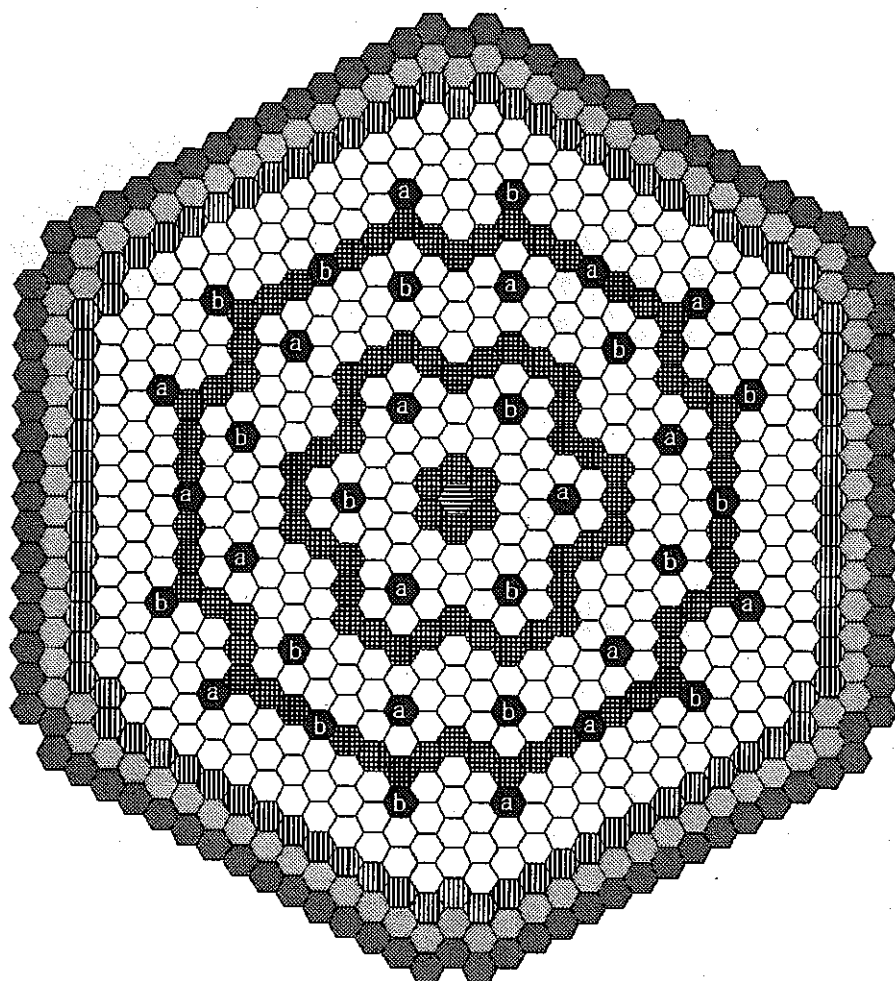
また、内部ブランケット設置により、炉心部等価直径が大きくなってしまうため径ブランケットは 1 層とし、遮蔽体厚さは ZrH 遮蔽体の採用による遮蔽性能の向上を見込んで SUS 遮蔽体 1 層、ZrH 遮蔽体 1 層と合理化している。

表 3.1.1-1 ABLE型集合体による径方向非均質炉心の燃料仕様

|                 |                         | 炉心             | 内部ブランケット       | 径ブランケット        |
|-----------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|
| 燃料形態            |                         | 酸化物燃料          | ←              | ←              |
| 炉心材料 (被覆管/ラップ管) |                         | ODS鋼/PNC-FMS   | ←              | ←              |
| 燃料要素            | 全長 (mm)                 | 2,830          | ←              | ←              |
|                 | 燃料スタック長 (mm)            | 1,000          | 1,800          | 1,800          |
|                 | 軸ブランケット厚さ (mm ; 上/下) *1 | 400/400        | —              | —              |
|                 | ガスプレナム長 (cm ; 上/下)      | 100/840        | ←              | ←              |
|                 | 端栓 (mm ; 上/中/下)         | 20/30/40       | ←              | ←              |
|                 | 被覆管外径 (mm)              | 8.8            | 10.9           | 15.4           |
|                 | 被覆管内径 (mm)              | 7.6            | 9.9            | 14.4           |
|                 | 被覆管肉厚 (mm)              | 0.6            | 0.5            | 0.5            |
|                 | 燃料スミア密度 (%)             | 82.0           | 91.4           | 91.4           |
| 集合体             | 全長 (mm)                 | 4,600          | ←              | ←              |
|                 | 燃料ピン本数 (本)              | 331            | 217            | 127            |
|                 | 燃料ピンピッチ/燃料ピン外径 (P/D)    | 1.16           | 1.14           | 1.07           |
|                 | ラップ管肉厚 (mm)             | 5.0            | 7.0            | 5.0            |
|                 | ラップ管外対面距離 (mm)          | 198.0          | ←              | ←              |
|                 | 集合体間ギャップ (mm)           | 3.0            | ←              | ←              |
|                 | 集合体配列ピッチ (mm)           | 201.0          | ←              | ←              |
|                 | ワイヤ径 (mm)               | 1.34           | 1.32           | 1.00           |
|                 | ワイヤ巻付ピッチ (mm)           | 200            | 180            | ←              |
|                 | 燃料体積割合 (%) *2           | 42.9<br>(35.2) | 48.0<br>(43.8) | 59.1<br>(54.0) |
|                 | 構造材体積割合 (%)             | 25.5           | 24.2           | 18.3           |
|                 | 冷却材体積割合 (%)             | 31.6           | 27.8           | 22.6           |

\*1 : 溶融燃料排出孔として37ピン削除

\*2 : 被覆管内側、( )内は実効燃料体積割合



|     |           |      |
|-----|-----------|------|
|     | 炉心燃料集合体   | 408体 |
|     | 内部ブランケット  | 96体  |
|     | 径方向ブランケット | 84体  |
|     | SUS集合体    | 1体   |
|     | SUS遮蔽体    | 90体  |
|     | ZrH遮蔽体    | 96体  |
|     | A系統制御棒    | 18体  |
|     | B系統制御棒    | 18体  |
| 合 計 |           | 811体 |

図 3.1.1-1 大型径方向非均質炉心の炉心配置

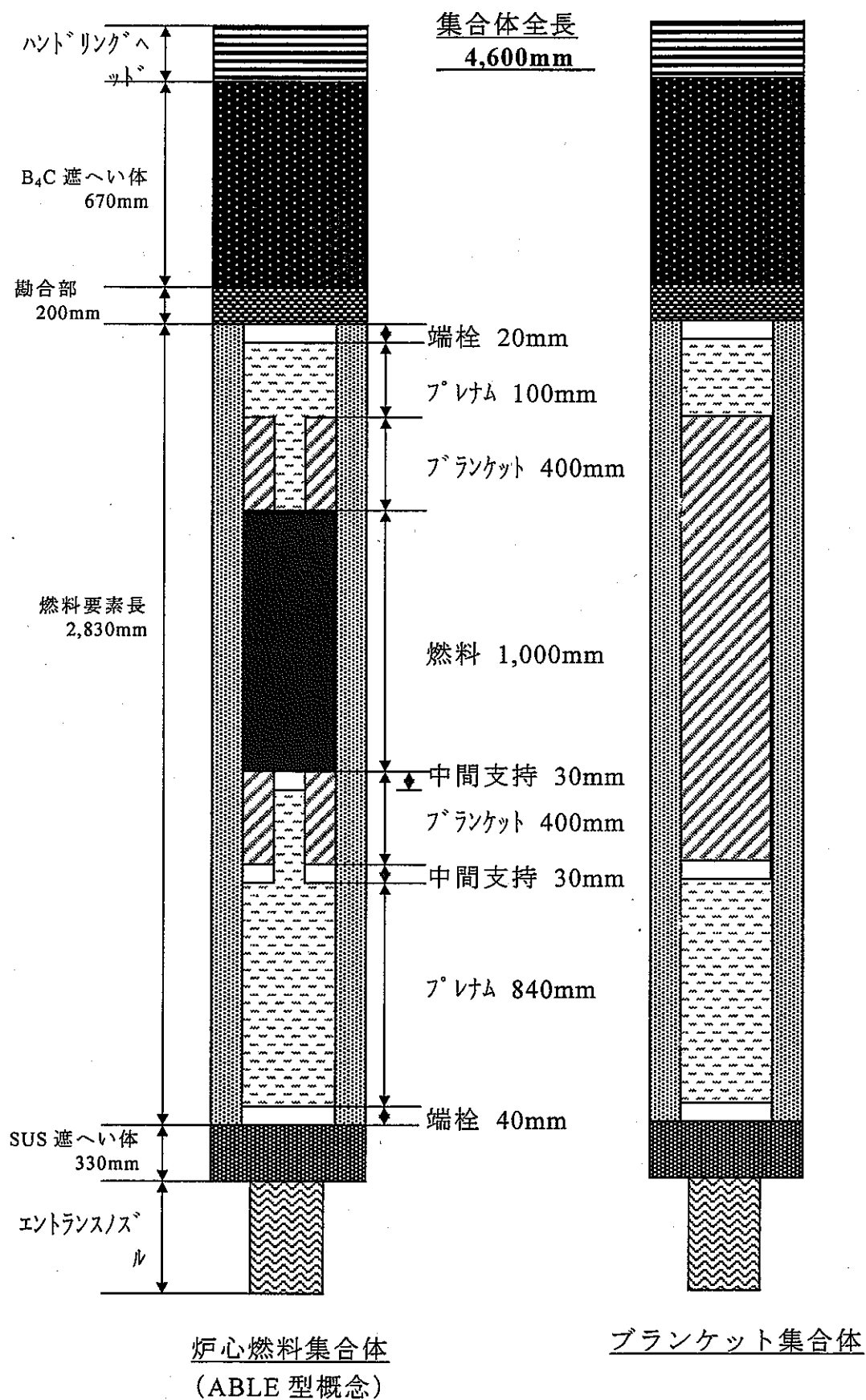


図 3.1.1-2 大型径方向非均質炉心における炉心燃料集合体基本寸法

### 3.1.2 核特性評価

前記の選定炉心における核特性評価として、2.3.1 に示す核設計評価手法に基づき、燃焼特性、各種反応度特性、制御棒反応度収支および出力分布特性を検討した。以下に評価結果を示す。

#### (1) 炉心燃焼特性

ABLE 型燃料大型径方向非均質炉心の燃焼特性を表 3.1.2-1 に示す。また、領域別物質収支を表 3.1.2-2 に示す。図 3.1.2-1 には 2 次元 RZ 炉心計算体系を示す。

表 3.1.2-1 より、運転サイクル長さは約 19 ヶ月で炉心燃料と径ブランケットは 4 バッチ交換であるが、内部ブランケットは 2 バッチ交換である。これは、内部ブランケットは燃焼による Pu の蓄積により出力の変動が大きくなるため、早期に取出して熱設計上の影響を抑制しようとしたものである。炉心部の取出し平均燃焼度は 147GWd/t であり、目標の約 15 万 MWd/t を達成している。主要な燃焼特性は、燃焼反応度が  $2.1\% \Delta k/k'$ 、増殖比が 1.24、原子炉倍增時間が 25 年になり、複合システム倍增時間は 33 年(燃料炉外時間滞在期間:5 年、炉外核分裂物質損失率:2%、燃交・定検期間:42 日の場合)となり、いずれも設計要求を満足する見通しである。

すなわち、選定した ABLE 型燃料大型径方向非均質炉心は燃焼特性に関する設計要求を満足し、取出燃焼度約 15 万 MWd/t を達成しつつ 1.2 以上の高増殖比の達成が可能との見通しが得られた。

#### (2) 各種反応度特性

##### (i) 反応度係数

従来の設計手法では、各反応度係数の評価において SLAROM コードの均質モデルにより集合体セルの均質化実効断面積を作成し、実験解析等に基づく非均質効果を別途補正していた。しかし、本研究では集合体サイズの大型化や径方向非均質炉心等のこれまでとは異なる概念であることから、解析的に集合体内の非均質性を考慮することとして、SLAROM コードでのピンセル体系の非均質モデルを用いて各反応度係数を評価した。この結果、ドップラ係数については温度変化は燃料ペレットのみとすることが可能となり、構造材と冷却材の温度は不変とした評価になる。従って、本研究におけるドップラ係数には従来の均質モデルの場合に含まれていた構造材の温度変化効果分が含まれないことに注意が必要である。炉心計算は前記燃焼特性と同様の 2 次元 RZ 炉心計算体系である。

表 3.1.2-3 に、集合体内非均質モデルを用いた ABLE 型燃料大型径方向非均質炉心平衡サイクル末期の各反応度係数を示す。

ナトリウムボイド反応度は炉心部が約 5\$ となり、目標である炉心部 6\$ 未満を満足する。また、ドップラ係数は、通常時では炉心部で -3.44

$\times 10^{-3} \text{Tdk/dT}$ 、炉心部とブランケット部の合計で  $-6.33 \times 10^{-3} \text{Tdk/dT}$  であり、ボイド時では炉心部で  $-2.64 \times 10^{-3} \text{Tdk/dT}$ 、炉心部とブランケット部の合計で  $-5.44 \times 10^{-3} \text{Tdk/dT}$  である。なお、表 3.1.2-3 に示す炉心 1~炉心 3 は内部ブランケットで区切られた炉心領域を内側から順に示している。

また、表 3.1.2-4 には参考として非均質ピンセルモデルと均質モデルでのボイド反応度、ドップラ係数を比較して示す。表 3.1.2-4 より、本研究で採用した非均質ピンセルモデルによるボイド反応度は均質モデルの場合と比べて約 7% 小さくなり、従来の実験解析等では言われている非均質効果補正とほぼ同程度である。一方、ドップラ反応度は非均質効果だけを取り出してみると約 +6% と従来の実験解析等では言われている非均質効果補正と同程度であるが、燃料物質以外の温度を固定したことにより構造材のドップラ効果(表 3.1.2-4 より 10%以上)が分離されて含まれなくなったため、従来の均質モデルの計算に比べると約 6% 小さくなる。

#### (ii) 動特性パラメータ

均質モデルによる平衡サイクル末期の動特性パラメータ解析結果を表 3.1.2-5 に示す。

遅発中性子割合は  $3.31 \times 10^{-3}$ 、即発中性子寿命は  $3.63 \times 10^{-7} \text{sec}$  になった。

### (3) 制御棒反応度、反応度収支

ABLE 型燃料大型径方向非均質炉心の制御棒反応度、反応度収支を評価し、制御棒設計の成立性を検討した。制御棒構成は、配置及び反応度価値が等価の主炉停止系独立 2 系統とする概念を想定し、後備停止系は排除した。また、その仕様はナトリウム冷却酸化物燃料炉心の先行設計例を参考に、B4C 体積率：40%、B10 濃縮度：90wt%を暫定した。両系統作動時の制御棒価値は、制御棒全引き抜きから全挿入のワースを求め、片系統作動時の制御棒価値は、サイクル初期の通常運転状態の制御棒中途挿入状態(出力分布が平坦となるように設定した第 1 リング：20cm、第 2 リング：40cm、第 3 リング(1)：20cm、第 3 リング(2)：50cm 挿入)を基準として片系統の制御棒全挿入時のワースを求めた。いずれもワンロッドスタックを考慮した評価であり、図 3.1.2-2 にワンロッドスタック制御棒の位置を示す。

表 3.1.2-6 に制御棒反応度価値計算結果を示す。両系統作動時におけるワンロッドスタック時の制御棒価値は  $6.57\% \Delta k/kk'$  (ノミナル値)であり、昨年度と同様に各種補正 15.5%、設計予測誤差 10%を考慮すると  $5.00\% \Delta k/kk'$  となる。また、片系統作動時におけるワンロッドスタック時の制御棒価値は  $2.19\% \Delta k/kk'$  (ノミナル値)であり、各種補正、設計予測誤差を考慮すると  $1.67\% \Delta k/kk'$  となる。

なお、反応度収支の評価における必要制御反応度の内訳は下記により設定した。

a) 温度・出力補償

2次元 RZ 体系による 70 群拡散計算（均質モデル）により、炉心の全ての領域が、基準温度状態（定格運転時）から、低温停止状態（180℃）に変化した場合の反応度変化を求め、温度・出力補償とした。

|                 |        |                      |
|-----------------|--------|----------------------|
| ○実効増倍率 (EOEC) : | 基準温度状態 | 0.99437              |
|                 | 低温状態   | 1.00249              |
| 反応度変化 (温度・出力補償) |        | 0.81% $\Delta k/kk'$ |

b) 燃焼補償

基準組成での燃焼反応度は 2.08%  $\Delta k/kk'$  であったが、燃料組成の変動を考慮し別途実施した核特性評価の結果から、燃焼反応度の大きかった中燃焼度 U 軽水炉取出 Pu 組成の場合の燃焼反応度（ノミナル計算値：2.78%  $\Delta k/kk'$ ）を燃焼補償とした。

c) 燃料交換余裕、運転余裕

MOX 燃料炉心の先行設計に準じた目標値として、それぞれ 0.10%  $\Delta k/kk'$ 、0.20%  $\Delta k/kk'$  とする。

d) 核計算不確かさ補償

昨年度と同様に不確かさ補償は 1  $\sigma$  とした。燃料製作公差は Pu 富化度の製作公差として設定した。もんじゅで Pu 富化度の製作公差として富化度の絶対値で 0.6wt% と与えられており、本炉心での Pu 富化度 0.6wt% 変化時の反応度変化を評価した結果 1.19%  $\Delta k/kk'$

(BOL) であった。燃料交換バッチが 4 バッチであり、異なるバッチ間では誤差はランダムであると想定して、1  $\sigma$  レベルの値で

$(1.19/3) / \sqrt{4} = 0.20\% \Delta k/kk'$  と設定した。

e) 最大余剰反応度

MOX 燃料炉心の先行設計に準じた目標値として、臨界性予測誤差は 1  $\sigma$  で 0.44%  $\Delta k/kk'$ 、燃料製作公差は 2  $\sigma$  で 0.40%  $\Delta k/kk'$  を設定する。

f) 事故時投入反応度

事故時の投入反応度 (0.52%  $\Delta k/kk'$ ) は、通常運転状態からの制御棒 1 本誤引き抜き時の最大ワースを求め、不確かさ 10% を考慮した値を加えたものとした。

表 3.1.2-7 にはそれぞれの制御棒作動状態における反応度収支を示す。反応度収支の詳細を下記に示す。表 3.1.2-7 より、両系統作動時、片系統作動時のいずれも反応度停止余裕は 1%  $\Delta k/kk'$  未満と小さいものの成立する見通しである。

## (4) 出力分布特性

ABLE 型燃料大型径方向非均質炉心の出力分布特性として、最大線出力を評価し、流量配分検討、燃料健全性検討等に用いる出力分布等を整理した。なお、出力分布の検討は燃焼反応度が大きく燃焼ミスマッチも大きくなる中燃焼度ウラン燃料軽水炉取出しの組成を用いて評価した。また、制御棒は、平衡サイクル末期は全引き抜き状態（パーク位置）とし、平衡サイクル初期には燃焼反応度分の反応度が出力分布平坦化の状態で投入されるように挿入量をサーベイし、制御棒挿入深度を設定した。図 3.1.2-3 に 3 次元拡散・燃焼計算での炉心配置(1/3 炉心体系)と集合体番号を示し、図 3.1.2-4 には燃料交換バッチ番号を示す。(ここで、第 2 リングの制御棒配置は最終選定炉心と異なりサーベイ検討の途中のものである。しかし、フェーズ I 段階での炉心概念検討では、その差による出力分布への影響は許容範囲であると判断した。)

## (i) 2 次元 RZ 計算による出力分布、中性子束分布

図 3.1.2-5～図 3.1.2-6 に、参考値ではあるが 2 次元 RZ 計算による燃焼特性評価時に得られた平衡サイクルの出力分布、中性子束分布を示す。径方向分布は内部ブランケット領域の中性子束吸収により、出力分布も落ち込んでいることがわかる。

## (ii) 最大線出力密度

表 3.1.2-8 に、平衡サイクルの代表サイクル（ここでは第 6 サイクル）で制御棒挿入深度をサーベイした解析結果を示す。実効増倍率が平衡サイクル末期と同程度で最大線出力密度が最小となる制御棒挿入深度として第 1 リング：20cm、第 2 リング：40cm、第 3 リング(1)：20cm、第 3 リング(2)：50cm を選定した。この時の最大線出力密度は 430W/cm である。

次に、燃料交換が 4 バッチ交換であることから平衡サイクル 4 サイクル分の最大線出力の推移を同一の制御棒挿入深度で評価した。評価結果を表 3.1.2-9 に示す。表 3.1.2-9 より、第 9 サイクルで炉心(1)の領域で最大線出力が約 500W/cm という計算結果であるが、炉心(2)の領域では約 410 W/cm と小さくなっており制御棒挿入深度を調整すれば 430W/cm 程度に抑制が可能と思われる。すなわち、燃料交換バッチパターンと制御棒運用の組合せの適正化により、平衡サイクルを通じた最大線出力密度を 430W/cm 程度とすることが可能と判断し、第 6 サイクルを代表サイクルとした。一方、内部ブランケットの最大線出力密度は燃焼が進んだサイクル末期で発生しており約 290W/cm 程度、径ブランケットの最大線出力密度はサイクル初期で発生しており約 380W/cm 程度である。

以上より、炉心燃料の最大線出力密度は目標とした 430W/cm 程度

にできる見通しであり、ブランケット燃料では充分低い値である。

(iii) 代表サイクルの集合体出力分布

表 3.1.2-10 及び図 3.1.2-7 に平衡サイクルの代表サイクル（第 6 サイクル）における径方向出力分布と集合体内径方向ピーキングを示す。また、表 3.1.2-11 及び図 3.1.2-8 には、炉心、内部ブランケット、径ブランケット毎のそれぞれの領域での出力が最大となる集合体の軸方向出力密度分布を示す。平衡サイクルの軸方向出力分布は中途挿入の制御棒の効果により、炉心上半分の出力が幾分歪んでいることがわかる。

(iii) 集合体出力最大値及び集合体出力履歴

熱設計、燃料設計で必要となる炉心燃料集合体、ブランケット燃料集合体の集合体出力最大値（4 サイクル分の最大値）および集合体出力履歴を算出した。

図 3.1.2-9 に炉心燃料集合体、ブランケット燃料集合体の集合体出力最大値（4 サイクル分の最大値）の分布を示す。炉心燃料の集合体最大出力は 12.4MW であり、内部ブランケット燃料集合体では 5.2MW、径ブランケット燃料集合体では 2.7MW である。また、表 3.1.2-12 及び図 3.1.2-10 には代表集合体として、各領域毎の最大出力発生集合体の集合体出力履歴を示す。炉心燃料は燃焼するにつれて出力が低下していくが、ブランケット燃料は燃焼と共に Pu の蓄積により出力が増加することがわかる。また、出力の変動幅は炉心燃料では最大で約 6MW であるが、ブランケットでは 2MW 程度であり、内部ブランケットも 2 バッチ交換として早期に取出していることにより 4MW 程度の変動に留まっている。

表 3.1.2-1 ABLE型集合体による径方向非均質炉心の炉心特性

|                                                      |      |                          |
|------------------------------------------------------|------|--------------------------|
| 原子炉熱出力 (MWth)                                        |      | 3,570                    |
| 運転サイクル長さ (日)                                         |      | 570                      |
| 燃料交換バッチ[炉心/内部ブラ/径ブラ]                                 |      | 4/2/4                    |
| Pu富化度 (wt%) [1 領域]                                   |      | 25.8                     |
| 炉心部取出平均燃焼度 (MWd/t)                                   |      | 147,000                  |
| 燃焼反応度 ( $\% \Delta k/k'$ )                           |      | 2.1                      |
| 増殖比 (-)<br>[炉心/軸ブラ/内部ブラ/径ブラ/合計]                      | 平衡初期 | 0.64/0.19/0.28/0.13/1.25 |
|                                                      | 平衡末期 | 0.62/0.20/0.29/0.12/1.22 |
|                                                      | 平均   | 0.63/0.20/0.29/0.12/1.24 |
| 炉心平均出力密度 (W/cc ; 平衡中期)                               |      | 177                      |
| 炉心部平均線出力密度 (W/cm ; 平衡中期)                             |      | 248                      |
| 最大線出力密度 (W/cm) *1                                    | 平衡初期 | 430                      |
|                                                      | 平衡末期 | 374                      |
| 出力分担率 (%)<br>[炉心/軸ブラ/内部ブラ/径ブラ]                       | 平衡初期 | 89.9/3.2/4.7/2.2         |
|                                                      | 平衡末期 | 83.1/4.7/9.6/2.6         |
| ピーク高速中性子束 ( $\times 10^{15}$ n/cm <sup>2</sup> sec)  |      | 2.2                      |
| ピーク高速中性子フルエンス ( $\times 10^{23}$ n/cm <sup>2</sup> ) |      | 4.3                      |
| 初装荷核分裂性Pu重量 (kg)                                     |      | 7,556                    |
| 平衡サイクル核分裂性Pu重量 (kg)                                  | 平衡初期 | 7,759                    |
|                                                      | 平衡末期 | 8,238                    |
| 年間核分裂性Pu利得 (kg/年)                                    |      | 307                      |
| 原子炉倍增時間 (年)                                          |      | 25                       |
| 複合システム倍增時間 (年) *2                                    |      | 33                       |
| 炉心部ボイド反応度 (\$) ; 平衡末期) *3 *4                         |      | 5.0                      |
| 炉心部ドップラ係数 ( $\times 10^{-3}$ Tdk/dT ; 平衡末期) *4       |      | -3.4                     |

\*1 : 燃焼ミスマッチファクタ及び3次元効果考慮

\*2 : 燃料炉外滞在期間 5年、燃交・定検期間 42日、炉外核分裂性物質損失率 2%

\*3 : ラップ管内側のみボイド化

\*4 : 集合体内非均質効果考慮

表 3.1.2-2(I) 大型径方向非均質炉心の領域別物質収支(高速炉多重リサイクル取出しTRU+FP(2Vol%)の組成時)(1/2)

| 炉心燃料領域合計 [kg]      |          |          |          |          |          |          | 炉心燃料領域(1) [kg]     |         |         |         |        |         |         |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|
|                    | 初核荷炉心    | 平衡初期     | 平衡末期     | バランス     | 新燃料装荷    | 取出し燃料    |                    | 初核荷炉心   | 平衡初期    | 平衡末期    | バランス   | 新燃料装荷   | 取出し燃料   |
| PU238              | 142.3    | 154.4    | 152.4    | 7.9      | 35.6     | 43.5     | PU238              | 18.8    | 20.5    | 21.6    | 1.1    | 4.7     | 5.8     |
| PU239              | 8,999.9  | 8,081.7  | 5,520.1  | -541.8   | 1,750.0  | 1,208.4  | PU239              | 926.5   | 797.3   | 724.5   | -72.8  | 231.6   | 158.8   |
| PU240              | 4,153.3  | 4,089.1  | 3,992.0  | -77.1    | 1,038.3  | 961.2    | PU240              | 549.7   | 538.9   | 528.9   | -10.0  | 137.4   | 127.4   |
| PU241              | 556.4    | 581.4    | 591.7    | 10.3     | 139.1    | 149.4    | PU241              | 73.6    | 77.8    | 79.5    | 1.7    | 18.4    | 20.1    |
| PU242              | 504.8    | 487.6    | 477.3    | -10.3    | 126.2    | 115.9    | PU242              | 66.8    | 64.5    | 63.2    | -1.3   | 16.7    | 15.4    |
| U235               | 105.0    | 73.5     | 56.0     | -17.5    | 26.3     | 8.8      | U235               | 13.9    | 9.5     | 7.2     | -2.4   | 3.5     | 1.1     |
| U238               | 0.0      | 6.3      | 9.8      | 3.3      | 0.0      | 3.3      | U238               | 0.0     | 0.9     | 1.3     | 0.4    | 0.0     | 0.4     |
| U238               | 34,901.7 | 33,037.7 | 31,809.1 | -1,228.6 | 8,725.4  | 7,496.8  | U238               | 4,619.3 | 4,357.8 | 4,189.1 | -168.8 | 1,154.8 | 988.0   |
| NP237              | 64.8     | 55.7     | 50.4     | -5.3     | 16.2     | 10.9     | NP237              | 8.6     | 7.3     | 6.8     | -0.7   | 2.1     | 1.4     |
| NP239              | 0.0      | 4.7      | 8.1      | 1.5      | 0.0      | 1.5      | NP239              | 0.0     | 0.7     | 0.9     | 0.2    | 0.0     | 0.2     |
| AM241              | 259.0    | 241.2    | 231.0    | -10.2    | 64.8     | 54.6     | AM241              | 34.3    | 31.4    | 29.9    | -1.5   | 8.6     | 7.1     |
| AM242              | 0.0      | 9.1      | 13.4     | 4.4      | 0.0      | 4.4      | AM242              | 0.0     | 1.2     | 1.8     | 0.6    | 0.0     | 0.6     |
| AM243              | 129.5    | 130.7    | 131.2    | 0.5      | 32.4     | 32.9     | AM243              | 17.1    | 17.3    | 17.4    | 0.1    | 4.3     | 4.4     |
| CM242              | 0.0      | 10.6     | 14.0     | 3.4      | 0.0      | 3.4      | CM242              | 0.0     | 1.5     | 2.0     | 0.5    | 0.0     | 0.5     |
| CM243              | 0.0      | 0.7      | 1.1      | 0.4      | 0.0      | 0.4      | CM243              | 0.0     | 0.1     | 0.2     | 0.1    | 0.0     | 0.1     |
| CM244              | 129.5    | 137.7    | 142.9    | 5.2      | 32.4     | 37.6     | CM244              | 17.1    | 18.3    | 19.1    | 0.7    | 4.3     | 5.0     |
| CM245              | 0.0      | 10.9     | 16.9     | 6.0      | 0.0      | 6.0      | CM245              | 0.0     | 1.5     | 2.4     | 0.8    | 0.0     | 0.8     |
| U235-FP            | 0.0      | 280.3    | 462.7    | 182.4    | 0.0      | 182.4    | U235-FP            | 0.0     | 38.3    | 62.8    | 24.4   | 0.0     | 24.4    |
| U238-FP            | 0.0      | 26.8     | 41.7     | 14.8     | 0.0      | 14.8     | U238-FP            | 0.0     | 3.7     | 5.7     | 2.0    | 0.0     | 2.0     |
| Pu239-FP           | 0.0      | 1999.2   | 3255.5   | 1256.3   | 0.0      | 1256.3   | Pu239-FP           | 0.0     | 278.3   | 449.5   | 171.2  | 0.0     | 171.2   |
| Pu241-FP           | 0.0      | 634.3    | 1068.1   | 433.8    | 0.0      | 433.8    | Pu241-FP           | 0.0     | 88.3    | 147.6   | 59.3   | 0.0     | 59.3    |
| PU_TOTAL           | 12,356.5 | 11,354.3 | 10,743.5 | -610.7   | 3,089.1  | 2,478.4  | PU_TOTAL           | 1,635.4 | 1,499.0 | 1,417.8 | -81.5  | 408.9   | 327.4   |
| PU_FISSILE         | 7,556.3  | 6,843.1  | 6,111.8  | -531.3   | 1,869.1  | 1,357.8  | PU_FISSILE         | 1,000.1 | 875.1   | 804.0   | -71.2  | 250.0   | 178.9   |
| FIS.RATIO(%)       | 61.2     | 58.5     | 56.9     | —        | 61.2     | 54.8     | FIS.RATIO(%)       | 61.2    | 58.4    | 56.7    | —      | 61.2    | 54.8    |
| PU_ENRICHMENT(W/O) | 25.8     | 25.2     | 24.9     | —        | 25.8     | 24.4     | PU_ENRICHMENT(W/O) | 25.8    | 25.2    | 24.9    | —      | 25.8    | 24.5    |
| U_TOTAL            | 35,006.7 | 33,117.5 | 31,874.7 | -1,242.8 | 8,751.7  | 7,508.9  | U_TOTAL            | 4,633.2 | 4,388.3 | 4,197.5 | -170.7 | 1,156.3 | 987.6   |
| U235               | 105.0    | 73.5     | 56.0     | -17.5    | 26.3     | 8.8      | U235               | 13.9    | 9.5     | 7.2     | -2.4   | 3.5     | 1.1     |
| UENRICHMENT(W/O)   | 0.3      | 0.2      | 0.2      | —        | 0.3      | 0.1      | UENRICHMENT(W/O)   | 0.3     | 0.2     | 0.2     | —      | 0.3     | 0.1     |
| TRU_TOTAL          | 582.8    | 601.3    | 607.2    | 5.9      | 145.7    | 151.6    | TRU_TOTAL          | 77.1    | 79.4    | 80.1    | 0.7    | 19.3    | 20.0    |
| NP_TOTAL           | 64.8     | 60.4     | 58.6     | -3.8     | 16.2     | 12.4     | NP_TOTAL           | 8.6     | 8.0     | 7.4     | -0.5   | 2.1     | 1.6     |
| AM_TOTAL           | 388.5    | 381.0    | 375.7    | -5.3     | 97.1     | 91.8     | AM_TOTAL           | 51.4    | 50.0    | 49.1    | -0.9   | 12.9    | 12.0    |
| CM_TOTAL           | 129.5    | 159.9    | 175.0    | 15.1     | 32.4     | 47.4     | CM_TOTAL           | 17.1    | 21.5    | 23.8    | 2.1    | 4.3     | 6.4     |
| TRU.RATIO(W/O)     | 1.2      | 1.3      | 1.4      | —        | 1.2      | 1.5      | TRU.RATIO(W/O)     | 1.2     | 1.3     | 1.4     | —      | 1.2     | 1.5     |
| HM_TOTAL           | 47,948.0 | 45,073.0 | 43,225.4 | -1,847.6 | 11,988.5 | 10,138.9 | HM_TOTAL           | 6,345.8 | 5,946.7 | 5,695.2 | -251.4 | 1,586.5 | 1,335.0 |
| RE_TOTAL           | 0.0      | 2,940.8  | 4,827.9  | 1,887.4  | 0.0      | 1,887.4  | RE_TOTAL           | 0.0     | 408.7   | 665.5   | 256.9  | 0.0     | 256.9   |

| 炉心燃料領域(2) [kg]     |          |          |          |        |         |         | 炉心燃料領域(3) [kg]     |          |          |          |        |         |         |
|--------------------|----------|----------|----------|--------|---------|---------|--------------------|----------|----------|----------|--------|---------|---------|
|                    | 初核荷炉心    | 平衡初期     | 平衡末期     | バランス   | 新燃料装荷   | 取出し燃料   |                    | 初核荷炉心    | 平衡初期     | 平衡末期     | バランス   | 新燃料装荷   | 取出し燃料   |
| PU238              | 46.1     | 50.1     | 52.6     | 2.5    | 11.5    | 14.0    | PU238              | 77.4     | 83.8     | 88.2     | 4.4    | 19.4    | 23.8    |
| PU239              | 2,264.7  | 1,931.6  | 1,744.7  | -187.0 | 586.2   | 379.2   | PU239              | 3,808.8  | 3,332.8  | 3,051.0  | -281.7 | 952.2   | 670.5   |
| PU240              | 1,343.7  | 1,313.4  | 1,285.8  | -27.8  | 335.9   | 308.2   | PU240              | 2,259.9  | 2,216.9  | 2,177.5  | -39.3  | 565.0   | 525.8   |
| PU241              | 180.0    | 191.1    | 195.5    | 4.4    | 45.0    | 49.4    | PU241              | 302.7    | 312.5    | 316.8    | 4.2    | 75.7    | 79.9    |
| PU242              | 163.3    | 157.4    | 154.0    | -3.4   | 40.8    | 37.4    | PU242              | 274.6    | 265.7    | 260.1    | -5.5   | 68.6    | 63.1    |
| U235               | 34.0     | 22.8     | 16.8     | -6.0   | 8.5     | 2.5     | U235               | 57.1     | 41.2     | 32.1     | -9.1   | 14.3    | 5.2     |
| U238               | 0.0      | 2.2      | 3.3      | 1.1    | 0.0     | 1.1     | U238               | 0.0      | 3.2      | 4.9      | 1.7    | 0.0     | 1.7     |
| U238               | 11,291.7 | 10,809.9 | 10,168.5 | -441.4 | 2,822.9 | 2,381.5 | U238               | 18,990.6 | 18,069.9 | 17,451.5 | -618.4 | 4,747.7 | 4,129.3 |
| NP237              | 21.0     | 17.7     | 15.8     | -1.9   | 5.2     | 3.4     | NP237              | 35.2     | 30.8     | 28.1     | -2.7   | 8.8     | 6.1     |
| NP239              | 0.0      | 1.7      | 2.2      | 0.5    | 0.0     | 0.5     | NP239              | 0.0      | 2.3      | 3.0      | 0.7    | 0.0     | 0.7     |
| AM241              | 83.8     | 75.5     | 71.0     | -4.5   | 21.0    | 16.5    | AM241              | 140.9    | 134.4    | 130.1    | -4.2   | 35.2    | 31.0    |
| AM242              | 0.0      | 3.1      | 4.5      | 1.4    | 0.0     | 1.4     | AM242              | 0.0      | 4.7      | 7.1      | 2.4    | 0.0     | 2.4     |
| AM243              | 41.9     | 42.4     | 42.6     | 0.2    | 10.5    | 10.7    | AM243              | 70.5     | 71.0     | 71.2     | 0.2    | 17.6    | 17.8    |
| CM242              | 0.0      | 3.8      | 4.9      | 1.2    | 0.0     | 1.2     | CM242              | 0.0      | 5.4      | 7.1      | 1.8    | 0.0     | 1.8     |
| CM243              | 0.0      | 0.3      | 0.4      | 0.1    | 0.0     | 0.1     | CM243              | 0.0      | 0.3      | 0.5      | 0.2    | 0.0     | 0.2     |
| CM244              | 41.9     | 45.0     | 46.9     | 1.9    | 10.5    | 12.4    | CM244              | 70.5     | 74.4     | 77.0     | 2.5    | 17.6    | 20.2    |
| CM245              | 0.0      | 3.9      | 6.0      | 2.1    | 0.0     | 2.1     | CM245              | 0.0      | 5.5      | 8.6      | 3.1    | 0.0     | 3.1     |
| U235-FP            | 0.0      | 100.4    | 164.5    | 64.0   | 0.0     | 64.0    | U235-FP            | 0.0      | 141.5    | 235.5    | 94.0   | 0.0     | 94.0    |
| U238-FP            | 0.0      | 9.8      | 14.7     | 5.1    | 0.0     | 5.1     | U238-FP            | 0.0      | 13.5     | 21.2     | 7.7    | 0.0     | 7.7     |
| Pu239-FP           | 0.0      | 724.4    | 1,170.1  | 445.8  | 0.0     | 445.8   | Pu239-FP           | 0.0      | 996.5    | 1,635.9  | 639.4  | 0.0     | 639.4   |
| Pu241-FP           | 0.0      | 231.7    | 387.9    | 156.2  | 0.0     | 156.2   | Pu241-FP           | 0.0      | 314.3    | 532.8    | 218.4  | 0.0     | 218.4   |
| PU_TOTAL           | 3,997.7  | 3,643.8  | 3,432.3  | -211.3 | 899.4   | 788.1   | PU_TOTAL           | 6,723.4  | 6,211.6  | 5,893.6  | -318.0 | 1,880.8 | 1,362.9 |
| PU_FISSILE         | 2,444.7  | 2,122.7  | 1,940.1  | -182.6 | 611.2   | 428.5   | PU_FISSILE         | 4,111.5  | 3,845.3  | 3,387.8  | -277.5 | 1,027.9 | 750.4   |
| FIS.RATIO(%)       | 61.2     | 58.3     | 56.5     | —      | 61.2    | 54.4    | FIS.RATIO(%)       | 61.2     | 58.7     | 57.1     | —      | 61.2    | 55.1    |
| PU_ENRICHMENT(W/O) | 25.8     | 25.2     | 24.8     | —      | 25.8    | 24.5    | PU_ENRICHMENT(W/O) | 25.8     | 25.2     | 24.9     | —      | 25.8    | 24.4    |
| U_TOTAL            | 11,325.7 | 10,634.9 | 10,188.7 | -446.3 | 2,831.4 | 2,385.1 | U_TOTAL            | 19,047.8 | 18,114.3 | 17,488.6 | -625.8 | 4,761.8 | 4,136.2 |
| U235               | 34.0     | 22.8     | 16.8     | -6.0   | 8.5     | 2.5     | U235               | 57.1     | 41.2     | 32.1     | -9.1   | 14.3    | 5.2     |
| UENRICHMENT(W/O)   | 0.3      | 0.2      | 0.2      | —      | 0.3     | 0.1     | UENRICHMENT(W/O)   | 0.3      | 0.2      | 0.2      | —      | 0.3     | 0.1     |
| TRU_TOTAL          | 188.6    | 193.2    | 194.3    | 1.1    | 47.2    | 48.3    | TRU_TOTAL          | 317.1    | 328.7    | 332.8    | 4.0    | 79.3    | 83.3    |
| NP_TOTAL           | 21.0     | 19.4     | 18.0     | -1.4   | 5.2     | 3.9     | NP_TOTAL           | 35.2     | 33.1     | 31.1     | -1.9   | 8.8     | 6.9     |
| AM_TOTAL           | 125.7    | 120.9    | 118.1    | -2.8   | 31.4    | 28.6    | AM_TOTAL           | 211.4    | 210.1    | 208.4    | -1.6   | 52.9    | 51.2    |
| CM_TOTAL           | 41.9     | 52.9     | 58.2     | 5.3    | 10.5    | 15.8    | CM_TOTAL           | 70.5     | 85.6     | 93.2     | 7.6    | 17.6    | 25.2    |
| TRU.RATIO(W/O)     | 1.2      | 1.3      | 1.4      | —      | 1.2     | 1.5     | TRU.RATIO(W/O)     | 1.2      | 1.3      | 1.4      | —      | 1.2     | 1.5     |
| HM_TOTAL           | 15,511.9 | 14,471.7 | 13,615.3 | -856.5 | 3,878.0 | 3,221.5 | HM_TOTAL           | 26,088.3 | 24,854.6 | 23,714.9 | -939.7 | 6,522.1 | 5,582.4 |
| RE_TOTAL           | 0.0      | 1,066.1  | 1,737.2  | 671.1  | 0.0     | 671.1   | RE_TOTAL           | 0.0      | 1,465.8  | 2,425.2  | 959.4  | 0.0     | 959.4   |

表 3.1.2-2(2) 大型径方向非均質炉心の領域別物質収支 (高速炉多重リサイクル取出しTRU+FP(2Vol%)の組成時) (2/2)

| ブランケット領域合計 [kg]    |          |          |          |          |          |          | 軸ブランケット領域 [kg]     |          |          |          |        |         |         |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------------|----------|----------|----------|--------|---------|---------|
|                    | 初装荷炉心    | 平衡初期     | 平衡末期     | バランス     | 新燃料装荷    | 取出し燃料    |                    | 初装荷炉心    | 平衡初期     | 平衡末期     | バランス   | 新燃料装荷   | 取出し燃料   |
| PU238              | 0.0      | 0.3      | 0.7      | 0.5      | 0.0      | 0.5      | PU238              | 0.0      | 0.1      | 0.2      | 0.1    | 0.0     | 0.1     |
| PU239              | 0.0      | 1,114.9  | 2,122.3  | 1,007.4  | 0.0      | 1,007.4  | PU239              | 0.0      | 515.5    | 842.3    | 326.8  | 0.0     | 326.8   |
| PU240              | 0.0      | 39.7     | 108.2    | 68.5     | 0.0      | 68.5     | PU240              | 0.0      | 19.6     | 41.4     | 21.8   | 0.0     | 21.8    |
| PU241              | 0.0      | 1.0      | 3.9      | 2.9      | 0.0      | 2.9      | PU241              | 0.0      | 0.6      | 1.5      | 0.9    | 0.0     | 0.9     |
| PU242              | 0.0      | 0.0      | 0.1      | 0.1      | 0.0      | 0.1      | PU242              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| U235               | 274.1    | 243.8    | 218.2    | -27.6    | 87.7     | 60.2     | U235               | 114.8    | 101.0    | 92.2     | -8.8   | 28.7    | 19.9    |
| U236               | 0.0      | 7.2      | 13.5     | 6.3      | 0.0      | 6.3      | U236               | 0.0      | 3.3      | 5.4      | 2.1    | 0.0     | 2.1     |
| U238               | 91,104.7 | 89,779.4 | 88,445.1 | -1,334.2 | 29,154.4 | 27,820.2 | U238               | 38,155.1 | 37,544.1 | 37,120.8 | -423.3 | 9,538.8 | 9,115.5 |
| NP237              | 0.0      | 2.8      | 5.4      | 2.8      | 0.0      | 2.8      | NP237              | 0.0      | 1.1      | 1.9      | 0.8    | 0.0     | 0.8     |
| NP239              | 0.0      | 4.7      | 7.5      | 2.8      | 0.0      | 2.8      | NP239              | 0.0      | 1.8      | 2.4      | 0.6    | 0.0     | 0.6     |
| AM241              | 0.0      | 0.0      | 0.2      | 0.2      | 0.0      | 0.2      | AM241              | 0.0      | 0.0      | 0.1      | 0.1    | 0.0     | 0.1     |
| AM242              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | AM242              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| AM243              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | AM243              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| CM242              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | CM242              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| CM243              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | CM243              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| CM244              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | CM244              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| CM245              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | CM245              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| U235-FP            | 0.0      | 76.6     | 181.5    | 84.9     | 0.0      | 84.9     | U235-FP            | 0.0      | 31.2     | 54.5     | 23.3   | 0.0     | 23.3    |
| U238-FP            | 0.0      | 24.1     | 46.2     | 22.1     | 0.0      | 22.1     | U238-FP            | 0.0      | 10.8     | 17.8     | 6.9    | 0.0     | 6.9     |
| Pu239-FP           | 0.0      | 65.5     | 204.3    | 138.8    | 0.0      | 138.8    | Pu239-FP           | 0.0      | 34.7     | 79.3     | 44.6   | 0.0     | 44.6    |
| Pu241-FP           | 0.0      | 0.4      | 1.7      | 1.4      | 0.0      | 1.4      | Pu241-FP           | 0.0      | 0.2      | 0.6      | 0.4    | 0.0     | 0.4     |
| PU_TOTAL           | 0.0      | 1,155.8  | 2,235.3  | 1,079.4  | 0.0      | 1,079.4  | PU_TOTAL           | 0.0      | 535.7    | 885.4    | 349.7  | 0.0     | 349.7   |
| PU_FISSILE         | 0.0      | 1,115.9  | 2,128.2  | 1,010.3  | 0.0      | 1,010.3  | PU_FISSILE         | 0.0      | 516.0    | 843.7    | 327.7  | 0.0     | 327.7   |
| FIS.RATIO(%)       | 0.0      | 96.5     | 95.1     | —        | 0.0      | 93.8     | FIS.RATIO(%)       | 0.0      | 96.3     | 95.3     | —      | 0.0     | 93.7    |
| PU_ENRICHMENT(W/O) | 0.0      | 1.3      | 2.5      | —        | 0.0      | 3.7      | PU_ENRICHMENT(W/O) | 0.0      | 1.4      | 2.3      | —      | 0.0     | 3.7     |
| U.TOTAL            | 91,378.9 | 90,030.4 | 88,674.9 | -1,355.5 | 29,242.1 | 27,886.6 | U.TOTAL            | 38,269.9 | 37,648.4 | 37,218.4 | -430.1 | 9,567.5 | 9,137.4 |
| U235               | 274.1    | 243.8    | 218.2    | -27.6    | 87.7     | 60.2     | U235               | 114.8    | 101.0    | 92.2     | -8.8   | 28.7    | 19.9    |
| U.ENRICHMENT(W/O)  | 0.3      | 0.3      | 0.2      | —        | 0.3      | 0.2      | U.ENRICHMENT(W/O)  | 0.3      | 0.3      | 0.2      | —      | 0.3     | 0.2     |
| TRU_TOTAL          | 0.0      | 7.3      | 13.0     | 5.7      | 0.0      | 5.7      | TRU_TOTAL          | 0.0      | 2.9      | 4.4      | 1.5    | 0.0     | 1.5     |
| NP_TOTAL           | 0.0      | 7.3      | 12.8     | 5.5      | 0.0      | 5.5      | NP_TOTAL           | 0.0      | 2.9      | 4.3      | 1.4    | 0.0     | 1.4     |
| AM_TOTAL           | 0.0      | 0.0      | 0.2      | 0.2      | 0.0      | 0.2      | AM_TOTAL           | 0.0      | 0.0      | 0.1      | 0.1    | 0.0     | 0.1     |
| CM_TOTAL           | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | CM_TOTAL           | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| TRU.RATIO(W/O)     | 0.0      | 0.0      | 0.0      | —        | 0.0      | 0.0      | TRU.RATIO(W/O)     | 0.0      | 0.0      | 0.0      | —      | 0.0     | 0.0     |
| HM_TOTAL           | 91,378.9 | 91,193.5 | 90,923.1 | -270.4   | 29,242.1 | 28,971.7 | HM_TOTAL           | 38,269.9 | 38,187.0 | 38,108.1 | -78.9  | 9,567.5 | 9,488.5 |
| RE_TOTAL           | 0.0      | 186.5    | 413.7    | 247.2    | 0.0      | 247.2    | RE_TOTAL           | 0.0      | 77.0     | 152.1    | 75.2   | 0.0     | 75.2    |

| 内部ブランケット領域 [kg]    |          |          |          |        |          |          | 径ブランケット領域 [kg]     |          |          |          |        |         |         |
|--------------------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|--------------------|----------|----------|----------|--------|---------|---------|
|                    | 初装荷炉心    | 平衡初期     | 平衡末期     | バランス   | 新燃料装荷    | 取出し燃料    |                    | 初装荷炉心    | 平衡初期     | 平衡末期     | バランス   | 新燃料装荷   | 取出し燃料   |
| PU238              | 0.0      | 0.1      | 0.4      | 0.3    | 0.0      | 0.3      | PU238              | 0.0      | 0.1      | 0.1      | 0.1    | 0.0     | 0.1     |
| PU239              | 0.0      | 259.1    | 718.3    | 457.2  | 0.0      | 457.2    | PU239              | 0.0      | 340.3    | 583.8    | 223.4  | 0.0     | 223.4   |
| PU240              | 0.0      | 9.8      | 44.4     | 34.7   | 0.0      | 34.7     | PU240              | 0.0      | 10.3     | 22.4     | 12.1   | 0.0     | 12.1    |
| PU241              | 0.0      | 0.2      | 1.9      | 1.6    | 0.0      | 1.6      | PU241              | 0.0      | 0.2      | 0.8      | 0.4    | 0.0     | 0.4     |
| PU242              | 0.0      | 0.0      | 0.1      | 0.1    | 0.0      | 0.1      | PU242              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| U235               | 78.8     | 69.8     | 57.4     | -12.4  | 38.4     | 25.9     | U235               | 82.6     | 73.0     | 66.7     | -6.3   | 20.8    | 14.3    |
| U236               | 0.0      | 1.6      | 4.4      | 2.8    | 0.0      | 2.8      | U236               | 0.0      | 2.3      | 3.8      | 1.5    | 0.0     | 1.5     |
| U238               | 25,512.9 | 25,195.8 | 24,585.4 | -830.2 | 12,756.5 | 12,126.3 | U238               | 27,436.7 | 27,039.7 | 26,758.9 | -280.8 | 6,859.2 | 6,578.4 |
| NP237              | 0.0      | 0.7      | 2.1      | 1.4    | 0.0      | 1.4      | NP237              | 0.0      | 0.8      | 1.4      | 0.6    | 0.0     | 0.6     |
| NP239              | 0.0      | 1.8      | 3.5      | 1.8    | 0.0      | 1.8      | NP239              | 0.0      | 1.1      | 1.5      | 0.4    | 0.0     | 0.4     |
| AM241              | 0.0      | 0.0      | 0.1      | 0.1    | 0.0      | 0.1      | AM241              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| AM242              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0      | 0.0      | AM242              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| AM243              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0      | 0.0      | AM243              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| CM242              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0      | 0.0      | CM242              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| CM243              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0      | 0.0      | CM243              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| CM244              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0      | 0.0      | CM244              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| CM245              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0      | 0.0      | CM245              | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| U235-FP            | 0.0      | 22.2     | 68.2     | 44.0   | 0.0      | 44.0     | U235-FP            | 0.0      | 23.2     | 40.8     | 17.6   | 0.0     | 17.6    |
| U238-FP            | 0.0      | 5.7      | 18.0     | 10.2   | 0.0      | 10.2     | U238-FP            | 0.0      | 7.5      | 12.4     | 4.9    | 0.0     | 4.9     |
| Pu239-FP           | 0.0      | 12.8     | 83.0     | 70.1   | 0.0      | 70.1     | Pu239-FP           | 0.0      | 18.0     | 42.1     | 24.1   | 0.0     | 24.1    |
| Pu241-FP           | 0.0      | 0.1      | 0.9      | 0.8    | 0.0      | 0.8      | Pu241-FP           | 0.0      | 0.1      | 0.2      | 0.2    | 0.0     | 0.2     |
| PU_TOTAL           | 0.0      | 289.2    | 783.0    | 493.8  | 0.0      | 493.8    | PU_TOTAL           | 0.0      | 350.9    | 586.9    | 236.0  | 0.0     | 236.0   |
| PU_FISSILE         | 0.0      | 259.3    | 718.1    | 458.8  | 0.0      | 458.8    | PU_FISSILE         | 0.0      | 340.6    | 584.4    | 223.8  | 0.0     | 223.8   |
| FIS.RATIO(%)       | 0.0      | 98.3     | 94.1     | —      | 0.0      | 92.9     | FIS.RATIO(%)       | 0.0      | 97.0     | 98.2     | —      | 0.0     | 94.9    |
| PU_ENRICHMENT(W/O) | 0.0      | 1.1      | 3.0      | —      | 0.0      | 3.9      | PU_ENRICHMENT(W/O) | 0.0      | 1.3      | 2.1      | —      | 0.0     | 3.5     |
| U.TOTAL            | 25,589.7 | 25,267.0 | 24,627.2 | -839.8 | 12,794.8 | 12,155.0 | U.TOTAL            | 27,519.3 | 27,115.0 | 26,829.4 | -285.8 | 6,879.8 | 6,594.2 |
| U235               | 78.8     | 69.8     | 57.4     | -12.4  | 38.4     | 25.9     | U235               | 82.6     | 73.0     | 66.7     | -6.3   | 20.8    | 14.3    |
| U.ENRICHMENT(W/O)  | 0.3      | 0.3      | 0.2      | —      | 0.3      | 0.2      | U.ENRICHMENT(W/O)  | 0.3      | 0.3      | 0.2      | —      | 0.3     | 0.2     |
| TRU_TOTAL          | 0.0      | 2.5      | 5.7      | 3.2    | 0.0      | 3.2      | TRU_TOTAL          | 0.0      | 1.9      | 3.0      | 1.0    | 0.0     | 1.0     |
| NP_TOTAL           | 0.0      | 2.5      | 5.8      | 3.1    | 0.0      | 3.1      | NP_TOTAL           | 0.0      | 1.9      | 2.9      | 1.0    | 0.0     | 1.0     |
| AM_TOTAL           | 0.0      | 0.0      | 0.1      | 0.1    | 0.0      | 0.1      | AM_TOTAL           | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| CM_TOTAL           | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0      | 0.0      | CM_TOTAL           | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| TRU.RATIO(W/O)     | 0.0      | 0.0      | 0.0      | —      | 0.0      | 0.0      | TRU.RATIO(W/O)     | 0.0      | 0.0      | 0.0      | —      | 0.0     | 0.0     |
| HM_TOTAL           | 25,589.7 | 25,538.8 | 25,395.8 | -142.8 | 12,794.8 | 12,852.0 | HM_TOTAL           | 27,519.3 | 27,487.9 | 27,419.2 | -48.8  | 6,879.8 | 6,831.2 |
| RE_TOTAL           | 0.0      | 40.8     | 168.0    | 125.2  | 0.0      | 125.2    | RE_TOTAL           | 0.0      | 48.7     | 95.5     | 46.8   | 0.0     | 46.8    |

表 3.1.2-3 ABLE型燃料大型径方向非均質炉心の反応度係数（平衡サイクル末期；非均質モデル）

[70群厳密摂動計算（非均質ピンセルモデル）]

| 領 域        | ボイド反応度 <sup>*1</sup><br>(%) | 燃料密度係数 <sup>*2</sup><br>( $\Delta k/k' / \Delta \rho/\rho$ ) | 構造材密度係数 <sup>*2</sup><br>( $\Delta k/k' / \Delta \rho/\rho$ ) | ドップラ係数 <sup>*3</sup><br>[通常時] (Td $k/dT$ ) | ドップラ係数 <sup>*3</sup><br>[ボイド時] (Td $k/dT$ ) |
|------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 炉心 1       | 0.92                        | 4.43E-02                                                     | -8.88E-03                                                     | -5.76E-04                                  | -4.72E-04                                   |
| 炉心 2       | 2.23                        | 1.14E-01                                                     | -2.24E-02                                                     | -1.41E-03                                  | -1.11E-03                                   |
| 炉心 3       | 1.88                        | 1.41E-01                                                     | -2.12E-02                                                     | -1.45E-03                                  | -1.06E-03                                   |
| 炉心部合計      | 5.02                        | 3.00E-01                                                     | -5.25E-02                                                     | -3.44E-03                                  | -2.64E-03                                   |
| 上部軸ブランケット  | -0.20                       | 1.53E-03                                                     | 1.22E-03                                                      | -1.27E-04                                  | -1.31E-04                                   |
| 下部軸ブランケット  | -0.13                       | 3.90E-04                                                     | 4.10E-04                                                      | -3.77E-04                                  | -3.87E-04                                   |
| 軸ブランケット合計  | -0.33                       | 1.92E-03                                                     | 1.63E-03                                                      | -5.04E-04                                  | -5.18E-04                                   |
| 内部ブランケット合計 | 1.05                        | -1.93E-02                                                    | -1.07E-02                                                     | -2.10E-03                                  | -2.00E-03                                   |
| 径ブランケット合計  | -0.10                       | 1.22E-03                                                     | 6.20E-04                                                      | -2.87E-04                                  | -2.84E-04                                   |
| 合 計        | 5.64                        | 2.84E-01                                                     | -6.09E-02                                                     | -6.33E-03                                  | -5.44E-03                                   |

\*1 ラップ管内側相当のNaをボイド化したときの反応度変化、 $\beta=0.00331$ 

\*2 燃料または構造材密度を10%変化させた場合の反応度から算出

\*3 燃料領域のみの温度を500℃変化させた場合の反応度から算出

[注記]

断面積作成時の温度条件

・炉心領域(燃料:1373.15K、構造材及び冷却材:703.15K)

・ブランケット領域(燃料:1073.15K、構造材及び冷却材:703.15K)

表 3.1.2-4 径方向非均質大型MOX炉心の反応度特性比較(70群、2次元RZ計算)

(高速炉多重リサイクル取出しTRU+FP(2Vol%)の組成使用時)

| ケース                         |                    | A         | B                                        |                         | C                                        |                         | 燃料以外の<br>温度の変化に<br>よる影響 |
|-----------------------------|--------------------|-----------|------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 断面積作成時の計算モデル[SLAROM]        |                    | 均質        | 非均質(ピンセル[4領域] *4)<br>(ドップラ計算時に燃料以外も温度変化) |                         | 非均質(ピンセル[4領域] *4)<br>(ドップラ計算時に燃料以外は温度固定) |                         |                         |
| *1<br>温度条件                  | 断面積作成時の炉心部温度条件     | 1373.15 K | 燃料物質 1373.15 K<br>燃料以外 1373.15 K         | (非均質/均質-1)<br>[ B/A-1 ] | 燃料物質 1373.15 K<br>燃料以外 703.15 K          | (非均質/均質-1)<br>[ C/A-1 ] |                         |
|                             | 断面積作成時のブランケット部温度条件 | 1073.15 K | 燃料物質 1073.15 K<br>燃料以外 1073.15 K         |                         | 燃料物質 1073.15 K<br>燃料以外 703.15 K          |                         |                         |
| 実効増倍率                       | 通常時                | 0.99409   | 0.99790                                  | 0.38%                   | 0.99910                                  | 0.50%                   | 0.12%                   |
|                             | 炉心部のみボイド           | 1.01203   | 1.01495                                  | 0.29%                   | 1.01599                                  | 0.39%                   | 0.10%                   |
|                             | 炉心部+内部ブランケット部ボイド   | 1.01638   | -                                        | -                       | -                                        | -                       | -                       |
|                             | 通常時 全ドップラ          | 0.99181   | 0.99547                                  | 0.37%                   | 0.99694                                  | 0.52%                   | 0.15%                   |
|                             | 炉心部のみボイド時 全ドップラ    | 1.00998   | 1.01278                                  | 0.28%                   | 1.01404                                  | 0.40%                   | 0.12%                   |
|                             |                    | %Δk/k'    | %Δk/k'                                   |                         | %Δk/k'                                   |                         |                         |
| ボイド反応度(炉心部のみ) *2            |                    | 1.784     | 1.683                                    | -5.6%                   | 1.664                                    | -6.7%                   | -1.15%                  |
| ボイド反応度(炉心部+内部ブランケット部ボイド) *2 |                    | 2.206     | -                                        | -                       | 2.009                                    | -8.9%                   | -                       |
| ドップラ反応度(通常時 全ドップラ) *3       |                    | -0.232    | -0.245                                   | 5.7%                    | -0.217                                   | -6.3%                   | -11.32%                 |
| ドップラ反応度(炉心部のみボイド時 全ドップラ) *3 |                    | -0.201    | -0.211                                   | 5.0%                    | -0.189                                   | -5.9%                   | -10.37%                 |

\*1: その他(軸、径遮へい体部等)の温度はすべて703.15 K

\*2: ラッパ管内のボイド化

\*3: \*1の温度+500度の場合

\*4: 燃料、被覆管、冷却材(Na)、ラッパ管+ギャップ部Na の4領域

: 摂動計算結果

表 3.1.2-5 ABLE型燃料使用時の大型径方向非均質炉心の  
遅発中性子割合及び即発中性子寿命

## 遅発中性子割合

| DELAYED<br>FAMILY NO. | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | SUM       |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| NUCLIDE CODE          |          |          |          |          |          |          |           |
| 949                   | 4.14E-05 | 3.28E-04 | 2.47E-04 | 3.79E-04 | 1.17E-04 | 4.06E-05 | 1.15E-03  |
| 940                   | 6.73E-06 | 7.04E-05 | 4.83E-05 | 8.90E-05 | 3.22E-05 | 7.39E-06 | 2.54E-04  |
| 941                   | 3.47E-06 | 8.53E-05 | 6.30E-05 | 1.43E-04 | 6.59E-05 | 5.87E-06 | 3.67E-04  |
| 942                   | 1.79E-07 | 9.38E-06 | 7.57E-06 | 1.95E-05 | 1.02E-05 | 4.74E-07 | 4.73E-05  |
| 925                   | 1.81E-06 | 1.09E-05 | 9.53E-06 | 2.08E-05 | 6.45E-06 | 1.33E-06 | 5.09E-05  |
| 928                   | 1.77E-05 | 2.00E-04 | 2.32E-04 | 5.58E-04 | 3.21E-04 | 1.08E-04 | 1.44E-03  |
| SUM                   | 7.13E-05 | 7.04E-04 | 6.08E-04 | 1.21E-03 | 5.53E-04 | 1.64E-04 | 3.310E-03 |

## 即発中性子寿命

| エネルギー群 | NEUTRON VELOCITY<br>(CM/SEC) | LIFETIME<br>(SEC) |
|--------|------------------------------|-------------------|
| 1      | 3.94E+09                     | 1.33E-10          |
| 2      | 3.03E+09                     | 6.81E-10          |
| 3      | 2.36E+09                     | 2.09E-09          |
| 4      | 1.84E+09                     | 3.71E-09          |
| 5      | 1.43E+09                     | 5.06E-09          |
| 6      | 1.06E+09                     | 1.72E-08          |
| 7      | 7.27E+08                     | 2.73E-08          |
| 8      | 4.99E+08                     | 3.95E-08          |
| 9      | 3.43E+08                     | 4.58E-08          |
| 10     | 2.36E+08                     | 4.69E-08          |
| 11     | 1.62E+08                     | 4.54E-08          |
| 12     | 1.11E+08                     | 3.20E-08          |
| 13     | 7.66E+07                     | 1.76E-08          |
| 14     | 5.26E+07                     | 3.87E-08          |
| 15     | 3.62E+07                     | 2.37E-08          |
| 16     | 2.49E+07                     | 9.22E-09          |
| 17     | 1.71E+07                     | 3.65E-09          |
| 18     | 6.96E+06                     | 3.89E-09          |
| SUM    |                              | 3.627E-07         |

表 3.1.2-6 ABLE型燃料による大型径方向非均質炉心による制御棒反応度価値評価結果

| 作動条件   | 制御棒挿入深度             | 実効増倍率  | 反応度(% $\Delta k/kk'$ ) <sup>*2</sup> |                   |
|--------|---------------------|--------|--------------------------------------|-------------------|
|        |                     |        | ノミナル値                                | 評価値 <sup>*1</sup> |
| 両系統作動時 | 全数引き抜き              | 1.0126 | -                                    | —                 |
|        | 全数全挿入               | 0.9237 | 9.51                                 | 7.23              |
|        | ワンロッドスタック時          | -      | (6.57)                               | (5.00)            |
|        | ワンロッドスタック因子         | -      | (0.691)                              | (0.691)           |
| 片系統作動時 | 基準状態                | 0.9667 | -                                    | —                 |
|        | 片系統をワンロッドスタック条件で全挿入 | 0.9466 | 2.19                                 | 1.67              |

\*1:ノミナル計算値に対し、各種補正15.5%、設計予測誤差10%を考慮。

\*2:( )内は、ワンロッドスタック因子を同一と想定した推定値。

表 3.1.2-7 ABLE型燃料による大型径方向非均質炉心の制御棒反応度収支

(部 $\Delta k/kk'$ )

| 項 目                                     | 主炉停止系<br>(両系統)     | 主炉停止系<br>(1系統のみ)   | 備 考                      |
|-----------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|
| I. 計画余剰反応度                              |                    |                    |                          |
| 1.温度・出力補償                               | 0.81               | 0.56               |                          |
| 2.燃焼補償 <sup>*1</sup>                    | 2.78               | —                  |                          |
| 3.燃料交換余裕 <sup>*2</sup>                  | 0.10               | —                  |                          |
| 4.運転余裕 <sup>*2</sup>                    | 0.20               | —                  |                          |
| 5.核計算不確かさ補償                             | 0.35               | 0.11               |                          |
| (1) 出力補償予測誤差                            | 0.08               | 0.11               | 1 $\sigma$ および2 $\sigma$ |
| (2) 燃料製作公差(1 $\sigma$ ) <sup>*2</sup>   | 0.20               | —                  |                          |
| (3) 燃焼補償予測誤差(1 $\sigma$ ) <sup>*1</sup> | 0.278              | —                  |                          |
| 合 計                                     | 4.24               | 0.67               |                          |
| II. 最大余剰反応度                             |                    |                    |                          |
| 6.核計算不確かさ                               | 0.59               | 0.52               |                          |
| (1) 臨界性予測誤差(1 $\sigma$ ) <sup>*2</sup>  | 0.44               | —                  |                          |
| (2) 燃料製作公差(2 $\sigma$ ) <sup>*2</sup>   | 0.40               | —                  |                          |
| 7.事故時投入反応度 <sup>*3</sup>                | -                  | 0.52               |                          |
| III. 必要制御反応度(I+II)                      | 4.84               | 1.19               |                          |
| IV. 制御棒価値                               | 5.00 <sup>*4</sup> | 1.67 <sup>*5</sup> |                          |
| V. 反応度停止余裕(IV-III)                      | 0.16               | 0.48               |                          |

(制御棒配置:図2、B4C体積率:40%、B10濃縮度:90wt%の場合)

\*1:ノミナル計算値

\*2:予測誤差は全てMOX炉心の先行設計に準じた目標値

\*3:計算値に対し、設計予測誤差10%考慮

\*4:ワンロッドスタック考慮:ノミナル計算値に対し、各種補正15.5%、設計予測誤差10%考慮

\*5:不確かさ考慮の臨界挿入状態から1系統のみ挿入したワース;

ワンロッドスタック考慮:ノミナル計算値に対し、各種補正15.5%、設計予測誤差10%考慮

表 3.1.2-8 制御棒挿入深度パラメータサーベイ計算結果

| サイクル<br>NO. |        | サイクル初期 |       |       | CR挿入深度          |       |       |
|-------------|--------|--------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
|             |        | 炉心(1)  | 炉心(2) | 炉心(3) | 第1リング           | 第2リング | 第3リング |
| 6           | 集合体NO  | 6      | 52    | 124   | 40              | 40    | 40    |
|             | W/cc   | 245.4  | 361.0 | 474.4 |                 |       |       |
|             | R.PEAK | 1.026  | 1.035 | 1.057 | K-eff = 0.99195 |       |       |
|             | W/cm   | 270    | 402   | 545   |                 |       |       |
| 6           | 集合体NO  | 6      | 52    | 124   | 30              | 30    | 40    |
|             | W/cc   | 317.1  | 396.7 | 423.3 |                 |       |       |
|             | R.PEAK | 1.026  | 1.041 | 1.053 | K-eff = 0.99672 |       |       |
|             | W/cm   | 348    | 445   | 483   |                 |       |       |
| 6           | 集合体NO  | 6      | 52    | 124   | 30              | 40    | 40    |
|             | W/cc   | 301.7  | 365.5 | 454.3 |                 |       |       |
|             | R.PEAK | 1.026  | 1.039 | 1.056 | K-eff = 0.99305 |       |       |
|             | W/cm   | 331    | 409   | 521   |                 |       |       |
| 6           | 集合体NO  | 6      | 52    | 124   | 30              | 30    | 50    |
|             | W/cc   | 379.7  | 419.6 | 377.8 |                 |       |       |
|             | R.PEAK | 1.025  | 1.048 | 1.058 | K-eff = 0.99052 |       |       |
|             | W/cm   | 416    | 475   | 434   |                 |       |       |
| 6           | 集合体NO  | 6      | 52    | 124   | 20              | 30    | 40    |
|             | W/cc   | 373.1  | 400.5 | 402.6 |                 |       |       |
|             | R.PEAK | 1.026  | 1.044 | 1.051 | K-eff = 0.99816 |       |       |
|             | W/cm   | 410    | 451   | 458   |                 |       |       |
| 6           | 集合体NO  | 6      | 52    | 118   | 20              | 30    | 50    |
|             | W/cc   | 394.8  | 412.4 | 370.5 |                 |       | (20)  |
|             | R.PEAK | 1.026  | 1.045 | 1.034 | K-eff = 0.99781 |       |       |
|             | W/cm   | 434    | 465   | 412   |                 |       |       |
| 6           | 集合体NO  | 6      | 52    | 118   | 30              | 40    | 50    |
|             | W/cc   | 326.9  | 377.6 | 399.1 |                 |       | (20)  |
|             | R.PEAK | 1.025  | 1.041 | 1.044 | K-eff = 0.99201 |       |       |
|             | W/cm   | 359    | 424   | 449   |                 |       |       |
| 6           | 集合体NO  | 6      | 52    | 118   | 20              | 40    | 50    |
|             | W/cc   | 388.3  | 381.3 | 383.4 |                 |       | (20)  |
|             | R.PEAK | 1.026  | 1.045 | 1.041 | K-eff = 0.99347 |       |       |
|             | W/cm   | 426    | 430   | 430   |                 |       |       |

末期K-eff= 0.99571

表 3.1.2-9 ABLE型燃料による大型径方向非均質炉心の制御棒挿入深度固定時の各領域最大線出力等の比較(3次元Tri-Z計算)

| サイクル<br>NO. |        | サイクル初期 |       |       |       |       | サイクル末期 |       |       |       |       |
|-------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
|             |        | 炉心(1)  | 炉心(2) | 炉心(3) | 内部ブラ  | 径ブラ   | 炉心(1)  | 炉心(2) | 炉心(3) | 内部ブラ  | 径ブラ   |
| 6           | 集合体NO  | 6      | 52    | 118   | 98    | 171   | 8      | 52    | 83    | 66    | 171   |
|             | W/cc   | 388.3  | 381.3 | 383.4 | 126.2 | 86.0  | 307.3  | 339.9 | 299.0 | 173.3 | 82.3  |
|             | R.PEAK | 1.026  | 1.045 | 1.041 | 1.055 | 1.382 | 1.024  | 1.027 | 1.031 | 1.039 | 1.344 |
|             | W/cm   | 426    | 430   | 430   | 220   | 373   | 337    | 374   | 331   | 296   | 344   |
| 7           | 集合体NO  | 13     | 57    | 113   | 2     | 158   | 11     | 57    | 74    | 58    | 158   |
|             | W/cc   | 419.4  | 382.9 | 357.7 | 117.8 | 88.5  | 314.1  | 340.0 | 292.9 | 168.3 | 84.5  |
|             | R.PEAK | 1.029  | 1.042 | 1.081 | 1.112 | 1.366 | 1.022  | 1.022 | 1.034 | 1.055 | 1.329 |
|             | W/cm   | 463    | 430   | 424   | 222   | 377   | 343    | 371   | 325   | 294   | 348   |
| 8           | 集合体NO  | 4      | 87    | 152   | 106   | 205   | 10     | 45    | 92    | 106   | 205   |
|             | W/cc   | 395.5  | 366.1 | 428.5 | 123.4 | 92.7  | 318.2  | 337.3 | 309.9 | 163.3 | 81.5  |
|             | R.PEAK | 1.030  | 1.030 | 1.031 | 1.064 | 1.343 | 1.013  | 1.007 | 1.006 | 1.039 | 1.300 |
|             | W/cm   | 437    | 405   | 474   | 218   | 387   | 343    | 360   | 331   | 279   | 326   |
| 9           | 集合体NO  | 9      | 38    | 140   | 2     | 191   | 9      | 38    | 101   | 96    | 204   |
|             | W/cc   | 443.1  | 374.2 | 385.0 | 130.3 | 86.1  | 315.2  | 331.6 | 290.4 | 164.2 | 80.0  |
|             | R.PEAK | 1.045  | 1.031 | 1.082 | 1.111 | 1.354 | 1.020  | 1.022 | 1.038 | 1.038 | 1.312 |
|             | W/cm   | 500    | 414   | 457   | 245   | 363   | 343    | 362   | 324   | 280   | 324   |

出力分担(%)

|    |      |      |      |     |     |      |      |      |      |     |
|----|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|-----|
| 6  | 12.5 | 29.9 | 44.8 | 5.4 | 2.9 | 11.6 | 30.1 | 39.0 | 10.1 | 3.4 |
| 7  | 13.7 | 30.3 | 43.3 | 5.4 | 2.9 | 11.9 | 30.3 | 38.6 | 10.1 | 3.4 |
| 8  | 12.6 | 27.8 | 46.8 | 5.2 | 3.0 | 11.7 | 29.4 | 39.6 | 9.9  | 3.5 |
| 9  | 14.3 | 29.9 | 42.9 | 5.5 | 2.9 | 11.8 | 30.1 | 38.7 | 10.2 | 3.4 |
| 平均 | 13.3 | 29.5 | 44.4 | 5.4 | 2.9 | 11.8 | 30.0 | 39.0 | 10.1 | 3.4 |

|     | 実効増倍率 (Keff) |         |
|-----|--------------|---------|
|     | 初期           | 末期      |
| 6   | 0.99347      | 0.99589 |
| 7   | 0.99555      | 0.99720 |
| 8   | 0.99370      | 0.99477 |
| 9   | 0.99158      | 0.99506 |
| 平均  | 0.99358      | 0.99573 |
| 変動幅 | 0.40%        | 0.24%   |

| 制御棒挿入深度       |               |                         |
|---------------|---------------|-------------------------|
| 第1リング<br>20cm | 第2リング<br>40cm | 第3リング<br>50cm<br>(20cm) |

表 3.1.2-10(1) 大型径方向非均質炉心の集合体出力および集合体内ピーキング(1/2)

| 集合体<br>NO. | 集合体出力(MW) |       | 集合体内ピーキング |       |
|------------|-----------|-------|-----------|-------|
|            | 平衡初期      | 平衡末期  | 平衡初期      | 平衡末期  |
| 1          | SUS       | SUS   | SUS       | SUS   |
| 2          | 1.19      | 3.03  | 1.245     | 1.093 |
| 3          | 3.15      | 4.35  | 1.198     | 1.123 |
| 4          | 9.1       | 8.08  | 1.051     | 1.047 |
| 5          | 8.32      | 7.51  | 1.096     | 1.065 |
| 6          | 11.07     | 9.41  | 1.035     | 1.030 |
| 7          | 9.55      | 8.41  | 1.102     | 1.069 |
| 8          | 10.54     | 9.38  | 1.066     | 1.039 |
| 9          | 9.68      | 8.71  | 1.062     | 1.038 |
| 10         | 9.11      | 8.27  | 1.077     | 1.032 |
| 11         | 8.43      | 7.82  | 1.086     | 1.039 |
| 12         | 9.05      | 8.26  | 1.080     | 1.033 |
| 13         | 8.46      | 7.82  | 1.050     | 1.027 |
| 14         | 1.23      | 3.16  | 1.287     | 1.095 |
| 15         | 7.36      | 7.4   | 1.149     | 1.075 |
| 16         | CR        | CR    | CR        | CR    |
| 17         | 9.49      | 9.02  | 1.122     | 1.053 |
| 18         | 1.29      | 3.34  | 1.149     | 1.062 |
| 19         | 8.45      | 8.33  | 1.126     | 1.054 |
| 20         | CR        | CR    | CR        | CR    |
| 21         | 8.55      | 8.4   | 1.144     | 1.068 |
| 22         | 7.26      | 7.89  | 1.144     | 1.102 |
| 23         | 2.61      | 4.2   | 1.102     | 1.050 |
| 24         | 6.8       | 7.38  | 1.102     | 1.078 |
| 25         | 7.57      | 7.99  | 1.147     | 1.071 |
| 26         | 2.9       | 4.57  | 1.110     | 1.066 |
| 27         | 9.39      | 9.38  | 1.161     | 1.111 |
| 28         | 2.86      | 4.55  | 1.113     | 1.068 |
| 29         | 6.69      | 7.32  | 1.111     | 1.059 |
| 30         | 8.28      | 8.67  | 1.128     | 1.054 |
| 31         | 2.77      | 4.44  | 1.108     | 1.069 |
| 32         | 8.96      | 9.2   | 1.071     | 1.041 |
| 33         | 6.54      | 7.51  | 1.164     | 1.089 |
| 34         | 1.01      | 2.94  | 1.191     | 1.105 |
| 35         | 2.62      | 4.27  | 1.095     | 1.063 |
| 36         | 1.08      | 3.15  | 1.153     | 1.113 |
| 37         | 7.43      | 8.07  | 1.156     | 1.080 |
| 38         | 9.97      | 9.68  | 1.045     | 1.036 |
| 39         | 7.91      | 8.56  | 1.158     | 1.078 |
| 40         | 1.09      | 3.2   | 1.180     | 1.120 |
| 41         | 2.63      | 4.38  | 1.095     | 1.066 |
| 42         | 1.08      | 3.16  | 1.185     | 1.099 |
| 43         | 8.59      | 9.39  | 1.149     | 1.074 |
| 44         | 9.84      | 9.81  | 1.066     | 1.050 |
| 45         | 7.86      | 8.45  | 1.095     | 1.042 |
| 46         | CR        | CR    | CR        | CR    |
| 47         | 7.71      | 8.49  | 1.209     | 1.099 |
| 48         | 7.47      | 8.21  | 1.179     | 1.080 |
| 49         | CR        | CR    | CR        | CR    |
| 50         | 10.42     | 10.27 | 1.095     | 1.047 |
| 51         | 8.71      | 8.6   | 1.047     | 1.035 |
| 52         | 10.47     | 10.39 | 1.093     | 1.041 |
| 53         | CR        | CR    | CR        | CR    |
| 54         | 7.88      | 8.8   | 1.159     | 1.078 |
| 55         | 7.2       | 8.22  | 1.141     | 1.057 |

| 集合体<br>NO. | 集合体出力(MW) |       | 集合体内ピーキング |       |
|------------|-----------|-------|-----------|-------|
|            | 平衡初期      | 平衡末期  | 平衡初期      | 平衡末期  |
| 55         | 7.2       | 8.22  | 1.141     | 1.057 |
| 56         | CR        | CR    | CR        | CR    |
| 57         | 7.64      | 8.28  | 1.069     | 1.020 |
| 58         | 1.15      | 3.08  | 1.285     | 1.135 |
| 59         | 7.11      | 7.55  | 1.119     | 1.086 |
| 60         | 9.17      | 9.48  | 1.062     | 1.035 |
| 62         | 10.43     | 9.92  | 1.048     | 1.039 |
| 63         | 9.25      | 9.24  | 1.087     | 1.039 |
| 64         | 8.14      | 8.32  | 1.069     | 1.041 |
| 65         | 8.65      | 8.61  | 1.081     | 1.068 |
| 66         | 3.38      | 5.15  | 1.107     | 1.071 |
| 67         | 9.18      | 9.12  | 1.092     | 1.077 |
| 68         | 7.99      | 8.37  | 1.081     | 1.044 |
| 69         | 9.95      | 10.08 | 1.056     | 1.015 |
| 70         | 8.01      | 8.23  | 1.047     | 1.038 |
| 71         | 8.74      | 9.18  | 1.072     | 1.032 |
| 72         | 9.44      | 9.82  | 1.071     | 1.035 |
| 73         | 8.44      | 8.75  | 1.110     | 1.075 |
| 74         | 5.85      | 6.66  | 1.095     | 1.048 |
| 75         | 2.36      | 3.89  | 1.143     | 1.087 |
| 76         | 7.03      | 7.44  | 1.134     | 1.111 |
| 77         | 8.41      | 8.34  | 1.069     | 1.075 |
| 78         | 8.3       | 8.07  | 1.102     | 1.081 |
| 79         | 8.22      | 7.92  | 1.068     | 1.059 |
| 80         | 10.29     | 9.55  | 1.057     | 1.060 |
| 81         | 8.64      | 8.56  | 1.119     | 1.069 |
| 82         | 1.29      | 3.44  | 1.134     | 1.062 |
| 83         | 9.47      | 9.05  | 1.126     | 1.054 |
| 84         | 1.27      | 3.41  | 1.167     | 1.078 |
| 85         | 7.75      | 8.03  | 1.108     | 1.075 |
| 86         | 8.89      | 8.8   | 1.083     | 1.078 |
| 87         | 8.45      | 8.38  | 1.060     | 1.060 |
| 88         | 9.77      | 9.44  | 1.063     | 1.057 |
| 89         | 7.4       | 7.66  | 1.083     | 1.074 |
| 90         | 7.15      | 7.66  | 1.143     | 1.117 |
| 91         | 2.42      | 4.01  | 1.182     | 1.113 |
| 92         | 6.75      | 7.15  | 1.086     | 1.024 |
| 93         | 6.28      | 7.26  | 1.146     | 1.066 |
| 94         | 0.93      | 2.53  | 1.213     | 1.072 |
| 95         | 2.73      | 4.05  | 1.134     | 1.095 |
| 96         | 1.31      | 3.19  | 1.092     | 1.048 |
| 97         | CR        | CR    | CR        | CR    |
| 98         | 3.55      | 4.9   | 1.089     | 1.066 |
| 99         | 1.33      | 3.34  | 1.183     | 1.095 |
| 100        | 2.87      | 4.53  | 1.119     | 1.054 |
| 101        | 8.28      | 8.32  | 1.146     | 1.051 |
| 102        | 8.65      | 7.84  | 1.060     | 1.011 |
| 103        | 8.21      | 8.32  | 1.152     | 1.051 |
| 104        | 2.75      | 4.46  | 1.113     | 1.041 |
| 105        | 1.24      | 3.21  | 1.161     | 1.084 |
| 106        | 3.28      | 4.75  | 1.059     | 1.059 |
| 107        | CR        | CR    | CR        | CR    |
| 108        | 1.29      | 3.22  | 1.155     | 1.081 |
| 109        | 2.61      | 4.05  | 1.111     | 1.086 |
| 110        | 0.93      | 2.59  | 1.224     | 1.077 |

表 3.1.2-10(2) 大型径方向非均質炉心の集合体出力および集合体内ピーキング(2/2)

| 集合体<br>NO. | 集合体出力(MW) |      | 集合体内ピーキング |       |
|------------|-----------|------|-----------|-------|
|            | 平衡初期      | 平衡末期 | 平衡初期      | 平衡末期  |
| 111        | 6.88      | 7.89 | 1.146     | 1.060 |
| 112        | 8.23      | 7.84 | 1.039     | 1.065 |
| 113        | 6.01      | 6.49 | 1.116     | 1.042 |
| 114        | CR        | CR   | CR        | CR    |
| 115        | 6.54      | 6.68 | 1.192     | 1.062 |
| 116        | 8.62      | 7.49 | 1.102     | 1.035 |
| 117        | 8.19      | 6.98 | 1.086     | 1.042 |
| 118        | 10.74     | 8.59 | 1.078     | 1.020 |
| 119        | 8.95      | 7.58 | 1.075     | 1.038 |
| 120        | 8.21      | 7.82 | 1.171     | 1.035 |
| 121        | CR        | CR   | CR        | CR    |
| 122        | 10.16     | 8.97 | 1.119     | 1.050 |
| 123        | 9.52      | 7.76 | 1.017     | 1.051 |
| 124        | 10.15     | 9.01 | 1.119     | 1.047 |
| 125        | CR        | CR   | CR        | CR    |
| 126        | 8.43      | 8.33 | 1.123     | 1.032 |
| 127        | 8.15      | 7.38 | 1.101     | 1.027 |
| 128        | 7.9       | 7.07 | 1.074     | 1.030 |
| 129        | 8.87      | 7.81 | 1.081     | 1.036 |
| 130        | 7.6       | 7.06 | 1.125     | 1.050 |
| 131        | 6.65      | 7.1  | 1.170     | 1.057 |
| 132        | CR        | CR   | CR        | CR    |
| 133        | 5.92      | 6.49 | 1.125     | 1.042 |
| 134        | 5.48      | 5.18 | 1.197     | 1.209 |
| 135        | 6.47      | 6.16 | 1.123     | 1.119 |
| 136        | 7.03      | 7.12 | 1.099     | 1.074 |
| 137        | 6.03      | 6    | 1.198     | 1.072 |
| 138        | 9.22      | 7.57 | 1.120     | 1.072 |
| 139        | 8.8       | 6.85 | 1.087     | 1.051 |
| 140        | 10.03     | 7.45 | 1.054     | 1.078 |
| 141        | 8.79      | 6.76 | 1.051     | 1.065 |
| 142        | 10.43     | 8.12 | 1.075     | 1.060 |
| 143        | 7.38      | 6.73 | 1.152     | 1.062 |
| 144        | 8.32      | 7.42 | 1.141     | 1.110 |
| 145        | 8.09      | 6.57 | 1.111     | 1.120 |
| 146        | 9.32      | 7.03 | 1.168     | 1.185 |
| 147        | 9.29      | 7.37 | 1.110     | 1.119 |
| 148        | 7.64      | 7.02 | 1.149     | 1.108 |
| 149        | 7.73      | 7.32 | 1.108     | 1.075 |
| 150        | 7.6       | 6.6  | 1.102     | 1.057 |
| 151        | 10.1      | 7.98 | 1.060     | 1.056 |
| 152        | 8.61      | 6.93 | 1.065     | 1.053 |
| 153        | 9.83      | 7.88 | 1.075     | 1.071 |
| 154        | 6.85      | 6.21 | 1.146     | 1.078 |
| 155        | 5.99      | 6.26 | 1.155     | 1.054 |
| 156        | 6.23      | 6.63 | 1.101     | 1.077 |
| 157        | 6.25      | 6.07 | 1.143     | 1.129 |
| 158        | 1.44      | 1.72 | 1.492     | 1.465 |
| 159        | 5.13      | 4.73 | 1.309     | 1.314 |
| 160        | 5.47      | 5.12 | 1.216     | 1.237 |
| 161        | 5.33      | 4.98 | 1.165     | 1.210 |
| 162        | 6.45      | 5.5  | 1.269     | 1.234 |
| 163        | 6.58      | 5.22 | 1.210     | 1.191 |
| 164        | 8.53      | 6.25 | 1.225     | 1.210 |
| 165        | 7.54      | 5.61 | 1.207     | 1.198 |

| 集合体<br>NO. | 集合体出力(MW) |      | 集合体内ピーキング |       |
|------------|-----------|------|-----------|-------|
|            | 平衡初期      | 平衡末期 | 平衡初期      | 平衡末期  |
| 166        | 7.95      | 6    | 1.201     | 1.213 |
| 167        | 7.14      | 5.72 | 1.233     | 1.212 |
| 168        | 7.58      | 6.2  | 1.174     | 1.203 |
| 169        | 6.49      | 5.3  | 1.233     | 1.233 |
| 170        | 6.33      | 4.96 | 1.302     | 1.308 |
| 171        | 2.44      | 2.4  | 1.566     | 1.518 |
| 172        | 6.13      | 4.84 | 1.326     | 1.327 |
| 173        | 7.32      | 5.95 | 1.281     | 1.243 |
| 174        | 5.96      | 5.22 | 1.180     | 1.200 |
| 175        | 6.38      | 5.47 | 1.197     | 1.192 |
| 176        | 7.19      | 5.82 | 1.249     | 1.225 |
| 177        | 6.55      | 5.26 | 1.225     | 1.221 |
| 178        | 7.38      | 5.84 | 1.215     | 1.213 |
| 179        | 6.49      | 5.43 | 1.252     | 1.224 |
| 180        | 6.41      | 5.75 | 1.222     | 1.201 |
| 181        | 4.75      | 4.68 | 1.165     | 1.197 |
| 182        | 5.47      | 5.27 | 1.234     | 1.236 |
| 183        | 4.17      | 4    | 1.312     | 1.318 |
| 184        | R-Sh      | R-Sh | R-Sh      | R-Sh  |
| 185        | 0.87      | 0.99 | 1.893     | 1.807 |
| 186        | 1.06      | 1.26 | 1.644     | 1.596 |
| 187        | 0.52      | 0.87 | 1.750     | 1.564 |
| 188        | 1         | 1.29 | 1.660     | 1.530 |
| 189        | 1.64      | 1.78 | 1.546     | 1.456 |
| 190        | 2.27      | 2.19 | 1.572     | 1.486 |
| 191        | 0.77      | 1.19 | 1.780     | 1.528 |
| 192        | 1.41      | 1.62 | 1.578     | 1.488 |
| 193        | 1.87      | 1.97 | 1.540     | 1.453 |
| 194        | 2.11      | 2.16 | 1.503     | 1.456 |
| 195        | 0.67      | 1.08 | 1.812     | 1.590 |
| 196        | 1.03      | 1.21 | 1.687     | 1.609 |
| 197        | 0.43      | 0.63 | 2.293     | 1.926 |
| 198        | R-Sh      | R-Sh | R-Sh      | R-Sh  |
| 199        | 0.7       | 0.83 | 2.031     | 1.851 |
| 200        | 0.6       | 0.92 | 1.924     | 1.693 |
| 201        | 1.13      | 1.41 | 1.650     | 1.522 |
| 202        | 1.6       | 1.81 | 1.506     | 1.456 |
| 203        | 2.05      | 2.13 | 1.534     | 1.462 |
| 204        | 0.68      | 1.11 | 1.750     | 1.531 |
| 205        | 1.26      | 1.52 | 1.602     | 1.498 |
| 206        | 1.76      | 1.89 | 1.552     | 1.468 |
| 207        | 1.93      | 2.06 | 1.540     | 1.462 |
| 208        | 0.55      | 0.94 | 1.857     | 1.596 |
| 209        | 0.81      | 1.12 | 1.626     | 1.534 |
| 210        | 1         | 1.22 | 1.678     | 1.629 |
| 211        | 0.82      | 0.95 | 1.824     | 1.756 |

表 3.1.2-11(1) 大型径方向非均質炉心の軸方向出力分布(平衡サイクル初期)

| NO. | 高さ<br>(cm) | 領域    | 炉心(1)集合体NO.6   |              | 炉心(2)集合体NO.52  |              | 炉心(3)集合体NO.118 |              | 内部ブラ(1)集合体NO.3 |              | 内部ブラ(2)集合体NO.2 |              | 内部ブラ(3)集合体NO.9 |              | 径ブラ集合体NO.171   |              |
|-----|------------|-------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
|     |            |       | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング<br>(-) | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング<br>(-) | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング<br>(-) | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング<br>(-) | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング<br>(-) | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング<br>(-) | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング<br>(-) |
| 36  | 177.5      | 上部軸ブラ | 1.4            | 1.069        | 1.1            | 1.201        | 1.2            | 1.187        | 2.4            | 1.124        | 1.5            | 1.079        | 1.7            | 1.200        | 1.6            | 1.319        |
| 35  | 172.5      |       | 1.9            | 1.067        | 1.5            | 1.204        | 1.6            | 1.191        | 3.2            | 1.112        | 2.0            | 1.084        | 2.3            | 1.202        | 2.1            | 1.345        |
| 34  | 167.5      |       | 2.7            | 1.065        | 2.1            | 1.203        | 2.3            | 1.191        | 4.2            | 1.097        | 2.8            | 1.086        | 3.1            | 1.202        | 2.8            | 1.363        |
| 33  | 162.5      |       | 3.8            | 1.063        | 3.0            | 1.199        | 3.2            | 1.191        | 5.7            | 1.078        | 3.8            | 1.088        | 4.3            | 1.201        | 3.8            | 1.377        |
| 32  | 157.5      |       | 5.4            | 1.069        | 4.3            | 1.210        | 4.6            | 1.200        | 10.5           | 1.074        | 7.2            | 1.089        | 8.1            | 1.202        | 7.5            | 1.391        |
| 31  | 152.5      |       | 7.7            | 1.062        | 6.3            | 1.196        | 6.7            | 1.193        | 13.7           | 1.076        | 9.6            | 1.095        | 10.8           | 1.198        | 10.0           | 1.412        |
| 30  | 147.5      |       | 11.4           | 1.053        | 9.4            | 1.179        | 10.0           | 1.184        | 17.7           | 1.080        | 12.7           | 1.103        | 14.4           | 1.195        | 13.1           | 1.433        |
| 29  | 142.5      |       | 17.4           | 1.046        | 14.5           | 1.160        | 15.4           | 1.173        | 22.7           | 1.096        | 16.8           | 1.115        | 19.2           | 1.190        | 17.2           | 1.460        |
| 28  | 137.5      |       | 162.9          | 1.041        | 133.0          | 1.161        | 144.0          | 1.187        | 35.3           | 1.184        | 27.0           | 1.154        | 31.7           | 1.193        | 27.4           | 1.566        |
| 27  | 132.5      |       | 195.7          | 1.047        | 160.9          | 1.156        | 174.7          | 1.186        | 42.6           | 1.210        | 33.4           | 1.161        | 39.5           | 1.206        | 33.5           | 1.585        |
| 26  | 127.5      | 炉心部   | 228.3          | 1.047        | 188.9          | 1.157        | 206.2          | 1.180        | 55.3           | 1.210        | 44.4           | 1.153        | 53.1           | 1.204        | 43.8           | 1.580        |
| 25  | 122.5      |       | 259.8          | 1.043        | 216.3          | 1.158        | 238.5          | 1.170        | 62.6           | 1.214        | 51.4           | 1.146        | 62.4           | 1.199        | 49.8           | 1.578        |
| 24  | 117.5      |       | 289.1          | 1.039        | 242.7          | 1.158        | 271.5          | 1.108        | 75.2           | 1.211        | 63.1           | 1.142        | 78.3           | 1.122        | 59.9           | 1.575        |
| 23  | 112.5      |       | 315.6          | 1.036        | 268.1          | 1.157        | 301.1          | 1.094        | 81.9           | 1.213        | 70.2           | 1.144        | 87.9           | 1.113        | 65.2           | 1.573        |
| 22  | 107.5      |       | 338.6          | 1.034        | 292.5          | 1.155        | 326.7          | 1.084        | 92.3           | 1.212        | 80.8           | 1.140        | 101.3          | 1.104        | 73.5           | 1.571        |
| 21  | 102.5      |       | 357.7          | 1.034        | 316.4          | 1.149        | 347.9          | 1.077        | 97.3           | 1.212        | 86.9           | 1.136        | 108.7          | 1.099        | 77.5           | 1.571        |
| 20  | 97.5       |       | 372.4          | 1.035        | 340.0          | 1.096        | 364.3          | 1.072        | 103.9          | 1.212        | 94.5           | 1.127        | 117.7          | 1.094        | 82.6           | 1.571        |
| 19  | 92.5       |       | 382.6          | 1.036        | 358.9          | 1.084        | 375.8          | 1.068        | 106.5          | 1.213        | 98.6           | 1.121        | 122.2          | 1.090        | 84.8           | 1.572        |
| 18  | 87.5       |       | 388.0          | 1.037        | 372.4          | 1.076        | 382.2          | 1.064        | 108.2          | 1.214        | 101.7          | 1.115        | 125.3          | 1.085        | 86.0           | 1.574        |
| 17  | 82.5       |       | 388.3          | 1.038        | 379.9          | 1.071        | 383.4          | 1.062        | 108.0          | 1.214        | 102.9          | 1.110        | 126.2          | 1.082        | 85.8           | 1.576        |
| 16  | 77.5       |       | 383.5          | 1.039        | 381.3          | 1.068        | 379.3          | 1.059        | 104.3          | 1.216        | 100.6          | 1.107        | 123.0          | 1.079        | 82.7           | 1.579        |
| 15  | 72.5       |       | 373.5          | 1.040        | 376.3          | 1.065        | 369.9          | 1.057        | 101.3          | 1.217        | 98.6           | 1.104        | 120.2          | 1.076        | 80.2           | 1.583        |
| 14  | 67.5       |       | 358.3          | 1.041        | 365.1          | 1.063        | 355.2          | 1.055        | 92.7           | 1.220        | 91.2           | 1.104        | 110.9          | 1.074        | 73.0           | 1.587        |
| 13  | 62.5       |       | 337.9          | 1.042        | 347.6          | 1.061        | 335.4          | 1.052        | 87.2           | 1.221        | 86.3           | 1.102        | 104.9          | 1.072        | 68.3           | 1.591        |
| 12  | 57.5       |       | 312.7          | 1.043        | 324.4          | 1.058        | 310.9          | 1.049        | 74.9           | 1.225        | 74.9           | 1.103        | 90.9           | 1.070        | 58.1           | 1.596        |
| 11  | 52.5       |       | 283.0          | 1.044        | 295.7          | 1.054        | 281.9          | 1.045        | 67.6           | 1.224        | 67.8           | 1.101        | 82.4           | 1.066        | 52.0           | 1.600        |
| 10  | 47.5       |       | 249.7          | 1.047        | 262.9          | 1.050        | 249.6          | 1.039        | 53.7           | 1.224        | 54.4           | 1.101        | 66.4           | 1.060        | 40.6           | 1.606        |
| 9   | 42.5       |       | 214.2          | 1.050        | 227.6          | 1.042        | 215.3          | 1.029        | 45.6           | 1.200        | 46.1           | 1.092        | 56.5           | 1.056        | 33.7           | 1.588        |
| 8   | 37.5       | 下部軸ブラ | 23.5           | 1.052        | 25.1           | 1.067        | 23.2           | 1.085        | 30.4           | 1.114        | 31.2           | 1.100        | 38.5           | 1.145        | 21.6           | 1.486        |
| 7   | 32.5       |       | 16.0           | 1.052        | 17.3           | 1.119        | 16.0           | 1.145        | 24.3           | 1.102        | 25.0           | 1.107        | 30.9           | 1.193        | 16.8           | 1.463        |
| 6   | 27.5       |       | 11.3           | 1.055        | 12.4           | 1.162        | 11.5           | 1.199        | 19.4           | 1.102        | 20.0           | 1.117        | 24.8           | 1.237        | 13.0           | 1.444        |
| 5   | 22.5       |       | 8.3            | 1.059        | 9.2            | 1.199        | 8.5            | 1.246        | 15.4           | 1.104        | 15.9           | 1.127        | 19.8           | 1.278        | 10.0           | 1.426        |
| 4   | 17.5       |       | 6.2            | 1.063        | 6.9            | 1.259        | 6.4            | 1.315        | 9.0            | 1.098        | 9.5            | 1.124        | 11.7           | 1.334        | 5.3            | 1.413        |
| 3   | 12.5       |       | 4.7            | 1.066        | 5.4            | 1.296        | 4.9            | 1.363        | 7.2            | 1.095        | 7.6            | 1.128        | 9.3            | 1.377        | 4.1            | 1.399        |
| 2   | 7.5        |       | 3.8            | 1.066        | 4.3            | 1.328        | 3.9            | 1.406        | 6.0            | 1.096        | 6.4            | 1.135        | 7.6            | 1.415        | 3.2            | 1.379        |
| 1   | 2.5        |       | 3.2            | 1.063        | 3.6            | 1.346        | 3.2            | 1.432        | 5.5            | 1.110        | 5.9            | 1.138        | 6.7            | 1.433        | 2.8            | 1.340        |

表 3.1.2-11(2) 大型径方向非均質炉心の軸方向出力分布(平衡サイクル末期)

| NO. | 高さ<br>(cm) | 領域        | 炉心(1)集合体NO.8   |              | 炉心(2)集合体NO.52  |              | 炉心(3)集合体NO.83  |              | 内部ブラ(1)集合体NO.3 |              | 内部ブラ(2)集合体NO.2 |              | 内部ブラ(3)集合体NO.6 |              | 径ブラ 集合体NO.171  |              |
|-----|------------|-----------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
|     |            |           | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング<br>(-) | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング<br>(-) | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング<br>(-) | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング<br>(-) | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング<br>(-) | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング<br>(-) | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング<br>(-) |
| 36  | 177.5      | 上部軸<br>ブラ | 2.3            | 1.103        | 2.3            | 1.174        | 2.3            | 1.069        | 3.9            | 1.119        | 2.8            | 1.083        | 3.9            | 1.097        | 1.9            | 1.344        |
| 35  | 172.5      |           | 3.1            | 1.099        | 3.1            | 1.174        | 3.1            | 1.070        | 5.0            | 1.113        | 3.8            | 1.084        | 5.2            | 1.094        | 2.5            | 1.368        |
| 34  | 167.5      |           | 4.2            | 1.094        | 4.2            | 1.171        | 4.2            | 1.073        | 6.6            | 1.101        | 5.1            | 1.083        | 7.0            | 1.095        | 3.3            | 1.384        |
| 33  | 162.5      |           | 5.8            | 1.089        | 5.9            | 1.165        | 5.7            | 1.076        | 8.7            | 1.085        | 7.0            | 1.081        | 9.4            | 1.095        | 4.4            | 1.396        |
| 32  | 157.5      |           | 10.4           | 1.082        | 10.5           | 1.162        | 10.3           | 1.076        | 17.2           | 1.070        | 14.2           | 1.077        | 18.9           | 1.097        | 8.8            | 1.409        |
| 31  | 152.5      |           | 14.0           | 1.074        | 14.3           | 1.150        | 13.8           | 1.077        | 22.0           | 1.055        | 18.7           | 1.076        | 24.5           | 1.095        | 11.5           | 1.424        |
| 30  | 147.5      |           | 18.9           | 1.065        | 19.7           | 1.134        | 18.4           | 1.079        | 27.7           | 1.053        | 24.3           | 1.074        | 31.2           | 1.094        | 14.8           | 1.439        |
| 29  | 142.5      |           | 26.1           | 1.056        | 27.6           | 1.115        | 25.1           | 1.082        | 34.4           | 1.069        | 31.3           | 1.072        | 39.3           | 1.095        | 18.9           | 1.457        |
| 28  | 137.5      |           | 158.6          | 1.049        | 173.4          | 1.058        | 155.0          | 1.079        | 53.4           | 1.128        | 50.6           | 1.086        | 61.7           | 1.095        | 29.8           | 1.538        |
| 27  | 132.5      | 炉心部       | 187.9          | 1.045        | 207.9          | 1.050        | 183.0          | 1.073        | 62.9           | 1.145        | 61.0           | 1.088        | 73.3           | 1.086        | 35.6           | 1.548        |
| 26  | 127.5      |           | 211.5          | 1.043        | 235.4          | 1.047        | 205.8          | 1.066        | 80.8           | 1.142        | 80.4           | 1.083        | 94.7           | 1.078        | 46.0           | 1.541        |
| 25  | 122.5      |           | 236.6          | 1.042        | 264.1          | 1.046        | 230.1          | 1.064        | 90.1           | 1.141        | 90.8           | 1.081        | 106.2          | 1.076        | 51.6           | 1.538        |
| 24  | 117.5      |           | 254.3          | 1.041        | 283.8          | 1.044        | 247.6          | 1.059        | 106.9          | 1.138        | 109.7          | 1.077        | 126.6          | 1.070        | 61.4           | 1.532        |
| 23  | 112.5      |           | 272.9          | 1.040        | 304.7          | 1.043        | 265.9          | 1.056        | 114.8          | 1.136        | 118.7          | 1.075        | 136.2          | 1.068        | 66.0           | 1.528        |
| 22  | 107.5      |           | 284.5          | 1.039        | 316.8          | 1.042        | 277.4          | 1.052        | 127.9          | 1.133        | 134.0          | 1.072        | 152.2          | 1.064        | 73.5           | 1.523        |
| 21  | 102.5      |           | 296.2          | 1.038        | 329.7          | 1.041        | 288.9          | 1.050        | 133.4          | 1.131        | 140.3          | 1.071        | 158.9          | 1.062        | 76.6           | 1.520        |
| 20  | 97.5       |           | 302.0          | 1.037        | 334.9          | 1.041        | 294.5          | 1.048        | 141.0          | 1.129        | 149.8          | 1.069        | 168.4          | 1.060        | 80.7           | 1.518        |
| 19  | 92.5       |           | 306.8          | 1.037        | 339.9          | 1.040        | 299.0          | 1.046        | 143.3          | 1.128        | 152.6          | 1.068        | 171.2          | 1.059        | 81.9           | 1.517        |
| 18  | 87.5       |           | 307.3          | 1.036        | 339.3          | 1.040        | 298.9          | 1.045        | 144.7          | 1.128        | 155.2          | 1.067        | 173.3          | 1.059        | 82.3           | 1.516        |
| 17  | 82.5       |           | 305.3          | 1.036        | 336.9          | 1.039        | 296.4          | 1.045        | 143.6          | 1.128        | 154.2          | 1.067        | 171.9          | 1.059        | 81.4           | 1.517        |
| 16  | 77.5       |           | 300.6          | 1.037        | 331.0          | 1.039        | 290.9          | 1.046        | 138.5          | 1.129        | 149.6          | 1.066        | 166.2          | 1.060        | 78.0           | 1.518        |
| 15  | 72.5       |           | 291.8          | 1.037        | 321.1          | 1.039        | 281.5          | 1.046        | 134.1          | 1.130        | 144.9          | 1.066        | 160.7          | 1.061        | 75.2           | 1.521        |
| 14  | 67.5       |           | 281.9          | 1.038        | 310.0          | 1.039        | 270.8          | 1.049        | 123.1          | 1.132        | 133.6          | 1.067        | 147.8          | 1.063        | 68.3           | 1.524        |
| 13  | 62.5       |           | 266.2          | 1.038        | 292.7          | 1.039        | 254.7          | 1.050        | 115.8          | 1.134        | 125.6          | 1.067        | 138.8          | 1.065        | 63.8           | 1.528        |
| 12  | 57.5       |           | 250.7          | 1.039        | 276.0          | 1.038        | 238.8          | 1.054        | 100.0          | 1.137        | 109.0          | 1.067        | 120.0          | 1.070        | 54.4           | 1.534        |
| 11  | 52.5       |           | 228.3          | 1.040        | 251.5          | 1.036        | 216.6          | 1.054        | 90.8           | 1.139        | 98.9           | 1.066        | 108.7          | 1.072        | 48.8           | 1.538        |
| 10  | 47.5       |           | 207.4          | 1.044        | 229.4          | 1.033        | 196.1          | 1.059        | 72.9           | 1.141        | 79.8           | 1.063        | 87.1           | 1.079        | 38.3           | 1.545        |
| 9   | 42.5       |           | 180.4          | 1.043        | 200.3          | 1.030        | 169.8          | 1.062        | 63.0           | 1.127        | 68.7           | 1.060        | 74.9           | 1.087        | 32.3           | 1.537        |
| 8   | 37.5       | 下部軸<br>ブラ | 36.2           | 1.041        | 42.9           | 1.099        | 33.3           | 1.060        | 42.6           | 1.076        | 47.1           | 1.069        | 50.5           | 1.093        | 20.9           | 1.466        |
| 7   | 32.5       |           | 28.2           | 1.042        | 34.0           | 1.136        | 25.9           | 1.054        | 35.2           | 1.063        | 38.8           | 1.073        | 41.3           | 1.093        | 16.6           | 1.453        |
| 6   | 27.5       |           | 22.4           | 1.045        | 27.3           | 1.170        | 20.4           | 1.050        | 28.8           | 1.063        | 31.7           | 1.080        | 33.5           | 1.095        | 13.2           | 1.443        |
| 5   | 22.5       |           | 17.9           | 1.048        | 22.0           | 1.203        | 16.2           | 1.047        | 23.4           | 1.065        | 25.8           | 1.087        | 27.0           | 1.098        | 10.3           | 1.432        |
| 4   | 17.5       |           | 11.0           | 1.051        | 13.5           | 1.244        | 9.6            | 1.047        | 13.1           | 1.060        | 14.8           | 1.086        | 14.8           | 1.099        | 5.4            | 1.423        |
| 3   | 12.5       |           | 8.8            | 1.053        | 10.9           | 1.284        | 7.7            | 1.042        | 10.7           | 1.060        | 12.0           | 1.090        | 11.8           | 1.100        | 4.2            | 1.413        |
| 2   | 7.5        |           | 7.4            | 1.054        | 9.1            | 1.319        | 6.3            | 1.038        | 9.0            | 1.061        | 10.1           | 1.095        | 9.8            | 1.103        | 3.4            | 1.397        |
| 1   | 2.5        |           | 6.8            | 1.052        | 8.2            | 1.335        | 5.7            | 1.034        | 8.5            | 1.073        | 9.4            | 1.095        | 8.8            | 1.110        | 3.1            | 1.363        |

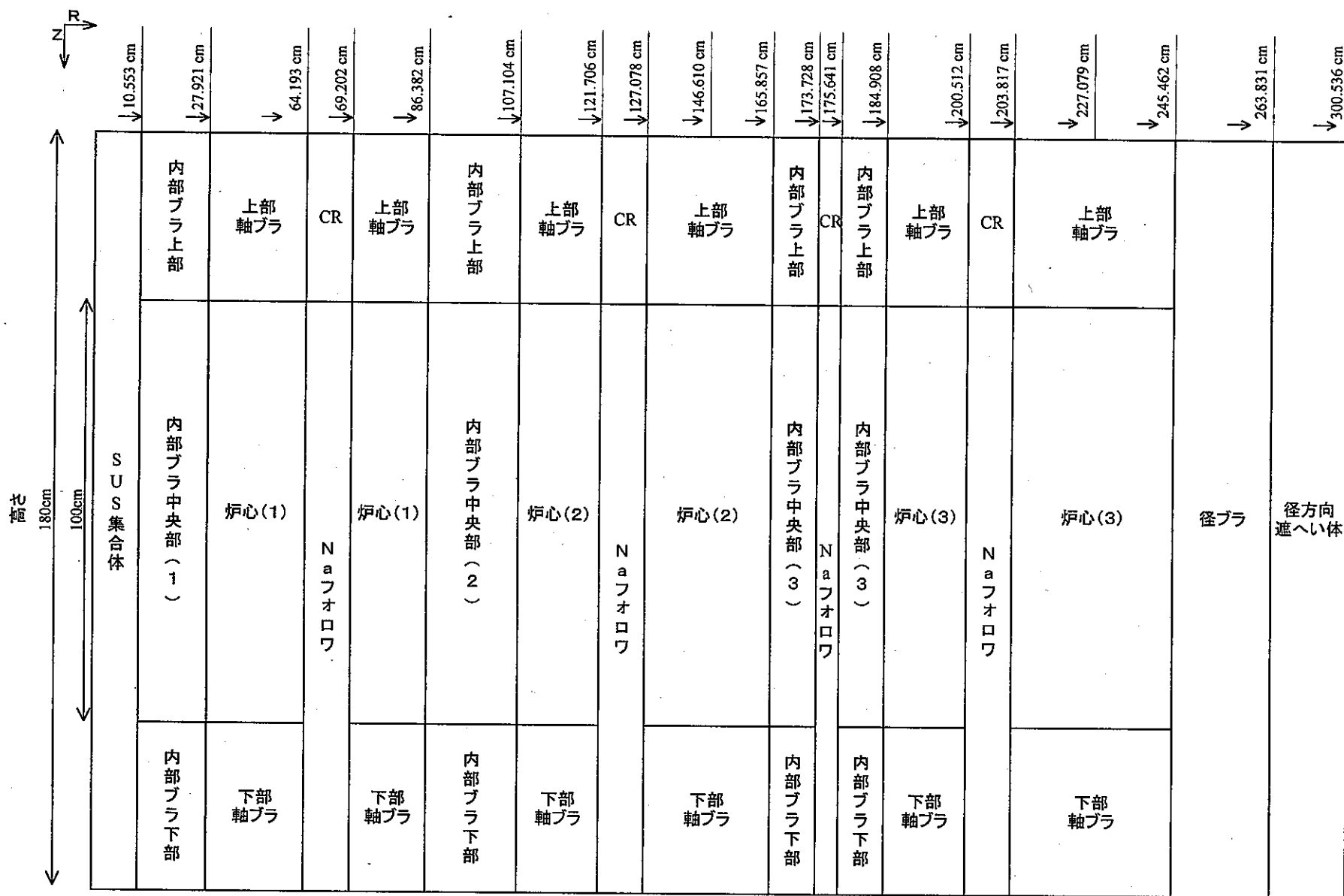
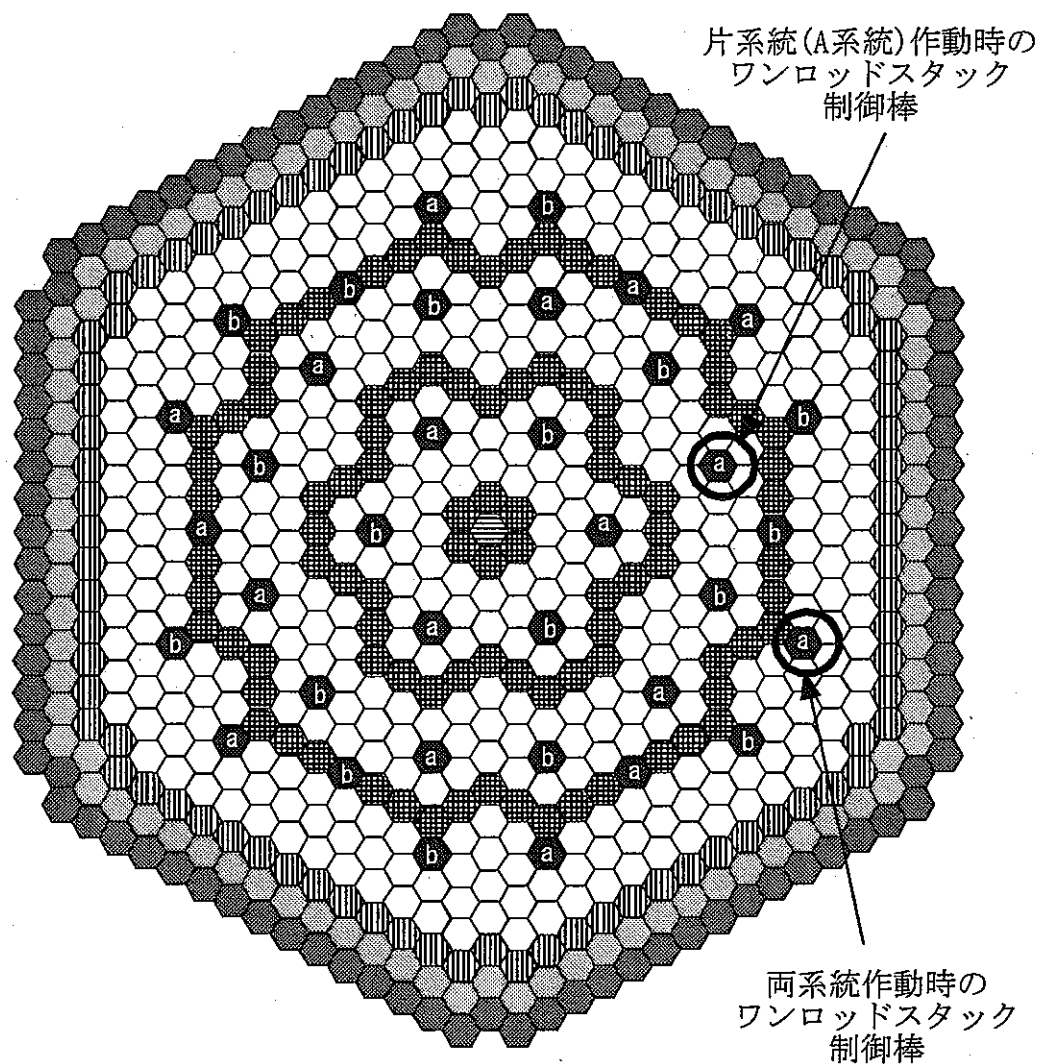


図 3.1.2-1 大型径方向非均質炉心における2次元RZ計算の計算体系



|     |           |      |
|-----|-----------|------|
| ○   | 炉心燃料集合体   | 408体 |
| ■   | 内部ブランケット  | 96体  |
| ▨   | 径方向ブランケット | 84体  |
| ▤   | SUS集合体    | 1体   |
| ▥   | SUS遮蔽体    | 90体  |
| ▦   | ZrH遮蔽体    | 96体  |
| a   | A系統制御棒    | 18体  |
| b   | B系統制御棒    | 18体  |
| 合 計 |           | 811体 |

図 3.1.2-2 ABLE型燃料大型径方向非均質炉心の  
ワンロッドスタック制御棒位置

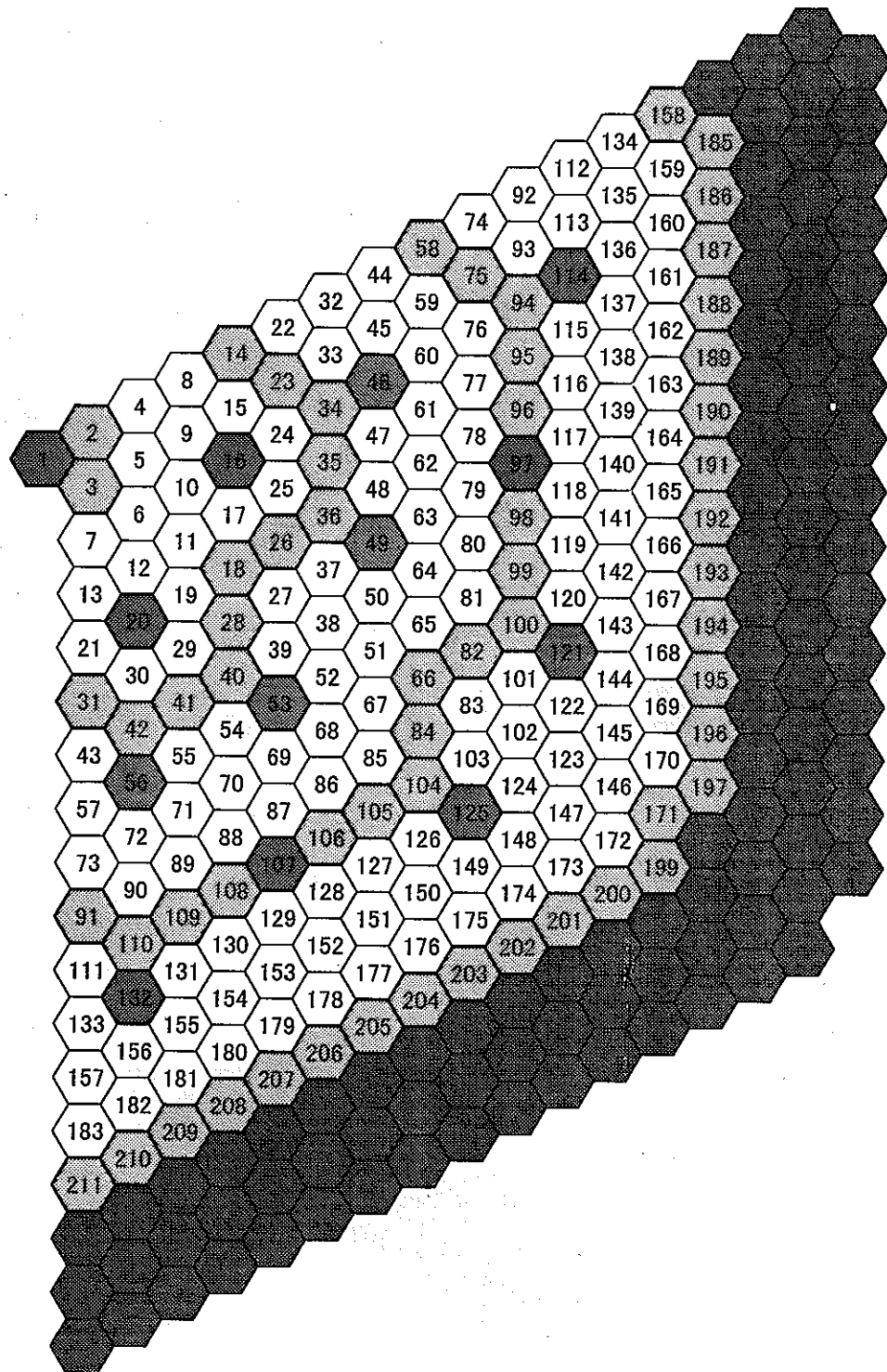


図 3.1.2-3 大型径方向非均質炉心の3次元拡散燃焼解析マップ [1/3炉心体系]  
(MOSESコード集合体番号)

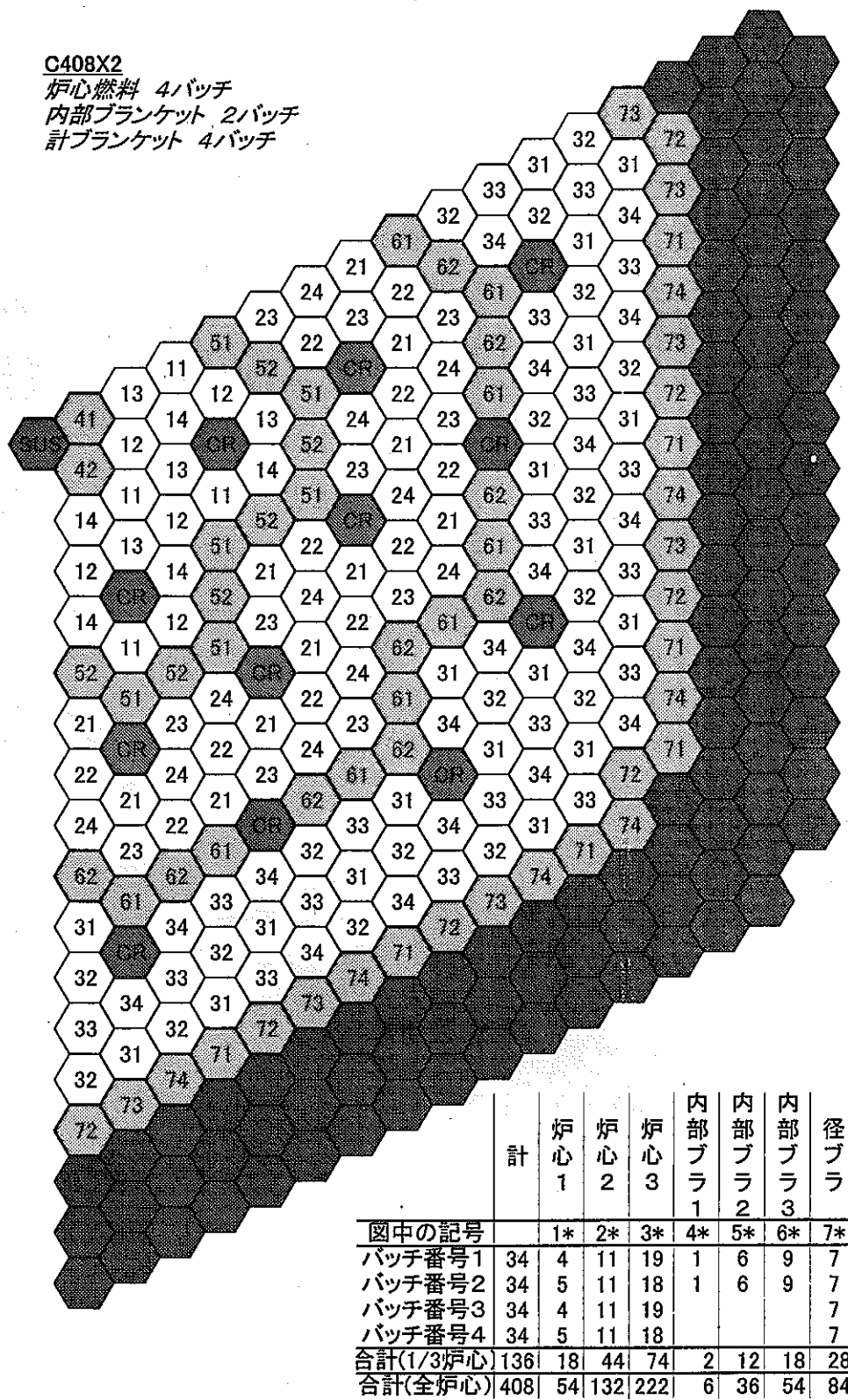


図 3.1.2-4 大型径方向非均質炉心の燃料交換バッチ番号

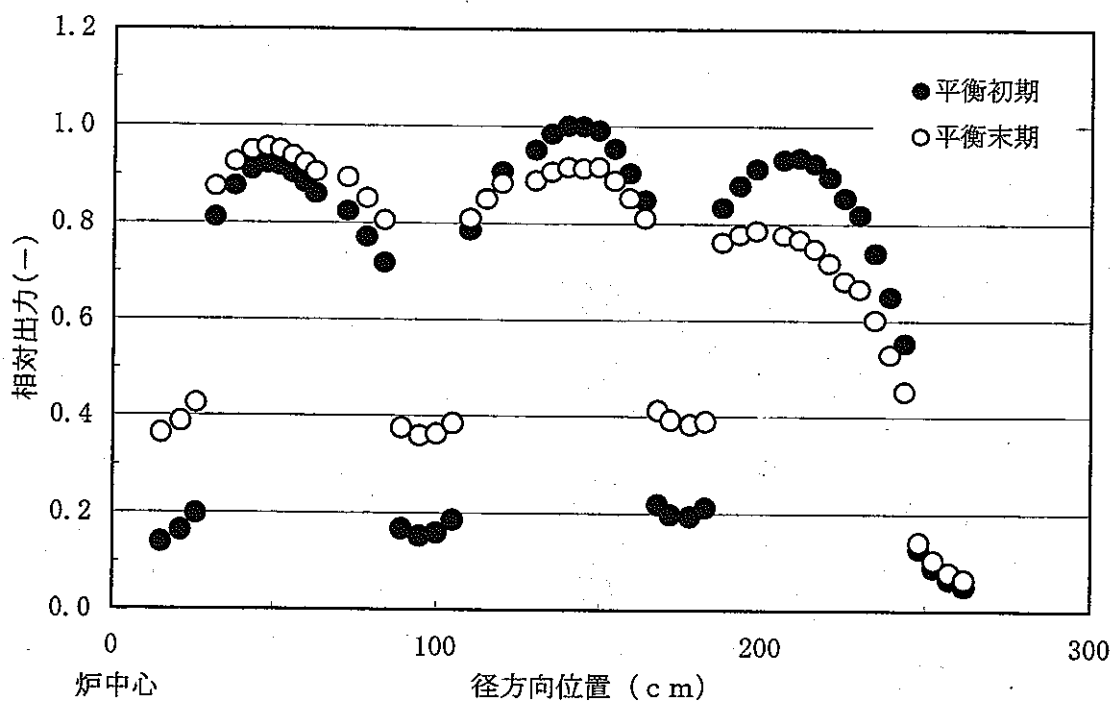


図 3.1.2-5 大型径方向非均質炉心の径方向出力分布(RZ 計算時)

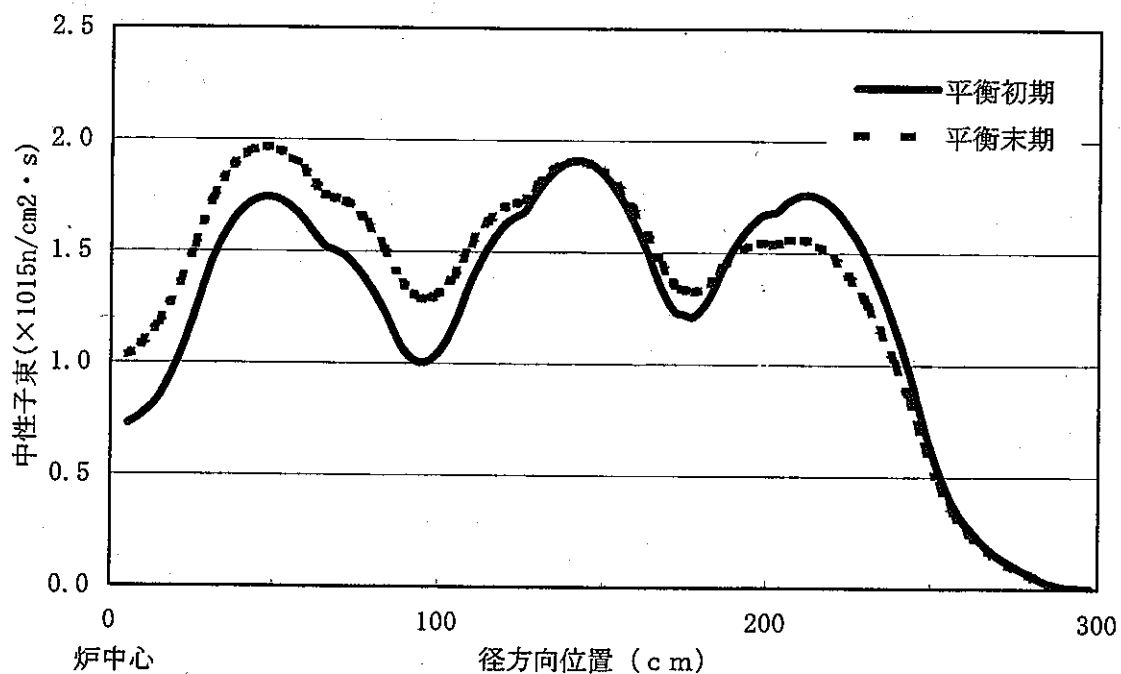


図 3.1.2-6 大型径方向非均質炉心の径方向中性子束分布(RZ 計算時)

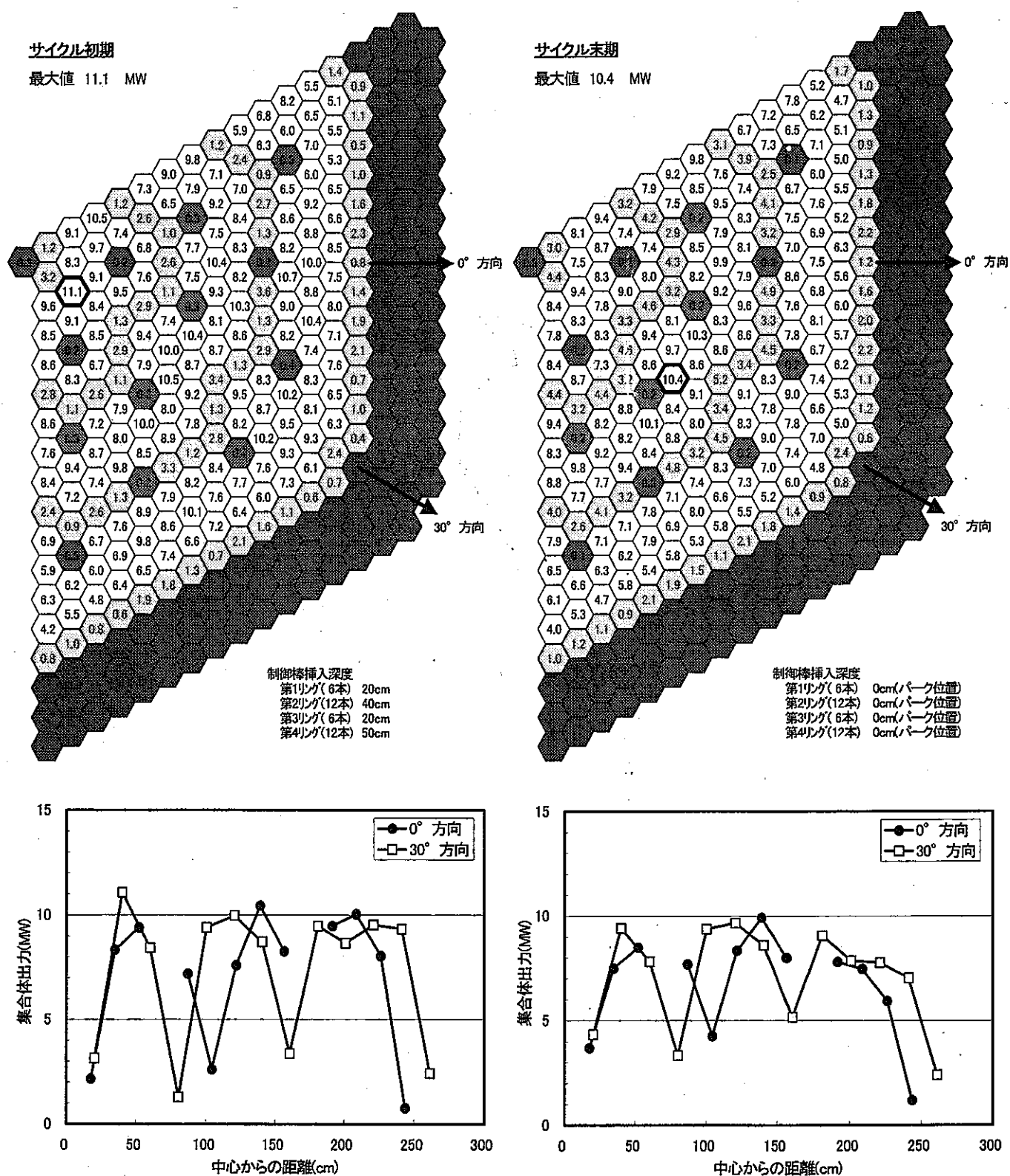
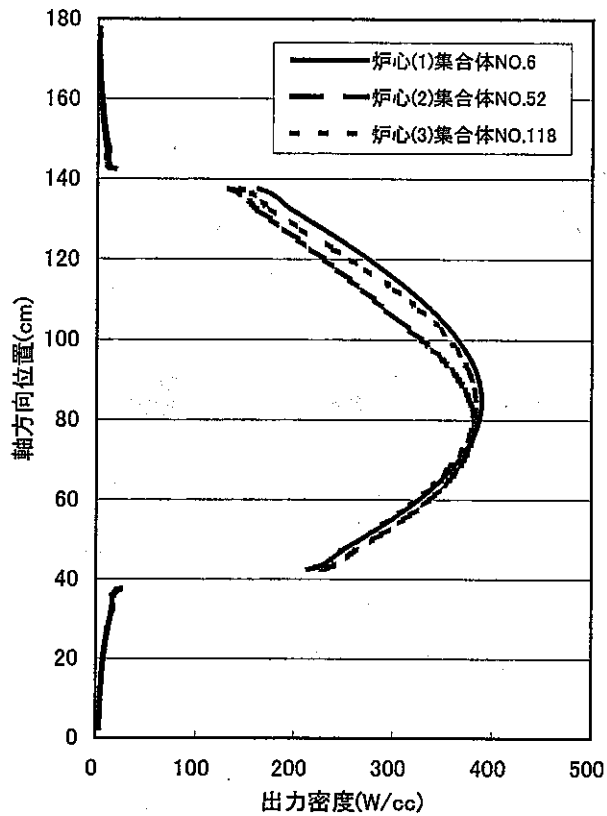
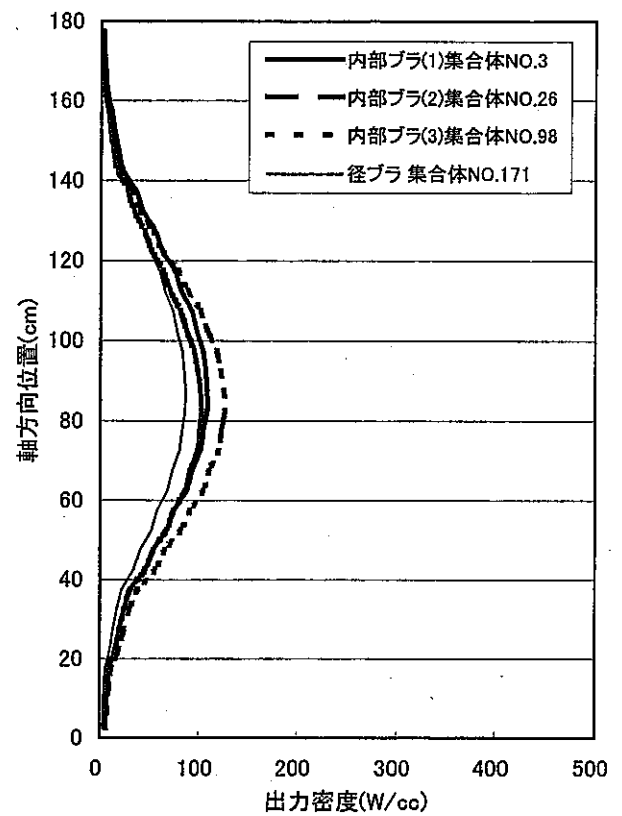


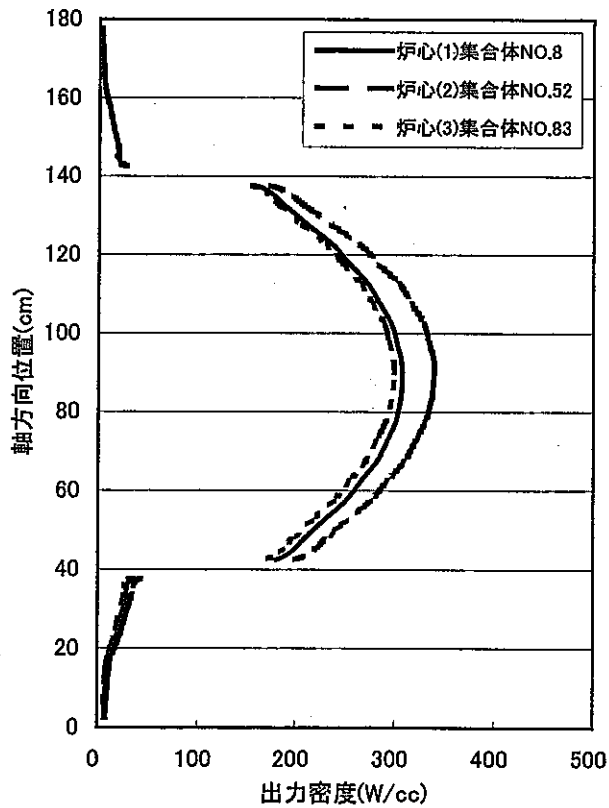
図 3.1.2-7 大型径方向非均質炉心における代表サイクル(第6サイクル)の集合体出力



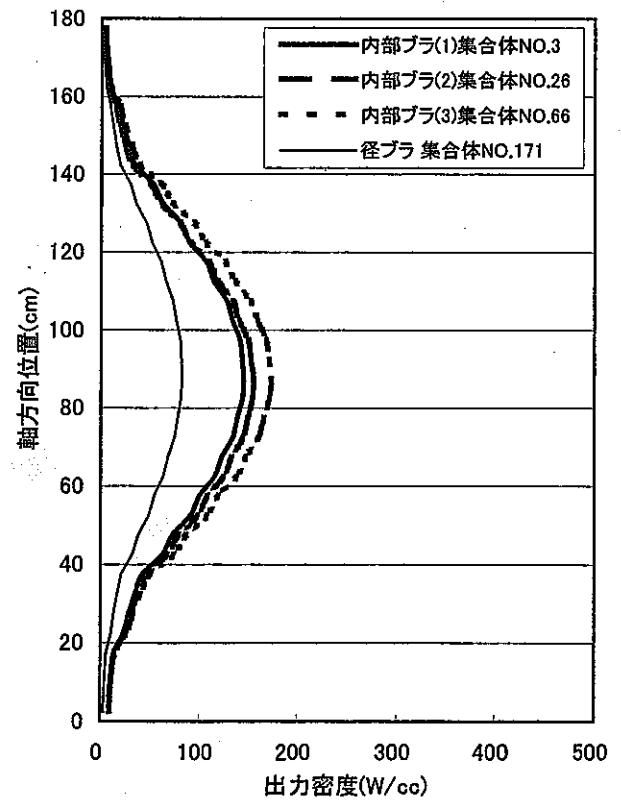
平衡初期の燃料集合体



平衡初期のブランケット集合体



平衡末期の燃料集合体



平衡末期のブランケット集合体

図 3.1.2-8 大型径方向非均質炉心における軸方向出力密度分布

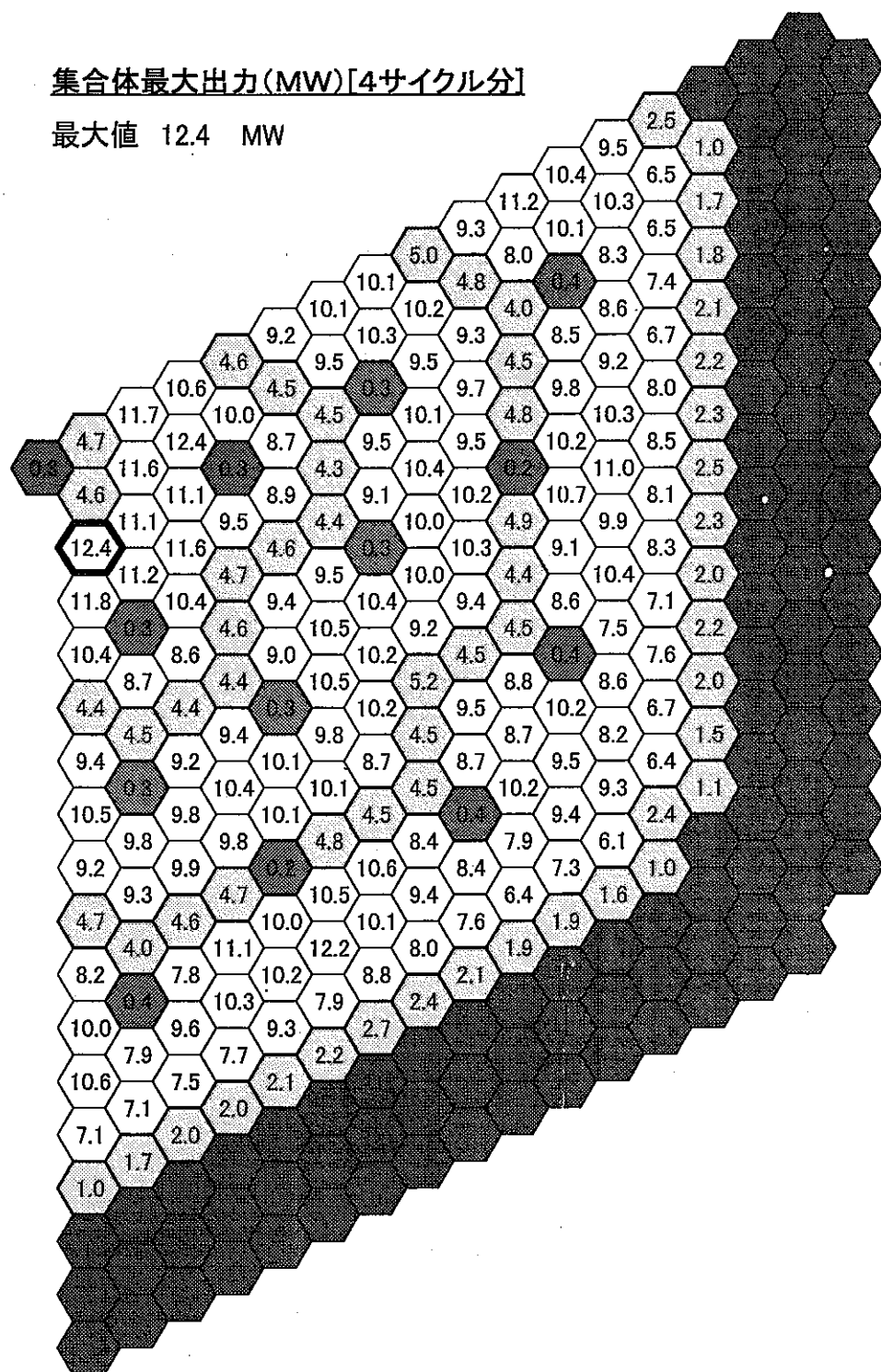


図 3.1.2-9 大型径方向非均質炉心における集合体出力最大値  
(平衡サイクル4サイクル分の最大)

表 3.1.2-12 大型径方向非均質炉心における領域毎代表集合体の集合体出力履歴

| 燃焼日数[日] |          | 0    | 540  | 540 | 1080 | 1080 | 1620 | 1620 | 2160 | 平均出力 |
|---------|----------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| サイクル時期  |          | BOC  | EOC  | BOC | EOC  | BOC  | EOC  | BOC  | EOC  |      |
| 炉心(1)   | (NO.9)   | 12.4 | 9.7  | 9.7 | 8.7  | 9.8  | 8.4  | 8.6  | 8.0  | 9.4  |
| 炉心(2)   | (NO.57)  | 10.5 | 10.4 | 8.5 | 9.2  | 8.0  | 8.5  | 7.6  | 8.3  | 8.9  |
| 炉心(3)   | (NO.152) | 12.2 | 8.4  | 9.3 | 7.4  | 8.6  | 6.9  | 7.8  | 6.5  | 8.4  |
| 内部ブラ(1) | (NO.2)   | 1.2  | 3.0  | 3.4 | 4.5  | 1.3  | 3.3  | 3.8  | 4.7  | 3.2  |
| 内部ブラ(2) | (NO.18)  | 1.2  | 3.0  | 3.1 | 4.5  | 1.3  | 3.3  | 3.2  | 4.7  | 3.0  |
| 内部ブラ(3) | (NO.66)  | 1.2  | 3.2  | 2.5 | 4.2  | 1.3  | 3.6  | 3.4  | 5.2  | 3.1  |
| 径ブラ     | (NO.205) | 0.7  | 1.2  | 1.3 | 1.5  | 1.8  | 1.9  | 2.7  | 2.4  | 1.7  |

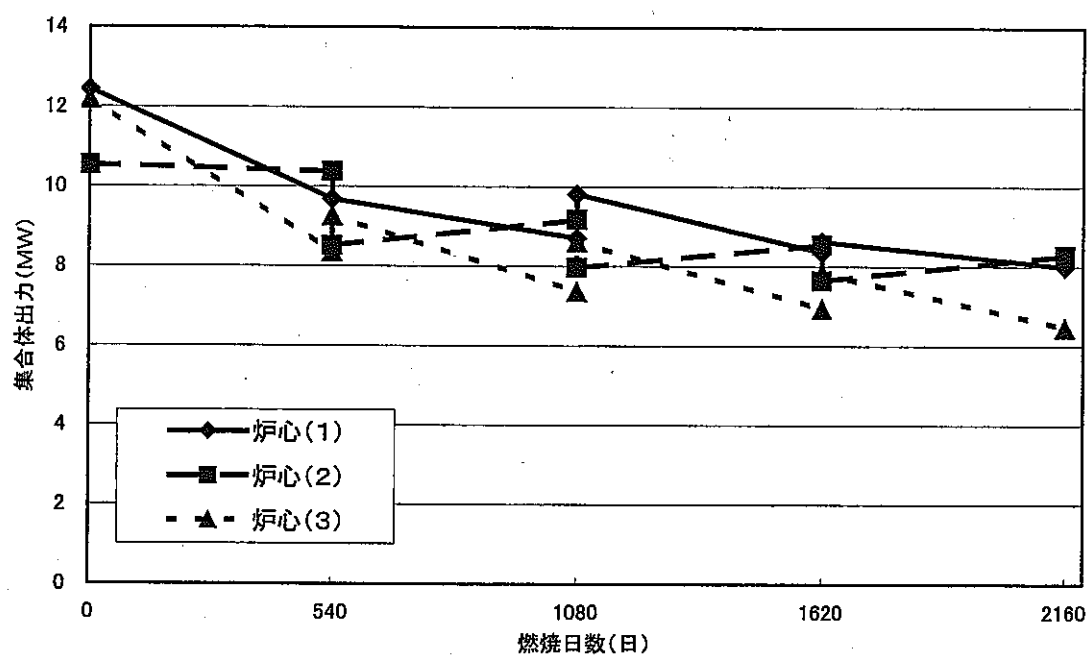
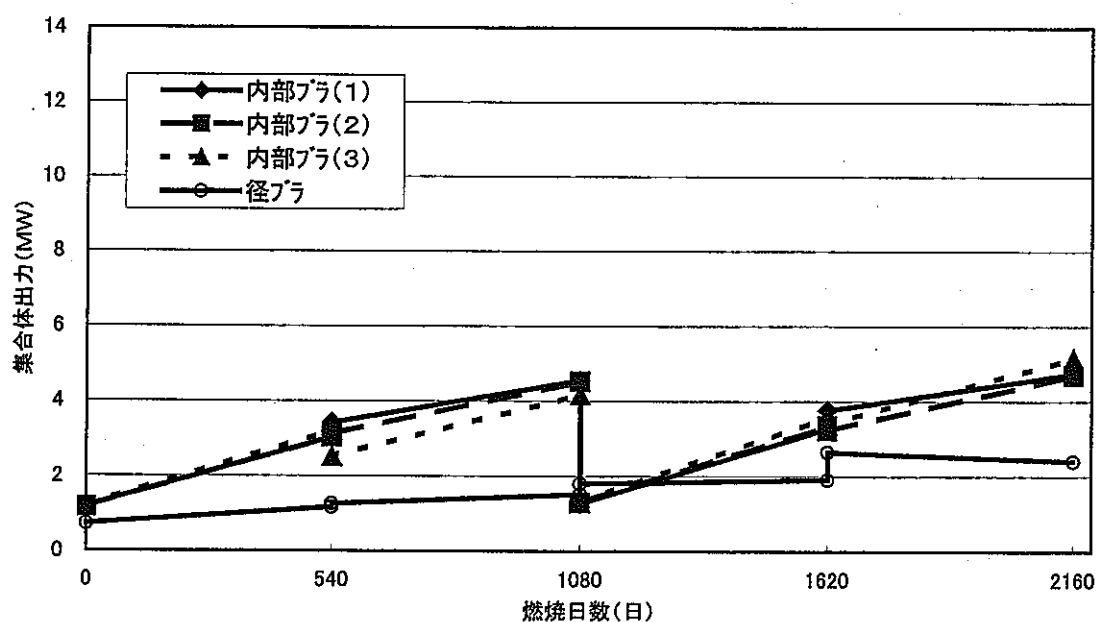


図 3.1.2-10(1) 大型径方向非均質炉心における集合体出力履歴(炉心燃料)

図 3.1.2-10(2) 大型径方向非均質炉心における集合体出力履歴  
(内部ブランケット、径ブランケット)

### 3.1.3 熱設計検討

3.1.1 及び 3.1.2 に示した大型径非均質炉心 (MOX 燃料) を対象として、流量配分設計検討を実施した。1 次系流量バランスから燃料集合体に配分可能な流量を簡易的に算出した。一方、出力分布履歴を入力として簡易評価式により炉心燃料集合体と内部ブランケット集合体の必要流量を計算した。これらに基づき、流量配分計画を暫定するとともに、設計成立のための課題を整理し、その解決方策を提案した。更に、隣接集合体出口温度差、被覆管最高温度履歴を評価するとともに、隣接集合体間出口温度差の低減方策等を検討した。なお、隣接集合体間出口温度差はプラント設計側との取合条件であり、また、被覆管最高温度履歴は燃料ピン健全性評価における入力条件として用いた。

#### (1) 検討対象

3.1.1 及び 3.1.2 節に示した径非均質炉心を検討対象とした。

#### (2) 検討条件、及び手法

2.3.2 に示した条件、及び手法を用いた。

#### (3) 検討結果

##### a) 炉心燃料および内部ブランケット燃料集合体に配分可能な流量 (炉容器内流配)

FBR 実証炉の設計結果<sup>[1]</sup>に基づき、本対象炉心における 1 次系流量および炉容器内流配を簡易評価し、炉心燃料と内部ブランケット燃料集合体に配分可能な流量を設定した。結果を表 3.1.3-1 に示す。

実証炉では 2 層の径方向ブランケット燃料集合体 (EOEC での出力分担率 3.0%) に 1 次系流量の約 5% を配分していることを参考として、本検討では径方向ブランケット燃料集合体に配分する流量割合をパラメータとし、実証炉並の 5%、および合理化が図られた場合を想定し出力分担率並の 3% とした。なお、本対象炉心の径ブランケット出力分担率は 2.6% (EOEC) である。また、制御棒、径方向遮蔽体およびその他 (漏洩流、炉壁冷却) 流量割合として、実証炉では 1 次系流量の 5.7% を計上している。本流量割合についてもパラメータとし、これを丸めた数値として 6% とした場合と、炉壁冷却相当分 (2% 程度) を合理化した場合とを想定した。

これら種々の想定に対する「炉心燃料および内部ブランケット燃料集合体に配分可能な流量 (以後、配分可能流量と呼ぶ)」は、各々 16,928kg/s (ケース 0)、16,564kg/s (ケース 1) および 16,200kg/s (ケース 2) となった。本検討では、これら各ケースの中で配分可能流量を最大限に確保できる最も合理化したケース、即ちケース 0 を基準ケースとした。

##### b) 必要流量

被覆管最高温度目安値を 700℃とした場合について、炉心燃料集合体と内部

ブランケット集合体の各集合体の必要流量を計算した。計算結果を表 3.1.3-2 に示す。各集合体の必要流量の単純合計値(以下、単に必要流量と呼ぶ)は、配分可能流量として設定したケースの中で最大であるケース 0 に着目した場合でも、配分可能流量を 1.7%超過する結果となった。流量領域を区分して流量を設定した場合に、設計流量合計値は必要流量よりも 3%~5%程度増加することを考慮すると、本炉心は必要流量を更に 5%~7%程度低減する必要があることになる。このように従来の均質炉心と比較して流配設計成立が困難である主な理由は、炉心燃料集合体よりも燃焼に伴う出力変動が大きい内部ブランケットが存在し、且つ、集合体流量は最大出力時の冷却条件(被覆管最高温度条件)を満足するように決定されるため、従来の均質炉心よりも多くの無駄流量が発生していることによる。

内部ブランケットおよび炉心燃料集合体の集合体出力履歴の概略を以下に述べる。本炉心の集合体番号および集合体出力分布を各々図 3.1.3-1、2 に示す。また、代表的な集合体として全 3 リングの内部ブランケットの各リングにて最大集合体出力となった内部ブランケット燃料集合体の集合体出力履歴を、当該集合体の寿命中平均出力と合わせて図 3.1.3-3 に示す。比較のために、炉心燃料集合体についても同様に各リングにて最大集合体出力となった集合体の集合体出力履歴を図 3.1.3-4 に示す。また、炉心燃料集合体と内部ブランケット燃料集合体の集合体出力履歴の特徴、および均質炉心との燃焼ミスマッチファクタの比較を表 3.1.3-3 にまとめる。内部ブランケット燃料集合体の集合体出力は、寿命初期で約 1MW(寿命中最小)であるが、燃焼とともにプルトニウムの蓄積により増大して寿命末期で最大となり、最大出力集合体で 4.6MW となっている。更に、内部ブランケット燃料集合体の集合体出力の変動幅は、全集合体平均で寿命初期から末期にかけて、3.5MW となっている。これに対し、炉心燃料集合体では、集合体出力の変動幅は全集合体平均で各々 2.9MW となっている。寿命中最大出力の寿命中平均出力に対する比は、全集合体平均にて炉心燃料集合体が 1.21 であるのに対し、内部ブランケット集合体では 1.59 となっている。このように、出力変動が大きい内部ブランケット燃料集合体ではより多くの無駄流量が発生するため、流配設計成立が均質炉心よりも困難となる。また、均質炉心と径非均質炉心とで炉心燃料集合体の燃焼ミスマッチファクタを比較すると、径非均質炉心の方が BOEC で 6~9%、EOEC で 2~5%程度大きくなっている(表 3.1.3-3)。従って、径非均質炉心では炉心燃料集合体の燃焼による出力変動も均質炉心より若干大きく、炉心燃料集合体の無駄流量も均質炉心より多くなる。

本対象の出力分布履歴条件では必要流量が配分可能流量を 1.7%超過しており、従来設計と同じ考え方では流量配分設計は成立しないことになる。しかし、本検討では、熱設計における将来の合理化策を課題として残した上で、c)にて流量配分計画を設定した。本流量配分計画は安全解析、被覆管温度履歴評価および隣接集合体間出口温度評価に用いた。

#### c) 流量配分計画の設定

b)で述べた通り、必要流量が配分可能流量を 1.7%超過している状況であるが、安全解析等下流側に着目すべき解析作業があることを踏まえ、暫定的に流量領域を区分し、配分流量を設定した。炉心燃料および内部ブランケット燃料の各集合体の必要流量分布、及び流量領域区分の様子を図 3.1.3-5 に示す。炉心燃料 6 領域、内部ブランケット燃料 2 領域の計 8 領域を目安とした。流量領域を区分したことにより、領域必要流量は配分可能流量の 105.0%となった。本検討では、この配分可能流量を超過した 5.0%について以下の通り対応することとし、流量配分計画を暫定的に設定した。設定した流量配分計画を表 3.1.3-4 に、流量領域区分を図 3.1.3-6 に示す。

なお、本設定においては、無駄流量をできるだけ低減することに加えて、炉構造側オリフィスおよび集合体エントランスノズル部オリフィスの設計に配慮し、近接する集合体設計流量間にてある程度(ここでは 2kg/s 程度)以上の差異を確保するよう留意した。また、まずは配分可能流量以下とすることが重要であるため、流量領域区分の際に集合体配置条件は特に考慮しないこととした。

#### 【配分可能流量を 5.0%超過したことに対する対応】

- ①3%分の配分流量削減: ODS 被覆管の高い高温強度を踏まえ、成立性確認については課題があるものの暫定的に被覆管制限温度目安を約 710℃とし、この分に相当する流量 3%を削減することとした。従って、ODS 鋼被覆管の 710℃程度での健全性確認等が重要な課題となる。
- ②2%分の炉心・燃料設計合理化: 被覆管最高温度発生要因となる各因子(以降、高温点因子と呼ぶ)を今後ホットスポットファクタ内の過剰な不確かさ因子の見直しを含む制度向上等の方策により 2%合理化できるものとした。

なお、b)にて述べた通り、出力変動が大きい内部ブランケットの流量を、その滞在サイクルに応じて変更することにより(内部ブランケット間シャッフリング、もしくは燃料交換時に集合体出口部に流動抵抗を除去/付加する方策等)、領域必要流量は約 1%削減できる可能性があるため、これが実現できる場合には①、②について合理化目標を合わせて約 1%緩和できることになる。

#### d) 被覆管温度履歴

c)にて述べた通り、今後の炉心・燃料設計の合理化(高温点因子の 2%の合理化)を期待した場合の被覆管温度履歴を評価した。各集合体のうち最高温度ピンの被覆管温度履歴を表 3.1.3-5 に示す。被覆管最高温度は炉心燃料集合体、内部ブランケット燃料集合体とも約 710℃となった。なお、本データは燃料ピン健全性評価に用いられた。

#### e) 内部ブランケット燃料集合体隣接集合体間出口温度差および低減方策案

##### i) 内部ブランケットー炉心燃料集合体間出口温度差

内部ブランケット燃料集合体およびこれと隣接する炉心／内部ブランケット燃料集合体の冷却材出口温度履歴を計算し、内部ブランケット隣接集合体間出口温度差の最大値を評価した。評価結果を図 3.1.3-7 に示す。隣接集合体間出口温度差の最大値は内部ブランケット第 1 リングにて発生し約 170℃となった。また、いずれのリングにおいても 130～160℃程度の範囲の隣接集合体間出口温度差が発生する結果となり、各内部ブランケット集合体最大値の全集合体平均は約 150℃であった。

最大値約 170℃の温度差が発生した内部ブランケット燃料集合体 (SA No.3) とそれに隣接する内部ブランケット集合体 SA No.2 を対象とした平衡サイクルにおける隣接集合体間出口温度差履歴を図 3.1.3-8 に示す。平衡サイクル寿命中に常時発生している隣接集合体間出口温度差は 60℃以上となった。以下に、隣接集合体間出口温度差と発生期間の割合を示す。

| 隣接集合体間出口温度差 | 発生期間の割合 |         |
|-------------|---------|---------|
|             | SA No.3 | SA No.2 |
| 60℃以上       | 100%    | 100%    |
| 80℃以上       | 45%     | 40%     |
| 100℃以上      | 25%     | 20%     |
| 120℃以上      | 15%     | 10%     |
| 140℃以上      | 10%     | 5%      |

この様に常時最大の出口温度差(約 170℃)が発生している訳ではないが、比較的高い出口温度差が隣接内部ブランケット燃料集合体同士で各サイクルにて位相がずれて発生するため(内部ブランケット 2 バッチ)、いずれか片方の内部ブランケット集合体にて比較的高い隣接集合体間出口温度差が常時発生していることとなる(図 3.1.3-8)。

今後は、炉心燃料設計における隣接集合体間出口温度差の低減方策の検討、およびプラント設計との調整／取合が重要である。

## ii) 内部ブランケット隣接集合体間出口温度差低減方策案

径方向非均質炉心における内部ブランケット隣接燃料集合体間出口温度差の低減方策案を表 3.1.3-6 にまとめて示す。また、S-PRISM 設計において集合体出口温度差制限値を 200℃程度としている文献情報を表 3.1.3-7<sup>[2]</sup>に示す。今後、プラント設計も含めた検討が望まれる。

## iii) 内部ブランケット流量配分の検討(シャフリング／サイクル毎の可変流調機構)

上記に示した種々の低減方策のうち、炉心燃料設計における内部ブランケット隣接集合体間出口温度差低減方策の 1 つとして、内部ブランケット燃料集合体の流量を炉内滞在サイクル数に応じて変更した場合の隣接集合体間出口温度差低減効果を検討した。このようなサイクル毎の集合体流量変更を実施する方策案としては、炉構造側に第 1 サイクル目用流量と第 2 サイクル目用流

量とを与えるようなオリフィス構造を用意しておき、これらの間で内部ブランケット燃料集合体をシャフリングをする方法、または、燃料交換時に内部ブランケット集合体出口部に流動抵抗を着脱する方法（不連続型の可変流調機構）等が考えられる（表 3.1.3-6 の 1 番と 3 番）。なお、流量領域区分は第 1、第 2 サイクル用流量を各々 1 区分、つまり内部ブランケットの流量領域として 2 区分とした。

第 1 サイクル、第 2 サイクル間で流量を変更した場合の内部ブランケットの必要流量および設計流量を表 3.1.3-8 に示す。また、この流配計画における内部ブランケットー隣接燃料集合体間出口温度差を図 3.1.3-9 に示す。内部ブランケット流量を滞在サイクル数に応じて設定することにより、隣接集合体間出口温度差最大値は 167℃から 143℃へと 24℃低減され、各内部ブランケット集合体最大値の全集合体平均は、147℃から 130℃へと 17℃低減された。

内部ブランケットの流量配分を運転サイクル単位ではあるが出力変化に応じた流量とした本ケースにおいても、それほど隣接集合体間出口温度差が低減されなかった理由について述べる。最大温度差が発生した内部ブランケット集合体（SA No.3）およびその隣接内部ブランケット燃料集合体 No.2 の出力履歴を図 3.1.3-10 に示す。第 1 サイクルと第 2 サイクルの集合体流量はそれぞれのサイクル末期の出力条件にて被覆管最高温度が約 710℃となるように決定される。ここで、第 1 サイクルでは BOL でのプルトニウムの蓄積が全くなく、照射開始とともにプルトニウムが生成して出力が急速に増大する傾向を有し、結果として BOL での集合体出力は第 1 サイクル末期の 40%程度の出力しかないために、BOL での出口温度は低く押さえられたままととなる。第 2 サイクル目については、BOC での出力は EOC での出力の 75%程度であるために、BOC での出口温度低下は第 1 サイクル目よりも甚だしくはない。

内部ブランケットの配分流量を第 1/第 2 サイクルで変更した場合の隣接出口温度差低減効果を理解するために、これをした場合としない場合とでの内部ブランケット出口温度履歴を図 3.1.3-11 に示す。また、サイクル毎に内部ブランケット流量を調節した本流量配分計画での隣接集合体間出口温度差履歴を図 3.1.3-12 に示す。また、隣接集合体間出口温度差と発生期間の割合を示す。

| 隣接集合体間出口温度差 | 発生期間の割合 |         |
|-------------|---------|---------|
|             | SA No.3 | SA No.2 |
| 40℃以上       | 80%     | 100%    |
| 60℃以上       | 55%     | 45%     |
| 80℃以上       | 30%     | 20%     |
| 100℃以上      | 20%     | 10%     |
| 120℃以上      | 10%     | 5%      |

この様に常時最大の出口温度差(約 145℃)が発生している訳ではないが、比較的高い出口温度差が隣接内部ブランケット燃料集合体同士で各サイクルにて位相がずれて発生するため(内部ブランケット 2 バッチ)、いずれか片方の内部ブランケット集合体にて比較的高い隣接集合体間出口温度差が各サイクルにて発生していることとなる(図 3.1.3-12)。

なお、出力変動が炉心燃料よりも大きい内部ブランケット集合体の流量をその滞在サイクル数に応じて変更することにより、被覆管最高温度目安値を 700℃とした場合の必要流量は、流量変更をしない場合の 101.7%から 100.4%へと 1.3%低減した(配分可能流量に対する比)。流量領域を区分した場合の領域必要流量は 103.9%となり、第 1 サイクル/第 2 サイクル間で内部ブランケット流量を変更しない場合の領域必要流量 105.0%より約 1%節約された。これにより、配分流量を 3%削減して被覆管最高温度を約 710℃とした場合に、更に要求される高温点因子合理化分は 2%から 1%へと半減されることになる。

#### f) 制御棒隣接集合体間出口温度差

本検討では制御棒設計については未検討であるため、実証炉設計研究<sup>1)</sup>における制御棒温度条件を参考として制御棒出口温度を設定した。評価結果を図 3.1.3-13 に示す。制御棒隣接集合体間出口温度差最大値は 170℃程度となった。

なお、実証炉設計では制御棒-隣接燃料集合体間の出口温度差最大値は 153℃(初期段階炉心(炉心部取出平均燃焼度約 9 万 MWd/t)、EOEC、主炉停止系、制限目安値 150℃)となっている。

今後、制御棒核熱設計(運用方法の検討、発熱量/出口温度評価)の実施、出口部冷却材混合効果等を念頭においた制御棒/炉心燃料構造設計検討の実施、およびプラント設計側との調整が望まれる。

#### (4) 径方向非均質炉心の熱設計検討のまとめ

大型径非均質炉心(MOX 燃料)を対象として流量配分設計検討を実施し、被覆管温度履歴、隣接集合体間出口温度差等の主要熱特性を評価した。結果を以下にまとめる。

- 均質炉心と比較して主に内部ブランケットの出力変動が大きいことにより被覆管制限温度目安 700℃の下では流配設計成立は困難である。ここで、被覆管材料(ODS 鋼)の高温健全性確認に課題があるものの暫定的に被覆管最高温度目安を約 710℃とし、更に今後の被覆管高温点因子の 2%程度の合理化を期待することにより流量配分設計は成立する見通しを得た。また、安全解析用に流量配分計画を暫定した。従って、本炉心では、ODS 鋼被覆管の 710℃程度での健全性確認等が重要な課題となる。
- 内部ブランケット隣接集合体間出口温度差は最大で約 170℃となった。これに対し、今後の出口温度差低減方策案を整理した。なお、内部ブランケット間でのシャフリング、もしくは燃料交換時に集合体出口部の流動抵抗を調節する等によるサイクル

毎の流量調節方策を採用した場合、出口温度差最大値を約 145℃へと 25℃程度低減できる。また、本サイクル間流量調節を採用した場合は、被覆管最高温度の高温化分もしくは高温点因子の合理化分を合わせて 1%程度節約できる見通しを得た。出口温度差低減方策については、今後、プラント設計も含めた検討が望まれる。

●制御棒隣接集合体出口温度差は最大で約 170℃となった。今後、プラント設計との調整が望まれる。

●本炉心における流配／熱設計を成立させるためには「①ODS 被覆管最高温度 710℃程度での健全性等の確認」および「②被覆管最高温度発生要因因子の約 2%の合理化」の双方を実現することが不可欠である。

また、「③内部ブランケット隣接集合体出口温度差、および④制御棒隣接集合体出口温度差の低減化」を集合体構造設計検討も含めて推進するとともに、プラント設計分野との調整／取合確認が本炉心の熱設計成立を見通す上で必要である。

表 3.1.3-1 炉心燃料集合体及び内部ブランケット燃料集合体への配分可能流量

| 項目               | 実証炉 <sup>[1]</sup><br>(参考) | 径非均質<br>ケース 0 | 径非均質<br>ケース 1 | 径非均質<br>ケース 2 | 均質炉心 <sup>[1]</sup><br>(参考) |
|------------------|----------------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------------|
| 熱出力 (MWt)        | 1600                       | 3570          | ←             | ←             | 3800                        |
| 1 次系流量 (kg/s)    | 8158                       | 18203         | ←             | ←             | 19375                       |
| 配分可能流量 (kg/s)    | 7285                       | 16928         | 16564         | 16200         | 17244                       |
| 流量配分(*1) (炉容器内)  |                            |               |               |               |                             |
| 制御棒／径方向遮蔽体       | 5.7%                       | } 7%          | 6%            | 6%            | 6%                          |
| 径ブランケット燃料集合体     | 5.0%                       |               | 3%            | 5%            | 5%                          |
| 炉心／内部ブランケット燃料集合体 | 89.3%                      | 93.0%         | 91.0%         | 89.0%         | 89.0%                       |

(\*1) 1 次系流量に対する割合を示す。

表 3.1.3-2 径方向非均質炉心の必要流量評価結果

| 項目                |            |            |            |
|-------------------|------------|------------|------------|
| 必要流量              |            |            |            |
| 炉心燃料集合体           | 15489 kg/s |            |            |
| 内部ブランケット燃料集合体     | 1719 kg/s  |            |            |
| 合計                | 17208 kg/s |            |            |
| 配分可能流量            | ケース 1      | ケース 2      | ケース 3      |
| 必要流量の配分可能流量に対する割合 | 16928 kg/s | 16564 kg/s | 16200 kg/s |
| 炉心燃料集合体           | 91.5%      | 93.5%      | 95.6%      |
| 内部ブランケット燃料集合体     | 10.2%      | 10.4%      | 10.6%      |
| 合計                | 101.7%     | 103.9%     | 106.2%     |

表 3.1.3-3 集合体出力履歴の様子

| ● 径非均質炉心の炉心と内部ブランケットとの比較     |         |  |               |  |  |  |
|------------------------------|---------|--|---------------|--|--|--|
|                              | 炉心燃料集合体 |  | 内部ブランケット燃料集合体 |  |  |  |
| 寿命中最小（全 SA 平均 <sup>*1)</sup> | 6.5MW   |  | 1.1MW         |  |  |  |
| 寿命平均（全 SA 平均）                | 7.8MW   |  | 2.9MW         |  |  |  |
| 寿命中最大（全 SA 平均）               | 9.4MW   |  | 4.6MW         |  |  |  |
| 寿命中変動幅（全 SA 平均）              | 2.9MW   |  | 3.5MW         |  |  |  |
| 寿命中最大/寿命平均（全 SA 平均）          | 1.21    |  | 1.59          |  |  |  |

| ● 径非均質炉心と均質炉心の燃焼ミスマッチファクタの比較（集合体ミスマッチファクタ <sup>*2)</sup> |        |          |                          |      |         |      |
|----------------------------------------------------------|--------|----------|--------------------------|------|---------|------|
|                                                          | 径非均質炉心 |          | 均 質 炉 心                  |      |         |      |
|                                                          |        |          | 内部ダクト付き炉心 <sup>[1]</sup> |      | 実証炉(高燃) |      |
|                                                          | 炉心     | 内部ブランケット | 内側炉心                     | 外側炉心 | 内側炉心    | 外側炉心 |
| BOEC                                                     | 1.17   | 1.49     | 1.06                     | 1.10 | 1.09    | 1.13 |
| EOEC                                                     | 1.11   | 1.22     | 1.05                     | 1.08 | 1.07    | 1.12 |

\*1) 「各集合体の寿命中最小値」について、全集合体の体数平均を取った値。以下、平均、最大、変動幅についても同様。

\*2) 均質炉心については 2 次元 RZ 拡散燃焼計算による集合体ミスマッチファクタ、即ち「新燃料組成での集合体出力/バッチ平均組成の集合体出力」の値を記載。径非均質炉心については 3 次元拡散燃焼計算による「新燃料の集合体出力/寿命中平均出力」の値をそれぞれ BOEC、EOEC について記載。

表 3.1.3-4 大型径方向非均質炉心の流量配分計画

|               | 流量領域番号 | 集合体数<br>(体) | 集合体設計流量<br>(kg/s) | 領域設計流量<br>(kg/s) | 領域設計流量合計<br>(kg/s) | 配分可能流量に<br>対する割合 <sup>(*)</sup> |
|---------------|--------|-------------|-------------------|------------------|--------------------|---------------------------------|
| 炉心燃料集合体       | 1      | 39          | 43.6              | 1700.4           | 15192              | 89.7%                           |
|               | 2      | 69          | 40.9              | 2822.1           |                    |                                 |
|               | 3      | 117         | 38.2              | 4469.4           |                    |                                 |
|               | 4      | 90          | 35.6              | 3204.0           |                    |                                 |
|               | 5      | 60          | 33.1              | 1986.0           |                    |                                 |
|               | 6      | 33          | 30.6              | 1009.8           |                    |                                 |
| 内部ブランケット燃料集合体 | 7      | 45          | 19.2              | 864.0            | 1736.1             | 10.3%                           |
|               | 8      | 51          | 17.1              | 872.1            |                    |                                 |
| 合計            |        | 504         |                   |                  | 16928              | 100.0%                          |

<sup>(\*)</sup> 炉心燃料集合体および内部ブランケット集合体に配分可能な流量(ケース0):

16928 kg/s

表 3.1.3-5(1/3) 被覆管温度履歴(\*1)

| SA number     | BOEC-1 | EOEC-1 | BOEC-2 | EOEC-2 | BOEC-3 | EOEC-3 | BOEC-4 | EOEC-4 | max |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| <i>Driver</i> |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| 4             | 640    | 614    | 648    | 609    | 691    | 649    | 704    | 634    | 704 |
| 5             | 630    | 604    | 709    | 645    | 669    | 633    | 674    | 617    | 709 |
| 6             | 701    | 657    | 702    | 647    | 665    | 633    | 671    | 617    | 702 |
| 7             | 662    | 627    | 660    | 618    | 633    | 607    | 709    | 648    | 709 |
| 8             | 696    | 659    | 699    | 648    | 658    | 632    | 672    | 622    | 699 |
| 9             | 656    | 628    | 658    | 616    | 632    | 609    | 705    | 650    | 705 |
| 10            | 646    | 616    | 645    | 609    | 690    | 648    | 695    | 633    | 695 |
| 11            | 630    | 607    | 708    | 649    | 663    | 633    | 664    | 616    | 708 |
| 12            | 645    | 616    | 645    | 609    | 689    | 648    | 696    | 630    | 696 |
| 13            | 624    | 604    | 705    | 649    | 666    | 632    | 676    | 618    | 705 |
| 15            | 627    | 615    | 702    | 657    | 653    | 637    | 675    | 631    | 702 |
| 17            | 699    | 669    | 697    | 659    | 661    | 644    | 666    | 629    | 699 |
| 19            | 639    | 622    | 647    | 618    | 617    | 605    | 699    | 642    | 699 |
| 21            | 645    | 626    | 648    | 618    | 611    | 602    | 696    | 641    | 696 |
| 22            | 654    | 665    | 655    | 658    | 693    | 701    | 685    | 685    | 701 |
| 24            | 646    | 660    | 659    | 652    | 697    | 699    | 698    | 681    | 699 |
| 25            | 664    | 661    | 650    | 645    | 619    | 638    | 698    | 680    | 698 |
| 27            | 706    | 693    | 661    | 664    | 609    | 634    | 642    | 643    | 706 |
| 29            | 629    | 638    | 694    | 680    | 643    | 656    | 667    | 649    | 694 |
| 30            | 702    | 696    | 689    | 681    | 641    | 660    | 668    | 655    | 702 |
| 32            | 671    | 671    | 672    | 664    | 635    | 648    | 692    | 689    | 692 |
| 33            | 619    | 634    | 693    | 688    | 657    | 674    | 646    | 654    | 693 |
| 37            | 662    | 665    | 706    | 708    | 635    | 666    | 673    | 676    | 708 |
| 38            | 675    | 666    | 643    | 643    | 594    | 614    | 692    | 677    | 692 |
| 39            | 678    | 680    | 643    | 655    | 660    | 687    | 694    | 693    | 694 |
| 43            | 698    | 704    | 693    | 694    | 646    | 665    | 647    | 657    | 704 |
| 44            | 695    | 690    | 696    | 683    | 651    | 661    | 638    | 642    | 696 |
| 45            | 645    | 651    | 652    | 649    | 692    | 693    | 672    | 672    | 693 |
| 47            | 682    | 683    | 664    | 670    | 627    | 653    | 705    | 702    | 705 |
| 48            | 668    | 670    | 648    | 656    | 677    | 697    | 686    | 690    | 697 |
| 50            | 700    | 683    | 662    | 659    | 605    | 626    | 633    | 633    | 700 |
| 51            | 659    | 653    | 703    | 696    | 635    | 655    | 671    | 664    | 703 |
| 52            | 701    | 685    | 658    | 657    | 607    | 626    | 635    | 634    | 701 |
| 54            | 677    | 687    | 664    | 671    | 636    | 650    | 705    | 703    | 705 |
| 55            | 651    | 665    | 652    | 659    | 696    | 700    | 678    | 684    | 700 |
| 57            | 620    | 627    | 701    | 683    | 644    | 651    | 635    | 639    | 701 |
| 59            | 615    | 621    | 697    | 678    | 653    | 659    | 620    | 629    | 697 |
| 60            | 694    | 696    | 700    | 693    | 667    | 680    | 646    | 652    | 700 |
| 61            | 639    | 638    | 708    | 693    | 659    | 668    | 652    | 651    | 708 |
| 62            | 707    | 690    | 682    | 674    | 640    | 651    | 644    | 644    | 707 |
| 63            | 684    | 672    | 657    | 654    | 613    | 632    | 700    | 688    | 700 |
| 64            | 648    | 647    | 696    | 693    | 629    | 652    | 658    | 658    | 696 |
| 65            | 683    | 679    | 655    | 659    | 674    | 691    | 699    | 691    | 699 |
| 67            | 683    | 677    | 649    | 652    | 606    | 625    | 707    | 690    | 707 |
| 68            | 663    | 666    | 707    | 707    | 661    | 673    | 678    | 675    | 707 |
| 69            | 695    | 688    | 676    | 672    | 647    | 648    | 641    | 641    | 695 |
| 70            | 639    | 644    | 703    | 690    | 675    | 664    | 653    | 654    | 703 |
| 71            | 665    | 668    | 662    | 658    | 633    | 637    | 694    | 687    | 694 |
| 72            | 705    | 706    | 706    | 698    | 660    | 667    | 643    | 653    | 706 |
| 73            | 684    | 685    | 687    | 681    | 646    | 655    | 695    | 696    | 696 |
| 74            | 587    | 603    | 695    | 666    | 685    | 657    | 590    | 612    | 695 |
| 76            | 644    | 653    | 653    | 653    | 703    | 702    | 671    | 670    | 703 |
| 77            | 656    | 655    | 656    | 652    | 629    | 638    | 695    | 680    | 695 |
| 78            | 678    | 666    | 663    | 657    | 700    | 703    | 693    | 681    | 703 |
| 79            | 650    | 640    | 708    | 687    | 655    | 658    | 656    | 651    | 708 |
| 80            | 705    | 685    | 673    | 666    | 621    | 633    | 641    | 641    | 705 |
| 81            | 673    | 660    | 639    | 646    | 594    | 618    | 690    | 680    | 690 |
| 83            | 700    | 670    | 619    | 634    | 599    | 613    | 631    | 627    | 700 |
| 85            | 662    | 663    | 633    | 645    | 676    | 683    | 693    | 685    | 693 |
| 86            | 672    | 669    | 638    | 644    | 634    | 630    | 698    | 685    | 698 |
| 87            | 655    | 653    | 641    | 638    | 701    | 682    | 675    | 663    | 701 |
| 88            | 692    | 682    | 682    | 669    | 656    | 648    | 636    | 635    | 692 |
| 89            | 630    | 635    | 700    | 686    | 666    | 658    | 642    | 646    | 700 |
| 90            | 650    | 661    | 651    | 654    | 706    | 693    | 658    | 666    | 706 |

(\*1) 被覆管最高温度発生要因となる因子を2%合理化した場合の温度。

表 3.1.3-5(2/3) 被覆管温度履歴

|     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 92  | 588 | 588 | 633 | 600 | 698 | 639 | 578 | 596 | 698 |
| 93  | 637 | 654 | 687 | 669 | 689 | 667 | 649 | 675 | 689 |
| 101 | 687 | 666 | 613 | 633 | 597 | 614 | 697 | 682 | 697 |
| 102 | 697 | 659 | 671 | 681 | 674 | 664 | 700 | 667 | 700 |
| 103 | 686 | 666 | 611 | 632 | 601 | 616 | 696 | 682 | 696 |
| 111 | 658 | 673 | 706 | 683 | 707 | 678 | 600 | 629 | 707 |
| 112 | 644 | 639 | 697 | 648 | 691 | 639 | 578 | 593 | 697 |
| 113 | 584 | 585 | 702 | 647 | 679 | 638 | 576 | 594 | 702 |
| 115 | 639 | 619 | 637 | 618 | 691 | 663 | 663 | 644 | 691 |
| 116 | 669 | 623 | 655 | 622 | 643 | 611 | 703 | 649 | 703 |
| 117 | 653 | 610 | 703 | 652 | 677 | 633 | 674 | 622 | 703 |
| 118 | 704 | 634 | 660 | 621 | 631 | 607 | 640 | 598 | 704 |
| 119 | 691 | 641 | 648 | 620 | 700 | 659 | 699 | 649 | 700 |
| 120 | 691 | 648 | 624 | 618 | 614 | 611 | 698 | 666 | 698 |
| 122 | 699 | 651 | 605 | 616 | 604 | 599 | 627 | 608 | 699 |
| 123 | 693 | 650 | 607 | 615 | 675 | 661 | 697 | 662 | 697 |
| 124 | 698 | 651 | 602 | 614 | 608 | 601 | 627 | 608 | 698 |
| 126 | 706 | 680 | 655 | 643 | 685 | 651 | 650 | 638 | 706 |
| 127 | 640 | 605 | 610 | 591 | 707 | 640 | 645 | 615 | 707 |
| 128 | 628 | 598 | 670 | 630 | 705 | 625 | 639 | 608 | 705 |
| 129 | 671 | 632 | 648 | 618 | 684 | 617 | 702 | 650 | 702 |
| 130 | 616 | 590 | 604 | 580 | 701 | 624 | 634 | 606 | 701 |
| 131 | 655 | 647 | 666 | 643 | 692 | 649 | 688 | 673 | 692 |
| 133 | 583 | 585 | 701 | 647 | 681 | 638 | 575 | 593 | 701 |
| 134 | 580 | 573 | 693 | 626 | 670 | 609 | 561 | 566 | 693 |
| 135 | 598 | 588 | 644 | 599 | 705 | 634 | 581 | 588 | 705 |
| 136 | 654 | 651 | 708 | 669 | 692 | 653 | 594 | 610 | 708 |
| 137 | 623 | 601 | 695 | 653 | 669 | 642 | 623 | 610 | 695 |
| 138 | 691 | 632 | 668 | 622 | 657 | 614 | 635 | 602 | 691 |
| 139 | 671 | 608 | 644 | 605 | 700 | 646 | 695 | 628 | 700 |
| 140 | 679 | 617 | 644 | 603 | 630 | 591 | 701 | 631 | 701 |
| 141 | 662 | 608 | 700 | 642 | 667 | 623 | 677 | 615 | 700 |
| 142 | 695 | 631 | 642 | 605 | 620 | 594 | 629 | 592 | 695 |
| 143 | 699 | 654 | 697 | 674 | 670 | 653 | 694 | 665 | 699 |
| 144 | 687 | 652 | 599 | 612 | 597 | 599 | 689 | 660 | 689 |
| 145 | 692 | 642 | 656 | 657 | 671 | 649 | 695 | 650 | 695 |
| 146 | 705 | 638 | 594 | 593 | 615 | 598 | 636 | 600 | 705 |
| 147 | 690 | 636 | 586 | 590 | 609 | 595 | 698 | 646 | 698 |
| 148 | 685 | 655 | 593 | 610 | 670 | 660 | 691 | 659 | 691 |
| 149 | 679 | 658 | 633 | 622 | 658 | 622 | 707 | 670 | 707 |
| 150 | 639 | 602 | 673 | 630 | 696 | 630 | 646 | 612 | 696 |
| 151 | 701 | 641 | 663 | 623 | 703 | 620 | 640 | 599 | 703 |
| 152 | 631 | 587 | 608 | 578 | 701 | 624 | 644 | 602 | 701 |
| 153 | 697 | 641 | 665 | 620 | 707 | 623 | 637 | 603 | 707 |
| 154 | 612 | 584 | 669 | 619 | 694 | 622 | 616 | 593 | 694 |
| 155 | 589 | 581 | 608 | 589 | 694 | 628 | 603 | 598 | 694 |
| 156 | 627 | 636 | 689 | 655 | 687 | 643 | 636 | 650 | 689 |
| 157 | 595 | 587 | 646 | 600 | 709 | 635 | 579 | 587 | 709 |
| 159 | 640 | 623 | 695 | 635 | 689 | 628 | 583 | 586 | 695 |
| 160 | 638 | 627 | 685 | 635 | 684 | 629 | 628 | 628 | 685 |
| 161 | 623 | 617 | 656 | 627 | 704 | 664 | 627 | 625 | 704 |
| 162 | 688 | 642 | 686 | 639 | 665 | 629 | 690 | 651 | 690 |
| 163 | 661 | 608 | 708 | 646 | 696 | 639 | 673 | 620 | 708 |
| 164 | 694 | 618 | 653 | 601 | 646 | 600 | 645 | 590 | 694 |
| 165 | 676 | 609 | 640 | 597 | 688 | 632 | 698 | 626 | 698 |
| 166 | 689 | 625 | 647 | 605 | 629 | 595 | 702 | 633 | 702 |
| 167 | 708 | 647 | 637 | 616 | 680 | 649 | 699 | 649 | 708 |
| 168 | 689 | 645 | 613 | 612 | 603 | 600 | 635 | 614 | 689 |
| 169 | 682 | 634 | 602 | 601 | 660 | 639 | 690 | 649 | 690 |
| 170 | 690 | 632 | 603 | 602 | 614 | 600 | 696 | 645 | 696 |
| 172 | 686 | 630 | 582 | 584 | 652 | 627 | 685 | 637 | 686 |
| 173 | 704 | 643 | 594 | 596 | 620 | 608 | 645 | 609 | 704 |
| 174 | 650 | 625 | 633 | 634 | 660 | 639 | 661 | 638 | 661 |
| 175 | 651 | 617 | 618 | 601 | 707 | 644 | 673 | 633 | 707 |
| 176 | 692 | 635 | 655 | 615 | 686 | 616 | 706 | 646 | 706 |
| 177 | 630 | 588 | 663 | 613 | 705 | 616 | 640 | 594 | 705 |
| 178 | 672 | 619 | 649 | 604 | 693 | 610 | 694 | 632 | 694 |
| 179 | 619 | 582 | 606 | 573 | 696 | 612 | 619 | 585 | 696 |

表 3.1.3-5(3/3) 被覆管温度履歴

|     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 180 | 657 | 629 | 674 | 631 | 703 | 631 | 614 | 598 | 703 |
| 181 | 587 | 589 | 678 | 640 | 689 | 636 | 594 | 599 | 689 |
| 182 | 641 | 633 | 706 | 646 | 708 | 639 | 587 | 600 | 708 |
| 183 | 585 | 579 | 694 | 631 | 689 | 621 | 572 | 577 | 694 |
| max |     |     |     |     |     |     |     |     | 709 |

|                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <i>Inner Blanket</i> |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 2                    | 497 | 593 | 627 | 679 | 506 | 611 | 649 | 692 | 692 |
| 3                    | 617 | 676 | 509 | 610 | 621 | 683 | 514 | 615 | 683 |
| 14                   | 502 | 601 | 615 | 681 | 496 | 598 | 616 | 675 | 681 |
| 18                   | 497 | 605 | 624 | 688 | 498 | 595 | 611 | 673 | 688 |
| 23                   | 588 | 677 | 505 | 619 | 599 | 700 | 503 | 614 | 700 |
| 26                   | 608 | 705 | 503 | 621 | 587 | 674 | 500 | 614 | 705 |
| 28                   | 605 | 704 | 500 | 613 | 585 | 679 | 509 | 618 | 704 |
| 31                   | 599 | 697 | 501 | 619 | 591 | 691 | 507 | 612 | 697 |
| 34                   | 489 | 609 | 589 | 707 | 491 | 622 | 592 | 705 | 707 |
| 35                   | 587 | 685 | 491 | 604 | 575 | 679 | 499 | 620 | 685 |
| 36                   | 484 | 603 | 575 | 680 | 480 | 585 | 568 | 676 | 680 |
| 40                   | 494 | 629 | 586 | 705 | 486 | 605 | 587 | 705 | 705 |
| 41                   | 588 | 693 | 494 | 607 | 579 | 680 | 497 | 615 | 693 |
| 42                   | 486 | 602 | 573 | 681 | 483 | 594 | 565 | 668 | 681 |
| 58                   | 496 | 603 | 609 | 704 | 495 | 617 | 588 | 674 | 704 |
| 66                   | 616 | 709 | 500 | 610 | 571 | 662 | 500 | 621 | 709 |
| 75                   | 561 | 641 | 500 | 612 | 595 | 689 | 485 | 581 | 689 |
| 82                   | 504 | 633 | 597 | 690 | 490 | 593 | 599 | 703 | 703 |
| 84                   | 497 | 612 | 576 | 659 | 482 | 572 | 589 | 681 | 681 |
| 91                   | 587 | 681 | 503 | 628 | 611 | 707 | 497 | 604 | 707 |
| 94                   | 485 | 578 | 573 | 666 | 498 | 617 | 578 | 665 | 666 |
| 95                   | 600 | 679 | 499 | 613 | 606 | 704 | 506 | 619 | 704 |
| 96                   | 494 | 595 | 608 | 677 | 496 | 608 | 608 | 686 | 686 |
| 98                   | 622 | 694 | 501 | 608 | 590 | 669 | 496 | 603 | 694 |
| 99                   | 511 | 633 | 611 | 696 | 496 | 591 | 604 | 696 | 696 |
| 100                  | 607 | 699 | 487 | 585 | 545 | 631 | 500 | 616 | 699 |
| 104                  | 598 | 691 | 482 | 576 | 564 | 652 | 498 | 611 | 691 |
| 105                  | 494 | 602 | 574 | 649 | 501 | 589 | 599 | 680 | 680 |
| 106                  | 602 | 684 | 494 | 591 | 619 | 685 | 501 | 612 | 685 |
| 108                  | 497 | 602 | 603 | 681 | 508 | 612 | 611 | 677 | 681 |
| 109                  | 589 | 677 | 506 | 622 | 637 | 709 | 498 | 604 | 709 |
| 110                  | 485 | 582 | 577 | 666 | 499 | 616 | 574 | 661 | 666 |
| max                  |     |     |     |     |     |     |     |     | 709 |

表 3.1.3-6 径方向非均質炉心における集合体出口温度差対策案の比較

| 番号 | 項目                     | 内容                                                                                        | 課題                                                    | 長所                                                                | 短所                                                                                      | 効果の見込み                                     |
|----|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1  | 内部ブランケットのシャフリング        | 内部ブランケット装荷位置別に2通りの流量領域を設定し、燃焼期間によって装荷位置を変更するシャフリングによって集合体流量がサイクル間で変化するように運用する。            | 特になし<br>(集合体出力等をシャフリングを考慮して評価する必要がある。)                | 集合体構造設計の変更が不要である。                                                 | シャフリングによる燃料交換作業が増加する。<br>運転サイクル期間中の変動分は調整できない。<br>誤装荷防止のしくみを検討する必要がある。                  | 集合体間出口温度差を20℃程度縮小でき、最大出口温度差は145℃程度となる見込み。  |
| 2  | 径ブランケット→内部ブランケットシャフリング | 径方向ブランケット位置でPuを蓄積した集合体を内部ブランケット装荷位置にシャフリングし、内部ブランケット位置でのPu蓄積による集合体出力変動を抑制して出口温度の変化幅を低減する。 | 核的な成立性、効果の評価<br>(径方向ピーキングの影響評価を含む)                    | 集合体構造設計の変更が不要である。<br>運転サイクル期間中の変動分を大幅に低減できる可能性がある。                | シャフリングによる燃料交換作業が増加する。<br>誤装荷防止のしくみを検討する必要がある。<br>径ブランケット燃料ピンの細径化が必要となる可能性がある。           | 最も効果が大きい場合には、集合体間出口温度差を80℃程度まで縮小できる可能性がある。 |
| 3  | 可変流調機構装備               | 集合体出口部に簡易な操作で流動抵抗を変更可能な流調機構を組み込み、炉停止中に燃料交換機等を用いて流動抵抗を変更し、集合体流量をサイクル間で変更する。                | 可変流調機構の設計<br>(燃料交換機設計との整合を含む)                         | 流量調整の信頼性は高い。<br>可変流調機構の構造設計は比較的容易と思われる。<br>シャフリングより炉停止中の作業負担が小さい。 | 集合体上部構造が複雑となる。<br>流調機構設定変更の確認が必要である。<br>運転サイクル期間中の変動分は調整できない。<br>炉停止時の作業が必要である。         | 内部ブランケットシャフリングと同程度。                        |
| 4  | 自律流調機構装備               | 出口温度の変化に応じて熱膨張歪の変動等により流動抵抗が自律的に変化する流調機構を集合体出口部に組込む。                                       | 自律流調機構の設計<br>(自律制御可能範囲の拡大、信頼性確保)                      | プラント運用作業負担なし。                                                     | 集合体上部構造が「3」よりさらに複雑となる。<br>流力振動下での信頼性が成立性を左右する可能性がある。<br>機能確保のための設計・運用上の制限が新たに加わる可能性がある。 | 最大で現状の1/2程度に緩和できる可能性がある。<br>(自律流調機構の性能に依存) |
| 5  | 炉心上端部隣接集合体間ミキシング       | ラッパ管の炉心カラム上端部を開口させ冷却材を隣接集合体と混合して、集合体出口温度差を低減する。(ドライバと混合する)                                | ・開口寸法パラメータサーベイ<br>・開口ラッパ管の強度・変形評価<br>・混合効果の評価・確認      | プラント運用作業負担なし。                                                     | 集合体出口温度計装の精度低下                                                                          | 最大では現状の1/2程度に緩和できる可能性がある<br>(混合効果に依存)      |
| 6  | ストライピング制限緩和            | 集合体間出口温度差制限を緩和する。<br>(最大200℃程度)                                                           | ・米国PRISM設計における「約200℃」制限の根拠調査・検討<br>・温度差履歴を考慮した制限値緩和検討 | 炉心構成要素側の設計対応・運用作業負担等を最小化できる。                                      | プラント構造設計側の評価等が必要であり、炉心核熱設計検討だけでは問題解決できない。                                               | PRISM並の制限値が実現可能であれば、問題は解決される。              |

表 3.1.3-7 S-PRISM のサーマルストライピング対策検討例<sup>[2]</sup>

Table 3: SuperPRISM Core Options Performance Comparison

|                                                                 | Cost<br>Optimized<br>MOX | Cost<br>Optimized<br>Metal | High<br>Breeding<br>MOX | High<br>Breeding<br>Metal | Limit      |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|------------|
| Cycle Average Breeding Ratio                                    | 1.03                     | 1.05                       | 1.17                    | 1.22                      |            |
| Cycle Burnup Reactivity Loss (% d/kk)                           | 0.98                     | 0.12                       | 0.81                    | -0.31 (gain)              | 3.4        |
| Core Inventory at BOC                                           |                          |                            |                         |                           |            |
| Fissile Pu (kg - kgM/MV)                                        | 3469.4 - 3.47            | 2338.1 - 2.34              | 3612.2 - 3.61           | 2458.8 - 2.46             |            |
| Total TRU (kg)                                                  | 5207.7                   | 3078.2                     | 5341.0                  | 3195.9                    |            |
| Total U (kg)                                                    | 29718.5                  | 23014.2                    | 45939.5                 | 33052.7                   |            |
| Feed Enrichment (wt%, Total Pu in U-TRU)                        | 29.81                    | 21.42                      | 29.61                   | 21.29                     | 33         |
| Supplied Fissile Pu                                             |                          |                            |                         |                           |            |
| kg/year                                                         | 411.20                   | 365.18                     | 408.40                  | 363.97                    |            |
| kg/GWD                                                          | 1.32                     | 1.18                       | 1.32                    | 1.17                      |            |
| Fissile Pu Gain (kg/year)                                       | 11.15                    | 19.25                      | 57.10                   | 69.91                     |            |
| TRU Consumption Rate (kg/year)                                  | -38.60 (gain)            | -33.60 (gain)              | -85.60 (gain)           | -84.83 (gain)             |            |
| Cycle Average Spatial Power Peaking Factor                      | 1.54                     | 1.41                       | 1.54                    | 1.42                      |            |
| Average Linear Power (kW/m, Cycle Average)                      | 15.97                    | 18.90                      | 15.86                   | 18.32                     |            |
| Peak Linear Power (kW/m) - Fuel                                 | 30.14                    | 30.42                      | 29.65                   | 29.77                     | 40         |
| - Internal Blanket                                              | 27.16                    | 40.25                      | 26.45                   | 38.30                     |            |
| - Radial Blanket                                                | 17.78                    | 30.70                      | 17.33                   | 29.80                     |            |
| Peak Neutron Flux ( $10^{15}$ n/cm <sup>2</sup> -s) - Total     | 2.38                     | 3.52                       | 2.33                    | 3.48                      |            |
| - Fast                                                          | 1.38                     | 2.47                       | 1.36                    | 2.37                      |            |
| Average Fuel Burnup (MWd/kg)                                    | 116                      | 106                        | 114                     | 103                       |            |
| Peak Fuel Burnup (MWd/kg)                                       | 178                      | 149                        | 175                     | 145                       | 180        |
| Peak Fast Fluence, Fuel-Blanket ( $10^{21}$ n/cm <sup>2</sup> ) | 2.98 - 2.44              | 3.71 - 3.90                | 2.91 - 2.40             | 3.61 - 3.79               | 4.0        |
| Core Thermal Hydraulic Performance                              | Good                     | Good                       | Good                    | Good                      |            |
| Pressure Drop (MPa)                                             | 0.31                     | 0.41                       | 0.31                    | 0.43                      | 0.48       |
| Maximum Assembly Outlet Temp. (C)                               | 619                      | 595                        | 620                     | 594                       | 621        |
| Maximum Subchannel Coolant Temp. (C)                            | 678                      | 548                        | 679                     | 648                       | 687        |
| Thermal Stripping Potential (C)                                 | 197                      | 189                        | 197                     | 184                       | 206        |
| Thermal Constraints Satisfied                                   | Yes                      | Yes                        | Yes                     | Yes                       |            |
| GEM Full-Core Stroke                                            | Yes                      | Yes                        | Yes                     | Yes                       |            |
| Peak Fuel Pin Steady-State Performance (HT9M)                   | Good                     | Good                       | Good                    | Good                      |            |
| Maximum Creep Rupture Damage Fraction                           | 0.0026                   | 0.00003                    | 0.0023                  | 0.00006                   | 0.2        |
| Maximum Total Diametrical Growth (%)                            | 0.89                     | 0.42                       | 0.78                    | 0.49                      | 2.0        |
| Maximum Thermal Creep Strain (%)                                | 0.37                     | 0.07                       | 0.37                    | 0.08                      | 1.0        |
| Minimum Power To Melt at Centaline (%)                          | 150                      | 138                        | 150                     | 133                       |            |
| Maximum Power To Melt at Surface (%)                            |                          | 113                        |                         | 113                       |            |
| Duct Structural Performance (HT9)                               | Good                     | Acceptable                 | Good                    | Acceptable                | 2.2 (Cons) |
| Maximum Radial Growth (mm)                                      | 1.7                      | 2.3                        | 1.2                     | 2.2                       | 3.2 (Exp)  |

**Cost Optimized Compared To High Breeding**

Axial blankets increase Pu and U masses through recycle facility (increase cost per kg fissile), and increase fissile Pu

**Metal Compared To Oxide**

Breeding potential in SP2 core envelope:  
Oxide - approximately 1.17 Metal - greater than 1.22

Metal fuel heavy metal packing fraction improves internal conversion cycle burnup swing fissile Pu requirement U requirement core diameter and height spatial power peaking

For same peak linear power, lower spatial peaking in metal allows higher average linear power (less total pin)

Oxide core life limited by fuel burnup  
Metal core life limited by fuel burnup and cladding fluence

Metal core pressure drop increases with fewer assemblies and more pins per assembly

Both oxide and metal cores require HT9M cladding due to peak cladding temperature. Lower metal core peaking factor reduces peak temperatures and cladding damage.

Metal core has no selective melting for all design basis events (up to scram). However, beyond design basis events may be limited by cladding wastage limit of 10% or may require development of barrier cladding.

Metal core higher pressure drop increases duct radial growth beyond conservative limit, towards empirical (experimental) limit

表 3.1.3-8 内部ブランケット集合体のサイクル毎流量配分<sup>(\*)</sup>の様子

## For the beginning cycle flow rate

|              | SA location No. | power condition | req. flow<br>(kg/s) | region flow<br>rate for<br>Tc=700<br>(kg/s) | design flow<br>(kg/s) |
|--------------|-----------------|-----------------|---------------------|---------------------------------------------|-----------------------|
| The 1st ring | 1               | 3.73            | 13.61               | 14.0                                        | 13.4                  |
| The 2nd ring | 1               | 3.55            | 12.95               | 14.0                                        | 13.4                  |
| The 2nd ring | 2               | 3.44            | 12.57               | 14.0                                        | 13.4                  |
| The 2nd ring | 3               | 3.58            | 13.09               | 14.0                                        | 13.4                  |
| The 2nd ring | 4               | 3.43            | 12.52               | 14.0                                        | 13.4                  |
| The 3rd ring | 1               | 3.84            | 14.04               | 14.0                                        | 13.4                  |
| The 3rd ring | 2               | 3.68            | 13.43               | 14.0                                        | 13.4                  |
| The 3rd ring | 3               | 3.38            | 12.34               | 14.0                                        | 13.4                  |
| The 3rd ring | 4               | 3.66            | 13.35               | 14.0                                        | 13.4                  |
| The 3rd ring | 5               | 3.68            | 13.43               | 14.0                                        | 13.4                  |
|              |                 | subtotal        | 629                 | 672                                         | 643                   |

## For the last cycle flow rate

|                                         | SA location No. | power condition | req. flow<br>(kg/s) | region flow<br>rate for<br>Tc=700<br>(kg/s) | design flow<br>(kg/s) |
|-----------------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------|---------------------------------------------|-----------------------|
| The 1st ring                            | 1               | 5.20            | 18.97               | 20.1                                        | 19.4                  |
| The 2nd ring                            | 1               | 5.11            | 18.67               | 20.1                                        | 19.4                  |
| The 2nd ring                            | 2               | 4.87            | 17.79               | 20.1                                        | 19.4                  |
| The 2nd ring                            | 3               | 4.98            | 18.20               | 20.1                                        | 19.4                  |
| The 2nd ring                            | 4               | 4.67            | 17.05               | 20.1                                        | 19.4                  |
| The 3rd ring                            | 1               | 5.51            | 20.13               | 20.1                                        | 19.4                  |
| The 3rd ring                            | 2               | 5.13            | 18.73               | 20.1                                        | 19.4                  |
| The 3rd ring                            | 3               | 4.77            | 17.44               | 20.1                                        | 19.4                  |
| The 3rd ring                            | 4               | 4.96            | 18.13               | 20.1                                        | 19.4                  |
| The 3rd ring                            | 5               | 5.22            | 19.08               | 20.1                                        | 19.4                  |
|                                         |                 | subtotal        | 881                 | 965                                         | 931                   |
|                                         |                 | IB total        | 1509                | 1637                                        | 1574                  |
| required/design flow rate for drivers   |                 |                 | 15489               | 15959                                       | 15353                 |
| flow rate for driver and IB             |                 |                 | 16998               | 17596                                       | 16927                 |
| the ratio to possible flow rate (case0) |                 |                 | 100.4%              | 103.9%                                      | 100.0%                |

## C408X2

|                                                         |        | (kg/s) |        |        |
|---------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| required flow rate for the driver SAs                   |        | 15489  | 0.91   |        |
| required flow rate for the inner blanket SAs            |        | 1509   | 0.09   |        |
| required flow rate for the driver and inner blanket SAs |        | 16998  |        |        |
|                                                         |        | case 0 | case 1 | case 2 |
| possible flow rate for the driver and inner blanket SAs |        | 16928  | 16564  | 16200  |
| the ratio of required flow rate to possible flow rate   |        | 100.4% | 102.6% | 104.9% |
|                                                         | driver | 91.5%  | 93.5%  | 95.6%  |
|                                                         | IB     | 8.9%   | 9.1%   | 9.3%   |

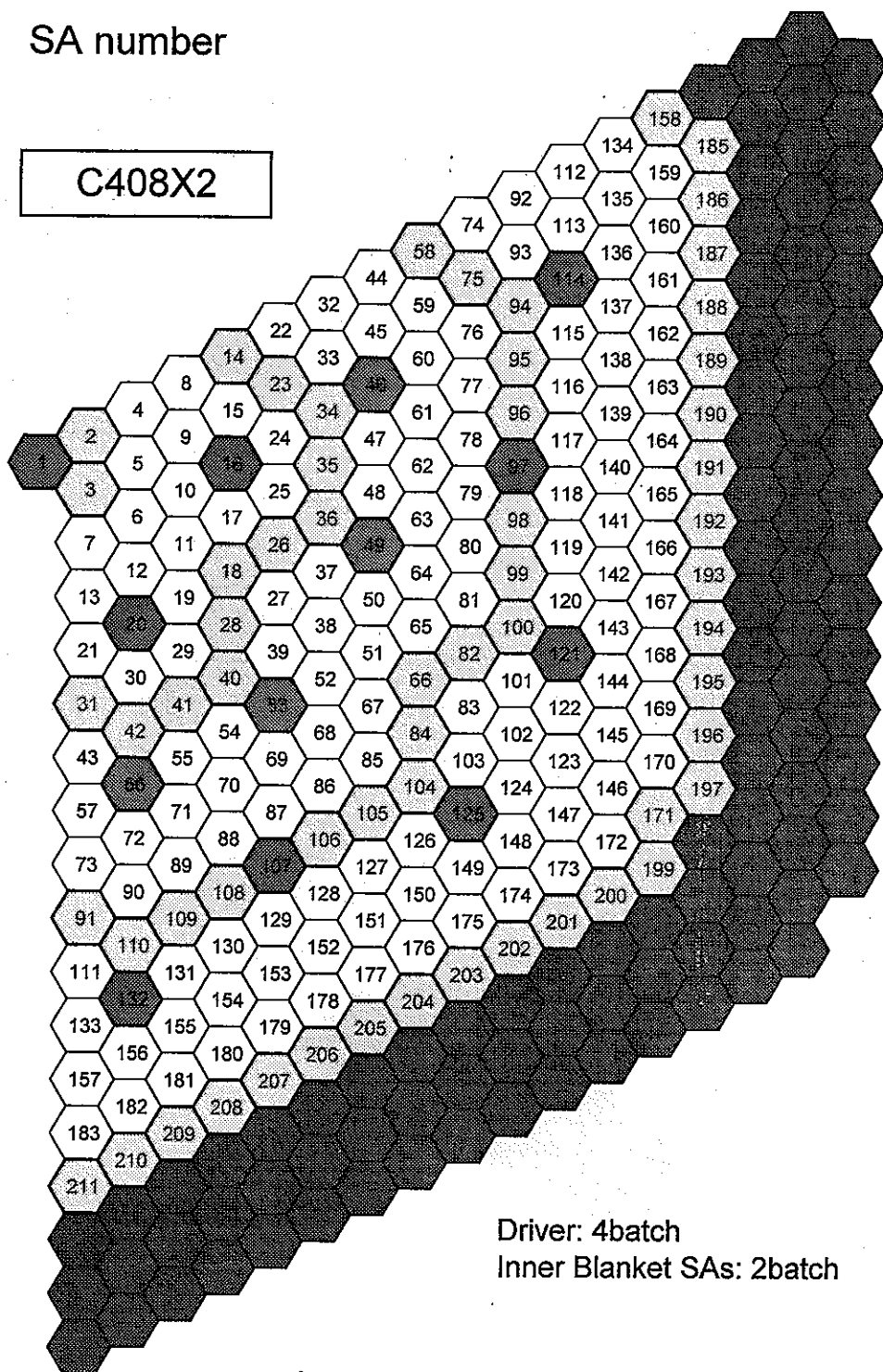


図 3.1.3-1 大型径非均質炉心の集合体番号

SA power map  
(BOEC)

maximum: 11.1 MW

unit:  $10^1$  MW

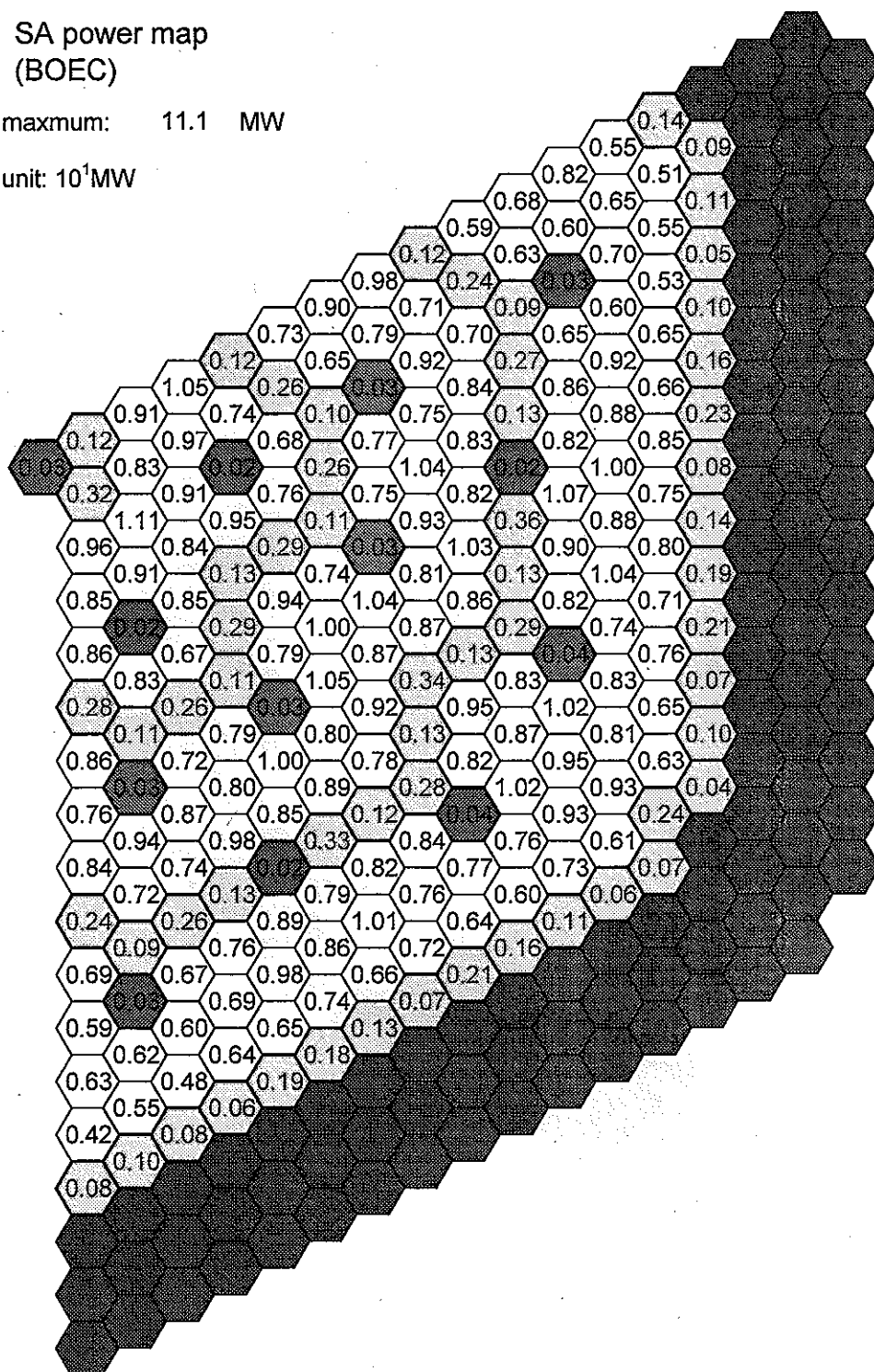


図 3.1.3-2 大型径非均質炉心の集合体出力分布

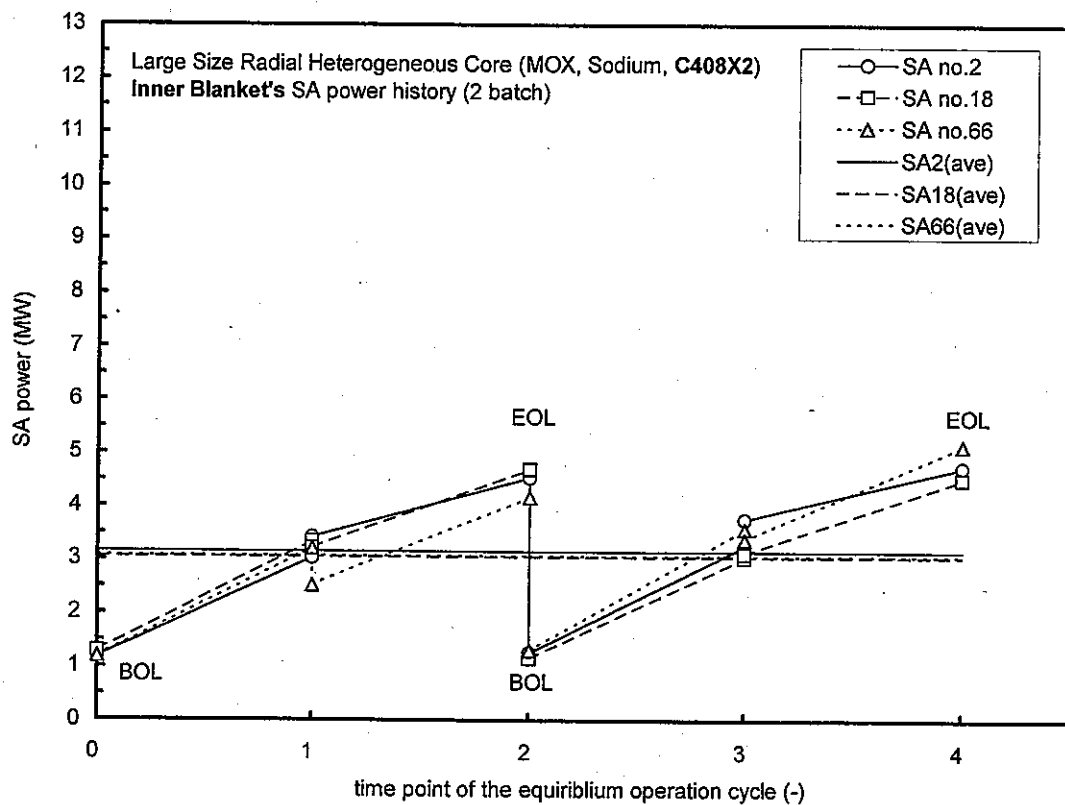


図 3.1.3-3 内部ブランケット燃料集合体の集合体出力履歴(各リング最大集合体)

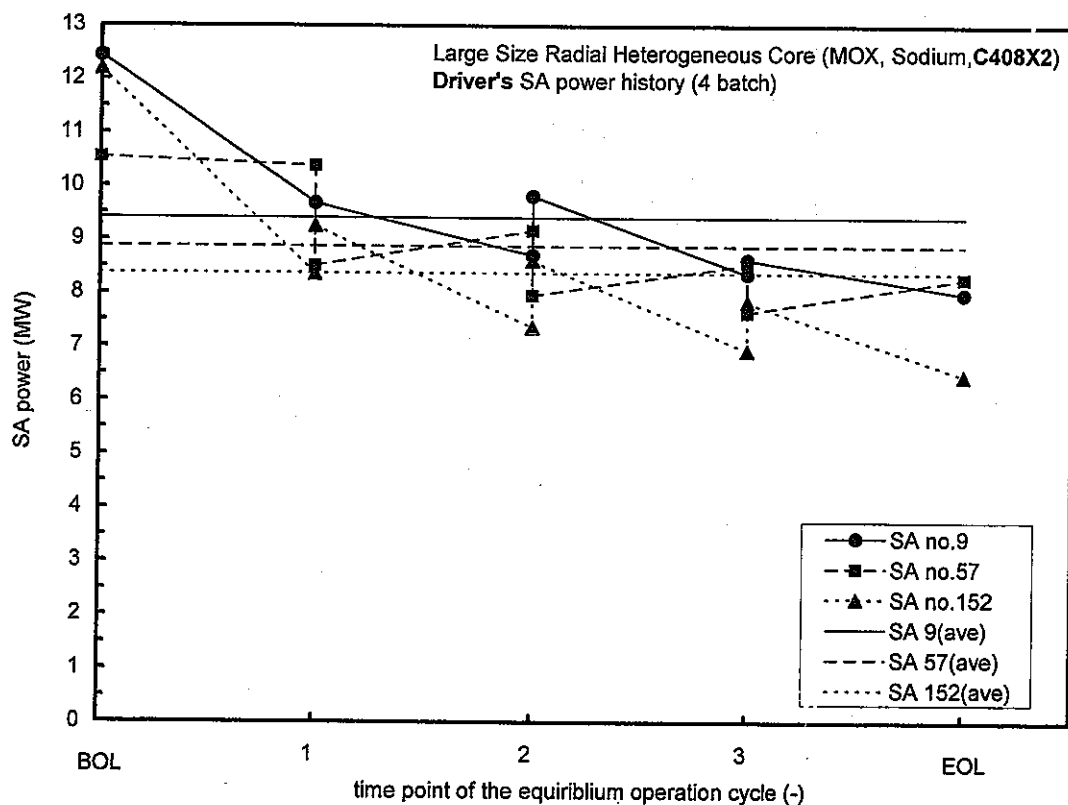


図 3.1.3-4 炉心燃料集合体の集合体出力履歴(各リング最大集合体)

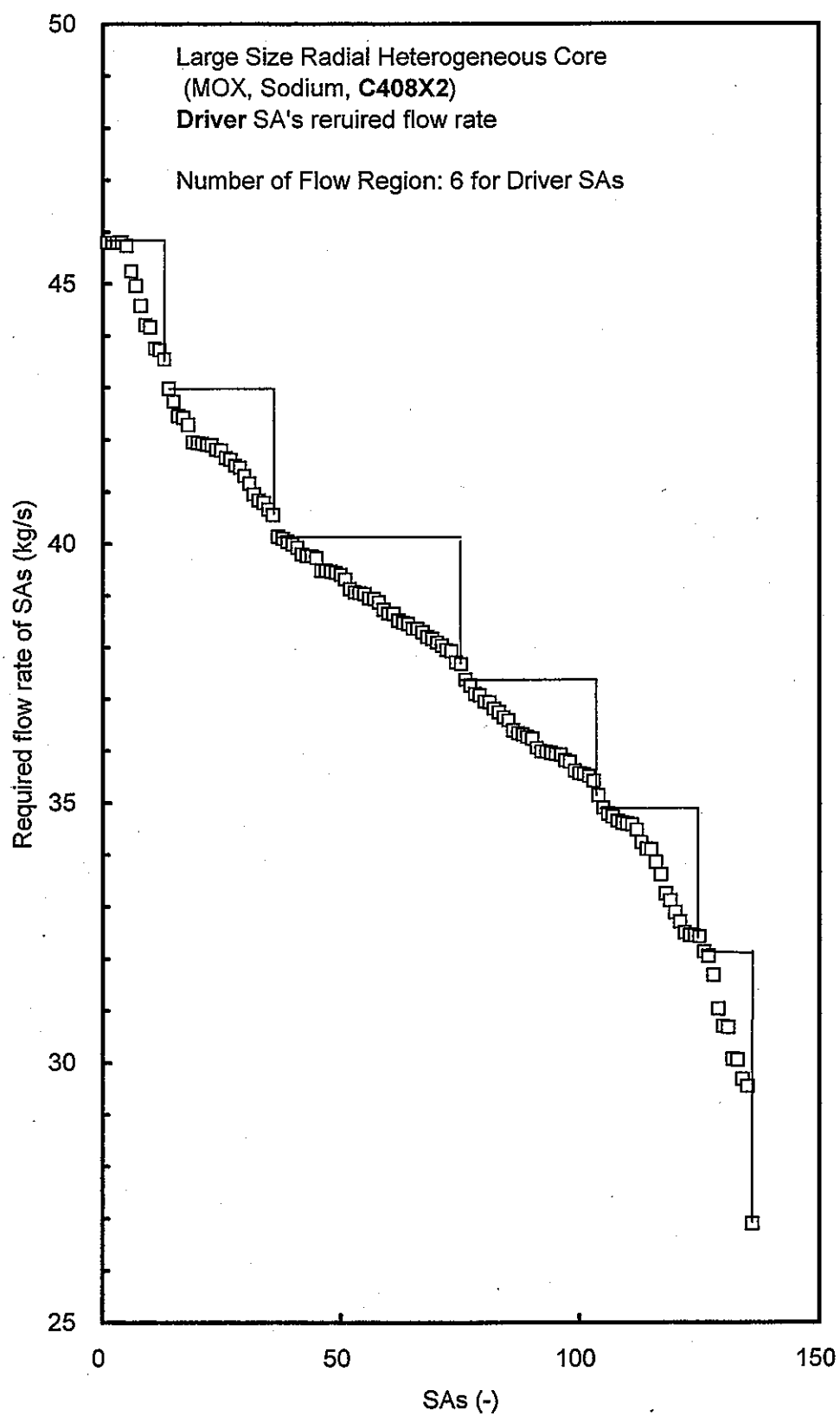


図 3.1.3-5 集合体必要流量分布と流量領域分けの様子 (1/2)炉心燃料集合体

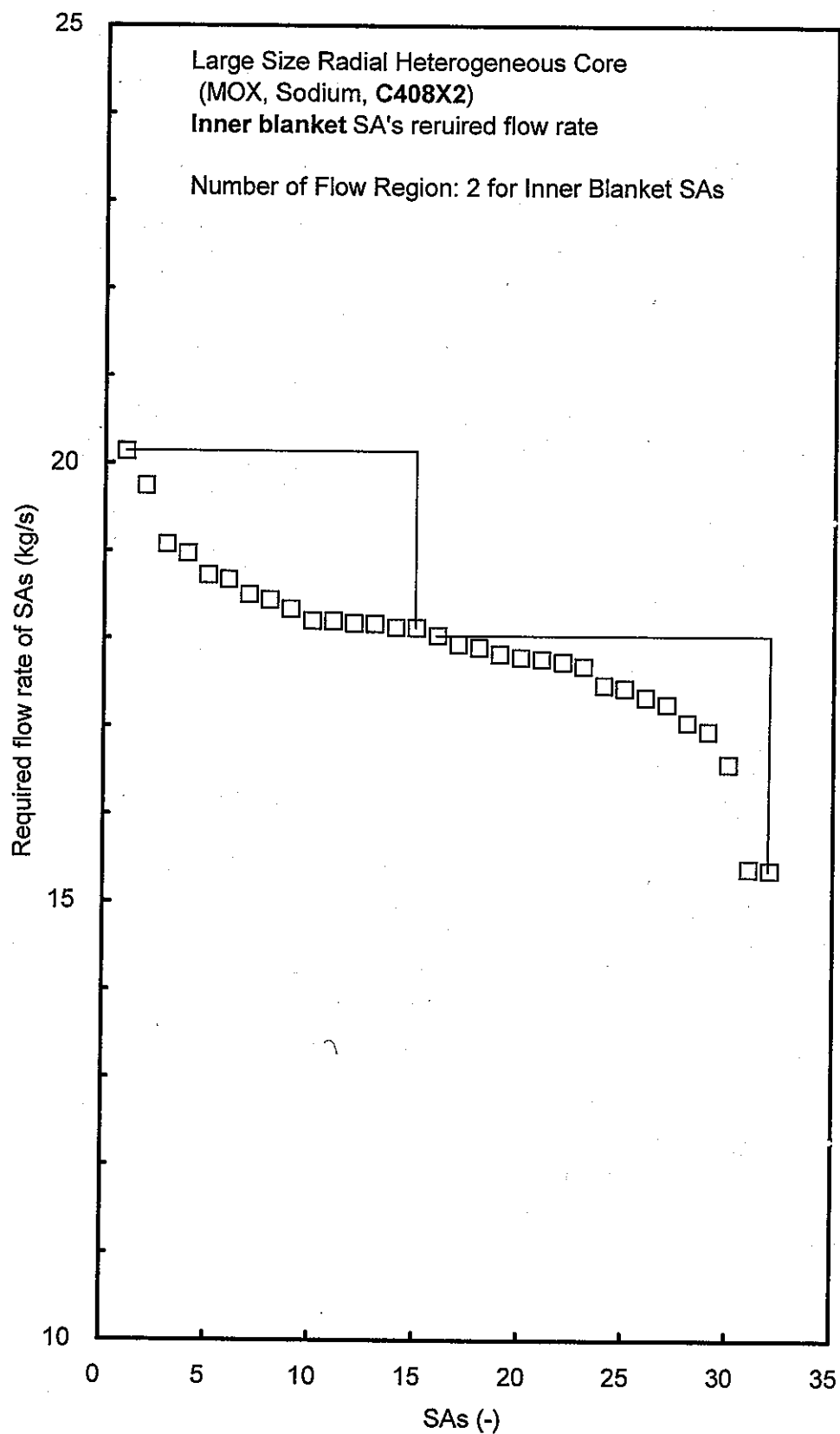


図 3.1.3-5 集合体必要流量分布と流量領域分けの様子 (2/2)内部ブランケット  
燃料集合体

**C408X2**

流量領域番号  
(炉心燃料集合体、内部ブランケット燃料集合体)

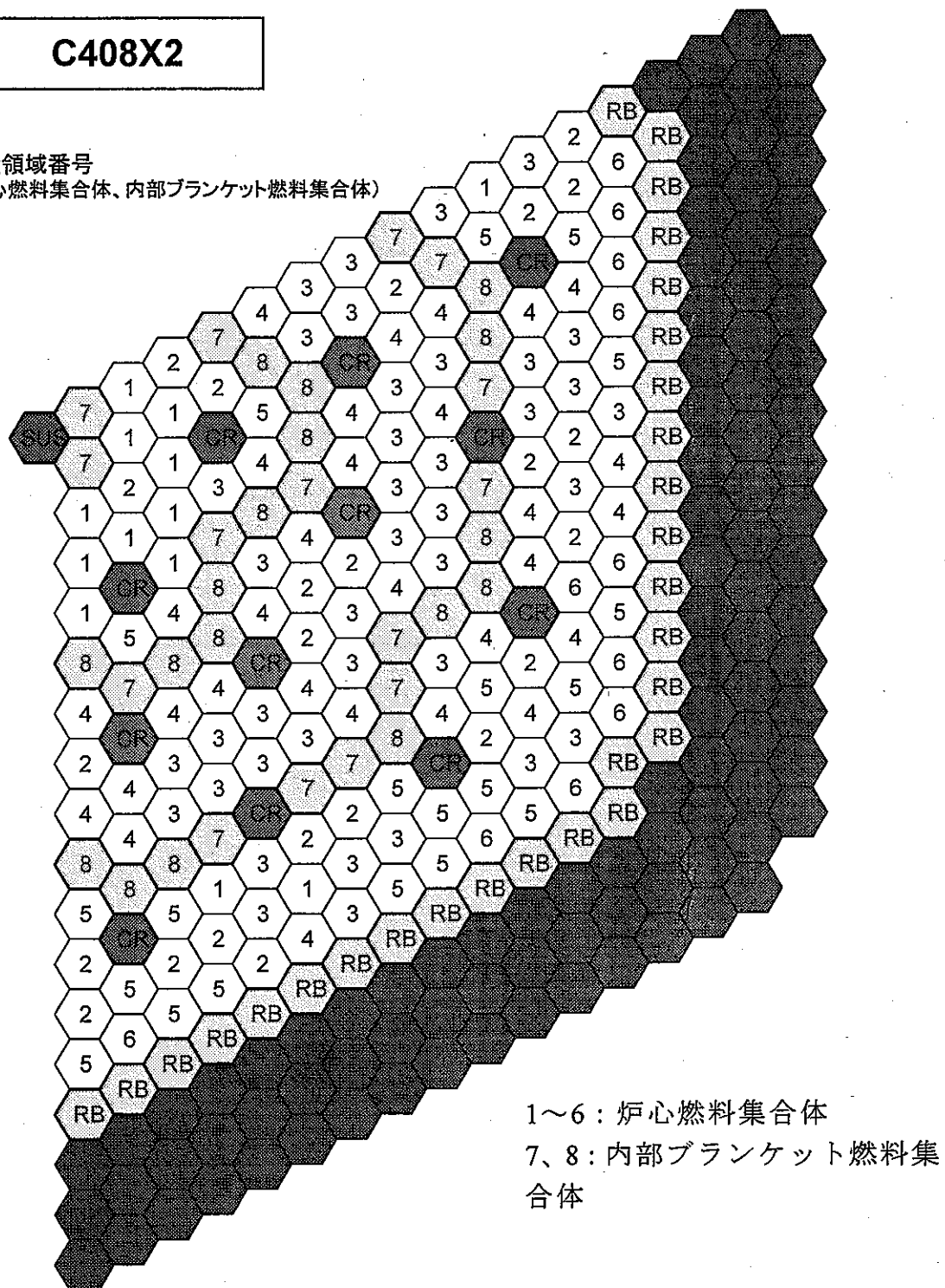


図 3.1.3-6 大型径方向非均質炉心の流量領域番号

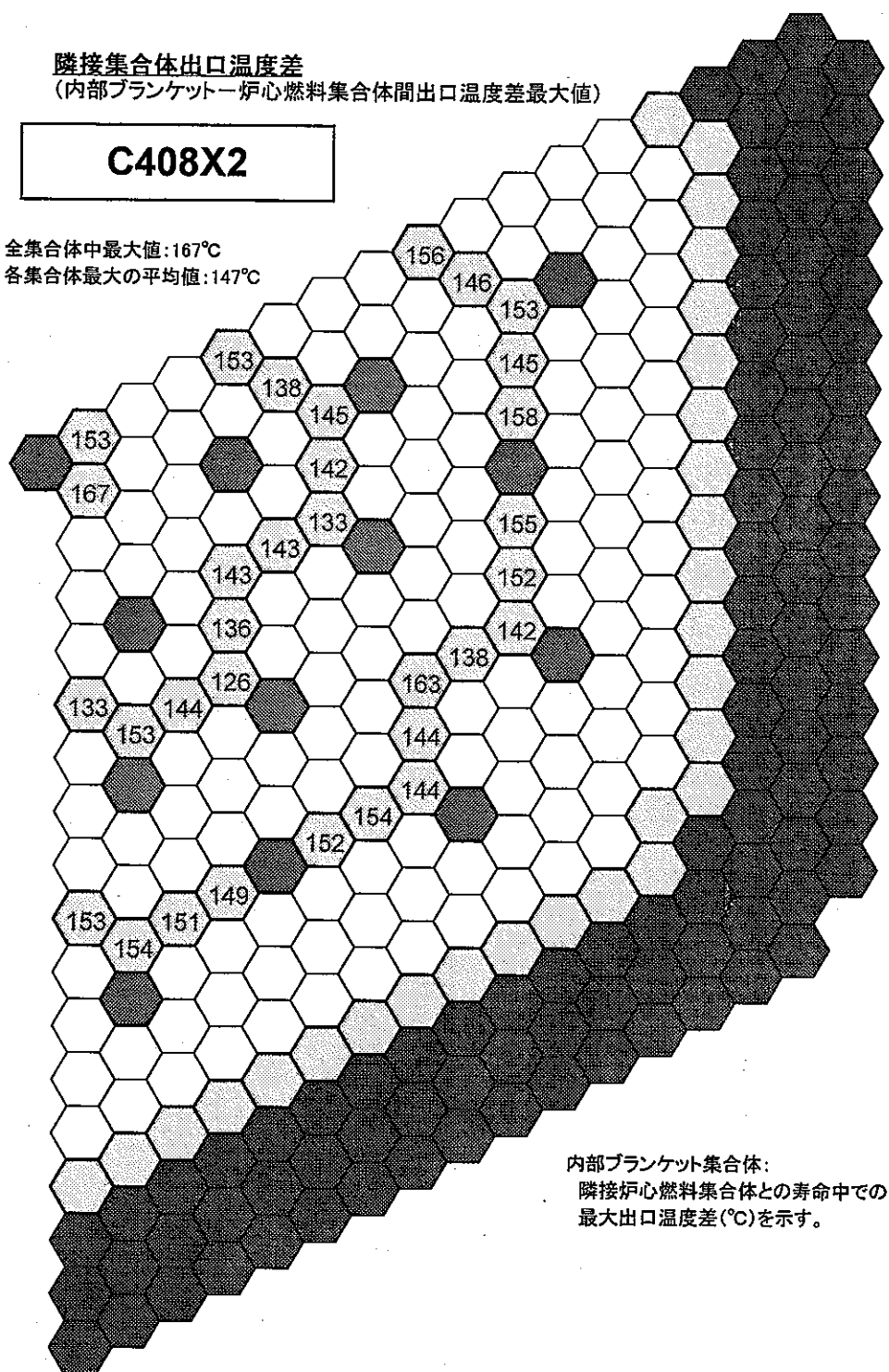
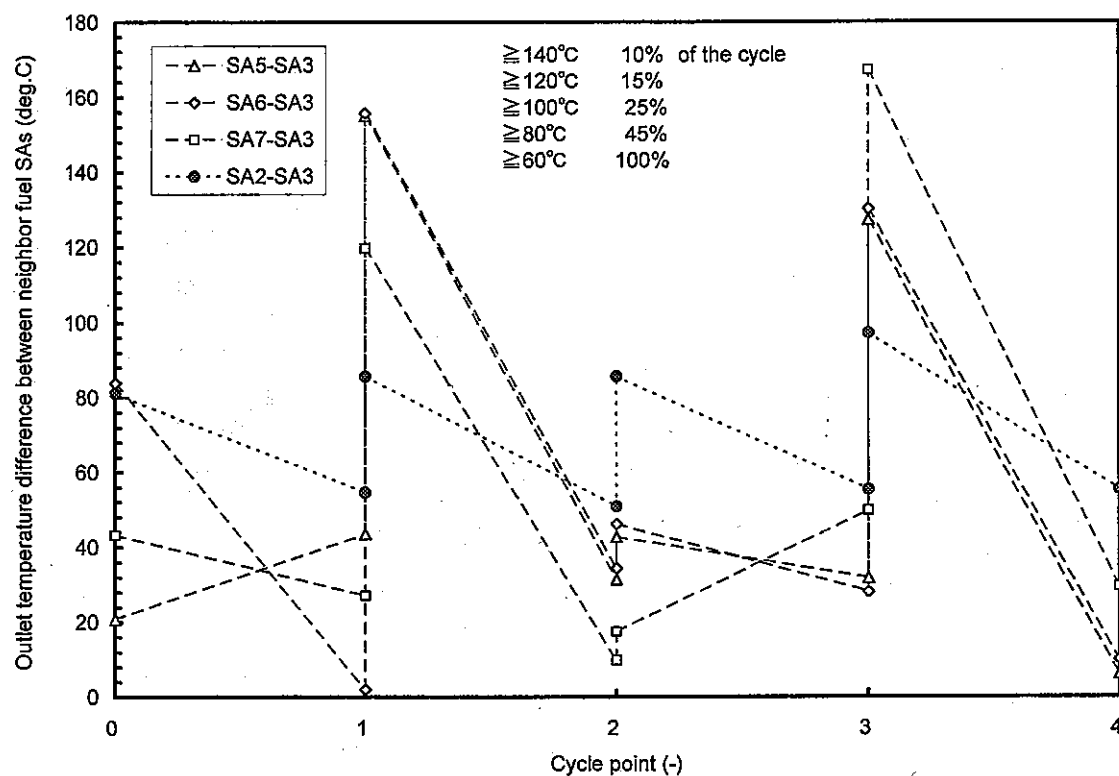
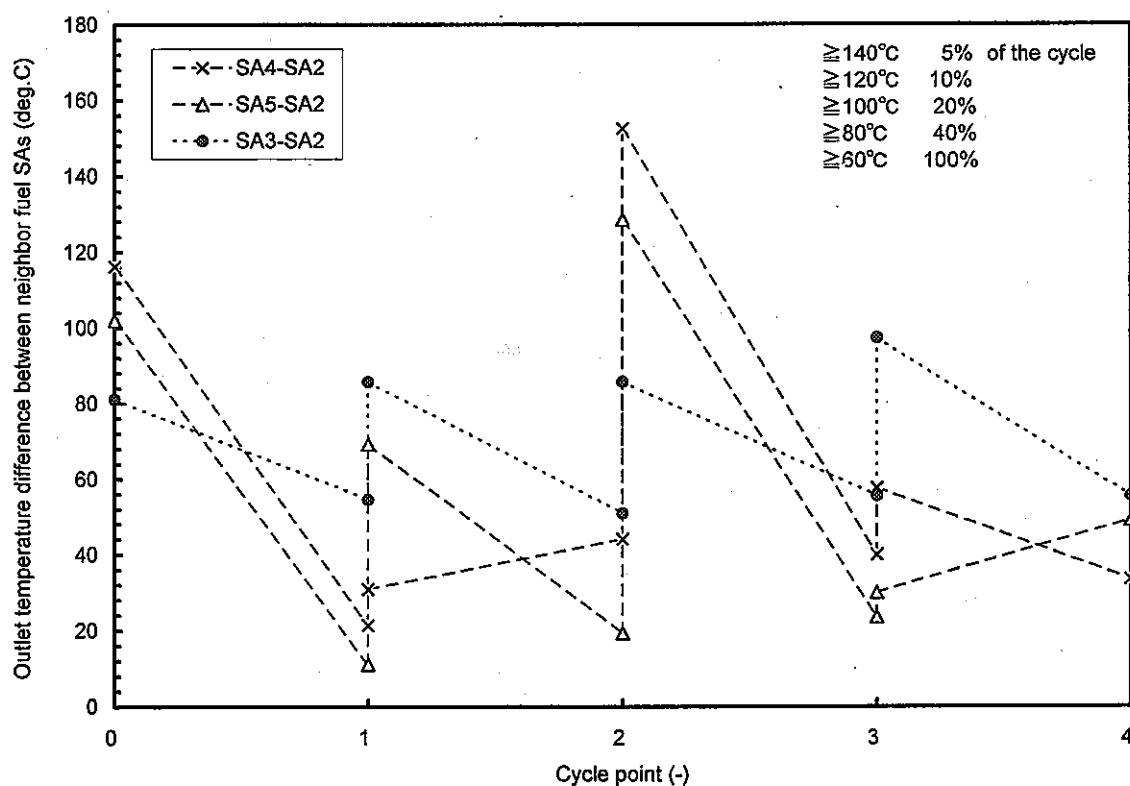


図 3.1.3-7 内部ブランケットの隣接出口温度差最大値  
(シャフリング、サイクル毎可変流量調節等の流量調節が無い場合)



(1/2) 内部ブランケット集合体(SA No.3)と隣接燃料集合体との冷却材出口温度差履歴



(2/2) 内部ブランケット集合体(SA No.2)と隣接燃料集合体との冷却材出口温度差履歴

図 3.1.3-8 内部ブランケット集合体-隣接燃料集合体間の出口温度差履歴

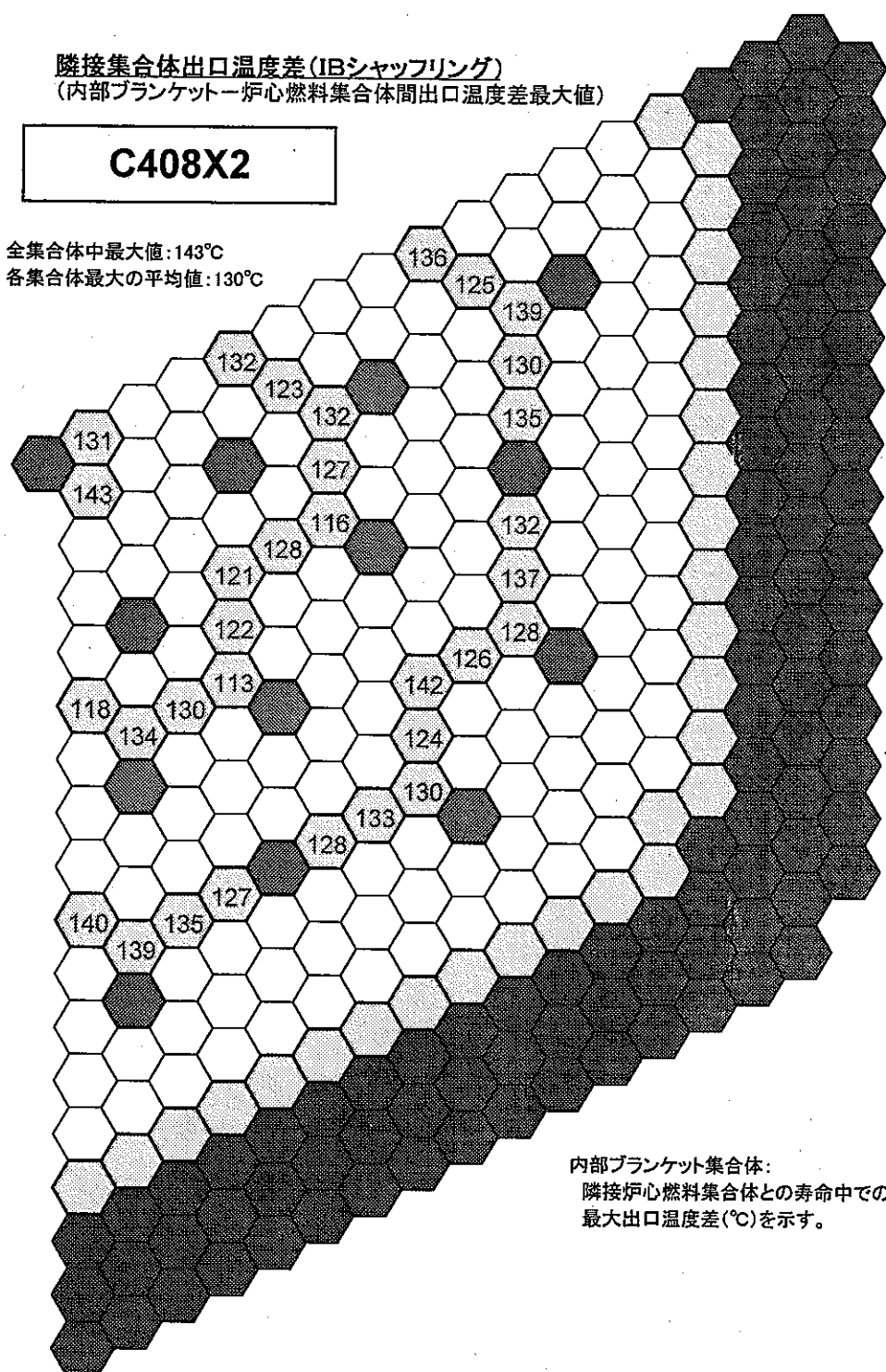


図 3.1.3-9 内部ブランケットの隣接出口温度差最大値  
(シャッフリング、サイクル毎可変流量調節等の流量調節が有る場合)

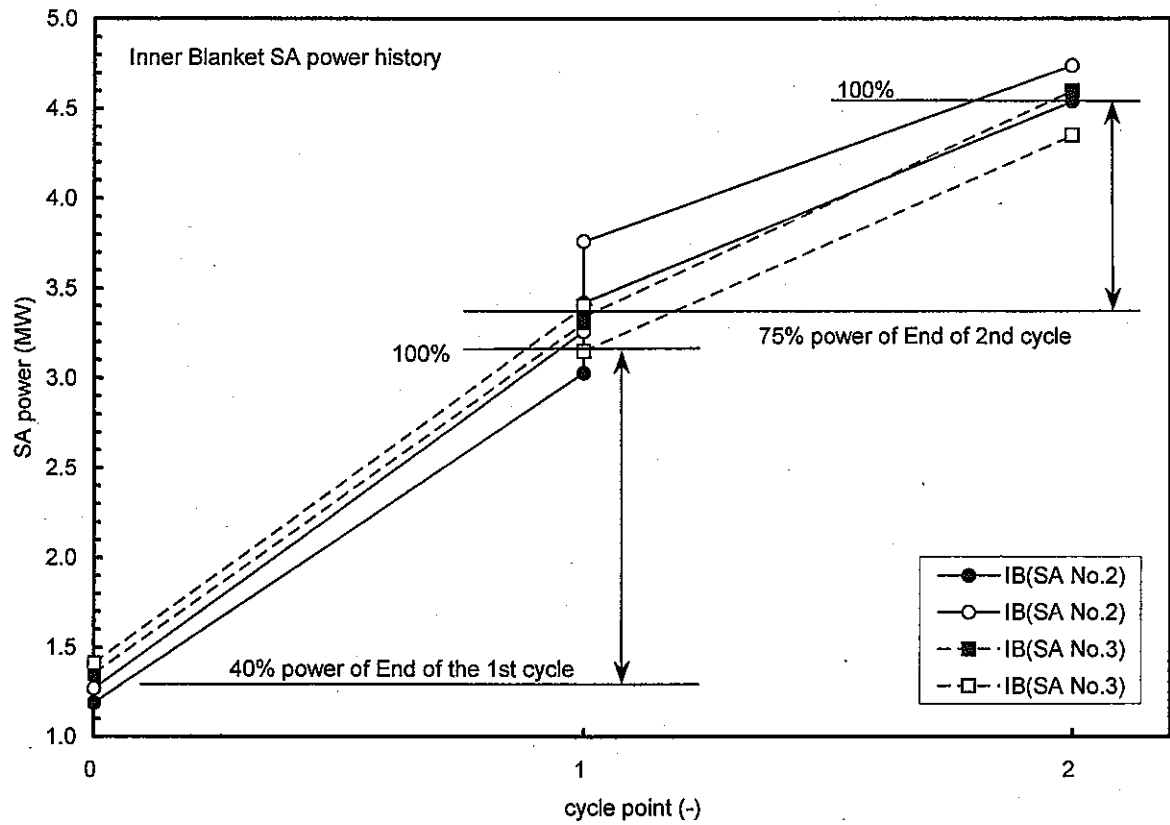


図 3.1.3-10 内部ブランケット燃料集合体の集合体出力履歴

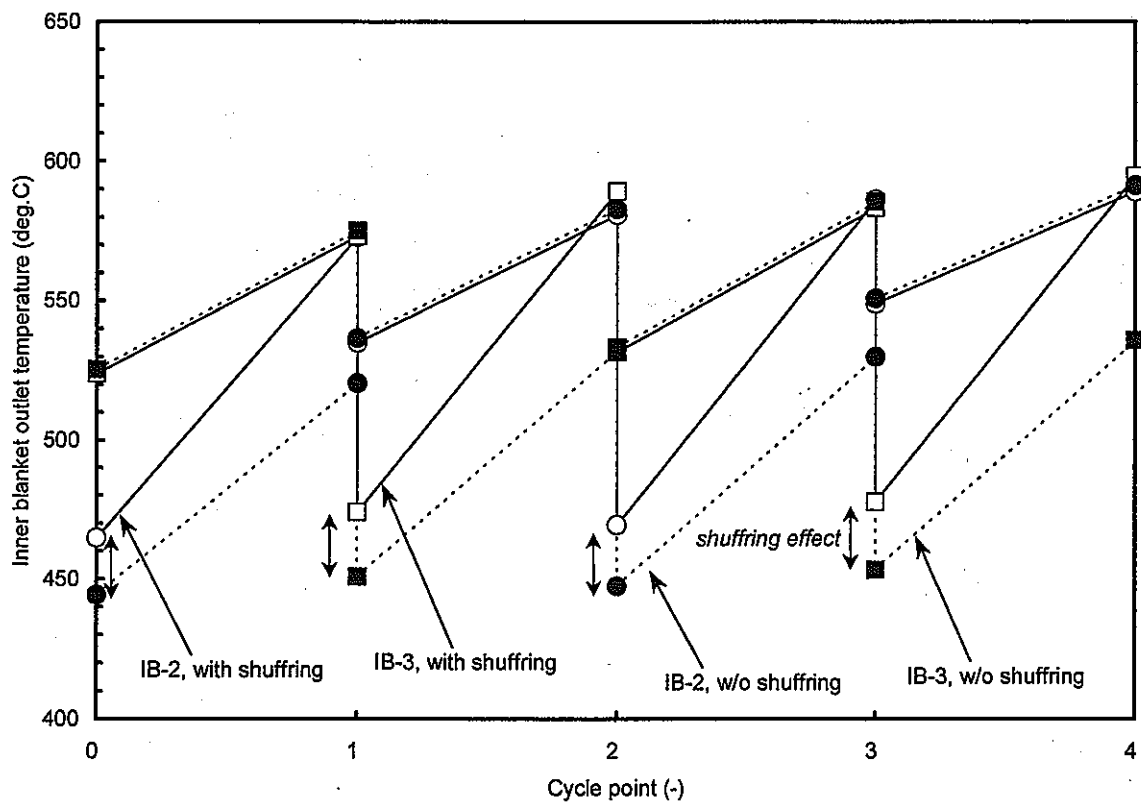
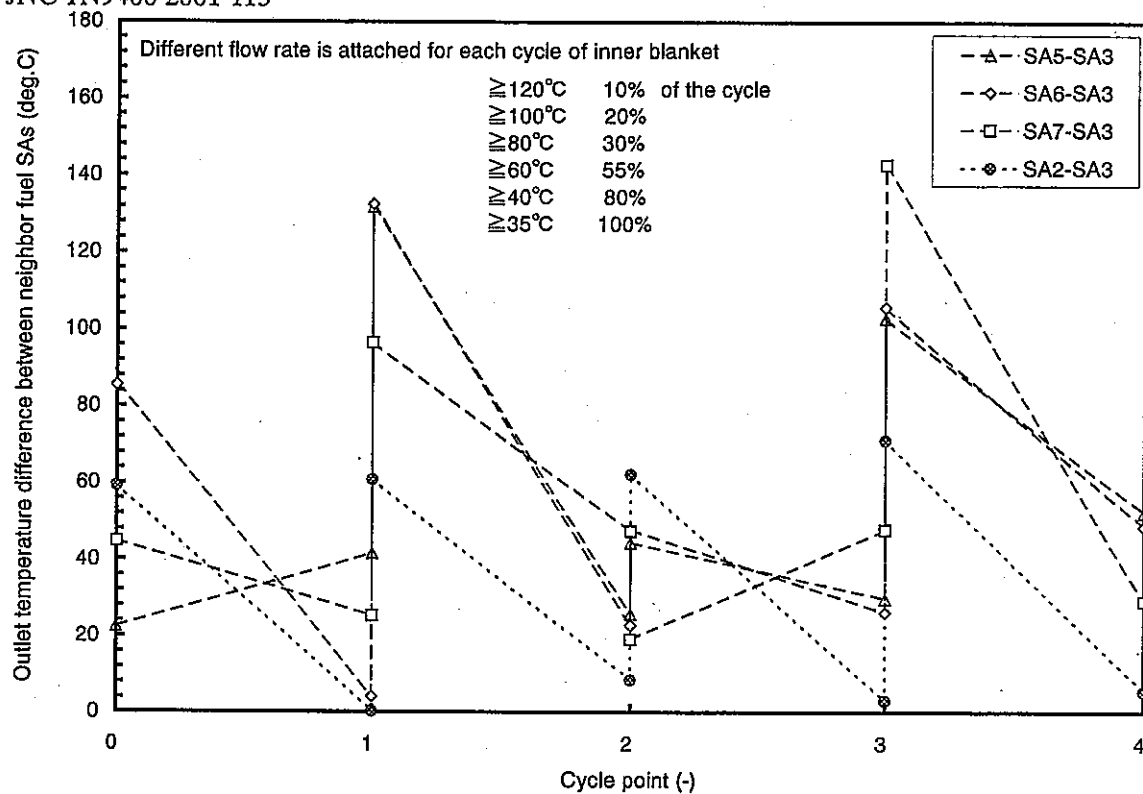
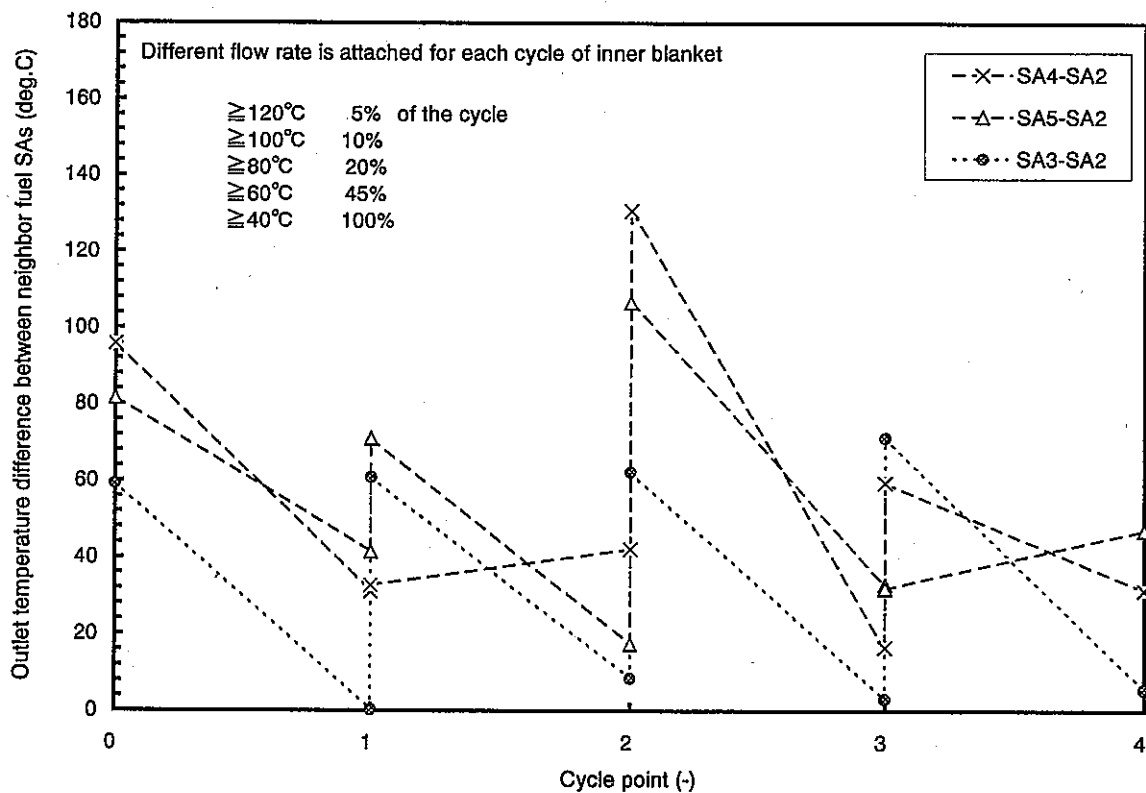


図 3.1.3-11 内部ブランケット出口温度履歴 (滞在サイクル毎の可変流調の有無の比較)



(1/2) 内部ブランケット集合体(SA No.3)と隣接燃料集合体との冷却材出口温度差履歴



(2/2) 内部ブランケット集合体(SA No.2)と隣接燃料集合体との冷却材出口温度差履歴

図 3.1.3-12 内部ブランケット集合体-隣接燃料集合体間の出口温度差履歴  
(滞在サイクル毎の可変流調有り)

## BOEC

単位:℃

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

## EOEC

|             |      |     |             |      |     |             |      |     |             |       |     |
|-------------|------|-----|-------------|------|-----|-------------|------|-----|-------------|-------|-----|
| CR1         | 591  | 569 | 571         | CR16 | 602 | 591         | CR46 | 606 | 585         | CR114 | 573 |
| 460         | 586  |     | 572         | 460  | 587 | 600         | 450  | 603 | 580         | 440   | 569 |
| 当該CR最大出口温度差 |      | 131 | 当該CR最大出口温度差 |      | 142 | 当該CR最大出口温度差 |      | 158 | 当該CR最大出口温度差 |       | 145 |
|             |      |     | 582         |      |     | 606         |      |     | 582         |       |     |
|             |      |     | 570         |      |     | 598         |      |     | 594         |       |     |
| 571         | CR20 | 559 | 578         | CR49 | 602 | 607         | CR97 | 573 | 607         | CR97  | 573 |
| 558         | 460  | 587 | 607         | 450  | 601 | 594         | 440  | 561 | 593         | 440   | 561 |
| 当該CR最大出口温度差 |      | 142 | 当該CR最大出口温度差 |      | 157 | 当該CR最大出口温度差 |      | 167 | 当該CR最大出口温度差 |       | 167 |
|             |      |     | 602         |      |     | 594         |      |     | 598         |       |     |
|             |      |     |             |      |     | 594         |      |     | 581         |       |     |
| 597         | CR53 | 596 | 604         | CR53 | 596 | 605         | CR53 | 596 | 604         | CR121 | 584 |
|             | 450  | 612 |             | 450  | 612 |             | 450  | 612 | 590         | 440   | 571 |
| 当該CR最大出口温度差 |      | 162 | 当該CR最大出口温度差 |      | 162 | 当該CR最大出口温度差 |      | 162 | 当該CR最大出口温度差 |       | 164 |
|             |      |     | 604         |      |     | 604         |      |     | 569         |       |     |
|             |      |     | 579         |      |     | 579         |      |     | 589         |       |     |
| 604         | CR56 | 599 | 604         | CR56 | 599 | 596         | CR56 | 599 | 601         | CR125 | 570 |
|             | 450  | 598 |             | 450  | 598 |             | 450  | 598 | 594         | 440   | 571 |
| 当該CR最大出口温度差 |      | 164 | 当該CR最大出口温度差 |      | 164 | 当該CR最大出口温度差 |      | 164 | 当該CR最大出口温度差 |       | 161 |
|             |      |     | 614         |      |     | 614         |      |     | 583         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 591         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 591         | CR107 | 593 |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 590         | 440   | 556 |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 572         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 591         | CR107 | 593 |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 590         | 440   | 556 |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 572         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 581         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 592         | CR132 | 582 |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 566         | 440   | 551 |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     | 564         |       |     |
|             |      |     |             |      |     |             |      |     |             |       |     |

maximun value 167 °C

\*) 制御棒出口温度は本検討では計算していない。  
 従って本検討では、実証炉設計研究にて評価された制御棒出口温度を  
 参考として暫定的に使用した。

図 3.1.3-13 制御棒一隣接燃料集合体間出口温度差

### 3.1.4 燃料特性評価

ABLE 型燃料径方向非均質炉心における燃料の設計成立性を調査するため、上述の核特性評価・熱特性評価の結果得られた線出力・被覆管最高温度の履歴に基づき CDF 解析を行った(St ベースで評価)。

#### (1) 解析条件

燃料仕様として表 3.1.1-XX で設定した値に、不確かさ(製造公差等)として暫定的に実証炉検討の値から外挿した値を設定し、各不確かさとも評価上保守側に乗算的に考慮することとした。

##### ・燃料ピン条件

- 被覆材：ODS 鋼
- ピン外径 / 内径：8.769 mm (8.800 - 0.031(製造公差)) / 7.626 mm (7.600 + 0.026(製造公差))
- ピン全長：283.0cm (炉心高さ：100.0 cm、軸方向ブランケット高さ(上部 / 下部)：40.0 cm / 40.0 cm、ガスプレナム高さ(上部 / 下部)：10.0 cm / 84.0 cm、その他：9.0 cm)
- 上部ガスプレナム容積：3.83 cc (上部ガスプレナム高さ：9.04 cm (10.0-0.96(ペレット製造公差))、ピン内径：7.574 mm (7.600-0.026(ピン製造公差))、水分を除く揮発性物質の寄与分：-6%、を想定し設定)
- 下部ガスプレナム容積：35.57 cc (ピン内径：7.574 mm (7.600-0.026(ピン製造公差))、水分を除く揮発性物質寄与分：-6%、を想定し設定)
- 燃料スミア密度：81.4%TD (ピン内径ノミナル条件における 82.0%TD 相当)

##### ・照射条件

- サイクル長さ：570 日×4 バッチ
- 線出力履歴：最大の CDF 値を有する集合体における線出力履歴を表 3.1.4-1 に示した。
- 被覆管最高温度履歴：最大の CDF 値を有する集合体における被覆管最高温度履歴を表 3.1.4-1 に示した。

##### ・被覆材物性式<sup>[1]</sup>

- クリープ強度式：ODS 鋼クリープ強度(H11 年度暫定評価式)
- 内面腐食式：PNC-FMS 鋼の内面腐食式を暫定的に適用
- 外面腐食式：PNC-FMS 鋼の外面腐食式を暫定的に適用

#### (2) 解析結果

上述の熱特性検討で示した通り、径方向非均質炉心は、主に内部ブランケットの炉内滞在期間中出力変動が大きい効果により均質炉心に比べ

流量条件が厳しく、本炉心では被覆管温度が高く設定されている(710℃)。そのため、CDF 上は厳しくなることが推測される。

図 3.1.4-1 に、解析結果として、各集合体のピーク出力ピンにおける CDF 値の一覧を第 1 領域・第 2 領域・第 3 領域に分類して示した(ここで、第 1 領域とは内部ブランケット第 1 リングと第 2 リングの間の領域、第 2 領域は内部ブランケット第 2 リングと第 3 リングの間の領域、第 3 領域は内部ブランケット第 3 リングの外側の領域のことである)。図中、第 2・第 3 領域では集合体間の CDF 値のばらつきが大きく、これらの領域の一部の集合体で CDF に突出した値が生じていることが分かる。最大の CDF 値を有する集合体は、第 2 領域：集合体 68、第 3 領域：集合体 102 であり、CDF 値はそれぞれ 0.59、0.56 であった(参考として、表 3.1.4-1 に両集合体ピンの CDF 履歴を示した)。この値は、後述の均質炉心(内部ダクト付集合体炉心)の CDF 値(0.001 程度)を大きく上回るとともに、成立条件(CDF=0.5)を若干越えており、現状では成立性上問題を有する可能性が考えられる。そこで、流量・燃料ピン仕様を調整することで成立性に対応した場合、どの程度仕様に影響があるか評価を行うこととした。

まず、流量について、CDF 値が 0.5 を越える「集合体 68」「集合体 102」に 1 クラス上の流量領域の流量を流すケースについて CDF 解析を行った。その結果、「集合体 68」では CDF = 0.060、「集合体 102」では CDF = 0.059 となり、CDF 値は改善され成立性を満足することが確認された。次に、燃料ピン仕様について、下部プレナム容積の変更により対応する場合の検討を行った。解析の結果、両集合体とも下部プレナム容積をノミナル容積の 1.08 倍程度とすることで成立性を満たす結果が得られた。下部プレナム容積の増加はピン長の増加を導きバンドル圧損に影響を与えるものと考えられるが、この程度(1.08 倍)でのバンドル圧損の増分は 0.05 kg/cm<sup>2</sup> 程度(2.1 kg/cm<sup>2</sup> → 2.15 kg/cm<sup>2</sup>)であり、現炉心仕様に大きな影響は与えないものと考えられる。

以上、ABLE 型燃料径方向非均質炉心の燃料成立性について CDF 解析を行った結果、現仕様のままでは成立性上厳しいが、流量領域を若干再調整するか、もしくは、バンドル圧損への影響が小さい範囲で燃料ピン仕様を変更することにより、燃料成立性を十分確保できる見通しが確認された。

表 3.1.4-1 0.5 以上の CDF 値を有する燃料集合体ピン(集合体 68・集合体 102)  
における線出力・被覆管最高温度・CDF 履歴

| 集合体 68<br>(第 2 領域)  | 1 サイクル |          | 2 サイクル   |          | 3 サイクル   |          | 4 サイクル   |          |
|---------------------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                     | 0 日    | 570 日    | 570 日    | 1140 日   | 1140 日   | 1710 日   | 1710 日   | 2280 日   |
| 線出力<br>(W/cm)       | 370.8  | 375.5    | 312.5    | 332.6    | 335.9    | 335.6    | 314.5    | 321.7    |
| 被覆管最高<br>温度(°C)     | 706.9  | 707.5    | 660.8    | 673.1    | 678.3    | 674.7    | 663.1    | 665.9    |
| CDF<br>(-)          | 0.000  | 3.258E-6 | 3.258E-6 | 4.290E-4 | 4.291E-4 | 6.736E-2 | 6.736E-2 | 5.869E-1 |
| 集合体 102<br>(第 3 領域) | 1 サイクル |          | 2 サイクル   |          | 3 サイクル   |          | 4 サイクル   |          |
|                     | 0 日    | 570 日    | 570 日    | 1140 日   | 1140 日   | 1710 日   | 1710 日   | 2280 日   |
| 線出力<br>(W/cm)       | 307.1  | 320.4    | 302.6    | 296.5    | 337.7    | 304.5    | 335.8    | 294.7    |
| 被覆管最高<br>温度(°C)     | 671.4  | 681.0    | 674.0    | 663.5    | 700.4    | 667.4    | 697.4    | 659.5    |
| CDF<br>(-)          | 0.000  | 1.411E-8 | 1.411E-8 | 3.798E-5 | 3.802E-5 | 2.507E-2 | 2.507E-2 | 5.649E-1 |

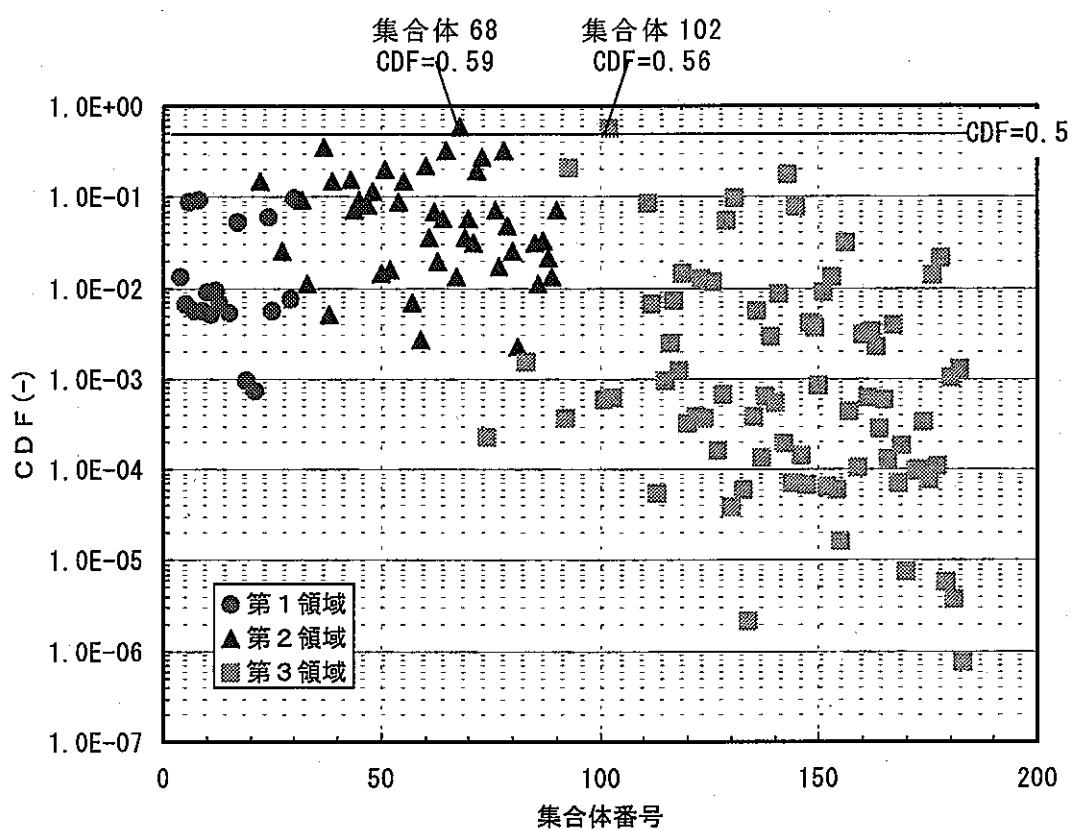


図 3.1.4-1 各集合体のピーク出力ピンにおける CDF 値の比較

### 3.1.5 遮蔽特性評価

再臨界回避概念として現在考えられているナトリウム冷却大型酸化物燃料炉心の一つである ABLE 型燃料径方向非均質炉心(炉心高さ 100 cm、熱出力 3,570MWt) について遮蔽特性評価を行った。

#### (1) 具体的解析条件

- ・ 炉心構成： 図 3.1.1-1
- ・ 燃料集合体構成： 図 3.1.1-2
  - (上部構造) 670 cm の B<sub>4</sub>C 遮蔽体を設置
  - (下部構造) 840 cm のガスプレナムを設置
- ・ 径方向遮蔽体： SUS 遮蔽体×1 層 + ZrH 遮蔽体×1 層  
3.2.5 の検討を参考に設定した  
下部ガスプレナム位置まで遮蔽体構造とした
- ・ 中性子規格化定数： 2.3.3 項に示した計算式を用い、以下のとおり設定した
 
$$X_{NF} = 1,190 \times 10^6 \times 2.878 / (198.5 \times 10^6 \times 1.602 \times 10^{-19}) = 1.0770 \times 10^{20} \text{ (n/sec)}$$
- ・ 各部組成温度と原子数密度： EOEC を対象 表 3.1.5-1
- ・ 断面積縮約計算体系： 1 次元半径方向計算 図 3.1.5-1  
炉心中心面上の体系で代表させた  
1 次元軸方向計算 図 3.1.5-1  
炉心中心軸上の体系で代表させた
- ・ 縮約断面積： 多数群と少数群データの関係 表 3.1.5-2  
ANISN-W による 1 次元計算による中性子束と、多数群(100 群)マクロ断面積により、少数群(21 群)断面積を求めた。
- ・ 遮蔽解析体系： 2 次元 RZ 円筒体系 図 3.1.5-2  
DOT-3.5 による 21 群計算で中性子束を求めた
- ・ 遮蔽評価基準値： 2.3.3 項参照
- ・ 解析の流れ： 図 2.3.3-1 を参照

#### (2) 解析結果

##### (i) 炉心槽内面の高速中性子束軸方向分布

炉心槽内面位置での高速中性子束分布を図 3.1.5-3 に示す。これらの図中の値は as calculation 値(未補正值)である。

同図にでは、炉心からの中性子漏れによる高速中性子束分布のピーク

が、炉心中心面（図中：軸方向 260～360 cm）位置に現れている。また、燃料集合体下部ガスパレナム領域からの回り込みによる中性子の漏れが、炉心下部（図中：軸方向 100～130 cm）位置に見える。高速中性子束最大値(as calculation 値)は、 $3.74 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2/\text{s}$  となった。この高速中性子束最大値に JASPER 解析による補正值 2.1 を掛け、評価値  $7.86 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2/\text{s}$  を得た。

表 3.1.5-3 に示すように、プラント寿命を 40 年又は 60 年と仮定した場合の遮蔽評価基準（それぞれ  $1.7 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2/\text{s}$ 、 $1.1 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2/\text{s}$  に相当）と比べ、それぞれ約 2 倍、約 1.4 倍の余裕がある。したがって、本炉心の 2 層からなる径方向遮蔽体構成は、遮蔽評価基準を十分満足できる。

#### (ii) 炉心上部構造物下面の高速中性子束径方向分布

炉心上部構造物(UIS)下面位置での高速中性子束分布を図 3.1.5-4 に示す。これらの図中の値は as calculation 値（未補正值）である。同図では、炉心中心方向から径方向に高速中性子束強度が減少する傾向を示している。この分布形は、炉心内の高速中性子束分布と相関していると理解できる。

高速中性子束最大値(as calculation 値)は、 $1.18 \times 10^9 \text{ n/cm}^2/\text{s}$  となった。この高速中性子束最大値に JASPER 解析による補正值 3.5 を掛け、評価値  $4.13 \times 10^9 \text{ n/cm}^2/\text{s}$  を得た。

表 3.1.5-3 に示すように、遮蔽評価基準値(40 年寿命で  $8.8 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2/\text{s}$ 、60 年寿命で  $5.8 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2/\text{s}$  に相当) と比べ、それぞれ約 200 倍、140 倍の余裕がある。したがって、本炉心の上部軸方向遮蔽構造は、遮蔽評価基準を十分満足できる。

#### (iii) 下部炉心支持板上面の高速中性子束径方向分布

下部炉心支持板上面位置（炉心側）での高速中性子束分布を図 3.1.5-5 に示す。これらの図中の値は as calculation 値（未補正值）である。上記(ii)と同様に、炉心径方向の高速中性子束分布と相関を示す高速中性子束分布となることが、同図からわかる。

高速中性子束最大値(as calculation 値)は、 $3.52 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2/\text{s}$  となった。この高速中性子束最大値に JASPER 解析による補正值 1.7 をかけ、評価値  $5.99 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2/\text{s}$  を得た。

表 3.1.5-3 に示すように、遮蔽評価基準値(40 年寿命で  $4.4 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2/\text{s}$ 、60 年寿命で  $2.9 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2/\text{s}$  相当) と比べ、それぞれ約 7 倍、約 5 倍の余裕がある。したがって、本炉心の下部軸方向遮蔽構造は、遮蔽評価基準を十分満足できる。

## (iv) 炉心周りの高速中性子束分布

炉心周りの高速中性子束等高線図を図 3.1.5-6 に示す。これらの図中の値は as calculation 値（未補正值）である。

炉心槽側面位置で高速中性子束最大値を示す位置（炉心中心面付近）での径方向高速中性子束分布に注目してみると、SUS 遮蔽体及び ZrH 遮蔽体領域において、高速中性子束がそれぞれ 1 桁以上減少していることがわかる。すなわち、SUS 遮蔽体 1 層 + ZrH 遮蔽体 1 層からなる遮蔽構成が有効であることがわかる。また、炉心に径方向ブランケットを 1 層配置することにより、遮蔽基準上厳しい径方向への高速中性子の漏れが、炉心部より 1 桁以上下がっていることも、径方向遮蔽性能に大きく寄与している。

## (3) まとめ

本解析により、以下のことがわかった。

- ① 径方向ブランケット 1 層を有する径方向非均質炉心の径方向遮蔽構成を、SUS 遮蔽 1 層 + ZrH 遮蔽体 1 層（合計 2 層）とすることにより、炉心周りの高速中性子照射量に対する遮蔽評価基準値を、余裕を持って満足できる結果が得られた。
- ② これまでの遮蔽解析では、炉心上方への高速中性子束の漏れに対する余裕があることがわかっていたが、炉心下方への漏れによる下部炉心支持板上面での高速中性子照射量にあまり余裕のない結果が得られていた。そこで、本検討で設定したように、十分な下部プレナム長さを有する体系（図 3.1.1-2 参照）とすることで、炉心支持板上面位置での遮蔽評価基準値を十分に満足する結果が得られた。
- ③ 40 年のプラント寿命条件で、高速中性子照射量に対する軸方向の遮蔽性能は少なくとも 2 倍以上の余裕がある。今後、燃料集合体の軸方向遮蔽構成を合理化できる余地がある。

## (4) 今後の課題

本解析で使用した JASPER 実験解析による補正值は、実証炉体系に対して評価・設定したものである。そこで、炉心・燃料集合体仕様を今後詰めていく際には、この補正值を見直し・評価する必要がある。

表 3.1.5-1 各部組成温度と原子数密度  
(大型型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心)

| 核 種        | 核種ID | 内側炉心(1)     | 内側炉心(2)     | 内側炉心(3)     | 内側炉心(4)   | 内側炉心(5)     | 内側炉心(6)   | 上部軸ﾌﾞﾗﾝｸﾞ | 下部軸ﾌﾞﾗﾝｸﾞ     |           |
|------------|------|-------------|-------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-----------|---------------|-----------|
| Pu-239     | 9490 | 9.109E-04   | 9.438E-04   | 9.155E-04   | 9.364E-04 | 9.495E-04   | 9.533E-04 | 1.543E-04 | 2.167E-04     |           |
| Pu-240     | 9400 | 5.830E-04   | 5.988E-04   | 5.845E-04   | 5.941E-04 | 5.969E-04   | 5.851E-04 | 5.826E-06 | 1.230E-05     |           |
| Pu-241     | 9410 | 1.318E-04   | 1.380E-04   | 1.324E-04   | 1.363E-04 | 1.383E-04   | 1.374E-04 | 1.535E-07 | 4.889E-07     |           |
| Pu-242     | 9420 | 1.403E-04   | 1.433E-04   | 1.406E-04   | 1.426E-04 | 1.436E-04   | 1.435E-04 | 3.019E-09 | 1.301E-08     |           |
| Am-241     | 9510 | 3.717E-05   | 3.955E-05   | 3.752E-05   | 3.914E-05 | 4.052E-05   | 4.269E-05 | 9.744E-09 | 3.053E-08     |           |
| U-235      | 9250 | 9.505E-06   | 1.022E-05   | 9.602E-06   | 1.009E-05 | 1.052E-05   | 1.129E-05 | 2.161E-05 | 1.969E-05     |           |
| U-238      | 9280 | 5.792E-03   | 5.862E-03   | 5.802E-03   | 5.850E-03 | 5.891E-03   | 5.951E-03 | 8.267E-03 | 8.181E-03     |           |
| O          | 860  | 1.713E-02   | 1.713E-02   | 1.713E-02   | 1.713E-02 | 1.713E-02   | 1.713E-02 | 1.696E-02 | 1.696E-02     |           |
| Na         | 1130 | 7.019E-03   | 7.019E-03   | 7.019E-03   | 7.019E-03 | 7.019E-03   | 7.019E-03 | 7.019E-03 | 7.019E-03     |           |
| Fe         | 2600 | 1.823E-02   | 1.823E-02   | 1.823E-02   | 1.823E-02 | 1.823E-02   | 1.823E-02 | 1.823E-02 | 1.823E-02     |           |
| Cr         | 2400 | 2.703E-03   | 2.703E-03   | 2.703E-03   | 2.703E-03 | 2.703E-03   | 2.703E-03 | 2.703E-03 | 2.703E-03     |           |
| Ni         | 2800 | 1.157E-04   | 1.157E-04   | 1.157E-04   | 1.157E-04 | 1.157E-04   | 1.157E-04 | 1.157E-04 | 1.157E-04     |           |
| Mo         | 4200 | 1.803E-04   | 1.803E-04   | 1.803E-04   | 1.803E-04 | 1.803E-04   | 1.803E-04 | 1.803E-04 | 1.803E-04     |           |
| Mn         | 2550 | 1.171E-04   | 1.171E-04   | 1.171E-04   | 1.171E-04 | 1.171E-04   | 1.171E-04 | 1.171E-04 | 1.171E-04     |           |
| Np-237     | 9370 | 2.565E-06   | 2.053E-06   | 2.506E-06   | 2.187E-06 | 2.017E-06   | 2.190E-06 | 3.610E-07 | 4.640E-07     |           |
| Pu-238     | 9480 | 4.522E-05   | 4.763E-05   | 4.556E-05   | 4.714E-05 | 4.820E-05   | 4.884E-05 | 3.741E-08 | 6.623E-08     |           |
| 計算時組成温度(K) |      | 1373        | 1373        | 1373        | 1373      | 1373        | 1373      | 1073      | 1073          |           |
| 核 種        | 核種ID | 内部ﾌﾞﾗﾝｸﾞ(1) | 内部ﾌﾞﾗﾝｸﾞ(2) | 内部ﾌﾞﾗﾝｸﾞ(3) | 径方向ﾌﾞﾗﾝｸﾞ |             |           |           |               |           |
| Pu-239     | 9490 | 3.076E-04   | 3.009E-04   | 2.893E-04   | 2.650E-04 |             |           |           |               |           |
| Pu-240     | 9400 | 2.063E-05   | 1.855E-05   | 1.742E-05   | 1.055E-05 |             |           |           |               |           |
| Pu-241     | 9410 | 9.573E-07   | 7.666E-07   | 7.112E-07   | 3.036E-07 |             |           |           |               |           |
| Pu-242     | 9420 | 3.298E-08   | 2.470E-08   | 2.263E-08   | 5.221E-09 |             |           |           |               |           |
| Am-241     | 9510 | 3.159E-08   | 2.560E-08   | 2.439E-08   | 1.919E-08 |             |           |           |               |           |
| U-235      | 9250 | 2.367E-05   | 2.407E-05   | 2.438E-05   | 3.227E-05 |             |           |           |               |           |
| U-238      | 9280 | 1.027E-02   | 1.028E-02   | 1.029E-02   | 1.280E-02 |             |           |           |               |           |
| O          | 860  | 2.142E-02   | 2.142E-02   | 2.142E-02   | 2.606E-02 |             |           |           |               |           |
| Na         | 1130 | 6.185E-03   | 6.185E-03   | 6.185E-03   | 5.013E-03 |             |           |           |               |           |
| Fe         | 2600 | 1.732E-02   | 1.732E-02   | 1.732E-02   | 1.310E-02 |             |           |           |               |           |
| Cr         | 2400 | 2.569E-03   | 2.569E-03   | 2.569E-03   | 1.943E-03 |             |           |           |               |           |
| Ni         | 2800 | 1.099E-04   | 1.099E-04   | 1.099E-04   | 8.316E-05 |             |           |           |               |           |
| Mo         | 4200 | 1.713E-04   | 1.713E-04   | 1.713E-04   | 1.296E-04 |             |           |           |               |           |
| Mn         | 2550 | 1.113E-04   | 1.113E-04   | 1.113E-04   | 8.417E-05 |             |           |           |               |           |
| Np-237     | 9370 | 8.323E-07   | 8.786E-07   | 8.897E-07   | 6.661E-07 |             |           |           |               |           |
| Pu-238     | 9480 | 1.454E-07   | 1.434E-07   | 1.417E-07   | 6.388E-08 |             |           |           |               |           |
| 計算時組成温度(K) |      | 1073        | 1073        | 1073        | 1073      |             |           |           |               |           |
| 核 種        | 核種ID | Na+Zr(C/R部) | ｶﾞｽﾌﾞﾚｯﾄ    | 鋳合部         | Na層       | 軸方向遮へい体     | 下部ﾌﾞﾚｯﾄ   | SUS反射体    | ﾊﾞﾝﾄﾞﾘﾝｸﾞﾊﾞｯﾄ | 径方向Na層    |
| Na         | 1130 | 2.031E-02   | 7.228E-03   | 7.450E-03   | 2.002E-02 | 7.222E-03   | 5.557E-03 | 6.383E-03 | 6.383E-03     | 2.224E-02 |
| Fe         | 2600 | 4.587E-03   | 1.201E-02   | 4.645E-02   | 6.985E-03 | 8.598E-03   | 3.949E-02 | 3.754E-02 | 3.754E-02     | —         |
| Cr         | 2400 | 1.217E-03   | 3.185E-03   | 8.270E-03   | 1.244E-03 | 2.280E-03   | 1.047E-02 | 9.955E-03 | 9.955E-03     | —         |
| Ni         | 2800 | 1.437E-03   | 3.763E-03   | 3.259E-04   | 4.901E-05 | 2.693E-03   | 1.237E-02 | 1.176E-02 | 1.176E-02     | —         |
| Mo         | 4200 | 1.099E-04   | 2.877E-04   | 1.124E-04   | 1.690E-05 | 2.060E-04   | 9.463E-04 | 8.995E-04 | 8.995E-04     | —         |
| Mn         | 2550 | 1.343E-04   | 3.517E-04   | —           | —         | 2.518E-04   | 1.156E-03 | 1.099E-03 | 1.099E-03     | —         |
| C          | 620  | —           | —           | —           | —         | 1.317E-02   | —         | —         | —             | —         |
| B-10       | 500  | —           | —           | —           | —         | 1.054E-02   | —         | —         | —             | —         |
| B-11       | 510  | —           | —           | —           | —         | 4.214E-02   | —         | —         | —             | —         |
| 計算時組成温度(K) |      | 703         | 703         | 703         | 703       | 703         | 703       | 703       | 703           | 668       |
| 核 種        | 核種ID | 炉心槽         | 炉上部構造物      | 上部Na層       | 炉心支持板     | ｴﾝﾄﾗﾝｽ/ｽﾗｯｸ | ZrH遮へい体   |           |               |           |
| Na         | 1130 | 0.000E+00   | 2.002E-02   | 2.224E-02   | 6.005E-03 | 1.557E-02   | 4.193E-03 |           |               |           |
| Fe         | 2600 | 5.801E-02   | 5.240E-03   | —           | 4.170E-02 | 1.628E-02   | 1.345E-02 |           |               |           |
| Cr         | 2400 | 1.738E-02   | 1.389E-03   | —           | 1.229E-02 | 4.517E-03   | 3.566E-03 |           |               |           |
| Ni         | 2800 | 8.106E-03   | 1.595E-03   | —           | 6.819E-03 | 4.000E-03   | 4.211E-03 |           |               |           |
| Mo         | 4200 | 4.463E-04   | 1.256E-04   | —           | 4.189E-04 | 2.958E-04   | 3.222E-04 |           |               |           |
| Mn         | 2550 | 1.732E-03   | 1.721E-04   | —           | 1.263E-03 | 5.174E-04   | 3.938E-04 |           |               |           |
| Zr         | 4000 | —           | —           | —           | —         | —           | 1.662E-02 |           |               |           |
| H          | 110  | —           | —           | —           | —         | —           | 2.659E-02 |           |               |           |
| 計算時組成温度(K) |      | 668         | 823         | 823         | 668       | 668         | 703       |           |               |           |

表 3.1.5-2 100 群と 21 群断面積の対応表  
(大型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心)

| ANISN計算<br>対象方向 | 領域名            | 領域温度 (K) | MACROJコードで作成した<br>ANISN計算用の100群<br>マクロ断面積No. | ANISN計算時の<br>マクロ断面積No. | COMANDコードで作成した<br>DOT3.5計算用の21群<br>縮約マクロ断面積No. |
|-----------------|----------------|----------|----------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------|
| 径方向計算           | 炉心燃料 (I)       | 1373     | 100                                          | ①                      | [3]                                            |
|                 | 炉心燃料 (II)      | 1373     | 200                                          | ②                      | [5]                                            |
|                 | 炉心燃料 (III)     | 1373     | 300                                          | ③                      | [7]                                            |
|                 | 炉心燃料 (IV)      | 1373     | 400                                          | ④                      | [9]                                            |
|                 | 炉心燃料 (V)       | 1373     | 500                                          | ⑤                      | [13]                                           |
|                 | 炉心燃料 (VI)      | 1373     | 600                                          | ⑥                      | [15]                                           |
|                 | 内部ブランケット (I)   | 1073     | 900                                          | ⑦                      | [2]                                            |
|                 | 内部ブランケット (II)  | 1073     | 1000                                         | ⑧                      | [6]                                            |
|                 | 内部ブランケット (III) | 1073     | 1100                                         | ⑨                      | [10], [12]                                     |
|                 | 径方向ブランケット      | 1073     | 1200                                         | ⑩                      | [16]                                           |
|                 | Naフロー          | 703      | 1300                                         | ⑪                      | [4], [8], [11], [14]                           |
|                 | SUS遮へい体        | 703      | 1900                                         | ⑫                      | [1], [17]                                      |
|                 | Na層 (径方向)      | 668      | 2300                                         | ⑬                      | [19], [21]                                     |
|                 | 炉心層            | 668      | 2400                                         | ⑭                      | [20]                                           |
|                 | ZrH遮へい体        | 703      | 2900                                         | ⑮                      | [18]                                           |
| 軸方向計算           | 内側炉心 (I)       | 1373     | 100                                          | <1>                    |                                                |
|                 | 軸ブランケット (上部)   | 1073     | 700                                          | <2>                    | [30]                                           |
|                 | 軸ブランケット (下部)   | 1073     | 800                                          | <3>                    | [29]                                           |
|                 | ガスパレナム         | 703      | 1400                                         | <4>                    | [27], [31]                                     |
|                 | 勘合部            | 703      | 1500                                         | <5>                    | [26], [28], [32]                               |
|                 | Na層            | 703      | 1600                                         | <6>                    | [33]                                           |
|                 | 軸方向遮へい体(B4C)   | 703      | 1700                                         | <7>                    | [34]                                           |
|                 | 下部勘合部          | 703      | 1800                                         | <8>                    | [25]                                           |
|                 | バンドリングヘッド      | 703      | 2200                                         | <9>                    | [35]                                           |
|                 | Na層 (軸方向)      | 668      | 2300                                         | <10>                   | [22]                                           |
|                 | 炉心上部構造物(UIS)   | 823      | 2500                                         | <11>                   | [37]                                           |
|                 | 上部Na層          | 823      | 2600                                         | <12>                   | [36]                                           |
|                 | 炉心支持板          | 668      | 2700                                         | <13>                   | [24]                                           |
|                 | エントランスノズル連結管   | 668      | 2800                                         | <14>                   | [23]                                           |

表 3.1.5-3 遮蔽解析結果  
(大型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心)

| 評価位置            | 遮蔽構成                                | 解析結果*<br>(補正前) | JASPER補正值 | 評価値*<br>(補正後) | 40年寿命遮蔽平<br>価基準値*<br>(実証データベース) | 60年寿命遮蔽平<br>価基準値*<br>(実証データベース) |
|-----------------|-------------------------------------|----------------|-----------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 炉心槽側面内側         | 径ブランケット1層、SUS遮蔽体1層+ZrH遮蔽体1層         | 3.74E+11       | 2.1       | 7.86E+11      | 1.7E+12                         | 1.1E+12                         |
| 炉心上部構造物(UIS) 下面 | 軸ブランケット40cm、B <sub>4</sub> C遮蔽体67cm | 1.18E+09       | 3.5       | 4.13E+09      | 8.8E+11                         | 5.8E+11                         |
| 下部炉心支持板上部       | 軸ブランケット40cm、ガスパレナム84cm              | 3.52E+11       | 1.7       | 5.99E+11      | 4.4E+12                         | 2.9E+12                         |



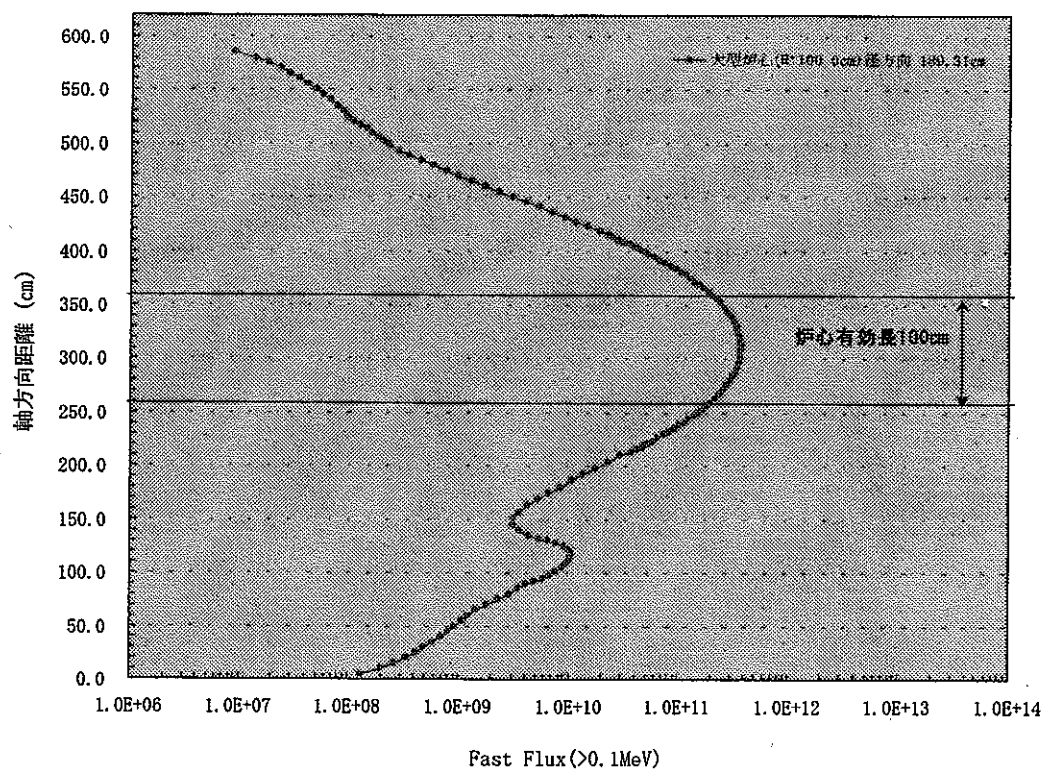


図 3.1.5-3 炉心槽内側での高速中性子束軸方向分布  
(大型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心)

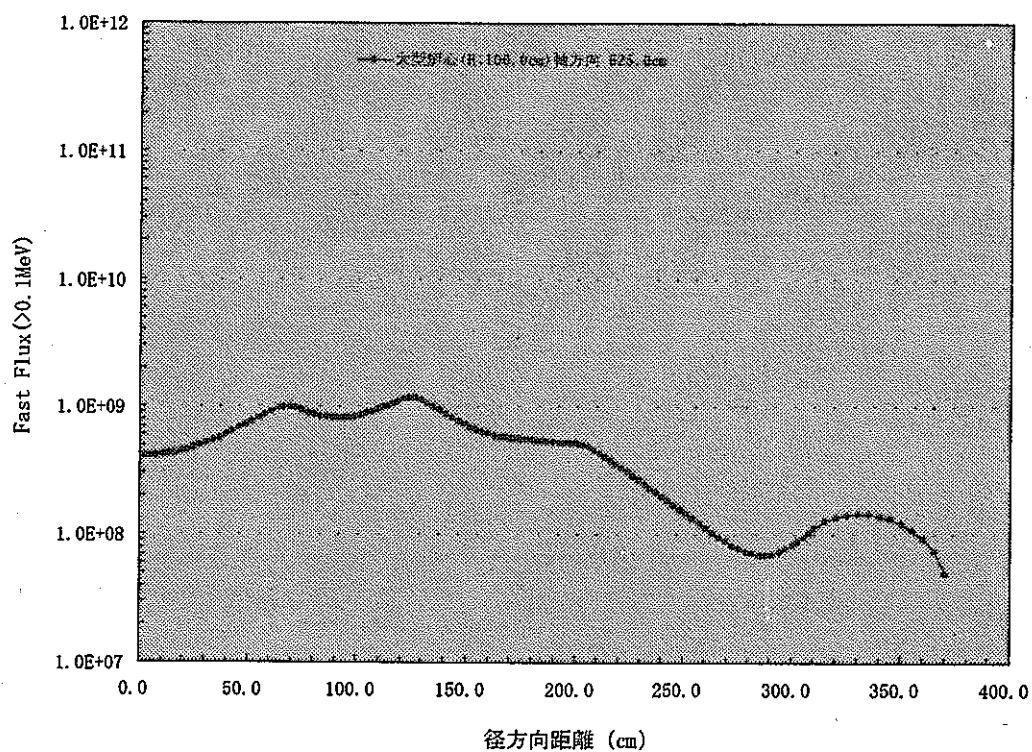


図 3.1.5-4 炉心上部機構下面での高速中性子束径方向分布  
(大型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心)

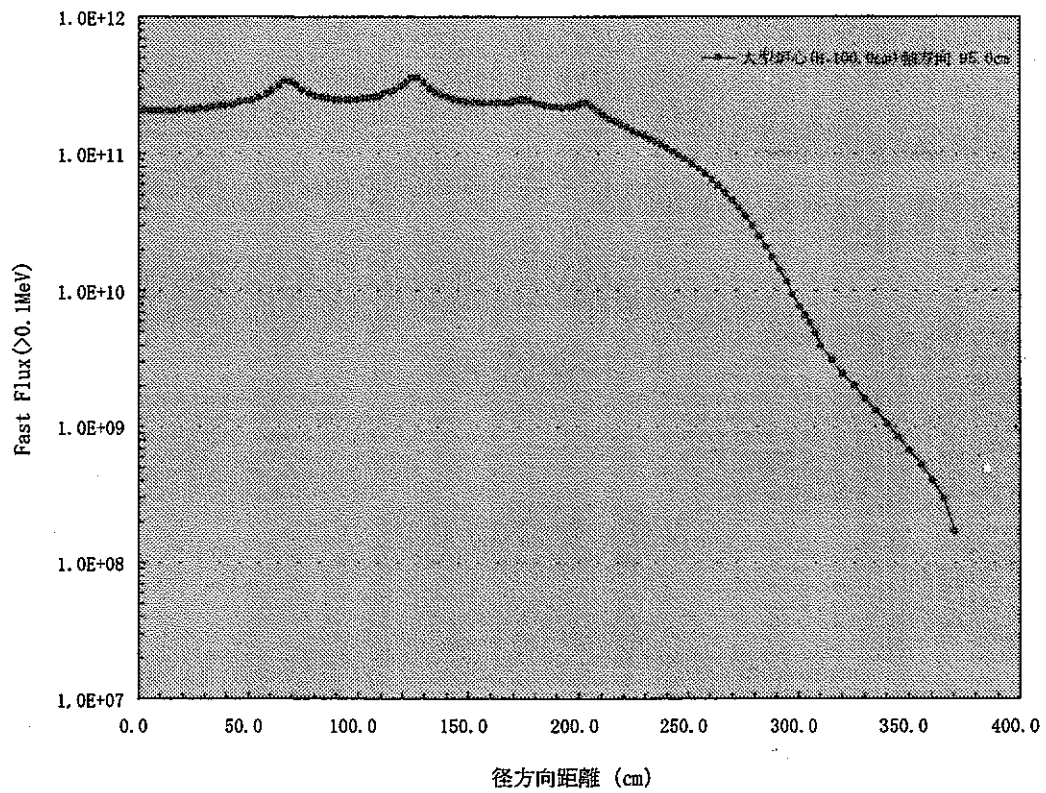


図 3.1.5-5 下部炉心支持板上面での高速中性子束径方向分布  
(大型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心)

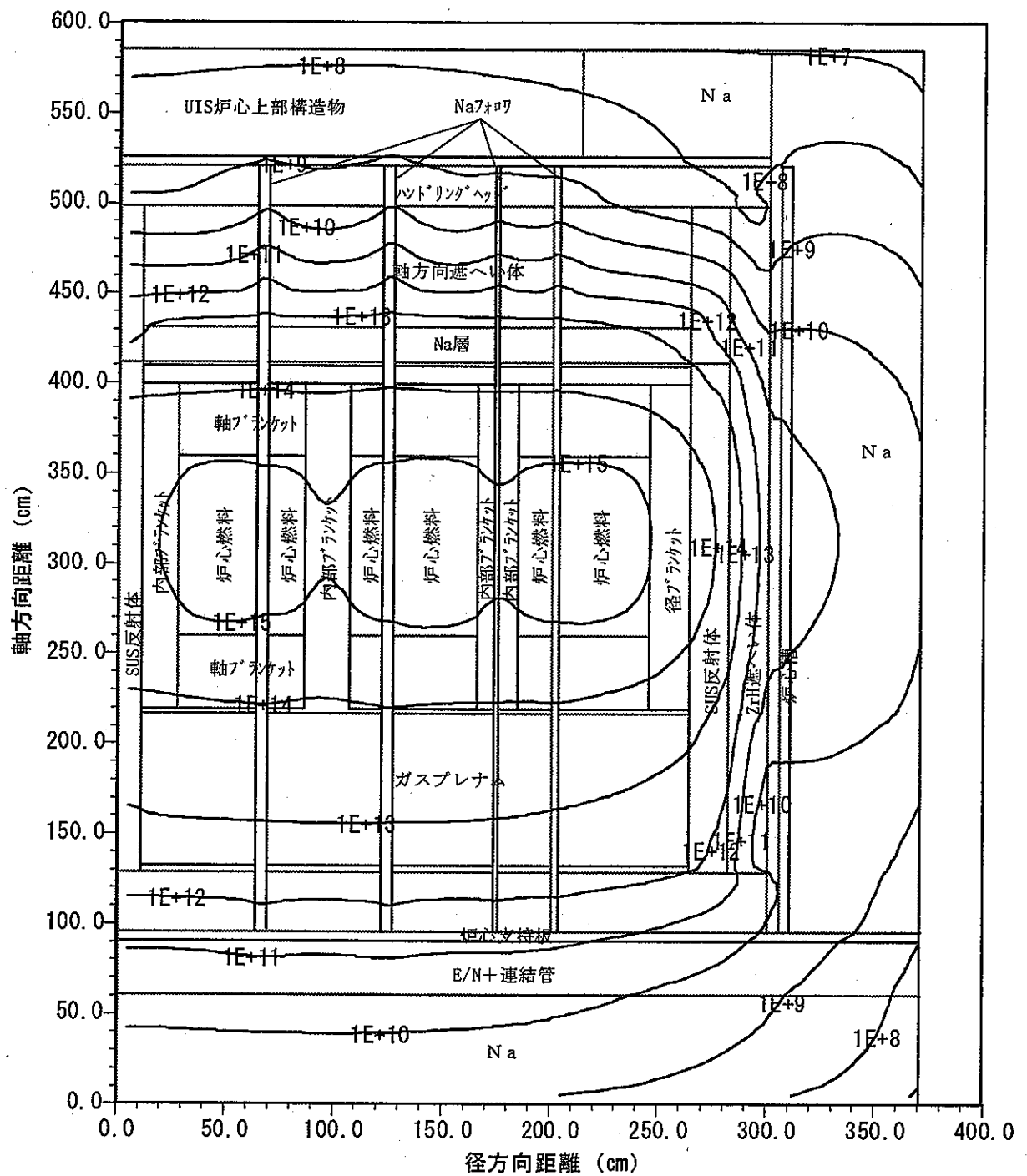


図 3.1.5-6 炉心周りの高速中性子束等高線分布  
(大型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心)

### 3.1.6 燃料仕様等の変更による影響

これまでの検討結果から、ABLE 型燃料を用いた径方向非均質炉心は流量配分等の熱設計成立性が厳しいことがわかった。そこで、少しでも熱設計成立性の向上を期待できるような方向に炉心燃料集合体の仕様を変更した場合の検討を実施した。

#### (1) 炉心圧損条件緩和時の炉心特性

熱設計成立性の厳しくなる原因のひとつに、燃焼ミスマッチの増大による無駄流量が多いことが上げられる。そこで、プラント設計との取合い条件ではあるが、低圧損(バンドル圧損約  $2\text{kg/cm}^2$ )条件を約  $4\text{kg/cm}^2$  程度まで増加した場合の主要特性を比較した。圧損を増加する方法はいくつかあるが、ここでは炉心配置は同一としてワイヤ径を細くして燃料ピンピッチを縮小することとした。これにより燃料体積率が向上して Pu 富化度は低減し、燃焼ミスマッチが改善されることが期待されるものである。

##### (i) 解析条件

- ・ 炉心配置：3.1.1 節の径方向非均質炉心(図 3.1.1-1)
- ・ 炉心燃料仕様：表 3.1.6-1 参照
- ・ 解析モデル：2 次元 RZ 体系による拡散・燃焼計算
- ・ 燃料組成：中燃焼度ウラン軽水炉取出しの組成

##### (ii) 解析結果

表 3.1.6-2 に圧損条件緩和前後の主要炉心核特性を比較して示す。バンドル圧損を約  $4\text{kg/cm}^2$  ( $3.9\text{kg/cm}^2$ ) まで増加した燃料仕様の場合では、炉心等価直径が約 20cm 小さくなって Pu 富化度が 1.3wt% 低くなり、内部転換比が向上する。増殖比の増加はせいぜい 0.01 に留まり、燃焼反応度の低減は  $0.3\% \Delta k/k$  程度であった。

表 3.1.6-3 に平衡サイクル初期における RZ 計算モデルでの領域毎の出力と燃焼ミスマッチを比較して示す。圧損増加のケースでは、炉心径が小さくなった効果により炉心中心方向の出力が増加する傾向が見られ炉心領域の出力合計は若干増加する。このため、燃焼ミスマッチは平均的には 0.7% 減少しているが、ミスマッチ考慮の出力合計値(集合体最大出力の総和に相当)では 0.6% の程度の減少となる。

以上より、圧損条件を緩和して燃料バンドル部圧損を約  $4\text{kg/cm}^2$  に増加しても、燃焼ミスマッチ低減の効果は小さく、流量配分等の熱特性への改善効果は小さいものと思われる。

#### (2) バンドルサイズ縮小時の炉心特性

径方向非均質炉心において熱設計成立性の厳しくなった原因には、出力変動の大きい内部ブランケットの配置により燃焼ミスマッチの増大による無駄流量が多いことが上げられる。そこで、内部ブランケットの装荷体数を極力減らして、同時に燃料ピンは同一のまま集合体当りのピン本数を減らしたバンドルサイズ縮小の概念(331 本バンドル→271 本バンドル)

ル)での炉心特性を比較した。内部ブランケット割合の減少により、ボイド反応度は幾分増加するが炉心部燃料のPu富化度低減によって燃焼ミスマッチが改善、またバンドルサイズの縮小により集合体内出力ピーキングの低減が期待され、熱設計成立性向上への効果が期待できるものである。

(i) 炉心配置及び燃料仕様設定の考え方

炉心・燃料仕様を331本バンドルの場合(H12年度選定仕様)と271本バンドルの場合を比較して表3.1.6-4に示す。図3.1.6-1には271本バンドルの場合の炉心配置図を示す。271本バンドル集合体を用いた炉心では、流量配分設計を改善するために燃焼を通じた出力変動を少しでも緩和するように下記の点を考慮した。

○内部ブランケット数削減

ボイド反応度6\$未満の条件が守れる範囲で、燃焼による出力変動の大きい内部ブランケットを削減し、炉心の領域分けは2領域とした。

○Pu富化度2領域化

331本バンドル炉心では1領域富化度として内部ブランケットの配置で出力分布の平坦化を図っていたが、271本バンドル炉心ではPu富化度2領域を許容して出力分布の平坦化を図り、内側炉心領域の燃焼ミスマッチ低減を目指した。

○運転日数

燃焼ミスマッチを低減するために331本バンドルでの選定炉心における約19ヶ月を、目標条件である18ヶ月程度まで短縮して炉心燃料集合体体数を選定し、炉心部取出燃焼度を約15万MWd/t程度に合わせることにした。

以上の結果、選定した炉心は図3.1.6-1に示したように炉心燃料480体(内側;222体、外側;258体)で内部ブランケット84体となり、内部ブランケットの割合は全炉心燃料集合体の15%程度まで低下した。

また、バンドルサイズを縮小しているが出力/流量比はほぼ同程度であるため炉心圧損も同一の約2kg/cm<sup>2</sup>、ワイヤ径も同じ1.34mmとした。この結果、炉心燃料集合体の実効燃料体積率は35.2%から若干ではあるが減少して35.1%である。制御棒本数は集合体数の増加に伴い従来の36本から48本と増加した。

(ii) 解析条件

- ・ 解析モデル：2次元RZ体系による拡散・燃焼計算

および3次元拡散計算(但し、2次元RZ体系での燃焼計算による平衡サイクル組成を使用)

- ・ 燃料組成：中燃焼度ウラン軽水炉取出しの組成

(iii) 解析結果

(a) 主要核特性

2次元燃焼解析に基づく271本バンドル480体炉心における平衡炉心

の主要核特性評価結果をH12年度選定炉心(331本バンドル408体炉心)の結果と比較して表3.1.6-5に示す。

表3.1.6-5より、271本バンドルの480体炉心では、炉心等価直径は約20cm小さい。内部ブランケット割合が減少したためPu富化度は平均で1wt%程度低くなるが、増殖性能は0.04程度低下し1.19となる。燃焼反応度は運転日数を22日短縮した(570日→548日)にもかかわらず0.1%△ $k/k'$ 程度大きくなる。また、原子炉倍增時間は長くなるが3年程度と影響は小さい。Naボイド反応度は内部ブランケット割合の減少の影響により331バンドル炉心よりも10%程度増加するが6\$未満を満足する。(集合体内の非均質性を考慮すれば、ボイド反応度は約7%小さくなるとの知見があり、燃料組成の変動を見込んでも6\$以下は満足する見通しとなる。)以上により、炉心性能は増殖比等が幾分低下するが、実用化戦略における目標性能は満足する見通しがある。

(b) 集合体出力分布特性

次に、流量配分に関わる出力分布特性等について検討した。表3.1.6-6に331本バンドル408体炉心と271本バンドル480体炉心の領域出力と燃焼ミスマッチ、集合体内ピーキング等を比較してまとめた。表3.1.6-6はMOSESコードによる3次元拡散計算を実施して求めた集合体出力を領域毎にまとめたものである。(但し、燃焼ミスマッチについては、2次元RZ燃焼計算に基づき算出したものである。)燃焼による出力変動の効果は2次元計算による評価であるが、空間効果による中性子束分布、出力分布の歪等は3次元効果として考慮されている。表3.1.6-6より、331本バンドル408体炉心に比べて271本バンドル480体炉心では、燃焼ミスマッチ、集合体内径ピーキングの減少により集合体最大出力の積算値は約7%の減少となっている。表3.1.6-6の最大値A、B、Cの相互比較により、集合体ピーク出力低減効果の内訳は下記となる。

●最大値A (ミスマッチ等未考慮) が約3%低減

内部ブランケットの体数比減少および炉心Pu富化度2領域化等の炉心構成、配置による低減効果が3%。

●最大値B (ミスマッチ考慮) が約4%低減

上記に加えて、平均Pu富化度低下による燃焼ミスマッチ低減の効果として約1%低減が加算。

●最大値C (ミスマッチおよびピーキング考慮) が約7%低減

さらに加えて、271本バンドルのサイズ縮小による集合体内径ピーキングの低減効果として約3%が加算。(幾何学的サイズ縮小の効果(20.1cm→18.22cm)と炉心配置による出力分布勾配の緩和効果の合計)

以上(a)、(b)の結果より、バンドルサイズを縮小して内部ブランケット割合を減少させた場合には増殖比等の炉心性能は幾分低下する

ものの熱設計における流量配分に関わる出力分布特性は大幅に改善する（約 7%低減）見通しがある。

### 3.1.7 まとめ

#### (1) まとめ

Na 冷却酸化物燃料の大型炉心概念において炉心燃料に ABLE 型燃料集合体を用いた径方向非均質炉心の炉心特性を検討した。この結果、増殖比は平均で 1.24、運転サイクルは約 19 ヶ月達成と核特性の観点からは炉心性能が高く、実用化戦略調査研究の目標値を充分満足できる炉心概念であることがわかった。ただし、熱特性の観点からは内部ブランケットの燃焼に伴う出力変動が大きいことに起因して流量配分設計の成立性に課題が残ることが明らかとなった。(このため本検討では、内部ブランケットは 2 バッチ交換で早期に取出すこととしている。)

また、流量配分設計の成立性の課題解決のために、圧損増加時、バンドルサイズ縮小等の仕様変更時の核特性を概略評価したが、圧損増加による流量配分設計の改善効果はあまり期待できなかった。一方、バンドルサイズ縮小時炉心では内部ブランケット体数の削減、Pu 富化度 2 領域化の方策も同時に適用して検討し、均質炉心へ近づけた仕様とすることである程度の熱設計成立性改善効果は期待できることは確認した。しかし、均質炉心に近い仕様の径方向非均質炉心では増殖比も低下し、その炉心概念適用の意義が薄れていく懸念がある。

#### (2) 課題

本炉心概念は CDA 事象時に ABLE 型燃料において熔融燃料排出の機能を満足できることが前提条件であり、別途安全評価による燃料排出機能充足性の確認が必要不可欠である。さらに、熱設計成立性を見通すためには、均質炉心設計では採用していない熱設計上の新たな工夫が必要である。その具体的方策としては 3.1.3 節で述べたように幾つか上げられるが、プラント設計側との整合も含めて評価・検討が必要である。

### 3.2 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の検討

#### 3.2.1 選定炉心配置及び燃料仕様

内部ダクト付集合体を用いた均質炉心に関する検討を実施するにあたり、これまでの検討経験に基づき、燃料集合体仕様及び炉心配置を選定した。

#### (1) 前提条件

燃料集合体仕様及び炉心配置を設定するため、炉心概念としての条件を以下のように定めた。条件とともに、設定根拠も示す。

- (a) 炉心性能要求： F/S 設計要求に従う  
本検討の目標<2.2 節を参照>
- (b) 炉心出力： 1,500MWe (3,570MWt)  
大型炉心共通の出力
- (c) 原子炉出入口温度： 550℃/395℃  
ナトリウム冷却酸化物燃料炉心に共通
- (d) 内部ダクト： 約 6 cm 程度の内径  
熔融燃料の移動に必要な径を確保  
1 mm 程度のダクト肉厚  
熔融燃料によりラッパ間より先に破損  
全炉心燃料集合体に設置
- (e) 燃料スミア密度： 82%TD<sup>1</sup>  
振動充填による燃料製造を想定
- (f) 基準燃料組成： 高速多重リサイクル時の TRU 組成 + 2vol% FP
- (g) プルトニウム富化度区分： 2 領域  
出力分布平坦化
- (h) ボンド材： ヘリウムガス
- (i) 燃料バンドル部圧損： 2kg/cm<sup>2</sup> 程度
- (j) 定格時最大線出力密度： 430W/cm 程度  
燃料熔融制限
- (k) 制御棒配置： 切り欠き UIS 対応
- (l) 燃料集合体構造： 遮蔽性能要求を勘案  
これまでの炉心周り遮蔽性能評価を参考
- (m) 遮蔽体構成： 内側 SUS 遮蔽体 1 層、外側 ZrH 遮蔽体 1 層  
これまでの炉心周り遮蔽性能評価を参考
- (n) 遮蔽体外接円径： 6.6m 以下  
プラントとの取り扱い

<sup>1</sup> 一部の検討では、83%TD を使用した。核特性上の影響は殆どないものと推定している。

- (o) 燃焼反応度： 4.5%  $\Delta k / k$  程度以下  
制御棒制御能力予測からの暫定目標
- (p) ナトリウムボイド反応度： 6\$未満  
安全性上の目標

## (2) 燃料集合体仕様

上記前提条件を勘案し、内側炉心、外側炉心及び径方向ブランケット燃料集合体の仕様を設定した。設定した炉心燃料集合体の仕様と概念図をそれぞれ表 3.2.1-1 と図 3.2.1-1 に示す。

ナトリウムボイド反応度を 6\$未満とすることから炉心高さは 800 mm とし、増殖性を可能な限り向上させるため炉心の上下に 450 mm の軸方向ブランケットを配置した。これらの仕様設定は、これまでの検討経験<sup>[1][2]</sup>に基づき決定したものである。ガスペナムは、上下にそれぞれ 100 mm と 650 mm を設定し、燃料ピン要素長は 2,540 mm とした。

燃料集合体のラッパ管外対面間距離は 193.4 mm とし、ラッパ管肉厚は 5 mm とした。燃料集合体配列ピッチは 196.4 mm とし、燃料集合体間ギャップは片側 3 mm とした。内部ダクトは燃料集合体中心の燃料ピン 37 本分の領域に配置し、外対面間距離は 59.3 mm、肉厚 1.0 mm とした。なお、内部ダクトの内側は冷却材ナトリウム流路としている。

燃料集合体当たりの燃料ピン本数は 294 本とした。被覆管外径は 8.8 mm、肉厚は 0.6 mm と設定した。上記燃料ピン要素長に対し、バンドル部圧損約 2kg/cm<sup>2</sup> 程度を満足させるように、燃料ピン配列ピッチは 11.15 mm とした。スペーサ・ワイヤ径は 1.1 mm、巻きピッチは 200 mm とした。

実証炉を参考に設定した径方向ブランケット燃料集合体の仕様も、表 3.2.1-1 に示す。

なお、制御棒吸収材は、80%<sup>10</sup>B とし、その構造は実証炉<sup>[3]</sup>を参考とした。

## (3) 炉心配置

設定した炉心の燃料集合体配置を図 3.2.1-2 に示す。

前提条件に示したように、すべての内側炉心及び外側炉心燃料集合体に内部ダクトを配置した。内側炉心燃料集合体は 300 体、外側炉心燃料集合体は 252 体とし、全燃料集合体体数を 552 体とした。径方向ブランケット集合体は、外側炉心燃料集合体の外側に 1 層、90 体配置した。その外側には、SUS 遮蔽体を 1 層 96 体、さらに ZrH 遮蔽体を 1 層 102 体配置した<sup>2</sup>。

炉心中心には、出力平坦化のため SUS 集合体を 1 体配置した。制御棒集合体は 48 体とし、1/6 対象に切り欠き UIS を想定し、内側及び外

<sup>2</sup> 本報告書内の遮蔽特性評価を参照

側燃料領域に分散配置した。

炉心内の重金属インベントリは、炉心燃料、軸ブランケット燃料、径方向ブランケット燃料それぞれ 46.1t、61.8t、27.4t となり、総計の HM インベントリは 153.3t となった。炉心燃料に対するブランケット燃料集合体の HM 比は、1.93 となった。炉心内の実効燃料体積比は 32.7% である。なお、集合体総計は 889 体とした。また、遮蔽体外接円径は 6.48m となり、プラントとの取り合い（6.6m 以下）を満足できた。

#### (4) まとめ

以上で設定した燃料集合体・炉心仕様をまとめた炉心主要目を表 3.2.1-2 に示す。

表 3.2.1-1 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の燃料集合体仕様

|      |                          | 炉心                     | 径方向ブランケット        |
|------|--------------------------|------------------------|------------------|
| 燃料形態 |                          | 酸化物燃料                  | ←                |
| 炉心材料 |                          | ODS                    | ←                |
| 燃料要素 | 全長(mm)                   | 2,540                  | ←                |
|      | 燃料スタック長(mm)              | 800 * <sup>1</sup>     | 1,700            |
|      | 軸ブランケット厚さ(mm; 上/下)       | 450/450 * <sup>2</sup> | —                |
|      | ガスプレナム長(mm; 上/下)         | 100/650                | ←                |
|      | 端栓(mm; 上/中/下)            | 20/30/40               | ←                |
|      | 被覆管外径(mm)                | 8.8                    | 15.1             |
|      | 被覆管内径(mm)                | 7.6                    | 14.3             |
|      | 被覆管肉厚(mm)                | 0.6                    | 0.4              |
|      | 燃料スミア密度(%)               | 82.0                   | 91.4             |
| 集合体  | 全長(mm)                   | 4,165                  | ←                |
|      | 燃料ピン本数(本)                | 294                    | 127              |
|      | 燃料ピンピッチ/燃料ピン外径(P/D)      | 9.95/8.8(1.13)         | 16.34/15.1(1.08) |
|      | ラッパ管肉厚(mm)               | 5.0                    | 4.0              |
|      | ラッパ管外対面距離(mm)            | 193.4                  | ←                |
|      | 内部ダクト肉厚(mm)              | 1.0                    | —                |
|      | 内部ダクト外対面間距離(mm)          | 59.3                   | —                |
|      | 集合体間ギャップ(mm)             | 3.0                    | ←                |
|      | 集合体配列ピッチ(mm)             | 196.4                  | ←                |
|      | ワイヤ径(mm)                 | 1.10                   | 1.22             |
|      | ワイヤ巻付ピッチ(mm)             | 200                    | 160              |
|      | 燃料体積割合(%) * <sup>3</sup> | 39.9                   | 55.5             |
|      |                          | (32.7)                 | (50.7)           |
|      | 構造材体積割合(%)               | 26.0                   | 13.4             |
|      | 冷却材体積割合(%)               | 33.1                   | 25.8             |

\*1: 溶融燃料排出孔として内側37ピンからブランケットペレットを削除

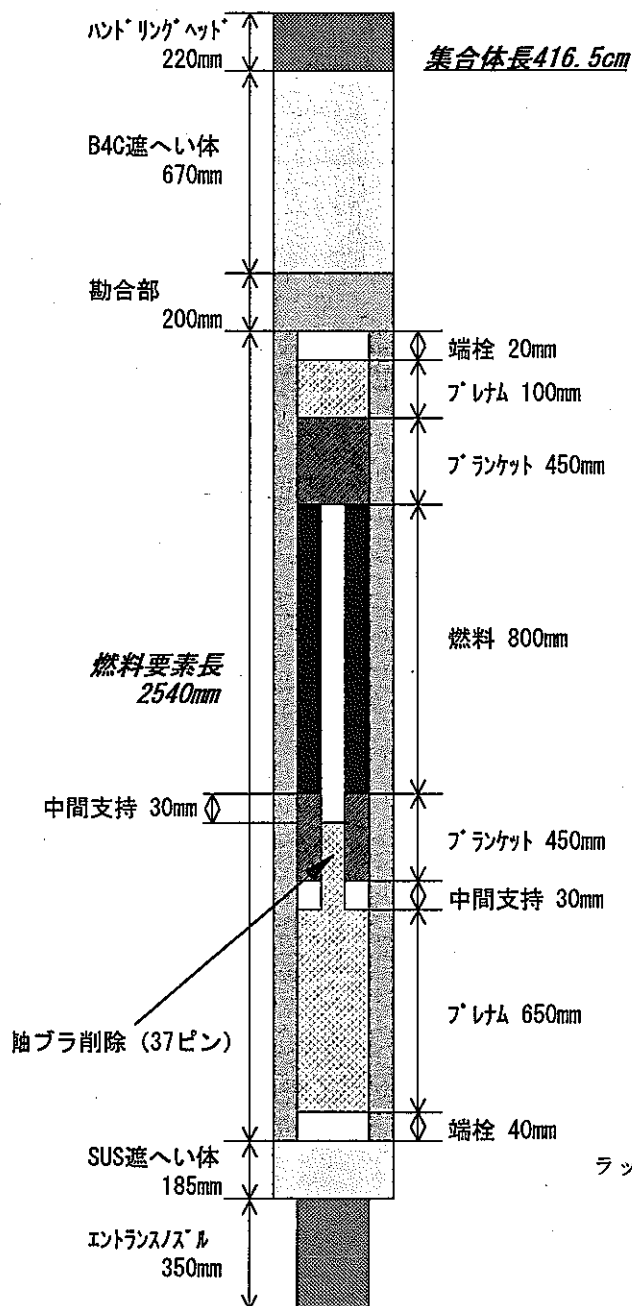
\*2: 溶融燃料排出孔として下部領域のみ37ピン削除

\*3: 被覆管内側、( )内は実効燃料体積割合 (=燃料体積割合×燃料スミア密度/100)

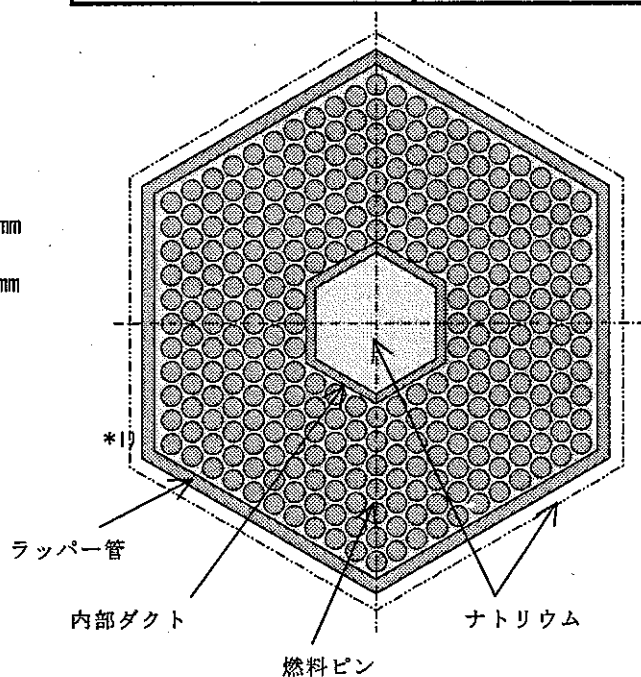
表 3.2.1-2 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の炉心主要目

|           | 項 目                               | 仕 様                 | 備 考 |
|-----------|-----------------------------------|---------------------|-----|
| 基本条件・炉心構成 | 熱出力 (MWth)                        | 3,570               |     |
|           | 電気出力 (MWe)                        | 1,500               |     |
|           | 運転サイクル長さ (日)                      | 540                 |     |
|           | 燃料交換バッチ<br>(炉心/径ブランケット)           | 4 / 4               |     |
|           | 炉心型式                              | Pu富化度 2 領域均質炉心      |     |
|           | 炉心高さ (cm)                         | 80.0                |     |
|           | 軸ブランケット厚さ (cm) (上部/下部)            | 45.0 / 45.0         |     |
|           | 炉心等価直径 (cm) (炉心/径ブランケット)          | 505.6/542.1         |     |
|           | 遮蔽体外接円径 (cm)                      | 648.5               |     |
|           | 燃料集合体数 (体)<br>(内側炉心/外側炉心/径ブランケット) | 300/252/90          |     |
|           | 制御棒本数 (本) (主系/後備系)                | 48                  |     |
|           | 径方向遮蔽体数 (体)<br>(SUS遮蔽体/ZrH遮蔽体)    | 96/102              |     |
| 炉心燃料仕様    | 燃料材料                              | 混合酸化物燃料             |     |
|           | 炉心材料 (被覆管/ラップ管)                   | FMS (ODS) / PNC-FMS |     |
|           | 燃料ピン外径 (mm)                       | 8.8                 |     |
|           | 被覆管肉厚 (mm)                        | 0.6                 |     |
|           | 燃料スミヤ密度 (%TD)                     | 82.0                |     |
|           | ワイヤ径 (mm)                         | 1.1                 |     |
|           | 燃料ピンピッチ/燃料ピン外径 (P/D)              | 9.95                |     |
|           | 集合体当たり燃料ピン本数 (本)                  | 294                 |     |
|           | ラップ管外対面間距離 (mm)                   | 193.4               |     |
|           | ラップ管肉厚 (mm)                       | 5.0                 |     |
|           | 集合体配列ピッチ (mm)                     | 196.4               |     |

内部ダクト付き燃料集合体仕様



|             |          |
|-------------|----------|
| (1) 燃料・要素   |          |
| ピン本数(本/集合体) | 294 本    |
| 被覆管外径       | 8.8 mm   |
| 被覆管内径       | 7.6 mm   |
| 被覆管肉厚       | 0.6 mm   |
| スミヤ密度       | 83.0%    |
| ワイヤ径        | 1.1 mm   |
| ワイヤ巻付ピッチ    | 200.0 mm |
| ピン配列ピッチ     | 11.15 mm |
| (2) ラップ管    |          |
| 集合体配列ピッチ    | 196.4 mm |
| 集合体間ギャップ    | 3.0 mm   |
| 外側ダクト外対面間距離 | 193.4 mm |
| 外側ダクト内対面間距離 | 183.4 mm |
| 外側ダクト肉厚     | 5.0 mm   |
| 内側ダクト外対面間距離 | 59.3 mm  |
| 内側ダクト内対面間距離 | 57.3 mm  |
| 内側ダクト肉厚     | 1.0 mm   |



(a) 炉心燃料集合体軸方向断面図

(b) 炉心燃料集合体水平断面图

図 3.2.1-1 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の  
内部ダクト付燃料集合体概念図

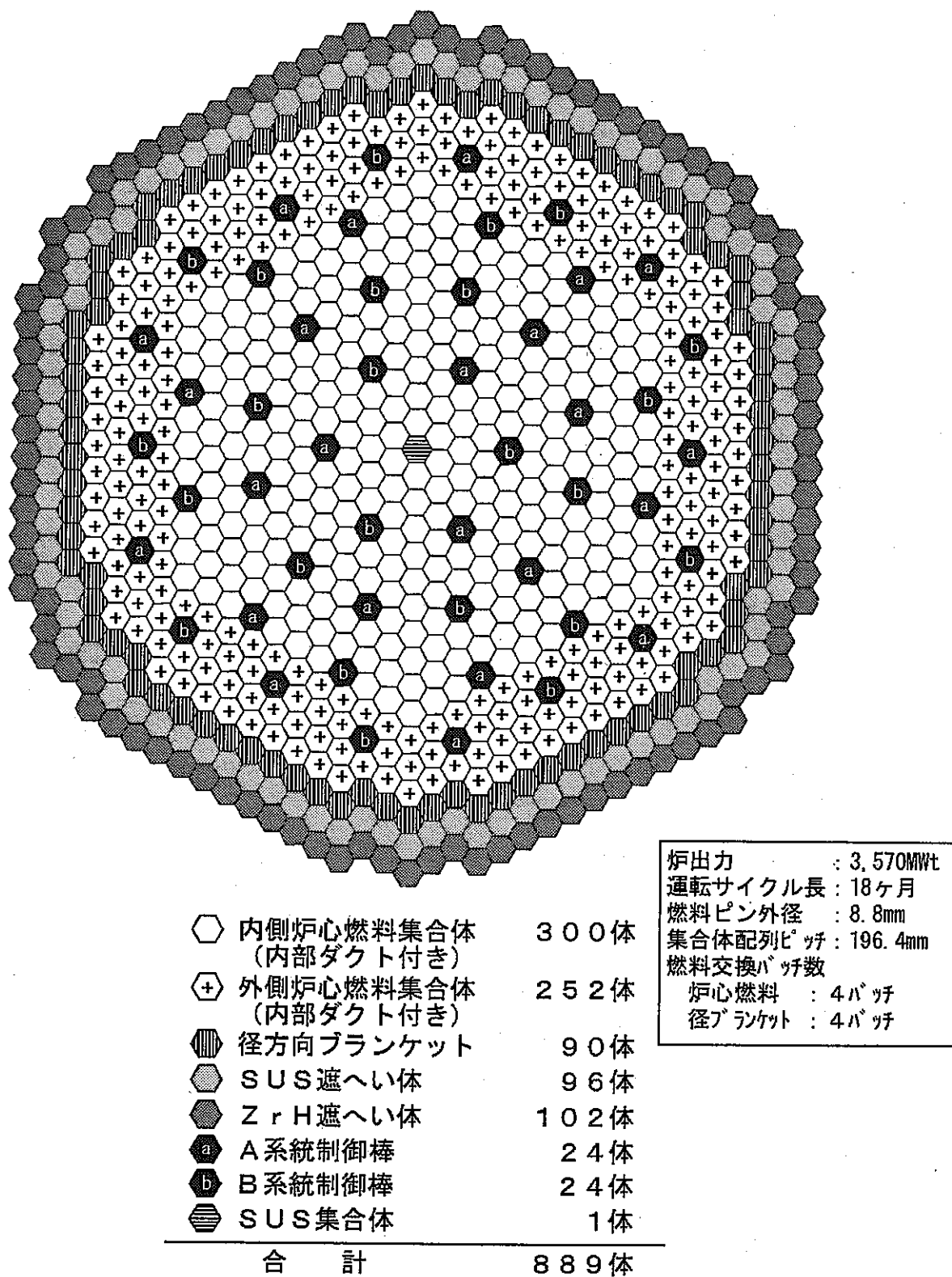


図 3.2.1-2 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の炉心配置図

### 3.2.2 核特性評価

3.2.1 で設定した燃料集合体仕様及び炉心配置に基づき、核特性を評価した。2.3.1 に示した設計評価手法により、炉心核特性を求めている。

#### (1) 評価条件

- |              |                                                        |
|--------------|--------------------------------------------------------|
| (a) 仕様組成：    | 高速多重リサイクル時 TRU 組成 + 随伴 FP2vol%                         |
| (b) 燃料スミア密度： | 82%TD<br>ただし、遅発中性子割合、即発中性子寿命、制御棒反応度収支については 83%TD を使用した |
| (c) 計算体系：    | 2次元 1/2RZ 体系 (図 3.2.2-1)<br>2次元 1/3Tri-Z 体系            |
| (d) エネルギー群数： |                                                        |
| 70 群         | ナトリウムボイド反応度、ドップラ係数                                     |
| 18 群         | 動特性パラメータ                                               |
| 7 群          | その他核特性                                                 |

#### (2) 核特性評価結果

2次元計算による平衡炉心の核特性評価結果を表 3.2.2-1 に示す。

##### (i) 燃焼特性

運転期間 540 日 (18 ヶ月)、炉心燃料及び径ブランケット燃料を 4 バッチで交換する炉心概念を設定した。

プルトニウム富化度は、内側炉心、外側炉心それぞれ約 23.4wt%、約 26.6wt%とした。サイクル当たりの燃焼反応度は  $4.05\% \Delta k/k'$  となり、後述のように制御棒設計が成立する範囲に納められた。

取出燃料集合体の平均燃焼度は約 150 万 MWd/t となり、設計目標を達成できた。

##### (ii) 増殖比

また増殖比は BOEC で 1.12、EOEC で 1.14、サイクル平均で 1.13 とできた。しかしながら、炉心周囲にブランケットを設置した炉心でも、バンドル部圧損を約  $2\text{kg/cm}^2$  とし、内部ダクト付燃料集合体を装荷する 2 領域均質炉心では、設計目標の 1.2 を達成することはできなかった。この結果、原子炉倍增時間 (RDT) は 41 年、複合システム倍增時間は約 56 年とすることができた。

##### (iii) 反応度係数

ナトリウムボイド反応度は、ノミナル計算で約 6.2\$と設計目標より若干大きい、これに燃料集合体非均質効果を補正すると約 5.8\$とな

り、設計目標を満足できることを確認した。

ドップラ係数のノミナル計算値は約  $-4.8 \times 10^{-3} \text{Tdt/dk}$  であるが、これに燃料集合体非均質効果を補正することにより、約  $-4.5 \times 10^{-3} \text{Tdt/dk}$  となった。

表 3.2.2-2 に遅発中性子割合及び即発中性子寿命を示す。なお、同表の値は、燃料スミア密度 83%TD に対し求めたものであるが、82%TD の値とはほとんど際がないと推定している。

#### (iv) 制御棒反応度収支

炉心に 48 体配置した制御棒は、同一機能を分担する同数 (24 体) の制御棒 A 系統、制御棒 B 系統に分けて運用することを想定した。同表に示すように、これらの制御棒は炉心内に 1/3 対象で配置している。

表 3.2.2-3 に、制御棒反応度価値に対する計算結果を示す。また、表 3.2.2-4 に制御棒反応度収支を示す。なお、計算に使用した燃料スミア密度は 83%TD である。

両系統作動時で、最大価値を持つ制御棒 1 体が不挿入の場合の全制御棒価値は、約  $8.2\% \Delta k / k_{\text{eff}}$  となった。また、片系統作動時で、最大価値の制御棒 1 体が不作動 (臨界保持位置に固着) の場合の制御棒挿入反応度は、約  $2.2\% \Delta k / k_{\text{eff}}$  となった。これらの評価値には、各種補正 15.5% 及び設計予測誤差 10% を考慮している。また、臨界状態から、最大価値を有する制御棒を 1 体引き抜いた場合の投入反応度は、設計誤差 10% を考慮し約 0.24% となった。

必要制御棒反応度は核設計不確かさ含め、両系統に対し  $6.72\% \Delta k / k_{\text{eff}}$ 、片系統に対し  $0.81\% \Delta k / k_{\text{eff}}$  となった。これに対し、上記に示した制御棒価値とのバランスから、制御棒反応度収支は、両系統及び片系統に対し、約  $1.4\% \Delta k / k_{\text{eff}}$  を得た。

以上より、2 系統 48 体の制御棒仕様・配置が制御棒反応度収支上成立することを確認できた。

#### (v) 出力分布

図 3.2.2-2 に、2 次元 RZ 体系計算による径方向及び軸方向高速中性子束分布と出力密度分布を示す。本計算体系では、制御棒挿入深度をすべて炉心上端位置にパークさせた。

平均線出力密度約  $253 \text{W/cm}$  に対し、新旧燃料間のミスマッチを考慮した最大線出力密度は、内側炉心、外側炉心それぞれで約  $398 \text{W/cm}$ 、約  $384 \text{W/cm}$  となった。この最大線出力が出現するのは BOEC であり、出力ピーク比 (内側/外側) は 1.036 を得た。出力分担は、MOEC で炉心、軸方向ブランケット、径方向ブランケットに対しそれぞれ 90.4%、8.4%、1.2% である。

図 3.2.2-3 及び図 3.2.2-4 に、燃料スミア密度 83%TD、3 次元 Tri-Z 計算で求めた BOEC、EOEC の動径方向 3 種類の出力分布を示す。BOEC

における臨界調整のための制御棒挿入深度は、出力が平坦化するように、第 1 リングから第 4 リングまで、それぞれ炉心上端から 40cm、20cm、30cm、30cm と設定した。EOEC に対しては、すべて炉心上端にパークさせた。同図に示すように、動径方向の出力分布は、BOEC、EOEC とともに平坦化していることがわかる。この 3 次元計算による最大線出力密度は、図 3.2.2-3 に示すように、約 434W/cm を得た。すなわち、燃料溶融限界から決まる線出力密度制限値約 430W/cm 程度を満足できた。

(vi) 燃料インベントリ

表 3.2.2-5 に、重金属燃料核種・MA 核種・全 FP のインベントリを、BOEC 及び EOEC 炉心全領域と装荷・取出燃料について示す。本炉心の全重金属インベントリは約 130t となった。このうち、ウランは約 118t、全プルトニウムは約 12t、核分裂性プルトニウムは約 7t である。

表 3.3.2-6～表 3.3.2-8 に、それぞれ炉心燃料・軸方向ブランケット・径方向ブランケット領域について、同様にインベントリを示す。

初装荷炉心における炉心燃料の重金属インベントリは約 46.1t、ブランケットの重金属インベントリは約 89.2t である。したがって、BOEC におけるブランケット重金属インベントリ／炉心燃料重金属インベントリ比は、約 1.93 となる。また、径方向ブランケット燃料集合体重金属インベントリ／炉心燃料集合体重金属インベントリ比は、約 0.25 となる。

BOEC の核分裂性プルトニウムインベントリは約 7.3t に対し、EOEC では約 7.6t となる。すなわち、1 サイクルで核分裂性プルトニウムは約 0.25t の利得がある。したがって、装荷新燃料集合体と取出旧燃料間で見ても、1 バッチあたり約 0.25t の利得となる。また、(核分裂性プルトニウム) サイクル平均増殖比 1.129 に対し、核分裂性プルトニウム残存比は 1.145 となった。

表 3.2.2-1 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の燃焼特性

燃料スミア密度：82%TD

|                                      |            |    |                               |
|--------------------------------------|------------|----|-------------------------------|
| 運転サイクル日数(day)                        |            |    | 540                           |
| 炉心熱出力(MWt)                           |            |    | 3,570                         |
| 炉心高さ(cm)                             |            |    | 80                            |
| 軸ブランケット長さ【上／下】(cm)                   |            |    | 45／45                         |
| 炉心燃料集合体数【内側／外側／合計】                   |            |    | 300／252／552                   |
| 径ブランケット体数                            |            |    | 90                            |
| 燃料集合体ピン本数                            |            |    | 294                           |
| 径ブランケットピン本数                          |            |    | 127                           |
| 交換バッチ数【炉心／径ブラ】                       |            |    | 4／4                           |
| 燃料スミア密度(%TD)                         |            |    | 82                            |
| 燃料組成                                 |            |    | 高速炉多重リサイクルTRU組成<br>＋随伴FP2vol% |
| Pu富化度(wt%；2領域)【内側／外側】<br>[Pu/(Pu+U)] |            |    | 23.37／26.56                   |
| 初装荷Puf量(t)                           |            |    | 7.00                          |
| 取出平均燃焼度(万MWd/t)                      |            |    | 15.04                         |
| 燃焼反応度(%Δk/kk')                       |            |    | 4.05                          |
| 増殖比(-)<br>【炉心＋ブランケット合計】              | BOEC       |    | 1.118                         |
|                                      | MOEC       |    | 1.129                         |
|                                      | EOEC       |    | 1.140                         |
|                                      | 平均         |    | 1.129                         |
| 平均線出力(W/cm)                          |            |    | 252.7                         |
| 最大線出力(W/cm)<br>※0内は、ミスマッチファクター考慮     | BOEC       | 内側 | 353.2 ( 397.9 )               |
|                                      |            | 外側 | 335.4 ( 384.1 )               |
|                                      | MOEC       | 内側 | 339.8 ( 380.3 )               |
|                                      |            | 外側 | 320.5 ( 364.1 )               |
|                                      | EOEC       | 内側 | 326.2 ( 363.3 )               |
|                                      |            | 外側 | 306.3 ( 345.7 )               |
| 出力分担率(%)<br>【炉心／軸ブラ／径ブラ】             | BOEC       |    | 91.9／7.0／1.1                  |
|                                      | MOEC       |    | 90.4／8.4／1.2                  |
|                                      | EOEC       |    | 87.8／10.7／1.5                 |
| 最大高速中性子束(n/cm <sup>2</sup> ・s；平均)    |            |    | 2.34E+15                      |
| 最大高速中性子照射量(n/cm <sup>2</sup> ) *2    |            |    | 4.37E+23                      |
| 原子炉倍増時間(年) *3                        | RDT[定検未考慮] |    | 41.0                          |
|                                      | RDT[定検考慮]  |    | 44.2                          |
|                                      | IDT        |    | 80.4                          |
|                                      | CIDT       |    | 55.7                          |
| 平衡時 Puf量(t)                          | BOEC       |    | 7.34                          |
|                                      | EOEC       |    | 7.60                          |
| Naボイド反応度(\$)*1                       | ノミナル計算値    |    | 6.17<br>(1\$=0.324%Δk/kk')    |
|                                      | 非均質効果考慮    |    | 5.75                          |
| ドップラ係数(Tdk/dT) *2                    | ノミナル計算値    |    | -4.79E-03                     |
|                                      | 非均質効果考慮    |    | -4.49E-03                     |

\*1：EOEC炉心部Naボイド、ラップ管内側（内部ダクト内側37ピン相当はボイドなし）のみボイド  
炉心部（IC, OC）がボイド【全Na量の78.2%がボイド状態】、非均質効果：-6.7%

\*2：EOEC炉心部の燃料温度変化時ドップラ。冷却材、構造物物質も燃料物質と同じ温度で変化する計算。  
非均質効果：-6.3%

表 3.2.2-2 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の遅発中性子割合  
及び即発中性子寿命

燃料スミア密度：83%TD

遅発中性子割合

| DELAYED FAMILY NO.<br>NUCLIDE CODE | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | SUM       |
|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 949                                | 4.15E-05 | 3.29E-04 | 2.48E-04 | 3.80E-04 | 1.17E-04 | 4.06E-05 | 1.16E-03  |
| 940                                | 6.91E-06 | 7.22E-05 | 4.96E-05 | 9.13E-05 | 3.30E-05 | 7.58E-06 | 2.61E-04  |
| 941                                | 3.77E-06 | 9.27E-05 | 6.84E-05 | 1.55E-04 | 7.15E-05 | 6.38E-06 | 3.98E-04  |
| 942                                | 1.83E-07 | 9.59E-06 | 7.74E-06 | 1.99E-05 | 1.04E-05 | 4.85E-07 | 4.83E-05  |
| 925                                | 1.53E-06 | 9.23E-06 | 8.03E-06 | 1.75E-05 | 5.43E-06 | 1.12E-06 | 4.29E-05  |
| 928                                | 1.64E-05 | 1.85E-04 | 2.15E-04 | 5.17E-04 | 2.97E-04 | 1.00E-04 | 1.33E-03  |
| SUM                                | 7.03E-05 | 6.98E-04 | 5.97E-04 | 1.18E-03 | 5.35E-04 | 1.57E-04 | 3.238E-03 |

即発中性子寿命

| エネルギー群 | NEUTRON VELOCITY (CM/SEC) | PROMPT LIFETIME (SEC) |
|--------|---------------------------|-----------------------|
| 1      | 3.94E+09                  | 1.32E-10              |
| 2      | 3.03E+09                  | 6.87E-10              |
| 3      | 2.36E+09                  | 2.13E-09              |
| 4      | 1.84E+09                  | 3.87E-09              |
| 5      | 1.43E+09                  | 5.34E-09              |
| 6      | 1.06E+09                  | 1.80E-08              |
| 7      | 7.27E+08                  | 2.88E-08              |
| 8      | 4.99E+08                  | 4.17E-08              |
| 9      | 3.43E+08                  | 4.80E-08              |
| 10     | 2.36E+08                  | 4.90E-08              |
| 11     | 1.62E+08                  | 4.71E-08              |
| 12     | 1.11E+08                  | 3.28E-08              |
| 13     | 7.66E+07                  | 1.76E-08              |
| 14     | 5.26E+07                  | 4.05E-08              |
| 15     | 3.62E+07                  | 2.47E-08              |
| 16     | 2.49E+07                  | 9.03E-09              |
| 17     | 1.71E+07                  | 3.41E-09              |
| 18     | 6.96E+06                  | 3.87E-09              |
| SUM    |                           | 3.768E-07             |

表 3.2.2-3 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の制御棒反応度価値

燃料スミア密度：83%TD

## ●両系統作動時の制御棒反応度価値

(MOSES詳細マッシュ全炉心体系：平衡サイクル初期)

| 制御棒挿入深度        | 実効増倍率   | 反応度( $\% \Delta k/kk'$ ) |        | 反応度(\$)/ミナル値<br>1\$=0.324% $\Delta k/kk'$ |
|----------------|---------|--------------------------|--------|-------------------------------------------|
|                |         | ノミナル値                    | 評価値 *1 |                                           |
| 全制御棒(48本)全引き抜き | 1.03238 | —                        | —      | —                                         |
| 全数全挿入          | 0.91850 | 12.009                   | 9.133  | 37.06                                     |
| 1本スタック 他全挿入    | 0.92929 | 10.745                   | 8.172  | 33.16                                     |

\*1：核種補正15.5%、設計予測誤差10%考慮

## ●片系統作動時の制御棒反応度価値

(MOSES詳細マッシュ全炉心体系：平衡サイクル初期)

| 制御棒挿入深度                               | 実効増倍率   | 反応度( $\% \Delta k/kk'$ ) |          | 反応度(\$)/ミナル値<br>1\$=0.324% $\Delta k/kk'$ |
|---------------------------------------|---------|--------------------------|----------|-------------------------------------------|
|                                       |         | ノミナル値                    | 評価値 *1   |                                           |
| 基準ケース：全制御棒(48本)臨界位置<br>(全制御棒35cm均等挿入) | 0.97910 | —                        | —        | —                                         |
| 基準ケースからA系統(24本)全挿入                    | 0.94861 | 3.283                    | 2.497    | 10.13                                     |
| 基準ケースからA系統(23本)全挿入<br>1本臨界位置(35cm位置)  | 0.95176 | 2.934                    | 2.231    | 9.06                                      |
| 基準ケースからA系統1本<br>全引き抜き                 | 0.98122 | 0.221                    | 0.243 *2 | 事故時<br>投入反応度                              |

\*1：核種補正15.5%、設計予測誤差10%考慮

\*2：設計予測誤差10%考慮

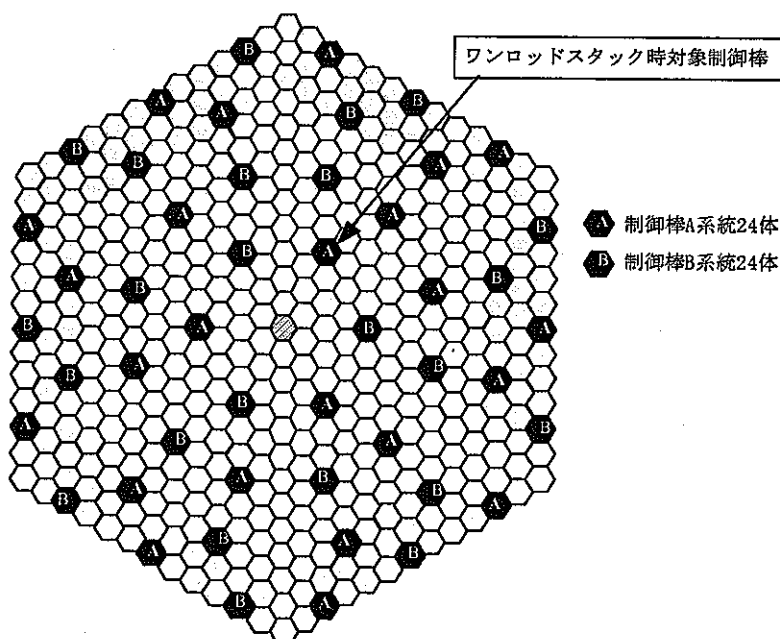


表 3.2.2-4 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の制御棒反応度収支

燃料スミア密度：83%TD  
(%Δk/k')

| 項 目                | 主炉停止系<br>(両系統) | 主炉停止系<br>(片系統のみ) | 備 考                  |
|--------------------|----------------|------------------|----------------------|
| I. 計画余剰反応度         |                |                  |                      |
| 1. 温度・出力補償         | 0.68           | 0.47             |                      |
| 2. 燃焼補償 *1         | 4.63           | —                | 中燃焼度ウラン燃料軽水炉取出しTRU組成 |
| 3. 燃料交換余裕 *2       | 0.10           | —                |                      |
| 4. 運転余裕 *2         | 0.20           | —                |                      |
| 5. 核計算不確かさ補償       | 0.51           | 0.09             |                      |
| (1) 出力補償予測誤差       | 0.07 (1σ)      | 0.09 (2σ)        | 1σおよび2σ              |
| (2) 燃料製作公差(1σ) *2  | 0.20           | —                |                      |
| (3) 燃焼補償予測誤差(1σ)   | 0.463          | —                |                      |
| 合 計                | 6.12           | 0.56             |                      |
| II. 最大余剰反応度        |                |                  |                      |
| 6. 核計算不確かさ         | 0.60           | 0.24             |                      |
| (1) 臨界性予測誤差(1σ) *2 | 0.44           | —                |                      |
| (2) 燃料製作公差(2σ) *2  | 0.41           | —                |                      |
| 7. 事故時投入反応度 *3     | —              | 0.24             |                      |
| III. 必要制御反応度(I+II) | 6.72           | 0.81             |                      |
| IV. 制御棒価値          | 8.17 *4        | 2.23 *5          |                      |
| V. 反応度停止余裕(IV-III) | 1.45           | 1.42             |                      |

\*1：ノミナル計算値

\*2：予測誤差は全てMOX炉心の先行設計に準じた目標値

\*3：計算値に対し、設計予測誤差10%考慮

\*4：ワロッド・スタック考慮：ノミナル計算値に対し、各種補正15.5%、設計予測誤差10%考慮

\*5：不確かさ考慮の臨界挿入状態から1系統のみ挿入したワース；

ワロッド・スタック考慮：ノミナル計算値に対し、各種補正15.5%、設計予測誤差10%考慮

表 3.2.2-5 全領域物質収支【燃料スミア密度：82.0%TD 時】

－ 高速炉多重リサイクル時 TRU 組成＋随伴 FP(2vol%)時 －

| 全領域                   | (kg)     |          |          |         |         |         |
|-----------------------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|
|                       | 初装荷炉心    | 平衡炉心     | 平衡末期     | バランス    | 新燃料装荷   | 取出し燃料   |
| PU238                 | 131.8    | 142.7    | 149.7    | 7.0     | 33.0    | 39.9    |
| PU239                 | 6483.9   | 6797.2   | 7036.3   | 239.2   | 1621.0  | 1860.2  |
| PU240                 | 3847.2   | 3827.7   | 3815.3   | -12.4   | 961.8   | 949.4   |
| PU241                 | 515.4    | 546.5    | 561.3    | 14.7    | 128.8   | 143.6   |
| PU242                 | 467.4    | 452.3    | 443.6    | -8.7    | 116.9   | 108.1   |
| U235                  | 370.0    | 306.7    | 269.7    | -37.1   | 92.5    | 55.4    |
| U236                  | 0.0      | 13.9     | 21.6     | 7.8     | 0.0     | 7.8     |
| U238                  | 122945.0 | 119637.4 | 117422.4 | -2215.1 | 30736.3 | 28521.2 |
| NP237                 | 60.0     | 53.8     | 50.6     | -3.2    | 15.0    | 11.8    |
| NP239                 | 0.0      | 9.4      | 12.5     | 3.1     | 0.0     | 3.1     |
| AM241                 | 239.9    | 218.8    | 207.6    | -11.3   | 60.0    | 48.7    |
| AM242                 | 0.0      | 8.4      | 12.2     | 3.9     | 0.0     | 3.9     |
| AM243                 | 120.0    | 121.3    | 122.0    | 0.6     | 30.0    | 30.6    |
| CM242                 | 0.0      | 10.5     | 13.8     | 3.3     | 0.0     | 3.3     |
| CM243                 | 0.0      | 0.8      | 1.2      | 0.4     | 0.0     | 0.4     |
| CM244                 | 120.0    | 128.3    | 133.5    | 5.2     | 30.0    | 35.2    |
| CM245                 | 0.0      | 10.5     | 16.3     | 5.7     | 0.0     | 5.7     |
| PU. TOTAL             | 11445.7  | 11766.5  | 12006.2  | 239.8   | 2861.4  | 3101.2  |
| PU. FISSILE           | 6999.3   | 7343.7   | 7597.6   | 253.9   | 1749.8  | 2003.7  |
| FIS. RATIO. (%)       | 61.2     | 62.4     | 63.3     | 0.0     | 61.2    | 64.6    |
| PU. ENRICHMENT. (W/O) | 8.5      | 8.9      | 9.2      | 0.0     | 8.5     | 9.7     |
| U. TOTAL              | 123314.9 | 119958.0 | 117713.6 | -2244.3 | 30828.8 | 28584.4 |
| U235                  | 370.0    | 306.7    | 269.7    | -37.1   | 92.5    | 55.4    |
| U. ENRICHMENT. (W/O)  | 0.3      | 0.3      | 0.2      | 0.0     | 0.3     | 0.2     |
| TRU. TOTAL            | 539.9    | 561.8    | 569.5    | 7.7     | 135.0   | 142.7   |
| NP. TOTAL             | 60.0     | 63.2     | 63.1     | -0.1    | 15.0    | 14.9    |
| AM. TOTAL             | 359.9    | 348.5    | 341.7    | -6.8    | 90.0    | 83.2    |
| CM. TOTAL             | 120.0    | 150.1    | 164.7    | 14.6    | 30.0    | 44.6    |
| TRU. RATIO. (W/O)     | 0.4      | 0.4      | 0.4      | 0.0     | 0.4     | 0.5     |
| HM. TOTAL             | 135300.4 | 132286.2 | 130289.3 | -1996.8 | 33825.1 | 31828.3 |
| FP. TOTAL             | 622.2    | 3682.8   | 5706.0   | 2023.1  | 155.5   | 2023.1  |

表 3.2.2-6 炉心部物質収支【燃料スミア密度：82.0%TD 時】

－ 高速炉多重リサイクル時 TRU 組成＋随伴 FP(2vol%)時 －

炉心燃料領域

(kg)

|                       | 初装荷炉心   | 平衡炉心    | 平衡末期    | バランス    | 新燃料装荷   | 取出し燃料  |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| PU238                 | 131.8   | 142.4   | 149.1   | 6.6     | 33.0    | 39.6   |
| PU239                 | 6483.9  | 5663.7  | 5190.4  | -473.2  | 1621.0  | 1147.8 |
| PU240                 | 3847.2  | 3778.7  | 3713.3  | -65.4   | 961.8   | 896.4  |
| PU241                 | 515.4   | 544.8   | 556.8   | 12.0    | 128.8   | 140.8  |
| PU242                 | 467.4   | 452.3   | 443.5   | -8.8    | 116.9   | 108.0  |
| U235                  | 102.3   | 70.1    | 52.7    | -17.4   | 25.6    | 8.2    |
| U236                  | 0.0     | 6.4     | 9.7     | 3.2     | 0.0     | 3.2    |
| U238                  | 33987.6 | 32047.8 | 30781.0 | -1266.8 | 8496.9  | 7230.1 |
| NP237                 | 60.0    | 51.4    | 46.5    | -4.9    | 15.0    | 10.1   |
| NP239                 | 0.0     | 5.2     | 6.8     | 1.6     | 0.0     | 1.6    |
| AM241                 | 239.9   | 218.7   | 207.3   | -11.4   | 60.0    | 48.6   |
| AM242                 | 0.0     | 8.4     | 12.2    | 3.9     | 0.0     | 3.9    |
| AM243                 | 120.0   | 121.3   | 122.0   | 0.6     | 30.0    | 30.6   |
| CM242                 | 0.0     | 10.5    | 13.8    | 3.3     | 0.0     | 3.3    |
| CM243                 | 0.0     | 0.8     | 1.2     | 0.4     | 0.0     | 0.4    |
| CM244                 | 120.0   | 128.3   | 133.5   | 5.2     | 30.0    | 35.2   |
| CM245                 | 0.0     | 10.5    | 16.3    | 5.7     | 0.0     | 5.7    |
| PU. TOTAL             | 11445.7 | 10581.9 | 10053.1 | -528.8  | 2861.4  | 2332.6 |
| PU. FISSILE           | 6999.3  | 6208.5  | 5747.2  | -461.2  | 1749.8  | 1288.6 |
| FIS. RATIO. (%)       | 61.2    | 58.7    | 57.2    | 0.0     | 61.2    | 55.2   |
| PU. ENRICHMENT. (W/O) | 24.8    | 24.5    | 24.3    | 0.0     | 24.8    | 24.0   |
| U. TOTAL              | 34089.9 | 32124.3 | 30843.3 | -1281.0 | 8522.5  | 7241.5 |
| U235                  | 102.3   | 70.1    | 52.7    | -17.4   | 25.6    | 8.2    |
| U. ENRICHMENT. (W/O)  | 0.3     | 0.2     | 0.2     | 0.0     | 0.3     | 0.1    |
| TRU. TOTAL            | 539.9   | 555.1   | 559.4   | 4.3     | 135.0   | 139.3  |
| NP. TOTAL             | 60.0    | 56.6    | 53.2    | -3.3    | 15.0    | 11.7   |
| AM. TOTAL             | 359.9   | 348.4   | 341.5   | -7.0    | 90.0    | 83.0   |
| CM. TOTAL             | 120.0   | 150.1   | 164.7   | 14.6    | 30.0    | 44.6   |
| TRU. RATIO. (W/O)     | 1.2     | 1.3     | 1.4     | 0.0     | 1.2     | 1.4    |
| HM. TOTAL             | 46075.4 | 43261.3 | 41455.8 | -1805.5 | 11518.9 | 9713.4 |
| FP. TOTAL             | 622.2   | 3498.8  | 5340.3  | 1841.5  | 155.5   | 1841.5 |

表 3.2.2-7 軸ブランケット部物質収支【燃料スミア密度：82.0%TD 時】

－ 高速炉多重リサイクル時 TRU 組成＋随伴 FP(2vol%)時 －

| 軸ブランケット領域             |         |         |         |        |         | (kg)    |
|-----------------------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|
|                       | 初装荷炉心   | 平衡炉心    | 平衡末期    | バランス   | 新燃料装荷   | 取出し燃料   |
| PU238                 | 0.0     | 0.3     | 0.5     | 0.3    | 0.0     | 0.3     |
| PU239                 | 0.0     | 908.7   | 1470.8  | 562.1  | 0.0     | 562.1   |
| PU240                 | 0.0     | 44.3    | 91.9    | 47.5   | 0.0     | 47.5    |
| PU241                 | 0.0     | 1.7     | 4.3     | 2.6    | 0.0     | 2.6     |
| PU242                 | 0.0     | 0.1     | 0.2     | 0.1    | 0.0     | 0.1     |
| U235                  | 185.4   | 160.8   | 145.5   | -15.4  | 46.4    | 31.0    |
| U236                  | 0.0     | 5.8     | 9.3     | 3.5    | 0.0     | 3.5     |
| U238                  | 61617.7 | 60503.0 | 59732.4 | -770.6 | 15404.4 | 14633.8 |
| NP237                 | 0.0     | 1.9     | 3.3     | 1.4    | 0.0     | 1.4     |
| NP239                 | 0.0     | 3.5     | 4.7     | 1.2    | 0.0     | 1.2     |
| AM241                 | 0.0     | 0.1     | 0.3     | 0.2    | 0.0     | 0.2     |
| AM242                 | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| AM243                 | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| CM242                 | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| CM243                 | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| CM244                 | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| CM245                 | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| PU. TOTAL             | 0.0     | 955.0   | 1567.6  | 612.6  | 0.0     | 612.6   |
| PU. FISSION           | 0.0     | 910.4   | 1475.1  | 564.7  | 0.0     | 564.7   |
| FIS. RATIO. (%)       | 0.0     | 95.3    | 94.1    | 0.0    | 0.0     | 92.2    |
| PU. ENRICHMENT. (W/O) | 0.0     | 1.6     | 2.6     | 0.0    | 0.0     | 4.0     |
| U. TOTAL              | 61803.1 | 60669.7 | 59887.3 | -782.4 | 15450.8 | 14668.3 |
| U235                  | 185.4   | 160.8   | 145.5   | -15.4  | 46.4    | 31.0    |
| U. ENRICHMENT. (W/O)  | 0.3     | 0.3     | 0.2     | 0.0    | 0.3     | 0.2     |
| TRU. TOTAL            | 0.0     | 5.5     | 8.2     | 2.8    | 0.0     | 2.8     |
| NP. TOTAL             | 0.0     | 5.4     | 7.9     | 2.6    | 0.0     | 2.6     |
| AM. TOTAL             | 0.0     | 0.1     | 0.3     | 0.2    | 0.0     | 0.2     |
| CM. TOTAL             | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| TRU. RATIO. (W/O)     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0     | 0.0     |
| HM. TOTAL             | 61803.1 | 61630.1 | 61463.1 | -167.0 | 15450.8 | 15283.7 |
| FP. TOTAL             | 0.0     | 157.7   | 315.5   | 157.8  | 0.0     | 157.8   |

表 3.2.2-8 径ブランケット部物質収支【燃料スミア密度：82.0%TD 時】

— 高速炉多重リサイクル時 TRU 組成+随伴 FP(2vol%)時 —

径ブランケット領域

(kg)

|                       | 初装荷炉心   | 平衡炉心    | 平衡末期    | バランス   | 新燃料装荷  | 取出し燃料  |
|-----------------------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|
| PU238                 | 0.0     | 0.0     | 0.1     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| PU239                 | 0.0     | 224.8   | 375.1   | 150.3  | 0.0    | 150.3  |
| PU240                 | 0.0     | 4.7     | 10.2    | 5.5    | 0.0    | 5.5    |
| PU241                 | 0.0     | 0.1     | 0.2     | 0.1    | 0.0    | 0.1    |
| PU242                 | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| U235                  | 82.3    | 75.8    | 71.5    | -4.3   | 20.6   | 16.3   |
| U236                  | 0.0     | 1.6     | 2.6     | 1.0    | 0.0    | 1.0    |
| U238                  | 27339.8 | 27086.7 | 26909.0 | -177.7 | 6835.0 | 6657.3 |
| NP237                 | 0.0     | 0.5     | 0.8     | 0.4    | 0.0    | 0.4    |
| NP239                 | 0.0     | 0.8     | 1.1     | 0.3    | 0.0    | 0.3    |
| AM241                 | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| AM242                 | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| AM243                 | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| CM242                 | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| CM243                 | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| CM244                 | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| CM245                 | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| PU. TOTAL             | 0.0     | 229.6   | 385.6   | 156.0  | 0.0    | 156.0  |
| PU. FISSILE           | 0.0     | 224.9   | 375.3   | 150.4  | 0.0    | 150.4  |
| FIS. RATIO. (%)       | 0.0     | 98.0    | 97.3    | 0.0    | 0.0    | 96.4   |
| PU. ENRICHMENT. (W/O) | 0.0     | 0.8     | 1.4     | 0.0    | 0.0    | 2.3    |
| U. TOTAL              | 27422.1 | 27164.1 | 26983.1 | -181.0 | 6855.5 | 6674.5 |
| U235                  | 82.3    | 75.8    | 71.5    | -4.3   | 20.6   | 16.3   |
| U. ENRICHMENT. (W/O)  | 0.3     | 0.3     | 0.3     | 0.0    | 0.3    | 0.2    |
| TRU. TOTAL            | 0.0     | 1.3     | 1.9     | 0.7    | 0.0    | 0.7    |
| NP. TOTAL             | 0.0     | 1.3     | 1.9     | 0.6    | 0.0    | 0.6    |
| AM. TOTAL             | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| CM. TOTAL             | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| TRU. RATIO. (W/O)     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| HM. TOTAL             | 27422.1 | 27395.0 | 27370.6 | -24.4  | 6855.5 | 6831.2 |
| FP. TOTAL             | 0.0     | 26.4    | 50.3    | 23.9   | 0.0    | 23.9   |

表 3.2.2-9 平衡炉心バランス【燃料スミア密度：82.0%TD 時】

— 高速炉多重リサイクル時 TRU 組成+随伴 FP(2vol%)時 —

## バランス

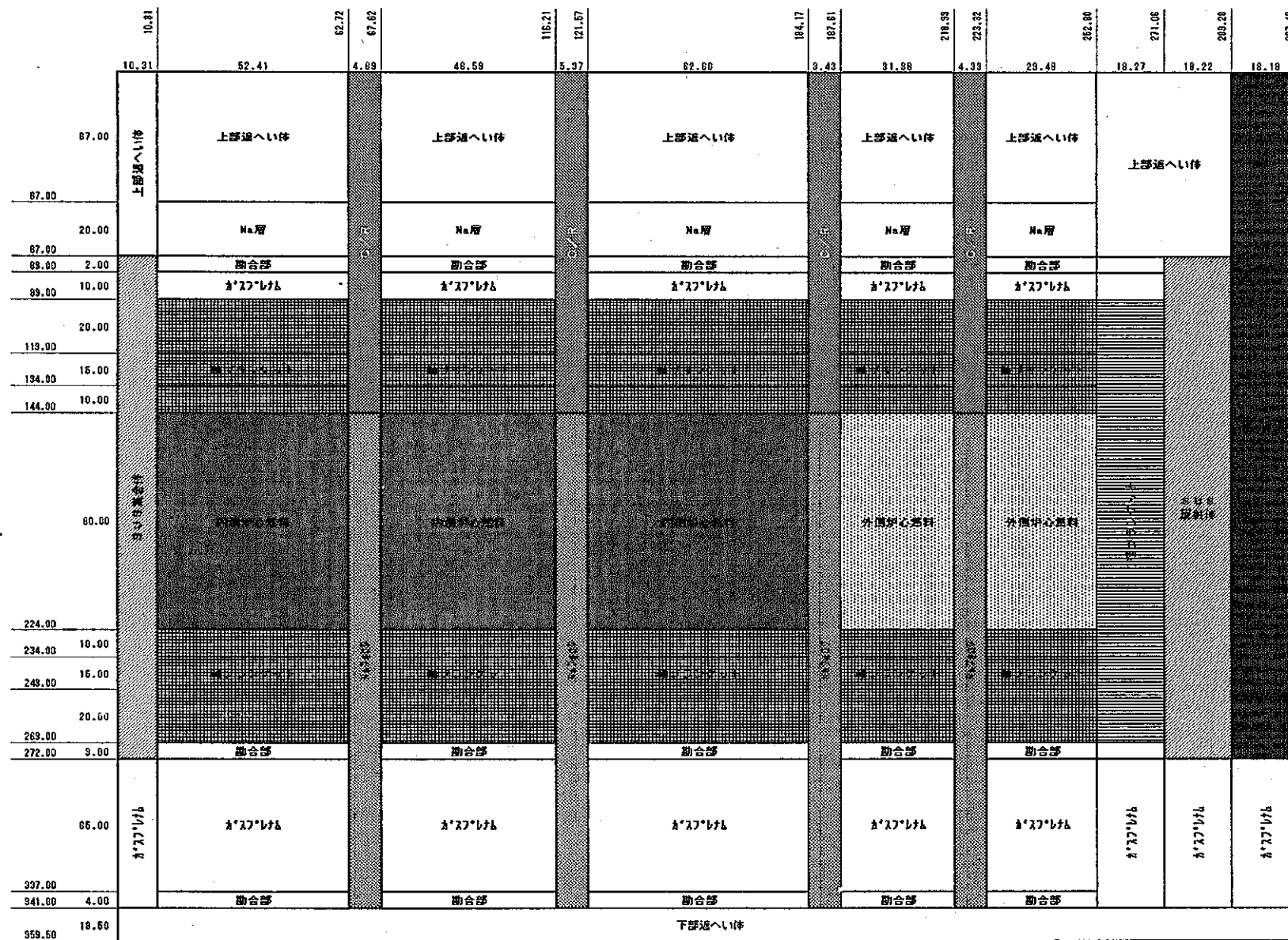
|                   | 内側炉心    | 外側炉心   | 炉心部合計   | 軸ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ | 径ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ | 合 計     |
|-------------------|---------|--------|---------|----------|----------|---------|
| PU+U. .... (KG)   | -1126.9 | -682.9 | -1809.8 | -169.8   | -25.0    | -2004.6 |
| PU. .... (KG)     | -283.6  | -245.2 | -528.8  | 612.6    | 156.0    | 239.8   |
| U. .... (KG)      | -843.3  | -437.7 | -1281.0 | -782.4   | -181.0   | -2244.4 |
| PU. FIS. ... (KG) | -243.6  | -217.6 | -461.2  | 564.7    | 150.4    | 253.9   |
| U235. .... (KG)   | -10.8   | -6.6   | -17.4   | -15.4    | -4.3     | -37.1   |
| FP. .... (KG)     | 1149.1  | 692.4  | 1841.5  | 157.8    | 23.9     | 2023.2  |

## 取出し燃料

|                   | 内側炉心   | 外側炉心   | 炉心部合計  | 軸ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ | 径ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ | 合 計     |
|-------------------|--------|--------|--------|----------|----------|---------|
| PU+U. .... (KG)   | 5060.3 | 4513.8 | 9574.1 | 15281.0  | 6830.5   | 31685.5 |
| PU. .... (KG)     | 1179.3 | 1153.3 | 2332.6 | 612.6    | 156.0    | 3101.2  |
| U. .... (KG)      | 3881.0 | 3360.5 | 7241.5 | 14668.3  | 6674.5   | 28584.4 |
| PU. FIS. ... (KG) | 651.0  | 637.6  | 1288.6 | 564.7    | 150.4    | 2003.7  |
| FIS. RATIO. (W/O) | 55.2   | 55.3   | 55.2   | 92.2     | 96.4     | 64.6    |
| PU. ENRICH. (W/O) | 23.3   | 25.6   | 24.4   | 4.0      | 2.3      | 9.8     |
| U235. .... (KG)   | 3.4    | 4.8    | 8.2    | 31.0     | 16.3     | 55.4    |
| FP. .... (KG)     | 1149.1 | 692.4  | 1841.5 | 157.8    | 23.9     | 2023.2  |

## 装荷燃料

|                   | 内側炉心   | 外側炉心   | 炉心部合計   | 軸ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ | 径ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ | 合 計     |
|-------------------|--------|--------|---------|----------|----------|---------|
| PU+U. .... (KG)   | 6187.2 | 5196.7 | 11383.9 | 15450.8  | 6855.5   | 33690.2 |
| PU. .... (KG)     | 1462.9 | 1398.5 | 2861.4  | 0.0      | 0.0      | 2861.4  |
| U. .... (KG)      | 4724.3 | 3798.2 | 8522.5  | 15450.8  | 6855.5   | 30828.8 |
| PU. FIS. ... (KG) | 894.6  | 855.2  | 1749.8  | 0.0      | 0.0      | 1749.8  |
| U235. .... (KG)   | 14.2   | 11.4   | 25.6    | 46.4     | 20.6     | 92.5    |



炉出力 : 3,570 MWt  
 運転サイクル長 : 18 ヶ月  
 燃料ピン外径 : 8.8 mm  
 集合体配列ピッチ : 196.4 mm

内側炉心 : 300 体  
 外側炉心 : 252 体  
 径方向ラングット : 90 体  
 SUS反射体 : 96 体  
 ZrH遮へい体 : 102 体  
 制御棒 : 48 体  
 SUS集合体 : 1 体

バンドル部圧損 : 2.1 ke/cm<sup>2</sup>

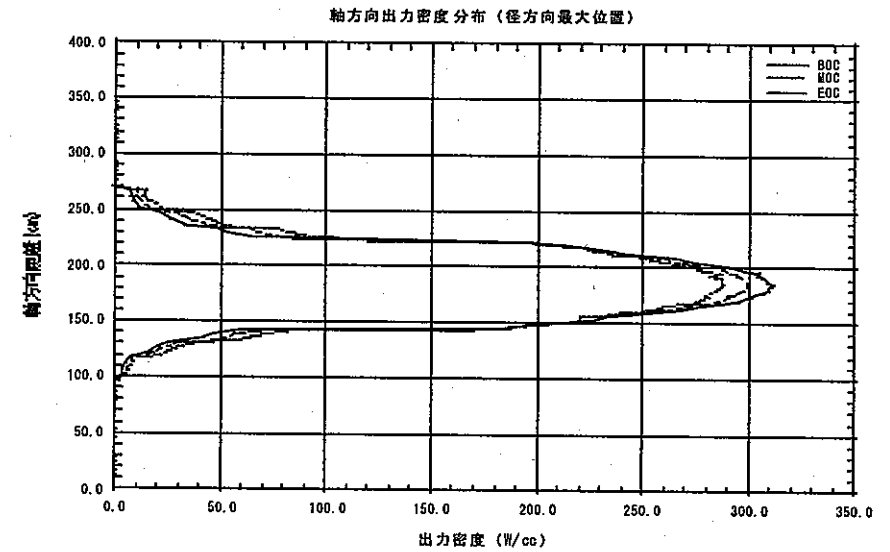
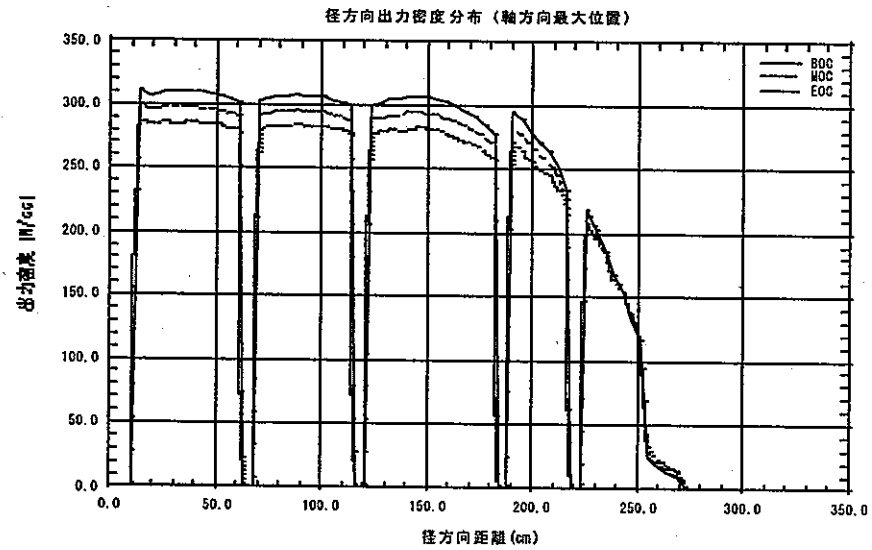
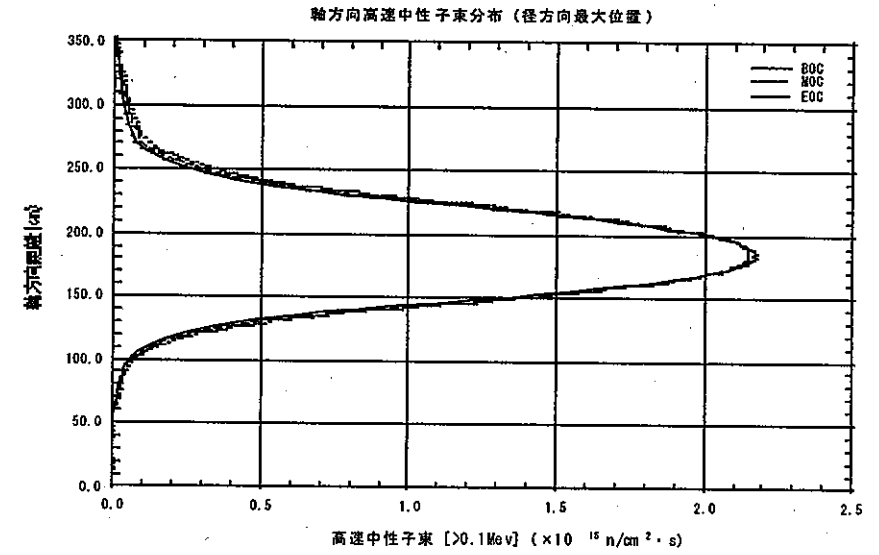
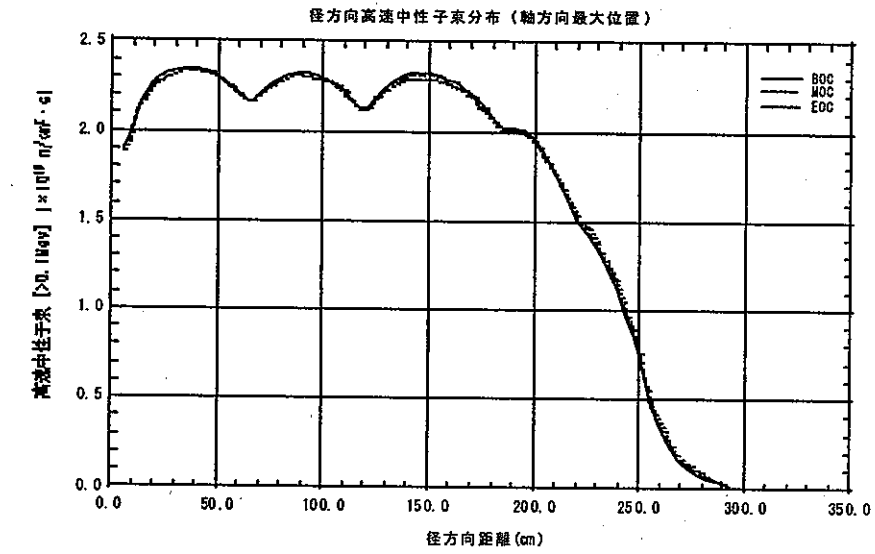
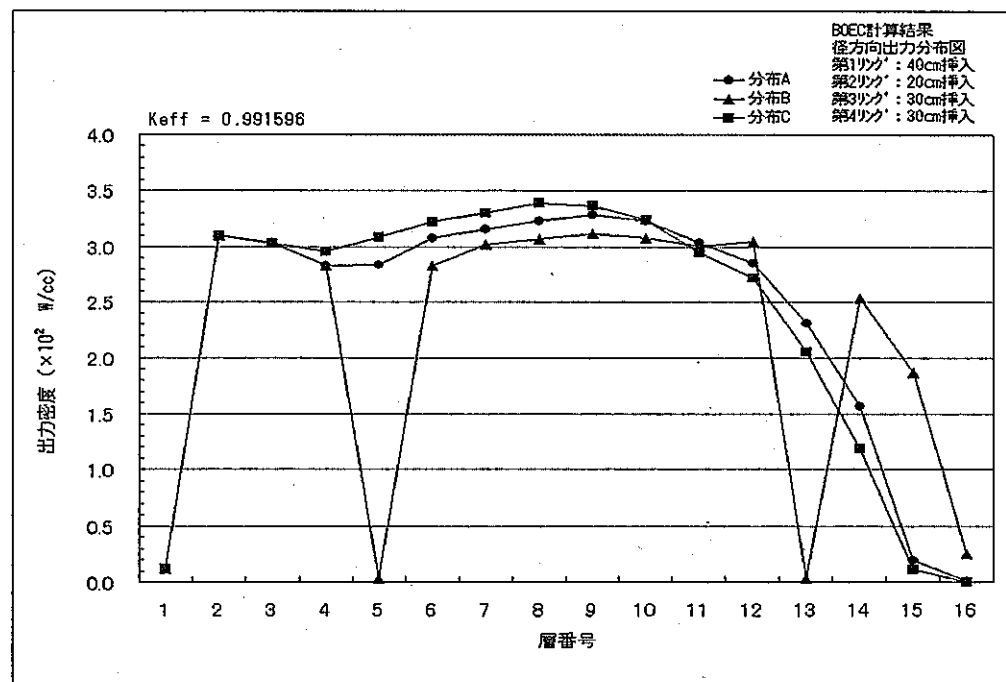
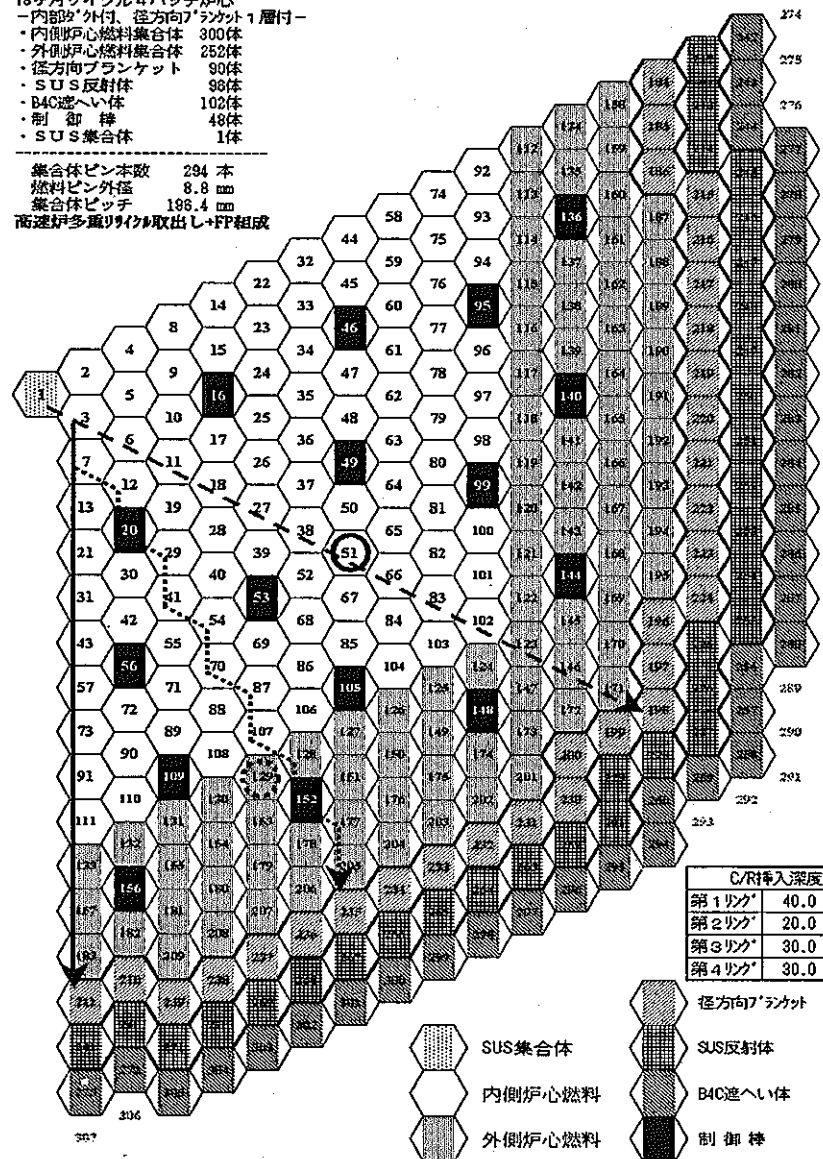


図 3.2.2-2 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の高速中性子束分布と出力密度分布

18ヶ月サイクル4バッチ炉心  
 - 内部ダクト付、径方向ブランケット1層付-  
 - 内側炉心燃料集合体 300体  
 - 外側炉心燃料集合体 252体  
 - 径方向ブランケット 90体  
 - SUS反射体 98体  
 - B4C遮へい体 102体  
 - 制御棒 48体  
 - SUS集合体 1体

集合体ピン本数 294 本  
 燃料ピン外径 8.8 mm  
 集合体ピッチ 188.4 mm  
 高速炉多量リサイクル取出し・FP組成



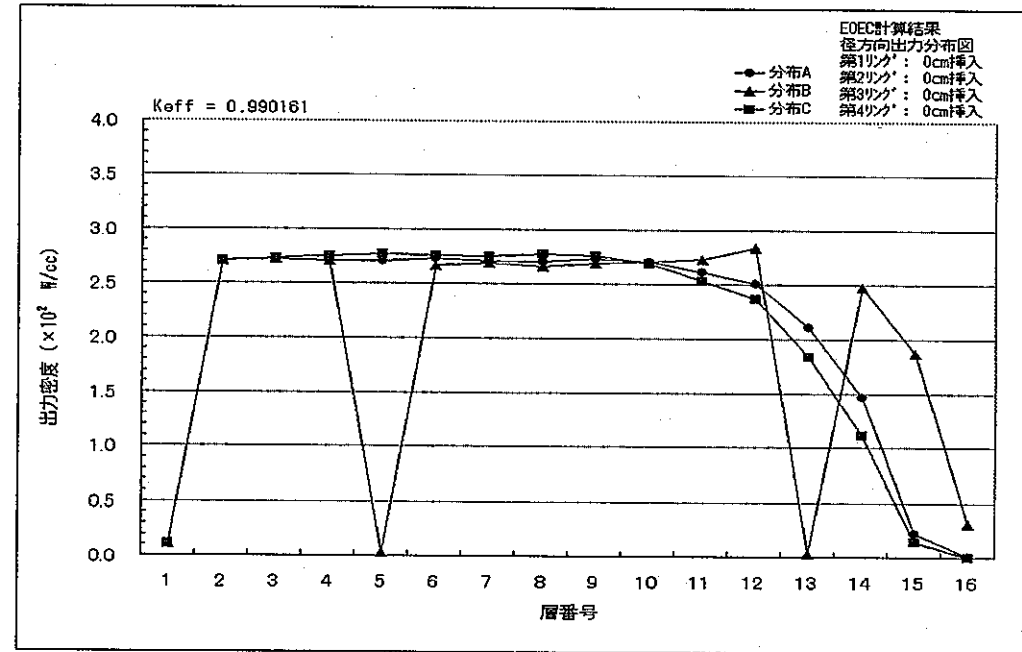
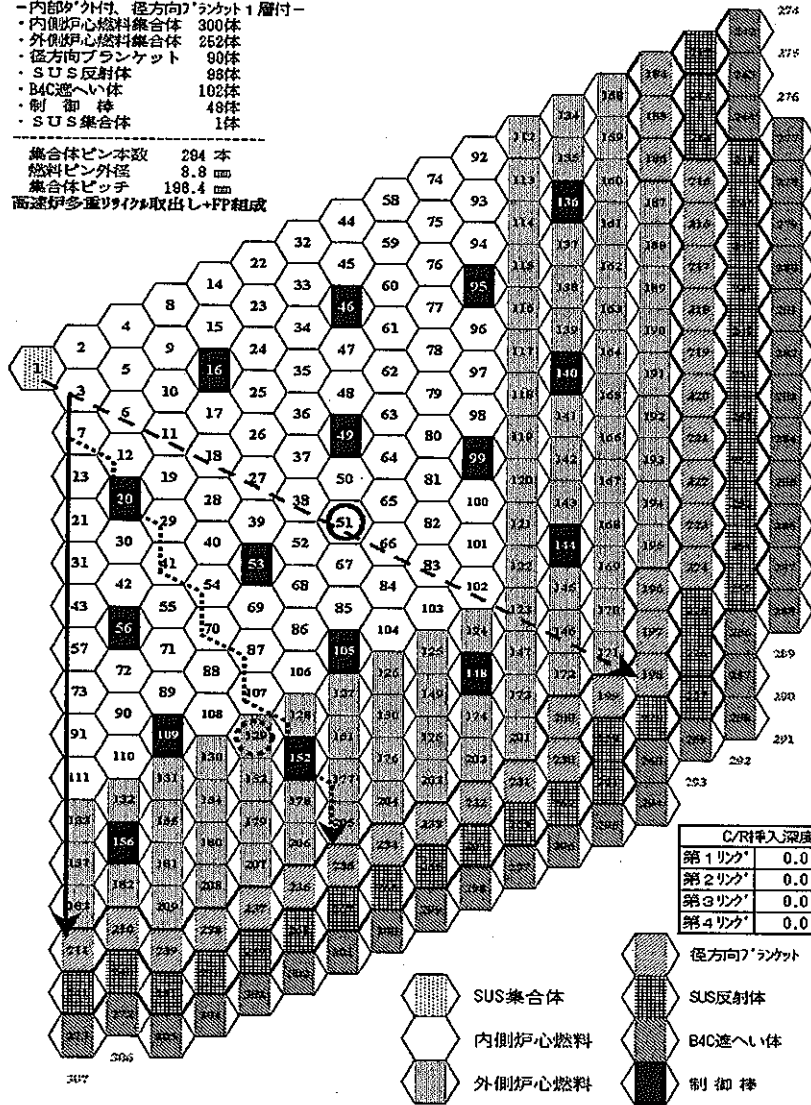
—●— 分布A  
 -△- 分布B  
 -□- 分布C

| C/R挿入深度 |         | BOEC計算結果(Tri-Z)                                                                       |      | Keff = 0.991596 |              |               |                     |               |        |
|---------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------------|--------------|---------------|---------------------|---------------|--------|
| 第1リンク   | 40.0 cm |  | 距生位置 | 出力密度<br>(W/cm)  | 径方向<br>ビーキング | 線出力<br>(W/cm) | ミッドフェイス<br>(R-Z計算値) | 線出力<br>(W/cm) |        |
| 第2リンク   | 20.0 cm |                                                                                       |      |                 |              |               |                     |               |        |
| 第3リンク   | 30.0 cm |                                                                                       | 内側炉心 | 51              | 3.385E+02    | 1.007618      | 387.57              | 1.1195        | 433.89 |
| 第4リンク   | 30.0 cm |                                                                                       | 外側炉心 | 129             | 3.048E+02    | 1.034177      | 358.17              | 1.1416        | 408.89 |

図 3.2.2-3 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の3次元計算による径方向出力分布 (BOEC)

18ヶ月サイクル4バッチ炉心  
 - 内部ダクト付、径方向7ラングット1層付 -  
 ・内側炉心燃料集合体 300体  
 ・外側炉心燃料集合体 252体  
 ・径方向ブランケット 90体  
 ・SUS反射体 88体  
 ・B4C遮へい体 102体  
 ・制御棒 48体  
 ・SUS集合体 1体

集合体ピン本数 294本  
 燃料ピン外径 8.8mm  
 集合体ピッチ 198.4mm  
 高速炉多重リサイクル取出し・FP組成



—●— 分布A  
 .....△..... 分布B  
 ---■--- 分布C

| C/R挿入深度 |        | EOEC計算結果(Tri-Z) |             | Keff = 0.990161 |          | 制御棒: 全バーク位置      |            |
|---------|--------|-----------------|-------------|-----------------|----------|------------------|------------|
| 第1リンク   | 0.0 cm | 発生位置            | 出力密度 (W/cc) | 径方向ピーキング        | 総出力 (MW) | スロップアップ (R-Z計算値) | 総出力 (W/cc) |
| 第2リンク   | 0.0 cm | 内側炉心            | 2.778E+02   | 1.004333        | 317.06   | 1.1081           | 351.33     |
| 第3リンク   | 0.0 cm | 外側炉心            | 2.844E+02   | 1.019114        | 329.35   | 1.1255           | 370.69     |
| 第4リンク   | 0.0 cm |                 |             |                 |          |                  |            |

図 3.2.2-4 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の3次元計算による径方向出力分布 (EOEC)

### 3.2.3 熱設計検討

内部ダクト付き均質炉心における流量配分設計の成立性を検討するため、平成 11 年度での同型炉心の検討<sup>[1]</sup>において、出力分布／履歴を入力条件とし、出入口温度 550/395℃、被覆管最高温度目安 700℃(被覆管材:ODS 鋼想定)にて炉心燃料集合体の必要流量を計算し、流量配分検討を実施した。炉心燃料集合体の流量領域数として最大 8 領域を目安とし領域必要流量を計算した結果、炉心燃料集合体へ配分可能な流量に対して 2%強の余剰流量(追加配分流量)を確保でき、余裕をもって流量配分が成立する結果となった。配分流量に基づく被覆管最高温度は 690℃程度となった。

従って、燃焼による出力変動も含めた出力分布が平成 11 年度検討炉心と同程度であれば、本内部ダクト付均質炉心の流量配分設計は従来ナトリウム冷却炉と同様に成立性を有すると判断できる。なお、平成 11 年度検討炉心は、炉心高さ 80cm、軸ブランケット厚さ上下各 40cm、径方向ブランケット無しにて 1.0 強の増殖比を達成する炉心であり、燃焼反応度は  $4.6\% \Delta k/k'$ 、増殖比炉心分担分は 0.69 である。これに対して、3.2.1 及び 3.2.2 に示した本対象炉心は、炉心高さ等の主要仕様はほぼ同一であり、出力変動に関連する核特性としては燃焼反応度が  $4.1\% \Delta k/k'$ と向上している。このため、平成 11 年度検討炉心と同様に流量配分設計が成立する見通しである。

### 3.2.4 燃料特性評価

内部ダクト付集合体を用いた均質炉心における燃料設計成立性を調査するため、平成 11 年度検討<sup>[2]</sup>において、平成 11 年度炉心<sup>\*3</sup>の流量配分解析結果から得られた被覆管最高温度履歴に基づき CDF 解析を実施した。ここで、被覆材は ODS 鋼であり、クリープ強度式は平成 11 年度に暫定的に評価した ODS 鋼クリープ強度式<sup>[2]</sup>を用いた。

平成 11 年度検討炉心における被覆管最高温度は 690℃程度であり、この時の CDF 最大値は 0.001 程度と燃料の成立条件(CDF=0.5)を大きく下回ることが確認されている。本内部ダクト付集合体炉心の燃料仕様は平成 11 年度炉心の燃料と同一であることから、同程度の被覆管温度であれば、燃料成立性について十分満足するものと判断できる。このように、炉心出口温度 550℃の条件であっても、ODS 鋼の採用により設計成立性は十分期待できるものと考えられる。

---

<sup>\*3</sup> 平成 12 年度炉心は、炉心熱出力について平成 11 年度炉心の 3800MWth から 3570MWth に見直した炉心であり、燃料仕様については両炉心とも同一である。

### 3.2.5 遮蔽特性評価

#### (1) 目的

内部ダクト付均質炉心を代表例として、ナトリウム冷却酸化物燃料大型炉心の遮蔽構成の設定とこれによる炉体周りの遮蔽能力を確認した。

#### (2) 具体的解析条件

- (a) 基本炉心構成： 径方向ブランケット削除炉心 図 3.2.5-1  
径方向ブランケット 1 層付炉心 図 3.2.5-2
- (b) 燃料集合体構成： 図 3.2.1-1  
(上部構造) 軸方向ブランケット (45 cm) + B<sub>4</sub>C 遮蔽体 (67 cm)  
(下部構造) 軸方向ブランケット (45 cm) + ガスプレナム (65 cm)
- (c) 径方向遮蔽体： SUS 遮蔽体、B<sub>4</sub>C 遮蔽体、ZrH<sub>1.6</sub> 遮蔽体  
B<sub>4</sub>C-ZrH<sub>1.6</sub> 遮蔽体 図 3.2.5-3、表 3.2.5-3  
遮蔽体構造は、下部軸方向ブランケット下端または下部ガスプレナム下端までとした
- (d) 中性子規格化定数： 2.3.3 項に示した計算式を用い、以下のとおり設定した
- $$X_{NF} = 3,800 \times 10^6 \times 2.878 / (198.5 \times 10^6 \times 1.602 \times 10^{-19}) = 3.439 \times 10^{20} \text{ (n/sec)}$$
- (e) 各部組成： 表 3.2.5-1
- (f) 断面積縮約計算体系： 1 次元半径方向計算  
図 3.2.5-1、図 3.2.5-2 に示す炉心中心面上体系で代表させた  
1 次元軸方向計算  
図 3.2.5-1、図 3.2.5-2 に示す炉心中心軸上体系で代表させた
- (g) 縮約断面積： 多数群と小数群の関係 表 3.2.5-2
- (h) 遮蔽解析体系： 径方向ブランケット削除炉心 図 3.2.5-1  
径方向ブランケット 1 層付炉心 図 3.2.5-2
- (i) 遮蔽評価基準値： 2.3.3 項参照
- (j) 解析の流れ： 図 2.3.3-1

#### (3) 解析ケース

以下に、本検討で対象とした解析ケースとその解析モデルを示す。

|                          | 遮蔽構成 <sup>4</sup>                                          | 制御棒の取扱 | 遮蔽体下部構成 |
|--------------------------|------------------------------------------------------------|--------|---------|
| a) 再臨界回避（径方向ブランケット削除）炉心  |                                                            |        |         |
| ケース①：                    | SUS×1+B <sub>4</sub> C×2                                   | パーク位置  | プレナム    |
| ②：                       | SUS×1+B <sub>4</sub> C×2                                   | フォロワー  | 遮蔽体     |
| ③：                       | SUS×1+B <sub>4</sub> C×1                                   | フォロワー  | 遮蔽体     |
| ④：                       | SUS×1+B <sub>4</sub> C(63v/o)-ZrH <sub>1.6</sub> (37v/o)×1 | フォロワー  | 遮蔽体     |
| ⑤：                       | SUS×1+B <sub>4</sub> C(37v/o)-ZrH <sub>1.6</sub> (63v/o)×1 | フォロワー  | 遮蔽体     |
| ⑥：                       | ZrH <sub>1.6</sub> ×1+B <sub>4</sub> C×1                   | フォロワー  | 遮蔽体     |
| b) 再臨界回避（径方向ブランケット1層付）炉心 |                                                            |        |         |
| ケース⑦：                    | SUS×1+B <sub>4</sub> C×1                                   | フォロワー  | 遮蔽体     |
| ⑧：                       | ZrH <sub>1.6</sub> ×1+B <sub>4</sub> C×1                   | フォロワー  | 遮蔽体     |
| ⑨：                       | ZrH <sub>1.6</sub> ×1+B <sub>4</sub> C×1                   | 半挿入    | 遮蔽体     |
| ⑩：                       | ZrH <sub>1.6</sub> ×1+B <sub>4</sub> C×1                   | 全挿入    | 遮蔽体     |
| ⑪：                       | SUS×1+ZrH <sub>1.6</sub> ×1                                | フォロワー  | 遮蔽体     |

#### (4) 解析結果

図 3.2.5-4 に径方向ブランケット削除炉心の炉体周りの高速中性子束の等高線図を示す。また、図 3.2.5-5 に径方向ブランケット 1 層付炉心の炉体周りの高速中性子束の等高線図を示す。これらの図中の値は as calculation 値（未補正值）である。

表 3.2.5-4 に、各解析ケースの評価点で最大値となる計算結果(as calculation 値)、評価値（計算結果に補正因子を掛けた値）及びプラント寿命 40 年に対応した遮蔽評価基準値とを比較し、示した。同表では、遮蔽評価基準値に対する評価値の満足度を、以下の記号で記している。○または△を付した解析ケースは遮蔽評価基準値を満足しており、遮蔽設計として成立の見通しを得た。

なお参考として、表 3.2.5-5 にプラント寿命 60 年に対応した評価結果を示す。

- ： 遮蔽評価基準値を十分満足できており、余裕が 2 倍以上ある
- △： 遮蔽評価基準値を満足できているが、余裕が 2 倍以内である
- ×： 遮蔽評価基準値を満足できていない

上記 11 の解析ケースのから、以下の結果を得た。

<sup>4</sup> ×n は、2 層の配置を示す。また+で区切った遮蔽体の並びは、炉心内側から外側への配置の順番を示す

- (1) 図 3.2.5-4 のケース①に示すように、実証炉を参考として遮蔽体下部（炉心下部プレナム位置相当）に遮蔽体を設置しないと、ここからの中性子の漏れにより、炉心槽下部の遮蔽評価基準値を満たせない。
- (2) 図 3.2.5-4 のケース②に示すように、遮蔽体構造を炉心下部プレナム位置まで延長することにより、炉心槽に対する遮蔽評価基準値を満たせる。
- (3) 図 3.2.5-4 のケース③～⑥に示すように、径方向ブランケット削除炉心において、SUS 遮蔽体/B<sub>4</sub>C 遮蔽体/B<sub>4</sub>C+ZrH<sub>1.6</sub> 遮蔽体/ZrH<sub>1.6</sub> 遮蔽体を種々組み合わせても、2 層の遮蔽体構成では炉心槽の遮蔽評価基準値を満たせない。現状の検討の範囲では、径方向ブランケット削除炉心には遮蔽体構造は 3 層が必要と思われる。
- (4) 図 3.2.5-5 のケース⑦に示すように、径方向ブランケット 1 層付炉心においても、SUS 遮蔽体+B<sub>4</sub>C 遮蔽体からなる 2 層の遮蔽構成では、炉心槽の遮蔽評価基準値を満たせない。
- (5) しかしながら、図 3.2.5-5 のケース⑧に示す ZrH<sub>1.6</sub> 遮蔽体+B<sub>4</sub>C 遮蔽体及び図 3.2.5-5 のケース⑩に示す SUS 遮蔽体+ZrH<sub>1.6</sub> 遮蔽体構成とすることにより、遮蔽体 2 層でも炉心槽の遮蔽評価基準値を満たせることが分かった。なお、後者の遮蔽構成の方が、炉心特性への影響が少なく<sup>5</sup>、かつ遮蔽性能が高い。
- (6) 図 3.2.5-4～図 3.2.5-5 に示すすべての解析ケースにおいて、UIS 下面の遮蔽評価基準値は余裕を持って（2 桁以上）満足している。
- (7) 図 3.2.5-4 ケース①、図 3.2.5-5 ケース⑨及び図 3.2.5-5 ケース⑩を除くすべての制御棒全引き抜き体系(EOEC 想定)は、炉心下部支持板の遮蔽評価基準値を満足している。但し、余裕は少ない。
- (8) 図 3.2.5-5 ケース⑨に示す半挿入体系（BOEC 想定）では、炉心下部支持板の遮蔽評価基準値を満たせない。UIS 下面に対する遮蔽能力が十分あることから、燃料集合体上部の遮蔽構造を合理化し、下部遮蔽構造を強化することで解決可能と考える。
- (9) 表 3.2.4-1 に示す炉心の実効増倍率( $k_{\text{eff}}$ )から分かるように、炉心に隣接する遮蔽体構成が炉心核特性へ影響を及ぼすことが分かる。特に、径方向ブランケット削除炉心では、遮蔽構成を検討する際にこの点を考慮する必要がある。
- (10) 以上より、プラント寿命 40 年とする MOX 燃料 Na 冷却大型炉心での炉体周り遮蔽設計成立の見通しを得た。

## (5) 結論

<sup>5</sup> 表 3.2.5-4 に示す  $k_{\text{eff}}$  を参照

以上に示した解析結果をまとめることにより、以下のとおり結論付けた。

- (1) 炉心下部プレナムからの中性子漏洩を防ぐため、下部プレナム位置まで遮蔽体を延長する必要がある。
- (2) 径方向ブランケット付炉心では、遮蔽体 2 層で炉心槽側面に対する遮蔽基準を満足できる。この場合、SUS 遮蔽体+ZrH1.6 遮蔽体の構成が適切と思われる。
- (3) 径方向ブランケット削除炉心では、炉心槽側面に対する遮蔽基準を満足させるには、従来どおり SUS 遮蔽体 1 層+B<sub>4</sub>C 遮蔽体 2 層からなる 3 層の遮蔽体構成が必要である。
- (4) (2)及び(3)の結論から、3 層の遮蔽体を設置していた従来の径方向ブランケット付炉心と比較し、径方向ブランケットの有無に拘わらず炉心構成要素を 1 層削減できることが分かった。即ち、炉心等価直径を約 40 cm削減できた。
- (5) UIS 下面に対する遮蔽評価基準値に対し、十分余裕（2 桁以上）を持って満足できる。
- (6) 下部炉心支持板上面に対する遮蔽評価基準値を十分に満足させるには、燃料集合体上部の遮蔽構造の合理化とあいまって、炉心下部遮蔽性能を増強することが考えられる。
- (7) 以上より、プラント寿命を 40 年とする MOX 燃料 Na 冷却大型炉心の炉体周り遮蔽設計成立の見通しを得た。

#### (6) 課題

今後（フェーズⅡ以降）解決すべき課題として、以下の項目があげられる。

- (1) 燃料集合体の軸方向構造の適正化・合理化
- (2) JASPER 実験解析に基づき設定した遮蔽計算値への補正係数の見直し・評価
- (3) プラント寿命 60 年とする場合の遮蔽構造とその性能評価

表 3.2.5-1 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の各部原子数密度 (EOEC 組成)

| MACROコードで用いた<br>マクロ断面積No (ANISN対応) => |      | 100        | 200        | 300        | 400        | 500         | 600         | 2600       |
|---------------------------------------|------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|
| 核 種                                   | 核種ID | 内側炉心(I)    | 内側炉心(II)   | 内側炉心(III)  | 外側炉心       | 軸ブランケット(上部) | 軸ブランケット(下部) | 径方向ブランケット  |
| PU-239                                | 9490 | 7.9969E-04 | 8.0151E-04 | 8.1399E-04 | 9.5184E-04 | 1.9188E-04  | 2.5767E-04  | 2.8633E-04 |
| PU-240                                | 9400 | 4.9379E-04 | 4.9240E-04 | 4.9343E-04 | 6.0135E-04 | 9.0076E-06  | 1.8317E-05  | 1.2664E-05 |
| PU-241                                | 9410 | 1.0942E-04 | 1.0930E-04 | 1.1136E-04 | 1.4385E-04 | 3.1173E-07  | 9.0190E-07  | 4.0129E-07 |
| PU-242                                | 9420 | 1.1384E-04 | 1.1392E-04 | 1.1519E-04 | 1.4663E-04 | 8.6335E-09  | 3.3772E-08  | 8.0382E-09 |
| AM-241                                | 9510 | 2.7522E-05 | 2.7905E-05 | 2.9740E-05 | 4.3178E-05 | 1.8569E-08  | 5.2187E-08  | 2.9459E-08 |
| U-235                                 | 9250 | 8.3461E-06 | 8.5012E-06 | 9.2184E-06 | 1.0398E-05 | 2.5039E-05  | 1.9776E-05  | 3.2913E-05 |
| U-238                                 | 9280 | 5.5908E-03 | 5.6064E-03 | 5.6783E-03 | 5.4394E-03 | 9.6952E-03  | 8.5158E-03  | 1.3156E-02 |
| O                                     | 860  | 1.6116E-02 | 1.6116E-02 | 1.6116E-02 | 1.6150E-02 | 1.9728E-02  | 1.7760E-02  | 2.7091E-02 |
| NA                                    | 1130 | 7.5706E-03 | 7.5706E-03 | 7.5706E-03 | 7.5706E-03 | 6.4531E-03  | 7.5706E-03  | 5.7622E-03 |
| FE                                    | 2600 | 1.8593E-02 | 1.8593E-02 | 1.8593E-02 | 1.8593E-02 | 1.8593E-02  | 1.8593E-02  | 9.3992E-03 |
| CR                                    | 2400 | 2.7574E-03 | 2.7574E-03 | 2.7574E-03 | 2.7574E-03 | 2.7574E-03  | 2.7574E-03  | 1.6736E-03 |
| NI                                    | 2800 | 1.1801E-04 | 1.1801E-04 | 1.1801E-04 | 1.1801E-04 | 1.1801E-04  | 1.1801E-04  | 6.5981E-05 |
| MO                                    | 4200 | 1.8389E-04 | 1.8389E-04 | 1.8389E-04 | 1.8389E-04 | 1.8389E-04  | 1.8389E-04  | 2.2740E-05 |
| MN                                    | 2550 | 1.1943E-04 | 1.1943E-04 | 1.1943E-04 | 1.1943E-04 | 1.1943E-04  | 1.1943E-04  | 6.7945E-07 |
| NP-237                                | 9370 | 2.4215E-06 | 2.4266E-06 | 2.2579E-06 | 1.9395E-06 | 4.4845E-07  | 5.5629E-07  | —          |
| PU-238                                | 9480 | 3.7814E-05 | 3.8068E-05 | 3.9583E-05 | 5.3359E-05 | 5.9194E-08  | 1.0112E-07  | 7.2240E-08 |

| マクロ断面積No (ANISN対応) => |      | 700        | 800        | 900               | 1000       | 1100       | 1200                     | 1300       |
|-----------------------|------|------------|------------|-------------------|------------|------------|--------------------------|------------|
| 核 種                   | 核種ID | Na フォロワー   | ガスプレナム     | ガスプレナム<br>(遮蔽体下部) | 勘 合 部      | Na 層       | 軸方向遮蔽体-B <sub>4</sub> C- | 下部勘合部      |
| NA                    | 1130 | 2.0306E-02 | 7.2276E-03 | 6.8552E-03        | 7.4500E-03 | 2.9020E-02 | 7.2216E-03               | 5.5567E-03 |
| FE                    | 2600 | 4.5872E-03 | 1.2011E-02 | 9.4746E-03        | 4.6450E-02 | 6.9850E-03 | 8.5980E-03               | 3.9493E-02 |
| CR                    | 2400 | 1.2165E-03 | 3.1854E-03 | 2.5127E-03        | 8.2700E-03 | 1.2440E-03 | 2.2802E-03               | 1.0474E-02 |
| NI                    | 2800 | 1.4366E-03 | 3.7828E-03 | 2.9881E-03        | 3.2590E-04 | 4.9010E-05 | 2.6926E-03               | 1.2368E-02 |
| MO                    | 4200 | 1.0992E-04 | 2.8773E-04 | 2.2696E-04        | 1.1240E-04 | 1.6900E-05 | 2.0603E-04               | 9.4633E-04 |
| MN                    | 2550 | 1.3433E-04 | 3.5173E-04 | 2.7745E-04        | —          | —          | 2.5178E-04               | 1.1565E-03 |
| C                     | 620  | —          | —          | —                 | —          | —          | 1.3170E-02               | —          |
| B10                   | 500  | —          | —          | —                 | —          | —          | 1.0536E-02               | —          |
| B11                   | 510  | —          | —          | —                 | —          | —          | 4.2144E-02               | —          |

| マクロ断面積No (ANISN対応) => |      | 1500       | 1700                | 1800       | 1900       | 2000       | 2100       | 2200             |
|-----------------------|------|------------|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------------|
| 核 種                   | 核種ID | SUS遮蔽体     | B <sub>4</sub> C遮蔽体 | 制 御 棒      | ハッドリッドヘッド  | Na 層 (径方向) | 炉心層        | 炉心上部構造物<br>(HIS) |
| NA                    | 1130 | 6.3830E-03 | 4.2847E-03          | 9.6206E-03 | 6.3830E-03 | 2.2240E-02 | 0.0000E+00 | 2.0016E-02       |
| FE                    | 2600 | 3.7537E-02 | 1.0921E-02          | 1.3755E-02 | 3.7537E-02 | —          | 5.8012E-02 | 5.2398E-03       |
| CR                    | 2400 | 9.9549E-03 | 2.8964E-03          | 3.6478E-03 | 9.9549E-03 | —          | 1.7384E-02 | 1.3892E-03       |
| NI                    | 2800 | 1.1755E-02 | 3.4202E-03          | 4.3090E-03 | 1.1755E-02 | —          | 8.1060E-03 | 1.5947E-03       |
| MO                    | 4200 | 8.9947E-04 | 2.6170E-04          | 3.2949E-04 | 8.9947E-04 | —          | 4.4629E-04 | 1.2557E-04       |
| MN                    | 2550 | 1.0992E-03 | 3.1981E-04          | 4.0278E-04 | 1.0992E-03 | —          | 1.7319E-03 | 1.7211E-04       |
| C                     | 620  | —          | 1.5250E-02          | 3.3677E-03 | —          | —          | —          | —                |
| B10                   | 500  | —          | 1.2200E-02          | 1.0777E-02 | —          | —          | —          | —                |
| B11                   | 510  | —          | 4.8801E-02          | 2.4503E-03 | —          | —          | —          | —                |

| マクロ断面積No (ANISN対応) => |      | 2300       | 2400       | 2500               | 2700       | 2800                                                     | 2900                                                     |
|-----------------------|------|------------|------------|--------------------|------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 核 種                   | 核種ID | Na 層 (軸方向) | 上部炉心支持板    | エントランス/出口<br>+ 連結管 | ZrH 遮へい体   | B <sub>4</sub> C+ZrH 遮へい体<br>(B <sub>4</sub> C:ZrH=12:7) | B <sub>4</sub> C+ZrH 遮へい体<br>(B <sub>4</sub> C:ZrH=7:12) |
| NA                    | 1130 | 2.2240E-02 | 6.0049E-03 | 1.5568E-02         | 4.1931E-03 | 4.1931E-03                                               | 4.1931E-03                                               |
| FE                    | 2600 | —          | 4.1703E-02 | 1.6281E-02         | 1.3446E-02 | 1.1943E-02                                               | 1.2569E-02                                               |
| CR                    | 2400 | —          | 1.2289E-02 | 4.5168E-03         | 3.5660E-03 | 3.1672E-03                                               | 3.3333E-03                                               |
| NI                    | 2800 | —          | 6.8191E-03 | 4.0000E-03         | 4.2109E-03 | 3.7400E-03                                               | 3.9362E-03                                               |
| MO                    | 4200 | —          | 4.1887E-04 | 2.9576E-04         | 3.2220E-04 | 2.8617E-04                                               | 3.0118E-04                                               |
| MN                    | 2550 | —          | 1.2631E-03 | 5.1740E-04         | 3.9375E-04 | 3.4971E-04                                               | 3.6806E-04                                               |
| C                     | 620  | —          | —          | —                  | —          | 7.3589E-03                                               | 4.2927E-03                                               |
| B10                   | 500  | —          | —          | —                  | —          | 5.8871E-03                                               | 3.4342E-03                                               |
| B11                   | 510  | —          | —          | —                  | —          | 2.1417E-02                                               | 1.2493E-02                                               |
| Zr                    | 4000 | —          | —          | —                  | 1.6619E-02 | 6.1228E-03                                               | 1.0496E-02                                               |
| H                     | 110  | —          | —          | —                  | 2.6590E-02 | 9.7964E-03                                               | 1.6794E-02                                               |

表 3.2.5-2 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の  
100 群断面積と 21 群断面積の対応表

| ANISN計算<br>対象方向      | 領域名            | 領域温度 (K) | MACROJコードで作成した<br>ANISN計算用の100群<br>マクロ断面積No. | ANISN計算時の<br>マクロ断面積No. | COMANDコードで作成した<br>DOT3.5計算用の21群<br>縮約マクロ断面積No. |
|----------------------|----------------|----------|----------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------|
| 径方向計算                | 内側炉心 (I)       | 1373     | 100                                          | ①                      | [2]                                            |
|                      | 内側炉心 (II)      | 1373     | 200                                          | ②                      | [4]                                            |
|                      | 内側炉心 (III)     | 1373     | 300                                          | ③                      | [6], [8]                                       |
|                      | 外側炉心           | 1373     | 400                                          | ④                      | [10]                                           |
|                      | Na フォロワー       | 703      | 700                                          | ⑤                      | [3], [5], [7], [9]                             |
|                      | SUS遮蔽体         | 703      | 1500                                         | ⑥                      | [1], [11]                                      |
|                      | B4C遮蔽体         | 703      | 1700                                         | ⑦                      | [12]                                           |
|                      | Na層 (径方向)      | 668      | 2000                                         | ⑧                      | [13], [15]                                     |
| 軸方向計算                | 炉心層            | 668      | 2100                                         | ⑨                      | [14]                                           |
|                      | 内側炉心 (I)       | 1373     | 100                                          | <1>                    |                                                |
|                      | 軸ブランケット (上部)   | 1073     | 500                                          | <2>                    | [24]                                           |
|                      | 軸ブランケット (下部)   | 1073     | 600                                          | <3>                    | [23]                                           |
|                      | ガスプレナム         | 703      | 800                                          | <4>                    | [21], [25]                                     |
|                      | 勘合部            | 703      | 1000                                         | <5>                    | [20], [22], [26]                               |
|                      | Na層            | 703      | 1100                                         | <6>                    | [27]                                           |
|                      | 軸方向遮蔽体 (B4C)   | 703      | 1200                                         | <7>                    | [28]                                           |
|                      | 下部勘合部          | 703      | 1300                                         | <8>                    | [19]                                           |
|                      | バット・リンク・バット    | 703      | 1900                                         | <9>                    | [29]                                           |
|                      | Na層 (軸方向)      | 668      | 2000                                         | <10>                   | [16]                                           |
|                      | 炉心上部構造物 (UIS)  | 823      | 2200                                         | <11>                   | [31]                                           |
|                      | 上部Na層          | 823      | 2300                                         | <12>                   | [30]                                           |
|                      | 炉心支持板          | 668      | 2400                                         | <13>                   | [18]                                           |
| 径方向計算<br>(C/R断面積計算時) | エントランス/スラム+連結管 | 668      | 2500                                         | <14>                   | [17]                                           |
|                      | 軸ブランケット (上部)   | 1073     | 500                                          | (1)                    |                                                |
|                      | SUS遮蔽体         | 703      | 1500                                         | (2)                    |                                                |
|                      | B4C遮蔽体         | 703      | 1700                                         | (3)                    |                                                |
|                      | 制御棒            | 703      | 1800                                         | (4)                    | [32], [33], [34], [35]                         |
|                      | Na層 (径方向)      | 668      | 2000                                         | (5)                    |                                                |
|                      | 炉心層            | 668      | 2100                                         | (6)                    |                                                |

(注) 遮蔽体に関する領域名は、解析モデルにより構成要素を入れ替えるので、上記は代表例を示している。

表 3.2.5- 3 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の  
検討に用いた  $B_4C$ - $ZrH_{1.6}$  遮蔽体の構成

(注)  $B_4C$  と  $ZrH_{1.6}$  の要素本数合計は 19 本である

|     | $B_4C/ZrH_{1.6} : 12/7$ |       | $B_4C/ZrH_{1.6} : 7/12$ |       |
|-----|-------------------------|-------|-------------------------|-------|
|     | 面積(mm <sup>2</sup> )    | 体 積 比 | 面積(mm <sup>2</sup> )    | 体 積 比 |
| 構造材 | 7502                    | 0.227 | 7896                    | 0.239 |
| N a | 6234                    | 0.189 | 6234                    | 0.189 |
| B4C | 8789                    | 0.266 | 5127                    | 0.155 |
| ZrH | 5534                    | 0.167 | 9487                    | 0.287 |

|     | $B_4C/ZrH_{1.6} : 10/9$ |       | $B_4C/ZrH_{1.6} : 0/19$ |       |
|-----|-------------------------|-------|-------------------------|-------|
|     | 面積(mm <sup>2</sup> )    | 体 積 比 | 面積(mm <sup>2</sup> )    | 体 積 比 |
| 構造材 | 7660                    | 0.232 | 8447                    | 0.255 |
| N a | 6234                    | 0.189 | 6234                    | 0.189 |
| B4C | 7324                    | 0.222 | 0                       | 0.000 |
| ZrH | 7115                    | 0.215 | 15020                   | 0.454 |

表 3.2.5-4 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の遮蔽解析結果と遮蔽評価基準値への満足度 (プラント 40 年寿命)

●炉心槽側面位置 (実証炉補正值 = 2.1)

\* 単位:  $n/cm^2/s$

| 炉心                                     | ケース | 遮蔽構成                        | 解析結果*      | 評価値*<br>(解析結果×2.1) | 基準値*<br>(実証炉ベース) | 評 価 | keff    |
|----------------------------------------|-----|-----------------------------|------------|--------------------|------------------|-----|---------|
| 再臨界排除炉心<br>・径ブランケットなし<br>・炉心有効長: 80cm  | ①   | SUS+B4C 2層体系, C/Rあり         | $1.42E+12$ | $2.98E+12$         |                  | ×   | 1.03260 |
|                                        | ②   | SUS+B4C 2層及び下部方向延長体系, C/Rなし | $2.89E+11$ | $6.07E+11$         |                  | ○   | 1.03894 |
|                                        | ③   | SUS+B4C 1層及び下部方向延長体系, "     | $6.63E+12$ | $1.39E+13$         |                  | ×   | 1.03893 |
|                                        | ④   | SUS+(B4C/ZrH: 12/7) 1層体系, " | $6.28E+12$ | $1.32E+13$         |                  | ×   | 1.03858 |
|                                        | ⑤   | SUS+(B4C/ZrH: 7/12) 1層体系, " | $4.96E+12$ | $8.39E+12$         |                  | ×   | 1.03844 |
|                                        | ⑥   | ZrH+B4C 1層体系, C/Rなし         | $1.97E+12$ | $4.13E+12$         |                  | ×   | 1.03159 |
| 再臨界排除炉心<br>・径ブランケット1層付<br>・炉心有効長: 80cm | ⑦   | SUS+B4C 各1層体系, C/Rなし        | $1.32E+12$ | $2.77E+12$         |                  | ×   | 1.03860 |
|                                        | ⑧   | ZrH+B4C 各1層体系, "            | $6.49E+11$ | $1.35E+12$         |                  | △   | 1.03790 |
|                                        | ⑨   | ZrH+B4C 各1層体系, C/R半挿入       | $6.93E+11$ | $1.46E+12$         |                  | △   | 0.97276 |
|                                        | ⑩   | ZrH+B4C 各1層体系, C/R全挿入       | $8.86E+11$ | $1.86E+12$         |                  | ×   | 0.91040 |
|                                        | ⑪   | SUS+ZrH 各1層体系, C/Rなし        | $4.71E+11$ | $9.89E+11$         |                  | ○   | 1.03860 |

●炉心上部構造物(UIS)位置 (実証炉補正值 = 3.5)

\* 単位:  $n/cm^2/s$

| 炉心                                     | ケース | 遮蔽構成                        | 解析結果*      | 評価値*<br>(解析結果×3.5) | 基準値*<br>(実証炉ベース) | 評 価 |
|----------------------------------------|-----|-----------------------------|------------|--------------------|------------------|-----|
| 再臨界排除炉心<br>・径ブランケットなし<br>・炉心有効長: 80cm  | ①   | SUS+B4C 2層体系, C/Rあり         | $1.76E+08$ | $6.16E+08$         |                  | ○   |
|                                        | ②   | SUS+B4C 2層及び下部方向延長体系, C/Rなし | $8.07E+08$ | $2.82E+09$         |                  | ○   |
|                                        | ③   | SUS+B4C 1層及び下部方向延長体系, "     | $1.04E+09$ | $3.63E+09$         |                  | ○   |
|                                        | ④   | SUS+(B4C/ZrH: 12/7) 1層体系, " | $1.15E+09$ | $4.04E+09$         |                  | ○   |
|                                        | ⑤   | SUS+(B4C/ZrH: 7/12) 1層体系, " | $8.17E+08$ | $2.86E+09$         |                  | ○   |
|                                        | ⑥   | ZrH+B4C 1層体系, C/Rなし         | $8.38E+08$ | $2.93E+09$         |                  | ○   |
| 再臨界排除炉心<br>・径ブランケット1層付<br>・炉心有効長: 80cm | ⑦   | SUS+B4C 各1層体系, C/Rなし        | $7.90E+08$ | $2.77E+09$         |                  | ○   |
|                                        | ⑧   | ZrH+B4C 各1層体系, "            | $7.88E+08$ | $2.76E+09$         |                  | ○   |
|                                        | ⑨   | ZrH+B4C 各1層体系, C/R半挿入       | $4.21E+08$ | $1.48E+09$         |                  | ○   |
|                                        | ⑩   | ZrH+B4C 各1層体系, C/R全挿入       | $8.06E+08$ | $2.82E+09$         |                  | ○   |
|                                        | ⑪   | SUS+ZrH 各1層体系, C/Rなし        | $7.91E+08$ | $2.77E+09$         |                  | ○   |

●下部炉心支持板上面位置 (実証炉補正值 = 1.7)

\* 単位:  $n/cm^2/s$

| 炉心                                     | ケース | 遮蔽構成                        | 解析結果*      | 評価値*<br>(解析結果×1.7) | 基準値*<br>(実証炉ベース) | 評 価 |
|----------------------------------------|-----|-----------------------------|------------|--------------------|------------------|-----|
| 再臨界排除炉心<br>・径ブランケットなし<br>・炉心有効長: 80cm  | ①   | SUS+B4C 2層体系, C/Rあり         | $2.39E+12$ | $4.06E+12$         |                  | △   |
|                                        | ②   | SUS+B4C 2層及び下部方向延長体系, C/Rなし | $2.27E+12$ | $3.86E+12$         |                  | △   |
|                                        | ③   | SUS+B4C 1層及び下部方向延長体系, "     | $2.27E+12$ | $3.86E+12$         |                  | △   |
|                                        | ④   | SUS+(B4C/ZrH: 12/7) 1層体系, " | $2.28E+12$ | $3.87E+12$         |                  | △   |
|                                        | ⑤   | SUS+(B4C/ZrH: 7/12) 1層体系, " | $2.28E+12$ | $3.87E+12$         |                  | △   |
|                                        | ⑥   | ZrH+B4C 1層体系, C/Rなし         | $2.40E+12$ | $4.08E+12$         |                  | △   |
| 再臨界排除炉心<br>・径ブランケット1層付<br>・炉心有効長: 80cm | ⑦   | SUS+B4C 各1層体系, C/Rなし        | $2.22E+12$ | $3.78E+12$         |                  | △   |
|                                        | ⑧   | ZrH+B4C 各1層体系, C/Rなし        | $2.21E+12$ | $3.76E+12$         |                  | △   |
|                                        | ⑨   | ZrH+B4C 各1層体系, C/R半挿入       | $2.76E+12$ | $4.69E+12$         |                  | ×   |
|                                        | ⑩   | ZrH+B4C 各1層体系, C/R全挿入       | $2.41E+12$ | $4.10E+12$         |                  | △   |
|                                        | ⑪   | SUS+ZrH 各1層体系, C/Rなし        | $2.22E+12$ | $3.78E+12$         |                  | △   |

表 3.2.5-5 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の遮蔽解析結果と遮蔽評価基準値への満足度(プラント 60 年寿命:参考)

●炉心槽側面位置 (補正值 = 2.1)

\* 単位:  $n/cm^2/s$ 

| 炉心                                     |   | 遮蔽構成                       | 解析結果*    | 評価値*<br>(解析結果×2.1) | 基準値*<br>(実証炉ベース) | 評 価 | keff    |
|----------------------------------------|---|----------------------------|----------|--------------------|------------------|-----|---------|
| 再臨界排除炉心<br>・径ブランケットなし<br>・炉心有効長: 80cm  | ① | SUS+B4C 2層体系、C/Rあり         | 1.42E+12 | 2.98E+12           |                  | ×   | 1.03260 |
|                                        | ② | SUS+B4C 2層及び下部方向延長体系、C/Rなし | 2.89E+11 | 6.07E+11           |                  | ○   | 1.03894 |
|                                        | ③ | SUS+B4C 1層及び下部方向延長体系、"     | 6.03E+12 | 1.39E+13           |                  | ×   | 1.03893 |
|                                        | ④ | SUS+(B4C/ZrH: 12/7) 1層体系、" | 6.28E+12 | 1.42E+13           |                  | ×   | 1.03858 |
|                                        | ⑤ | SUS+(B4C/ZrH: 7/12) 1層体系、" | 4.00E+12 | 8.39E+12           |                  | ×   | 1.03844 |
|                                        | ⑥ | ZrH+B4C 1層体系、C/Rなし         | 1.97E+12 | 4.13E+12           |                  | ×   | 1.03159 |
| 再臨界排除炉心<br>・径ブランケット1層付<br>・炉心有効長: 80cm | ⑦ | SUS+B4C 各1層体系、C/Rなし        | 1.32E+12 | 2.77E+12           |                  | ×   | 1.03860 |
|                                        | ⑧ | ZrH+B4C 各1層体系、"            | 5.49E+11 | 1.15E+12           |                  | ×   | 1.03790 |
|                                        | ⑨ | ZrH+B4C 各1層体系、C/R半挿入       | 6.93E+11 | 1.46E+12           |                  | ×   | 0.97276 |
|                                        | ⑩ | ZrH+B4C 各1層体系、C/R全挿入       | 3.86E+11 | 1.86E+12           |                  | ×   | 0.91040 |
|                                        | ⑪ | SUS+ZrH 各1層体系、C/Rなし        | 4.71E+11 | 9.89E+11           |                  | △   | 1.03860 |

●炉心上部構造物(UIS)位置 (補正值 = 3.5)

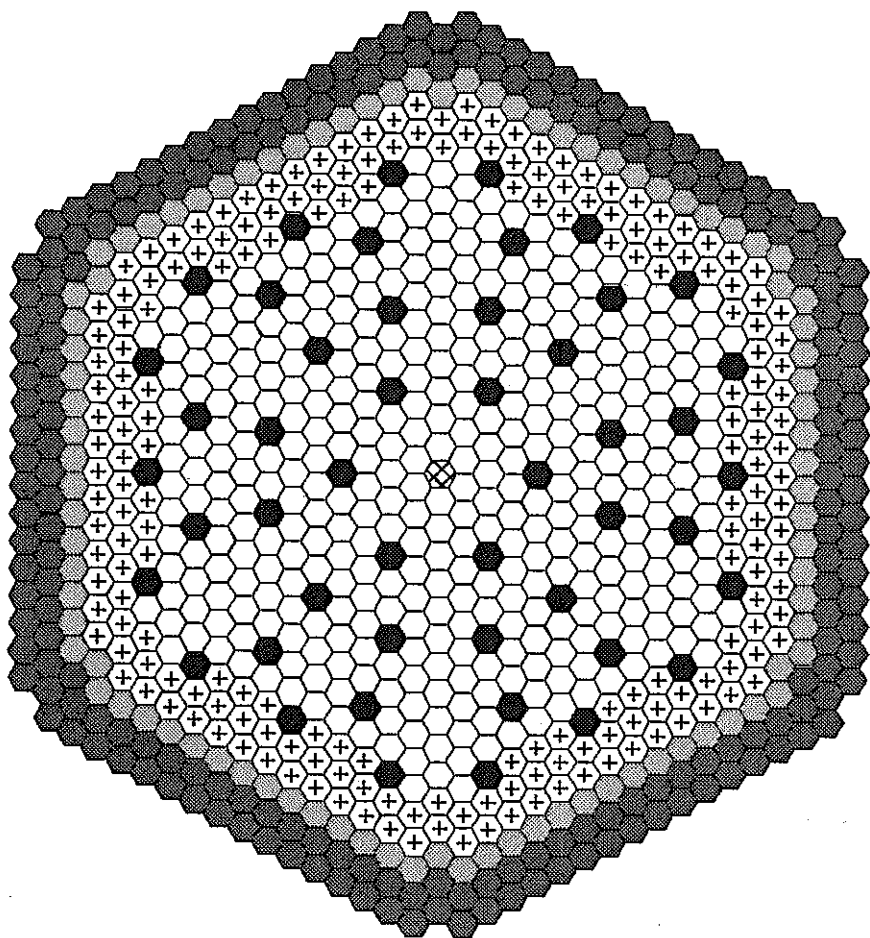
\* 単位:  $n/cm^2/s$ 

| 炉心                                     |   | 遮蔽構成                       | 解析結果*    | 評価値*<br>(解析結果×3.5) | 基準値*<br>(実証炉ベース) | 評 価 |
|----------------------------------------|---|----------------------------|----------|--------------------|------------------|-----|
| 再臨界排除炉心<br>・径ブランケットなし<br>・炉心有効長: 80cm  | ① | SUS+B4C 2層体系、C/Rあり         | 1.76E+08 | 6.16E+08           |                  | ○   |
|                                        | ② | SUS+B4C 2層及び下部方向延長体系、C/Rなし | 8.07E+08 | 2.82E+09           |                  | ○   |
|                                        | ③ | SUS+B4C 1層及び下部方向延長体系、"     | 1.04E+09 | 3.63E+09           |                  | ○   |
|                                        | ④ | SUS+(B4C/ZrH: 12/7) 1層体系、" | 1.15E+09 | 4.04E+09           |                  | ○   |
|                                        | ⑤ | SUS+(B4C/ZrH: 7/12) 1層体系、" | 8.17E+08 | 2.86E+09           |                  | ○   |
|                                        | ⑥ | ZrH+B4C 1層体系、C/Rなし         | 8.38E+08 | 2.93E+09           |                  | ○   |
| 再臨界排除炉心<br>・径ブランケット1層付<br>・炉心有効長: 80cm | ⑦ | SUS+B4C 各1層体系、C/Rなし        | 7.90E+08 | 2.77E+09           |                  | ○   |
|                                        | ⑧ | ZrH+B4C 各1層体系、"            | 7.88E+08 | 2.76E+09           |                  | ○   |
|                                        | ⑨ | ZrH+B4C 各1層体系、C/R半挿入       | 4.21E+08 | 1.48E+09           |                  | ○   |
|                                        | ⑩ | ZrH+B4C 各1層体系、C/R全挿入       | 8.06E+08 | 2.82E+09           |                  | ○   |
|                                        | ⑪ | SUS+ZrH 各1層体系、C/Rなし        | 7.91E+08 | 2.77E+09           |                  | ○   |

●下部炉心支持板上面位置 (補正值 = 1.7)

\* 単位:  $n/cm^2/s$ 

| 炉心                                     |   | 遮蔽構成                       | 解析結果*    | 評価値*<br>(解析結果×1.7) | 基準値*<br>(実証炉ベース) | 評 価 |
|----------------------------------------|---|----------------------------|----------|--------------------|------------------|-----|
| 再臨界排除炉心<br>・径ブランケットなし<br>・炉心有効長: 80cm  | ① | SUS+B4C 2層体系、C/Rあり         | 2.39E+12 | 4.06E+12           |                  | ×   |
|                                        | ② | SUS+B4C 2層及び下部方向延長体系、C/Rなし | 2.27E+12 | 3.86E+12           |                  | ×   |
|                                        | ③ | SUS+B4C 1層及び下部方向延長体系、"     | 2.27E+12 | 3.86E+12           |                  | ×   |
|                                        | ④ | SUS+(B4C/ZrH: 12/7) 1層体系、" | 2.28E+12 | 3.87E+12           |                  | ×   |
|                                        | ⑤ | SUS+(B4C/ZrH: 7/12) 1層体系、" | 2.28E+12 | 3.87E+12           |                  | ×   |
|                                        | ⑥ | ZrH+B4C 1層体系、C/Rなし         | 2.40E+12 | 4.09E+12           |                  | ×   |
| 再臨界排除炉心<br>・径ブランケット1層付<br>・炉心有効長: 80cm | ⑦ | SUS+B4C 各1層体系、C/Rなし        | 2.22E+12 | 3.78E+12           |                  | ×   |
|                                        | ⑧ | ZrH+B4C 各1層体系、"            | 2.21E+12 | 3.76E+12           |                  | ×   |
|                                        | ⑨ | ZrH+B4C 各1層体系、C/R半挿入       | 2.76E+12 | 4.69E+12           |                  | ×   |
|                                        | ⑩ | ZrH+B4C 各1層体系、C/R全挿入       | 2.41E+12 | 4.10E+12           |                  | ×   |
|                                        | ⑪ | SUS+ZrH 各1層体系、C/Rなし        | 2.22E+12 | 3.78E+12           |                  | ×   |



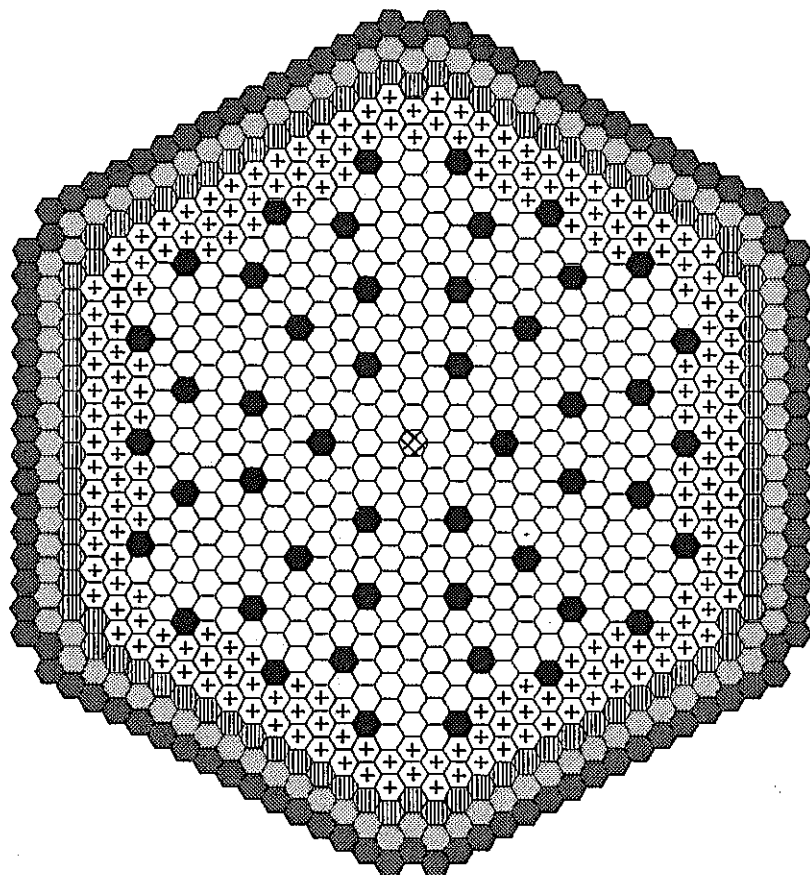
|     |                      |      |
|-----|----------------------|------|
| ○   | 内側炉心燃料集合体            | 378体 |
| +   | 外側炉心燃料集合体            | 198体 |
| ●   | SUS遮へい体              | 90体  |
| ■   | B <sub>4</sub> C遮へい体 | 198体 |
| ●   | 主炉停止系制御棒             | 48体  |
| ⊗   | SUS集合体               | 1体   |
| 合 計 |                      | 913体 |

|              |        |       |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
|--------------|--------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|--------|
| 0073.5-2-1-1 | 4      | 10    | 2     | 18   | 2     | 10   | 2     | 10   | 2     | 4    | 12    | 6     | 12    | 2    | 2    | 12    | 119    |
| 8            | 541.50 | 10.31 | 52.41 | 4.89 | 81.59 | 4.85 | 45.70 | 9.72 | 85.07 | 4.54 | 44.71 | 17.94 | 35.85 | 5.00 | 5.00 | 60.00 | 237.88 |
| 12           | 80.00  |       |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 481.50       |        |       |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 2            | 478.50 | 5.00  |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 478.50       |        |       |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 6            | 22.00  |       |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 456.50       |        |       |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 14           | 67.00  |       |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 387.50       |        |       |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 4            | 371.50 |       |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 2            | 367.50 | 20.00 |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 2            | 385.50 | 2.00  |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 6            | 385.50 | 10.00 |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 2            | 375.50 |       |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 10           | 370.50 | 45.00 |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 2            | 310.50 |       |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 2            | 307.50 |       |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 22           | 80.00  |       |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 230.50       |        |       |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 2            | 225.50 |       |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 10           | 189.50 | 45.00 |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 2            | 185.50 |       |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 2            | 182.50 | 8.00  |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 2            | 178.50 |       |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 10           | 65.00  |       |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 2            | 124.50 |       |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 2            | 117.50 |       |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 2            | 113.50 | 4.00  |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 6            | 95.00  | 18.50 |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 2            | 83.00  | 5.00  |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 6            | 69.00  | 30.00 |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| 12           | 0.00   |       |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |
| Total        | 141    |       |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |      |      |       |        |

基準炉心 (R-Z体系) 遮蔽計算モデル(D073.5 計算対応) ※ (1) ~ (18) : D073.5計算用ゾーン領域番号  
 - 径方向調整メッシュ分割 - (1) ~ (35) : D073.5計算用2群マクロ面定数のマクロ定数番号

(注) SUS 遮蔽体及び B<sub>4</sub>C 遮蔽体位置の遮蔽材構成・配置  
 を換えて解析を実施：ケース①～⑥

図 3.2.5-1 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の配置図  
 (径方向ブランケット削除炉心)



|                                                                                     |                      |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------|
|  | 内側炉心燃料集合体            | 378体 |
|  | 外側炉心燃料集合体            | 198体 |
|  | 径方向ブランケット            | 90体  |
|  | SUS反射体               | 96体  |
|  | B <sub>4</sub> C遮へい体 | 102体 |
|  | 主炉停止系制御棒             | 48体  |
|  | SUS集合体               | 1体   |
| 合 計                                                                                 |                      | 913体 |

|    | 07.5-リブ付型 | 4      | 10    | 2                            | 2    | 10                           | 2      | 2                             | 10   | 2                            | 4      | 12                           | 8      | 6                            | 6      | 2                   | 2      | 12               |
|----|-----------|--------|-------|------------------------------|------|------------------------------|--------|-------------------------------|------|------------------------------|--------|------------------------------|--------|------------------------------|--------|---------------------|--------|------------------|
| #  |           | 10.31  | 62.72 | 67.63                        |      | 134.05                       | 139.75 | 172.47                        |      | 200.54                       | 212.08 | 223.08                       | 257.79 | 275.73                       | 293.08 | 311.58              | 316.58 | 331.58           |
|    |           | 541.50 | 10.31 | 52.41                        | 4.89 | 81.59                        | 4.85   | 35.70                         | 8.72 | 35.07                        | 4.54   | 44.71                        | 17.94  | 17.63                        | 17.52  | 5.00                | 5.00   | 65.00            |
| 12 | 491.50    | 60.00  |       | {R心上部構造体(II)}<br>(83) [32]   |      |                              |        |                               |      |                              |        |                              |        |                              |        |                     |        |                  |
| 2  | 476.50    | 5.00   |       | N a<br>(80) [31]             |      |                              |        |                               |      |                              |        |                              |        |                              |        |                     |        |                  |
| 6  | 454.50    | 22.00  |       | ハンドリングヘッド<br>(81) [30]       |      | ハンドリングヘッド<br>(81) [30]       |        | ハンドリングヘッド<br>(81) [30]        |      | ハンドリングヘッド<br>(81) [30]       |        | ハンドリングヘッド<br>(81) [30]       |        | ハンドリングヘッド<br>(81) [30]       |        |                     |        |                  |
| 14 | 387.50    | 87.00  |       | 地方内通へい体(B4C)<br>(75) [26]    |      | 地方内通へい体(B4C)<br>(76) [22]    |        | 地方内通へい体<br>(B4C)<br>(77) [29] |      | 地方内通へい体<br>(78) [28]         |        | 地方内通へい体(B4C)<br>(79) [28]    |        | 地方内通へい体(B4C)<br>(80) [29]    |        |                     |        |                  |
| 4  | 371.50    | 74.00  |       | B a層<br>(69) [26]            |      | B a層<br>(70) [26]            |        | B a層<br>(71) [26]             |      | B a層<br>(72) [26]            |        | B a層<br>(73) [26]            |        | B a層<br>(74) [26]            |        |                     |        |                  |
| 2  | 365.50    | 2.00   |       | 結合部(上部境域)<br>(64) [27]       |      | 結合部(上部境域)<br>(65) [27]       |        | 結合部(上部境域)<br>(66) [27]        |      | 結合部(上部境域)<br>(67) [27]       |        | 結合部(上部境域)<br>(68) [27]       |        | 結合部(上部境域)<br>(69) [27]       |        |                     |        |                  |
| 6  | 355.50    | 10.00  |       | ガスプレナム(上部)<br>(59) [26]      | (65) | ガスプレナム(上部)<br>(60) [26]      | (55)   | ガスプレナム(上部)<br>(61) [24]       | (57) | ガスプレナム(上部)<br>(62) [24]      | (58)   | ガスプレナム(上部)<br>(63) [24]      | (59)   | ガスプレナム(上部)<br>(64) [24]      | (60)   |                     |        |                  |
| 10 | 340.50    | 45.00  |       | 壁プランケット(上部)<br>(6) [25]      |      | 壁プランケット(上部)<br>(7) [25]      |        | 壁プランケット<br>(上部)<br>(8) [25]   |      | 壁プランケット<br>(上部)<br>(9) [25]  |        | 壁プランケット<br>(上部)<br>(10) [25] |        | 壁プランケット<br>(上部)<br>(11) [25] |        |                     |        |                  |
| 2  | 330.50    | 60.00  |       | SOS固定体<br>(16) [17]          |      | 内張り心 (I)<br>(1) [2]          |        | C/S 固定体<br>(18) [5]           |      | 内張り心 (II)<br>(3) [8]         |        | C/S 固定体<br>(19) [7]          |        | 内張り心 (III)<br>(4) [8]        |        | C/S 固定体<br>(20) [8] |        | 外張り心<br>(5) [10] |
| 22 | 220.50    |        |       |                              |      |                              |        |                               |      |                              |        |                              |        |                              |        |                     |        |                  |
| 2  | 225.50    |        |       |                              |      |                              |        |                               |      |                              |        |                              |        |                              |        |                     |        |                  |
| 10 | 189.50    | 45.00  |       | 壁プランケット<br>(下層)<br>(11) [24] |      | 壁プランケット<br>(下層)<br>(12) [24] |        | 壁プランケット<br>(下層)<br>(13) [24]  |      | 壁プランケット<br>(下層)<br>(14) [24] |        | 壁プランケット(下部)<br>(15) [24]     |        |                              |        |                     |        |                  |
| 2  | 165.50    |        |       |                              |      |                              |        |                               |      |                              |        |                              |        |                              |        |                     |        |                  |
| 2  | 162.50    | 3.00   |       | 結合部(中部境域)<br>(27) [23]       |      | 結合部(中部境域)<br>(28) [23]       |        | 結合部(中部境域)<br>(29) [23]        |      | 結合部(中部境域)<br>(30) [23]       |        | 結合部(中部境域)<br>(31) [23]       |        |                              |        |                     |        |                  |
| 2  | 176.50    |        |       |                              |      |                              |        |                               |      |                              |        |                              |        |                              |        |                     |        |                  |
| 10 | 124.50    | 65.00  |       | ガスプレナム(下部)<br>(33) [22]      |      | ガスプレナム(下部)<br>(34) [22]      |        | ガスプレナム<br>(下部)<br>(35) [22]   |      | ガスプレナム<br>(下部)<br>(36) [22]  |        | ガスプレナム(下部)<br>(37) [22]      |        |                              |        |                     |        |                  |
| 2  | 117.50    |        |       |                              |      |                              |        |                               |      |                              |        |                              |        |                              |        |                     |        |                  |
| 2  | 113.50    | 4.00   |       | 結合部(下部境域)<br>(40) [21]       |      | 結合部(下部境域)<br>(41) [21]       |        | 結合部(下部境域)<br>(42) [21]        |      | 結合部(下部境域)<br>(43) [21]       |        | 結合部(下部境域)<br>(44) [21]       |        |                              |        |                     |        |                  |
| 6  | 95.00     | 18.50  |       | 下部野合部<br>(45) [20]           |      | 下部野合部<br>(46) [20]           |        | 下部野合部<br>(47) [20]            |      | 下部野合部<br>(48) [20]           |        | 下部野合部<br>(49) [20]           |        |                              |        |                     |        |                  |
| 2  | 90.00     | 5.00   |       | 上部野合部<br>(52) [19]           |      |                              |        |                               |      |                              |        |                              |        |                              |        |                     |        |                  |
| 8  | 60.00     | 30.00  |       | 壁プランケット付心・連結管<br>(53) [18]   |      |                              |        |                               |      |                              |        |                              |        |                              |        |                     |        |                  |
|    |           |        |       | N a<br>(54) [17]             |      |                              |        |                               |      |                              |        |                              |        |                              |        |                     |        |                  |
| 12 | 0.00      | 60.00  |       |                              |      |                              |        |                               |      |                              |        |                              |        |                              |        |                     |        |                  |

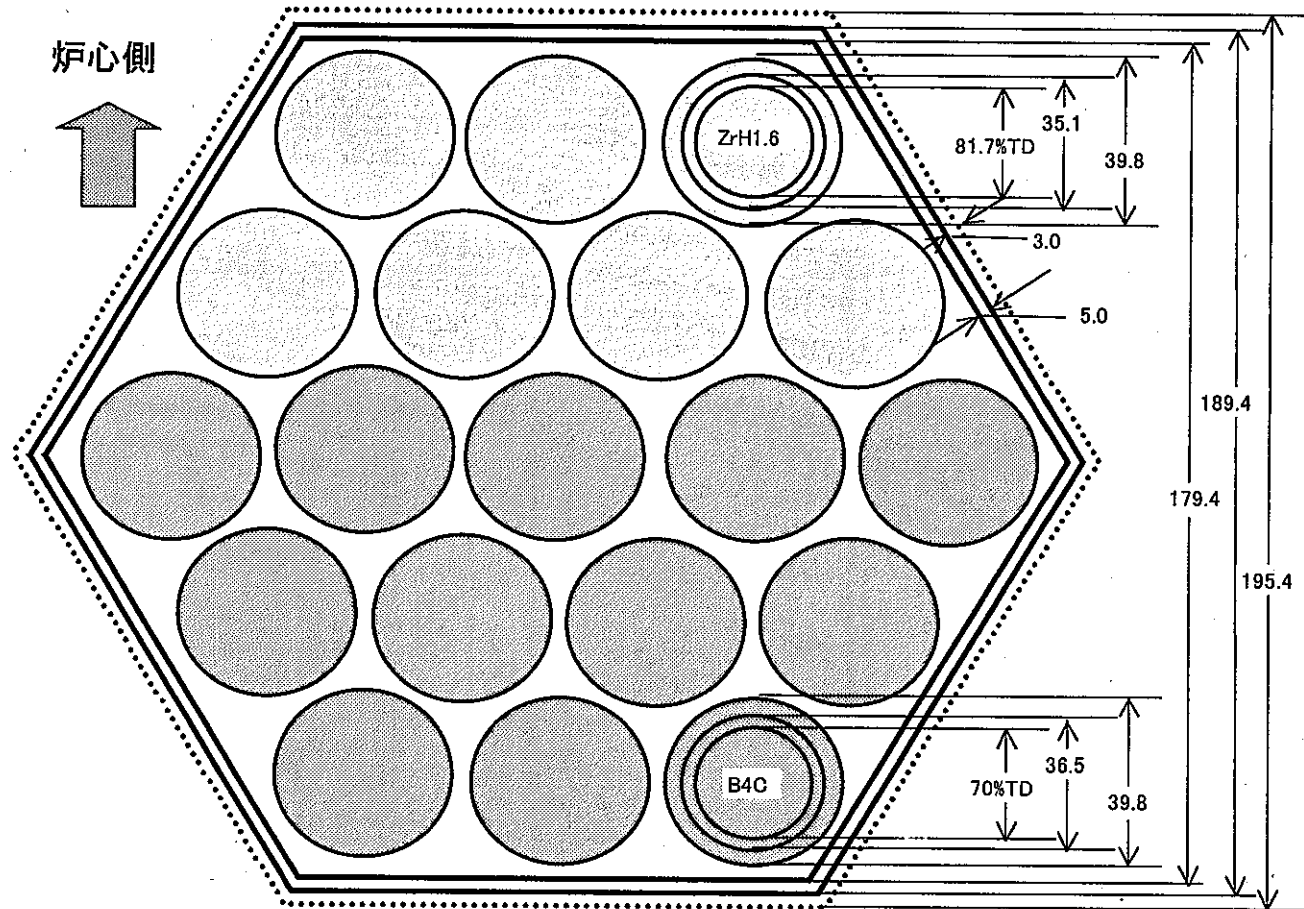
Totals  
144

図7-2 リブ付付心 (R-2体系用) 近へ計算モデルとANSYS計算対応

\* (1) ~ (5): 07.5設計仕様ゾーン領域番号  
(1) ~ (5): 07.5設計仕様ゾーン領域番号のマトリクス番号

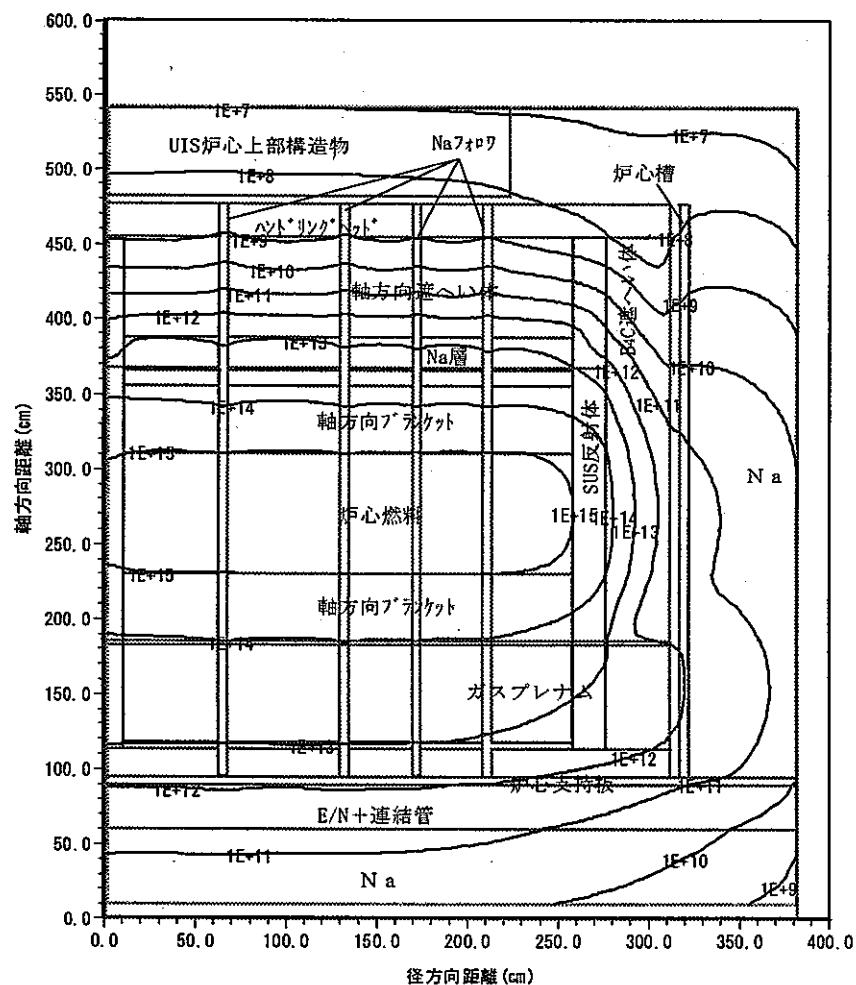
(注) SUS 遮蔽体及び B<sub>4</sub>C 遮蔽体位置の遮蔽材構成・配置を換えて解析を実施；ケース⑦～⑪

図 3.2.5-2 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心の配置図  
(径方向ブランケット1層付炉心)



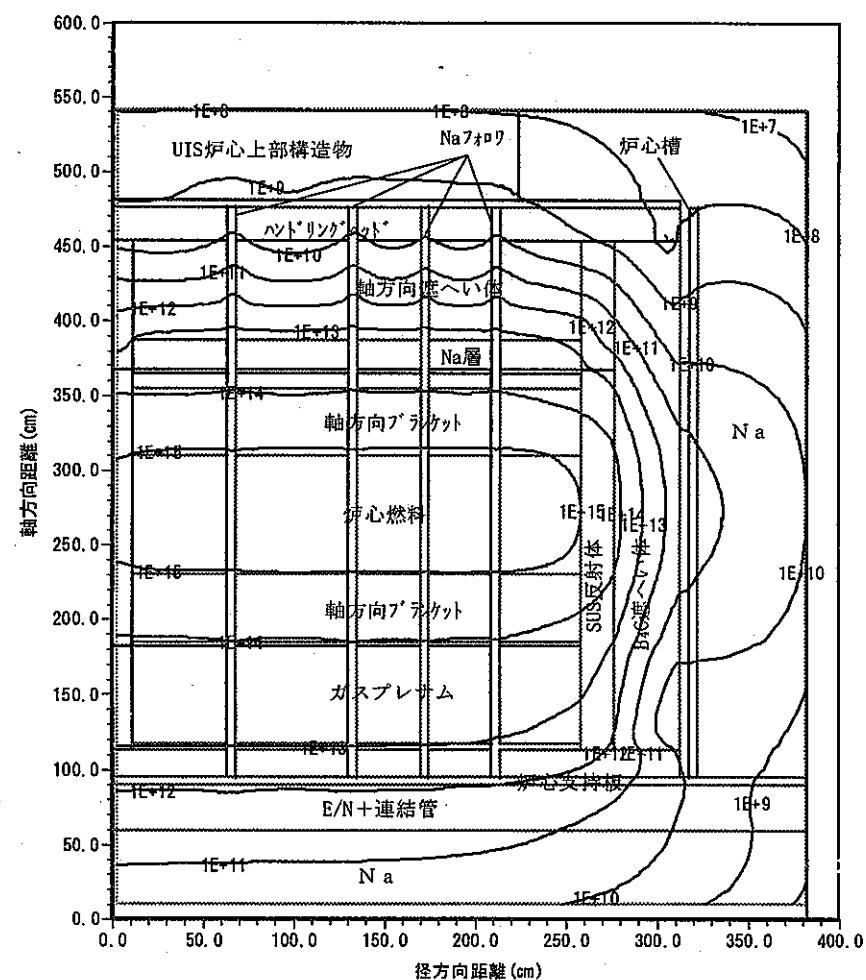
(注) B<sub>4</sub>C と ZrH<sub>1.6</sub> 要素との構成比は、表 3.2.5-3 を参照

図 3.2.5-3 検討に用いた B<sub>4</sub>C-ZrH<sub>1.6</sub> 遮蔽体構造の例



## ケース①解析結果

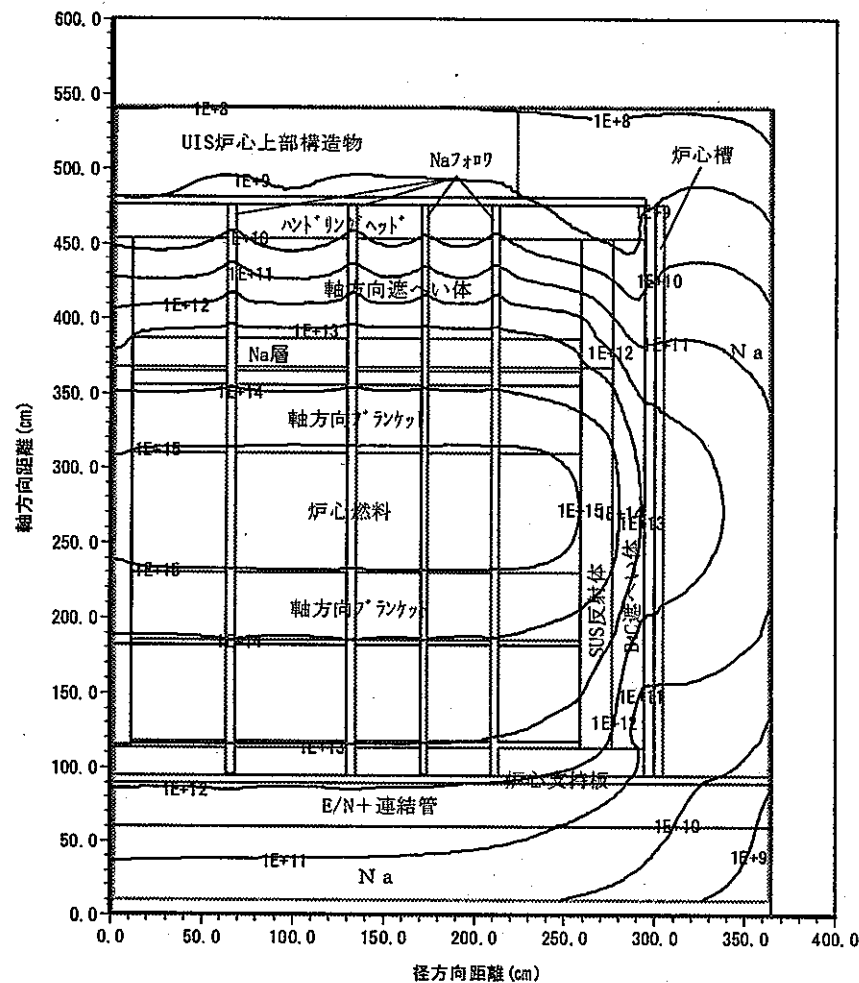
(制御棒パーク位置、遮蔽体下部はガスプレナム、  
SUS遮蔽体1層+B<sub>4</sub>C遮蔽体2層)



### ケース②解析結果

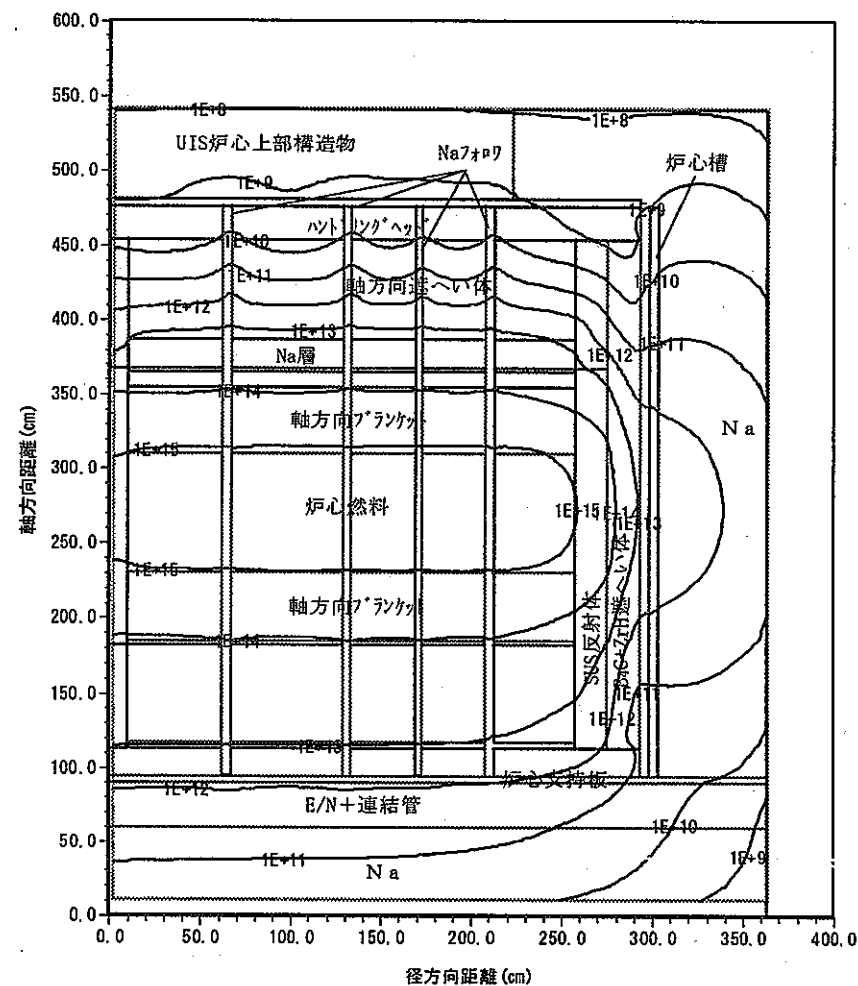
(制御棒全引き抜き、遮蔽体下部延長、  
SUS遮蔽体 1 層+B<sub>4</sub>C遮蔽体 2 層)

図 3.2.5-4 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心（径方向ブランケット削除）の高速中性子束等高線分布(1/3)



### ケース③解析結果

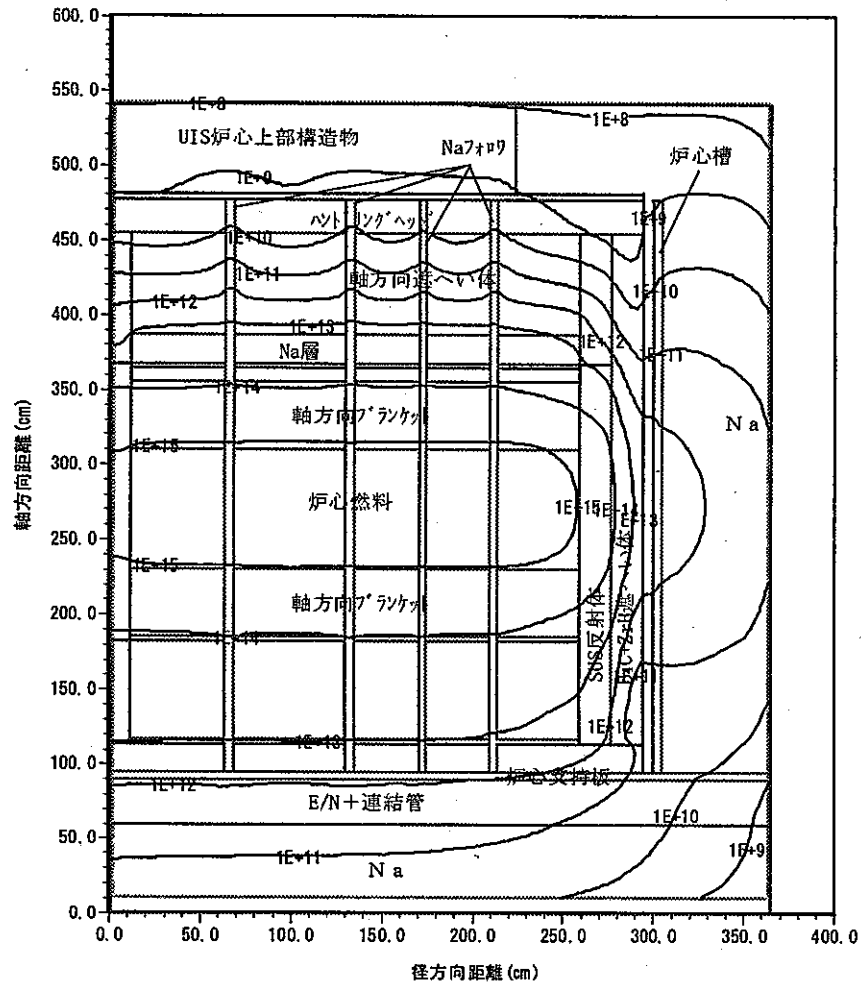
(制御棒全引き抜き、遮蔽体下部延長、  
SUS遮蔽体 1 層、B<sub>4</sub>C遮蔽体 1 層)



### ケース④解析結果

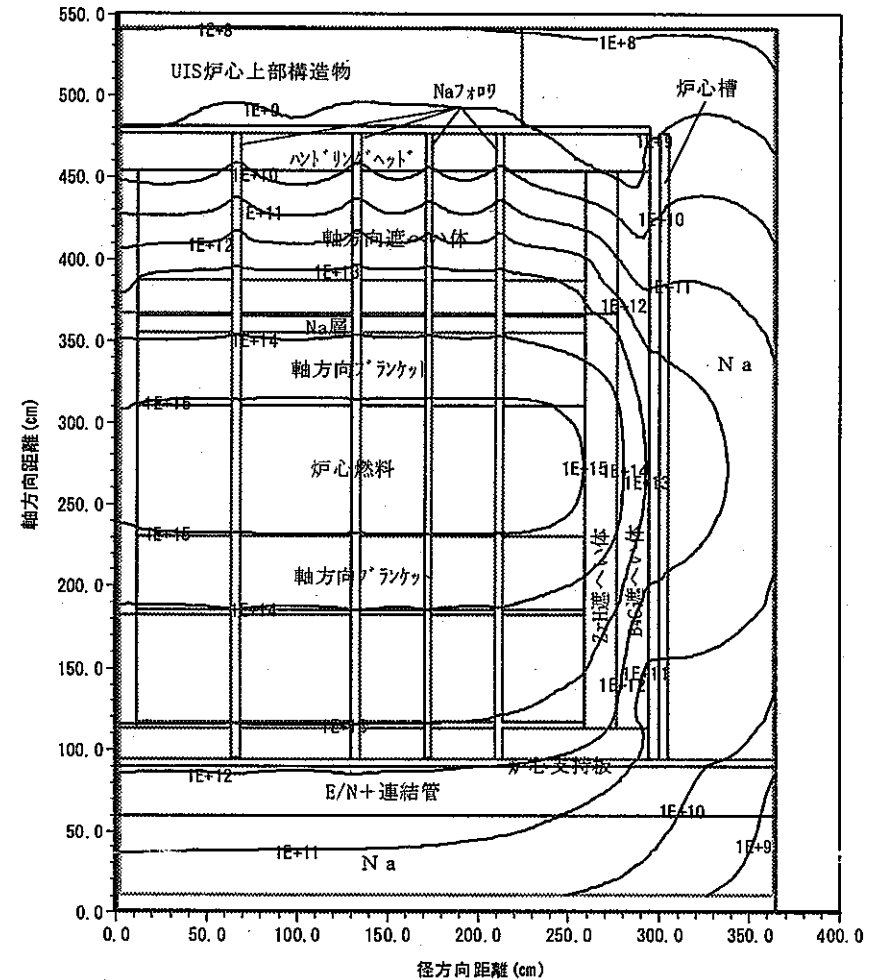
(制御棒全引き抜き、遮蔽体下部延長、  
SUS1 遮蔽体層 + B<sub>4</sub>C-ZrH<sub>1.6</sub>(12/7)遮蔽体 1 層)

図 3.2.5-4 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心（径方向ブランケット削除）の高速中性子束等高線分布(2/3)



### ケース⑤解析結果

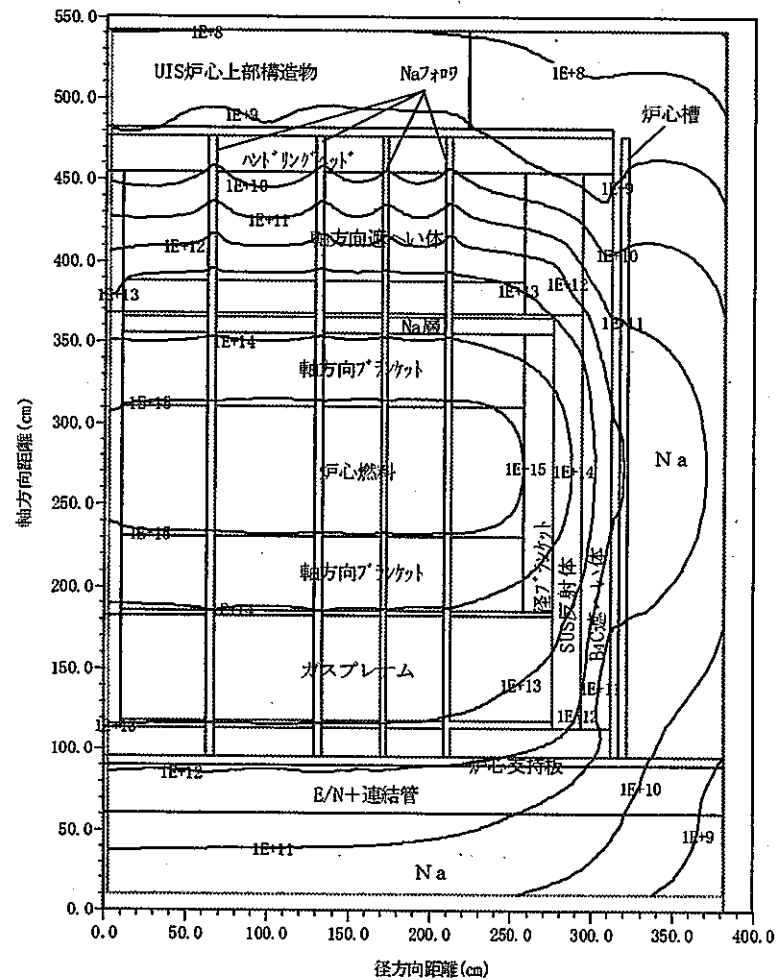
(制御棒全引き抜き、遮蔽体下部延長、  
SUS遮蔽体1層+B<sub>4</sub>C-ZrH<sub>1.6</sub>(7/12)遮蔽体1層)



### ケース⑥解析結果

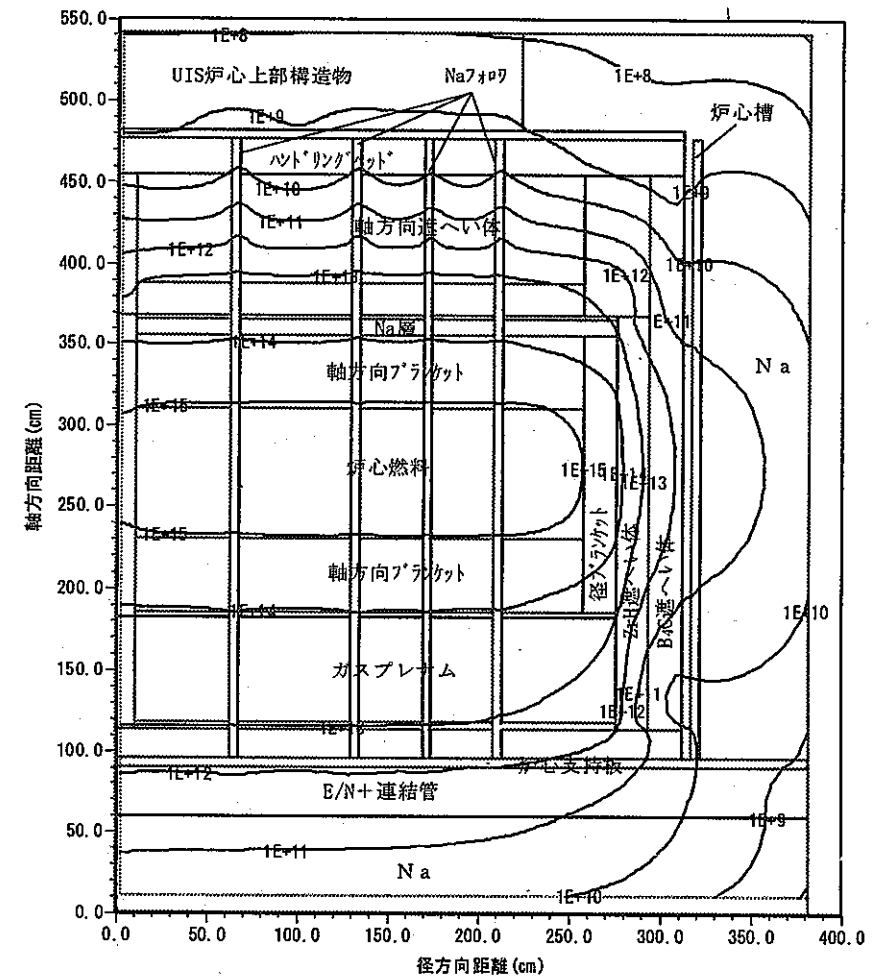
(制御棒全引き抜き、遮蔽体下部延長、  
ZrH<sub>1.6</sub>遮蔽体1層+B<sub>4</sub>C遮蔽体1層)

図 3.2.5-4 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心（径方向ブランケット削除）の高速中性子束等高線分布(3/3)



ケース⑦解析結果

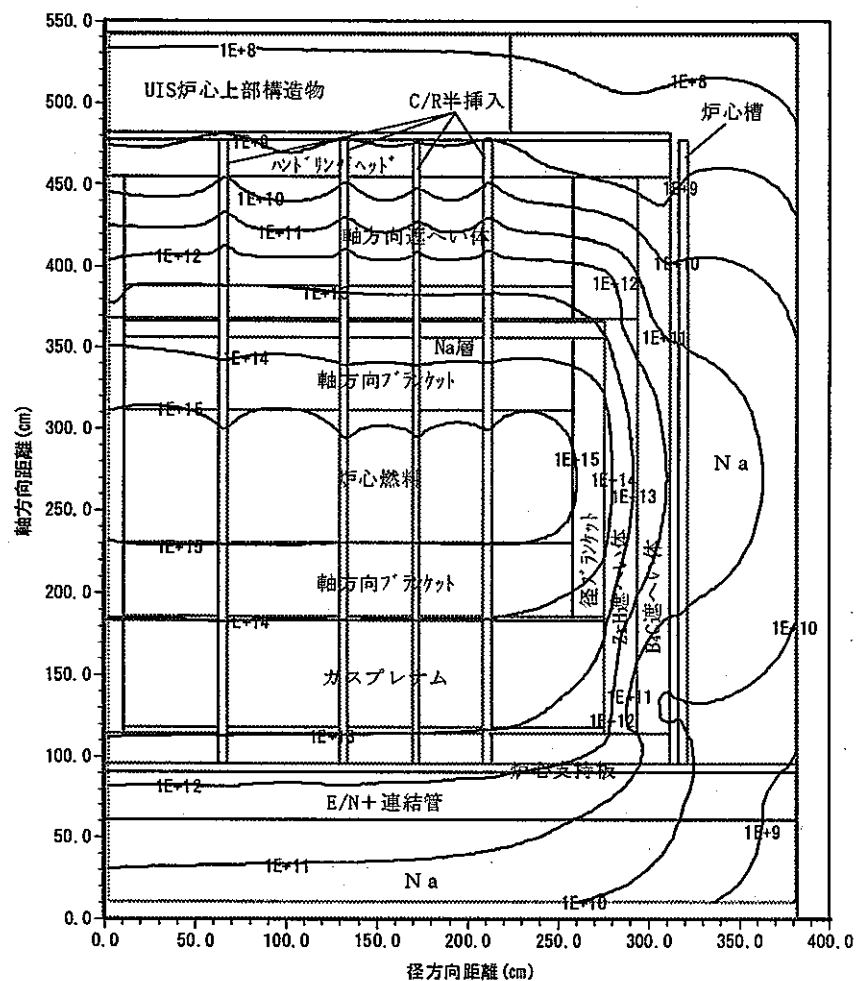
(制御棒全引き抜き、遮蔽体下部延長、  
SUS 遮蔽体 1 層 + B<sub>4</sub>C 遮蔽体 1 層)



ケース⑧解析結果

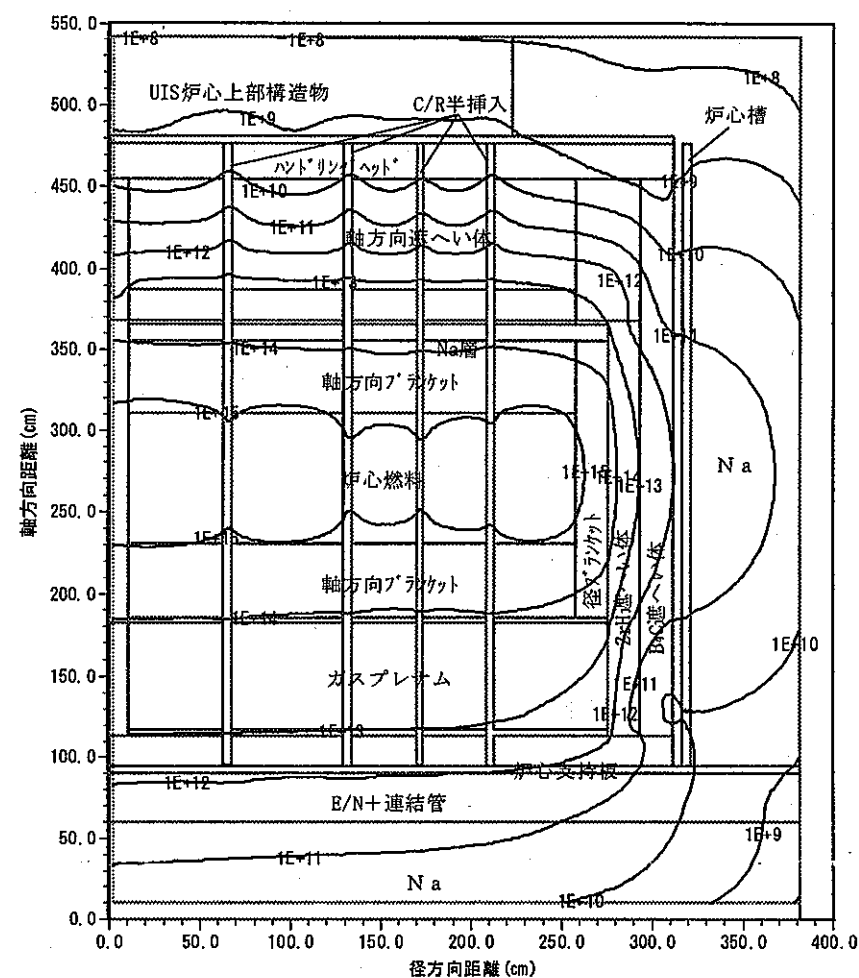
(制御棒全引き抜き、遮蔽体下部延長、  
ZrH<sub>1.6</sub> 遮蔽体 1 層 + B<sub>4</sub>C 遮蔽体 1 層)

図 3.2.5-5 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心 (径方向ブランケット 1 層付) の高速中性子束等高線分布(1/3)



### ケース⑨解析結果

(制御棒半挿入、遮蔽体下部延長、  
ZrH<sub>1.6</sub>遮蔽体 1層+B<sub>4</sub>C遮蔽体 1層)



### ケース⑩解析結果

(制御棒全挿入、遮蔽体下部延長、  
ZrH<sub>1.6</sub>遮蔽体 1層+B<sub>4</sub>C遮蔽体 1層)

図 3.2.5-5 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心 (径方向ブランケット 1 層付) の高速中性子束等高線分布(2/3)



図 3.2.5-5 内部ダクト付集合体を用いた均質炉心（径方向ブランケット 1 層付）の高速中性子束等高線分布 (3/3)

### 3.2.6 まとめ

#### (1) まとめ

電気出力 1,500MWe のナトリウム冷却内部ダクト付大型酸化物燃料均質炉心の概念を設定できた。炉心の最大遮蔽体外接円径は約 6.5m となり、プラント側との取り合いである 6.6m 以内を満足できた。また、ナトリウムボイド反応度も  $5.2 \sim 5.8\% \Delta k/kk'$  程度であり、安全性上の制限目標を満足できた。燃料取出平均燃焼度は 150GWd/t を達成できた。増殖性は設計目標の 1.2 の高増殖性能は得られなかったものの、1.13 程度となった。また、CDF 評価により燃料ピン健全性確保の見通しを得た。

#### (2) 課題

酸化物燃料を用いるナトリウム冷却内部ダクト付大型均質炉心において、上記取出平均燃焼度でナトリウムボイド反応度を 6\$未満にする条件下で、これ以上の増殖性能を得るためには、更なる革新的な要素技術の導入が必要と思われる。

なお、内部ダクトについては、燃料製造性の確認及び熔融燃料排出機能の安全評価・実証試験等による確認が必要と考える。

### 3.3 内部ダクト付集合体を用いた径方向非均質炉心の検討

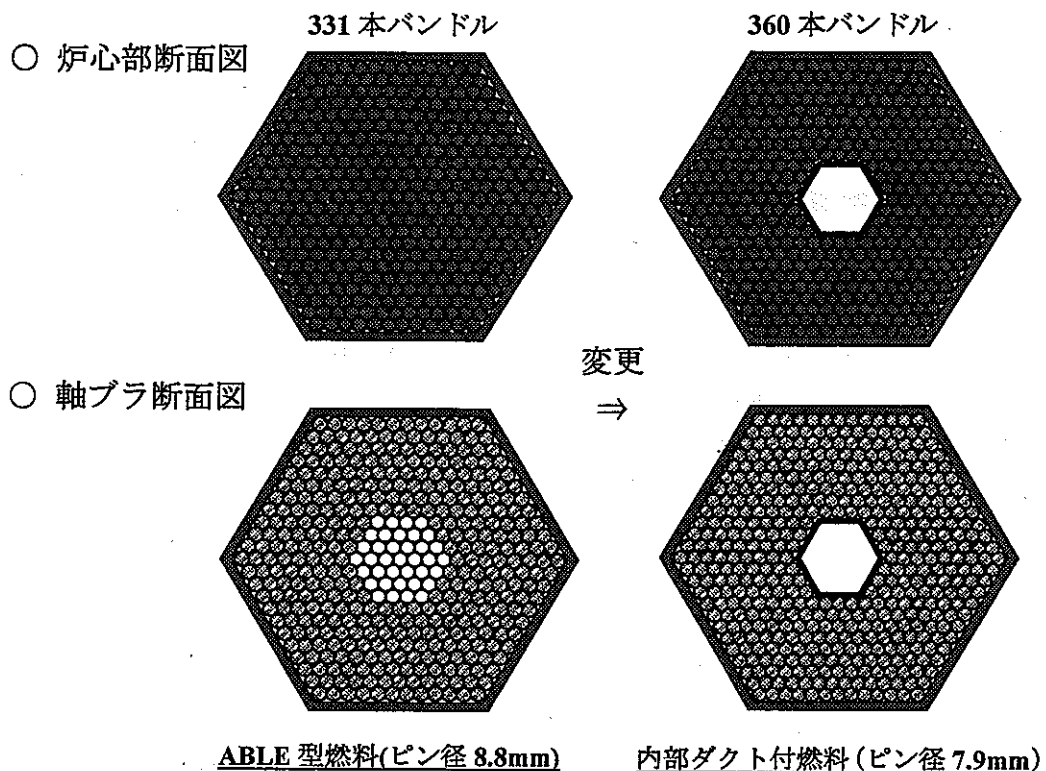
3.2 で示したように、内部ダクト付燃料集合体の採用は燃料体積率が低下するため炉心性能が悪化し、扁平化した均質炉心における増殖比は 1.2 を大きく下回った。

一方、ABLE 型集合体の採用時では 3.1 の検討により、径方向非均質炉心にすると炉心扁平化の必要もなくなり増殖比が 1.24 まで向上するとの結果を得た。

そこで、3.2 で採用した内部ダクト付集合体の概念(図 3.2.1-1)を 3.1 の径方向非均質炉心(図 3.1.1-1)に配置した場合の主な核特性を検討し、径方向非均質炉心における内部ダクト付集合体採用の影響を評価した。

#### 3.3.1 選定炉心配置及び燃料仕様

炉心配置は前記 3.1 の ABLE 型径方向非均質炉心と同一とし、バンドルサイズも同一を前提とした。このため、燃料仕様は集合体中央部に内部ダクト領域を確保しつつ線出力増加を避けるために燃料ピンを細径とし、397 本バンドル配置から中央部 37 本分を削除した 360 本ピンバンドルとして設定した。内部ブランケット、径方向ブランケットは 3.1 の ABLE 型径方向非均質炉心の場合と同一である。すなわち、炉心領域の燃料集合体のみの仕様を下記のように変更して炉心核特性の概要を検討した。



|               | 変更前       |   | 変更後       |
|---------------|-----------|---|-----------|
|               | ABLE 型集合体 |   | 内部ダクト付集合体 |
| ・被覆管外径        | 8.8 mm    | → | 7.9 mm    |
| ・被覆管内径        | 7.6 mm    | → | 6.94 mm   |
| ・被覆管肉厚        | 0.6 mm    | → | 0.48 mm   |
| ・燃料ピン本数       | 331 本     | → | 360 本     |
| ・ピン配列ピッチ      | 10.2 mm   | → | 9.3 mm    |
| ・内部ダクト外対面距離   | (なし)      | → | 56.0 mm   |
| ・燃料体積率(被覆管内側) | 42.9 %    | → | 38.9 %    |

### 3.3.2 核特性評価

炉心特性は、前記 3.1 と同一の手法により 2 次元 RZ 炉心体系での拡散・燃焼計算により、評価した。ピンを細径にしたことにより炉心燃料重量が約 9% 程度減少することから、取出し燃焼度約 15 万 MWd/t を守るために運転日数を短縮して調整した。主な炉心特性として得た結果を以下に比較して示す。

|                 | 径方向非均質炉心の主な炉心特性 |                  |
|-----------------|-----------------|------------------|
|                 | ABLE 型集合体装荷     | 内部ダクト付集合体装荷      |
| ・運転日数           | 570 日(約 19 ヶ月)  | 529 日(約 17.5 ヶ月) |
| ・Pu 富化度         | 25.8 wt%        | 27.9 wt%         |
| ・炉心部取出燃焼度       | 147 GWd/t       | 149 GWd/t        |
| ・燃焼反応度          | 2.1 %Δk/kk'     | 2.4 %Δk/kk'      |
| ・増殖比(BOEC/EOEC) | 1.25/1.22       | 1.23/1.21        |
| ・原子炉倍增時間        | 25 年            | 26 年             |
| ・複合システム倍增時間     | 33 年            | 36 年             |
| ・最大線出力          | 約 430 W/cm      | 約 400 W/cm       |
| ・ボイド反応度         | 5.0 \$          | 4.6 \$           |

上記の比較より、径方向非均質炉心の場合は、内部ブランケットの寄与により増殖性等の炉心性能が向上しているため、ABLE 型集合体を内部ダクト付集合体へ変更しても大幅な増殖比の悪化とはならないとの見通しである。なお、上記結果は炉心配置、バンドルサイズを保存して細径のピン採用により総ピン本数を増しているために線出力が大幅に低減しているものであり、内部ダクト付燃料集合体を前提にピン径、バンドルサイズ、炉心配置等を適正化すれば他の炉心並の線出力とした合理的な炉心も可能である。

### 3.3.3 まとめ

内部ダクト付径方向非均質炉心の主な炉心特性の概略評価を実施した結果、内部ブランケットによる増殖比向上効果が大きいことから、内部ダクト採用による炉心性能の低下度合いは均質炉心ほど大きくはないことがわかった。

しかし、3.2 で述べたような内部ダクト付集合体の製造性、健全性等の開発課題と3.1 で述べたような径方向非均質炉心の熱設計成立性開発課題の双方を合わせ持つ炉心概念であり、実用化のための解決すべき課題は他のナトリウム冷却炉心概念と比べて多い。

### 3.4 まとめ

本章では、実用化戦略調査研究における炉心設計目標として新たに提示された「再臨界回避条件」を満足し、また、経済性向上を目指したプラント設計側との取り合い条件の中で、資源有効利用のための「増殖性確保」が可能な大型酸化物燃料炉心を検討した。

炉心崩壊事象・起因過程における即発臨界を生じないための「炉心部ナトリウムボイド反応度 6\$未満」の目安値を満足するためには、均質2領域炉心では炉心高さを80cm以下に制限する必要がある、その結果として、プルトニウム富化度の上昇と炉心内部転換比の低下を生じた。「再臨界回避条件」では、さらに、炉心熔融時の熔融燃料排出パスを設置することを条件としており、これを完全に適用した内部ダクト付燃料を採用した場合には、燃料体積比の更なる低下により増殖比目標を大きく下回る結果となった。(熔融燃料排出パスを軸ブランケットの一部削除で対応したABLE型燃料でも目標の増殖比1.2を下回る結果となっている。)

「再臨界回避条件」と増殖性確保を両立する概念として検討したABLE型燃料による径方向非均質炉心については、炉心高さを100cmとしても「炉心部ナトリウムボイド反応度 6\$未満」を満足でき、また、増殖性の目標である増殖比1.2を上回ることが可能であることがわかった。さらに、径方向非均質炉心では内部ダクト付燃料を採用した場合でも、燃料体積率低下による増殖比減少の影響は比較的小さいことがわかった。しかし、一方では炉心取出平均燃焼度を15万MWd/tまで高燃焼度化したことにより、炉心部及び内部ブランケットの双方での無駄流量の増加を生じ、燃料被覆管最高温度が従来炉心よりも10℃以上上昇する結果となった。径方向非均質炉心の熱設計成立性を見通すためには、燃料シャフリングを含む設計対応が必要であり、今後で詳細検討を実施する必要があることがわかった。

#### 4. 中型径方向非均質炉心の検討

中型径方向非均質炉心は再臨界回避方策として、溶融燃料の排出を促すために上下軸ブランケットの内側 37 ピンからペレットを削除 (ABLE 概念)、また溶融プール拡大防止を期待して炉心燃料領域を内部ブランケットで円環状に区分している。

この中型径方向非均質炉心について前記 2.2 に示す炉心・燃料設計に対する設計要求及びプラント側との取合条件を満足する炉心・燃料仕様を設定し、炉心・燃料設計等の検討を実施した。

##### 4.1 選定炉心配置及び燃料仕様

中型径方向非均質炉心の炉心・燃料仕様を以下に示す。

|                                |                                               |
|--------------------------------|-----------------------------------------------|
| ・炉心型式                          | 2 領域径方向非均質炉心                                  |
| ・炉心出力                          | 1,190MWth / 500MWe                            |
| ・運転サイクル長さ                      | 約 20 ヶ月                                       |
| ・燃料交換バッチ数                      | 炉心 4/内部ブラ 2/径ブラ 4                             |
| ・炉心部取出平均燃焼度                    | 150GWd/t                                      |
| ・燃料バンドル部圧損                     | 2.3kg/cm <sup>2</sup> (pnc-kfk 式 流量 31.1kg/s) |
| ・炉心等価直径                        | 2.64m                                         |
| ・遮蔽体外接円径                       | 4.05m                                         |
| ・燃料仕様                          | 表 4.1-1 及び図 4.1-1 参照                          |
| ・炉心配置                          | 図 4.1-2 参照                                    |
| ・制御棒仕様                         |                                               |
| 体積割合 (B <sub>4</sub> C/Na/構造材) | 31%/43%/26%                                   |
| <sup>10</sup> B 濃縮度            | 80wt%                                         |

燃料仕様は燃料ピン外径及び被覆管肉厚を大型炉心 (前記 3.1 参照) と同じに設定し、集合体内ピン本数は炉心配置が比較的自由になる 217 本とした。ラップ管肉厚、集合体間ギャップは大型炉心との集合体サイズの違いを考慮して設定した。なお、燃料要素長、ガスプレナム長は炉心高さの変更により、大型炉心と比べて若干大きくなっている。

炉心配置は内部ブランケットのみで出力分布平坦化を行うのは困難であることからプルトニウム富化度を 2 領域炉心とし、内部ブランケット数はボイド反応度が制限目安値未満になるように設定した。制御棒は主炉停止系制御棒を A 系統、B 系統の独立 2 系統とし、従来の後備炉停止系制御棒は排除しており、その仕様 (体積割合、<sup>10</sup>B 濃縮度) はナトリウム冷却酸化物燃料炉心の先行設計例に基づいて設定している。

表 4.1-1-1 中型径方向非均質炉心の燃料仕様

|                |                      | 炉心             | 内部ブランケット       | 径ブランケット        |
|----------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|
| 燃料材料           |                      | 酸化物燃料          | ←              | ←              |
| 炉心材料(被覆管/ラッパ管) |                      | ODS / FMS      | ←              | ←              |
| 燃料要素           | 全長(mm)               | 2,910          | ←              | ←              |
|                | 燃料部スタック長(mm)         | 1,150          | 1,750          | ←              |
|                | 軸ブランケット厚さ(mm; 上/下)*1 | 300 / 300      | -              | -              |
|                | ガスプレナム長(mm; 上/下)     | 100 / 970      | ←              | ←              |
|                | 端栓(mm; 上/中/下)        | 20 / 30 / 40   | ←              | ←              |
|                | 被覆管外径(mm)            | 8.8            | 10.2           | 12.3           |
|                | 被覆管内径(mm)            | 7.6            | 9.2            | 11.3           |
|                | 被覆管肉厚(mm)            | 0.6            | 0.5            | 0.5            |
|                | 燃料スミア密度(%TD)         | 82.0           | 91.4           | ←              |
| 集合体            | 全長(mm)               | 4395           | ←              | ←              |
|                | 燃料ピン本数(本)            | 217            | 169            | 127            |
|                | 燃料ピンピッチ/燃料ピン外径(P/D)  | 1.16           | 1.11           | 1.09           |
|                | ラッパ管肉厚(mm)           | 4.0            | 5.8            | 4.0            |
|                | ラッパ管外対面距離(mm)        | 161.7          | ←              | ←              |
|                | 集合体間ギャップ(mm)         | 2.4            | ←              | ←              |
|                | 集合体配列ピッチ(mm)         | 164.1          | ←              | ←              |
|                | ワイヤ径(mm)             | 1.40           | 1.10           | 1.05           |
|                | ワイヤ巻付ピッチ(mm)         | 200            | ←              | ←              |
|                | 燃料体積割合(%)*2          | 42.2<br>(34.6) | 48.2<br>(44.0) | 54.6<br>(49.9) |
|                | 構造材体積割合(%)           | 25.2           | 25.2           | 19.9           |
|                | 冷却材体積割合(%)           | 32.6           | 26.7           | 25.5           |

\*1: 溶融燃料排出孔として内側37ピンからブランケットペレットを削除

\*2: 被覆管内側、( )内は実効燃料体積割合(=燃料体積割合×燃料スミア密度/100)

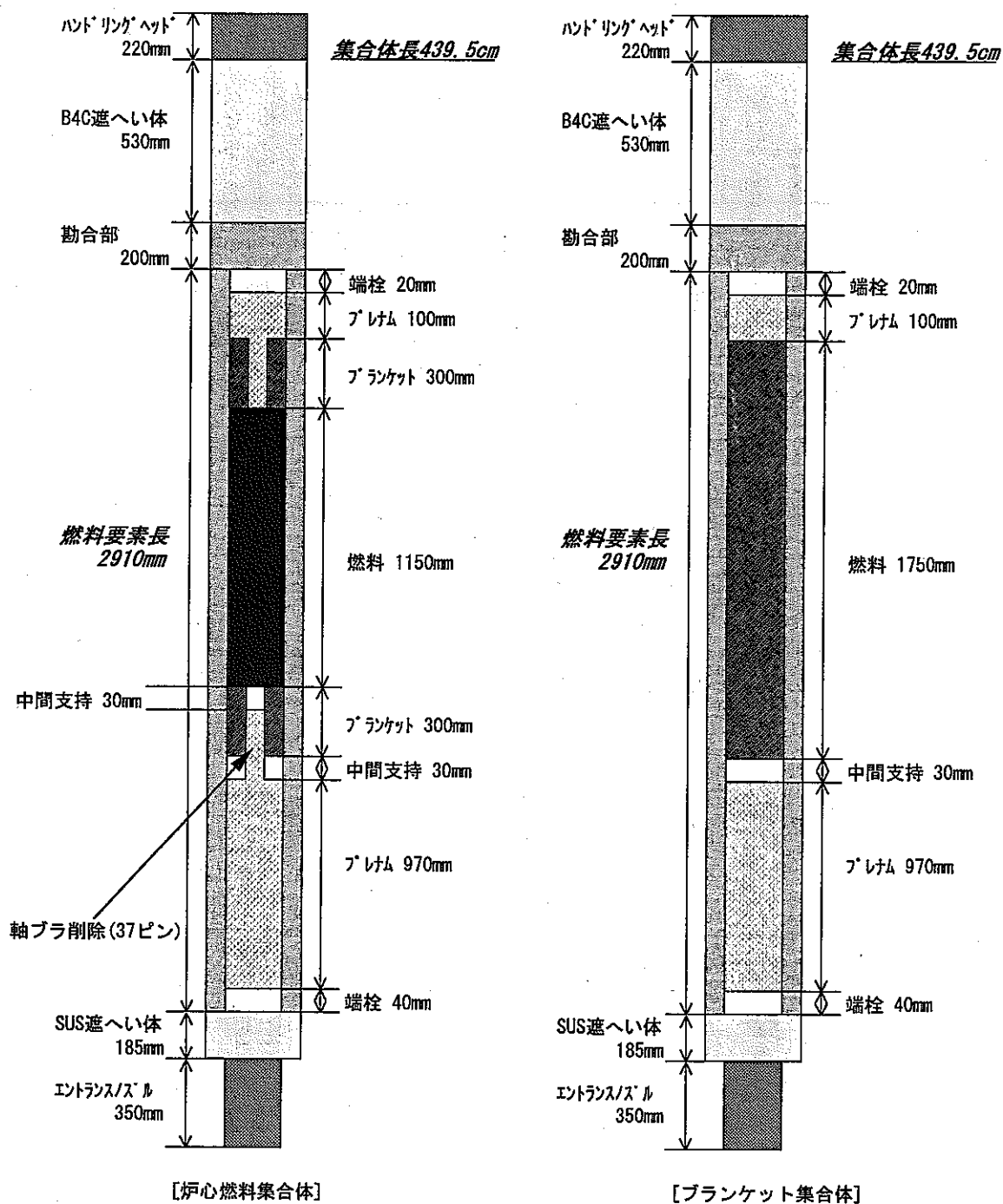
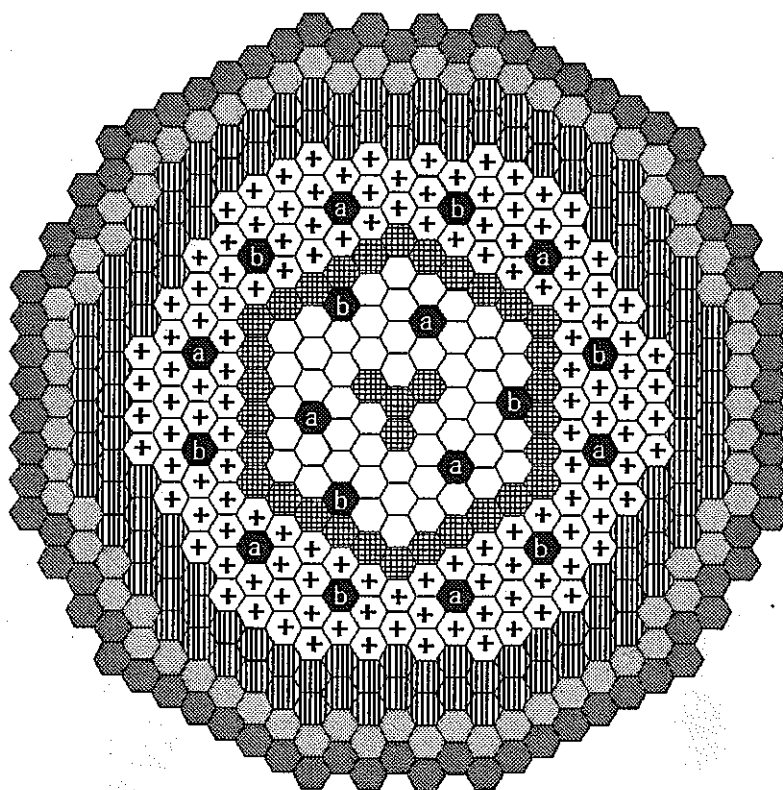


図 4.1-1 中型径方向非均質炉心の燃料集合体軸方向寸法図



|     |               |      |
|-----|---------------|------|
| ○   | 内側炉心燃料集合体     | 51体  |
| +   | 外側炉心燃料集合体     | 132体 |
| ■   | 内部ブランケット燃料集合体 | 34体  |
| ▨   | 径方向ブランケット集合体  | 126体 |
| ●   | SUS遮蔽体        | 72体  |
| ●   | ZrH遮蔽体        | 78体  |
| a   | A系統炉停止制御棒     | 9体   |
| b   | B系統炉停止制御棒     | 9体   |
| 合 計 |               | 511体 |

図 4.1-2 中型径方向非均質炉心の炉心配置

## 4.2 核特性評価

### 4.2.1 炉心燃焼特性

中型径方向非均質炉心の炉心燃焼特性を評価した。

#### (1) 解析条件及び方法

##### (i) 解析条件

燃料組成は前記 2.2.1 に示す基準組成の FBR-多重リサイクル時の TRU+FP (2vol%) 組成を用いて検討した。

##### (ii) 解析方法

炉心燃焼特性は前記 2.3.1 に示す手法で解析した。

#### (2) 解析結果

中型径方向非均質炉心の炉心燃焼特性を表 4.2.1-1 に、領域別物質収支を表 4.2.1-2 に示す。

運転サイクル長さ約 20 ヶ月、4 バッチ燃料交換（内部ブランケットは 2 バッチ燃料交換）で炉心部取出平均燃焼度が 150GWd/t になる。

このときの主な炉心燃焼特性は燃焼反応度が  $2.2\% \Delta k/kk'$ 、増殖比が 1.23、原子炉倍增時間が 28 年になる。また、燃料炉外滞在期間 5 年、燃交・定検期間 35 日（50 万 kWe 級ループ型炉心相当）、炉外核分裂性物質損失率 2% を想定したときの複合システム倍增時間は 35 年になる。従って、炉心・燃料設計に対する設計要求を満足する見通しである。

なお、大型径方向非均質炉心と比較すると、倍增時間がわずかに長くなるものの、その他の特性はほとんど変わらない。

表 4.2.1- 1 中型径方向非均質炉心の炉心燃焼特性

|                                                     |      |                                  |
|-----------------------------------------------------|------|----------------------------------|
| 原子炉熱出力(MWth)                                        |      | 1,190                            |
| 運転サイクル長さ(日)                                         |      | 600                              |
| 燃料交換バッチ[炉心/内部ブラ/径ブラ]                                |      | 4 / 2 / 4                        |
| Pu富化度(wt%)[内側炉心/外側炉心]                               |      | 25.0 / 28.4                      |
| 取出平均燃焼度(GWd/t)[炉心/軸ブラ/内部ブラ/径ブラ/平]                   |      | 150 / 10 / 16 / 6 / 50           |
| 燃焼反応度(% $\Delta k/k'$ )                             |      | 2.2                              |
| 増殖比(-)<br>[炉心/軸ブラ/内部ブラ/径ブラ/合計]                      | 平衡初期 | 0.61 / 0.12 / 0.23 / 0.28 / 1.24 |
|                                                     | 平衡末期 | 0.59 / 0.13 / 0.23 / 0.27 / 1.22 |
|                                                     | 平均   | 0.60 / 0.12 / 0.23 / 0.28 / 1.23 |
| 炉心平均出力密度(W/cc; 平衡中期)                                |      | 175                              |
| 炉心部平均線出力密度(W/cm; 平衡中期)                              |      | 227                              |
| 最大線出力密度(W/cm) *1<br>[内側炉心/外側炉心]                     | 平衡初期 | 427 / 430                        |
|                                                     | 平衡末期 | 372 / 339                        |
| 出力分担率(%)<br>[炉心/軸ブラ/内ブラ/径ブラ]                        | 平衡初期 | 88.7 / 2.2 / 4.4 / 4.7           |
|                                                     | 平衡末期 | 81.9 / 3.2 / 8.6 / 6.3           |
| ピーク高速中性子束( $\times 10^{15}$ n/cm <sup>2</sup> sec)  |      | 2.24                             |
| ピーク高速中性子フルエンス( $\times 10^{23}$ n/cm <sup>2</sup> ) |      | 4.64                             |
| 初装荷核分裂性Pu重量(kg)                                     |      | 2,722                            |
| 平衡サイクル核分裂性Pu重量(kg)                                  | 平衡初期 | 2,819                            |
|                                                     | 平衡末期 | 2,982                            |
| 年間核分裂性Pu利得(kg/年)                                    |      | 99                               |
| 原子炉倍增時間(年)                                          |      | 27                               |
| 複合システム倍增時間(年) *2                                    |      | 35                               |

\*1: 燃焼ミスマッチファクタ及び3次元効果考慮

\*2: 燃料炉外滞在期間 5年、燃交・定検期間 35日、炉外核分裂性物質損失率 2%

表 4.2.1- 2 中型径方向非均質炉心の領域別物質収支  
(高速炉マルチリサイクル組成+FP) [1/2]

| 全炉心合計(炉心+ブランケット)    |         |         |         |        |         |         | 炉心燃料領域合計            |         |         |         |        |        |        |
|---------------------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------------------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|
|                     | 初装荷炉心   | 平衡初期    | 平衡末期    | バランス   | 新燃料投入   | 取出し燃料   |                     | 初装荷炉心   | 平衡初期    | 平衡末期    | バランス   | 新燃料投入  | 取出し燃料  |
| Pu238               | 51.3    | 55.8    | 58.9    | 3.1    | 12.8    | 15.9    | Pu238               | 51.3    | 55.7    | 58.6    | 2.9    | 12.8   | 15.7   |
| Pu239               | 2521.9  | 2610.4  | 2770.2  | 169.8  | 630.6   | 790.3   | Pu239               | 2521.9  | 2160.8  | 1952.8  | -207.9 | 630.6  | 422.6  |
| Pu240               | 1498.3  | 1479.9  | 1475.6  | -4.3   | 374.1   | 369.8   | Pu240               | 1498.3  | 1463.7  | 1434.1  | -29.6  | 374.1  | 344.6  |
| Pu241               | 200.4   | 208.1   | 211.9   | 3.8    | 50.1    | 53.9    | Pu241               | 200.4   | 207.7   | 210.4   | 2.7    | 50.1   | 52.8   |
| Pu242               | 181.8   | 175.7   | 172.0   | -3.7   | 45.6    | 41.8    | Pu242               | 181.8   | 175.7   | 172.0   | -3.7   | 45.6   | 41.7   |
| U235                | 160.3   | 127.7   | 111.9   | -15.8  | 42.0    | 26.2    | U235                | 34.7    | 24.4    | 18.7    | -5.7   | 8.7    | 3.0    |
| U236                | 0.0     | 5.0     | 8.3     | 3.4    | 0.0     | 3.4     | U236                | 0.0     | 2.1     | 3.1     | 1.1    | 0.0    | 1.1    |
| U238                | 49639.1 | 48755.9 | 47892.2 | -893.7 | 13954.5 | 13060.8 | U238                | 11825.5 | 10915.8 | 10514.7 | -401.1 | 2891.4 | 2480.3 |
| Np237               | 23.3    | 21.1    | 20.1    | -0.9   | 5.8     | 4.9     | Np237               | 23.3    | 20.0    | 18.0    | -2.0   | 5.8    | 3.9    |
| Np239               | 0.0     | 3.2     | 4.5     | 1.4    | 0.0     | 1.4     | Np239               | 0.0     | 1.5     | 1.9     | 0.5    | 0.0    | 0.5    |
| Am241               | 93.3    | 88.4    | 85.7    | -2.9   | 23.3    | 20.6    | Am241               | 93.3    | 88.4    | 85.6    | -2.8   | 23.3   | 20.5   |
| Am242               | 0.0     | 3.2     | 4.8     | 1.6    | 0.0     | 1.6     | Am242               | 0.0     | 3.2     | 4.8     | 1.6    | 0.0    | 1.6    |
| Am243               | 46.7    | 47.0    | 47.2    | 0.1    | 11.7    | 11.8    | Am243               | 46.7    | 47.0    | 47.2    | 0.1    | 11.7   | 11.8   |
| Cm242               | 0.0     | 3.6     | 4.9     | 1.2    | 0.0     | 1.2     | Cm242               | 0.0     | 3.6     | 4.8     | 1.2    | 0.0    | 1.2    |
| Cm243               | 0.0     | 0.2     | 0.4     | 0.1    | 0.0     | 0.1     | Cm243               | 0.0     | 0.2     | 0.4     | 0.1    | 0.0    | 0.1    |
| Cm244               | 46.7    | 49.5    | 51.3    | 1.8    | 11.7    | 13.5    | Cm244               | 46.7    | 49.5    | 51.3    | 1.8    | 11.7   | 13.5   |
| Cm245               | 0.0     | 3.8     | 6.0     | 2.1    | 0.0     | 2.1     | Cm245               | 0.0     | 3.8     | 6.0     | 2.1    | 0.0    | 2.1    |
| U235-FP             | 0.0     | 124.5   | 217.6   | 93.0   | 0.0     | 93.0    | U235-FP             | 0.0     | 92.5    | 152.5   | 60.0   | 0.0    | 60.0   |
| U238-FP             | 0.0     | 18.5    | 31.4    | 12.9   | 0.0     | 12.9    | U238-FP             | 0.0     | 8.7     | 13.8    | 4.9    | 0.0    | 4.8    |
| Pu239-FP            | 0.0     | 727.1   | 1216.8  | 489.8  | 0.0     | 489.8   | Pu239-FP            | 0.0     | 698.7   | 1134.4  | 435.7  | 0.0    | 435.7  |
| Pu241-FP            | 0.0     | 224.0   | 377.2   | 153.2  | 0.0     | 153.2   | Pu241-FP            | 0.0     | 223.8   | 376.4   | 152.6  | 0.0    | 152.6  |
| Pu-TOTAL            | 4451.7  | 4529.9  | 4698.6  | 168.7  | 1112.9  | 1211.7  | Pu-TOTAL            | 4451.7  | 4083.5  | 3827.8  | -235.7 | 1112.9 | 877.3  |
| Pu-FISSILE          | 2722.3  | 2818.5  | 2982.1  | 169.8  | 630.6   | 844.2   | Pu-FISSILE          | 2722.3  | 2369.4  | 2163.2  | -205.2 | 630.6  | 475.4  |
| FIS.RATIO (W/O)     | 61.2    | 62.2    | 63.6    | —      | 61.2    | 64.4    | FIS.RATIO (W/O)     | 61.2    | 59.3    | 56.5    | —      | 61.2   | 54.2   |
| Pu-ENRICHMENT (W/O) | 8.1     | 8.4     | 8.9     | —      | 7.3     | 8.8     | Pu-ENRICHMENT (W/O) | 27.4    | 26.7    | 26.2    | —      | 27.4   | 25.7   |
| U-TOTAL             | 50083.4 | 48919.5 | 48012.4 | -906.1 | 13996.5 | 13090.4 | U-TOTAL             | 11560.2 | 10942.3 | 10536.6 | -465.7 | 2891.4 | 2494.4 |
| U235                | 160.3   | 127.7   | 111.9   | -15.8  | 42.0    | 26.2    | U235                | 34.7    | 24.4    | 18.7    | -5.7   | 8.7    | 3.0    |
| U-ENRICHMENT (W/O)  | 0.3     | 0.3     | 0.2     | —      | 0.3     | 0.2     | U-ENRICHMENT (W/O)  | 0.3     | 0.2     | 0.2     | —      | 0.3    | 0.1    |
| TRU-TOTAL           | 210.0   | 220.1   | 224.7   | 4.6    | 52.5    | 57.1    | TRU-TOTAL           | 210.0   | 217.3   | 219.9   | 2.6    | 52.5   | 55.1   |
| Np-TOTAL            | 23.3    | 24.2    | 24.6    | 0.4    | 5.8     | 6.3     | Np-TOTAL            | 23.3    | 21.4    | 19.9    | -1.5   | 5.8    | 4.3    |
| Am-TOTAL            | 140.0   | 138.7   | 137.7   | -1.0   | 35.0    | 34.9    | Am-TOTAL            | 140.0   | 138.7   | 137.6   | -1.1   | 35.0   | 33.9   |
| Cm-TOTAL            | 46.7    | 57.2    | 62.4    | 5.2    | 11.7    | 16.9    | Cm-TOTAL            | 46.7    | 57.2    | 62.4    | 5.2    | 11.7   | 16.9   |
| TRU-RATIO (W/O)     | 0.4     | 0.4     | 0.4     | —      | 0.3     | 0.4     | TRU-RATIO (W/O)     | 1.3     | 1.4     | 1.5     | —      | 1.3    | 1.6    |
| HM-TOTAL            | 54745.0 | 53869.5 | 52925.8 | -742.7 | 15161.9 | 14419.1 | HM-TOTAL            | 16221.9 | 15223.1 | 14584.3 | -638.8 | 4055.5 | 3416.7 |
| FP-TOTAL            | 0.0     | 1094.1  | 1843.0  | 748.9  | 0.0     | 748.9   | FP-TOTAL            | 0.0     | 1023.7  | 1675.9  | 653.2  | 0.0    | 653.2  |
| RE-TOTAL            | 317.6   | 317.6   | 317.6   | 0.0    | 79.4    | 79.4    | RE-TOTAL            | 317.6   | 317.6   | 317.6   | 0.0    | 79.4   | 79.4   |

| 内炉心燃料領域             |        |        |        |        |        |       | 外炉心燃料領域             |         |         |         |        |        |        |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|---------------------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|
|                     | 初装荷炉心  | 平衡初期   | 平衡末期   | バランス   | 新燃料投入  | 取出し燃料 |                     | 初装荷炉心   | 平衡初期    | 平衡末期    | バランス   | 新燃料投入  | 取出し燃料  |
| Pu238               | 13.0   | 14.3   | 15.0   | 0.7    | 3.3    | 4.0   | Pu238               | 38.3    | 41.4    | 43.6    | 2.2    | 9.6    | 11.8   |
| Pu239               | 638.9  | 545.3  | 493.1  | -52.3  | 158.7  | 107.4 | Pu239               | 1883.0  | 1615.4  | 1459.8  | -155.6 | 470.7  | 315.1  |
| Pu240               | 379.1  | 371.3  | 363.6  | -7.8   | 94.8   | 87.1  | Pu240               | 1117.2  | 1092.4  | 1070.4  | -22.0  | 279.3  | 257.3  |
| Pu241               | 50.8   | 54.7   | 56.2   | 1.5    | 12.7   | 14.2  | Pu241               | 149.7   | 153.0   | 154.2   | 1.2    | 37.4   | 38.6   |
| Pu242               | 45.1   | 44.4   | 43.5   | -0.9   | 11.5   | 10.6  | Pu242               | 135.7   | 131.2   | 129.5   | -2.8   | 33.9   | 31.1   |
| U235                | 10.0   | 6.5    | 4.7    | -1.8   | 2.5    | 0.7   | U235                | 24.7    | 17.9    | 14.1    | -3.8   | 6.2    | 2.4    |
| U236                | 0.0    | 0.7    | 1.0    | 0.3    | 0.0    | 0.3   | U236                | 0.0     | 1.4     | 2.1     | 0.7    | 0.0    | 0.7    |
| U238                | 3324.9 | 3105.9 | 2994.5 | -141.3 | 831.2  | 689.9 | U238                | 9200.8  | 7809.9  | 7560.2  | -259.8 | 2050.2 | 1790.4 |
| Np237               | 6.9    | 4.9    | 4.3    | -0.6   | 1.5    | 0.9   | Np237               | 17.4    | 15.1    | 13.7    | -1.4   | 4.4    | 3.0    |
| Np239               | 0.0    | 0.5    | 0.7    | 0.2    | 0.0    | 0.2   | Np239               | 0.0     | 0.9     | 1.2     | 0.3    | 0.0    | 0.3    |
| Am241               | 23.6   | 21.0   | 19.6   | -1.4   | 5.9    | 4.5   | Am241               | 69.7    | 67.4    | 66.0    | -1.4   | 17.4   | 16.0   |
| Am242               | 0.0    | 0.9    | 1.3    | 0.4    | 0.0    | 0.4   | Am242               | 0.0     | 2.3     | 3.5     | 1.2    | 0.0    | 1.2    |
| Am243               | 11.8   | 12.0   | 12.1   | 0.1    | 3.0    | 3.0   | Am243               | 34.8    | 35.1    | 35.1    | 0.1    | 8.7    | 8.8    |
| Cm242               | 0.0    | 1.1    | 1.4    | 0.3    | 0.0    | 0.3   | Cm242               | 0.0     | 2.5     | 3.3     | 0.8    | 0.0    | 0.8    |
| Cm243               | 0.0    | 0.1    | 0.1    | 0.0    | 0.0    | 0.0   | Cm243               | 0.0     | 0.2     | 0.2     | 0.1    | 0.0    | 0.1    |
| Cm244               | 11.8   | 12.8   | 13.5   | 0.6    | 3.0    | 3.6   | Cm244               | 34.8    | 38.7    | 37.9    | 1.2    | 8.7    | 9.9    |
| Cm245               | 0.0    | 1.2    | 1.8    | 0.6    | 0.0    | 0.6   | Cm245               | 0.0     | 2.6     | 4.1     | 1.5    | 0.0    | 1.5    |
| U235-FP             | 0.0    | 30.6   | 50.1   | 19.5   | 0.0    | 19.5  | U235-FP             | 0.0     | 61.9    | 102.4   | 40.5   | 0.0    | 40.5   |
| U238-FP             | 0.0    | 3.0    | 4.6    | 1.6    | 0.0    | 1.6   | U238-FP             | 0.0     | 5.7     | 9.0     | 3.2    | 0.0    | 3.2    |
| Pu239-FP            | 0.0    | 222.0  | 358.7  | 136.7  | 0.0    | 136.7 | Pu239-FP            | 0.0     | 476.6   | 776.7   | 299.1  | 0.0    | 299.1  |
| Pu241-FP            | 0.0    | 70.5   | 118.2  | 47.7   | 0.0    | 47.7  | Pu241-FP            | 0.0     | 153.3   | 250.2   | 104.9  | 0.0    | 104.9  |
| Pu-TOTAL            | 1127.8 | 1030.0 | 971.4  | -58.6  | 281.9  | 223.4 | Pu-TOTAL            | 3323.9  | 3033.5  | 2856.5  | -177.1 | 831.0  | 653.9  |
| Pu-FISSILE          | 699.7  | 600.0  | 549.2  | -50.8  | 172.4  | 121.7 | Pu-FISSILE          | 2032.6  | 1768.4  | 1614.0  | -154.5 | 509.2  | 353.7  |
| FIS.RATIO (W/O)     | 61.2   | 58.3   | 56.5   | —      | 61.2   | 64.5  | FIS.RATIO (W/O)     | 61.2    | 59.3    | 56.5    | —      | 61.2   | 54.1   |
| Pu-ENRICHMENT (W/O) | 25.0   | 24.5   | 24.3   | —      | 25.0   | 24.1  | Pu-ENRICHMENT (W/O) | 28.4    | 27.5    | 27.0    | —      | 28.4   | 26.3   |
| U-TOTAL             | 3334.9 | 3113.0 | 2970.2 | -142.8 | 833.7  | 690.9 | U-TOTAL             | 8225.3  | 7829.2  | 7566.4  | -262.9 | 2050.3 | 1790.5 |
| U235                | 10.0   | 6.5    | 4.7    | -1.8   | 2.5    | 0.7   | U235                | 24.7    | 17.9    | 14.1    | -3.8   | 6.2    | 2.4    |
| U-ENRICHMENT (W/O)  | 0.3    | 0.2    | 0.2    | —      | 0.3    | 0.1   | U-ENRICHMENT (W/O)  | 0.3     | 0.2     | 0.2     | —      | 0.3    | 0.1    |
| TRU-TOTAL           | 53.2   | 54.5   | 54.0   | 0.3    | 13.3   | 13.8  | TRU-TOTAL           | 158.0   | 162.7   | 165.1   | 2.3    | 39.2   | 41.5   |
| Np-TOTAL            | 5.9    | 5.4    | 5.0    | -0.4   | 1.5    | 1.1   | Np-TOTAL            | 17.4    | 16.0    | 14.9    | -1.1   | 4.4    | 3.3    |
| Am-TOTAL            | 35.5   | 33.9   | 33.0   | -0.9   | 8.9    | 8.0   | Am-TOTAL            | 104.5   | 104.8   | 104.6   | -0.2   | 26.1   | 25.9   |
| Cm-TOTAL            | 11.8   | 15.2   | 16.8   | 1.6    | 3.0    | 4.6   | Cm-TOTAL            | 34.8    | 42.0    | 45.6    | 3.8    | 8.7    | 12.3   |
| TRU-RATIO (W/O)     | 1.2    | 1.3    | 1.4    | —      | 1.2    | 1.5   | TRU-RATIO (W/O)     | 1.3     | 1.5     | 1.6     | —      | 1.3    | 1.7    |
| HM-TOTAL            | 4515.9 | 4197.5 | 3996.4 | -201.1 | 1120.0 | 927.9 | HM-TOTAL            | 11706.0 | 11025.5 | 10587.9 | -437.6 | 2926.5 | 2498.9 |
| FP-TOTAL            | 0.0    | 328.2  | 531.8  | 205.4  | 0.0    | 205.4 | FP-TOTAL            | 0.0     | 697.5   | 1146.3  | 447.8  | 0.0    | 447.8  |
| RE-TOTAL            | 88.6   | 88.6   | 88.6   | 0.0    | 22.1   | 22.1  | RE-TOTAL            | 229.1   | 229.1   | 229.1   | 0.0    | 67.3   | 67.3   |

表 4.2.1-2 中型径方向非均質炉心の領域別物質収支  
(高速炉マルチリサイクル組成+FP) [2/2]

| ブランケット領域合計          |         |         |         |        |         |         | 燃料ブランケット領域          |        |        |        |       |        |        |
|---------------------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------------------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
|                     | 初核同炉心   | 平衡初期    | 平衡末期    | バランス   | 新燃料投入   | 取出し燃料   |                     | 初核同炉心  | 平衡初期   | 平衡末期   | バランス  | 新燃料投入  | 取出し燃料  |
| Pu238               | 0.0     | 0.1     | 0.3     | 0.2    | 0.0     | 0.2     | Pu238               | 0.0    | 0.0    | 0.1    | 0.0   | 0.0    | 0.0    |
| Pu239               | 0.0     | 449.8   | 817.4   | 367.7  | 0.0     | 367.7   | Pu239               | 0.0    | 118.5  | 189.5  | 73.0  | 0.0    | 73.0   |
| Pu240               | 0.0     | 16.2    | 41.5    | 25.3   | 0.0     | 25.3    | Pu240               | 0.0    | 4.7    | 9.9    | 5.2   | 0.0    | 5.2    |
| Pu241               | 0.0     | 0.4     | 1.5     | 1.1    | 0.0     | 1.1     | Pu241               | 0.0    | 0.2    | 0.4    | 0.2   | 0.0    | 0.2    |
| Pu242               | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0     | 0.0     | Pu242               | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0    | 0.0    |
| U235                | 115.6   | 103.3   | 93.2    | -10.1  | 33.3    | 23.2    | U235                | 23.7   | 20.6   | 18.6   | -2.0  | 5.9    | 4.0    |
| U238                | 0.0     | 2.9     | 5.2     | 2.3    | 0.0     | 2.3     | U238                | 0.0    | 0.8    | 1.2    | 0.5   | 0.0    | 0.5    |
| U239                | 38407.6 | 37870.1 | 37377.5 | -492.6 | 11073.1 | 10580.5 | U239                | 7889.3 | 7749.4 | 7653.1 | -95.3 | 1972.3 | 1878.0 |
| Np237               | 0.0     | 1.1     | 2.1     | 1.0    | 0.0     | 1.0     | Np237               | 0.0    | 0.3    | 0.5    | 0.2   | 0.0    | 0.2    |
| Np239               | 0.0     | 1.7     | 2.5     | 0.9    | 0.0     | 0.9     | Np239               | 0.0    | 0.4    | 0.5    | 0.1   | 0.0    | 0.1    |
| Am241               | 0.0     | 0.0     | 0.1     | 0.1    | 0.0     | 0.1     | Am241               | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0    | 0.0    |
| Am242               | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0     | 0.0     | Am242               | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0    | 0.0    |
| Am243               | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0     | 0.0     | Am243               | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0    | 0.0    |
| Cm242               | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0     | 0.0     | Cm242               | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0    | 0.0    |
| Cm243               | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0     | 0.0     | Cm243               | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0    | 0.0    |
| Cm244               | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0     | 0.0     | Cm244               | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0    | 0.0    |
| Cm245               | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0     | 0.0     | Cm245               | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0    | 0.0    |
| U235-FP             | 0.0     | 32.0    | 65.1    | 33.0   | 0.0     | 33.0    | U235-FP             | 0.0    | 7.8    | 13.5   | 5.7   | 0.0    | 5.7    |
| U238-FP             | 0.0     | 2.7     | 17.8    | 8.1    | 0.0     | 8.1     | U238-FP             | 0.0    | 2.5    | 4.0    | 1.6   | 0.0    | 1.6    |
| Pu239-FP            | 0.0     | 28.5    | 82.5    | 54.0   | 0.0     | 54.0    | Pu239-FP            | 0.0    | 9.5    | 19.2   | 10.8  | 0.0    | 10.8   |
| Pu241-FP            | 0.0     | 0.2     | 0.8     | 0.6    | 0.0     | 0.6     | Pu241-FP            | 0.0    | 0.1    | 0.2    | 0.1   | 0.0    | 0.1    |
| Pu TOTAL            | 0.0     | 486.4   | 850.8   | 394.4  | 0.0     | 394.4   | Pu TOTAL            | 0.0    | 121.4  | 199.8  | 78.4  | 0.0    | 78.4   |
| Pu FISSILE          | 0.0     | 450.1   | 818.9   | 368.8  | 0.0     | 368.8   | Pu FISSILE          | 0.0    | 115.6  | 189.9  | 73.2  | 0.0    | 73.2   |
| FIS.RATIO (W/O)     | 0.0     | 239.9   | 284.5   | —      | 0.0     | 280.1   | FIS.RATIO (W/O)     | 0.0    | 95.1   | 95.0   | —     | 0.0    | 93.3   |
| Pu ENRICHMENT (W/O) | 0.0     | 1.2     | 2.2     | —      | 0.0     | 3.6     | Pu ENRICHMENT (W/O) | 0.0    | 1.5    | 2.5    | —     | 0.0    | 4.0    |
| U TOTAL             | 38523.2 | 37976.3 | 37475.9 | -500.4 | 11106.4 | 10606.0 | U TOTAL             | 7913.0 | 7770.8 | 7672.9 | -97.8 | 1978.3 | 1880.4 |
| U235                | 115.6   | 103.3   | 93.2    | -10.1  | 33.3    | 23.2    | U235                | 23.7   | 20.6   | 18.6   | -2.0  | 5.9    | 4.0    |
| U ENRICHMENT (W/O)  | 0.9     | 0.8     | 0.7     | —      | 0.9     | 0.6     | U ENRICHMENT (W/O)  | 0.3    | 0.3    | 0.2    | —     | 0.3    | 0.2    |
| TRU TOTAL           | 0.0     | 2.8     | 4.8     | 2.0    | 0.0     | 2.0     | TRU TOTAL           | 0.0    | 0.7    | 1.0    | 0.3   | 0.0    | 0.3    |
| Np TOTAL            | 0.0     | 2.8     | 4.7     | 1.9    | 0.0     | 1.9     | Np TOTAL            | 0.0    | 0.7    | 1.0    | 0.3   | 0.0    | 0.3    |
| Am TOTAL            | 0.0     | 0.0     | 0.1     | 0.1    | 0.0     | 0.1     | Am TOTAL            | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0    | 0.0    |
| Cm TOTAL            | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0     | 0.0     | Cm TOTAL            | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0    | 0.0    |
| TRU.RATIO (W/O)     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | —      | 0.0     | 0.1     | TRU.RATIO (W/O)     | 0.0    | 0.0    | 0.0    | —     | 0.0    | 0.0    |
| HM TOTAL            | 38523.2 | 38445.5 | 38341.4 | -104.1 | 11106.4 | 11002.3 | HM TOTAL            | 7913.0 | 7892.8 | 7873.6 | -19.1 | 1978.3 | 1959.2 |
| FP TOTAL            | 0.0     | 70.4    | 165.1   | 95.8   | 0.0     | 95.8    | FP TOTAL            | 0.0    | 18.9   | 36.9   | 18.1  | 0.0    | 18.1   |
| RE TOTAL            | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0     | 0.0     | RE TOTAL            | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0    | 0.0    |

| 内部ブランケット領域          |        |        |        |        |        |        | 径ブランケット領域           |         |         |         |        |        |        |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|
|                     | 初核同炉心  | 平衡初期   | 平衡末期   | バランス   | 新燃料投入  | 取出し燃料  |                     | 初核同炉心   | 平衡初期    | 平衡末期    | バランス   | 新燃料投入  | 取出し燃料  |
| Pu238               | 0.0    | 0.0    | 0.1    | 0.1    | 0.0    | 0.1    | Pu238               | 0.0     | 0.1     | 0.1     | 0.0    | 0.0    | 0.1    |
| Pu239               | 0.0    | 72.5   | 197.7  | 125.1  | 0.0    | 125.1  | Pu239               | 0.0     | 260.6   | 430.2   | 169.6  | 0.0    | 169.6  |
| Pu240               | 0.0    | 3.0    | 13.5   | 10.5   | 0.0    | 10.5   | Pu240               | 0.0     | 8.5     | 18.1    | 9.6    | 0.0    | 9.6    |
| Pu241               | 0.0    | 0.1    | 0.6    | 0.5    | 0.0    | 0.5    | Pu241               | 0.0     | 0.2     | 0.6     | 0.3    | 0.0    | 0.3    |
| Pu242               | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | Pu242               | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| U235                | 17.7   | 15.8   | 12.4   | -3.4   | 8.9    | 5.4    | U235                | 74.1    | 66.9    | 62.2    | -4.7   | 18.5   | 13.8   |
| U238                | 0.0    | 0.4    | 1.2    | 0.8    | 0.0    | 0.8    | U238                | 0.0     | 1.7     | 2.8     | 1.1    | 0.0    | 1.1    |
| U239                | 5884.8 | 5793.3 | 5612.9 | -180.4 | 2942.4 | 2762.0 | U239                | 24633.5 | 24327.3 | 24111.4 | -215.9 | 6158.4 | 5942.5 |
| Np237               | 0.0    | 0.2    | 0.7    | 0.4    | 0.0    | 0.4    | Np237               | 0.0     | 0.6     | 1.0     | 0.4    | 0.0    | 0.4    |
| Np239               | 0.0    | 0.5    | 0.9    | 0.5    | 0.0    | 0.5    | Np239               | 0.0     | 0.8     | 1.1     | 0.3    | 0.0    | 0.3    |
| Am241               | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | Am241               | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| Am242               | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | Am242               | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| Am243               | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | Am243               | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| Cm242               | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | Cm242               | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| Cm243               | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | Cm243               | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| Cm244               | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | Cm244               | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| Cm245               | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | Cm245               | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| U235-FP             | 0.0    | 7.3    | 21.6   | 14.3   | 0.0    | 14.3   | U235-FP             | 0.0     | 17.0    | 30.0    | 13.0   | 0.0    | 13.0   |
| U238-FP             | 0.0    | 1.6    | 4.5    | 2.8    | 0.0    | 2.8    | U238-FP             | 0.0     | 5.6     | 9.3     | 3.7    | 0.0    | 3.7    |
| Pu239-FP            | 0.0    | 4.2    | 27.0   | 22.7   | 0.0    | 22.7   | Pu239-FP            | 0.0     | 15.8    | 36.3    | 20.6   | 0.0    | 20.6   |
| Pu241-FP            | 0.0    | 0.0    | 0.3    | 0.3    | 0.0    | 0.3    | Pu241-FP            | 0.0     | 0.1     | 0.3     | 0.2    | 0.0    | 0.2    |
| Pu TOTAL            | 0.0    | 75.7   | 211.9  | 135.3  | 0.0    | 135.3  | Pu TOTAL            | 0.0     | 280.2   | 449.0   | 178.7  | 0.0    | 178.7  |
| Pu FISSILE          | 0.0    | 72.6   | 198.3  | 125.7  | 0.0    | 125.7  | Pu FISSILE          | 0.0     | 260.6   | 430.8   | 170.0  | 0.0    | 170.0  |
| FIS.RATIO (W/O)     | 0.0    | 96.0   | 93.6   | —      | 0.0    | 92.2   | FIS.RATIO (W/O)     | 0.0     | 95.8    | 95.9    | —      | 0.0    | 94.6   |
| Pu ENRICHMENT (W/O) | 0.0    | 1.3    | 3.6    | —      | 0.0    | 4.7    | Pu ENRICHMENT (W/O) | 0.0     | 1.1     | 1.8     | —      | 0.0    | 2.9    |
| U TOTAL             | 5902.5 | 5809.6 | 5620.5 | -183.1 | 2951.2 | 2768.2 | U TOTAL             | 24707.7 | 24398.0 | 24176.5 | -219.5 | 6176.9 | 5957.4 |
| U235                | 17.7   | 15.8   | 12.4   | -3.4   | 8.9    | 5.4    | U235                | 74.1    | 66.9    | 62.2    | -4.7   | 18.5   | 13.8   |
| U ENRICHMENT (W/O)  | 0.3    | 0.3    | 0.2    | —      | 0.3    | 0.2    | U ENRICHMENT (W/O)  | 0.3     | 0.3     | 0.3     | —      | 0.3    | 0.2    |
| TRU TOTAL           | 0.0    | 0.7    | 1.6    | 0.9    | 0.0    | 0.9    | TRU TOTAL           | 0.0     | 1.4     | 2.2     | 0.8    | 0.0    | 0.8    |
| Np TOTAL            | 0.0    | 0.7    | 1.6    | 0.9    | 0.0    | 0.9    | Np TOTAL            | 0.0     | 1.4     | 2.1     | 0.7    | 0.0    | 0.7    |
| Am TOTAL            | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | Am TOTAL            | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| Cm TOTAL            | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | Cm TOTAL            | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| TRU.RATIO (W/O)     | 0.0    | 0.0    | 0.0    | —      | 0.0    | 0.0    | TRU.RATIO (W/O)     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | —      | 0.0    | 0.0    |
| HM TOTAL            | 5902.5 | 5809.6 | 5640.0 | -46.9  | 2951.2 | 2905.3 | HM TOTAL            | 24707.7 | 24666.7 | 24627.7 | -39.1  | 6176.9 | 6137.8 |
| FP TOTAL            | 0.0    | 13.2   | 53.3   | 40.2   | 0.0    | 40.2   | FP TOTAL            | 0.0     | 38.5    | 76.9    | 37.4   | 0.0    | 37.4   |
| RE TOTAL            | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | RE TOTAL            | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |

#### 4.2.2 反応度係数

中型径方向非均質炉心の反応度係数及び動特性パラメータを評価した。

##### (1) 解析条件及び方法

###### (i) 解析条件

燃料組成は前記 2.2.1 に示す基準組成の FBR-多重リサイクル時の TRU+FP (2vol%) 組成を用いて検討した。

###### (ii) 解析方法

反応度係数は前記 2.3.1 に示す手法で解析した。

##### (2) 解析結果

###### (i) 反応度係数

非均質モデルによる平衡サイクル末期の反応度係数を表 4.2.2-1 に示す。

ナトリウムボイド反応度は炉心部が 5.0\$, 炉心部とブランケット部の合計が 5.5\$ になる。燃料密度係数は炉心部が  $3.0 \times 10^{-1} \Delta k/kk' / \Delta \rho / \rho$ 、炉心部とブランケット部の合計が  $2.9 \times 10^{-1} \Delta k/kk' / \Delta \rho / \rho$  になる。構造材密度係数は炉心部が  $-7.1 \times 10^{-2} \Delta k/kk' / \Delta \rho / \rho$ 、炉心部とブランケット部の合計が  $-8.6 \times 10^{-2} \Delta k/kk' / \Delta \rho / \rho$  になる。ドップラ係数は炉心部で通常時が  $-3.3 \times 10^{-3} Tdk/dT$ 、ボイド時が  $-2.5 \times 10^{-3} Tdk/dT$  になる。また、炉心部とブランケット部の合計は通常時が  $-6.0 \times 10^{-3} Tdk/dT$ 、ボイド時が  $-5.1 \times 10^{-3} Tdk/dT$  になる。従って、炉心部ナトリウムボイド反応度は設計要求の 6\$ 未満を満足する。

一方、均質モデルによるナトリウムボイド反応度、ドップラ係数を表 4.2.2-2 に示す。

ナトリウムボイド反応度は炉心部が平衡サイクル初期で 4.8\$, 平衡サイクル末期で 5.4\$ に、炉心部と内部ブランケット部の合計が平衡サイクル初期で 6.0\$, 平衡サイクル末期で 6.7\$ になる。また、ドップラ係数は炉心部が平衡サイクル初期で  $-4.0 \times 10^{-3} Tdk/dT$ 、平衡サイクル末期で  $-3.9 \times 10^{-3} Tdk/dT$  に、炉心部とブランケット部の合計が平衡サイクル初期で  $-6.4 \times 10^{-3} Tdk/dT$ 、平衡サイクル末期で  $-6.6 \times 10^{-3} Tdk/dT$  になる。

従って、表 4.2.2-2 に示すように非均質モデルは均質モデルと比べて炉心部ボイド反応度が 9% 程度、炉心部ドップラ係数の絶対値が 15% 程度小さくなる。なお、非均質モデルでドップラ係数評価時に燃料温度と構造材温度をあわせて変化させると均質モデルに比べて絶対値は 5% 程度大きくなる。

###### (ii) 動特性パラメータ

均質モデルによる平衡サイクル末期の動特性パラメータ解析結果を表 4.2.2-4 に示す。

遅発中性子発生割合は  $3.3 \times 10^{-3}$ 、即発中性子寿命は  $3.6 \times 10^{-7} \text{sec}$  になる。

表 4.2.2- 1 中型径方向非均質炉心の反応度係数（平衡サイクル末期；非均質モデル）

[70群厳密摂動計算(非均質ピンセルモデル)]

| 領域         | ボイド反応度 *1<br>(\$) | 燃料密度係数 *2<br>( $\Delta k/k' / \Delta \rho / \rho$ ) | 構造材密度係数 *2<br>( $\Delta k/k' / \Delta \rho / \rho$ ) | ドップラ係数 *3<br>[通常時]( $Tdk/dT$ ) | ドップラ係数 *3<br>[ホイト時]( $Tdk/dT$ ) |
|------------|-------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 内側炉心       | 2.69              | 1.14E-01                                            | -3.53E-02                                            | -1.56E-03                      | -1.22E-03                       |
| 外側炉心       | 2.27              | 1.89E-01                                            | -3.53E-02                                            | -1.72E-03                      | -1.29E-03                       |
| 炉心部合計      | 4.96              | 3.021E-01                                           | -7.055E-02                                           | -3.279E-03                     | -2.508E-03                      |
| 下部軸ブランケット  | -0.13             | 6.89E-04                                            | 5.37E-04                                             | -2.67E-04                      | -2.76E-04                       |
| 上部軸ブランケット  | -0.17             | 1.39E-03                                            | 1.42E-03                                             | -7.57E-05                      | -7.90E-05                       |
| 軸ブランケット合計  | -0.30             | 2.08E-03                                            | 1.95E-03                                             | -3.43E-04                      | -3.55E-04                       |
| 内部ブランケット合計 | 1.12              | -1.92E-02                                           | -1.95E-02                                            | -1.90E-03                      | -1.74E-03                       |
| 径ブランケット合計  | -0.26             | 2.38E-03                                            | 2.41E-03                                             | -4.90E-04                      | -4.96E-04                       |
| 合計         | 5.52              | 2.87E-01                                            | -8.57E-02                                            | -6.02E-03                      | -5.10E-03                       |

\*1: ラッパ管内側相当のNaをボイド化したときの反応度変化、 $\beta=0.00330$ 

\*2: 燃料または構造材密度を10%変化させたときの反応度変化

\*3: 燃料領域のみの温度を+500℃変化させたときの反応度変化

[注記]

断面積作成時の温度条件

炉心領域(燃料 1373.15K, 構造材及び冷却材 703.15K)、ブランケット領域(燃料 1073.15K, 構造材及び冷却材 703.15K)

表 4.2.2-2 中型径非均質酸化物燃料炉心の  
ボイド反応度、ドップラ係数（均質モデル）

－ ナトリウムボイド反応度[70群直接計算]－

[\$]

| 領域 *1       | 平衡サイクル初期 *3 | 平衡サイクル末期 *3 |
|-------------|-------------|-------------|
| 内側炉心        | 2.33        | 2.86        |
| 外側炉心        | 2.43        | 2.58        |
| 炉心部合計       | 4.77        | 5.44        |
| 内部ブランケット *2 | 1.20        | 1.28        |
| 合計          | 5.96        | 6.72        |

\*1: ラッパ管内側のみボイド化

\*2: 上下軸ブランケット相当領域は非ボイド

\*3: 平衡サイクル初期、末期とも  $\beta = 0.00330$  で計算

－ ドップラ係数[70群直接計算]－

$[\times 10^{-3} \text{ Tdk/dT}]$

| 領域 *1    | 平衡サイクル初期 | 平衡サイクル末期 |
|----------|----------|----------|
| 内側炉心     | -1.64    | -1.72    |
| 外側炉心     | -2.38    | -2.15    |
| 炉心部合計    | -4.02    | -3.87    |
| 軸ブランケット  | -0.31    | -0.26    |
| 内部ブランケット | -1.61    | -1.86    |
| 径ブランケット  | -0.51    | -0.63    |
| 合計       | -6.44    | -6.62    |

\*1: 基準温度に対して+500°Cで計算（各領域の構造材、冷却材を含む）

[注記]

断面積作成時の温度条件

炉心領域(燃料 1373.15K, 構造材及び冷却材 1373.15K)

ブランケット領域(燃料 1073.15K, 構造材及び冷却材 1073.15K)

表 4.2.2-3 中型径方向非均質炉心における均質モデルと非均質モデルの反応度特性の差（平衡サイクル末期）

| 領域         | ボイド反応度 *1    |               |                | ドップラ係数 *2                             |                                        |                |
|------------|--------------|---------------|----------------|---------------------------------------|----------------------------------------|----------------|
|            | 均質<br>(\$;a) | 非均質<br>(\$;b) | 差<br>(%;b/a-1) | 均質<br>( $\times 10^{-3}T_{dk}/dT$ ;a) | 非均質<br>( $\times 10^{-3}T_{dk}/dT$ ;b) | 差<br>(%;b/a-1) |
| 内側炉心       | 2.86         | 2.69          | -6.1           | -1.72                                 | -1.56                                  | -9.3           |
| 外側炉心       | 2.58         | 2.27          | -11.7          | -2.15                                 | -1.72                                  | -20.0          |
| 炉心部合計      | 5.44         | 4.96          | -8.8           | -3.87                                 | -3.28                                  | -15.2          |
| 下部軸ブランケット  | -            | -0.13         | -              | -                                     | -0.27                                  | -              |
| 上部軸ブランケット  | -            | -0.17         | -              | -                                     | -0.08                                  | -              |
| 軸ブランケット合計  | -            | -0.30         | -              | -0.26                                 | -0.34                                  | 31.1           |
| 内部ブランケット合計 | 1.28         | 1.12          | -12.0          | -1.86                                 | -1.90                                  | 2.2            |
| 径ブランケット合計  | -            | -0.26         | -              | -0.63                                 | -0.49                                  | -22.4          |
| 合計         | -            | 5.52          | -              | -6.62                                 | -6.02                                  | -9.2           |

\*1: 基準ケースに対しラッパ管内側のみボイド化して計算、 $\beta = 0.00330$ 

\*2: 基準ケースに対し+500°Cを変化させて計算（非均質計算の場合は燃料領域のみの温度を+500°C）

[注記]

断面積作成時の温度条件

均質計算 : 炉心領域(燃料 1373.15K, 構造材及び冷却材 1373.15K)、ブランケット領域(燃料 1073.15K, 構造材及び冷却材 1073.15K)

非均質計算: 炉心領域(燃料 1373.15K, 構造材及び冷却材 703.15K)、ブランケット領域(燃料 1073.15K, 構造材及び冷却材 703.15K)

表 4.2.2- 4 中型径方向非均質炉心における動特性パラメータ  
(平衡サイクル末期)

遅発中性子発生割合[18群一次摂動計算]

| DELAYED FAMILY No | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 合計       |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Pu-239            | 4.15E-05 | 3.28E-04 | 2.48E-04 | 3.80E-04 | 1.17E-04 | 4.06E-05 | 1.16E-03 |
| Pu-240            | 6.80E-06 | 7.10E-05 | 4.88E-05 | 8.98E-05 | 3.25E-05 | 7.46E-06 | 2.56E-04 |
| Pu-241            | 3.48E-06 | 8.56E-05 | 6.32E-05 | 1.43E-04 | 6.61E-05 | 5.89E-06 | 3.68E-04 |
| Pu-242            | 1.81E-07 | 9.48E-06 | 7.65E-06 | 1.97E-05 | 1.03E-05 | 4.79E-07 | 4.78E-05 |
| U-235             | 1.77E-06 | 1.07E-05 | 9.31E-06 | 2.03E-05 | 6.30E-06 | 1.29E-06 | 4.97E-05 |
| U-238             | 1.75E-05 | 1.98E-04 | 2.30E-04 | 5.52E-04 | 3.17E-04 | 1.07E-04 | 1.42E-03 |
| 合計                | 7.12E-05 | 7.03E-04 | 6.06E-04 | 1.21E-03 | 5.50E-04 | 1.63E-04 | 3.30E-03 |

即発中性子寿命[18群一次摂動計算]

| エネルギー群 | NEUTRON VELOCITY(cm/sec) | LIFE TIME(sec) |
|--------|--------------------------|----------------|
| 1      | 3.94E+09                 | 1.34E-10       |
| 2      | 3.03E+09                 | 6.86E-10       |
| 3      | 2.36E+09                 | 2.11E-09       |
| 4      | 1.84E+09                 | 3.75E-09       |
| 5      | 1.43E+09                 | 5.11E-09       |
| 6      | 1.06E+09                 | 1.73E-08       |
| 7      | 7.27E+08                 | 2.74E-08       |
| 8      | 4.99E+08                 | 3.97E-08       |
| 9      | 3.43E+08                 | 4.59E-08       |
| 10     | 2.36E+08                 | 4.71E-08       |
| 11     | 1.62E+08                 | 4.54E-08       |
| 12     | 1.11E+08                 | 3.20E-08       |
| 13     | 7.66E+07                 | 1.74E-08       |
| 14     | 5.26E+07                 | 3.85E-08       |
| 15     | 3.62E+07                 | 2.33E-08       |
| 16     | 2.49E+07                 | 8.77E-09       |
| 17     | 1.71E+07                 | 3.43E-09       |
| 18     | 6.96E+06                 | 4.09E-09       |
| SUM    | -                        | 3.62E-07       |

### 4.2.3 制御棒反応度収支

中型径方向非均質炉心の制御棒価値を評価し、制御棒設計の成立性を検討した。

#### (1) 解析条件及び方法

##### (i) 解析条件

燃料組成は前記 2.2.1 に示す基準組成の FBR-多重リサイクル時の TRU+FP (2vol%) 組成を用いて検討した。

制御棒価値評価時に着目した制御棒位置を図 4.2.3-1 に示す。制御棒の反応度制御能力は 2 系統及び 1 系統ともワンロッドスタック条件で低温停止までの反応度変化を制御するものとした。

##### (ii) 解析方法

制御棒反応度収支は前記 2.3.1 に示す手法で解析した。

#### (2) 解析結果

##### (i) 制御棒価値 (ノミナル計算値)

制御棒価値及び最大価値制御棒誤引抜時の反応度変化を表 4.2.3-1 に示す。

制御棒の全引抜状態 (パーク位置) から全挿入状態 (炉心部下端) までの制御棒価値は 2 系統全数挿入時が  $17.2\% \Delta k/kk'$ 、A 系統のみ全数挿入時 (B 系統全引抜) が  $7.9\% \Delta k/kk'$ 、B 系統のみ全数挿入時 (A 系統全引抜) が  $6.9\% \Delta k/kk'$  になる。また、最大価値制御棒 (集合体 No.140) のワンロッドスタック条件での制御棒価値が  $12.2\% \Delta k/kk'$  になる。

制御棒の 50cm 均等挿入状態 (定格運転時の制御棒挿入量) から全挿入状態までのワンロッドスタック条件での制御棒価値は、A 系統が  $4.4\% \Delta k/kk'$  (No.140 制御棒、B 系統制御棒; 50cm 挿入)、B 系統が  $3.9\% \Delta k/kk'$  (No.137 制御棒、A 系統制御棒; 50cm 挿入) になる。

全制御棒 50cm 均等挿入状態から最大価値制御棒 (No.140) をパーク位置まで引抜いたときの反応度変化は  $0.4\% \Delta k/kk'$  になる。

なお、定格運転時の制御棒挿入量は以下の考え方にに基づき設定した。

○定格時に制御すべき反応度 (表 4.2.3-2 参照)

温度・出力補償を除く計画余剰反応度

;  $3.6\% \Delta k/kk'$

最大余剰反応

;  $0.6\% \Delta k/kk'$

合計

;  $4.2\% \Delta k/kk'$

○定格運転時の制御棒挿入量

各種補正、設計予測誤差を考慮したときに制御すべき反応度

;  $5.5\% \Delta k/kk'$  ( $4.2/0.845/0.9$ )

50cm 均等挿入時の制御価値 ;  $5.5\% \Delta k/kk'$

→ 定格運転時の制御棒挿入量を 50cm に設定。

## (ii) 制御棒反応度収支 (ワンロッドスタック条件)

ワンロッドスタック条件での制御棒反応度収支を表 4.2.3-2 に示す。

必要制御反応度は 2 系統の場合が  $5.0\% \Delta k/k'$ 、1 系統の場合が  $1.4\% \Delta k/k'$  になる。これに対し各種補正、設計予測誤差を考慮した制御棒価値は 2 系統場合が  $9.3\% \Delta k/k'$ 、1 系統の場合は A 系統が  $3.3\% \Delta k/k'$ 、B 系統が  $3.0\% \Delta k/k'$  になる。従って反応度停止余裕は主炉停止系制御棒 2 系統の場合が  $4.3\% \Delta k/k'$ 、1 系統の場合は A 系統が  $2.0\% \Delta k/k'$ 、B 系統が  $1.6\% \Delta k/k'$  になり、十分な停止余裕を有することを確認した。

なお、表中の必要制御反応度及び制御棒価値はナトリウム冷却酸化物燃料炉心の先行設計例<sup>[1]</sup>の考え方に基づいて暫定的に設定したものである。

- ① 温度・出力補償  
先行設計例の値にドップラ係数の違いを考慮して設定。
- ② 事故時投入反応度  
先行設計例の考え方に基づき定格運転時に制御している反応度と誤引抜制御棒 1 体の反応度分担率から設定。
- ③ 燃料製作公差  
先行設計例の考え方に基づき「もんじゅ」Pu 富化度の製作公差 ( $0.6\text{wt}\%$ ) を基に反応度の不確かさを計算して設定。
- ④ 臨界性予測誤差  
試験、実績等で不確かさが明確になること、及び固定吸収体の装荷で吸収できることから  $1\sigma$  レベルを設定。
- ⑤ 各種補正係数  
制御棒価値に対し群縮約効果、ランピング (吸収体中心偏在) 効果、輸送理論効果を  $15.5\%$  補正。
- ⑥ 設計予測誤差  
制御棒価値に対し  $10\%$  補正

表 4.2.3- 1 制御棒価値及び最大価値制御棒誤引抜時の反応度変化  
(平衡サイクル初期 ; ノミナル計算値)

//MOSES三角メッシュ計算//

| 制御棒位置                                    | 制御棒価値(% $\Delta k/kk'$ ) |                     |
|------------------------------------------|--------------------------|---------------------|
|                                          | 全引抜状態からの制御棒価値            | 50cm挿入状態 *1からの制御棒価値 |
| A系統、B系統制御棒:パーク位置(全引き抜き)                  | -                        | -                   |
| A系統、B系統制御棒:制御棒全挿入                        | <u>17.2</u>              | -                   |
| A系統制御棒:全挿入<br>B系統制御棒:パーク位置(全引抜)          | <u>7.9</u>               | -                   |
| B系統制御棒:全挿入<br>A系統制御棒:パーク位置(全引抜)          | <u>6.9</u>               | -                   |
| No. 24制御棒:パーク位置<br>他のA系統、B系統制御棒:全挿入      | 14.5                     | -                   |
| No. 40制御棒:パーク位置<br>他のA系統、B系統制御棒:全挿入      | 15.7                     | -                   |
| No.130制御棒:パーク位置<br>他のA系統、B系統制御棒:全挿入      | 12.8                     | -                   |
| No.133制御棒:パーク位置<br>他のA系統、B系統制御棒:全挿入      | 13.0                     | -                   |
| No.137制御棒:パーク位置<br>他のA系統、B系統制御棒:全挿入      | 12.5                     | -                   |
| No.140制御棒:パーク位置<br>他のA系統、B系統制御棒:全挿入      | <u>12.2</u>              | -                   |
| A系統、B系統制御棒:50cm挿入 *1                     | 5.5                      | -                   |
| No.137制御棒,全A系統制御棒:50cm挿入<br>他のB系統制御棒:全挿入 | 9.4                      | <u>3.9</u>          |
| No.140制御棒,全B系統制御棒:50cm挿入<br>他のA系統制御棒:全挿入 | 9.9                      | <u>4.4</u>          |
| No.140制御棒:パーク位置<br>他のA系統、B系統制御棒:50cm挿入   | 5.0                      | <u>0.4</u>          |

\*1:定格運転時の制御棒挿入量

各種補正、設計予測誤差を考慮したときに温度・出力補償を除く計画余剰反応度、  
最大余剰反応度(約4.2% $\Delta k/kk'$ )を制御できる挿入量。

表 4.2.3- 2 中型径方向非均質炉心の制御棒反応度収支

[平衡サイクル初期 ワンロッドスタック条件]

(% $\Delta k/k'$ )

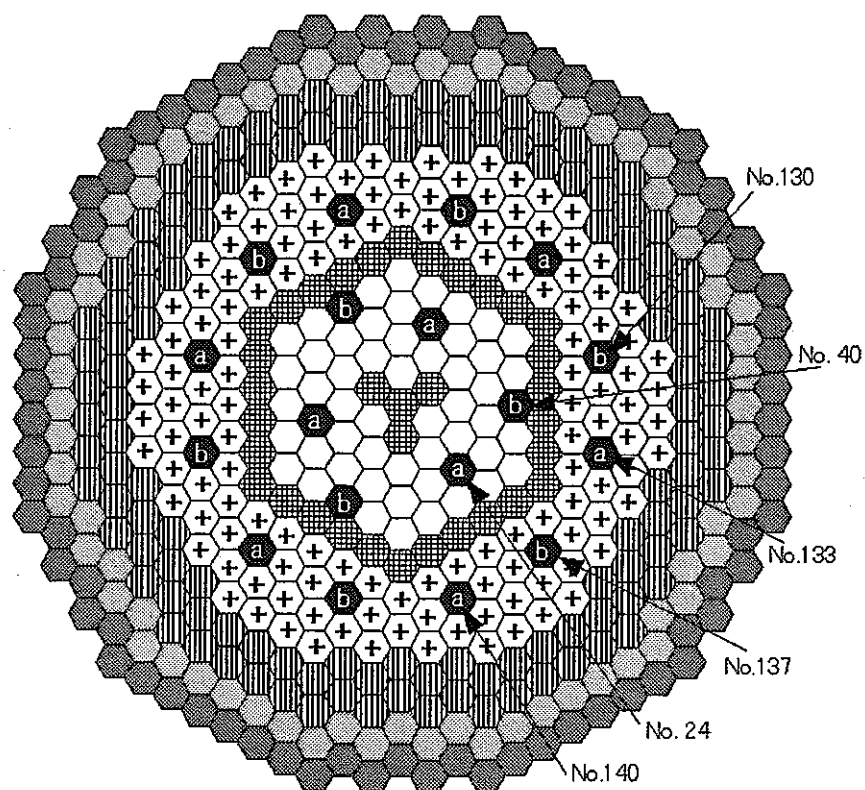
| 項目                                            | 主炉停止系 |     |     |
|-----------------------------------------------|-------|-----|-----|
|                                               | 2系統   | A系統 | B系統 |
| I.計画余剰反応度                                     |       |     |     |
| 1.温度・出力補償                                     | 0.8   | 0.8 | 0.8 |
| 2.燃焼補償 *1                                     | 3.0   |     |     |
| 3.燃料交換余裕 *2                                   | 0.1   |     |     |
| 4.運転余裕 *2                                     | 0.2   |     |     |
| 5.核計算不確かさ補償                                   | 0.4   | 0.2 | 0.2 |
| (1) 出力補償予測誤差(2系統;1 $\sigma$ , 1系統2 $\sigma$ ) | 0.1   | 0.2 | 0.2 |
| (2) 燃料製作公差(1 $\sigma$ )*2                     | 0.2   |     |     |
| (3) 燃焼補償予測誤差(1 $\sigma$ )*1                   | 0.3   |     |     |
| 合計                                            | 4.4   | 1.0 | 1.0 |
| II.最大余剰反応度                                    |       |     |     |
| 6.核計算不確かさ                                     | 0.6   |     |     |
| (1)臨界性予測誤差(1 $\sigma$ )*2                     | 0.4   |     |     |
| (2)燃料製作公差(2 $\sigma$ )*2                      | 0.4   |     |     |
| 7.事故時投入反応度 *3                                 | -     | 0.4 | 0.4 |
| III.必要制御反応度( I + II )                         | 5.0   | 1.4 | 1.4 |
| IV.制御棒価値 *4                                   | 9.3   | 3.3 | 3.0 |
| V.反応度停止余裕(IV-III)                             | 4.3   | 2.0 | 1.6 |

\*1:燃料組成の違いを考慮した最大値(ノミナル計算値)

\*2:予測誤差は全て酸化燃料炉心の先行設計に準じた目標値

\*3:定格運転時に制御している反応度と誤引抜制御棒1体の反応度分担率から設定

\*4:ノミナル計算値に対し、各種補正15.5%、設計予測誤差10%考慮



|    |               |         |
|----|---------------|---------|
| ○  | 内側炉心燃料集合体     | 5 1 体   |
| ⊕  | 外側炉心燃料集合体     | 1 3 2 体 |
| ■  | 内部ブランケット燃料集合体 | 3 4 体   |
| ▨  | 径方向ブランケット集合体  | 1 2 6 体 |
| ●  | SUS遮蔽体        | 7 2 体   |
| ●  | ZrH遮蔽体        | 7 8 体   |
| ⬢a | A系統炉停止制御棒     | 9 体     |
| ⬢b | B系統炉停止制御棒     | 9 体     |

|   |   |         |
|---|---|---------|
| 合 | 計 | 5 1 1 体 |
|---|---|---------|

図 4.2.3-1 制御棒価値評価時に着目した制御棒位置

#### 4.2.4 出力分布

中型径方向非均質炉心の炉心流量配分検討、燃料健全性検討等に用いる出力分布等を整理した。

##### (1) 解析条件及び方法

###### (i) 解析条件

###### ① 燃料組成

燃料組成はに示す燃焼ミスマッチが大きくなる中燃焼度ウラン燃料 LWR からの取出 Pu 組成を用いて検討した。

###### ② 集合体番号及び燃料交換パターン

集合体番号を図 4.2.4-1 に、燃料交換パターン（暫定値）を図 4.2.4-1 に示す。

###### ③ 制御棒挿入量

制御棒は燃焼反応度分を挿入するものとし、平衡サイクル初期が 30cm 挿入、平衡サイクル中期が 20cm 挿入、平衡サイクル末期が全引き抜きとしている。

###### (ii) 解析方法

出力分布等は前記 2.3.1 に示す手法で解析した。

##### (2) 解析結果

###### (i) 最大線出力密度

炉心燃料集合体、ブランケット集合体の平衡サイクルにおける最大線出力密度を表 4.2.4-1 に示す。

最大線出力密度は内側炉心が 443W/cm、外側炉心が 433W/cm、第 1 領域内部ブランケットが 314W/cm、第 2 領域内部ブランケットが 271W/cm、径ブランケットが 243W/cm になる。また、実用化戦略調査研究の基準燃料組成である FBR-多重リサイクル時の TRU+FP 組成を用いた場合は内側炉心が 430W/cm、外側炉心が 427W/cm、第 1 領域内部ブランケットが 311W/cm、第 2 領域内部ブランケットが 270W/cm、径ブランケットが 243W/cm になる。

なお、最大線出力はプルトニウム富化度及び燃料交換パターン等の最適化により上記の値より若干小さくなると考えられる。

###### (ii) 出力履歴

炉心燃料集合体、ブランケット集合体の平衡サイクルにおける集合体出力履歴を表 4.2.4-2 及び図 4.2.4-3 に、平衡サイクルにおける径方向出力分布（包絡値）を図 4.2.4-4 に示す。

集合体最大出力は内側炉心が 8.1MW、外側炉心が 7.9MW、第 1 領域内部ブランケットが 4.9MW、第 2 領域内部ブランケットが 4.0MW、径ブランケットが 2.1MW になる。

参考に炉心燃料集合体、ブランケット集合体の平衡サイクルにおける集合体内ピーキング係数の履歴を表 4.2.4-3 に、平衡サイクルにおける集

合体内ピーキング係数の分布（包絡値）を図 4.2.4-5 に示す。

(iii) 軸方向出力分布

炉心燃料集合体、ブランケット集合体の平衡サイクル（第 6 サイクル）における軸方向出力分布を表 4.2.4-4 及び図 4.2.4-6 に示す。

軸方向出力分布は平衡サイクル初期（制御棒 30cm 挿入）で炉心燃料集合体、ブランケット集合体とも炉心部下端から約 48cm の位置で最大になり、内側炉心が 394W/cc、外側炉心が 373W/cc、第 1 領域内部ブランケットが 158W/cc、第 2 領域内部ブランケットが 121W/cc、径ブランケットが 72W/cc になる。また平衡サイクル初期（制御棒全引抜）では炉心燃料集合体、径ブランケット集合体が炉心部下端から約 58cm、内部ブランケット集合体が炉心部下端から約 53cm の位置で最大になり、内側炉心が 332W/cc、外側炉心が 296W/cc、第 1 領域内部ブランケットが 218W/cc、第 2 領域内部ブランケットが 171W/cc、径ブランケットが 81W/cc になる。

参考に炉心燃料集合体の平衡サイクル（第 6 サイクル）における軸方向高速中性子束分布を表 4.2.4-5 及び図 4.2.4-7 に示す。

表 4.2.4-1 中型径方向非均質炉心における最大線出力[1/2]

[中燃焼度ウラン燃料LWRからの取出TRU]

| サイクル | 内側炉心    |                |       |               | 外側炉心     |                |       |               |
|------|---------|----------------|-------|---------------|----------|----------------|-------|---------------|
|      | 座標      | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング | 線出力<br>(W/cm) | 座標       | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング | 線出力<br>(W/cm) |
| 6 初期 | ( 4,27) | 393.7          | 1.025 | <b>434</b>    | ( 48,27) | 372.8          | 1.026 | <b>411</b>    |
| 中期   | ( 4,26) | 363.4          | 1.022 | 399           | ( 34,26) | 327.1          | 1.033 | 363           |
| 末期   | ( 4,25) | 331.7          | 1.020 | 364           | ( 34,25) | 296.2          | 1.028 | 327           |
| 7 初期 | ( 8,27) | 340.3          | 1.033 | <b>378</b>    | ( 55,27) | 386.8          | 1.042 | <b>433</b>    |
| 中期   | ( 5,26) | 329.4          | 1.032 | 365           | ( 55,26) | 334.6          | 1.035 | 372           |
| 末期   | ( 5,25) | 312.8          | 1.026 | 345           | ( 55,25) | 292.5          | 1.029 | 324           |
| 8 初期 | ( 3,27) | 393.1          | 1.049 | <b>443</b>    | ( 42,27) | 360.1          | 1.065 | <b>412</b>    |
| 中期   | ( 3,26) | 370.5          | 1.034 | 412           | ( 42,26) | 326.2          | 1.040 | 365           |
| 末期   | ( 3,25) | 341.3          | 1.022 | 375           | ( 42,25) | 295.3          | 1.022 | 324           |
| 9 初期 | ( 7,27) | 395.5          | 1.031 | <b>438</b>    | ( 41,27) | 385.2          | 1.035 | <b>428</b>    |
| 中期   | ( 7,26) | 366.8          | 1.019 | 402           | ( 41,26) | 345.7          | 1.027 | 381           |
| 末期   | ( 7,25) | 336.5          | 1.010 | 365           | ( 41,25) | 310.0          | 1.020 | 340           |

| サイクル | 第1領域内部ブランケット |                |       |               | 第2領域内部ブランケット |                |       |               | 径ブランケット  |                |       |               |
|------|--------------|----------------|-------|---------------|--------------|----------------|-------|---------------|----------|----------------|-------|---------------|
|      | 座標           | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング | 線出力<br>(W/cm) | 座標           | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング | 線出力<br>(W/cm) | 座標       | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング | 線出力<br>(W/cm) |
| 6 初期 | ( 2,27)      | 157.5          | 1.068 | 232           | ( 31,27)     | 121.3          | 1.082 | 181           | ( 58,27) | 72.2           | 1.435 | 190           |
| 末期   | ( 2,26)      | 217.7          | 1.030 | <b>309</b>    | ( 25,26)     | 170.6          | 1.081 | <b>255</b>    | ( 58,25) | 81.2           | 1.374 | <b>205</b>    |
| 7 初期 | ( 1,27)      | 122.8          | 1.043 | 177           | ( 22,27)     | 117.0          | 1.115 | 180           | ( 58,27) | 95.5           | 1.393 | 244           |
| 末期   | ( 1,26)      | 186.8          | 1.017 | <b>262</b>    | ( 30,26)     | 167.2          | 1.057 | <b>244</b>    | ( 58,25) | 98.0           | 1.348 | <b>243</b>    |
| 8 初期 | ( 2,27)      | 157.7          | 1.037 | 226           | ( 29,27)     | 121.8          | 1.074 | 181           | ( 66,27) | 90.0           | 1.436 | 237           |
| 末期   | ( 2,26)      | 223.5          | 1.019 | <b>314</b>    | ( 25,25)     | 169.9          | 1.085 | <b>254</b>    | ( 66,26) | 93.6           | 1.381 | <b>237</b>    |
| 9 初期 | ( 1,27)      | 155.3          | 1.054 | 226           | ( 30,27)     | 137.2          | 1.080 | 204           | ( 90,27) | 86.7           | 1.379 | <b>220</b>    |
| 末期   | ( 1,26)      | 219.8          | 1.021 | <b>310</b>    | ( 30,26)     | 185.7          | 1.059 | <b>271</b>    | ( 90,26) | 88.4           | 1.346 | 218           |

制御棒挿入量 平衡サイクル初期 30cm / 平衡サイクル中期 20cm / 平衡サイクル末期 全引抜き

表 4.2.4-1 中型径方向非均質炉心における最大線出力[2/2]

[FBR-多重リサイクル時のTRU+FP]

| サイクル | 内側炉心    |                |       |               | 外側炉心     |                |       |               |
|------|---------|----------------|-------|---------------|----------|----------------|-------|---------------|
|      | 座標      | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング | 線出力<br>(W/cm) | 座標       | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング | 線出力<br>(W/cm) |
| 6 初期 | ( 4,27) | 387.2          | 1.025 | <b>427</b>    | ( 48,27) | 366.9          | 1.027 | <b>405</b>    |
| 中期   | ( 4,26) | 360.1          | 1.022 | 396           | ( 34,26) | 323.5          | 1.034 | 359           |
| 末期   | ( 4,25) | 329.7          | 1.020 | 361           | ( 34,25) | 294.5          | 1.029 | 326           |
| 7 初期 | ( 8,27) | 334.4          | 1.033 | <b>371</b>    | ( 55,27) | 380.8          | 1.043 | <b>427</b>    |
| 中期   | ( 5,26) | 325.3          | 1.032 | 361           | ( 55,26) | 331.5          | 1.036 | 369           |
| 末期   | ( 5,25) | 309.9          | 1.026 | 342           | ( 55,25) | 291.1          | 1.030 | 322           |
| 8 初期 | ( 3,27) | 380.7          | 1.051 | <b>430</b>    | ( 42,27) | 353.6          | 1.068 | <b>406</b>    |
| 中期   | ( 3,26) | 364.5          | 1.035 | 405           | ( 42,26) | 322.6          | 1.042 | 361           |
| 末期   | ( 3,25) | 338.4          | 1.023 | 372           | ( 42,25) | 293.6          | 1.023 | 323           |
| 9 初期 | ( 7,27) | 384.8          | 1.032 | <b>427</b>    | ( 41,27) | 378.7          | 1.036 | <b>422</b>    |
| 中期   | ( 7,26) | 361.6          | 1.020 | 396           | ( 41,26) | 342.5          | 1.027 | 378           |
| 末期   | ( 7,25) | 333.8          | 1.010 | 362           | ( 41,25) | 308.6          | 1.021 | 339           |

| サイクル | 第1領域内部ブランケット |                |       |               | 第2領域内部ブランケット |                |       |               | 径ブランケット  |                |       |               |
|------|--------------|----------------|-------|---------------|--------------|----------------|-------|---------------|----------|----------------|-------|---------------|
|      | 座標           | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング | 線出力<br>(W/cm) | 座標           | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング | 線出力<br>(W/cm) | 座標       | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング | 線出力<br>(W/cm) |
| 6 初期 | ( 2,27)      | 157.9          | 1.065 | 232           | ( 31,27)     | 122.0          | 1.081 | 182           | ( 58,27) | 73.1           | 1.429 | 192           |
| 末期   | ( 2,26)      | 217.1          | 1.028 | <b>308</b>    | ( 25,26)     | 170.4          | 1.081 | <b>254</b>    | ( 58,25) | 81.5           | 1.371 | <b>205</b>    |
| 7 初期 | ( 1,27)      | 123.9          | 1.043 | 178           | ( 22,27)     | 117.7          | 1.112 | 181           | ( 58,27) | 96.0           | 1.392 | 245           |
| 末期   | ( 1,26)      | 186.4          | 1.016 | <b>261</b>    | ( 30,26)     | 167.1          | 1.054 | <b>243</b>    | ( 58,25) | 98.2           | 1.347 | <b>243</b>    |
| 8 初期 | ( 2,27)      | 156.2          | 1.039 | 224           | ( 29,27)     | 122.2          | 1.070 | 180           | ( 66,27) | 91.6           | 1.429 | 240           |
| 末期   | ( 2,26)      | 221.5          | 1.018 | <b>311</b>    | ( 25,26)     | 169.6          | 1.083 | <b>254</b>    | ( 66,26) | 94.2           | 1.377 | <b>238</b>    |
| 9 初期 | ( 1,27)      | 154.2          | 1.054 | 224           | ( 30,27)     | 136.8          | 1.076 | 203           | ( 90,27) | 88.0           | 1.378 | <b>223</b>    |
| 末期   | ( 1,26)      | 218.7          | 1.021 | <b>308</b>    | ( 30,26)     | 185.1          | 1.057 | <b>270</b>    | ( 90,26) | 88.8           | 1.344 | 219           |

制御棒挿入量 平衡サイクル初期 30cm / 平衡サイクル中期 20cm / 平衡サイクル末期 全引抜き

表 4.2.4-2 中型径方向非均質炉心における集合体出力履歴

[MW]

| S/A No. | 第6サイクル |      | 第7サイクル |      | 第8サイクル |      | 第9サイクル |      | MAX  |
|---------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|------|
|         | 初期     | 末期   | 初期     | 末期   | 初期     | 末期   | 初期     | 末期   |      |
| 1       | 1.11   | 3.37 | 2.53   | 4.07 | 1.22   | 3.63 | 3.17   | 4.78 | 4.78 |
| 2       | 3.26   | 4.80 | 1.07   | 2.96 | 3.21   | 4.85 | 1.29   | 3.52 | 4.85 |
| 3       | 6.52   | 6.57 | 5.12   | 5.70 | 8.12   | 7.77 | 7.07   | 7.02 | 8.12 |
| 4       | 8.11   | 7.60 | 6.37   | 6.80 | 6.99   | 6.74 | 6.42   | 6.30 | 8.11 |
| 5       | 6.30   | 6.25 | 6.96   | 7.15 | 7.62   | 7.26 | 6.81   | 6.66 | 7.62 |
| 6       | 7.85   | 7.57 | 6.11   | 6.54 | 6.74   | 6.70 | 6.32   | 6.34 | 7.85 |
| 7       | 7.14   | 7.04 | 5.57   | 6.08 | 6.34   | 6.38 | 8.03   | 7.70 | 8.03 |
| 8       | 6.05   | 5.97 | 7.03   | 7.00 | 7.14   | 6.81 | 6.76   | 6.47 | 7.14 |
| 9       | 6.35   | 6.33 | 5.35   | 5.74 | 7.80   | 7.43 | 7.15   | 6.92 | 7.80 |
| 10      | 6.75   | 6.72 | 5.59   | 6.02 | 6.03   | 6.10 | 7.77   | 7.45 | 7.77 |
| 11      | 6.11   | 6.23 | 5.11   | 5.60 | 7.33   | 7.21 | 6.88   | 6.81 | 7.33 |
| 13      | 6.39   | 6.38 | 5.36   | 5.75 | 7.85   | 7.49 | 7.31   | 7.04 | 7.85 |
| 14      | 6.80   | 6.61 | 5.81   | 5.97 | 5.69   | 5.73 | 5.69   | 5.67 | 6.80 |
| 15      | 6.22   | 6.29 | 5.33   | 5.72 | 5.46   | 5.65 | 7.06   | 6.91 | 7.06 |
| 17      | 5.31   | 5.60 | 6.08   | 6.46 | 6.11   | 6.30 | 5.86   | 6.04 | 6.46 |
| 18      | 6.51   | 6.50 | 5.56   | 5.87 | 5.54   | 5.72 | 5.42   | 5.57 | 6.51 |
| 19      | 6.12   | 6.30 | 5.23   | 5.71 | 5.41   | 5.68 | 7.10   | 7.01 | 7.10 |
| 20      | 5.45   | 5.70 | 6.34   | 6.63 | 6.39   | 6.48 | 6.31   | 6.33 | 6.63 |
| 21      | 6.41   | 6.33 | 5.59   | 5.81 | 5.68   | 5.71 | 7.58   | 7.12 | 7.58 |
| 22      | 1.00   | 2.46 | 2.34   | 3.39 | 0.98   | 2.41 | 2.46   | 3.55 | 3.55 |
| 23      | 2.45   | 3.61 | 0.96   | 2.45 | 2.30   | 3.44 | 1.02   | 2.61 | 3.61 |
| 24      | 0.99   | 2.63 | 2.27   | 3.47 | 0.96   | 2.58 | 2.43   | 3.67 | 3.67 |
| 25      | 2.39   | 3.64 | 0.91   | 2.45 | 2.32   | 3.56 | 0.99   | 2.64 | 3.64 |
| 26      | 0.99   | 2.52 | 2.24   | 3.37 | 0.98   | 2.51 | 2.36   | 3.51 | 3.51 |
| 27      | 2.35   | 3.44 | 0.96   | 2.38 | 2.28   | 3.35 | 0.98   | 2.44 | 3.44 |
| 28      | 1.01   | 2.57 | 2.27   | 3.41 | 0.98   | 2.52 | 2.47   | 3.65 | 3.65 |
| 29      | 2.48   | 3.68 | 0.97   | 2.52 | 2.43   | 3.63 | 1.12   | 2.84 | 3.68 |
| 30      | 1.02   | 2.62 | 2.40   | 3.58 | 1.04   | 2.67 | 2.74   | 3.96 | 3.96 |
| 31      | 2.47   | 3.61 | 0.97   | 2.50 | 2.40   | 3.54 | 1.11   | 2.79 | 3.61 |
| 32      | 5.31   | 4.98 | 7.38   | 6.44 | 6.12   | 5.65 | 6.12   | 5.51 | 7.38 |
| 33      | 5.78   | 5.54 | 5.39   | 5.21 | 6.69   | 6.32 | 6.40   | 6.00 | 6.69 |
| 34      | 7.18   | 6.68 | 6.29   | 6.04 | 5.67   | 5.58 | 5.35   | 5.28 | 7.18 |
| 35      | 6.08   | 5.78 | 5.44   | 5.31 | 7.23   | 6.74 | 6.47   | 6.14 | 7.23 |
| 36      | 6.38   | 6.09 | 5.63   | 5.55 | 5.34   | 5.30 | 6.95   | 6.58 | 6.95 |
| 37      | 5.74   | 5.52 | 5.26   | 5.15 | 6.93   | 6.47 | 6.04   | 5.83 | 6.93 |
| 38      | 7.14   | 6.36 | 6.48   | 5.84 | 5.84   | 5.39 | 5.14   | 4.91 | 7.14 |
| 39      | 6.29   | 5.96 | 5.78   | 5.53 | 5.27   | 5.15 | 6.90   | 6.45 | 6.90 |
| 40      | 5.86   | 5.66 | 5.41   | 5.27 | 7.13   | 6.63 | 6.57   | 6.20 | 7.13 |
| 41      | 6.55   | 6.14 | 6.09   | 5.72 | 5.68   | 5.41 | 7.85   | 7.02 | 7.85 |
| 42      | 5.68   | 5.53 | 5.47   | 5.29 | 7.24   | 6.68 | 6.86   | 6.34 | 7.24 |
| 43      | 6.05   | 5.80 | 5.81   | 5.53 | 5.30   | 5.16 | 7.45   | 6.70 | 7.45 |
| 44      | 6.12   | 5.36 | 5.98   | 5.15 | 4.77   | 4.39 | 4.94   | 4.40 | 6.12 |
| 45      | 6.08   | 5.50 | 5.80   | 5.22 | 4.72   | 4.53 | 6.76   | 5.96 | 6.76 |
| 47      | 5.66   | 5.21 | 7.49   | 6.58 | 6.37   | 5.85 | 5.84   | 5.42 | 7.49 |
| 48      | 7.42   | 6.54 | 6.64   | 5.98 | 5.91   | 5.49 | 5.33   | 5.04 | 7.42 |
| 50      | 5.11   | 4.76 | 6.82   | 6.02 | 6.05   | 5.51 | 5.15   | 4.89 | 6.82 |
| 51      | 5.14   | 4.62 | 5.04   | 4.48 | 6.23   | 5.42 | 5.23   | 4.76 | 6.23 |
| 52      | 5.14   | 4.79 | 7.00   | 6.10 | 5.94   | 5.42 | 5.23   | 4.93 | 7.00 |
| 54      | 7.30   | 6.48 | 6.94   | 6.08 | 6.10   | 5.54 | 5.51   | 5.12 | 7.30 |
| 55      | 5.40   | 5.04 | 7.75   | 6.64 | 6.74   | 6.00 | 6.08   | 5.53 | 7.75 |
| 57      | 5.31   | 4.95 | 5.38   | 4.88 | 6.53   | 5.87 | 6.30   | 5.60 | 6.53 |
| 58      | 1.47   | 1.73 | 1.93   | 2.09 | 0.54   | 0.94 | 1.09   | 1.42 | 2.09 |
| 59      | 4.19   | 3.81 | 5.46   | 4.70 | 4.06   | 3.80 | 4.30   | 3.88 | 5.46 |
| 60      | 6.01   | 5.33 | 5.67   | 5.03 | 4.37   | 4.20 | 4.54   | 4.22 | 6.01 |
| 61      | 6.04   | 5.32 | 5.65   | 5.01 | 4.66   | 4.38 | 6.33   | 5.59 | 6.33 |
| 62      | 5.81   | 5.04 | 5.47   | 4.78 | 6.73   | 5.79 | 6.02   | 5.26 | 6.73 |
| 63      | 5.05   | 4.58 | 6.67   | 5.78 | 5.82   | 5.23 | 5.09   | 4.70 | 6.67 |
| 64      | 5.77   | 5.19 | 5.51   | 4.94 | 4.92   | 4.56 | 4.25   | 4.07 | 5.77 |
| 65      | 4.57   | 4.13 | 4.50   | 4.03 | 4.13   | 3.78 | 4.64   | 4.25 | 4.64 |
| 66      | 1.04   | 1.38 | 1.51   | 1.77 | 1.81   | 2.00 | 0.59   | 0.99 | 2.00 |
| 67      | 4.61   | 4.16 | 4.63   | 4.10 | 4.05   | 3.71 | 4.63   | 4.23 | 4.63 |
| 68      | 5.80   | 5.22 | 5.77   | 5.06 | 4.84   | 4.47 | 4.27   | 4.07 | 5.80 |
| 69      | 5.00   | 4.57 | 7.05   | 5.92 | 5.88   | 5.21 | 5.07   | 4.67 | 7.05 |
| 70      | 5.59   | 4.92 | 5.76   | 4.89 | 7.15   | 5.96 | 5.97   | 5.20 | 7.15 |

| S/A No. | 第6サイクル |      | 第7サイクル |      | 第8サイクル |      | 第9サイクル |      | MAX  |
|---------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|------|
|         | 初期     | 末期   | 初期     | 末期   | 初期     | 末期   | 初期     | 末期   |      |
| 71      | 6.20   | 5.52 | 6.37   | 5.45 | 5.55   | 4.94 | 4.92   | 4.50 | 6.37 |
| 72      | 4.33   | 4.09 | 6.19   | 5.37 | 5.33   | 4.83 | 4.99   | 4.55 | 6.19 |
| 73      | 4.47   | 4.07 | 4.58   | 4.04 | 3.86   | 3.58 | 5.20   | 4.54 | 5.20 |
| 74      | 0.21   | 0.36 | 0.36   | 0.50 | 0.41   | 0.52 | 0.57   | 0.67 | 0.67 |
| 75      | 1.01   | 1.16 | 0.41   | 0.69 | 0.54   | 0.73 | 0.82   | 0.99 | 1.16 |
| 76      | 1.38   | 1.63 | 1.82   | 1.98 | 0.51   | 0.85 | 0.94   | 1.24 | 1.98 |
| 77      | 3.96   | 3.53 | 4.97   | 4.28 | 3.77   | 3.50 | 3.84   | 3.48 | 4.97 |
| 78      | 5.34   | 4.54 | 5.01   | 4.29 | 4.15   | 3.74 | 4.02   | 3.59 | 5.34 |
| 79      | 4.81   | 4.16 | 4.60   | 3.99 | 4.11   | 3.68 | 4.99   | 4.35 | 4.99 |
| 80      | 3.97   | 3.57 | 3.88   | 3.47 | 4.61   | 4.09 | 4.01   | 3.65 | 4.61 |
| 81      | 0.98   | 1.29 | 1.38   | 1.62 | 1.68   | 1.86 | 0.55   | 0.91 | 1.86 |
| 82      | 0.35   | 0.59 | 0.63   | 0.85 | 0.86   | 1.03 | 0.95   | 1.09 | 1.09 |
| 83      | 0.53   | 0.64 | 0.21   | 0.37 | 0.35   | 0.48 | 0.42   | 0.53 | 0.64 |
| 84      | 0.80   | 0.99 | 1.07   | 1.22 | 0.36   | 0.61 | 0.56   | 0.75 | 1.22 |
| 85      | 1.00   | 1.31 | 1.48   | 1.71 | 1.63   | 1.81 | 0.54   | 0.89 | 1.81 |
| 86      | 4.27   | 3.81 | 4.42   | 3.81 | 3.74   | 3.38 | 4.25   | 3.83 | 4.42 |
| 87      | 5.10   | 4.41 | 5.26   | 4.38 | 4.51   | 3.92 | 3.92   | 3.52 | 5.26 |
| 88      | 4.05   | 3.62 | 5.69   | 4.68 | 4.91   | 4.20 | 4.21   | 3.73 | 5.69 |
| 89      | 3.75   | 3.43 | 4.13   | 3.59 | 4.73   | 4.12 | 4.16   | 3.72 | 4.73 |
| 90      | 0.54   | 0.91 | 1.07   | 1.38 | 1.38   | 1.60 | 1.72   | 1.87 | 1.87 |
| 91      | 0.97   | 1.12 | 0.38   | 0.65 | 0.58   | 0.77 | 0.88   | 1.05 | 1.12 |
| 93      | 0.18   | 0.25 | 0.25   | 0.32 | 0.25   | 0.31 | 0.12   | 0.20 | 0.32 |
| 94      | 0.20   | 0.34 | 0.35   | 0.47 | 0.36   | 0.45 | 0.50   | 0.58 | 0.58 |
| 95      | 0.83   | 0.95 | 0.36   | 0.57 | 0.45   | 0.59 | 0.65   | 0.77 | 0.95 |
| 96      | 0.96   | 1.12 | 1.25   | 1.36 | 0.40   | 0.62 | 0.65   | 0.84 | 1.36 |
| 97      | 0.79   | 1.00 | 1.10   | 1.26 | 1.22   | 1.35 | 0.45   | 0.71 | 1.35 |
| 98      | 0.43   | 0.68 | 0.72   | 0.92 | 0.96   | 1.11 | 1.14   | 1.25 | 1.25 |
| 99      | 0.79   | 0.90 | 0.31   | 0.51 | 0.53   | 0.69 | 0.65   | 0.78 | 0.90 |
| 100     | 0.39   | 0.49 | 0.51   | 0.60 | 0.20   | 0.33 | 0.29   | 0.39 | 0.60 |
| 101     | 0.17   | 0.24 | 0.24   | 0.30 | 0.29   | 0.35 | 0.11   | 0.18 | 0.35 |
| 103     | 0.28   | 0.34 | 0.13   | 0.21 | 0.18   | 0.24 | 0.22   | 0.27 | 0.34 |
| 104     | 0.39   | 0.50 | 0.55   | 0.64 | 0.19   | 0.32 | 0.27   | 0.37 | 0.64 |
| 105     | 0.49   | 0.65 | 0.73   | 0.87 | 0.83   | 0.93 | 0.29   | 0.46 | 0.93 |
| 106     | 0.44   | 0.69 | 0.78   | 0.98 | 0.98   | 1.12 | 1.11   | 1.22 | 1.22 |
| 107     | 1.25   | 1.37 | 0.53   | 0.83 | 0.83   | 1.03 | 1.02   | 1.16 | 1.37 |
| 108     | 0.89   | 1.04 | 1.26   | 1.36 | 0.46   | 0.71 | 0.69   | 0.88 | 1.36 |
| 109     | 0.46   | 0.61 | 0.72   | 0.85 | 0.85   | 0.96 | 0.32   | 0.50 | 0.96 |
| 110     | 0.38   | 0.48 | 0.52   | 0.62 | 0.19   | 0.31 | 0.32   | 0.43 | 0.62 |
| 111     | 0.18   | 0.24 | 0.25   | 0.31 | 0.26   | 0.32 | 0.13   | 0.20 | 0.32 |
| 115     | 0.18   | 0.23 | 0.23   | 0.28 | 0.09   | 0.13 | 0.14   | 0.18 | 0.28 |
| 116     | 0.21   | 0.28 | 0.30   | 0.37 | 0.29   | 0.35 | 0.13   | 0.20 | 0.37 |
| 117     | 0.17   | 0.27 | 0.28   | 0.37 | 0.33   | 0.40 | 0.39   | 0.45 | 0.45 |
| 118     | 0.40   | 0.46 | 0.17   | 0.27 | 0.26   | 0.34 | 0.33   | 0.40 | 0.46 |
| 119     | 0.26   | 0.32 | 0.32   | 0.38 | 0.14   | 0.22 | 0.21   | 0.27 | 0.38 |
| 120     | 0.10   | 0.15 | 0.14   | 0.19 | 0.18   | 0.23 | 0.21   | 0.25 | 0.25 |
| 126     | 0.10   | 0.15 | 0.16   | 0.21 | 0.19   | 0.23 | 0.20   | 0.24 | 0.24 |
| 127     | 0.31   | 0.37 | 0.15   | 0.24 | 0.22   | 0.29 | 0.26   | 0.32 | 0.37 |
| 128     | 0.33   | 0.40 | 0.44   | 0.50 | 0.16   | 0.26 | 0.25   | 0.33 | 0.50 |
| 129     | 0.25   | 0.33 | 0.37   | 0.44 | 0.42   | 0.48 | 0.16   | 0.25 | 0.48 |
| 130     | 0.13   | 0.20 | 0.23   | 0.30 | 0.28   | 0.34 | 0.32   | 0.37 | 0.37 |
| 131     | 0.20   | 0.24 | 0.11   | 0.17 | 0.15   | 0.20 | 0.19   | 0.23 | 0.24 |

| 最大値   | 第6サイクル |      | 第7サイクル |      | 第8サイクル |      | 第9サイクル |      |
|-------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|
|       | 初期     | 末期   | 初期     | 末期   | 初期     | 末期   | 初期     | 末期   |
| 内側炉心  | 8.11   | 7.60 | 7.03   | 7.15 | 8.12   | 7.77 | 8.03   | 7.70 |
| 外側炉心  | 7.42   | 6.68 | 7.75   | 6.64 | 7.24   | 6.74 | 7.85   | 7.02 |
| 内部ブラ1 | 3.26   | 4.80 | 2.53   | 4.07 | 3.21   | 4.85 | 3.17   | 4.78 |
| 内部ブラ2 | 2.48   | 3.68 | 2.40   | 3.58 | 2.43   | 3.63 | 2.74   | 3.96 |
| 径ブラ   | 1.47   | 1.73 | 1.93   | 2.09 | 1.81   | 2.00 | 1.72   | 1.87 |

表 4.2.4-3 中型径方向非均質炉心における集合体内ピーキング係数の履歴

| S/A No. | 第6サイクル |       | 第7サイクル |       | 第8サイクル |       | 第9サイクル |       | MAX   |
|---------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|
|         | 初期     | 末期    | 初期     | 末期    | 初期     | 末期    | 初期     | 末期    |       |
| 1       | 1.095  | 1.020 | 1.048  | 1.023 | 1.122  | 1.029 | 1.057  | 1.026 | 1.122 |
| 2       | 1.063  | 1.030 | 1.125  | 1.047 | 1.039  | 1.017 | 1.084  | 1.027 | 1.125 |
| 3       | 1.045  | 1.027 | 1.075  | 1.045 | 1.053  | 1.027 | 1.056  | 1.033 | 1.075 |
| 4       | 1.020  | 1.020 | 1.042  | 1.027 | 1.030  | 1.021 | 1.021  | 1.020 | 1.042 |
| 5       | 1.042  | 1.024 | 1.044  | 1.026 | 1.026  | 1.023 | 1.020  | 1.008 | 1.044 |
| 6       | 1.035  | 1.018 | 1.057  | 1.030 | 1.050  | 1.024 | 1.032  | 1.015 | 1.057 |
| 7       | 1.056  | 1.024 | 1.057  | 1.026 | 1.036  | 1.020 | 1.038  | 1.011 | 1.057 |
| 8       | 1.065  | 1.051 | 1.038  | 1.036 | 1.057  | 1.047 | 1.029  | 1.027 | 1.065 |
| 9       | 1.074  | 1.045 | 1.053  | 1.030 | 1.072  | 1.047 | 1.038  | 1.023 | 1.074 |
| 10      | 1.068  | 1.044 | 1.062  | 1.038 | 1.074  | 1.044 | 1.051  | 1.027 | 1.074 |
| 11      | 1.078  | 1.050 | 1.045  | 1.030 | 1.072  | 1.045 | 1.054  | 1.038 | 1.078 |
| 13      | 1.069  | 1.039 | 1.050  | 1.021 | 1.059  | 1.032 | 1.036  | 1.024 | 1.069 |
| 14      | 1.092  | 1.071 | 1.104  | 1.087 | 1.126  | 1.095 | 1.096  | 1.074 | 1.126 |
| 15      | 1.086  | 1.051 | 1.107  | 1.069 | 1.114  | 1.077 | 1.101  | 1.063 | 1.114 |
| 17      | 1.092  | 1.060 | 1.072  | 1.051 | 1.095  | 1.063 | 1.111  | 1.072 | 1.111 |
| 18      | 1.086  | 1.072 | 1.051  | 1.054 | 1.113  | 1.092 | 1.096  | 1.078 | 1.113 |
| 19      | 1.063  | 1.080 | 1.050  | 1.066 | 1.081  | 1.089 | 1.069  | 1.077 | 1.089 |
| 20      | 1.080  | 1.072 | 1.060  | 1.051 | 1.110  | 1.072 | 1.075  | 1.057 | 1.110 |
| 21      | 1.068  | 1.057 | 1.075  | 1.060 | 1.090  | 1.075 | 1.069  | 1.059 | 1.090 |
| 22      | 1.141  | 1.083 | 1.111  | 1.051 | 1.104  | 1.057 | 1.071  | 1.048 | 1.141 |
| 23      | 1.077  | 1.056 | 1.122  | 1.047 | 1.062  | 1.056 | 1.152  | 1.083 | 1.152 |
| 24      | 1.147  | 1.069 | 1.081  | 1.074 | 1.183  | 1.086 | 1.104  | 1.095 | 1.183 |
| 25      | 1.075  | 1.083 | 1.129  | 1.071 | 1.093  | 1.087 | 1.122  | 1.092 | 1.129 |
| 26      | 1.111  | 1.057 | 1.059  | 1.063 | 1.132  | 1.066 | 1.069  | 1.062 | 1.132 |
| 27      | 1.081  | 1.062 | 1.164  | 1.050 | 1.069  | 1.051 | 1.126  | 1.056 | 1.164 |
| 28      | 1.095  | 1.062 | 1.059  | 1.048 | 1.150  | 1.056 | 1.095  | 1.081 | 1.150 |
| 29      | 1.062  | 1.053 | 1.132  | 1.066 | 1.074  | 1.065 | 1.143  | 1.054 | 1.143 |
| 30      | 1.129  | 1.065 | 1.071  | 1.059 | 1.117  | 1.062 | 1.087  | 1.063 | 1.129 |
| 31      | 1.090  | 1.072 | 1.093  | 1.062 | 1.077  | 1.065 | 1.155  | 1.083 | 1.155 |
| 32      | 1.027  | 1.035 | 1.015  | 1.026 | 1.041  | 1.048 | 1.050  | 1.051 | 1.051 |
| 33      | 1.063  | 1.048 | 1.080  | 1.032 | 1.060  | 1.039 | 1.063  | 1.021 | 1.080 |
| 34      | 1.054  | 1.032 | 1.096  | 1.039 | 1.078  | 1.050 | 1.051  | 1.032 | 1.096 |
| 35      | 1.054  | 1.023 | 1.077  | 1.029 | 1.042  | 1.008 | 1.033  | 1.024 | 1.077 |
| 36      | 1.083  | 1.032 | 1.087  | 1.030 | 1.068  | 1.042 | 1.068  | 1.041 | 1.087 |
| 37      | 1.071  | 1.036 | 1.068  | 1.023 | 1.054  | 1.024 | 1.072  | 1.054 | 1.072 |
| 38      | 1.035  | 1.042 | 1.042  | 1.027 | 1.035  | 1.042 | 1.057  | 1.056 | 1.057 |
| 39      | 1.071  | 1.029 | 1.059  | 1.020 | 1.065  | 1.045 | 1.078  | 1.054 | 1.078 |
| 40      | 1.068  | 1.030 | 1.087  | 1.030 | 1.066  | 1.032 | 1.096  | 1.059 | 1.096 |
| 41      | 1.056  | 1.020 | 1.075  | 1.030 | 1.039  | 1.018 | 1.033  | 1.021 | 1.075 |
| 42      | 1.068  | 1.042 | 1.095  | 1.036 | 1.074  | 1.027 | 1.072  | 1.045 | 1.095 |
| 43      | 1.042  | 1.032 | 1.081  | 1.035 | 1.068  | 1.048 | 1.060  | 1.044 | 1.081 |
| 44      | 1.104  | 1.116 | 1.126  | 1.132 | 1.146  | 1.149 | 1.126  | 1.132 | 1.149 |
| 45      | 1.051  | 1.060 | 1.084  | 1.066 | 1.095  | 1.090 | 1.093  | 1.078 | 1.095 |
| 47      | 1.047  | 1.047 | 1.047  | 1.047 | 1.047  | 1.047 | 1.047  | 1.047 | 1.047 |
| 48      | 1.047  | 1.047 | 1.047  | 1.047 | 1.047  | 1.047 | 1.047  | 1.047 | 1.047 |
| 50      | 1.093  | 1.075 | 1.081  | 1.065 | 1.069  | 1.075 | 1.077  | 1.080 | 1.093 |
| 51      | 1.150  | 1.152 | 1.110  | 1.120 | 1.116  | 1.125 | 1.120  | 1.128 | 1.152 |
| 52      | 1.090  | 1.072 | 1.066  | 1.057 | 1.075  | 1.062 | 1.096  | 1.095 | 1.096 |
| 54      | 1.050  | 1.050 | 1.059  | 1.036 | 1.045  | 1.033 | 1.087  | 1.077 | 1.087 |
| 55      | 1.060  | 1.048 | 1.050  | 1.030 | 1.032  | 1.038 | 1.078  | 1.071 | 1.078 |
| 57      | 1.068  | 1.071 | 1.084  | 1.068 | 1.072  | 1.071 | 1.090  | 1.090 | 1.090 |
| 58      | 1.432  | 1.383 | 1.396  | 1.360 | 1.567  | 1.429 | 1.413  | 1.360 | 1.567 |
| 59      | 1.209  | 1.212 | 1.191  | 1.198 | 1.233  | 1.234 | 1.251  | 1.246 | 1.251 |
| 60      | 1.113  | 1.159 | 1.102  | 1.143 | 1.117  | 1.197 | 1.147  | 1.173 | 1.197 |
| 61      | 1.092  | 1.089 | 1.110  | 1.105 | 1.132  | 1.120 | 1.107  | 1.104 | 1.132 |
| 62      | 1.087  | 1.099 | 1.081  | 1.093 | 1.083  | 1.095 | 1.075  | 1.089 | 1.099 |
| 63      | 1.128  | 1.117 | 1.110  | 1.105 | 1.101  | 1.096 | 1.104  | 1.098 | 1.128 |
| 64      | 1.108  | 1.171 | 1.129  | 1.153 | 1.122  | 1.161 | 1.111  | 1.182 | 1.182 |
| 65      | 1.212  | 1.215 | 1.230  | 1.230 | 1.213  | 1.216 | 1.222  | 1.225 | 1.230 |
| 66      | 1.435  | 1.377 | 1.387  | 1.350 | 1.431  | 1.389 | 1.539  | 1.414 | 1.539 |
| 67      | 1.209  | 1.212 | 1.225  | 1.225 | 1.215  | 1.218 | 1.234  | 1.234 | 1.234 |
| 68      | 1.110  | 1.167 | 1.122  | 1.147 | 1.119  | 1.171 | 1.117  | 1.191 | 1.191 |
| 69      | 1.122  | 1.113 | 1.102  | 1.098 | 1.111  | 1.104 | 1.123  | 1.111 | 1.123 |
| 70      | 1.099  | 1.107 | 1.072  | 1.086 | 1.081  | 1.093 | 1.102  | 1.108 | 1.108 |

| S/A No. | 第6サイクル |       | 第7サイクル |       | 第8サイクル |       | 第9サイクル |       | MAX   |
|---------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|
|         | 初期     | 末期    | 初期     | 末期    | 初期     | 末期    | 初期     | 末期    |       |
| 71      | 1.111  | 1.104 | 1.116  | 1.108 | 1.110  | 1.102 | 1.117  | 1.119 | 1.119 |
| 72      | 1.120  | 1.174 | 1.122  | 1.156 | 1.119  | 1.170 | 1.135  | 1.176 | 1.176 |
| 73      | 1.207  | 1.212 | 1.192  | 1.200 | 1.255  | 1.251 | 1.233  | 1.230 | 1.255 |
| 74      | 1.723  | 1.590 | 1.702  | 1.597 | 1.521  | 1.495 | 1.540  | 1.507 | 1.723 |
| 75      | 1.627  | 1.551 | 1.977  | 1.672 | 1.786  | 1.648 | 1.669  | 1.572 | 1.977 |
| 76      | 1.438  | 1.401 | 1.371  | 1.356 | 1.531  | 1.434 | 1.426  | 1.387 | 1.531 |
| 77      | 1.255  | 1.252 | 1.236  | 1.236 | 1.281  | 1.275 | 1.296  | 1.288 | 1.296 |
| 78      | 1.210  | 1.204 | 1.195  | 1.192 | 1.269  | 1.251 | 1.227  | 1.219 | 1.269 |
| 79      | 1.227  | 1.216 | 1.209  | 1.203 | 1.233  | 1.222 | 1.236  | 1.224 | 1.236 |
| 80      | 1.255  | 1.252 | 1.287  | 1.278 | 1.263  | 1.260 | 1.260  | 1.257 | 1.287 |
| 81      | 1.479  | 1.422 | 1.429  | 1.396 | 1.372  | 1.360 | 1.465  | 1.390 | 1.479 |
| 82      | 2.004  | 1.695 | 1.740  | 1.600 | 1.630  | 1.549 | 1.690  | 1.605 | 2.004 |
| 83      | 1.554  | 1.515 | 1.720  | 1.581 | 1.677  | 1.587 | 1.536  | 1.507 | 1.720 |
| 84      | 1.692  | 1.588 | 1.627  | 1.548 | 1.902  | 1.642 | 1.834  | 1.674 | 1.902 |
| 85      | 1.468  | 1.413 | 1.408  | 1.377 | 1.389  | 1.374 | 1.494  | 1.410 | 1.494 |
| 86      | 1.248  | 1.248 | 1.273  | 1.266 | 1.273  | 1.267 | 1.275  | 1.270 | 1.275 |
| 87      | 1.216  | 1.209 | 1.203  | 1.197 | 1.252  | 1.237 | 1.239  | 1.225 | 1.252 |
| 88      | 1.221  | 1.213 | 1.207  | 1.200 | 1.245  | 1.231 | 1.233  | 1.224 | 1.245 |
| 89      | 1.299  | 1.288 | 1.261  | 1.257 | 1.260  | 1.255 | 1.251  | 1.251 | 1.299 |
| 90      | 1.489  | 1.401 | 1.474  | 1.413 | 1.423  | 1.395 | 1.375  | 1.362 | 1.489 |
| 91      | 1.654  | 1.573 | 1.926  | 1.642 | 1.746  | 1.615 | 1.702  | 1.597 | 1.926 |
| 93      | 1.717  | 1.627 | 1.564  | 1.528 | 1.534  | 1.513 | 1.693  | 1.591 | 1.717 |
| 94      | 1.728  | 1.603 | 1.711  | 1.614 | 1.549  | 1.525 | 1.548  | 1.521 | 1.728 |
| 95      | 1.701  | 1.612 | 2.038  | 1.737 | 1.878  | 1.726 | 1.761  | 1.654 | 2.038 |
| 96      | 1.609  | 1.522 | 1.519  | 1.464 | 1.768  | 1.579 | 1.624  | 1.524 | 1.768 |
| 97      | 1.594  | 1.489 | 1.507  | 1.443 | 1.479  | 1.432 | 1.729  | 1.533 | 1.729 |
| 98      | 1.791  | 1.579 | 1.635  | 1.527 | 1.525  | 1.468 | 1.573  | 1.509 | 1.791 |
| 99      | 1.728  | 1.636 | 2.020  | 1.731 | 1.852  | 1.698 | 1.762  | 1.657 | 2.020 |
| 100     | 1.606  | 1.560 | 1.608  | 1.561 | 1.788  | 1.635 | 1.536  | 1.512 | 1.788 |
| 101     | 1.536  | 1.507 | 1.576  | 1.537 | 1.603  | 1.563 | 1.810  | 1.666 | 1.810 |
| 103     | 1.572  | 1.537 | 1.806  | 1.651 | 1.567  | 1.530 | 1.575  | 1.540 | 1.806 |
| 104     | 1.593  | 1.549 | 1.584  | 1.542 | 1.810  | 1.647 | 1.584  | 1.545 | 1.810 |
| 105     | 1.885  | 1.711 | 1.755  | 1.636 | 1.680  | 1.602 | 2.118  | 1.806 | 2.118 |
| 106     | 1.789  | 1.581 | 1.644  | 1.527 | 1.579  | 1.504 | 1.518  | 1.470 | 1.789 |
| 107     | 1.509  | 1.453 | 1.701  | 1.501 | 1.561  | 1.471 | 1.488  | 1.434 | 1.701 |
| 108     | 1.569  | 1.500 | 1.581  | 1.506 | 1.756  | 1.560 | 1.596  | 1.506 | 1.756 |
| 109     | 1.855  | 1.698 | 1.741  | 1.627 | 1.758  | 1.660 | 2.016  | 1.738 | 2.016 |
| 110     | 1.518  | 1.498 | 1.575  | 1.534 | 1.770  | 1.632 | 1.704  | 1.614 | 1.770 |
| 111     | 1.693  | 1.614 | 1.519  | 1.497 | 1.552  | 1.525 | 1.770  | 1.635 | 1.770 |
| 115     | 1.702  | 1.635 | 1.582  | 1.548 | 1.707  | 1.624 | 1.680  | 1.614 | 1.707 |
| 116     | 1.672  | 1.593 | 1.666  | 1.596 | 1.570  | 1.539 | 1.680  | 1.587 | 1.680 |
| 117     | 1.587  | 1.497 | 1.533  | 1.476 | 1.584  | 1.530 | 1.471  | 1.450 | 1.587 |
| 118     | 1.527  | 1.488 | 1.687  | 1.555 | 1.561  | 1.503 | 1.500  | 1.456 | 1.687 |
| 119     | 1.554  | 1.521 | 1.608  | 1.560 | 1.783  | 1.644 | 1.704  | 1.618 | 1.783 |
| 120     | 1.821  | 1.687 | 1.570  | 1.537 | 1.659  | 1.605 | 1.630  | 1.588 | 1.821 |
| 126     | 1.707  | 1.615 | 1.683  | 1.609 | 1.696  | 1.633 | 1.576  | 1.546 | 1.707 |
| 127     | 1.572  | 1.534 | 1.698  | 1.585 | 1.654  | 1.585 | 1.681  | 1.615 | 1.698 |
| 128     | 1.567  | 1.513 | 1.473  | 1.447 | 1.594  | 1.504 | 1.545  | 1.494 | 1.594 |
| 129     | 1.617  | 1.540 | 1.491  | 1.443 | 1.501  | 1.468 | 1.654  | 1.540 | 1.654 |
| 130     | 1.791  | 1.653 | 1.713  | 1.617 | 1.551  | 1.519 | 1.590  | 1.549 | 1.791 |
| 131     | 1.585  | 1.554 | 1.767  | 1.647 | 1.764  | 1.672 | 1.570  | 1.542 | 1.767 |

| 最大値  | 第6サイクル | 第7サイクル | 第8サイクル | 第9サイクル |
|------|--------|--------|--------|--------|
|      | 初期     | 末期     | 初期     | 末期     |
| 内側炉心 | 1.092  | 1.080  | 1.107  |        |

表 4.2.4-4 中型径方向非均質炉心における軸方向出力分布 (第6サイクル 最大発熱集合体) [1/2]

第6サイクル初期

| No. | 高さ<br>(cm) | 領域        | 内側炉心 [No. 4]   |              | 外側炉心 [No. 48]  |              | 内部ブラ1 [No. 2]  |              | 内部ブラ2 [No. 31] |              | 径ブラ [No. 58]   |              |
|-----|------------|-----------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
|     |            |           | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング<br>(-) | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング<br>(-) | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング<br>(-) | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング<br>(-) | 出力密度<br>(W/cc) | ピーキング<br>(-) |
| 35  | 172.5      | 上部軸<br>ブラ | 2.0            | 1.065        | 1.2            | 1.123        | 4.6            | 1.033        | 3.2            | 1.111        | 1.9            | 1.232        |
| 34  | 167.5      |           | 2.7            | 1.065        | 1.7            | 1.116        | 5.9            | 1.033        | 4.1            | 1.112        | 2.4            | 1.260        |
| 33  | 162.5      |           | 3.8            | 1.064        | 2.4            | 1.108        | 7.9            | 1.035        | 5.5            | 1.110        | 3.3            | 1.278        |
| 32  | 157.5      |           | 5.5            | 1.067        | 3.6            | 1.105        | 13.6           | 1.033        | 9.5            | 1.106        | 5.7            | 1.291        |
| 31  | 152.5      |           | 8.0            | 1.062        | 5.6            | 1.104        | 18.0           | 1.033        | 12.7           | 1.105        | 7.7            | 1.313        |
| 30  | 147.5      |           | 12.0           | 1.056        | 8.7            | 1.100        | 23.6           | 1.036        | 16.8           | 1.108        | 10.3           | 1.339        |
| 29  | 142.5      | 炉心<br>部   | 118.2          | 1.041        | 89.4           | 1.122        | 35.4           | 1.067        | 25.5           | 1.135        | 15.6           | 1.440        |
| 28  | 137.5      |           | 145.0          | 1.038        | 112.3          | 1.119        | 43.6           | 1.072        | 31.7           | 1.131        | 19.5           | 1.454        |
| 27  | 132.5      |           | 173.0          | 1.036        | 136.7          | 1.116        | 58.1           | 1.072        | 42.6           | 1.121        | 26.1           | 1.445        |
| 26  | 127.5      |           | 201.6          | 1.034        | 162.7          | 1.111        | 67.6           | 1.074        | 49.9           | 1.118        | 30.6           | 1.446        |
| 25  | 122.5      |           | 230.4          | 1.031        | 190.4          | 1.105        | 83.9           | 1.072        | 62.4           | 1.110        | 38.1           | 1.438        |
| 24  | 117.5      |           | 259.1          | 1.027        | 220.4          | 1.097        | 94.2           | 1.072        | 70.5           | 1.105        | 43.0           | 1.438        |
| 23  | 112.5      |           | 286.9          | 1.021        | 253.1          | 1.041        | 110.3          | 1.070        | 83.3           | 1.096        | 50.4           | 1.434        |
| 22  | 107.5      |           | 312.9          | 1.019        | 282.7          | 1.033        | 120.1          | 1.069        | 91.2           | 1.091        | 55.0           | 1.434        |
| 21  | 102.5      |           | 336.1          | 1.022        | 308.7          | 1.029        | 133.6          | 1.068        | 101.9          | 1.087        | 61.3           | 1.432        |
| 20  | 97.5       |           | 356.0          | 1.023        | 330.6          | 1.028        | 141.3          | 1.068        | 108.2          | 1.085        | 64.9           | 1.432        |
| 19  | 92.5       |           | 371.9          | 1.024        | 348.2          | 1.027        | 150.0          | 1.068        | 115.2          | 1.083        | 68.9           | 1.431        |
| 18  | 87.5       |           | 383.7          | 1.025        | 361.1          | 1.027        | 154.6          | 1.068        | 118.9          | 1.082        | 71.0           | 1.432        |
| 17  | 82.5       |           | 391.0          | 1.025        | 369.4          | 1.026        | 156.6          | 1.068        | 120.6          | 1.082        | 71.9           | 1.434        |
| 16  | 77.5       |           | 393.7          | 1.025        | 372.8          | 1.026        | 157.5          | 1.068        | 121.3          | 1.082        | 72.2           | 1.435        |
| 15  | 72.5       |           | 391.5          | 1.025        | 371.4          | 1.026        | 156.4          | 1.068        | 120.6          | 1.082        | 71.6           | 1.437        |
| 14  | 67.5       |           | 384.6          | 1.025        | 365.2          | 1.027        | 147.0          | 1.069        | 113.0          | 1.084        | 66.9           | 1.442        |
| 13  | 62.5       |           | 372.7          | 1.025        | 354.1          | 1.027        | 142.1          | 1.069        | 109.3          | 1.084        | 64.5           | 1.445        |
| 12  | 57.5       |           | 356.0          | 1.025        | 338.2          | 1.027        | 135.5          | 1.069        | 104.2          | 1.085        | 61.3           | 1.447        |
| 11  | 52.5       |           | 334.6          | 1.025        | 317.8          | 1.027        | 116.0          | 1.071        | 88.9           | 1.089        | 52.1           | 1.459        |
| 10  | 47.5       |           | 308.7          | 1.025        | 292.9          | 1.027        | 106.8          | 1.070        | 81.8           | 1.090        | 47.7           | 1.461        |
| 9   | 42.5       |           | 278.6          | 1.025        | 264.0          | 1.026        | 96.3           | 1.069        | 73.7           | 1.090        | 42.6           | 1.462        |
| 8   | 37.5       |           | 245.4          | 1.026        | 232.0          | 1.026        | 75.6           | 1.068        | 57.4           | 1.097        | 33.0           | 1.474        |
| 7   | 32.5       |           | 210.6          | 1.027        | 198.8          | 1.025        | 64.2           | 1.061        | 48.5           | 1.099        | 27.6           | 1.460        |
| 6   | 27.5       | 下部軸<br>ブラ | 22.4           | 1.034        | 19.8           | 1.074        | 46.4           | 1.039        | 34.4           | 1.075        | 19.3           | 1.369        |
| 5   | 22.5       |           | 15.9           | 1.036        | 13.7           | 1.112        | 37.4           | 1.038        | 27.6           | 1.074        | 15.1           | 1.348        |
| 4   | 17.5       |           | 11.7           | 1.037        | 9.9            | 1.141        | 30.2           | 1.039        | 22.1           | 1.073        | 11.9           | 1.330        |
| 3   | 12.5       |           | 8.8            | 1.033        | 7.4            | 1.174        | 19.7           | 1.042        | 14.4           | 1.075        | 7.6            | 1.319        |
| 2   | 7.5        |           | 6.9            | 1.032        | 5.7            | 1.195        | 16.3           | 1.042        | 11.9           | 1.076        | 6.2            | 1.305        |
| 1   | 2.5        |           | 5.8            | 1.033        | 4.6            | 1.209        | 14.8           | 1.044        | 10.8           | 1.077        | 5.6            | 1.276        |

表 4.2.4- 4 中型径方向非均質炉心における軸方向出力分布 (第 6 サイクル 最大発熱集合体) [2/2]

第6サイクル末期

| No. | 高さ<br>(cm) | 領域    | 内側炉心 [No. 4]   |            | 外側炉心 [No. 34]  |            | 内部ブラ1 [No. 2]  |            | 内部ブラ2 [No. 25] |            | 径ブラ [No. 58]   |            |
|-----|------------|-------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|
|     |            |       | 出力密度<br>(W/cc) | ビーク<br>(-) | 出力密度<br>(W/cc) | ビーク<br>(-) | 出力密度<br>(W/cc) | ビーク<br>(-) | 出力密度<br>(W/cc) | ビーク<br>(-) | 出力密度<br>(W/cc) | ビーク<br>(-) |
| 35  | 172.5      | 上部軸ブラ | 4.8            | 1.053      | 2.6            | 1.117      | 9.3            | 1.029      | 4.4            | 1.152      | 3.2            | 1.246      |
| 34  | 167.5      |       | 6.3            | 1.053      | 3.5            | 1.120      | 11.8           | 1.025      | 5.7            | 1.148      | 4.0            | 1.275      |
| 33  | 162.5      |       | 8.5            | 1.050      | 4.9            | 1.118      | 15.5           | 1.025      | 7.8            | 1.142      | 5.3            | 1.292      |
| 32  | 157.5      |       | 13.9           | 1.046      | 8.0            | 1.114      | 27.7           | 1.023      | 14.6           | 1.136      | 9.3            | 1.303      |
| 31  | 152.5      |       | 18.7           | 1.041      | 11.4           | 1.105      | 35.6           | 1.022      | 19.6           | 1.128      | 12.1           | 1.321      |
| 30  | 147.5      |       | 25.4           | 1.035      | 16.4           | 1.093      | 45.2           | 1.023      | 26.4           | 1.119      | 15.8           | 1.342      |
| 29  | 142.5      | 炉心部   | 158.0          | 1.022      | 134.0          | 1.048      | 66.7           | 1.039      | 43.0           | 1.057      | 23.7           | 1.422      |
| 28  | 137.5      |       | 189.0          | 1.019      | 163.5          | 1.043      | 79.8           | 1.041      | 53.1           | 1.068      | 28.8           | 1.431      |
| 27  | 132.5      |       | 214.5          | 1.020      | 188.0          | 1.039      | 104.4          | 1.040      | 72.8           | 1.076      | 37.9           | 1.419      |
| 26  | 127.5      |       | 241.7          | 1.020      | 213.5          | 1.037      | 117.9          | 1.039      | 83.2           | 1.078      | 43.1           | 1.416      |
| 25  | 122.5      |       | 261.1          | 1.020      | 231.5          | 1.034      | 142.8          | 1.037      | 104.6          | 1.080      | 52.5           | 1.404      |
| 24  | 117.5      |       | 282.2          | 1.021      | 251.4          | 1.034      | 154.9          | 1.036      | 114.1          | 1.081      | 57.2           | 1.400      |
| 23  | 112.5      |       | 295.4          | 1.020      | 263.0          | 1.031      | 176.3          | 1.034      | 133.5          | 1.081      | 65.4           | 1.391      |
| 22  | 107.5      |       | 310.1          | 1.020      | 276.9          | 1.031      | 185.7          | 1.033      | 141.2          | 1.081      | 69.1           | 1.387      |
| 21  | 102.5      |       | 317.7          | 1.020      | 283.5          | 1.029      | 201.2          | 1.032      | 155.3          | 1.081      | 75.1           | 1.381      |
| 20  | 97.5       |       | 326.3          | 1.020      | 291.5          | 1.029      | 207.1          | 1.031      | 160.2          | 1.081      | 77.3           | 1.378      |
| 19  | 92.5       |       | 329.2          | 1.020      | 293.9          | 1.028      | 215.4          | 1.030      | 168.0          | 1.081      | 80.5           | 1.375      |
| 18  | 87.5       |       | 331.7          | 1.020      | 296.2          | 1.028      | 217.3          | 1.030      | 169.7          | 1.081      | 81.2           | 1.374      |
| 17  | 82.5       |       | 330.4          | 1.020      | 294.8          | 1.028      | 217.7          | 1.030      | 170.6          | 1.081      | 81.0           | 1.374      |
| 16  | 77.5       |       | 327.1          | 1.020      | 291.6          | 1.028      | 215.5          | 1.030      | 168.9          | 1.082      | 80.0           | 1.374      |
| 15  | 72.5       |       | 321.0          | 1.019      | 285.8          | 1.028      | 211.3          | 1.030      | 165.5          | 1.082      | 78.2           | 1.376      |
| 14  | 67.5       |       | 314.1          | 1.020      | 279.3          | 1.029      | 199.0          | 1.030      | 155.6          | 1.083      | 72.7           | 1.380      |
| 13  | 62.5       |       | 302.1          | 1.020      | 268.1          | 1.029      | 191.0          | 1.031      | 149.3          | 1.085      | 69.5           | 1.382      |
| 12  | 57.5       |       | 287.1          | 1.020      | 254.2          | 1.030      | 181.2          | 1.031      | 141.5          | 1.087      | 65.5           | 1.386      |
| 11  | 52.5       |       | 274.7          | 1.020      | 242.8          | 1.032      | 156.8          | 1.032      | 122.0          | 1.089      | 55.5           | 1.396      |
| 10  | 47.5       |       | 253.8          | 1.020      | 223.6          | 1.032      | 144.5          | 1.033      | 112.4          | 1.094      | 50.7           | 1.400      |
| 9   | 42.5       |       | 230.1          | 1.020      | 202.3          | 1.032      | 130.9          | 1.033      | 101.9          | 1.101      | 45.4           | 1.402      |
| 8   | 37.5       |       | 209.8          | 1.022      | 184.2          | 1.034      | 104.1          | 1.033      | 80.9           | 1.109      | 35.1           | 1.414      |
| 7   | 32.5       |       | 182.0          | 1.023      | 160.2          | 1.031      | 90.2           | 1.031      | 70.4           | 1.126      | 29.8           | 1.408      |
| 6   | 27.5       | 下部軸ブラ | 39.8           | 1.018      | 29.1           | 1.055      | 67.1           | 1.017      | 52.3           | 1.173      | 21.1           | 1.346      |
| 5   | 22.5       |       | 32.1           | 1.017      | 23.3           | 1.075      | 55.9           | 1.017      | 43.9           | 1.202      | 17.0           | 1.335      |
| 4   | 17.5       |       | 26.1           | 1.017      | 18.8           | 1.095      | 46.1           | 1.019      | 36.6           | 1.233      | 13.7           | 1.325      |
| 3   | 12.5       |       | 17.9           | 1.017      | 13.0           | 1.120      | 30.0           | 1.023      | 24.2           | 1.273      | 8.7            | 1.320      |
| 2   | 7.5        |       | 15.0           | 1.017      | 10.8           | 1.142      | 25.2           | 1.026      | 20.5           | 1.309      | 7.2            | 1.309      |
| 1   | 2.5        |       | 13.5           | 1.017      | 9.7            | 1.155      | 23.2           | 1.025      | 18.8           | 1.330      | 6.6            | 1.285      |

表 4.2.4-5 中型径方向非均質炉心における軸方向高速中性子束分布 (第6サイクル 最大発熱集合体)

第6サイクル

| No. | 高さ<br>(cm) | 領域    | 内側炉心            |          |          |          |                 |          |          |          | 外側炉心             |          |          |          |                  |          |          |          |
|-----|------------|-------|-----------------|----------|----------|----------|-----------------|----------|----------|----------|------------------|----------|----------|----------|------------------|----------|----------|----------|
|     |            |       | 平衡サイクル初期[No. 4] |          |          |          | 平衡サイクル末期[No. 4] |          |          |          | 平衡サイクル初期[No. 48] |          |          |          | 平衡サイクル末期[No. 34] |          |          |          |
|     |            |       | 1群              | 2群       | 3群       | 高速群      | 1群              | 2群       | 3群       | 高速群      | 1群               | 2群       | 3群       | 高速群      | 1群               | 2群       | 3群       | 高速群      |
| 35  | 172.5      | 上部軸フラ | 6.50E+11        | 4.00E+12 | 7.79E+13 | 7.84E+13 | 1.28E+12        | 7.44E+12 | 1.24E+14 | 1.27E+14 | 3.92E+11         | 2.52E+12 | 4.87E+13 | 4.91E+13 | 7.09E+11         | 4.31E+12 | 7.87E+13 | 7.95E+13 |
| 34  | 167.5      |       | 1.09E+12        | 6.52E+12 | 1.15E+14 | 1.16E+14 | 2.08E+12        | 1.18E+13 | 1.80E+14 | 1.85E+14 | 6.97E+11         | 4.30E+12 | 7.35E+13 | 7.46E+13 | 1.20E+12         | 7.05E+12 | 1.16E+14 | 1.18E+14 |
| 33  | 162.5      |       | 1.82E+12        | 1.06E+13 | 1.64E+14 | 1.68E+14 | 3.29E+12        | 1.83E+13 | 2.53E+14 | 2.62E+14 | 1.22E+12         | 7.31E+12 | 1.08E+14 | 1.10E+14 | 2.01E+12         | 1.15E+13 | 1.67E+14 | 1.72E+14 |
| 32  | 157.5      |       | 3.11E+12        | 1.75E+13 | 2.30E+14 | 2.39E+14 | 5.31E+12        | 2.88E+13 | 3.49E+14 | 3.65E+14 | 2.19E+12         | 1.25E+13 | 1.55E+14 | 1.61E+14 | 3.44E+12         | 1.90E+13 | 2.37E+14 | 2.47E+14 |
| 31  | 152.5      |       | 5.39E+12        | 2.88E+13 | 3.18E+14 | 3.36E+14 | 8.51E+12        | 4.48E+13 | 4.72E+14 | 5.00E+14 | 3.97E+12         | 2.16E+13 | 2.19E+14 | 2.33E+14 | 5.88E+12         | 2.12E+13 | 3.12E+14 | 3.23E+14 |
| 30  | 147.5      |       | 9.62E+12        | 4.85E+13 | 4.34E+14 | 4.69E+14 | 1.41E+13        | 7.08E+13 | 6.27E+14 | 6.79E+14 | 7.37E+12         | 3.75E+13 | 3.05E+14 | 3.34E+14 | 1.04E+13         | 5.20E+13 | 4.57E+14 | 4.95E+14 |
| 29  | 142.5      |       | 1.70E+13        | 7.99E+13 | 5.79E+14 | 6.45E+14 | 2.34E+13        | 1.11E+14 | 8.15E+14 | 9.06E+14 | 1.33E+13         | 6.34E+13 | 4.16E+14 | 4.70E+14 | 1.81E+13         | 8.48E+13 | 6.14E+14 | 6.84E+14 |
| 28  | 137.5      |       | 2.32E+13        | 1.09E+14 | 7.32E+14 | 8.25E+14 | 3.08E+13        | 1.46E+14 | 1.00E+15 | 1.13E+15 | 1.86E+13         | 8.81E+13 | 5.35E+14 | 6.14E+14 | 2.40E+13         | 1.12E+14 | 7.68E+14 | 8.63E+14 |
| 27  | 132.5      |       | 2.86E+13        | 1.35E+14 | 8.85E+14 | 1.00E+15 | 3.67E+13        | 1.74E+14 | 1.17E+15 | 1.32E+15 | 2.34E+13         | 1.11E+14 | 6.59E+14 | 7.58E+14 | 2.86E+13         | 1.34E+14 | 9.09E+14 | 1.02E+15 |
| 26  | 127.5      |       | 3.37E+13        | 1.59E+14 | 1.04E+15 | 1.17E+15 | 4.15E+13        | 1.98E+14 | 1.33E+15 | 1.50E+15 | 2.80E+13         | 1.33E+14 | 7.87E+14 | 9.06E+14 | 3.25E+13         | 1.53E+14 | 1.04E+15 | 1.17E+15 |
| 25  | 122.5      | 炉心部   | 3.85E+13        | 1.82E+14 | 1.19E+15 | 1.35E+15 | 4.55E+13        | 2.18E+14 | 1.47E+15 | 1.65E+15 | 3.26E+13         | 1.55E+14 | 9.22E+14 | 1.06E+15 | 3.56E+13         | 1.70E+14 | 1.15E+15 | 1.30E+15 |
| 24  | 117.5      |       | 4.32E+13        | 2.05E+14 | 1.34E+15 | 1.51E+15 | 4.89E+13        | 2.35E+14 | 1.59E+15 | 1.79E+15 | 3.73E+13         | 1.78E+14 | 1.07E+15 | 1.22E+15 | 3.85E+13         | 1.84E+14 | 1.25E+15 | 1.41E+15 |
| 23  | 112.5      |       | 4.78E+13        | 2.27E+14 | 1.48E+15 | 1.68E+15 | 5.17E+13        | 2.48E+14 | 1.69E+15 | 1.90E+15 | 4.20E+13         | 2.00E+14 | 1.21E+15 | 1.39E+15 | 4.07E+13         | 1.95E+14 | 1.34E+15 | 1.50E+15 |
| 22  | 107.5      |       | 5.20E+13        | 2.47E+14 | 1.61E+15 | 1.83E+15 | 5.40E+13        | 2.60E+14 | 1.78E+15 | 2.00E+15 | 4.64E+13         | 2.22E+14 | 1.35E+15 | 1.55E+15 | 4.26E+13         | 2.05E+14 | 1.41E+15 | 1.58E+15 |
| 21  | 102.5      |       | 5.58E+13        | 2.65E+14 | 1.73E+15 | 1.96E+15 | 5.57E+13        | 2.69E+14 | 1.84E+15 | 2.07E+15 | 5.03E+13         | 2.40E+14 | 1.47E+15 | 1.68E+15 | 4.40E+13         | 2.12E+14 | 1.46E+15 | 1.64E+15 |
| 20  | 97.5       |       | 5.90E+13        | 2.80E+14 | 1.83E+15 | 2.07E+15 | 5.70E+13        | 2.75E+14 | 1.89E+15 | 2.12E+15 | 5.36E+13         | 2.56E+14 | 1.57E+15 | 1.80E+15 | 4.50E+13         | 2.18E+14 | 1.50E+15 | 1.69E+15 |
| 19  | 92.5       |       | 6.16E+13        | 2.92E+14 | 1.92E+15 | 2.17E+15 | 5.78E+13        | 2.79E+14 | 1.92E+15 | 2.16E+15 | 5.63E+13         | 2.69E+14 | 1.65E+15 | 1.89E+15 | 4.56E+13         | 2.21E+14 | 1.53E+15 | 1.72E+15 |
| 18  | 87.5       |       | 6.36E+13        | 3.02E+14 | 1.98E+15 | 2.24E+15 | 5.81E+13        | 2.81E+14 | 1.94E+15 | 2.18E+15 | 5.83E+13         | 2.79E+14 | 1.71E+15 | 1.96E+15 | 4.59E+13         | 2.23E+14 | 1.54E+15 | 1.73E+15 |
| 17  | 82.5       |       | 6.48E+13        | 3.07E+14 | 2.01E+15 | 2.28E+15 | 5.80E+13        | 2.80E+14 | 1.94E+15 | 2.17E+15 | 5.96E+13         | 2.85E+14 | 1.75E+15 | 2.00E+15 | 4.58E+13         | 2.23E+14 | 1.54E+15 | 1.73E+15 |
| 16  | 77.5       |       | 6.53E+13        | 3.10E+14 | 2.03E+15 | 2.29E+15 | 5.74E+13        | 2.78E+14 | 1.92E+15 | 2.15E+15 | 6.02E+13         | 2.88E+14 | 1.76E+15 | 2.02E+15 | 4.53E+13         | 2.20E+14 | 1.53E+15 | 1.71E+15 |
| 15  | 72.5       | 下部軸フラ | 6.50E+13        | 3.08E+14 | 2.01E+15 | 2.28E+15 | 5.64E+13        | 2.73E+14 | 1.88E+15 | 2.11E+15 | 6.01E+13         | 2.87E+14 | 1.76E+15 | 2.01E+15 | 4.45E+13         | 2.16E+14 | 1.49E+15 | 1.68E+15 |
| 14  | 67.5       |       | 6.39E+13        | 3.03E+14 | 1.98E+15 | 2.24E+15 | 5.50E+13        | 2.66E+14 | 1.83E+15 | 2.05E+15 | 5.92E+13         | 2.83E+14 | 1.73E+15 | 1.98E+15 | 4.33E+13         | 2.10E+14 | 1.45E+15 | 1.63E+15 |
| 13  | 62.5       |       | 6.20E+13        | 2.94E+14 | 1.92E+15 | 2.17E+15 | 5.31E+13        | 2.56E+14 | 1.76E+15 | 1.97E+15 | 5.75E+13         | 2.74E+14 | 1.67E+15 | 1.92E+15 | 4.16E+13         | 2.02E+14 | 1.39E+15 | 1.56E+15 |
| 12  | 57.5       |       | 5.93E+13        | 2.81E+14 | 1.83E+15 | 2.07E+15 | 5.06E+13        | 2.44E+14 | 1.67E+15 | 1.87E+15 | 5.51E+13         | 2.62E+14 | 1.60E+15 | 1.83E+15 | 3.96E+13         | 1.91E+14 | 1.32E+15 | 1.48E+15 |
| 11  | 52.5       |       | 5.59E+13        | 2.64E+14 | 1.71E+15 | 1.94E+15 | 4.78E+13        | 2.29E+14 | 1.56E+15 | 1.76E+15 | 5.19E+13         | 2.47E+14 | 1.50E+15 | 1.71E+15 | 3.73E+13         | 1.79E+14 | 1.23E+15 | 1.38E+15 |
| 10  | 47.5       |       | 5.14E+13        | 2.42E+14 | 1.58E+15 | 1.79E+15 | 4.42E+13        | 2.12E+14 | 1.44E+15 | 1.62E+15 | 4.77E+13         | 2.26E+14 | 1.37E+15 | 1.57E+15 | 3.44E+13         | 1.65E+14 | 1.13E+15 | 1.27E+15 |
| 9   | 42.5       |       | 4.58E+13        | 2.16E+14 | 1.41E+15 | 1.60E+15 | 3.98E+13        | 1.90E+14 | 1.30E+15 | 1.46E+15 | 4.24E+13         | 2.01E+14 | 1.23E+15 | 1.40E+15 | 3.10E+13         | 1.47E+14 | 1.01E+15 | 1.13E+15 |
| 8   | 37.5       |       | 3.89E+13        | 1.83E+14 | 1.22E+15 | 1.38E+15 | 3.44E+13        | 1.64E+14 | 1.13E+15 | 1.27E+15 | 3.59E+13         | 1.70E+14 | 1.06E+15 | 1.21E+15 | 2.70E+13         | 1.26E+14 | 8.80E+14 | 9.87E+14 |
| 7   | 32.5       |       | 2.99E+13        | 1.40E+14 | 1.01E+15 | 1.13E+15 | 2.71E+13        | 1.29E+14 | 9.55E+14 | 1.06E+15 | 2.75E+13         | 1.30E+14 | 8.73E+14 | 9.84E+14 | 2.14E+13         | 1.01E+14 | 7.38E+14 | 8.21E+14 |
| 6   | 27.5       |       | 1.76E+13        | 8.86E+13 | 7.93E+14 | 8.57E+14 | 1.78E+13        | 8.89E+13 | 7.92E+14 | 8.57E+14 | 1.59E+13         | 8.10E+13 | 6.82E+14 | 7.42E+14 | 1.35E+13         | 6.76E+13 | 5.92E+14 | 6.42E+14 |
| 5   | 22.5       | 下部軸フラ | 1.04E+13        | 5.57E+13 | 6.12E+14 | 6.46E+14 | 1.19E+13        | 6.16E+13 | 6.12E+14 | 6.53E+14 | 9.19E+12         | 4.99E+13 | 5.22E+14 | 5.54E+14 | 8.74E+12         | 4.56E+13 | 4.68E+14 | 4.97E+14 |
| 4   | 17.5       |       | 6.50E+12        | 3.62E+13 | 4.68E+14 | 4.86E+14 | 8.34E+12        | 4.40E+13 | 4.83E+14 | 5.10E+14 | 5.56E+12         | 3.17E+13 | 3.96E+14 | 4.13E+14 | 5.95E+12         | 3.18E+13 | 3.67E+14 | 3.85E+14 |
| 3   | 12.5       |       | 4.20E+12        | 2.40E+13 | 3.56E+14 | 3.65E+14 | 5.89E+12        | 3.14E+13 | 3.77E+14 | 3.95E+14 | 3.48E+12         | 2.06E+13 | 2.99E+14 | 3.07E+14 | 4.10E+12         | 2.23E+13 | 2.85E+14 | 2.96E+14 |
| 2   | 7.5        |       | 2.83E+12        | 1.64E+13 | 2.69E+14 | 2.74E+14 | 4.27E+12        | 2.29E+13 | 2.92E+14 | 3.04E+14 | 2.26E+12         | 1.37E+13 | 2.23E+14 | 2.27E+14 | 2.90E+12         | 1.60E+13 | 2.20E+14 | 2.27E+14 |
| 1   | 2.5        |       | 1.89E+12        | 1.12E+13 | 2.01E+14 | 2.04E+14 | 2.98E+12        | 1.63E+13 | 2.23E+14 | 2.30E+14 | 1.46E+12         | 9.09E+12 | 1.65E+14 | 1.67E+14 | 1.99E+12         | 1.12E+13 | 1.67E+14 | 1.72E+14 |

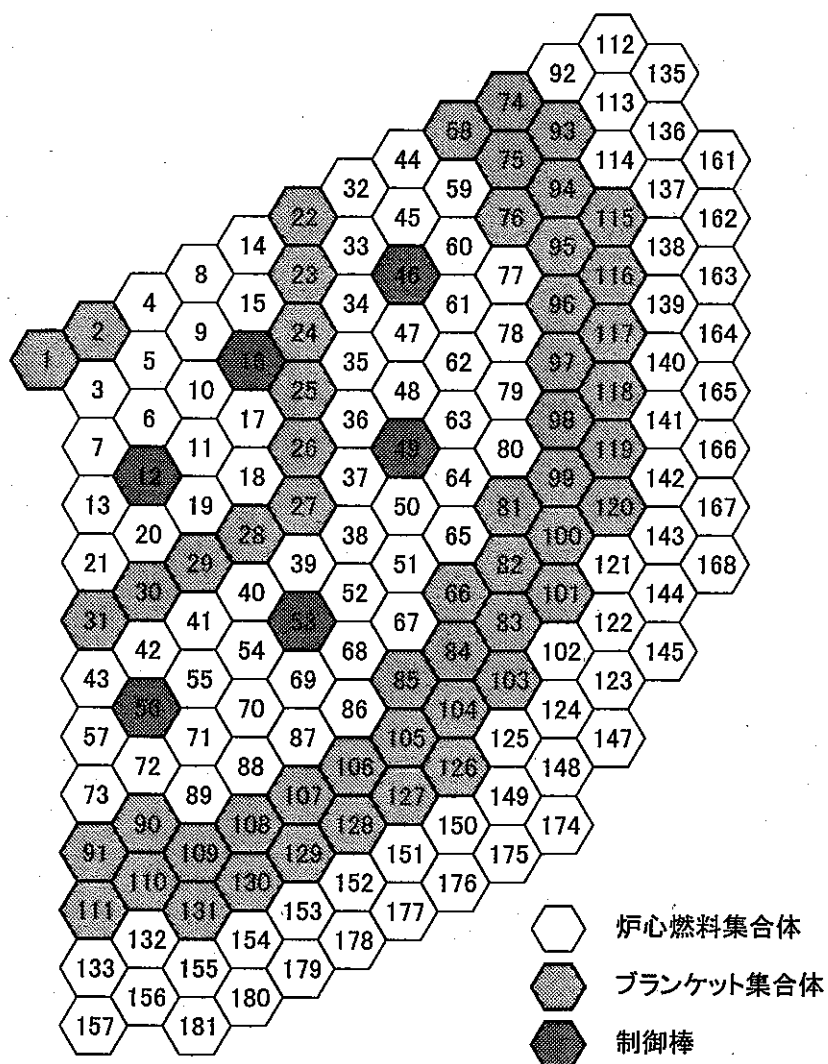


図 4.2.4-1 中型径方向非均質炉心における集合体番号  
(1/3 炉心体系)

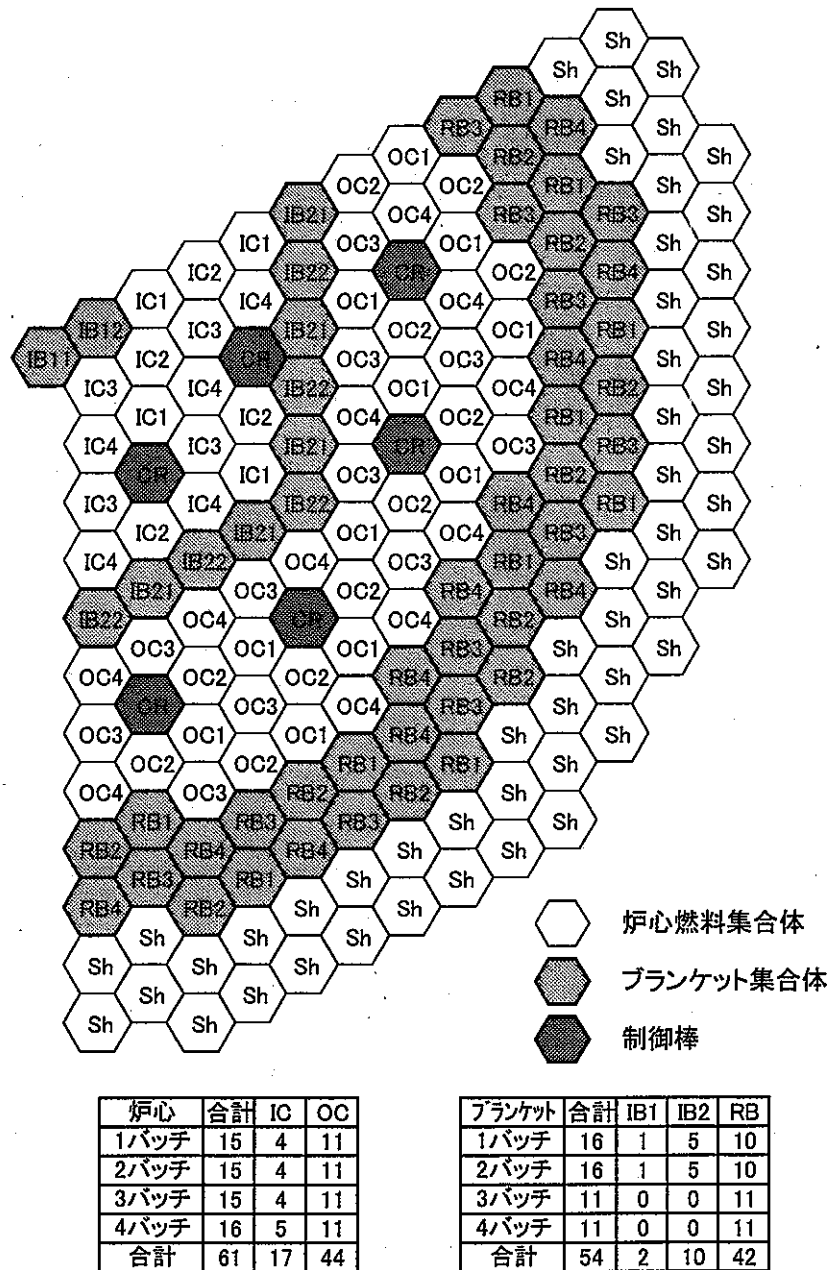


図 4.2.4-2 中型径方向非均質炉心における燃料交換パターン  
(1/3 炉心体系；暫定)

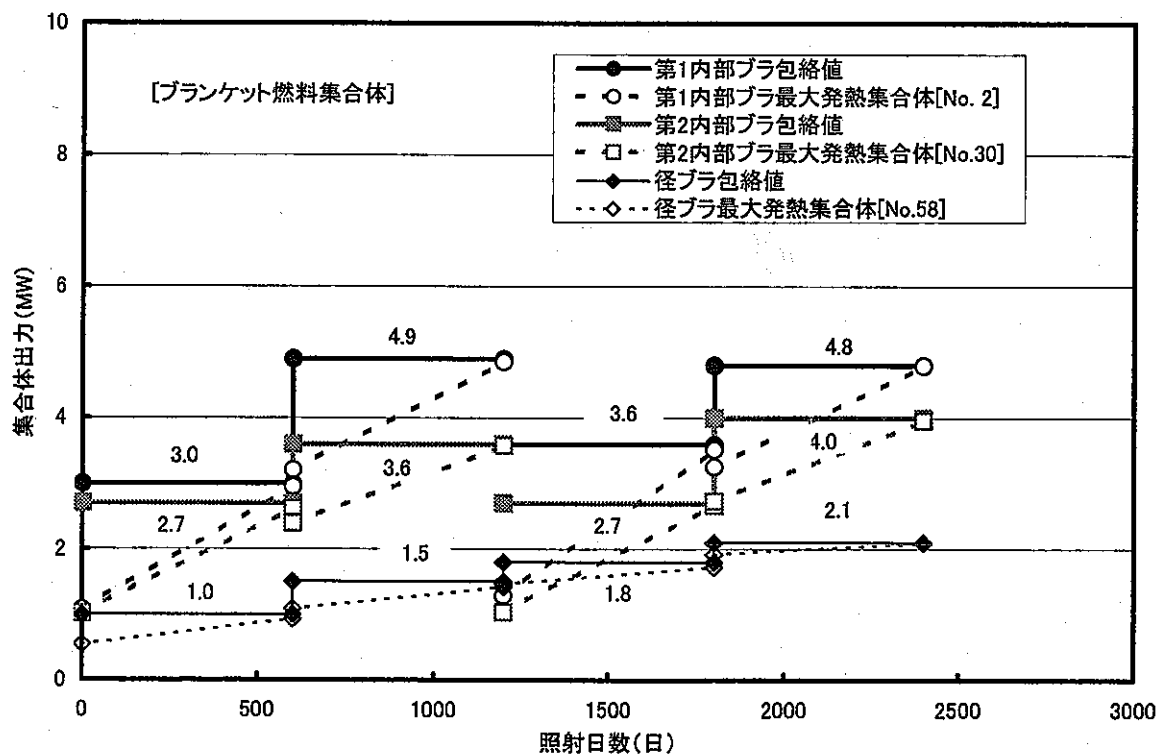
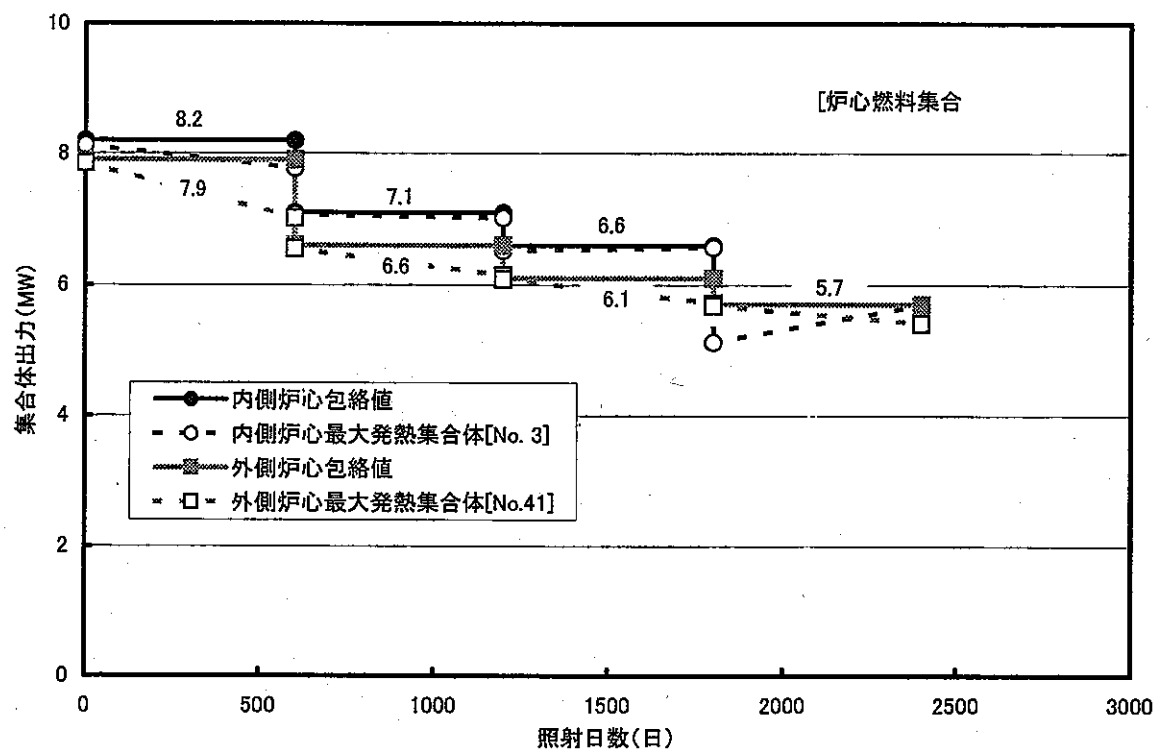


図 4.2.4-3 中型径方向非均質炉心における集合体出力履歴

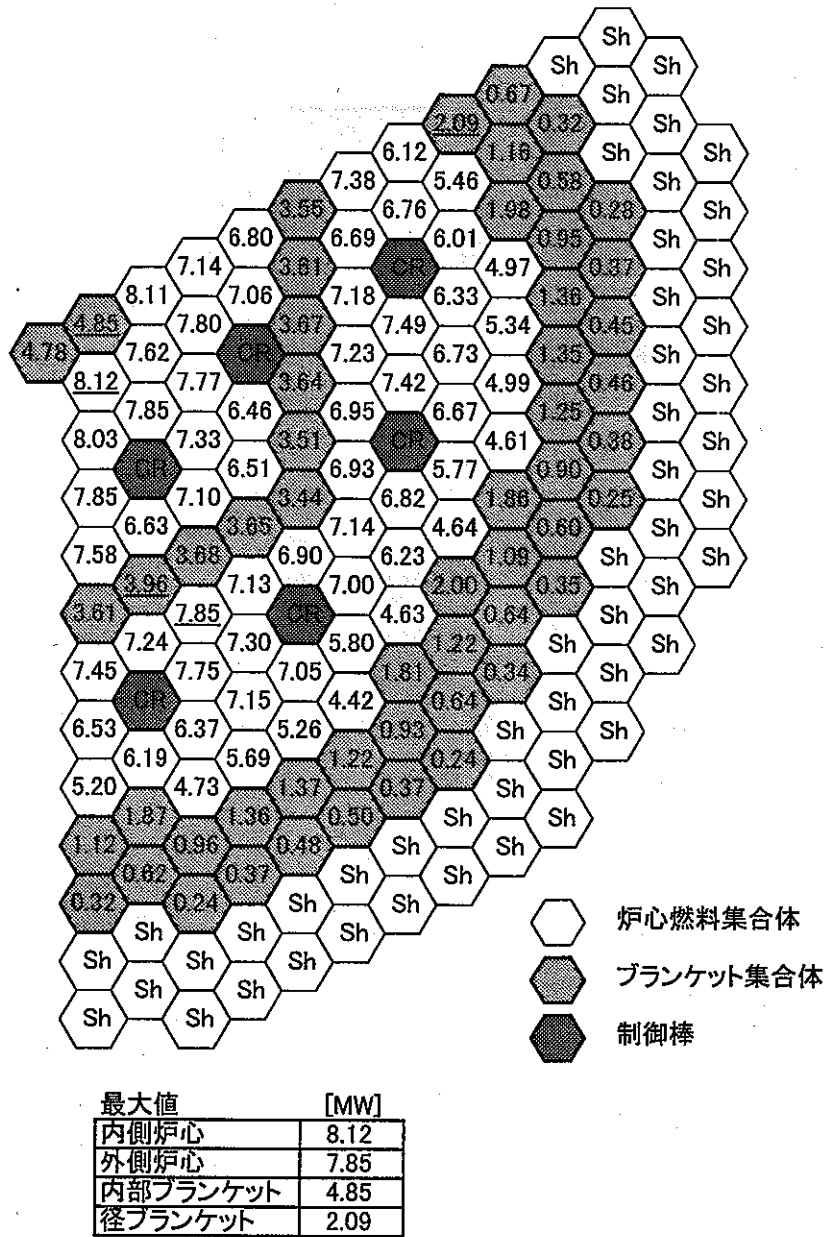


図 4.2.4-4 中型径方向非均質炉心における集合体出力  
(1/3 炉心体系；平衡サイクル包絡値)

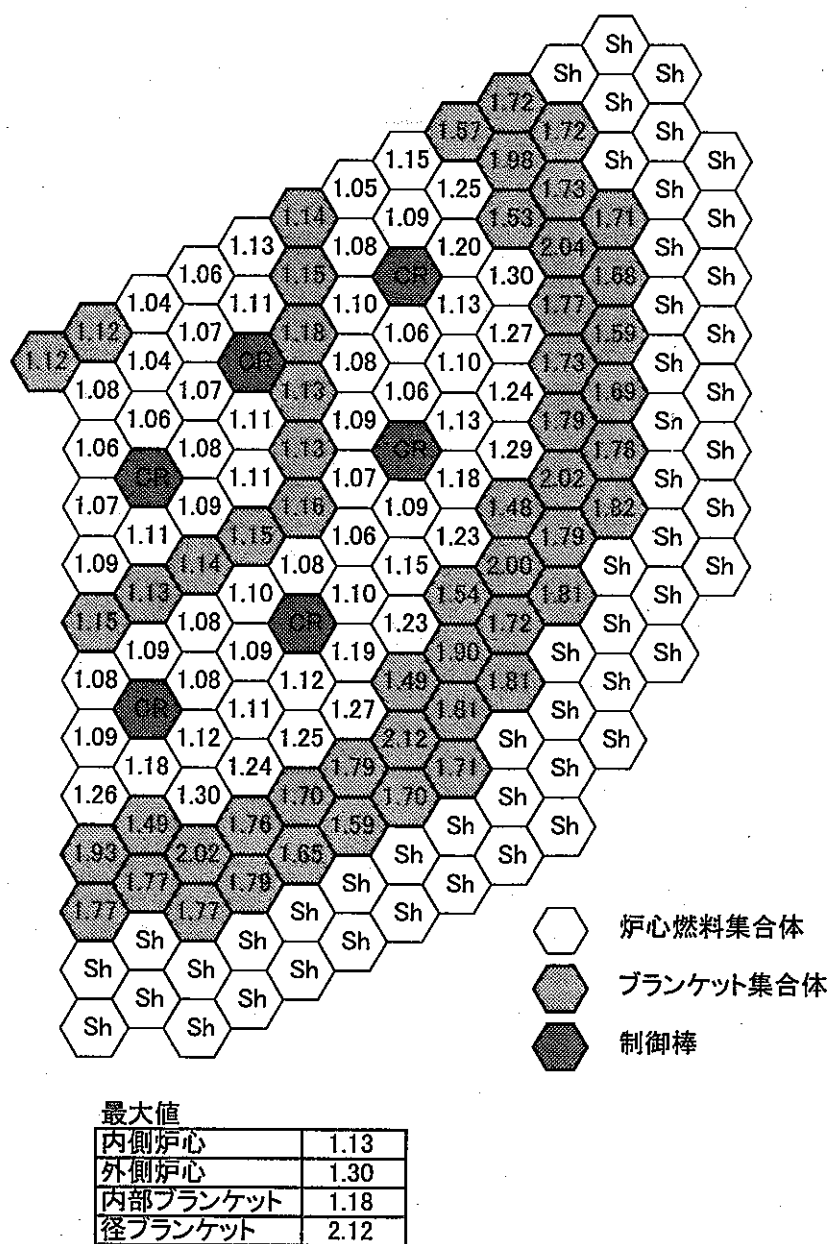


図 4.2.4-5 中型径方向非均質炉心における集合体内ピーキング  
(1/3 炉心体系；平衡サイクル包絡値)

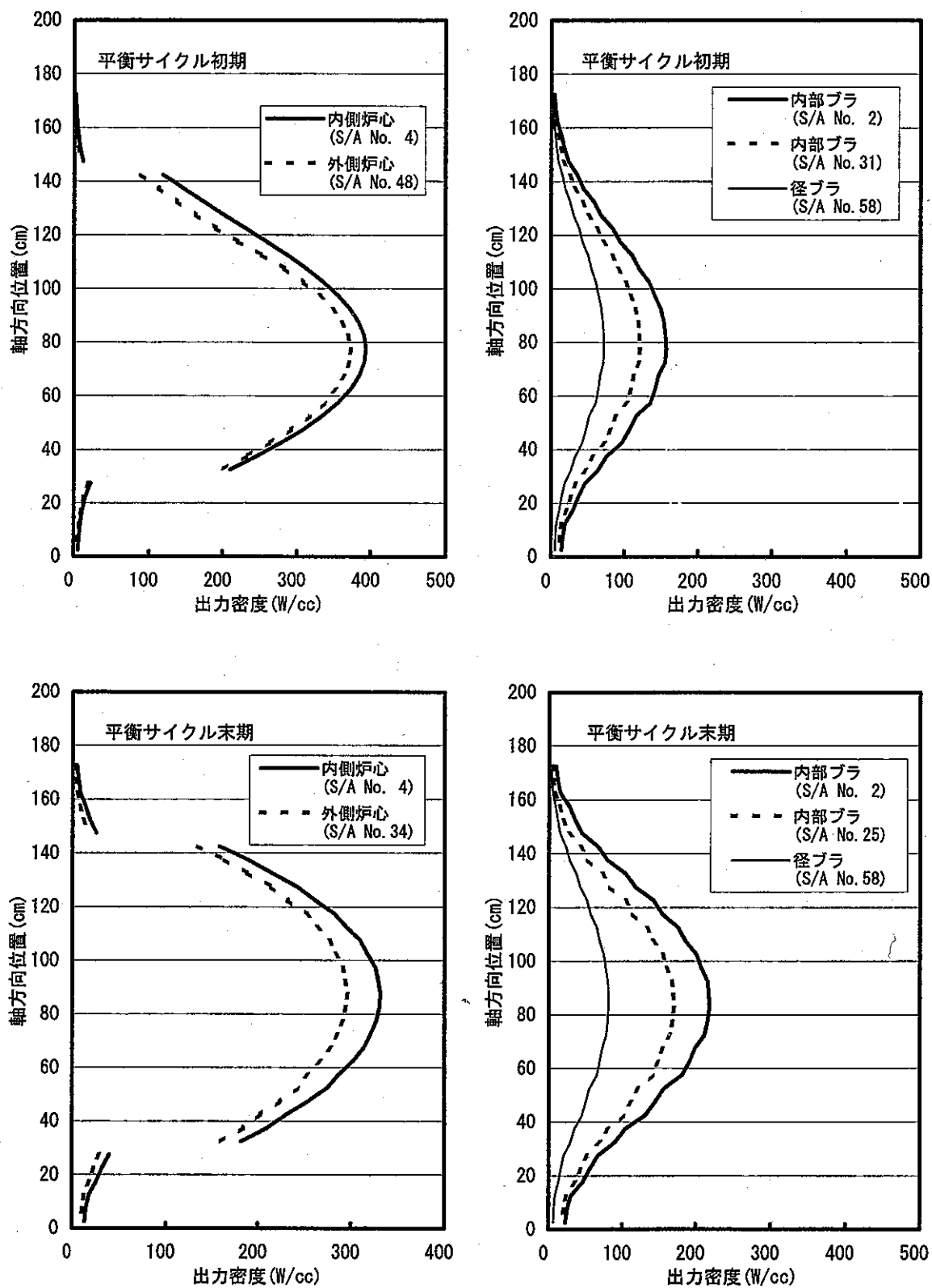


図 4.2.4-6 中型径方向非均質炉心における軸方向出力分布  
(第 6 サイクル 最大発熱集合体)

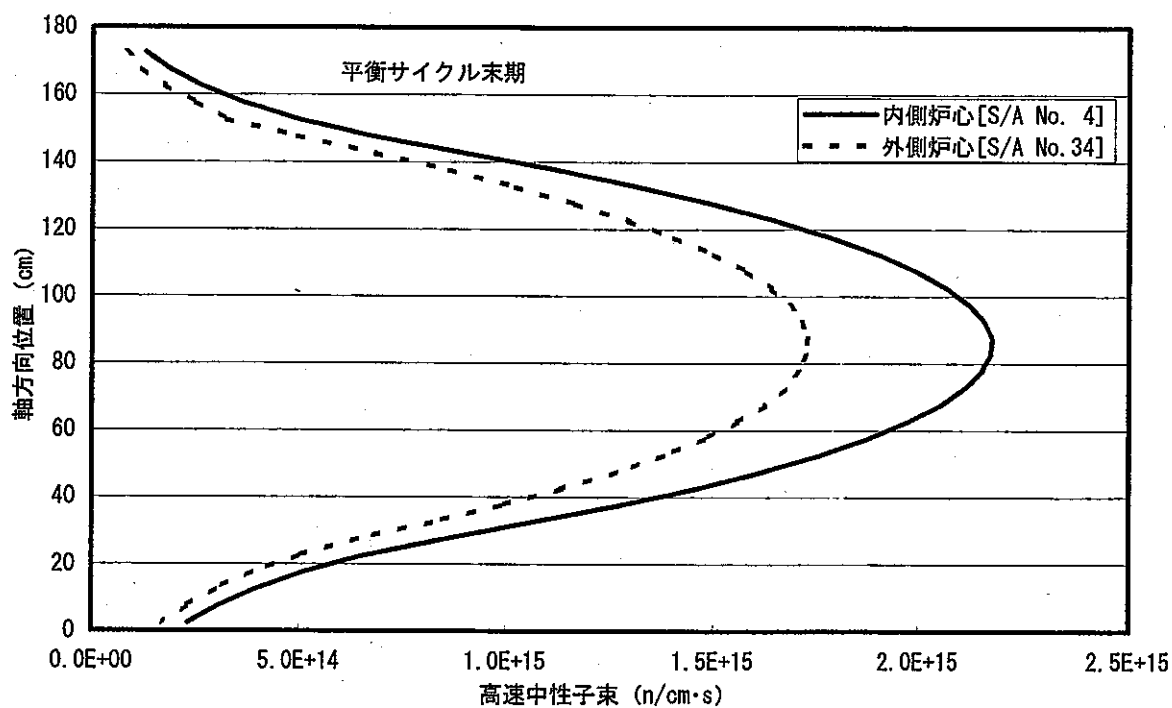
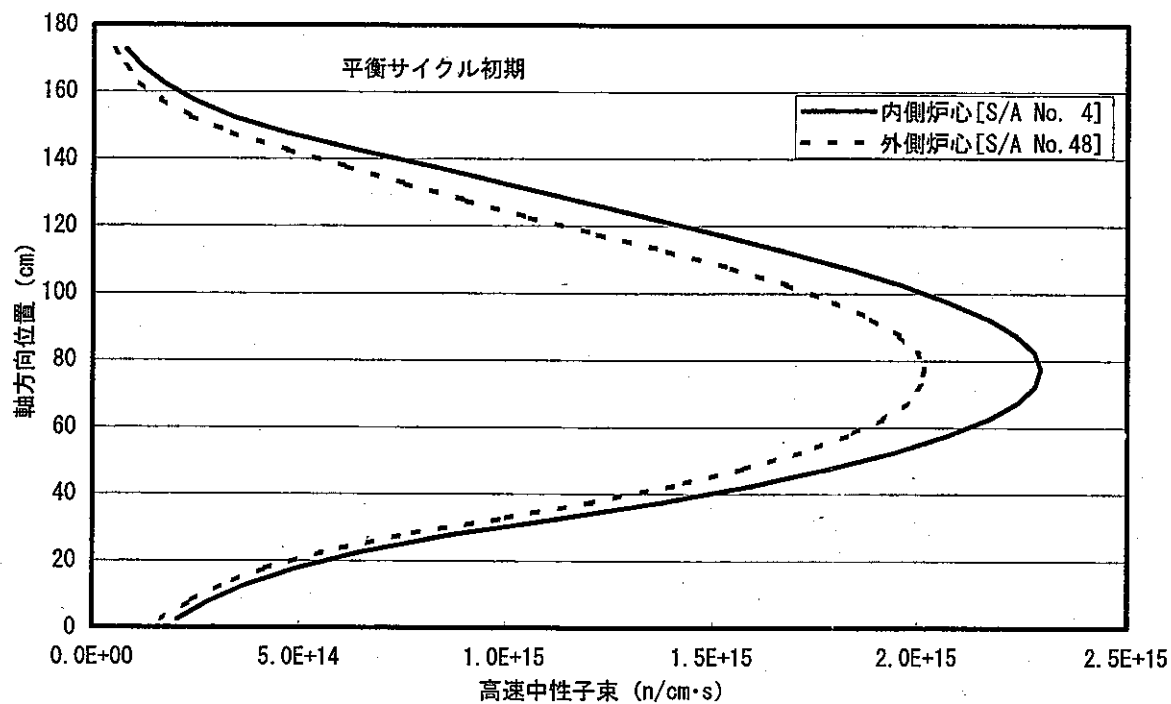


図 4.2.4-7 中型径方向非均質炉心における軸方向高速中性子束分布  
(第 6 サイクル 最大発熱集合体)

### 4.3 熱設計検討

4.1 及び 4.2 に示した中型径非均質炉心(MOX 燃料)を対象として、流量配分設計検討を実施した。1 次系流量バランスから燃料集合体に配分可能な流量を簡易的に算出した。一方、出力分布履歴を入力として簡易評価式により炉心燃料集合体と内部ブランケット集合体の必要流量を計算した。これらに基づき、流量配分計画を暫定するとともに、設計成立のための課題を整理し、その解決方策を提案した。

#### (1) 検討対象

4.1 及び 4.2 節に示した中型径方向非均質炉心(MOX 燃料)を検討対象とした。

#### (2) 検討条件、及び手法

2.3.2 に示した条件、及び手法を用いた。

#### (3) 検討結果

##### a) 炉心燃料および内部ブランケット燃料集合体に配分可能な流量(炉容器内流配)

3.1.3 における検討と同様に、FBR 実証炉の設計結果<sup>[1]</sup>に基づき、本対象炉心における 1 次系流量および炉容器内流配を簡易評価し、炉心燃料と内部ブランケット燃料集合体に配分可能な流量を設定した。結果を表 4.3-1 に示す。本対象炉心の径ブランケット出力分担率は約 8%であることから、実証炉並の配分割合(出力分担率 3%に対して流量 5%を配分)とした場合、および合理化が図られた場合を想定した。具体的には、実証炉並の配分割合ケースとして 13%流量を、合理化が図られたケースとして出力分担率並の 8%とした。また、制御棒、径方向遮蔽体およびその他(漏洩流、炉壁冷却)流量割合として、実証炉では 1 次系流量の 5.7%を計上している。本流量割合についてもパラメータとし、これを丸めた数値として 6%とした場合と、炉壁冷却相当分(2%程度)を合理化した場合とを想定した。

これら種々の想定に対する「炉心燃料および内部ブランケット燃料集合体に配分可能な流量(以後、配分可能流量と呼ぶ)」は、各々 5,339kg/s(ケース 0)、5,218kg/s(ケース 1)および 4,915kg/s(ケース 2)となった。本検討では、これら各ケースの中で配分可能流量を最大限に確保できる最も合理化したケース、即ちケース 0 を基準ケースとした。以上の考え方は、3.1.3 における大型径方向非均質炉心の熱設計検討と同じである。

##### b) 必要流量

被覆管最高温度目安値を 700℃とした場合について、炉心燃料集合体と内部ブランケット集合体の各集合体の必要流量を計算した。計算結果を

表 4.3-2 に示す。各集合体の必要流量の単純合計値(以下、単に必要流量と呼ぶ)は、配分可能流量として設定したケースの中で最大であるケース 0 に着目した場合でも、配分可能流量をとほぼ同程度(99.8%)となった。流量領域を区分して流量を設定した場合に、設計流量合計値は必要流量よりも 3%~5%程度増加することを考慮すると、本炉心は必要流量を 3%~5%程度低減する必要があることになる。このように従来均質炉心と比較して流配設計成立が困難である主な理由は、炉心燃料集合体よりも燃焼に伴う出力変動が大きい内部ブランケットが存在し、且つ、集合体流量は最大出力時の冷却条件(被覆管最高温度条件)を満足するように決定されるため、従来の均質炉心よりも多くの無駄流量が発生していることによる。以上の傾向も大型径方向非均質炉心と同様であるが、若干必要流量が低減している理由は、プルトニウム富化度を 2 領域として出力分布の平坦化を図っているためと考えられる。

#### c) 流量配分計画の設定

炉心燃料 4 領域、内部ブランケット燃料 2 領域の計 6 領域を目安として、流量領域を区分し、配分流量を設定した。流量領域を区分したことにより、領域必要流量は配分可能流量の 104.0%となり、本条件にて流量配分設計を成立させるためには、大型径方向非均質炉心と同様の合理化を図る必要がある。ただし、大型径方向非均質炉心(105.0%)より 1%程度は合理化目標を低減できることとなる。具体的な方策案を表 4.3-3 にまとめて示す。

なお、大型径方向非均質炉心と同様に、出力変動が大きい内部ブランケットの流量をその滞在サイクルに応じて変更することにより(内部ブランケット間シャッフリング、もしくは燃料交換時に集合体出口部に流動抵抗を除去/付加する方策等)、領域必要流量は約 1%削減できる可能性があるため、これが実現できる場合には①、②について合理化目標を約 1%緩和できることになる。

#### d) 内部ブランケット燃料集合体隣接集合体間出口温度差および低減方策案

内部ブランケット燃料集合体およびこれと隣接する炉心/内部ブランケット燃料集合体の冷却材出口温度差についても、大型径方向非均質炉心と同様の対策が必要となることになる。

表 4.3-1 炉心燃料集合体及び内部ブランケット燃料集合体への配分可能流量

| 項目                         | 実証炉 <sup>[1]</sup><br>(参考) | 径非均質<br>ケース 0 | 径非均質<br>ケース 1 | 径非均質<br>ケース 2 |
|----------------------------|----------------------------|---------------|---------------|---------------|
| 熱出力 (MWt)                  | 1600                       | 1190          | ←             | ←             |
| 1 次系流量 (kg/s)              | 8158                       | 6068          | ←             | ←             |
| 配分可能流量 (kg/s)              | 7285                       | 5339          | 5218          | 4915          |
| 流量配分 <sup>(*)</sup> (炉容器内) |                            |               |               |               |
| 制御棒／径方向遮蔽体                 | 5.7%                       | 4%            | 6%            | 6%            |
| 径ブランケット燃料集合体               | 5.0%                       | 8%            | 8%            | 13%           |
| 炉心／内部ブランケット燃料集合体           | 89.3%                      | 88.0%         | 86.0%         | 81.0%         |

(\*) 1 次系流量に対する割合を示す。

表 4.3-2 径方向非均質炉心の必要流量評価結果

| 項目                |           |           |           |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|
| 必要流量              |           |           |           |
| 炉心燃料集合体           | 4826 kg/s |           |           |
| 内部ブランケット燃料集合体     | 502 kg/s  |           |           |
| 合計                | 5328 kg/s |           |           |
|                   | ケース 1     | ケース 2     | ケース 3     |
| 配分可能流量            | 5339 kg/s | 5218 kg/s | 4915 kg/s |
| 必要流量の配分可能流量に対する割合 |           |           |           |
| 炉心燃料集合体           | 90.4%     | 92.5%     | 98.2%     |
| 内部ブランケット燃料集合体     | 9.4%      | 9.6%      | 10.2%     |
| 合計                | 99.8%     | 102.1%    | 108.4%    |

表 4.3-3 熱設計成立のための課題解決方策案

|                                             |                            |                             |                                         |
|---------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|
|                                             | 中型径方向非均質炉心                 |                             | 大型径方向非均質炉心                              |
| ●内部ブランケット燃料集合体のサイクル毎の流量調節（シャッフリング等）を実施しない場合 |                            |                             |                                         |
| 配分可能流量超過量<br>（合理化目標値）                       | 約 4%                       |                             | 約 5%                                    |
|                                             | ケース A                      | ケース B                       |                                         |
| ①被覆管材開発 <sup>(*)</sup>                      | 被覆管制限温度約 710℃を目指す。         | 被覆管制限温度約 707℃を目指す。          | 被覆管制限温度約 710℃を目指す。                      |
| ②高温点因子低減                                    | 最高温度発生要因となる高温点因子を約 1%合理化する | 最高温度発生要因となる高温点因子を約 2%合理化する。 | 最高温度発生要因となる高温点因子を約 2%合理化する。             |
| ●内部ブランケット燃料集合体のサイクル毎の流量調節（シャッフリング等）を実施しない場合 |                            |                             |                                         |
| 配分可能流量超過量<br>（合理化目標値）                       | 約 3%                       |                             | 約 4%                                    |
| ①被覆管材開発 <sup>(*)</sup>                      | 被覆管制限温度約 707℃を目指す。         | 被覆管制限温度約 703℃を目指す。          | 被覆管制限温度約 710℃（もしくは 707℃）を目指す。           |
| ②高温点因子低減                                    | 最高温度発生要因となる高温点因子を約 1%合理化する | 最高温度発生要因となる高温点因子を約 2%合理化する。 | 最高温度発生要因となる高温点因子を約 1%合理化（もしくは 2%合理化）する。 |

各ケース（①と②の組み合わせ）において、①と②の両方を推進することが必要となる。

<sup>(\*)</sup> ODS 被覆管の高い高温強度を踏まえ、成立性確認については課題はあるものの、暫定的に設定した開発目標である。従って、ODS 鋼の 700℃を超過した高温条件での健全性確認等が重要な課題となる。

#### 4.4 燃料特性評価

ABLE 型径方向非均質炉心の燃料について、中型炉心も大型炉心と同様、主に内部ブランケットの炉内滞在期間中出力変動が大きい効果から流量条件は厳しく、被覆管最高温度は高くなるものと推測される。中型炉心も被覆材として ODS 鋼を採用しており、燃料仕様については、被覆管外径・肉厚は大型炉心仕様と同一、ガスプレナム容積は大型炉心との炉心高さの比に基づき設定している。そのため、CDF 評価上は、大型炉心と同程度の被覆管最高温度(710℃)を確保できれば、同程度の CDF 値を示すものと考えられる。CDF を厳しい側にする要因として、中型炉心では運転サイクル長さが若干長いこと(大型炉心：570 日、中型炉心：600 日)が考えられるが、大型炉心を対象とした CDF 検討の結果から推測するに、バンドル圧損への影響が小さい範囲で燃料ピン仕様を調整することにより、燃料設計成立条件(CDF=0.5)は十分確保できる見通しがあるものと考えられる。

#### 4.5 遮蔽特性評価

再臨界回避概念として現在考えられているナトリウム冷却中型酸化物燃料である ABLE 型燃料径方向非均質炉心（炉心高さ 115 cm、熱出力 1,190MWt）について遮蔽特性評価を行った。

##### (1) 具体的解析条件

- 炉心構成： 図 4.1-2
- 燃料集合体構成： 図 4.1-1
  - （上部構造） 530 cm の  $B_4C$  遮蔽体を設置
  - （下部構造） 970 cm のガスプレナムを設置
- 径方向遮蔽体： SUS 遮蔽体×1 層 + ZrH 遮蔽体×1 層  
3.2.5 の検討を参考に設定した  
下部ガスプレナム位置まで遮蔽体構造とした
- 中性子規格化定数： 2.3.3 項に示した計算式を用い、以下のとおり設定した
 
$$X_{NF} = 1,190 \times 10^6 \times 2.878 / (198.5 \times 10^6 \times 1.602 \times 10^{-19}) = 1.0770 \times 10^{20} \text{ (n/sec)}$$
- 各部組成温度と原子数密度：
  - EOEC を対象 表 4.5-1
- 断面積縮約計算体系：
  - 1 次元半径方向計算 図 4.5-1  
炉心中心面上の体系で代表させた
  - 1 次元軸方向計算 図 4.5-1  
炉心中心軸上の体系で代表させた
- 縮約断面積： 多数群と少数群データの関係 表 4.5-2  
ANISN-W による 1 次元計算による中性子束と、多数群(100 群)マクロ断面積により、少数群(21 群)断面積を求めた。
- 遮蔽解析体系： 2 次元 RZ 円筒体系 図 4.5-2  
DOT-3.5 による 21 群計算で中性子束を求めた
- 遮蔽評価基準値： 2.3.3 項参照
- 解析の流れ： 図 2.3.3-1 を参照

##### (2) 解析結果

###### (i) 炉心槽内面の高速中性子束軸方向分布

炉心槽内面位置での高速中性子束分布を図 4.5-3 に示す。これらの図中の値は

as calculation 値（未補正值）である。

同図にでは、炉心からの中性子漏れによる高速中性子束分布のピークが、炉心中心面（図中：軸方向 250～360cm）位置に現れている。また、燃料集合体下部ガスパレナム領域からの回り込みによる中性子の漏れが、炉心下部（図中：軸方向 100～150cm）位置に見える。

高速中性子束最大値(as calculation 値)は、 $3.17 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2/\text{s}$  となった。この高速中性子束最大値に JASPER 解析による補正值 2.1 を掛け、評価値  $6.67 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2/\text{s}$  を得た。

表 4.5-3 に示すように、プラント寿命を 40 年又は 60 年と仮定した場合の遮蔽評価基準値（それぞれ  $1.7 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2/\text{s}$ 、 $1.1 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2/\text{s}$  に相当）と比べ、それぞれ約 3 倍、約 2 倍の余裕がある。したがって、本炉心の 2 層からなる径方向遮蔽体構成は、遮蔽評価基準値を十分満足できる。

#### (ii) 炉心上部構造物下面の高速中性子束径方向分布

炉心上部構造物(UIS)下面位置での高速中性子束分布を図 4.5-4 に示す。これらの図中の値は as calculation 値（未補正值）である。同図では、炉心中心方向から径方向に高速中性子束強度が減少する傾向を示している。この分布形は、炉心内の高速中性子束分布と相関していると理解できる。

高速中性子束最大値(as calculation 値)は、 $7.16 \times 10^9 \text{ n/cm}^2/\text{s}$  となった。この高速中性子束最大値に JASPER 解析による補正值 3.5 を掛け、評価値  $2.51 \times 10^{10} \text{ n/cm}^2/\text{s}$  を得た。

表 4.5-3 に示すように、遮蔽評価基準値（40 年寿命で  $8.8 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2/\text{s}$ 、60 年寿命で  $5.8 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2/\text{s}$  に相当）と比べ、それぞれ約 40 倍、20 倍の余裕がある。したがって、本炉心の上部軸方向遮蔽構造は、遮蔽評価基準値を十分満足できる。

#### (iii) 下部炉心支持板上面の高速中性子束径方向分布

下部炉心支持板上面位置（炉心側）での高速中性子束分布を図 4.5-5 に示す。これらの図中の値は as calculation 値（未補正值）である。上記 (ii)と同様に、炉心径方向の高速中性子束分布と相関を示す高速中性子束分布となることが、同図からわかる。

高速中性子束最大値(as calculation 値)は、 $1.08 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2/\text{s}$  となった。この高速中性子束最大値に JASPER 解析による補正值 1.7 を掛け、評価値  $1.83 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2/\text{s}$  を得た。

表 4.5-3 に示すように、遮蔽評価基準値（40 年寿命で  $4.4 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2/\text{s}$ 、60 年寿命で  $2.9 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2/\text{s}$  相当）と比べ、それぞれ約 2.4 倍、約 1.5 倍の余裕がある。したがって、本炉心の下部軸方向遮蔽構造は、遮蔽評価基準値を十分満足できる。

## (iv) 炉心周りの高速中性子束分布

炉心周りの高速中性子束等高線図を図 4.5-6 に示す。これらの図中の値は as calculation 値（未補正值）である。

炉心槽側面位置で高速中性子束最大値を示す位置（炉心中心面付近）での径方向高速中性子束分布に注目してみると、SUS 遮蔽体及び ZrH 遮蔽体領域において、高速中性子束がそれぞれ 1 桁以上減少していることがわかる。すなわち、SUS 遮蔽体 1 層+ZrH 遮蔽体 1 層からなる遮蔽構成が有効である。また、炉心に径方向ブランケットを配置していることにより、遮蔽基準上厳しい径方向への高速中性子の漏れが、炉心部より 1 桁以上下がっていることも、径方向遮蔽性能に大きく寄与している。

## (3) まとめ

本解析により、以下のことがわかった。

- ① 径方向ブランケット 2 層を有する径方向非均質炉心の径方向遮蔽構成を、SUS 遮蔽 1 層+ZrH 遮蔽体 1 層（合計 2 層）とすることにより、炉心周りの高速中性子照射量に対する遮蔽評価基準値を、余裕を持って満足できる結果が得られた。
- ② これまでの遮蔽解析では、炉心上方への高速中性子束の漏れに対する余裕があることがわかっていたが、炉心下方への漏れによる下部炉心支持板上面での高速中性子照射量にあまり余裕のない結果が得られていた。そこで、本検討で設定したように、十分な下部プレナム長さを有する体系（図 4.1-1 参照）とすることで、炉心支持板上面位置での遮蔽評価基準値を十分に満足する結果が得られた。
- ③ 40 年のプラント寿命条件で、高速中性子照射量に対する軸方向の遮蔽性能は少なくとも 2 倍以上の余裕がある。今後、燃料集合体の軸方向遮蔽構成を合理化できる余地があることがわかった。

## (4) 今後の課題

本解析で使用した JASPER 実験解析による補正值は、実証炉体系に対して評価・設定したものである。そこで、炉心・燃料集合体仕様を今後詰めていく際には、この補正值を見直し・評価する必要がある。

表 4.5-1 各部組成温度と原子数密度

(中型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心)

| 核種         | 核種ID | 内側炉心(1)     | 内側炉心(2)   | 内側炉心(3)   | 内側炉心(4)   | 上部軸ブレンケット | 下部軸ブレンケット | 内部ブレンケット(1) | 内部ブレンケット(2) | 径方向ブレンケット |
|------------|------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-----------|
| Pu-239     | 9490 | 8.959E-04   | 9.305E-04 | 1.005E-03 | 1.052E-03 | 1.517E-04 | 2.211E-04 | 4.080E-04   | 3.524E-04   | 2.108E-04 |
| Pu-240     | 9400 | 6.597E-04   | 6.804E-04 | 7.552E-04 | 7.599E-04 | 5.753E-06 | 1.369E-05 | 3.247E-05   | 2.340E-05   | 8.823E-06 |
| Pu-241     | 9410 | 1.014E-04   | 1.048E-04 | 1.122E-04 | 1.075E-04 | 1.537E-07 | 5.944E-07 | 1.635E-06   | 1.009E-06   | 2.693E-07 |
| Pu-242     | 9420 | 7.862E-05   | 8.015E-05 | 9.004E-05 | 9.036E-05 | 3.130E-09 | 1.730E-08 | 6.768E-08   | 3.465E-08   | 6.250E-09 |
| Am-241     | 9510 | 3.510E-05   | 3.706E-05 | 4.378E-05 | 4.762E-05 | 1.033E-08 | 3.925E-08 | 5.807E-08   | 3.625E-08   | 1.792E-08 |
| U-235      | 9250 | 8.485E-06   | 9.106E-06 | 9.275E-06 | 1.055E-05 | 1.968E-05 | 1.758E-05 | 2.143E-05   | 2.299E-05   | 3.101E-05 |
| U-238      | 9280 | 5.460E-03   | 5.527E-03 | 5.319E-03 | 5.424E-03 | 7.610E-03 | 7.512E-03 | 1.015E-02   | 1.025E-02   | 1.186E-02 |
| O          | 860  | 1.678E-02   | 1.678E-02 | 1.680E-02 | 1.680E-02 | 1.564E-02 | 1.564E-02 | 2.152E-02   | 2.152E-02   | 2.407E-02 |
| Na         | 1130 | 7.252E-03   | 7.252E-03 | 7.252E-03 | 7.252E-03 | 7.252E-03 | 7.252E-03 | 5.929E-03   | 5.929E-03   | 5.662E-03 |
| Fe         | 2600 | 1.799E-02   | 1.799E-02 | 1.799E-02 | 1.799E-02 | 1.799E-02 | 1.799E-02 | 1.797E-02   | 1.797E-02   | 1.424E-02 |
| Cr         | 2400 | 2.668E-03   | 2.668E-03 | 2.668E-03 | 2.668E-03 | 2.668E-03 | 2.668E-03 | 2.666E-03   | 2.666E-03   | 2.112E-03 |
| Ni         | 2800 | 1.142E-04   | 1.142E-04 | 1.142E-04 | 1.142E-04 | 1.142E-04 | 1.142E-04 | 1.141E-04   | 1.141E-04   | 9.038E-05 |
| Mo         | 4200 | 1.780E-04   | 1.780E-04 | 1.780E-04 | 1.780E-04 | 1.780E-04 | 1.780E-04 | 1.778E-04   | 1.778E-04   | 1.408E-04 |
| Mn         | 2550 | 1.156E-04   | 1.156E-04 | 1.156E-04 | 1.156E-04 | 1.156E-04 | 1.156E-04 | 1.155E-04   | 1.155E-04   | 9.147E-05 |
| Np-237     | 9370 | 8.143E-06   | 7.924E-06 | 9.320E-06 | 9.997E-06 | 3.913E-07 | 5.108E-07 | 1.351E-06   | 1.198E-06   | 4.962E-07 |
| Pu-238     | 9480 | 2.740E-05   | 2.834E-05 | 3.139E-05 | 3.108E-05 | 3.991E-08 | 7.710E-08 | 2.804E-07   | 2.110E-07   | 5.785E-08 |
| 計算時組成温度(K) |      | 1373        | 1373      | 1373      | 1373      | 1073      | 1073      | 1073        | 1073        | 1073      |
| 核種         | 核種ID | Na反射体(C/R部) | ガス反射体     | 融合部       | Na層       | 軸方向遮へい体   | 下部反射体     | SUS反射体      | バッドリングヘッド   | 径方向Na層    |
| Na         | 1130 | 2.031E-02   | 7.228E-03 | 7.450E-03 | 2.002E-02 | 7.222E-03 | 5.557E-03 | 6.383E-03   | 6.383E-03   | 2.224E-02 |
| Fe         | 2600 | 4.587E-03   | 1.201E-02 | 4.645E-02 | 6.985E-03 | 8.598E-03 | 3.949E-02 | 3.754E-02   | 3.754E-02   | —         |
| Cr         | 2400 | 1.217E-03   | 3.185E-03 | 8.270E-03 | 1.244E-03 | 2.280E-03 | 1.047E-02 | 9.955E-03   | 9.955E-03   | —         |
| Ni         | 2800 | 1.437E-03   | 3.763E-03 | 3.259E-04 | 4.901E-05 | 2.693E-03 | 1.237E-02 | 1.176E-02   | 1.176E-02   | —         |
| Mo         | 4200 | 1.099E-04   | 2.877E-04 | 1.124E-04 | 1.690E-05 | 2.060E-04 | 9.463E-04 | 8.995E-04   | 8.995E-04   | —         |
| Mn         | 2550 | 1.343E-04   | 3.517E-04 | —         | —         | 2.518E-04 | 1.156E-03 | 1.099E-03   | 1.099E-03   | —         |
| C          | 620  | —           | —         | —         | —         | 1.317E-02 | —         | —           | —           | —         |
| B-10       | 500  | —           | —         | —         | —         | 1.054E-02 | —         | —           | —           | —         |
| B-11       | 510  | —           | —         | —         | —         | 4.214E-02 | —         | —           | —           | —         |
| 計算時組成温度(K) |      | 703         | 703       | 703       | 703       | 703       | 703       | 703         | 703         | 668       |
| 核種         | 核種ID | 炉心槽         | 炉上部構造物    | 上部Na層     | 炉心支持板     | 燃料スライダ    | ZrH遮へい体   |             |             |           |
| Na         | 1130 | 0.000E+00   | 2.002E-02 | 2.224E-02 | 6.005E-03 | 1.557E-02 | 4.193E-03 |             |             |           |
| Fe         | 2600 | 5.801E-02   | 5.240E-03 | —         | 4.170E-02 | 1.628E-02 | 1.345E-02 |             |             |           |
| Cr         | 2400 | 1.738E-02   | 1.389E-03 | —         | 1.229E-02 | 4.517E-03 | 3.566E-03 |             |             |           |
| Ni         | 2800 | 8.106E-03   | 1.595E-03 | —         | 6.819E-03 | 4.000E-03 | 4.211E-03 |             |             |           |
| Mo         | 4200 | 4.463E-04   | 1.256E-04 | —         | 4.189E-04 | 2.956E-04 | 3.222E-04 |             |             |           |
| Mn         | 2550 | 1.732E-03   | 1.721E-04 | —         | 1.263E-03 | 5.174E-04 | 3.938E-04 |             |             |           |
| Zr         | 4000 | —           | —         | —         | —         | —         | 1.662E-02 |             |             |           |
| H          | 110  | —           | —         | —         | —         | —         | 2.659E-02 |             |             |           |
| 計算時組成温度(K) |      | 668         | 823       | 823       | 668       | 668       | 703       |             |             |           |

表 4.5-2 100 群と 21 群断面積の対応表

(中型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心)

| ANISN計算<br>対象方向 | 領域名           | 領域温度(K) | MACROJコードで作成した<br>ANISN計算用の100群<br>マクロ断面積No. | ANISN計算時の<br>マクロ断面積No. | COMANDコードで作成した<br>DOT3.5計算用の21群<br>縮約マクロ断面積No. |
|-----------------|---------------|---------|----------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------|
| 径方向計算           | 炉心燃料 (I)      | 1373    | 100                                          | ①                      | [2]                                            |
|                 | 炉心燃料 (II)     | 1373    | 200                                          | ②                      | [4]                                            |
|                 | 炉心燃料 (III)    | 1373    | 300                                          | ③                      | [6]                                            |
|                 | 炉心燃料 (IV)     | 1373    | 400                                          | ④                      | [8]                                            |
|                 | 内部ブランケット (I)  | 1073    | 700                                          | ⑤                      | [1]                                            |
|                 | 内部ブランケット (II) | 1073    | 800                                          | ⑥                      | [5]                                            |
|                 | 径方向ブランケット     | 1073    | 900                                          | ⑦                      | [9]                                            |
|                 | Naフローワー       | 703     | 1000                                         | ⑧                      | [3], [7]                                       |
|                 | SUS遮蔽体        | 703     | 1600                                         | ⑨                      | [10]                                           |
|                 | Na層 (径方向)     | 668     | 2000                                         | ⑩                      | [12], [14]                                     |
|                 | 炉心層           | 668     | 2100                                         | ⑪                      | [13]                                           |
|                 | ZrH遮蔽体        | 703     | 2600                                         | ⑫                      | [11]                                           |
| 軸方向計算           | 内側炉心 (I)      | 1373    | 100                                          | <1>                    |                                                |
|                 | 軸ブランケット (上部)  | 1073    | 500                                          | <2>                    | [23]                                           |
|                 | 軸ブランケット (下部)  | 1073    | 600                                          | <3>                    | [22]                                           |
|                 | ガスプレナム        | 703     | 1100                                         | <4>                    | [20], [24]                                     |
|                 | 勘合部           | 703     | 1200                                         | <5>                    | [19], [21], [25]                               |
|                 | Na層           | 703     | 1300                                         | <6>                    | [26]                                           |
|                 | 軸方向遮蔽体(B4C)   | 703     | 1400                                         | <7>                    | [27]                                           |
|                 | 下部勘合部         | 703     | 1500                                         | <8>                    | [18]                                           |
|                 | ハットリング・ハット    | 703     | 1900                                         | <9>                    | [28]                                           |
|                 | Na層 (軸方向)     | 668     | 2000                                         | <10>                   | [15]                                           |
|                 | 炉心上部構造物(UIS)  | 823     | 2200                                         | <11>                   | [30]                                           |
|                 | 上部Na層         | 823     | 2300                                         | <12>                   | [29]                                           |
|                 | 炉心支持板         | 668     | 2400                                         | <13>                   | [17]                                           |
|                 | エントランス/出口連結管  | 668     | 2500                                         | <14>                   | [16]                                           |

表 4.5-3 遮蔽解析結果

(中型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心)

| 評価位置           | 遮蔽構成                                | 解析結果<br>(補正前) | JASPER補正値 | 評価値<br>(補正後) | 40年寿命遮蔽評<br>価基準値<br>(実証データベース) | 60年寿命遮蔽評<br>価基準値<br>(実証データベース) |
|----------------|-------------------------------------|---------------|-----------|--------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 炉心槽側面内側        | 径ブランケット2層、SUS遮蔽体層+ZrH遮蔽体層           | 3.17E+11      | 2.1       | 6.67E+11     | 1.7E+12                        | 1.1E+12                        |
| 炉心上部構造物(UIS)下面 | 軸ブランケット30cm、B <sub>4</sub> C遮蔽体63cm | 7.16E+09      | 3.5       | 2.51E+10     | 8.8E+11                        | 5.8E+11                        |
| 下部炉心支持板上面      | 軸ブランケット30cm、ガスプレナム97cm              | 1.08E+12      | 1.7       | 1.83E+12     | 4.4E+12                        | 2.9E+12                        |



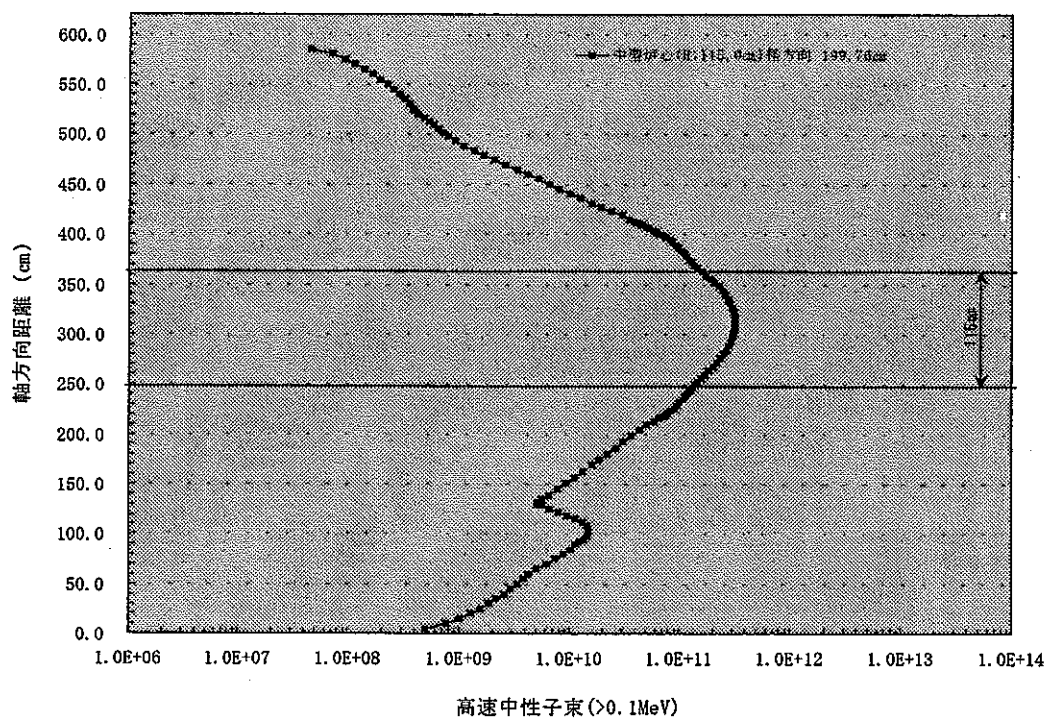


図 4.5-3 炉心槽内側での高速中性子束軸方向分布  
(中型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心)

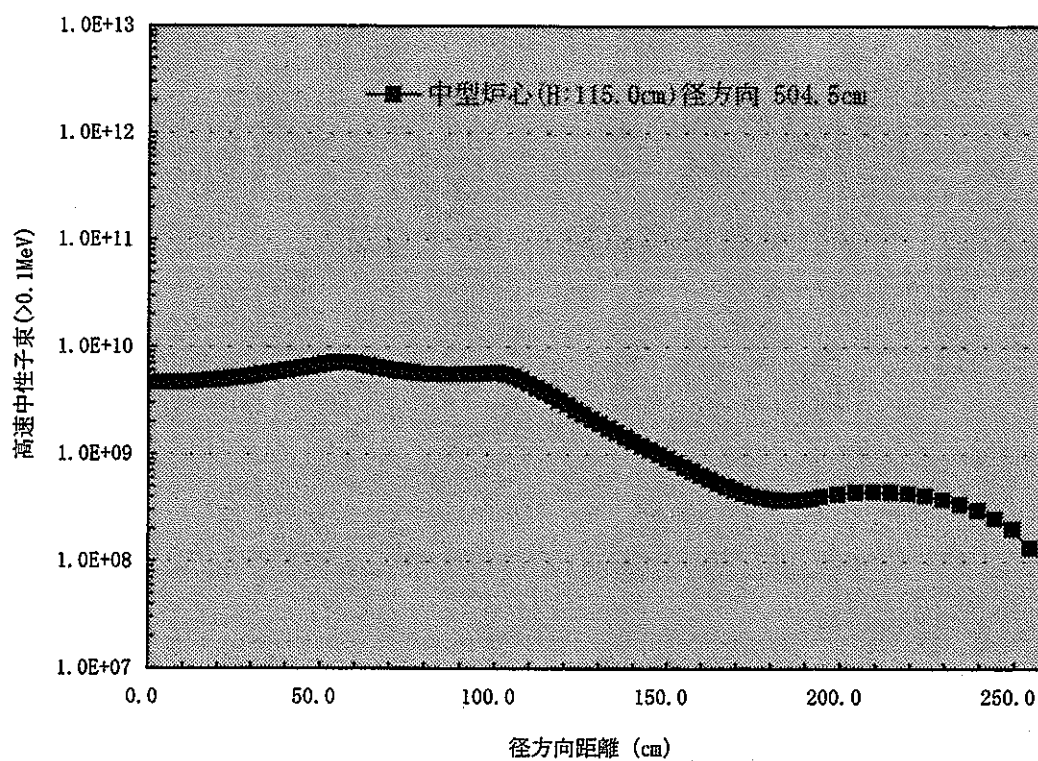


図 4.5-4 炉心上部機構下面での高速中性子束径方向分布  
(中型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心)

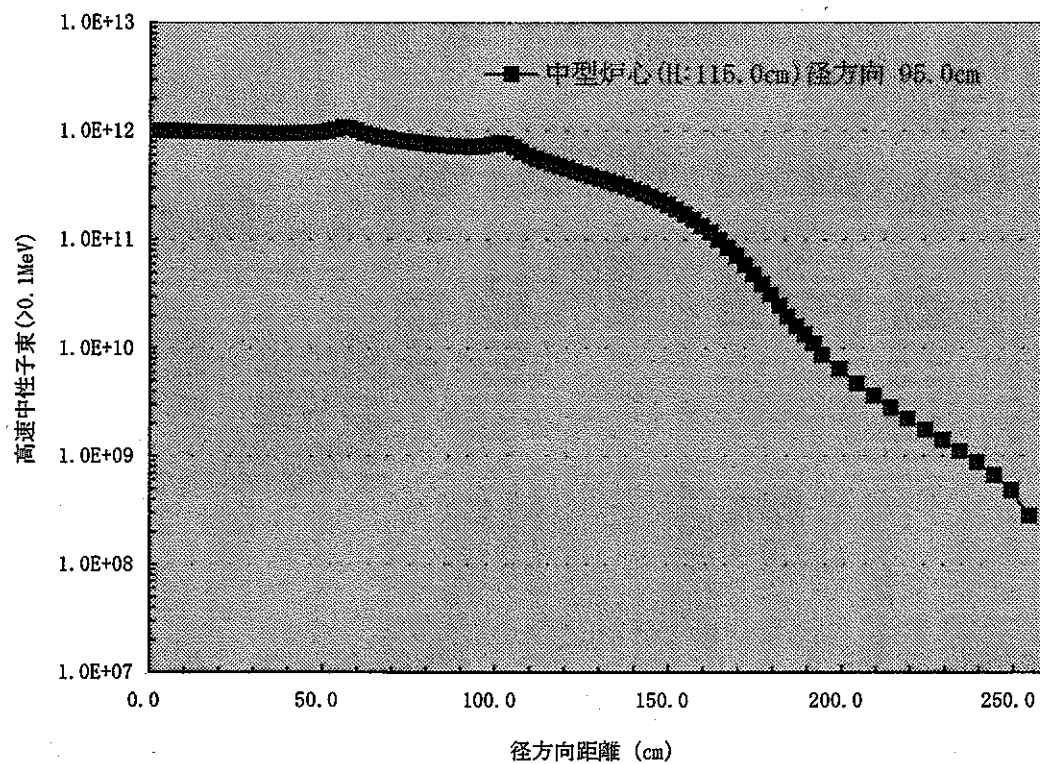


図 4.5-5 下部炉心支持板上面での高速中性子束径方向分布  
(中型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心)

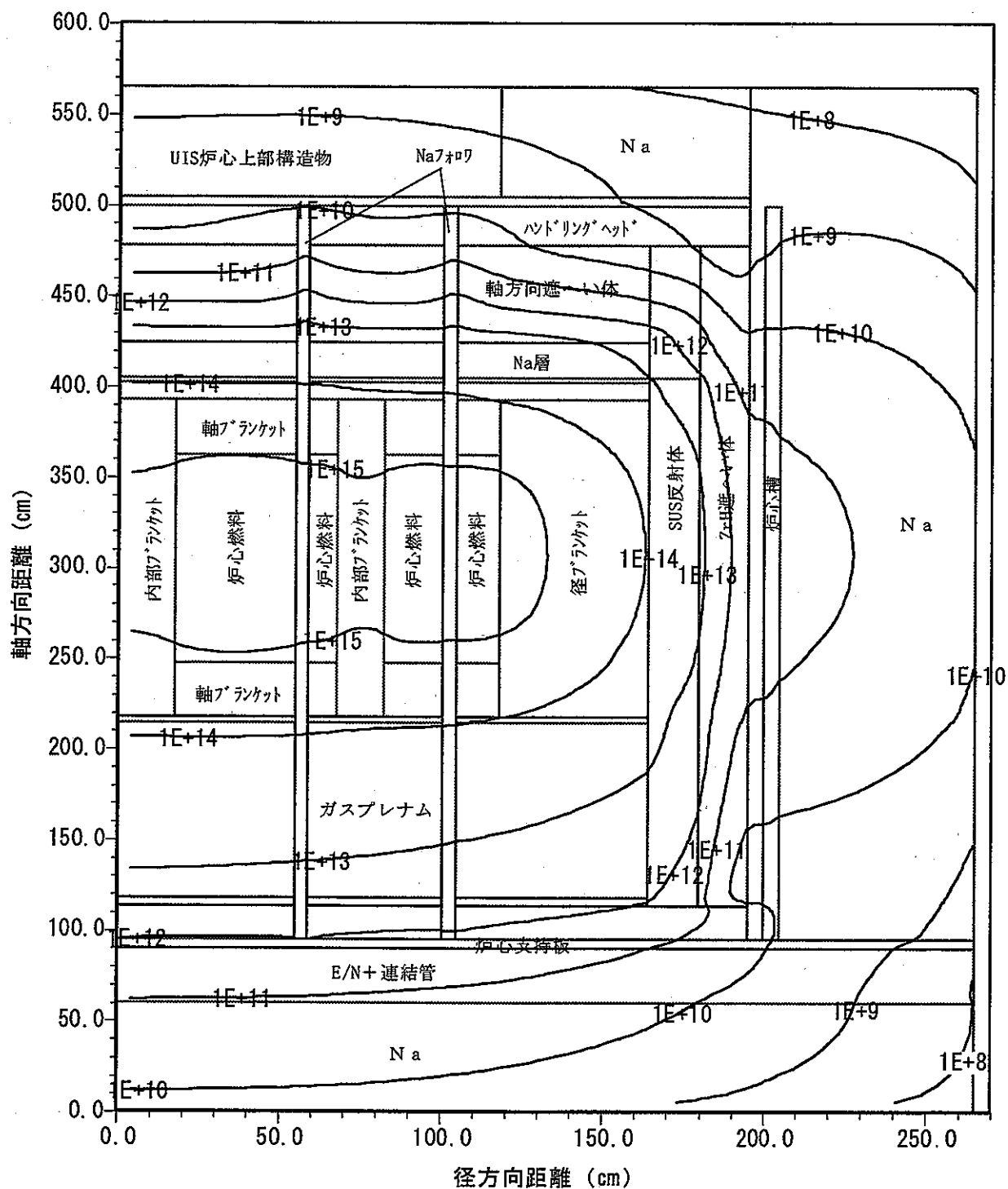


図 4.5-6 炉心周りの高速中性子束等高線分布

(中型酸化物 ABLE 型燃料径方向非均質炉心)

#### 4.6 まとめ

炉心・燃料設計に対する設計要求及びプラント側との取合条件を満足する中型径方向非均質炉心を設定した。炉心主要目を表 4.6-1 に示す。

本炉心の主な特性及び開発課題を以下に示す。

##### ○主な特性

- ・ 運転サイクル長さ約 20 ヲ月、4 バッチ燃料交換で炉心部取出平均燃焼度は 150GWd/t を達成可能である。
- ・ 増殖比は 1.23、原子炉倍増時間は約 27 年、複合システム倍増時間は約 35 年になる。
- ・ 内部ブランケットの設置により炉心高さ 115cm で炉心部ナトリウムボイド反応度が 5.0\$ になり、CDA 時の即発臨界を回避（制限目安値；6\$未満）できる見通しである。
- ・ 反応度停止余裕は制御棒 A、B 両系統で 4.3%  $\Delta k/kk'$ 、片系統で 1.6%  $\Delta k/kk'$  であり、制御棒反応度収支は十分な余裕を持って成立する。
- ・ 内部ブランケットの燃焼に伴う出力変動が大きいために大型炉と同様に炉心流量配分上厳しい設計になっており、原子炉出/入口温度を 550℃/395℃とするためには課題がある。
- ・ 燃料設計は大型炉と同様に CDF 上厳しくなることが予想されるが、ガスプレナム長さの調整等により制限目安（0.5 以下）を満足できる見通しである。
- ・ プラント寿命 60 年を想定した場合においても、炉心周り遮蔽設計成立の見通しである。

##### ○開発課題

- ・ 軸ブランケット一部削除（ABLE）概念での熔融燃料排出性の確認。
- ・ 高燃焼度化達成可能な被覆管材料（耐高温、耐高照射）の開発。
- ・ 熱設計手法の合理化または被覆管最高温度低減のための対策及び工夫が必要（可変流調機構、燃料シャッフリング等）。
- ・ 炉心燃料と内部ブランケット燃料の集合体間出口温度差によるサーマルストライピング対策が必要。

表 4.6- 1 中型径方向非均質炉心の炉心主要目

|           | 項 目                                                 | 仕 様                 | 備 考                          |
|-----------|-----------------------------------------------------|---------------------|------------------------------|
| 基本条件・炉心構成 | 熱出力(MWth)                                           | 1,190               |                              |
|           | 電気出力(MWe)                                           | 500                 |                              |
|           | 運転サイクル長さ(日)                                         | 600                 |                              |
|           | 燃料交換バッチ<br>(炉心/内部ブランケット/径ブランケット)                    | 4 / 2 / 4           |                              |
|           | 炉心型式                                                | Pu富化度2領域非均質炉心       |                              |
|           | 炉心高さ(cm)                                            | 115                 |                              |
|           | 軸ブランケット厚さ(cm)(上部 / 下部)                              | 30 / 30             |                              |
|           | 炉心等価直径(cm)(炉心/径ブラ)                                  | 264 / 327           |                              |
|           | 遮蔽体外接円径(cm)                                         | 405                 |                              |
|           | 燃料集合体数(体)<br>(内側炉心/外側炉心/内部ブラ/径ブラ)                   | 51 / 132 / 34 / 126 |                              |
|           | 制御棒本数(本)(A系/B系)                                     | 9 / 9               |                              |
|           | 径方向遮蔽体数(体)<br>(SUS遮蔽体 / ZrH遮蔽体)                     | 72 / 78             |                              |
| 炉心燃料仕様    | 燃料材料                                                | 酸化物燃料               |                              |
|           | 炉心材料(被覆管 / ラッパ管)                                    | ODS / FMS           |                              |
|           | 燃料ピン外径(mm)                                          | 8.8                 |                              |
|           | 被覆管肉厚(mm)                                           | 0.6                 |                              |
|           | 燃料スミヤ密度(%TD)                                        | 82.0                |                              |
|           | ワイヤ径(mm)                                            | 1.40                |                              |
|           | 燃料ピンピッチ / 燃料ピン外径(P/D)                               | 1.16                |                              |
|           | 集合体当たり燃料ピン本数(本)                                     | 217                 |                              |
|           | ラッパ管外対面間距離(mm)                                      | 161.7               |                              |
|           | ラッパ管肉厚(mm)                                          | 4.0                 |                              |
|           | 集合体配列ピッチ(mm)                                        | 164.1               |                              |
| 炉心主要特性    | Pu富化度(wt%)(内側炉心 / 外側炉心)*1                           | 25.0 / 28.4         | *1)<br>FP混入率2vol%<br>Pu組成は脚注 |
|           | 炉心部取出平均燃焼度(GWd/t)                                   | 150                 |                              |
|           | 燃焼反応度(%Δk/kk')                                      | 2.2                 |                              |
|           | 最大線出力密度(W/cm)*2                                     | 430                 | *2)<br>燃焼ミスマッチ及び<br>3次元効果考慮  |
|           | 炉心部平均線出力密度(W/cm)(平衡中期)                              | 227                 |                              |
|           | 炉心平均出力密度(W/cc)(平衡中期)                                | 175                 |                              |
|           | ピーク高速中性子束( $\times 10^{15}$ n/cm <sup>2</sup> sec)  | 2.2                 |                              |
|           | ピーク高速中性子フルエンス( $\times 10^{23}$ n/cm <sup>2</sup> ) | 4.6                 |                              |
|           | 増殖比(平衡平均)                                           | 1.23                |                              |
|           | 炉心部ドップラ係数( $\times 10^{-3}$ Tdk/dT)(平衡末期)*3         | -3.3                | *3)<br>集合体内非均質効果考慮           |
|           | 炉心ナトリウムボイド反応度(\$)(平衡末期)*3                           | 5.0                 |                              |

Pu組成比:  $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}/^{241}\text{Pu}/^{242}\text{Pu}/^{237}\text{Np}/^{241}\text{Am}/^{243}\text{Am}/^{244}\text{Cm} = 1.1/54.1/32.1/4.3/3.9/0.5/2.0/1.0/1.0$

## 5. おわりに

ナトリウム冷却炉において、再臨界回避型を前提条件として酸化物燃料を用いた炉心概念をいくつか検討した。

増殖性に代表される高速炉の炉心特性を損なわずに再臨界回避と両立する概念として径方向非均質炉心を中心に検討を進めた。径方向非均質炉心は、核特性の向上に有効な概念であり再臨界回避型である軸ブランケット一部削除集合体、内部ダクト付き集合体のいずれにも組合せて考えられ、核設計の成立性、有効性は見通せた。しかし、内部ブランケットの出力変動が大きいことから流量配分設計等の熱設計成立性を見通すためには詳細な検討が必要であることも明らかとなった。また、ブランケット物量の多い径方向非均質炉心では燃料サイクル費の観点で不利であり、これらの改善を図ることがフェーズⅡ以降の課題である。

## 参考文献

### 2.2 の参考文献

- [1] 高速炉エンジニアリング、平成 11 年度電共研「FBR リサイクルシステムに関する研究(その 4)IV」、2000 年 3 月発行
- [2] 山舘他、JNC TN9400 2001-112、「炉心核設計における燃料サイクルとの整合性検討」、2001 年 9 月。

### 2.3 の参考文献

- [1] A.Hasegawa and N.Yamano, Proc. of 9-th Int. Conf. on Radiation Shielding, Tsukuba, Oct. 1999, p723, J. of Nucl. Sci. and Technol. Supplement 1 (2000).
- [2] 長谷川「JENDL-3.2 に基づく中性子 300 群ガンマ線 104 群 JSSTD L-300 ライブラリについて (JSSTD L98 Version)」、核データニュース、No.62(1999).
- [3] R. K. Disney, et al., "ANISN-W", WANL-TME-2778, Feb. 1971.
- [4] ORNL, CCC-276 "RSIC Computer Code collection DOT-3.5 Two Dimensional Discrete Ordinates Radiation Transport Code", 18, Nov., 1978.
- [5] ORNL-TM-3706, "RSIC COMPUTER CODE PSR-091 COMAND(Collapse Multigroup ANISN Data) - AMPX Module to Collapse ANISN Cross Section Libraries.", March 1984.
- [6] 庄野、石川、他、PNC TY9471 94-001、共同研究報告書「大型しゃへい実験に関する評価研究(VI)ーJASPER 実験解析による実証炉しゃへい設計への反映ー (平成 5 年度)」、1994 年 3 月。
- [7] 中尾、竹村、JNC TJ9440 99-002、川重契約業務報告書「遮蔽設計基本データベースの整備(IV)」1999 年 3 月。

### 3.1 の参考文献

- [1] 池上他、JNC TN9400 2000-068、「ナトリウム冷却炉の炉心・燃料設計検討ー平成 11 年度報告ー」、2000 年 3 月。
- [2] A.E.Dubberley, et al., "SUPERPRISM Oxide and Metal Fuel Core Designs," Proc. ICONE-8, 8002, Apr. 2-6, Baltimore, MD US, 2000.

### 3.2 の参考文献

- [1] 池上、林、佐々木、他、JNC TY9400 2000-021、「炉心・燃料 (燃料形態) の技術検討書ー平成 11 年度報告ー」、2000 年 3 月発行。
- [2] 池上、林、佐々木、他、JNC TN9400 2000-068、「ナトリウム冷却炉の炉心・燃料設計検討ー平成 11 年度報告ー」、2000 年 3 月発行。
- [3] 日本原子力発電、「実証炉プラント設備の概要」、平成 9 年 3 月発行。