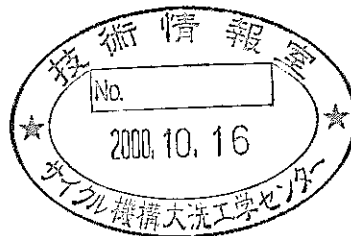


ナトリウム冷却炉の炉心・燃料設計検討  
— 平成11年度報告 —  
(研究報告)

2000年3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49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquires 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)  
2000

## ナトリウム冷却炉の炉心・燃料設計検討

— 平成 11 年度報告 —  
(研究報告)

池上哲雄<sup>\*1</sup>、林秀行<sup>\*1</sup>、佐々木誠<sup>\*1</sup>、  
水野朋保<sup>\*1</sup>、川島克之<sup>\*2</sup>、黒澤典史<sup>\*1</sup>、  
坂下嘉行<sup>\*1</sup>、永沼正行<sup>\*1</sup>

## 要 旨

中長期事業計画を受けて、平成 11 年度から本格的に開始された FBR 実用化戦略調査研究フェーズ I では、2 年間に亘り多様な FBR プラントの技術選択肢について検討を実施している。本報告書は、これらの技術選択肢の内、ナトリウム冷却炉の炉心・燃料設計についての平成 11 年度検討成果を、フェーズ I の中間報告として報告するものである。

本 FBR 実用化戦略調査研究フェーズ I では、調査研究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、各種冷却材、燃料形態及び炉心サイズの組み合わせについて幅広く調査・解析・検討を加え、それらの炉心・燃料特性を把握した。さらに、今後の研究・開発課題を明らかにし、実用化炉心燃料候補を選定するためのデータ・ベースを構築した。

主な成果を以下に示す。

- (1) 酸化物燃料大型炉心において、運転サイクルの長期化には限界がある。倍増時間短縮を狙った酸化物燃料炉心に関し、倍増時間 30 年以下が可能である。
- (2) MA 添加率 5wt%HM における MA 変換率は酸化物燃料炉心で 11% / サイクル程度である。酸化物燃料、金属、窒化物燃料形態間の差は小さい。
- (3) 低除染燃料の適用性については、設計要求である F P 混入率：約 2vol% に対し、設計対応が可能な見通しである。
- (4) 下部軸ブランケット部分削除方式及び径方向非均質炉心の採用等により、炉心特性への影響が小さい再臨界回避の概念が可能である。
- (5) 金属燃料と窒化物燃料は、ほぼ同様の炉心核特性であり、実用化の目標に合致する燃料形態である。

\*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、原子力発電技術開発機構 システム安全部

**Design Study on Core Characteristics  
of Sodium Cooled Fast Breeder Reactor**  
- Results in FY1999 -

Tetsuo IKEGAMI<sup>\*1</sup>, Hideyuki HAYASHI<sup>\*1</sup>,  
Makoto SASAKI<sup>\*1</sup>, Tomoyasu MIZUNO<sup>\*1</sup>,  
Katsuyuki KAWASIMA<sup>\*2</sup>, Norihumi KUROSAWA<sup>\*1</sup>,  
Yoshiyuki SAKASHITA<sup>\*1</sup>, Masayuki NAGANUMA<sup>\*1</sup>

**Abstract**

Feasibility studies(F/S) have been undertaken since July, 1999 in order to determine promising concepts of a commercialized fast reactor cycle system and to define the related necessary R&D tasks. In the phase I(FYs of 1999-2000) of this F/S, a number of conceptual candidates are selected from the following 5 viewpoints: a)ensuring safety, b)economic competitiveness to future LWRs, c)efficient utilization of resources, d)reduction of environmental burden, e)enhancement of nuclear non-proliferation.

As for this study based on the above viewpoints, core characteristics of sodium-cooled fast breeder reactors have been surveyed and classified in the combinations of fuels(MOX, metal and nitride). and power output scales. As a result, R&D items to be performed have been proposed, and a data base to select candidate reactor concepts has been prepared.

The intermediate results obtained in the first FY of the phase I are as follows:

- (1) There is a limitation in expansion of operation duration for large scale FBRs with MOX fuel. In case of the reactor with a short doubling time, it is possible to obtain doubling time less than 30 years.
- (2) The MA transmutation ratio per cycle is about 11% in case of MOX fuel with 5 weight% MA. The difference of this ratio among MOX, metal and nitride fuels is small.
- (3) A low decontamination fuel with 2 volume% FP may be possible to be used in FBR core designs.
- (4) The concept of re-criticality prevention may be possible by adoption of a fuel assembly with partly removed axial blanket fuel and a radial heterogeneous core.
- (5) There is no significant difference of core characteristics between metal fuel and nitride one, which are suitable for the targets of the F/S.

---

<sup>\*1</sup> : Fuel and Core System Engineering Group Center, Systems Engineering Technology Division, OEC

<sup>\*2</sup> : (Present) Systems Safety Department, Nuclear Power Engineering Corporation

編集・執筆担当者

主編集 : 佐々木 誠<sup>1</sup>

執筆担当

1章 : 池上 哲雄<sup>1</sup>  
2章 2.1 : 川島 克之<sup>2</sup>  
2.2 : 林 秀行<sup>1</sup>  
2.3、2.4 : 坂下 嘉行<sup>1</sup>  
2.5 : 永沼 正行<sup>1</sup>  
2.6、2.7 : 林 秀行<sup>1</sup>  
2.8 : 川島 克之<sup>2</sup>  
3章 : 川島 克之<sup>2</sup>  
4章 : 黒澤 典史<sup>1</sup>  
5章 5.1～5.4 : 川島 克之<sup>2</sup>  
5.5 : 佐々木 誠<sup>1</sup>  
5.6 : 坂下 嘉行<sup>1</sup>  
5.7 : 川島 克之<sup>2</sup>  
6章 : 川島 克之<sup>2</sup>  
7章 : 黒澤 典史<sup>1</sup>  
8章 : 池上 哲雄<sup>1</sup>  
  
添付資料 1 : 永沼 正行<sup>1</sup>  
添付資料 2 : 坂下 嘉行<sup>1</sup>

1 : システム技術開発部 炉心・燃料システムグループ  
2 : 現、原子力発電技術機構 システム安全部

## 目 次

要旨	i
abstract	ii
編集・執筆担当者	iii
目次	iv
表リスト	vii
図リスト	x
略語表	xv
1. はじめに	1
2. 長期運転サイクルを狙った大型 MOX 炉心	2
2.1 設計条件及び燃料仕様設定の考え方	2
2.1.1 基本仕様及び設計条件	2
2.1.2 経済性向上を狙った燃料仕様設定	3
2.2 核特性評価	6
2.2.1 炉心燃焼特性	6
2.2.2 制御棒及び集合体内 SASS 反応度価値	13
2.2.3 応度特性	15
2.2.4 まとめ	16
2.3 炉心流量配分に関する検討	17
2.4 集合体健全性に関する評価	55
2.5 集合体内 SASS の有効性評価	64
2.6 低除染燃料の影響評価	78
2.7 MA 燃焼特性の評価	80
2.7.1 検討条件	80
2.7.2 解析評価結果	81
2.7.3 まとめ	83
2.8 超長期運転サイクル炉心の検討	84
2.8.1 背景と目的	84
2.8.2 運転サイクル長期化・高燃焼度化に着目した炉心検討	85
2.8.3 炉心核特性	90
2.8.4 まとめ	98

3. Replaceable な倍増時間短縮炉心	99
3.1 背景と目的	99
3.2 設計条件及び燃料仕様設定の考え方	100
3.2.1 倍増時間短縮方策とその効果	100
3.2.2 燃料仕様の設定	104
3.3 炉心核特性評価	111
3.3.1 燃料倍増時間の定義	111
3.3.2 炉心核特性	112
3.4 まとめ	114
4. 燃料形態と炉心特性	115
4.1 金属燃料炉心及び窒化物燃料炉心設定の考え方	115
4.2 長期運転サイクル炉心	120
4.2.1 燃料仕様、炉心サイズ等の比較検討	120
4.2.2 炉心燃焼特性の比較検討	125
4.3 倍増時間短縮炉心	140
4.3.1 燃料仕様、炉心サイズ等の比較検討	140
4.3.2 炉心燃焼特性の比較検討	145
4.4 まとめ	159
5. 再臨界排除を追求した炉心（内部ダケ外付炉心）	160
5.1 背景と目的	160
5.2 ナトリウムボイド反応度低減・内部ダケ外付炉心の設計条件と 炉心・燃料仕様設定の考え方	161
5.2.1 設計条件と核特性目標	161
5.2.2 炉心配置及び燃料仕様のパラメータサーベイ	162
5.3 選定炉心（高圧損炉心）の検討	170
5.3.1 炉心配置及び燃料仕様	170
5.3.2 選定炉心の主要核特性	174
5.4 低圧損炉心の検討	177
5.4.1 炉心配置及び燃料仕様	178
5.4.2 主要炉心核特性	183
5.5 遮へい合理化、増殖性向上の検討	185
5.6 酸化物燃料炉心の熱設計検討	235
5.7 まとめ	269

6. 再臨界排除を追求した炉心 (中空軸方向ブランケット炉心、径方向非均質炉心)	270
6.1 背景と目的	270
6.2 再臨界排除に対する炉心設計側のアプローチ	271
6.3 設計条件及び炉心・燃料仕様設定の考え方	274
6.4 主要炉心核特性	280
6.5 まとめ	282
7. 炉心特性の出力依存性	283
7.1 40万 kWe 炉心の設定	283
7.2 40万 kWe 炉心の燃焼特性	286
7.3 大型炉心(160万 kWe)との炉心特性比較	299
7.4 まとめ	303
8. おわりに	304
参考文献	305
添付資料-1	307
添付資料-2	312



## 表リスト

表 2.1.2-1	軽水炉と高速炉の燃料仕様比較	4
表 2.2.1-1	長期運転サイクル炉心仕様	8
表 2.2.1-2	燃料集合体基本仕様	9
表 2.2.1-3	炉心核特性	10
表 2.2.2-1	制御棒反応度収支	14
表 2.3-1	代表集合体の必要流量評価結果及び取出燃焼度*	24
表 2.3-2	集合体必要流量と領域必要流量：(1/2)ODS 鋼被覆管，高温条件	25
表 2.3-3	流量配分設計の様子（領域必要流量と領域設定流量，追加流量）	29
表 2.3-4	対象炉心の流量配分計画	30
表 2.3-5	流量領域区分の効果（PNC-FMS）	31
表 2.3-6	CDF 及び被覆管最高温度の評価結果（HS 温度）*	32
表 2.3-7	制御棒隣接燃料集合体出口温度	33
表 2.3-8	燃料ピンバンドル圧損評価結果	34
表 2.3-9	炉心中心集合体のヒートバランス(出入口温度)条件に対する CDF 計算結果	35
表 2.4-1	集合体ダクト膨れ量評価用核熱データ入力条件	59
表 2.4-2	ダクト寸法に関する集合体仕様設計値	60
表 2.5-1	集合体 SASS 炉心・制御棒 SASS 炉心の特性の比較(SASS 条件、 ULOF・UTOP 挙動)	70
表 2.6-1	長期運転サイクル炉心への低除染燃料による炉心特性への 影響予測中間結果	79
表 2.7.2-1	長期運転サイクル炉心の MA 添加時炉心特性	82
表 2.8.2-1	レファレンス炉心燃料集合体の基本仕様	86
表 2.8.2-2	酸化物燃料検討炉心の燃料仕様・サイズ	87
表 2.8.3-1	各炉心の特性解析結果比較	92
表 3.2.1-1	燃料ピン細径化の効果	101
表 3.2.1-2	運転サイクル長の短縮の効果	101
表 3.2.2-1	倍増時間短縮炉心基本仕様	106
表 3.2.2-2	燃料集合体基本仕様	107
表 3.3.2-1	炉心核特性	113
表 4.1-1	金属燃料炉心における被覆管内径、被覆管肉厚、プレナム長さ	117

表 4.1-2	窒化物燃料炉心における被覆管内径、被覆管肉厚、プレナム長さ .....	118
表 4.1-3	窒化物燃料炉心における被覆管内径、被覆管肉厚、プレナム長さ .....	119
表 4.2.1-1	長期運転サイクル炉心における各燃料形態の炉心基本仕様・ 燃料基本仕様 .....	122
表 4.2.2-1	長期運転サイクル炉心における各燃料形態の燃焼特性 (2次元 R-Z 計算) .....	127
表 4.2.2-2	金属燃料を用いた長期運転サイクル炉心の燃焼特性一覧 (2次元 R-Z 計算)[1/2] .....	128
表 4.2.2-3	窒化物燃料を用いた長期運転サイクル炉心の燃焼特性一覧 (2次元 R-Z 計算)[2/2] .....	129
表 4.2.2-4	長期運転サイクル炉心の領域別物質収支 .....	130
表 4.2.2-5	長期運転サイクル炉心の領域別物質収支 .....	131
表 4.2.2-6	長期運転サイクル炉心の領域別物質収支 .....	132
表 4.2.2-7	長期運転サイクル炉心の領域別物質収支 .....	133
表 4.3.1-1	長期運転サイクル炉心及び倍増時間短縮炉心における 各燃料形態の炉心基本仕様・燃料基本仕様 .....	142
表 4.3.2-1	長期運転サイクル炉心及び倍増時間短縮炉心における 各燃料形態の燃焼特性 (2次元 R-Z 計算) .....	148
表 4.3.2-2	倍増時間短縮炉心の領域別物質収支 .....	149
表 4.3.2-3	倍増時間短縮炉心の領域別物質収支 .....	150
表 4.3.2-4	倍増時間短縮炉心の領域別物質収支 .....	151
表 4.3.2-5	倍増時間短縮炉心の領域別物質収支 .....	152
表 5.2.2-1	18ヶ月サイクル炉心の特徴比較 .....	164
表 5.2.2-2	18ヶ月サイクル炉心核特性評価結果 .....	166
表 5.3.1-1	炉心の燃料仕様一覧 .....	171
表 5.3.2-1	炉心核特性評価結果 .....	175
表 5.3.2-2	制御棒反応度収支 .....	176
表 5.4.1-1	炉心の燃料仕様一覧 .....	180
表 5.4.2-1	炉心核特性評価結果 (径方向ブランケット無し) .....	184
表 5.5-1	各部原子数密度 .....	196
表 5.5-2	100群断面積と21群断面積の対応表 .....	197
表 5.5-3	遮へい計算における少数群エネルギー構造 .....	198
表 5.5-4	高速中性子束に対する補正值 (JSD-J2) (1/2) .....	199
表 5.5-5	単層厚さの関数として表した E/C 補正值 2 .....	201
表 5.5-6	遮へい基準と遮へい性能の比較 .....	202

表 5.5-7	検討用炉心の仕様	203
表 5.5-8	各部原子数密度(1/2)	204
表 5.5-9	炉心特性解析結果	206
表 5.5-10	ナトリウムボイド反応度の解析条件と解析結果	207
表 5.5-11	炉心有効長 120 cm 炉心での解析結果	208
表 5.6-1	対象炉心 (炉心有効長 80cm) (*1)の流量配分	245
表 5.6-2	集合体出力の時刻歴 (代表集合体)	246
表 5.6-3	大型酸化物燃料・ナトリウム炉心 (炉心有効長 80cm) の 流量領域数	247
表 5.6-4	大型ナトリウム・酸化物燃料炉心 (炉心有効長 80cm) の 流配設計	248
表 5.6-5	被覆管温度時刻歴 (HS, 軸方向最高値)	249
表 5.6-6	集合体出口温度時刻歴	250
表 5.6-7	CDF 評価結果 (流配ケース A: 均等配分, 長尺ピン仕様)	251
表 5.6-8	燃料要素長を約 3mm から約 2.5mm に低減した場合の CDF 評価結果	251
表 5.6-9	対象炉心の圧力損失評価結果 (80cm 高さ炉心)	252
表 5.6-10	ダクト膨れ量評価条件 (炉心有効長 80cm、長尺ピン仕様)	253
表 5.6-11	ダクト膨れ量評価結果 (炉心有効長 80cm、長尺ピン仕様)	253
表 5.6-12	大型酸化物燃料・ナトリウム炉心のバンドル圧力損失評価結果 (80cm 高さ炉心)	254
表 5.6-13	ダクト膨れ量評価条件 (炉心有効長 80cm)	255
表 5.6-14	ダクト膨れ量評価結果	255
表 6.3-1	炉心の燃料仕様一覧	276
表 6.4-1	炉心核特性評価結果	281
表 7.1-1	中型炉心における各燃料形態の炉心基本仕様・燃料基本仕様	284
表 7.2-1	中型炉心における各燃料形態の燃焼特性 (2次元 R-Z 計算)	288
表 7.2-2	中型長期運転サイクル炉心の領域別物質収支	289
表 7.2-3	中型長期運転サイクル炉心の領域別物質収支	290
表 7.2-4	中型長期運転サイクル炉心の領域別物質収支	291
表 7.2-5	中型長期運転サイクル炉心の領域別物質収支	292
表 7.2-6	中型倍増時間短縮炉心の領域別物質収支	293
表 7.2-7	中型倍増時間短縮炉心の領域別物質収支	294
表 7.2-8	中型倍増時間短縮炉心の領域別物質収支	295
表 7.2-9	中型倍増時間短縮炉心の領域別物質収支	296
付表 2-1	PNC-FMS の照射物性式	313

## 図リスト

図 2.1.2-1	燃料集合体概念図（ハンドリングヘッド、ノズル可交換）	5
図 2.2.1-1	長期運転サイクル炉心の炉心配置図	11
図 2.2.1-2	集合体軸方向寸法及び制御棒吸収体位置	12
図 2.3-1	熱設計検討フロー	36
図 2.3-2	リファレンス炉心の炉心配置及び代表集合体	37
図 2.3-3	CDF-被覆管最高温度サーベイの様子(1/10)	38
図 2.3-4	CDF $\leq$ 0.3 を満たす被覆管最高温度	48
図 2.3-5	集合体必要流量と集合体取出燃焼度の関係	49
図 2.3-6	集合体必要流量（ODS 鋼）	50
図 2.3-7	冷却材流量区分	52
図 2.3-8	設計流量条件での被覆管最高温度／CDF／被覆管応力／ピン内圧 評価結果	53
図 2.3-9	集合体出力（最大値）	54
図 2.4-1	ダクト肉厚と必要「ダクト肉厚+集合体間ギャップ幅」の関係	61
図 2.4-2	ダクト膨れ量評価結果	62
図 2.4-3	ダクト温度・フラックス軸方向分布条件とダクト対面膨れ量軸 方向分布	63
図 2.5-1	SASS 切離し温度の設定	71
図 2.5-2	炉心出力・流量経時変化(150 秒)	72
図 2.5-3	ノミナルホットピン温度経時変化(150 秒)	72
図 2.5-4	反応度経時変化(150 秒)	73
図 2.5-5	各チャンネル冷却材出口温度経時変化(150 秒)	74
図 2.5-6	各チャンネル冷却材出口温度経時変化(15 秒)	74
図 2.5-7	炉心出力・流量経時変化(150 秒)	75
図 2.5-8	ノミナルホットピン温度経時変化(150 秒)	75
図 2.5-9	反応度経時変化(150 秒)	76
図 2.5-10	燃料中心溶融割合最大値経時変化(150 秒)	76
図 2.5-11	各チャンネル冷却材出口温度経時変化(150 秒)	77
図 2.8.2-1	検討炉心の燃焼度とサイクル長	88
図 2.8.2-2	長期運転サイクル炉心の配置図	89
図 2.8.3-1	炉心特性と比出力の関係（1 / 2）	93
図 2.8.3-2	炉心特性と燃料寿命の関係（1 / 2）	95
図 2.8.3-3	燃焼度ないし増殖比一定条件下での燃焼度とサイクル長の制限	97

図 3.2.1-1	軸方向ブランケット長と増殖比の関係	102
図 3.2.1-2	各炉心の燃料ピンの軸方向仕様・寸法	103
図 3.2.2-1	(a)倍増時間短縮炉心の炉心配置図	108
図 4.2.1-1	大型長期運転サイクル炉心の炉心配置図	123
図 4.2.1-2	長期運転サイクル炉心における燃料形態の違いによる 主な炉心・燃料基本仕様の比較	124
図 4.2.2-1	長期運転サイクル炉心における燃料形態の違いによる 燃焼特性の比較 (2次元 R-Z 計算) [1/2]	134
図 4.2.2-2	長期運転サイクル炉心における燃料形態の違いによる 燃焼特性の比較 (2次元 R-Z 計算) [2/2]	135
図 4.2.2-3	長期運転サイクル炉心における燃料形態の違いによる 中性子束分布の比較	136
図 4.2.2-4	長期運転サイクル炉心における燃料形態の違いによる 径方向高速中性子束分布の比較	137
図 4.2.2-5	金属燃料を用いた長期運転サイクル炉心における 炉心有効長と燃焼特性の関係	138
図 4.2.2-6	窒化物燃料を用いた長期運転サイクル炉心における FP ガス放出率と燃焼特性の関係	139
図 4.3.1-1	大型倍増時間短縮炉心の炉心配置図 (内部ダクト付燃料 120 体装荷炉心)	143
図 4.3.1-2	長期運転サイクル炉心と倍増時間短縮炉心における 燃料形態の違いによる主な炉心・燃料基本仕様の比較	144
図 4.3.2-1	倍増時間短縮炉心における燃料形態の違いによる 燃焼特性の比較 (2次元 R-Z 計算) [1/2]	153
図 4.3.2-2	倍増時間短縮炉心における燃料形態の違いによる 燃焼特性の比較 (2次元 R-Z 計算) [2/2]	154
図 4.3.2-3	倍増時間短縮炉心における燃料形態の違いによる 中性子束分布の比較 (5 バッチ×18 ヶ月運転, 取出平均燃焼度 15 万 MWd/t)	155
図 4.3.2-4	倍増時間短縮炉心における燃料形態の違いによる 径方向高速中性子束分布の比較 (5 バッチ×18 ヶ月運転, 取出平均燃焼度 15 万 MWd/t)	156
図 4.3.2-5	長期運転サイクル炉心と倍増時間短縮炉心の燃料形態の 違いによる燃焼特性の比較 (2次元 R-Z 計算) [1/2]	157
図 4.3.2-6	長期運転サイクル炉心と倍増時間短縮炉心の燃料形態の 違いによる燃焼特性の比較 (2次元 R-Z 計算) [2/2]	158
図 5.2.2-1	炉心 4A (径方向ブランケット削除)	167
図 5.2.2-2	炉心 4B (径方向ブランケット削除)	168

図 5.2.2-3	炉心 4C (径方向ブランケット削除) .....	169
図 5.3.1-1	18ヶ月サイクル4バッチ選定炉心 .....	172
図 5.3.1-2	燃料集合体基本寸法 (しゃへい体寸法は暫定値) .....	173
図 5.4.1-1	18ヶ月4バッチ低圧損炉心 .....	181
図 5.4.1-2	低圧損炉心の燃料集合体基本寸法 (しゃへい体寸法は暫定値) .....	182
図 5.5-1	解析の流れ(1/2) .....	209
図 5.5-2	遮へい解析対象炉心の2次元 1/1R-Z 体系 .....	211
図 5.5-3	遮へい解析対象炉心の炉心断面図 .....	212
図 5.5-4	1次元 ANISN 計算径方向及び軸方向計算体系 .....	213
図 5.5-5	2次元 DOT-3.5 計算 R-Z 体系 .....	214
図 5.5-6	炉中心面上径方向全中性子束分布 .....	215
図 5.5-7	炉中心面上径方向高速中性子束分布 .....	216
図 5.5-8	炉中心近傍軸方向全中性子束分布 .....	217
図 5.5-9	炉中心近傍軸方向高速中性子束分布 .....	218
図 5.5-10	下部炉心支持板上面の径方向中性子束分布 .....	219
図 5.5-11	U I S 下面の径方向中性子束分布 .....	219
図 5.5-12	炉心槽内面の軸方向中性子束分布 .....	220
図 5.5-13	長期運転サイクル炉心炉心槽内面における軸方向中性子束分布 .....	220
図 5.5-14	径方向ブランケットなし・鉛反射体なし炉心 (ケース0) .....	221
図 5.5-15	径方向ブランケットなし、鉛1層置換炉心 (ケースA) .....	222
図 5.5-16	径方向ブランケット、鉛反射体2層置換炉心 (ケースB) .....	223
図 5.5-17	径方向ブランケットなし、鉛反射体3層炉心 (ケースC) .....	224
図 5.5-18	径方向ブランケット1層、鉛反射体なし炉心 (ケース1) .....	225
図 5.5-19	径方向ブランケット1層ー鉛反射体1層炉心 (ケース2) .....	226
図 5.5-20	鉛反射体1層ー径方向ブランケット1層炉心 (ケース3) .....	227
図 5.5-21	径方向ブランケット・鉛反射体なし炉心 R-Z 体系 (ケース0) .....	228
図 5.5-22	径方向ブランケットなし、鉛反射体1層炉心 R-Z 体系 (ケースA) .....	228

図 5.5-23	径方向ブランケットなし、鉛反射体 2 層炉心 R-Z 体系 (ケース B)	229
図 5.5-24	径方向ブランケットなし、鉛反射体 3 層炉心 R-Z 体系 (ケース C)	229
図 5.5-25	径方向ブランケット 1 層、鉛反射体なし炉心 R-Z 体系 (ケース 1)	230
図 5.5-26	径方向ブランケット 1 層ー鉛反射体 1 層炉心 R-Z 体系 (ケース 2)	230
図 5.5-27	鉛反射体 1 層ー径方向ブランケット 1 層炉心 R-Z 体系 (ケース 3)	231
図 5.5-28	鉛反射体構造 (水平断面)	231
図 5.5-29	径方向出力分布	232
図 5.5-30	径方向高速中性子束分布	233
図 5.5-31	核特性への鉛反射体厚みによる核特性への効果	234
図 5.6-1	熱設計検討フロー	256
図 5.6-2	集合体番号と熱特性評価用代表集合体	257
図 5.6-3	各炉心燃料集合体の冷却材必要流量	258
図 5.6-4	流量領域区分 (80cm 炉心, 全内部ダクト付)	259
図 5.6-5	各集合体の P/F 時刻歴 (流配ケース A)	260
図 5.6-6	各流配ケースの EOEC における P/F 分布	261
図 5.6-7	燃料ピンの燃焼度と被覆管温度 (HS、軸方向最高値) との関係 (流配ケース A)	262
図 5.6-8	集合体出口温度相対値の径方向分布 (冷却材温度上昇 [°C] にて 規格化)	263
図 5.6-9	集合体出口温度相対値の径方向分布 (出口温度絶対値 [K] にて 規格化)	264
図 5.6-10	下部プレナム長さ と CDF との関係 (ODS 鋼被覆管、 被覆管肉厚保存)	265
図 5.6-11	被覆管外径 (肉厚) と CDF の関係	266
図 5.6-12	ダクト膨れ量評価用ダクト温度分布及び冷却材圧力差	267
図 5.6-13	ダクト膨れ量評価結果 (ノミナル条件*)	267
図 5.6-14	対象炉心及び低圧損炉心のダクト膨れ量評価用温度/圧力条件	268
図 5.6-15	低圧損炉心のバンドル膨れ量軸方向分布	268
図 6.2-1	再臨界排除炉心の軸方向概念	273
図 6.3-1	基準炉心 (炉心 A: 全集合体に内側ダクト)	277
図 6.3-2	合理化概念 (炉心 B: 下部軸方向ブランケット一部削除)	278

図 6.3-3	径方向非均質炉心 (炉心C) .....	279
図 7.1-1	中型炉心の炉心配置図 (内部ダクト付燃料 54 体装荷炉心) .....	285
図 7.2-1	中型炉心における燃料形態の違いによる燃焼特性の比較 (2次元 R-Z 計算) [1/2] .....	297
図 7.2-2	中型炉心における燃料形態の違いによる燃焼特性の比較 (2次元 R-Z 計算) [2/2] .....	298
図 7.3-1	大型炉心(160 万 kWe)と中型炉心(40 万 kWe)の燃料形態の 違いによる燃焼特性の比較 (2次元 R-Z 計算) [1/2] .....	301
図 7.3-2	大型炉心(160 万 kWe)と中型炉心(40 万 kWe)の燃料形態の 違いによる燃焼特性の比較 (2次元 R-Z 計算) [2/2] .....	302
付図 2-1	PNC-FMS の照射クリープ式と照射データとの比較 .....	314
付図 2-2	PNC-FMS 照射物性式による HT9 ダクト集合体 ACO3 解析結果 .....	315
付図 2-3	PNC-FMS のスエリング式と照射データとの比較 .....	316
付図 2-4	本検討にて用いた HT9 の照射物性暫定上限式 .....	317
付図 2-5	被覆管外径変化率の比較 (炉心領域、623387 ピン) .....	318
付図 2-6	PE16 照射物性式の妥当性判断用データ .....	318



## 略 語 表

略 語	正式表現	説 明
ATWS	Anticipated Transient Without Scram	異常な過渡変化時原子炉トリップ 失敗事象
B <sub>4</sub> C	Boron Carbide	4炭化ほう素
BOC	Beginning Of Cycle	サイクル初期
BOEC	Beginning of Equilibrium Cycle	平衡サイクル初期
BR	Breeding Ratio	増殖比
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-ダクト間相互作用
DOT-3.5		2次元離散型輸送計算コード3.5版
EOC	End Of Cycle	サイクル末期
EOEC	End of Equilibrium Cycle	平衡サイクル末期
EOL	End Of Life	寿命末期
E/C	Ratio of Experimental Value to Calculated Value	計算値に対する実験値の比（逆比 C/Eを使用する場合がある）
FCMI	Fuel-Cladding Mechanical Interaction	ペレット-被覆管機械的相互作用
FFTF	Fast Flux Test Facility	高速中性子照射試験施設（米国）
FP	Fission Product	核分裂生成物
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）
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
JASPER	Japan-American Shielding Program of Experimental Researches	日米共同遮へい実験計画
JENDL-2	Japan Evaluated Nuclear Data Library Version 2	評価済み中性子データライブラリ 2版
JENDL-3	Japan Evaluated Nuclear Data Library Version 3	評価済み中性子データライブラリ 3.0版
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
JSD-J2	Japan Shielding Data -J2	JENDL-2に基づく遮へい用定数 2版

JSSTD-100-J3.2	JAERI Shielding Standard Library	JENDL-3.2に基づく JSSTD ライブラリ (遮へい計算用標準群 定数: 中性子 100 群)
K <sub>f</sub>	Release Energy per Fission	核分裂当たりの解放エネルギー
LOF	Loss Of Flow	流量異常減少事象
MA	Minor Actinide	マイナーアクチノイド
nvt		積分中性子照射量(フルーエンス)
ODS	Oxide Dispersion Strengthened	酸化物分散強化
PENCIL		2次元拡散計算コード
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
R-Z		2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	不銹鋼
TD	Theoretical Density	理論密度
TOP	Transient OverPower	異常過出力事象
UAB	Upper Axial Blanket	上部軸方向ブランケット
UIS	Upper Instrumentation Structure	炉上部機構
ULOF	Unprotected Loss Of Flow	流量異常減少時原子炉トリップ失 敗事象
UTOP	Unprotected Transient OverPower	異常過出力時原子炉トリップ失敗 事象
X <sub>NF</sub>		1秒当たりの核分裂中性子発生数
ZrH <sub>x</sub>	Zirconium Hydrides	水素化ジルコニウム
ν <sub>p</sub>		核分裂当たりの即発中性子発生数

## 1. はじめに

実用化戦略調査研究フェーズ1の初年度としての炉心燃料設計検討としては、各種冷却材、燃料形態及び炉心サイズの組み合わせについて、幅広く調査・解析・検討を加えることにより、それらの炉心燃料特性を把握すると共に、残された課題を明らかにし、実用化炉心燃料候補を選定するためのデータを蓄積することを目標としている。その一環として、本研究ではナトリウム冷却炉に焦点を当てて設計検討を実施した。

炉心燃料設計の観点で経済性に関与するものとして、燃焼度、運転サイクル長さ、炉心コンパクト化等が考えられるが、ここでは運転サイクル長さに注目して、長期運転サイクルを狙った炉心の検討を行った。

資源有効利用の観点では、倍増時間短縮が重要ファクターと考え、その検討を行った。

環境負荷低減に関しては、MA燃焼特性、低除染燃料採用時の影響評価、LLFP核変換の可能性検討を行った。

炉心安全性に関しては、再臨界回避が前提条件となったため、増殖性に代表される高速炉の炉心特性を損なわない範囲で再臨界回避を可能ならしめる炉心燃料概念の追求が本研究の大きな課題であった。

燃料形態に関しては、酸化物燃料、金属燃料、窒化物燃料について、主として炉心核特性の観点での検討を加えた。

## 2. 長期運転サイクルを狙った大型 MOX 炉心

### 2.1 設計条件及び燃料仕様設定の考え方

#### 2.1.1 基本仕様及び設計条件

炉心設計検討の基本仕様及び設計条件を以下に示す。

##### (1) 原子炉熱出力

実用化戦略調査研究の開始にあたり、軽水炉の大型化の動向を考慮し、大型化のほぼ上限と想定できる 3,800MW を選定した。実証炉と同等のプラント温度条件では電気出力が約 1,600MW となる。

##### (2) 原子炉出入口温度

検討の出発点として、実証炉設計と同一の原子炉出入口温度：550℃ / 395℃を設定した。

##### (3) 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応し、実用化初期の定期検査間隔を想定して 18 ヶ月サイクルとした。また、24 ヶ月程度までの運転サイクル期間の延長も考慮して、制御棒設計には余裕をとるものとした。

##### (4) 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 MOX 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 とする。

##### (5) 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、高増殖性は必要なく。基底増殖として、増殖比 1.05 程度を設計の目安とする。プラント寿命途中で Pu 需要が増加する場合には、炉心配置を同一とし、燃料集合体仕様を変更した replaceable な高増殖炉心に炉心変更するものとする。(3章の「replaceable な倍増時間短縮炉心」を参照)

## 2.1.2 経済性向上を狙った燃料仕様設定

### (1) 燃料製造・加工コストの低減

FBR燃料はLWR燃料に比較して、製造・加工コストが高いと指摘されている。定量的な評価のために、LWRの燃料仕様と原型炉及び実証炉の燃料仕様を表 2.1.2-1 に比較して示した。同表には、各燃料の寸法等の仕様とともに、燃料重量と発生エネルギーを燃料ピン及び燃料集合体当たりで比較して示している。同表から分かるように、原型炉燃料では、軽水炉燃料の約二倍の燃焼度を達成している反面、燃料ピン当たり、集合体当たりの燃料重量が少なく、結果として、燃料ピン当たりではLWRの 1/8~1/6、集合体当たりでは、1/9~1/3 の発生エネルギーに止まっている。実証炉では燃料ピン径の太径化、集合体の大型化により改善されているが、それでも燃料ピン当たりの発生エネルギーでは、LWR燃料の 1/3 程度となっている。

よって、LWRの3倍の燃焼度達成に加えて、燃料ピン径、集合体サイズの大型化により燃料ピン当たり、集合体当たりの発生エネルギーの増加を狙うものとした。同表には、実用炉検討例としてその燃料仕様の一例を示した。

### (2) 集合体加工コストと固体廃棄物の低減

従来からの概念では、FBR燃料は軸方向遮へい強化のために燃料要素の上下には遮へい体部及びハンドリングヘッド、横流入方式による長いエントランスノズルを有しており、これが燃料集合体のコストを引き上げると共に、固体廃棄物の発生源ともなっている。よって、本検討では、B<sub>4</sub>C 軸遮へい体・ハンドリングヘッド部とエントランスノズル部を交換・再使用可能な構造とすることにより加工コスト低減と固体廃棄物量の低減を図るものとした。

図 2.1.2-1 には、燃料集合体概念を示した。

表 2.1.2-1 軽水炉と高速炉の燃料仕様比較

	BWR 9×9	PWR 17×17	もんじゅ 高燃炉心	実証炉 原電設計	実用炉 検討例
平均燃焼度 (GWd/t)	45	48	82	90	150
比出力 (MW/t)	25	38	111	66	56
集合体当り燃料ピン本数	72	264	169	217	271
燃料ピン外径 (mm)	11.0	9.5	6.5	8.5	9.5
燃料有効長 (m)	3.7	3.7	0.93	1.0	1.2
ピン当り燃料重量 (kg)	2.4	1.8	0.18	0.36	0.54
集合体当り燃料重量 (kg)	174	473	30	78	147
ピン当り発生エネルギー (MWd)	109	86	14	32	81
集合体当り発生エネルギー (GWd)	7.8	22.7	2.4	7.0	22.0

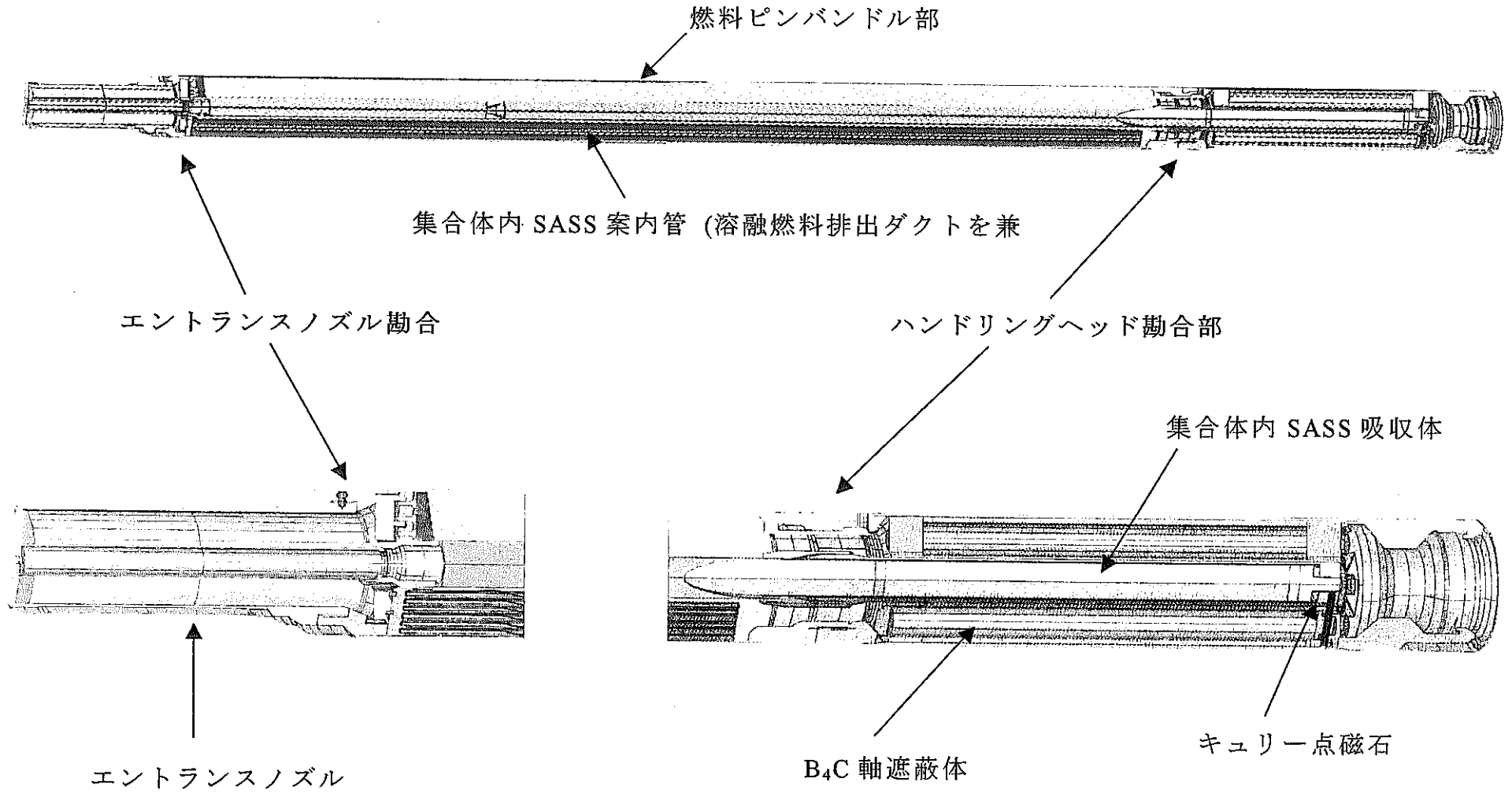


図 2.1.2-1 燃料集合体概念図 (ハンドリングヘッド、ノズル可交換)

## 2.2 核特性評価

### 2.2.1 炉心燃焼特性

#### (1) 炉心配置及び燃料仕様

2.1 節の設計条件及び燃料仕様設定の考え方にに基づき設定した炉心配置・仕様を図 2.2.1-1、表 2.2.1-1 に、燃料基本仕様を表 2.2.1-2 に示す。集合体軸方向寸法及び制御棒吸収体位置を図 2.2.1-2 に示す。炉心は均質 2 領域炉心構成である。炉心配置・仕様の特徴は、燃料ピン太径化、炉心有効長増大による燃料ピン当り発生エネルギー増大(→燃料コスト低減)、及び燃料集合体内 S A S S (自己作動型炉停止棒)の導入による受動安全強化である。また、切欠き型 UIS に対応可能な制御棒配置とした。

#### (i) 集合体内 SASS の導入

高燃焼度化と炉心有効長増大によりナトリウムボイド反応度が増大する。そこで、受動的安全性の強化と炉停止機構の多様性を図り得る概念として、集合体内 SASS を内側炉心の全集合体に導入した。集合体内 SASS の構成と機能については、下記を満足するものとする。

- ① 感温型切り離し機構を備えた  $B_4C$  吸収体を集合体内ダクト上部に設置。集合体内ダクトは低圧プレナムに開放する。
- ② SASS ワースは、従来の後備系制御棒 (BCR) 相当ワース以上を確保する。

#### (ii) 炉停止系の合理化

従来の主炉停止系を独立 2 系統 (A 系統と B 系統 ; 夫々 18 本) とし、各系統に炉停止能力を持たせる (A 系統か B 系統のどちらか 1 系統のみのワンロッドスタック条件で低温停止) こととした。これに伴い従来の後備炉停止系は不要となる。A 系統と B 系統の制御棒は、互いに回転対称となるように配置する。

#### (iii) 燃料仕様

集合体コスト及び炉心特性(特にボイド反応度増大抑制)の観点から燃料ピン径 9.7 mm、炉心有効長 120 cm を選定した。内側炉心燃料集合体の燃料ピンのうち、中心部の 37 ピン相当分を SASS 用内部ダクトとするため、実質の燃料ピン本数は 234 本となる。一方、外側炉心燃料集合体の燃料ピン本数は、内部ダクトがないことから 271 本である。



(2) 炉心核特性

(i) 解析手法

核データは、JENDL-3.2 修正炉定数に基づく 7 群ないし 70 群の実効核定数を使用した。2 次元 R-Z 炉心体系では CITATION、3 次元炉心体系では MOSES を使用して、拡散・燃焼計算を行った。SASS のワースの解析では、SASS を導入した集合体を均質化したモデルを使用した。非均質効果に対するワースの補正量は別途、炉心中心に SASS を 1 本挿入した体系において TWOTRAN-2 次元 R-Z 輸送計算にて行った。

(ii) 炉心核特性

2 次元ならびに 3 次元炉心燃焼解析に基づく平衡炉心の核特性評価結果を表 2.2.1-3 に示す。増殖比、ピーク線出力、取出し平均燃焼度等の主要パラメータは設計目標を満足している。

表 2.2.1-1 長期運転サイクル炉心仕様

パラメータ	仕様
熱出力, MW	3800
運転サイクル長, efpm	18 (540 日)
燃料交換バッチ数 (炉心/径方向ブランケット)	5/5
炉心取出平均燃焼度, 万 MW d / t	15
プラントとの取合い	
遮へい体外接円径, m	6.5 以下
制御棒外接円径, m	4.0 以下
炉心燃料集合体数	
内側炉心 (SASS 導入)	252
外側炉心	210
合計	462
制御棒本数	36
径方向ブランケット集合体数	150
炉心等価径, cm	457
炉心有効長, cm	120

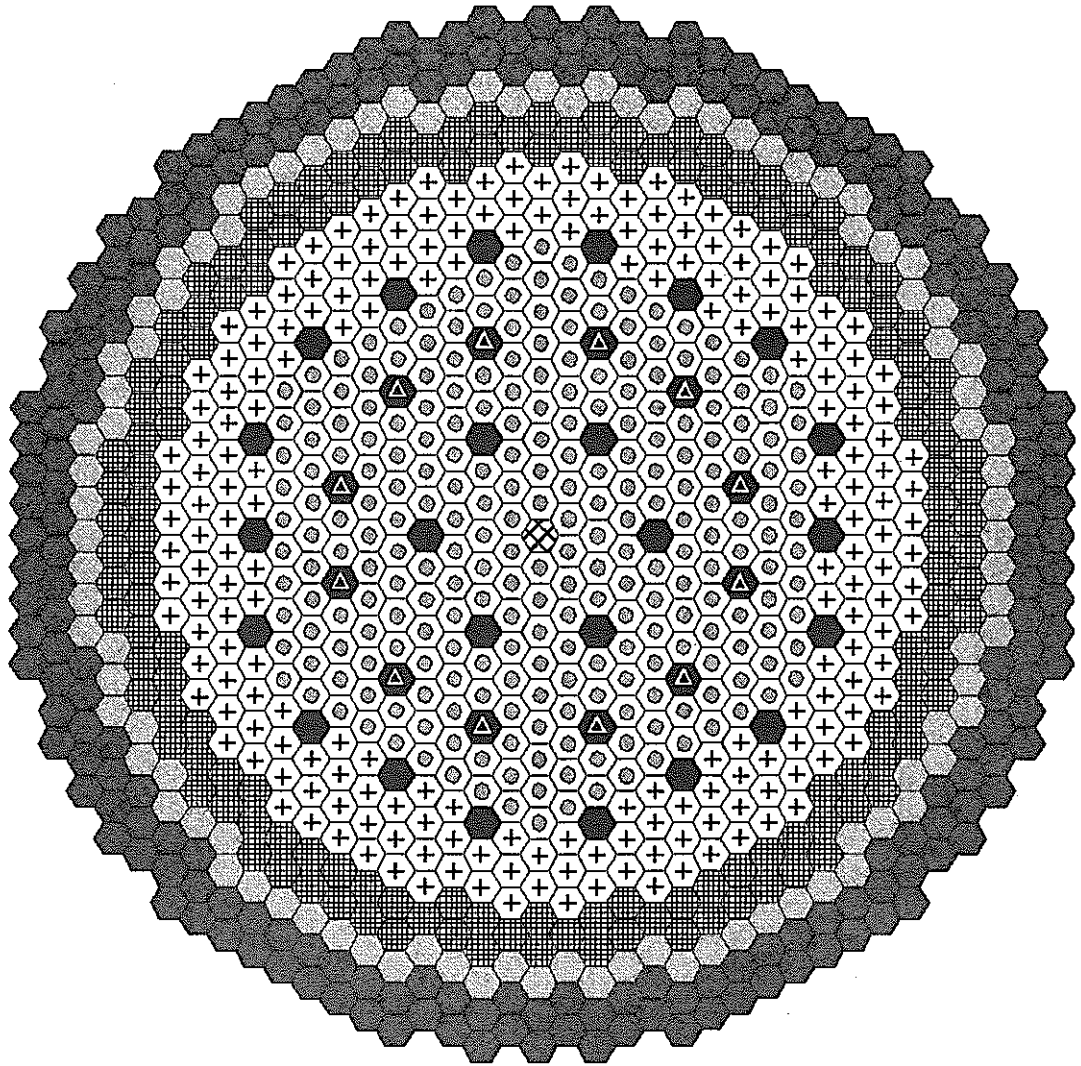
表 2.2.1-2 燃料集合体基本仕様

項 目	条 件/仕 様
炉心燃料	酸化物燃料中空ペレット
炉心材料	フェライト系鋼
炉心有効長, cm	120
軸方向ブランケット長 (上/下), cm	1. 2/10
集合体当り燃料ピン本数 (炉心/径方向ブランケット)	271 (234) <sup>*1</sup> /127
集合体配列ピッチ, mm	195. 4
ラッパ管肉厚, mm	3
SASS 用内部ダクト	
外対面間距離, mm	64. 6
肉厚, mm	1. 5
B <sub>4</sub> C 落下時カラム長, cm	45
B <sub>4</sub> C 落下時体積率, %	60
被覆管外径 (炉心/径方向ブランケット), mm	9. 7/15. 0
被覆管肉厚 (炉心/径方向ブランケット), mm	0. 6/0. 4
ワイヤ径 (炉心/径方向ブランケット), mm	1. 4/1. 2
燃料スミア密度 (炉心/径方向ブランケット), %	82/91
集合体組成体積比 (炉心/径方向ブランケット), %	
燃料	46. 5 (40. 2) <sup>*1</sup> /60. 6
構造材	21. 3 (19. 8) <sup>*1</sup> /13. 5
冷却材	32. 2 (40. 0) <sup>*1</sup> /25. 9

\*1 SASS 導入集合体

表 2.2.1-3 炉心核特性

パラメータ	特 性
内側燃料／外側燃料 富化度, wt%	17.1/19.4
燃焼欠損反応度, % $\Delta k/k'$	2.7
平衡装荷核分裂性プルトニウム量 t/バッチ	1.47
増殖比	1.06
ピーク線出力, W/cm	
内側燃料	458 (BOC)
外側燃料	458 (BOC)
ピーク高速中性子束, $10^{15}/\text{cm}^2\text{s}$	2.0
ピークフルエンス, $10^{23}/\text{cm}^2$	4.7
炉心平均取出燃焼度, GWd/t	150
ナトリウムボイド反応度, $\$$	7.4
ドップラ係数, $10^{-3}\text{Tdk/dT}$	-6.9



⊕	内側炉心燃料集合体 (SASS付)	252体
+	外側炉心燃料集合体	210体
⊞	径ブランケット集合体	150体
⊙	SUS遮蔽体	96体
●	B <sub>4</sub> C遮蔽体	210体
●	粗調整制御棒	24体
△	起動・微調整制御棒	12体
⊗	SUS集合体	1体
合 計		955体

図 2.2.1-1 長期運転サイクル炉心の炉心配置図  
(SASS付燃料252体装荷炉心)

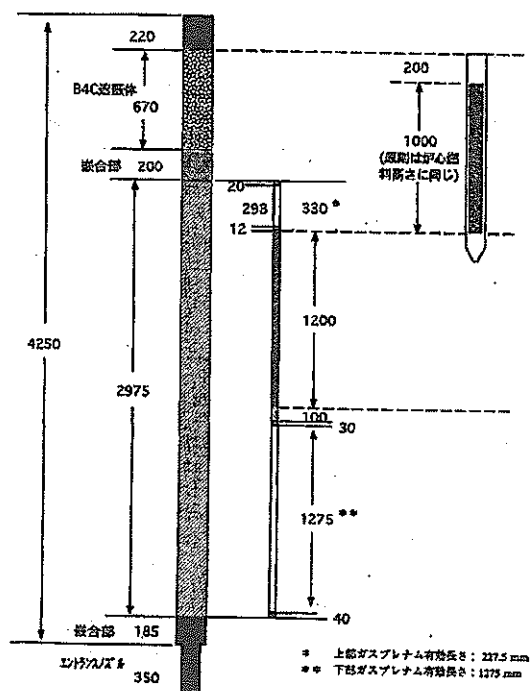


図 2.2.1-2 集合体軸方向寸法及び制御棒吸収体位置

## 2.2.2 制御棒及び集合体内 SASS 反応度価値

表 2.2.2-1 に制御棒反応度収支を示す。

主炉停止系 2 系統の合計必要制御反応度 5.54%  $\Delta k/kk'$  に対して、ワンロッドスタックを考慮した制御棒価値は 7.95%  $\Delta k/kk'$  であり、反応度停止余裕は 2.4%  $\Delta k/kk'$  となる。また、主炉停止系 1 系統の必要制御反応度 1.94%  $\Delta k/kk'$  に対して、ワンロッドスタックを考慮した制御棒価値は 3.20%  $\Delta k/kk'$  であり、反応度停止余裕は 1.2%  $\Delta k/kk'$  である。SASS については、必要制御反応度 1.75%  $\Delta k/kk'$  に対して、制御棒価値は 5.63%  $\Delta k/kk'$  であり、反応度停止余裕は 3.8%  $\Delta k/kk'$  となる。SASS 一本当りの平均ワースは約 0.022%  $\Delta k/kk'$  と小さく、ワンロッドスタックの影響は無視できる大きさである。

表 2.2.2-1 制御棒反応度収支

(%  $\Delta k/kk'$ )

項 目	主炉停止系 (2系統合計)	主炉停止系 (1系統のみ)	SASS
I. 計画余剰反応度			
1. 温度・出力補償	1.46	1.46	1.46
2. 燃焼補償 *1	2.74		
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	0.40		
(1) 出力補償予測誤差	0.15 (1 $\sigma$ )	0.29 (2 $\sigma$ ) *2	0.29 (2 $\sigma$ )
(2) 燃料製作公差 (1 $\sigma$ ) *2	0.26		
(3) 燃焼補償予測誤差 (1 $\sigma$ ) *1	0.27		
合計	4.86	1.75	1.75
II. 最大余剰反応度			
6. 核計算不確かさ	0.68		
(1) 臨界性予測誤差 (1 $\sigma$ ) *2	0.44		
(2) 燃料製作公差 (2 $\sigma$ ) *2	0.52		
7. 事故時投入反応度 *3	-	0.19	
III. 必要制御反応度 (I+II)	5.54	1.94	1.75
IV. 制御棒価値	7.95*4	3.20*5	5.63*6
V. 反応度停止余裕 (IV-III)	2.41	1.26	3.88

\*1: 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: 計算値に対し、設計予測誤差10%考慮

\*4: ワンロードスタック考慮: 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: ノミナル臨界挿入状態から1系統のみ挿入したワース; ワンロードスタック考慮: 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

\*6: ノミナル計算値に対し、各種補正 32.4%、設計予測誤差 10% 考慮



### 2.2.3 反応度特性

表 2.2.1-3 にはナトリウムボイド反応度とドップラ係数も示した。炉心有効長が 120 cm と大きく、取出し燃焼度も高い (150GWd/t) ため、ナトリウムボイド反応度は  $\beta$  超と大きい値となる。

#### 2.2.4 まとめ

基準プラント用の酸化物燃料長期運転サイクル炉心の配置・仕様を選定し、主要炉心核特性についての評価結果を示した。次節以降では、炉心熱特性及び安全特性に関する検討結果を示す。

## 2.3 炉心流量配分に関する検討

2.2 節に示した炉心を対象として、炉心流量配分設計を実施した。2.2 節の核特性評価結果を入力として炉心冷却材流量配分設計を行い、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、CDF (Cumulative Damage Fraction、本検討では St\*ベースのクリープ損傷寿命分数和のみ)、及び燃料ピンバンドル圧損を概略評価し、熱設計成立の見通しを得た。

### (1) 設計検討手法／条件

検討の流れを図 2.3-1 に示す。対象炉心の炉心・燃料仕様及び核特性評価結果（出力分布履歴）を入力条件として、冷却材流量配分設計検討を実施した。

被覆管材料として PNC-FMS 鋼と ODS 鋼の 2 種類を想定し、各々に対応した出入口温度条件として以下の 2 ケースを設定した。現段階にて提示されている ODS 被覆管強度に余裕を見込むため、本検討では強度を 1/1.2 倍として用いた。ここで用いた ODS 強度評価式は添付資料に示した現状での最新式そのものではないが、前記強度余裕を 20%見ていたこともあり、添付資料に示した強度式での計算結果と同程度であることは別途確認済みである。なお、ダクト材は両ケースとも PNC-FMS を想定した。

- ① 505℃／350℃ ( $\Delta T=155^\circ\text{C}$ ) (PNC-FMS 鋼被覆管想定、低温条件)
- ② 550℃／395℃ ( $\Delta T=155^\circ\text{C}$ ) (ODS 鋼被覆管想定、高温条件)

双方のケースに対して、まず 20 体の炉心燃料集合体を抽出し、これらを対象に、EZLIFE コードにより被覆管最高温度をパラメータとして  $\text{CDF} \leq 0.3$  となる被覆管温度条件をサーベイした。この 0.3 という制限値は、今度の詳細検討で不純物ガス量等を考慮しても 0.5 を下回ると考えて暫定的に設定したものである。ここで、被覆管温度の寿命中の時刻暦は集合体出力時刻暦と同様とした（ピーキングファクタ：寿命中一定）。

次に、全燃料集合体について各集合体毎に  $\text{CDF} \leq 0.3$  を満たす必要流量を計算した。ここで、前段で抽出した 20 体の集合体以外については、 $\text{CDF} \leq 0.3$  を満たす被覆管最高温度と必要流量との関係に関しては、集合体取出燃焼度の比例内外挿により求めた。なお、クリープ損傷以外の要因に基づく被覆管最高温度制限として、暫定的に 700℃（原電実証炉と同一）とした。

続いて、各集合体毎の必要流量分布と炉心配置とから、流量領域区分及び設計配分流量を設定した。流量領域数は、目安として内側炉心 4 領域、外側炉心 4 領域の計 8 領域とした。ここで、炉心燃料集合体に配分可能な流量として、原電実証炉設計研究にて評価されたヒートバランス、他の集合体（制御棒、遮へい体）への配分流量、無駄流量の全流量に対する比率、より 17,244kg/s と暫定した。

この流量配分計画に基づき、代表燃料集合体 20 体について被覆管温度履歴を評価し CDF を再度計算・確認した（ピーキングファクタ：寿命中一定）。また、全燃料集合体について出口温度履歴を計算し、隣接集合体間の出口温度差を評価した。さらに、PNC-KfK の式により各流量領域の燃料ピンバンドル部圧損を評価した。内部ダクトを有する内側炉心燃料集合体の圧損については、内部ダクトをモデル化せず、内部ダクト領域に燃料ピンが存在するとしてモデル化し、内部ダクト領域に存在させた燃料ピン本数に対応する分だけ冷却材流量を比例増加させて従来 PNC-KfK 式により評価した。具体的には、内側炉心 234 本バンドルを外側炉心と同じ 271 本バンドルとし、このピン本数増分に対応させて冷却材流量を設計配分流量の 1.158 倍( $\times 271/234$ )として圧損を計算した。

## (2) 検討結果

### (i) 代表集合体の被覆管最高温度（制限目安値）検討（CDF サーベイ計算）

図 2.3-2 に示す 20 体の炉心燃料集合体（内側炉心 13 体、外側炉心 7 体）を対象として、被覆管最高温度をパラメータとして EZLIFE コードにより CDF 解析を実施し、 $CDF \leq 0.3$  となる被覆管最高温度をサーベイした。被覆管温度履歴（炉心入口温度からの温度上昇量： $\Delta T_c$ ）は、集合体出力履歴と同一比率にて推移すると仮定した。

解析結果を図 2.3-3 及び図 2.3-4 に示す。図 2.3-3 は各々の集合体の被覆管最高温度サーベイ結果であり、図 2.3-4 は、各出入口温度ケースについて  $CDF \leq 0.3$  を満たす被覆管最高温度を整理したものである。高温ケースでは、被覆管最高温度が  $700^\circ\text{C}$  以上でも  $CDF \leq 0.3$  を満足できる集合体が複数存在する計算結果となったが、これらについてはクリープ損傷以外による被覆管最高温度制限を勘案し、これまでの設計経験等より、被覆管最高温度制限を  $700^\circ\text{C}$  と暫定して冷却材必要流量を計算した。その他の集合体については、全集合体を包絡する様ないわゆる「被覆管最高温度制限値」を特に定めず、各集合体毎に  $CDF \leq 0.3$  を満たす被覆管最高温度となる冷却材必要流量を求めることとした。

ここで求めた代表集合体の被覆管最高温度条件に基づき、次節にて代表集合体の必要流量を計算した。更に、これらの結果に基づき、取出燃焼度比例（内挿）により全集合体の必要流量を計算した。

### (ii) 各集合体の必要流量計算

代表集合体 20 体について、上記にて求めた被覆管最高温度制限を満たす冷却材必要流量を以下の式により計算した。周辺流れ効果、冷却材－被覆管温度差、HSF については経験的な数値を仮定して用いた。

$$T_c = (\Delta T_{Na} \times Fb \times RPF + \Delta T_o) \times HSF + T_{in}$$

$T_c$  : 被覆管温度上限値対応温度

$\Delta T_{Na}$  : バンドル出口平均冷却材温度上昇

$Fb$  : バンドル径方向温度ピーク係数 (周辺流れ効果) 相当値 =

### 1.1

$RPF$  : 径方向出力ピーキング係数

$\Delta T_o$  : 冷却材-被覆管肉厚中心温度差相当値 = 20°C

$HSF$  : 被覆管温度工学的安全係数相当値 = 1.18

$T_{in}$  : 冷却材入口温度

$$\Delta T_{Na} = P_{SA} / W_{Na} / C_p$$

$P_{SA}$  : 集合体出力

$W_{Na}$  : 集合体必要流量

$C_p$  : 冷却材比熱 (平均値)

さらに、これら代表集合体 20 体の冷却材必要流量を元に、取出燃焼度に対して線形内挿することにより全炉心燃料集合体について冷却材必要流量を求めた。取出燃焼度と冷却材必要流量との関係を表 2.3-1 と図 2.3-5 に、また全炉心燃料集合体の必要流量評価結果を表 2.3-2、図 2.3-6 に示す。

取出燃焼度と冷却材必要流量とはほぼ線形関係にあるが、分布の幅 (近似直線からのずれ) に着目すると、内側炉心で最大約 3%、外側炉心で最大約 10%のずれがあり、またこれらのずれには配分流量設定において非保守側 (線形直線近似では必要流量を小さめに見積もる) となるものも存在する。設計においては、全ての集合体について CDF と被覆管最高温度の関係を評価するか、もしくはこの分布の幅を包絡する流量を以って必要流量とするべきではあるが、本検討の目的は被覆管材料の違いも含めて熱設計の成立性を概略的に見通すことであるため、現段階ではこの分布幅は考慮せず近似直線の値そのものを必要流量として計上した。なお、CDF (被覆管最高温度) と必要流量とを評価した代表集合体 20 体については、近似直線の値ではなく、その評価値そのものを用いた。必要流量評価結果(図 2.3-6)において、同程度の取出燃焼度ながら必要流量が若干大き目となっている集合体は、これら代表集合体である。

被覆管材料の差異に着目すると、各集合体毎の必要流量を単純に合計した (流量領域区分による無駄流量を含まない) 値は、ODS 鋼被覆管 (高温条件) の場合で 15,649kg/s、PNC-FMS 鋼被覆管 (低温条件) の場合で 16,478kg/s となり、PNC-FMS では ODS と比較して 5.3%多い流量が必要となる。

### (iii) 流量配分設計検討

炉心燃料集合体の流量領域数を最大 8 領域とすることを目安として、各集合体毎の冷却材必要流量及び炉心配置より流量配分計画を検討した。炉

心配分可能流量は、実証炉設計研究結果を参照し、17,244kg/sとした。

必要流量、設定流量、及び流量領域区分を表 2.3-3、-4、及び図 2.3-7 に示す。領域区分は内側炉心 4 領域、外側炉心 4 領域の計 8 領域とした。

ODS 被覆管（高温条件）の場合は、領域必要流量合計値は配分可能流量に対して約 5%の余裕があったため、取出燃焼度と必要流量との近似直線からのずれ幅を考慮して内側炉心に 4.5%、外側炉心に 7%をそれぞれ追加配分し、これを設計流量とした。

PNC-FMS 被覆管（低温条件）の場合は、領域必要流量合計値はほぼ配分可能流量と同量となり、追加配分できる余裕はほとんど生じなかった。これは、被覆管材料物性（クリープ強度）の違いにより、流配設計による無駄流量とは無関係に、集合体毎の必要流量が ODS 鋼被覆管（高温条件）よりも大きいことによる。なお、領域区分を変更した場合の領域必要流量合計値のサーベイ結果を表 2.3-5 に参考として示す。内側炉心 4 領域+外側炉心 4 領域という組み合わせでは、領域区分を変更しても流量の節約効果はほとんどない。各集合体間で必要流量の差が小さい（出力、取出燃焼度が平坦な）内側炉心を 3 領域、これらが大きい外側炉心を 5 領域とした場合は、領域必要流量を 0.5%程度節約できる。

#### (iv) 被覆管温度履歴評価及び CDF 確認評価

代表集合体 20 体を対象として(iii)にて設定した設計流量にて被覆管温度履歴を評価し、この履歴に基づいて CDF を再度評価し確認した。評価結果を表 2.3-6 及び図 2.3-8 に被覆管応力、被覆管内圧と併せて示す。いずれの集合体についても  $CDF \leq 0.3$  を満たしていることを確認した。

ただし、特に PNC-FMS 被覆管（低温条件）に関しては、領域必要流量と設計流量とが同程度であり追加配分流量がほとんど無いために、各流量領域にて必要流量が最大（取出燃焼度が最大）の集合体は CDF が 0.3 近傍となった。

#### (v) 集合体出口温度及び隣接燃料集合体出口温度差評価

全燃料集合体を対象として(iii)にて設定した設計流量にて集合体出口温度及び隣接集合体出口温度差を評価した。ODS 被覆管と PNC-FMS 被覆管の場合とも、燃料集合体同士の出口温度差は最大で約 75℃となった。また、各燃料集合体出口温度の燃焼に伴う変動幅は、全炉心燃料集合体平均で約 33℃、最大の集合体では約 55℃となった。

原電実証炉設計研究を参考として、プラント設計分野との取合条件となる制御棒－制御棒隣接燃料集合体間出口温度差について以下に示す。実証炉設計研究における隣接集合体間出口温度差最大値は、主炉停止系制御棒－制御棒隣接燃料集合体間にて約 150℃であり、また、制御棒出口温度は

430℃～490℃ ( $\Delta T = 35 \sim 95^\circ\text{C}$ ) である。本検討では、制御棒熱設計は未実施であるが、これら実証炉設計研究結果より、本対象炉心の制御棒－制御棒隣接燃料集合体間出口温度差について考察した。制御棒隣接燃料集合体出口温度を表 2.3-7 にまとめる。全制御棒隣接燃料集合体の寿命中の最高出口温度は、低温条件で 555℃、高温条件で約 600℃となった。制御棒熱・構造設計上、制御棒バンドル出口の $\Delta T$  は本検討炉心においても実証炉と同程度となると想定すると、それぞれのケースでの主炉停止系制御棒出口温度は以下となる。

高温条件：430～490℃ (入口温度 395℃)

低温条件：385～445℃ (出口温度 350℃)

この場合、制御棒－制御棒隣接燃料集合体出口温度差は以下となると考えられる。

高温条件：110～170℃

低温条件：110～170℃

これらの温度差範囲の内、最大値 170℃は全制御棒と全隣接燃料集合体を包絡した（炉心配置を考慮していない）値であるため、保守側の評価値である。

#### (vi) バンドル部圧力損失評価

(iii)にて設定した設計流量にて各流量領域毎のバンドル部圧力損失を PNC-KfK の式により評価した。評価結果を表 2.3-8 に示す。内部ダクトを有する内側炉心燃料集合体の圧損については、内部ダクトをモデル化せず、内部ダクト領域に燃料ピンが存在するとしてモデル化し、内部ダクト領域に存在させた燃料ピン本数に対応する分だけ冷却材流量を比例増加させて従来 PNC-KfK 式により評価した。具体的には、内側炉心 234 本バンドルを外側炉心と同じ 271 本バンドルとし、このピン本数増分に対応させて冷却材流量を設計配分流量の 1.158 倍( $\times 271/234$ )として圧損を計算した。

バンドル部圧損の最大値は、ODS 高温ケースで 3.2kg/cm<sup>2</sup>、PNC-FMS 低温ケースで 3.3kg/cm<sup>2</sup>となり、いずれも同程度の集合体出力でありながら流路面積が小さい（ピン当たりの出力が大きい）内側炉心燃料集合体で発生した。

各流量領域間の圧損差最小値については、両ケースとも同一プルトニウム富化度領域内では約 0.2kg/cm<sup>2</sup>、内側炉心－外側炉心間では 0.1kg/cm<sup>2</sup>以下となった。今後、集合体入口オリフィス設計の見直し確認、もしくは流量領域・設定流量の見直しが必要である。

#### (vii) 炉心熱設計とヒートバランスとの関係考察 (PNC-FMS 被覆管の場合)

表 2.3-6 より、PNC-FMS 被覆管では出入口温度条件 505/350℃

( $\Delta T=155^{\circ}\text{C}$ )にて被覆管最高温度を  $640^{\circ}\text{C}$  程度以下（炉心中心集合体：最大被覆管応力発生集合体）とする必要があることが分かった。

今後、例えば出入口温度差を低減して出口温度を高温化する等、ヒートバランスを検討するにあたり、炉心熱設計において被覆管温度を目安として検討する方策に関して、以下のとおり考察した。

表 2.3-9 に、出入口温度条件をパラメータとした炉心中心集合体の CDF 計算結果を示す。着眼点は、被覆管の最高温度と寿命末期温度である。寿命初期の被覆管最高温度を  $640^{\circ}\text{C}$  近傍に押さえたとしても CDF が 0.3（判断目安）を超えるケースが発生した。一方、寿命末期温度を今回流配検討ケース（ケース 0）と同程度の  $591^{\circ}\text{C}$  とすれば、CDF は 0.3 を下回る同程度の値となった。

結論としては、PNC-FMS 被覆管では、被覆管最高温度を  $640^{\circ}\text{C}$  程度以下に押さえるだけでは炉心熱設計成立性の目安として不十分であり、むしろ集合体寿命末期での被覆管温度を  $591^{\circ}\text{C}$  程度に押さえることが重要であると考えられる。これは、CDF が被覆管温度履歴の形に依存することをはじめ、以下の影響が重なったためと考えられる。

- ① 被覆管応力は寿命末期で高く、CDF 上は寿命末期温度が支配的となる傾向にある。
- ② 入口温度設定値変更により下部ガスプレナム温度が変わりピン内ガス圧、被覆管応力が変わる。
- ③ PNC-FMS では寿命初期の高温経験により強度低下が生じる特性が著しい。

なお、具体的な解析結果について若干の説明を加えると、ケース 1 では、寿命初期に発生する被覆管最高温度をケース 0 と同一としたが、寿命末期での被覆管温度がケース 0 よりも  $8^{\circ}\text{C}$  程度高いことにより CDF は燃料健全性確保の判断目安である 0.3 を超過した。ケース 2 では寿命初期の被覆管最高温度も  $8^{\circ}\text{C}$  程低いことに加えて寿命末期の被覆管温度がケース 0 と同程度であり CDF は 0.19 と低い値に押さえられた。例えば出入口温度差をある程度 ( $140^{\circ}\text{C}$  前後) 確保した上で出口温度高温化を狙おうとすると、ケース 4 程度のヒートバランスにて炉心熱設計が成立する見通しである。

### (3) まとめ

酸化燃料長期運転サイクル炉心を対象として熱設計検討を実施し、被覆管の  $\text{CDF} \leq 0.3$ 、かつ流量領域 8 領域以下の条件にて、流量配分設計成立の見



通しを得た。なお、被覆管材料として以下の2ケースを検討した。

- ・ ODS 鋼被覆管 (出入口温度条件：550/395℃)
- ・ PNC-FMS 鋼被覆管 (出入口温度条件：505/310℃)

ただし、PNC-FMS 鋼被覆管の場合は、流配設計の裕度がほとんど無い結果となった。これは被覆管材料物性（クリープ強度）によるものである。

本検討結果を設計上の課題等を含めて以下にまとめる。

- ① CDF $\leq$ 0.3、かつ冷却材流量領域8領域の条件にて流量配分設計を実施し、熱設計成立の見通しを得た。
- ② 内側/外側炉心それぞれの最大配分流量は、ODS 被覆管にて 40.1kg/s/SA/42.5kg/s/SA、PNC-FMS 被覆管にて 40.5kg/s/SA/42.4kg/s/SA となった。
- ③ CDF 最大値は以下となった。PNC-FMS 被覆管の場合は流配設計余裕がほとんどないために CDF は制限値である 0.3 に近接している。  
 ODS 被覆管： 内側炉心 0.05、 外側炉心 0.008  
 PNC-FMS 被覆管： 内側炉心 0.24、 外側炉心 0.30<sub>6</sub>
- ④ 隣接集合体出口温度差は、最大となる制御棒-炉心燃料集合体間にて、110℃~170℃ (ODS 被覆管)、及び 150℃~210℃ (PNC-FMS 被覆管) 程度となると考えられる。制御棒設計を踏まえた確認が望まれる。なお、実証炉設計取合条件は $\leq$ 150℃である。
- ⑤ バンドル部圧力損失を PNC-KfK の式により評価した。各プルトニウム富化度領域でのバンドル圧損最大値を以下に示す。  
 ODS 被覆管： 内側炉心 3.2kg/cm<sup>2</sup>、 外側炉心 2.7kg/cm<sup>2</sup>  
 PNC-FMS 被覆管： 内側炉心 3.3kg/cm<sup>2</sup>、 外側炉心 2.7kg/cm<sup>2</sup>

また、各流量領域間での圧損差は、同一プルトニウム富化度領域では約 0.2kg/cm<sup>2</sup>、内側炉心-外側炉心間では 0.0~0.1kg/cm<sup>2</sup> と小さくなった。このことは、本炉心の熱設計成立性にかかわることではないが、今後設計の詳細化を図る上では、集合体入口オリフィス設計成立性の見通しの確認、もしくは流量領域、設定流量の見直しが望まれる。

表 2.3-1 代表集合体の必要流量評価結果及び取出燃焼度\*

ODS被覆管 (高温条件)

						高温条件 (燃焼度) MWD/T 1E5			
集合体	径方向位置 (層)	流量 (EZ LIFE)	流量 (参考) (近似式より)	差 (参考) (EZ-近)	比率 (参考) (EZ/近)	内側1	外側1	内側2	外側2
内側1	2	38.4	37.5	0.9	1.024	1.872			
	5	35.7	36.2	-0.5	0.986	1.808			
	9	35.6	35.0	0.6	1.017	1.747			
	25	35.4	35.4	0.0	1.000	1.768			
	35	35.2	35.8	-0.6	0.983	1.788			
	48	35.2	35.0	0.2	1.006	1.747			
	62	34.5	34.8	-0.3	0.991	1.737			
79	33.0	33.4	-0.4	0.989	1.667				
外側1	98	38.0	41.0	-3.0	0.927		1.799		
	118	39.4	37.9	1.5	1.039		1.664		
	140	33.7	34.3	-0.6	0.983		1.505		
	165	29.5	27.0	2.5	1.094		1.183		
内側2	27	36.7	36.4	0.3	1.008			1.818	
	38	37.1	36.2	0.9	1.025			1.808	
	51	35.6	35.0	0.6	1.018			1.747	
	66	32.4	33.6	-1.2	0.965			1.677	
	83	30.6	31.5	-0.9	0.970			1.576	
外側2	102	36.3	35.1	1.2	1.035				1.518
	123	28.3	29.7	-1.4	0.952				1.288
	147	23.7	23.9	-0.2	0.993				1.033

PNC-FMS被覆管 (低温条件)

						低温条件 (燃焼度) MWD/T 1E5			
集合体	径方向位置 (層)	流量 (EZ LIFE)	流量 (参考) (近似式より)	差 (参考) (EZ-近)	比率 (参考) (EZ/近)	内側1	外側1	内側2	外側2
内側1	2	40.5	40.0	0.5	1.013	1.872			
	5	38.7	38.6	0.1	1.002	1.808			
	9	37.8	37.3	0.5	1.013	1.747			
	25	37.5	37.8	-0.3	0.993	1.768			
	35	37.6	38.2	-0.6	0.985	1.788			
	48	37.4	37.3	0.1	1.002	1.747			
	62	36.8	37.1	-0.3	0.992	1.737			
79	35.5	35.6	-0.1	0.997	1.667				
外側1	98	41.7	43.2	-1.5	0.966		1.799		
	118	40.7	39.9	0.8	1.019		1.664		
	140	36.6	36.1	0.5	1.013		1.505		
	165	28.8	28.4	0.4	1.015		1.183		
内側2	27	38.9	38.7	0.2	1.005			1.818	
	38	38.5	38.5	0.0	1.001			1.808	
	51	37.4	37.2	0.2	1.006			1.747	
	66	35.7	35.7	0.0	1.001			1.677	
	83	33.0	33.5	-0.5	0.984			1.576	
外側2	102	36.8	36.0	0.8	1.022				1.518
	123	30.1	30.5	-0.4	0.986				1.288
	147	23.8	24.5	-0.7	0.972				1.033

\*出力：炉心+軸ブランケット出力合計，重金屬量：炉心部のみ

表 2.3-2 集合体必要流量と領域必要流量：(1/2)ODS 鋼被覆管，高温条件

n	集合体番号	内側炉心送流度				内側炉心流量 (水対流)				内側炉心流量 (空更)					
		第1領域	第2領域	第3領域	第4領域	第1領域	第2領域	第3領域	第4領域	第1領域	第2領域	第3領域	第4領域		
1	3	1.89				37.9				37.8					
2	2	1.87				37.5				38.4					
3	22	1.84				36.9				38.9					
4	18	1.83				36.7				38.7					
5	39	1.83				36.7				38.7					
6	4		1.82				36.6			38.5					
7	14		1.82				36.6			38.5					
8	23		1.82				36.5			38.5					
9	27		1.82				36.5			38.7					
10	28		1.82				36.5			38.5					
11	31		1.82				36.5			38.5					
12	6		1.81				36.3			38.7					
13	6		1.81				36.3			38.8					
14	7		1.81				36.3			38.8					
15	8		1.81				36.3			38.8					
16	33		1.81				36.3			38.8					
17	36		1.81				36.3			38.3					
18	38		1.81				36.3			37.1					
19	11		1.80				36.1			36.1					
20	32		1.80				36.1			36.1					
21	40		1.80				36.1			36.1					
22	57		1.80				36.1			36.1					
23	10		1.79				35.9			35.9					
24	26		1.79				35.9			35.9					
25	35		1.79				35.9			35.2					
26	37		1.79				35.9			35.9					
27	41		1.79				35.9			35.9					
28	42		1.79				35.9			35.9					
29	45		1.79				35.9			35.9					
30	50		1.79				35.9			35.9					
31	54		1.79				35.9			35.9					
32	12		1.78				35.7			35.7					
33	15		1.78				35.7			35.7					
34	19		1.78				35.7			35.7					
35	21		1.78				35.7			35.7					
36	24		1.78				35.7			35.7					
37	43		1.78				35.7			35.7					
38	47		1.78				35.7			35.7					
39	56		1.78				35.7			35.7					
40	25		1.77				35.6			35.4					
41	30		1.77				35.6			35.6					
42	34		1.77				35.6			35.5					
43	17		1.76				35.3			35.3					
44	52		1.76				35.3			35.3					
45	9			1.75				35.1		35.0					
46	13			1.75				35.1		35.1					
47	48			1.75				35.1		35.2					
48	51			1.75				35.1		35.6					
49	61			1.75				35.1			35.1				
50	71			1.75				35.1			35.1				
51	28			1.74				34.9		34.9					
52	44			1.74				34.9			34.9				
53	62			1.74				34.9			34.6				
54	63			1.74				34.9			34.9				
55	68			1.74				34.9			34.9				
56	72			1.74				34.9			34.9				
57	70			1.73				34.7			34.7				
58	60			1.72				34.5			34.5				
59	64			1.72				34.5			34.5				
60	69			1.72				34.5			34.6				
61	73			1.72				34.5			34.6				
62	59			1.71				34.3			34.9				
63	65			1.71				34.3			34.3				
64	67			1.71				34.3			34.3				
65	58				1.69				33.9			33.9			
66	77				1.69				33.9			33.9			
67	79				1.69				33.9			33.9			
68	90				1.69				33.9			33.9			
69	96				1.69				33.9			33.9			
70	89				1.69				33.9			33.9			
71	66				1.68				33.7			32.4			
72	88				1.68				33.7			33.7			
73	79				1.67				33.5			33.0			
74	87				1.67				33.5			33.6			
75	81				1.64				32.9			32.8			
76	85				1.64				32.9			32.8			
77	76				1.61				32.3			32.3			
78	30				1.61				32.3			32.3			
79	31				1.61				32.3			32.3			
80	75				1.60				32.1			32.1			
81	82				1.58				31.9			31.9			
82	83				1.58				31.7			30.6			
83	94				1.58				31.7			31.7			
84	74				1.57				31.6			31.6			
										領域最大値	30.4	32.1	35.1	33.9	
										集合体平均値	6	141	45	60	
										領域必要流量	230.4	5231.1	1579.5	2034.0	
										内側炉心必要流量				9075.0	
										集合体必要流量合計	220.9	5068.8	1559.7	1969.5	
										内側炉心集合体必要流量				8926.3	
										A領域	230.4	5231.1	1579.5	2034.0	9075.0
										領域必要流量	229.9	5068.8	1559.7	1969.5	8826.3
										集合体平均必要流量	1.0066	1.0320	1.0127	1.0327	1.0281

表 2.3-2 集合体必要流量と領域必要流量：(1/2)ODS 鋼被覆管，高温条件 つづき

n	集合体番号	外側炉心差流量				外側炉心流量 (水野版)				外側炉心流量 (変更)					
		第5領域	第6領域	第7領域	第8領域	第5領域	第6領域	第7領域	第8領域	第5領域	第6領域	第7領域	第8領域		
1	98	1.80				41.57				38.0					
2	105	1.72				40.89				40.9					
3	108	1.75				40.42				40.4					
4	95	1.78				39.95				40.0					
5	96	1.73				39.95				40.0					
6	109	1.73				39.95				40.0					
7	99	1.72				39.72				39.7					
8	105	1.68				38.80				38.8					
9	116	1.57				38.57				38.6					
10	117	1.87				38.57				38.6					
11	118	1.66				38.34				38.4					
12	127	1.68				38.34				38.3					
13	120	1.86				38.34				38.3					
14	119	1.65				38.11				38.1					
15	130	1.55				38.11				38.1					
16	129	1.69				37.64				37.6					
17	101	1.61				37.18				37.2					
18	120	1.60				36.95				37.0					
19	93		1.58				36.49			36.5					
20	103		1.68				36.49			36.5					
21	111		1.67				36.26			36.3					
22	128		1.66				36.03			36.0					
23	115		1.54				35.67			35.6					
24	131		1.54				35.67			35.6					
25	92		1.62				35.10			35.1					
26	102		1.62				35.10			35.1					
27	140		1.51				34.67			34.7					
28	139		1.48				34.18			34.2					
29	161		1.48				34.18			34.2					
30	114		1.47				33.95			34.0					
31	121		1.47				33.95			34.0					
32	132		1.47				33.95			34.0					
33	141		1.47				33.95			34.0					
34	152		1.47				33.95			34.0					
35	152		1.47				33.95			34.0					
36	125		1.46				33.72			33.7					
37	136			1.40				32.33			32.3				
38	160			1.40				32.33			32.3				
39	154			1.40				32.33			32.3				
40	142			1.39				32.10			32.1				
41	113			1.37				31.64			31.6				
42	122			1.37				31.64			31.6				
43	124			1.37				31.64			31.6				
44	133			1.37				31.64			31.6				
45	137			1.36				31.41			31.4				
46	143			1.36				31.41			31.4				
47	149			1.36				31.41			31.4				
48	156			1.33				30.72			30.7				
49	123			1.28				29.79				28.3			
50	178			1.18				27.48					27.6		
51	156				1.18				27.25				27.3		
52	165				1.18				27.25				29.5		
53	177				1.18				27.25				27.3		
54	149				1.17				27.02				27.0		
55	164				1.17				27.02				27.0		
56	135				1.16				26.79				26.8		
57	112				1.16				26.79				26.8		
58	144				1.16				26.56				26.5		
59	179				1.16				26.56				26.5		
60	166				1.14				26.33				26.3		
61	163				1.11				26.64				26.8		
62	176				1.11				26.64				26.8		
63	175				1.06				24.48				24.5		
64	162				1.05				24.25				24.3		
65	147				1.00				23.79				23.7		
66	197				1.02				23.56				23.6		
67	180				1.02				23.56				23.6		
68	145				1.01				23.33				23.3		
69	135				1.00				23.09				23.1		
70	157				0.98				22.63				22.6		
										領域最大値	40.9	34.2	32.3	29.5	
											26	10	12	22	
										集合体本数	78	30	35	66	
										領域必要流量	3190.2	1026.0	1162.8	1847.0	
										外側炉心必要流量				7326.0	
										内側炉心必要流量				9075.0	
										炉心必要流量				16401.0	
										水野さんメモ					
										炉心配分可能流量				17244	
										集合体必要流量合計	2960.7	1019.4	1140.9	1760.7	
										外側炉心集合体必要流量				5821.7	
										内側炉心集合体必要流量				8826.9	
										炉心集合体必要流量				15648.6	
										領域必要流量	A領域	B領域	C領域	D領域	合計
										集合体必要流量	3190.2	1026.0	1162.8	1847.0	7326.0
										集合体必要流量	2960.7	1018.4	1140.9	1760.7	6821.7
										領域必要流量+集合体必要流量	1.0775	1.0055	1.0192	1.1440	1.0738
										内側設計	外側設計	炉心配分			
										9075.0	7326.0	16401.0			
										炉心配分可能流量					
										17244					
										配分可能/設計 (追加配分可能)					
										1.051					

表 2.3-2 集合体必要流量と領域必要流量：(2/2)PNC-FMS 鋼被覆管，低温条件

n	集合体番号	内側炉心径程度				内側炉心径量(水野版)				内側炉心径量(実重)					
		第1領域	第2領域	第3領域	第4領域	第1領域	第2領域	第3領域	第4領域	第1領域	第2領域	第3領域	第4領域		
1	3	1.833				40.4				40.4					
2	2	1.872				40.0				40.5					
3	22	1.833				39.8					39.8				
4	18	1.828				39.0					39.0				
5	33	1.829				38.0					38.0				
6	4	1.810					38.8				38.8				
7	14	1.810					38.8				38.8				
8	23	1.810					38.8				38.8				
9	27	1.810					38.8				38.8				
10	26	1.810					38.8				38.8				
11	31	1.810					38.8				38.8				
12	5	1.808					38.6				38.7				
13	6	1.808					38.6				38.6				
14	7	1.808					38.6				38.6				
15	8	1.808					38.6				38.6				
16	9	1.808					38.6				38.6				
17	38	1.808					38.6				38.6				
18	36	1.808					38.6				38.6				
19	30	1.808					38.6				38.6				
20	11	1.798					38.4				38.4				
21	32	1.798					38.4				38.4				
22	40	1.798					38.4				38.4				
23	57	1.798					38.4				38.4				
24	10	1.788					38.2				38.2				
25	26	1.788					38.2				38.2				
26	35	1.788					38.2				37.6				
27	37	1.788					38.2				38.2				
28	41	1.788					38.2				38.2				
29	42	1.788					38.2				38.2				
30	45	1.788					38.2				38.2				
31	50	1.788					38.2				38.2				
32	54	1.788					38.2				38.2				
33	12	1.778					38.0				38.0				
34	15	1.778					38.0				38.0				
35	19	1.778					38.0				38.0				
36	21	1.778					38.0				38.0				
37	24	1.778					38.0				38.0				
38	43	1.778					38.0				38.0				
39	47	1.778					38.0				38.0				
40	55	1.778					38.0				38.0				
41	25	1.768					37.8				37.5				
42	30	1.768					37.8				37.8				
43	34	1.768					37.8				37.8				
44	17	1.757					37.5				37.5				
45	52	1.757					37.5				37.5				
46	3		1.747					37.3			37.3				
47	13		1.747					37.3			37.3				
48	48		1.747					37.3			37.4				
49	51		1.747					37.3			37.4				
50	61		1.747					37.3			37.3		37.3		
51	71		1.747					37.3			37.3		37.3		
52	29		1.737					37.1			37.1				
53	44		1.737					37.1			37.1		37.1		
54	54		1.737					37.1			37.1		37.1		
55	62		1.737					37.1			37.1		37.1		
56	69		1.737					37.1			37.1		37.1		
57	68		1.727					36.9			36.9		36.9		
58	72		1.727					36.7			36.7		36.7		
59	70		1.717					36.7			36.7		36.7		
60	64		1.717					36.7			36.7		36.7		
61	63		1.717					36.7			36.7		36.7		
62	79		1.707					36.5			36.5		36.5		
63	59		1.707					36.5			36.5		36.5		
64	65		1.707					36.5			36.5		36.5		
65	67		1.707					36.5			36.5		36.5		
66	66			1.687					36.0			36.0	36.0		
67	77			1.687					36.0			36.0	36.0		
68	67			1.687					36.0			36.0	36.0		
69	80			1.687					36.0			36.0	36.0		
70	86			1.687					36.0			36.0	36.0		
71	85			1.687					36.0			36.0	36.0		
72	66			1.677					35.8			35.7	35.7		
73	88			1.677					35.6			35.6	35.6		
74	79			1.667					35.6			35.6	35.6		
75	87			1.667					35.6			35.6	35.6		
76	81			1.636					34.9			34.9	34.9		
77	85			1.636					34.9			34.9	34.9		
78	78			1.606					34.3			34.3	34.3		
79	90			1.606					34.3			34.3	34.3		
80	91			1.606					34.3			34.3	34.3		
81	75			1.596					34.1			34.1	34.1		
82	82			1.566					33.2			33.2	33.2		
83	83			1.576					33.7			33.7	33.7		
84	84			1.576					33.7			33.7	33.7		
85	74			1.566					33.4			33.4	33.4		
										領域最大値	40.5	39.2	37.3	36.0	
										集合体平均値	6	141	46	60	
										領域必要流量	248.0	6541.8	1678.6	2160.0	
										内側炉心必要流量	3822.8				
										集合体必要流量合計	242.7	6388.9	1659.0	2098.2	
										内側炉心集合体必要流量	2388.0				
										A領域	B領域	C領域	D領域	合計	
										領域必要流量	242.0	6541.3	1678.6	2160.0	9822.8
										集合体平均必要流量	242.7	6388.9	1659.0	2098.2	9389.8
										領域必要流量÷集合体平均必要流量	1.0055	1.0267	1.0112	1.0286	1.0249

表 2.3-2 集合体必要流量と領域必要流量：(2/2)PNC-FMS 鋼被覆管，  
高温条件つづき

n	集合体番号	外側炉心蒸気側				外側炉心蒸気(水野級)				外側炉心蒸気(実更)					
		第5組域	第6組域	第7組域	第8組域	第5組域	第6組域	第7組域	第8組域	第5組域	第6組域	第7組域	第8組域		
1	98	1.799				43.2									
2	106	1.768				42.4							41.7		
3	108	1.747				41.9							41.9		
4	95	1.726				41.4							41.4		
5	96	1.726				41.4							41.4		
6	109	1.726				41.4							41.4		
7	89	1.716				41.2							41.2		
8	105	1.695				40.4							40.4		
9	116	1.674				40.2							40.2		
10	117	1.674				40.2							40.2		
11	118	1.664				39.9							40.7		
12	127	1.664				39.9							39.9		
13	126	1.664				39.9							39.9		
14	119	1.654				39.7							39.7		
15	130	1.654				39.7							39.7		
16	129	1.633				39.2							39.2		
17	101	1.612				38.7							38.7		
18	120	1.601				38.4							38.4		
19	93		1.681				37.9						37.9		
20	103		1.661				37.6						37.6		
21	111		1.670				37.7						37.7		
22	128		1.660				37.4						37.4		
23	116		1.539				36.9						36.9		
24	131		1.539				36.9						36.9		
25	92		1.619				36.4						36.4		
26	102		1.519				36.4						36.6		
27	140		1.505				36.1						36.6		
28	138		1.464				35.6						35.6		
29	151		1.464				35.6						35.6		
30	114		1.473				35.3						35.3		
31	121		1.473				35.3						35.3		
32	132		1.473				35.3						35.3		
33	141		1.473				35.2						35.2		
34	152		1.473				35.3						35.3		
35	153		1.473				35.8						35.3		
36	125		1.463				35.1						35.1		
37	139			1.399				33.6					33.6		
38	160			1.399				33.6					33.6		
39	154			1.399				33.6					33.6		
40	142			1.368				33.3					33.3		
41	113			1.367				32.8					32.8		
42	122			1.367				32.8					32.8		
43	124			1.367				32.8					32.8		
44	133			1.367				32.8					32.8		
45	137			1.367				32.6					32.6		
46	143			1.367				32.6					32.6		
47	149			1.357				32.6					32.6		
48	155			1.344				32.0					32.0		
49	123			1.268				30.9					30.1		
50	178			1.196				29.7					28.7		
51	150				1.163				28.4				28.4		
52	165				1.163				28.4				28.8		
53	177				1.163				28.4				28.4		
54	148				1.172				28.1				28.1		
55	164				1.172				28.1				28.1		
56	136				1.160				27.8				27.8		
57	112				1.155				27.7				27.7		
58	144				1.146				27.5				27.5		
59	179				1.146				27.5				27.6		
60	166				1.137				27.3				27.3		
61	153				1.114				26.7				26.7		
62	176				1.114				26.7				26.7		
63	175				1.066				25.4				25.4		
64	152				1.046				25.1				25.1		
65	147				1.033				24.8				24.8		
66	157				1.021				24.5				24.5		
67	190				1.021				24.5				24.5		
68	145				1.002				24.2				24.2		
69	135				0.986				23.9				23.9		
70	157				0.984				23.6				23.6		
										領域最大値	42.4	36.6	33.6	30.1	
										集合体本数	79	20	36	65	
										領域必要流量	3307.2	1098.0	1208.8	1986.5	
										外側炉心必要流量				7601.4	
										内側炉心必要流量				3622.8	
										炉心配分可能流量				17224.2	
										水野さんメモ					
										炉心配分可能流量				17244	
										集合体毎必要流量合計	3078.9	1094.1	1165.9	1760.4	
										外側炉心集合体毎必要流量				7601.4	
										内側炉心集合体毎必要流量				3622.8	
										炉心集合体毎必要流量				16477.5	
										A組域	2307.2	1098.0	1209.6	1986.6	合計
										B組域					7601.4
										C組域					3622.8
										D組域					1760.4
										領域必要流量	3078.9	1094.1	1165.9	1760.4	7601.4
										集合体毎領域必要流量					3622.8
										領域必要流量+集合体毎領域必要流量	1,0741	1,0313	1,0205	1,1265	1,0723
										内側設計					
										外側設計					
										炉心配分可能流量					
										17244					
										配分可能/設計					
										1.0011					

表 2.3-3 流量配分設計の様子（領域必要流量と領域設定流量，追加流量）

ODS

内側炉心	第1領域	第2領域	第3領域	第4領域	内側炉心合計
集合体本数	6	141	45	60	252
領域内集合体最大必要流量	38.4	37.1	35.1	33.9	—
集合体設計配分流量	40.1	38.8	36.7	35.4	—
領域必要流量	230.4	5231.1	1579.5	2034.0	9075.0
領域設計流量	240.6	5470.8	1651.5	2124.0	9486.9
追加流量比	1.045	1.045	1.045	1.045	—

外側炉心	第5領域	第6領域	第7領域	第8領域	外側炉心合計
集合体本数	78	30	36	66	210
領域内集合体最大必要流量	40.9	34.2	32.3	29.5	—
集合体設計配分流量	42.5	36.6	34.6	31.6	—
領域必要流量	3190.2	1026.0	1162.8	1947.0	7326.0
領域設計流量	3315.0	1098.0	1245.6	2085.6	7744.2
追加流量比	1.040	1.070	1.070	1.070	—

内側炉心+外側炉心					
炉心配分可能流量	17244.0				
炉心必要流量	16401.0				
炉心設計流量	17231.1				

PNC-FMS

内側炉心	第1領域	第2領域	第3領域	第4領域	内側炉心合計
集合体本数	6	141	45	60	252
領域内集合体最大必要流量	40.5	39.3	37.3	36.0	—
集合体設計配分流量	40.5	39.3	37.3	36.0	—
領域必要流量	243.0	5541.3	1678.5	2160.0	9622.8
領域設計流量	243.0	5541.3	1678.5	2160.0	9622.8
追加流量比	1.001	1.001	1.001	1.001	—

外側炉心	第5領域	第6領域	第7領域	第8領域	外側炉心合計
集合体本数	78	30	36	66	210
領域内集合体最大必要流量	42.4	36.6	33.6	30.1	—
集合体設計配分流量	42.4	36.6	33.6	30.1	—
領域必要流量	3307.2	1098.0	1209.6	1986.6	7601.4
領域設計流量	3307.2	1098.0	1209.6	1986.6	7601.4
追加流量比	1.001	1.001	1.001	1.001	—

内側炉心+外側炉心					
炉心配分可能流量	17244.0				
領域必要流量	17224.2				
領域設計流量	17224.2				

表 2.3-4 対象炉心の流量配分計画

ODS

領域	流量領域 番号*	集合体数	集合体発熱量 (MW)	集合体流量 (kg/s)	領域流量 (kg/s)	領域内流量 (kg/s)
内側炉心	1	6	9.9	40.1	241	9487 (55.1%)
	2	141	9.9	38.8	5471	
	3	45	9.3	36.7	1652	
	4	60	8.9	35.4	2124	
外側炉心	5	78	10.8	42.5	3315	7744 (44.9%)
	6	30	9.2	36.6	1098	
	7	36	8.8	34.6	1246	
	8	66	7.4	31.6	2086	
合計			—	—	—	17231 (100%)**

PNC-FMS

領域	流量領域 番号*	集合体数	集合体発熱量 (MW)	集合体流量 (kg/s)	領域流量 (kg/s)	領域内流量 (kg/s)
内側炉心	1	6	9.9	40.5	243	9623 (55.9%)
	2	141	9.9	39.3	5541	
	3	45	9.3	37.3	1679	
	4	60	8.9	38.0	2160	
外側炉心	5	78	10.8	42.4	3307	7801 (44.1%)
	6	30	9.2	36.6	1098	
	7	36	8.8	33.6	1210	
	8	66	7.4	30.1	1987	
合計			—	—	—	17224 (100%)**

\* : 図2.3-7参照

\*\* : 炉心燃料集合体に配分可能な流量(17,244kg/s)に対する比率



表 2.3-5 流量領域区分の効果 (PNC-FMS)

低温条件による検討

高温条件と同じ区分	①	内側3領域	9667.8
	②	<b>内側4領域</b>	<b>9616.2</b>
	③	内側4領域	9578.5
	④	<b>外側4領域</b>	<b>7529.7</b>
	⑤	外側4領域	7538.4
	⑥	外側5領域	7391.7
	⑦	外側6領域	7312.8

配分可能流量	17244
--------	-------

	内+外	配分可能/領域必要
①+④	17197.5	1.0027
①+⑤	17206.2	1.0022
①+⑥	17059.5	1.0108
①+⑦	16980.6	1.0155
<b>②+④</b>	<b>17145.9</b>	<b>1.0057</b>
②+⑤	17154.6	1.0052
②+⑥	17007.9	1.0139
②+⑦	16929.0	1.0186
③+④	17108.2	1.0079
③+⑤	17116.9	1.0074
③+⑥	16970.2	1.0161
③+⑦	16891.3	1.0209

○印：全日領域となる組合せを示す

注)

代表集合体の必要流量についても、取出燃焼度に対する近似直線値を用いているため、必要領域流量は若干小さめの値となっている。(CDF ≥ 0.3を満たす被覆管温度、必要流量を比較するとIC:0~3%, OC:0~10%程度の差異がある。

表 2.3-6 CDF 及び被覆管最高温度の評価結果 (HS 温度) \*

集合体番号	高温条件		低温条件		
	CDF	被覆管最高温度 (°C)	CDF	被覆管最高温度 (°C)	
内側炉心	2	4.86E-02 ○	686	2.19E-01	638
	5	9.03E-03	669	1.87E-01	622
	9	8.52E-03	669	9.05E-02	621
	25	6.97E-03	661	8.08E-02	612
	35	4.74E-03	672	7.93E-02	624
	48	2.54E-03	672	7.07E-02	623
	62	2.20E-02	670	2.03E-01	621
	79	1.38E-02	679	1.43E-01	630
	27	2.14E-02	683	1.71E-01	635
	98	1.68E-02	687	1.19E-01	638
	51	2.36E-03	675	5.86E-02	626
	66	6.29E-03	673	2.99E-01 ○	624
	83	6.96E-04	656	2.57E-02	608
外側炉心	98	2.82E-03	666	1.75E-01	623
	118	4.78E-04	678	3.85E-02	633
	140	8.18E-03 ○	670	3.06E-01 ○	625
	165	4.96E-06	680	3.60E-02	647
	102	7.30E-06	656	2.95E-03	609
	123	3.40E-04	668	2.50E-01	637
	147	4.87E-09	624	3.78E-04	589

\* : 設計流量条件

○印 : 各プルトニウム富化度領域の最大値

表 2.3-7 制御棒隣接燃料集合体出口温度

●制御棒隣接燃料集合体出口温度(寿命中最大値) [°C]  
(ODS被覆管:高温条件)

	594			596			579	
<u>588</u>	CR:16	582	<u>594</u>	CR:46	590	<u>581</u>	CR:94	580
586		582	<u>592</u>		<u>592</u>	586		575
		584			588			590
		582		590			586	
588	CR:20	<u>592</u>	<u>588</u>	CR:49	594	<u>590</u>	CR:97	584
582		586	<u>598</u>		590	<u>595</u>		582
		588			592			590
			594				599	
			<u>588</u>	CR:53	592	<u>588</u>	CR:100	587
			592		588	584		582
			597			575		
				590			579	
			<u>596</u>	CR:56	584	<u>588</u>	CR:104	571
			595		<u>599</u>	586		584
			581			573		
							586	
						<u>588</u>	CR:107	<u>599</u>
					590	584		582
					584			
							593	
			<u>584</u>	CR:110	582	<u>582</u>	CR:110	580
			582		581	581		587
					581			

・制御棒隣接燃料集合体の最高出口温度  
599 °C

●制御棒隣接燃料集合体出口温度(寿命中最大値) [°C]  
(PNC-FMS被覆管:低温条件)

	537			549			534		
<u>541</u>	CR:16	535	<u>547</u>	CR:46	542	<u>534</u>	CR:94	535	
539		535	<u>545</u>		<u>551</u>	538		531	
		537			541			546	
		535		543			542		
541	CR:20	<u>545</u>	<u>541</u>	CR:49	547	<u>543</u>	CR:97	540	
535		539	<u>551</u>		542	<u>547</u>		548	548
		541			545			548	
				547			555		
			<u>539</u>	CR:53	545	<u>540</u>	CR:100	523	
			545		540	536		537	
			549			531			
				543			531		
			<u>549</u>	CR:56	538	<u>542</u>	CR:104	527	
			548		<u>551</u>	542		539	
			543			529			
							538		
						<u>540</u>	CR:107	<u>555</u>	
					546	540		538	
					540				
							545		
			<u>536</u>	CR:110	538	<u>538</u>	CR:110	536	
			538		546	538		523	
					546				

・制御棒隣接燃料集合体の最高出口温度  
555 °C

表 2.3-8 燃料ピンバンドル圧損評価結果

各流量領域間のバンドル部圧損差 (ODS被覆管; 高温条件)

reg.	圧損(kg/cm <sup>2</sup> )		流量領域間の圧損差(kg/cm <sup>2</sup> )						
	reg.1	reg.2	reg.2	reg.3	reg.4	reg.5	reg.6	reg.7	reg.8
reg.1	3.18								
reg.2	2.99	0.19						最小値	0.00
reg.3	2.70	0.48	0.29						
reg.4	2.53	0.65	0.46	0.17					
reg.5	2.70	0.48	0.29	0.00	0.47				
reg.6	2.06	1.12	0.93	0.64	0.67	0.64			
reg.7	1.86	1.32	1.13	0.84	0.96	0.84	0.20		
reg.8	1.57	1.61	1.42	1.13	2.53	1.13	0.49	0.29	

各流量領域間のバンドル部圧損差 (PNC-FMS被覆管; 低温条件)

reg.	圧損(kg/cm <sup>2</sup> )		流量領域間の圧損差(kg/cm <sup>2</sup> )						
	reg.1	reg.2	reg.2	reg.3	reg.4	reg.5	reg.6	reg.7	reg.8
reg.1	3.24								
reg.2	3.07	0.17						最小値	0.09
reg.3	2.79	0.45	0.28						
reg.4	2.61	0.63	0.46	0.18					
reg.5	2.70	0.54	0.37	0.09	0.55				
reg.6	2.06	1.18	1.01	0.73	0.85	0.64			
reg.7	1.76	1.48	1.31	1.03	1.17	0.94	0.30		
reg.8	1.44	1.80	1.63	1.35	2.61	1.26	0.62	0.32	

表 2.3-9 炉心中心集合体のヒートバランス(出入口温度)条件に対する CDF 計算結果

	ケース 0 (流配検討ケース)	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
出入口温度 [°C]	505/350	525/395	520/395	520/380	515/380
(出入口温度差)	(155)	(130)	(125)	(140)	(135)
被覆管温度 [°C]					
寿命初期	<u>638</u>	<u>638</u>	630	642	632
寿命末期	<u>591</u>	599	<u>591</u>	600	<u>591</u>
CDF	0.22	0.82	0.19	1.61	—
被覆管応力 [kg/mm <sup>2</sup> ]	9.3	9.9	9.8	9.8	—
成立性	○	×	○	×	○(見込み)

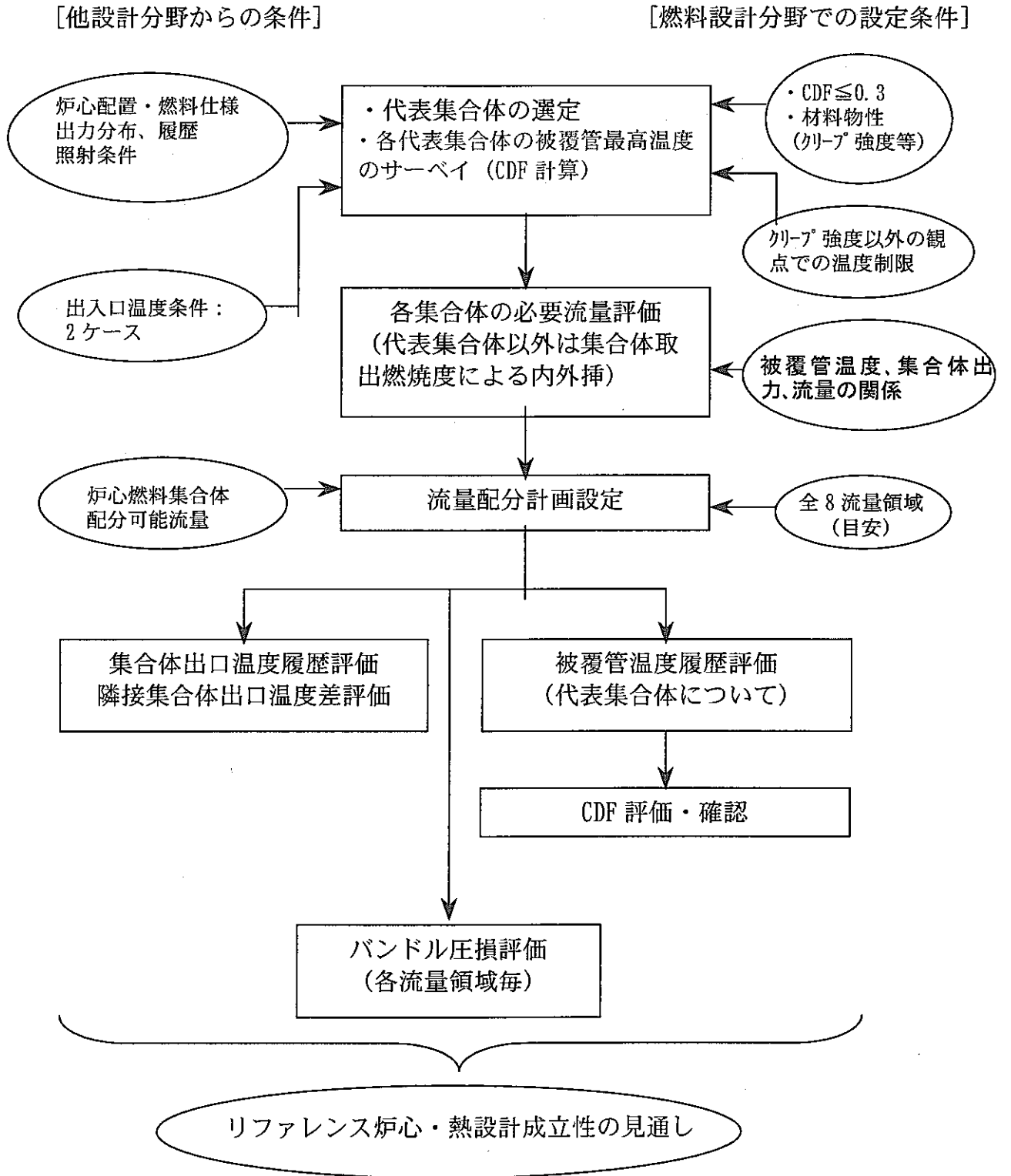


図 2.3-1 熱設計検討フロー

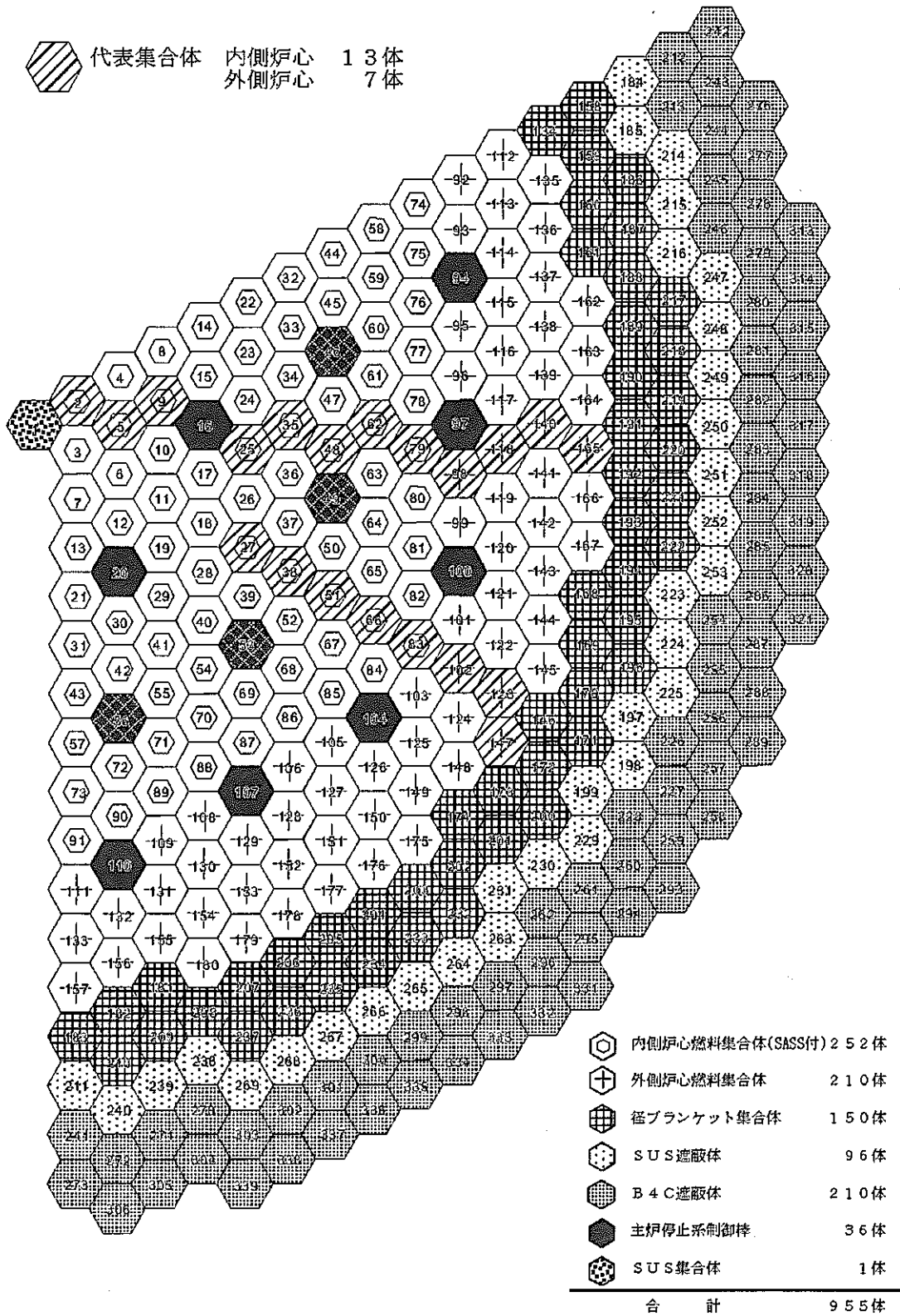


図 2.3-2 リファレンス炉心の炉心配置及び代表集合体

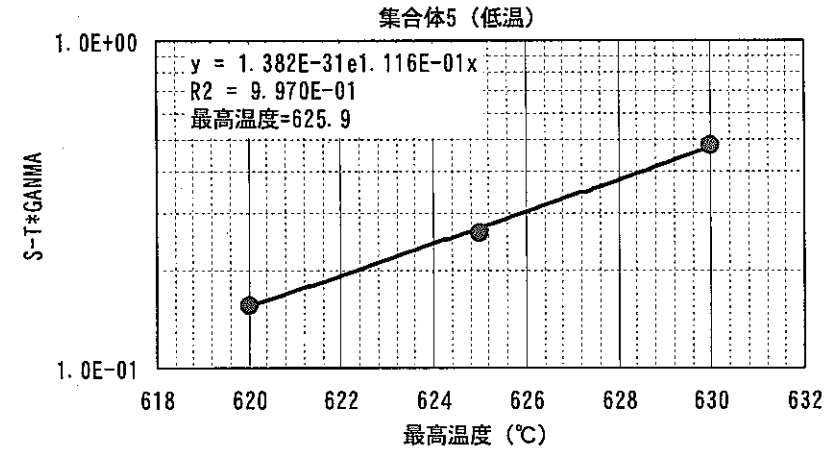
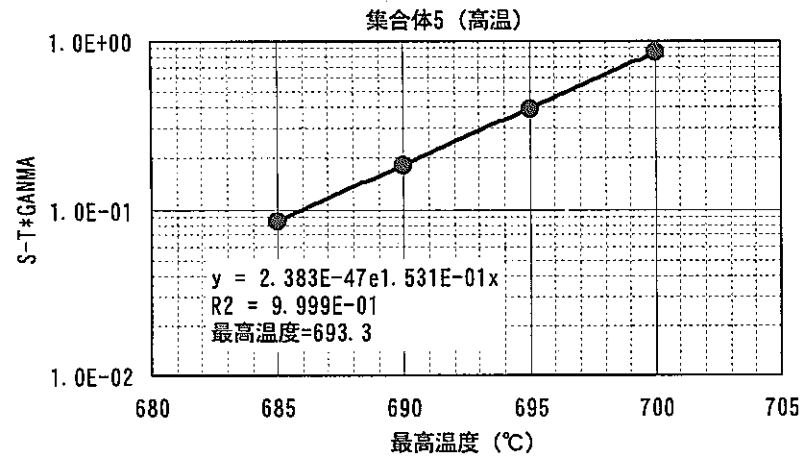
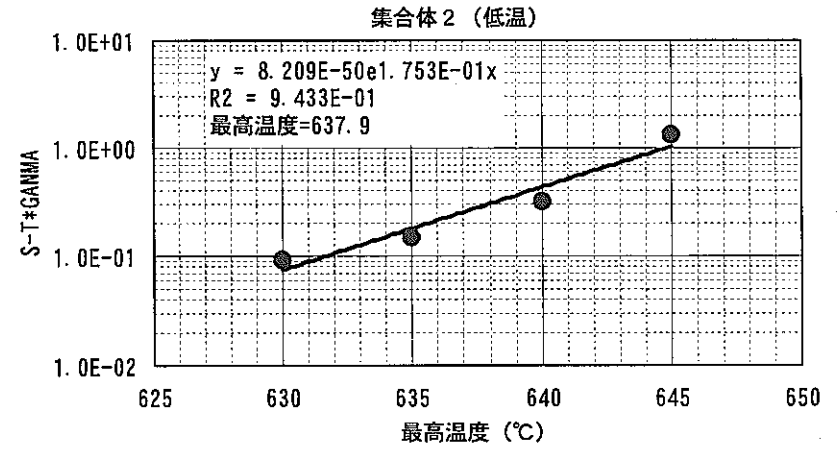
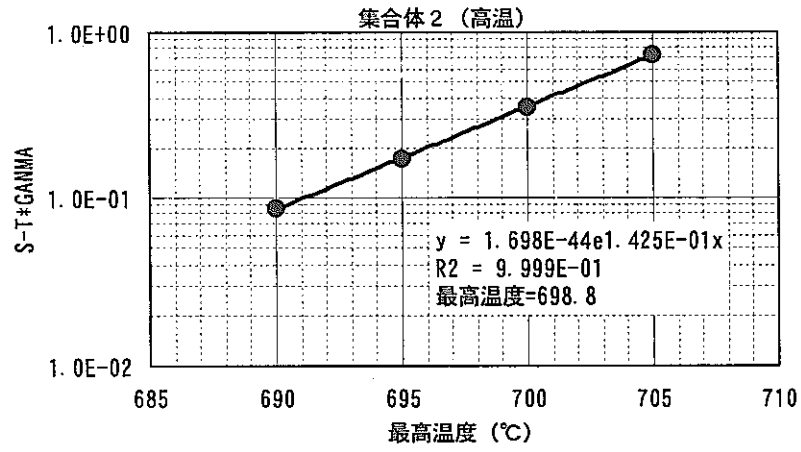


図 2.3-3 CDF-被覆管最高温度サーベイの様子(1/10)



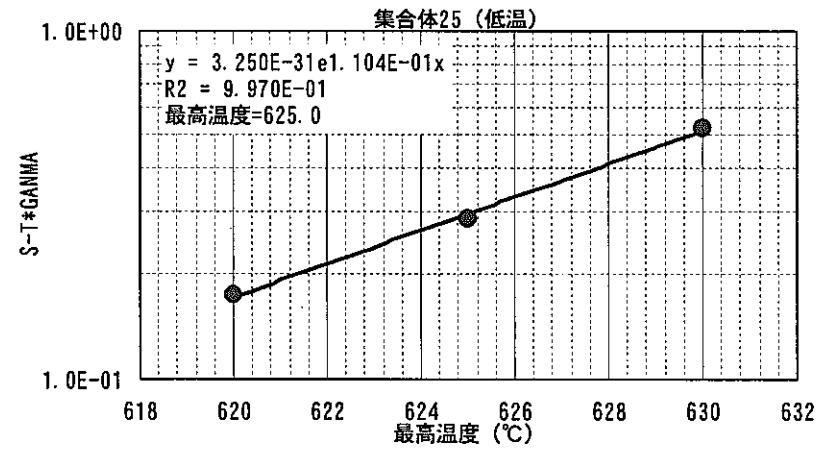
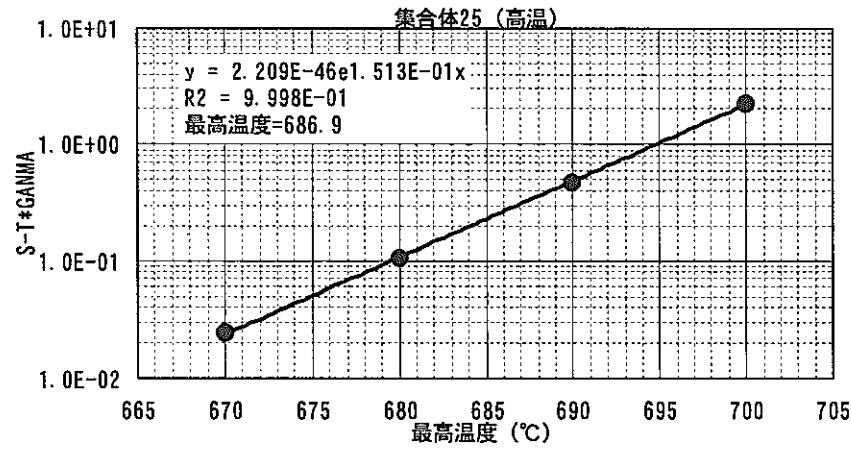
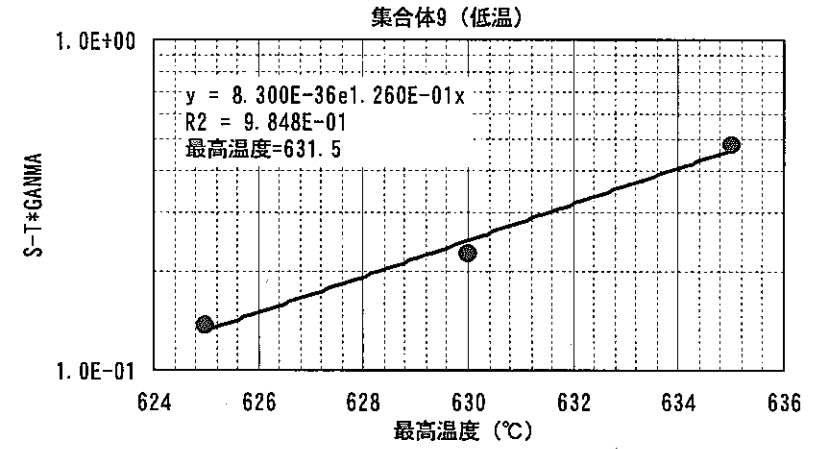
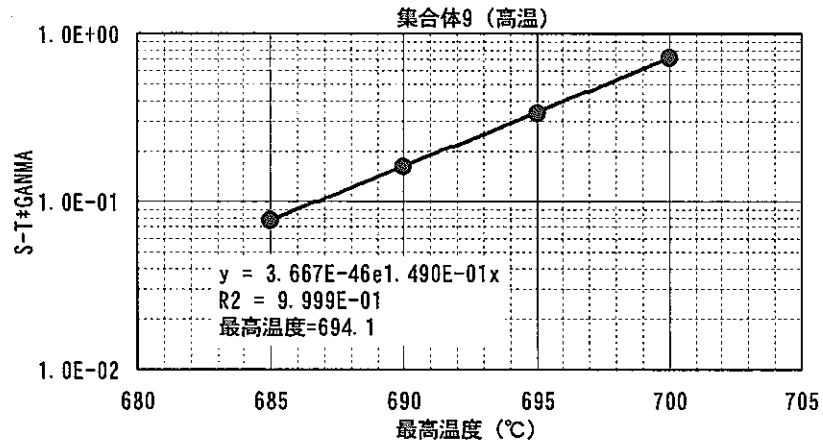


図 2.3-3 CDF-被覆管最高温度サーベイの様子(2/10)

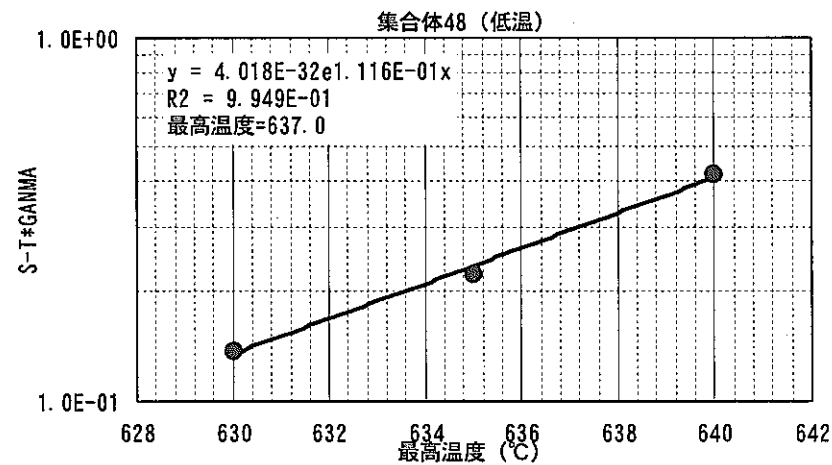
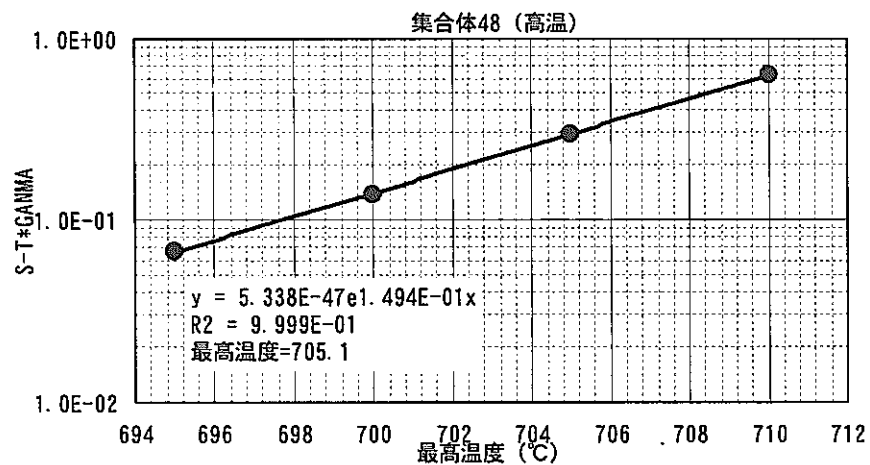
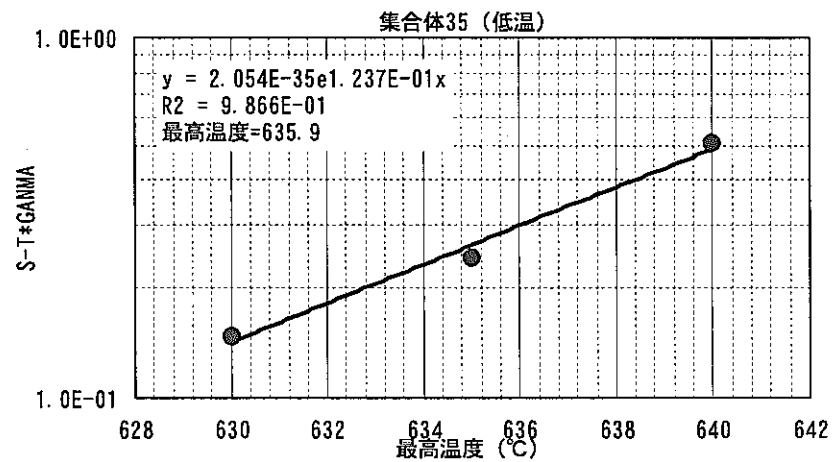
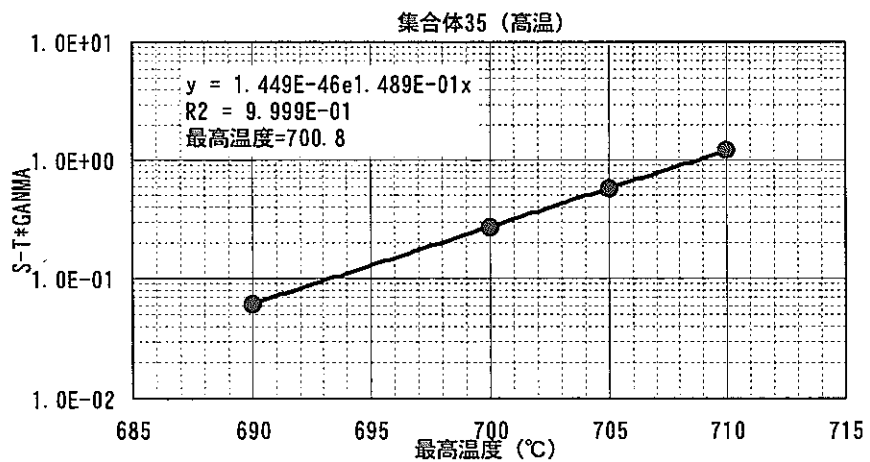


図 2.3-3 CDF-被覆管最高温度サーベイの様子(3/10)

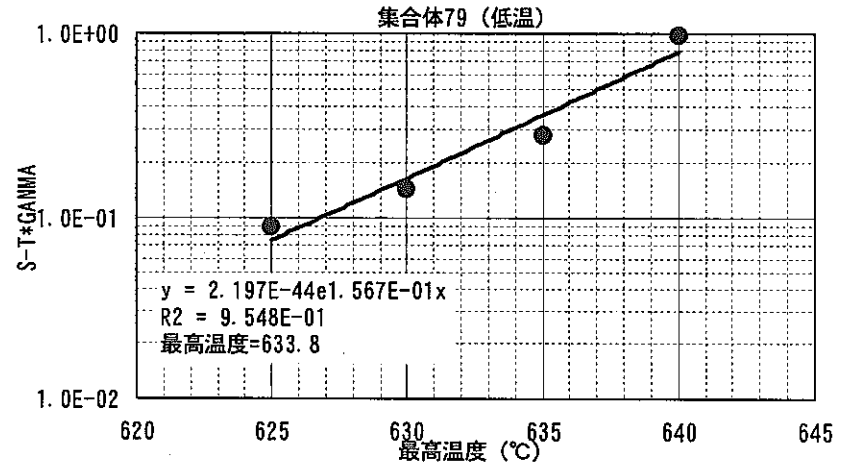
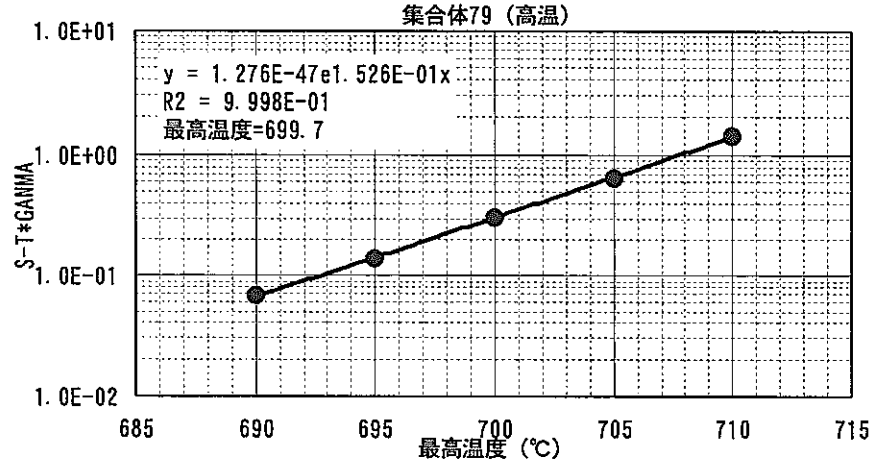
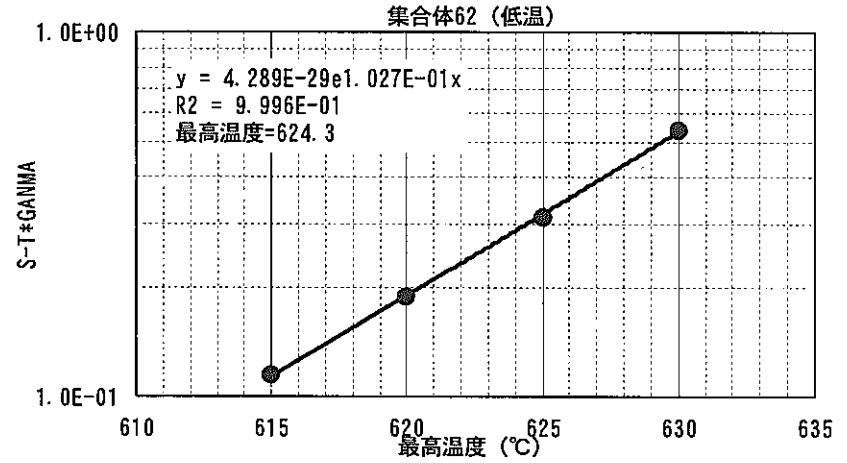
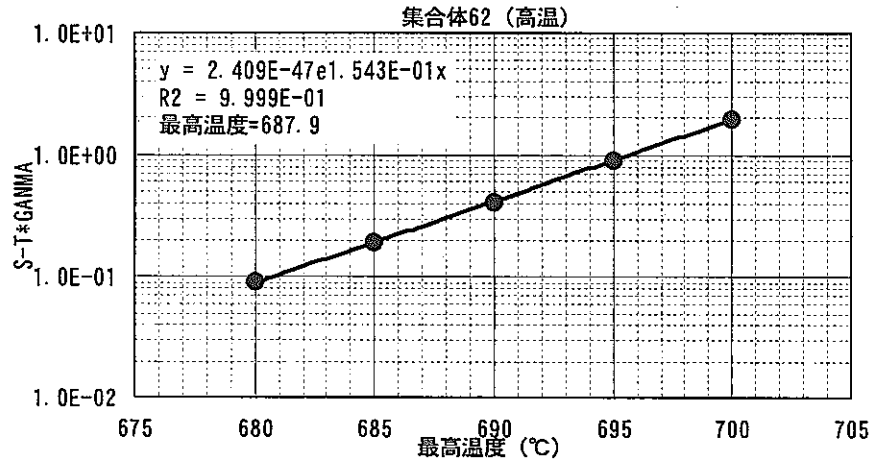


図 2.3-3 CDF-被覆管最高温度サーベイの様子(4/10)

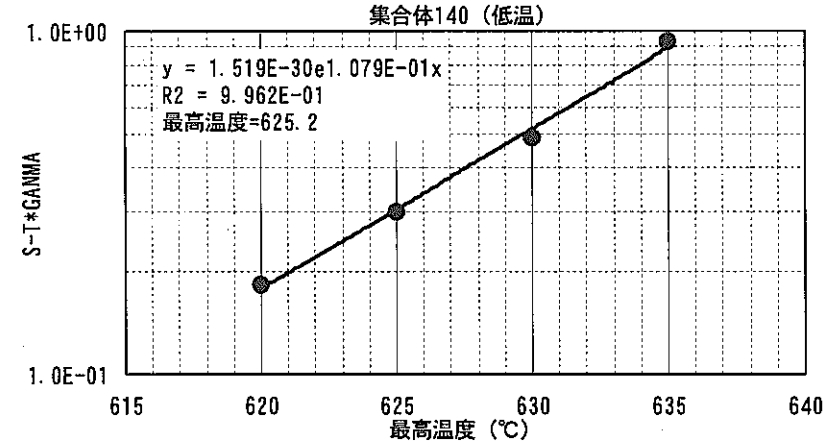
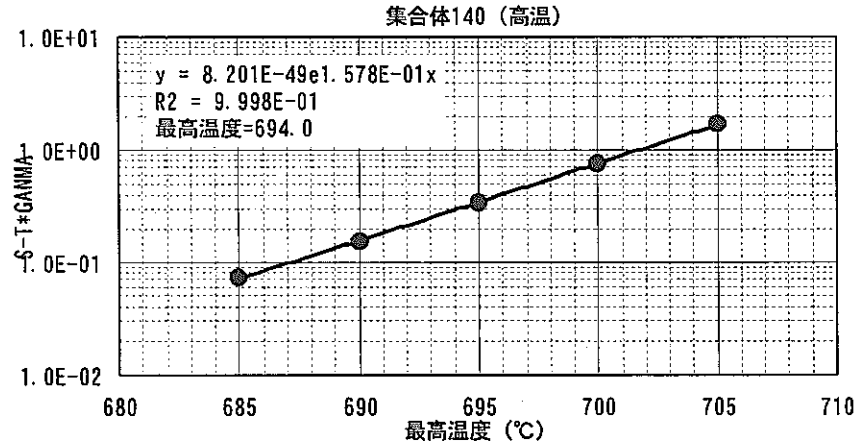
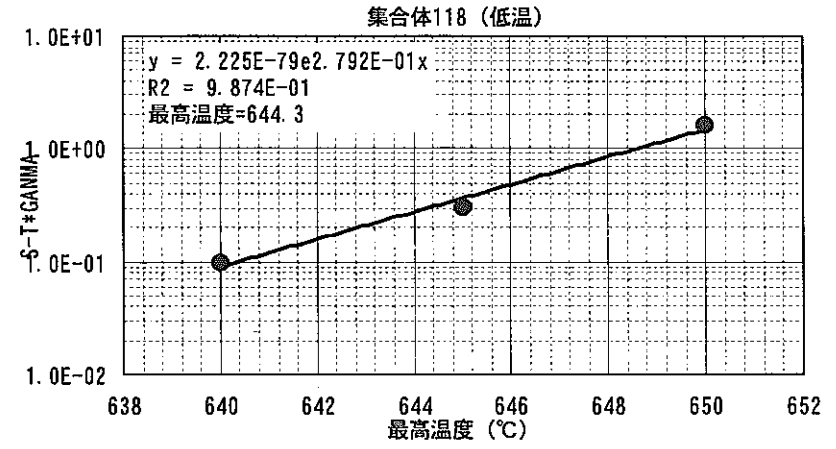
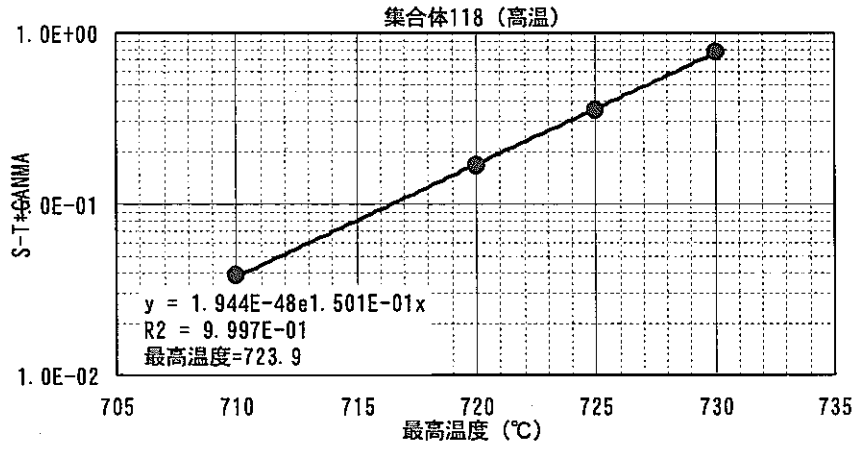


図 2.3-3 CDF-被覆管最高温度サーベイの様子(5/10)

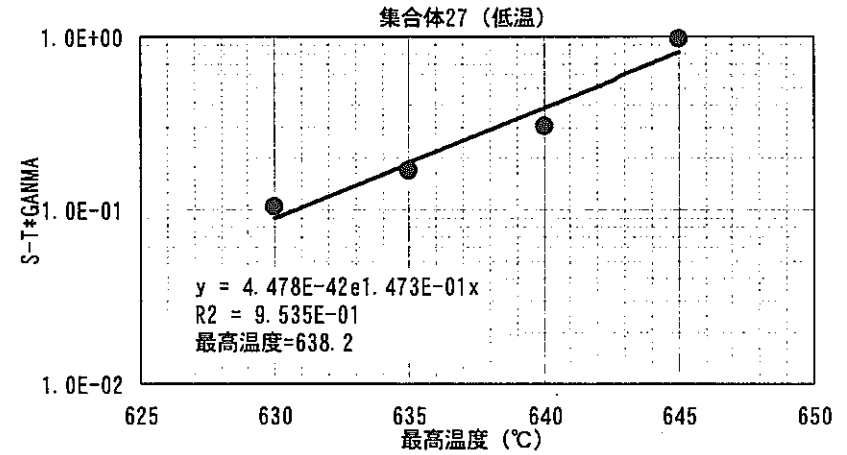
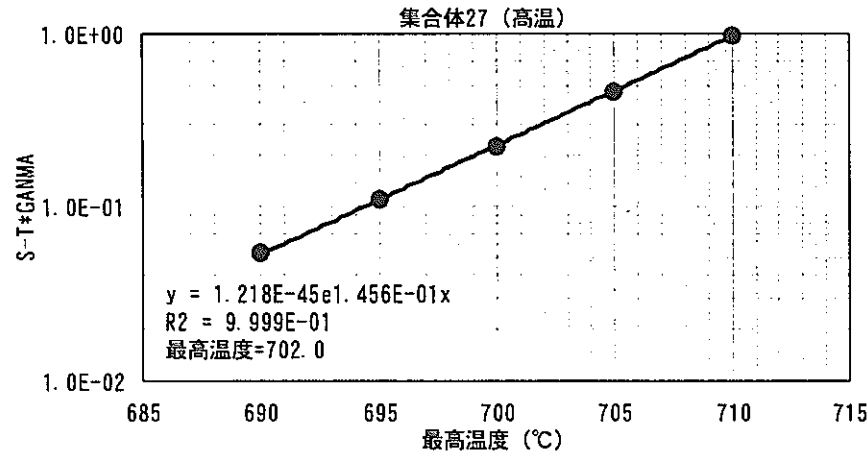
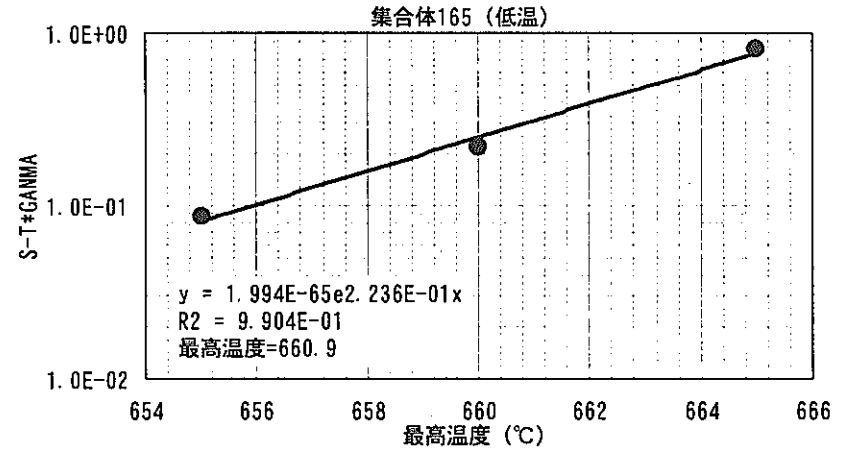
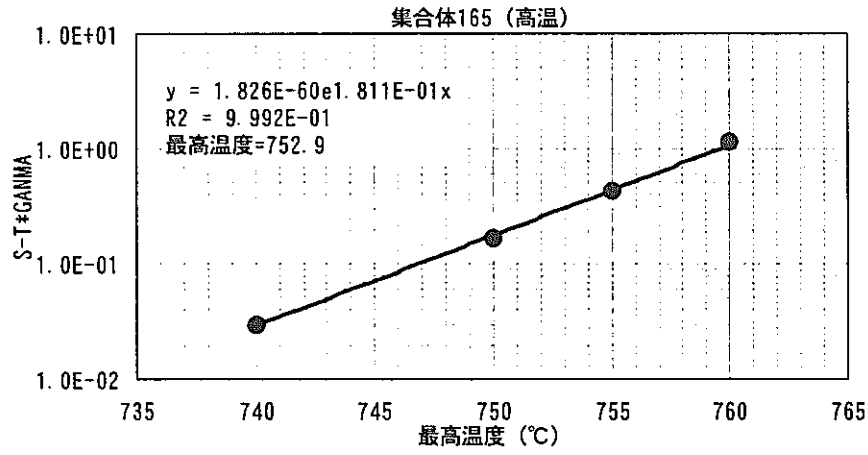


図 2.3-3 CDF-被覆管最高温度サーベイの様子(6/10)

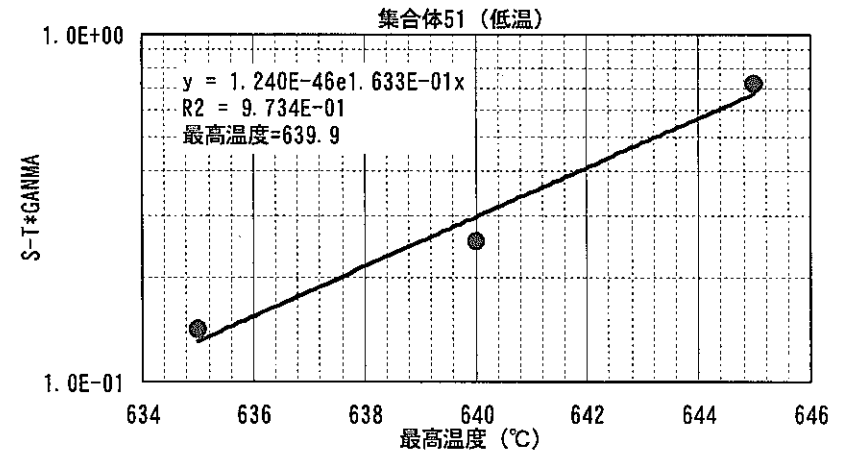
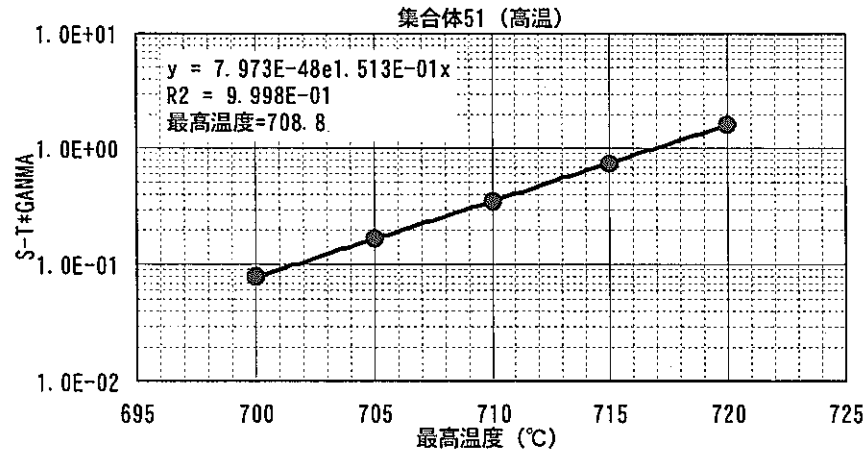
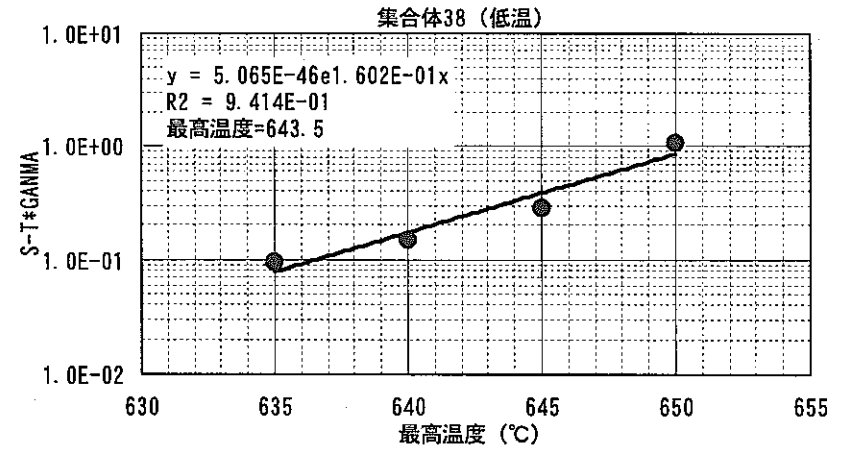
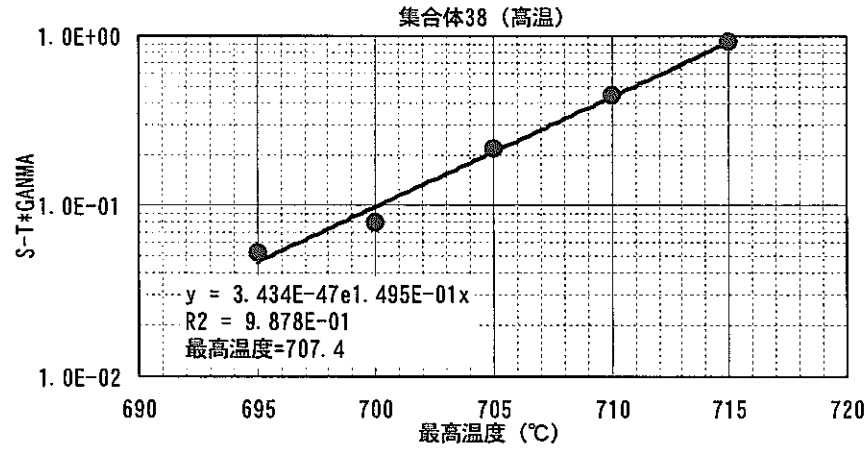


図 2.3-3 CDF-被覆管最高温度サーベイの様子(7/10)

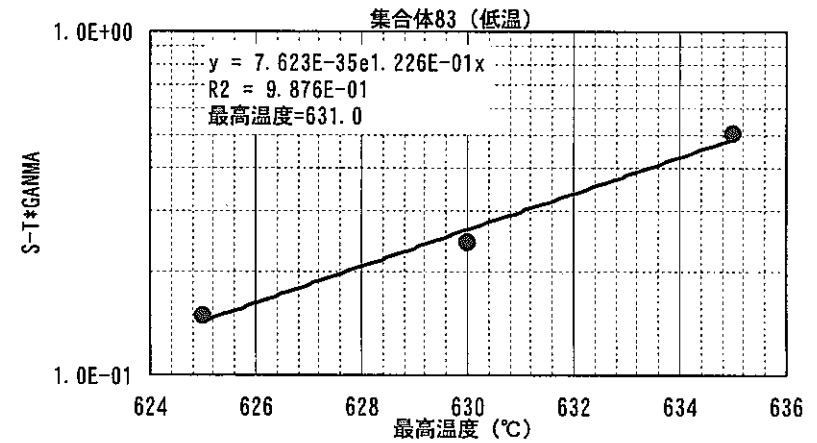
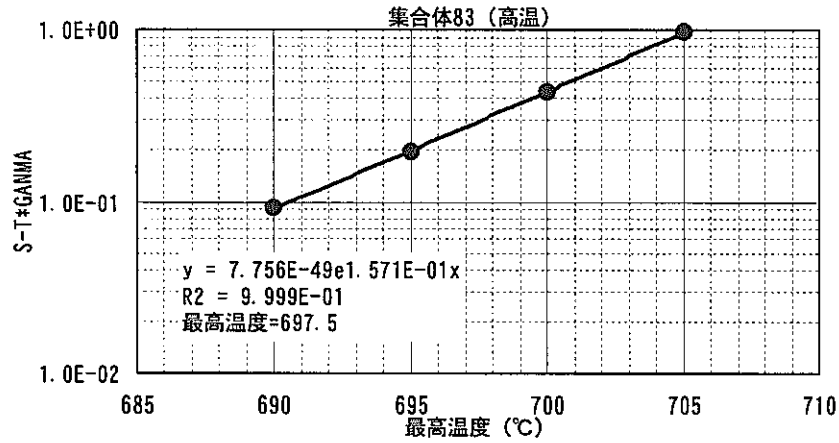
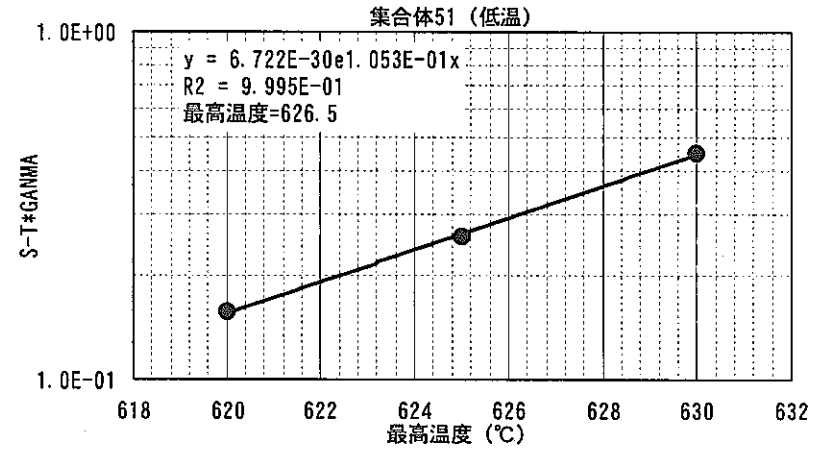
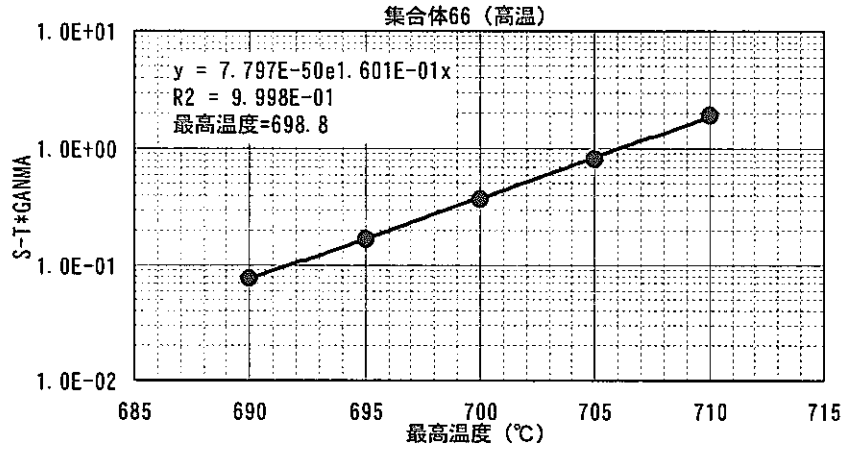


図 2.3-3 CDF-被覆管最高温度サーベイの様子(8/10)

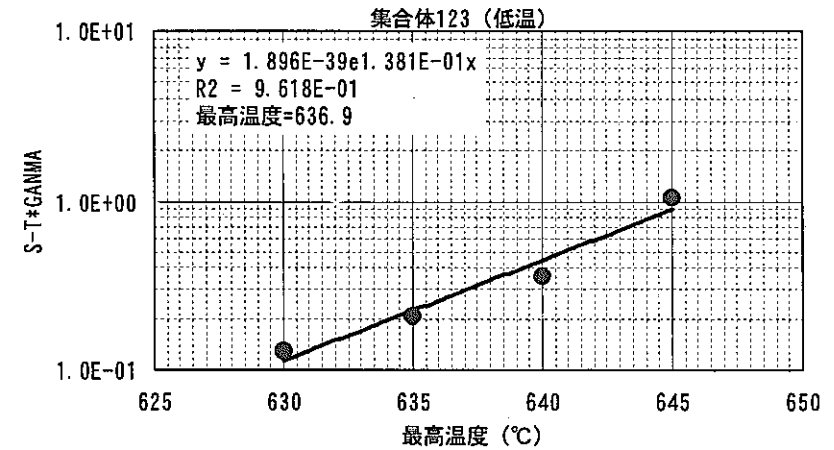
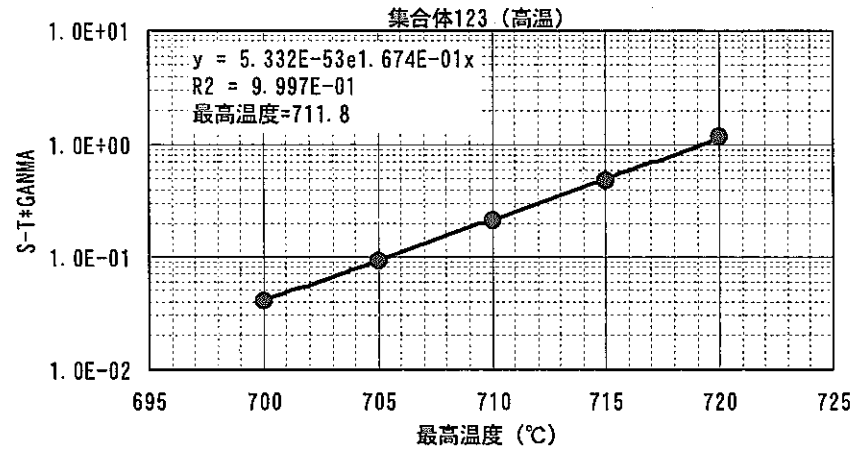
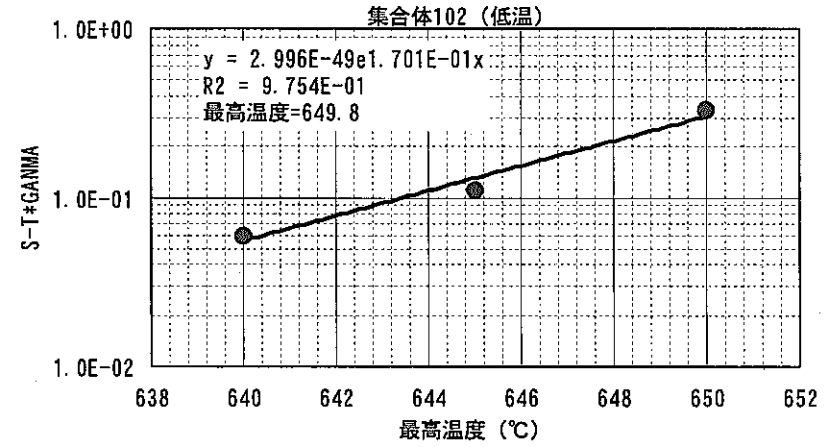
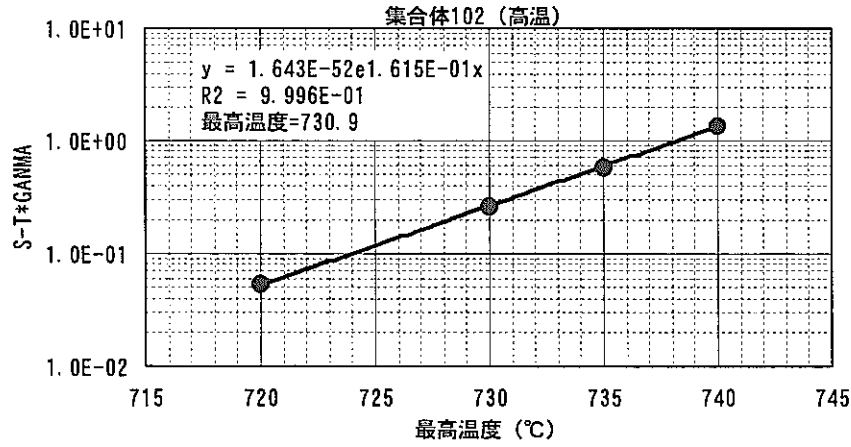


図 2.3-3 CDF-被覆管最高温度サーベイの様子(9/10)



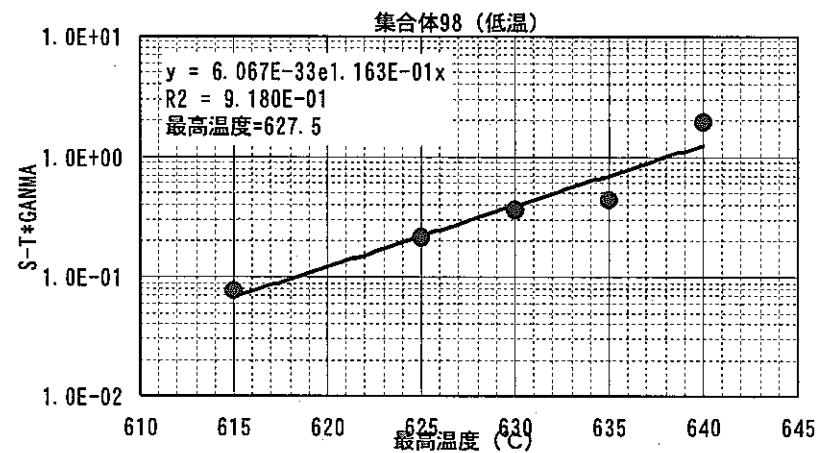
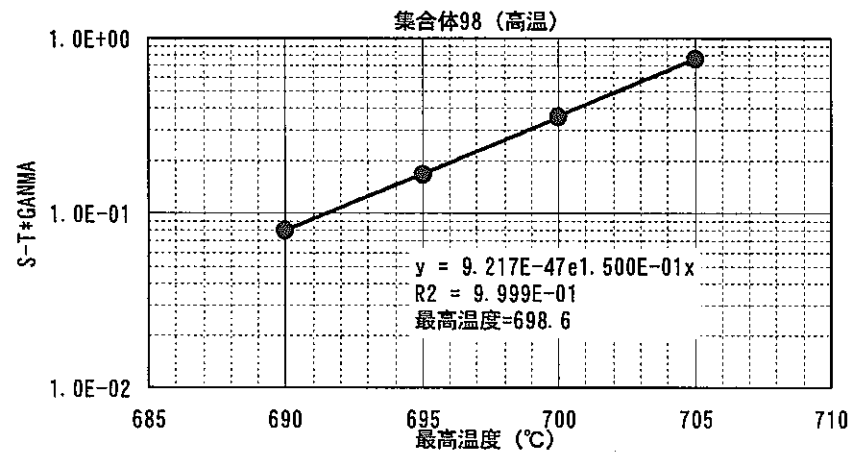
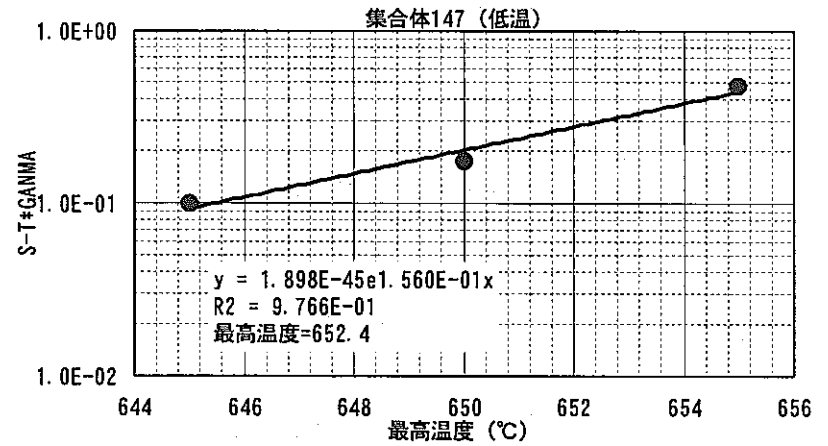
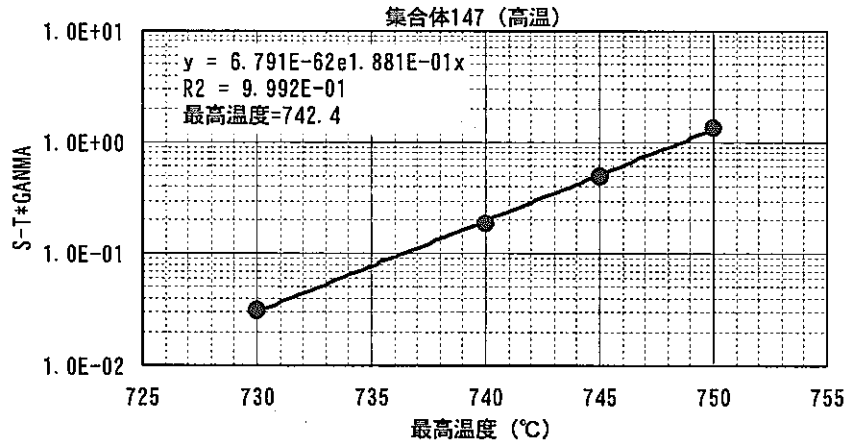


図 2.3-3 CDF-被覆管最高温度サーベイの様子(10/10)

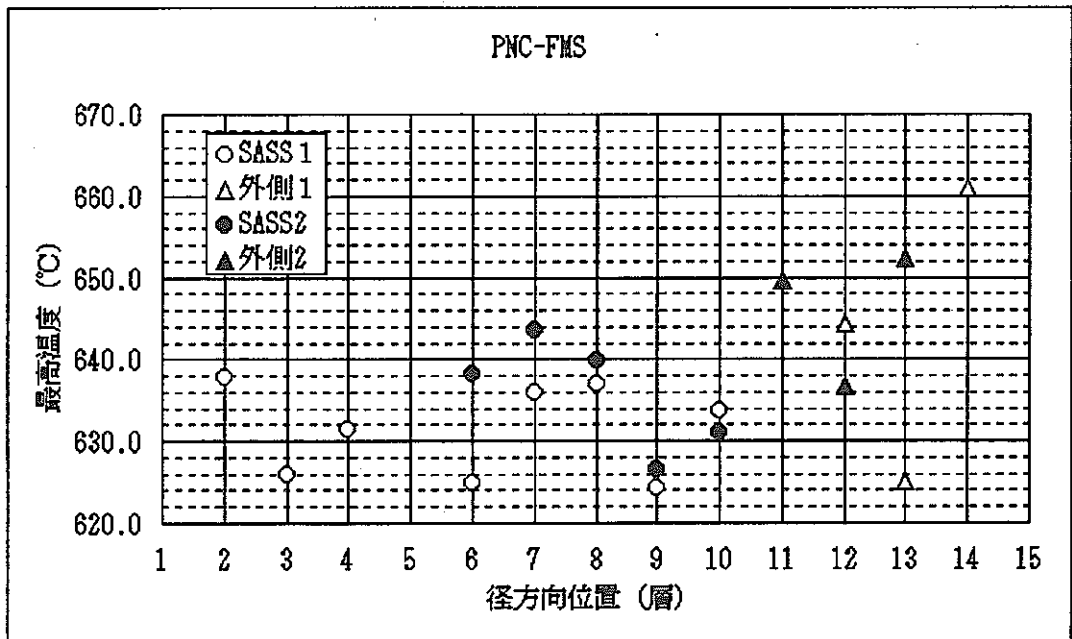
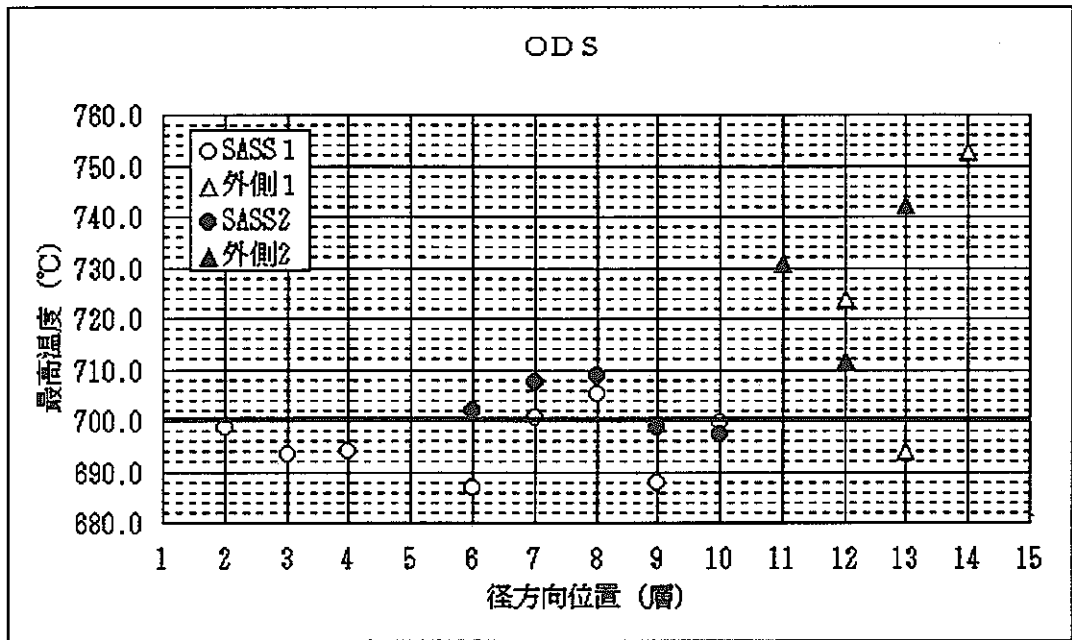


図 2.3-4 CDF ≤ 0.3 を満たす被覆管最高温度

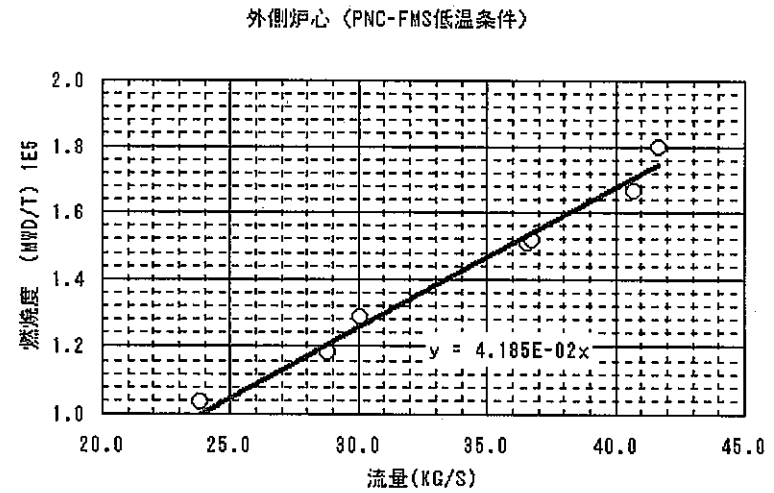
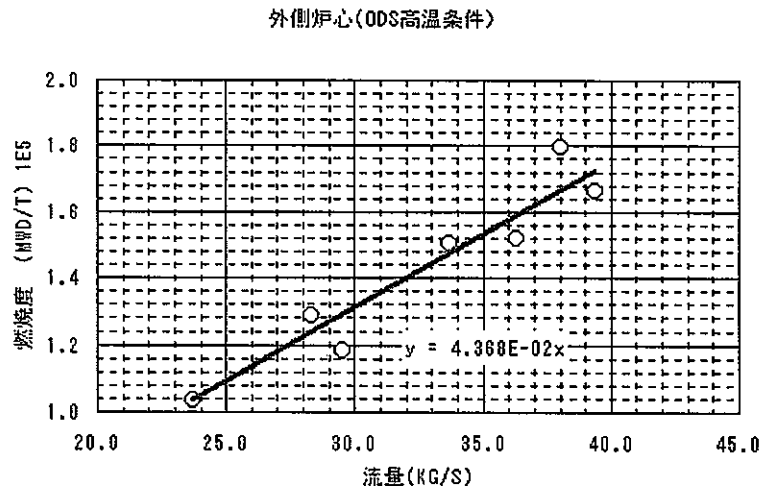
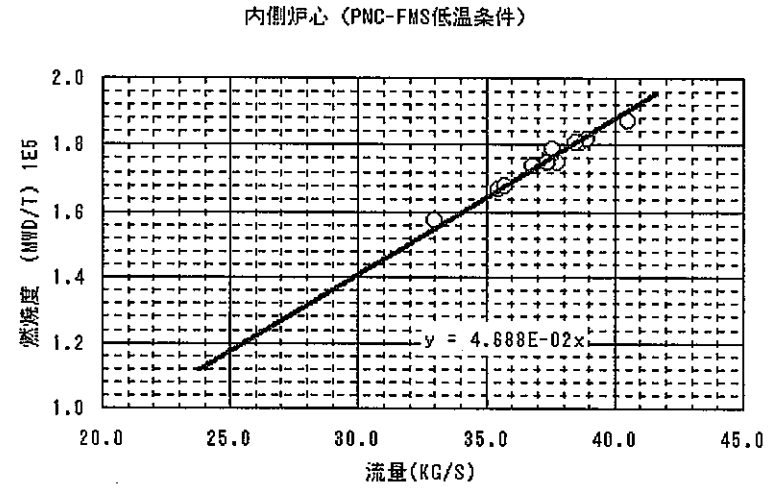
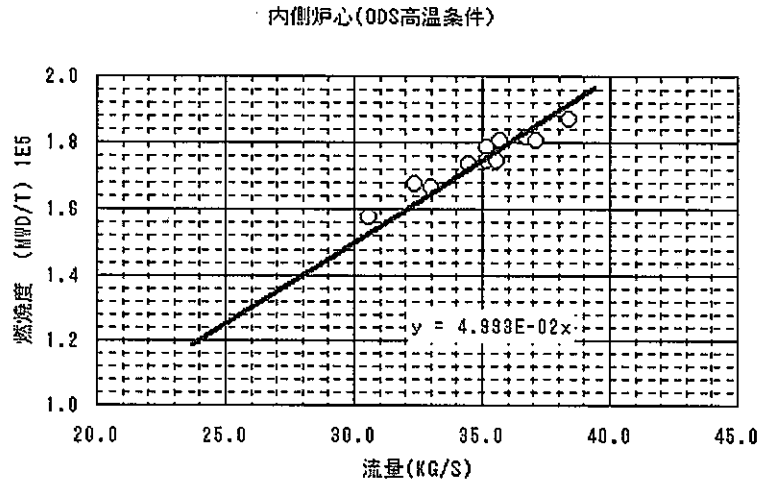


図 2.3-5 集合体必要流量と集合体取出燃焼度の関係

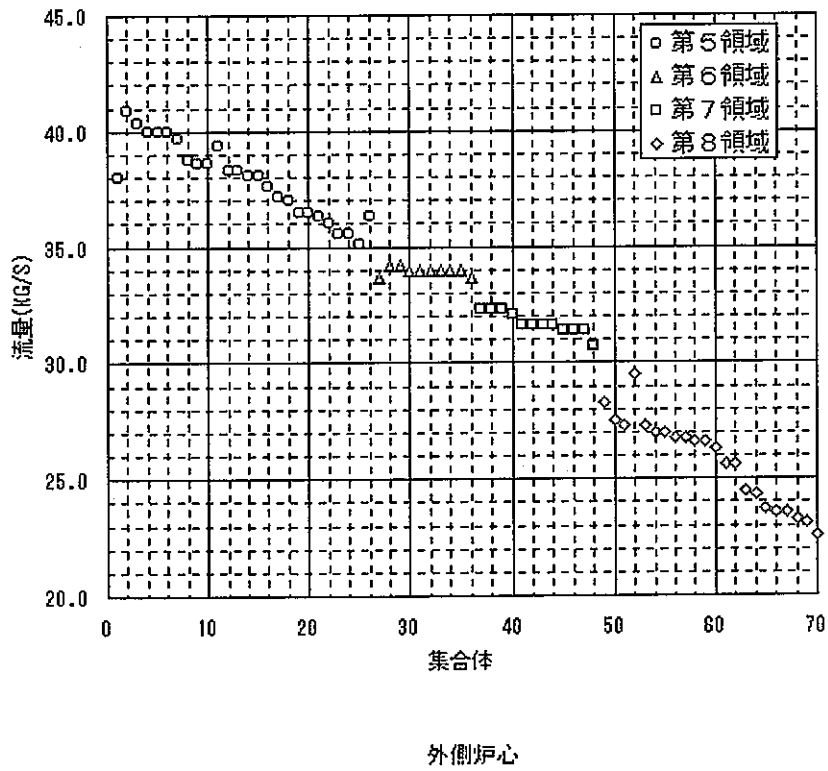
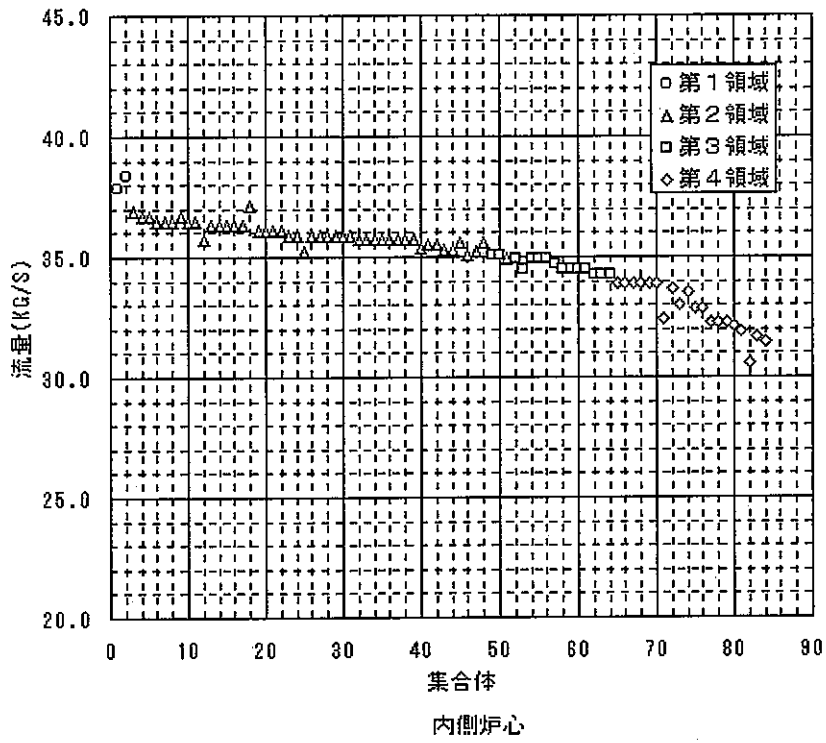


図 2.3-6 集合体必要流量 (ODS 鋼)

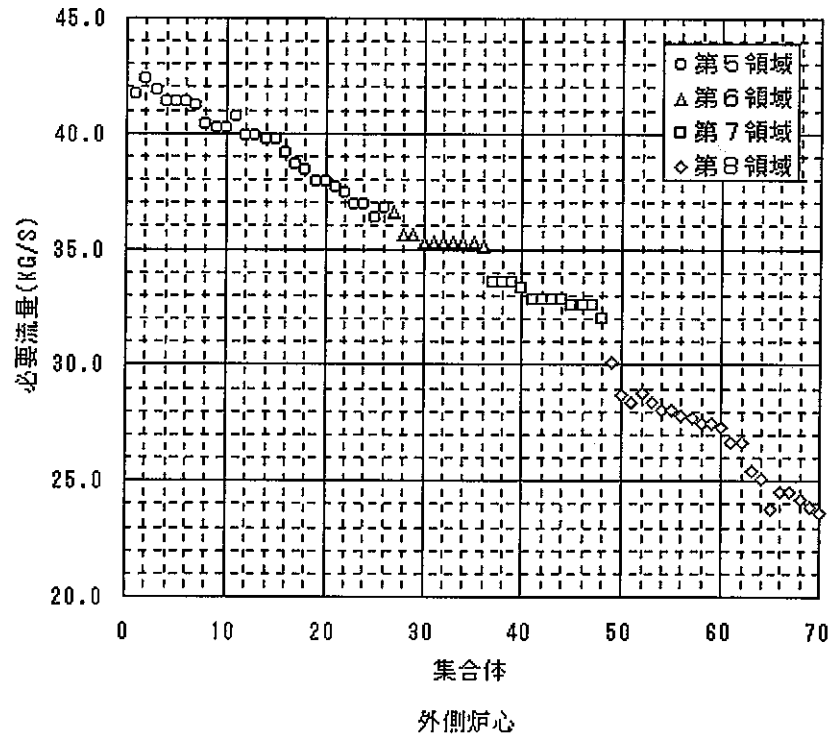
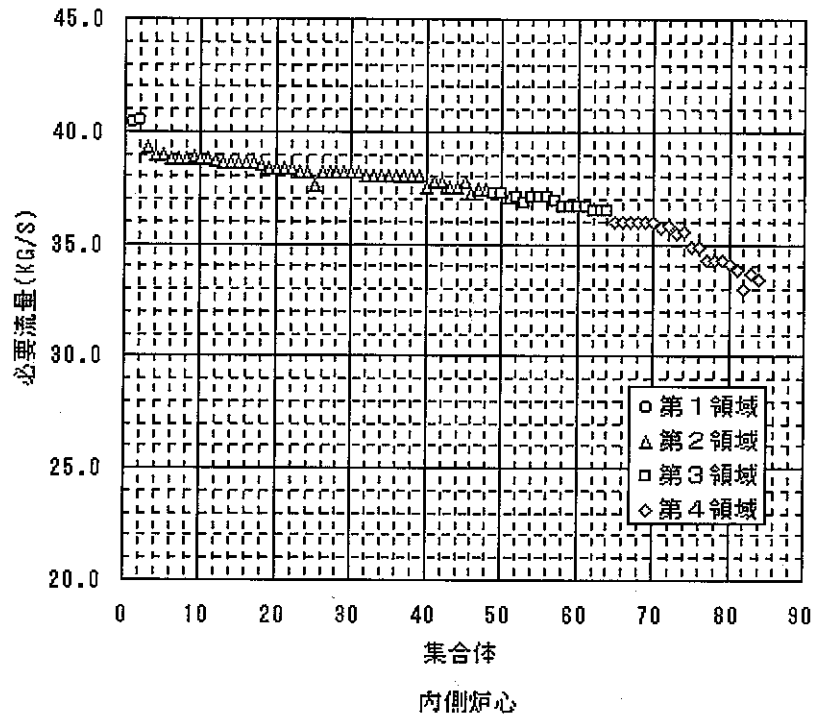


図 2.3-6 集合体必要流量 (PNC-FMS 鋼)

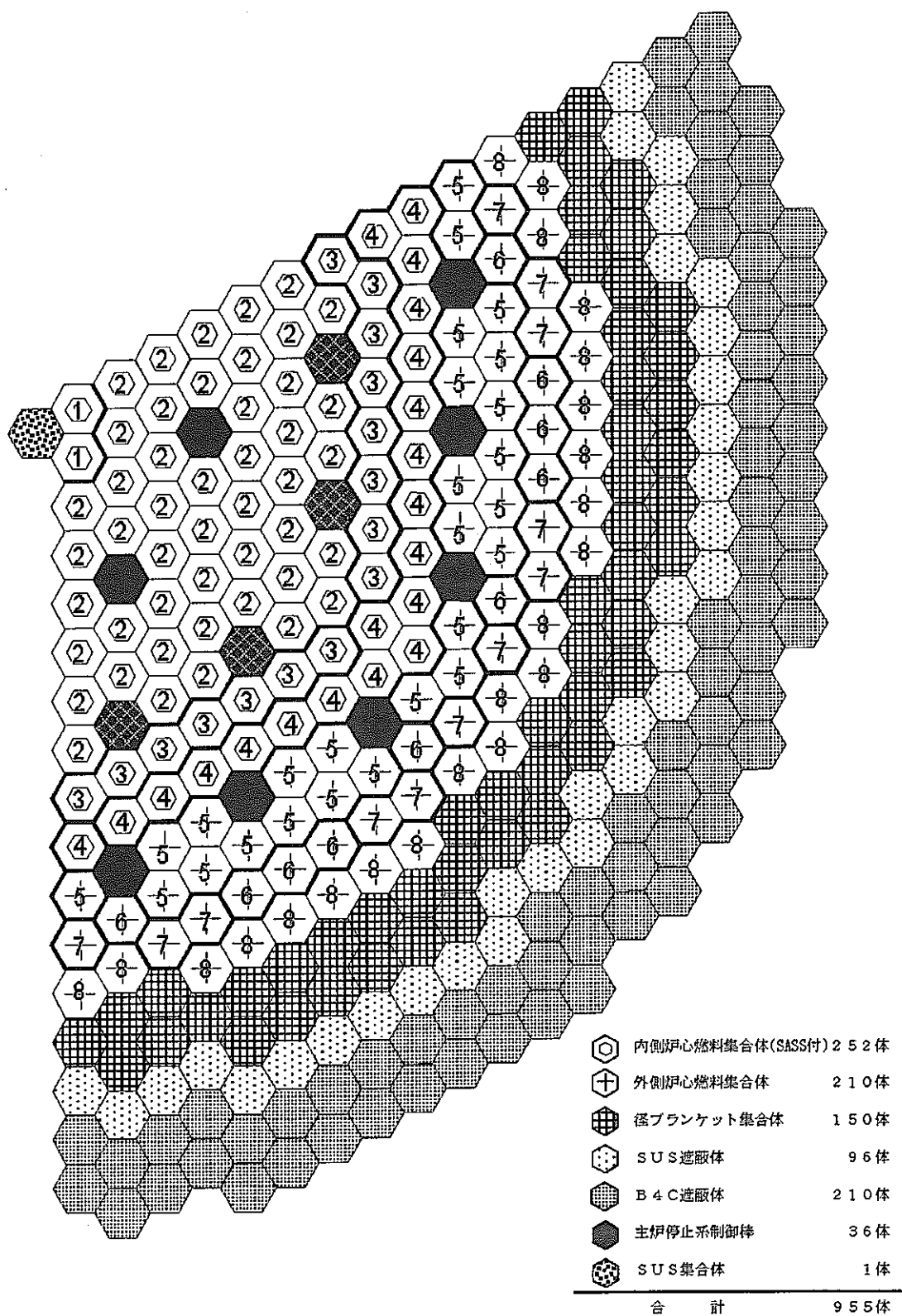


图 2.3-7 冷却材流量区分  
(内側炉心 4 領域, 外側炉心 4 領域)

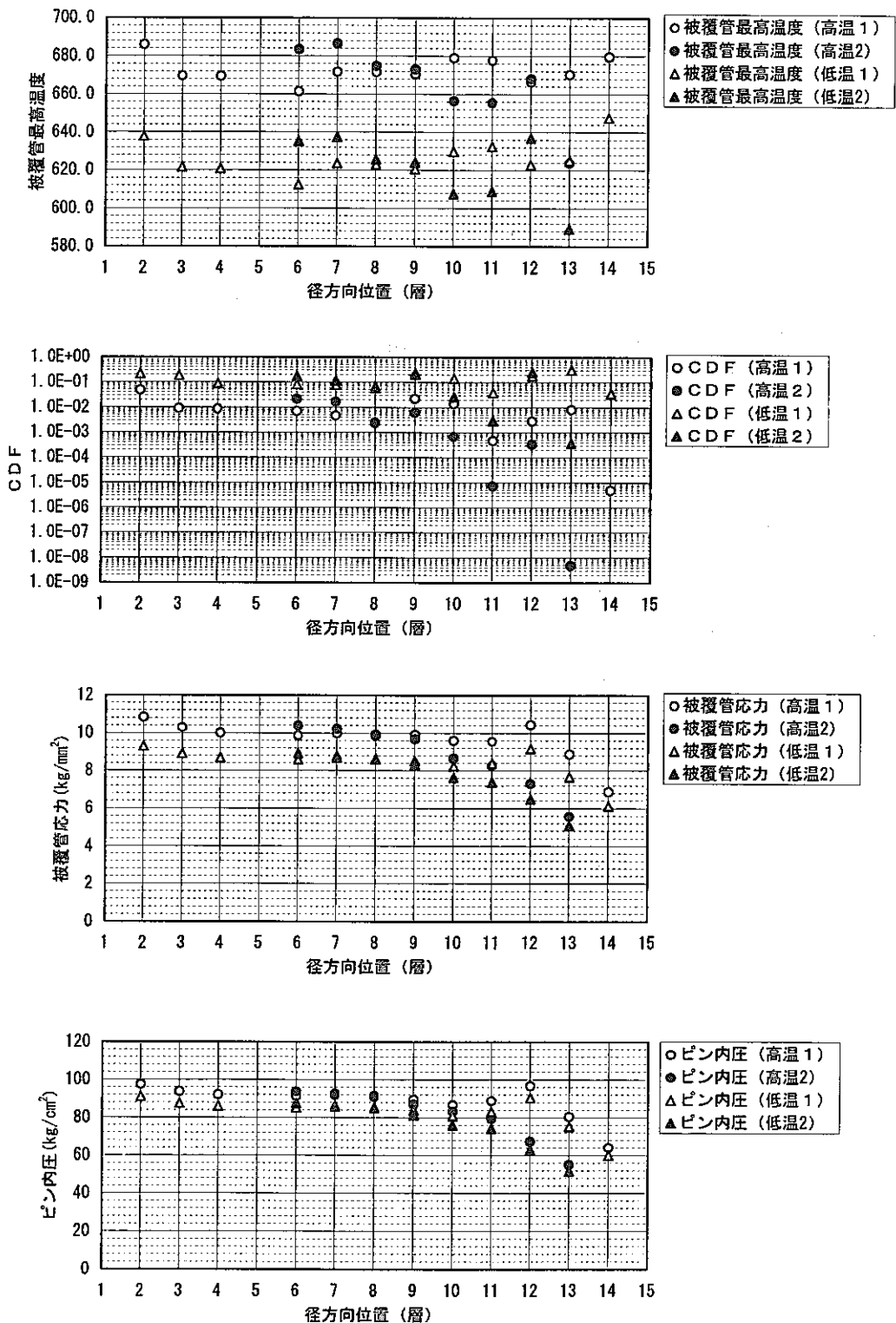
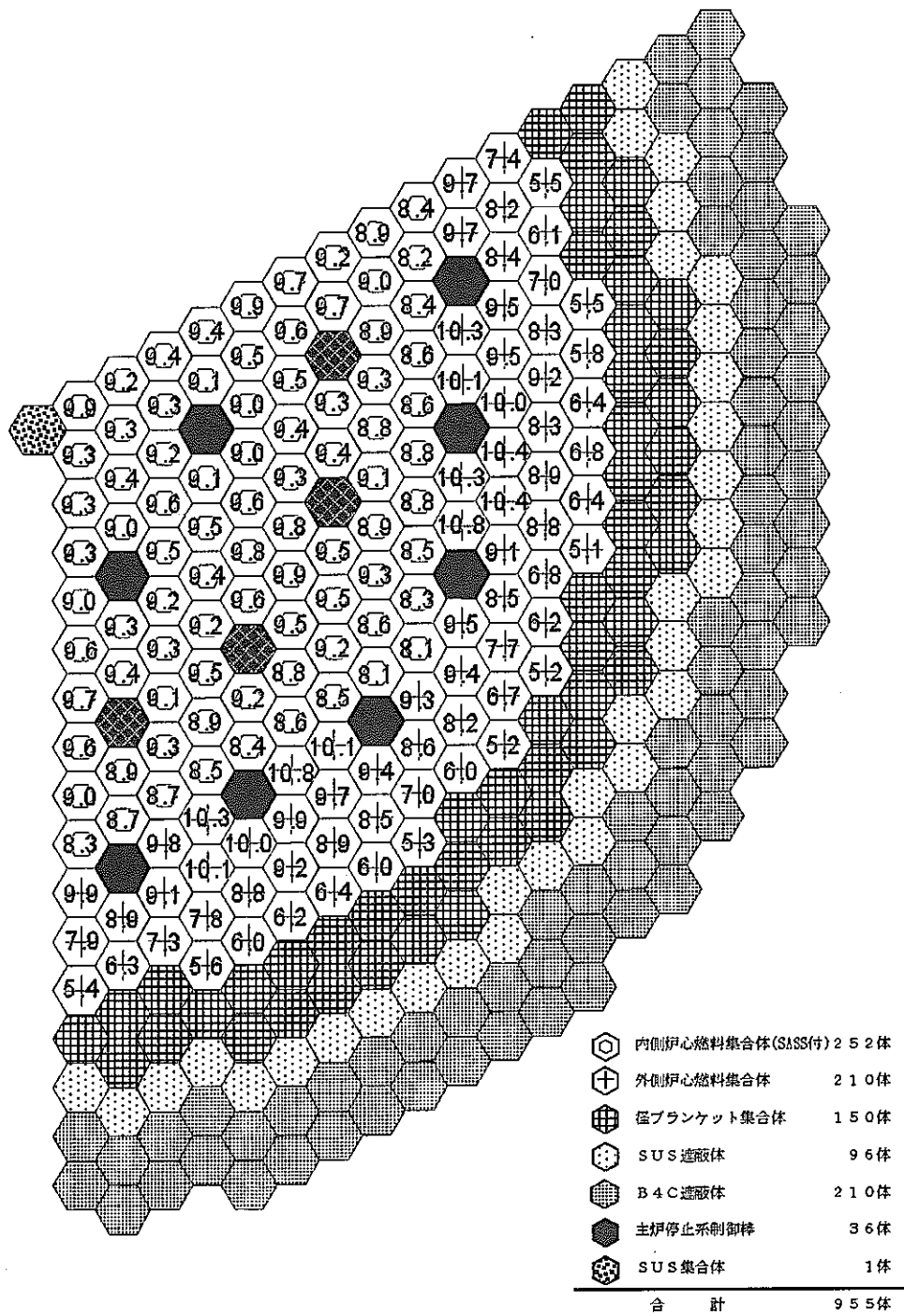


図 2.3-8 設計流量条件での被覆管最高温度/CDF/被覆管応力/ピン内圧評価結果



各集合体寿命中最大出力 (MW)

図 2.3-9 集合体出力 (最大値)



## 2.4 集合体健全性に関する評価

2.2 節に示した炉心燃料集合体を対象として、集合体ダクト膨れ量をダクト材料物性式及び肉厚をパラメータとしてサーベイし、集合体間接触（DDI）を回避する範囲でのダクト肉厚と集合体間ギャップ幅に関して評価検討した。

本検討は、ダクト型集合体のダクト肉厚と集合体間ギャップ仕様を燃料設計の観点から検討する作業の一環である。これらの仕様検討における基本的考え方として、集合体間接触（DDI）を回避する考え方と、集合体間接触を許容する考え方の二とおりがあるが、ここでは、前者の考え方による検討内容をまとめた。なお、既存設計例（常陽、もんじゅ、原電実証炉）は全て前者の考え方にしたがっている。なお、現段階において安全設計分野より、CDA 時の内部ダクトによる熔融燃料排出経路確保条件として外側ダクト肉厚が 5mm 程度以上必要であると提案されているため、仕様検討においてはこの点に関しても配慮した。

### (1) 評価手法及び条件

SPECTACLE コードを用いて、Norvendstern モデルによりバンドル圧損を計算し、ダクト内外圧力差の軸方向分布を整理した。更にこのダクト内外圧力差軸方向分布と、従来設計経験に基づくフラックス分布及びダクト温度分布にて、ダクト膨れ量を計算した。核設計データ、及び熱設計データとして表 2.4-1 に示す値を用いた。また、設計上考慮すべき不確かさ幅をとって、以下をパラメータとして計算した。

- ① 圧力分布不確かさ幅： 集合体流量配分誤差 5%+圧損計算モデル誤差 2.5%とし、冷却材流量を設計流量から 6.3%増大させることにより考慮。
- ② ラッパ管製作公差： 従来設計例に基づき設定。（表 2.4-1 参照）

ここで、集合体流量配分誤差は原電実証炉被覆管温度評価用工学的安全係数に計上されている流配誤差 5%を用いた。ダクト材料変形関係式をパラメータとし、本炉心でダクト材料として想定している PNC-FMS に加えて、海外材料の特性を調査／検討するために、HT9 及び PE16 も対象とした。対象としたダクト材を以下に示す。

- ① PNC-FMS（上限式）<sup>[1]</sup>
  - ② PNC-FMS 合理化式（上限式相当式、添付資料 2 参照）
  - ③ HT9（暫定上限式、添付資料 2 参照）
  - ④ PE16（ノミナル相当式、添付資料 2 参照）
- } 参考評価ケース

①は PNC-FMS の現状での上限式である。②は、PNC-FMS の設計にて用いるべき上限式が、今後のスエリング及び照射クリープ取得データの拡充等に

より、現状での上限式よりも合理化された場合を想定し、本検討用に新たに暫定したものである。また、③の HT9 についても、FFTF 高照射 HT9 集合体 ACO3 の変形データに基づいてノミナル相当式から上限相当式を推定し、本検討用に新たに設定した。④の PE16 は、英国より入手した照射物性式を用いた。本式については、従来の PE16 高照射燃料ピンの変形解析結果より PE16 上限式というよりは PE16 ノミナル相当式と判断すべきと考えている。なお、PNC-FMS 合理化式、HT9 暫定上限式及び PE16 ノミナル相当式について添付資料 2 を参照されたい。

## (2) 評価結果

図 2.4-1 に、ダクト肉厚をパラメータとした場合の「ダクト肉厚とダクト対面膨れ量の和」の関係を示す。縦軸は、「集合体配列ピッチに占めるダクト肉厚  $2t$  とダクト対面膨れ量  $2\delta$  の和」であり、これら各項はいずれも燃料体積比を減らす因子である。したがって、内部転換比：大や燃焼欠損反応度：小等の炉心特性向上の観点からは、図 2.4-1 の曲線の極小値近傍が最適肉厚となるため、設計においては本極小近傍値を採用することが好ましい。

図 2.4-2 に各解析ケースのダクト膨れ量評価結果を PNC-FMS、HT9 及び PE16 について成分内訳も併せて示す。PNC-FMS に関しては、本研究のフェーズより将来の合理化が図られた場合として PNC-FMS 合理化式に着目した。ダクト膨れが極小となるダクト肉厚領域（約 5mm）では、ダクト膨れ量  $2\delta$  は、HT9 が最も大きく、PNC-FMS 合理化式と PE16 ノミナル相当式とは同程度の膨れ量となった。

また、図 2.4-3 には、解析に用いたダクト温度軸方向分布とダクト内外圧差軸方向分布、及びダクト対面間膨れ量軸方向分布の解析例を示す。これらの解析にて用いたバンドル圧損は、ノミナル条件にて  $2.9\text{kgf/cm}^2$ 、圧損+ダクト製作公差不確かさ幅考慮条件にて  $3.1\text{kgf/cm}^2$  である。

以下に示す考察は、図 2.4-1 の評価結果のうち、ダクト内外圧力差分布とダクト寸法製作公差について不確かさ幅を考慮した計算結果に基づいた。なお、図 2.4-1 では、ダクト膨れ量  $2\delta$  のみを表示しているが、従来設計研究の考え方に基づけば、これに以下を加えた値を必要集合体ギャップ幅とすることになる。

- ダクト膨れ量以外に必要集合体ギャップ幅に加えるべき因子とその値：  
「ダクト径方向熱膨張量+集合体湾曲相対変位量」=約 2mm.

以下では、本対象炉心にてダクト材として想定している PNC-FMS の場合について詳細に記す。

## ① PNC-FMS（現状上限式）の場合

現状の PNC-FMS（現状での上限式）の場合、図 2.4-1 よりダクト肉厚 5.5mm の時に「集合体配列ピッチに占めるダクト肉厚+ダクト対面膨れ量」は極小となり、この時必要集合体間ギャップ幅は 8mm（ダクト膨れ量  $2\delta$  : 6mm+熱膨張・集合体変位量分 2mm）となる。したがって、ダクト肉厚及び集合体間ギャップ幅として以下を設定した。

- 設定結果（PNC-FMS 現状上限式）：ダクト肉厚 5.5mm、集合体間ギャップ幅 8mm

## ② PNC-FMS 上限式の合理化が図られた場合

今後、照射物性データの取得等により PNC-FMS 式が合理化された場合を想定すると、ダクト肉厚 5mm にて「集合体配列ピッチに占めるダクト肉厚+ダクト対面膨れ量」は極小となり、この時必要集合体間ギャップ幅は 6mm（ダクト膨れ量 4mm+熱膨張・集合体変位量分 2mm）となる。したがって、本式に基づいた場合、ダクト肉厚及び集合体間ギャップ幅として以下を設定した。

- 設定結果（PNC-FMS 合理化式）：ダクト肉厚 5.0mm、集合体間ギャップ幅 6mm

なお、設計の考え方の合理化の 1 つとして、隣接集合体間の装荷期間の差に関して記す。ダクト対面膨れ量を必要集合体間ギャップ幅にそのまま計上することは、隣接する集合体同士がいずれも寿命末期でありダクト膨れ量が最大に達していることとなる。ここで、分散バッチ燃料交換方式であることより、寿命末期集合体の隣接 6 体については未だ寿命途上であることを考慮すると、5 バッチ燃料交換の場合は、隣接集合体のうち最大寿命集合体は 4 サイクル装荷であり、また、フェライト鋼の場合は膨張量（スエリング、照射クリープ）はほぼ装荷時間に比例するので、集合体間接触を避けるためには「 $\delta+4/5\delta$ 」のダクト対面膨れ量を考慮すればよいこととなる。したがって、以下のとおりギャップ幅は 7%程度低減できることになる。

- 集合体装荷期間を考慮した場合のギャップ幅

（PNC-FMS 合理化式、 $2\delta = 4\text{mm}$ ）：

$$\delta + 4/5\delta + 2\text{mm}(\text{熱膨張} + \text{集合体湾曲変位分}) = 2 + 1.6 + 2\text{mm} = 5.6\text{mm}$$

## (3) 集合体健全性評価のまとめ

上記設定値を、既存設計例と併せて表 2.4-2 に示す。

本炉心にて「炉心特性の向上」に着目し、従来の DDI 発生を防止する考え

方にてダクト肉厚及び集合体間ギャップ幅を設定した場合、ダクト材（PNC-FMS）照射物性式（上限式）の今後の合理化を期待した場合、ダクト肉厚 5mm、集合体間ギャップ幅 6mm が妥当な仕様となった。また、本ダクト肉厚は現段階にて安全側より提案されている条件「ダクト肉厚は 5mm 程度以上」を満たしている。なお、本仕様は原電実証炉や常陽等の既存設計例と同程度の寸法比率とである。

燃料設計側では、今後、集合体接触を許容する考え方を採用する場合について検討していく予定である。

表 2.4-1 集合体ダクト膨れ量評価用核熱データ入力条件

項目	大型酸化物燃料・ナトリウム 長期運転サイクル炉心	備考
●核熱特性関連 集合体流量 (kg/s)	46.9 <sup>(*)1</sup>	
被覆管最高温度 (°C)	638	
ダクト外温度	大型炉代表的設計例	被覆管温度×0.72
ダクト外温度軸方向分布	大型炉代表的設計例	
高速ビークアルエンス (n/cm <sup>2</sup> )	4.86×10 <sup>23</sup>	≥0.1MeV.
フラックス軸方向分布	大型炉代表的設計例	
運転サイクル長さ (day)	540	
バッチ数	5	
出入口温度 (°C)	505/350	被覆管材：PNC-FMS 想定
●SA/ピン寸法仕様 ピン径 (mm)	9.7	
ピン本数/SA (本)	271 <sup>(*)1</sup>	
ワイヤ径 (mm)	1.4	
ワイヤ巻付ピッチ (mm)	150	
ダクト内対面距離 (mm)	186.4	
ダクト肉厚 (mm)	3.0	
集合体配列ピッチ (mm)	195.4	
集合体間ギャップ (mm)	3.0	
炉心有効長 (cm)	120	
ピン全長 (cm)	297.5	
●不確かさ幅パラメータ 1) 圧力分布予測不確かさ 幅考慮用の冷却材流量 (kg/s)	49.85	
2) ダクト寸法製作公差 <sup>(*)2</sup> 肉厚 内対面距離	2.81 (-0.19) @ダクト肉厚 3mm 186.7 (+0.3) @全ケース	常陽、実証炉設計例に基づき設定。 <sup>(*)3</sup> ・公差/ダクト肉厚比 0.0641 とし、肉厚に比例させて設定。 ・内対面距離 186.4mm に対し+0.3mm として設定。

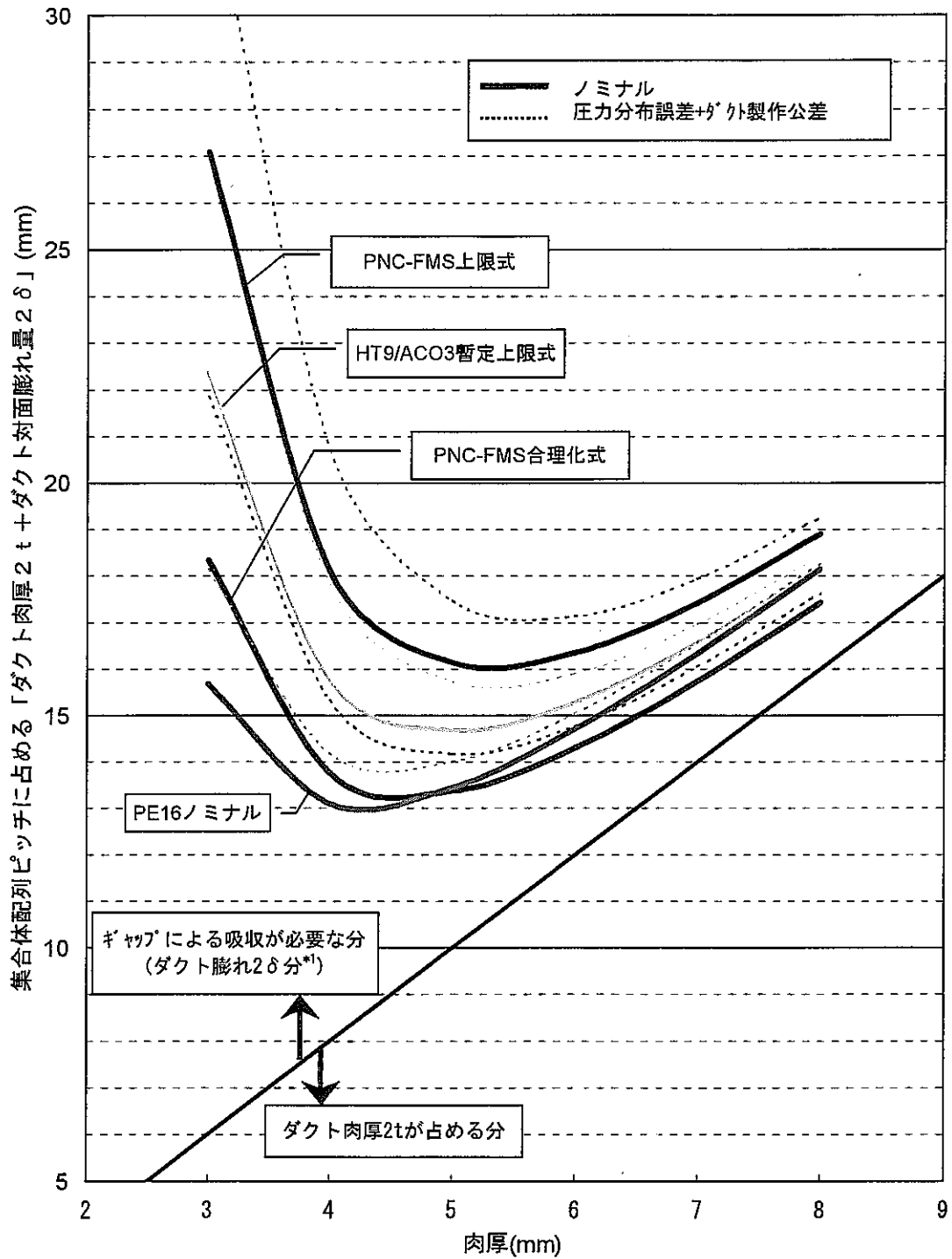
<sup>(\*)1</sup> 内部ダクト付き集合体の圧損・外側ダクト膨れ量評価モデルとして、内部ダクト部に燃料ピンが存在するとした場合の値を表記。具体的にはピン本数を 234 から 271 と増し、このピン本数増加割合に比例させて冷却材流量を増加させた。

<sup>(\*)2</sup> 肉厚最小、ダクト対面距離最大の組み合わせが応力/歪特性上はダクト膨れを最大に見積もることになる。ただし、本検討では流量固定入力としたため、本ケースでは流路面積が大きくなった分だけ圧損（ダクト内外圧力差）を若干小さめに見積もることになる。

<sup>(\*)3</sup> ・肉厚 実証炉 3.9±0.25mm (0.25/3.9=0.0641) 肉厚/ダクト内対面距離 = 0.0270  
常陽 1.9±0.13mm (0.13/1.9=0.0684) 肉厚/ダクト内対面 = 0.0254  
ダクト内対面距離 実証炉 144.5±0.25mm  
常陽 74.7±0.40mm

表 2.4-2 ダクト寸法に関する集合体仕様設計値

炉心	ダクト 内対面距離	ダクト肉厚  ダクト肉厚/ 内対面距離	集合体間ギャップ幅  ギャップ幅/ ダクト外対面距離	集合体配列ピッチに 占めるダクト肉厚と 集合体間ギャップ幅 (2t+ギャップ幅)  (2t+ギャップ幅)/ 集合体配列ピッチ	備考 (ダクト材料)
本対象炉心 (PNC-FMS ダクト)	186.4mm	5.5mm 0.030	8mm 0.041	19mm 0.0972	PNC-FMS 現状式
本対象炉心炉心 (PNC-FMS ダクト)	186.4mm	5.0mm 0.027	6mm 0.031	16mm 0.0819	PNC-FMS 合理化式
FAIDUS 炉心	295mm	10mm 0.034	9mm 0.029	29mm 0.0895	—
JAPC 実証炉	144.5mm	3.9mm 0.027	5.8mm 0.038	13.6mm 0.0860	PNC1520
もんじゅ	104.6mm	3.0mm 0.029	5.0mm 0.045	11.0mm 0.0952	SUS316 相当
常陽	74.7mm	1.9mm 0.025	3.0mm 0.038	6.8mm 0.0834	SUS316



<sup>(\*)</sup>2δ以外に「ギャップ」による吸収が必要な量として「ダクトと炉心支持板の熱膨張量差、および集合体湾曲変位量」約2mmがある。

図 2.4-1 ダクト肉厚と必要「ダクト肉厚+集合体間ギャップ幅」の関係  
(大型酸化物燃料・ナトリウム・長期運転サイクル炉心)

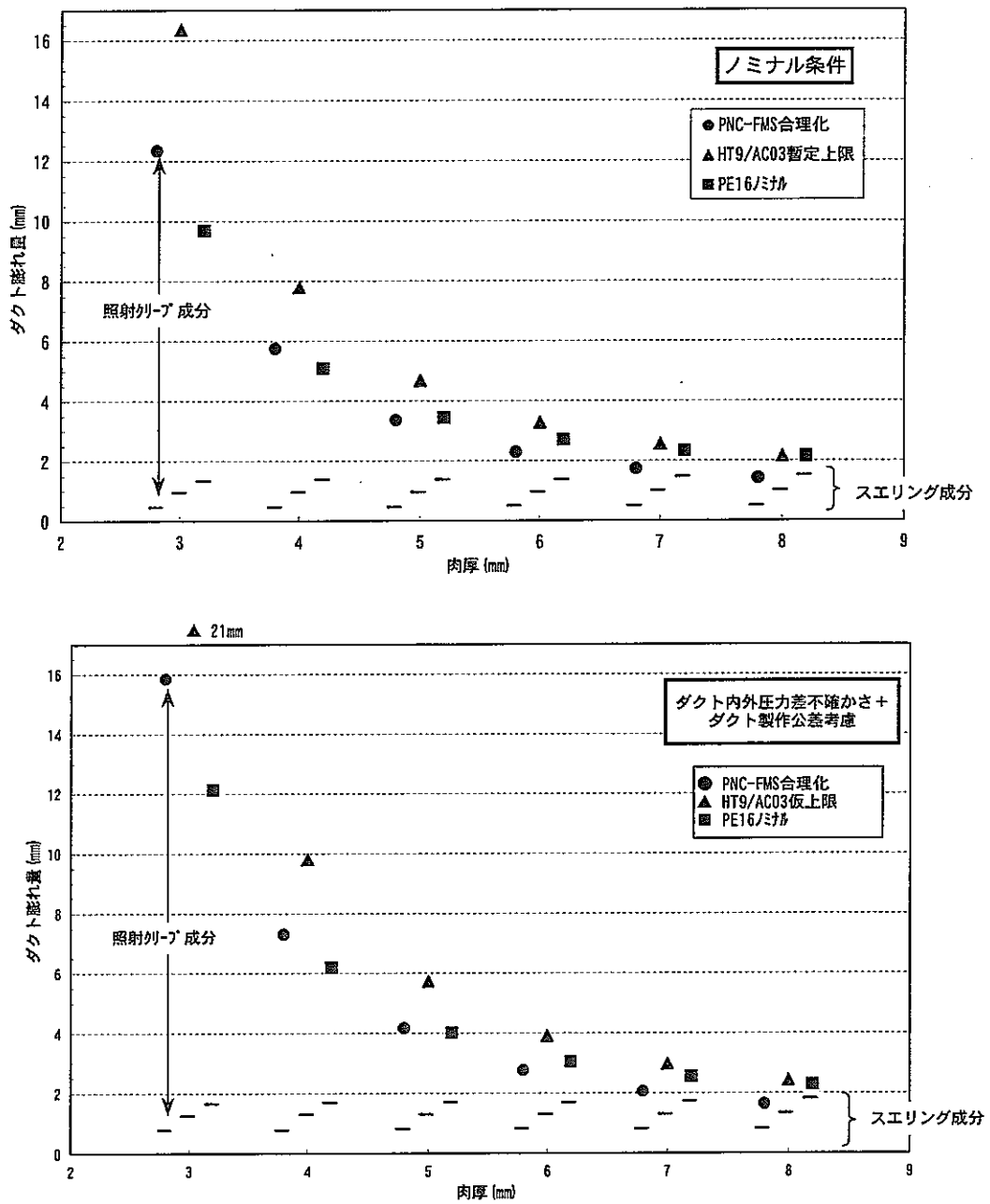


図 2.4-2 ダクト膨れ量評価結果  
(大型酸化物燃料・ナトリウム・長期運転サイクル炉心)



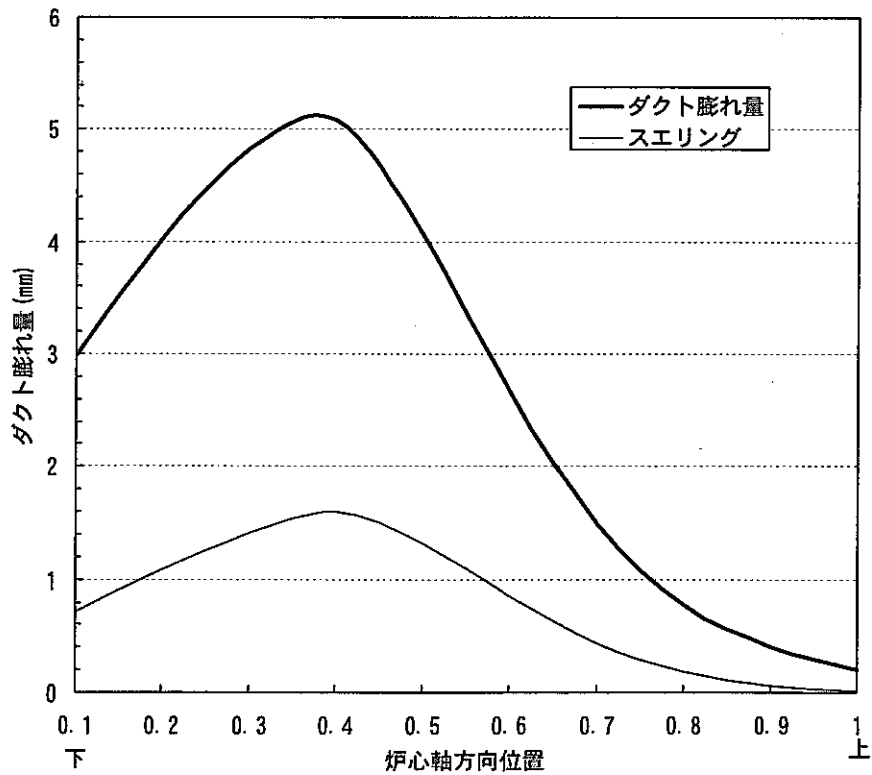
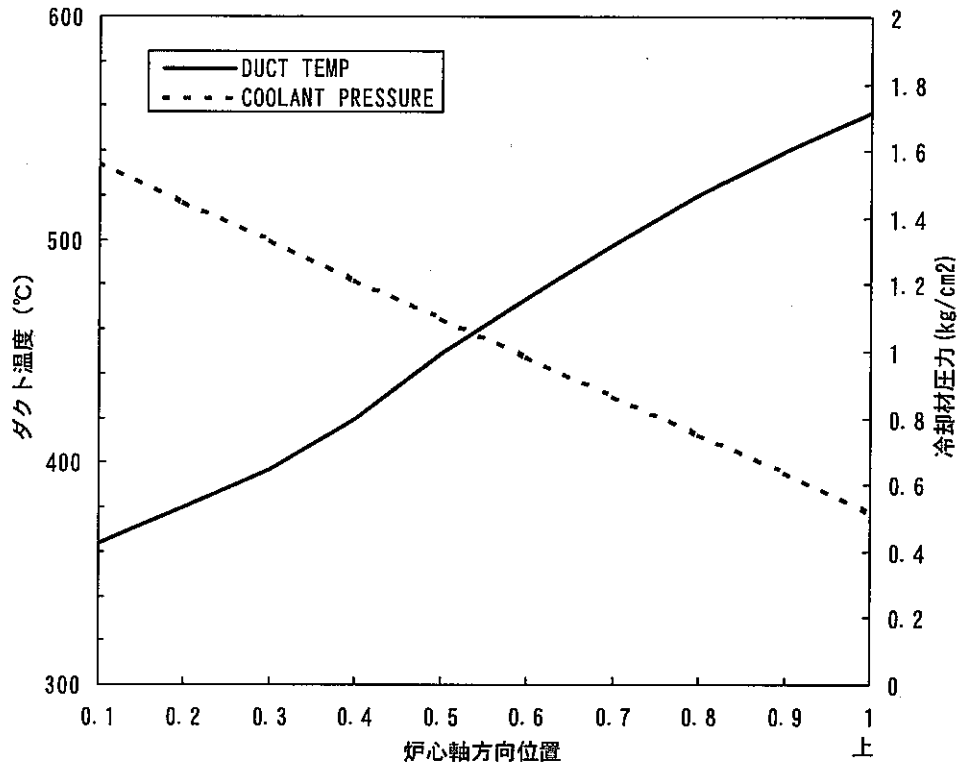


図 2.4-3 ダクト温度・フラックス軸方向分布条件とダクト対面膨れ量軸方向分布 (大型酸化物燃料・ナトリウム・長期運転サイクル炉心)

## 2.5 集合体内 SASS の有効性評価

「長期運転サイクルを狙った大型酸化物燃料炉心」では、安全性・信頼性向上のための方策として内側炉心集合体全数(252 体)に集合体内 SASS の設置を想定している。この集合体内 SASS による過渡事象(ATWS 事象)時プラント挙動への効果、及び、「長期運転サイクルを狙った大型酸化物燃料炉心」の安全成立性を評価するため、動特性解析を実施することとした。評価ケースとしては、ODS 被覆材を採用する高温ケース(炉心出入口冷却材温度 550℃/395℃)を想定し、評価事象としては、ULOF・UTOP 事象を想定した。今回の検討では、特に、以下の項目に注目して評価を行うものとした。

- ・ SASS 切離し温度条件(SASS 誤落下防止温度評価)
- ・ 集合体内 SASS による過渡挙動への効果の把握  
集合体内 SASS の非同時落下による影響  
制御棒 SASS(原電実証炉で採用)との特性の相違点
- ・ 「長期運転サイクルを狙った大型酸化物燃料炉心」プラントにおける安全成立性の見通し

### (1) 解析

#### (i) SASS 切離し温度条件の設定

集合体内 SASS 炉心では、落下した SASS の炉内での引上げが不可能であることから、SASS 誤落下時には、運転一旦停止 → SASS 落下集合体を調査・特定 → 炉外へ取出し → 落下 SASS の引上げ → 炉内へ再装荷のプロセスを行わなければならない。そのため、SASS 誤落下防止はプラント稼働率上重要な問題となると考えられる。そこで、まず、SASS 切離し温度の下限値である SASS 誤落下防止温度の評価を行うこととした。SASS 誤落下防止温度の条件としては、定常運転時、及び、原子炉寿命期間中に予想される「運転時の異常な過渡変化」の事象時まで、SASS 誤落下の発生を防ぐことを想定することとした。

- ・ 「運転時の異常な過渡」…… スクラムの効果により事象静定  
(LOF・TOP 事象) + SASS 落下防止
- ・ 「事故」…………… スクラムの効果により事象静定  
+ SASS の落下許容(SASS の効果は期待しない)
- ・ 「付加的限界事象」…………… SASS の効果により事象静定  
(ATWS 事象)

そこで、ATWS 事象の解析に先立ち、LOF・TOP 事象の解析を行い、それぞれについて冷却材ピーク温度(ノミナルホットピン)を評価した(主要な解析条件は、次項の ULOF・UTOP の条件と同等、制御棒スクラムは主炉停止系 1 系統のみを想定した)。解析の結果、冷却材ピーク温度は、LOF で 680℃、TOP で 660℃であり(図 2.5-1 参照)、SASS 誤落下防止温度条件は 680℃以上となることがわかった。SASS 切離し温度は、この誤落下防止温度に、感温部合金の保持力特性及び SASS に働く力(流力振動・地震等)の不確かさから  $+\alpha$  を設定する必要がある、本検討ではノミナル保持力に  $\pm 3\sigma$  程度の不確かさを見込み  $+40^\circ\text{C}$  を想定するものとした(ただし、この  $+40^\circ\text{C}$  の幅については、合理化の方向で検討の余地あり)。以上より、今回の ATWS 解析では、SASS 切離し温度を 720℃と設定し、解析を実施するものとした。

## (ii) ULOF 解析

### ・解析条件

流量条件 流量半減時間 5.5 秒、ポニーモータ流量 10%  
 評価ピン ノミナルホットピン  
 初期最大線出力 458W/cm (外側炉心、BOC)  
 初期最大冷却材温度 654℃(工学的安全係数考慮した値)

反応度係数 ノミナル値 (EOC)

### SASS 条件

冷却材輸送時間遅れ 0.6 秒、感温部応答時定数 1.0 秒、

### 反応度

内側炉心の定常時における各集合体出口温度に応じて、11 領域(590℃以上、590-588℃、588-586℃、586-584℃、584-582℃、582-580℃、580-575℃、575-570℃、570-560℃、560-540℃、540℃以下)にチャンネルを分けて、SASS 反応度を考慮した。

### ・安全成立性

判断条件 冷却材沸騰回避

### ・解析結果 (図 2.5-2~2.5-4 参照)

SASS 切離し温度 720℃のケースでは、全集合体内 SASS の 90%程度が落下し、冷却材ピーク温度(外側炉心ノミナルホットピン)は、事象後約 7.0 秒で約 920℃であり冷却材沸騰まで余裕があることがわかった。図 2.5-5・2.5-6 より、これらの落下した SASS は時間差 2.0 秒程度の幅で切離しを開始しており、ULOF のような炉心部全域で一様に冷却

材温度が変化する事象では、多数の集合体内 SASS が設置された炉についても、非同時落下の効果が小さいことが確認された。また、本炉心では、SASS 反応度が大きく(約 16 \$)、冷却材温度の 2 次ピークについては問題ないという結果が得られた。

次に、SASS 切離し温度をパラメータとした解析を行った結果、切離し温度 740℃までは、冷却材沸騰が回避されており、ULOF 事象では SASS 切離し温度条件について、680℃～740℃までの設計ウィンドウを有することがわかった(ここで、下限値については+40℃の設計幅に合理化の余地があることから、SASS 誤落下防止温度とした)。

### (iii) UTOP 解析

#### ・解析条件

反応度条件 添加反応度 56¢、反応度添加速度 3¢/秒

評価ピン ノミナルホットピン

初期最大線出力 458W/cm(内側炉心、BOC)

初期最大冷却材温度 639℃(工学的安全係数考慮した値)

反応度係数 ノミナル値 (BOC)

SASS 条件

冷却材輸送時間遅れ 0.3 秒、感温部応答時定数 1.0 秒

反応度

誤引抜き制御棒から 2 層の集合体(18 体)については出力歪み 1.14(隣接 18 集合体中最小値、添加反応度に比例し考慮)、その他の集合体については出力歪み無しとし、それぞれについて集合体出口温度 6 領域(制御棒隣接集合体 580℃以上、580-575℃、575-570℃、570-565℃、565-560℃、560℃以下、その他集合体 590℃以上、590-585℃、585-580℃、580-570℃、570-560℃、560℃以下)にチャンネルを分けて SASS 反応度を考慮した。

#### ・安全成立性

判断基準(目安値) 燃料中心溶融割合 30%未満(原電実証炉検討参考)

#### ・解析結果 (図 2.5-7～2.5-10 参照)

SASS 切離し温度 720℃のケースでは、最初の SASS 落下のタイミングは遅れ、事象開始後約 90 秒となるという結果が得られた。これは、SASS 切離し温度が高いこと、長期運転サイクル炉心では制御棒ワースが小さく、最大ワース制御棒 1 本誤引抜きによる添加反応度が小さい(56¢)ことのためと考えられる。しかし、SASS の落下が遅れ、SASS

の効果が小さくても、燃料中心溶融割合ピーク値(内側炉心ノミナルホットピン)は 8.2%であり(中空ペレットの初期中心空孔部面積は含めず)、安全性判断基準(目安値)を満たしていることがわかる。

次に、SASS 切離し温度をパラメータとして解析を行った結果、切離し温度 760℃以上では、冷却材温度が高いレベルで定常化に至るため、SASS の落下は生じないという結果が得られた。その様な状態でも、長期運転サイクル炉心の燃料中心溶融割合ピーク値は 10.7%と評価され、これは、添加反応度が小さいことに起因するものと考えられる。そのため、UTOP 事象の SASS 切離し温度設計ウィンドウは、680℃以上と考えられる。

図 2.5-11 より、SASS の落下は、制御棒引抜き完了後の冷却材温度上昇率が低下した後に生じており、SASS 非同時落下の影響が大きいこと、集合体内 SASS では個々のワースが低いことから、事象は短期間で静定にいたらず、炉出力は高いレベルを長期間維持するという結果が得られた。ここで、SASS 切離し温度を、制御棒引抜き完了前に発生する温度レベルに設定すれば、冷却材温度の上昇率が大きく同時に複数の SASS 落下を期待できるものと考えられるが、一方、図 2.5-11 より、制御棒引抜き完了前に SASS を落下させる切り離し温度条件は 680℃以下と見積もられ、これは、誤落下防止温度条件を満足しないことがわかる。このことから、長期運転サイクル炉心は、UTOP 時に SASS 非同時落下の寄与が大きく、炉心出力は高いレベルを長期間維持する可能性を潜在的に有すると考えられることがわかった。そのため、長期運転サイクル炉心では、UTOP 時に事象静定に達するには、SASS の効果以外に、炉心支持板膨張反応度等の時定数の大きい負のフィードバック反応度の寄与が必要となると考えられる。

## (2) 検討

集合体内 SASS 炉心と制御棒 SASS 炉心の特性の相違を SASS 条件、ULOF・UTOP 挙動に関して、以下にまとめた(表 2.5-1 参照)。

### ・SASS 条件の相違点

集合体内 SASS 炉心では、SASS 誤落下防止温度について、「運転時の異常な過渡」まで SASS 誤落下防止が要求される。一方、制御棒 SASS 炉心では、SASS 誤落下事象が生じて、制御棒同様、再度炉内で引上げが可能であることから、誤落下防止温度条件として、定常状態だけの想定でよいものと考えられる。そのため、集合体内 SASS の SASS 切離し温度は、SASS 誤落下防止温度の増加により、制御棒 SASS より高く設定されることになる(本炉心では 30℃程度、図 2.5-1 参照)。

また、冷却材輸送時間遅れについては、集合体内 SASS の方が炉心出

口から感温合金部までの距離が短いことから、小さくなると思われる。

#### ・ ULOF・UTOP 挙動

ULOF 事象について、集合体内 SASS 炉心では、(1)項の解析結果で示したように、冷却材温度は内側炉心全域で一様に上昇し、内側炉心全域にある SASS の 90%程度が短い時間差で落下するという結果が得られた。制御棒 SASS 炉心についても、同様に短い時間間隔で全数の SASS が落下する挙動をとると考えられ、両炉心について ULOF 挙動の相違はないものと考えられる。

UTOP 事象について、両 SASS 炉心の相違点として、SASS 落下のタイミングと SASS による挿入反応度の問題が考えられる。

##### (SASS 落下のタイミング)

集合体内 SASS 炉心では、誤引抜き制御棒近傍の出力歪みの影響を受けた最も条件の厳しい集合体の SASS 落下により、比較的早いタイミングで負の反応度が挿入されるものと考えられる。つまり、集合体内 SASS 炉心では、条件の厳しい燃料ピンのタイミングで挙動の進行が制限されることになる。一方、制御棒 SASS 炉心では、誤引抜き制御棒に一番近い後備炉系制御棒(制御棒 SASS)の切離しにより初めて負の反応度が挿入されるため、条件の厳しい燃料ピンについては負の反応度のタイミングが遅れ、より挙動が進行するものと考えられる(ただし、制御棒 SASS には、切離し温度を低く設定できるという利点もあり、負の反応度挿入のタイミングは設計の影響を受けるものと考えられる)。

##### (SASS による挿入反応度)

集合体内 SASS 炉心では、個々の SASS 反応度が小さいため、制御棒引抜き完了後の様な冷却材温度上昇率の小さい SASS 非同時性の効果が大きい状態で機能する場合、炉出力が高いレベルで長時間維持される可能性がある。一方、制御棒 SASS 炉心では、一体あたりのワースが大きいことから、SASS が落下しさえすれば、概ね静定するものと考えられる。

### (3)まとめ

ULOF・UTOP 事象の解析結果から、「長期運転サイクルを狙った大型酸化燃料炉心」における、集合体内 SASS の設計ウィンドウは、SASS 切離し温度 680～740℃であり、ATWS 事象に対して安全成立性を有する可能性があることがわかった。ただし、UTOP 時に事象静定に達するには、SASS の効果以外に、炉心支持板膨張反応度等の時定数の大きい負のフィードバック反応度の寄与が必要となると考えられる。

集合体内 SASS 炉心と制御棒 SASS 炉心の特性を比較した結果、集合体内

SASS 炉心では、UTOP 時に負の反応度挿入タイミングに関し優位性を示す可能性があるものの、両者は概ね同等の安全性能を有することがわかった。また、集合体内 SASS では、SASS 誤落下集合体の検査・特定方法、落下 SASS の引上げ方法等多くの問題を有しており、今後の開発課題と考えられる。

表 2.5-1 集合体 SASS 炉心・制御棒 SASS 炉心の特性の比較(SASS 条件、ULOF・UTOP 挙動)

項目	集合体内SASS炉心	制御棒SASS炉心	相違
SASS条件 ・SASS切離し温度 (SASS誤落下防止温度)  ・冷却材輸送時間遅れ	落下SASSの炉内での再引上げが不可能であるため、SASS誤落下防止温度(SASS切離し温度の下限值)として、「運転時の異常な過渡」までの誤落下防止が条件となる。 そのため、SASS誤落下防止温度は、LOF・TOP事象の冷却材ピーク温度以上に設定する必要がある。	落下SASSの炉内での再引上げが可能(制御棒と同様)であるため、SASS誤落下防止温度(SASS切離し温度の下限值)として、定常運転時のみ誤落下防止することが条件となる。	集合体内SASSでは、SASS切離し温度(SASS誤落下防止温度)が高くなる(「長期運転サイクルを狙った大型酸化燃料炉」では30°C程度)。
挙動 ・ULOF事象  ・UTOP事象	冷却材温度は内側炉心全域で一様に上昇し、内側炉心全域にある大多数のSASSは短い時間差(1.5秒)で落下する。「長期運転サイクルを狙った大型酸化燃料炉」SASS切離し温度720°Cのケースでは、全集合体内SASSの約90%が短時間に落下する。  誤引抜き制御棒近傍の出力歪みの影響を受けた最も条件の厳しい集合体のSASS落下により、比較的早いタイミングで負の反応度が挿入される。つまり、集合体内SASS炉心では、条件の厳しい燃料ピンのタイミングで挙動の進行が制限される。  個々のSASS反応度が小さいため、非同時性の効果が大きい状態で機能する場合、炉出力が高いレベルで長時間維持される可能性がある。	←同様  誤引抜き制御棒に一番近い後備炉系制御棒(制御棒SASS)の切離しにより初めて負の反応度が挿入されるため、条件の厳しい燃料ピンについては負の反応度挿入のタイミングが遅れ、より挙動が進行するものと考えられる(ただし、SASS切離し温度を低く設定できる)。  一体あたりのワースが大きいことから、SASSが落下しさえすれば、概ね静定するものと考えられる。	挙動に相違はないものと考えられる。  集合体内SASSは、負の反応度挿入のタイミングに関し優位性を示す可能性がある。ただし、制御棒SASSは、SASS切離し温度を低く設定できるという利点もあり、負の反応度挿入のタイミングは設計の影響を受けるものと考えられる
その他課題 ・落下SASSの引上げ方法  ・SASS誤落下集合体の検査・特定方法  ・定検による機能確認  ・SASS吸収体の寿命	現状では、運転を停止し、炉から取出す必要があり、プラント稼働率に大きな影響を与える。  多数のSASS付き集合体が対象となり、効率の良い検査方法が必要。 また、LOF・TOP事象の度に、未落下確認のため検査が必要となる。  保持力特性の確認困難である。  照射期間中、健全性確保できるか。 集合体内SASSのみ交換するのか。	制御棒と同様の方法により、炉内で引上げ可能。  制御棒と同様の方法により可能。  電流を徐々に下げるにより落下する電流値を明らかにし、炉外試験との比較により特性が変化していないことが確認できる。  制御棒同様、交換可能。	集合体内SASSでは、課題あり。  集合体内SASSでは、課題あり。  集合体内SASSでは、課題あり。  集合体内SASSでは、課題あり。



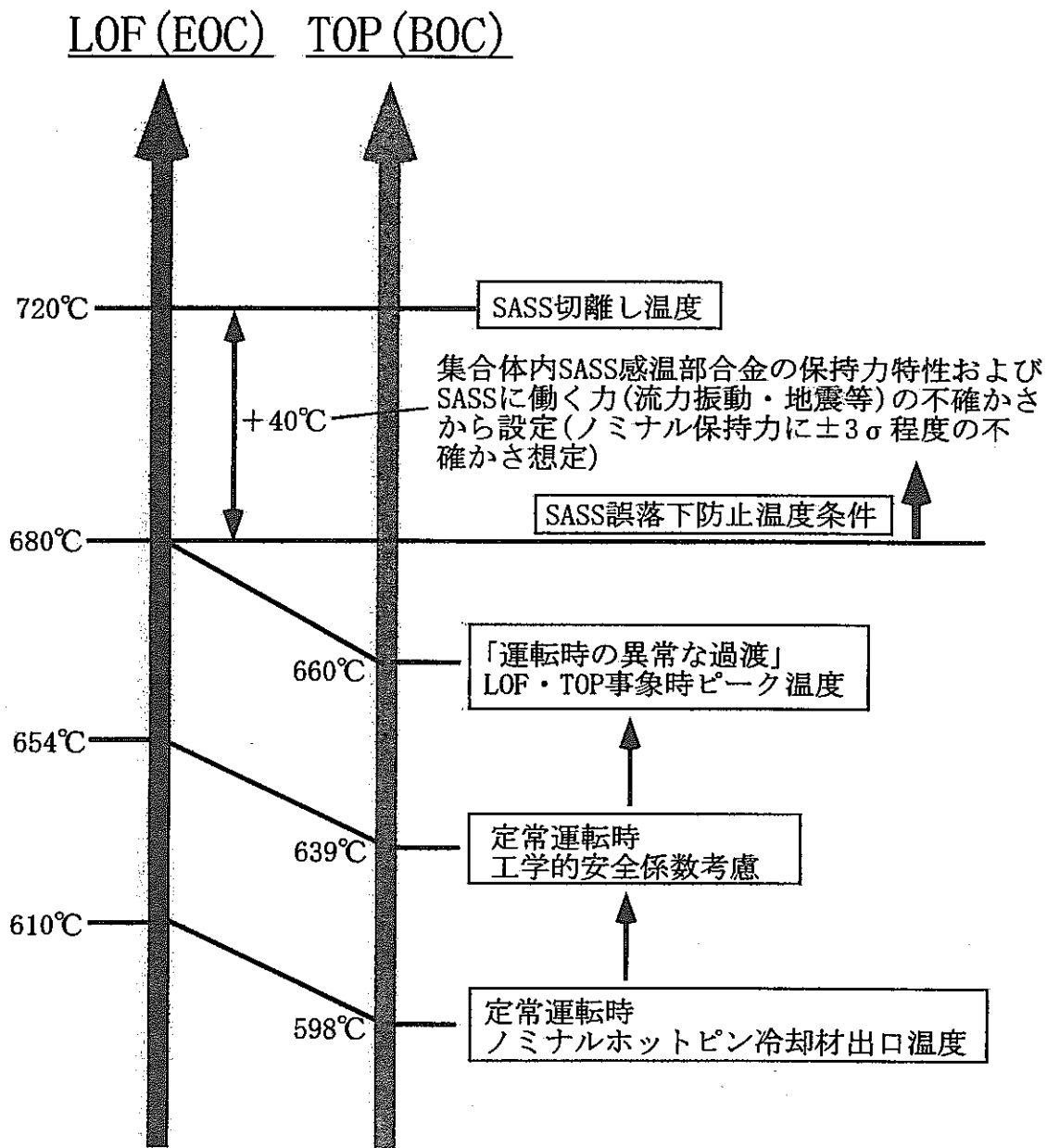


図 2.5-1 SASS 切離し温度の設定

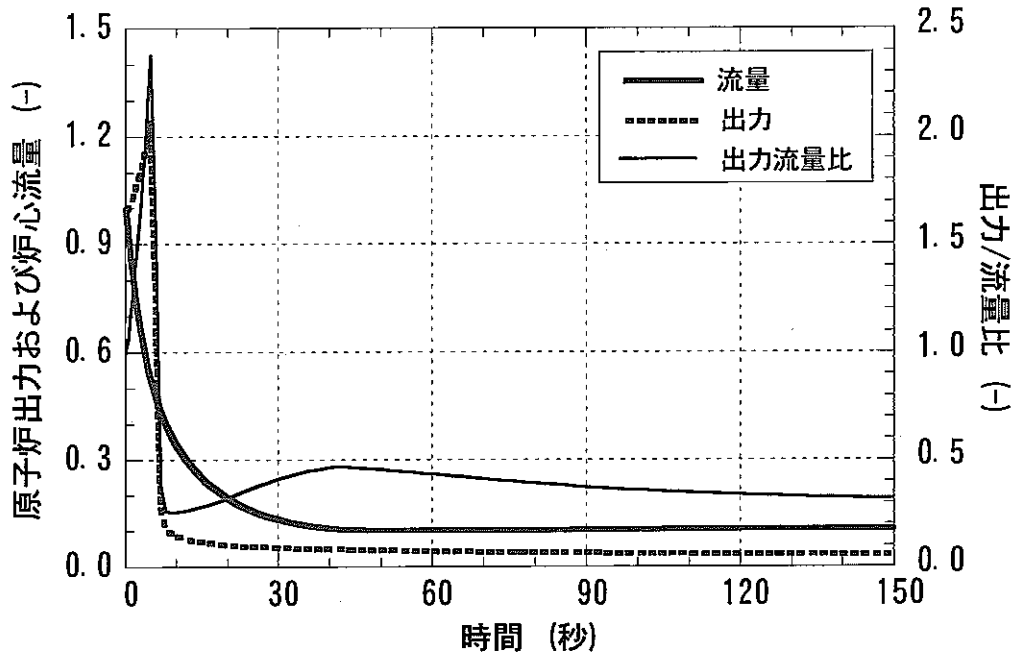


図 2.5-2 炉心出力・流量経時変化(150 秒)  
(ULOF 事象(流量半減時間 5.5 秒、反応度係数ノミナル))

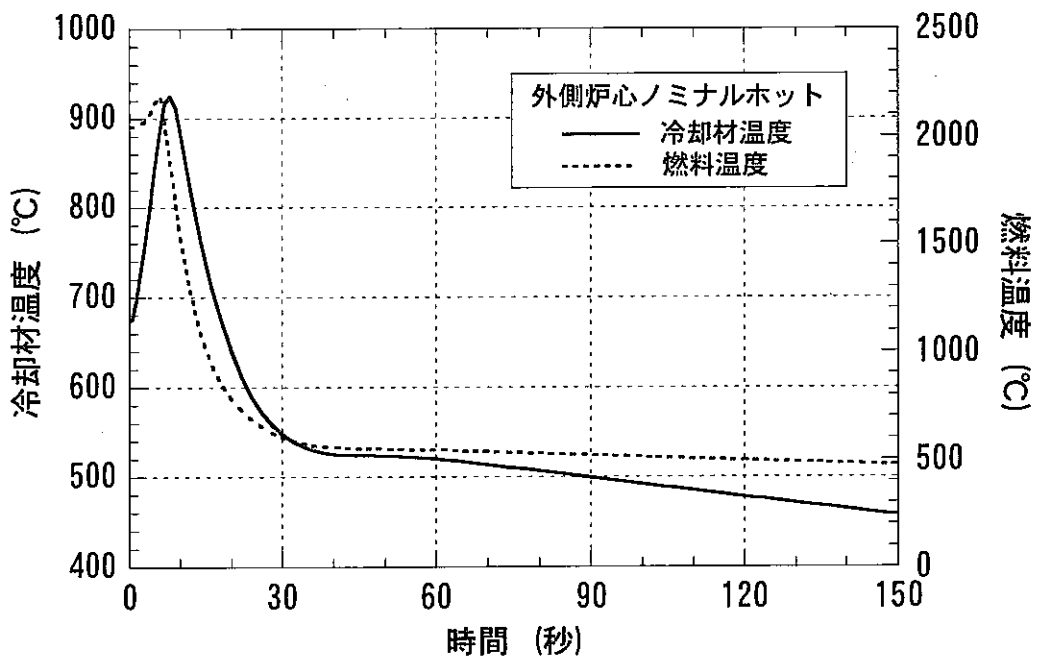


図 2.5-3 ノミナルホットピン温度経時変化(150 秒)  
(ULOF 事象(流量半減時間 5.5 秒、反応度係数ノミナル))

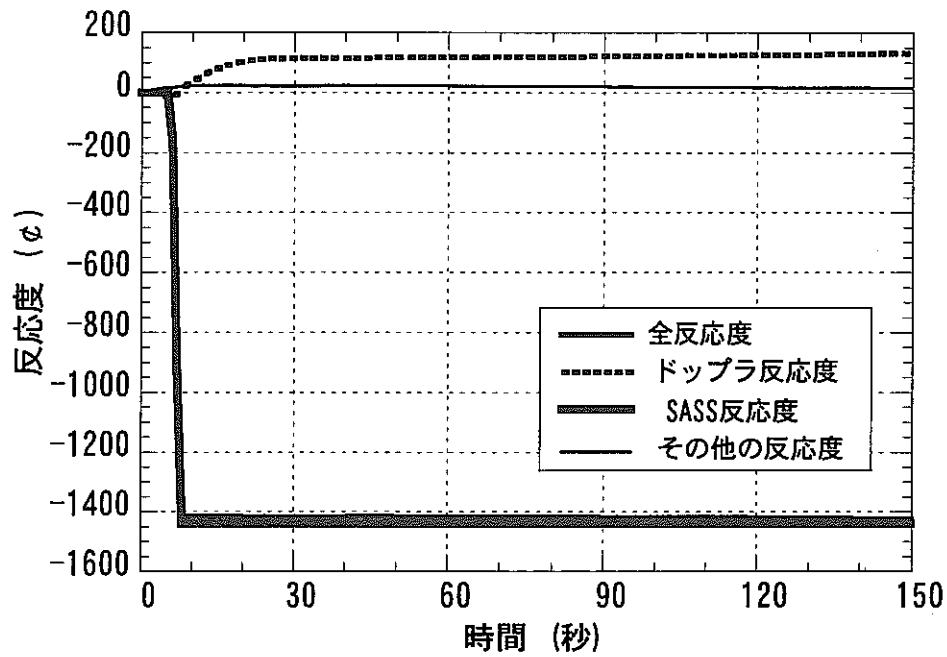


図 2.5-4 反応度経時変化(150 秒)  
 (ULOF 事象(流量半減時間 5.5 秒、反応度係数ノミナル))

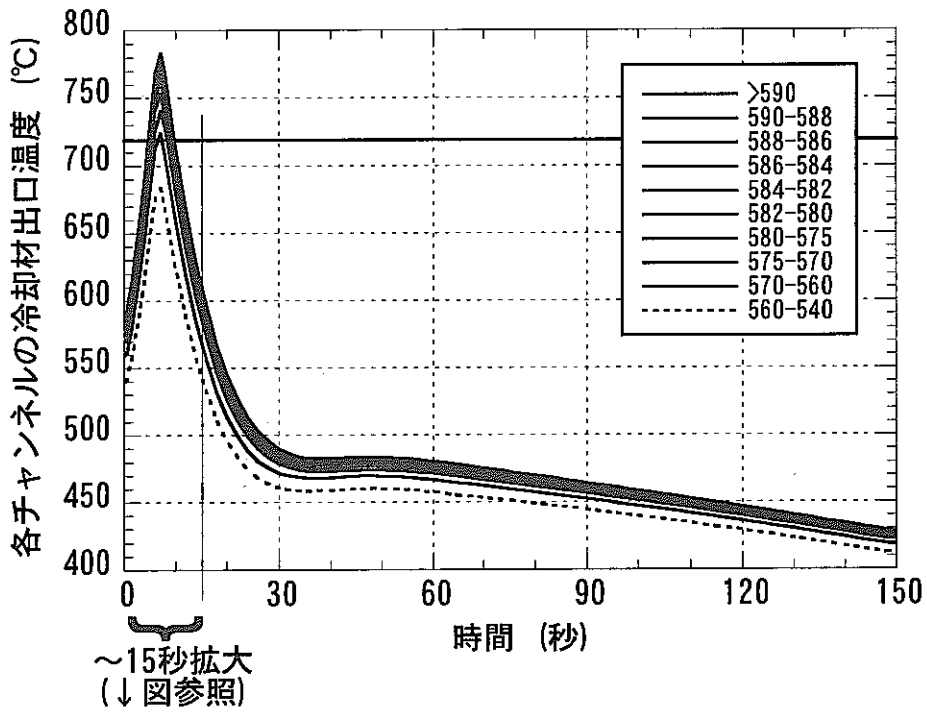


図 2.5-5 各チャンネル冷却材出口温度経時変化(150 秒)  
(ULOF 事象(流量半減時間 5.5 秒、反応度係数ノミナル))

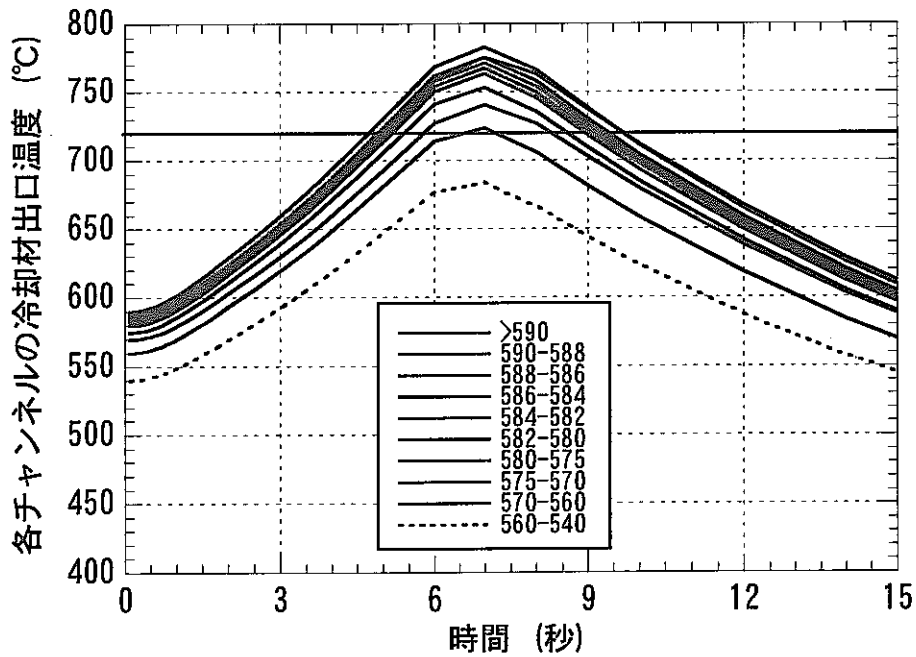


図 2.5-6 各チャンネル冷却材出口温度経時変化(15 秒)  
(ULOF 事象(流量半減時間 5.5 秒、反応度係数ノミナル))

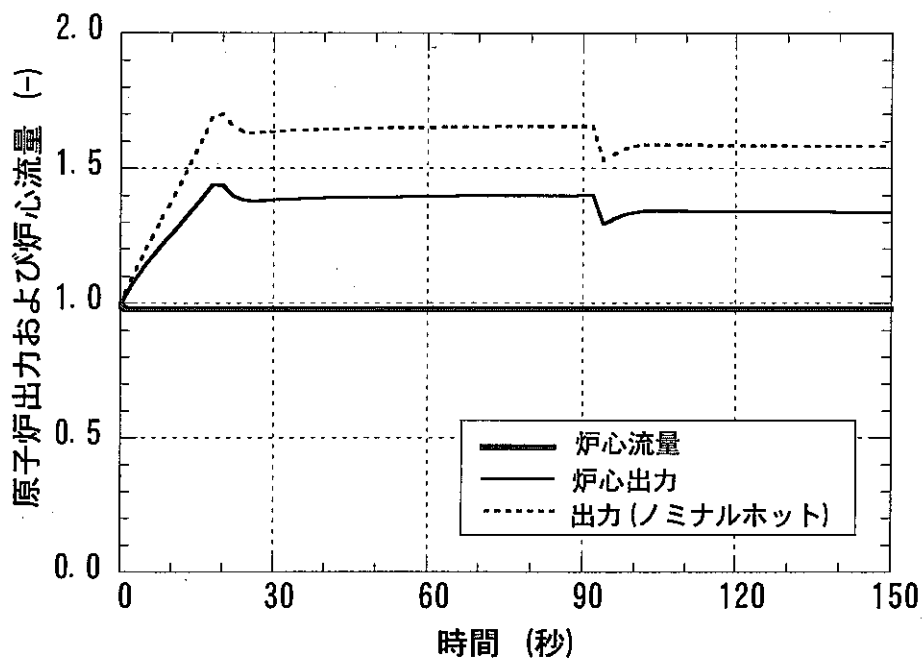


図 2.5-7 炉心出力・流量経時変化(150 秒)  
(UTOP 事象(添加反応度 56¢、反応度係数ノミナル))

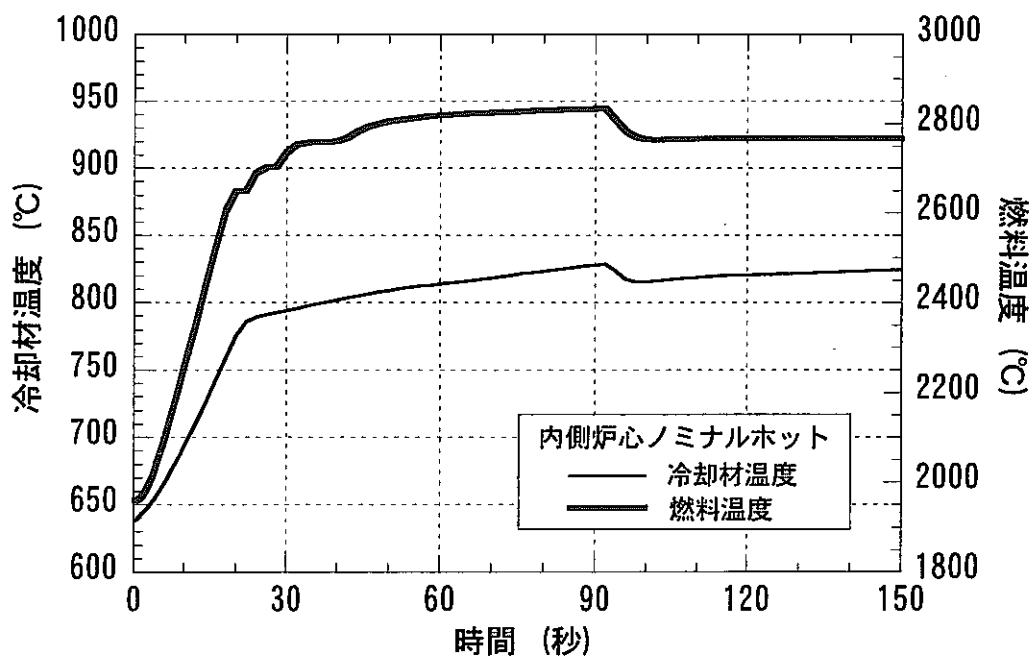


図 2.5-8 ノミナルホットピン温度経時変化(150 秒)  
(UTOP 事象(添加反応度 56¢、反応度係数ノミナル))

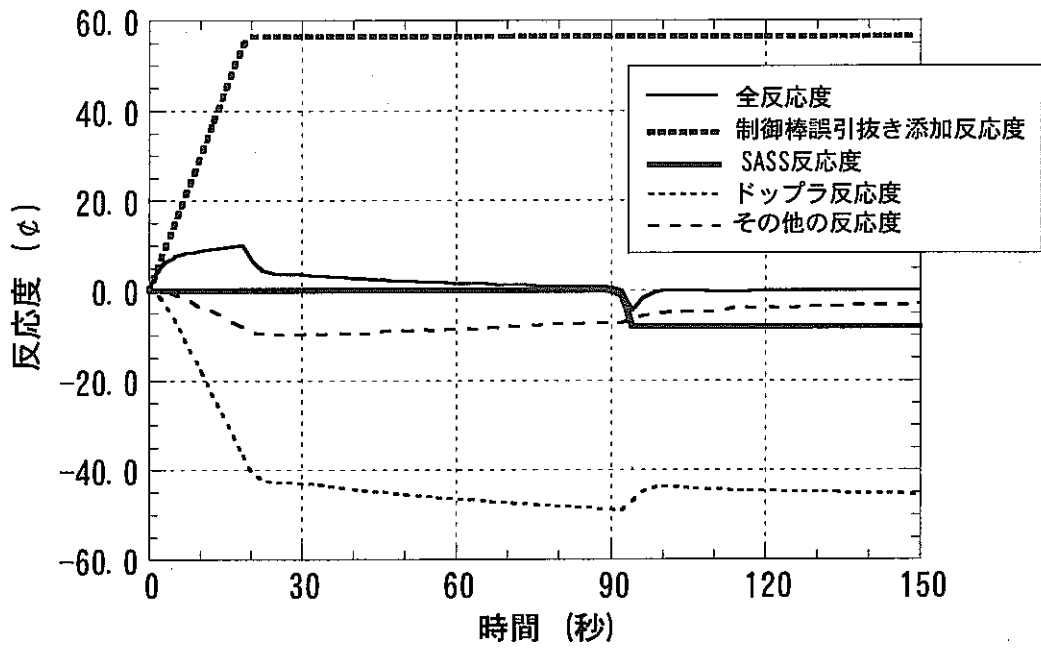


図 2.5-9 反応度経時変化(150 秒)  
(UTOP 事象(添加反応度 56 φ、反応度係数ノミナル))

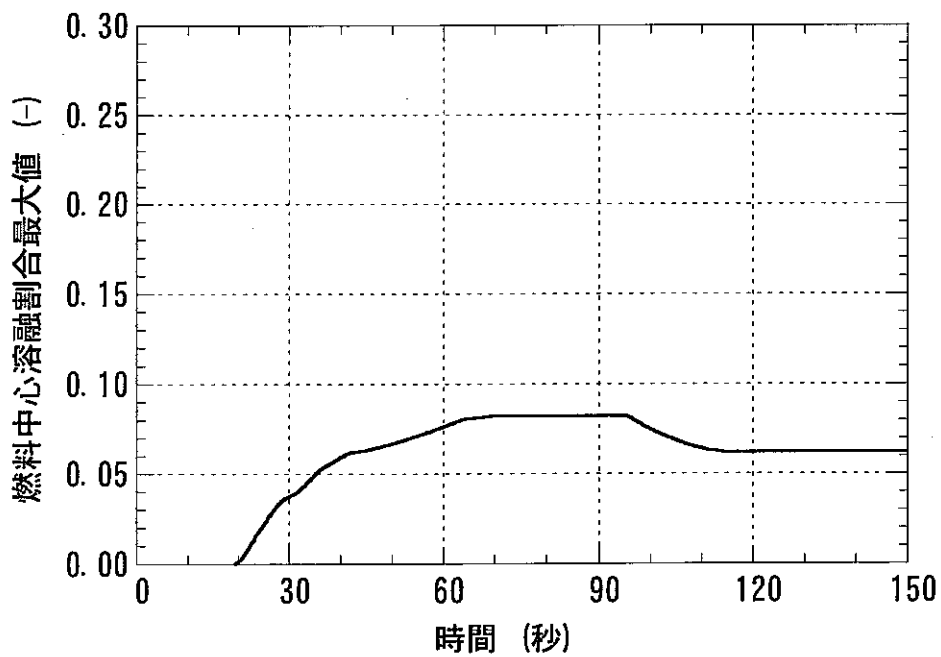


図 2.5-10 燃料中心溶融割合最大値経時変化(150 秒)  
(UTOP 事象(添加反応度 56 φ、反応度係数ノミナル))

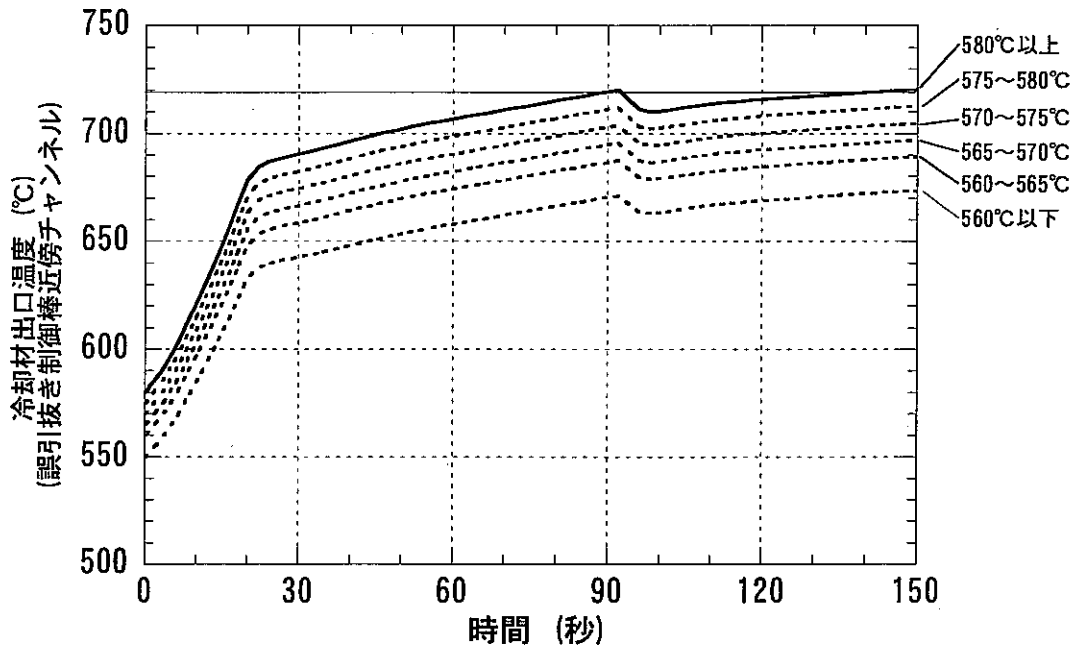


図 2.5-11 各チャンネル冷却材出口温度経時変化(150 秒)  
(UTOP 事象(添加反応度 56¢、反応度係数ノミナル))

## 2.6 低除染燃料の影響評価

本節で対象としている長期運転サイクル炉心を対象とし、乾式再処理システムにおけるマスバランスの一次評価結果を用いて、低除染燃料による炉心特性への影響を評価した。評価対象とした乾式再処理法は、酸化物電解法（RIAR 技術）、金属電解法（Li 還元）（ANL 技術）、金属電解法（塩浴塩素化）（ANL 技術）、フッ化物揮発法の4種である。

各再処理方式において予想される FP 核種及びその混入率をもとに、それが、炉心燃焼特性、反応度特性にどの程度の影響を与えるかを解析評価した。解析は、それぞれの再処理プロセスからリサイクルされた組成の場合と、無限回リサイクルされた後の組成の両方について実施した。

表 2.6-1 には、4つの再処理方式からの低除染燃料による炉心特性への影響を一回りサイクル後及び無限回リサイクル後の両方について示した。同表に示されるように、一回りサイクル後の FP 混入率については、フッ化物揮発法の値が最も小さい。これに対して、無限回のリサイクルを仮定すると各再処理方式間の FP 混入効果の違いは余り大きくはない。これは、フッ化物揮発法では FP の中でモリブデンの除染係数が1に近く、多数回リサイクルの時に FP の蓄積効果を上昇させる結果である。

表に示されるように、無限回リサイクル後を想定すると、各再処理方式間の差は小さいが、RIAR 技術に基づく酸化物電解法の場合が最も影響が大きくなっている。

一方、フッ化物揮発法については、モリブデンの除染係数を保守的に想定した結果として無限回リサイクルの場合に FP 混入率が他の再処理方式と同等となったものであり、モリブデンの除染係数も他の FP と同等となるとの情報を適用すれば、最も有望な再処理方式となる。

表 2.6-1 に示されるように、最も混入率の大きな酸化物電解法の無限回リサイクルを想定した場合には、燃焼欠損反応度は  $+0.5\% \Delta k/kk'$  増加、増殖比は 0.04 減少、Na ボイド反応度は  $0.1\% \Delta k/kk'$  増加、ドップラ係数絶対値は  $0.7 \times 10^{-3} Tdk/dT$  減少している。

以上の影響のうち、増殖性の悪化については、プルトニウム需給に余裕がある高速炉導入初期には余り大きな問題とはならないが、一方、高速炉への移行期等、投入速度を上げたい時には有意な影響があると考えられる。この場合、複合システム倍増時間への影響度としては6年程度になると算定される。

燃焼欠損反応度の増加は長期運転サイクルを目指す場合には、やはり、マイナス要素である。上記程度の影響であれば、制御棒設計を成立させることに問題はないが、更なる長期運転を目指すような場合には、低除染燃料が運転サイクル延長可能性を制限する結果となる。今後、コストを勘案して、除染係数を上げやすい最適プロセスを選定する必要がある。



表 2.6-1 長期運転サイクル炉心への低除染燃料による炉心特性への影響予測中間結果

	酸化物電解法 (RIAR 技術)	金属電解法 (Li 還元) (ANL 技術)	金属電解法 (塩浴塩素化 法) (ANL 技術)	フッ化物揮発法
一回りサイクル後組成				
FP 混入率 (重量比/体積比、%)	1.2 / 1.6	0.9 / 1.4	0.9 / 1.5	0.4 / 0.3
燃焼反応度変化 (% $\Delta k/kk'$ )	+0.04	+0.3	+0.3	+0.1
増殖比変化	-0.03	-0.02	-0.02	-0.01
ナトリウムボイド反応度変化(% $\Delta k/kk'$ )	+0.06	+0.03	+0.03	+0.03
ドップラ係数変化 ( $\times 10^{-3}Tdk/dT$ )	+0.4	+0.3	+0.3	+0.15
無限回りサイクル後組成				
FP 混入率 (重量比/体積比、%)	1.7 / 2.2	1.2 / 1.9	1.2 / 1.9	1.6 / 1.4
燃焼反応度変化 (% $\Delta k/kk'$ )	+0.5	+0.35	+0.35	+0.35
増殖比変化	-0.04	-0.02	-0.02	-0.02
ナトリウムボイド反応度変化(% $\Delta k/kk'$ )	+0.1	+0.05	+0.05	+0.07
ドップラ係数変化 ( $\times 10^{-3}Tdk/dT$ )	+0.7	+0.4	+0.4	+0.5

## 2.7 MA 燃焼特性の評価

本節では、長期運転サイクル炉心について、LWRから取り出されたプルトニウムに随伴するMAを、分離せずに炉心に添加する場合のMAの核変換特性および炉心反応度特性への影響を評価する。MAの添加割合としては、検討上の上限として5%を想定した。

100万kWeのLWRでは、年間約200kgのプルトニウムが、取り出される使用済燃料に含まれるが、そのNp-237、Am-241等のMAの総量はプルトニウムの約12% (24kg) である。よって、LWRからのプルトニウムをFBR燃料として装荷する場合に、MAが全く分離されずにプルトニウムと共に装荷されるとすると、本節で検討している長期運転サイクル炉心 (約160万kWe) の場合には、炉心平均プルトニウム富化度が18%程度であることから、MAの混入割合は2.2%程度となる。本節でのMA添加割合5%は、想定に余裕を見たものである。

### 2.7.1 検討条件

#### (1) MA 組成

MA組成は、Np-237が多く最も反応度効果の大きなLWR取出燃料からのものを想定した。LWR取出燃料 (燃焼度35GWd/t、5年冷却) に含まれるMAの組成比は、ORIGEN2コードの解析結果から、以下の通りである。

$$\begin{aligned} \text{Np-237:Am-241:Am-242m:Am-243:Cm-243:Cm-244:Cm-245} = \\ 49.14 : 29.98 : 0.08 : 15.50 : 0.05 : 4.99 : 0.26 \end{aligned}$$

#### (2) プルトニウム富化度、MA添加率の定義

プルトニウム富化度、MA添加率の定義は、重元素にMAを含めるものとし、

$$\text{プルトニウム富化度} = \text{Pu} / (\text{Pu} + \text{U} + \text{MA}), \text{MA添加率} = \text{MA} / (\text{Pu} + \text{U} + \text{MA})$$

とした。

$$\text{MA添加率} : 0 \text{ 及び } 5 \text{ wt\%}$$

#### (3) 解析手法

燃焼計算 : 2次元R-Z、7群拡散燃焼計算

反応度特性計算 : 2次元R-Z、70群拡散計算

## 2.7.2 解析評価結果

解析結果を表 2.7.2-1 に示した。

### (1) MA 変換量、変換率

サイクル当たりの MA 変換量及び MA 変換率について見ると、MA を添加しない場合には、約 60kg の MA を発生することになるが、MA を 5% 添加した場合（サイクル毎に 660kg の添加に相当）には、燃焼、核変換による減少量が上回り、約 300kg の MA 変換量が得られる。

### (2) プルトニウム富化度

MA の添加により、プルトニウム富化度は 1 wt% 程度減少する。これは、主に、Np-237、Am-241 の中性子吸収、崩壊によって生ずる Pu-238 の生成により、燃焼反応度が抑制されるためである。

### (3) 燃焼欠損反応度

前項に述べたように、MA の添加によって Pu-238 が生成され、燃焼欠損反応度が小さくなる。表に示されるように、燃焼欠損反応度は  $2.91\% \Delta k/k'$  から  $1.21\% \Delta k/k'$  へと半分以下に低減されている。

### (4) 増殖比

Pu-239、Pu-241 のみを核分裂性核種とする従来の増殖比の定義では、増殖比の増加量は小さいが、上記の燃焼欠損反応度の変化に見られるように、Pu-238 は核分裂性核種と言ってよい特性（再生率  $\eta$  :  $\sim 1.8$  程度であり U-235 に近い）をもっており、実質的な増殖比はもっと高いことになる。

### (5) 反応度特性

反応度特性のうち、表 2.7.2-1 にはドップラ係数とナトリウムボイド反応度について、MA 添加による変化を示した。ドップラ係数については、Np-237 を添加することによりスペクトルが硬化する効果によって絶対値が 25% 程度減少している。ナトリウムボイド反応度についても、同様の効果により、増加しており、同表の遅発中性子割合の変化を加味して \$ 単位で比較すると、約 20% の上昇となる。この変化は、過去の検討例と整合したものとなっている。

表 2.7.2-1 長期運転サイクル炉心の MA 添加時炉心特性

	MA : 添加無し	MA : 5%添加
MA 装荷量(kg/サイクル)	35.5	662.5
MA 変換量(kg/サイクル)	-61.6	299.1
MA 変換率(%/サイクル)	-18.3	11.3
Pu 富化度(wt%) (内側炉心/外側炉心)	17.8 / 19.8	16.6 / 18.4
燃焼反応度(% $\Delta k/kk'$ )	2.92	1.21
増殖比 (平衡炉心平均)	1.036	1.044
ドップラー係数( $\times 10^{-3} Tdk/dT$ ) (平衡初期/平衡末期)	-7.57 / -7.06	-5.47 / -5.25
炉心 Na ボイド反応度(% $\Delta k/kk'$ ) (平衡初期/平衡末期)	2.34 / 2.58	2.81 / 2.93
実効遅発中性子割合 (平衡末期)	$3.48 \times 10^{-3}$	$3.31 \times 10^{-3}$

### 2.7.3 まとめ

本項で示されたように、長期運転サイクル炉心（約 160 万 kWe）に MA5% 添加燃料を装荷すると、サイクル当たり約 300kg の MA が核変換されることが分かった。

MA の重量収支から、以上のことは、毎年 100 万 kWe の軽水炉 18 基から生ずる MA を新燃料に装荷すると、取出燃料には LWR10 基分の MA が含まれており、差し引き、8 基分の MA が核変換されていることを意味している。

## 2.8 超長期運転サイクル炉心の検討

### 2.8.1 背景と目的

第2章では、ナトリウム冷却大型酸化物燃料炉心において、運転サイクル長期化（18ヶ月サイクル）と高燃焼度化（150GWd/t）に着目して炉心設計を進めてきたが、さらなる運転サイクル長期化と高燃焼度化を指向した場合の炉心特性の傾向を評価し、酸化物燃料炉心が持つポテンシャルを明らかにするための検討を行う。

## 2.8.2 運転サイクル長期化・高燃焼度化に着目した炉心検討

### (1) 検討条件

運転サイクル長期化に伴い燃焼欠損反応度が増大する。また、高燃焼度炉心ほど増殖比が低下する。これを防ぐには、炉心の比出力(炉心の燃料重金属単位重量当りの熱出力； $\infty$ 平均出力密度)を小さくすることが設計方策として考えられる。今回検討のサーベイ範囲を下記及び図 2.8.2-1 に示す。

- ・ 160 万 kW e /3800MW t
- ・ 酸化物燃料
- ・ 長期運転サイクル炉心
- ・ 運転サイクル長 18~40 ヶ月
- ・ 燃焼度 15~23 万 MW d / t
- ・ 比出力 1.25~2.1 GWd/t/month
- ・ 倍増時間短縮炉心
- ・ 燃焼度 15 万 MW d / t
- ・ 比出力 2.5 GWd/t/month

### (2) 炉心配置及び燃料仕様

本章で取上げている長期運転サイクル炉心をレファレンス炉心とし、炉心配置を図 2.8.2-2 に、燃料基本仕様を表 2.8.2-1 に示す。炉心は均質 2 領域炉心構成であり、内側炉心の全燃料集合体に集合体内 S A S S (自己作動型炉停止棒)を導入している。また、切欠き型 UIS に対応可能な制御棒配置とした。

運転サイクル長と燃焼度の異なる酸化物燃料検討炉心(炉心 A~I)の燃料仕様・サイズを表 2.8.2-2 に示す。炉心配置(炉心燃料集合体数、径方向ブランケット、制御棒)はレファレンス炉心と同じである。燃料仕様の設定にあたり下記を条件とした。なお、燃焼度が 15 万 MW d / t を超える燃料については、富化度以外の仕様は燃焼度 15 万 MW d / t の燃料仕様と同一とした。

- ・ 炉心圧損一定
- ・ 炉心有効長一定 (1.2m)
- ・ 軸方向ブランケット長一定(10 cm)

燃料集合体内 S A S S 内部ダクト占有体積=燃料ピン 37 本分相当

表 2.8.2-1 レファレンス炉心燃料集合体の基本仕様

項 目	仕 様
炉心燃料	酸化物燃料中空ペレット
プルトニウム組成比 ( $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}/^{241}\text{Pu}/^{242}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ ), wt%	3/52/27/9.5/7/1.5
ウラン組成比 ( $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ ), wt%	0.3/99.7
炉心材料	フェライト系鋼
炉心有効長, cm	120
軸方向ブランケット長 (上/下), cm	1.2/10
ガスプレナム長 (上/下), cm	29.8/127.5
燃料要素長, cm	297.5
集合体当り燃料ピン本数 (炉心/径方向ブランケット)	271 (234) *1/127
集合体配列ピッチ, mm	195.4
集合体間ギャップ, mm	3
ラッパ管肉厚, mm	3
SASS 用内部ダクト	
外対面間距離, mm	64.6
肉厚, mm	1.5
B <sub>4</sub> C 落下時カラム長, cm	45
B <sub>4</sub> C 落下時体積率, %	60
被覆管外径 (炉心/径方向ブランケット), mm	9.7/15.0
被覆管肉厚 (炉心/径方向ブランケット), mm	0.6/0.4
ワイヤ径 (炉心/径方向ブランケット), mm	1.4/1.2
ワイヤ巻付きピッチ (炉心/径方向ブランケット), mm	150/160
ポロシティ/リング, mm/ring	0.086
燃料スミア密度 (炉心/径方向ブランケット), %	82/91
集合体組成体積比 (炉心/径方向ブランケット), %	
燃料	46.5 (40.2) *1/60.6
構造材	21.3 (19.8) *1/13.5
冷却材	32.2 (40.0) *1/25.9

\*1 SASS 導入集合体



表 2.8.2-2 酸化物燃料検討炉心の燃料仕様・サイズ

	コンパクト炉心 4/バッチ(18~22ヶ月炉心)		レファレンス炉心 5/バッチ(18~24ヶ月炉心)		2年炉心 4/バッチ(24~30ヶ月炉心)		超長期サイクル炉心 (24~36ヶ月炉心)					
	E	F	Ref	A	G	H	B	I	C	C1	D	
炉心ID												
原子炉熱出力(MW)	3800	←	3800	←	3800	←	3800	←	←	←	←	←
原子炉電気出力(MW)	1600	←	1600	←	1600	←	1600	←	←	←	←	←
運転サイクル長さ(月)	18	22	18	24	24	32	24	30	32	40	36	
燃料交換バッチ数	4	4	5	←	4	4	5	4	5	4	5	
炉心取出平均燃焼度(MWd/t)	~150,000	~183,000	151,000	~200,000	~150,000	~200,000	~150,000	~150,000	~200,000	~200,000	~225,000	
炉心集合体数 (SASS有IC/SASS無IC/OC)	462 252/0/210	←	462 252/0/210	←	462 252/0/210	←	462 252/0/210	←	←	←	←	←
径プランケット集合体数	150	←	150	←	150	←	150	←	←	←	←	←
制御棒本数/SUS集合体	36/1	←	36/1	←	36/1	←	36/1	←	←	←	←	←
炉心高さ(cm)	120	←	120	←	120	←	120	←	←	←	←	←
炉心等価直径(cm)	428	←	458	←	470	←	506	←	←	←	←	←
比出力(GWd/t/month)	2.1	←	1.7	←	1.6	←	1.3	←	←	←	←	←
炉心出力密度(W/cc)	220	←	192	←	183	←	157	←	←	←	←	←
軸ラ厚み(上/下;cm)	1.2/10.0	←	1.2/10.0	←	1.2/10.0	←	1.2/10.0	←	←	←	←	←
ガスプレナム長(上/下;cm)	29.8/127.5	←	29.8/127.5	←	29.8/127.5	←	29.8/127.5	←	←	←	←	←
燃料ピン全長(cm)	297.5	←	297.5	←	297.5	←	297.5	←	←	←	←	←
ピン本数(本)	271	←	271	←	271	←	271	←	←	←	←	←
燃料スミア密度(%TD)	82	←	82	←	82	←	82	←	←	←	←	←
被覆管内径(mm)	7.6	←	8.5	←	8.8	←	9.8	←	←	←	←	←
被覆管内厚(mm)	0.55	←	0.6	←	0.65	←	0.7	←	←	←	←	←
被覆管外径(mm)	8.7	←	9.7	←	10.1	←	11.2	←	←	←	←	←
ワイヤ径(mm)	1.6	←	1.4	←	1.32	←	1.15	←	←	←	←	←
ワイヤ巻きピッチ(mm)	150	←	150	←	150	←	150	←	←	←	←	←
ピン配列ピッチ(mm)	10.35	←	11.15	←	11.47	←	12.40	←	←	←	←	←
P/D	1.190	←	1.149	←	1.136	←	1.107	←	←	←	←	←
ホロシティ/リング(mm/ring)	0.094	←	0.086	←	0.094	←	0.088	←	←	←	←	←
ラップ管肉厚(mm)	3	←	3	←	3	←	3	←	←	←	←	←
集合体間ギャップ(mm)	3	←	3	←	3	←	3	←	←	←	←	←
集合体配列ピッチ(mm)	182.4	←	195.4	←	200.7	←	215.9	←	←	←	←	←
集合体ピッチ面積(cm <sup>2</sup> )	288.1	←	330.6	←	348.8	←	403.7	←	←	←	←	←
実効燃料体積比(%)	34.99	←	38.14	←	38.74	←	41.52	←	←	←	←	←
集合体冷却材流量(kg/sec)	44	←	44	←	44	←	44	←	←	←	←	←
バンドル部冷却材流速(m/sec)	5.59	←	5.44	←	5.38	←	5.20	←	←	←	←	←
バンドル部圧損(kg/cm <sup>2</sup> )	2.77	←	2.76	←	2.77	←	2.76	←	←	←	←	←

注) 燃焼度が15万MWd/tを超える燃料については、富化度以外の仕様は燃焼度15万MWd/tの燃料仕様と同一

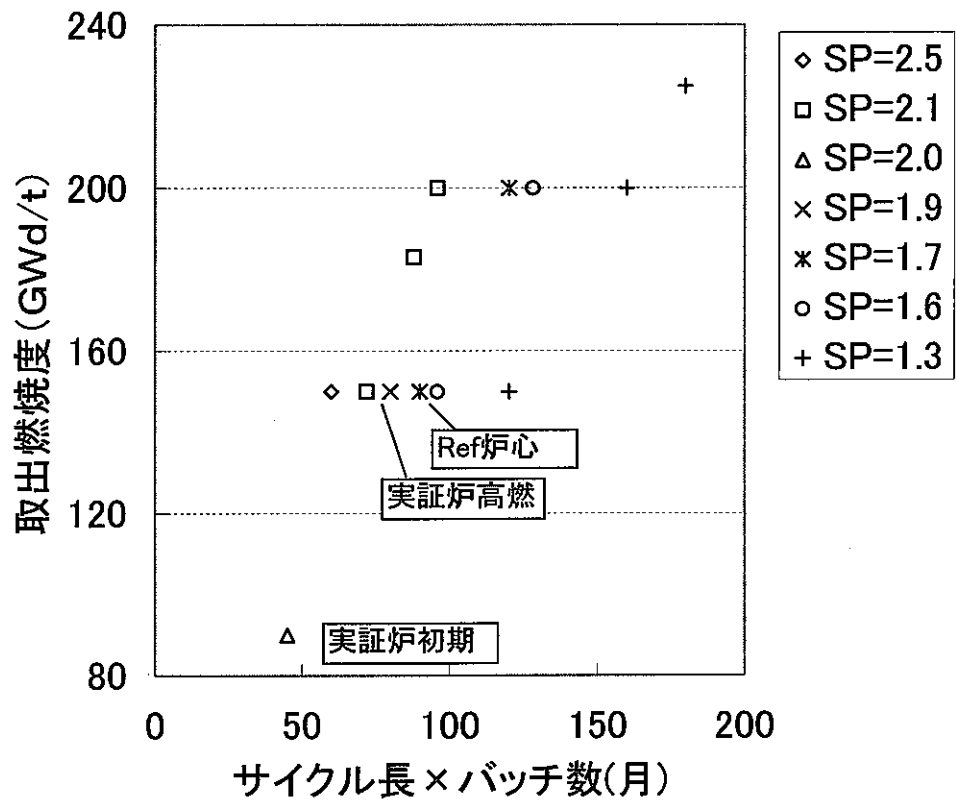
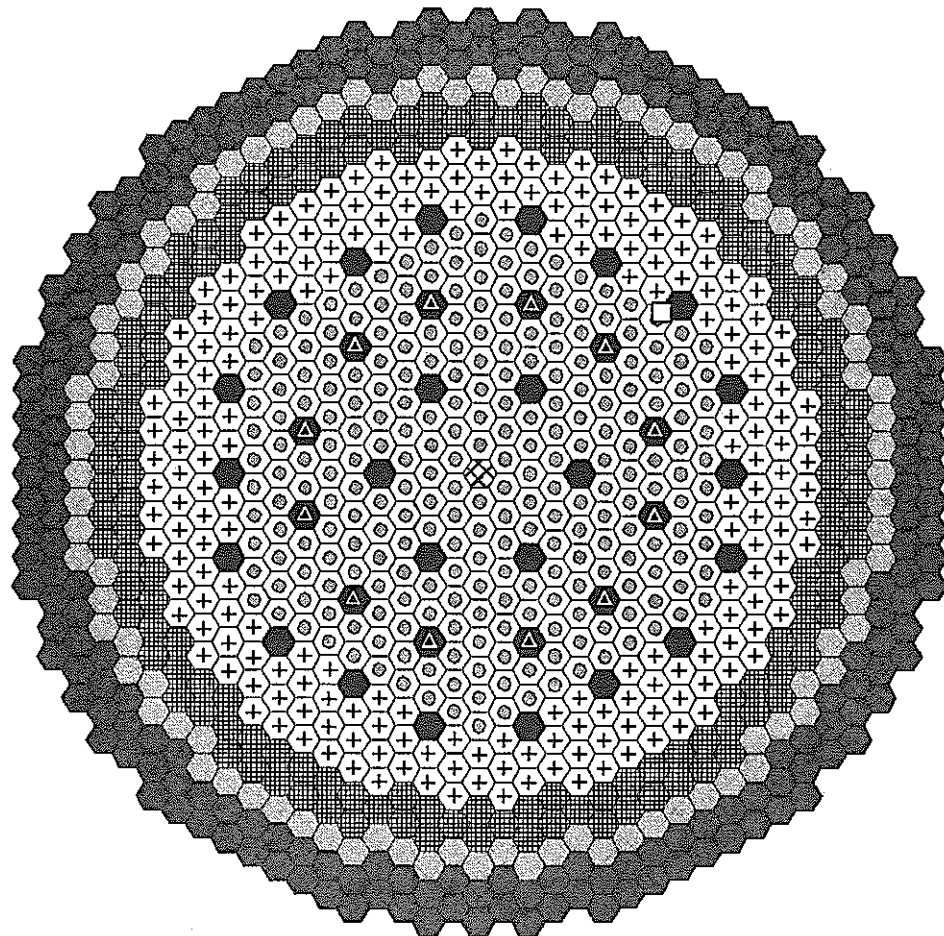


図 2.8.2-1 検討炉心の燃焼度とサイクル長



⊕	内側炉心燃料集合体 (SASS付)	252体
+	外側炉心燃料集合体	210体
⊗	径ブランケット集合体	150体
⊙	SUS遮蔽体	96体
●	B <sub>4</sub> C遮蔽体	210体
⬤	粗調整制御棒	24体
△	起動・微調整制御棒	12体
⊠	SUS集合体	1体
合 計		955体

図 2.8.2-2 長期運転サイクル炉心の配置図  
(SASS 付燃料 252 体装荷炉心)

### 2.8.3 炉心核特性

#### (1) 解析手法

核データは、JENDL-3.2 修正炉定数に基づく 7 群ないし 70 群の実効核定数を使用した。2 次元 R-Z 炉心体系で CITATION を使用して、拡散・燃焼計算を行った。

#### (2) 解析結果

2 次元燃焼解析に基づく平衡炉心の核特性評価結果を表 2.8.3-1、図 2.8.3-1(a)~(d)、図 2.8.3-2(a)~(d)、及び図 2.8.3-3(a)、(b)に示す。燃焼度一定条件では、比出力が小さい炉心ほど核特性(燃焼欠損反応度、増殖比)は良い。デメリットはフルエンスが大きくなること。ただしボイド反応度は、比出力の小さい炉心ほど小さくなっている。これは今回のサーベイ炉心では、圧損一定条件としたことで、比出力の小さい炉心ほどボイド化するナトリウムの体積比が小さくなっていることによる。

##### ① 燃焼欠損反応度

- ・ 高燃焼度ほど大きい。
- ・ 燃焼度一定では、比出力が小さい(→燃料寿命=サイクル長×バッチ数が長い)ほど小さい。燃焼欠損反応度 4%  $\Delta k/k'$  の条件では、燃焼度 150 GWd/t に対して比出力で 1.8~2.0 (燃焼期間で約 90 ヶ月)、燃焼度 200 GWd/t に対して比出力で 0.9~1.3 (燃焼期間で 160~220 ヶ月) の燃焼期間が必要。
- ・ 多バッチ燃料交換ほど小さい。

##### ② 増殖比

- ・ 高燃焼度ほど小さい。
- ・ 燃焼度一定では、比出力が小さい(燃料寿命が長い)ほど大きい。増殖比 1.05 を達成するのに燃焼度 150 GWd/t では比出力で 1.6~1.7 (燃焼期間で約 100 ヶ月)、200 GWd/t では比出力で約 1.0 (燃焼期間で約 200 ヶ月) が必要。
- ・ 燃料交換バッチ数への依存性は小さい。

##### ③ ピークフルエンス

- ・ 高燃焼度ほど大きい。
- ・ 燃焼度一定では、比出力が小さい(燃料寿命が長い)ほど大きい。
- ・ 燃料交換バッチ数への依存性は小さい。

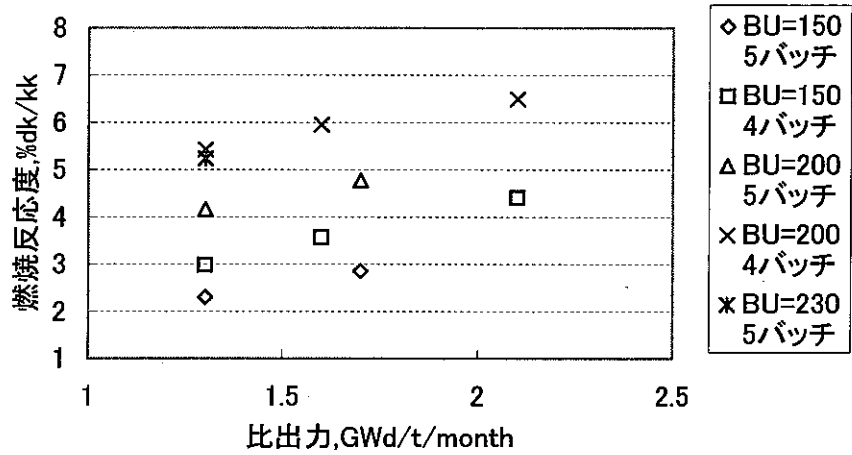
④ ナトリウムボイド反応度

- ・ 高燃焼度ほど大きい。
- ・ 燃焼度一定では、比出力が小さい(燃料寿命が長い)ほど小さい。
- ・ 燃料交換バッチ数への依存性は小さい。

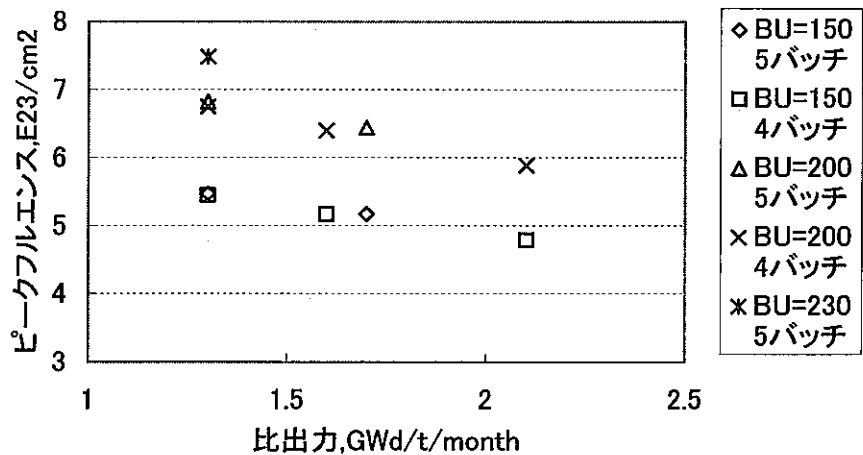
表 2.8.3-1 各炉心の特性解析結果比較

炉心ID	コンパクト炉心 4/バッチ(18~22ヶ月炉心)		レファレンス炉心 5/バッチ(18~24ヶ月炉心)		2年炉心 4/バッチ(24~30ヶ月炉心)		超長期サイクル炉心 (24~36ヶ月炉心)					
	E	F	Ref	A	G	H	B	I	C	C1	D	
原子炉熱出力(MW)	3800	←	3800	←	3800	←	3800	←	←	←	←	
原子炉電気出力(MW)	1600	←	1600	←	1600	←	1600	←	←	←	←	
運転サイクル長さ(ヶ月)	18	22	18	24	24	32	24	30	32	40	36	
燃料交換バッチ数	4	4	5	←	4	4	5	4	5	4	5	
炉心集集体数 (SASS有IC/SASS無C/OC)	462 252/0/210	←	462 252/0/210	←	462 252/0/210	←	462 252/0/210	←	←	←	←	
径ブランケット集集体数	150	←	150	←	150	←	150	←	←	←	←	
制御棒本数/SUS集集体	36/1	←	36/1	←	36/1	←	36/1	←	←	←	←	
炉心高さ(cm)	120	←	120	←	120	←	120	←	←	←	←	
炉心等価直径(cm)	428	←	458	←	470	←	508	←	←	←	←	
比出力(GWd/t/month)	2.1	←	1.7	←	1.6	←	1.3	←	←	←	←	
炉心出力密度(W/cc)	220	←	192	←	183	←	157	←	←	←	←	
Pu富化度(IC/OC, wt%)	19.46/21.75	21.13/23.37	17.63/19.29	20.03/21.56	17.67/19.17	20.05/21.48	18.35/17.44	18.54/17.68	18.44/19.40	18.88/19.83	19.77/20.63	
燃焼反応度(βΔk/k)	4.41	5.97	2.88	4.78	3.57	5.98	2.30	2.99	4.17	5.43	5.24	
最大高速中性子束(n/cm <sup>2</sup> ・s)MDEC時	2.534E+15	2.423E+15	2.185E+15	2.041E+15	2.050E+15	1.904E+15	1.738E+15	1.727E+15	1.622E+15	1.609E+15	1.581E+15	
最大フルエンス(n/cm <sup>2</sup> )	4.79E+23	5.60E+23	5.17E+23	6.44E+23	5.17E+23	6.40E+23	5.47E+23	5.45E+23	6.82E+23	6.75E+23	7.48E+23	
最大熱出力(W/cm) <sup>*</sup> (IC/OC)	EOEC	407.8/409.6	418.8/419.6	400.0/399.3	415.4/416.1	401.6/399.7	415.2/416.3	392.9/391.7	394.0/394.2	407.6/407.5	410.7/409.5	418.5/416.9
	MDEC	394.0/391.7	392.2/397.9	392.0/319.0	393.2/398.5	392.4/384.7	388.8/395.2	389.2/381.7	388.7/381.0	389.4/392.6	385.8/391.0	393.0/399.6
	EOEC	380.3/378.7	370.8/378.9	383.7/376.5	374.7/383.3	380.2/372.8	368.9/377.2	382.5/373.8	379.3/371.1	375.2/380.8	370.7/378.5	378.7/389.4
増殖比(平衡MDEC時)	炉心	0.798	0.754	0.857	0.788	0.860	0.780	0.904	0.900	0.835	0.825	0.801
	全体	0.995	0.947	1.048	0.973	1.043	0.968	1.078	1.072	1.008	0.993	0.971
初期 Fissile-Pu量(t)	6.383	6.677	7.126	8.037	7.621	8.601	8.684	8.770	9.713	9.938	10.377	
原子炉倍増時間(年)	832.7	-	95.3	-	109.0	-	749	82.9	441.7	2040.0	-	
炉心取出平均燃焼度(MWd/t)	155,000	188,000	155,000	205,000	155,000	204,000	156,000	156,000	206,000	207,000	231,000	
出力分担率(%) (平衡MDEC時)	炉心	94.4	93.6	94.9	93.8	95.0	93.8	95.5	95.5	94.3	94.3	93.8
	軸ブラ	1.8	1.9	2.0	2.1	1.9	2.0	2.1	2.0	2.2	2.1	2.3
	径ブラ	2.7	2.9	2.5	2.9	2.3	2.6	2.1	2.0	2.4	2.3	2.6
Naボイド反応度(β)	8.3		7.6	7.9			6.7		7.0			

\*:スマッチャクター考慮, 制御棒バーク位置(制御棒組成×0.4)

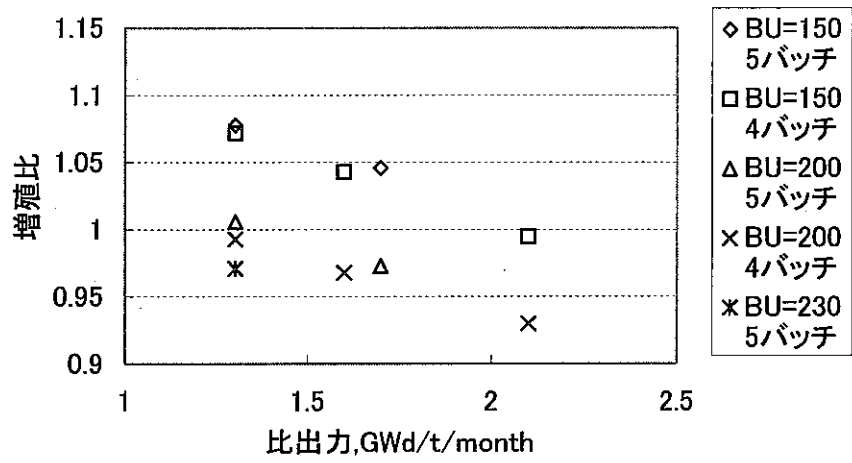


(a) 燃焼反応度と比出力の関係

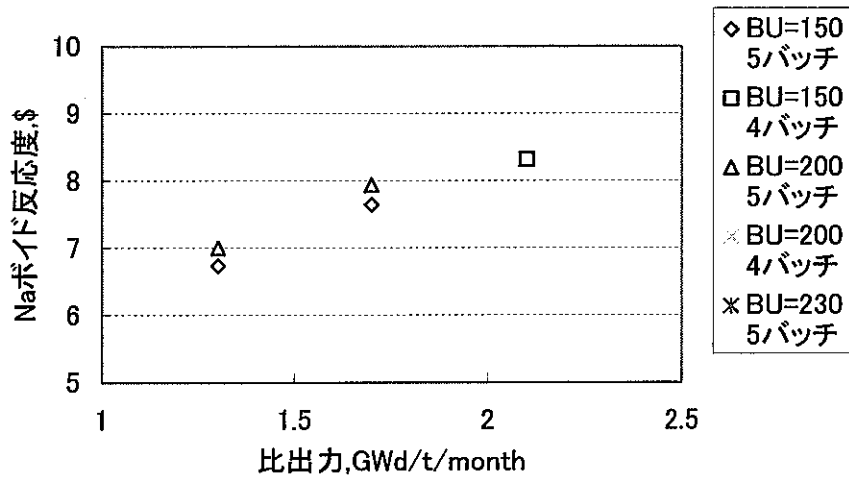


(b) ピークフルエンスを比出力の関係

図 2.8.3-1 炉心特性と比出力の関係 (1 / 2)



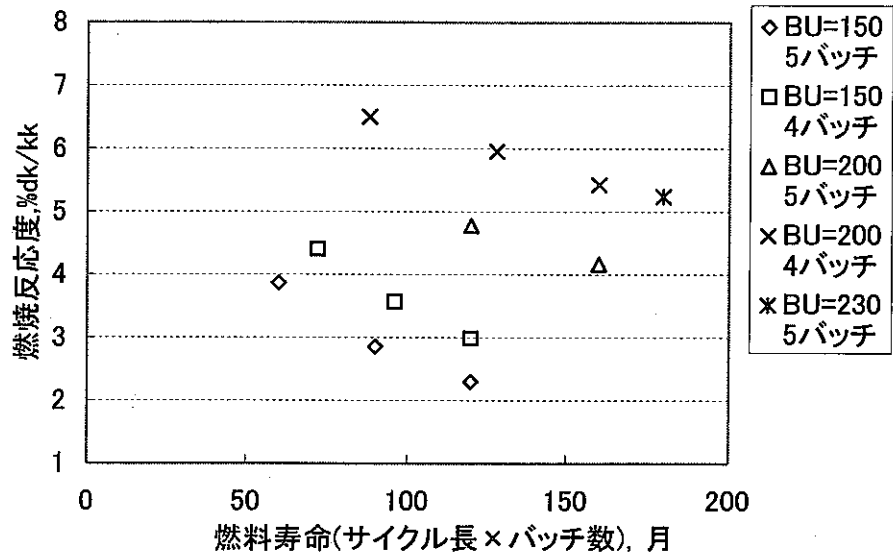
(c) 増殖比と比出力の関係



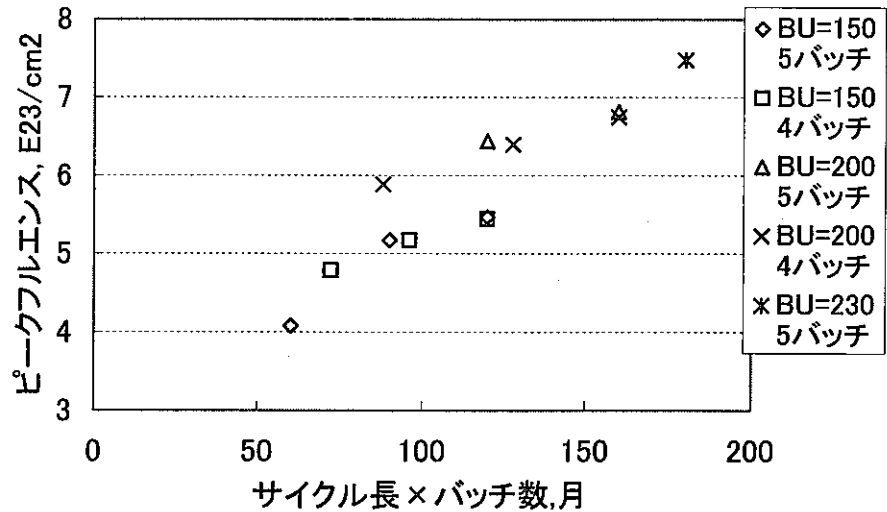
(d) Naボイド反応度と比出力の関係

図 2.8.3-1 炉心特性と比出力の関係 (1 / 2)





(a) 燃焼反応度 vs 燃料寿命



(b) ピークフルエンス vs 燃料寿命

図 2.8.3-2 炉心特性と燃料寿命の関係 (1 / 2)

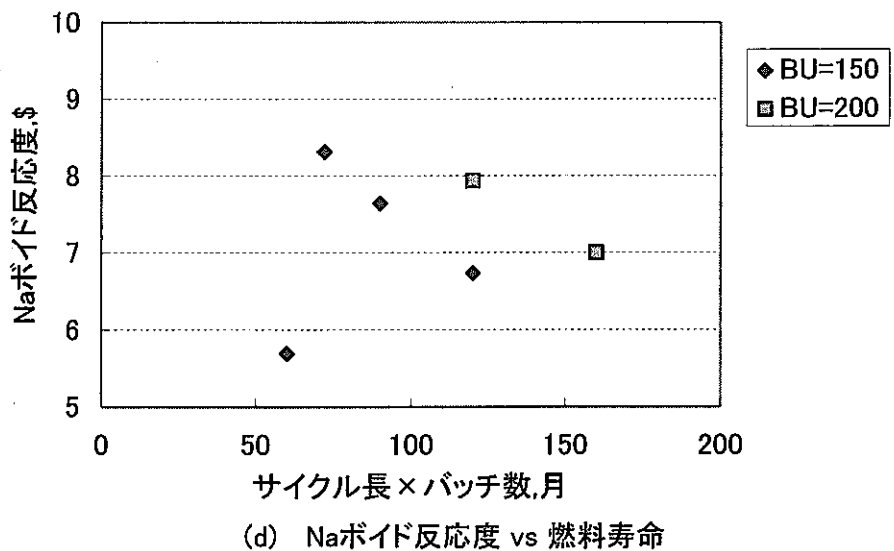
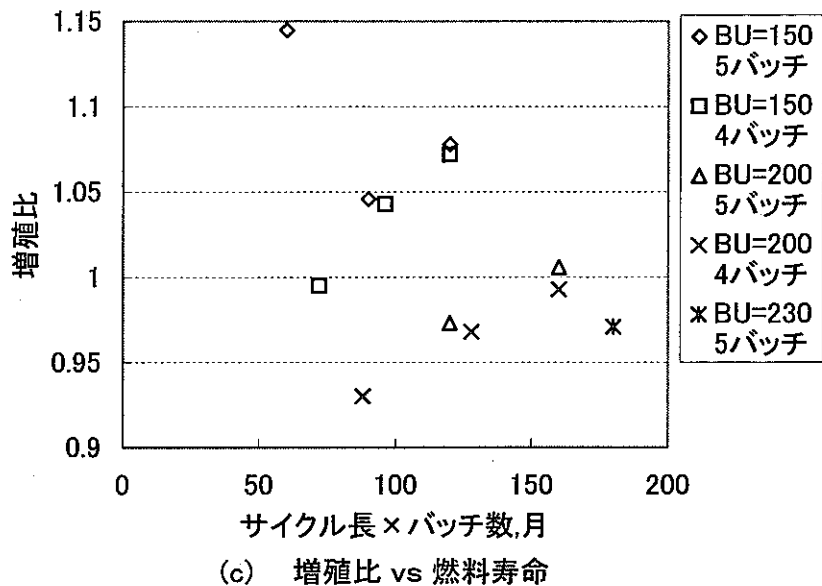
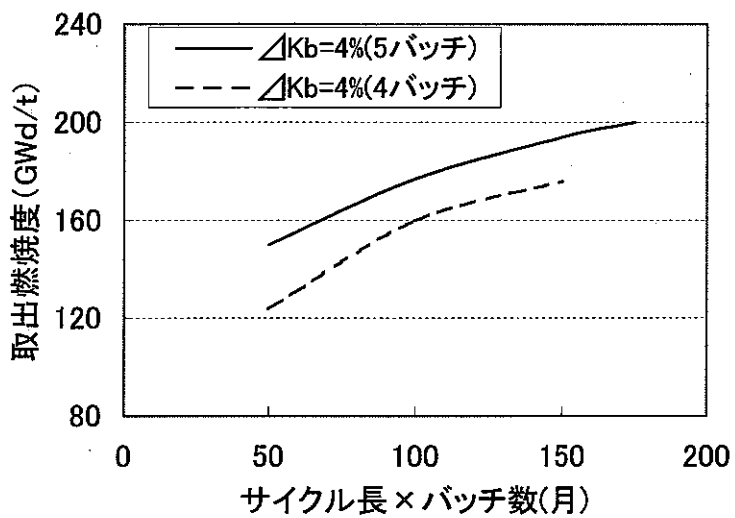
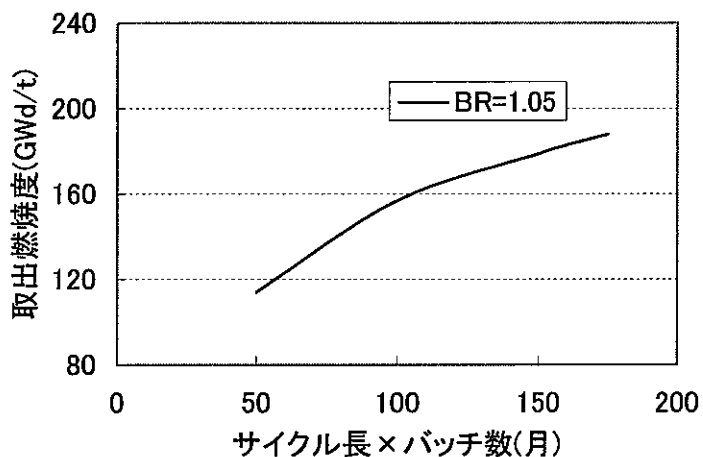


図 2.8.3-2 炉心特性と燃料寿命の関係 (1 / 2)



(a) 燃焼反応度一定時の燃焼度とサイクル長の制限



(b) 増殖比一定時の燃焼度とサイクル長の制限

図 2.8.3-3 燃焼度ないし増殖比一定条件下での燃焼度とサイクル長の制限

#### 2.8.4 まとめ

ナトリウム冷却大型酸化物燃料炉心において、運転サイクル長期化と高燃焼度化に着目した炉心特性の傾向を評価した。

長期運転サイクル・高燃焼度炉心において、適度の燃焼欠損反応度と増殖比 1.0 以上を確保するためには、炉心の比出力をかなり小さくする必要がある。ちなみに実証炉初期段階炉心（燃焼度 90GWd/t）の 2.0 GWd/t/month に対し、燃焼度 150GWd/t 炉心で 1.7、燃焼度 200GWd/t 炉心で 1.0 程度となり、炉心サイズがかなり大型化する。なお、炉心サイズの制限により比出力には下限があると考えられる。

### 3. Replaceable な倍増時間短縮炉心

#### 3.1 背景と目的

今後のFBRの実用化では燃料サイクルコスト低減に向けた高燃焼度化が指向されている。現在のプルトニウム需給状況から判断するに、当面、増殖性のニーズは小さいといえるが、2030年ごろと想定されるFBR実用化時代以降にはプルトニウム需給の変化により、増殖性への要求が高まる可能性もある。

増殖比の達成目標は、従来から1.2が目安とされてきたが、実用化FBRにおける高燃焼度+長期運転サイクルの要求と高増殖比の要求は相反する面がある。つまり、増殖性の向上が望まれる状況は、FBRから取出されるプルトニウムの一部をほかのFBRの燃料として供給する必要がある場合であり、このような状況では、倍増時間がより直接的な指標となる。

第2章で述べた長期運転サイクル炉心は、LWRと競合できる経済性を目指して、高燃焼度、長期運転サイクル、及び低燃料加工コストに力点をおいて燃料集合体仕様を選定した炉心である。本検討の目的は、長期運転サイクル炉心において燃料仕様のみの変更により、将来おこりうる倍増時間短縮の要求に答えられるReplaceableな炉心の設計見通しを確認することである。

## 3.2 設計条件及び燃料仕様設定の考え方

### 3.2.1 倍増時間短縮方策とその効果

#### (1) 倍増時間短縮方策

一般に倍増時間は、核分裂性プルトニウムインベントリ／年間増殖ゲインに比例することから、倍増時間を短縮するためには、炉心の核分裂性プルトニウムインベントリの低減及び増殖比の増大が必要である。平均線出力一定、取出燃焼度一定の条件下で核分裂性プルトニウムインベントリを小さくするための設計方策としては、

- ・ 燃料ピン細径化(→集合体当りのピン数増大+炉心有効長減)
- ・ 運転サイクル長を短縮(→プルトニウム富化度低減)がある。また、同様の条件下で増殖比を大きくするための設計方策としては、
- ・ 軸方向ブランケットを長く(→炉心有効長減)
- ・ 運転サイクル長を短縮(→プルトニウム富化度低減)がある。

#### (2) 夫々の倍増時間短縮方策の効果

第2章で検討した長期運転サイクル炉心をベースに、上記の設計方策により倍増時間あるいは増殖比がどの程度短縮されるかを2次元炉心燃焼計算によりサーベイした。その結果を以下の表3.2.1-1、表3.2.1-2及び図3.2.1-1に示す。

##### (i) 燃料ピン細径化(→集合体内ピン数増大+炉心有効長減+軸方向ブランケット厚さ増)

燃料仕様を図3.2.1-2に示す。燃料ピン細径化により核分裂性プルトニウムインベントリが小さくなるため、倍増時間は、大幅に短縮される。ただし、燃料ピンをある程度以上細径化すると増殖性(増殖比、倍増時間)は飽和する傾向にある。また、細径・多数ピン集合体の製造コストは高くなることから、燃料ピン細径化にも限度があると考えられる。

##### (ii) 運転サイクル長の短縮

燃料の照射期間(運転サイクル長 × バッチ数)一定の条件では、運転サイクル長の短縮によりプルトニウム富化度が下がり核分裂性プルトニウムインベントリが幾らか小さくなるが、倍増時間や増殖比への影響は小さい。

##### (iii) 軸方向ブランケット長の増大

炉心有効長をパラメータにした軸方向ブランケット長と増殖比の関係を図3.2.1-1に示す。軸方向ブランケットの増殖比は炉心有効長が小さいほど大きくなる。これは、炉心有効長が小さいほど軸方向への中性子リークが大きくなるためである。

軸方向ブランケットの増殖比は、軸方向ブランケット長の増大につれて大きくなるが、40cmを超えると飽和する傾向にある。

表 3.2.1-1 燃料ピン細径化の効果

燃料ピン径, mm x 炉心有効長, cm	増殖比	核分裂性プルトニウムイン ベントリ, t	原子炉倍増時間, y
9.7 x 120 (基準)	1.08	6.92	67.0
8.8 x 100	1.20	6.12	25.2
8.0 x 80	1.25	5.50	18.5

表 3.2.1-2 運転サイクル長の短縮の効果

運転サイクル長 x バッチ数	増殖比	核分裂性プルトニウムイン ベントリ, t	原子炉倍増時間, y
540 x 5 (基準)	1.08	6.92	67.0
450 x 6	1.08	6.87	65.6
386 x 7	1.08	6.84	65.4

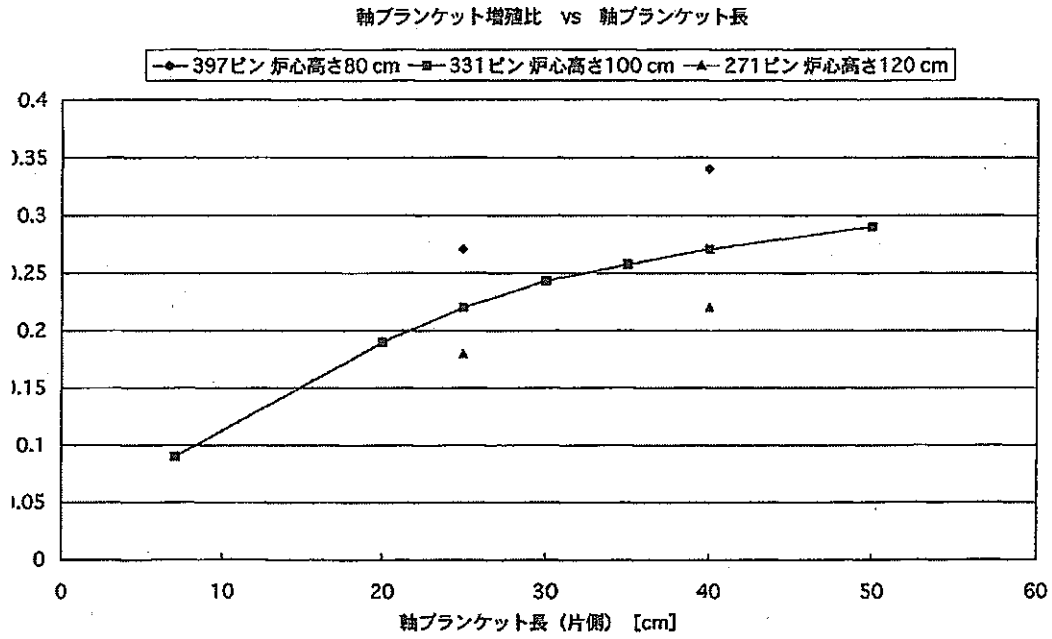


図 3.2.1-1 軸方向ブランケット長と増殖比の関係



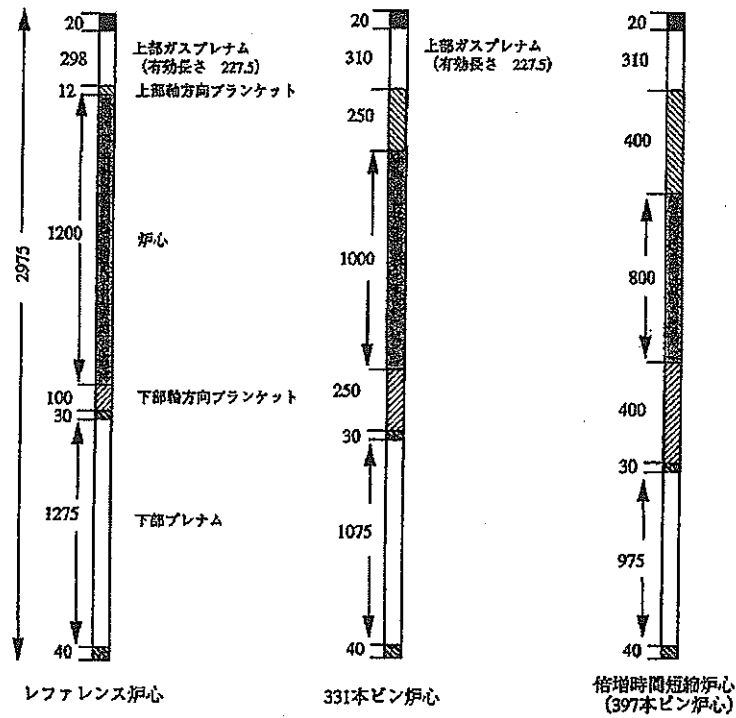


図 3.2.1-2 各炉心の燃料ピンの軸方向仕様・寸法

### 3.2.2 燃料仕様の設定

#### (1) 基本設計条件

倍増時間短縮炉心では、燃料インベントリの小さい炉心を指向するため、長期運転サイクル炉心に比べ、同一燃焼度に対して燃料照射期間を短くする必要がある。燃料交換バッチ数を変更しない場合は運転サイクル長を短くするものとする。

- ・大型炉心                   1600MWe / 3800MWt
- ・運転サイクル           12ヶ月以上
- ・高燃焼度                15万 MWd/t
- ・受動安全性強化        集合体内 SASS の導入
- ・炉心配置                長期運転サイクル炉心と Replaceable な炉心配置

#### (2) 炉心配置及び燃料仕様

炉心配置・仕様を図 3.2.2-1(a)~(c)、表 3.2.2-1 に、燃料基本仕様を表 3.2.2-2 に示す。炉心は富化度 2 領域の均質炉心構成である。炉心配置・仕様の特徴は、燃料ピン細径化、炉心有効長縮小による燃料インベントリの低減、軸方向ブランケット長の増大、及び燃料集合体内 SASS (自己作動型炉停止棒) の導入による受動安全強化である。また、切欠き型 UIS に対応可能な制御棒配置とした。

##### (i) 燃料仕様

長期運転サイクル炉心と同じ炉心圧損、CDF 制限条件下で、燃料インベントリ低減及び増殖比向上の観点から、3.2.1 節の結果を参考にして、燃料ピン径 8.0mm、炉心有効長 80cm、軸方向ブランケット上下各 40cm を選定した。集合体当たりピン本数は、集合体内 SASS を設置しない燃料集合体では 397 であるが、SASS を設置する燃料集合体では 61 ピン分を内部ダクトにあてて 336 とした。

##### (ii) 集合体内 SASS の本数

長期運転サイクル炉心と同様に、受動的安全性の強化と炉停止機構の多様性を図り得る概念として、集合体内 SASS を内側炉心の一部ないし全部の燃料集合体に導入した。SASS 反応度ワース確保の観点からは、集合体内 SASS を内側炉心の全集合体に設ける必要はないことから、SASS の体数をパラメータとして三とおりの炉心 A, B, C を構成した。集合体内 SASS の構成と機能については、下記を満足するものとする。

- ・ SASS 反応度ワースは、従来の後備系制御棒ワース相当 (100%挿入時に低温停止) 以上を確保する。

- ・ 感温型切り離し機構を備えた  $B_4C$  吸収体を集合体内ダクト上部に設置。集合体内ダクトは低圧プレナムに開放する。

(iii) 炉停止系の合理化

長期運転サイクル炉心と同様に、主炉停止系を独立2系統（A系統とB系統；夫々18本）とし、各系統に炉停止能力を持たせる（A系統かB系統のどちらか1系統のみのワンロッドスタック条件で低温停止）こととした。これに伴い従来の後備炉停止系は廃止した。A系統とB系統の制御棒は、互いに回転対称となるように配置する。

表 3.2.2-1 倍增時間短縮炉心基本仕様

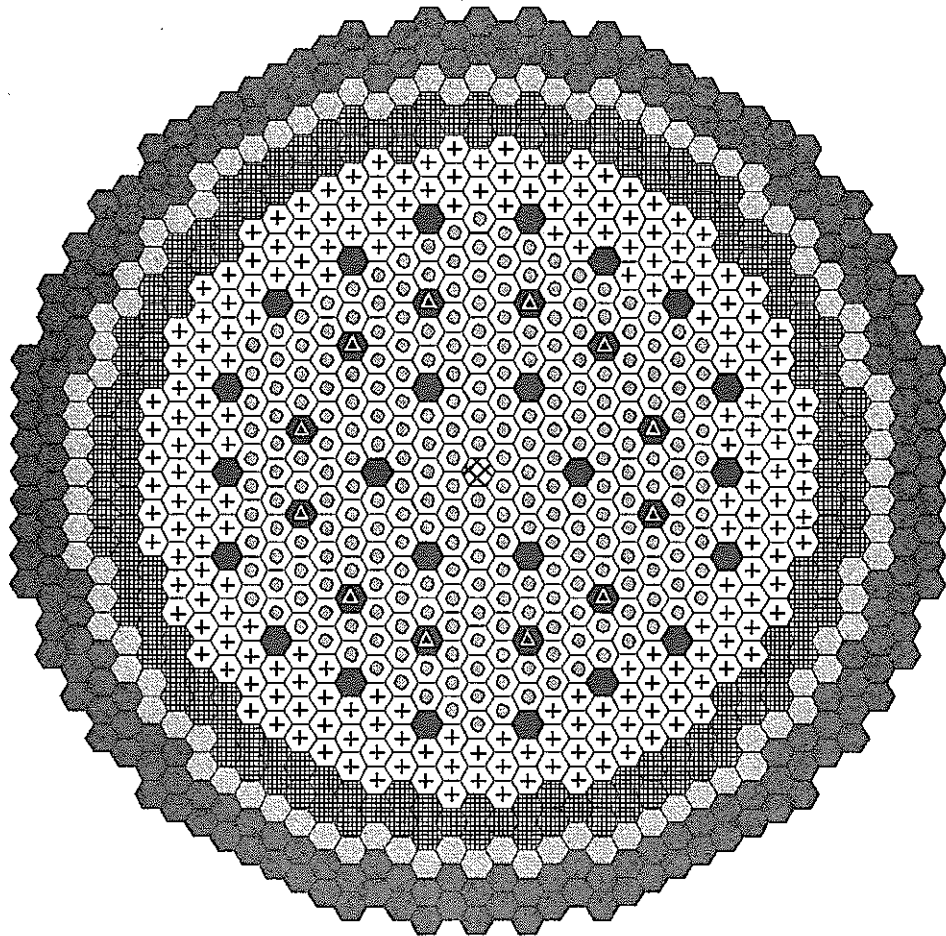
パラメータ	仕様
熱出力, MW	3800
炉心取出平均燃焼度, 万 MWd/t	15
プラントとの取合い	
遮へい体外接円径, m	6.5
制御棒外接円径, m	4.0
炉心燃料集合体数	
内側炉心 (SASS 導入集合体の内数)	252 (252/150/54) *
外側炉心	210
合計	462
制御棒本数	36
径方向ブランケット集合体数	150
炉心等価径, cm	457

\* (炉心 A / 炉心 B / 炉心 C)

表 3.2.2-2 燃料集合体基本仕様

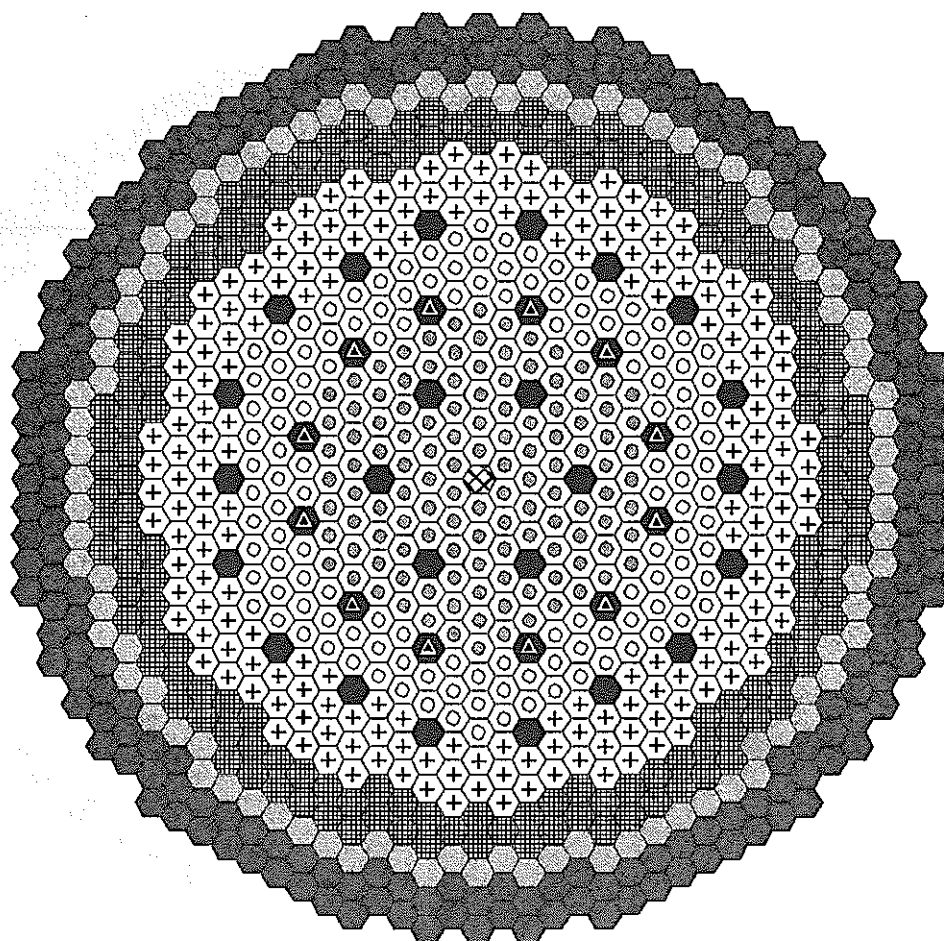
項 目	長期運転サイクル炉心	倍増時間短縮炉心
炉心燃料	酸化物燃料中空ペレット	酸化物燃料中空ペレット
炉心材料	フェライト系鋼	フェライト系鋼
炉心有効長, cm	120	80
軸方向ブランケット長 (上/下), cm	1. 2/10	40/40
集合体当り燃料ピン本数 (炉心/径方向ブランケット)	271 (234) <sup>*1</sup> /127	397 (336) <sup>*1</sup> /127
集合体配列ピッチ, mm	195. 4	195. 4
ラッパ管肉厚, mm	3	3
SASS 用内部ダクト		
外対面間距離, mm	64. 6	69. 4
肉厚, mm	1. 5	1. 5
B <sub>4</sub> C 落下時カラム長, cm	45	40
B <sub>4</sub> C 落下時体積率, %	60	60
被覆管外径 (炉心/径方向ブランケット), mm	9. 7/15. 0	8. 0/15. 0
被覆管肉厚 (炉心/径方向ブランケット), mm	0. 6/0. 4	0. 55/0. 4
ワイヤ径 (炉心/径方向ブランケット), mm	1. 4/1. 2	1. 2/1. 2
燃料スミア密度 (炉心/径方向ブランケット), %	82/91	82/91
集合体組成体積比 (炉心/径方向ブランケット), %		
燃料	46. 5 (40. 2) <sup>*1</sup> /60. 6	44. 6 (37. 7) <sup>*1</sup> /60. 6
構造材	21. 3 (19. 8) <sup>*1</sup> /13. 5	22. 7 (21. 2) <sup>*1</sup> /13. 5
冷却材	32. 2 (40. 0) <sup>*1</sup> /25. 9	32. 7 (41. 1) <sup>*1</sup> /25. 9

\*1 SASS 導入集合体



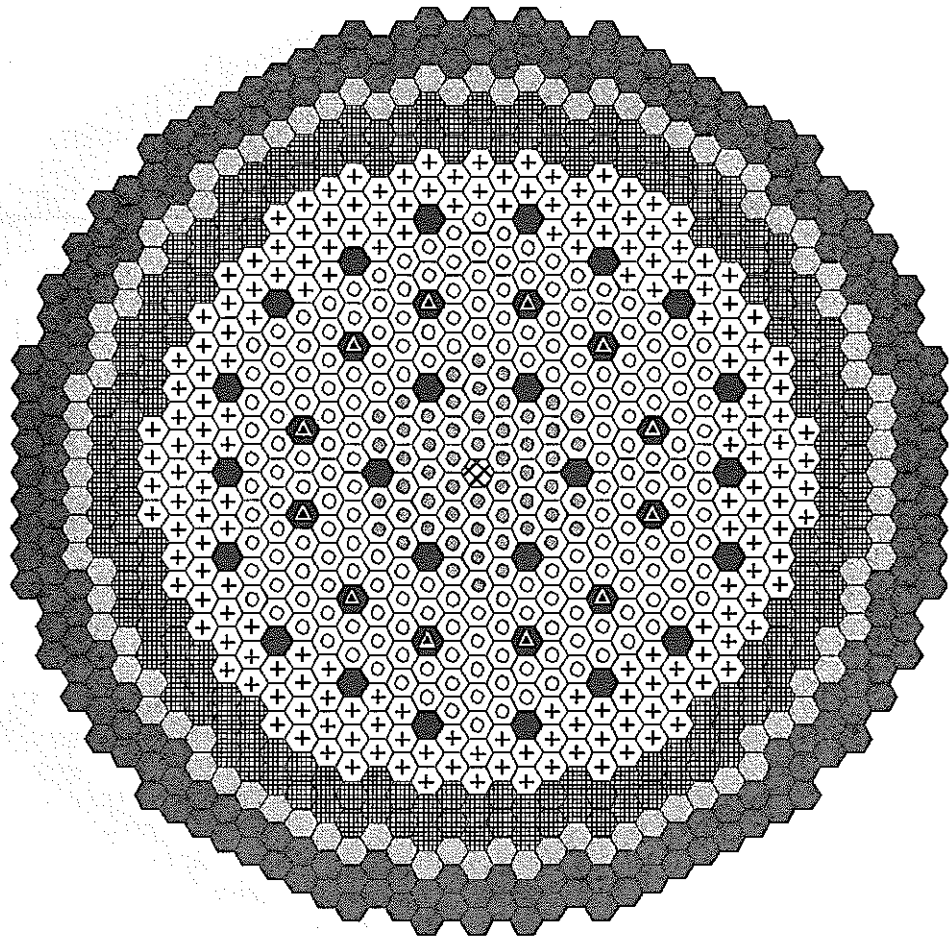
⊕	内側炉心燃料集合体 (SASS付)	252体
+	外側炉心燃料集合体	210体
⊗	径ブランケット集合体	150体
⊙	SUS遮蔽体	96体
●	B <sub>4</sub> C遮蔽体	210体
⬤	粗調整制御棒	24体
△	起動・微調整制御棒	12体
⊗	SUS集合体	1体
合 計		955体

図 3.2.2-1 (a) 倍增時間短縮炉心の炉心配置図  
(SASS 付燃料 252 体装荷炉心)



⊗	内側炉心燃料集合体 (SASS付)	120体
○	(SASS無)	132体
+	外側炉心燃料集合体	198体
⊗	径ブランケット集合体	162体
⊗	SUS遮蔽体	96体
●	B <sub>4</sub> C遮蔽体	210体
●	粗調整制御棒	24体
△	起動・微調整制御棒	12体
⊗	SUS集合体	1体
合 計		955体

図 3. 2. 2-1 (b) 倍增時間短縮炉心の炉心配置図  
(SASS 付燃料 120 体装荷炉心)



⊕	内側炉心燃料集合体 (SASS付)	54体
○	(SASS無)	198体
+	外側炉心燃料集合体	186体
⊗	径ブランケット集合体	174体
⊙	SUS遮蔽体	96体
●	B <sub>4</sub> C遮蔽体	210体
⊖	粗調整制御棒	24体
⊕	起動・微調整制御棒	12体
⊗	SUS集合体	1体
合 計		955体

図 3. 2. 2-1 (c) 倍増時間短縮炉心の炉心配置図  
(SASS 付燃料 54 体装荷炉心)



### 3.3 炉心核特性評価

#### 3.3.1 燃料倍増時間の定義

本検討では以下に示す二種類の定義による倍増時間（原子炉倍増時間、複合インベントリ倍増時間）を使用する。

##### (1) 原子炉倍増時間

一基の原子炉のみで考えた場合の倍増時間を原子炉倍増時間 RDT と称し、下記で定義される。

$$RDT = \text{初装荷核分裂性物質} / \text{年間核分裂性物質利得}$$

ここで、

初装荷核分裂性物質：新燃料装荷時の核分裂性物質インベントリ（平衡炉心）

年間核分裂性物質利得：1年当りの核分裂性物質増加量である。

##### (2) 複合インベントリ倍増時間

核分裂物質は再処理されて始めて燃料として使用できるので、サイクル全体を考えて倍増時間を定義したインベントリ倍増時間 (IDT) がより合理的である。この IDT は、核分裂性物質の増加量が、炉内及び炉外（貯蔵、再処理、輸送、加工中）に存在する核分裂性物質の合計量に等しくなるのに必要な時間である。

$$IDT = [\text{初装荷核分裂性物質} \times \text{炉外ファクター}] / [\text{年間核分裂性物質利得} \times (1 - \text{炉外核分裂性物質損失率})]$$

ここで、

初装荷核分裂性物質：新燃料装荷時の核分裂性物質インベントリ（平衡炉心）

炉外ファクター：  $1 + (\text{燃料炉外滞在期間}) / (\text{燃料炉内滞在期間})$

燃料炉外滞在期間として5年を想定

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

燃交・定検期間として3ヶ月を想定

年間核分裂性物質利得：1年当りの核分裂性物質増加量

炉外核分裂性物質損失率：再処理・加工中の核分裂性物質損失率として2%を想定

炉外 <sup>241</sup>プルトニウム崩壊は無視

である。

さらに複数の FBR が存在する場合には、複利効果により IDT の時間が経過しなくても、新たな FBR を建設するのに必要な核分裂性物質を得ることができ（複合インベントリ倍増時間 CIDT）。十分な数の FBR があると仮定すると、倍増時間の短縮ファクターは 0.693 (=ln 2) となり、

$$CIDT = 0.693 \times IDT$$

となる。

### 3.3.2 炉心核特性

#### (1) 解析手法

核データは、JENDL-3.2 修正炉定数に基づく 7 群ないし 70 群の実効核定数を使用した。2 次元 R-Z 炉心体系で CITATION-PENCIL コードを使用して、拡散・燃焼計算を行った。SASS のワースの解析では、SASS を導入した集合体を均質化した 2 次元モデルを使用した。非均質効果に対するワースの補正量は長期運転サイクル炉心の検討時に求めたものを使用した。

#### (2) 炉心核特性

2 次元燃焼解析に基づく平衡炉心の核特性評価結果を表 3.3.2-1 に示す。増殖比、ピーク線出力、取出し平均燃焼度等の主要パラメータは、今後の 3 次元解析が必要となるものもあるが、概ね設計目標を満足している。長期運転サイクル炉心に比べると、倍増時間短縮炉心では、炉心が小型化（プルトニウムインベントリが低減）したため、運転サイクル長が短いにも拘わらず、燃焼欠損反応度が大きい。

集合体内 SASS の導入体数を少なくするほど、炉心特性は改善され、倍増時間は、長期運転サイクル炉心の 87 年に対して炉心 C では 25 年まで短縮される。

表 3.3.2-1 炉心核特性

パラメータ	長期運転サイクル炉心	倍増時間短縮炉心		
		炉心 A	炉心 B	炉心 C
燃料集合体数				
SASS 有内側燃料	252	252	120	54
SASS 無内側燃料	0	0	132	198
外側燃料	210	210	198	186
運転サイクル長, efpm	18 (540 日)	12 (365 日)	12 (365 日)	12 (365 日)
燃料交換バッチ数 (炉心/径方向 ブランケット)	5/5	5/5	5/5	5/5
内側燃料/外側燃料富化度, wt%	17.1/19.4	23.6/24.8	22.3/24.5	21.6/24.7
燃焼欠損反応度, % $\Delta k/kk'$	2.7	3.9	3.7	3.6
平衡装荷核分裂性プルトニウム 量, t	1.47	1.19	1.16	1.14
増殖比	1.06	1.15	1.16	1.16
原子炉倍増時間, 年	87	30	27	25
ピーク線出力, W/cm				
内側燃料	458 (BOC)	391 <sup>*1</sup> (BOC)	394 <sup>*1</sup> (BOC)	385 <sup>*1</sup> (BOC)
外側燃料	458 (BOC)	388 <sup>*1</sup> (BOC)	397 <sup>*1</sup> (BOC)	389 <sup>*1</sup> (BOC)
ピーク高速中性子束, $10^{15}/\text{cm}^2\text{s}$	2.0	2.6	2.7	2.7
ピークフルエンス, $10^{23}/\text{cm}^2$	4.7	4.1	4.3	4.3
炉心平均取出燃焼度, GWd/t	151	155	153	153
SASS 反応度ワース <sup>*2</sup> , % $\Delta k/kk'$	5.6	6.0	3.0 <sup>*3</sup>	1.8 <sup>*3</sup>

\*1 2次元計算；ミスマッチ込みの値

\*2 必要制御反応度約 1.8%  $\Delta k/kk'$  (表 2.2.1-4 参照)

\*3 炉心 A からの外挿値

### 3.4 まとめ

長期運転サイクル炉心と replaceable な倍増時間短縮炉心の配置・仕様及びその炉心核特性について検討した。

細径燃料ピンの採用と炉心有効長の低減による炉心プルトニウムインベントリの低減、及び軸方向ブランケット長さの増大による増殖比の向上により、原子炉倍増時間を大幅に短縮することが可能である(長期運転サイクル炉心の倍増時間の約 1/3)。

また、SASS 導入集合体数を削減することにより、原子炉倍増時間を更に短縮できる見通しである。

#### 4. 燃料形態と炉心特性

前記2.で評価した長期運転サイクル炉心及び前記3.で評価した倍増時間短縮炉心に金属燃料、窒化物燃料を用いた場合の燃料基本仕様を設定し、燃料形態の違いによる炉心燃焼特性を比較した。

##### 4.1 金属燃料炉心及び窒化物燃料炉心設定の考え方

金属燃料炉心及び窒化物燃料炉心の被覆管内径、ガスプレナム長、被覆管肉厚、ワイヤ径は以下の考え方に基づき設定した。

###### (1) 被覆管内径

被覆管内径は表 4.1-1～表 4.1-3 に示すように酸化物燃料と同じ平均線出力（最大線出力 430W/cm，ピーキング係数 1.7 を仮定）、運転サイクル長、燃料交換バッチ数とそれぞれのスミア密度（金属燃料 75%、窒化物燃料 80%）で取出平均燃焼度 15 万 MWd/t が得られるように設定している。

###### (2) 被覆管肉厚

被覆管肉厚は表 4.1-1～表 4.1-3 に示すように酸化物燃料のピン径/肉厚比を基に設定している。ただし、以下の(3)に示す必要ガスプレナム長が得られない場合は、寿命末期の FP ガス圧による被覆管応力が同じ（プレナム体積×被覆管肉厚＝一定）になるように設定している。

なお、被覆管と燃料の化学的相互作用の相違は考慮していない。

###### (3) ガスプレナム長

ガスプレナム長は表 4.1-1～表 4.1-3 に示すように酸化物燃料のプレナム体積 89.2cc（上部 16.9cc、下部 72.3cc）を基に、FP ガス放出率（酸化物燃料 100%、金属燃料 80%、窒化物燃料 100%(ヘリウムボンド)/50%(ナトリウムボンド)、燃焼に伴いボンドナトリウムがガスプレナム部に移動することによるガスプレナム体積の減少分（金属燃料；燃料体積の 26%、窒化物燃料；燃料体積の 18.8%）及び温度条件（原子炉出/入口温度 550℃/395℃，上部/下部プレナム温度 675℃/395℃；平成 10 年度酸化物燃料炉心検討値）を考慮して寿命末期 FP ガス圧が同程度になるように設定している。

なお、ガスプレナム長は燃料要素長が酸化物燃料と同じになるように設定し、必要ガスプレナム長さが得られない場合は、前記(2)に示したように寿命末期の被覆管応力が同程度になるように被覆管肉厚を増加させている。

###### (4) ワイヤ径

ワイヤ径は被覆管最高温度が 685℃以下になるように流量配分（44.1kg/s；平成 10 年度酸化物燃料炉心検討値）したときに、バンドル部圧損が酸化物燃

料炉心と同じ  $3\text{kg}/\text{cm}^2$  程度（評価式；PNC-KfK 式）、かつラッパ管内対面距離が最小になるように設定している。

表 4.1-1 金属燃料炉心における被覆管内径、被覆管肉厚、プレナム長さ  
(ナトリウムポンド、FP ガス放出率 80%)

被覆管内径、被覆管肉厚

	酸化物燃料	金属燃料		備考	
	5バッチ炉心	5バッチ炉心	4バッチ炉心		
取出平均燃焼度 (MWd/t)	150000	150000	150000	被覆管内径 燃焼度=(平均線出力*燃焼日数)/ ( $\pi$ (被覆管内径/2) <sup>2</sup> *スミア密度*重金属密度) より算出。	
最大線出力 (W/cm)	430	430	430		
ピーキング係数	1.7	1.7	1.7		
運転サイクル長 (日)	540	540	540		
バッチ数	5	5	4		
スミア密度	0.82	0.75	0.75		
重金属密度 (g/cm <sup>3</sup> )	9.75	14.20	14.20		
被覆管内径 (mm)	8.5	<u>7.38</u>	<u>6.60</u>		
被覆管肉厚 (mm)	0.6	<u>0.52</u>	<u>0.47</u>		酸化物燃料のピン径/肉厚比から算出
燃料ピン外径 (mm)	9.7	<u>8.42</u>	<u>7.53</u>		
ピン径/肉厚比	16.2	16.2	16.2		

温度条件が酸化物燃料と同じ場合の必要プレナム長さ (燃料ピン1本当たり)

	酸化物燃料	金属燃料		備考
	5バッチ炉心	5バッチ炉心	4バッチ炉心	
炉心高さ (cm)	120	120	120	炉心高さ*被覆管内面積*スミア密度 燃料体積*重金属密度 酸化物プレナム体積*FPガス放出率 (4バッチ炉心の場合*4/5)
被覆管内径 (mm)	8.50	7.38	6.60	
FPガス放出率 (%)	100	80	80	
重金属密度 (g/cm <sup>3</sup> )	9.75	14.20	14.20	
スミア密度	0.82	0.75	0.75	
被覆管内面積 (cm <sup>2</sup> )	0.57	0.428	0.342	
燃料体積 (cm <sup>3</sup> )	55.8	38.5	30.8	
重金属重量 (g)	544.4	546.4	437.1	
上部プレナム長 (cm)	29.8	31.6	31.6	
上部プレナム分体積 (cm <sup>3</sup> )	16.9	13.5	10.8	
下部プレナム長 (cm)	127.5	135.4	135.4	
下部プレナム分体積 (cm <sup>3</sup> )	72.3	57.9	46.3	

温度条件考慮時の必要プレナム長さ (燃料ピン1本当たり)

	5バッチ炉心		4バッチ炉心		備考
	温度条件未考慮	温度条件考慮	温度条件未考慮	温度条件考慮	
出口温度 (°C)	550	550	550	550	温度条件は酸化物燃料と同じ に設定。  文献情報  $P=\pi RT/V=\pi RT'/V'$ より $V'=T'/T*V$
入口温度 (°C)	395	395	395	395	
上部プレナム温度 (°C)	675	675	675	675	
下部プレナム温度 (°C)	395	395	395	395	
被覆管内面積 (cm <sup>2</sup> )	0.428	0.428	0.342	0.342	
上部プレナム分体積 (cm <sup>3</sup> )	13.5	13.5	10.8	10.8	
下部プレナム分体積 (cm <sup>3</sup> )	57.9	82.1	46.3	65.7	
燃料体積, Na液位増分割合 (%)	-	26.0	-	26.0	
プレナム体積減少分 (cm <sup>3</sup> )	-	13.3	-	10.7	
上部プレナム長さ (cm)	31.6	<u>255.0</u>	31.6	<u>255.0</u>	
下部プレナム長さ (cm)	135.4	-	135.4	-	

表 4.1-2 窒化物燃料炉心における被覆管内径、被覆管肉厚、プレナム長さ  
(ヘリウムボンド、FP ガス放出率 100%) [1/2]

被覆管内径、被覆管肉厚

	酸化物燃料 5バッチ炉心	窒化物燃料		備考	
		5バッチ炉心	4バッチ炉心		
取出平均燃焼度 (MWd/t)	150000	150000	150000	被覆管内径 燃焼度=(平均線出力*燃焼日数)/ ( $\pi$ (被覆管内径/2) <sup>2</sup> *スミア密度*重金属密度) より算出。	
最大線出力 (W/cm)	430	430	430		
ピーキング係数	1.7	1.7	1.7		
運転サイクル長(日)	540	540	540		
バッチ数	5	5	4		
スミア密度	0.82	0.80	0.80		
重金属密度 (g/cm <sup>3</sup> )	9.75	13.52	13.52		
被覆管内径 (mm)	8.5	<u>7.32</u>	<u>6.55</u>		
被覆管肉厚 (mm)	0.6	<u>0.52</u>	<u>0.46</u>		酸化物燃料のピン径/肉厚比から算出
燃料ピン外径 (mm)	9.7	<u>8.35</u>	<u>7.47</u>		
ピン径/肉厚比	16.2	16.2	16.2		

温度条件が酸化物燃料と同じ場合の必要プレナム長さ (燃料ピン1本当たり)

	酸化物燃料 5バッチ炉心	窒化物燃料		備考	
		5バッチ炉心	4バッチ炉心		
炉心高さ (cm)	120	120	120	炉心高さ*被覆管内面積*スミア密度 燃料体積*重金属密度	
被覆管内径 (mm)	8.50	7.32	6.55		
FPガス放出率 (%)	100	100	100		
重金属密度 (g/cm <sup>3</sup> )	9.75	13.52	13.52		
スミア密度	0.82	0.80	0.80		
被覆管内面積 (cm <sup>2</sup> )	0.57	0.421	0.337		
燃料体積 (cm <sup>3</sup> )	55.8	40.4	32.3		
重金属重量 (g)	544.4	546.4	437.1		
上部プレナム長 (cm)	29.8	40.2	40.2		酸化物プレナム体積*FPガス放出率 (4バッチ炉心の場合*4/5)
上部プレナム分体積 (cm <sup>3</sup> )	16.9	16.9	13.5		
下部プレナム長 (cm)	127.5	171.9	171.9		
下部プレナム分体積 (cm <sup>3</sup> )	72.3	72.3	57.9		

CRパーキング位置考慮時の必要プレナム長さ (燃料ピン1本当たり)

	5バッチ炉心		4バッチ炉心		備考
	CR <sup>A</sup> -キング 未考慮	CR <sup>A</sup> -キング 考慮	CR <sup>A</sup> -キング 未考慮	CR <sup>A</sup> -キング 考慮	
出口温度 (°C)	550	550	550	550	温度条件は酸化物燃料と同じ に設定。
入口温度 (°C)	395	395	395	395	
上部プレナム温度 (°C)	675	675	675	675	
下部プレナム温度 (°C)	395	395	395	395	
被覆管内面積 (cm <sup>2</sup> )	0.421	0.421	0.337	0.337	CRパーキング位置考慮時は上部 プレナム長が29.8cmになるよう に設定
上部プレナム分体積 (cm <sup>3</sup> )	16.9	12.5	13.5	10.0	
下部プレナム分体積 (cm <sup>3</sup> )	72.3	75.4	57.9	60.3	
上部プレナム長さ (cm)	40.2	<u>29.8</u>	40.2	<u>29.8</u>	P= $nRT/V=nRT'/V'$ より V'=T'/T*V
下部プレナム長さ (cm)	171.9	<u>179.2</u>	171.9	<u>179.2</u>	



表 4.1-3 窒化物燃料炉心における被覆管内径、被覆管肉厚、プレナム長さ  
(ヘリウムボンド、FP ガス放出率 100%) [2/2]

被覆管内径、被覆管肉厚

	酸化物燃料 5バッチ炉心	窒化物燃料		備考
		5バッチ炉心	4バッチ炉心	
取出平均燃焼度 (MWd/t)	150000	150000	150000	被覆管内径 燃焼度=(平均線出力*燃焼日数)/ ( $\pi$ (被覆管内径/2) <sup>2</sup> *スミア密度*重金属密度) より算出。  酸化物燃料のピン径/肉厚比から算出
最大線出力 (W/cm)	430	430	430	
ピーキング係数	1.7	1.7	1.7	
運転サイクル長(日)	540	540	540	
バッチ数	5	5	4	
スミア密度	0.82	0.80	0.80	
重金属密度 (g/cm <sup>3</sup> )	9.75	13.52	13.52	
被覆管内径 (mm)	8.5	<u>7.32</u>	<u>6.55</u>	
被覆管肉厚 (mm)	0.6	<u>0.52</u>	<u>0.46</u>	
燃料ピン外径 (mm)	9.7	<u>8.35</u>	<u>7.47</u>	
ピン径/肉厚比	16.2	16.2	16.2	

温度条件が酸化物燃料と同じ場合の必要プレナム長さ (燃料ピン1本当たり)

	酸化物燃料 5バッチ炉心	窒化物燃料		備考
		5バッチ炉心	4バッチ炉心	
炉心高さ (cm)	120	120	120	炉心高さ*被覆管内面積*スミア密度 燃料体積*重金属密度  酸化物プレナム体積*FPガス放出率 (4バッチ炉心の場合*4/5)
被覆管内径 (mm)	8.50	7.32	6.55	
FPガス放出率 (%)	100	50	50	
重金属密度 (g/cm <sup>3</sup> )	9.75	13.52	13.52	
スミア密度	0.82	0.80	0.80	
被覆管内面積 (cm <sup>2</sup> )	0.57	0.421	0.337	
燃料体積 (cm <sup>3</sup> )	55.8	40.4	32.3	
重金属重量 (g)	544.4	546.4	437.1	
上部プレナム長 (cm)	29.8	20.1	20.1	
上部プレナム分体積 (cm <sup>3</sup> )	16.9	8.5	6.8	
下部プレナム長 (cm)	127.5	85.9	85.9	
下部プレナム分体積 (cm <sup>3</sup> )	72.3	36.2	28.9	

温度条件考慮時の必要プレナム長さ 燃料

	5バッチ炉心		4バッチ炉心		備考
	温度条件未考慮	温度条件考慮	温度条件未考慮	温度条件考慮	
出口温度 (°C)	550	550	550	550	温度条件は酸化物燃料と同じ に設定。
入口温度 (°C)	395	395	395	395	
上部プレナム温度 (°C)	675	675	675	675	
下部プレナム温度 (°C)	395	395	395	395	
被覆管内面積 (cm <sup>2</sup> )	0.421	0.421	0.337	0.337	
上部プレナム分体積 (cm <sup>3</sup> )	8.5	8.5	6.8	6.8	プレナム体積減少分 被覆管-ペレットのギャップ中の Naがプレナム部に移動したと仮定 [100/(80/95)-100]
下部プレナム分体積 (cm <sup>3</sup> )	36.2	51.3	28.9	41.1	
燃料体積, Na液位増分割合 (%)	-	18.8	-	18.8	
プレナム体積減少分 (cm <sup>3</sup> )	-	9.5	-	7.6	
上部プレナム長さ (cm)	20.1	<u>164.5</u>	20.1	<u>164.5</u>	$P=RT/V=RT'/V'$ より $V'=T'/T*V$
下部プレナム長さ (cm)	85.9	-	85.9	-	

## 4.2 長期運転サイクル炉心

### 4.2.1 燃料仕様、炉心サイズ等の比較検討

#### (1) 炉心基本仕様及び燃料基本仕様

炉心基本仕様及び燃料基本仕様を表 4.2.1-1 に示す。

主な炉心基本仕様及び燃料基本仕様を以下に示す。

- ・ 炉心熱出力 3800MWth
- ・ バッチ数 5 バッチ, 4 バッチ
- ・ 炉心有効長 120cm
- 1.2(0)cm/10cm
- ・ 燃料ピン本数(内部ダクト有/無) 234 本/271 本
- ・ ラッパ管肉厚 3mm
- ・ ワイヤ巻き付きピッチ 150mm
- ・ 運転サイクル長 18 ヶ月
- ・ 取出平均燃焼度 15 万 MWd/t
- ・ 軸方向ブランケット長
- ・ 集合体間ギャップ 3mm
- ・ バンドル部圧損 3kg/cm<sup>2</sup>程度

表中に示す金属燃料、窒化物燃料の被覆管内径、ガスプレナム長、被覆管肉厚、ワイヤ径は前記 4.1 の考え方にに基づきそれぞれ設定している。なお、軸方向ブランケットは各燃料形態の炉心燃料部と径方向ブランケットは酸化燃料と同じ実効燃料体積比 (55%程度) になるように仕様を設定している。

#### (2) 炉心配置

炉心配置図を図 4.2.1-1 に示す。

炉心は内側炉心燃料集合体 252 体、外側炉心燃料集合体 210 体、径方向ブランケット集合体 150 体、SUS 遮へい体 96 体、B<sub>4</sub>C 遮へい体 210 体、制御棒 36 体、SUS 集合体 1 体の合計 955 体で構成されている。

#### (3) 燃料仕様・炉心サイズ等の比較

主な燃料仕様及び炉心サイズを比較して図 4.2.1-2 に示す。

##### (i) 燃料ピン径

燃料ピン径を酸化燃料と比較すると金属燃料が 0.6mm~0.7mm 程度、ヘリウムボンド窒化物燃料が 0.9mm 程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 1.2mm~1.3mm 程度小さくなる。

##### (ii) 集合体配列ピッチ

集合体配列ピッチを酸化燃料と比較すると金属燃料が 8mm~10mm 程度、ヘリウムボンド窒化物燃料が 12mm~13mm 程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 15mm~17mm 程度小さくなる。

(iii) 実効燃料体積比

実効燃料体積比を酸化物燃料と比較すると金属燃料が 8%程度、ヘリウムボンド窒化物燃料 6%程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 5%程度小さくなる。ただし、重元素密度比を考慮すると金属燃料が 3%~4%程度、ヘリウムボンド窒化物燃料 5%程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 6%~7%程度大きくなる。

(iv) 炉心等価直径

炉心等価直径を酸化物燃料炉心と比較すると金属燃料炉心が 20cm 程度、ヘリウムボンド窒化物燃料 30cm 程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 40cm 程度小さくなる。

表 4.2.1-1 長期運転サイクル炉心における各燃料形態の炉心基本仕様・燃料基本仕様

燃料	酸化物燃料 (Heボンド)		金属燃料 (Naボンド)		窒化物燃料 (Heボンド)		窒化物燃料 (Naボンド)	
	5バッチ炉心	4バッチ炉心	5バッチ炉心	4バッチ炉心	5バッチ炉心	4バッチ炉心	5バッチ炉心	4バッチ炉心
ボンド材	He	←	Na	←	He	←	Na	←
FPガス放出率 (%)	100	←	80	←	100	←	50	←
原子炉熱出力 (MW)	3800	←	←	←	←	←	←	←
運転サイクル長 (月)	18	←	←	←	←	←	←	←
燃料交換バッチ数	5	4	5	4	5	4	5	4
集合体数 (体 ; IC/OC/RB)	252/210/150	←	252/210/150 (84)	←	←	←	←	←
炉心高さ/燃料要素長 (cm)	120/297.5	←	←	←	←	←	←	←
軸ブランケット長 (cm ; 上/下)	1.2/10.0	←	0/10.0	←	1.2/10.0	←	←	←
ガスプレナム長 (cm ; 上/下) *1	29.8/127.5	←	161.5/0	←	29.8/127.5	←	160.3/0	←
ピン本数 (本 ; 内部ダクト付/無)	234/271	←	←	←	←	←	←	←
スミア密度 (%)	82	←	75	←	80	←	←	←
被覆管内径 (mm) *2	8.5	7.6	7.38	6.60	7.32	6.55	7.32	6.55
被覆管肉厚 (mm) *1	0.6	0.55	0.82	0.75	0.73	0.65	0.54	0.48
被覆管外径 (mm)	9.7	8.7	9.02	8.10	8.78	7.85	8.40	7.51
ラッパ管肉厚 (mm)	3	←	←	←	←	←	←	←
集合体間ギャップ (mm)	3	←	←	←	←	←	←	←
ワイヤ径 (mm) *3	1.40	1.60	1.50	1.70	1.55	1.75	1.65	1.85
ワイヤ巻付ピッチ (mm)	150	←	←	←	←	←	←	←
ポロシティ/リング (mm/ring)	0.086	←	←	←	←	←	←	←
集合体配列ピッチ (mm)	195.4	182.4	185.9	174.1	182.8	170.9	178.2	167.0
等価直径 (cm ; 炉心/径ブランケット)	458/523	428/488	436/497 (471)	408/466 (441)	429/489 (463)	401/457 (433)	418/477 (452)	392/447 (423)
実効燃料体積比 (%) ; IC/OC/平均)	32.9/38.2/35.3	30.2/35.0/32.4	25.1/29.0/26.9	22.9/26.5/24.5	27.2/31.5/29.2	24.9/28.9/26.7	28.6/33.2/30.7	26.1/30.2/28.0
MOXとのHM密度比をweight (%) ; 平均)	-	-	39.2	35.7	40.5	37.0	42.6	38.8
構造材体積比 *4	21.3	21.5	27.0	26.9	25.4	25.1	21.8	21.9
冷却材体積比 *4	32.2	35.8	34.2	37.8	35.1	38.7	36.8	40.3

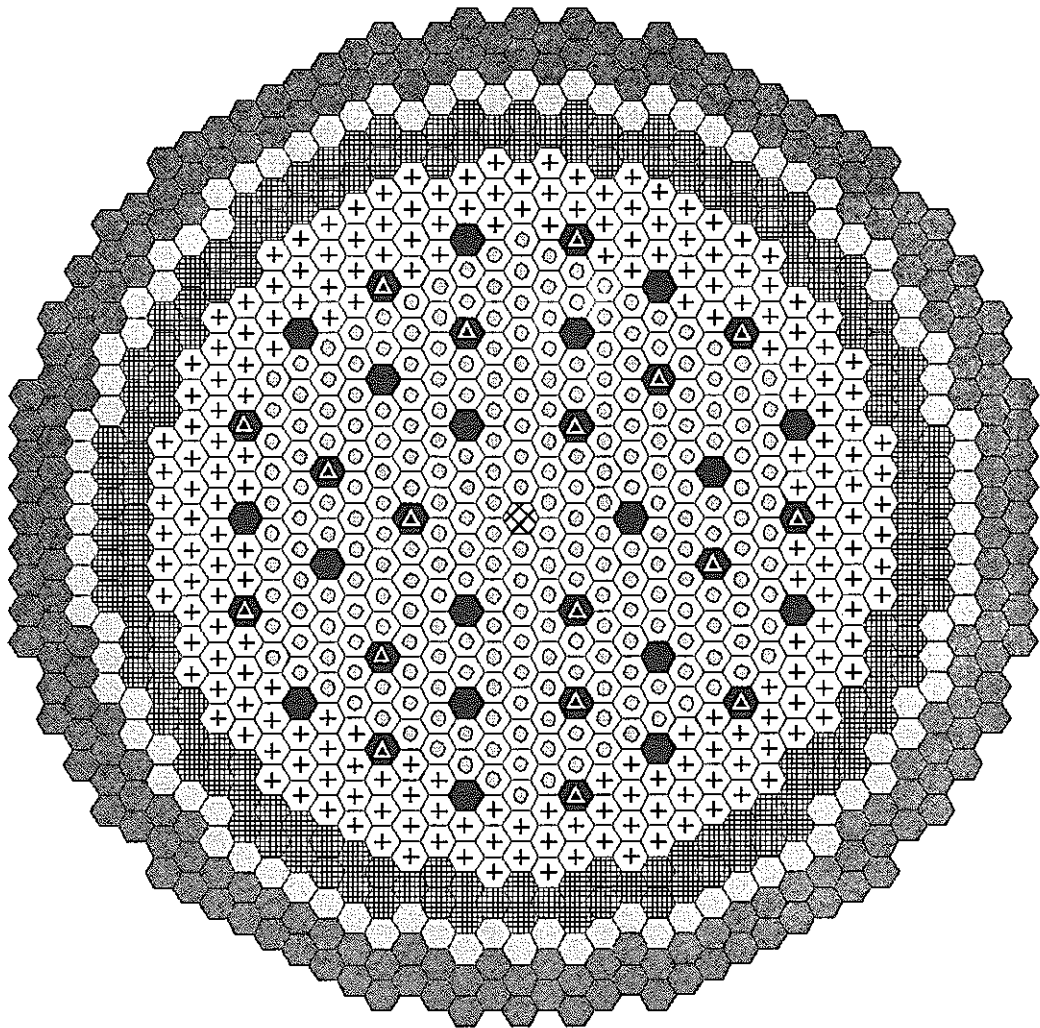
\*1 : 酸化物燃料の仕様を基に寿命末期の被覆管応力が同じになるように設定。

\*2 : 18ヶ月運転で取出平均燃焼度15万MWd/tが得られるように設定。

[Pu同位体組成] : [Pu238/Pu239/Pu240/Pu241/Pu242/Am241=3/52/27/9.5/7/1.5]

\*3 : バンドル部圧損が酸化物燃料と同じになるように設定。

\*4 : 内部ダクト領域内を除く。



⊕	内側炉心燃料集合体 (内部ダクト付)	252体
+	外側炉心燃料集合体	210体
⊞	径ブランケット集合体	150体(84)
⊕	SUS遮蔽体	96体(90)
●	B <sub>4</sub> C遮蔽体	210体(198)
●	A系統炉停止制御棒	18体
△	B系統炉停止制御棒	18体
⊗	SUS集合体	1体
合 計		955体(871)

( )内は径ブランケットを1層にしたケース

図 4.2.1-1 大型長期運転サイクル炉心の炉心配置図  
(内部ダクト付燃料 252 体装荷炉心)

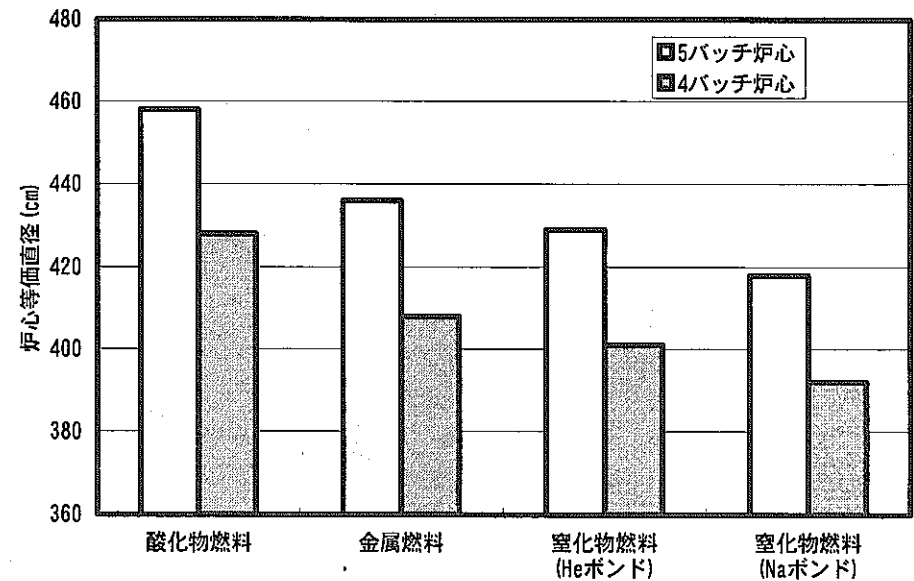
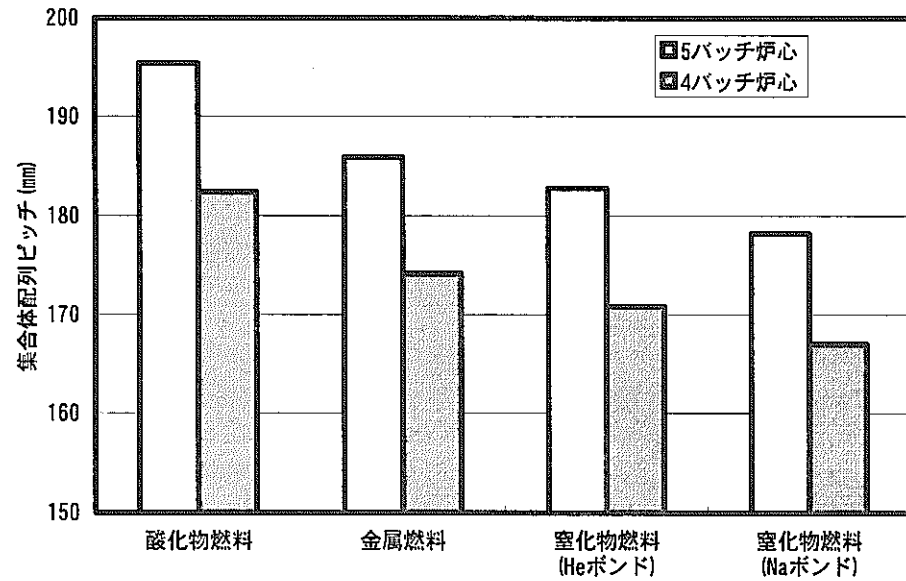
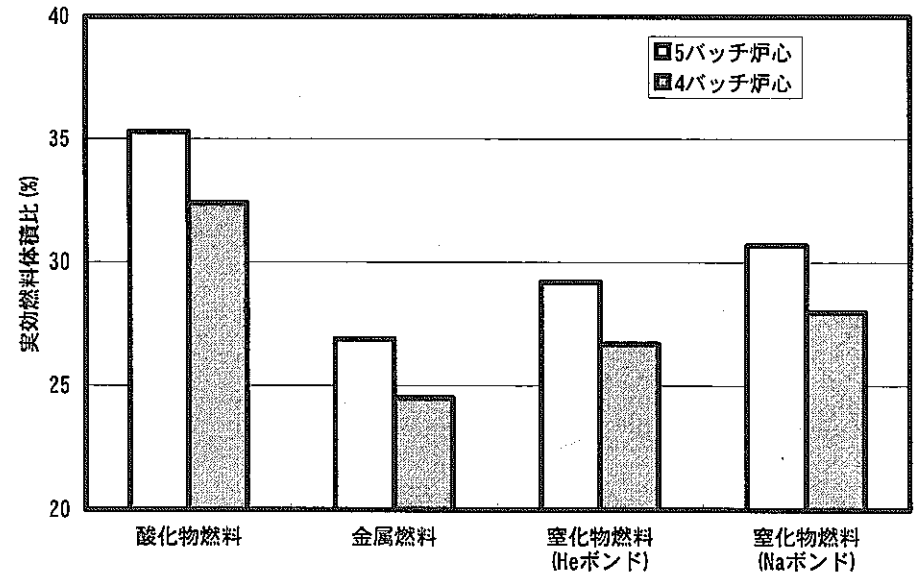
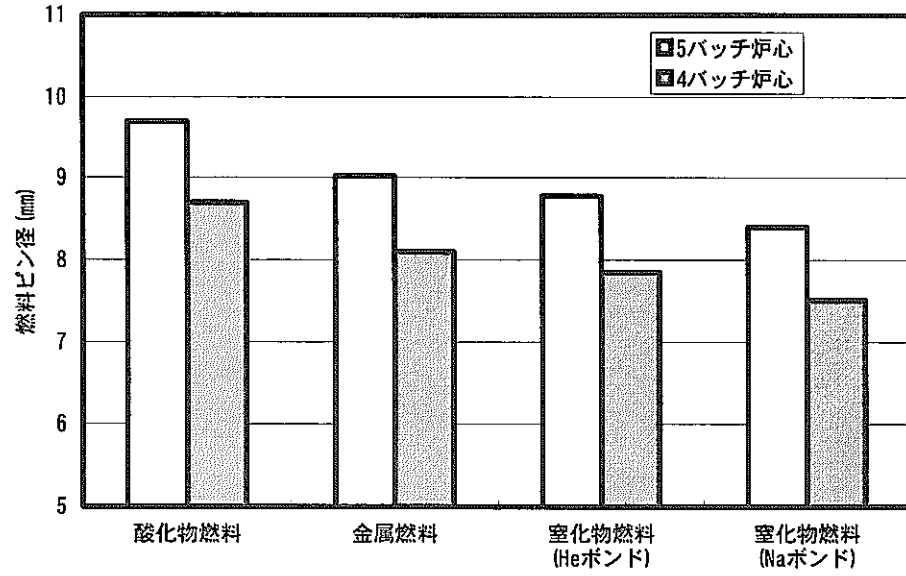


図 4.2.1-2 長期運転サイクル炉心における燃料形態の違いによる主な炉心・燃料基本仕様の比較

## 4.2.2 炉心燃焼特性の比較検討

### (1) 解析方法

解析方法を以下に示す。

- ・ 炉心体系                                2次元 R-Z 体系
- ・ 計算コード                             SLAROM,JOINT,CITATION
- ・ 断面積ライブラリ                     JFS3J32.ADJ98.Y9902 (JENDL-3.2 統合炉定数)
- ・ エネルギー群数                       7群 (燃焼特性計算時)  
70群 (ボイド反応度計算時)

プルトニウム富化度設定条件は燃焼ミスマッチファクタを考慮した内側炉心と外側炉心の最大線出力が同程度になるように、かつ平衡サイクル末期の実効増倍率が 1.002 になるように設定した。また、ボイド反応度は各炉心領域のナトリウムをボイド化 (内部ダクト領域内を除く) して計算している。

なお、金属燃料炉心及び窒化物燃料炉心については、径方向ブランケットを 1 層削減したケースについても解析を行った。

### (2) 解析結果

#### (i) 炉心燃焼特性

炉心燃焼特性解析結果を表 4.2.2-1～表 4.2.2-3 及び図 4.2.2-1～図 4.2.2-2 に示す。

#### (a) 炉心平均プルトニウム富化度

酸化物燃料と金属燃料、窒化物燃料の炉心平均プルトニウム富化度を比べると、金属燃料が 3wt%程度、ヘリウムボンド窒化物燃料が 3wt%程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 4wt%程度小さくなる。なお、径方向ブランケットを 1 層削減しても炉心平均プルトニウム富化度はほとんど変化しない。

#### (b) 初装荷核分裂性プルトニウム量

酸化物燃料と金属燃料、窒化物燃料の初装荷核分裂性プルトニウム量を比べると、金属燃料が 0.9t～1.2t 程度、ヘリウムボンド窒化物燃料が 1t～1.2t 程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 1.2t～1.5t 程度小さくなる。参考に、各燃料形態の領域別物質収支を表 4.2.2-4～表 4.2.2-7 に示す。

#### (c) 燃焼反応度

酸化物燃料と金属燃料、窒化物燃料の燃焼反応度を比べると、金属燃料

が1%  $\Delta k/kk'$  程度、ヘリウムボンド窒化物燃料が1%  $\Delta k/kk'$  程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が1.5%  $\Delta k/kk'$  程度小さくなる。なお、径方向ブランケットを1層削減しても燃焼反応度はほとんど変化しない。

(d) 増殖比

酸化物燃料と金属燃料、窒化物燃料の増殖比を比べると、金属燃料、窒化物燃料とも0.1程度大きくなる。なお、金属燃料、窒化物燃料の径方向ブランケットを1層削減しても、径方向ブランケットを2層配置した酸化物燃料以上の増殖比が得られる。

(e) 最大高速中性子照射量

酸化物燃料と金属燃料、窒化物燃料の最大高速中性子照射量を比べると、金属燃料が40%程度、ヘリウムボンド窒化物燃料が20%程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が30%程度大きくなる。

参考に、各燃料形態の炉心中心領域での中性子束分布を図4.2.2-3に、径方向高速中性子束分布を図4.2.2-4に示す。

(f) ナトリウムボイド反応度

酸化物燃料と金属燃料、窒化物燃料のナトリウムボイド反応度を比べると、金属燃料が1%  $\Delta k/kk'$  程度、窒化物燃料が $\sim 0.5\%$   $\Delta k/kk'$  程度大きくなる。

(ii) 金属燃料炉心における炉心有効長と燃焼特性の関係

金属燃料炉心において、炉心有効長を120cm(271ピン体系)と100cm(331ピン体系)にしたケースの燃焼特性を比較して図4.2.2-5に示す。

同一条件で炉心有効長を120cmから100cmに変更すると炉心等価直径は20cm程度大きくなるものの燃焼特性はほとんど変化しない。また、このときのナトリウムボイド反応度は炉心有効長の減少に伴い0.4%  $\Delta k/kk'$  程度小さくなる。

(iii) 窒化物燃料炉心におけるボンド材、FPガス放出率と燃焼特性の関係

窒化物燃料炉心において、ヘリウムボンド(FPガス放出率50%,100%)、ナトリウムボンド(FPガス放出率20%,50%)にしたケースの燃焼特性を図4.2.2-6に示す。

同一条件ではFPガス放出率が10%変化すると炉心平均プルトニウム富化度は0.3wt%程度、径方向ブランケットまでの等価直径が5cm程度、燃焼反応度が0.2%  $\Delta k/kk'$  程度、増殖比は0.01程度変化する。



表 4.2.2-1 長期運転サイクル炉心における各燃料形態の燃焼特性 (2次元 R-Z 計算)

燃料	酸化物燃料 (Heボンド)		金属燃料 (Naボンド)		窒化物燃料 (Heボンド)		窒化物燃料 (Naボンド)		
	5バッチ炉心	4バッチ炉心	5バッチ炉心	4バッチ炉心	5バッチ炉心	4バッチ炉心	5バッチ炉心	4バッチ炉心	
Pu富化度 (wt% ; IC/OC/平均) *1	18.3/20.0/19.1	20.1/22.5/21.3	14.6/17.4/15.9	16.9/19.3/18.1	15.2/17.1/16.1	17.1/19.5/18.2	14.3/16.3/15.3	16.2/18.6/17.3	
初装荷Puf量 (t)	7.39	6.58	6.24	5.67	6.23	5.63	5.89	5.36	
取出平均燃焼度 (万Mwd/t)	15.5	15.5	15.1	15.2	15.4	15.4	15.4	15.4	
燃焼反応度 (% Δk/kk')	3.1	4.7	2.1	3.7	2.0	3.6	1.6	3.1	
増殖比 (-) [炉心部/ブランケット/合計]	BOEC	0.84/0.18/1.02	0.78/0.19/0.97	0.90/0.22/1.12	0.84/0.22/1.06	0.91/0.22/1.13	0.85/0.22/1.07	0.95/0.21/1.16	0.88/0.22/1.10
	MOEC	0.84/0.18/1.02	0.78/0.19/0.97	0.90/0.22/1.12	0.83/0.23/1.06	0.91/0.21/1.12	0.85/0.22/1.07	0.94/0.21/1.15	0.87/0.23/1.10
	EOEC	0.83/0.20/1.03	0.78/0.21/0.99	0.87/0.23/1.10	0.82/0.25/1.07	0.88/0.22/1.10	0.83/0.24/1.07	0.90/0.22/1.12	0.85/0.24/1.09
	平均	0.83/0.19/1.02	0.78/0.20/0.98	0.89/0.23/1.12	0.83/0.23/1.06	0.90/0.22/1.12	0.84/0.23/1.07	0.93/0.21/1.14	0.87/0.23/1.10
最大線出力 *2 [内側炉心/外側炉心]	BOEC	402/404	411/413	388/392	400/402	385/391	400/400	385/387	398/397
	MOEC	392/391	394/395	391/377	394/383	389/376	393/381	390/374	395/378
	EOEC	383/380	379/380	387/365	385/366	386/365	384/365	388/364	386/363
出力分担率 (%) [炉心/軸ブラ/径ブラ]	BOEC	95.9/1.8/2.3	95.9/1.6/2.4	95.2/1.8/3.0	95.4/1.6/3.0	95.3/2.0/2.7	95.3/1.8/2.9	95.2/1.9/2.8	95.2/1.7/3.0
	MOEC	94.9/1.9/2.4	94.4/1.7/2.6	94.6/1.9/3.2	94.2/1.8/3.2	94.7/2.1/2.8	94.2/1.9/3.1	94.8/2.0/3.0	94.3/1.8/3.3
	EOEC	94.2/2.4/3.3	93.7/2.4/3.8	93.3/2.5/4.2	92.9/2.4/4.7	93.5/2.7/3.7	92.9/2.6/4.4	93.5/2.5/3.9	92.8/2.5/4.6
最大高速中性子束 (n/cm <sup>2</sup> ・s ; 平均)	2.13E+15	2.48E+15	2.93E+15	3.34E+15	2.62E+15	3.03E+15	2.70E+15	3.12E+15	
最大高速中性子照射量 (n/cm <sup>2</sup> ) *3	4.97E+23	4.63E+23	6.82E+23	6.24E+23	6.11E+23	5.66E+23	6.31E+23	5.83E+23	
原子炉倍増時間 (年) *4	168	-	39	61	37	53	29	39	
Naボイド反応度 (% Δk/kk') *5	2.6	2.9	3.5	3.8	3.1	3.3	3.1	3.4	

\*1 : Pu富化度はICとOCの線出力比が同じになるように設定。

\*2 : 燃焼ミスマッチファクタ考慮。

\*3 : (最大高速中性子束) \*サイクル長\*バッチ\*24hr\*3600s

\*4 : 初装荷炉心部Puf重量 / (365日/運転サイクル長 \* (EOEC全Puf重量 - BOEC全Puf重量))

\*5 : 炉心領域のラッパ管内側 (内部ダクト領域内を除く) のみボイド化、EOEC

表 4.2.2-2 金属燃料を用いた長期運転サイクル炉心の燃焼特性一覧 (2次元 R-Z 計算) [1/2]

	120cm炉心				100cm炉心			
	5バッチ炉心		4バッチ炉心		5バッチ炉心		4バッチ炉心	
ボンド材	Na	←	←	←	←	←	←	←
FPガス放出率(%)	80	←	←	←	←	←	←	←
原子炉熱出力(MW)	3800	←	←	←	←	←	←	←
運転サイクル長(月)	18	←	←	←	←	←	←	←
燃料交換バッチ数	5	←	4	←	5	←	4	←
集合体数(棒; IC/OC/RB)	252/210/150	252/210/84	252/210/150	252/210/84	252/210/150	252/210/84	252/210/150	252/210/84
炉心高さ/燃料要素長(cm)	120/297.5	←	←	←	100/297.5	←	←	←
軸ブランケット長(cm; 上/下)	0/10.0	←	←	←	←	←	←	←
ガスプレナム長(cm; 上/下)	161.5/0	←	←	←	181.5/0	←	←	←
ピン本数(本; 内部ダクト付/無)	234/271	←	←	←	270/331	←	←	←
スミア密度(%)	75	←	←	←	←	←	←	←
被覆管内径(mm)	7.38	←	6.60	←	7.38	←	6.60	←
被覆管肉厚(mm)	0.82	←	0.75	←	0.61	←	0.55	←
被覆管外径(mm)	9.02	←	8.10	←	8.60	←	7.70	←
ラッピング肉厚(mm)	3	←	←	←	←	←	←	←
集合体間ギャップ(mm)	3	←	←	←	←	←	←	←
ワイヤ径(mm)	1.5	←	1.7	←	1.34	←	1.52	←
ワイヤ巻付ピッチ(mm)	150	←	←	←	←	←	←	←
ポロシティ/リング(mm/ring)	0.086	←	←	←	←	←	←	←
集合体配列ピッチ(mm)	185.9	←	174.1	←	193.4	←	180.4	←
等価直径(cm; 炉心/径ブランケット)	436/497	436/471	408/466	408/441	454/517	464/490	423/483	423/457
燃料体積比(%; IC/OC/平均)	25.1/29.0/26.9	←	22.9/26.5/24.5	←	26.7/32.6/29.5	←	24.6/30.1/27.2	←
MOXとのHM密度比をweicht(%; 平均)	39.2	←	35.7	←	43.0	←	39.6	←
構造材体積比	27.0	←	26.9	←	23.1	←	23.1	←
冷却材体積比	34.2	←	37.8	←	33.2	←	36.7	←
Pu富化度(wt%; IC/OC/平均) #1	14.9/16.9/15.9	14.9/16.7/15.8	16.9/19.3/18.1	16.9/19.2/18.0	15.0/15.8/15.4	15.0/15.6/15.3	16.9/18.0/17.4	16.8/17.9/17.4
初装荷Puf量(t)	6.24	6.20	5.97	5.65	5.99	5.95	6.42	5.39
取出平均燃焼度(万MWd/t)	15.2	15.1	15.2	15.1	15.2	15.2	15.2	15.2
燃焼反応度(%) #2	2.1	2.0	3.7	3.6	2.0	1.9	3.5	3.4
増殖比(-)	BOEC 0.90/0.22/1.12	0.91/0.19/1.09	0.84/0.22/1.06	0.84/0.19/1.03	0.90/0.23/1.13	0.90/0.20/1.10	0.84/0.23/1.07	0.84/0.20/1.04
[炉心部/ラケット/合計]	MOEC 0.90/0.22/1.12	0.90/0.19/1.09	0.83/0.23/1.06	0.83/0.20/1.03	0.90/0.22/1.12	0.90/0.20/1.10	0.84/0.23/1.07	0.84/0.20/1.04
	EOEC 0.87/0.24/1.11	0.87/0.20/1.07	0.82/0.25/1.07	0.82/0.20/1.02	0.87/0.24/1.11	0.87/0.21/1.08	0.82/0.26/1.08	0.82/0.22/1.04
	平均 0.89/0.23/1.12	0.89/0.19/1.08	0.83/0.23/1.06	0.83/0.22/1.03	0.89/0.23/1.12	0.89/0.21/1.09	0.83/0.24/1.07	0.83/0.21/1.04
最大線出力 #2 [内側炉心/外側炉心]	BOEC 388/392	387/389	400/402	401/400	382/377	381/374	394/388	393/386
	MOEC 391/377	386/375	394/383	392/381	378/366	374/364	383/372	380/370
	EOEC 387/365	382/364	395/366	381/366	371/357	364/356	370/358	364/357
出力分担率(%) [炉心/軸ブラ/径ブラ]	BOEC 95.2/1.8/3.0	95.2/1.8/3.0	95.4/1.6/3.0	95.4/1.6/3.0	94.8/2.5/2.6	94.7/2.5/2.6	95.0/2.2/2.8	94.9/2.3/2.9
	MOEC 94.6/1.9/3.2	94.5/2.0/3.2	94.2/1.8/3.2	94.2/1.8/3.3	94.2/2.7/2.8	94.1/2.7/3.0	93.8/2.5/3.0	93.7/2.5/3.1
	EOEC 93.3/2.5/4.2	93.3/2.5/4.2	92.9/2.4/4.7	92.9/2.4/4.7	92.8/3.4/3.7	92.6/3.4/4.0	92.3/3.3/4.4	92.2/3.3/4.5
最大高速中性子束(n/cm <sup>2</sup> ・s; 平均)	2.99E+15	2.91E+15	3.34E+15	3.34E+15	2.89E+15	2.87E+15	3.34E+15	3.32E+15
最大高速中性子照射量(n/cm <sup>2</sup> ) #3	6.82E+23	6.80E+23	6.24E+23	6.23E+23	6.74E+23	6.70E+23	6.23E+23	6.19E+23
原子炉倍增時間(年) #4	38.6	53.8	61.2	143.9	36.2	47.5	52.8	97.2
Naボイド反応度(%Δk/kk') #5	3.5	3.6	3.8	3.8	3.1	-	-	-

#1: Pu富化度はICとOCの線出力比が同じになるように設定。

#2: 燃焼ミスマッチファクタ考慮。

#3: (最大高速中性子束)×サイクル長×バッチ×24hr×3600s

#4: 初装荷炉心部Puf重量/(365日/運転日×炉心)×(EOEC全Puf重量-BOEC全Puf重量)

#5: 炉心領域のラッピング内側(内部ダクト領域内を除く)のみボイド化、EOEC

表 4.2.2-3 窒化物燃料を用いた長期運転サイクル炉心の燃焼特性一覧 (2次元 R-Z 計算) [2/2]

ボンド材	Heボンド窒化物燃料炉心						Naボンド窒化物燃料炉心											
	5バッチ炉心			4バッチ炉心			5バッチ炉心			4バッチ炉心								
	He	←	←	←	←	←	Na	←	←	←	←	←						
FPガス放出率(%)	50	100	←	50	100	←	20	50	←	20	50	←						
原子炉熱出力(MW)	3800	←	←	←	←	←	3800	←	←	←	←	←						
運転サイクル長(日)	540	←	540	←	←	640	540	←	640	←	←	540						
燃料交換バッチ数	5	←	←	4	←	←	5	←	←	4	←	←						
集合体数(棒; IC/OC/RB)	252/210/150	←	←	252/210/84	252/210/150	←	252/210/84	252/210/150	←	252/210/84	252/210/150	←	252/210/84					
炉心高さ/燃料要素長(cm)	120/250	120/297.5	←	120/250	120/297.5	←	120/217	120/297.5	←	120/217	120/297.5	←						
軸ブランケット長(cm; 上/下)	1.2/10.0	←	←	←	←	←	1.2/10.0	←	←	←	←	←						
ガスプレナム長(cm; 上/下)	29.8/80.0	29.8/127.5	←	29.8/80.0	29.8/127.5	←	79.8/0	160.3/0	←	79.8/0	160.3/0	←						
ピン本数(本; 内部ダクト付/無)	234/271	←	←	←	←	←	234/271	←	←	←	←	←						
スミア密度(%)	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←						
被覆管内径(mm)	7.32	←	←	6.55	←	←	7.32	←	←	6.55	←	←						
被覆管肉厚(mm)	0.52	0.73	←	0.46	0.65	←	0.52	0.54	←	0.46	0.48	←						
被覆管外径(mm)	8.36	8.76	←	7.47	7.85	←	8.36	8.40	←	7.47	7.51	←						
ラップ管肉厚(mm)	3	←	←	←	←	←	3	←	←	←	←	←						
集合体間ギャップ(mm)	3	←	←	←	←	←	3	←	←	←	←	←						
ワイヤ径(mm)	1.50	1.55	←	1.70	1.75	←	1.40	1.65	←	1.60	1.85	←						
ワイヤ巻付ピッチ(mm)	150	←	←	←	←	←	150	←	←	←	←	←						
ボロシティ/リング(mm/ring)	0.098	←	←	←	←	←	0.098	←	←	←	←	←						
集合体配列ピッチ(mm)	174.9	182.0	←	183.7	170.9	←	173.2	178.2	←	161.9	167.0	←						
筒径径(cm; 炉心/径ブランケット)	410/468	429/489	←	429/463	384/438	←	406/463	418/477	←	418/452	380/433	←	392/423					
実効燃料体積比(X; IC/OC/平均)	29.7/34.4/31.9	27.2/31.5/29.2	←	27.2/31.5/29.1	24.9/28.9/26.7	←	30.3/35.1/32.5	28.6/33.2/30.7	←	27.8/32.2/29.8	26.1/30.2/26.0	←						
MOXとのHf密度比weight(X; 平均)	44.2	40.5	←	40.4	37.0	←	45.1	42.6	←	41.3	38.8	←						
構造材体積比 *1	21.6	25.4	←	21.6	25.1	←	21.7	21.8	←	21.7	21.8	←						
冷却材体積比 *1	35.4	35.1	←	39.1	38.7	←	34.4	36.9	←	38.1	40.3	←						
Pu富化度(%)X; IC/OC/平均) *1	13.0/15.6/14.3	15.2/17.1/16.1	←	15.2/17.9/16.1	15.1/17.6/16.3	←	17.1/19.5/18.2	16.9/19.3/18.1	←	13.0/15.7/14.3	14.3/18.3/15.3	←	14.1/16.1/15.1	15.1/17.5/16.3	16.2/18.6/17.3	16.0/18.3/17.1		
初装荷Puf量(t)	5.50	6.23	←	6.20	5.04	←	5.63	5.59	←	5.62	5.69	←	5.92	5.03	←	5.36	5.30	
取出平均燃焼度(万Mwd/t)	15.4	15.4	←	15.4	15.3	←	15.4	15.3	←	15.4	15.4	←	15.4	15.4	←	15.4	15.4	
燃焼反応度(XΔk/kk')	1.0	2.0	←	2.0	2.5	←	3.6	3.4	←	1.0	1.6	←	2.5	3.1	←	2.9	2.9	
増殖比(←)	BOEC 0.97/0.23/1.20	0.91/0.22/1.13	←	0.91/0.19/1.10	0.91/0.23/1.14	←	0.85/0.22/1.07	0.85/0.19/1.04	←	0.98/0.22/1.20	0.95/0.21/1.16	←	0.95/0.18/1.13	0.91/0.23/1.14	←	0.88/0.22/1.10	←	0.89/0.19/1.07
[炉心部/ラケット/合計]	MOEC 0.96/0.23/1.19	0.91/0.21/1.12	←	0.91/0.18/1.09	0.90/0.23/1.13	←	0.85/0.22/1.07	0.85/0.19/1.04	←	0.96/0.23/1.19	0.94/0.21/1.15	←	0.94/0.18/1.12	0.90/0.23/1.13	←	0.87/0.23/1.10	←	0.89/0.19/1.07
	EDEC 0.92/0.22/1.14	0.89/0.22/1.10	←	0.89/0.19/1.07	0.86/0.25/1.11	←	0.83/0.24/1.07	0.83/0.20/1.03	←	0.92/0.22/1.14	0.90/0.22/1.12	←	0.90/0.19/1.09	0.87/0.24/1.11	←	0.85/0.24/1.09	←	0.85/0.20/1.05
	平均 0.95/0.23/1.18	0.90/0.22/1.12	←	0.90/0.18/1.08	0.89/0.23/1.13	←	0.84/0.23/1.07	0.84/0.20/1.04	←	0.95/0.23/1.18	0.93/0.21/1.14	←	0.93/0.18/1.11	0.90/0.23/1.13	←	0.87/0.23/1.10	←	0.87/0.19/1.06
最大線出力 *2 [内側炉心/外側炉心]	BOEC 372/386	385/391	←	386/387	388/390	←	400/400	396/399	←	367/394	385/387	←	391/384	396/391	←	399/397	←	394/384
	MOEC 384/370	389/376	←	386/374	393/371	←	399/391	388/379	←	382/376	390/374	←	384/372	398/373	←	385/378	←	389/376
	EDEC 389/358	386/365	←	380/363	388/355	←	384/365	409/364	←	389/369	388/364	←	380/362	391/360	←	386/363	←	380/362
出力分担率(X) [炉心/軸ブラ/径ブラ]	BOEC 94.7/2.1/3.1	95.3/2.0/2.7	←	95.1/2.0/2.8	94.9/1.9/3.1	←	95.3/1.8/2.9	95.2/1.8/3.0	←	94.9/1.9/3.2	95.2/1.9/2.8	←	95.2/1.9/2.9	95.1/1.7/3.1	←	95.2/1.7/3.0	←	95.9/1.7/3.0
	MOEC 94.5/2.3/3.3	94.7/2.1/2.9	←	94.6/2.1/3.0	94.2/2.1/3.4	←	94.2/1.9/3.1	94.1/2.0/3.2	←	94.7/2.0/3.4	94.8/2.0/3.0	←	94.8/2.0/3.1	94.4/1.9/3.3	←	94.3/1.8/3.3	←	94.4/1.8/3.2
	EDEC 92.9/2.9/4.1	93.5/2.7/3.7	←	93.2/2.7/4.0	92.4/2.8/4.7	←	92.9/2.6/4.4	92.7/2.8/4.6	←	93.2/2.5/4.2	93.5/2.5/3.9	←	93.4/2.5/4.0	92.7/2.5/4.7	←	92.8/2.5/4.6	←	92.9/2.5/4.6
最大高速中性子束(n/cm <sup>2</sup> ・s; 平均)	2.78E+15	2.62E+15	←	2.60E+15	3.27E+15	←	3.03E+15	3.01E+15	←	2.74E+15	2.70E+15	←	2.67E+15	3.29E+15	←	3.12E+15	←	3.10E+15
最大高速中性子照射量(n/cm <sup>2</sup> ) *3	6.49E+23	6.11E+23	←	6.07E+23	6.10E+23	←	5.68E+23	5.62E+23	←	6.39E+23	6.31E+23	←	6.24E+23	6.15E+23	←	5.83E+23	←	6.79E+23
原子炉増殖時間(年) *4	22.4	37.2	←	50.4	28.1	←	53.3	95.9	←	22.6	29.2	←	36.1	28.5	←	38.5	←	68.5
Naボイド反応度(XΔk/kk') *5	-	3.1	←	3.1	-	←	3.3	3.3	←	-	3.1	←	-	-	←	3.4	←	-

\*1: Pu富化度はICとOCの線出力比が同じになるように設定。

\*2: 燃焼ミスマッチファクタ考慮。

\*3: (最大高速中性子束)サイクル長\*バッチ\*24hr\*3800s

\*4: 初装荷炉心部Puf量/(365日/運転日)炉心長\*(EDEC全Puf量-BOEC全Puf量)

\*5: 炉心領域のラップ管内倒(内部ダクト領域内を除く)のみボイド化、EDEC

表 4.2.2-4 長期運転サイクル炉心の領域別物質収支  
(酸化物燃料; 5 バッチ×18 ヶ月運転, 取出平均燃焼度 15 万 MWd/t) [1/4]

主燃料	[kg]						燃料ブランケット	[kg]					
	初燃炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料投入	取出し燃料		初燃炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料投入	取出し燃料
FU239	360.6	292.1	266.5	-25.5	72.1	46.6	FU239	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1
FU239	6250.5	6560.1	6847.9	167.8	1250.1	1417.9	FU239	0.0	172.7	239.9	69.2	0.0	69.2
FU240	3245.4	3377.7	3439.5	60.8	549.1	709.9	FU240	0.0	16.2	30.9	12.7	0.0	12.7
FU241	1141.9	943.4	746.0	-102.6	229.4	126.6	FU241	0.0	1.5	2.9	1.4	0.0	1.4
FU242	841.4	799.0	772.1	-24.9	168.3	142.0	FU242	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
U235	273.0	195.4	163.6	-31.9	54.6	22.7	U235	16.0	10.9	6.8	-2.1	3.2	1.1
U236	0.0	16.1	22.3	6.2	0.0	6.2	U236	0.0	1.2	1.6	0.4	0.0	0.4
U238	90719.2	66175.4	63936.9	-2210.6	18145.8	16395.9	U238	5329.7	5072.3	4940.2	-126.1	1064.7	938.6
NP237	0.0	14.0	20.9	6.1	0.0	6.1	NP237	0.0	0.0	0.9	0.3	0.0	0.9
NP239	0.0	10.0	12.3	2.3	0.0	2.3	NP239	0.0	0.6	0.7	0.1	0.0	0.1
AM241	180.3	208.1	214.3	6.2	35.1	42.3	AM241	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
AM242	0.0	3.7	13.3	9.5	0.0	9.5	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	70.0	87.9	17.9	0.0	17.9	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	11.3	14.1	2.9	0.0	2.9	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.9	1.3	0.4	0.0	0.4	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	19.9	33.4	13.5	0.0	13.5	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	1.6	3.2	1.5	0.0	1.5	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU..TOTAL	11839.9	11897.2	12072.6	76.4	2369.0	2443.3	PU..TOTAL	0.0	189.6	274.1	89.6	0.0	89.6
PU..FISSTILE	7992.0	7620.6	7594.6	-66.0	1476.6	1643.6	PU..FISSTILE	0.0	172.2	242.9	70.6	0.0	70.6
FIS..RATIO..(%)	67.4	64.6	62.9	0.0	62.4	69.2	FIS..RATIO..(%)	0.0	80.2	89.6	0.0	0.0	84.6
PU..ENRICHMENT..(W/O)	11.5	12.2	12.5	0.0	11.5	19.2	PU..ENRICHMENT..(W/O)	0.0	3.6	5.2	0.0	0.0	6.2
U..TOTAL	90992.1	66946.9	64122.7	-2264.9	19199.4	16934.2	U..TOTAL	5399.7	5064.4	4956.6	-127.6	1067.8	949.1
U236	278.0	195.4	163.6	-31.9	54.6	22.7	U236	16.0	10.5	6.8	-2.1	3.2	1.1
U..ENRICHMENT..(W/O)	0.3	0.2	0.2	0.0	0.3	0.1	U..ENRICHMENT..(W/O)	0.8	0.2	0.2	0.0	0.3	0.1
TRU..TOTAL	180.3	342.3	410.8	64.3	35.1	100.9	TRU..TOTAL	0.0	1.2	1.9	0.6	0.0	0.6
NP..TOTAL	0.0	24.7	33.1	6.4	0.0	6.4	NP..TOTAL	0.0	1.1	1.6	0.4	0.0	0.4
AM..TOTAL	180.3	237.8	235.6	-31.9	35.1	79.7	AM..TOTAL	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
CM..TOTAL	0.0	33.7	52.0	18.2	0.0	18.2	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO..(W/O)	0.2	0.4	0.4	0.0	0.2	0.5	TRU..RATIO..(W/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
NU..TOTAL	105012.9	99790.4	96605.8	-2124.7	20602.5	18477.6	NU..TOTAL	5399.7	5279.2	5222.4	-45.8	1067.9	1024.2
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

炉心燃料領域	[kg]						燃料ブランケット領域	[kg]					
	初燃炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料投入	取出し燃料		初燃炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料投入	取出し燃料
FU238	360.6	291.8	266.1	-25.8	72.1	46.4	FU238	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
FU239	6250.5	6016.7	5978.0	-140.7	1250.1	1109.4	FU239	0.0	490.7	730.0	239.3	0.0	239.3
FU240	3245.4	3342.1	3375.7	33.5	549.1	602.7	FU240	0.0	17.4	31.9	14.5	0.0	14.5
FU241	1141.9	847.5	742.8	-104.7	229.4	129.7	FU241	0.0	0.5	1.0	0.6	0.0	0.6
FU242	841.4	797.9	772.9	-25.1	168.3	143.2	FU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U235	152.4	93.9	70.3	-25.0	59.5	7.5	U235	104.6	59.7	39.9	-8.8	20.9	14.1
U236	0.0	11.6	15.7	4.1	0.0	4.1	U236	0.0	3.4	4.9	1.6	0.0	1.6
U238	90992.1	66246.2	64129.9	-1807.4	19192.2	16924.9	U238	34794.4	34155.9	33051.0	-105.1	6945.0	6041.0
NP237	0.0	13.1	19.3	5.2	0.0	5.2	NP237	0.0	1.1	1.7	0.6	0.0	0.6
NP239	0.0	7.9	9.7	1.9	0.0	1.9	NP239	0.0	1.5	1.8	0.4	0.0	0.4
AM241	180.3	209.0	214.0	6.0	35.1	42.1	AM241	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1
AM242	0.0	3.7	13.3	9.5	0.0	9.5	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	70.0	87.9	17.9	0.0	17.9	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	11.3	14.1	2.9	0.0	2.9	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.9	1.3	0.4	0.0	0.4	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	19.9	33.4	13.5	0.0	13.5	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	1.6	3.2	1.5	0.0	1.5	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU..TOTAL	11839.9	11299.1	11035.4	-262.7	2369.0	2105.2	PU..TOTAL	0.0	669.6	769.1	254.5	0.0	254.5
PU..FISSTILE	7992.0	6800.2	6620.7	-245.4	1476.6	1231.1	PU..FISSTILE	0.0	491.1	731.0	239.9	0.0	239.9
FIS..RATIO..(%)	67.4	60.0	60.0	0.0	62.4	59.6	FIS..RATIO..(%)	0.0	56.6	95.0	0.0	0.0	94.2
PU..ENRICHMENT..(W/O)	11.5	19.3	18.5	0.0	11.5	20.0	PU..ENRICHMENT..(W/O)	0.0	1.5	2.2	0.0	0.0	2.7
U..TOTAL	90992.0	67051.7	65225.5	-1826.2	19192.7	16924.5	U..TOTAL	34899.0	34210.3	33940.0	-310.3	6967.0	6057.5
U236	152.4	93.9	70.3	-23.0	59.5	7.5	U236	104.6	59.7	39.9	-8.8	20.9	14.1
U..ENRICHMENT..(W/O)	0.3	0.2	0.2	0.0	0.3	0.1	U..ENRICHMENT..(W/O)	0.2	0.3	0.3	0.0	0.3	0.2
TRU..TOTAL	180.3	342.5	405.2	62.7	35.1	96.7	TRU..TOTAL	0.0	2.6	3.6	1.1	0.0	1.1
NP..TOTAL	0.0	21.0	29.0	7.0	0.0	7.0	NP..TOTAL	0.0	2.5	3.6	1.0	0.0	1.0
AM..TOTAL	180.3	267.7	236.2	-37.4	35.1	72.5	AM..TOTAL	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1
CM..TOTAL	0.0	33.7	51.9	18.2	0.0	18.2	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO..(W/O)	0.3	0.6	0.7	0.0	0.3	0.3	TRU..RATIO..(W/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NU..TOTAL	105012.8	98992.3	96666.1	-2078.2	19606.7	18477.6	NU..TOTAL	34899.0	34762.1	34707.9	-54.7	6967.0	6043.1
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

表 4.2.2-5 長期運転サイクル炉心の領域別物質収支  
(金属燃料; 5 バッチ×18 ヶ月運転, 取出平均燃焼度 15 万 Mwd/t) [2/4]

全領域							炉ブランケット領域						
	初核燃料	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料投入	取出し燃料		初核燃料	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料投入	取出し燃料
FU238	304.5	239.0	214.7	-24.3	60.9	36.6	FU238	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
FU239	5277.2	6119.0	6456.6	337.6	1055.5	1393.0	FU239	0.0	176.6	249.1	72.5	0.0	72.5
FU240	2740.1	2792.9	2622.6	-29.0	548.0	577.6	FU240	0.0	14.5	24.9	10.4	0.0	10.4
FU241	924.1	803.3	594.0	-98.5	192.9	94.3	FU241	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0
FU242	710.4	669.0	645.2	-23.6	142.1	118.4	FU242	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1
U235	319.1	232.2	197.2	-35.1	63.6	26.6	U235	17.3	12.1	9.9	-2.2	3.6	1.3
U236	0.0	16.9	23.4	6.5	0.0	6.5	U236	0.0	1.1	1.6	0.4	0.0	0.4
U238	105726.8	106073.4	98499.4	-2375.1	21145.4	19770.3	U238	5792.0	5476.3	5351.1	-127.2	1146.4	1019.2
NP237	0.0	15.8	22.4	6.6	0.0	6.6	NP237	0.0	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0
NP239	0.0	10.6	13.0	2.6	0.0	2.6	NP239	0.0	0.6	0.7	0.1	0.0	0.1
AM241	162.2	173.5	177.6	4.1	20.4	24.6	AM241	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
AM242	0.0	7.6	10.2	2.6	0.0	2.6	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	65.6	77.5	21.9	0.0	21.9	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	9.9	11.1	2.2	0.0	2.2	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.7	0.9	0.3	0.0	0.3	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	15.6	25.7	10.2	0.0	10.2	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	1.2	2.3	1.1	0.0	1.1	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FU..TOTAL	9996.2	10692.8	10723.8	226.9	1999.3	2220.2	FU..TOTAL	0.0	192.1	276.8	83.8	0.0	83.8
FU..FISSILE	6241.3	6802.3	7041.3	239.1	1246.3	1487.7	FU..FISSILE	0.0	177.4	259.7	79.3	0.0	79.3
FIS.RATIO.(%)	62.4	64.0	65.7	0.0	62.4	67.0	FIS.RATIO.(%)	0.0	92.4	95.9	0.0	0.0	87.6
FU..ENRICHMENT.(W/O)	9.6	3.4	0.6	0.0	0.6	10.5	FU..ENRICHMENT.(W/O)	0.0	3.4	4.3	0.0	0.0	7.6
U.TOTAL	106044.9	101122.6	98716.9	-2402.7	21209.0	18806.0	U.TOTAL	5749.2	5491.5	5062.6	-126.9	1149.8	1020.9
U236	319.1	232.2	197.2	-35.1	63.6	26.6	U236	17.3	12.1	9.9	-2.2	3.6	1.3
U.ENRICHMENT.(W/O)	0.3	0.2	0.2	0.0	0.3	0.2	U.ENRICHMENT.(W/O)	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.1
TRU.TOTAL	162.2	239.3	340.7	171.5	30.4	81.9	TRU.TOTAL	0.0	1.2	1.7	0.5	0.0	0.6
NP..TOTAL	0.0	26.3	35.4	9.0	0.0	9.0	NP..TOTAL	0.0	1.2	1.6	0.4	0.0	0.4
AM..TOTAL	162.2	239.7	255.3	28.6	30.4	59.1	AM..TOTAL	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
CM..TOTAL	0.0	26.3	40.1	13.8	0.0	13.8	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU.RATIO.(W/O)	0.1	0.3	0.3	0.0	0.1	0.4	TRU.RATIO.(W/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HM..TOTAL	116183.3	111514.6	103789.3	-2121.3	23296.7	21107.3	HM..TOTAL	5749.2	5694.6	5640.2	-44.7	1149.8	1106.2
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

炉心燃料領域							炉ブランケット領域						
	初核燃料	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料投入	取出し燃料		初核燃料	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料投入	取出し燃料
FU238	304.5	239.0	214.3	-24.5	60.9	36.4	FU238	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
FU239	5277.2	5858.4	5389.5	-19.9	1055.5	1295.6	FU239	0.0	584.0	893.0	285.0	0.0	285.0
FU240	2740.1	2795.3	2773.2	8.6	548.0	556.6	FU240	0.0	12.9	23.8	10.9	0.0	10.9
FU241	924.1	802.2	592.6	-99.6	192.8	93.2	FU241	0.0	0.2	0.5	0.3	0.0	0.3
FU242	710.4	668.0	645.1	-23.7	142.1	118.4	FU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U235	161.1	97.1	72.4	-24.7	32.2	7.6	U235	129.0	123.1	114.3	-8.2	28.0	19.0
U236	0.0	12.1	16.4	4.2	0.0	4.2	U236	0.0	3.7	5.5	1.8	0.0	1.8
U238	93643.1	48691.3	47745.3	-1866.0	10706.6	8922.6	U238	46461.7	45762.9	45402.0	-361.9	9290.4	8928.5
NP237	0.0	13.0	13.2	0.2	0.0	0.0	NP237	0.0	1.6	2.3	0.0	0.0	0.0
NP239	0.0	8.2	10.1	1.9	0.0	1.9	NP239	0.0	1.7	2.2	0.5	0.0	0.5
AM241	162.2	173.5	177.6	4.0	20.4	24.6	AM241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	7.6	10.2	2.6	0.0	2.6	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	65.6	77.5	21.9	0.0	21.9	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	9.9	11.1	2.2	0.0	2.2	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.7	0.9	0.3	0.0	0.3	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	15.6	25.7	10.2	0.0	10.2	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	1.2	2.3	1.1	0.0	1.1	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FU..TOTAL	9996.2	9713.5	9554.4	-159.1	1999.3	1840.2	FU..TOTAL	0.0	597.2	893.4	216.2	0.0	216.2
FU..FISSILE	6241.3	6940.6	5921.1	-115.5	1246.3	1120.8	FU..FISSILE	0.0	584.2	893.5	235.3	0.0	235.3
FIS.RATIO.(%)	62.4	62.2	62.0	0.0	62.4	61.3	FIS.RATIO.(%)	0.0	97.9	97.3	0.0	0.0	56.3
FU..ENRICHMENT.(W/O)	15.7	10.3	10.6	0.0	15.7	12.1	FU..ENRICHMENT.(W/O)	0.0	1.3	1.9	0.0	0.0	3.2
U.TOTAL	93704.2	43740.5	47824.1	-1906.4	10740.0	8094.4	U.TOTAL	46501.5	46890.6	45522.3	-309.3	9318.3	8950.0
U236	161.1	97.1	72.4	-24.7	32.2	7.6	U236	129.0	123.1	114.3	-8.2	28.0	19.0
U.ENRICHMENT.(W/O)	0.3	0.2	0.2	0.0	0.3	0.1	U.ENRICHMENT.(W/O)	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.2
TRU.TOTAL	162.2	234.9	324.5	49.0	30.4	80.1	TRU.TOTAL	0.0	3.2	4.6	1.3	0.0	1.3
NP..TOTAL	0.0	22.0	29.3	7.3	0.0	7.3	NP..TOTAL	0.0	3.2	4.6	1.3	0.0	1.3
AM..TOTAL	162.2	239.6	255.1	28.5	30.4	59.0	AM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM..TOTAL	0.0	26.3	40.0	13.8	0.0	13.8	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU.RATIO.(W/O)	0.2	0.5	0.6	0.0	0.2	0.7	TRU.RATIO.(W/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HM..TOTAL	81852.6	63739.3	57223.0	-2016.3	12770.6	10764.6	HM..TOTAL	46691.5	46481.1	46470.2	-79.0	9318.3	8747.6
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

表 4.2.2-6 長期運転サイクル炉心の領域別物質収支  
(窒化物燃料(ヘリウム); 5 バッチ×18 ヶ月運転, 取出平均燃焼度 15 万 MWd/t) [3/4]

全領域							炉ブランケット領域						
	初燃炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料投入	取出し燃料		初燃炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料投入	取出し燃料
PU236	303.8	240.1	216.7	-23.4	60.9	37.4	PU236	0.0	0.1	0.3	0.1	0.0	0.1
PU239	5260.3	6120.1	6467.6	337.5	1053.3	1390.8	PU239	0.0	163.1	255.7	73.5	0.0	73.5
PU240	2734.4	2859.7	2923.6	63.9	546.3	610.7	PU240	0.0	16.9	32.0	13.1	0.0	13.1
PU241	382.1	700.7	611.2	-89.5	192.4	102.9	PU241	0.0	1.4	2.8	1.4	0.0	1.4
PU242	708.9	667.6	644.4	-23.2	141.8	118.6	PU242	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
UZ35	301.8	216.4	181.9	-34.6	60.4	25.0	UZ35	17.0	11.4	9.1	-2.3	2.4	1.1
UZ36	0.0	17.3	23.8	6.5	0.0	6.5	UZ36	0.0	1.2	1.7	0.5	0.0	0.5
UZ38	10220.3	8531.9	8287.8	-2422.1	2059.2	17636.0	UZ38	5632.4	5960.6	5224.7	-156.0	1126.5	390.5
NP237	0.0	16.8	22.3	6.5	0.0	6.5	NP237	0.0	0.6	0.9	0.3	0.0	0.3
NP239	0.0	10.7	13.2	2.6	0.0	2.6	NP239	0.0	0.6	0.9	0.2	0.0	0.2
AM241	151.3	170.4	174.0	3.6	30.4	24.0	AM241	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
AM242	0.0	8.0	10.8	2.8	0.0	2.8	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	60.1	83.4	23.3	0.0	23.3	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	5.6	11.8	2.9	0.0	2.9	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.8	1.1	0.3	0.0	0.3	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	18.0	29.9	11.8	0.0	11.8	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	1.5	2.8	1.4	0.0	1.4	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU..TOTAL	9375.6	10398.2	10863.5	266.3	1895.1	2220.4	PU..TOTAL	0.0	203.7	291.9	88.2	0.0	88.2
PU..FISSILE	8228.4	8820.8	7078.8	-246.0	1246.7	1483.7	PU..FISSILE	0.0	184.6	259.4	74.9	0.0	74.9
FIG..RATIO..(K)	82.4	84.6	85.2	0.0	82.4	86.1	FIG..RATIO..(K)	0.0	80.6	86.9	0.0	0.0	84.8
PU..ENRICHMENT..(W/O)	3.0	10.0	10.4	0.0	3.0	11.3	PU..ENRICHMENT..(W/O)	0.0	3.7	6.3	0.0	0.0	6.2
U..TOTAL	10652.8	9559.8	8210.4	-2460.1	2918.6	17558.9	U..TOTAL	5649.3	8373.3	5235.6	-197.8	1129.8	882.1
UZ35	301.8	216.4	181.9	-34.6	60.4	25.0	UZ35	17.0	11.4	9.1	-2.3	2.4	1.1
U..ENRICHMENT..(W/O)	0.3	0.2	0.2	0.0	0.3	0.2	U..ENRICHMENT..(W/O)	0.3	0.2	0.2	0.0	0.3	0.1
TRU..TOTAL	151.3	294.3	349.3	54.4	30.4	84.8	TRU..TOTAL	0.0	1.3	1.3	0.6	0.0	0.6
NP..TOTAL	0.0	26.5	35.5	9.0	0.0	8.0	NP..TOTAL	0.0	1.2	1.7	0.4	0.0	0.4
AM..TOTAL	151.3	238.5	289.2	25.7	30.4	80.1	AM..TOTAL	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
CM..TOTAL	0.0	29.8	45.8	15.8	0.0	15.8	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO..(W/O)	0.1	0.2	0.3	0.0	0.1	0.4	TRU..RATIO..(W/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
HM..TOTAL	116720.1	109446.6	104316.1	-2130.5	22144.0	20813.5	HM..TOTAL	5649.3	5578.9	5523.9	-45.1	1129.8	1089.8
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

炉心燃料領域							炉ブランケット領域						
	初燃炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料投入	取出し燃料		初燃炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料投入	取出し燃料
PU236	303.8	233.9	216.2	-23.6	60.8	37.2	PU236	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
PU239	5268.3	5395.4	5276.3	-3.2	1053.3	1044.1	PU239	0.0	661.8	834.7	273.1	0.0	273.1
PU240	2734.4	2824.0	2850.9	36.8	546.3	589.7	PU240	0.0	16.8	30.7	13.3	0.0	13.3
PU241	382.1	838.3	607.6	-21.9	192.4	101.1	PU241	0.0	0.4	0.8	0.4	0.0	0.4
PU242	708.3	657.5	644.2	-23.3	141.8	118.5	PU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
UZ35	157.9	94.0	69.8	-24.4	31.6	7.2	UZ35	127.0	111.0	103.2	-7.8	25.4	17.6
UZ36	0.0	12.3	16.5	4.2	0.0	4.2	UZ36	0.0	1.7	2.5	1.8	0.0	1.8
UZ38	52461.3	48421.8	46461.6	-1940.2	10492.4	8552.2	UZ38	42186.7	41537.0	41191.5	-345.0	8459.3	8032.3
NP237	0.0	13.9	19.4	5.4	0.0	5.4	NP237	0.0	1.0	2.0	0.7	0.0	0.7
NP239	0.0	0.5	10.4	1.0	0.0	1.9	NP239	0.0	1.0	2.1	0.5	0.0	0.5
AM241	151.3	170.3	173.8	3.4	30.4	29.8	AM241	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	0.0	10.9	2.0	0.0	2.0	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	60.1	83.4	23.3	0.0	23.3	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	9.5	11.8	2.3	0.0	2.3	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.0	1.1	0.3	0.0	0.3	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	18.0	29.9	11.9	0.0	11.9	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	1.5	2.8	1.4	0.0	1.4	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU..TOTAL	9376.6	9915.7	9705.1	-110.5	1935.1	1684.0	PU..TOTAL	0.0	578.8	869.5	287.6	0.0	287.6
PU..FISSILE	8228.4	8384.3	5953.8	-160.5	1245.7	1145.2	PU..FISSILE	0.0	561.8	835.5	273.6	0.0	273.6
FIG..RATIO..(K)	82.4	82.0	81.7	0.0	82.4	80.0	FIG..RATIO..(K)	0.0	57.1	96.4	0.0	0.0	95.1
PU..ENRICHMENT..(W/O)	15.9	16.7	17.1	0.0	15.9	17.9	PU..ENRICHMENT..(W/O)	0.0	1.4	2.1	0.6	0.0	3.4
U..TOTAL	52619.9	49528.1	46567.7	-1940.4	10523.9	8562.6	U..TOTAL	42923.6	41662.3	41200.3	-352.0	8454.7	8142.7
UZ35	157.9	94.0	69.6	-24.4	31.6	7.2	UZ35	127.0	111.0	103.2	-7.8	25.4	17.6
U..ENRICHMENT..(W/O)	0.3	0.2	0.2	0.0	0.3	0.1	U..ENRICHMENT..(W/O)	0.3	0.3	0.3	0.0	0.3	0.2
TRU..TOTAL	151.3	230.7	343.2	52.6	30.4	82.0	TRU..TOTAL	0.0	2.9	4.2	1.2	0.0	1.2
NP..TOTAL	0.0	22.4	29.7	7.3	0.0	7.3	NP..TOTAL	0.0	2.9	4.1	1.2	0.0	1.2
AM..TOTAL	151.3	238.4	257.9	20.5	30.4	58.9	AM..TOTAL	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
CM..TOTAL	0.0	29.8	45.6	15.8	0.0	15.8	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO..(W/O)	0.2	0.6	0.6	0.0	0.2	0.8	TRU..RATIO..(W/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HM..TOTAL	61747.2	58634.4	56616.1	-2018.3	12643.4	10531.2	HM..TOTAL	42923.6	42224.1	42170.8	-63.2	8454.7	8461.5
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

表 4.2.2-7 長期運転サイクル炉心の領域別物質収支  
(窒化物燃料(ナトリウム);5バッチ×18ヶ月運転, 取出平均燃焼度15万MWD/t) [4/4]

全領域 [kg]							炉心燃料領域 [kg]						
	初核燃料心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料装荷	取出し燃料		初核燃料心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料装荷	取出し燃料
PU238	297.1	226.0	203.0	-22.2	57.4	35.2	PU238	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
PU239	4575.0	5971.0	6553.2	392.1	595.2	1377.2	PU239	0.0	178.4	250.3	72.5	0.0	72.5
PU240	2503.0	2724.0	2750.5	22.5	516.7	569.2	PU240	0.0	16.7	26.5	11.7	0.0	11.7
PU241	909.0	662.2	579.7	-82.5	161.8	98.3	PU241	0.0	1.1	2.1	1.0	0.0	1.0
PU242	663.8	623.0	607.5	-22.2	134.0	111.7	PU242	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
U235	297.0	210.2	175.5	-34.7	53.4	24.7	U235	16.8	11.7	9.5	-2.2	3.4	1.2
U236	0.0	17.5	23.9	6.5	0.0	6.5	U236	0.0	1.2	1.6	0.5	0.0	0.5
U238	96706.0	93682.1	91039.3	-2402.9	19741.3	17259.5	U238	6629.7	5369.9	5240.1	-129.8	1125.9	599.1
HP237	0.0	16.5	20.2	6.7	0.0	6.7	HP237	0.0	0.6	0.9	0.3	0.0	0.9
HP239	0.0	10.9	13.6	2.6	0.0	2.5	HP239	0.0	0.6	0.8	0.1	0.0	0.1
AM241	143.5	153.4	162.9	2.0	28.7	31.7	AM241	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
AM242	0.0	7.6	10.2	2.6	0.0	2.6	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	57.9	80.1	22.2	0.0	22.2	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	9.0	11.3	2.2	0.0	2.2	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.8	1.1	0.3	0.0	0.3	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	17.9	23.4	11.5	0.0	11.5	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	1.6	2.3	1.4	0.0	1.4	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU..TOTAL	9425.3	10213.0	10593.7	325.7	1685.1	2211.7	PU..TOTAL	0.0	156.4	201.8	85.4	0.0	85.4
PU..FISSILE	5884.8	6333.2	6931.8	298.7	1177.0	1475.6	PU..FISSILE	0.0	179.5	253.0	78.5	0.0	79.5
FIS..RATIO.(%)	62.4	66.0	65.8	0.0	62.4	66.7	FIS..RATIO.(%)	0.0	81.4	89.8	0.0	0.0	88.1
PU..ENRICHMENT.(%/O)	8.7	9.8	10.3	0.0	8.7	11.3	PU..ENRICHMENT.(%/O)	0.0	3.6	5.1	0.0	0.0	7.9
U..TOTAL	9803.8	9899.8	9128.6	-2611.1	18900.7	17288.5	U..TOTAL	6646.6	6282.7	6251.2	-131.6	1123.3	897.8
U235	287.0	210.2	175.5	-34.7	53.4	24.7	U235	16.8	11.7	9.5	-2.2	3.4	1.2
U..ENRICHMENT.(%/O)	0.3	0.2	0.2	0.0	0.3	0.1	U..ENRICHMENT.(%/O)	0.3	0.2	0.2	0.0	0.3	0.1
TRU..TOTAL	148.5	201.5	308.8	62.8	26.7	81.0	TRU..TOTAL	0.0	1.2	1.8	0.6	0.0	0.6
HP..TOTAL	0.0	27.4	36.8	9.2	0.0	8.2	HP..TOTAL	0.0	1.2	1.6	0.4	0.0	0.4
AM..TOTAL	143.5	224.8	252.5	27.8	28.7	68.5	AM..TOTAL	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
CM..TOTAL	0.0	29.3	44.7	15.4	0.0	15.4	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO.(%/O)	0.1	0.3	0.3	0.0	0.1	0.4	TRU..RATIO.(%/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
HM..TOTAL	106572.5	104304.2	102172.1	-2132.1	21714.5	19582.4	HM..TOTAL	8848.8	6580.3	5534.7	-45.6	1123.3	1082.7
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

炉心燃料領域 [kg]							炉心燃料領域 [kg]						
	初核燃料心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料装荷	取出し燃料		初核燃料心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料装荷	取出し燃料
PU238	287.1	225.8	203.4	-22.4	57.4	35.0	PU238	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
PU239	4975.0	5232.9	5272.8	39.7	595.2	1054.9	PU239	0.0	159.8	229.7	289.9	0.0	269.9
PU240	2503.0	2889.8	2785.7	46.2	516.7	569.2	PU240	0.0	17.7	22.3	14.6	0.0	14.6
PU241	905.0	660.7	575.7	-85.0	191.8	98.8	PU241	0.0	0.4	0.9	0.5	0.0	0.5
PU242	665.8	629.7	607.4	-22.3	134.0	111.6	PU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U235	155.5	93.8	69.0	-24.3	31.3	7.0	U235	120.6	104.0	97.1	-7.7	24.1	18.4
U236	0.0	12.6	16.3	4.3	0.0	4.3	U236	0.0	3.7	5.4	1.7	0.0	1.7
U238	67369.5	48749.5	46703.8	-2065.7	10537.9	9592.3	U238	40087.5	38422.8	39075.4	-347.4	6017.6	7670.1
HP237	0.0	14.5	20.1	5.6	0.0	5.6	HP237	0.0	1.4	2.2	0.8	0.0	0.8
HP239	0.0	6.7	10.7	1.9	0.0	1.8	HP239	0.0	1.6	2.1	0.5	0.0	0.5
AM241	143.5	153.3	162.1	2.8	28.7	31.5	AM241	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	7.6	10.2	2.6	0.0	2.6	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	57.9	80.1	22.2	0.0	22.2	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	9.0	11.3	2.2	0.0	2.2	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.8	1.1	0.3	0.0	0.3	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	17.9	23.4	11.5	0.0	11.5	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	1.6	2.3	1.4	0.0	1.4	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU..TOTAL	9425.3	9439.6	9394.8	-42.9	1685.1	1841.2	PU..TOTAL	0.0	578.0	603.1	285.1	0.0	285.1
PU..FISSILE	5884.8	5933.6	5940.3	-45.0	1177.0	1191.7	PU..FISSILE	0.0	600.2	630.6	270.4	0.0	270.4
FIS..RATIO.(%)	62.4	62.4	62.3	0.0	62.4	61.5	FIS..RATIO.(%)	0.0	96.9	96.2	0.0	0.0	94.9
PU..ENRICHMENT.(%/O)	16.0	16.1	16.6	0.0	16.0	17.5	PU..ENRICHMENT.(%/O)	0.0	1.4	2.2	0.0	0.0	3.6
U..TOTAL	62149.0	49035.9	46869.0	-2026.2	10629.8	9602.6	U..TOTAL	40208.1	35531.2	39177.8	-363.3	6041.6	7609.3
U235	155.5	93.8	69.0	-24.3	31.3	7.0	U235	120.6	104.6	97.1	-7.7	24.1	18.4
U..ENRICHMENT.(%/O)	0.3	0.2	0.2	0.0	0.3	0.1	U..ENRICHMENT.(%/O)	0.3	0.3	0.3	0.0	0.3	0.2
TRU..TOTAL	148.5	217.2	327.8	60.5	26.7	78.2	TRU..TOTAL	0.0	9.0	4.3	1.3	0.0	1.3
HP..TOTAL	0.0	29.2	30.8	7.6	0.0	7.6	HP..TOTAL	0.0	2.0	4.2	1.2	0.0	1.2
AM..TOTAL	143.5	224.7	252.3	27.8	28.7	68.9	AM..TOTAL	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
CM..TOTAL	0.0	29.3	44.7	15.4	0.0	15.4	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO.(%/O)	0.2	0.6	0.6	0.0	0.2	0.8	TRU..RATIO.(%/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HM..TOTAL	62717.8	59611.7	56592.2	-2019.5	12543.6	10524.0	HM..TOTAL	48208.1	48112.3	48045.3	-67.0	6041.6	7674.6
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

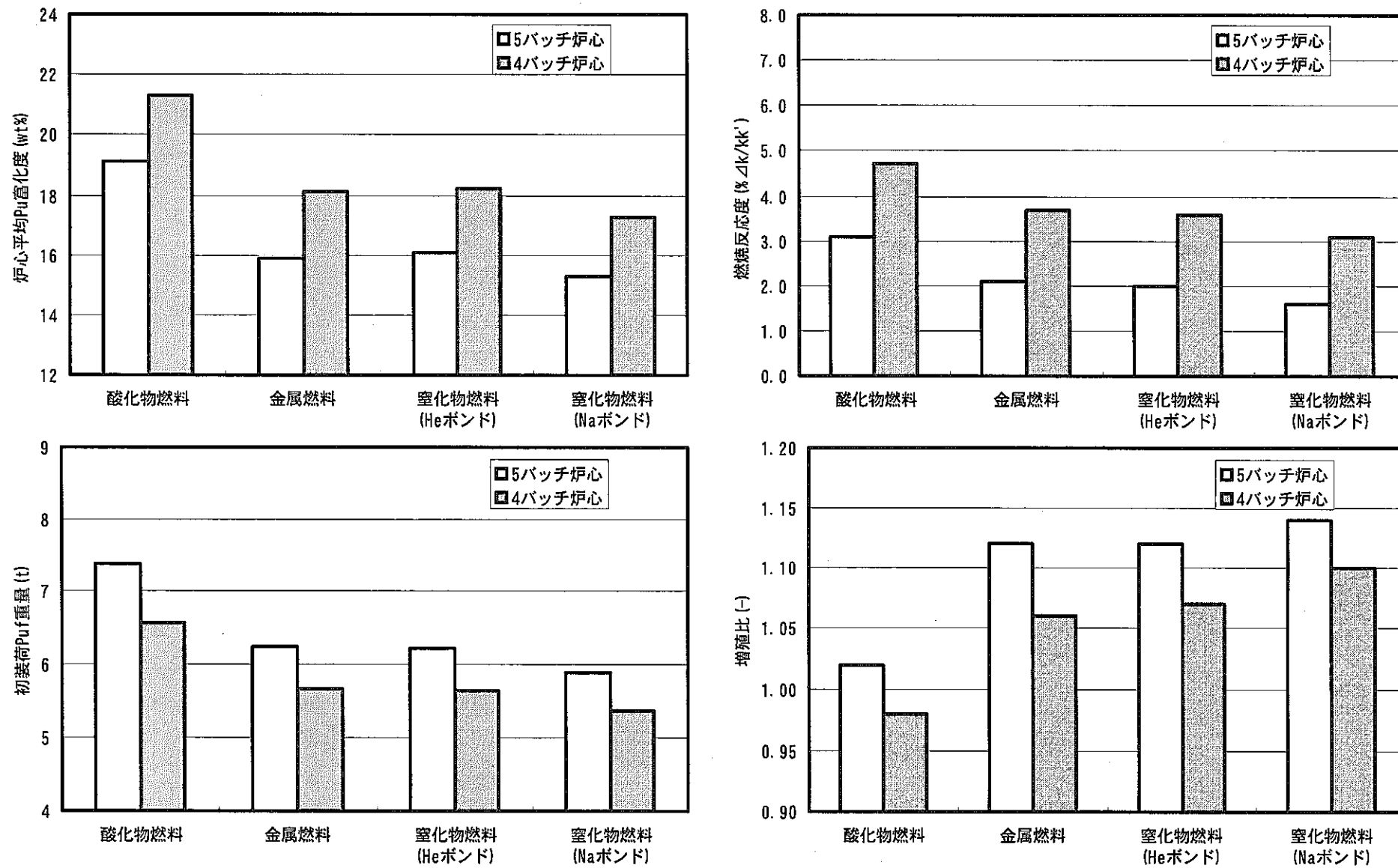


図 4.2.2-1 長期運転サイクル炉心における燃料形態の違いによる燃焼特性の比較 (2次元 R-Z 計算) [1/2]



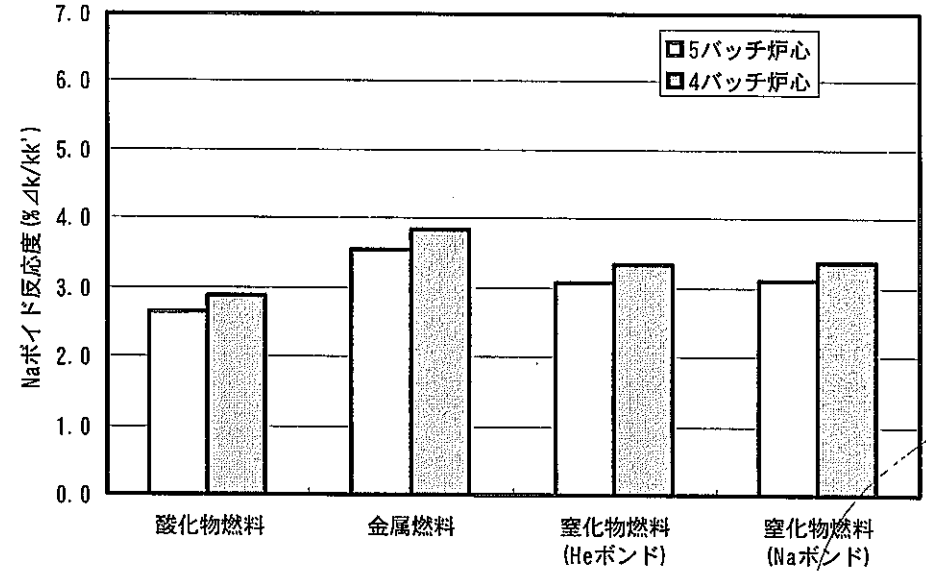
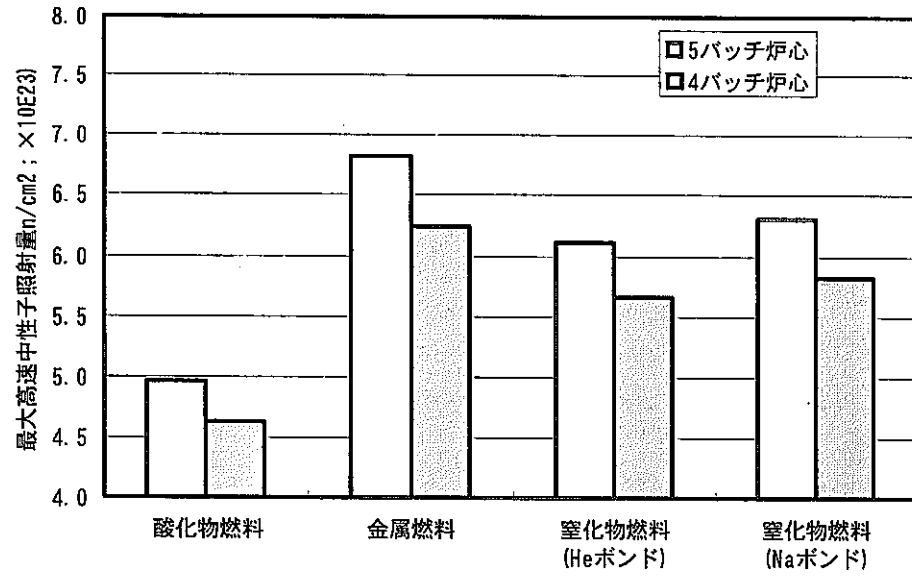


図 4.2.2-2 長期運転サイクル炉心における燃料形態の違いによる燃焼特性の比較 (2次元 R-Z 計算) [2/2]

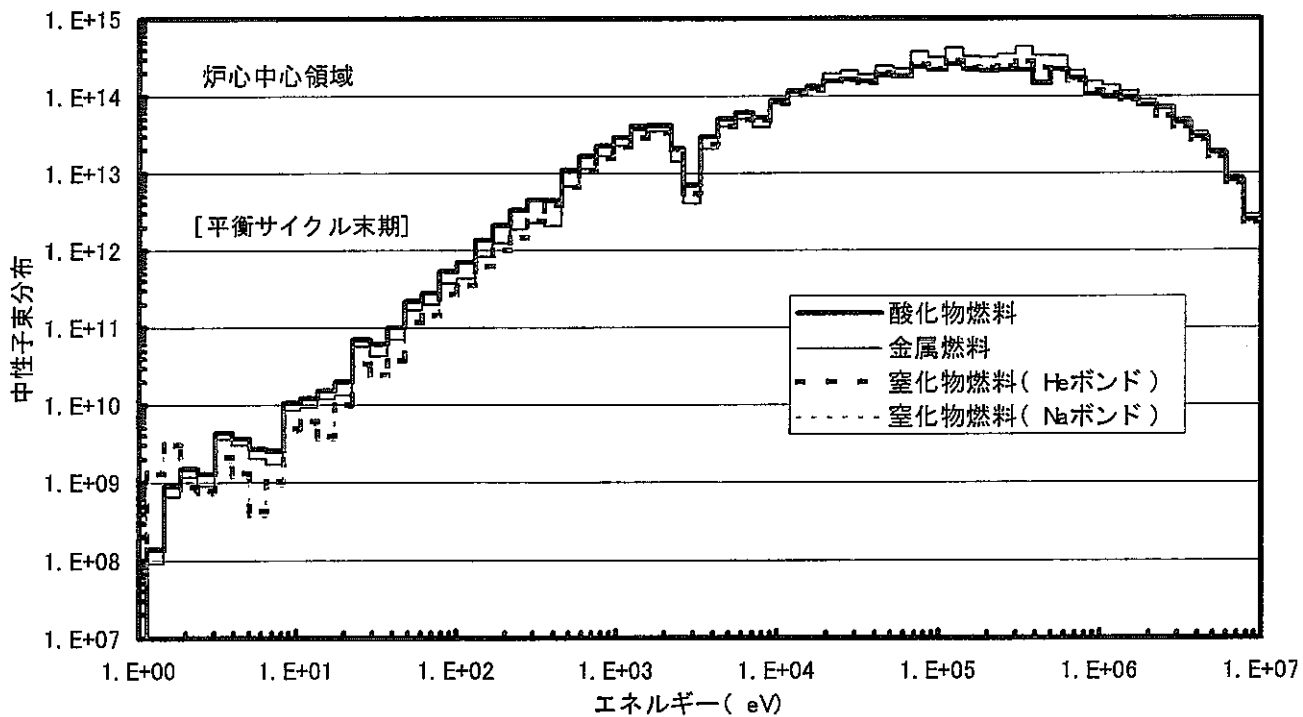
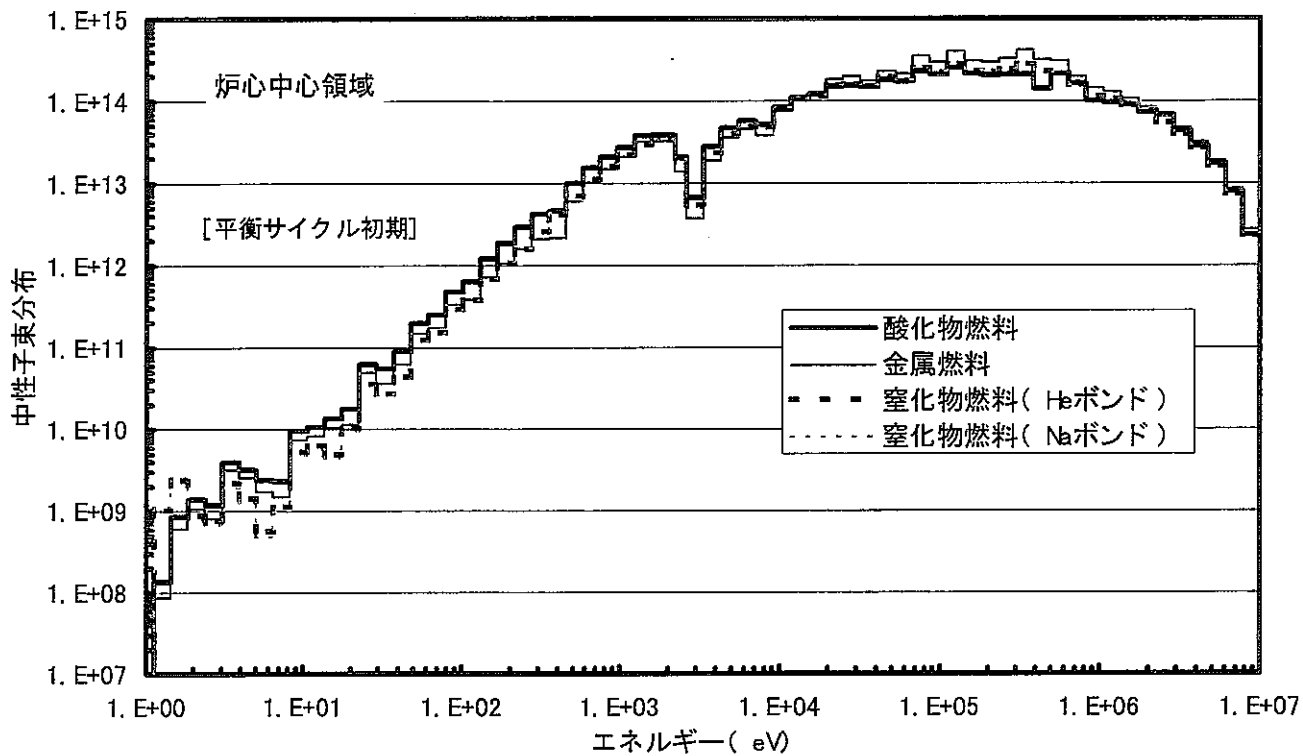


図 4.2.2-3 長期運転サイクル炉心における燃料形態の違いによる中性子束分布の比較  
(5 バッチ×18 ヶ月運転, 取出平均燃焼度 15 万 MWd/t)

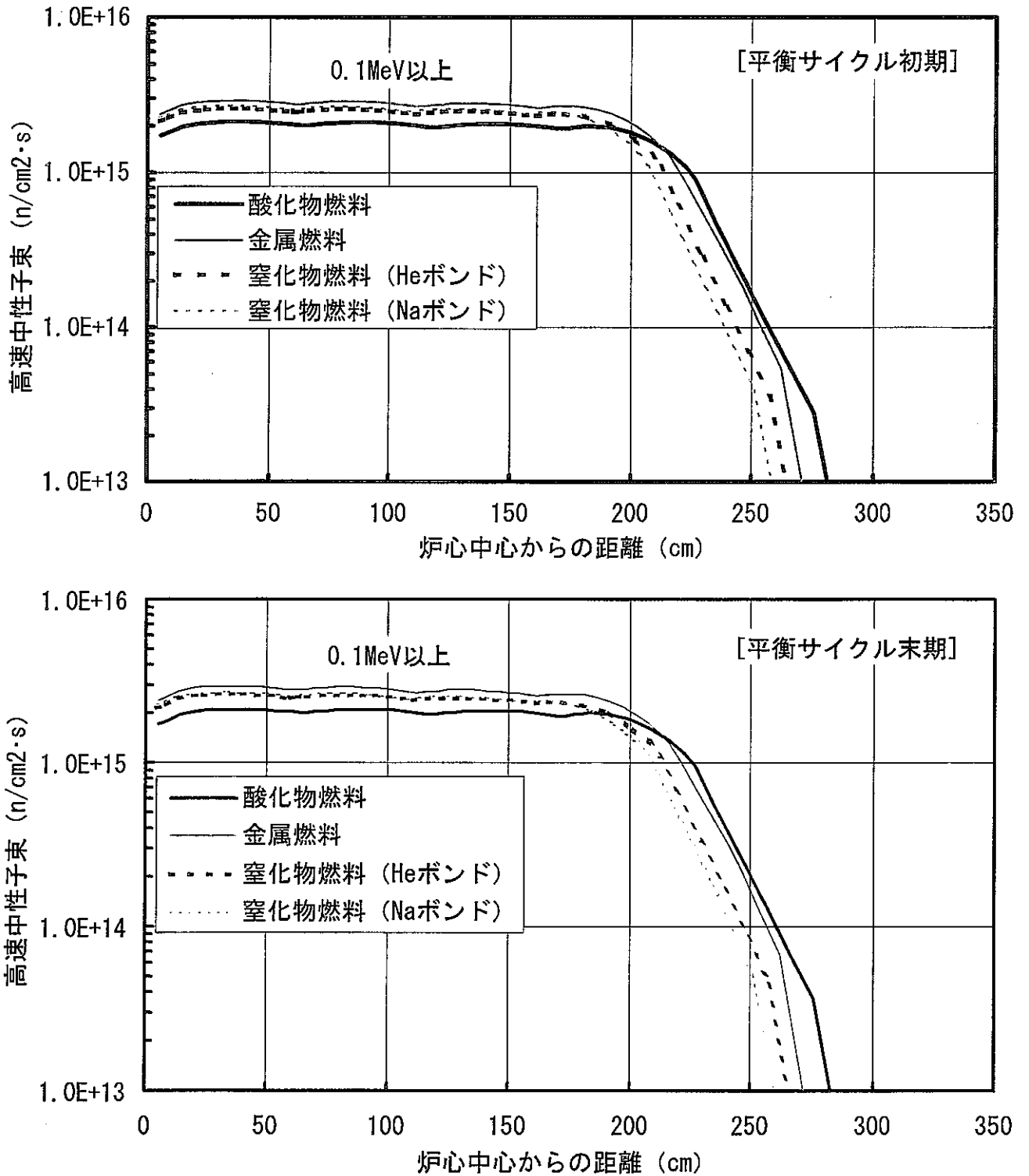


図 4.2.2-4 長期運転サイクル炉心における燃料形態の違いによる径方向高速中性子束分布の比較  
(5 バッチ×18 ヶ月運転, 取出平均燃焼度 15 万 MWd/t)

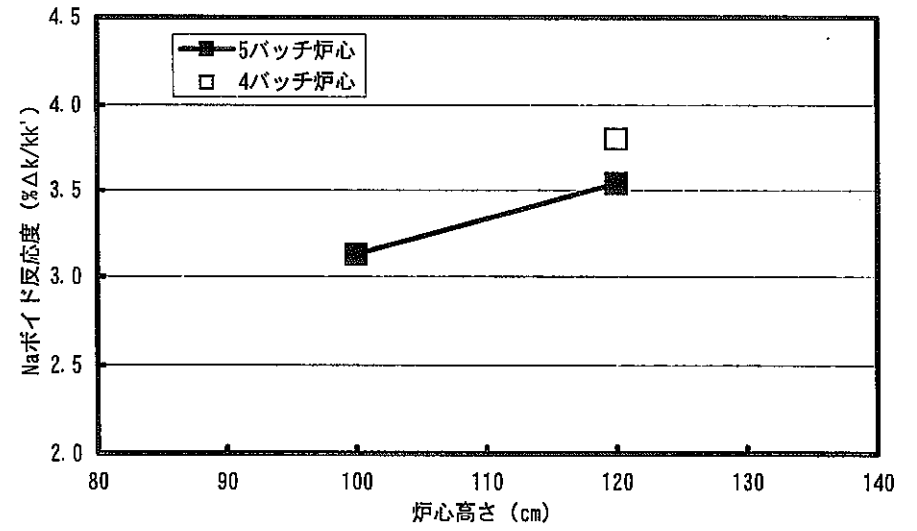
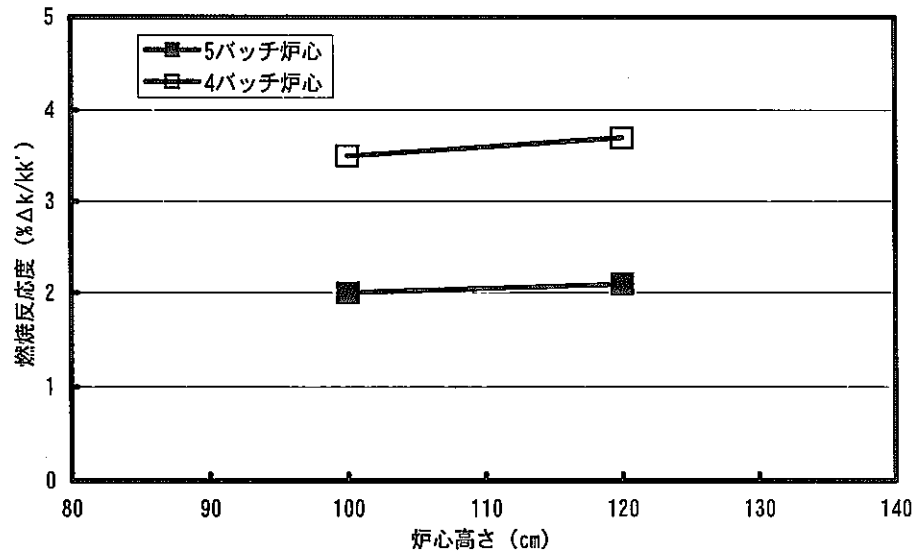
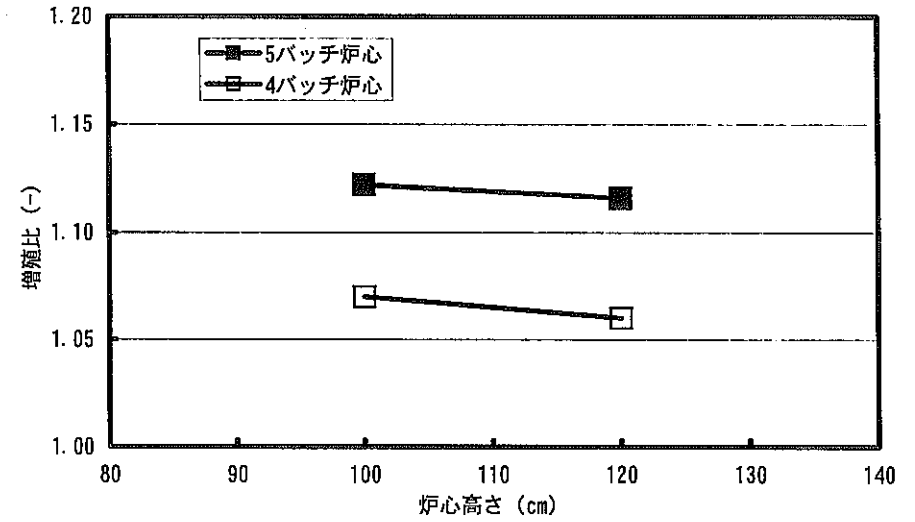
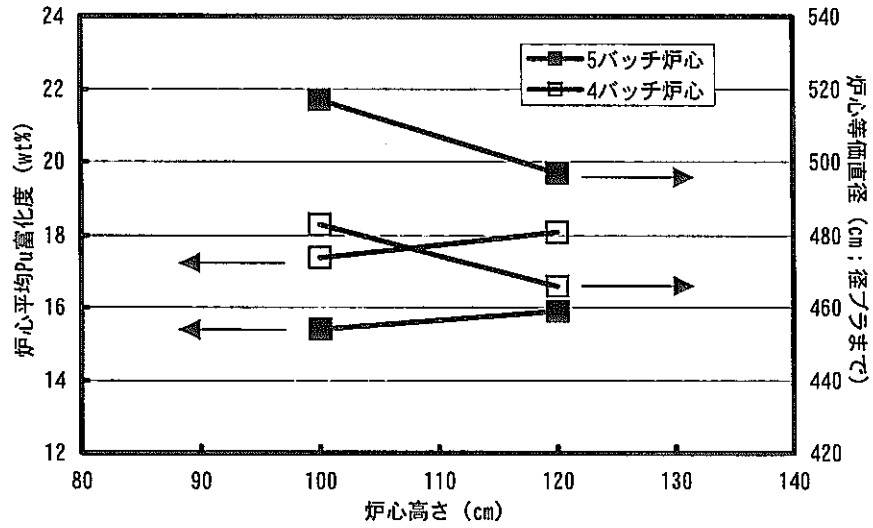


図 4.2.2-5 金属燃料を用いた長期運転サイクル炉心における炉心有効長と燃焼特性の関係  
(5バッチ×18ヶ月運転, 取出平均燃焼度 15万 MWd/t)

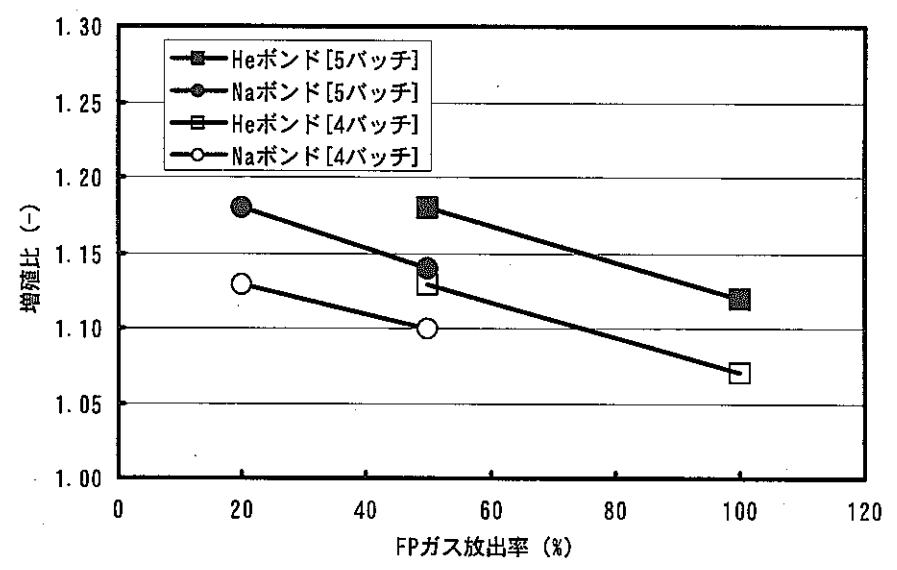
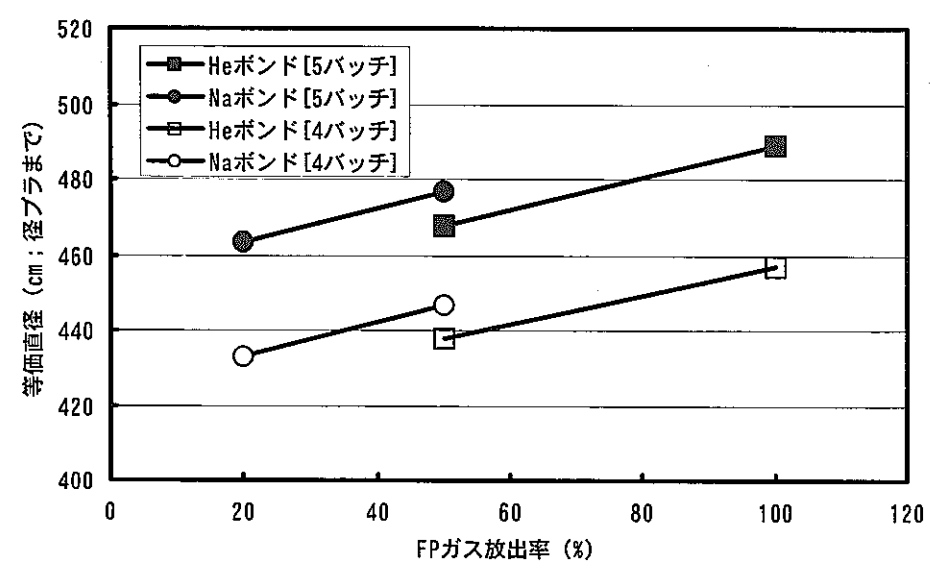
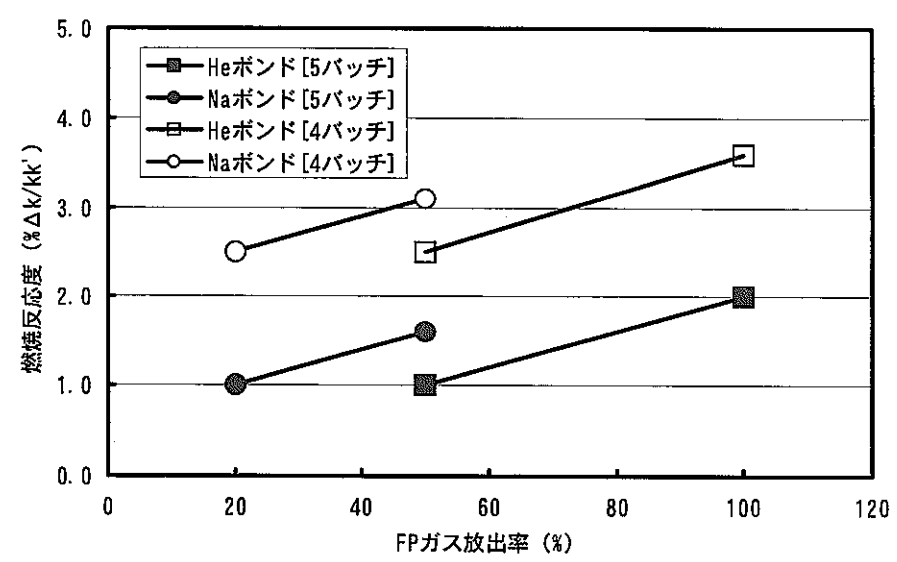
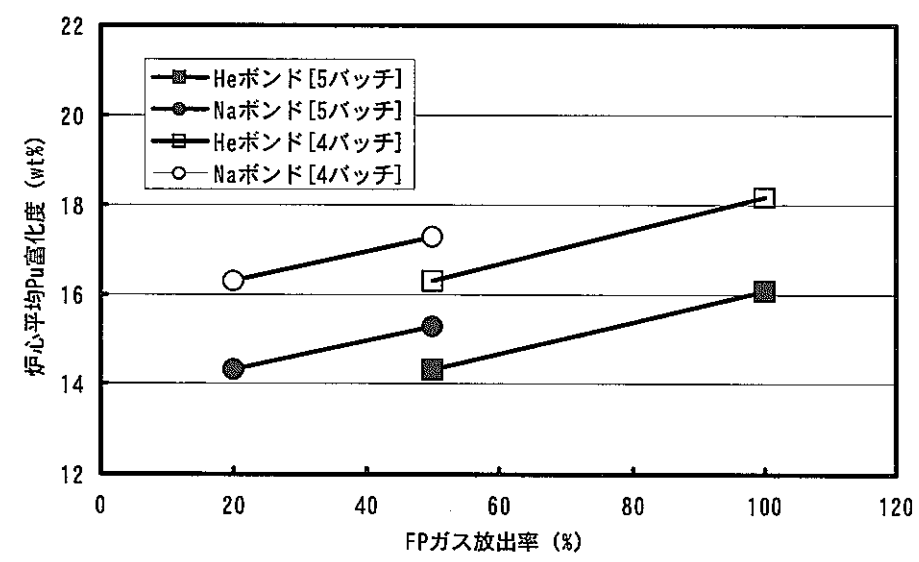


図 4. 2. 2-6 窒化物燃料を用いた長期運転サイクル炉心における FP ガス放出率と燃焼特性の関係  
(5 バッチ×18 ヶ月運転, 取出平均燃焼度 15 万 MWd/t)

### 4.3 倍増時間短縮炉心

#### 4.3.1 燃料仕様、炉心サイズ等の比較検討

##### (1) 炉心基本仕様及び燃料基本仕様

炉心基本仕様及び燃料基本仕様を表 4.3.1-1 に示す。

主な炉心基本仕様及び燃料基本仕様を以下に示す。

- ・ 炉心熱出力 3800MWth
- ・ 燃料交換バッチ数 5バッチ
- ・ 炉心有効長 80cm~85cm
- ・ 燃料ピン本数(内部ダクト有/無) 336本/397本
- ・ ラッパ管肉厚 3mm
- ・ ワイヤ巻き付きピッチ 150mm
- ・ 運転サイクル長 12ヶ月
- ・ 取出平均燃焼度 15万 MWd/t
- ・ 軸方向ブランケット長 40cm/40cm
- ・ 集合体間ギャップ 3mm
- ・ バンドル部圧損 3kg/cm<sup>2</sup>程度

表中に示す金属燃料、窒化物燃料の被覆管内径、ガスプレナム長、被覆管肉厚、ワイヤ径は前記 4.1 の考え方に基つきそれぞれ設定している。なお、軸方向ブランケットは各燃料形態の炉心燃料部と径方向ブランケットは酸化燃料と同じ実効燃料体積比 (55%程度) になるように仕様を設定している。

##### (2) 炉心配置

炉心配置図を図 4.3.1-1 に示す。

炉心は内側炉心燃料集合体 252 体 (内部ダクト有 120 体、内部ダクト無 132 体)、外側炉心燃料集合体 198 体、径方向ブランケット集合体 162 体、SUS 遮へい体 96 体、B<sub>4</sub>C 遮へい体 210 体、制御棒 36 体、SUS 集合体 1 体の合計 955 体で構成されている。

##### (3) 燃料仕様・炉心サイズ等の比較

主な燃料仕様及び炉心サイズを比較して図 4.3.1-2 に示す。

###### (i) 燃料ピン径

燃料ピン径を酸化燃料と比較すると金属燃料が 0.6mm 程度、ヘリウムボンド窒化物燃料が 0.8mm 程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 1.2mm 程度小さくなる。

###### (ii) 集合体配列ピッチ

集合体配列ピッチを酸化燃料と比較すると長期運転サイクル炉心と同様に金属燃料が 10mm 程度、ヘリウムボンド窒化物燃料が 13mm 程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 17mm 程度小さくなる。

(iii) 実効燃料体積比

実効燃料体積比を酸化物燃料と比較すると金属燃料が 9%程度、ヘリウムボンド窒化物燃料 7%程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 6%程度小さくなる。ただし、重元素密度比を考慮すると金属燃料が 3%程度、ヘリウムボンド窒化物燃料 4%程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 5%程度大きくなる。

(iv) 炉心等価直径

炉心等価直径を酸化物燃料炉心と比較すると長期運転サイクル炉心と同様に金属燃料炉心が 20cm 程度、ヘリウムボンド窒化物燃料 30cm 程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 40cm 程度小さくなる。

表 4.3.1-1 長期運転サイクル炉心及び倍増時間短縮炉心における各燃料形態の炉心基本仕様・燃料基本仕様

燃料	酸化物燃料		金属燃料		窒化物燃料 (Heボンド)		窒化物燃料 (Naボンド)	
	長期運転サイクル炉心	倍増時間短縮炉心	長期運転サイクル炉心	倍増時間短縮炉心	長期運転サイクル炉心	倍増時間短縮炉心	長期運転サイクル炉心	倍増時間短縮炉心
ボンド材	He	←	Na	←	He	←	Na	←
FPガス放出率 (%)	100	←	80	←	100	←	50	←
原子炉熱出力 (MW)	3800	←	←	←	←	←	←	←
運転サイクル長 (月)	18	12	18	12	18	12	18	12
燃料交換バッチ数	5	←	←	←	←	←	←	←
集合体数 (体 ; ICS/IC/OC/RB)	252/0/210/150	120/132/198/162	252/0/210/150	120/132/198/162	252/0/210/150	120/132/198/162	252/0/210/150	120/132/198/162
炉心高さ/燃料要素長 (cm)	120/297.5	80/297.5	120/297.5	82/279	120/297.5	82/263	120/297.5	85/285
軸ブランケット長 (cm ; 上/下)	1.2/10	40/40	0/10	40/40	1.2/10	40/40	1.2/10	40/40
ガスプレナム長 (cm ; 上/下) *1	29.8/127.5	31.0/97.5	161.5/0	111.0/0	29.8/127.5	5.0/87.0	160.3/0	114.0/0
ピン本数 (本 ; 内部ダクト付/無)	234/271	336/397	234/271	336/397	234/271	336/397	234/271	336/397
スミア密度 (%)	82	←	75	←	80	←	←	←
被覆管内径 (mm) *2	8.50	6.88	7.38	5.92	7.32	5.87	7.32	5.77
被覆管肉厚 (mm) *1	0.60	0.55	0.82	0.74	0.73	0.67	0.54	0.51
被覆管外径 (mm)	9.70	7.98	9.02	7.40	8.78	7.21	8.40	6.79
ラッパ管肉厚 (mm)	3	←	←	←	←	←	←	←
集合体間ギャップ (mm)	3	←	←	←	←	←	←	←
ワイヤ径 (mm) *3	1.40	1.20	1.50	1.30	1.55	1.34	1.65	1.52
ワイヤ巻付ピッチ (mm)	150	←	←	←	←	←	←	←
ポロシティ/リング (mm/ring)	0.086	0.093	0.086	0.095	0.086	0.084	0.086	0.087
集合体配列ピッチ (mm)	195.4	←	185.9	←	182.8	←	178.2	←
等価直径 (cm ; 炉心/径ブランケット)	458/523	453/523	436/497	431/497	429/489	424/489	418/477	413/477
実効燃料体積比 (%) ; IC/OC/平均)	32.9/38.2/35.3	31.0/36.6/35.1	25.1/29.0/26.9	23.2/27.4/26.3	27.2/31.5/29.2	25.1/29.7/28.5	28.6/33.2/30.7	25.6/30.2/29.0
MOXとのHM密度比をweight (%) ; 平均)	-	-	39.2	38.3	40.5	39.5	42.6	40.2
構造材体積比 *4	21.3	22.7	27.0	23.2	25.4	27.2	21.8	23.7
冷却材体積比 *4	32.2	32.6	34.2	34.9	35.1	35.7	36.8	38.6

\*1 : 酸化物燃料の仕様を基に寿命末期の被覆管応力が同じになるように設定。

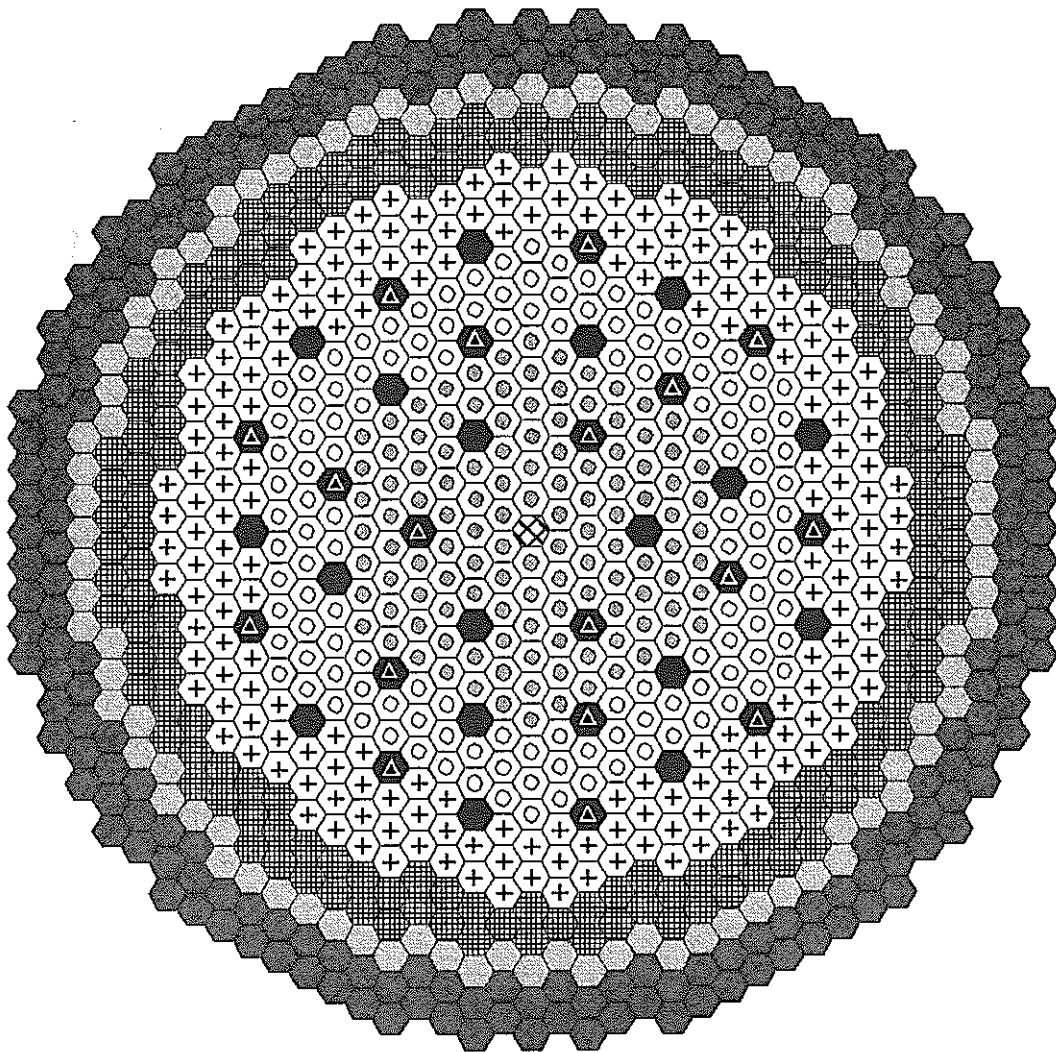
\*2 : 取出平均燃焼度15万MWD/tが得られるように設定。

[Pu同位体組成] : [Pu238/Pu239/Pu240/Pu241/Pu242/Am241=3/52/27/9.5/7/1.5]

\*3 : バンドル部圧損が酸化物燃料と同じになるように設定。

\*4 : 内部ダクト領域内を除く。





⊕	内側炉心燃料集合体 (内部ダクト付)	120体
⊖	(内部ダクト無)	132体
+	外側炉心燃料集合体	198体
⊞	径ブランケット集合体	162体
⊞	S.U.S.遮蔽体	96体
●	B <sub>4</sub> C遮蔽体	210体
●	A系統炉停止制御棒	18体
△	B系統炉停止制御棒	18体
⊞	S.U.S.集合体	1体
合 計		955体

図 4.3.1-1 大型倍増時間短縮炉心の炉心配置図(内部ダクト付燃料120体装荷炉心)

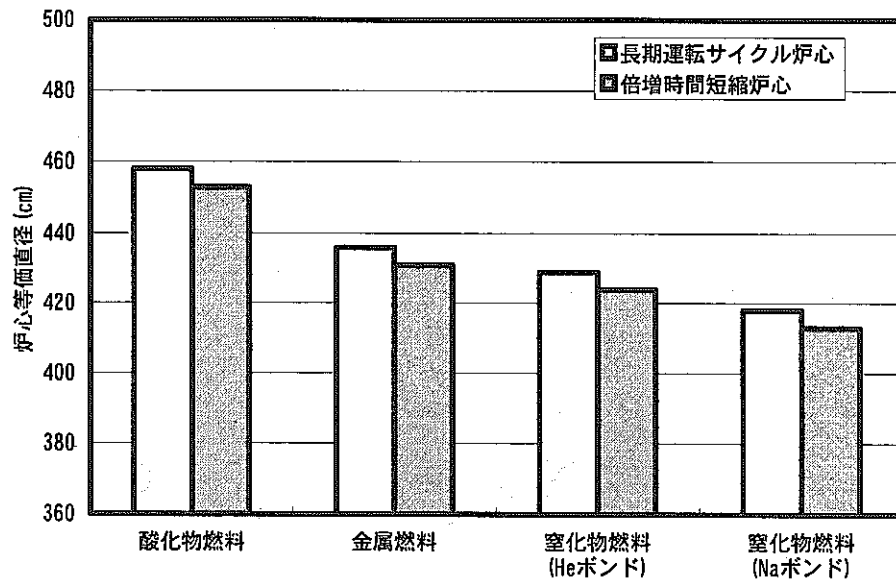
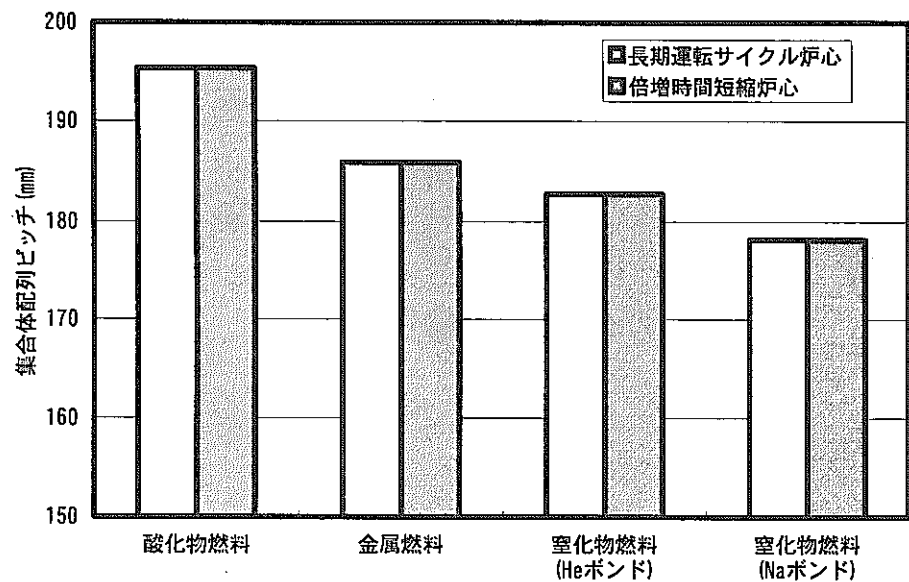
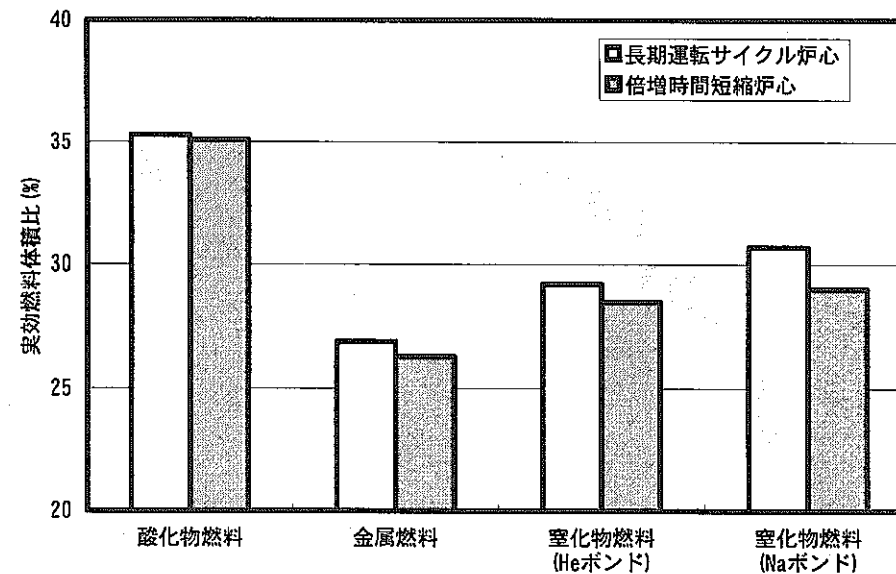
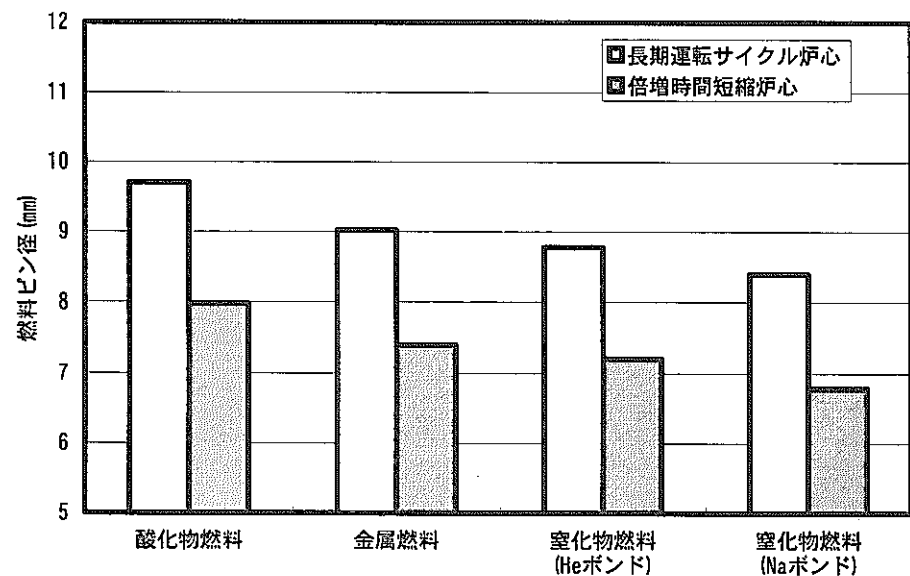


図 4.3.1-2 長期運転サイクル炉心と倍増時間短縮炉心における燃料形態の違いによる主な炉心・燃料基本仕様の比較

### 4.3.2 炉心燃焼特性の比較検討

#### (1) 解析方法

解析方法は前記 4.2.2 と同じである。

#### (2) 解析結果

##### (i) 炉心燃焼特性

炉心燃焼特性解析結果を表 4.3.2-1 及び図 4.3.2-1～図 4.3.2-2 に示す。

##### (a) 炉心平均プルトニウム富化度

酸化物燃料と金属燃料、窒化物燃料の炉心平均プルトニウム富化度を比べると、金属燃料が 3.5wt%程度、ヘリウムボンド窒化物燃料が 3.2wt%程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 4.0wt%程度小さくなる。

##### (b) 初装荷核分裂性プルトニウム量

酸化物燃料と金属燃料、窒化物燃料の初装荷核分裂性プルトニウム量を比べると、金属燃料が 0.8t 程度、ヘリウムボンド窒化物燃料が 0.8t 程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 1t 程度小さくなる。

参考に、各燃料形態の領域別物質収支を表 4.3.2-2～表 4.3.2-5 に示す。

##### (c) 燃焼反応度

酸化物燃料と金属燃料、窒化物燃料の燃焼反応度を比べると、金属燃料が 0.5%  $\Delta k/kk'$  程度、ヘリウムボンド窒化物燃料が 0.5%  $\Delta k/kk'$  程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 0.8%  $\Delta k/kk'$  程度小さくなる。

##### (d) 増殖比

酸化物燃料と金属燃料、窒化物燃料の増殖比を比べると、金属燃料、窒化物燃料とも 0.1 程度大きくなる。

##### (e) 原子炉倍増時間<sup>\*1</sup>

酸化物燃料と金属燃料、窒化物燃料の原子炉倍増時間を比べると、金属燃料、窒化物燃料とも 10 年程度短くなる。

##### (f) 最大高速中性子照射量

酸化物燃料と金属燃料、窒化物燃料の最大高速中性子照射量を比べると、金属燃料が 30%程度、窒化物燃料が 20%程度大きくなる。

参考に、各燃料形態の炉心中心領域での中性子束分布を図 4.3.2-3 に、

<sup>\*1</sup> 初装荷炉心部核分裂性プルトニウム量 / (365 日 / 運転サイクル長 \* (EOEC 全核分裂性プルトニウム量 - BOEC 全核分裂性プルトニウム量))

径方向高速中性子束分布を図 4.3.2-4 に示す。

(g) ナトリウムボイド反応度

酸化物燃料と金属燃料、窒化物燃料のナトリウムボイド反応度を比べると、金属燃料が 0.9%  $\Delta k/kk'$  程度、ヘリウムボンド窒化物燃料が 0.5%  $\Delta k/kk'$  程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 0.7%  $\Delta k/kk'$  程度大きくなる。

(h) 年間核分裂性プルトニウム利得量

酸化物燃料と金属燃料、窒化物燃料の年間核分裂性プルトニウム利得量を比べると、金属燃料が 90kg 程度、ヘリウムボンド窒化物燃料が 90kg 程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 110kg 程度大きくなる。

(ii) 長期運転サイクル炉心との比較

長期運転サイクル炉心と倍増時間短縮炉心の燃焼特性解析結果を比較して表 4.3.2-1 及び図 4.3.2-5～図 4.3.2-6 に示す。

(a) 炉心平均プルトニウム富化度

長期運転サイクル炉心と倍増時間短縮炉心の炉心平均プルトニウム富化度を比べると、倍増時間短縮炉心は酸化物燃料、金属燃料、窒化物燃料ともに 4wt%程度大きくなる。

(b) 初装荷核分裂性プルトニウム量

長期運転サイクル炉心と倍増時間短縮炉心の初装荷核分裂性プルトニウム量を比べると、倍増時間短縮炉心は酸化物燃料が 1.6t 程度、金属燃料が 1.2t 程度、ヘリウムボンド窒化物燃料が 1.2t 程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 1.0t 程度小さくなる。

(c) 燃焼反応度

長期運転サイクル炉心と倍増時間短縮炉心の燃焼反応度を比べると、倍増時間短縮炉心は酸化物燃料が 0.6%  $\Delta k/kk'$  程度、金属燃料が 1.1%  $\Delta k/kk'$  程度、ヘリウムボンド窒化物燃料が 1.2%  $\Delta k/kk'$  程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 1.3%  $\Delta k/kk'$  程度大きくなる。

(d) 増殖比

長期運転サイクル炉心と倍増時間短縮炉心の増殖比を比べると、倍増時間短縮炉心は酸化物燃料、金属燃料、窒化物燃料ともに 0.1 程度大きくなる。

(e) 原子炉倍増時間<sup>\*1</sup>

長期運転サイクル炉心と倍増時間短縮炉心の原子炉倍増時間を比べると、倍増時間短縮炉心は酸化物燃料が 1/6 程度、金属燃料、窒化物燃料が 1/2 程度になる。

(f) 最大高速中性子照射量

長期運転サイクル炉心と倍増時間短縮炉心の増殖比を比べると、倍増時間短縮炉心は酸化物燃料、金属燃料、窒化物燃料ともに 10%程度小さくなる。

(g) ナトリウムボイド反応度

長期運転サイクル炉心と倍増時間短縮炉心のナトリウムボイド反応度を比べると、倍増時間短縮炉心は酸化物燃料、金属燃料、窒化物燃料ともに  $0.4\% \Delta k/kk' \sim 0.6\% \Delta k/kk'$  程度小さくなる。

(h) 年間核分裂性プルトニウム利得量

長期運転サイクル炉心と倍増時間短縮炉心の年間核分裂性プルトニウム利得量を比べると、酸化物燃料が 170kg 程度、金属燃料が 140kg 程度、ヘリウムボンド窒化物燃料が 140kg 程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 130kg 程度大きくなる。

---

<sup>\*1</sup> 初装荷炉心部核分裂性プルトニウム量 / (365 日 / 運転サイクル長 \* (EOEC 全核分裂性プルトニウム量 - BOEC 全核分裂性プルトニウム量))

表 4.3.2-1 長期運転サイクル炉心及び倍増時間短縮炉心における各燃料形態の燃焼特性 (2次元 R-Z 計算)

燃料	酸化物燃料		金属燃料		窒化物燃料 (Heボンド)		窒化物燃料 (Naボンド)		
	長期運転サイクル炉心	倍増時間短縮炉心	長期運転サイクル炉心	倍増時間短縮炉心	長期運転サイクル炉心	倍増時間短縮炉心	長期運転サイクル炉心	倍増時間短縮炉心	
Pu富化度 (wt% ; IC/OC/平均) *1	18.3/20.0/19.1	22.3/24.5/23.3	14.9/16.9/15.9	18.8/21.0/19.8	15.2/17.1/16.1	19.2/21.3/20.1	14.3/16.3/15.3	18.3/20.6/19.3	
初装荷Puf量 (t)	7.39	5.82	6.24	5.06	6.23	5.04	5.89	4.85	
取出平均燃焼度 (万MWd/t)	15.5	15.3	15.1	14.9	15.4	15.2	15.4	15.2	
燃焼反応度 (% Δk/kk')	3.1	3.7	2.1	3.2	2.0	3.2	1.6	2.9	
増殖比 (-) [炉心部/ブランケット/合計]	BOEC	0.84/0.18/1.02	1.15	0.90/0.22/1.12	1.23	0.91/0.22/1.13	1.22	0.95/0.21/1.16	1.24
	MOEC	0.84/0.18/1.02	-	0.90/0.22/1.12	-	0.91/0.21/1.12	-	0.94/0.21/1.15	-
	EOEC	0.83/0.20/1.03	1.17	0.87/0.24/1.11	1.24	0.88/0.22/1.10	1.23	0.90/0.22/1.12	1.24
	平均	0.83/0.19/1.02	1.16	0.89/0.23/1.12	1.23	0.90/0.22/1.12	1.22	0.93/0.21/1.14	1.24
最大線出力 *2 [内側炉心/外側炉心]	BOEC	402/405	394/397	388/392	377/374	385/391	377/377	385/387	359/363
	MOEC	392/392	-	391/377	-	389/376	-	390/374	-
	EOEC	383/380	358/354	387/365	341/332	386/365	344/337	388/364	329/324
出力分担率 (%) [炉心/軸ブラ/径ブラ]	BOEC	95.9/1.8/2.3	91.2/6.5/2.3	95.2/1.8/3.0	90.8/6.6/2.6	95.3/2.0/2.7	90.9/6.6/2.5	95.2/1.9/2.8	91.0/6.4/2.6
	MOEC	94.9/1.9/2.4	-	94.6/1.9/3.2	-	94.7/2.1/2.8	-	94.8/2.0/3.0	-
	EOEC	94.2/2.4/3.3	87.7/9.2/3.1	93.3/2.5/4.2	87.1/9.3/3.6	93.5/2.7/3.7	87.3/9.3/3.4	93.5/2.5/3.9	87.4/9.0/3.6
最大高速中性子束 (n/cm <sup>2</sup> ・s ; 平均)	2.13E+15	2.81E+15	2.93E+15	3.77E+15	2.62E+15	3.46E+15	2.70E+15	3.49E+15	
最大高速中性子照射量 (n/cm <sup>2</sup> ) *3	4.97E+23	4.42E+23	6.82E+23	5.94E+23	6.11E+23	5.46E+23	6.31E+23	5.50E+23	
原子炉倍増時間 (年) *4	168	27	39	17	37	17	29	15	
Puf利得 (kg/年)	43.9	218.8	161.7	304.8	167.5	303.6	201.7	327.7	
Naボイド反応度 (% Δk/kk') *5	2.6	2.0	3.5	2.9	3.1	2.5	3.1	2.7	

\*1 : Pu富化度はICとOCの線出力比が同じになるように設定。

\*2 : 燃焼ミスマッチファクタ考慮。

\*3 : (最大高速中性子束) \*サイクル長\*バッチ\*24hr\*3600s

\*4 : 初装荷炉心部Puf重量 / (365日/運転サイクル長 \* (EOEC全Puf重量 - BOEC全Puf重量))

\*5 : 炉心領域のラッパ管内側 (内部ダクト領域内を除く) のみボイド化、EOEC

表 4.3.2-2 倍増時間短縮炉心の領域別物質収支  
(酸化燃料 ; 5 バッチ×12 ヶ月運転, 取出平均燃焼度 15 万 MWd/t) [1/4]

全領域							燃料サイクル精算						
	初核種炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料投入	取出し燃料		初核種炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料投入	取出し燃料
PU238	283.5	223.5	206.3	-21.2	50.0	35.6	PU238	0.0	0.2	0.4	0.2	0.0	0.2
PU239	4921.7	5525.6	5920.4	284.7	984.3	1278.1	PU239	0.0	725.9	7657.0	332.0	0.0	352.0
PU240	2555.5	2624.0	2651.7	37.2	511.1	648.3	PU240	0.0	35.7	70.0	31.1	0.0	31.1
PU241	899.2	699.9	613.0	-77.3	179.0	102.0	PU241	0.0	1.0	3.4	1.8	0.0	3.8
PU242	562.5	629.1	616.1	-17.0	192.5	115.5	PU242	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
U235	343.6	264.7	259.0	-27.7	69.9	42.3	U235	117.4	37.5	89.3	-9.2	29.5	14.3
U236	0.0	13.0	13.6	5.0	0.0	5.0	U236	0.0	4.7	5.0	2.1	0.0	2.1
U238	116197.3	112885.0	111223.5	-1062.4	29299.6	21577.3	U238	35021.8	38117.0	37852.3	-455.2	7694.3	7329.1
NP237	0.0	10.2	14.7	4.5	0.0	4.5	NP237	0.0	1.0	2.4	0.0	0.0	0.0
NP239	0.0	14.0	19.7	2.7	0.0	2.7	NP239	0.0	3.3	4.1	0.8	0.0	0.8
AM241	142.0	160.1	150.5	0.4	28.4	28.0	AM241	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
AM242	0.0	0.4	0.9	2.4	0.0	2.4	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	48.6	68.7	20.2	0.0	20.2	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	0.0	12.1	2.5	0.0	2.5	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.7	1.0	0.3	0.0	0.3	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	11.4	15.6	0.1	0.0	0.1	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU..TOTAL	8822.0	9709.6	9920.1	216.4	1964.6	2091.0	PU..TOTAL	0.0	768.9	1192.6	355.7	0.0	355.7
PU..FISSILE	6920.6	6216.5	6423.9	217.5	1164.2	1891.0	PU..FISSILE	0.0	726.9	1061.2	394.4	0.0	324.4
FIS.RATIO.(%)	62.4	64.1	64.9	0.0	52.4	66.4	FIS.RATIO.(%)	0.0	34.8	39.7	0.0	0.0	31.4
PU..ENRICHMENT.(%/O)	7.4	7.0	8.2	0.0	7.4	8.0	PU..ENRICHMENT.(%/O)	0.0	2.0	2.9	0.0	0.0	4.7
U..TOTAL	112647.6	113186.3	111502.1	-1644.3	29399.6	21622.9	U..TOTAL	35139.0	38213.9	37747.5	-472.3	7827.8	7855.5
U236	343.6	284.7	259.0	-27.7	69.9	42.3	U236	117.4	37.5	89.3	-9.2	29.5	14.3
U..ENRICHMENT.(%/O)	0.3	0.3	0.2	0.0	0.3	0.2	U..ENRICHMENT.(%/O)	0.3	0.3	0.2	0.0	0.3	0.2
TRU..TOTAL	142.0	248.7	290.4	41.7	28.4	70.1	TRU..TOTAL	0.0	4.6	6.7	1.8	0.0	6.8
NP..TOTAL	0.0	21.2	28.9	7.1	0.0	7.1	NP..TOTAL	0.0	4.6	5.6	1.7	0.0	1.7
AM..TOTAL	142.0	205.1	228.0	22.9	28.4	51.3	AM..TOTAL	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
CM..TOTAL	0.0	22.5	34.1	11.6	0.0	11.6	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO.(%/O)	0.1	0.2	0.2	0.0	0.1	0.3	TRU..RATIO.(%/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HW..TOTAL	126012.3	123138.0	121712.4	-1400.2	25292.5	28776.4	HW..TOTAL	39139.0	38931.5	38858.8	-104.8	7827.8	7729.0
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

炉心燃料精算							燃料サイクル精算						
	初核種炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料投入	取出し燃料		初核種炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料投入	取出し燃料
PU238	283.9	229.2	207.8	-21.4	50.0	35.4	PU238	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
PU239	4921.7	4425.1	4200.9	224.9	984.3	750.1	PU239	0.0	275.3	561.7	166.5	0.0	198.5
PU240	2555.5	2674.9	2672.7	2.2	511.1	508.9	PU240	0.0	5.9	18.2	6.3	0.0	9.3
PU241	899.2	699.0	609.7	-79.3	179.0	100.5	PU241	0.0	0.2	0.5	0.3	0.0	0.3
PU242	562.5	639.1	618.0	-17.1	192.5	115.4	PU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U235	343.6	261.0	257.9	-18.2	69.9	41.5	U235	136.7	32.1	122.9	-5.3	27.7	22.5
U236	0.0	0.5	0.9	-2.4	0.0	2.4	U236	0.0	2.6	3.8	1.3	0.0	1.3
U238	11684.0	11106.6	10935.7	-670.9	2917.0	2246.0	U238	46031.6	45661.3	45435.6	-226.2	3218.2	3092.1
NP237	0.0	7.8	11.1	-2.2	0.0	3.2	NP237	0.0	0.0	1.2	0.4	0.0	0.4
NP239	0.0	0.2	7.0	-1.4	0.0	1.4	NP239	0.0	1.0	2.0	0.4	0.0	0.4
AM241	142.0	150.0	150.3	-0.3	28.4	28.0	AM241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	0.4	0.9	-2.4	0.0	2.4	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	48.6	68.7	20.2	0.0	20.2	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	0.0	12.1	-2.5	0.0	2.5	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.7	1.0	-0.3	0.0	0.3	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	11.4	15.5	-0.1	0.0	0.1	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.0	1.6	-0.0	0.0	0.0	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU..TOTAL	9322.8	8861.3	8706.9	-344.4	1964.6	1520.2	PU..TOTAL	0.0	365.6	580.8	195.1	0.0	195.1
PU..FISSILE	6920.6	5114.1	4910.5	302.6	1164.2	819.5	PU..FISSILE	0.0	375.5	562.2	196.7	0.0	168.7
FIS.RATIO.(%)	124.9	119.6	117.2	2.4	25.0	113.9	FIS.RATIO.(%)	0.0	37.4	88.8	0.0	0.0	95.7
PU..ENRICHMENT.(%/O)	45.3	44.6	44.9	0.3	9.1	44.1	PU..ENRICHMENT.(%/O)	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	2.1
U..TOTAL	31176.4	29174.1	28192.4	-981.7	6235.7	5254.0	U..TOTAL	46230.2	45792.8	45562.3	-230.2	8240.0	8116.0
U236	343.6	281.0	257.9	-18.2	69.9	41.5	U236	136.7	32.1	122.9	-5.3	27.7	22.5
U..ENRICHMENT.(%/O)	0.6	0.4	0.3	0.1	0.1	0.2	U..ENRICHMENT.(%/O)	0.3	0.3	0.3	0.0	0.3	0.3
TRU..TOTAL	142.0	241.5	280.0	-55.1	28.4	67.5	TRU..TOTAL	0.0	2.3	3.2	0.9	0.0	0.9
NP..TOTAL	0.0	14.1	19.7	-4.7	0.0	4.7	NP..TOTAL	0.0	2.3	3.2	0.9	0.0	0.8
AM..TOTAL	142.0	205.0	227.8	-22.8	28.4	51.2	AM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM..TOTAL	0.0	22.6	34.1	-11.6	0.0	11.6	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO.(%/O)	0.7	1.3	1.5	-0.2	0.1	2.0	TRU..RATIO.(%/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HW..TOTAL	40845.2	37985.3	36870.0	-1267.1	2128.6	6841.0	HW..TOTAL	46230.2	46180.4	46146.1	-34.3	8246.0	8211.7
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

表 4.3.2-3 倍増時間短縮炉心の領域別物質収支  
(金属燃料; 5 バッチ×12 ヶ月運転, 取出平均燃焼度 15 万 MWd/t) [2/4]

全燃料							軸ブランクアップ補給						
	初核初炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料装荷	取出し燃料		初核初炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料装荷	取出し燃料
FU239	244.3	192.3	172.2	-20.1	46.9	20.7	FU239	0.0	0.2	0.4	0.2	0.0	0.2
FU239	4275.0	5079.5	5451.3	381.8	955.0	1236.9	FU239	0.0	594.2	935.9	341.7	0.0	311.7
FU240	2219.7	2223.3	2231.4	0.1	445.9	452.0	FU240	0.0	91.0	66.8	24.3	0.0	24.3
FU241	701.0	579.9	456.5	-77.0	156.2	73.2	FU241	0.0	1.3	2.3	1.2	0.0	1.2
FU242	575.5	548.3	529.5	-16.8	115.1	99.3	FU242	0.0	0.0	0.7	0.1	0.0	0.1
U235	393.9	326.9	297.7	-29.2	79.8	45.5	U235	107.2	89.5	79.0	-8.6	21.4	12.9
U236	0.0	19.8	19.6	5.0	0.0	5.8	U236	0.0	4.2	5.1	1.9	0.0	1.9
U238	180893.1	127400.3	125749.6	-1716.7	26178.6	24462.0	U238	36829.0	34767.5	34328.4	-439.2	7124.5	6695.4
NP237	0.0	10.9	15.5	4.7	0.0	4.7	NP237	0.0	1.4	2.2	0.8	0.0	0.9
NP239	0.0	11.3	14.1	2.7	0.0	2.7	NP239	0.0	3.1	3.9	0.8	0.0	0.8
AM241	129.0	129.4	129.0	-0.1	24.6	24.5	AM241	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1
AM242	0.0	5.1	7.0	1.9	0.0	1.9	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	39.3	55.5	16.2	0.0	16.2	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	7.8	9.8	2.0	0.0	2.0	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.5	0.7	0.2	0.0	0.2	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	8.9	15.2	6.3	0.0	6.3	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.6	1.2	0.6	0.0	0.6	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FU..TOTAL	8025.5	8616.0	8931.0	276.0	1619.1	1895.1	FU..TOTAL	0.0	717.4	1055.5	338.1	0.0	338.1
FU..FISILE	5056.0	5652.1	5957.5	304.8	1011.2	1216.0	FU..FISILE	0.0	685.3	999.2	313.9	0.0	313.9
FIS..RATIO..(%)	62.6	65.6	67.0	0.0	62.6	64.4	FIS..RATIO..(%)	0.0	95.5	94.6	0.0	0.0	92.6
FU..ENRICHMENT..(W/O)	5.8	6.3	6.6	0.0	5.8	7.2	FU..ENRICHMENT..(W/O)	0.0	2.0	3.0	0.0	0.0	4.8
U..TOTAL	131286.9	127900.9	126060.8	-1740.1	26257.4	24517.3	U..TOTAL	35730.2	24950.3	24414.3	-446.0	7146.0	6700.1
U235	393.9	326.9	297.7	-29.2	79.8	45.5	U235	107.2	89.5	79.0	-8.6	21.4	12.9
U..ENRICHMENT..(W/O)	0.3	0.3	0.2	0.0	0.3	0.2	U..ENRICHMENT..(W/O)	0.3	0.3	0.2	0.0	0.3	0.2
TRU..TOTAL	123.0	213.8	248.2	84.4	24.6	59.9	TRU..TOTAL	0.0	4.6	6.2	1.6	0.0	1.6
NP..TOTAL	0.0	22.1	29.6	7.5	0.0	7.5	NP..TOTAL	0.0	4.6	6.0	1.5	0.0	1.5
AM..TOTAL	129.0	179.9	191.8	17.9	24.6	42.5	AM..TOTAL	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
CM..TOTAL	0.0	17.9	26.5	9.0	0.0	9.0	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO..(W/O)	0.1	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	TRU..RATIO..(W/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HM..TOTAL	135505.4	130629.7	128193.9	-1429.9	27901.1	26471.3	HM..TOTAL	35730.2	25922.2	25478.0	-456.3	7146.0	7039.8
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

炉心燃料補給							軸ブランクアップ補給						
	初核初炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料装荷	取出し燃料		初核初炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料装荷	取出し燃料
FU239	244.3	192.1	171.7	-20.9	46.9	20.5	FU239	0.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0
FU239	4275.0	5343.3	5796.8	152.8	955.0	1227.4	FU239	0.0	446.6	588.7	142.1	0.0	222.7
FU240	2219.7	2194.7	2162.2	-27.5	445.9	421.4	FU240	0.0	9.7	12.4	5.7	0.0	5.7
FU241	701.0	572.4	454.0	-78.4	156.2	73.6	FU241	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
FU242	575.5	548.3	529.5	-16.8	115.1	99.3	FU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U235	393.9	341.1	314.7	-14.3	20.0	5.6	U235	100.6	174.4	169.1	-5.3	37.4	31.1
U236	0.0	6.8	9.9	-2.5	0.0	2.5	U236	0.0	2.8	4.2	1.4	0.0	1.4
U238	33187.9	21115.0	20102.5	-1012.5	6037.0	5025.0	U238	62082.4	61977.8	61312.9	-2544.3	12416.5	12151.6
NP237	0.0	6.4	11.9	-3.4	0.0	3.4	NP237	0.0	0.9	1.5	0.5	0.0	0.5
NP239	0.0	6.4	7.9	-1.5	0.0	1.5	NP239	0.0	1.8	2.3	0.5	0.0	0.5
AM241	123.0	129.4	129.2	0.2	24.6	24.4	AM241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	5.1	6.9	-1.8	0.0	1.8	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	39.3	55.5	-16.2	0.0	16.2	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	7.8	9.8	-2.0	0.0	2.0	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.5	0.7	-0.2	0.0	0.2	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.3	8.9	15.2	-6.3	0.0	6.3	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.6	1.2	-0.6	0.0	0.6	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FU..TOTAL	8025.5	7444.8	7184.1	-280.6	1619.1	1328.5	FU..TOTAL	0.0	452.8	601.3	148.5	0.0	229.6
FU..FISILE	5056.0	4521.7	4290.7	-231.0	1011.2	780.9	FU..FISILE	0.0	446.0	588.9	142.9	0.0	222.9
FIS..RATIO..(%)	62.9	60.6	59.7	-1.5	25.0	19.7	FIS..RATIO..(%)	0.0	98.6	99.2	0.0	0.0	97.5
FU..ENRICHMENT..(W/O)	38.5	37.9	37.9	0.2	7.7	37.5	FU..ENRICHMENT..(W/O)	0.0	0.7	1.1	0.0	0.0	1.0
U..TOTAL	32287.0	21105.3	20101.5	-1024.4	6037.6	5022.2	U..TOTAL	62280.2	61785.0	61485.2	-253.0	12453.8	12184.1
U235	393.9	341.1	314.7	-14.3	20.0	5.6	U235	100.6	174.4	169.1	-5.3	37.4	31.1
U..ENRICHMENT..(W/O)	0.0	0.4	0.3	0.1	0.1	0.2	U..ENRICHMENT..(W/O)	0.3	0.3	0.3	0.0	0.3	0.3
TRU..TOTAL	123.0	206.5	238.9	-31.7	24.6	59.9	TRU..TOTAL	0.0	2.8	3.8	1.0	0.0	1.0
NP..TOTAL	0.0	14.8	19.8	-4.9	0.0	4.9	NP..TOTAL	0.0	2.9	3.9	1.0	0.0	1.0
AM..TOTAL	123.0	179.9	191.6	-17.8	24.6	42.4	AM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM..TOTAL	0.0	17.9	26.8	-9.0	0.0	9.0	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO..(W/O)	0.5	1.1	1.3	-0.2	0.1	1.6	TRU..RATIO..(W/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HM..TOTAL	41601.3	23897.2	23553.9	-1203.3	6031.3	5018.0	HM..TOTAL	62280.2	62180.5	62170.3	-43.2	12453.8	12410.6
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



表 4.3.2-4 倍増時間短縮炉心の領域別物質収支  
(窒化物燃料(ヘリウム);5バッチ×12ヶ月運転, 取出平均燃焼度 15 万 Mwd/t) [3/4]

全燃料	[kg]						燃料ブランケット領域	[kg]					
	初装炉心	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	246.0	194.0	174.0	-20.0	49.2	23.2	FU238	0.0	0.2	0.4	0.2	0.0	0.2
PU239	4263.2	5065.5	5440.5	375.0	952.7	1227.7	FU239	0.0	692.5	691.7	309.2	0.0	309.2
PU240	2219.6	2292.9	2299.9	30.6	442.7	479.2	FU240	0.0	37.6	66.7	29.1	0.0	29.1
PU241	779.9	599.5	512.2	-71.2	165.9	84.5	FU241	0.0	1.6	3.2	1.7	0.0	1.7
PU242	573.5	544.7	520.0	-18.7	114.9	88.1	FU242	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
UZ35	371.0	304.3	275.5	-29.9	74.2	45.3	UZ35	105.9	95.4	77.8	-9.7	21.1	12.4
UZ36	0.0	14.1	20.0	5.9	0.0	5.9	UZ36	0.0	4.4	6.3	1.9	0.0	1.9
UZ38	123280.1	119787.0	119045.8	-1741.4	24650.0	22314.7	UZ38	34992.9	34122.4	33691.0	-441.4	6595.6	6555.2
NP237	0.0	10.8	15.5	4.7	0.0	4.7	NP237	0.0	1.5	2.2	0.8	0.0	0.8
NP239	0.0	11.6	14.8	2.8	0.0	2.8	NP239	0.0	3.1	3.9	0.9	0.0	0.9
AM241	129.0	125.8	126.1	-0.9	24.6	23.8	AM241	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
AM242	0.0	5.4	7.4	1.9	0.0	1.9	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	42.7	60.1	17.4	0.0	17.4	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	8.3	10.4	2.1	0.0	2.1	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.6	0.9	0.3	0.0	0.3	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	10.6	12.8	2.3	0.0	2.3	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.7	1.5	0.7	0.0	0.7	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FU..TOTAL	8076.5	8650.4	8948.0	297.6	1616.1	1912.7	FU..TOTAL	0.0	731.8	1092.1	340.2	0.0	340.2
FU..FISSILE	6042.1	5648.9	5952.7	309.8	1009.4	1212.2	FU..FISSILE	0.0	694.0	694.9	310.3	0.0	310.3
FIG.RATIO.(%)	52.4	65.3	66.6	0.0	62.4	68.6	FIG.RATIO.(%)	0.0	94.8	92.7	0.0	0.0	91.4
FU..ENRICHMENT.(%/O)	6.1	6.7	7.0	0.0	6.1	7.7	FU..ENRICHMENT.(%/O)	0.0	2.1	3.1	0.0	0.0	4.3
U..TOTAL	123851.1	120105.4	118941.1	-1784.4	24730.2	22855.8	U..TOTAL	36998.1	34919.1	33765.0	-446.1	7017.5	6593.5
UZ35	371.0	304.3	275.5	-29.9	74.2	45.3	UZ35	105.9	95.4	77.8	-9.7	21.1	12.4
U..ENRICHMENT.(%/O)	0.3	0.3	0.2	0.0	0.3	0.2	U..ENRICHMENT.(%/O)	0.3	0.3	0.2	0.0	0.3	0.2
TRU..TOTAL	129.0	217.6	259.8	36.7	24.6	86.8	TRU..TOTAL	0.0	4.6	6.3	1.7	0.0	1.7
NP..TOTAL	0.0	22.3	29.8	7.5	0.0	7.5	NP..TOTAL	0.0	4.6	6.1	1.8	0.0	1.6
AM..TOTAL	129.0	176.1	199.5	18.4	24.6	49.0	AM..TOTAL	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
CM..TOTAL	0.0	20.2	20.5	10.9	0.0	10.9	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO.(%/O)	0.1	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	TRU..RATIO.(%/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HM..TOTAL	181849.5	126973.4	127542.8	-1493.6	26989.9	24935.9	HM..TOTAL	35998.1	34939.8	34683.3	-106.3	7017.6	6911.4
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

炉心燃料領域	[kg]						燃料ブランケット領域	[kg]					
	初装炉心	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	246.0	199.7	179.5	-20.2	49.2	23.0	FU238	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
PU239	4263.2	5357.2	5911.0	148.2	952.6	706.5	FU239	0.0	426.9	697.8	211.3	0.0	211.3
PU240	2219.6	2216.0	2209.7	-5.3	442.7	488.4	FU240	0.0	3.2	17.0	7.8	0.0	7.8
PU241	779.9	581.8	509.7	-78.1	165.9	82.7	FU241	0.0	0.2	0.4	0.2	0.0	0.2
PU242	573.5	544.6	527.9	-18.7	114.9	89.0	FU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
UZ35	371.0	313.3	275.5	-29.5	74.2	45.3	UZ35	168.0	156.0	159.1	-6.0	33.6	27.6
UZ36	0.0	6.9	9.5	-2.5	0.0	3.5	UZ36	0.0	2.8	4.2	1.4	0.0	1.4
UZ38	123460.0	120120.0	119045.3	-1045.7	24622.2	24404.4	UZ38	55036.7	55952.8	55998.5	-254.2	11167.3	10910.1
NP237	0.0	8.6	12.0	-3.4	0.0	3.4	NP237	0.0	0.3	1.3	0.5	0.0	0.5
NP239	0.0	6.7	9.2	-1.5	0.0	1.5	NP239	0.0	1.8	2.2	0.6	0.0	0.6
AM241	129.0	126.9	125.9	-0.9	24.6	23.6	AM241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	5.4	7.3	-1.9	0.0	1.9	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	42.7	60.1	-17.4	0.0	17.4	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	8.3	10.4	-2.0	0.0	2.1	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.6	0.9	-0.3	0.0	0.3	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	10.6	12.8	-2.3	0.0	2.3	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.7	1.5	-0.7	0.0	0.7	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FU..TOTAL	6976.5	7493.3	7230.9	-292.6	1616.1	1352.0	FU..TOTAL	0.0	435.3	655.2	220.0	0.0	220.0
FU..FISSILE	5042.1	4539.0	4319.7	-219.3	1009.4	789.2	FU..FISSILE	0.0	426.0	638.1	212.1	0.0	212.1
FIG.RATIO.(%)	124.3	121.2	119.6	-1.6	26.0	116.9	FIG.RATIO.(%)	0.0	97.9	97.4	0.0	0.0	96.6
FU..ENRICHMENT.(%/O)	39.1	39.0	38.3	0.0	7.0	33.1	FU..ENRICHMENT.(%/O)	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	2.0
U..TOTAL	32650.5	32380.9	32323.4	-165.5	6511.7	5454.3	U..TOTAL	6604.7	5551.6	55292.8	-259.9	11200.9	10942.1
UZ35	371.0	313.3	275.5	-29.5	74.2	45.3	UZ35	168.0	156.0	159.1	-6.0	33.6	27.6
U..ENRICHMENT.(%/O)	0.3	0.4	0.3	0.1	0.1	0.2	U..ENRICHMENT.(%/O)	0.3	0.3	0.3	0.0	0.3	0.3
TRU..TOTAL	129.0	210.4	242.0	-33.5	24.6	59.1	TRU..TOTAL	0.0	2.6	3.6	1.0	0.0	1.0
NP..TOTAL	0.0	16.2	20.1	-4.9	0.0	5.0	NP..TOTAL	0.0	2.6	3.6	1.0	0.0	1.0
AM..TOTAL	129.0	176.0	193.2	-18.3	24.6	42.9	AM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM..TOTAL	0.0	20.2	20.5	-10.3	0.0	10.3	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO.(%/O)	0.6	1.1	1.3	-0.2	0.1	1.7	TRU..RATIO.(%/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HM..TOTAL	40767.0	28044.5	26798.1	-1266.5	9161.4	8864.9	HM..TOTAL	6604.7	55949.5	55911.6	-37.9	11200.9	11163.0
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

表 4.3.2-5 倍増時間短縮炉心の領域別物質収支  
(窒化物燃料(ナトリウム);5バッチ×12ヶ月運転, 取出平均燃焼度15万 MWd/t) [4/4]

全領域							種プランケット領域						
	初核炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料供給	取出し燃料		初核炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料供給	取出し燃料
FU238	230.5	185.8	186.5	-18.3	47.3	28.0	FU238	0.0	0.2	0.4	0.2	0.0	0.2
FU239	4098.5	4861.9	6267.1	355.2	819.7	1214.9	FU239	0.0	561.8	368.8	230.0	0.0	239.8
FU240	2128.7	2188.6	2225.3	36.6	425.8	482.2	FU240	0.0	37.1	85.7	28.8	0.0	28.8
FU241	748.8	551.0	433.4	-67.7	148.8	82.9	FU241	0.0	1.5	3.2	1.7	0.0	1.7
FU242	551.7	523.2	507.0	-18.2	110.2	84.2	FU242	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
U235	361.4	233.8	284.7	-23.1	72.3	43.2	U235	101.7	83.3	74.3	-9.4	20.3	11.3
U238	0.0	14.3	20.2	5.9	0.0	5.9	U238	0.0	4.3	6.1	1.9	0.0	1.9
U239	120401.0	116527.1	114783.4	-1778.8	24020.4	22246.6	U239	33802.7	32855.6	32546.8	-428.6	6780.6	6331.8
NP237	0.0	11.2	15.9	4.8	0.0	4.8	NP237	0.0	1.5	2.2	0.8	0.0	0.8
NP239	0.0	11.7	14.5	2.9	0.0	2.8	NP239	0.0	3.0	3.7	0.8	0.0	0.8
AM241	118.2	120.7	119.4	-1.2	23.6	22.4	AM241	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
AM242	0.0	5.3	7.1	1.8	0.0	1.8	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	42.2	59.2	17.0	0.0	17.0	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	8.2	10.2	2.0	0.0	2.0	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.6	0.9	0.2	0.0	0.2	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	10.8	18.1	7.4	0.0	7.4	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.8	1.5	0.8	0.0	0.8	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FU..TOTAL	7763.5	8420.6	8745.2	328.6	1552.7	1881.4	FU..TOTAL	0.0	700.6	1020.1	329.5	0.0	329.5
FU..FISSILE	4847.3	5623.0	5860.6	327.6	889.6	1287.0	FU..FISSILE	0.0	583.2	363.8	300.7	0.0	300.7
FIS..RATIO..(X)	82.4	65.6	66.9	0.0	82.4	68.3	FIS..RATIO..(X)	0.0	34.7	33.0	0.0	0.0	31.3
FU..ENRICHMENT..(W/O)	6.1	6.7	7.1	0.0	6.1	7.0	FU..ENRICHMENT..(W/O)	0.0	2.1	3.1	0.0	0.0	4.5
U..TOTAL	120453.2	116935.2	115038.8	-1786.8	24092.6	22286.7	U..TOTAL	33904.4	31051.1	32617.8	-486.2	6780.9	6345.7
U235	361.4	233.8	284.7	-23.1	72.3	43.2	U235	101.7	83.3	74.3	-9.4	20.3	11.3
U..ENRICHMENT..(W/O)	0.3	0.3	0.2	0.0	0.3	0.2	U..ENRICHMENT..(W/O)	0.3	0.3	0.2	0.0	0.3	0.2
TRU..TOTAL	118.2	211.4	246.9	35.6	29.8	58.2	TRU..TOTAL	0.0	4.8	8.1	1.6	0.0	1.8
NP..TOTAL	0.0	22.9	30.4	7.6	0.0	7.6	NP..TOTAL	0.0	4.4	6.0	1.5	0.0	1.5
AM..TOTAL	118.2	168.7	185.8	17.5	23.6	41.2	AM..TOTAL	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
CM..TOTAL	0.0	20.3	30.7	10.4	0.0	10.4	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO..(W/O)	0.1	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	TRU..RATIO..(W/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NU..TOTAL	128344.8	125487.1	124024.3	-1432.8	25688.0	24238.2	NU..TOTAL	34304.4	33758.2	33654.1	-104.1	6780.9	6376.8
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

炉心燃料領域							種プランケット領域						
	初核炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料供給	取出し燃料		初核炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料供給	取出し燃料
FU238	230.5	185.8	186.0	13.6	47.3	27.7	FU238	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1
FU239	4098.5	4886.3	5747.1	118.2	819.7	701.5	FU239	0.0	424.9	649.3	214.6	0.0	214.6
FU240	2128.7	2141.4	2141.0	0.4	425.8	425.3	FU240	0.0	10.2	18.8	8.4	0.0	8.4
FU241	748.8	559.3	489.8	59.0	148.8	90.2	FU241	0.0	0.2	0.4	0.2	0.0	0.2
FU242	551.7	523.1	506.9	18.8	110.2	84.1	FU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U235	361.4	233.8	284.7	-23.1	72.3	43.2	U235	100.9	148.6	142.5	-9.1	32.2	26.1
U238	0.0	7.2	9.8	-2.6	0.0	2.6	U238	0.0	2.9	4.3	1.4	0.0	1.4
U239	32842.0	32602.2	32518.8	1095.4	6588.4	5493.0	U239	62457.2	62359.6	62339.3	-269.7	10391.4	10431.7
NP237	0.0	8.8	12.3	-3.5	0.0	3.5	NP237	0.0	0.9	1.4	0.5	0.0	0.5
NP239	0.0	8.9	9.5	-1.0	0.0	1.6	NP239	0.0	1.8	2.3	0.5	0.0	0.5
AM241	118.2	120.6	119.2	1.3	23.6	22.3	AM241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	5.3	7.1	-1.9	0.0	1.8	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	42.2	59.2	-17.0	0.0	17.0	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	8.2	10.2	-2.0	0.0	2.0	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.6	0.9	-0.2	0.0	0.3	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	10.8	18.1	-7.4	0.0	7.4	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.8	1.5	-0.8	0.0	0.8	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FU..TOTAL	7763.5	7274.7	7050.7	224.0	1552.7	1328.7	FU..TOTAL	0.0	445.3	608.4	223.2	0.0	223.2
FU..FISSILE	4847.3	4424.7	4238.8	187.8	889.6	781.7	FU..FISSILE	0.0	435.0	649.7	214.7	0.0	214.7
FIS..RATIO..(X)	124.3	121.4	120.4	1.4	25.0	31.0	FIS..RATIO..(X)	0.0	97.7	97.2	0.0	0.0	30.2
FU..ENRICHMENT..(W/O)	37.6	37.7	37.8	-0.2	7.6	38.3	FU..ENRICHMENT..(W/O)	0.0	0.9	1.3	0.0	0.0	2.1
U..TOTAL	32940.3	32571.2	32578.8	1097.4	6588.2	5493.0	U..TOTAL	61819.0	61111.1	62048.7	-264.4	10723.8	10469.2
U235	361.4	233.8	284.7	-23.1	72.3	43.2	U235	100.9	148.6	142.5	-9.1	32.2	26.1
U..ENRICHMENT..(W/O)	0.3	0.3	0.3	0.0	0.3	0.2	U..ENRICHMENT..(W/O)	0.3	0.3	0.3	0.0	0.3	0.2
TRU..TOTAL	118.2	204.2	237.1	-31.9	23.6	58.5	TRU..TOTAL	0.0	2.7	3.7	1.0	0.0	1.0
NP..TOTAL	0.0	15.7	20.8	-5.1	0.0	5.1	NP..TOTAL	0.0	2.7	3.7	1.0	0.0	1.0
AM..TOTAL	118.2	168.1	185.8	-17.5	23.6	41.1	AM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM..TOTAL	0.0	20.3	30.7	-10.4	0.0	10.3	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO..(W/O)	0.6	1.1	1.3	-0.2	0.1	1.0	TRU..RATIO..(W/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NU..TOTAL	48822.6	48160.1	48061.5	1288.6	9184.5	8076.0	NU..TOTAL	63818.0	63558.1	63518.0	-40.2	10723.8	10683.4
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

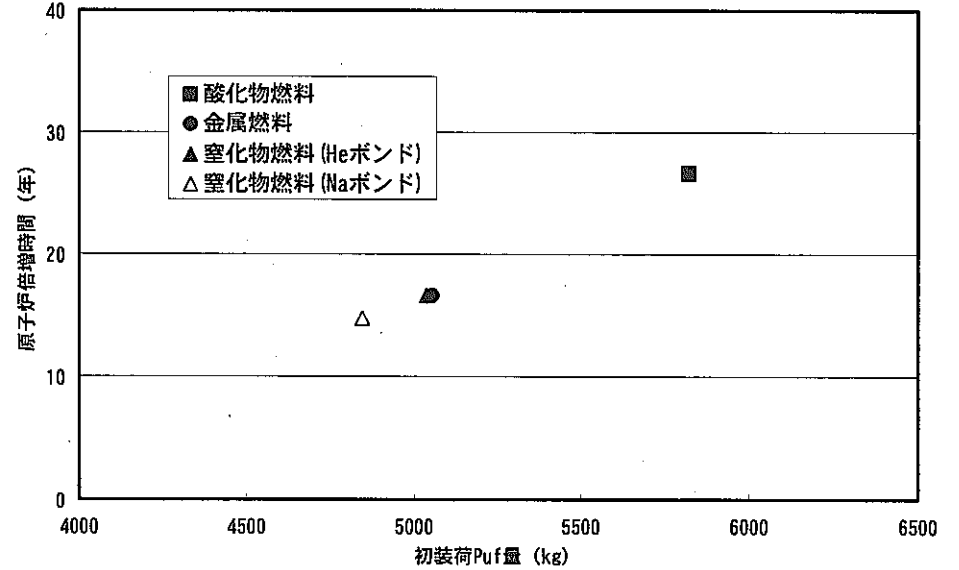
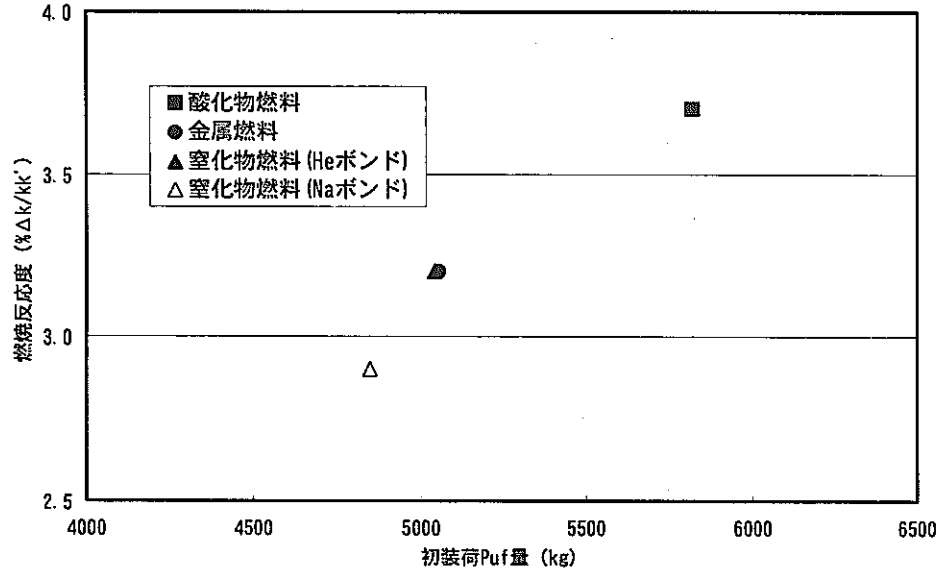
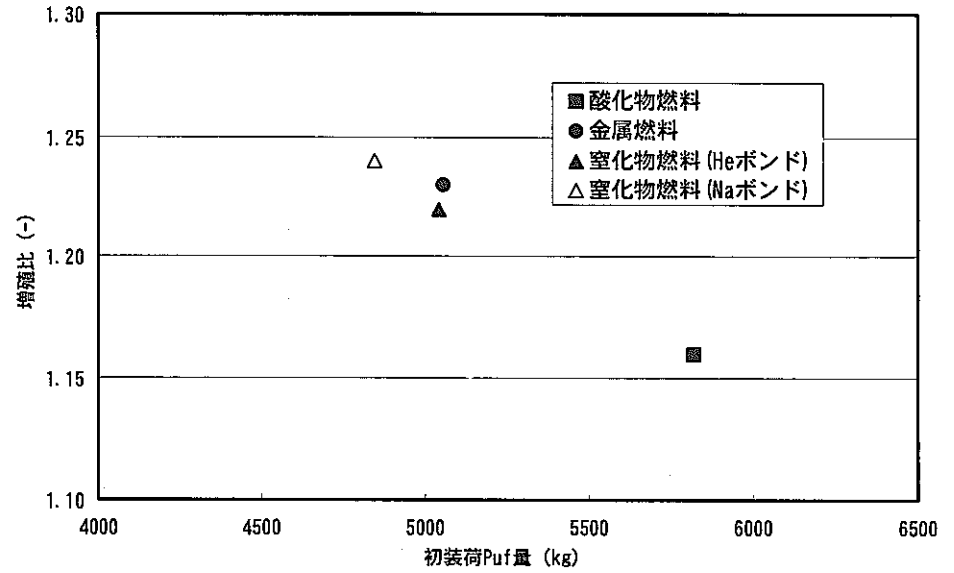
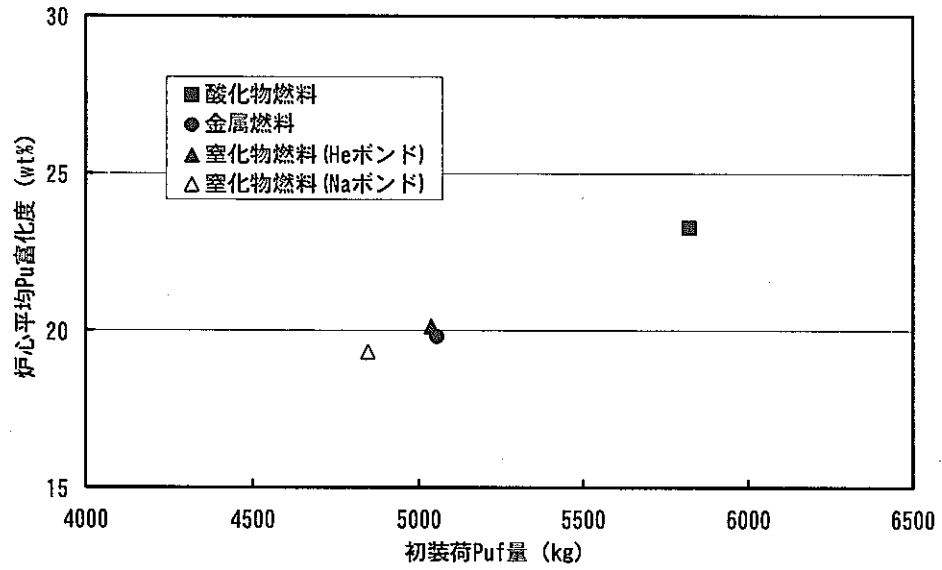


図 4.3.2-1 倍増時間短縮炉心における燃料形態の違いによる燃焼特性の比較 (2次元 R-Z 計算) [1/2]

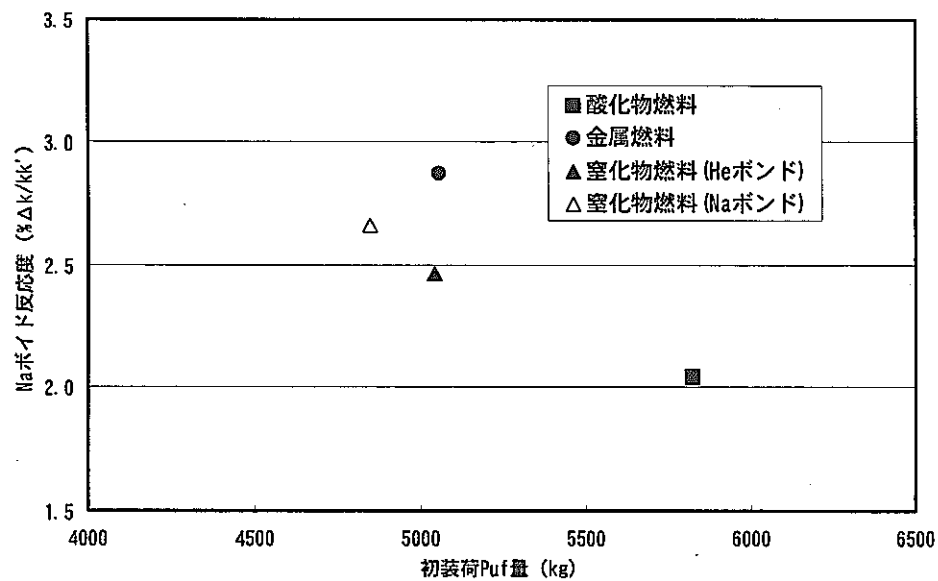
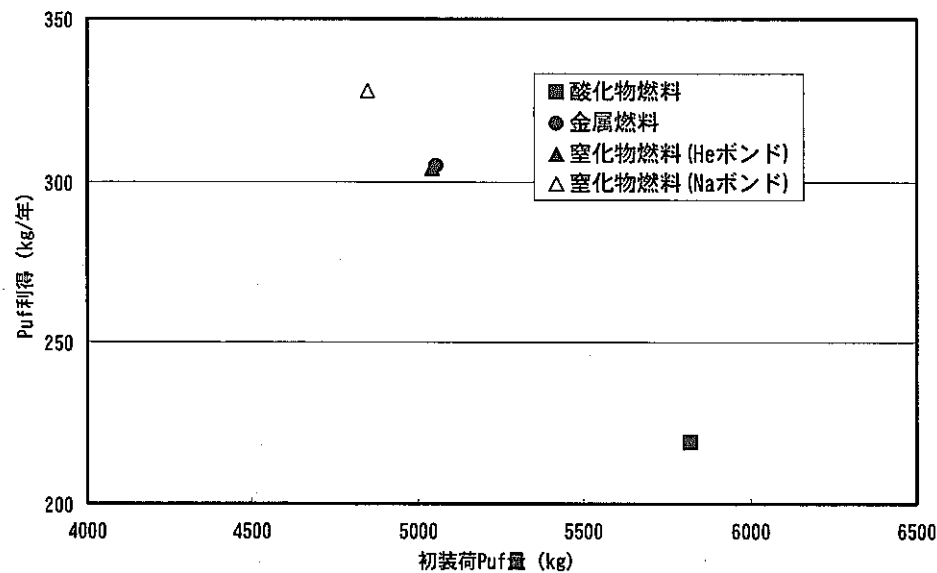
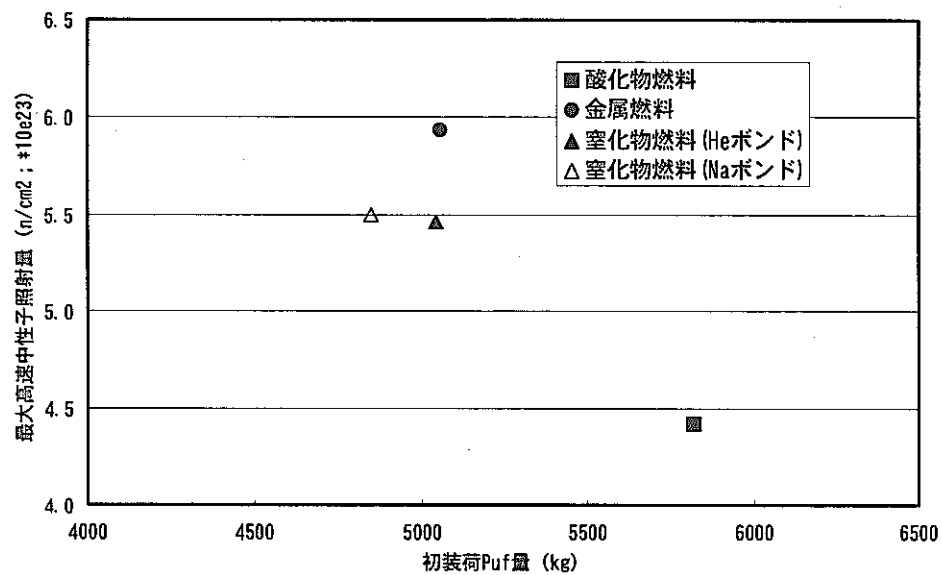


図 4.3.2-2 倍增時間短縮炉心における燃料形態の違いによる燃焼特性の比較 (2次元 R-Z 計算) [2/2]

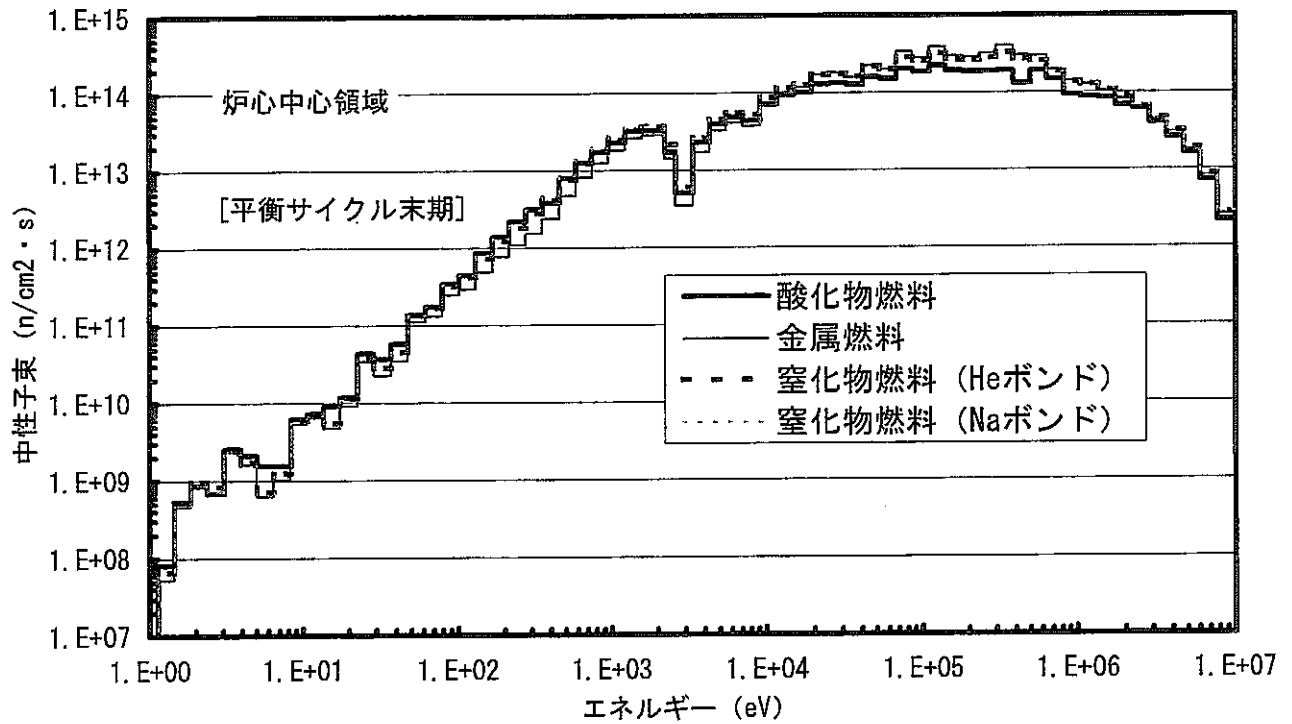
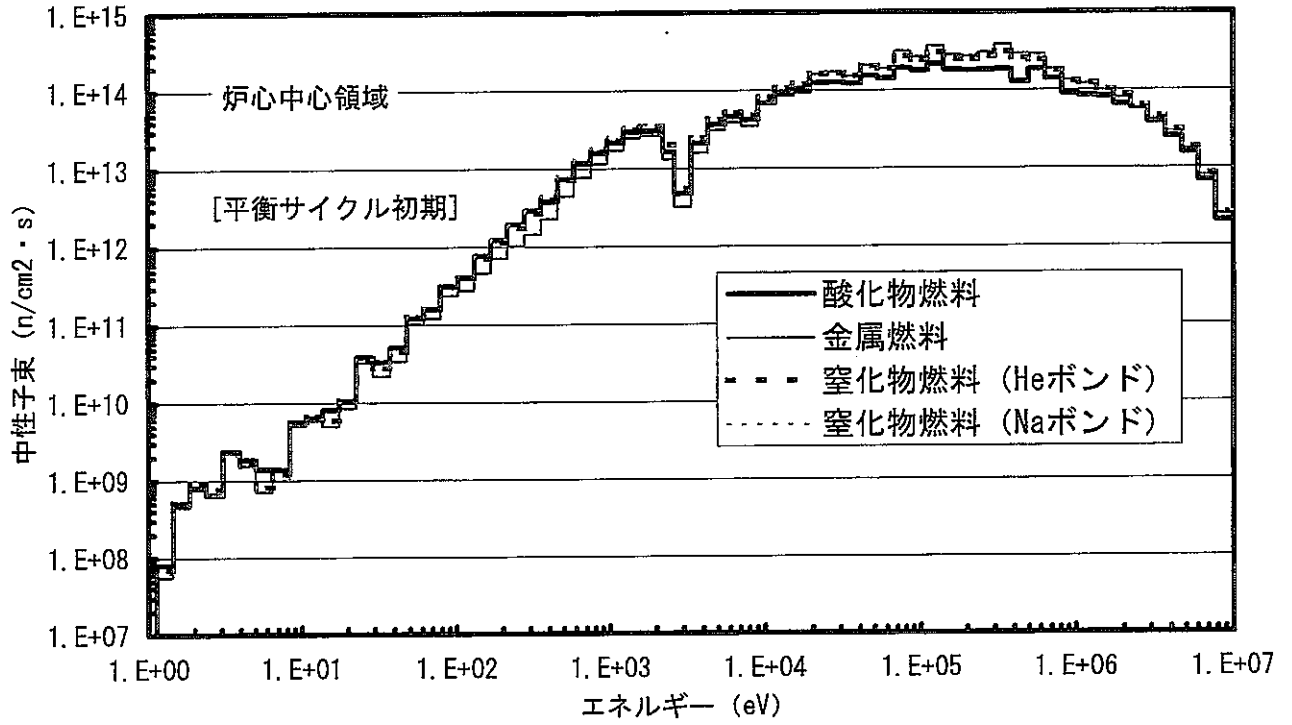


図 4.3.2-3 倍増時間短縮炉心における燃料形態の違いによる中性子束分布の比較  
(5 バッチ×18 ヶ月運転, 取出平均燃焼度 15 万 MWd/t)

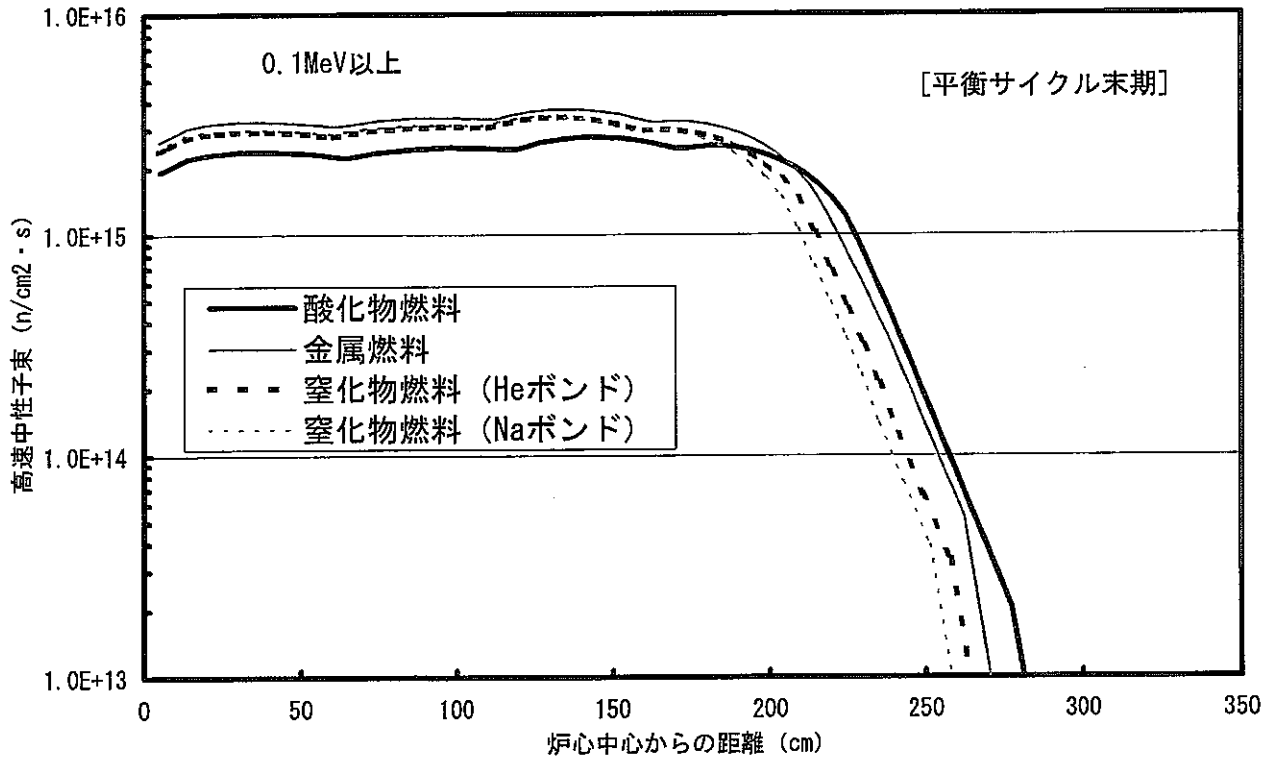
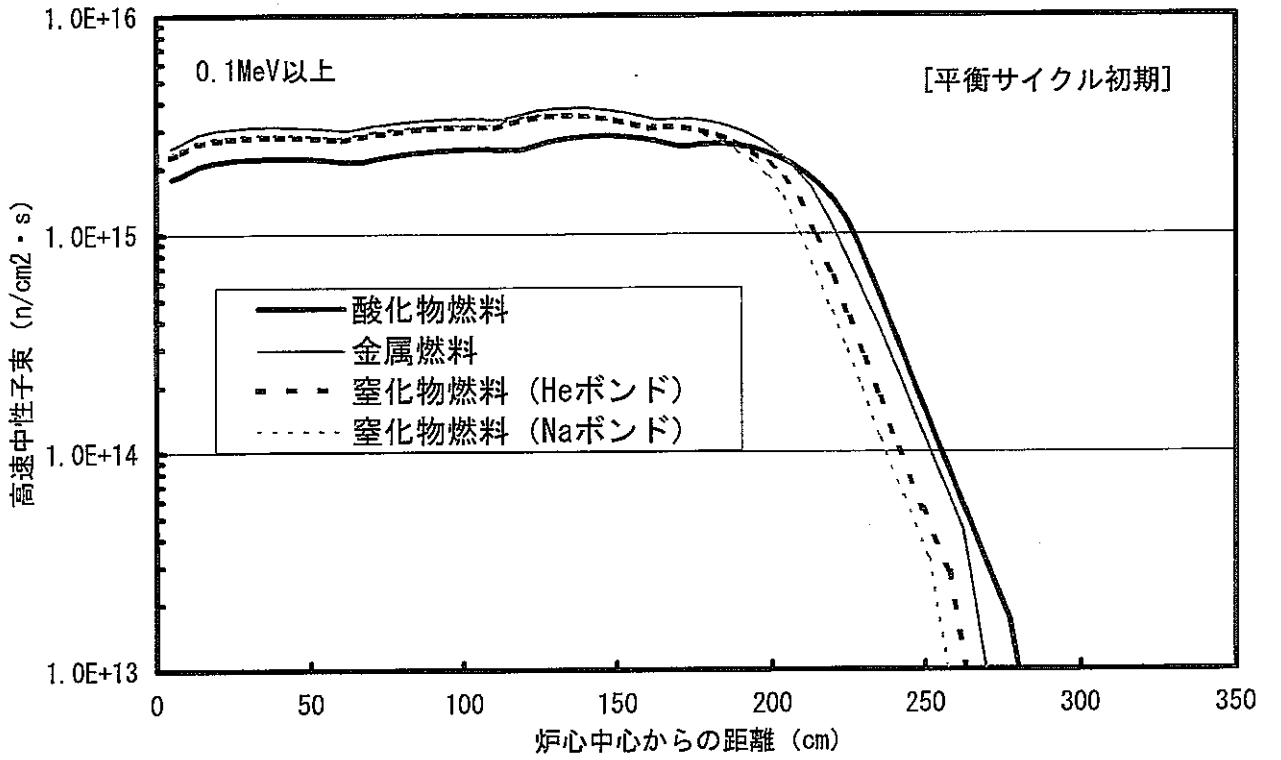


図 4.3.2-4 倍増時間短縮炉心における燃料形態の違いによる径方向高速中性子束分布の比較 (5 バッチ×18 ヶ月運転, 取出平均燃焼度 15 万 MWd/t)

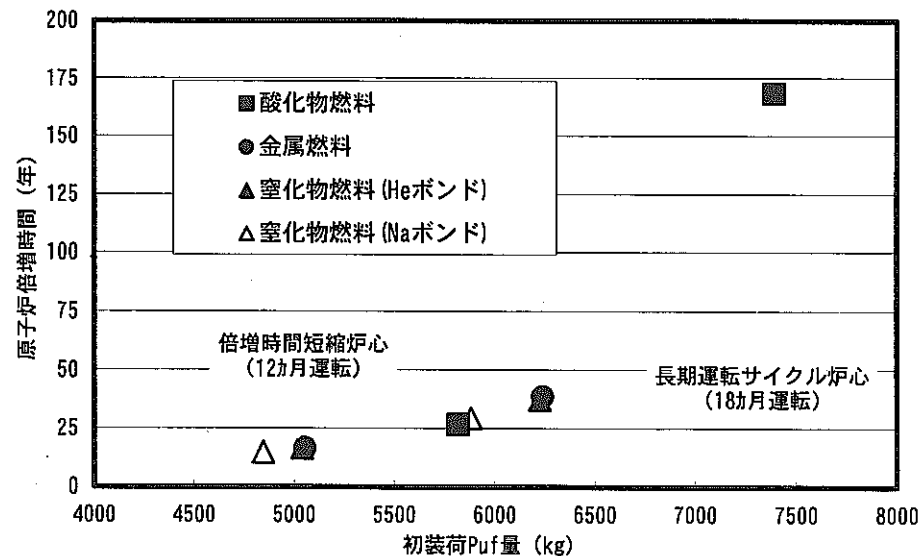
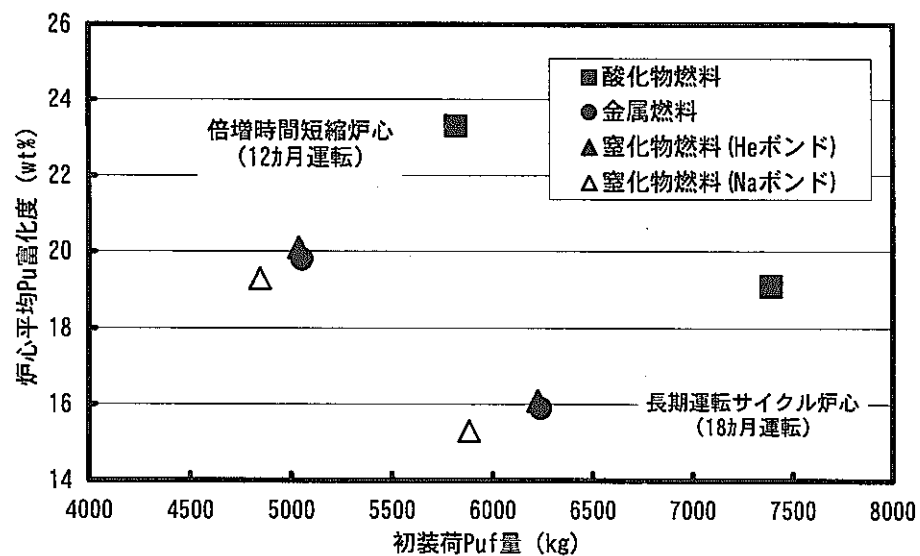
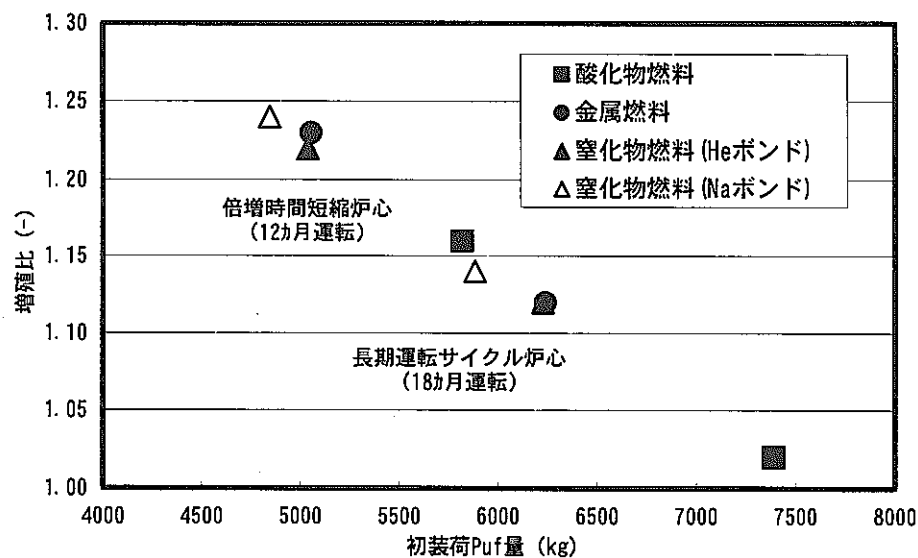
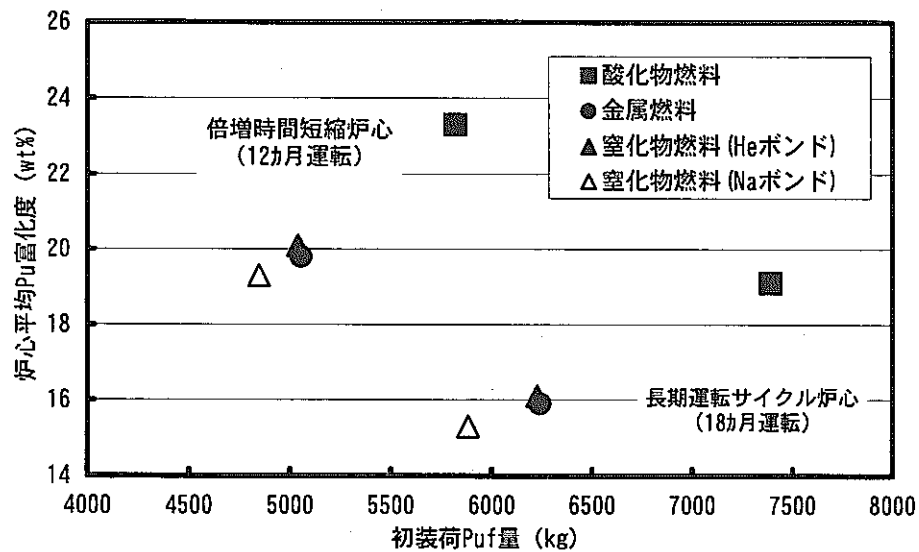


図 4.3.2-5 長期運転サイクル炉心と増殖時間短縮炉心の燃料形態の違いによる燃焼特性の比較 (2次元 R-Z 計算) [1/2]

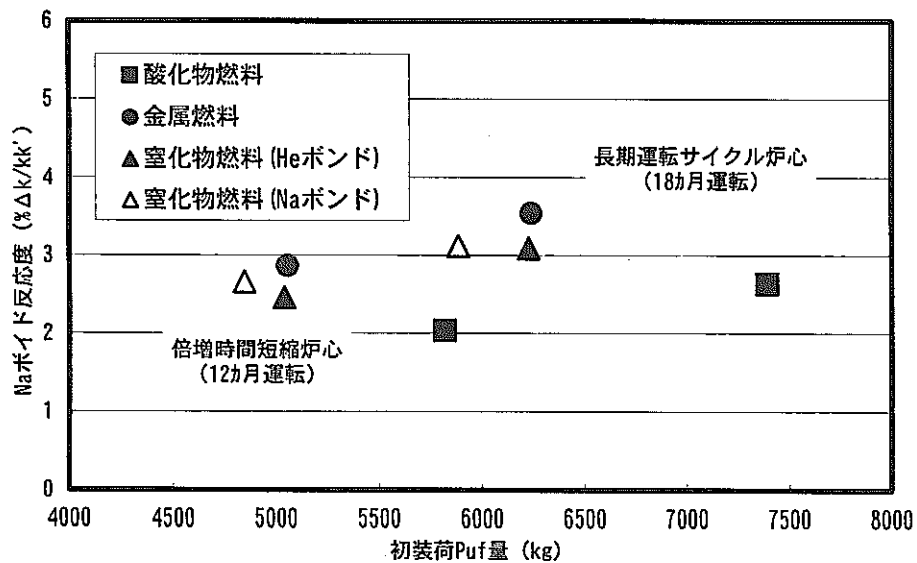
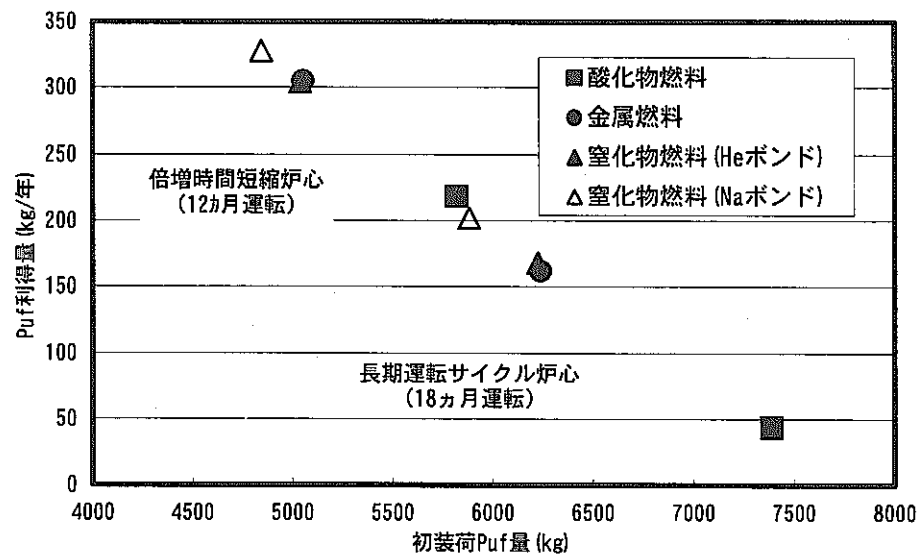
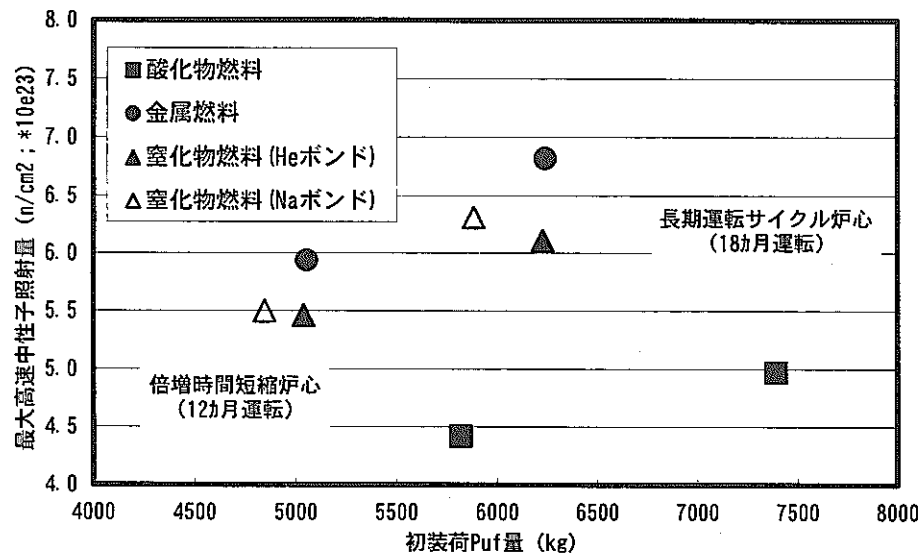


図 4. 3. 2-6 長期運転サイクル炉心と倍増時間短縮炉心の燃料形態の違いによる燃焼特性の比較 (2次元 R-Z 計算) [2/2]



#### 4.4 まとめ

金属燃料及び窒化物燃料を用いた長期運転サイクル炉心及び倍増時間短縮炉心を設定し、燃料形態の違いによる燃焼特性を比較した。結果を以下に示す。

- 酸化物燃料と金属燃料、窒化物燃料の燃焼特性を比較すると、金属燃料、窒化物燃料は最大高速中性子照射量が 20%~40%程度、ナトリウムボイド反応度が 10%~40%程度大きくなる。しかし、金属燃料、窒化物燃料は重元素密度が 40%~50%程度大きいことからプルトニウム富化度を小さくでき、優れた燃焼反応度、増殖比等が得られている。特に長期運転サイクル炉心では、径方向ブランケットを 1 層削減した 4 バッチ運転で取出平均燃焼度 15 万 MWd/t が達成できる可能性があり、このときの径方向ブランケットまでの等価直径は酸化物燃料を用いた場合よりも 80cm~100cm 程度小さくなる。
- 長期運転サイクル炉心と倍増時間短縮炉心の主な燃焼特性を比べると、倍増時間短縮炉心は燃料体積減少により燃焼反応度が  $1\% \Delta k/kk'$  程度増加するものの、軸方向ブランケット体積の増加及び径方向ブランケット集合体数の増加により増殖比は 0.1 程度増加し、原子炉倍増時間は酸化物燃料が 1/6 程度、金属燃料、窒化物燃料が 1/2 程度になる。
- 金属燃料と窒化物燃料では燃焼反応度、増殖比等に大きな差は見られなかった。ただし、重元素密度、燃料仕様設定に用いた FP ガス放出率、スミア密度等の違いにより、ナトリウムボンド窒化物燃料を用いた場合の燃焼反応度、増殖比等が若干良くなる。

## 5. 再臨界排除を追求した炉心（内部ダクト外付炉心）

### 5.1 背景と目的

ナトリウム冷却大型酸化物燃料炉用にこれまで検討してきた長期運転サイクル炉心では、ナトリウムボイド反応度が大きく（\$7超）、CDA 起因過程においていわゆる LOF-driven-TOP に至る可能性が高い。また、再臨界排除の観点から、全燃料集合体に内部ダクトを設置すること、及び内部ダクトによる溶融燃料排出時間確保のために外部ダクト厚肉化の要求がある。さらに、プラント設計への影響が大きいしゃへい体外径(=炉心バレル径)についてプラント設計との取合い条件が暫定された。

さらにプラント設計側から、炉心下部構造等の肉厚を低減して原子炉構造を簡素化する観点から燃料バンドル圧損を  $2\text{kg/cm}^2$  程度まで低減したいとの要求があった。

本章では、以上のことを踏まえて新たに設定したナトリウムボイド反応度低減・内部ダクト外付炉心(高圧損及び低圧損炉心)の配置・仕様及び主要核特性について検討する。

また、低除染燃料サイクル、プルサーマル取出プルトニウムのリサイクルを想定して、MA や FP が混入した燃料及びプルサーマル取出プルトニウムを炉心に装荷した場合の炉心核特性への影響を検討する。

## 5.2 ナトリウムボイド反応度低減・内部ダクト外付炉心の設計条件と炉心・燃料仕様設定の考え方

### 5.2.1 設計条件と核特性目標

設計条件と核特性の目標値を下記に示す。ナトリウムボイド反応度の制限及び全集合体に内部ダクト設置以外については、長期運転サイクル炉心と同様な設計条件・目標である。

#### (1) 設計条件

- ・炉出力 1600MWe / 3800MWt
- ・取出し平均燃焼度 150GW d / t
- ・運転サイクル長 18ヶ月
- ・ボイド反応度 \$6 以下
- ・しゃへい体外接円径 6.6m 以下
- ・燃料バンドル部圧損  $3.5\text{kg/cm}^2 / 2\text{kg/cm}^2$
- ・切欠きUISに対応した制御棒配置
- ・再臨界排除に対応した燃料集合体構成
- ・燃料組成
- ・プルトニウム組成 LWR 取出し / プルサーマル取出プルトニウム
- ・MA 混入率 0 / 5wt%
- ・燃料に付随するFPの混入率 0 / 2wt%

#### (2) 核特性目標

- ・ボイド反応度 \$5 台
- ・増殖比 径方向ブランケットなしで 1.0 以上
- ・燃焼反応度  $4.5\% \Delta k / k k'$  程度
- ・定格最大線出力 460W/cm

## 5.2.2 炉心配置及び燃料仕様のパラメータサーベイ

### (1) サーベイ炉心の特徴

炉心配置・燃料仕様案（炉心 5A, 5B, 4A~4C）を図 5.2.2-1~図 5.2.2-3、表 5.2.2-1(a),(b)に示す。燃料集合体長、燃料ピン全長、燃料バンドル部以外の構成は、長期運転サイクル炉心と同じ仕様とした。炉心燃料は酸化物燃料中空ペレット、炉心材料にはフェライト系鋼を想定した。炉心はいずれも均質 2 領域炉心構成であり、切欠き型 UIS に対応可能な制御棒配置とした。

5 バッチ燃交炉心は、しゃへい体外接円径の制限を超えるため、今回 4 バッチ燃交炉心（4A~4C）について検討した。

#### (i) ボイド反応度の低減

CDA 起因過程においていわゆる LOF-driven-TOP に至らないためのナトリウムボイド反応度の制限値は\$6 程度とされる。均質炉心においてボイド反応度を低減するには炉心有効長を小さくすることが効果的であり、従来炉心の 120 cm に対して今回の炉心では、ナトリウムボイド反応度を\$6 以下とするため炉心有効長を 80cm とした。

#### (ii) しゃへい体外接円径

プラント設計への影響が大きいしゃへい体外接円径(=炉心バレル径)について、プラント設計との取合い条件として 6.6m と暫定して検討を進めることとした。しゃへい体外接円径は、5 バッチ燃交炉心（5A, 5B）では 7m 超となるが、4 バッチ燃交炉心（4A~4C）では径方向ブランケットなし、しゃへい体 3 層とすると、6.6m 以下におさまる。

#### (iii) 再臨界排除に対応した燃料集合体構成

再臨界排除の観点から、全燃料集合体に 6cm 径の内部ダクトを設置するとともに、内部ダクトによる溶融燃料排出時間確保のために外部ダクトを厚肉化し、外部ダクトと内部ダクトの肉厚の差を 4mm とした。また、炉心特性改善のオプションとして内部ダクト内に短尺燃料ピン（UAB）を導入する構成とした。

- |              |                         |
|--------------|-------------------------|
| ・外部ダクト肉厚     | 5mm                     |
| ・内部ダクト肉厚     | 1mm                     |
| ・内部ダクト径      | 約 6cm                   |
| ・内部ダクト内短尺ピン： | ①UAB                    |
|              | ②炉心上半分に IB+UAB          |
|              | ③炉心上半分に Driver fuel+UAB |

(2) サーベイ炉心の主要核特性

(i) 解析手法

核データは、JENDL-3.2 修正炉定数に基づく 7 群ないし 70 群の実効核定数を使用した。2 次元 R-Z 炉心体系で CITATION を使用して、拡散・燃焼計算を行った。

(ii) 炉心核特性

炉心 4A~4C について、2 次元燃焼解析に基づく平衡炉心の核特性評価結果を表 5.2.2-2 に示す。炉心 4A、4B は、ボイド反応度、燃焼反応度、増殖比に係わる核特性目標値をほぼ満足している。

表 5.2.2-1(a) 18ヶ月サイクル炉心の特徴比較

炉心 5A	5 バッチ	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 集合体数大</li> <li>● シャヘい体外接円径 7m 超</li> </ul>
炉心 5B		<ul style="list-style-type: none"> <li>● 大型集合体</li> <li>● 核特性は OK</li> <li>● シャヘい体外接円径 7m 超</li> </ul>
炉心 4A	4 バッチ	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 5 バッチ炉心よりコンパクト</li> <li>● 集合体数大</li> <li>● CR42 本</li> <li>● シャヘい体外接円径 6.5m</li> </ul>
炉心 4B		<ul style="list-style-type: none"> <li>● 5 バッチ炉心よりコンパクト</li> <li>● 大型集合体</li> <li>● CR36 本でワース足りるか?</li> <li>● シャヘい体外接円径 6.5m</li> </ul>
炉心 4C		<ul style="list-style-type: none"> <li>● 5 バッチ炉心よりコンパクト</li> <li>● 炉心 4B で、内部ダクト短尺ピン=炉心上半分 driver fuel+UAB</li> <li>● 内部ダクトナトリウムのボイドによりボイド反応度は増加傾向か</li> <li>● シャヘい体外接円径 6.4m</li> </ul>

表 5.2.2-1(b) 18ヶ月サイクル炉心の燃料仕様一覧

炉心ケース	5A	5B	4A	4B	4C
燃料交換バッチ	5バッチ		4バッチ		
炉心有効長, cm	80	80	80	80	80
上/下軸方向ブランケット長, cm	40/40	40/40	40/40	40/40	40/40
集合体当りピン本数	234	294	294	360	397/360*
ピン外径/内径, mm	9.8/8.46	9.8/8.46	8.8/7.6	8.8/7.6	8.8/7.6
被覆管肉厚, mm	0.67	0.67	0.60	0.60	0.60
ペレットスミア密度, %TD	82	82	82	82	82
ワイヤ径, mm	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
ピン配列ピッチ, mm	10.95	10.95	9.95	9.95	9.95
ワイヤ巻ピッチ, mm	150	150	150	150	150
集合体配列ピッチ, mm	195.8	214.8	196.4	213.7	213.7
ダクト外/内対面間距離, mm	192.8/182.8	211.8/201.8	193.4/183.4	210.7/200.7	210.7/200.7
ダクト肉厚, mm	5	5	5	5	5
内部ダクト外/内対面間距離**, mm	63.9/61.9	63.9/61.9	57.9/55.9	57.9/55.9	57.9/55.9
内部ダクト肉厚, mm	1	1	1	1	1
集合体燃料体積比, %	39.6	41.3	39.9	41.3	45.5/41.3
ピンバンドル圧損, kg/cm <sup>2</sup>	2.1	2.1	2.8	2.8	
流量, kg/s	30.3	37.0	36.9	44.3	
炉心燃料集合体数	720	570	570	468	450
制御棒本数	42 (6/12/24)	42 (6/12/24)	42 (6/12/24)	36 (6/12/18)	36 (6/12/18)
炉心等価径, m	5.68	5.58	5.11	5.04	4.95
しゃへい体外接円径***, m	(7.2)	7.09	6.52	6.51	6.38

\* 炉心燃料バンドル上半分/下半分

\*\* 37ピン相当

\*\*\* 径方向ブランケットなし; SUS1層; B<sub>4</sub>C2層

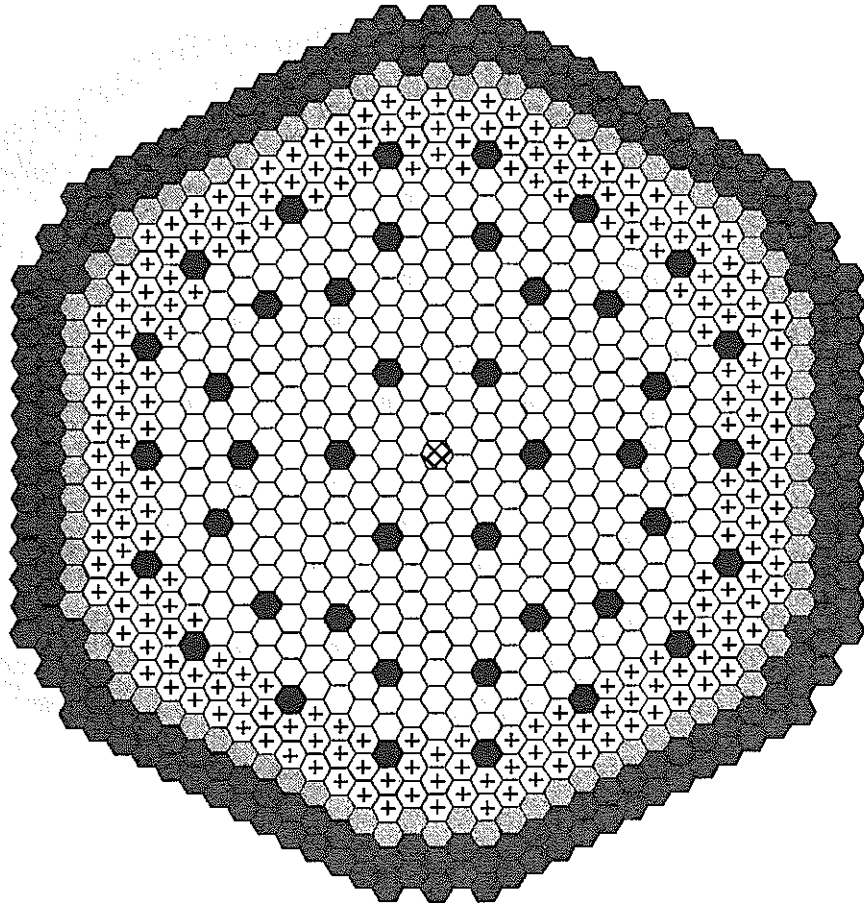
表 5.2.2-2 18ヶ月サイクル炉心核特性評価結果

パラメータ	特 性		
	炉心 4A	炉心 4B	炉心 4C
サイクル長×バッチ数, 月	18×4	18×4	18×4
内側/外側炉心燃料集合体数	354/216	252/216	252/198
制御棒数	42	36	36
集合体当り燃料ピン本数	294	360	360
内側燃料/外側燃料富化度, wt%	22.4/26.8	21.9/24.9	20.9/24.2
燃焼反応度, %Δk/kk'	4.7	4.5	4.2
平衡装荷核分裂性プルトニウム 量, t/バッチ	1.80	1.74	1.69
増殖比	1.04	1.06	1.07
(内側燃料/外側燃料/軸方向ブ ランケット)	(0.48/0.20/0.36)	(0.43/0.26/0.36)	(0.46/0.25/0.35)
ピーク線出力*, W/cm			
内側燃料	398 (BOC)	395 (BOC)	389 (BOC)
外側燃料	399 (BOC)	396 (BOC)	390 (BOC)
ピーク高速中性子束 10 <sup>15</sup> /cm <sup>2</sup> s	2.3	2.4	2.4
ピークフルエンス, 10 <sup>23</sup> /cm <sup>2</sup>	4.4	4.5	4.6
炉心平均取出燃焼度, GWd/t	152	153	152
ナトリウムボイド反応度**, \$		5.4	
ドップラ係数, 10 <sup>-3</sup> Tdk/dT			

\*2次元計算値

\*\*EOEC 炉心部ナトリウムボイド (ダクト間ナトリウムと内部ダクト内ナトリウムは非ボイド) ; 1\$=0.345%dk/kk'



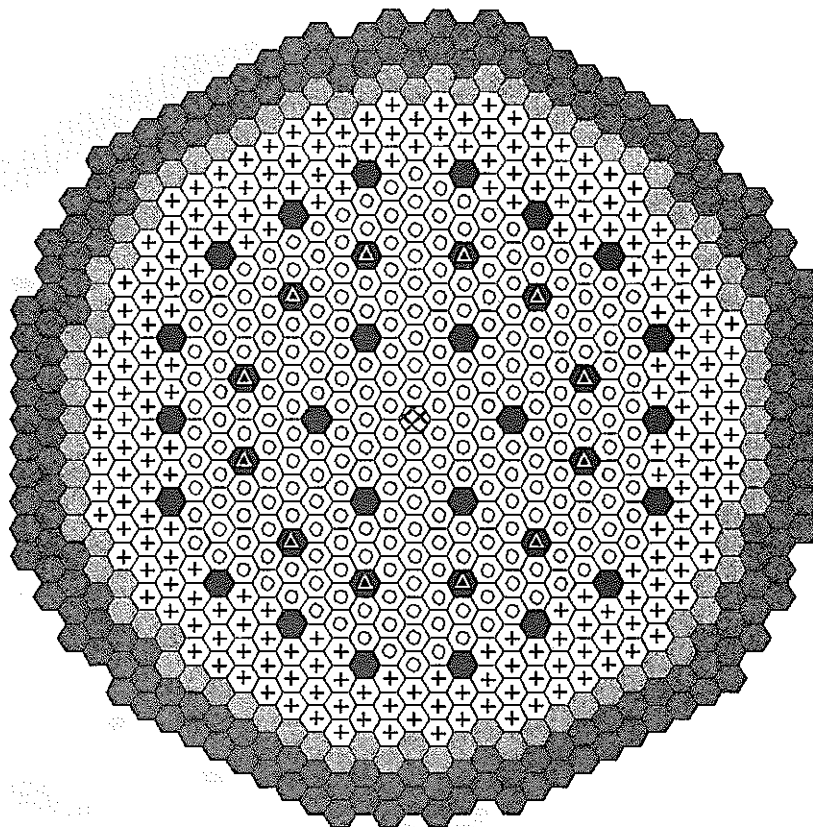


○	内側炉心燃料集合体	354体
⊕	外側炉心燃料集合体	216体
●	SUS遮蔽体	90体
●	B <sub>4</sub> C遮蔽体	198体
●	主炉停止系制御棒	42体
⊗	SUS集合体	1体
合 計		901体

図 5.2.2-1 炉心 4A (径方向ブランケット削除)

— 18ヶ月サイクル4バッチ炉心—

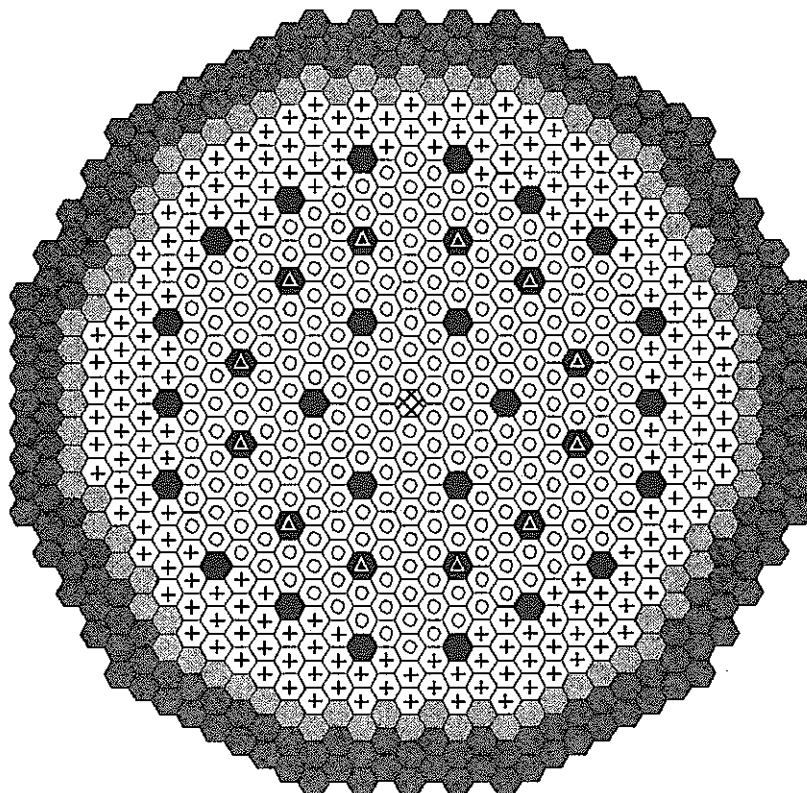
- ・燃料ピン外径 : 8.8 mm
- ・集合体配列ピッチ : 196.4 mm
- ・燃料ピン本数 : 294 体



⊙	内側炉心燃料集合体	252体
⊕	外側炉心燃料集合体	216体
⊗	SUS遮蔽体	84体
●	B <sub>4</sub> C遮蔽体	186体
⬤	粗調整制御棒	24体
△	起動・微調整制御棒	12体
⊗	SUS集合体	1体
合 計		775体

図 5.2.2-2 炉心 4B (径方向ブランケット削除)

- 18ヶ月サイクル4バッチ炉心 —
- ・ 燃料ピン外径 : 8.8 mm
  - ・ 集合体配列ピッチ : 213.7 mm
  - ・ 燃料ピン本数 : 360 体



⊙	内側炉心燃料集合体	252体
+	外側炉心燃料集合体	198体
⊘	SUS遮蔽体	84体
●	B <sub>4</sub> C遮蔽体	186体
●	粗調整制御棒	24体
△	起動・微調整制御棒	12体
⊗	SUS集合体	1体
合 計		757体

図 5.2.2-3 炉心 4C (径方向ブランケット削除)

- 18ヶ月サイクル4バッチ炉心 —
- ・燃料ピン外径 : 8.8 mm
  - ・集合体配列ピッチ : 213.7 mm
  - ・燃料ピン本数 : 378 体
  - ・内部ダクト領域 19 本相当

## 5.3 選定炉心（高圧損炉心）の検討

### 5.3.1 炉心配置及び燃料仕様

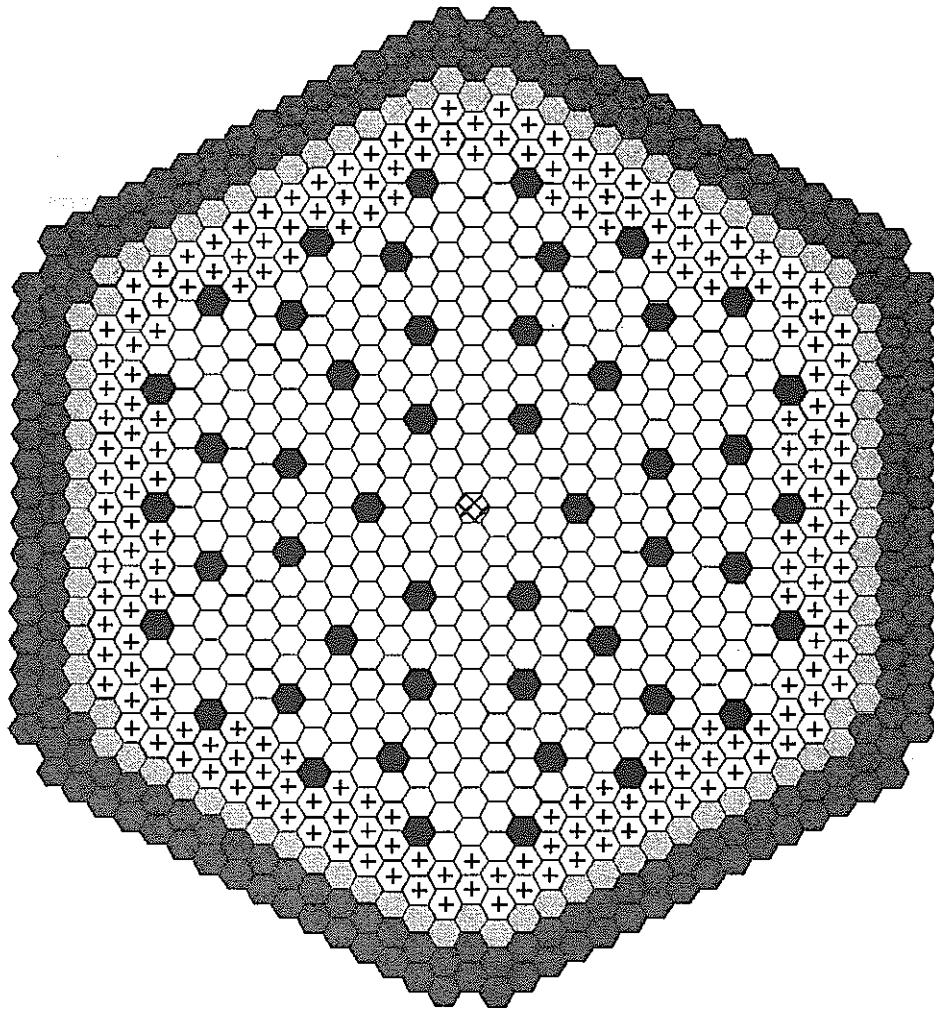
前節のサーベイ炉心 4A に基づき選定した炉心の配置・燃料仕様を図 5.3.1-1、図 5.3.1-2、及び表 5.3.1-1 に示す。燃料集合体長、燃料ピン全長、燃料バンドル部以外の構成は、長期運転サイクル炉心と同じ仕様とした。炉心燃料は酸化物燃料中空ペレット、炉心材料にはフェライト系鋼を想定した。炉心はいずれも均質 2 領域炉心構成であり、切欠き型 UIS に対応可能な制御棒配置とした。

表 5.3.1-1 炉心の燃料仕様一覧

パラメータ	仕 様
炉心燃料	酸化物燃料中空ペレット
炉心材料	フェライト系鋼
炉心有効長, cm	80
上/下軸方向ブランケット長, cm	40/40
集合体当りピン本数	294
ピン外径/内径, mm	8.8/7.6
被覆管肉厚, mm	0.60
ペレットスミア密度, %TD	82
ワイヤ径, mm	1.0
ピン配列ピッチ, mm	9.85
ワイヤ巻ピッチ, mm	150
集合体配列ピッチ, mm	194.5
ダクト外/内対面間距離, mm	191.5/181.5
ダクト肉厚, mm	5
内部ダクト外/内対面間距離*, mm	60/58
内部ダクト肉厚, mm	1
集合体燃料体積比, %	40.7
ピンバンドル圧損, kg/cm <sup>2</sup>	3.3
流量, kg/s	37
炉心燃料集合体数	576
制御棒本数	48 (6/12/12/18)
炉心等価径, m	5.10
しゃへい体外接円径**, m	6.61

\* 37 ピン相当

\*\* SUS 1 層 ; B<sub>4</sub>C 2 層



○	内側炉心燃料集合体	378体
+	外側炉心燃料集合体	198体
◐	SUS遮蔽体	90体
◑	B <sub>4</sub> C遮蔽体	198体
⊗	主炉停止系制御棒	48体
⊗	SUS集合体	1体
合 計		913体

図 5.3.1-1 18ヶ月サイクル4バッチ選定炉心

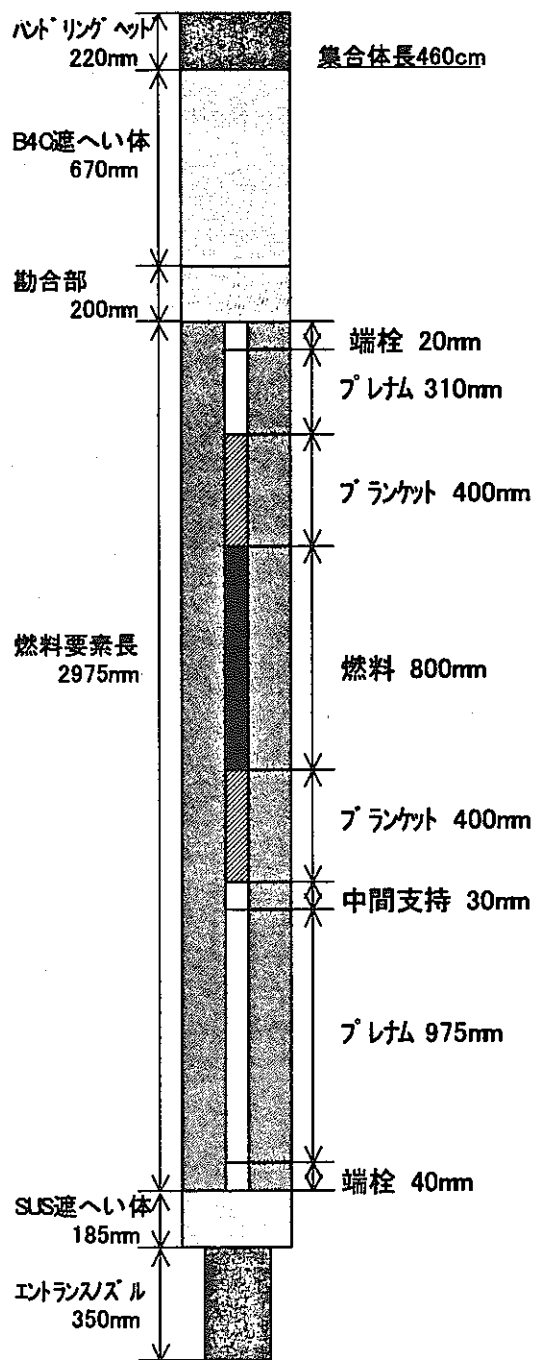


図 5.3.1-2 燃料集合体基本寸法 (しゃへい体寸法は暫定値)

### 5.3.2 選定炉心の主要核特性

#### (1) 解析手法

核データは、JENDL-3.2 修正炉定数に基づく 7 群ないし 70 群の実効核定数を使用した。2 次元 R-Z 炉心体系で CITATION を使用して、拡散・燃焼計算を行った。3 次元出力分布、制御棒ワースは、Tri-Z 炉心体系で MOSES を使用して求める。

#### (2) 炉心核特性

2 次元燃焼解析に基づく平衡炉心の核特性評価結果を表 5.3.2-1 に示す。制御棒反応度バランスを表 5.3.2-2 に示す。選定炉心は、ポイド反応度、燃焼反応度、増殖比に係わる核特性目標値をほぼ満足している。また制御棒反応度収支も成立している。主炉停止系 2 系統の合計必要制御反応度 7.59%  $\Delta k/kk'$  に対して、ワンロッドスタックを考慮した制御棒価値は 8.38%  $\Delta k/kk'$  であり、反応度停止余裕は 0.79%  $\Delta k/kk'$  となる。また、主炉停止系 1 系統の必要制御反応度 1.92%  $\Delta k/kk'$  に対して、ワンロッドスタックを考慮した制御棒価値は 2.36%  $\Delta k/kk'$  であり、反応度停止余裕は 0.44%  $\Delta k/kk'$  である。なお核計算不確かさ幅は長期運転サイクル炉心と同じとした。



表 5.3.2-1 炉心核特性評価結果

パラメータ	仕様・特性
サイクル長×バッチ数, 月	18×4
内側燃料/外側燃料炉心燃料集合体数	378/198
制御棒数	48
集合体当り燃料ピン本数	294
内側燃料/外側燃料富化度, wt%	22. 2/27. 7
燃焼反応度, % Δk/kk'	4. 6
平衡装荷核分裂性プルトニウム量, t/バッチ	1. 81
増殖比	1. 03
(内側燃料/外側燃料/軸方向ブランケット)	(0. 51/0. 18/0. 35)
ピーク線出力*, W/cm	
内側燃料	397 (BOC)
外側燃料	397 (BOC)
ピーク高速中性子束, 10 <sup>15</sup> /cm <sup>2</sup> s	2. 4
ピークフルエンス, 10 <sup>23</sup> /cm <sup>2</sup>	4. 5
炉心平均取出燃焼度, GWd/t	153
ナトリウムボイド反応度**, \$	5. 4
ドップラ係数, 10 <sup>-3</sup> Tdk/dT	-6. 9

\*暫定値 (2次元計算; ミスマッチ込; 今後の3次元評価により変更の可能性あり)

\*\*EOEC 炉心部ナトリウムボイド (ダクト間ナトリウムと内部ダクト内ナトリウムは非ボイド); 1\$=0. 345%dk/kk'

表 5.3.2-2 制御棒反応度収支

項 目	2系統合計	1系統のみ
I. 計画余剰反応度		
1. 温度・出力補償	1.46	1.46
2. 燃焼補償 <sup>*1</sup>	4.6	
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	0.55	
(1) 出力補償予測誤差	0.15 (1 $\sigma$ )	0.29 (2 $\sigma$ ) <sup>*2</sup>
(2) 燃料製作公差 (1 $\sigma$ ) <sup>*2</sup>	0.26	
(3) 燃焼補償予測誤差 (1 $\sigma$ ) <sup>*1</sup>	0.46	
合計	6.91	1.75
II. 最大余剰反応度		
6. 核計算不確かさ	0.68	
(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>	0.52	
7. 事故時投入反応度 <sup>*3</sup>	-	0.17
III. 必要制御反応度 (I+II)	7.59	1.92
IV. 制御棒価値	8.38 <sup>*4</sup>	2.36 <sup>*5</sup>
V. 反応度停止余裕 (IV-III)	0.79	0.44

\*1: ノミナル計算値

\*2: 予測誤差は全て酸化物燃料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: ワンロードスタック考慮: 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: ノミナル臨界挿入状態から1系統のみ挿入したワース; ワンロードスタック考慮: 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

#### 5.4 低圧損炉心の検討

前節で選定した炉心の低圧損炉心版である。設計条件及び核特性目標は、燃料バンドル部圧損を  $2\text{kg/cm}^2$  としたことを除き、高圧損炉心と同じである。

まず、低圧損に対応して新たに設定した炉心の燃料仕様及び主要核特性についての検討する。次に、低除染燃料サイクル、プルサーマル取出プルトニウムのリサイクルを想定して、MA や FP が混入した燃料及びプルサーマル取出プルトニウムを炉心に装荷した場合の炉心核特性への影響を検討する。

### 5.4.1 炉心配置及び燃料仕様

炉心配置・燃料仕様を図 5.4.1-1、図 5.4.1-2、及び表 5.4.1-1 に示す。燃料集合体長、燃料ピン全長、燃料バンドル部以外の構成は、第 2 章の長期運転サイクル炉心と同じ仕様とした。炉心燃料は酸化物燃料中空ペレット、炉心材料にはフェライト系鋼を想定した。炉心はいずれも均質 2 領域炉心構成であり、切欠き型 UIS に対応可能な制御棒配置とした。

#### (1) ボイド反応度の低減

CDA 起因過程においていわゆる LOF-driven-TOP に至らないためのナトリウムボイド反応度の制限値は \$6 程度とされる。均質炉心においてボイド反応度を低減するには炉心有効長を小さくすることが効果的であり、従来炉心の 120 cm に対して今回の炉心では、ナトリウムボイド反応度を \$6 以下とするため炉心有効長を 80cm とした。なお、均質・拡散ベースの計算により求めた値をノミナル値とした。

#### (2) シャヘい体外径

プラント設計への影響が大きいシャヘい体外径(=炉心バレル径)について、プラント設計との取合い条件として 6.6m と暫定して検討を進めることとした。シャヘい体外径は、5 バッチ燃交では 7m 超となるが、4 バッチ燃交では径方向ブランケットなし、シャヘい体 3 層とすると、6.6m におさまる。

#### (3) 再臨界排除に対応した燃料集合体構成

再臨界排除の観点から、全燃料集合体に 6cm 径の内部ダクトを設置するとともに、内部ダクトによる熔融燃料排出時間確保のために外部ダクトを厚肉化し、外部ダクトと内部ダクトの肉厚の差を 4mm とした。また、炉心特性改善のオプションとして内部ダクト内に短尺燃料ピン (UAB) を導入した構成としている。

#### (4) 低圧損化のための燃料仕様見直し

ODS 鋼のクリープ強度に対する定式を用いて CDF を評価した結果、大幅なガスプレナムの短縮が可能であり、炉心有効長 80cm の場合で、ガスプレナム長さを下部 97.5cm から 65cm に、上部 30cm から 10cm に短縮できると判断した。これにより燃料ピン全長が 40cm 程度短縮された。また、圧損の増加を抑制するために、ワイヤの巻きピッチを 150mm から 200mm に広げた。ウェアマークの発生を防止する観点からは、150mm の方が良いが、実証炉設計でも 200mm としていることから、現状の設計検討フェーズを考慮して圧損が幾らかでも低くなるように (約 0.5kg/cm<sup>2</sup> 程度の影響)、200mm へ広げた。燃料ピン長の短縮等によりワイヤ径の増加は 0.1mm に止まった。集合体当たりピン

本数は 294 本 (37 本分が内部ダクトになっている) のままである。なお、今回見直した燃料仕様の成立性については別途評価する必要があると考える。低圧損化によりピンピッチが広がる時の燃料体積比の減少を抑えるために燃料スミヤ密度は 83%TD とした。これらの仕様調整により、炉心圧損の低減要求に対して実効燃料体積比の減少を最小限とし、実効燃料体積比として約 37%TD を確保できた。

軸方向ブランケットについては、ペレット密度を 95.5%TD、ギャップを 0.18mm とし、スミヤ密度を 91%TD に増加させた。軸方向ブランケット厚さは上下 45cm とした (上下共 5cm 増加)。

(5) 低除染燃料サイクルを想定した MA・FP 混入燃料の組成

MA は、LWR の取出し燃料 (燃焼度 35GW d/t) を 5 年冷却後に再処理して得られたものとし、その組成は、

							(wt%)
Np-237	Am-241	Am-242m	Am-243	Cm-243	Cm-244	Cm-245	
49.1	30.0	0.08	15.5	0.05	5.0	0.26	

とした。新燃料の MA 混入割合は 5wt% とした。

(出典：PNC TN9410 93-226: Study on MA Transmutation in a Fast Reactor -Summary of Core Study-, 1993 年 10 月)

炉心燃料に付随する FP の形態は、炉心 Gr 技術メモ RP-99-82 記載の RIAR (酸化物電解法) 技術ベースによるものとした。FP は酸化物  $FPO_{1.5}$  とし、平均化学式量は 129g/mol、密度は 8.03g/cm<sup>3</sup> とした。FP 混入率は重量比で 2% ( $FPO_{1.5}$  の体積比で 2.6%) を想定した。FP 核種はランプ FP として扱い、そのミクロ断面積には FP-Pu239 のものを適用した。

(6) プルサーマル取出プルトニウム使用時のプルトニウム組成

プルサーマル LWR から取出した燃料 (酸化物燃料：燃焼度 45GW d/t) を 7 年後に再処理し、更に 3 年経たのち FBR の新燃料として使用する場合を想定した。プルトニウム組成は BWR と PWR からの夫々の取出しプルトニウム組成の平均をとり、下記のように設定した。LWR 取出プルトニウムに比べて、プルサーマル取出プルトニウムでは、高次プルトニウムの割合が高く、核分裂性プルトニウムの割合が低い。

						(wt%)
Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	Am-241	
3.7	37.0	33.8	10.4	13.5	1.6	

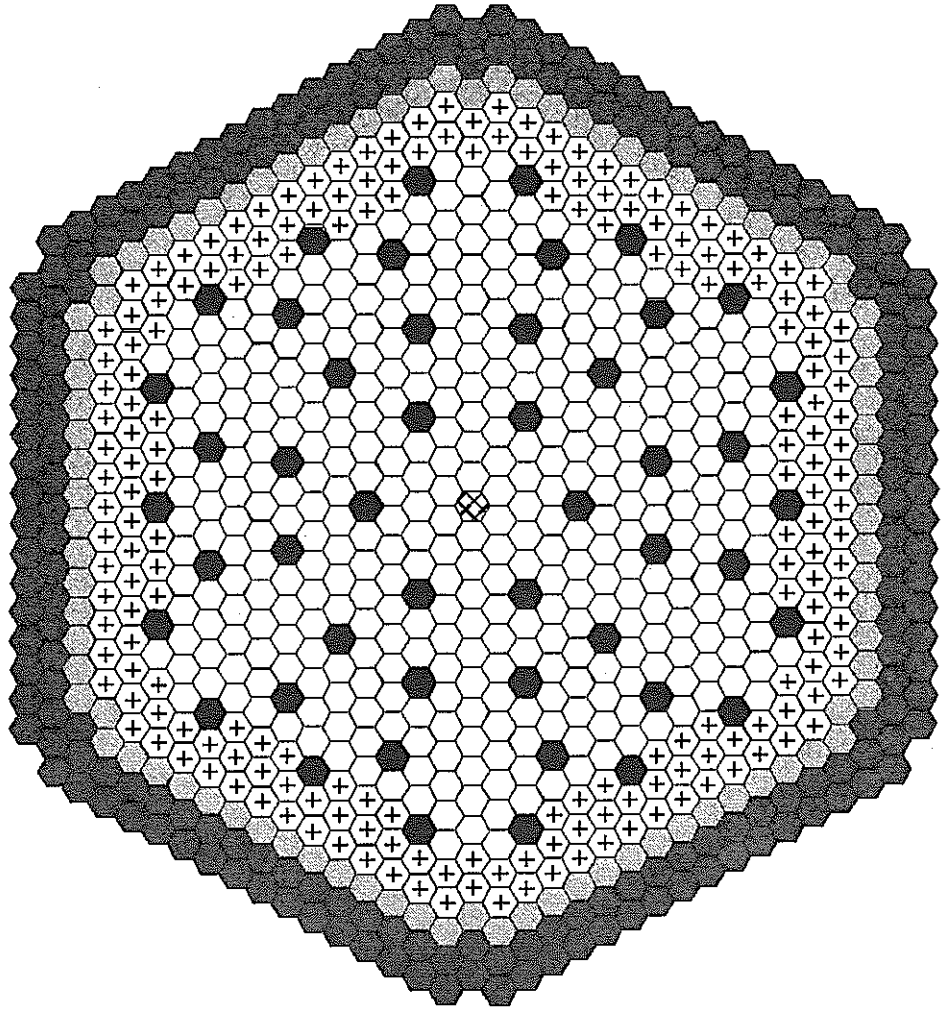
(出典：平成 10 年度軽水炉改良技術確証試験「Pu 有効利用炉心技術調査に関する報告書」)

表 5.4.1-1 炉心の燃料仕様一覧

パラメータ	仕 様
炉心燃料	酸化物燃料中空ペレット
炉心材料	フェライト系鋼
炉心有効長, cm	80
上/下軸方向ブランケット長, cm	45/45
集合体当りピン本数	294
ピン外径/内径, mm	8.8/7.6
被覆管肉厚, mm	0.60
ペレットスミア密度, %TD	83
ワイヤ径, mm	1.1
ピン配列ピッチ, mm	9.95
ワイヤ巻ピッチ, mm	200
集合体配列ピッチ, mm	196.4
ダクト外/内対面間距離, mm	193.4/183.4
ダクト肉厚, mm	5
内部ダクト外/内対面間距離*, mm	60/58
内部ダクト肉厚, mm	1
集合体燃料体積比, %	39.9
ピンバンドル圧損, kg/cm <sup>2</sup>	2.0
流量, kg/s	37
炉心燃料集合体数	576
制御棒本数	48 (6/12/12/18)
炉心等価径, m	5.2
しゃへい体外接円径**, m	6.6

\* 37 ピン相当

\*\* SUS 1 層 ; B<sub>4</sub>C 2 層



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

図 5.4.1-1 18ヶ月4バッチ低圧損炉心

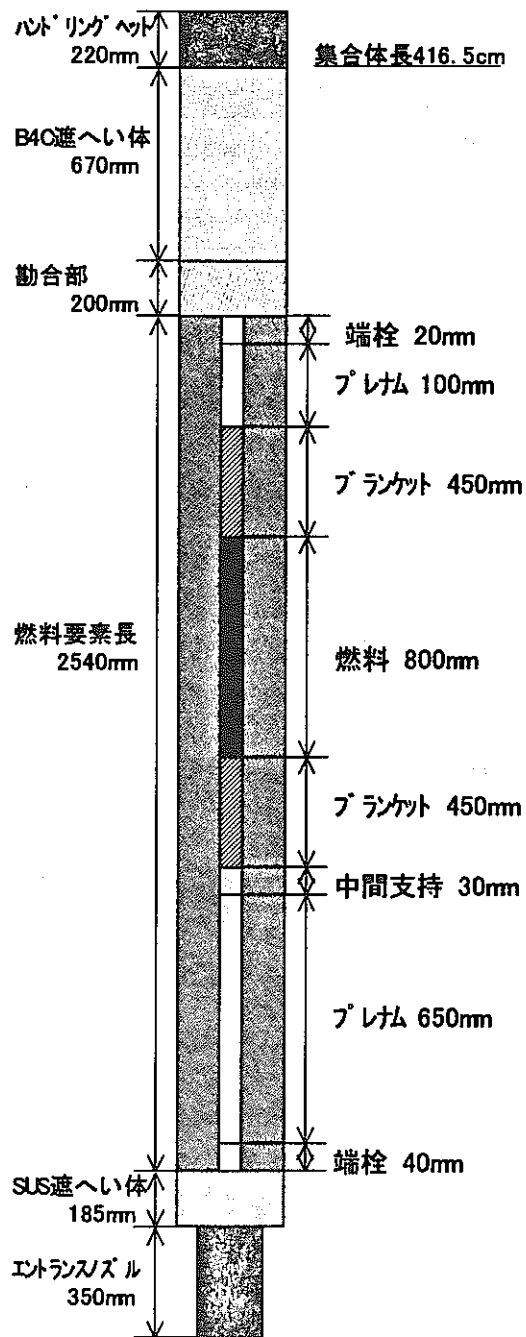


図 5.4.1-2 低圧損炉心の燃料集合体基本寸法 (しゃへい体寸法は暫定値)



## 5.4.2 主要炉心核特性

### (1) 解析手法

核データは、JENDL-3.2 修正炉定数に基づく 7 群ないし 70 群の実効核定数を使用した。2 次元 R-Z 炉心体系で CITATION を使用して、拡散・燃焼計算を行った。3 次元出力分布、制御棒ワースは、Tri-Z 炉心体系で MOSES を使用して求める。

### (2) 炉心核特性

2 次元燃焼解析に基づく平衡炉心の核特性評価結果を表 5.4.2-1 に示す。検討炉心（基準炉心）は、ボイド反応度、燃焼反応度、増殖比に係わる核特性目標値をほぼ満足している。

MA や FP が混入した燃料及びプルサーマル取出プルトニウムを炉心に装荷した場合の炉心核特性への主な影響は次のようである。MA 混入時はボイド反応度増大と増殖性向上、FP 混入時は全般の性能低下、及びプルサーマル取出プルトニウム使用時はボイド反応度の若干の増大と全般の性能向上である。

表 5.4.2-1 炉心核特性評価結果 (径方向ブランケット無し)

パラメータ	基準炉心	MA 混入 (5wt%)	FP 混入 (2wt%)	プルサーマル 取出プルトニウム使用
サイクル長×バッチ数, 月 内側/外側炉心燃料集合体数 制御棒数 集合体当り燃料ピン本数		18×4 378/198 48 294		
内側燃料/外側燃料富化度, wt%	22. 2/27. 7	21. 0/26. 6	24. 0/29. 7	25. 6/32. 0
燃焼反応度, %Δk/kk'	4. 6	2. 9	5. 3	4. 0
平衡装荷核分裂性プルトニウム 量, t/バッチ	1. 84	1. 75	1. 93	1. 64
増殖比 (炉心/軸方向ブランケット)	1. 04 (0. 68/0. 36)	1. 05 (1. 08)** (0. 67/0. 38)	1. 00 (0. 64/0. 36 )	1. 10 (0. 72/0. 38)
ピーク線出力*, W/cm 内側燃料 外側燃料	397 (BOC) 397 (BOC)	390 (BOC) 389 (BOC)	401 (BOC) 404 (BOC)	391 (BOC) 392 (BOC)
出力分担率 (炉心/軸方向ブランケット)***, %	91. 6/8. 4	92. 0/8. 0	91. 6/8. 4	91. 7/8. 3
ピーク高速中性子束, 10 <sup>15</sup> /cm <sup>2</sup> s	2. 4	2. 5	2. 3	2. 4
ピークフルエンス, 10 <sup>23</sup> /cm <sup>2</sup>	4. 4	4. 5	4. 3	4. 4
炉心平均取出燃焼度, GWd/t	151	152	155	151
ナトリウムボイド反応度****, \$	5. 4	6. 3	5. 6	5. 9
ドップラ係数, 10 <sup>-3</sup> Tdk/dT	-6. 9	-4. 2		

\*暫定値 (2次元計算; ミスマッチ込; 今後の3次元評価により変更の可能性あり)

\*\*Pu-238 含める

\*\*\*MOEC

\*\*\*\*EOEC 炉心部ナトリウムボイド (ダクト間ナトリウムと内部ダクト内ナトリウムは非ボイド); 1\$=0. 345%dk/kk'

## 5.5 遮へい合理化、増殖性向上の検討

### (1) 遮へい合理化の検討

#### (i) 目的

再臨界回避を追求した炉心(炉心有効長:80 cm、上下軸方向ブランケット:各40 cm、径方向ブランケットなし、バンドル圧損:2kg/cm<sup>2</sup>)の半径方向遮へい体(SUS1層、B<sub>4</sub>C2層)及び上部中性子遮へい体(B<sub>4</sub>C)は、実証炉心の設計を参考に設定している。これら遮へい体の遮へい性能を評価し、遮へい体の厚みの最適化を図るとともに、炉心コンパクト化を目指す。現状設定している遮へい体厚が不足する場合には、ZrH<sub>x</sub>等の高性能遮へい材の利用を検討する。

なお、本資料においては、検討の出発点として、検討の基準となる上記再臨界回避を追求した炉心の遮へい体構成を検討対象としている。

#### (ii) 解析条件

解析の流れを、図 5.5-1 に示す。

##### (a) 炉心体系

- ・ 高速中性子照射量を評価するため、定格運転状態とする。
- ・ 軸方向、半径方向ブランケットの線源が大きくなるEOECとする。
- ・ 制御棒は、拡散計算体系と比較できるように、パーク位置に配置する。
- ・ 同様な理由から、SUS遮へい体の下部ガスプレナム位置の構成は、遮へい体構造の代わりにプレナム(炉心燃料下部と同様)とする(図 5.5-2、図 5.5-3)。
- ・ 定格運転状態に合わせた各部構造・組成温度を用いる(表 5.5-1 図 5.5-7、表 5.5-2)。

##### (b) 断面積ライブラリ

- ・ 実験解析等で、その性能と炉心周り遮へい計算精度が定量されている JENDL-3 ベースの100群ライブラリ(JSSTD L-100-J3.2)1を用いる。エネルギー構造を表 5.5-3 に示す。

##### (c) 計算コードと計算条件

- ・ 計算コード: 中性子遮へい体より外部への透過計算のため、遮へい計算用輸送計算コード DOT-3.5 を用いる
- ・ 遮へい計算条件: 1/1R-Z 炉心モデル(図 5.5-2)  
中性子21群(表 5.5-3)  
S<sub>48</sub>、P<sub>3</sub>、収束条件(各メッシュ) <10<sup>-3</sup>

<sup>1</sup> 核データニュース vol. 62 「JENDL-3.2に基づく炉定数 中性子300群々線104群 JSSTD L-300ライブラリーについて」長谷川 明(99.6)

- ・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、1次元計算には図 5.5-4、2次元計算には図 5.5-5 に示すようなメッシュ幅を設定した。

炉心部	拡散計算と同程度
SUS 遮へい体	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)遮へい体	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

(注意) 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。

#### (d) 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(3,800MWt)、<sup>239</sup>Pu の核分裂解放エネルギー ( $K_f=198.5\text{MeV/f}$ )、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( $X_{NF}$ )を以下のように求めた。

$$X_{NF} = 3,800 \times 10^6 \times 2.878 / (198.5 \times 10^6 \times 1.602 \times 10^{-19}) = 3.4392 \times 10^{20} (\text{n/sec})$$

#### (e) 断面積縮約

図 5.5-4 に示す1次元半径方向及び軸方向100群輸送計算で得た中性子束スペクトルを使用し、表 5.5-2 に示す並びの少数群断面積を使用する。

なお、1次元計算でのメッシュ幅は2次元計算の2倍程度とし、その他  $S_{16}$ 、 $P_3$  とする。

使用コード： ANISN-W 縮約用中性子束1次元輸送計算  
COMMAND 断面積縮約

#### (f) 計算結果への補正

基準炉心の上下軸方向構造は、燃料集合体を除き実証炉と同等である。したがって、計算結果への補正值は、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。

JSD-J2 ライブラリ (JENDL-2 ベース) による遮へい実験解析 (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を参考にし、計算値に対し以下の補正值を暫定的に使用する (表 5.5-4)。

JSSTD L-300-J3.2 は、JSD-J2 と比べ若干大き目の計算値を与える<sup>2</sup>ので、保守的評価として、補正值は JSD-J2 と同一と考える。

U I S 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、上部軸方向遮へい体及び半径方向遮へい体の厚みを変更する場合には、表 5.5-5 に示す厚みの関数として表現されている補正值を使用する。

### (g) 評価基準

高速中性子束(<0.1MeV)計算値に上記補正值をかけた値が、以下の制限値以下になることを確認する。21 群中性子束計算値から、0.1MeV 以上の中性子束を求めるための重みは、表 5.5-3 中に示す。

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

評価位置 nvt 制限値	中性子束(40 年)	中性子束(60 年)
U I S 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)	: $1 \times 10^{21}$	$8.8 \times 10^{11}$ $5.8 \times 10^{11} \text{n/cm}^2/\text{s}$

### (iii) 解析結果

DOT-3.5 による 2 次元 R-Z 炉心及び炉心廻りの遮へい(輸送)計算により、以下の結果を得た。

#### (a) 臨界性に対する輸送効果

DOT-3.5 による 2 次元 R-Z 炉心及び炉心廻りの遮へい(輸送)計算による臨界性(固有値)を求めた。ただし、メッシュ補正、エネルギー群縮約補正を、 $S_N$ 分点数補正を施していない。したがって、ここで求めた臨界性は、参考程度の値としてとらえる必要がある。

$$- \text{keff (DOT-3.5/R-Z)} = 1.03329 \text{ (21 群, JSSTD L-3.2)}$$

#### (b) 炉体周り遮へい性能

現在、DOT-3.5 による 2 次元遮へい計算で得た、中性子束の等高線図は、コードが整備されていないことから、図示できない。そこで、遮へい性能

<sup>2</sup> JNC TJ9440 99-002 契約業務報告書「遮へい設計基本データベースの整備(IV)」1999年3月、中尾、竹村(川重)

を評価する評価点を含むライン上の、中性子減衰カーブを以下に示し、評価することとした。

#### ① 炉心中心面上の径方向分布

炉心中心面近傍 (DOT-3.5 では炉心下部から 36.7 cm、CITATION では 37.5 cm) での全中性子束分布と高速中性子束分布を、それぞれ図 5.5-6、図 5.5-7 に示す。図は、中性子束強度をリニア及び Log 単位で示している。同図上では、CITATION によるほぼ同一体系の 2 次元拡散計算の結果と比較している。CITATION に比べ、DOT-3.5 による全中性子束及び高速中性子束分布は、炉心中心部で約 10% 程度低く、外側炉心で約 20% 程度高くなっている。炉心平均的に見ると、DOT-3.5 と CITATION の全中性子束及び高速中性子束の領域積分値は、ほぼ同等と見られる。したがって、DOT-3.5 で用いた中性子束規格化定数( $X_{NF}$ )は、妥当と思われる。

炉心槽内側から炉心槽外側のナトリウム層にかけて、中性子束が盛り上がっているが、これは炉心下部のプレナムを透過してくる中性子ストリーミング効果と思われる<sup>3</sup>。

#### ② 炉心最内部位置の軸方向分布

炉中心から約 10 cm 位置 (DOT-3.5 では 10.3 cm、CITATION では 7.7 cm と 12.4 cm) での全中性子束分布と高速中性子束分布をそれぞれ図 5.5-8、図 5.5-9 に示す。図は、中性子束強度をリニア及び Log 単位で示している。炉心部では両中性子束とも、DOT-3.5 の値は、CITATION とほぼ一致している。

#### ③ 下部炉心支持板上面の径方向分布

図 5.5-10 に、下部支持板上面 (炉心側) での、中性子束分布を示す。同図中には、制御棒チャンネルから漏れてくる (ストリーミング) 中性子束による盛り上がりが見られる。ここでの高速中性子束最大値は、 $2.39 \times 10^{12} \text{n/cm}^2/\text{s}$  であり、これに JASPER 解析による補正值 1.7 をかけると、 $4.06 \times 10^{12} \text{n/cm}^2/\text{s}$  となる。したがって、表 5.5-6 に示すように、プラント寿命を 40 年及び 60 年と仮定した場合の遮へい評価基準 (それぞれ  $4.4 \times 10^{12} \text{n/cm}^2/\text{s}$ 、 $2.9 \times 10^{12} \text{n/cm}^2/\text{s}$ ) と比べ、これを下回っている。即ち、現状の遮へい構造は、遮へい基準を満足していることがわかる。なお、長期運転サイクル炉心と比べると、下部軸方向ブランケット厚が

<sup>3</sup> 広域系の NIS を炉心槽の外側に設置する場合は、この中性子ストリーミングの効果を期待するものであるが、炉心槽との遮へいと兼ね合いが課題となる。遮へいの観点からは、少なくとも変形方向遮へい体の炉心下部プレナム位置に、遮へい体を詰め込みたいが、この中性子ストリーミングを切らないため、本設計を含め、構造をプレナム様としている。

10 cmから 45 cmに厚くなっていることと、炉心下部プレナム長さが約 128 cmから 60 cmと半減していることの競争として、下部炉心支持板位置での高速中性子束は、再臨界回避を追求した炉心の方が高くなっている。

#### ④ U I S 下面の径方向分布

図 5.5-11 に、U I S 下面（炉心側）での、中性子束分布を示す。高速中性子束最大値は、 $1.76 \times 10^8 \text{ n/cm}^2/\text{s}$  であり、J A S P E R 解析による補正值 3.5 をかけると、 $6.16 \times 10^8 \text{ n/cm}^2/\text{s}$  となる。したがって、表 5.5-6 に示すように、現状の遮へい構造は、遮へい基準 ( $8.8 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2/\text{s}$ ) を満足していることがわかる。

#### ⑤ 炉心槽内面の軸方向分布

図 5.5-12 に、炉心槽内面（炉心側）での中性子束分布を示す。炉心槽については、評価点が、炉心上面と炉心側部の 2カ所ある。この内、炉心槽上面は、炉容器内の構造が未定のため、保守的に炉心有効長上端面より上部での高速中性子束の最大値に着目した。また、炉心槽側面としては、前記中性子ストリーミングにより最大値を示す点に着目した。

炉心上面の解析値は  $1.99 \times 10^{10} \text{ n/cm}^2/\text{s}$ 、炉心側面の解析値は  $1.42 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2/\text{s}$  となった。これに、J A P E R 解析による補正值 2.1 をかけると、それぞれ  $4.18 \times 10^{10} \text{ n/cm}^2/\text{s}$ 、 $2.98 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2/\text{s}$  となる。したがって、表 5.5-6 に示すように、炉心槽上面では、遮へい基準を満足している。

一方、炉心槽側面では、図 5.5-13 に示す様に、長期運転サイクル炉心と比べ、中性子ストリーミング効果による中性子束の盛り上がりが若干少ない。相対的に本炉心でこの効果が小さいのは、以下の理由と思われる。

- a. 下部軸方向ブランケット厚が 0 cmから 45 cmに増加し、これが遮へい効果を示すこと、
  - b. 炉心下部プレナム長を約 128 cmから 60 cmに短尺化することにより、中性子ストリーミングパスが狭くなったことによる、と推定できる。
- 炉心プレナム部からの中性子ストリーミングが大きく（70 cmから 200 cm 位置）、プラント寿命に拘わらず、遮へい基準を満足できない。これを満足させるには、径方向遮へい体のプレナム位置に遮へい体を設置するか、下部軸方向ブランケットを厚くする方策が考えられる。

(iv) まとめと今後の課題

(a) 結論

- ① 炉心下部プレナムを經由する中性子のストリーミングにより、炉心槽位置で中性子束の盛り上がりが見られる。
- ② 下部炉心支持板上面及び UIS 下面での高速中性子束評価値は、遮へい基準を満足している。
- ③ 炉心槽側面は、上記中性子ストリーミングにより、遮へい基準を大きくはずれている。炉心槽上面は、炉容器内構造が未定の現状であるが、現状の構造では遮へい基準を十分満足している。

(b) 今後の課題

- ① 詳細な検討を行うには、炉心廻りの構造を設定し、また炉心廻りの中性子ストリーミングを厳密に取り扱う必要がある。
- ② 炉心槽側面で遮へい基準を満足させるよう、炉心下部プレナム位置の遮へい構造を見直しする必要がある。
- ③ 炉心槽側面以外は、遮へい基準に対し余裕があるので、遮へい構造の合理化を検討する。

(2) 炉心性能と増殖性向上の検討

(i) 目的

本調査では、安全性を勘案しながら、FBRとして増殖性能を最大限引き出すための炉心仕様を検討し、その性能を確認している。ここでは、再臨界回避を追求した炉心の外側に設置されている径方向遮へい体に着目し、更なる炉心性能の向上と、増殖性を向上させるための検討を行った。

(ii) 検討内容

- ① 径方向遮へい体（内側から、SUS 1層、B<sub>4</sub>C 2層）に代え、鉛反射体 1層～3層を配置した場合の炉心核特性への影響を評価した。
- ② SUS遮へい体位置に径方向ブランケットを配置し、径方向遮へい体（内側から、SUS 1層、B<sub>4</sub>C 1層）に代えた体系で、SUS遮へい体を鉛反射体に置き換えた場合の炉心核特性への影響を評価した。
- ③ 今後の遮へい解析の参考として、上記両解析ケースにおいて、径方向遮



へい体外側位置での高速中性子束( $>0.1\text{MeV}$ )強度の変化を確認した。

- 評価した主な炉心核特性：
- a) プルトニウム富化度
  - b) 燃焼反応度
  - c) 増殖比(BR)
  - e) 出力分担率、出力分布
  - f) 高速中性子束（最大、径方向遮へい体外側境界）
  - g) ナトリウムボイド反応度

(iii) 解析条件

主な解析条件を以下に示す。

(a) 炉心仕様

- ① 出発点：鉛反射体なし炉心  
ケース0 (図 5.5-14、表 5.5-7)
- ② 径方向ブランケットなし、鉛反射体炉心：
  - ケースA SUS遮へい体を鉛反射体へ置換 (図 5.5-15)
  - ケースB 内側  $\text{B}_4\text{C}$  遮へい体までを鉛反射体へ置換 (図 5.5-16)
  - ケースC すべての遮へい体 (3層) を鉛反射体へ置換 (図 5.5-17)
- ③ 径方向ブランケット1層付き、鉛反射体炉心：
  - ケース1 SUS遮へい体位置に径方向ブランケットを配置し、その外側にSUS遮へい体及び  $\text{B}_4\text{C}$  遮へい体を1層配置 (図 5.5-18)
  - ケース2 ケース1でSUS遮へい体を鉛反射体へ置換 (図 5.5-19)
  - ケース3 ケース2で、鉛反射体と径方向ブランケット位置を入れ替え (図 5.5-20)
- ④ 径方向遮へい体：径方向遮へい体並びは、SUS遮へい体×1層、 $\text{B}_4\text{C}$  遮へい体×2層とする。各ケースに置いて、径方向遮へい体を鉛反射体に置換する場合、これら3層の厚み・配置は変更しないものとする。

(iv) 解析方法

主な解析方法を以下に示す。

- (a) 炉心体系モデル： 2次元 R-Z 計算モデル
- 基準炉心(ケース0)： 図 5.5-21
  - ケースA： 図 5.5-22
  - ケースB： 図 5.5-23
  - ケースC： 図 5.5-24

- ケース 1 : 図 5.5-25  
 ケース 2 : 図 5.5-26  
 ケース 3 : 図 5.5-27

(b) 鉛反射体構造

鉛を図 5.5-28 に示すような円筒形状の 2 重容器に封入し、周囲に冷却材ナトリウムを配した構造を想定した。この場合、燃料集合体配列ピッチ内の鉛体積比は、約 78% となった。

(c) 各部構成材の原子数密度

拡散計算に使用した各部の原子数密度を、表 5.5-8 に示す。

(d) 計算コード：PENCIL システム（燃焼計算）

(e) 平衡炉心設定方法：基準炉心と同一の出力、運転期間、バッチ数で、EOEC の実効増倍率及び内側／外側最高線出力密度比が基準炉心と同じようになるように設定する

(v) 解析結果

上記解析条件及び解析方法により、従来の SUS 遮へい体及び B<sub>4</sub>C 遮へい体を鉛反射体に置換した場合の炉心性能への効果を整理した。表 5.5-9 に炉心特性の比較表を、図 5.5-29 に炉心中心面上の径方向出力分布を、図 5.5-30 に炉心中心面上の径方向中性子束分布を示す。

以下に示す鉛反射体による炉心性能への効果は、添付 # 1 に示す鉛の中性子核反応断面積の特性によると考える。

(a) 径方向ブランケットなし、鉛反射体炉心

- ① SUS 遮へい体及び B<sub>4</sub>C 遮へい体を鉛反射体に置換しても、炉心平均燃焼度は替わらない。
- ② SUS 遮へい体を鉛反射体へ置換することにより、炉心平均プルトニウム富化度は 0.13 重量% 低減する。鉛反射体を 3 層（最大）と増加させることにより、炉心平均プルトニウム富化度は最大 0.68 重量% 低減する。
- ③ サイクル中期での増殖比は、鉛反射体置換前（ケース 0）の 1.026 から、鉛反射体 1 層とすることで 1.033 となり、0.007 増加する。鉛反射体 3 層の体系では、1.048 となり、0.022 増大する。

- ④ 表 5.5-9 に示すように、炉心、軸方向ブランケットの出力分担率は若干変化する。これに比べ、最大線出力密度は、鉛反射体層の増加とともに、低下する。鉛反射体置換前（ケース 0）の 399/395W/cm（燃焼初期）に比べ、鉛反射体 3 層の場合、385/384W/cm と、内側炉心、外側炉心それぞれ約 5 %、3 % 低下する。
- ⑤ 図 5.5-29、図 5.5-30 に示すように、鉛反射体を挿入することにより、炉心内の出力平坦化、中性子束分布の平坦化が図れていることがわかる。
- ⑥ 中性子束分布の平坦化に伴い、最大高速中性子束も低下する傾向を示す。しかしながら、炉心外周部の高速中性子束は、鉛反射体置換前（ケース 0）の  $2.06 \times 10^{11}$  から鉛反射体 1 層を置換したケース 1 でも、 $2.88 \times 10^{11}$  と 1 桁以上の増加となる。
- ⑦ ナトリウムボイド反応度は、鉛反射体置換前（ケース 0）で  $1.82\% \Delta k/kk'$  (5.29\$) であり、径方向遮へい体を鉛反射体 3 層に置換した炉心（ケース C）で  $1.91\% \Delta k/kk'$  (5.52\$) となった（表 5.5-10）。
- (b) 径方向ブランケット後方の SUS 遮へい体を鉛反射体に置換した場合
- ① 径方向ブランケットを 1 層追加することにより炉心平均燃焼度は、僅か 3 GWd/t だけ減少する。径方向ブランケット追加による炉心出力分担の軽減による。一方、SUS 遮へい体を鉛反射体に置換しても、炉心平均燃焼度は替わらない。
- ② SUS 遮へい体を鉛反射体へ置換することにより、炉心平均プルトニウム富化度は 0.04 重量% 低減する。径方向ブランケットの外側に、鉛反射体を 1 層配置する効果はほとんど見られない。
- ③ 径方向ブランケットを 1 層追加することによりサイクル中期での増殖比は、鉛反射体置換前（ケース 0）の 1.026 から、1.114 と 0.088 増加する。SUS 遮へい体の代わりに鉛反射体 1 層とすると 0.004 増加し、1.118 なる。鉛反射体配置の効果は、小さいと考えられる。
- ④ 表 5.5-9 に示すように、SUS 遮へい体を鉛反射体に置換しても、炉内の出力分担に影響はない。即ち、炉心内の出力平坦化、中性子束分布の平坦化に対して効果がないことがわかる。
- ⑤ しかしながら、図 5.5-30 に示すように、炉心外周部の高速中性子束は、

SUS 遮へい体の  $1.82 \times 10^{11}$  に比べ、鉛反射体 1 層を置換した場合には  $2.42 \times 10^{11}$  と 33% 増加する。径方向ブランケットがない SUS 遮へい体付き鉛反射体置換前（ケース 0）と比べて、約 17% の増加である。

(c) 径方向ブランケットと鉛反射体の配置を交換した場合

- ① 上記(b)において、径方向ブランケットと鉛反射体の配置を交換することにより、外側炉心の特性は、上記(a)に示した径方向ブランケットがない炉心に鉛反射体を配置した場合の効果が見られる。すなわち、外側炉心のプルトニウム富化度及び出力の平坦化による最大線出力密度の低減が図れる。
- ② しかしながら、径方向ブランケットへの中性子の漏れが鉛反射体により遮られるため、径方向ブランケットの増殖比が約半分に低下し、炉心としての増殖比が 1.118 から 1.093 と悪化する。
- ③ 表 5.5-9 及び図 5.5-30 に示すように、炉心外周部の高速中性子束は、径方向ブランケットと鉛反射体の配置順序に関わらず、透過する物質とその厚みが変わらないため、ほとんど変わらない。
- ④ 以上より、炉心-鉛反射体-径方向ブランケットとする配置は、増殖比を多少犠牲にしても、(外側) 炉心のプルトニウム富化度を低減し、出力分布の平坦化を図りたい場合には、炉心配置としての選択肢となり得るかも知れない。

(vi) 考察とまとめ

以上の解析結果から、鉛反射体の厚みに対する核特性への効果を図 5.5-31 に示す。鉛反射体の性能について、以下のような結論が得られる。

- ① 径方向ブランケットなし炉心で、SUS 遮へい体及びその外側の  $B_4C$  遮へい体を鉛反射体へ置換すると、プルトニウム富化度が低減でき、増殖性能の向上、出力分布の平坦化が図れる。
- ② 鉛反射体を設置することにより、径方向の中性子束分布が平坦化し、中性子の漏えいが減少し、ナトリウムボイド反応度が大幅に増加することが予想されたが、なまる反射体 3 層を設置したケースでも若干 (24%) の増加であった。ナトリウムボイド反応度の増加量が小さかったのは、炉心有効長が 80 cm と短尺化されていることにより、軸方向の中性子漏えいが径方向の中性子漏えいより勝っているためと考えられる。したが

って、炉心有効長が高い（例えば、120 cmの）炉心では、径方向遮へい体の代わりに鉛反射体を設置することにより、ナトリウムボイド反応度はより増大すると推定できる。

- ③ 表 5.5-11 に示す検討例では、BREST-300 の鉛反射体（集合体全長を鉛反射体で構成）を炉心有効長 120 cmの径方向ブランケットなし炉心の遮へい体位置に 3 層配置することにより、プルトニウム富化度を約 1 重量%低減、増殖比を 0.04 向上できた。これに対し、本検討における同様の検討ケース C では、鉛反射体の効果が半減した。この理由として、鉛反射体の組成（100%⇒80%Pb）、構造（集合体全長⇒炉心+ブランケット位置が鉛反射体）の違いが考えられる。また、炉心有効長を短尺化（120 cm⇒80 cm）した結果、軸方向の中性子漏洩成分が大きくなり、鉛反射体による中性子反射の寄与が相対的に減少したことも一因と推定できる。
- ④ 従来の遮へい体から鉛反射体への置換数を（1 層から 3 層へ）増加させるにしたがい、炉心外周部での高速中性子束が大幅に増加する。この点、今後の遮へい解析による定量評価が必要となるが、鉛反射体は 1 層または 2 層までの配置となろう。また、鉛反射体外側の遮へい体として、 $ZrH_x + B_4C$  からなる高性能遮へい体等を使用することの検討が必要であろう。
- ⑤ 径方向ブランケットの外側の SUS 遮へい体を鉛反射体に置換しても、ほとんどメリットが得られず、SUS 遮へい体と同程度の炉心性能となる。したがって、径方向ブランケットを有する炉心においては、SUS 遮へい体、鉛反射体の優劣は小さく、径方向遮へいの観点から、SUS 遮へい体を選択する方が適切と考えられる。

表 5.5-1 各部原子数密度

遮蔽計算に用いた原子数密度データ (平衡炉心EOEC時組成データ使用)

MACROコードで用いた マクロ断面積No (ANISN対応) =>		100	200	300	400	500	600
核種	核種ID	内側炉心 (I)	内側炉心 (II)	内側炉心 (III)	外側炉心	軸ブランク(上部)	軸ブランク(下部)
PU-239	9490	7.9969E-04	8.0151E-04	8.1399E-04	9.5184E-04	1.9188E-04	2.5767E-04
PU-240	9400	4.9379E-04	4.9240E-04	4.9343E-04	6.0135E-04	9.0076E-06	1.8317E-05
PU-241	9410	1.0942E-04	1.0930E-04	1.1136E-04	1.4385E-04	3.1173E-07	9.0190E-07
PU-242	9420	1.1384E-04	1.1392E-04	1.1519E-04	1.4663E-04	8.6335E-09	3.3772E-08
AM-241	9510	2.7522E-05	2.7905E-05	2.9740E-05	4.3178E-05	1.8569E-08	5.2187E-08
U-235	9250	8.3461E-06	8.5012E-06	9.2184E-06	1.0398E-05	2.5039E-05	1.9776E-05
U-238	9280	5.5908E-03	5.6064E-03	5.6783E-03	5.4394E-03	9.6952E-03	8.5158E-03
O	860	1.6116E-02	1.6116E-02	1.6116E-02	1.6150E-02	1.9728E-02	1.7760E-02
NA	1130	7.5706E-03	7.5706E-03	7.5706E-03	7.5706E-03	6.4531E-03	7.5706E-03
FE	2600	1.8593E-02	1.8593E-02	1.8593E-02	1.8593E-02	1.8593E-02	1.8593E-02
CR	2400	2.7574E-03	2.7574E-03	2.7574E-03	2.7574E-03	2.7574E-03	2.7574E-03
NI	2800	1.1801E-04	1.1801E-04	1.1801E-04	1.1801E-04	1.1801E-04	1.1801E-04
MO	4200	1.8389E-04	1.8389E-04	1.8389E-04	1.8389E-04	1.8389E-04	1.8389E-04
MN	2550	1.1943E-04	1.1943E-04	1.1943E-04	1.1943E-04	1.1943E-04	1.1943E-04
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

マクロ断面積No (ANISN対応) =>		700	800	900	1000	1100	1200
核種	核種ID	Na フォロワー	ガスプレナム	ガスプレナム (遮蔽体下部)	勘合部	Na 層	軸方向遮蔽体-B <sub>4</sub> C
NA	1130	2.0306E-02	7.2276E-03	6.8552E-03	7.4500E-03	2.0020E-02	7.2216E-03
FE	2600	4.5872E-03	1.2011E-02	9.4746E-03	4.6450E-02	6.9850E-03	8.5980E-03
CR	2400	1.2165E-03	3.1854E-03	2.5127E-03	8.2700E-03	1.2440E-03	2.2802E-03
NI	2800	1.4366E-03	3.7628E-03	2.9681E-03	3.2590E-04	4.9010E-05	2.6926E-03
MO	4200	1.0992E-04	2.8773E-04	2.2696E-04	1.1240E-04	1.6900E-05	2.0603E-04
MN	2550	1.3433E-04	3.5173E-04	2.7745E-04	-	-	2.5178E-04
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) =>		1300	1500	1700	1800	1900	2000
核種	核種ID	下部勘合部	SUS遮蔽体	B <sub>4</sub> C遮蔽体	制御棒	バンドリングヘッド	Na 層 (径方向)
NA	1130	5.5567E-03	6.3830E-03	4.2847E-03	9.6206E-03	6.3830E-03	2.2240E-02
FE	2600	3.9493E-02	3.7537E-02	1.0921E-02	1.3755E-02	3.7537E-02	-
CR	2400	1.0474E-02	9.9549E-03	2.8964E-03	3.6478E-03	9.9549E-03	-
NI	2800	1.2368E-02	1.1755E-02	3.4202E-03	4.3090E-03	1.1755E-02	-
MO	4200	9.4633E-04	8.9947E-04	2.6170E-04	3.2949E-04	8.9947E-04	-
MN	2550	1.1565E-03	1.0992E-03	3.1981E-04	4.0278E-04	1.0992E-03	-
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) =>		2100	2200	2300	2400	2500
核種	核種ID	炉心層	炉心上部構造物 (UIS)	Na 層 (軸方向)	上部炉心支持板	エントランスパイプ + 連結管
NA	1130	0.0000E+00	2.0016E-02	2.2240E-02	6.0049E-03	1.5568E-02
FE	2600	5.8012E-02	5.2398E-03	-	4.1703E-02	1.6281E-02
CR	2400	1.7384E-02	1.3892E-03	-	1.2289E-02	4.5168E-03
NI	2800	8.1060E-03	1.5947E-03	-	6.8191E-03	4.0000E-03
MO	4200	4.4629E-04	1.2557E-04	-	4.1887E-04	2.9576E-04
MN	2550	1.7319E-03	1.7211E-04	-	1.2631E-03	5.1740E-04

表 5.5-2 100 群断面積と 21 群断面積の対応表

ANISN計算対象方向	領域名	領域温度 (K)	MACROコードで作成した ANISN計算用の100群マクロ断面積No	ANISN計算時のマクロ断面積No	COMANDコードで作成した DOT3.5計算用の21群縮約マクロ断面積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]
軸方向計算	Na層 (径方向)	668	2000	⑧	[13], [15]
	炉心層	668	2100	⑨	[14]
	内側炉心 (I)	1373	100	<1>	
	軸ブランク (上部)	1073	500	<2>	[24]
	軸ブランク (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>	[7]
	軸方向遮蔽体 (B4C)	703	1200	<7>	[28]
	下部勘合部	703	1300	<8>	[19]
	ハンドリングヘッド	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]	
エンタランスバルブ連結管	668	2500	<14>	[17]	
径方向計算 (C/R断面積計算時)	軸ブランク (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)	

表 5.5-3 遮へい計算における少数群エネルギー構造

	群	100 群 群数	エネルギー 上限値 (eV)	レサジー幅	高速中性子 束 計算重み
中 性 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
<del>ガ ン マ 線</del>	<del>1</del>	<del>1-3</del>	<del>14.0+6</del>	<del>6.0</del>	<del>0.0</del>
	<del>2</del>	<del>4-5</del>	<del>8.0+6</del>	<del>3.0</del>	<del>0.0</del>
	<del>3</del>	<del>6-7</del>	<del>5.0+6</del>	<del>2.0</del>	<del>0.0</del>
	<del>4</del>	<del>8-9</del>	<del>3.0+6</del>	<del>1.0</del>	<del>0.0</del>
	<del>5</del>	<del>10-12</del>	<del>2.0+6</del>	<del>1.0</del>	<del>0.0</del>
	<del>6</del>	<del>13-15</del>	<del>1.0+6</del>	<del>0.5</del>	<del>0.0</del>
	<del>7</del>	<del>16-20</del>	<del>4.0+5</del>	<del>0.38</del>	<del>0.0</del>
			2.0+4		

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



表 5.5-4 高速中性子束に対する補正值 (JSD-J2) (1/2)

1) UIS 下面位置

透過方向	透過領域	構成	
		本体系	実証炉
軸	上部ガスプレナム		
軸	ガスプレナム上面 ～軸遮へい体下面	SUS : cm Na : cm <input type="text" value="実証炉に同じ"/>	SUS : 1.13 cm Na : 4.73 cm
軸	上部軸方向遮へい体	B <sub>4</sub> C : cm <input type="text" value="実証炉に同じ"/>	B <sub>4</sub> C
軸	軸遮へい上面 ～炉心頂部	SUS : cm Na : cm <input type="text" value="実証炉に同じ"/>	SUS : 15.86 cm Na : 14.39 cm
軸	炉心頂部 ～UIS 下面	Na : 5 cm <input type="text" value="実証炉に同じ"/>	Na : 5 cm
総透過厚		SUS : cm、 <input type="text" value="実証炉に同じ"/> Na : cm	SUS : 24.12 cm、 Na : 16.99 cm
補正係数		<input type="text" value="実証炉に同じ"/>	3.5

2) 上部炉心支持板上面位置

透過方向	透過領域	構成	
		本体系	実証炉
軸	燃料集合体支持プラグ	SUS : cm、Na : cm <input type="text" value="実証炉に同じ"/>	SUS : 1.82 cm、Na : 1.10 cm
軸	集合体ガスプレナム	ガスプレナム <input type="text" value="実証炉に同じ"/>	ガスプレナム
軸	ガスプレナム下面 ～軸遮へい上面	SUS : cm、Na : cm <input type="text" value="実証炉に同じ"/>	SUS : 2.80 cm、Na : 5.09 cm
軸	下部軸方向遮へい体	SUS : cm、Na : cm <input type="text" value="実証炉に同じ"/>	SUS : 16.86 cm、Na : 6.14 cm
軸	軸遮へい下面 ～支持板上面	SUS : cm、Na : cm <input type="text" value="実証炉に同じ"/>	SUS : 5.73 cm、Na : 2.27 cm
総透過厚		SUS : cm、 <input type="text" value="実証炉に同じ"/> Na : cm	SUS : 27.21 cm、 Na : 14.60 cm
補正係数		<input type="text" value="実証炉に同じ"/>	1.7

表 5.5-4 高速中性子束に対する補正值 (JSD-J2) (2/2)

3) 炉心槽下部内面位置

透過方向	透過領域	構成	
		本体系	実証炉 <sup>4</sup>
軸	燃料集合体支持 プラグ	SUS : cm、Na : cm 実証炉に同じ	SUS : 1.82 cm、Na : 1.10 cm
軸	集合体ガスプレナム	基準炉心は実証炉に同じ	
径	ガスプレナム (炉中 心) ～炉心槽下部	SUS : cm、Na : cm 実証炉に同じ	SUS : 53.04 cm、 Na : 117.14 cm
	総透過厚	SUS : cm、Na : cm 実証炉に同じ	SUS : 27.21 cm、 Na : 14.60 cm
	補正係数	実証炉に同じ	2.1

<sup>4</sup> B<sub>1</sub>C 遮へい体 3 層の場合。B<sub>1</sub>C 遮へい体 4 層の場合の補正係数は 2.2

表 5.5-5 単層厚さの関数として表した E/C 補正值<sup>2</sup>

物質名	1m 透過当たりの補正係数
(SUS) SUS304	3.2
B <sub>4</sub> C (2.51g/cc)	3.3 (10g/cc 当たり 1.048)
Na	1.07

(注1) 上記 E/C 補正係数は、JSD-J2 ライブラリーに基づくが、JENDL-3.2 に基づくライブラリー解析にも適用できると考える。

表 5.5-6 遮へい基準と遮へい性能の比較

プラント寿命40年の場合

着目位置	解析結果*	補正值	評価値*	基準値*	評価
下部炉心支持板上面	$2.39 \times 10^{12}$	×1.7	$4.06 \times 10^{12}$	$4.4 \times 10^{12}$	○
UIS 下面	$1.76 \times 10^8$	×3.5	$6.16 \times 10^8$	$8.8 \times 10^{11}$	◎
炉心槽側面	$1.42 \times 10^{12}$	×2.1	$2.98 \times 10^{12}$	$1.7 \times 10^{12}$	×
炉心槽上面	$1.99 \times 10^{10}$	×2.1	$4.18 \times 10^{10}$	$8.8 \times 10^{11}$	◎

\* 単位： n/cm<sup>2</sup>/s

プラント寿命60年の場合

着目位置	解析結果*	補正值	評価値*	基準値*	評価
下部炉心支持板上面	$2.39 \times 10^{12}$	×1.7	$4.06 \times 10^{12}$	$2.9 \times 10^{12}$	×
UIS 下面	$1.76 \times 10^8$	×3.5	$6.16 \times 10^8$	$5.8 \times 10^{11}$	◎
炉心槽側面	$1.42 \times 10^{12}$	×2.1	$2.98 \times 10^{12}$	$1.1 \times 10^{12}$	×
炉心槽上面	$1.99 \times 10^{10}$	×2.1	$4.18 \times 10^{10}$	$5.8 \times 10^{11}$	◎

\* 単位： n/cm<sup>2</sup>/s

(注) ◎：十分に余裕を持って、基準値を満足できると考えられる場所

○：ほぼ、基準値を満足できると考えられる場所

×：基準値を満足できない場所

表 5.5-7 検討用炉心の仕様

燃 料	
炉心高さ (cm)	80
上部軸ブランケット (cm)	40
下部軸ブランケット (cm)	40
上部端栓 (cm)	2
中間端栓 (cm)	3
下部端栓 (cm)	4
上部ガスプレナム長 (cm)	31
下部ガスプレナム長 (cm)	97.5
燃料ピン全長 (cm)	298
ピン本数 (本/ダ外部相当本数)	294/37
スミア密度 (%)	82
被覆管内径 (mm)	7.6
被覆管肉厚 (mm)	0.6
被覆管外径 (mm)	8.8
ワイヤ径 (mm)	1.0
ワイヤ巻付ピッチ (mm)	150
ポロシティ/リング (mm/ring)	0.087182
ラッパ管肉厚 (mm)	5
ラッパ管内対面間距離 (mm)	181.5
ラッパ管外対面間距離 (mm)	191.5
集合体間ギャップ (mm)	3
集合体配列ピッチ (mm)	194.5
集合体ピッチ面積 (cm <sup>2</sup> )	327.6195753
集合体流量 (kg/cm <sup>2</sup> )	37
バンドル部圧損 (kg/cm <sup>2</sup> )	3.28
実効燃料体積比 (%)	37.58279448

表 5.5-8 各部原子数密度(1/2)

CITATI計算入力時の原子数密度データ

Pu富化度 (IC/OI)	核種ID	基準炉心			CASE-1 (径ブラ1層/SUS反射体付)				CASE-2 (径ブラ1層/鉛反射体付)			
		22.16/27.71			21.93/27.65				21.92/27.57			
核種	核種ID	内側炉心	外側炉心	軸ブランケット	内側炉心	外側炉心	軸ブランケット	径ブランケット	内側炉心	外側炉心	軸ブランケット	径ブランケット
PU-239	949	9.4167E-04	1.1804E-03	0.0000E+00	9.3180E-04	1.1778E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.3137E-04	1.1744E-03	0.0000E+00	0.0000E+00
PU-240	940	4.8501E-04	6.1035E-04	0.0000E+00	4.8180E-04	6.0901E-04	0.0000E+00	0.0000E+00	4.8158E-04	6.0723E-04	0.0000E+00	0.0000E+00
PU-241	941	1.7061E-04	2.1386E-04	0.0000E+00	1.6882E-04	2.1339E-04	0.0000E+00	0.0000E+00	1.6874E-04	2.1277E-04	0.0000E+00	0.0000E+00
PU-242	942	1.2519E-04	1.5693E-04	0.0000E+00	1.2388E-04	1.5659E-04	0.0000E+00	0.0000E+00	1.2382E-04	1.5613E-04	0.0000E+00	0.0000E+00
AM-241	951	2.6938E-05	3.3765E-05	0.0000E+00	2.6653E-05	3.3691E-05	0.0000E+00	0.0000E+00	2.6641E-05	3.3592E-05	0.0000E+00	0.0000E+00
U-235	925	1.9409E-05	1.8069E-05	3.0540E-05	1.9464E-05	1.8084E-05	4.1081E-05	3.0540E-05	1.9466E-05	1.8103E-05	4.1081E-05	3.0540E-05
U-236	926	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
U-238	928	6.3887E-03	5.9291E-03	1.0021E-02	6.3858E-03	5.9339E-03	1.3480E-02	1.0021E-02	6.3876E-03	5.9403E-03	1.3480E-02	1.0021E-02
O	8	1.6224E-02	1.6268E-02	1.9902E-02	1.6223E-02	1.6257E-02	2.7042E-02	1.9902E-02	1.6223E-02	1.6257E-02	2.7042E-02	1.9902E-02
HA	11	7.3501E-03	7.3501E-03	6.2114E-03	7.3501E-03	7.3501E-03	5.7745E-03	6.2114E-03	7.3501E-03	7.3501E-03	5.7745E-03	6.2114E-03
FE	26	1.8761E-02	1.8761E-02	1.8761E-02	1.8761E-02	1.8761E-02	9.4362E-03	1.8761E-02	1.8761E-02	1.8761E-02	9.4362E-03	1.8761E-02
CR	24	2.7823E-03	2.7823E-03	2.7823E-03	2.7823E-03	2.7823E-03	1.6802E-03	2.7823E-03	2.7823E-03	2.7823E-03	1.6802E-03	2.7823E-03
NI	28	1.1907E-04	1.1907E-04	1.1907E-04	1.1907E-04	1.1907E-04	6.6240E-05	1.1907E-04	1.1907E-04	1.1907E-04	6.6240E-05	1.1907E-04
MO	42	1.8555E-04	1.8555E-04	1.8555E-04	1.8555E-04	1.8555E-04	2.2830E-05	1.8555E-04	1.8555E-04	1.8555E-04	2.2830E-05	1.8555E-04
MN	25	1.2051E-04	1.2051E-04	1.2051E-04	1.2051E-04	1.2051E-04	0.0000E+00	1.2051E-04	1.2051E-04	1.2051E-04	0.0000E+00	1.2051E-04
U238-FP	884	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
PU239-FP	894	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
C	6	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
N	157	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
ZR	40	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
NP-237	937	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
NP-239	939	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
AM-242	950	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
AM-243	953	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
CM-242	962	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
CM-243	963	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
CM-244	964	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
CM-245	965	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
PU-238	948	5.4556E-05	6.8388E-05	0.0000E+00	5.3984E-05	6.8238E-05	0.0000E+00	0.0000E+00	5.3959E-05	6.8038E-05	0.0000E+00	0.0000E+00
U235-FP	854	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
PU241-FP	814	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00

表 5.5-8 各部原子数密度 (2/2)

Pu 富化度 (IC/OC)	CASE-A (鉛反射体 1 層体系)			CASE-B (鉛反射体 2 層体系)			CASE-C (鉛反射体 3 層体系)			インシュレータ	
	22.02/27.21			21.93/26.43			21.88/26.26				
核種	核種ID	内側炉心	外側炉心	軸ブランケット	内側炉心	外側炉心	軸ブランケット	内側炉心	外側炉心	軸ブランケット	
PU-239	949	9.3566E-04	1.1589E-03	0.0000E+00	9.3180E-04	1.1253E-03	0.0000E+00	9.2956E-04	1.1179E-03	0.0000E+00	0.0000E+00
PU-240	940	4.8360E-04	5.9920E-04	0.0000E+00	4.8180E-04	5.8183E-04	0.0000E+00	4.8099E-04	5.7804E-04	0.0000E+00	0.0000E+00
PU-241	941	1.6952E-04	2.0995E-04	0.0000E+00	1.6882E-04	2.0387E-04	0.0000E+00	1.6843E-04	2.0254E-04	0.0000E+00	0.0000E+00
PU-242	942	1.2439E-04	1.5406E-04	0.0000E+00	1.2388E-04	1.4900E-04	0.0000E+00	1.2359E-04	1.4862E-04	0.0000E+00	0.0000E+00
AM-241	951	2.6764E-05	3.3148E-05	0.0000E+00	2.6653E-05	3.2187E-05	0.0000E+00	2.6592E-05	3.1977E-05	0.0000E+00	0.0000E+00
U-235	925	1.9442E-05	1.8190E-05	3.0540E-05	1.9464E-05	1.8379E-05	3.0540E-05	1.9476E-05	1.8420E-05	3.0540E-05	3.1588E-05
U-238	926	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
U-238	928	6.3797E-03	5.9688E-03	1.0021E-02	6.3868E-03	6.0307E-03	1.0021E-02	6.3908E-03	6.0442E-03	1.0021E-02	1.0359E-02
O	8	1.6223E-02	1.6255E-02	1.9902E-02	1.6223E-02	1.6250E-02	1.9902E-02	1.6222E-02	1.6248E-02	1.9902E-02	2.0780E-02
NA	11	7.3501E-03	7.3501E-03	6.2114E-03	7.3501E-03	7.3501E-03	6.2114E-03	7.3501E-03	7.3501E-03	6.2114E-03	7.1592E-03
FE	26	1.8761E-02	1.8761E-02	1.8761E-02	1.8761E-02	1.8761E-02	1.8761E-02	1.8761E-02	1.8761E-02	1.8761E-02	1.4877E-02
CR	24	2.7823E-03	2.7823E-03	2.7823E-03	2.7823E-03	2.7823E-03	2.7823E-03	2.7823E-03	2.7823E-03	2.7823E-03	2.6490E-03
NI	28	1.1907E-04	1.1907E-04	1.1907E-04	1.1907E-04	1.1907E-04	1.1907E-04	1.1907E-04	1.1907E-04	1.1907E-04	1.0443E-04
MO	42	1.8555E-04	1.8555E-04	1.8555E-04	1.8555E-04	1.8555E-04	1.8555E-04	1.8555E-04	1.8555E-04	1.8555E-04	3.0000E-05
MN	25	1.2051E-04	1.2051E-04	1.2051E-04	1.2051E-04	1.2051E-04	1.2051E-04	1.2051E-04	1.2051E-04	1.2051E-04	0.0000E+00
U238-FP	884	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
PU239-FP	894	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
C	6	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
N	157	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
ZR	40	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
HP-237	937	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
NP-239	939	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
AM-242	950	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
AM-243	953	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
CM-242	962	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
CM-243	963	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
CM-244	964	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
CM-245	965	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
PU-238	948	5.4208E-05	6.7139E-05	0.0000E+00	5.3584E-05	6.5192E-05	0.0000E+00	5.3850E-05	6.4767E-05	0.0000E+00	0.0000E+00
U235-FP	854	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
PU241-FP	814	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00

核種	核種ID	下部プレナム	SUS遮蔽体	ガスプレナム (燃料部)	ガスプレナム (格ナ部)	下部シールド (SUS遮蔽体部)	軸方向遮蔽体 -B,C- (燃料部)	軸方向遮蔽体 -B,C- (格ナ部)	B,C遮蔽体	助合部 (燃料部)	助合部 (格ナ部)
NA	11	5.557E-03	6.3830E-03	7.2270E-03	6.8562E-03	2.0184E-02	7.2216E-03	5.6046E-03	4.2847E-03	7.4500E-03	5.8270E-03
FE	26	3.9493E-02	3.7537E-02	1.2011E-02	9.4745E-03	4.8757E-03	8.5880E-03	1.1088E-02	1.0921E-02	4.6450E-02	5.1550E-02
CR	24	1.0474E-02	9.9549E-03	3.1854E-03	2.5127E-03	1.2931E-03	2.2802E-03	2.9406E-03	2.8964E-03	8.2700E-03	9.1780E-03
NI	28	1.2368E-02	1.1755E-02	3.7628E-03	2.9681E-03	1.5289E-03	2.6926E-03	3.4724E-03	3.4202E-03	3.2590E-04	3.6170E-04
MO	42	9.4633E-04	8.9947E-04	2.8773E-04	2.2695E-04	1.1683E-04	2.0603E-04	2.6569E-04	2.6170E-04	1.1240E-04	1.2470E-04
MN	25	1.1565E-03	1.0992E-03	3.5173E-04	2.7745E-04	1.4278E-04	2.5178E-04	3.2469E-04	3.1991E-04	0.0000E+00	0.0000E+00
C	6	-	-	-	-	-	1.3170E-02	1.3831E-02	1.5250E-02	-	-
B10	105	-	-	-	-	-	1.0536E-02	1.1065E-02	1.2200E-02	-	-
B11	115	-	-	-	-	-	4.2144E-02	4.4259E-02	4.8801E-02	-	-
PB	82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

核種	核種ID	Na層	鉛遮蔽 (Naチャンネル)	鉛遮蔽 (B,C)	鉛反射体部
NA	11	2.0020E-02	2.0305E-02	9.6206E-03	1.0986E-03
FE	26	6.9850E-03	4.5872E-03	1.3755E-02	8.9479E-03
CR	24	1.2440E-03	1.2165E-03	3.6478E-03	2.3730E-03
NI	28	4.9010E-05	1.4366E-03	4.3090E-03	2.8031E-03
MO	42	1.6900E-05	1.0992E-04	3.2949E-04	2.1435E-04
MN	25	0.0000E+00	1.3433E-04	4.0278E-04	2.6202E-04
C	6	-	-	3.3677E-03	-
B10	105	-	-	1.0777E-02	-
B11	115	-	-	2.4503E-03	-
PB	82	-	-	-	2.3603E-02

(参考) BREST-300

核種	鉛反射体部
NA	-
FE	7.0992E-03
CR	1.1113E-03
NI	1.4065E-05
MO	7.3754E-05
MN	6.8692E-05
C	-
B10	-
B11	-
PB	3.0458E-02

表 5.5-9 炉心特性解析結果

	基準炉心		CASE-A		CASE-B		CASE-C	
A 炉心仕様	18ヶ月4バッチ炉心		18ヶ月4バッチ炉心 鉛反射体1層体系		18ヶ月4バッチ炉心 鉛反射体2層体系		18ヶ月4バッチ炉心 鉛反射体3層体系	
原子炉熱出力 (MW)	3800		3800		3800		3800	
サイクル長 (day) × バッチ数	540	× 4	540	× 4	540	× 4	540	× 4
炉心燃料体数 [IC/OC] (ダクト付)	378	/ 198	378	/ 198	378	/ 198	378	/ 198
径ブランケット本数	-		-		-		-	
制御棒本数	48		48		48		48	
燃料集合体内ピン本数 [IC/OC]	294	/ 294	294	/ 294	294	/ 294	294	/ 294
Pu富化度 [IC/OC] (wt%)	22.16	/ 27.71	22.02	/ 27.21	21.93	/ 26.43	21.88	/ 26.26
炉心高さ (cm)	80.0		80.0		80.0		80.0	
軸ブランケット高さ [上/下] (cm)	40.0	/ 40.0	40.0	/ 40.0	40.0	/ 40.0	40.0	/ 40.0
B 炉心核特性 (R-Z体型計算)								
実効増倍率 (keff) 初期	1.04329		1.04167		1.04098		1.04050	
末期	0.99470		0.99391		0.99419		0.99407	
燃焼反応度 (%Δk/kk')	4.68		4.61		4.52		4.49	
増殖比 [炉心/軸ブラ/径ブラ/全体]	0.683 / 0.343 / - / 1.026		0.684 / 0.349 / - / 1.033		0.690 / 0.354 / - / 1.045		0.692 / 0.356 / - / 1.048	
MOEC 軸ブラ(上/下)	0.141 / 0.202		0.143 / 0.205		0.146 / 0.208		0.147 / 0.209	
原子炉増倍時間 (year)	147.6		117.6		91.7		86.1	
平均燃焼度 (GWd/t)	153		153		153		153	
最大線出力 [IC/OC] * (W/cm)								
初期 (ミマファクター)	399 / 395 (1.142/1.181)		393 / 394 (1.141/1.179)		387 / 386 (1.138/1.171)		365 / 384 (1.137/1.170)	
末期 (ミマファクター)	379 / 341 (1.114/1.151)		375 / 339 (1.113/1.149)		369 / 334 (1.111/1.143)		368 / 332 (1.110/1.141)	
出力分担率 [炉心/軸ブラ/径ブラ] (%)								
初期	93.2/4.2/0.0		93.1/4.2/0.0		93.0/4.3/0.0		92.9/4.3/0.0	
末期	89.3/6.7/0.0		89.3/6.8/0.0		89.1/6.9/0.0		89.0/6.9/0.0	
最大高速中性子束 (n/cm <sup>2</sup> ・s)	2.415E+15		2.404E+15		2.373E+15		2.361E+15	

(\*) 制御棒はバーク位置 (制御棒組成×0.4) , ミマファクター考慮

	基準炉心		CASE-1		CASE-2		CASE-3	
A 炉心仕様	18ヶ月4バッチ炉心		18ヶ月4バッチ炉心 一径ブランケット1層/SUS反射体付		18ヶ月4バッチ炉心 一径ブランケット1層/鉛反射体付		18ヶ月4バッチ炉心 一径ブランケット1層/鉛反射体付 内側:鉛反射体, 外側:径ブランケット	
原子炉熱出力 (MW)	3800		3800		3800		3800	
サイクル長 (day) × バッチ数	540	× 4	540	× 4	540	× 4	540	× 4
炉心燃料体数 [IC/OC] (ダクト付)	378	/ 198	378	/ 198	378	/ 198	378	/ 198
径ブランケット本数	-		90		90		90	
制御棒本数	48		48		48		48	
燃料集合体内ピン本数 [IC/OC]	294	/ 294	294	/ 294	294	/ 294	294	/ 294
Pu富化度 [IC/OC] (wt%)	22.16	/ 27.71	21.93	/ 27.65	21.92	/ 27.57	21.92	/ 26.72
炉心高さ (cm)	80.0		80.0		80.0		80.0	
軸ブランケット高さ [上/下] (cm)	40.0	/ 40.0	40.0	/ 40.0	40.0	/ 40.0	40.0	/ 40.0
B 炉心核特性 (R-Z体型計算)								
実効増倍率 (keff) 初期	1.04329		1.04006		1.03996		1.04053	
末期	0.99470		0.99396		0.99403		0.99396	
燃焼反応度 (%Δk/kk')	4.68		4.46		4.44		4.51	
増殖比 [炉心/軸ブラ/径ブラ/全体]	0.683 / 0.343 / - / 1.026		0.675 / 0.341 / 0.099 / 1.114		0.675 / 0.341 / 0.101 / 1.118		0.686 / 0.350 / 0.057 / 1.093	
MOEC 軸ブラ(上/下)	0.141 / 0.202		0.140 / 0.201		0.140 / 0.201		0.144 / 0.206	
原子炉増倍時間 (year)	147.6		40.8		39.7		48.2	
平均燃焼度 (GWd/t)	153		150		150		152	
最大線出力 [IC/OC] * (W/cm)								
初期 (ミマファクター)	399 / 395 (1.142/1.181)		391 / 393 (1.136/1.181)		390 / 392 (1.136/1.180)		367 / 387 (1.136/1.174)	
末期 (ミマファクター)	379 / 341 (1.114/1.151)		363 / 340 (1.112/1.151)		362 / 339 (1.112/1.151)		367 / 335 (1.111/1.145)	
出力分担率 [炉心/軸ブラ/径ブラ] (%)								
初期	93.2/4.2/0.0		91.7/4.1/1.6		91.7/4.1/1.6		92.5/4.2/0.5	
末期	89.3/6.7/0.0		87.5/6.5/2.2		87.4/6.5/2.2		86.5/6.6/0.7	
最大高速中性子束 (n/cm <sup>2</sup> ・s)	2.415E+15		2.354E+15		2.342E+15		2.309E+15	

(\*) 制御棒はバーク位置 (制御棒組成×0.4) , ミマファクター考慮



表 5.5-10 ナトリウムボイド反応度の解析条件と解析結果

		燃料体数 (内側/外側) 378/198 ダクト付燃料装荷体数 (内, 外側570体) ※集合体ピン本数: 294本 <基準体系> 燃料ピン外径: 8.8mm 制御棒48体 集合体ピッチ: 194.6mm 4バッチ18ヶ月サイクル炉心	燃料体数 (内側/外側) 378/198 ダクト付燃料装荷体数 (内, 外側570体) ※集合体ピン本数: 294本 <CASE-C (鉛反射体3層) 体系> 燃料ピン外径: 8.8mm 制御棒48体 集合体ピッチ: 194.6mm 4バッチ18ヶ月サイクル炉心
原子炉熱出力 (MW)		3800	3800
運転サイクル長さ (ヶ月/day)		18/540	18/540
燃料交換バッチ数		4	4
炉心集合体数 (ダクト付IC/OC)		570 378/198	570 354/216
径ブランケット集合体数		—	—
制御棒本数/SUS集合体		48/1	48/1
炉心高さ (cm)		80	80
Pu富化度 (IC/OC, wt%)		22.16/27.71	21.88/26.26
燃料部体積比 (Fuel/Na)		0.327/0.332	0.327/0.332
1 集合体Na量に対するボイド割合 (%) **)		78.26	78.26
実効増倍率 *) (keff)	基準	0.99339	0.99118
	ボイド時 **)	1.01172	1.01027
Naボイド反応度 (%Δk/kk')		1.823	1.906
Naボイド反応度 (\$) ***)		5.285	5.524
軸ブラ厚み (上/下; cm)		40.0/40.0	40.0/40.0
燃料ピン本数 (本)		294	294
被覆管肉厚 (mm)		0.60	0.60
被覆管外径 (mm)		8.8	8.8
ワイヤ径 (mm)		1.0	1.0
ワイヤ巻きピッチ (mm)		150	150
ピン配列ピッチ (mm)		9.85	9.85
ラッパ管肉厚 (mm)		5.0	5.0
集合体間ギャップ (mm)		3.0	3.0
集合体配列ピッチ (mm)		194.6	194.6

\*) 70群R-Z拡散計算、制御棒パーク位置 (制御棒組成×0.4)

\*\*\*) ボイド条件: ラッパ管内側 (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

\*\*) 1\$=0.345%Δk/kk'

表 5.5-11 炉心有効長 120 cm炉心での解析結果

	鉛反射体なし炉心			鉛反射体3層炉心		
A. 炉心仕様	ワイヤ径：1.59mm 集合体ピッチ：198.75mm			ワイヤ径：1.59mm 集合体ピッチ：198.75mm 径方向鉛反射体使用，中心鉛反射体		
原子炉熱出力 (MWt)	3800			3800		
サイクル長 (day) × バッチ数	540	×	5	540	×	5
炉心燃料体数【IC (SASS) / OC】	252	/	210	252	/	210
鉛反遮蔽体本数	-			271		
制御棒本数	36			36		
燃料集合体内ピン本数【IC/OC】	234	/	271	234	/	271
Pu富化度【IC/OC】 (w%)	17.94	/	19.54	17.39	/	18.20
炉心有効長 (cm)	120.0			120.0		
径方向ブランケット (cm)	-			-		
軸ブランケット高さ【上/下】 (cm)	35.0	/	30.0	35.0	/	30.0
B. 炉心核特性 (R-Z体型計算)						
実効増倍率 (keff)	初期			1.01810		
	末期			0.99401		
燃焼反応度 (%Δk/k')	2.82			2.38		
増殖比【炉心/軸ブラ/径ブラ/全体】	0.843 / 0.200 / - / 1.043			0.870 / 0.210 / - / 1.080		
MOEC 軸ブラ(上/下)	(0.083/0.117)			(0.088/0.122)		
原子炉倍増時間 (year)	102.9			57.2		
平均燃焼度 (GWd/t)	153			153		
最大線出力【IC/OC】* (W/cm)	初期			356 / 339		
	末期			347 / 321		
平均線出力【IC/OC】* (W/cm)	初期			/		
	末期			/		
出力分担率【炉心/軸ブラ/径ブラ】 (%)	初期			95.0 / 5.0 / -		
	末期			93.0 / 7.0 / -		
最大高速中性子束 (n/cm <sup>2</sup> ・s)	2.154E+15			2.088E+15		

(\*）制御棒はパーク位置 (制御棒組成×0.4)

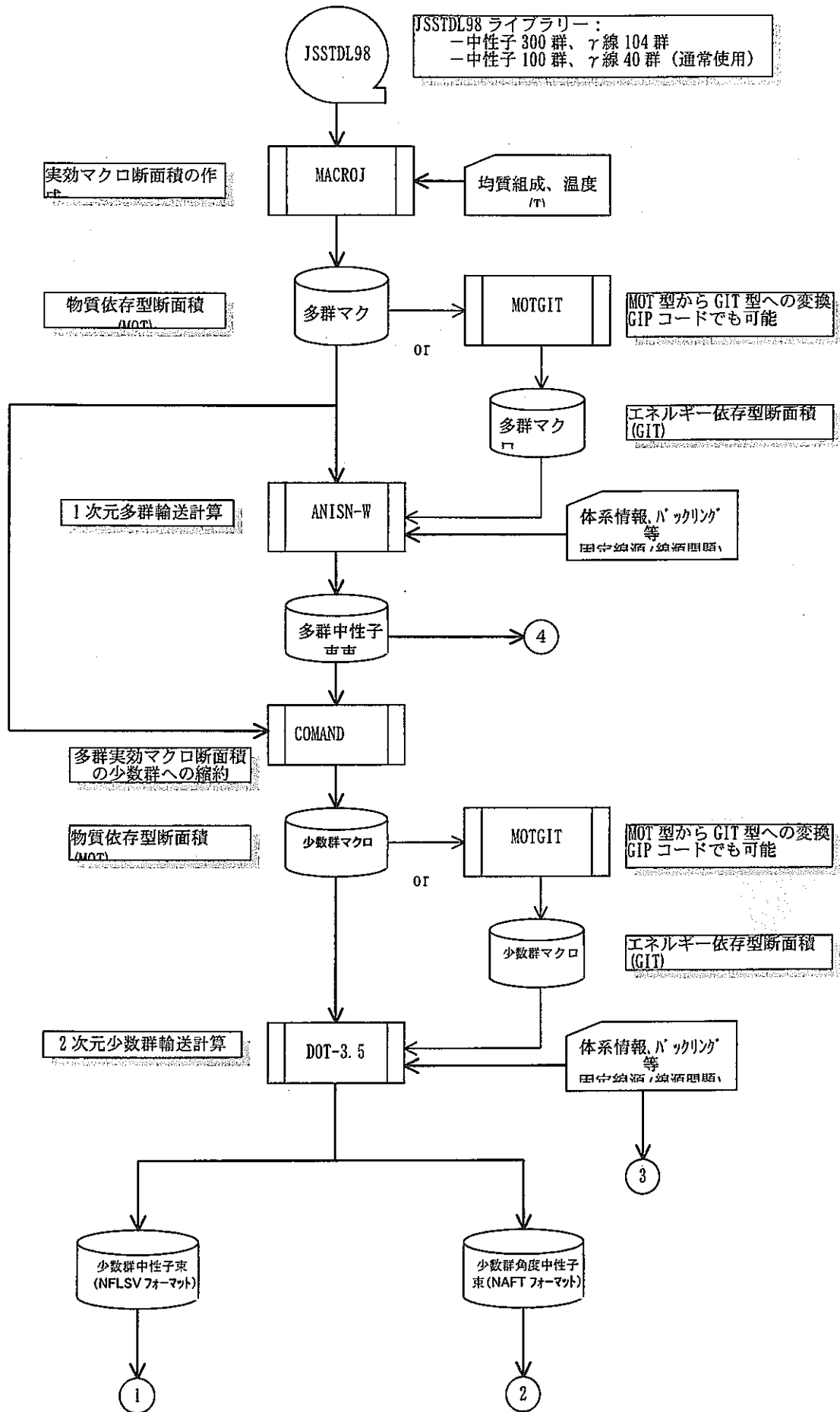


図 5.5-1 解析の流れ(1/2)

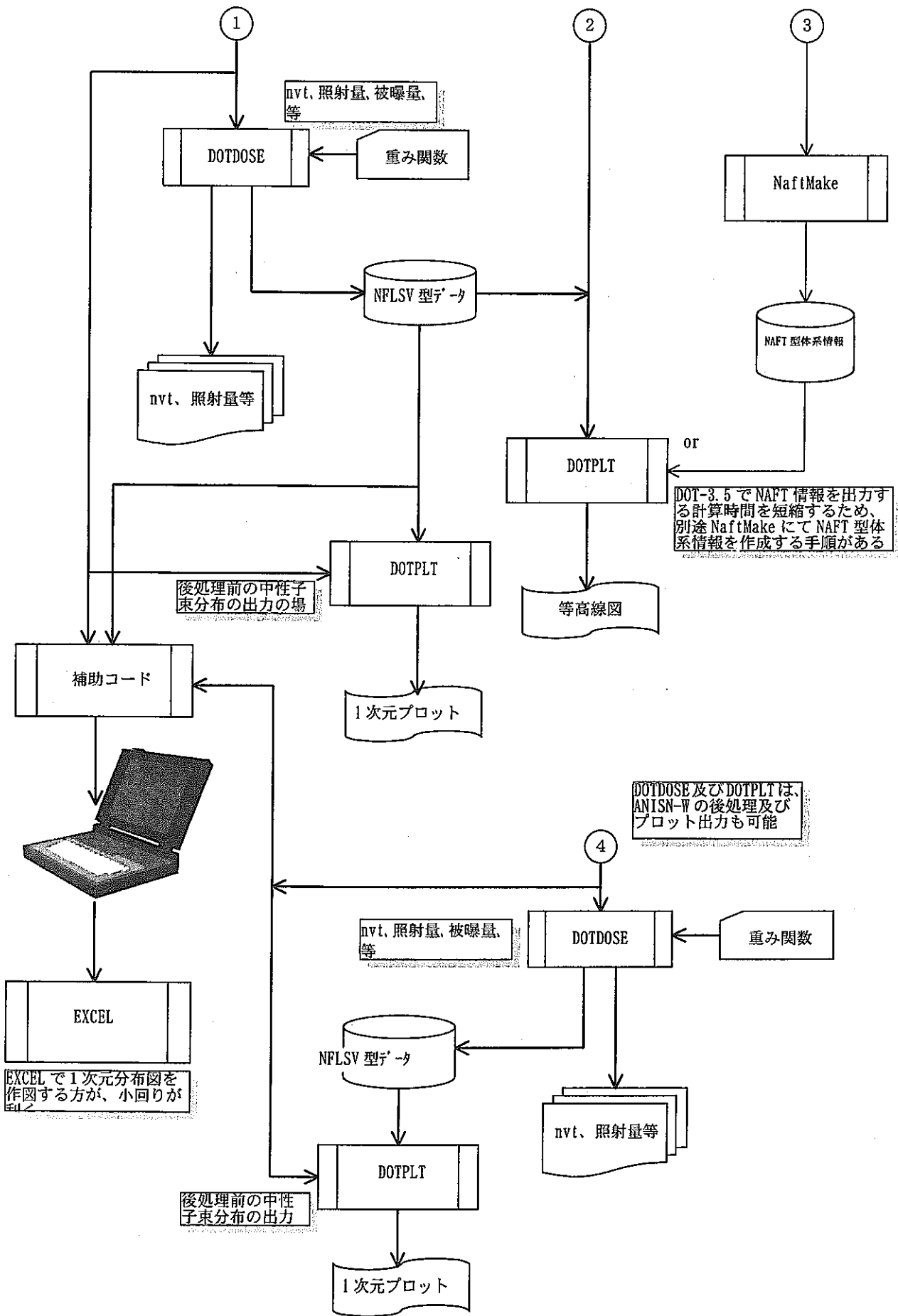
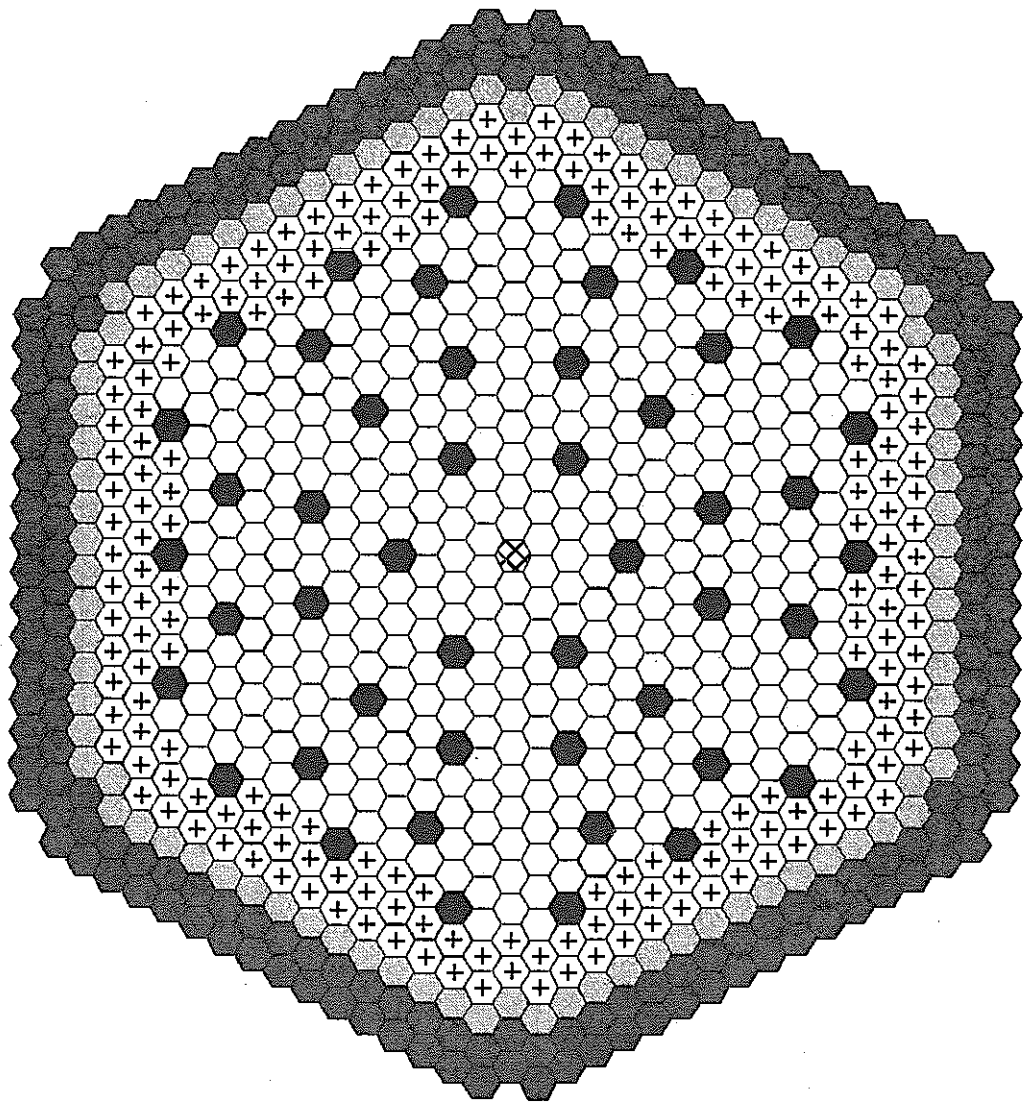


図 5.5-1 解析の流れ (2/2)











	内側炉心燃料集合体	378体
	外側炉心燃料集合体	198体
	SUS遮蔽体	90体
	B <sub>4</sub> C遮蔽体	198体
	主炉停止系制御棒	48体
	SUS集合体	1体
合 計		913体

図 5.5-3 遮へい解析対象炉心の炉心断面図

ANISN-メッシュ分割数 →		2	12	2	14	2	8	2	8	2	10	10	18	2	2	12	メッシュTotal
Q		10.31	52.41	4.88	61.59	139.21	134.05	169.75	179.47	208.54	213.08	223.03	257.79	275.73	38.118	99.36	93.185
12	60.00																
2	476.50	5.00	Na 2300 <12>														
4	454.50	22.00	ハンドリングヘッド 1900 <9>		ハンドリングヘッド		ハンドリングヘッド		ハンドリングヘッド		ハンドリングヘッド		ハンドリングヘッド				
14	67.00		軸方向遮蔽体(B4C) 1200 <7>		軸方向遮蔽体(B4C)		軸方向遮蔽体(B4C)		軸方向遮蔽体(B4C)		軸方向遮蔽体(B4C)		軸方向遮蔽体(B4C)				
4	387.50	20.00	Na層 1100 <8>		Na層		Na層		Na層		Na層		Na層				
2	365.50	2.00	結合部(上部端栓) 1000 <5>		結合部(上部端栓)		結合部(上部端栓)		結合部(上部端栓)		結合部(上部端栓)		結合部(上部端栓)				
2	355.50	10.00	ガスプレナム(上部) 800 <4>		ガスプレナム(上部)		ガスプレナム(上部)		ガスプレナム(上部)		ガスプレナム(上部)		ガスプレナム(上部)				
10	45.00	1500 (2)		C/R 1800 (4)		C/R 1800 (4)		C/R 1800 (4)		C/R 1800 (4)		C/R 1800 (4)	1500 (2)	1700 (3)	2000 (5)	2100 (6)	2000 (5)
16	60.00		内側炉心 (I)		内側炉心 (II)		内側炉心 (III)		内側炉心 (IV)		外側炉心		B4C遮蔽体	Na	炉心層	Na	
		1500 ⑥	100 ① <1>	700 ③	200 ②	700 ③	300 ③	700 ③	600 ③	700 ③	600 ③	1500 ⑥	1700 ③	2000 ③	2100 ③	2000 ③	
10	45.00				軸ブランケット(下部)		軸ブランケット(下部)		軸ブランケット(下部)		軸ブランケット(下部)		軸ブランケット(下部)				
2	182.50	3.00	結合部(中間端栓) 1000 <5>		結合部(中間端栓)		結合部(中間端栓)		結合部(中間端栓)		結合部(中間端栓)		結合部(中間端栓)				
14	65.00		ガスプレナム(下部) 800 <4>		ガスプレナム(下部)		ガスプレナム(下部)		ガスプレナム(下部)		ガスプレナム(下部)		ガスプレナム(下部)				
2	117.50																
2	113.50	4.00	結合部(下部端栓) 1000 <5>		結合部(下部端栓)		結合部(下部端栓)		結合部(下部端栓)		結合部(下部端栓)		結合部(下部端栓)				
4	95.00	18.50															
2	90.00	5.00	上部炉心支持板 2400 <13>														
6	60.00	30.00	燃料管(E/F) + 接続 管 2500 <14>														
12	0.00	60.00	Na 2000 <10>														
Total																	93.185

標準炉心 (R-Z体系) 遮蔽計算モデル<ANISN計算対応>

※ 100 ~ 2500 : ANISN計算用100群切断面積のメッシュ番号  
 ① ~ ⑥ : ANISN計算時(径方向一次元)のメッシュ番号  
 <1> ~ <14> : ANISN計算時(軸方向一次元)のメッシュ番号  
 (1) ~ (6) : ANISN計算時(径方向一次元)のメッシュ番号(C/R定数作成用)

図 5.5-4 1次元 ANISN 計算径方向及び軸方向計算体系

DOT3.5-マクロ分番数 →		4	16	2	18	2	10	2	10	2	4	12	6	12	2	2	12	522 Total 116
↓		10.31	62.72	67.62	129.21	134.05	169.75	173.47	208.54	213.06	223.08	257.79	275.79	311.58	316.58	321.58	381.58	116
		541.50	10.31	52.41	4.89	61.59	4.85	35.70	3.72	35.07	4.54	44.71	17.94	35.85	5.00	5.00	60.00	
12	60.00	481.50																
2	5.00	476.50																
4	22.00	454.50																
14	67.00	387.50																
6	20.00	367.50																
2	2.00	365.50																
4	10.00	355.50																
14	45.00	310.50																
24	80.00	230.50																
14	45.00	185.50																
2	3.00	182.50																
14	65.00	117.50																
2	4.00	113.50																
4	18.50	95.00																
2	5.00	90.00																
6	30.00	60.00																
12	60.00	0.00																

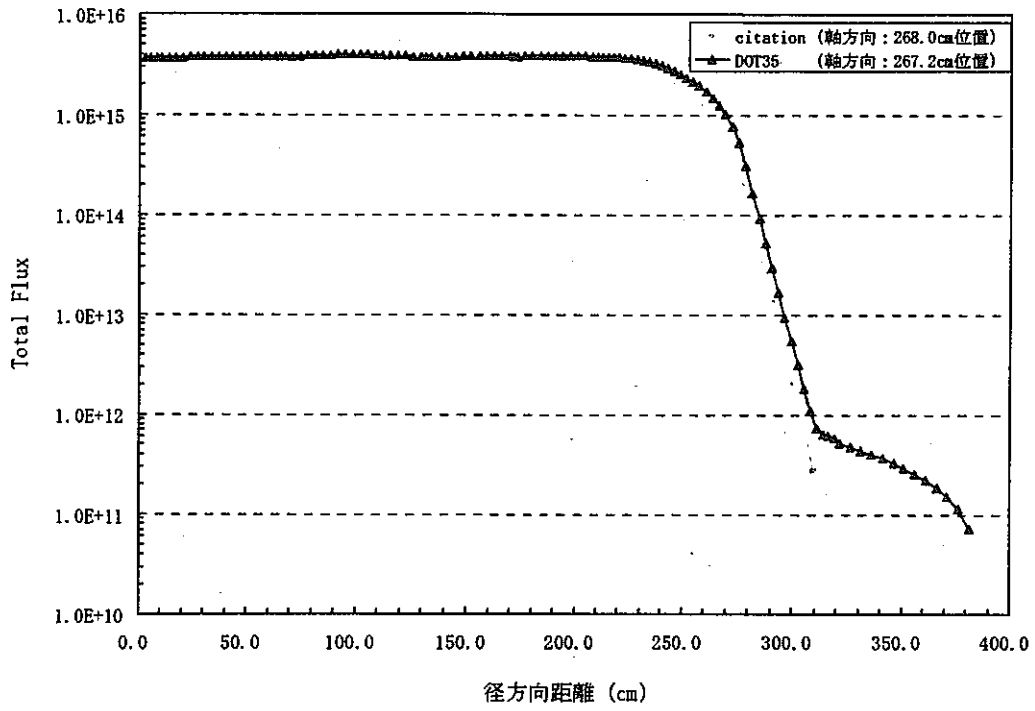
Total  
138

基準炉心 (R-Z体系図) 遮蔽計算モデル<DOT3.5 計算対応> ※ (1) ~ (88) : DOT3.5計算時ゾーン領域番号  
[1] ~ [35] : DOT3.5計算用21群マクロ断面積のマクロ定義番号

図 5.5-5 2次元 DOT-3.5 計算 R-Z 体系



径方向 Flux 分布图 (Total Flux)  
— 炉心中心面 —



径方向 Flux 分布图 (Total Flux)  
— 炉心中心面 —

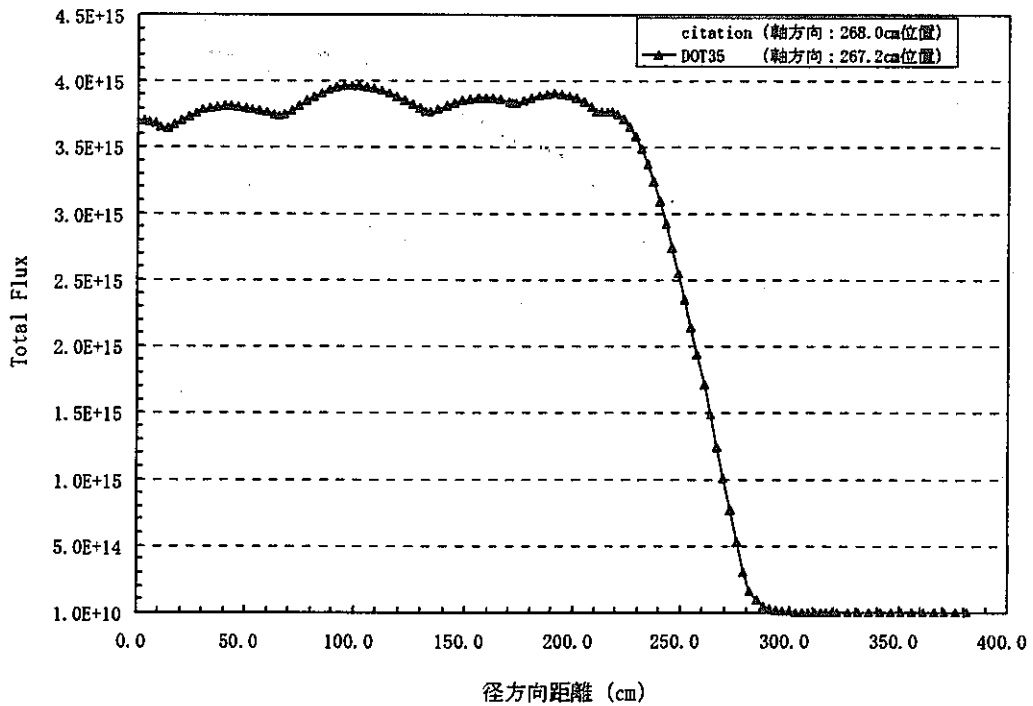
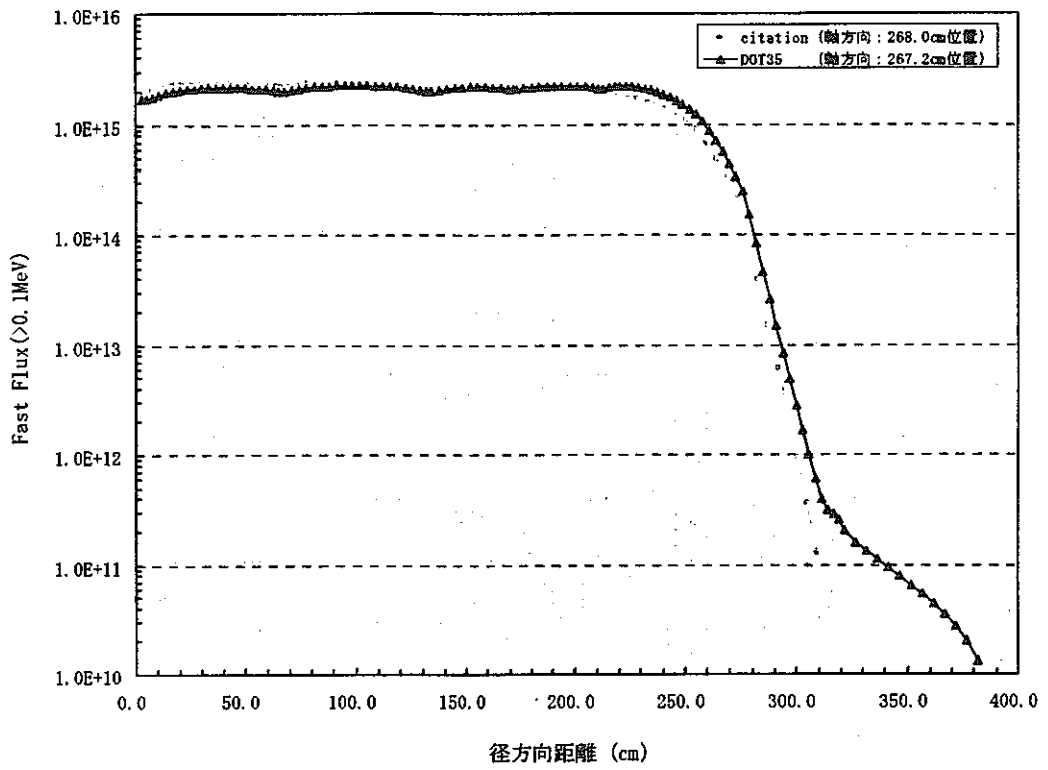


图 5.5-6 炉中心面上径方向全中性子束分布

径方向 Flux 分布图 (Fast Flux)  
— 炉中心面 —



径方向 Flux 分布图 (Fast Flux)  
— 炉中心面 —

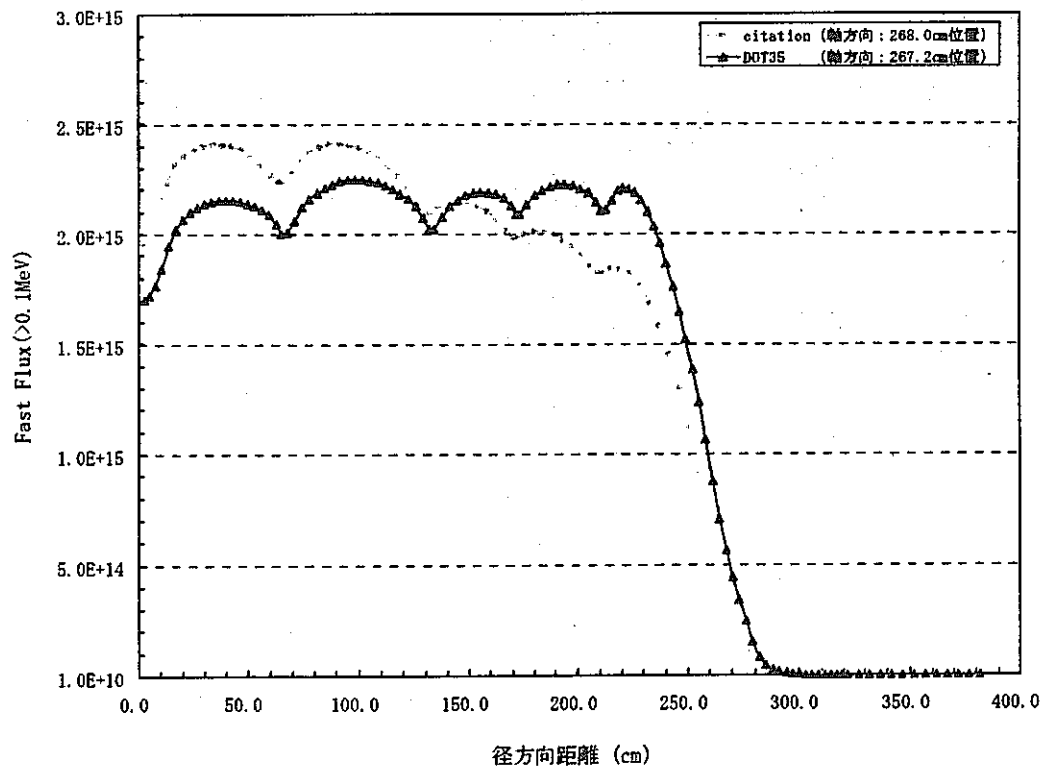
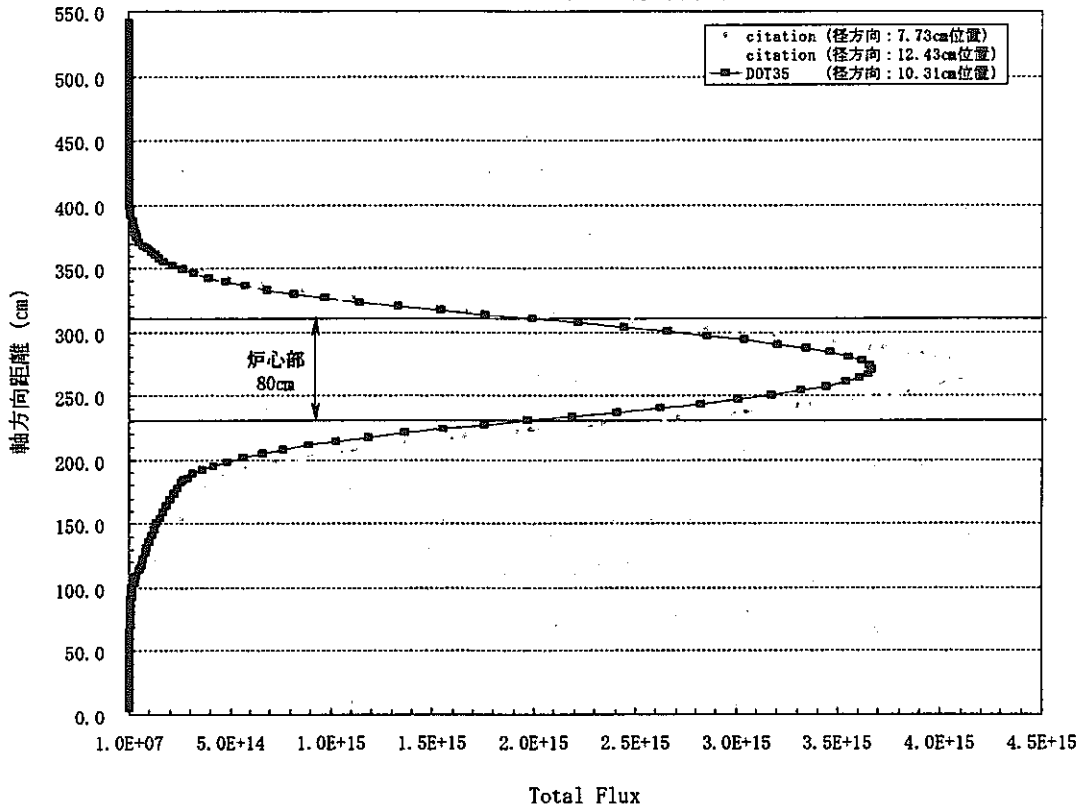


图 5.5-7 炉中心面上径方向高速中性子束分布

軸方向 Flux 分布図 (Total Flux)

— 内側炉心中心面境界位置 —



軸方向 Flux 分布図 (Total Flux)

— 内側炉心中心面境界位置 —

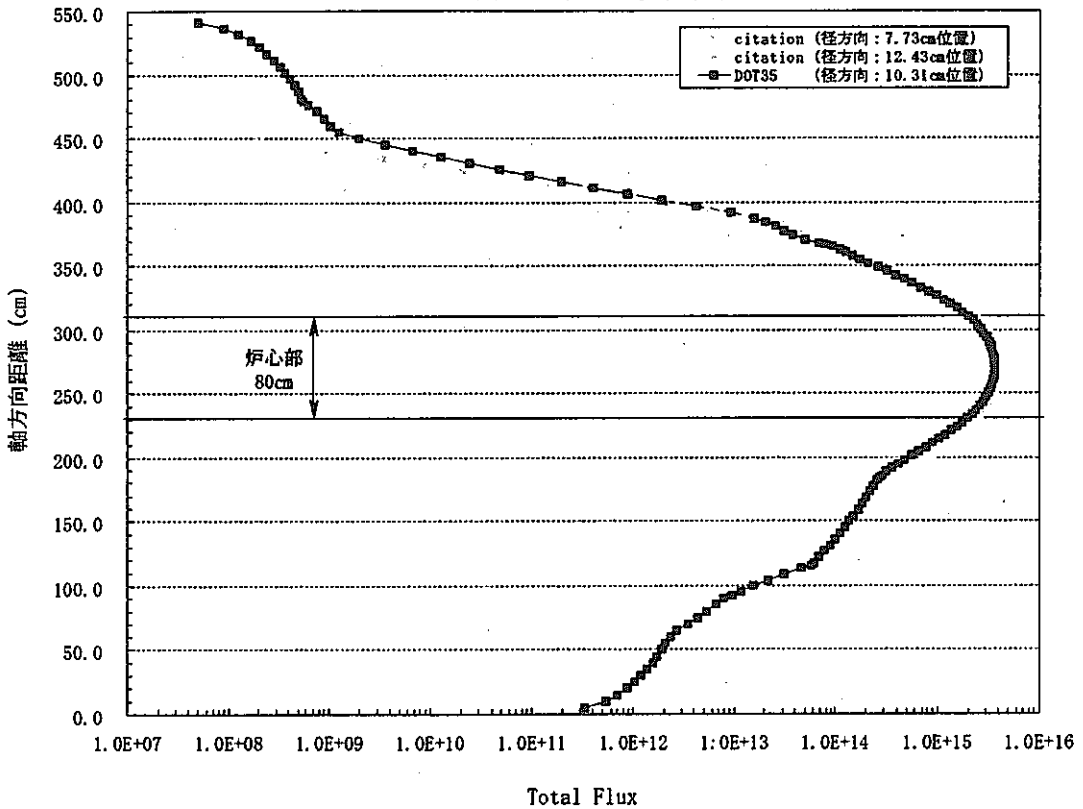
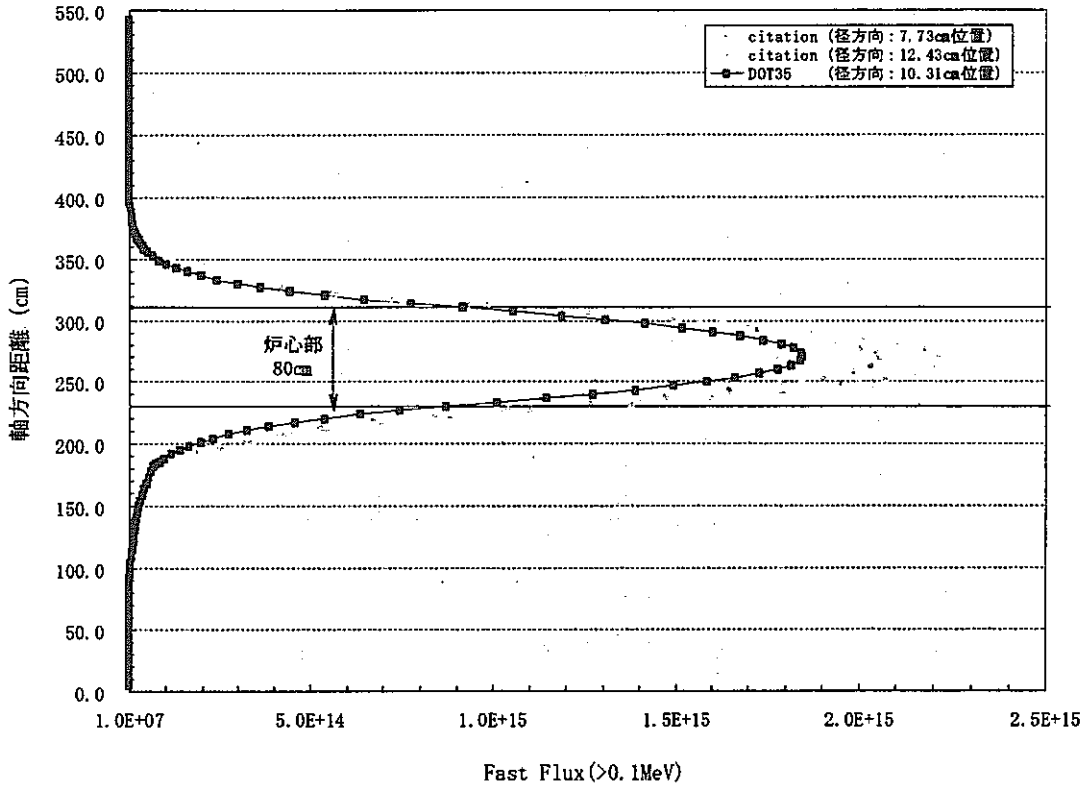


图 5.5-8 炉中心近傍軸方向全中性子束分布

軸方向 Flux 分布図 (Fast Flux)

— 内側炉心中心面境界位置 —



軸方向 Flux 分布図 (Fast Flux)

— 内側炉心中心面境界位置 —

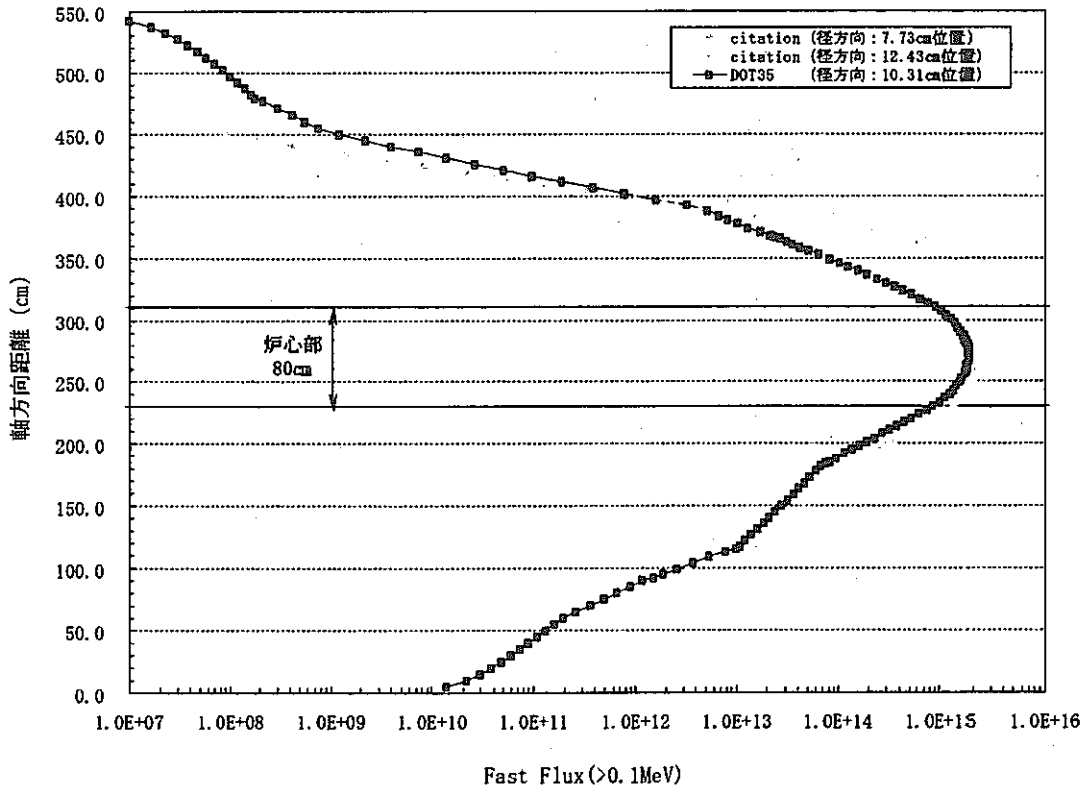


图 5.5-9 炉中心近傍軸方向高速中性子束分布

下部支持板位置のFlux分布図  
 <軸方向：95.0cm位置>

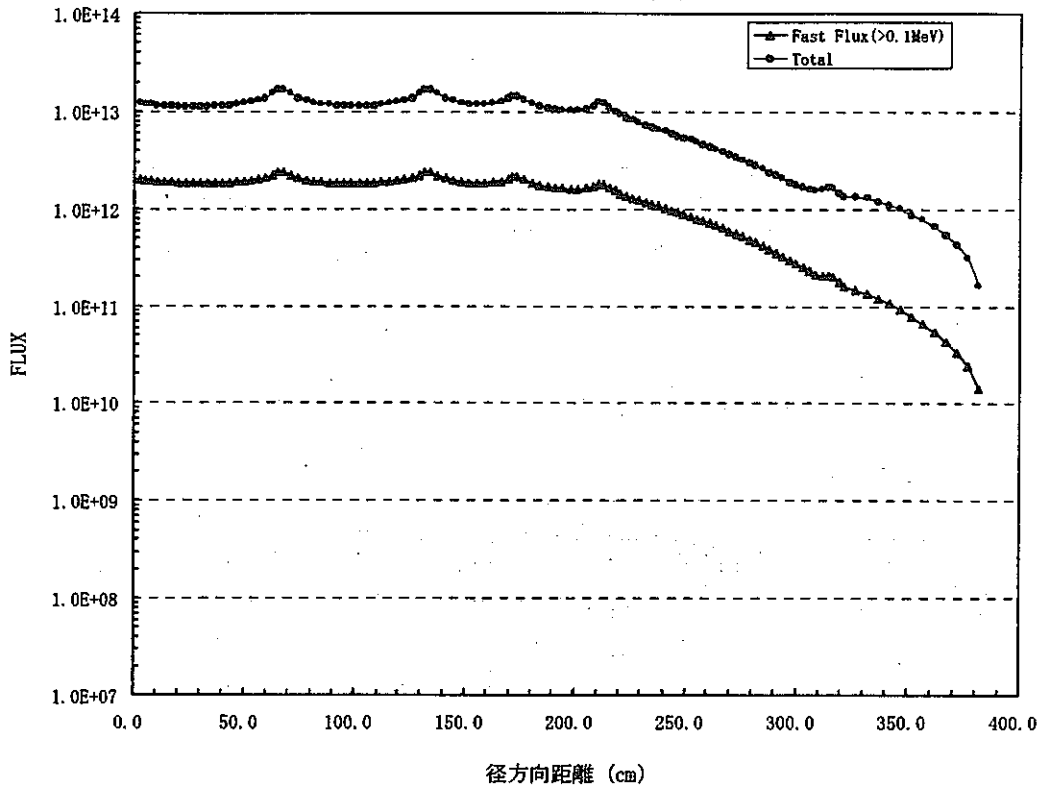


図 5.5-10 下部炉心支持板上面の径方向中性子束分布

炉心上部構造物(UIS)位置のFlux分布図  
 <軸方向：481.5cm位置>

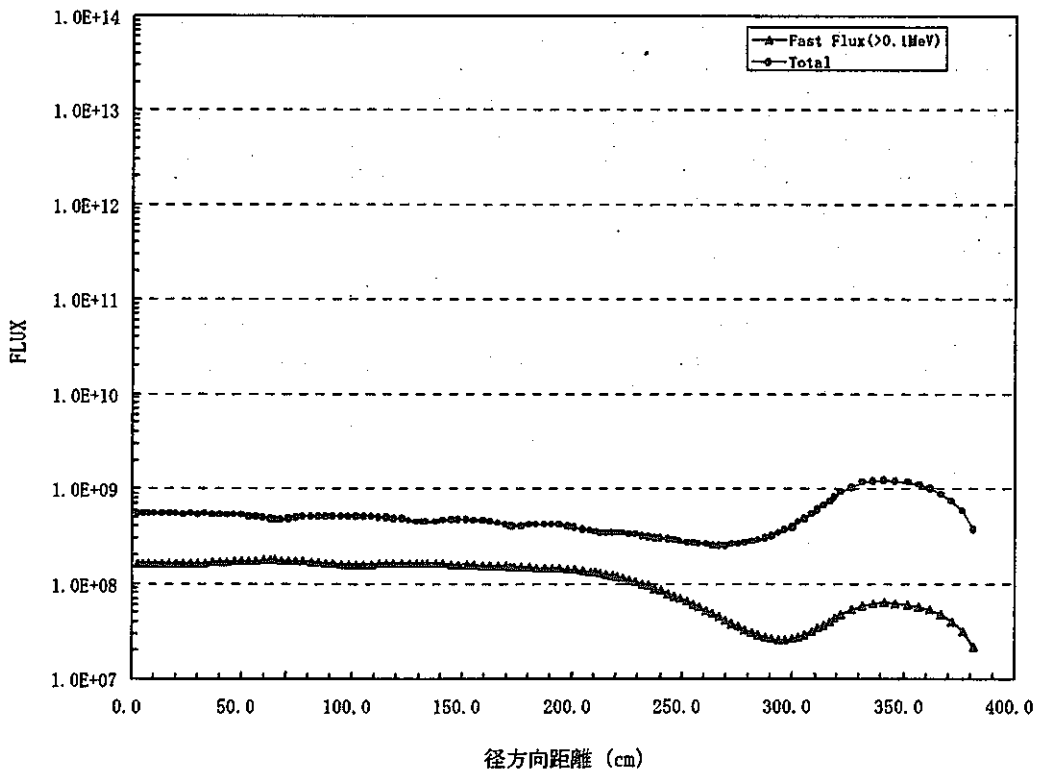


図 5.5-11 U I S 下面の径方向中性子束分布

炉心層内側位置のFlux分布図  
 <径方向：316.6cm位置>

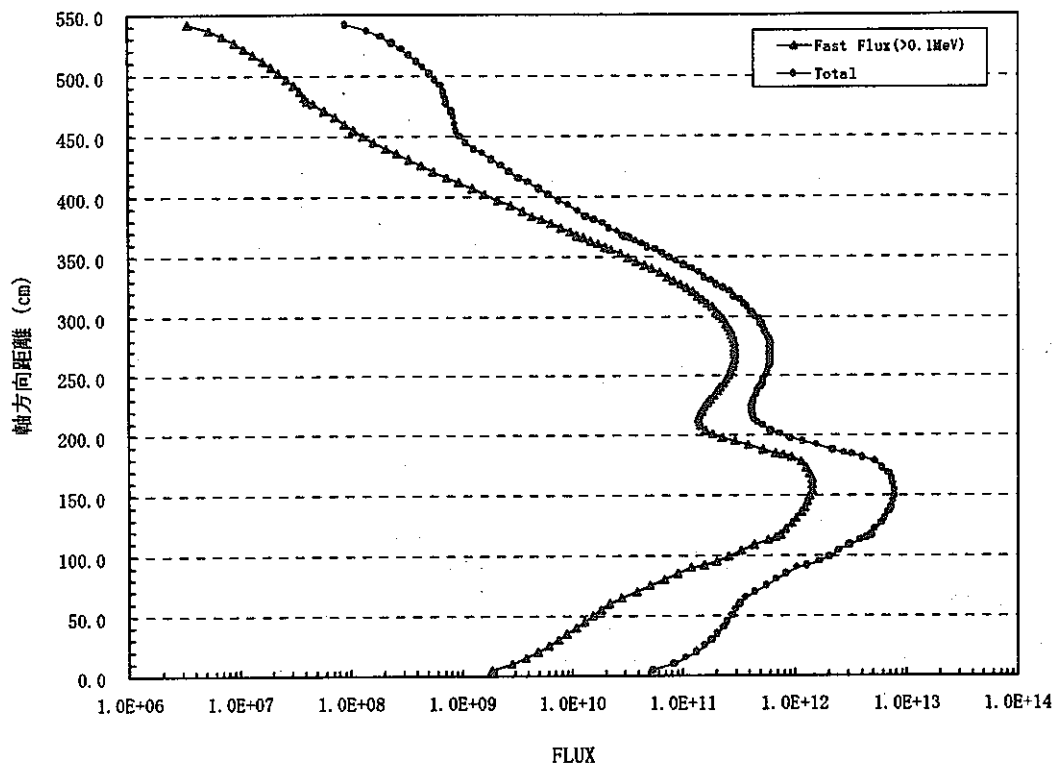


図 5.5-12 炉心槽内面の軸方向中性子束分布

炉心層内側位置のFlux分布図  
 <径方向：322.0cm位置>

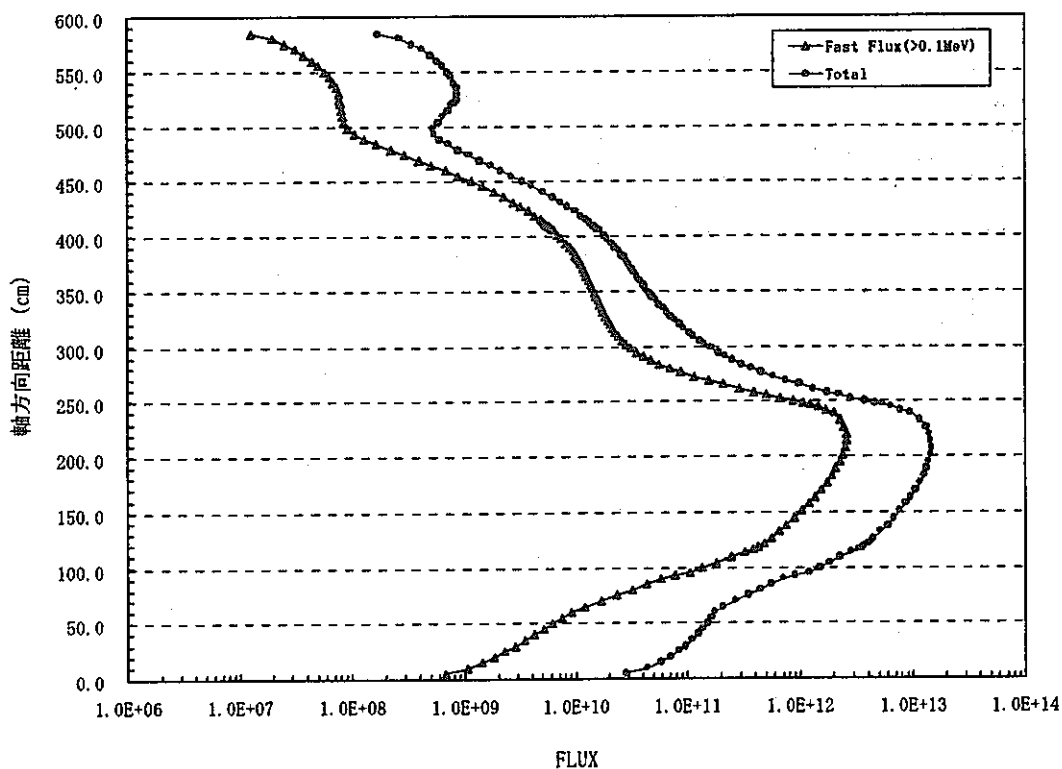
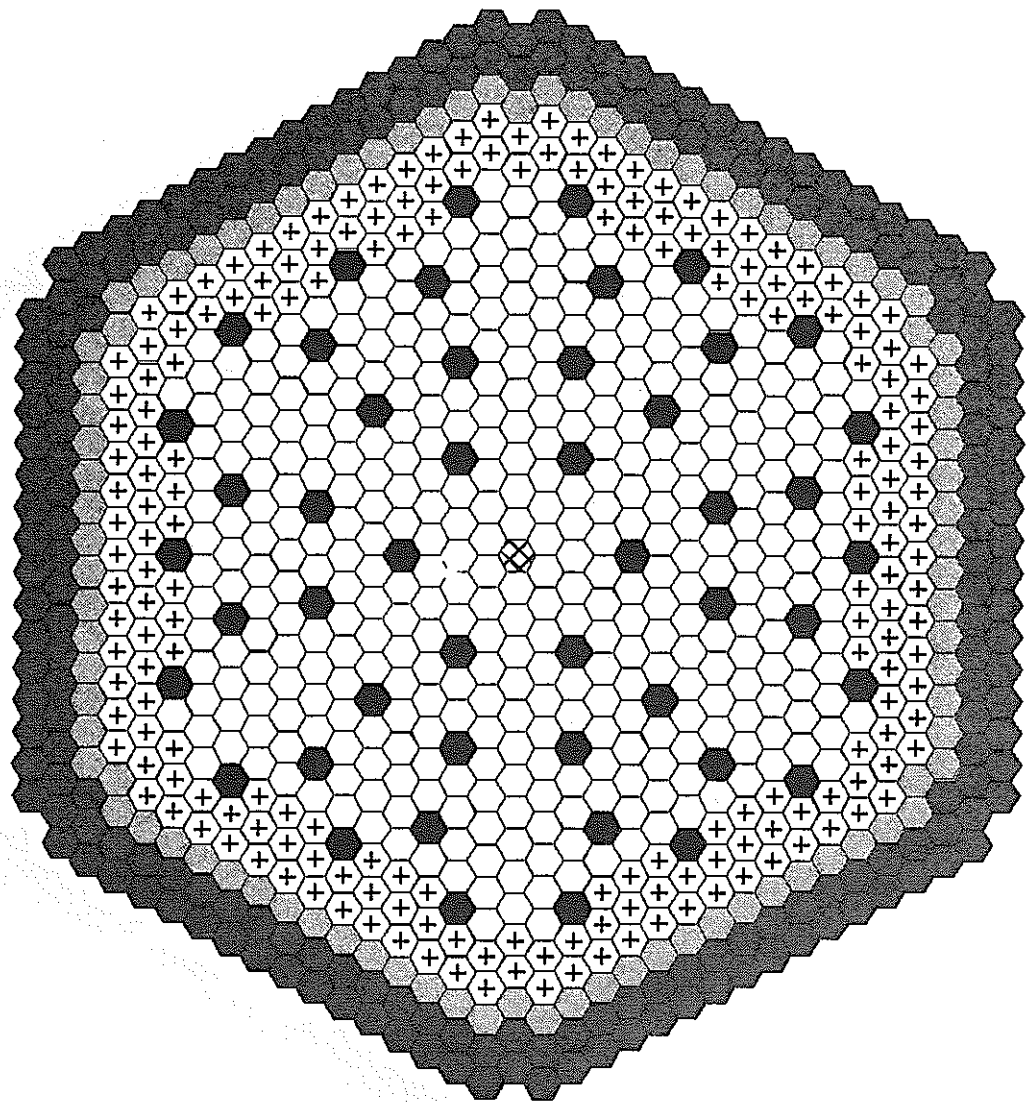
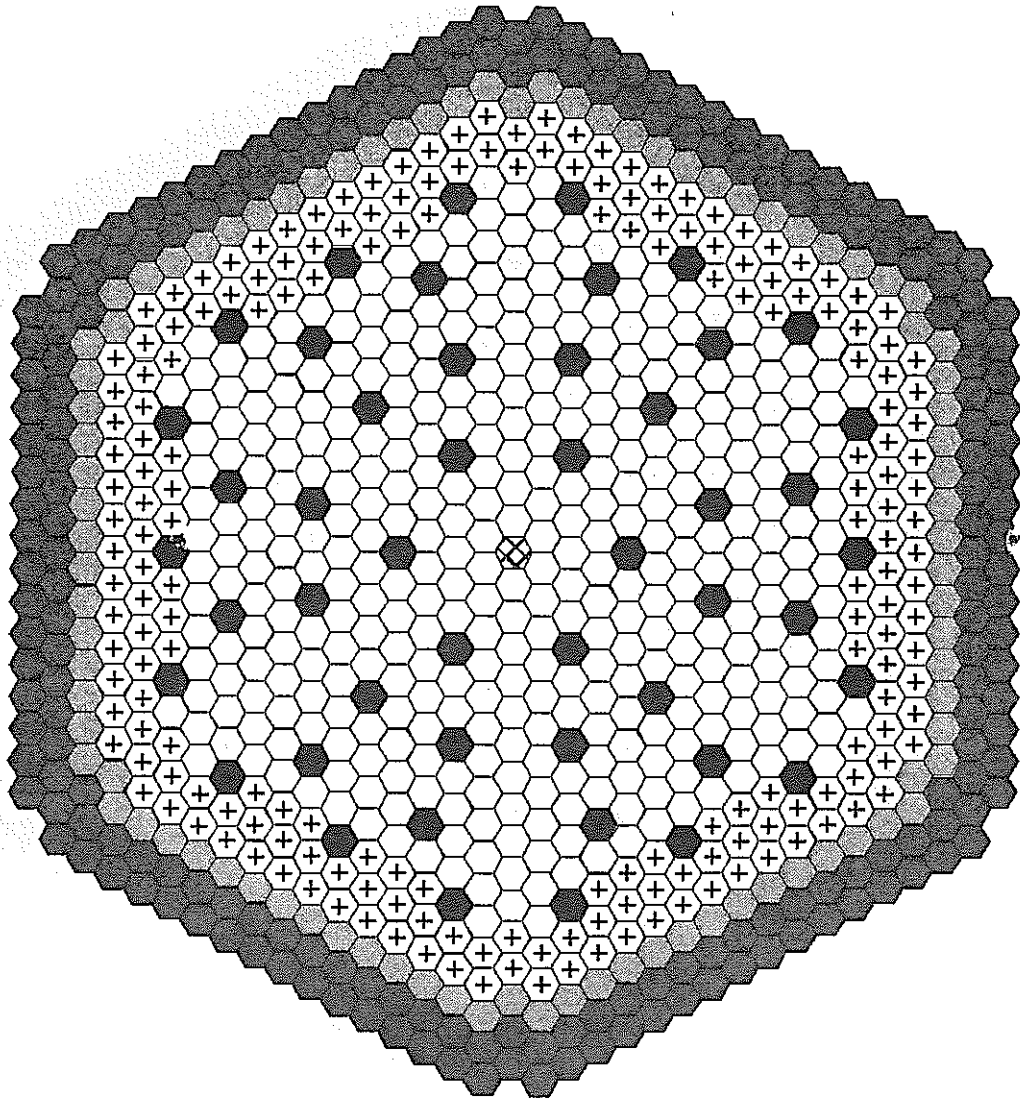


図 5.5-13 長期運転サイクル炉心炉心槽内面における軸方向中性子束分布



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

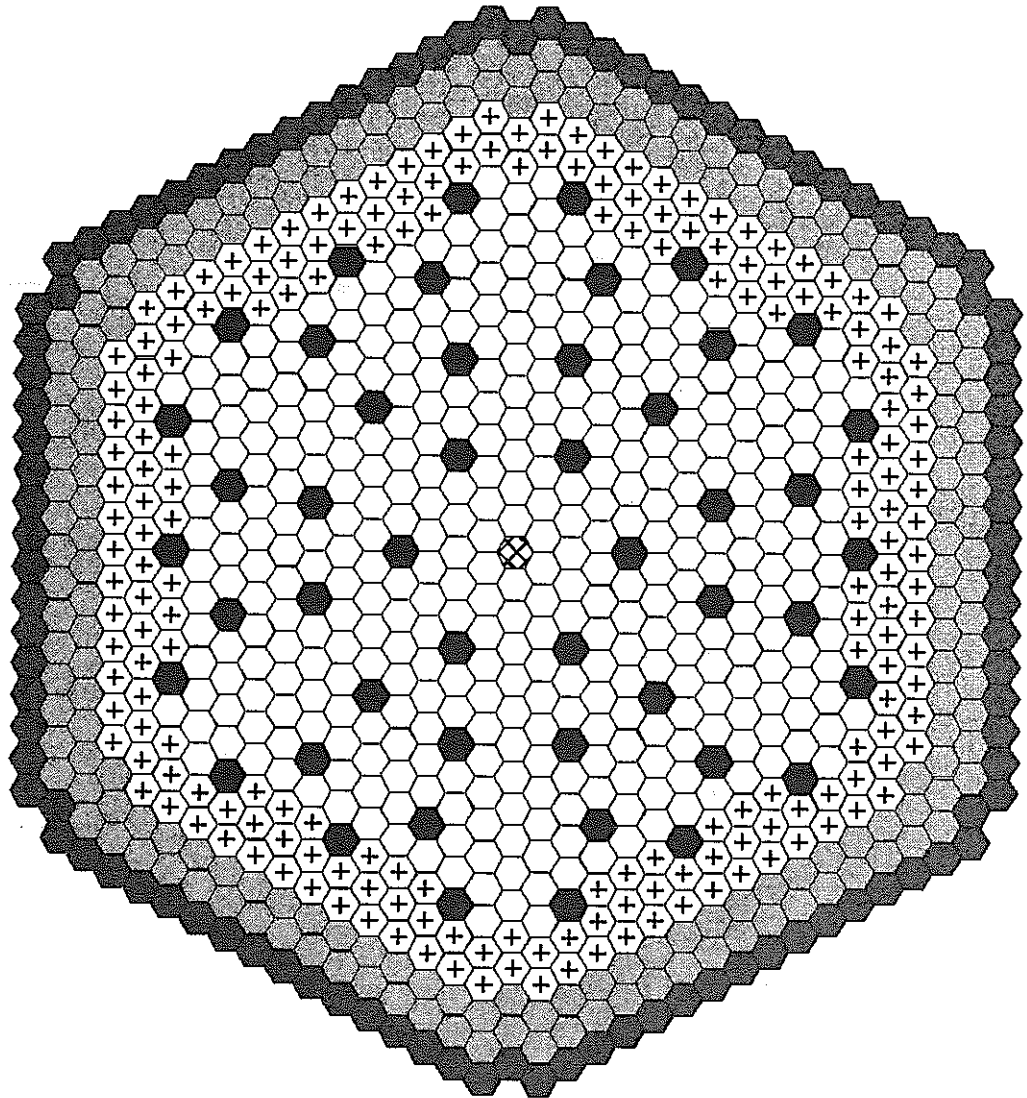
図 5.5-14 径方向ブランケットなし・鉛反射体なし炉心（ケース0）



○	内側炉心燃料集合体	378体
⊕	外側炉心燃料集合体	198体
●	鉛反射体	90体
●	B <sub>4</sub> C遮蔽体	198体
●	主炉停止系制御棒	48体
⊗	SUS集合体	1体
合 計		913体

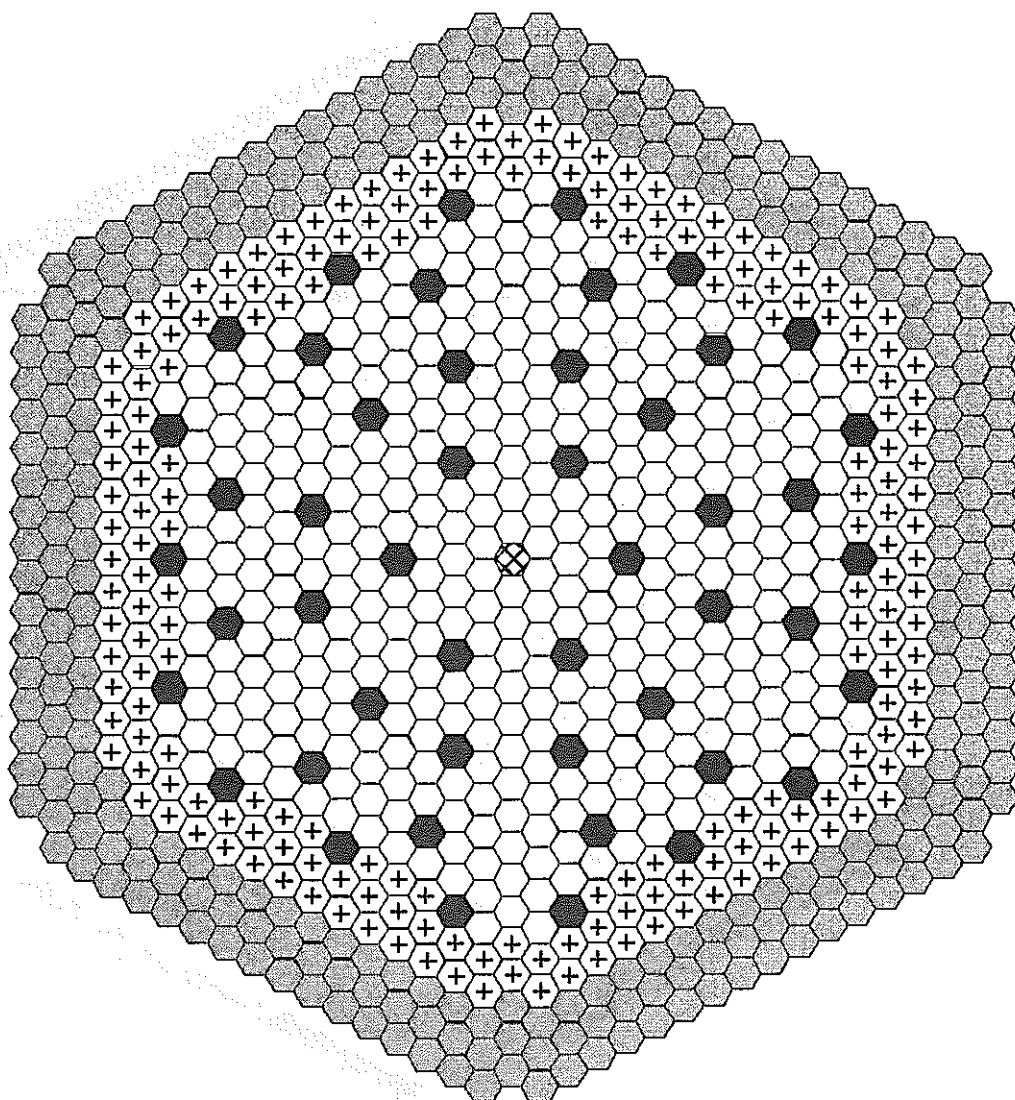
図 5.5-15 径方向ブランケットなし、鉛1層置換炉心（ケースA）





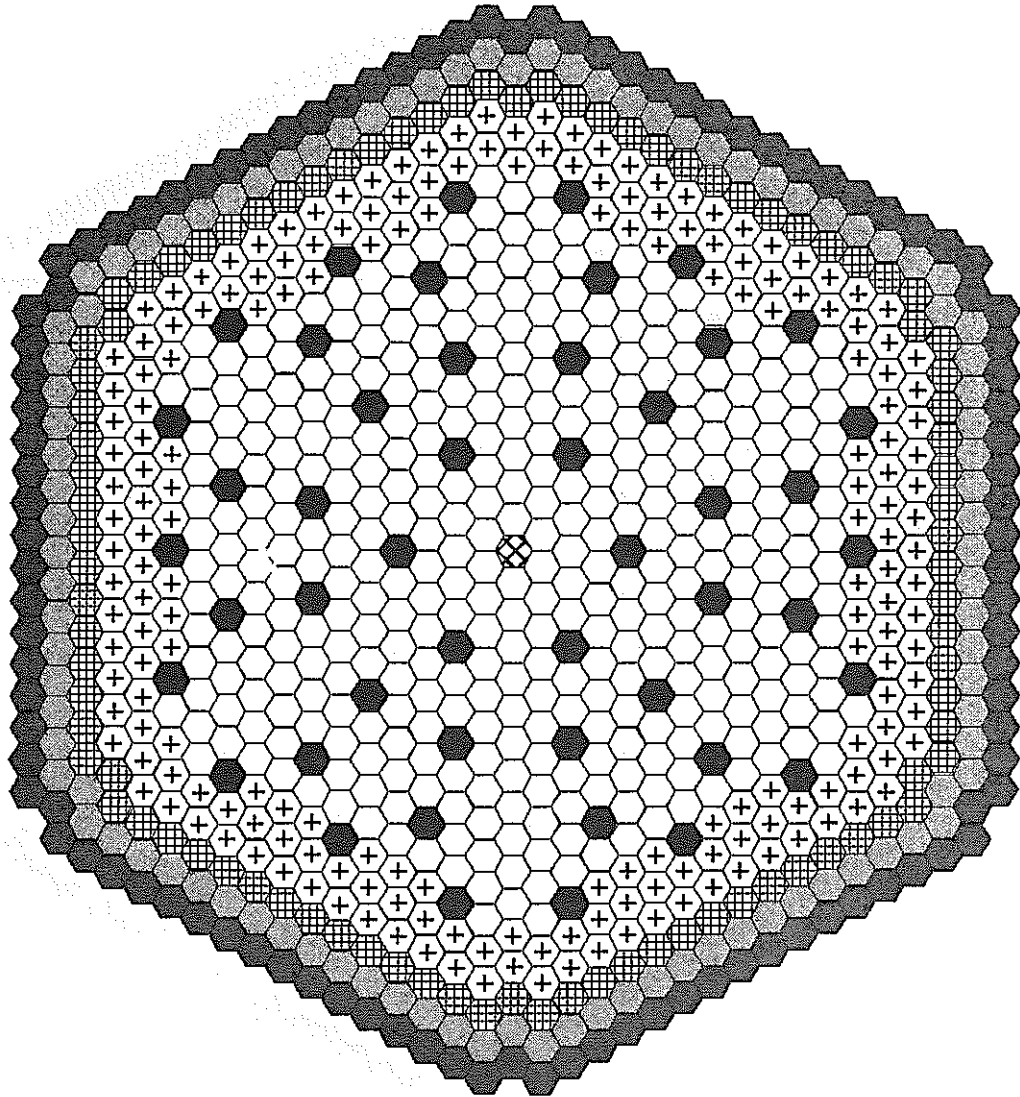
○	内側炉心燃料集合体	378体
⊕	外側炉心燃料集合体	198体
●	鉛反射体	186体
●	B <sub>4</sub> C遮蔽体	102体
●	主炉停止系制御棒	48体
⊗	SUS集合体	1体
合 計		913体

図 5.5-16 径方向ブランケット、鉛反射体2層置換炉心（ケースB）



○	内側炉心燃料集合体	378体
⊕	外側炉心燃料集合体	198体
●	鉛反射体	288体
■	B <sub>4</sub> C遮蔽体	0体
■	主炉停止系制御棒	48体
⊗	SUS集合体	1体
合 計		913体

図 5.5-17 径方向ブランケットなし、鉛反射体3層炉心（ケースC）










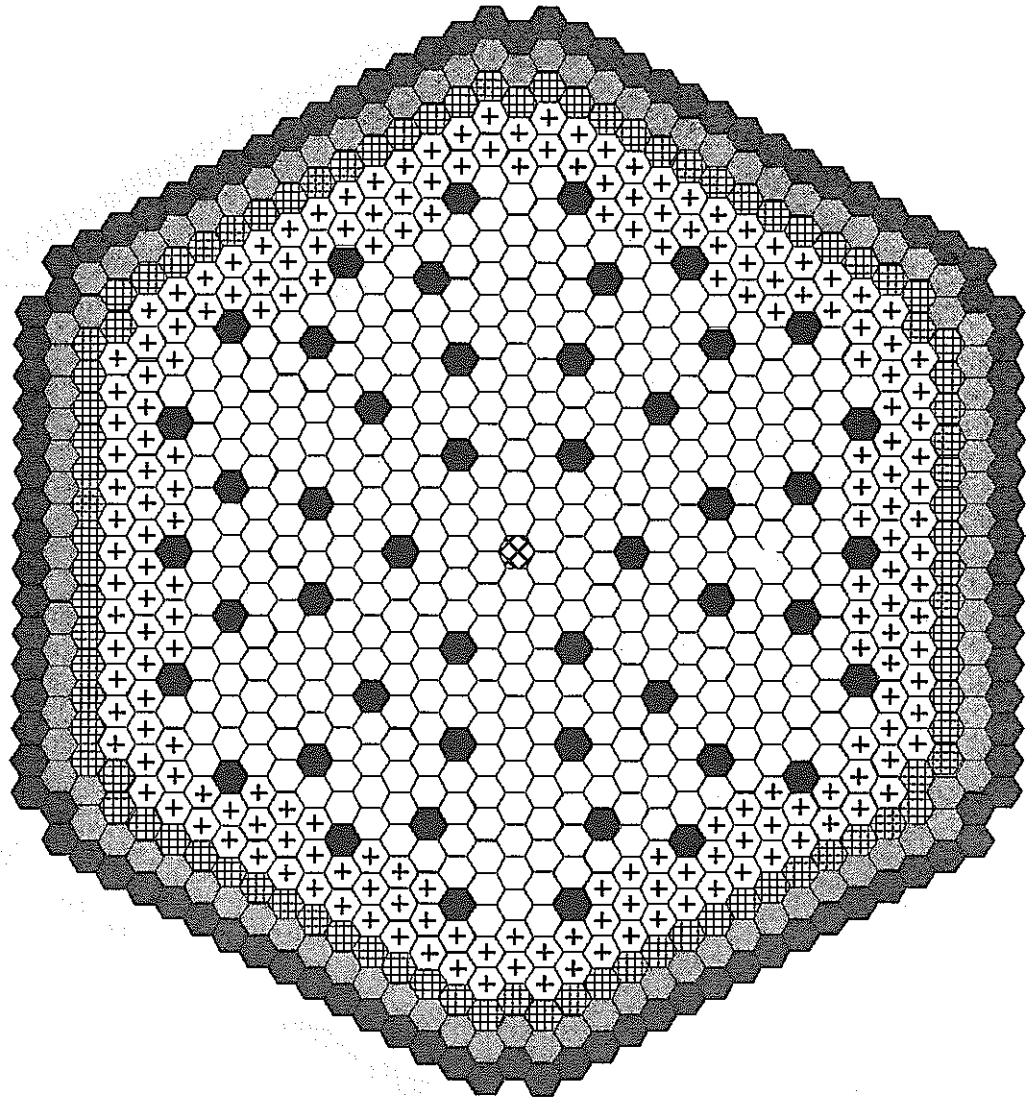
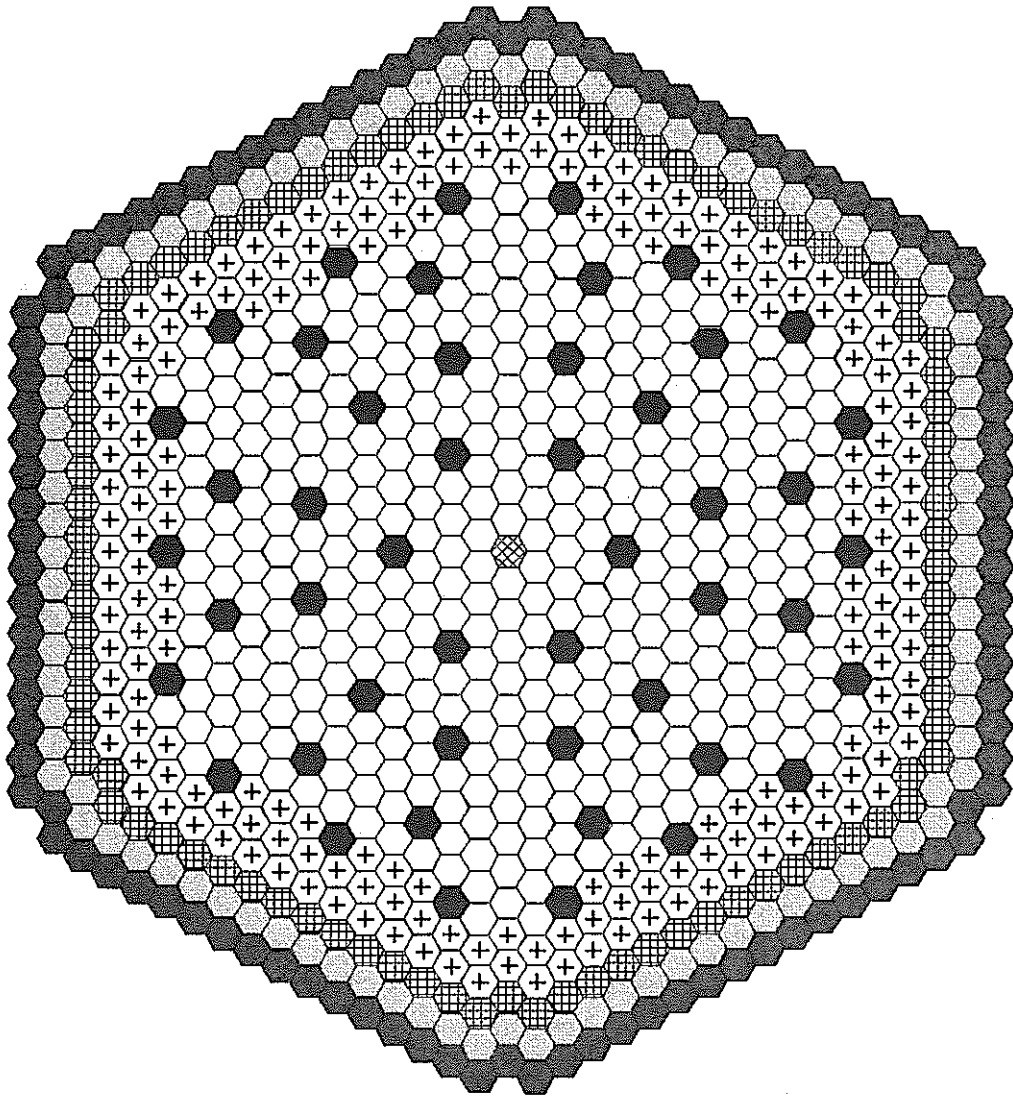
	内側炉心燃料集合体	378体
	外側炉心燃料集合体	198体
	径方向ブランケット	90体
	SUS反射体	96体
	B <sub>4</sub> C遮蔽体	102体
	主炉停止系制御棒	48体
	SUS集合体	1体
合 計		913体

図 5.5-18 径方向ブランケット1層、鉛反射体なし炉心（ケース1）



○	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
●	鉛反射体	96体
■	B <sub>4</sub> C遮蔽体	102体
●	主炉停止系制御棒	48体
⊗	SUS集合体	1体
合 計		913体

図 5.5-19 径方向ブランケット1層-鉛反射体1層炉心(ケース2)



○	内側炉心燃料集合体	378体
+	外側炉心燃料集合体	198体
●	半径方向ブランケット	96体
⊗	鉛反射体	90体
●	B <sub>4</sub> C遮蔽体	102体
●	主炉停止系制御棒	48体
⊗	SUS集合体	1体
合 計		913体

図 5.5-20 鉛反射体1層-径方向ブランケット1層炉心(ケース3)

		10.21	27.02	44.41	62.12	80.85	99.78	118.68	137.42	156.09	174.55	192.78	210.78	228.52	246.02	263.27	280.27	297.02	313.52	329.77	345.77
17.00	17.00																				
	50.00	105		101				101						101							105
67.00	20.00			100				100						100							
87.00	2.00			99				99						99							
118.00	29.00			97				97						97							
150.00	1.70			96				96						96							
185.00	15.00			91				92						93							
220.00	15.00			87				88						89							
255.00	10.00			83				84						85							
285.00	26.00		5	10	15		20	25	30	35		40	45	50	55		60	65	70		
315.00	10.00		4	9	14		19	24	29	34		39	44	49	54		59	64	69		
345.00	10.00		3	8	13		18	23	28	33		38	43	48	53		58	63	68		
375.00	10.00	104	2	7	12	95	17	22	27	32	95	37	42	47	52	95	57	62	67	104	106
405.00	25.00		1	6	11		16	21	26	31		36	41	46	51		56	61	66		
435.00	10.00			71				72					73					74			
465.00	15.00			75				76					77					78			
495.00	15.00			79				80					81					82			
525.00	3.00			90				90					90					90			
	87.50	103		97				97					97					97		103	98
570.00																					
594.00	4.00			99				99					99					99			
603.00	18.50																				102

- 1~55 : 内側炉心燃料
- 56~70 : 外側炉心燃料
- 71~94 : 軸方向ブランケット
- 95 : 制御棒(燃料)
- 96 : インシュレータ
- 97 : ガスバム(燃料部)
- 98 : ガスバム(径方向)
- 99 : 勘合部
- 100 : Na層
- 101 : 軸方向遮体B4C-燃料部
- 102 : 下部プレナム
- 103 : 下部ガスバム(SUS遮体部)
- 104 : SUS遮体部
- 105 : 軸方向遮体B4C-径方向
- 106 : B4C遮体部
- 107 : 制御棒

※集合体ピッチ: 194.5 mm

基準炉心 (R-Z体系図)

図 5.5-21 径方向ブランケット・鉛反射体なし炉心 R-Z 体系 (ケース0)

		10.21	27.02	44.41	62.12	80.85	99.78	118.68	137.42	156.09	174.55	192.78	210.78	228.52	246.02	263.27	280.27	297.02	313.52	329.77	345.77
17.00	17.00																				
	50.00	105		101				101						101							
67.00	20.00			100				100						100							
87.00	2.00			99				99						99							
118.00	29.00			97				97						97							
150.00	1.70			96				96						96							
185.00	15.00			91				92						93							
220.00	15.00			87				88						89							
255.00	10.00			83				84						85							
285.00	26.00		5	10	15		20	25	30	35		40	45	50	55		60	65	70		
315.00	10.00		4	9	14		19	24	29	34		39	44	49	54		59	64	69		
345.00	10.00		3	8	13		18	23	28	33		38	43	48	53		58	63	68		
375.00	10.00	104	2	7	12	95	17	22	27	32	95	37	42	47	52	95	57	62	67	105	107
405.00	25.00		1	6	11		16	21	26	31		36	41	46	51		56	61	66		
435.00	10.00			71				72					73					74			
465.00	15.00			75				76					77					78			
495.00	15.00			79				80					81					82			
525.00	3.00			90				90					90					90			
	87.50	103		97				97					97					97		103	98
570.00																					
594.00	4.00			99				99					99					99			
603.00	18.50																				102

- 1~55 : 内側炉心燃料
- 56~70 : 外側炉心燃料
- 71~94 : 軸方向ブランケット
- 95 : 制御棒(燃料)
- 96 : インシュレータ
- 97 : ガスバム(燃料部)
- 98 : ガスバム(径方向)
- 99 : 勘合部
- 100 : Na層
- 101 : 軸方向遮体B4C-燃料部
- 102 : 下部プレナム
- 103 : 下部ガスバム(SUS遮体部)
- 104 : SUS遮体部
- 105 : SUS遮体上部遮体
- 106 : 鉛遮体部
- 107 : B4C遮体部
- 108 : 制御棒

※集合体ピッチ: 194.5 mm

基準炉心 (R-Z体系図) 18ヶ月4バッチ炉心  
-鉛反射体1層体系- (CASE-A)

図 5.5-22 径方向ブランケットなし、鉛反射体1層炉心 R-Z 体系 (ケースA)

	10.21	16.81	17.49	17.80	4.85	12.73	17.65	17.67	17.87	4.80	17.68	17.68	3.82	14.00	20.33	4.50	8.72	17.73	17.77	17.78	17.75	17.75
17.00	17.00																					
59.00	105		101				101					101			101					101		
87.00																						
87.00	25.00		100		103		100			103		100	103		100	103				100		
87.00	7.00		99				99					99			99					99		
118.80	23.80		97				97					97			97					97		
125.00	1.20		96				96					96			96					96		
135.00	15.00		91				92					93			93					94		
150.00	15.00		87				88					89			89					90		
160.00	10.00		83				84					85			85					86		
165.00	25.00		5	10	15		20	25	30	35		40	45		50	55			60	65	70	
185.00	10.00		4	9	14		19	24	29	34		39	44		49	54			59	64	69	
205.00	10.00		3	8	13		18	23	28	33		38	43		48	53			58	63	68	
215.00	10.00	104	2	7	12	95	17	22	27	32	95	37	42	95	47	52	95	57	62	67	106	106
240.00	25.00		1	6	11		16	21	26	31		36	41		46	51			56	61	66	
250.00	10.00		71				72					73			73					74		
265.00	15.00		75				76					77			77					78		
280.00	15.00		79				80					81			81					82		
287.00	7.00		90				90					90			90					90		
297.50																						
334.50	4.00		99				99					99			99					99		
403.00	18.50											102										

- 1~55 : 内側炉心燃料
- 56~70 : 外側炉心燃料
- 71~94 : 軸方向ブランケット
- 95 : 制御棒(6本)
- 96 : インシュレータ
- 97 : ガズウム (燃料槽)
- 98 : ガズウム (径方向)
- 99 : 勘合部
- 100 : Na層
- 101 : 軸方向遮板本B40-(燃料槽)
- 102 : 下部プレナム
- 103 : 下部ガスウム(SUS遮板本)
- 104 : SUS遮板本
- 105 : SUS遮板本上部遮板
- 106 : 鉛遮板本
- 107 : B40遮板本
- 108 : 制御棒

※集合体ピッチ : 194.5 mm

基準炉心 (R-Z体系図) 18ヶ月4バッチ炉心  
-鉛反射体2層体系- <CASE-B>

図 5.5-23 径方向ブランケットなし、鉛反射体2層炉心 R-Z 体系 (ケースB)

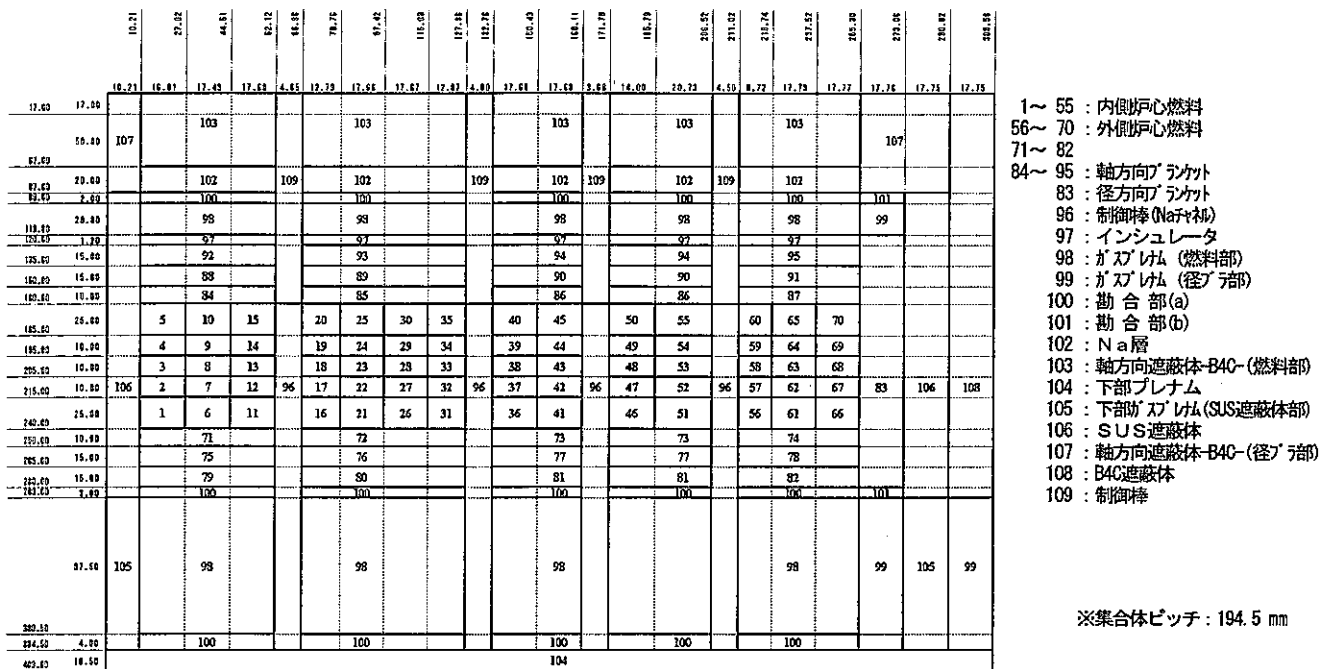
	10.21	16.81	17.49	17.80	4.85	12.73	17.65	17.67	17.87	4.80	17.68	17.68	3.82	14.00	20.33	4.50	8.72	17.73	17.77	17.78	17.75	17.75
17.00	17.00																					
59.00	104		100				100					100			100					100		
87.00																						
87.00	25.00		99		106		99			106		99	106		99	106				99		
87.00	7.00		98				98					98			98					98		
118.80	23.80		97				97					97			97					97		
125.00	1.20		96				96					96			96					96		
135.00	15.00		91				92					93			93					94		
150.00	15.00		87				88					89			89					90		
160.00	10.00		83				84					85			85					86		
165.00	25.00		5	10	15		20	25	30	35		40	45		50	55			60	65	70	
185.00	10.00		4	9	14		19	24	29	34		39	44		49	54			59	64	69	
205.00	10.00		3	8	13		18	23	28	33		38	43		48	53			58	63	68	
215.00	10.00	103	2	7	12	95	17	22	27	32	95	37	42	95	47	52	95	57	62	67	105	105
240.00	25.00		1	6	11		16	21	26	31		36	41		46	51			56	61	66	
250.00	10.00		71				72					73			73					74		
265.00	15.00		75				76					77			77					78		
280.00	15.00		79				80					81			81					82		
287.00	7.00		98				98					98			98					98		
297.50																						
334.50	4.00		98				98					98			98					98		
403.00	18.50											101										

- 1~55 : 内側炉心燃料
- 56~70 : 外側炉心燃料
- 71~94 : 軸方向ブランケット
- 95 : 制御棒(6本)
- 96 : インシュレータ
- 97 : ガズウム (燃料槽)
- 98 : 勘合部
- 99 : Na層
- 100 : 軸方向遮板本B40-(燃料槽)
- 101 : 下部プレナム
- 102 : 下部ガスウム(SUS遮板本)
- 103 : SUS遮板本
- 104 : SUS遮板本上部遮板
- 105 : 鉛遮板本
- 106 : 制御棒

※集合体ピッチ : 194.5 mm

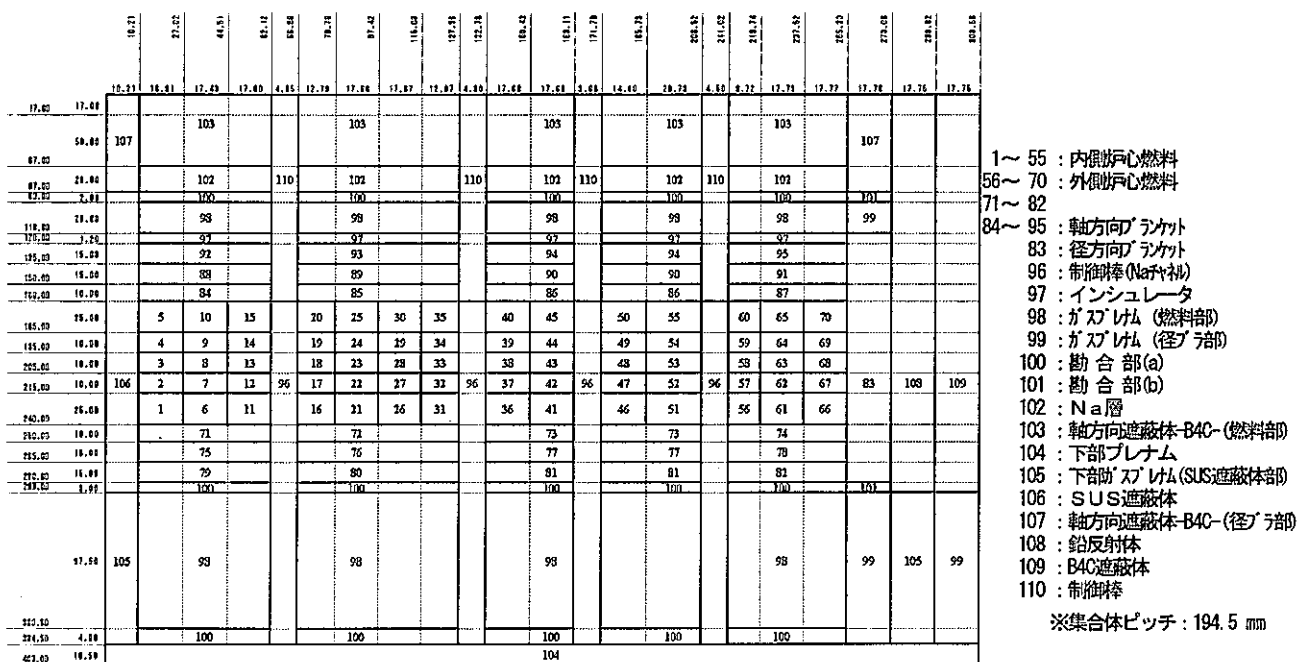
基準炉心 (R-Z体系図) 18ヶ月4バッチ炉心  
-鉛反射体3層体系- <CASE-C>

図 5.5-24 径方向ブランケットなし、鉛反射体3層炉心 R-Z 体系 (ケースC)



基準炉心 (R-Z体系図) 18ヶ月4バッチ炉心  
-径ブランケット1層/SUS反射体付- <CASE-1>

図 5.5-25 径方向ブランケット1層、鉛反射体なし炉心 R-Z 体系 (ケース 1)



基準炉心 (R-Z体系図) 18ヶ月4バッチ炉心  
-径ブランケット1層/鉛反射体付- <CASE-2>

図 5.5-26 径方向ブランケット1層—鉛反射体1層炉心 R-Z 体系 (ケース 2)



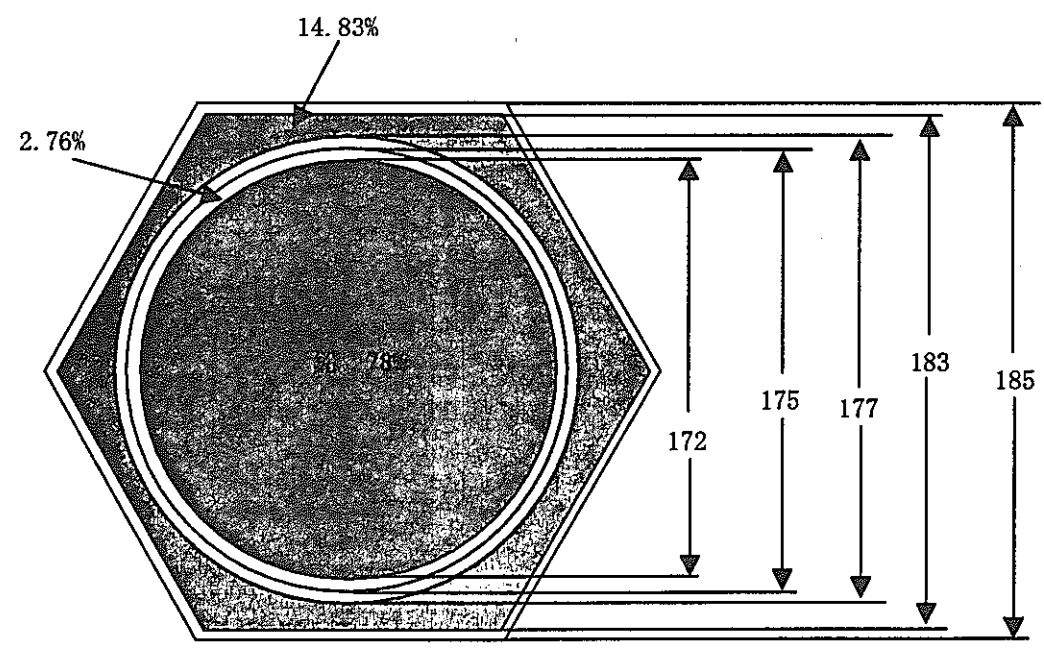
	10.21	17.47	44.81	82.12	81.81	76.31	87.41	118.89	127.88	182.74	180.48	188.17	171.71	188.71	188.81	111.81	118.74	187.81	188.81	178.88	180.81	188.81		
17.43	17.90																							
	10.21	18.81	17.43	12.88	4.85	17.75	17.48	17.17	12.87	4.83	17.84	17.84	9.81	14.88	16.73	4.88	6.72	17.24	17.37	17.38	17.78	17.78		
87.83	10.00	107		103			103				103				103							107		
87.88	10.00			102	110		102		110		102	110		102	110		102							
92.81	1.80			100			100				100			100								101		
118.84	18.80			98			98				98			98								99		
120.83	1.20			97			97				97			97										
125.88	15.80			92			92				94			94										
152.84	18.80			88			88				90			90										
182.81	10.80			84			85				86			86										
185.81	28.80			5	10	15		20	25	30	35		40	45		50	55		60	65	70			
186.81	10.80			4	9	14		19	24	29	34		39	44		49	54		59	64	69			
185.81	10.80			3	8	13		18	23	28	33		38	43		48	53		58	63	68			
218.81	10.80	106		2	7	12	96	17	22	27	32	96	37	42	96	47	52	96	57	62	67	108	83	109
240.81	25.80			1	6	11		16	21	26	31		36	41		46	51		56	61	66			
250.81	10.80			71				72					73			74				74				
285.81	16.80			75				76					77			78				78				
280.81	16.80			79				80					81			82				82				
282.81	8.80			100				100					100			100				100			101	
187.81	10.80	105		98			98				98			98						98		105	99	99
188.81	4.80			100			100				100			100						100				
189.81	18.80																							

- 1~55 : 内側炉心燃料
  - 56~70 : 外側炉心燃料
  - 71~82 : 軸方向ブランケット
  - 83 : 径方向ブランケット
  - 96 : 制御棒(棒+補)
  - 97 : インシュレータ
  - 98 : ガズレム(燃料部)
  - 99 : ガズレム(径方向部)
  - 100 : 勘合部(a)
  - 101 : 勘合部(b)
  - 102 : Na層
  - 103 : 軸方向遮蔽体B4C-(燃料部)
  - 104 : 下部プレナム
  - 105 : 下部ガズレム(SUS遮蔽体部)
  - 106 : SUS遮蔽体
  - 107 : 軸方向遮蔽体B4C-(径方向部)
  - 108 : 鉛反射体
  - 109 : B4C遮蔽体
  - 110 : 制御棒
- ※集合体ピッチ : 194.5 mm

基準炉心 (R-Z体系図) 18ヶ月4バッチ炉心  
 -鉛反射体/径ブランケット1層配置交換- <CASE-3>

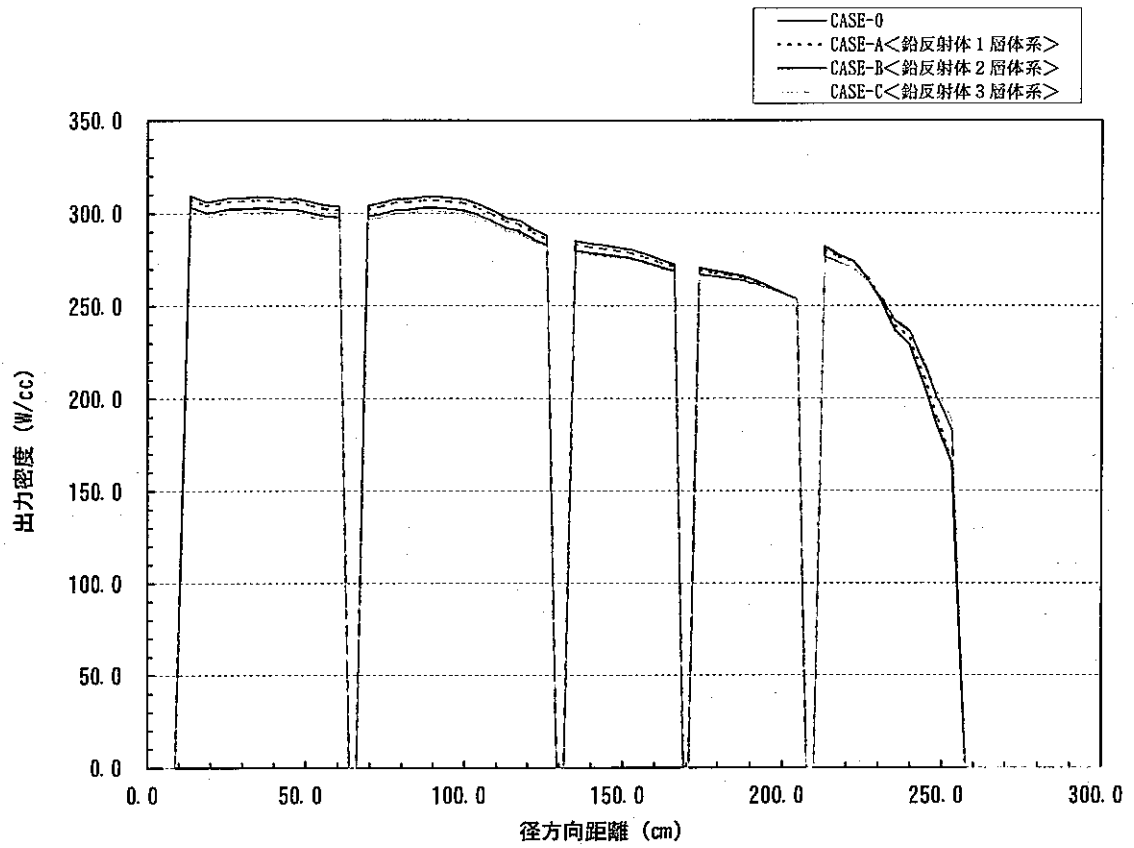
図 5.5-27 鉛反射体1層-径方向ブランケット1層炉心 R-Z体系 (ケース3)

・鉛反射体

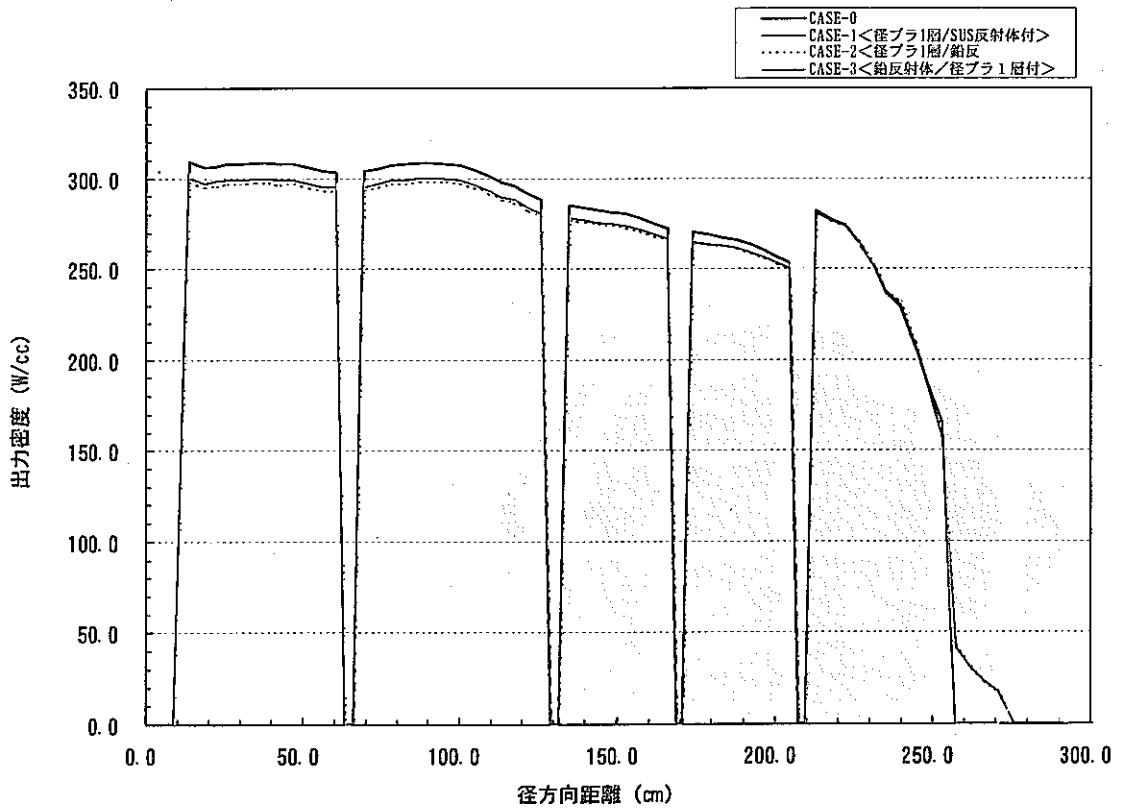


・鉛 : 構造 : Na = 78% : 17% : 5% と設定する。

図 5.5-28 鉛反射体構造 (水平断面)

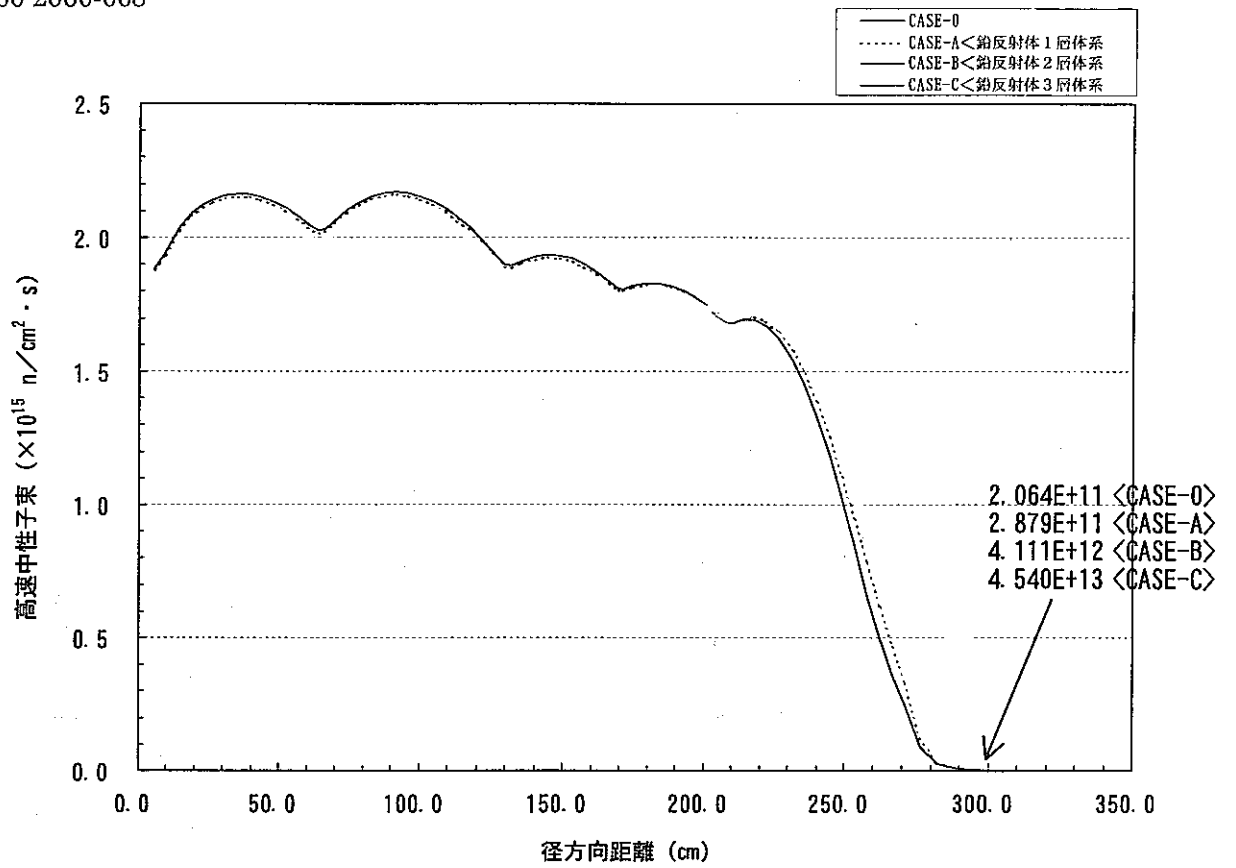


18ヶ月4バッチ炉心 一軸長80cm 径方向出力密度分布 (MOEC時)

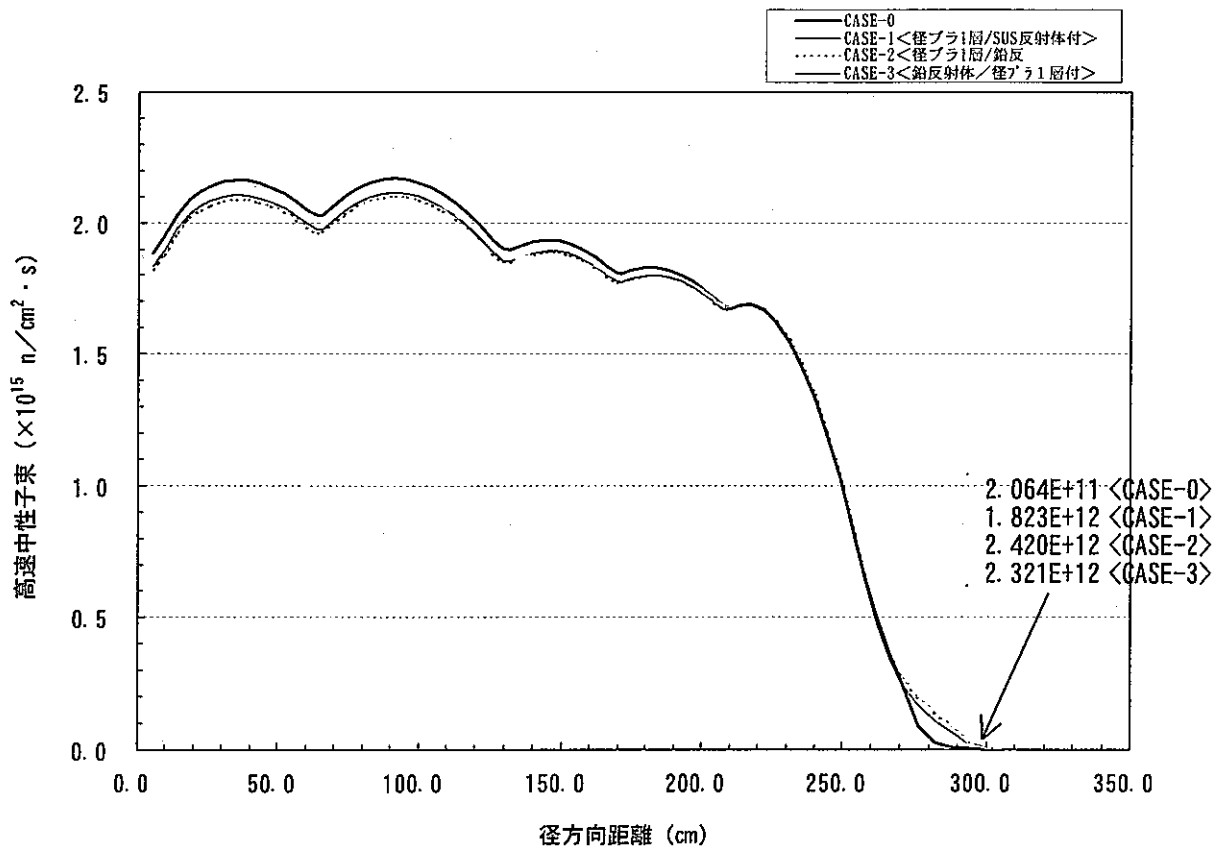


18ヶ月4バッチ炉心 一軸長80cm 径方向出力密度分布 (MOEC時)

図 5.5-29 径方向出力分布



18ヶ月4バッチ炉心 - 軸長80cm - 径方向Flux分布 (MOEC時)



18ヶ月4バッチ炉心 - 軸長80cm - 径方向Flux分布 (MOEC時)

図 5.5-30 径方向高速中性子束分布

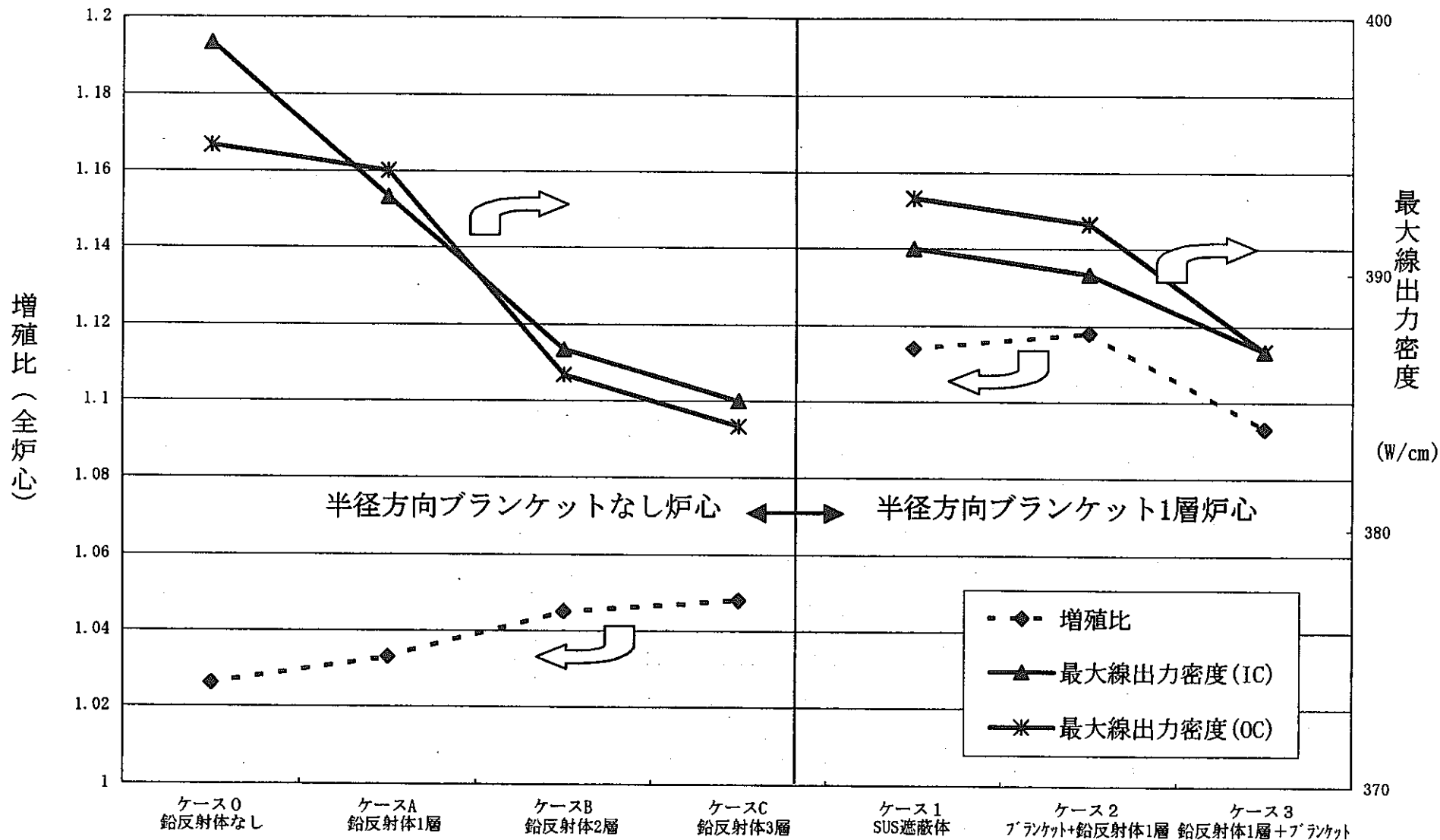


図 5.5-31 核特性への鉛反射体厚みによる核特性への効果

## 5.6 酸化燃料炉心の熱設計検討

5.2 節に示した炉心有効長 80cm 炉心（バンドル圧損約 3.5kgf/cm<sup>2</sup>）を対象として、熱及び集合体健全性に関する設計検討を実施した。核特性評価結果を入力として炉心冷却材流量配分設計を行い、被覆管温度履歴、燃料集合体出口温度履歴、CDF (Cumulative Damage Fraction、今回は St\* ベースのクリープ損傷寿命分数和のみ)、燃料ピンバンドル圧損を概略評価し、熱設計成立の見通しを得た。

また、本対象炉心を出発点として核特性に大きな影響を与えない範囲にて設定した「低圧損炉心（バンドル圧損目標値：約 2kgf/cm<sup>2</sup>、5.4 節参照）に関し、燃料設計検討結果と課題をまとめた。

### (1) 設計検討手法／条件

検討の流れを図 5.6-1 に示す。検討対象炉心の炉心・燃料仕様及び核特性評価結果（出力分布履歴）を入力条件として、簡易式により冷却材流量配分設計を実施し、本炉心の熱的特長を検討／把握した。被覆管材料として ODS 鋼、ダクト材料として PNC-FMS を想定し、出入口温度条件は以下を設定した。

出入口温度：550℃／395℃（T=155℃）（ODS 鋼被覆管を想定）

まず、全燃料集合体について被覆管最高温度が 700℃（HS）を満たす必要流量を簡易モデルにより計算した。なお、クリープ損傷以外の要因に基づく被覆管最高温度制限も含めて、暫定的に 700℃（原電実証炉と同一）を制限条件とした。

続いて、各集合体の必要流量分布と炉心配置とから、流量領域区分及び設計配分流量を設定した。流量領域数は、目安として内側炉心 4 領域、外側炉心 4 領域の計 8 領域とした。ここで、炉心燃料集合体に配分可能な流量として、原電実証炉設計研究にて評価されたヒートバランス、他の集合体（制御棒、遮へい体）への配分流量と無駄流量の全流量に対する比率より表 5.6-1 に示すとおり 17,728kg/s と暫定した。

この流量配分計画に基づき、本炉心の熱特性を把握するため、代表的な集合体（29 体）の出口温度履歴、被覆管温度履歴の簡易評価、及び全集合体の P/F 分布を整理した。また、EZLIFE コードにより CDF を計算・確認した。計算においては ODS 鋼の最新評価式（添付資料参照）を用いた。なお、CDF ≤ 0.3 を設計成立の判断目安とした。この目安値 0.3 は、今度の詳細検討で不純物ガス量等を考慮しても 0.5 を下回ると考えて暫定的に設定したものである。ここで、表 5.2-、図 5.2- の燃料仕様では CDF にかんがりの余裕があることから、ガスプレナム長と CDF の関係をサーベイし、燃料要素長短尺化の可能性を定量的に検討、把握した。さらに、最大流量集合体のバンドル圧損を評価した。内部ダクトを有する内側炉心燃料集合体の圧損については、内部ダクトを直接

はモデル化せず、内部ダクト領域に燃料ピンが存在するとしてモデル化し、内部ダクト領域に存在させた燃料ピン本数に対応する分だけ冷却材流量を比例増加させて従来の三角配列バンドル用評価式（Cheng-Todreas 式<sup>[2]</sup>を基準）により評価した。

## (2) 検討結果

### (i) 各集合体の必要流量

各炉心燃料集合体の被覆管最高温度制限（700℃、HS）を満たす冷却材必要流量を以下の（式 1）により計算した。周辺流れ効果、冷却材－被覆管温度差、HSF については経験的な数値を仮定して用いた。

$$T_c = (\square T_{Na} \times F_b \times RPF + \square T_o) \times HSF + T_{in}$$

$T_c$ ： 被覆管温度上限値対応温度（700℃）

$T_{Na}$ ： バンドル出口平均冷却材温度上昇

$F_b$ ： バンドル径方向温度ピーク係数（周辺流れ効果）相当値 = 1.1

$RPF$ ： 集合体内径方向出力ピーキング係数

$T_o$ ： 冷却材－被覆管肉厚中心温度差相当値（ $\Delta T_{film} + 1/2 \Delta T_c$ ） = 15℃

$HSF$ ： 被覆管温度工学的安全係数（合計）相当値 = 1.25

$T_{in}$ ： 冷却材入口温度（395℃）

$$T_{Na} = P_{SA} / W_{Na-req} / C_p$$

$P_{SA}$ ： 集合体出力（炉心出力+上下軸方向ブランケット出力）

$W_{Na-req}$ ： 集合体必要流量

$C_p$ ： 冷却材比熱（平均値） (式 1)

ここで、ナトリウムの平均比熱は入口温度 395℃と 600℃の平均値 1267J/kg/K を用いた。

各集合体の必要流量を図 5.6-3 に示す。各集合体の必要流量は、内側炉心では約 34kg/s～23kg/s の範囲、外側炉心では 35kg/s～20kg/s の範囲に渡る分布となった。また、内側炉心では 30～29kg/s の範囲にある集合体が全体の約 37%を占めるという平坦な分布となった。

本炉心の集合体番号を図 5.6-2 に示す。斜線をつけた集合体を代表的な集合体として着目し、種々の特性を評価した。なお、本プラントは所謂「切り欠き型 UIS」を採用しているため、対辺方向か/対角方向かによって制御棒の影響の有無が明確に分かれている。対辺方向の集合体は制御棒が存在する領域に位置し、対角方向の集合体は制御棒が存在しない領域に位置する。代表集合体の集合体出力履歴を表 5.6-2 に示す。最大出力集合体は内側炉心が 8.5MW（集合体番号 66）、外側炉心が 8.6MW（同 138）であり、いずれも

BOLにて発生した。最大取出燃焼度は、集合体取出燃焼度で約20万MWd/t、ピン取出燃焼度で約21万MWd/tであった。ただし、本燃焼度は出力とし全軸方向積分出力（炉心+軸方向ブランケット）、重金属量として炉心燃料のみとした値である。

## (ii) 流量配分設計検討

最大流量領域数8領域を目安として、各集合体の冷却材必要流量及び炉心配置より流量配分計画を検討した。流量領域数と領域必要流量との関係を表5.6-3に示す。内側炉心と外側炉心とも各4領域の場合に領域必要流量を最も節約できることから、この領域数にて流量配分を実施した。

また、本領域分けにて、余剰（追加配分可能）流量が「炉心燃料集合体に配分可能な流量」の2.4%と比較的大きいことから、以下の観点からなる2ケースの流量配分設計を実施した。

### 【流配設計ケース】

ケースA 追加配分可能流量を各流量領域に均等に配分したケース  
（均等流配ケース）

ケースB 追加配分流量を一部の集合体のみが高出力流量比（高P/F）となるように不均等に配分したケース（高P/Fケース）

設定した設計流量を表5.6-4に、流量領域区分を図5.6-4に示す。

流配ケースAは、従来の流配設計概念と同一である。従来設計では、ピン燃焼度が高めとなる内側炉心もしくは外側炉心最内層に追加配分流量をある程度多目に配分する等の微調整はするものの、基本的には均等に配分するという考えであった。

流配ケースBは、CDA起因過程解析において、本調査研究にて過去に提案した炉心有効長120cmの大型酸化物燃料・ナトリウム炉心（5.6(1)参照）の場合は、早期に破損・分散する燃料割合が従来炉（例えば原電実証炉）と比較して小さいために投入される燃料分散反応度（負）の絶対値がより小さいので「LOF driven TOP」に至る傾向が強いと要因分析されたことを背景として試みに検討/設定したケースである。CDA起因過程解析における燃料破損・分散を支配する主要因子として被覆管温度と燃料熔融割合がある。したがって、定格運転時の高P/F集合体割合を増加させることは、定性的にはCDA起因過程において被覆管温度がより高い燃料ピン本数割合を増加させること、即ち被覆管温度分布幅を広くし先行的に破損・分散する燃料ピン本数割合を増加させることに繋がる。なお、CDA起因過程解析はEOECを対象として実施されている。ケースAにおける各集合体のP/F時刻歴を図5.6-5に示す。制御棒が存在しない領域（対辺方向）では炉内滞在時間に対してほ

ば線形に P/F が低下している。これに対し制御棒が存在する領域（対角方向）では、滞在時間に対する P/F の低下がそれほど大きくはなく、また制御棒引抜きの影響により全体的に BOEC よりも EOEC の方が P/F が高くなっている。さらに、対角方向集合体のほとんどは流量領域 2 と 3 であり、これらの領域に属する集合体はピン取出燃焼度が流量領域 1 の集合体よりも 2~10% 程度低く、定格運転時の燃料ピン健全性（CDF）の観点からも、対角方向集合体即ち流量領域 2 及び 3 を相対的に高 P/F とする設計が合理的と判断した。なお、ケース B では近接領域流量の差を微調整するために、領域区分をケース A から内側炉心 12 体についてのみ変更した。

ケース A 及び B について、CDA 起因過程解析における P/F による集合体グループ化に倣って整理した結果を図 5.6-6 に示す。各流配ケースにおいては、4 種類の EOEC（4 バッチ）間にて集合体の P/F 分布に顕著な差は見られない。しかし、流配ケース A と B とでは高 P/F（例えば 0.25 以上）の集合体割合に以下のとおり差異が見られた。

	流配ケース A	流配ケース B
高 P/F 集合体割合 (≥0.25)	7~9%	15~17%

(iii) 被覆管温度履歴、集合体出口温度履歴の評価

代表集合体を対象として(ii)にて設定した 2 ケースの設計流量 A 及び B にて被覆管温度履歴（HS）を評価した。評価においては、軸方向位置に関し従来経験から炉心上端部にて最高温度が発生するものとし、 $\Delta T_{Na}$  計算用出力として（式 1）にて用いた集合体出力（炉心と上下軸方向ブランケットの出力）ではなく、「下部軸方向ブランケットと炉心の出力」を用いた。即ち、以下の（式 2）により被覆管温度履歴を計算した。集合体出口温度は（式 3）により計算した。

$$T_c = (\Delta T_{Na} \times F_b \times RPF + \Delta T_o) \times HSF + T_{in}$$

$$\Delta T_{Na} = P_{core+lab} / W_{Na-design} / C_p$$

$P_{core+lab}$  : 炉心と下部軸方向ブランケットの出力

$W_{Na-design}$  : 集合体設計流量

(式 2)

$$T_{SAout} = P_{SA} / W_{Na-design} / C_p + T_{in}$$

(式 3)

被覆管温度履歴を表 5.6-5 に、SA 出口温度履歴を表 5.6-6 に示す。被覆管最高温度は、流配ケース A で約 690℃、流配ケース B で約 695℃と



なった。また、寿命中平均温度が最大となった燃料ピンは、流配ケース A で約 670、ケース B で約 675 であった。なお、寿命中平均温度の全代表集合体平均値は、流配ケース A、B とも約 655℃であった。

燃料設計検討における目安とするために、流配ケース A におけるピン燃焼度と被覆管最高温度の関係を図 5.6-7 に示す。なお、本図中のピン燃焼度は出力として（炉心+軸方向ブランケット）、重金属量として炉心燃料のみとした値である。最大燃焼度ピンは、BOL に 690℃であった被覆管は EOL に 640℃まで低下した。ピン取出燃焼度 19 万 MWd/t 程度のもも含めて全集合体を包絡する被覆管温度としては、BOL から EOL にかけて 700℃から 655℃まで低下する包絡線となった。なお、流配ケース B では最大燃焼度ピンの被覆管温度変化は BOL の約 685℃から EOL の約 630℃へと、流配ケース A よりも追加配分流量を増したために低下している（表 5.6-5）。

集合体出口温度は、流配ケース A/B の各々にて、最高温度 595/598℃、最低温度 517/498℃となった。種々の炉型の総括的な熱特性を比較検討する観点から、集合体出口温度相対値の径方向分布を 5.6(1)節に示した 120cm 高さ炉心と比較して図 5.6-8、-9 に示す。図 5.6-8 は各集合体の冷却材温度上昇  $\Delta T_{Na}$  (℃) を原子炉平均出入口温度差 155℃で規格化した値であり、図 5.6-9 は各集合体の出口温度(K)を原子炉出口温度 823K で規格化した値である。なお、同一径方向位置の温度点は、同一の集合体の出口温度を表している。

図 5.6-8 にて両者の出口温度分布を比較すると、全集合体の分布（最大値が 1.3、最小値が 0.7）は両者でほぼ同じである。また、個々の集合体の燃焼による変化に着目すると、寿命中の集合体出口温度の変化幅は本対象炉心の方が炉心有効長 120cm 炉心よりも内側炉心（平均）では 10%程度小さくなり、逆に外側炉心（平均）では 50%程度大きくなった。これは、120cm 炉心では軸方向ブランケット高さ（上下の和）が 11.2cm しかないのに対し本対象炉心は 80cm 設置されているおり、軸方向ブランケットによる集合体出力の燃焼ミスマッチ低減効果が効いていること、また逆に 120cm 炉心では 80cm 炉心よりも内部転換比がよく炉心部の燃焼ミスマッチが小さいことが要因として考えられる。後者の規格化グラフは BREST-300 のロシア文献情報と比較するために取った規格化方法であり、両者の分布形状の差異は前者規格化方法よりも見えにくいため、本節では参考に留める。

#### (iv) CDF 評価

ピン出力履歴及び被覆管温度履歴を入力条件として EZLIFE コードにより CDF 計算を実施した。評価結果を表 5.6-7 に示す。2 種類ある流配ケースの内、結果として CDF が  $10^{-3}$  オータと判断目安値 0.3 と比較して小さかったため、ここでは流配ケース A（均等流配）のみを評価対象とした。流配ケース B においても、以下の理由により設計成立性はあると考えられる。

- ・最大燃焼度ピン（最大ガス圧ピン）は流配ケース B の方が被覆管温度が低い。

- ・流配ケース A より被覆管温度が高くなっているピン（流量領域 2、3）でも表 5.6-7 の包絡ケースに包絡される範囲である

ピンの最大取出燃焼度は、約 21 万 MWd/t であり寿命末期でのピン内 FP ガス圧は約 80kgf/cm<sup>2</sup> となった。CDF 最大値は寿命中の平均温度が 668℃ と最も高かった集合体番号 9 番のピンにて発生し、 $1.4 \times 10^{-3}$  となった。なお、本ピンの取出燃焼度は 18.8 万 MWd/t、寿命末期のピン内ガス圧は 72kgf/cm<sup>2</sup> と最大燃焼度ピンよりは 10%程度低い値である。

本ピン仕様では上下プレナム長さがそれぞれ 31cm/97.5cm と長めであり、CDF 上は過剰に余裕がある仕様となっている。本余裕をどの様に有効利用するかについては炉心燃料設計全体を見渡した上での議論が必要であるが、まずは「ガスプレナム長低減による燃料要素長短尺化」、及び「被覆管薄肉化による構造材体積比低減」を図るために、(v)にてガスプレナム長及び被覆管肉厚（外径）について各々独立にサーベイ計算を実施し、被覆管肉厚を保存した場合の適切なピン長（ガスプレナム長）、及びガスプレナム長を保存した場合の適切な被覆管肉厚を検討した。流配ケース A と B との CDF 上の差異については、この短尺燃料要素、及び薄肉燃料要素をそれぞれ対象として検討した。この結果は次項(v)に示した。

#### (v) 燃料要素仕様の合理化検討

① ガスプレナム短尺化（燃料要素長低減・低圧損化）に着目した CDF サーベイ (iv)にて述べたとおり、ガスプレナム短尺化に着目して CDF のサーベイ計算を実施した。結果を図 5.6-10 に示す。出力履歴及び被覆管温度履歴は集合体番号 66 を参照した。

本結果を参考として、以降では(ii)に示した低圧損炉心仕様に従い、ガスプレナム長として、上部プレナム長 100mm、下部プレナム長 650mm を対象として CDF を評価した。ピン取出燃焼度、出力履歴及び被覆管温度履歴は(ii)、(iii)に示した条件と同一とした。評価結果を表 5.6-8 に示す。流配ケース A では、いずれの代表集合体も  $CDF \leq 0.3$  という判断目安を満たしている。なお、流配ケース B では、寿命中平均温度が最高であるピン（集合体番号 9）にて、取出燃焼度が約 18.8 万 MWd/t と最大燃焼度ピンより 10%以上低いにも関わらず CDF が 0.4 程度と判断目安 0.3 を若干超過するピンがあったが、本ピンに関しては寿命中平均温度を 3℃程度低減すれば CDF が 0.3 を下回る見通しであり、第 3 領域の流量を 29.5kg/s から 29.8kg/s へ 1%増加させること、もしくは流量領域区分を微調整することにより設計成立性を確保できる見通しである。

さらに、この短尺燃料要素長仕様を対象として、燃料ピン CDF 評価における全燃料ピンを包絡できる温度条件について検討した。この結果を表 5.6-8 に併

せて示す。寿命初期温度 700℃、寿命末期（ピン燃焼度約 21 万 MWd/t）温度 640℃にて、CDF 評価に関しては全燃料ピンを包絡できる温度条件となった（図 5.6-7 参照）。

なお、本ガスプレナム短尺化のサーベイは、(4)の「低圧損炉心」の設計に活用された。

## ② 被覆管薄肉化（構造材体積比低減）に着目した CDF サーベイ

表 5.6-8 に示した代表的な集合体を対象として、(iv)に示した長尺ガスプレナム長の下、流配ケース A と B の各々について被覆管肉厚（被覆管内径一定とした場合の外径）をパラメータとして CDF のサーベイ計算を実施した。評価結果を図 5.6-11 に示す。代表集合体の内、CDF が最大となった集合体は前記(i)と同様に寿命中平均温度が最高であった集合体番号 9 の燃料ピンであった。CDF ≤ 0.3 の判断目安を満たす最小被覆管肉厚は、流配ケース A で約 0.43mm（被覆管外径：約 8.46mm）、流配ケース B で約 0.45mm（同：約 8.50mm）となり、それぞれ本対象炉心の肉厚現行仕様である 0.6mm から各々 25%（流配ケース B）及び 30%（流配ケース A）程度低減できる可能性があることが分かった。

同一被覆管内径の下での被覆管肉厚の削減は、構造材体積比の低減による核特性向上のみならず、「同一ピン配列ピッチ／流路面積増大によるバンドル圧損低減化」もしくは「同一圧損／ピン配列ピッチを詰めることによる燃料体積比の増大、炉心径の縮小」に活用できることになる。この被覆管薄肉化の効果を炉心設計にてどのように取り込むかについては、核設計も含めてなされることであり、本資料ではピン仕様（ガスプレナム長、被覆管肉厚）を設定したに留めた。

## (vi) バンドル部圧力損失評価

(ii)にて設定した設計流量における最大流量集合体を対象としてバンドル圧力損失を評価した。内部ダクトを有する内側炉心燃料集合体の圧損については、内部ダクトを直接はモデル化せず、内部ダクト領域に燃料ピンが存在するとしてモデル化し、内部ダクト領域に存在させた燃料ピン本数に対応する分だけ冷却材流量を比例増加させ、Cheng-Todreas モデル<sup>④</sup>により評価した。具体的には、294 本バンドル（331 本バンドルの 37 本分が内部ダクト）を 331 本バンドルとして模擬し、このピン本数増分に対応させて冷却材流量を設計配分流量の 1.126 倍（×294/331）として圧損を計算した。

評価結果を表 5.6-9 に示す。最大流量集合体のバンドル圧損は、均等流配ケースにて 3.5kgf/cm<sup>2</sup>、高 P/F ケースにて 3.6kgf/cm<sup>2</sup>となった。

なお、従来から用いている各圧損評価モデルの差異を同表に併せて示した。Cheng-Todreas モデルは Rehme 及び Norvendstern モデルと 1～3%程度の差異であった。これは従来の評価経験と同様である。なお、本条件下では

PNC-KfK モデルは適用範囲外であった。

(vii) ダクト膨れ量評価

本対象炉心のダクト膨れ量を SPECTACLE コードにより評価した。ダクト材料は PNC-FMS とし、上限式<sup>1)</sup>及び合理化式 (2.4 節参照) について計算した。なお、この PNC-FMS 合理化式は、今後の研究開発の進展により材料特性の向上が期待されることを見込んだ場合の上限相当式として本調査研究にて設定されたものである。

評価対象集合体は最大流量集合体 (流配ケース B、流量領域番号 5) とし、ダクト温度履歴は流量領域 5 の内の最大燃焼度集合体 (集合体番号 138) の履歴を参照した。主要評価条件を表 5.6-10 に、ダクト内外面圧力差及びダクト温度軸方向分布を図 5.6-12 に、評価結果を表 5.6-11、図 5.6-13 に示す。

ダクト膨れ量最大値は炉心下端より約 16cm (20%炉心有効長近傍) にて発生した。フルエンス軸方向最大値はほぼ炉心中心であるにもかかわらず炉心下側にて最大となった理由は、温度がより低くスエリング歪、照射クリープ歪ともより大きくなるため、及び冷却材のダクト内外圧力差がより大きく照射クリープが大きくなるためである。表 5.6-11 には、ダクト製作公差、流量配分誤差及び圧損予測誤差による不確かさ幅を考慮した場合のダクト膨れ量 (2.4 節に基づく推定値) も併せて、最大ダクト膨れ量を示した。本設計研究のフェーズを鑑み、将来的に PNC-FMS 照射物性式の合理化が図られるものとして合理化式に着目する。従来炉の設計条件にならい、DDI (ダクト-ダクト相互作用) を発生させない条件にて設計する場合、「炉心支持板-ダクト間熱膨張差及び集合体湾曲変位量分」として従来経験より両者合計で約 2mm を考慮すると、現行設計では 3mm となっている集合体間ギャップ幅を約 6mm に増加させる必要がある。

(3) 対象炉心の熱設計検討まとめ

大型酸化物燃料・ナトリウム炉心 (炉心有効長 80cm、全集合体に内部ダクト設置) を対象として熱設計検討を実施し、出入口温度 550/395℃、ODS 鋼被覆管の条件にて熱設計成立の見通しを得た。

本検討結果を、設計上の課題も含めて以下にまとめる。

- 炉心燃料仕様 (バンドル圧損: 約 3.5kgf/cm<sup>2</sup>) に基づき、CDF (St\* ベースのクリープ損傷寿命分数和のみ)  $\leq 0.3$ 、被覆管最高温度  $\leq 700^\circ\text{C}$ 、かつ冷却材流量領域 8 領域の条件にて流量配分設計を実施し、熱設計成立の見通しを得た。
- CDA 起因過程において事象初期に破損・分散する燃料割合を増加させ

事象進展を緩和させるために、追加配分流量を不均等に配分し、高出力流量比集合体割合を増加させる設計を試みた。(高 P/F 集合体割合として均等流配での 5%程度を 15%程度に増加。)

- 本対象炉心の燃料ピン仕様では CDF が  $10^{-3}$  程度と余裕があることより、「被覆管肉厚保存時のガスプレナム短尺化」及び「ガスプレナム長保存時の被覆管肉厚薄肉化」を検討した。ガスプレナム短尺により、燃料要素長を約 3m から約 2.5m に低減した場合でも  $CDF \leq 0.3$  を満たし熱設計が成立する見通しを得た。また、同一被覆管内径にて被覆管肉厚を 0.6mm から 0.45mm まで 25%程度薄肉化した(ピン外径を 8.8mm から 8.6mm に低減した)場合でも  $CDF \leq 0.3$  を満たす見通しを得た。
- バンドル圧損は  $3.6 \text{ kgf/cm}^2$  であった。
- ダクト膨れ量(ダクト材は PNC-FMS を想定)は、PNC-FMS 照射物性の将来的な合理化を見込んだ場合で約 4mm となった。(PNC-FMS 現行上限式では約 7mm) 集合体間ギャップ幅の現行設計値は 3mm であるため、「炉心支持板-ダクト熱膨張量差、及び集合体湾曲変位」を見込むと、DDI を発生させないという従来の設計条件を満たすためには集合体間ギャップを約 6mm に増加させる必要がある。

#### (4) 「低圧損炉心(バンドル圧損約 $2 \text{ kgf/cm}^2$ )」の熱設計検討

(1)から(3)にて評価対象とした炉心燃料仕様(バンドル圧損:約  $3.5 \text{ kgf/cm}^2$ )を出発点として、核特性に大きな影響がない範囲で炉心燃料仕様を変更/調整することにより低圧損化を図った(約  $3.5 \rightarrow 2 \text{ kgf/cm}^2$ )炉心燃料仕様に関し、燃料設計の観点から以下のとおり検討した。

「低圧損炉心」の主要仕様及び核特性は 5.2 節を参照されたい。

##### (i) 熱設計成立性の影響評価

低圧損炉心では、対象炉心と比較して集合体ピッチの増加が 1%未満かつ燃料体積比の低下が 1%と、核特性に大きな影響を与える仕様条件は、ほとんど同じである。結果として、対象炉心と同等の核特性(最大線出力、出力分担率、燃焼欠損反応度、増殖比等)となっている(5.2 節参照)。さらに、本文計算式(式 1)～(式 3)にて経験的に用いている値、即ち周辺流れ効果係数、HSF、冷却材-被覆管肉厚中心温度差は、低圧損炉心仕様でも大きく変わる値ではない。したがって、対象炉心と同様に流配設計が成立する見通しであり、被覆管温度履歴、集合体出口温度履歴も同程度となる。

ただし、スパーサワイヤ巻きつけピッチを 150mm から 200mm に増加さ

せたことについては、今後ピンバンドル健全性の確認が必要である。

#### (ii) CDF 評価

(i)のとおり、CDF 計算に影響のある因子、即ち被覆管温度履歴及び出力履歴は対象炉心と同程度であるため、前記「(2)(v) ①」(短尺燃料要素仕様)と同程度の結果となる。なお、「(2)(v) ①」にて解析評価したピン仕様と低圧損炉心のピン仕様は同一である。

#### (iii) バンドル圧損評価

バンドル圧損評価結果を対象炉心と比較して表 5.6-12 に示す。低圧損炉心のバンドル圧損は  $2.3\text{kgf/cm}^2$  となった。また、従来から用いている各圧損評価モデル間の差異については、

Cheng-Todreas モデルは Rehme モデル及び Norvendstern モデルと 1～3%程度の差異であり、PNC-KfK モデルとは 10%程度の差異という、従来の評価経験と同様であった。

#### (iv) ダクト膨れ量評価

評価条件及び評価結果を対象炉心と比較して表 5.6-13、-14、図 5.6-14、-15 に示す。ダクト膨れ量が最大となる軸方向位置は、対象炉心と同様に炉心下端から 16cm 程度(炉心有効長の 20%の位置)であった。対象炉心と比較すると、バンドル圧損が前述のとおり低減したため、照射クリープに起因する膨れ量が 0.8mm (合理化式)～1.3mm (上限式)程度減少し、全ダクト膨れ量もこの分だけ減少した。前記(2)(vii)同様、合理化式に着目し、DDI を発生させない条件にて設計する場合、「炉心支持板-ダクト間熱膨張差及び集合体湾曲変位量分」として両者合計で約 2mm (5.6(1)(iv)参照)を考慮すると、現行 3mm と設定されている集合体間ギャップ幅を対象炉心では約 6mm へ、低圧損炉心では約 5mm へ増加させる必要がある。

表 5.6-1 対象炉心（炉心有効長 80cm）<sup>(\*)</sup>の流量配分

項目	原電実証炉 (66万 kWe、 1600MWt)	本炉心 (160万 kWe、3800MWt)
1) 制御棒、径方向遮へい体、 漏洩流量割合	5.7%	6%
2) 径方向ブランケット燃料 集合体への配分流量割合	5%	2.5% <sup>(*)</sup>
3) 炉心燃料集合体への配分 流量割合	89.3%	91.5%
炉心燃料集合体に配分可能 な流量 (kg/s)	7,285	17,728

<sup>(\*)</sup> 本炉心では径方向ブランケットが設置されていない。径方向ブランケット位置に設置される遮へい体流量として、2.5%を計上した（暫定）。

表 5.6-2 集合体出力の時刻歴 (代表集合体)

SA power history

													unit: MW	unit: MWd/t	
SA番号	SA配置	SA出力 (batch ave.)		BOEC BOL	EOEC of 1st cyc.	BOEC of 2nd cyc.	EOEC E of 2nd.	BOEC B of 3rd.	EOEC E of 3rd.	BOEC of 4th cyc.	EOEC EOL	life ave.	burnup		
		(BOEC)	(EOEC)										SA ave.(core+abl)*	pin peak (core+abl)*	
対角線上集合体	3	IC	7.6	7.0	8.1	7.3	7.7	7.1	7.4	6.9	7.2	6.7	7.3	1.88E+05	1.92E+05
	6	IC	7.2	7.0	7.7	7.4	7.3	7.1	7.0	6.9	6.8	6.7	7.1	1.84E+05	1.88E+05
	11	IC	6.9	7.1	7.3	7.4	7.0	7.1	6.7	6.9	6.5	6.7	7.0	1.80E+05	1.84E+05
	18	IC	7.1	7.1	7.5	7.5	7.2	7.2	6.9	7.0	6.7	6.8	7.1	1.84E+05	1.87E+05
	27	IC	7.3	7.2	7.8	7.5	7.4	7.2	7.1	7.0	6.9	6.8	7.2	1.87E+05	1.90E+05
	38	IC	7.5	7.2	7.9	7.6	7.5	7.3	7.3	7.1	7.0	6.9	7.3	1.89E+05	1.93E+05
	51	IC	7.8	7.5	8.3	7.8	7.9	7.5	7.6	7.3	7.4	7.1	7.6	1.97E+05	2.01E+05
	66	IC	8.0	7.6	8.5	7.9	8.1	7.6	7.8	7.4	7.6	7.3	7.8	2.01E+05	2.05E+05
	83	IC	7.9	7.4	8.3	7.7	8.0	7.5	7.7	7.3	7.5	7.1	7.6	1.97E+05	2.01E+05
	102	IC	7.3	6.9	7.7	7.2	7.3	7.0	7.1	6.8	6.9	6.7	7.1	1.83E+05	1.87E+05
	123	IC	6.6	6.3	6.9	6.5	6.6	6.3	6.4	6.2	6.3	6.0	6.4	1.66E+05	1.69E+05
	146	OC1層	7.0	6.2	7.8	6.7	7.1	6.3	6.7	5.9	6.3	5.7	6.6	1.69E+05	1.73E+05
	171	OC2層	5.6	4.8	6.2	5.2	5.7	4.9	5.4	4.6	5.1	4.4	5.2	1.34E+05	1.47E+05
199	OC3層	4.2	3.5	4.5	3.7	4.2	3.6	4.0	3.4	3.9	3.3	3.8	9.90E+04	1.20E+05	
対辺線上集合体	2	IC	7.6	7.0	8.1	7.3	7.7	7.1	7.4	6.9	7.2	6.7	7.3	1.88E+05	1.92E+05
	5	IC	7.3	7.0	7.8	7.4	7.4	7.1	7.1	6.9	6.9	6.7	7.1	1.84E+05	1.88E+05
	9	IC[CR隣]	6.5	6.9	6.9	7.3	6.5	7.0	6.3	6.8	6.1	6.6	6.7	1.73E+05	1.88E+05
	15	IC[CR隣]	6.4	7.0	6.8	7.3	6.4	7.0	6.2	6.8	6.0	6.6	6.7	1.72E+05	1.87E+05
	24	IC[CR隣]	6.2	6.9	6.6	7.2	6.3	7.0	6.0	6.7	5.8	6.5	6.5	1.69E+05	1.84E+05
	35	IC	6.7	7.0	7.1	7.3	6.7	7.0	6.5	6.8	6.3	6.6	6.8	1.76E+05	1.79E+05
	47	IC[CR隣]	6.6	7.0	7.0	7.4	6.7	7.1	6.5	6.9	6.3	6.7	6.8	1.76E+05	1.92E+05
	62	IC	7.0	7.2	7.4	7.5	7.1	7.3	6.8	7.1	6.6	6.9	7.1	1.83E+05	1.87E+05
	78	IC	6.9	7.3	7.4	7.6	7.0	7.3	6.8	7.1	6.6	7.0	7.1	1.83E+05	1.87E+05
	97	IC	6.7	7.2	7.1	7.5	6.8	7.2	6.5	7.1	6.4	6.9	6.9	1.79E+05	1.83E+05
	117	IC[CR隣]	6.1	6.9	6.4	7.1	6.2	6.9	6.0	6.8	5.8	6.6	6.5	1.67E+05	1.71E+05
	138	OC1層	7.7	7.5	8.6	8.2	7.9	7.6	7.4	7.2	7.0	6.9	7.6	1.96E+05	2.00E+05
	139	OC[CR隣]	7.1	7.4	7.9	8.1	7.3	7.5	6.8	7.1	6.4	6.8	7.2	1.87E+05	2.10E+05
	164	OC[CR隣]	6.5	6.6	7.2	7.1	6.6	6.7	6.2	6.4	5.9	6.1	6.5	1.69E+05	1.89E+05
191	OC3層	5.5	5.1	5.9	5.4	5.5	5.2	5.3	5.0	5.1	4.9	5.3	1.37E+05	1.65E+05	

\* axial blanket power is added to core power on this calculation.



表 5.6-3 大型酸化物燃料・ナトリウム炉心（炉心有効長 80cm）の流量領域数  
と領域必要流量との関係

	領域数	領域必要流量(kg/s)
内側炉心	3領域	11568
	4領域	11442
	5領域	11364

	領域数	領域必要流量(kg/s)
外側炉心	3領域	6033
	4領域	5867
	5領域	5814

領域数	領域数組み合わせ	領域必要流量合計 (kg/s)	炉心燃料集合体へ配分可能な 流量に対する比率(%)	追加配分可能流量(%)
6	内側3領域+外側3領域	17601	99.3	0.7
7	内側3領域+外側4領域	17435	98.3	1.7
7	内側4領域+外側3領域	17475	98.6	1.4
8	内側3領域+外側5領域	17382	98.0	2.0
8	内側4領域+外側4領域	17309	97.6	2.4
8	内側5領域+外側3領域	17397	98.1	1.9

炉心燃料集合体に配分可能な流量                    17728                    (kg/s)

表 5.6-4 大型ナトリウム・酸化物燃料炉心（炉心有効長 80cm）の流配設計  
（被覆管材：ODS 鋼）

## (1/2) 流配ケース①(均等流配ケース)

Pu富化度領域	流量領域 番号	集合体数 (体)	集合体必要流量 (kg/s)	領域必要流量 (kg/s)	集合体流量(kg/s) (設計流量)	領域流量(kg/s) (設計流量)	領域流量合計(kg/s) (設計流量)
内側炉心	1	78	33.24	2592.5	34.0	2652.0	11712.0 66.1% <sup>(*)</sup>
	2	108	30.50	3294.0	31.2	3369.6	
	3	138	29.49	4069.7	30.2	4167.6	
	4	54	26.91	1453.2	28.2	1522.8	
外側炉心	5	60	34.29	2057.6	35.2	2112.0	6015.0 33.9% <sup>(*)</sup>
	6	30	30.37	911.1	31.1	933.0	
	7	72	28.02	2017.4	28.7	2066.4	
	8	36	24.47	880.8	25.1	903.6	
合計		576		17276.3 97.45%			17727.0 100.0% <sup>(*)</sup>

## (2/2) 流配ケース②(高P/Fケース) (内側炉心第2、第3領域を高P/Fとしたケース)

Pu富化度領域	流量領域 番号	集合体数 (体)	集合体必要流量 (kg/s)	領域必要流量 (kg/s)	集合体流量(kg/s) (設計流量)	領域流量(kg/s) (設計流量)	領域流量合計(kg/s) (設計流量)
内側炉心	1	78	33.24	2592.5	34.6	2698.8	11608.8 65.5% <sup>(*)</sup>
	2	108	30.50	3294.0	30.6	3304.8	
	3	150	29.49	4423.5	29.5	4425.0	
	4	42	26.91	1130.2	28.1	1180.2	
外側炉心	5	60	34.29	2057.6	35.7	2142.0	6113.4 34.5% <sup>(*)</sup>
	6	30	30.37	911.1	31.7	951.0	
	7	72	28.02	2017.4	29.2	2102.4	
	8	36	24.47	880.8	25.5	918.0	
合計		576		17307.24 97.62%			17722.2 100.0% <sup>(*)</sup>

表 5.6-5 被覆管温度時刻歴 (HS, 軸方向最高値)

**Cladding temperature [case1]**  
under design flow rate condition (uniform addition)

		unit: deg. C												flow	Design flow rate	
SA番号	SA配置	BOEC BOL	EOEC of 1st cyc.	BOEC of 2nd cyc.	EOEC E of 2nd.	BOEC B of 3rd.	EOEC E of 3rd.	BOEC of 4th cyc.	EOEC EOL	max.	min.	life ave.	life ave.	reg. No.	(kg/s)	
対角線上集合体	3	IC	676	644	660	633	648	624	639	617	676	617	59	643	1	34.0
	6	IC	686	667	669	655	657	645	647	636	686	636	50	638	2	31.2
	11	IC	681	677	665	664	654	654	645	645	681	645	36	661	3	30.2
	18	IC	689	680	672	667	661	657	651	648	689	648	41	665	3	30.2
	27	IC	690	672	673	659	660	649	650	640	690	640	49	662	2	31.2
	38	IC	671	653	656	642	645	632	635	624	671	624	47	645	1	34.0
	51	IC	684	660	668	649	657	640	648	632	684	632	52	654	1	34.0
	66	IC	690	663	675	651	663	642	654	634	690	634	56	659	1	34.0
	83	IC	683	657	668	646	657	637	648	630	683	630	53	653	1	34.0
	102	IC	684	662	670	651	659	643	651	635	684	635	49	657	2	31.2
	123	IC	684	662	670	652	660	643	651	636	684	636	48	657	4	28.2
	146	OC1層	685	650	660	632	642	619	629	608	685	608	77	641	6	31.1
	171	OC2層	667	624	646	610	629	598	617	589	667	589	78	622	7	28.7
	199	OC3層	644	604	630	594	619	586	610	579	644	579	65	608	8	25.1

		unit: deg. C												flow	Design flow rate	
SA番号	SA配置	BOEC BOL	EOEC of 1st cyc.	BOEC of 2nd cyc.	EOEC E of 2nd.	BOEC B of 3rd.	EOEC E of 3rd.	BOEC of 4th cyc.	EOEC EOL	max.	min.	life ave.	life ave.	reg. No.	(kg/s)	
対辺線上集合体	2	IC	676	644	660	633	648	624	639	617	676	617	59	643	1	34.0
	5	IC	688	666	671	653	658	643	648	635	688	635	53	658	2	31.2
	9	IC[CR組]	686	684	671	672	660	662	651	653	686	651	35	668	3	30.2
	15	IC[CR組]	682	685	667	673	656	663	647	654	685	647	38	666	3	30.2
	24	IC[CR組]	676	682	661	670	650	659	642	650	682	642	41	661	3	30.2
	35	IC	673	674	658	661	647	651	638	643	674	638	35	656	3	30.2
	47	IC[CR組]	685	678	671	667	660	657	652	649	685	649	36	665	2	31.2
	62	IC	684	682	670	670	659	660	650	652	684	650	34	666	3	30.2
	78	IC	681	683	667	671	657	662	648	654	683	648	34	665	3	30.2
	97	IC	672	679	659	668	649	659	641	651	679	641	38	660	3	30.2
	117	IC[CR組]	665	687	653	676	644	667	637	659	687	637	49	661	4	28.2
	138	OC1層	679	667	656	648	639	634	625	623	679	623	57	646	5	35.2
	139	OC1層	684	687	661	667	643	652	630	640	687	630	57	658	5	35.2
	164	OC1層	691	688	669	669	652	655	639	643	691	639	51	663	6	31.1
191	OC3層	678	658	662	645	650	635	639	626	678	626	52	649	7	28.7	
										max.	691	651	78	668		
										min.	644	579	34	608		
										ave.	681	632	49	654		

**Cladding temperature [case2]**  
under design flow rate condition (high P/F distribution of IC : 2 and 3 flow region)

		unit: deg. C												flow	Design flow rate	
SA番号	SA配置	BOEC BOL	EOEC of 1st cyc.	BOEC of 2nd cyc.	EOEC E of 2nd.	BOEC B of 3rd.	EOEC E of 3rd.	BOEC of 4th cyc.	EOEC EOL	max.	min.	change	life ave.	reg. No.	(kg/s)	
対角線上集合体	3	IC	672	640	656	630	644	621	635	613	672	613	58	639	1	34.6
	6	IC	691	672	674	659	661	649	651	640	691	640	51	662	2	30.6
	11	IC	687	683	671	670	660	660	650	651	687	650	37	667	3	29.5
	18	IC	695	686	679	673	666	662	657	653	695	653	42	671	3	29.5
	27	IC	695	677	678	664	665	654	655	645	695	645	50	667	2	30.6
	38	IC	667	649	652	638	641	629	632	621	667	621	46	641	1	34.6
	51	IC	679	656	664	645	653	636	643	628	679	628	51	650	1	34.6
	66	IC	686	658	670	647	659	638	650	631	686	631	55	655	1	34.6
	83	IC	679	653	664	642	653	633	644	626	679	626	52	649	1	34.6
	102	IC	690	667	675	656	664	647	655	639	690	639	50	662	2	30.6
	123	IC	685	663	671	653	660	644	652	637	685	637	48	658	4	28.1
	146	OC1層	680	645	656	628	638	615	625	604	680	604	76	636	6	31.7
	171	OC2層	662	621	642	606	626	595	613	586	662	586	77	619	7	29.2
	199	OC3層	641	601	627	591	616	583	607	577	641	577	64	605	8	25.5

		unit: deg. C												flow	Design flow rate	
SA番号	SA配置	BOEC BOL	EOEC of 1st cyc.	BOEC of 2nd cyc.	EOEC E of 2nd.	BOEC B of 3rd.	EOEC E of 3rd.	BOEC of 4th cyc.	EOEC EOL	max.	min.	change	life ave.	reg. No.	(kg/s)	
対辺線上集合体	2	IC	672	640	656	630	644	621	635	613	672	613	58	639	1	34.6
	5	IC	693	671	676	658	663	648	653	639	693	639	54	663	2	30.6
	9	IC[CR組]	693	691	677	678	666	668	657	659	693	657	36	674	3	29.5
	15	IC[CR組]	688	692	673	679	662	668	653	659	692	653	39	672	3	29.5
	24	IC[CR組]	682	689	667	676	656	665	647	656	689	647	42	667	3	29.5
	35	IC	679	680	664	667	653	657	644	648	680	644	36	661	3	29.5
	47	IC[CR組]	690	684	676	672	665	662	657	654	690	654	36	670	2	30.6
	62	IC	691	688	676	676	665	666	656	658	691	656	35	672	3	29.5
	78	IC	688	689	673	677	663	667	654	659	689	654	35	671	3	29.5
	97	IC	678	686	665	674	655	665	647	657	686	647	39	666	3	29.5
	117	IC[CR組]	654	675	642	664	634	655	628	648	675	628	47	650	3	29.5
	138	OC1層	676	664	652	645	635	631	622	620	676	620	56	643	5	35.7
	139	OC1層	680	683	657	664	640	649	627	637	683	627	56	655	5	35.7
	164	OC1層	686	683	664	664	648	650	635	638	686	635	50	658	6	31.7
191	OC3層	674	654	658	641	646	631	636	623	674	623	51	645	7	29.2	
										max.	695	657	77	674		
										min.	641	577	35	605		
										ave.	682	633	49	655		

表 5.6-6 集合体出口温度時刻歴

**SA outlet temperature [case1]**

under design flow rate condition (uniform addition)

SA番号	SA配置	BOEC BOL	EOEC of 1st cyc.	BOEC of 2nd cyc.	EOEC E of 2nd.	BOEC B of 3rd.	EOEC E of 3rd.	BOEC of 4th cyc.	EOEC EOL	unit: deg.C				flow res. No.	design flow rate (kg/s)	
										max.	min.	change	life ave.			
対角線上集合体	3	IC	582	565	573	559	567	554	562	550	582	550	33	564	1	34.0
	6	IC	590	582	580	575	573	569	568	564	590	564	26	575	2	31.2
	11	IC	586	588	577	581	570	576	565	571	588	565	23	577	3	30.2
	18	IC	592	591	582	584	575	578	570	573	592	570	22	581	3	30.2
	27	IC	592	585	582	578	575	572	569	567	592	567	25	578	2	31.2
	38	IC	579	571	570	565	564	559	558	555	579	555	24	565	1	34.0
	51	IC	588	576	579	570	573	565	567	561	588	561	27	572	1	34.0
	66	IC	593	578	584	572	577	568	572	563	593	563	29	576	1	34.0
	83	IC	588	575	580	569	573	564	568	560	588	560	29	572	1	34.0
	102	IC	589	578	580	572	574	568	569	564	589	564	25	574	2	31.2
	123	IC	588	578	580	572	575	568	570	564	588	564	24	574	4	28.2
	146	OC1層	592	565	576	554	564	546	555	539	592	539	53	561	6	31.1
	171	OC2層	565	537	553	529	543	522	536	517	565	517	49	538	7	28.7
	199	OC3層	535	512	528	507	522	503	517	500	535	500	36	516	8	25.1

SA番号	SA配置	BOEC BOL	EOEC of 1st cyc.	BOEC of 2nd cyc.	EOEC E of 2nd.	BOEC B of 3rd.	EOEC E of 3rd.	BOEC of 4th cyc.	EOEC EOL	unit: deg.C				flow res. No.	design flow rate (kg/s)	
										max.	min.	change	life ave.			
対辺線上集合体	2	IC	582	565	573	559	567	554	562	550	582	550	33	564	1	34.0
	5	IC	591	581	582	574	575	568	569	564	591	564	28	575	2	31.2
	9	IC[CR層]	575	585	566	579	560	573	555	568	585	555	31	570	3	30.2
	15	IC[CR層]	572	586	563	579	557	574	552	569	586	552	34	569	3	30.2
	24	IC[CR層]	568	584	559	577	553	571	548	566	584	548	36	566	3	30.2
	35	IC	580	586	571	579	565	573	559	569	586	559	27	573	3	30.2
	47	IC[CR層]	573	581	565	575	559	570	554	565	581	554	27	568	2	31.2
	62	IC	589	592	580	585	573	580	568	576	592	568	24	580	3	30.2
	78	IC	587	594	579	587	572	582	567	577	594	567	27	581	3	30.2
	97	IC	580	590	572	584	566	579	561	575	590	561	29	576	3	30.2
	117	IC[CR層]	575	595	568	589	562	584	558	580	595	558	37	576	4	28.2
	138	OC1層	588	578	572	566	561	557	552	550	588	550	38	565	5	35.2
	139	OC[CR層]	573	575	558	564	547	555	539	548	575	539	36	557	5	35.2
	164	OC[CR層]	577	575	564	565	553	556	546	550	577	546	32	561	6	31.1
	191	OC3層	556	545	547	538	541	533	535	529	556	529	27	541	7	28.7
											max.	595	570	53	581	
										min.	556	517	22	538		
										ave.	584	553	31	567		

**SA outlet temperature [case2]**

under design flow rate condition (high P/F distribution of IC : 2 and 3 flow region)

SA番号	SA配置	BOEC BOL	EOEC of 1st cyc.	BOEC of 2nd cyc.	EOEC E of 2nd.	BOEC B of 3rd.	EOEC E of 3rd.	BOEC of 4th cyc.	EOEC EOL	unit: deg.C				flow res. No.	design flow rate (kg/s)	
										max.	min.	change	life ave.			
対角線上集合体	3	IC	579	562	570	556	564	551	559	547	579	547	32	561	1	34.6
	6	IC	594	586	584	578	577	573	571	568	594	568	26	579	2	30.6
	11	IC	591	593	581	586	575	580	569	575	593	569	24	581	3	29.5
	18	IC	597	596	587	588	580	583	574	577	597	574	23	585	3	29.5
	27	IC	596	589	586	582	579	576	573	571	596	571	25	581	2	30.6
	38	IC	576	568	567	562	561	557	556	552	576	552	24	562	1	34.6
	51	IC	584	573	576	567	569	562	565	558	584	558	27	569	1	34.6
	66	IC	589	575	581	569	574	565	569	560	589	560	29	573	1	34.6
	83	IC	585	572	577	566	570	561	565	557	585	557	28	569	1	34.6
	102	IC	592	581	584	576	578	571	573	567	592	567	25	578	2	30.6
	123	IC	589	578	581	573	575	568	571	565	589	565	24	575	4	28.1
	146	OC1層	589	562	572	551	561	543	552	536	589	536	52	558	6	31.7
	171	OC2層	562	535	550	526	541	520	533	515	562	515	48	535	7	29.2
	199	OC3層	533	510	526	505	520	501	516	498	533	498	35	514	8	25.5

SA番号	SA配置	BOEC BOL	EOEC of 1st cyc.	BOEC of 2nd cyc.	EOEC E of 2nd.	BOEC B of 3rd.	EOEC E of 3rd.	BOEC of 4th cyc.	EOEC EOL	unit: deg.C				flow res. No.	design flow rate (kg/s)	
										max.	min.	change	life ave.			
対辺線上集合体	2	IC	579	562	570	556	564	551	559	547	579	547	32	561	1	34.6
	5	IC	595	585	585	578	578	572	572	567	595	567	28	579	2	30.6
	9	IC[CR層]	579	590	570	583	564	577	559	572	590	559	31	574	3	29.5
	15	IC[CR層]	576	591	567	583	561	578	556	573	591	556	35	573	3	29.5
	24	IC[CR層]	572	588	563	581	557	575	551	570	588	551	37	570	3	29.5
	35	IC	585	591	575	583	569	578	563	573	591	563	27	577	3	29.5
	47	IC[CR層]	577	585	568	578	562	573	558	569	585	558	27	571	2	30.6
	62	IC	593	597	584	590	577	585	572	580	597	572	24	585	3	29.5
	78	IC	592	598	583	591	576	586	571	581	598	571	27	585	3	29.5
	97	IC	584	595	576	589	570	584	565	580	595	565	30	580	3	29.5
	117	IC[CR層]	567	586	560	580	555	576	551	572	586	551	35	568	3	29.5
	138	OC1層	586	575	570	564	558	555	550	548	586	548	38	563	5	35.7
	139	OC[CR層]	570	573	556	561	545	553	537	546	573	537	36	555	5	35.7
	164	OC[CR層]	574	572	560	561	550	553	543	547	574	543	31	558	6	31.7
	191	OC3層	553	542	545	536	538	531	533	527	553	527	27	538	7	29.2
											max.	598	574	52	585	
										min.	533	498	23	514		
										ave.	584	553	31	568		

表 5.6-7 CDF 評価結果 (流配ケース A : 均等配分, 長尺ピン仕様)

集合体 番号	CDF (St*ベース)	ピン内ガス圧 (EOL) (kgf/cm <sup>2</sup> )	最大ピン 取出燃焼度 <sup>(*)</sup> (万 MWd/t)	被覆管温度変化 <sup>(*)</sup> max./min.(ave.) (°C)	備考
66	8.9×10 <sup>-4</sup>	79	20.5	690/634 (659)	【流配ケース A】 内側燃料最大燃焼度比 外側燃料最大燃焼度比 平均温度最高比 最高温度比
139	7.7×10 <sup>-4</sup>	80	21.0	687/630 (658)	
9	1.4×10 <sup>-3</sup>	72	18.8	686/651 (668)	
164	5.2×10 <sup>-4</sup>	72	18.9	691/639 (663)	
【包絡】				(BOL→EOL 直線近似)	CDF 計算上の包絡条件 の把握・検討
—	1.3×10 <sup>-2</sup>	81	21.4	700→650	
—	2.9×10 <sup>-3</sup>	81	21.4	700→640	
—	2.1×10 <sup>-3</sup>	81	21.4	690→640	

(\*) 上下軸方向ブランケット出力を炉心出力に上乘せした値。重金属質量は炉心部のみの値を使用。炉心部のみの取出燃焼度は本値より 4%程度下がる。

(\*\*) CDF 計算においては各運転サイクル毎にステップ状に変化する温度履歴を模擬した。

表 5.6-8 燃料要素長を約 3mm から約 2.5mm に低減した場合の CDF 評価結果

集合体 番号	CDF (St*ベース)	ピン内ガス圧 (EOL) (kgf/cm <sup>2</sup> )	最大ピン 取出燃焼度 <sup>(*)</sup> (万 MWd/t)	被覆管温度変化 <sup>(*)</sup> max./min.(ave.) (°C)	備考
66	0.12	129	20.5	690/634 (659)	【流配ケース A】 内側燃料最大燃焼度比 外側燃料最大燃焼度比 平均温度最高比 最高温度比
139	0.11	131	21.0	687/630 (658)	
9	0.18	118	18.8	686/651 (668)	
164	0.07	119	18.9	691/639 (663)	
66	0.08	129	20.5	686/631 (655)	【流配ケース B】 内側燃料最大燃焼度比 外側燃料最大燃焼度比 平均温度最高比 最高温度比
139	0.07	131	21.0	683/627 (655)	
9	0.39	118	18.8	693/657 (674)	
18	0.24	118	18.7	695/653 (671)	
27	0.16	121	19.0	695/645 (667)	
【包絡】				(BOL→EOL 直線近似)	CDF 計算上の包絡条件 の把握・検討
—	1.64	134	21.4	700→650	
—	0.38	134	21.4	700→640	
—	0.28	134	21.4	690→640	

(\*) 上下軸方向ブランケット出力を炉心出力に上乘せした値。重金属質量は炉心部のみの値を使用。炉心部のみの取出燃焼度は本値より 4%程度下がる。

(\*\*) CDF 計算においては各運転サイクル毎にステップ状に変化する温度履歴を模擬した。

(\*\*) (c)節に示した「低圧損炉心」のピン仕様と同一。

表 5.6-9 対象炉心の圧力損失評価結果 (80cm 高さ炉心)

最大流量集合体 <sup>(*)</sup> 設計流量[kg/s]	計算式入力流量 (331ピン相当流量[kg/s])	バンドル圧損 [kgf/cm <sup>2</sup> ]
流配ケース A 35.2	39.63	3.5
流配ケース B 35.7	40.19	3.6

流配ケース A : 追加配分流量均等設計

流配ケース B : 高 P/F 設計 (内側炉心第 2、3 流量領域) を高 P/F とした設計)

<sup>(\*)</sup>外側炉心集合体 (第 5 流量領域)

(参考) 圧損評価モデルの比較 (流量条件 : 流配ケース A)

対象炉心	
Cheng-Todreas	3.4 <sub>g</sub>
Rehme	3.5 <sub>s</sub>
Norvendstern	3.4 <sub>g</sub>
PNC-KfK	適用外

表 5.6-10 ダクト膨れ量評価条件（炉心有効長 80cm、長尺ピン仕様）

項目	評価対象炉心	備考
出入口温度 (°C)	550/395	ODS 被覆管
集合体流量 (kg/s)	35.7	集合体最大流量（流配ケース B)
ダクト温度 (°C)	588 (BOL) 550 (EOL)	バンドル平均冷却材温度と同一。履歴を考慮
ダクト温度軸方向分布	冷却材温度と同一	
高速中性子フラックス ( $/\text{cm}^2$ )	$4.5 \times 10^{23}$	$\geq 0.1\text{MeV}$ 、本炉心評価結果
フラックス軸方向分布	本炉心核計算結果 <sup>[1]</sup>	$\geq 0.1\text{MeV}$ 、BOEC と EOEC の平均
集合体寿命	18ヶ月×4バッチ	
燃料ピン仕様	表 2.1	
集合体（ダクト）仕様 ダクト肉厚(mm) ダクト内対面距離(mm)	表 2.1 5.0 181.5	低圧損炉心ではスペーサ径を 1.0 から 1.1mm に変更している。
圧損評価モデル	Cheng-Todreas	参考文献[2]参照
不確かさ幅 1) ダクト寸法公差 2) 流配誤差	ノミナル ノミナル	従来経験より概略把握／考察

表 5.6-11 ダクト膨れ量評価結果（炉心有効長 80cm、長尺ピン仕様）

項目	ノミナル条件でのダクト膨れ量 (照射クリープの割合)	不確かさ <sup>(*)</sup> を考慮した場合の ダクト膨れ量
本対象炉心		
PNC-FMS 合理化式	3.2mm (85%)	4mm
PNC-FMS 上限式	5.7mm (79%)	7mm

<sup>(\*)</sup> ダクト製作公差、流量配分誤差、圧損予測誤差を不確かさとして考慮した場合。

表 5.6-12 大型酸化物燃料・ナトリウム炉心のバンドル圧力損失評価結果  
(80cm 高さ炉心)

対象炉心			
	最大流量集合体 <sup>(*)</sup> 設計流量[kg/s]	計算式入力流量 (331ピン相当流量[kg/s])	バンドル圧損 [kgf/cm <sup>2</sup> ]
流配ケース A	35.2	39.63	3.5
流配ケース B	35.7	40.19	3.6

低圧損仕様			
	最大流量集合体 <sup>(*)</sup> 設計流量[kg/s]	計算式入力流量 (331ピン相当流量[kg/s])	バンドル圧損 [kgf/cm <sup>2</sup> ]
流配ケース A	35.2	39.63	3.5
流配ケース B	35.7	40.19	3.6

流配ケース A : 追加配分流量均等設計

流配ケース B : 高 P/F 設計 (内側炉心第 2、3 流量領域) を高 P/F とした設計)

(\*)外側炉心集合体 (第 5 流量領域)

(参考) 圧損評価モデルの比較 (流量条件 : 流配ケース A)

	対象炉心	低圧損炉心
Cheng-Todreas	3.4 <sub>8</sub>	2.2 <sub>4</sub>
Rehme	3.5 <sub>5</sub>	2.3 <sub>1</sub>
Norvendstern	3.4 <sub>8</sub>	2.2 <sub>9</sub>
PNC-KfK	適用外	2.6 <sub>0</sub>



表 5.6-13 ダクト膨れ量評価条件 (炉心有効長 80cm)

項目	本対象炉心	低圧損炉心	備考
出入口温度 (°C)	550/395	←	ODS 被覆管
集合体流量 (kg/s)	35.7	←	集合体最大流量 (流配ケース B)
ダクト温度 (°C)	588 (BOL) 550 (EOL)	← ←	バンドル平均冷却材温度と同一。履歴を考慮
ダクト温度軸方向分布	冷却材温度と同一	←	
高速ビークルエンズ (/cm <sup>2</sup> )	4.5×10 <sup>23</sup>	←	≥0.1MeV
フラックス軸方向分布	本炉心核計算結果	←	≥0.1MeV、BOEC と EOEC の平均
集合体寿命	18ヶ月×4パッチ	←	
燃料ピン仕様	表 2.1	添表 1、2	
集合体 (ダクト) 仕様	表 2.1	添表 1、2	低圧損炉心ではスーパーウイヤ径を 1.0 から 1.1mm に変更している。
ダクト肉厚(mm)	5.0	←	
ダクト内対面距離(mm)	181.5	183.4	
圧損評価モデル	Cheng-Todreas	←	参考文献[2]参照
不確かさ幅			
1) ダクト寸法公差	ノミナル	←	従来経験より概略把握/考察 <sup>[7]</sup>
2) 流配誤差	ノミナル	←	

表 5.6-14 ダクト膨れ量評価結果

項目	ノミナル条件でのダクト膨れ量 (照射クリープの割合)	不確かさ <sup>(*)</sup> を考慮した場合のダクト膨れ量
本対象炉心		
PNC-FMS 合理化式	3.2mm (85%)	4mm
PNC-FMS 上限式	5.7mm (79%)	7mm
低圧損炉心		
PNC-FMS 合理化式	2.4mm (80%)	3mm
PNC-FMS 上限式	4.3mm (72%)	5mm

(\*) ダクト製作公差、流量配分誤差、圧損予測誤差を不確かさとして考慮した場合。

[他設計分野からの条件]

[燃料設計分野での設定条件]

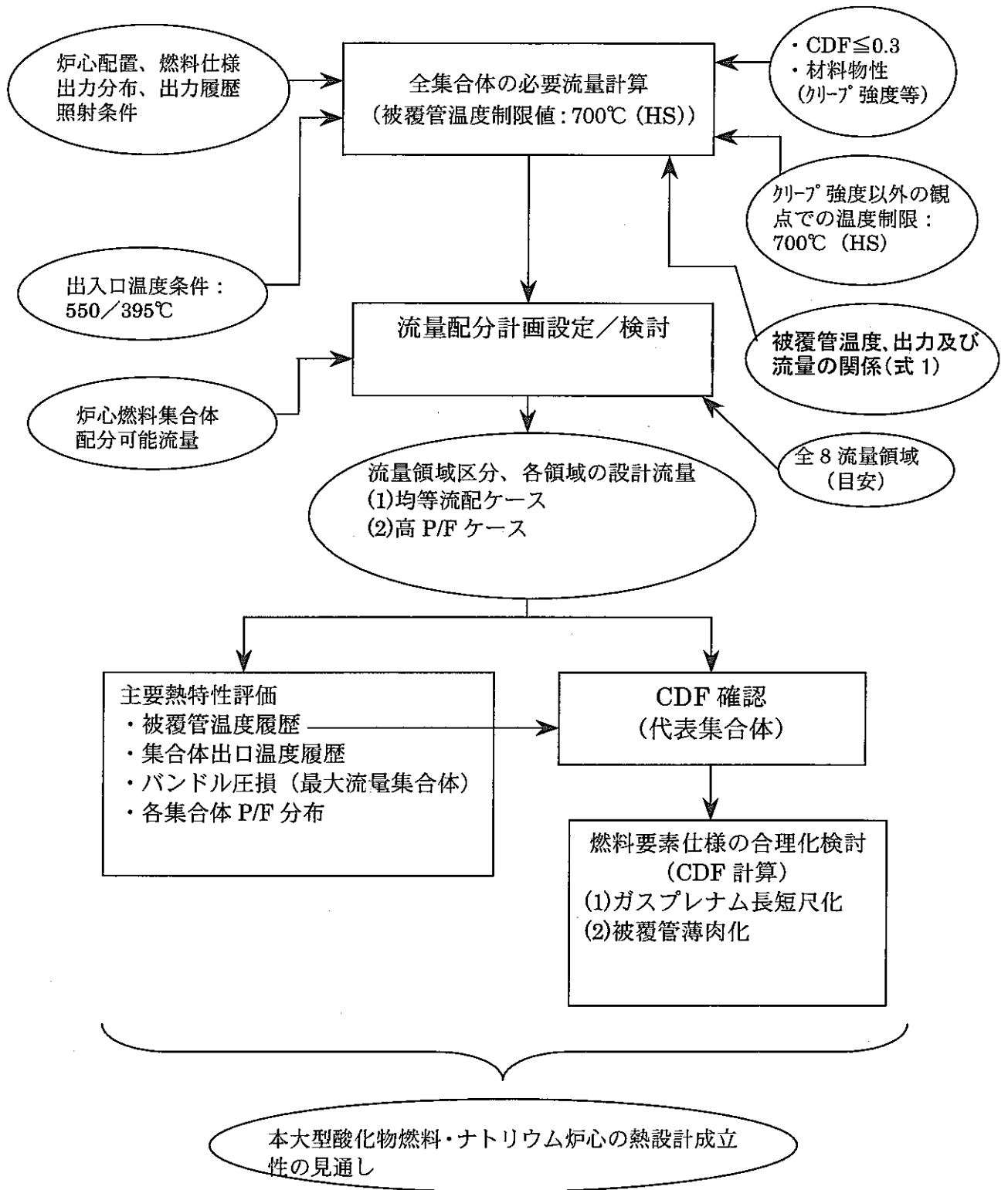


図 5.6-1 熱設計検討フロー

MOSES入力 1/3体系炉心図

- 内側炉心燃料 378体
- 外側炉心燃料 198体
- SUS遮蔽体 90体
- B4C遮蔽体 198体
- 主炉停止系制御棒 48体
- SUS集合体 1体

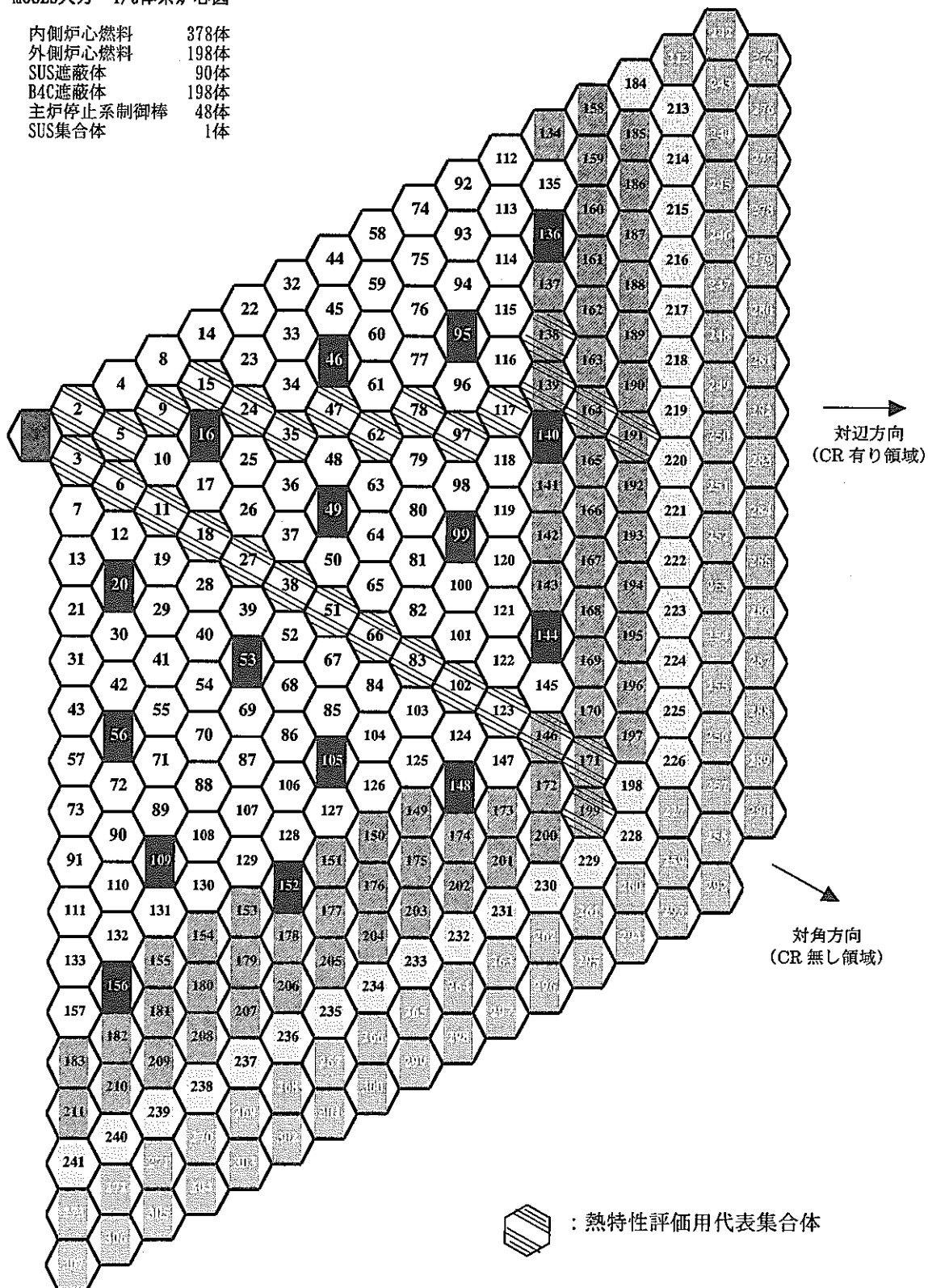


図 5.6-2 集合体番号と熱特性評価用代表集合体

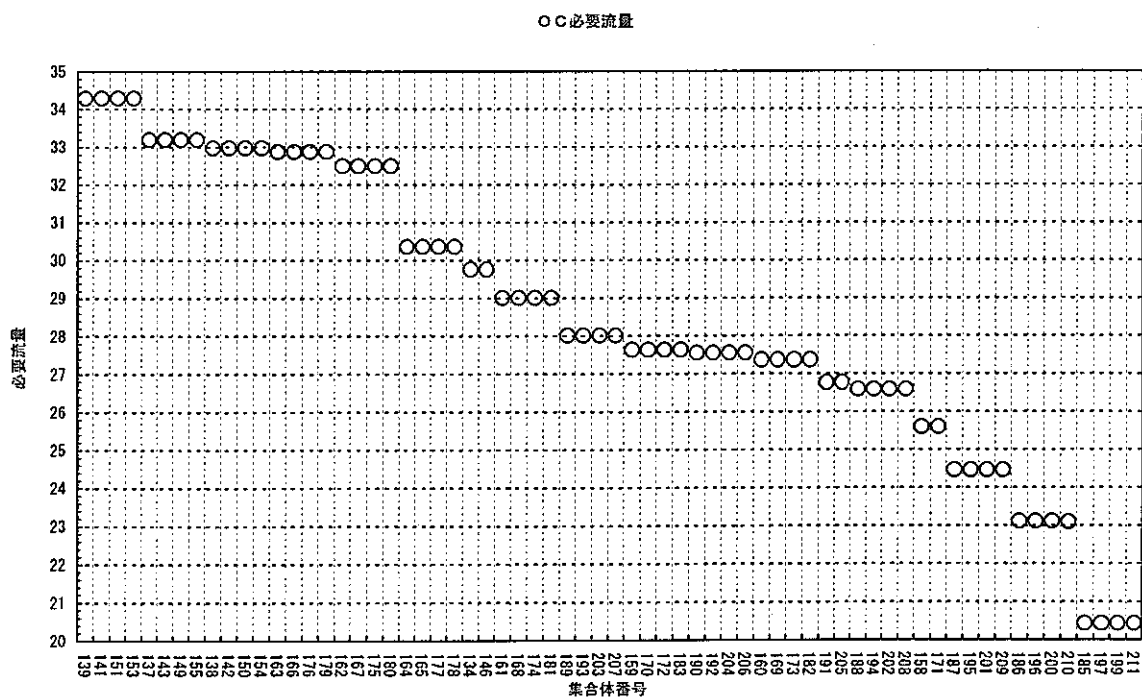
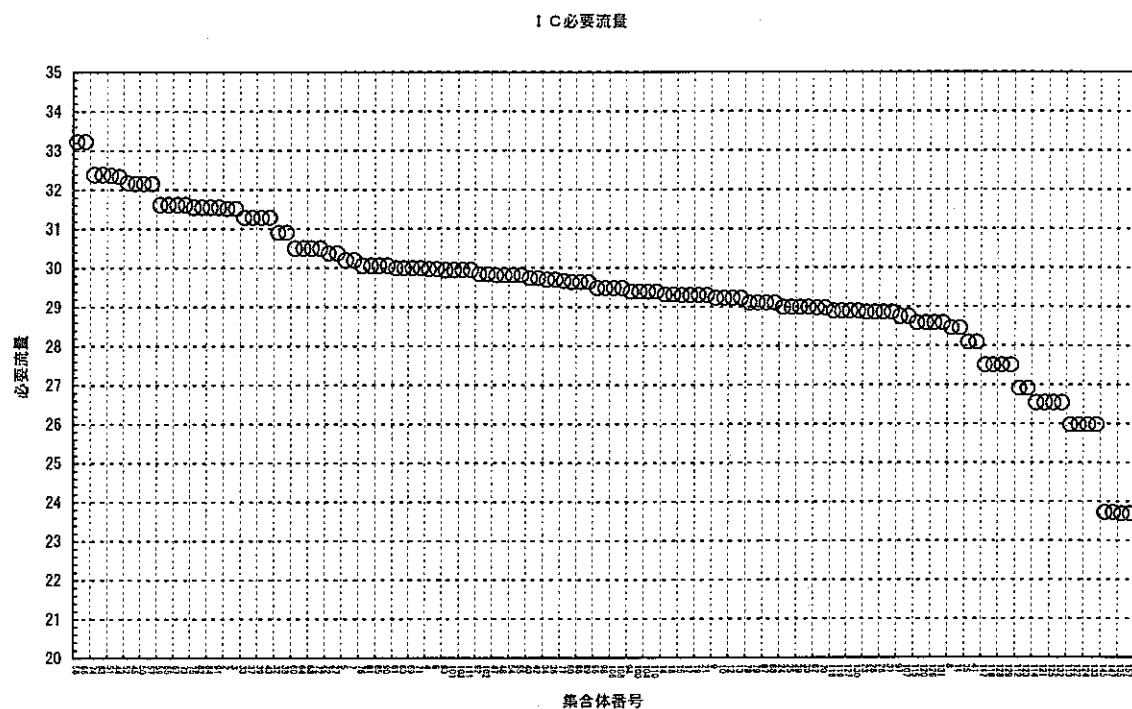
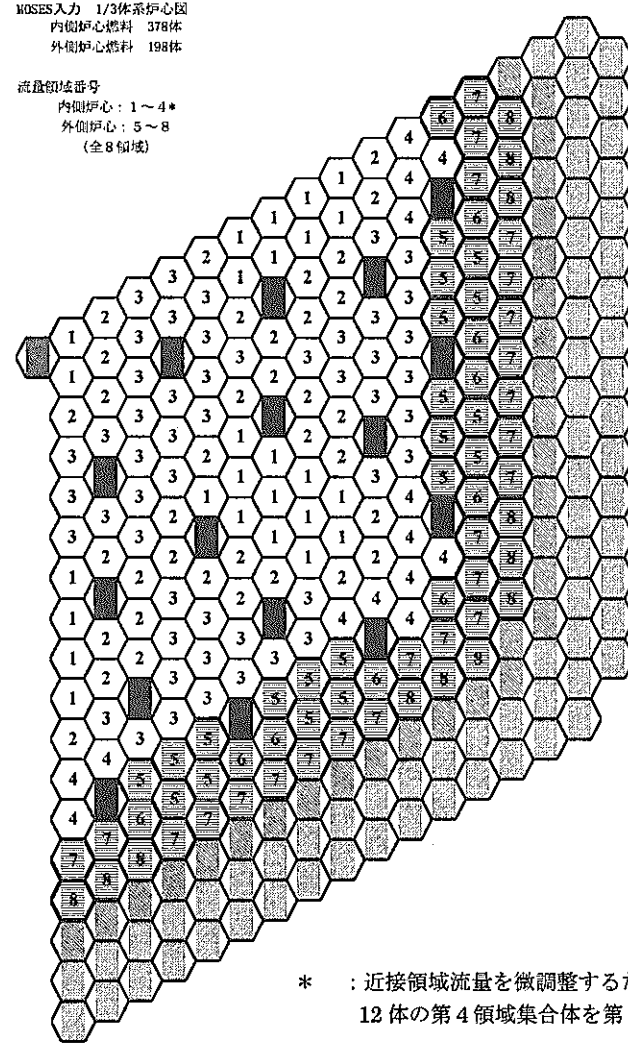
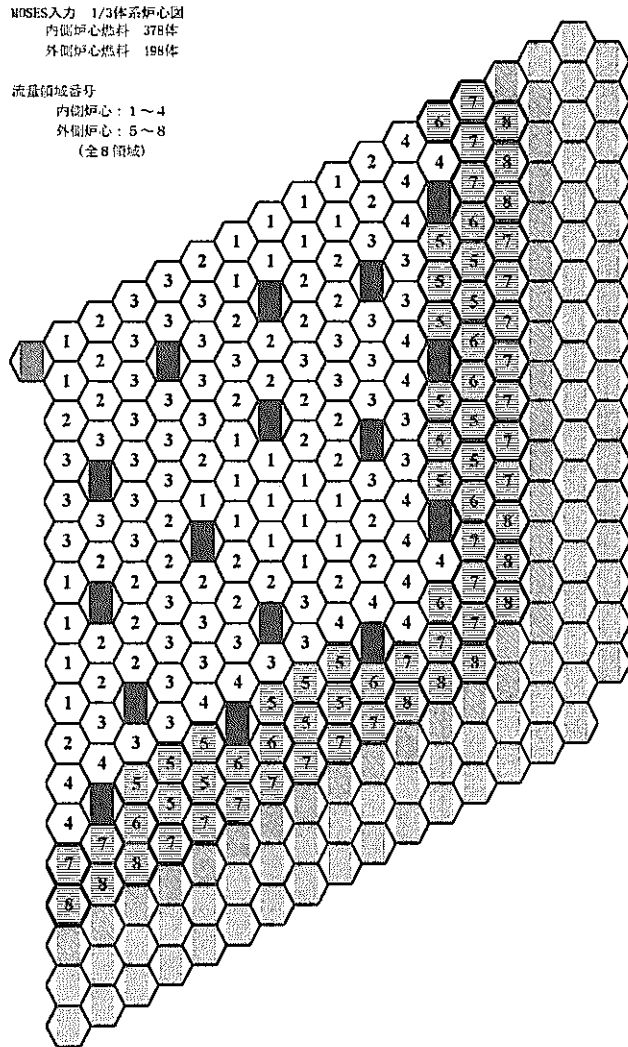


図 5.6-3 各炉心燃料集合体の冷却材必要流量

(集合体番号：図 5.6-2 参照)



\* : 近接領域流量を微調整するためケース①から12体の第4領域集合体を第3領域に変更した。

(1/2) ケース① (流配ケース A : 均等流配ケース)

(2/2) ケース② (流配ケース B : 高 P/F ケース)

図 5.6-4 流量領域区分 (80cm 炉心, 全内部ダクト付)

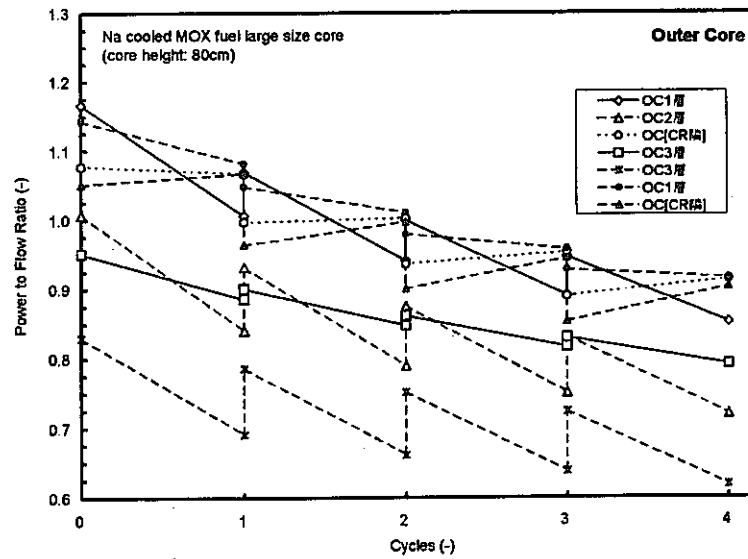
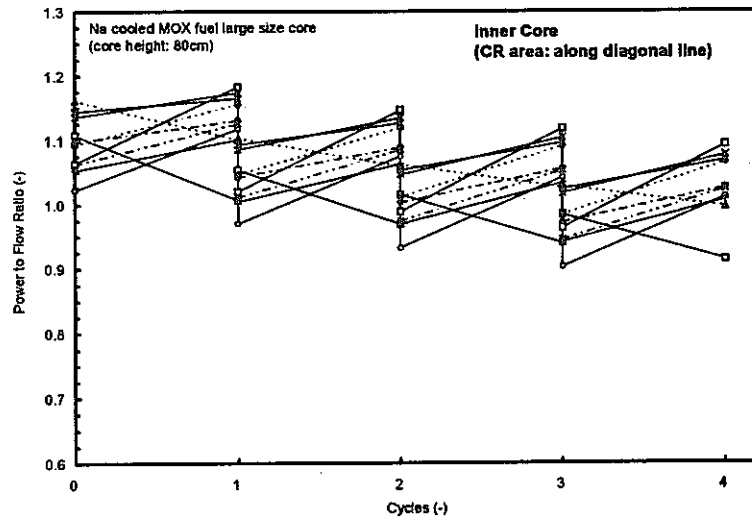
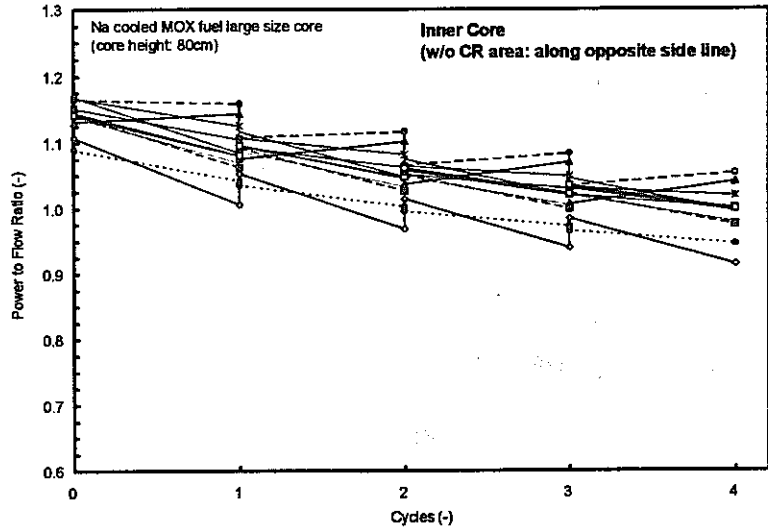
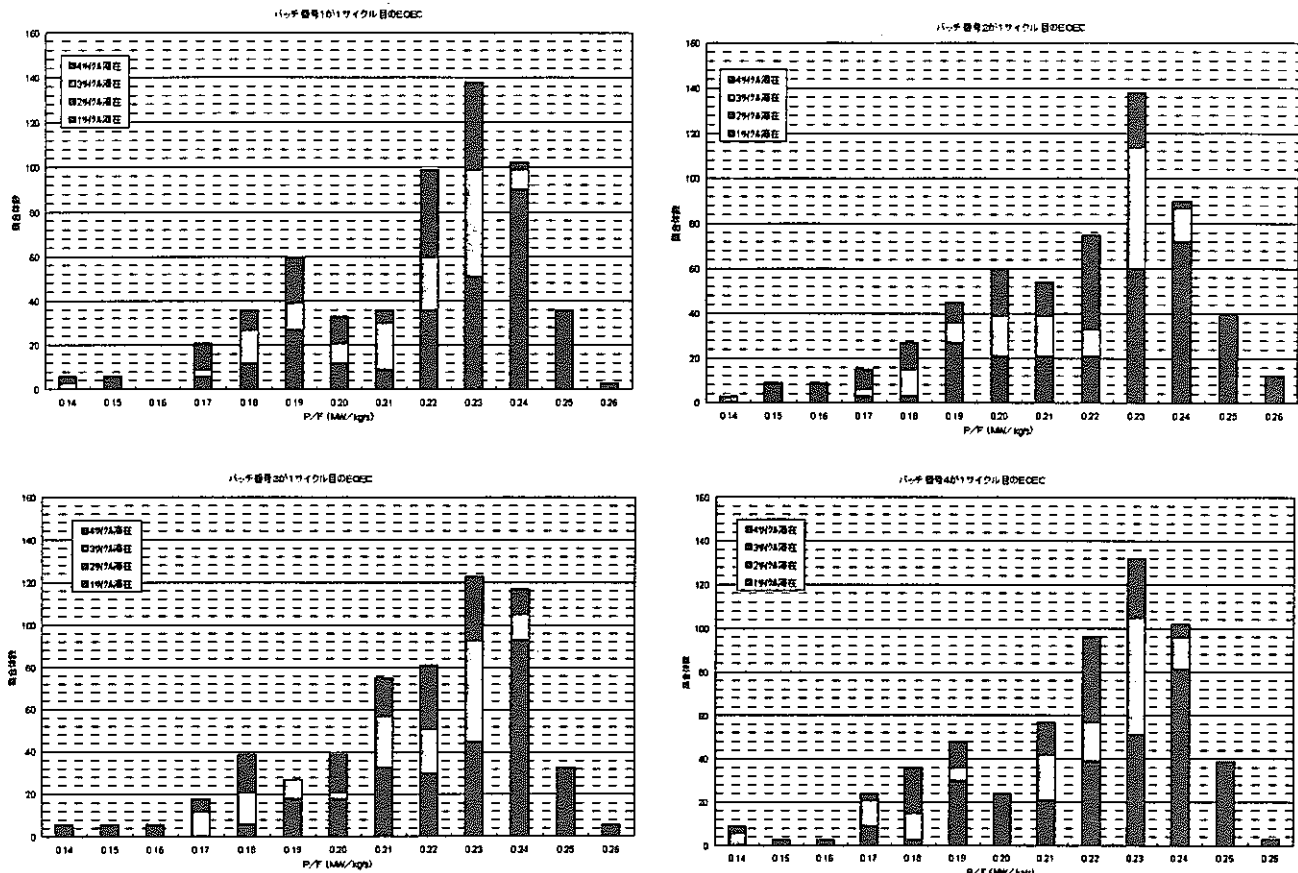
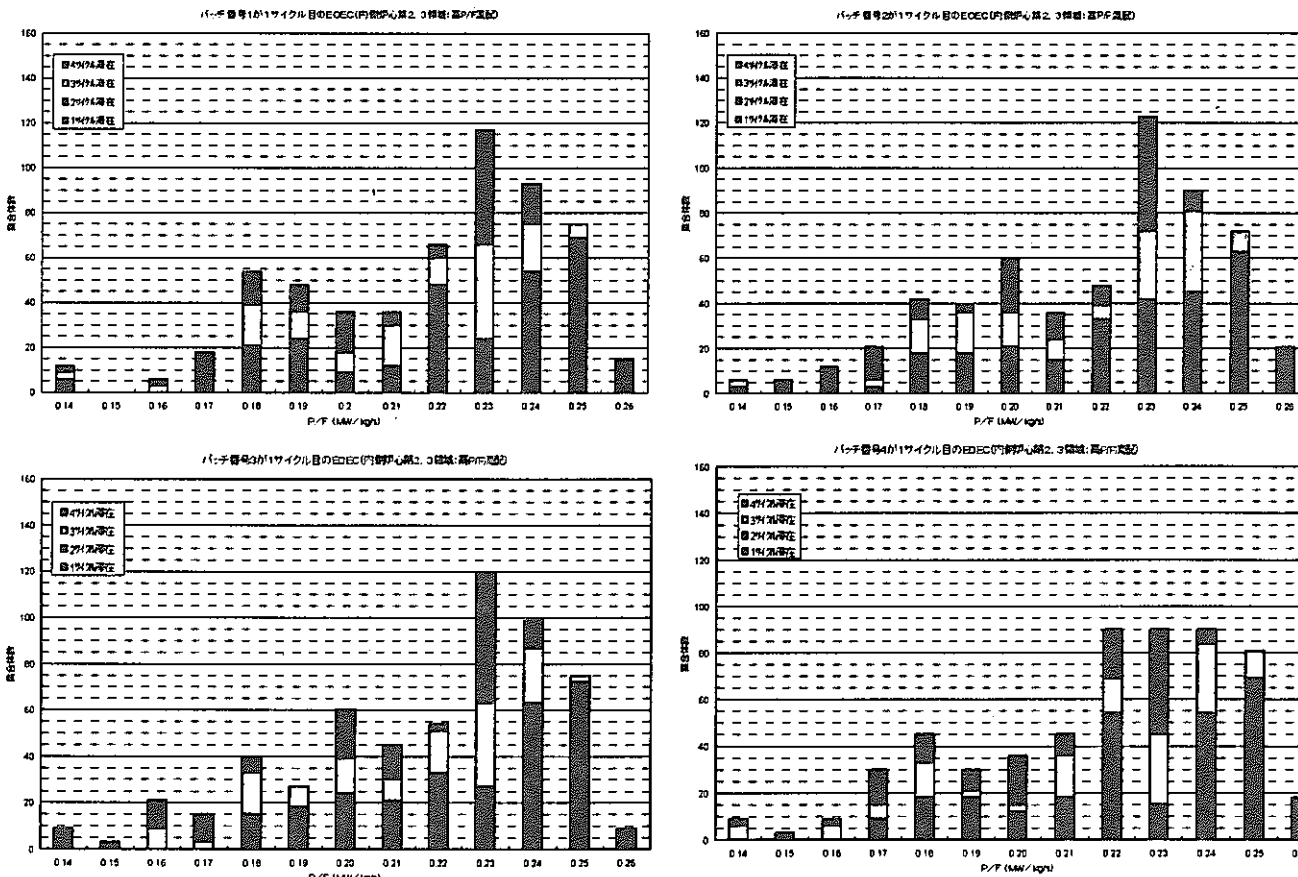


図 5.6-5 各集合体の P/F 時刻歴 (流配ケース A)



(1/2) 流配ケース A (均等流配ケース) における EOEC の P/F 分布



(2/2) 流配ケース B (高 P/F ケース) における EOEC の P/F 分布

図 5.6-6 各流配ケースの EOEC における P/F 分布

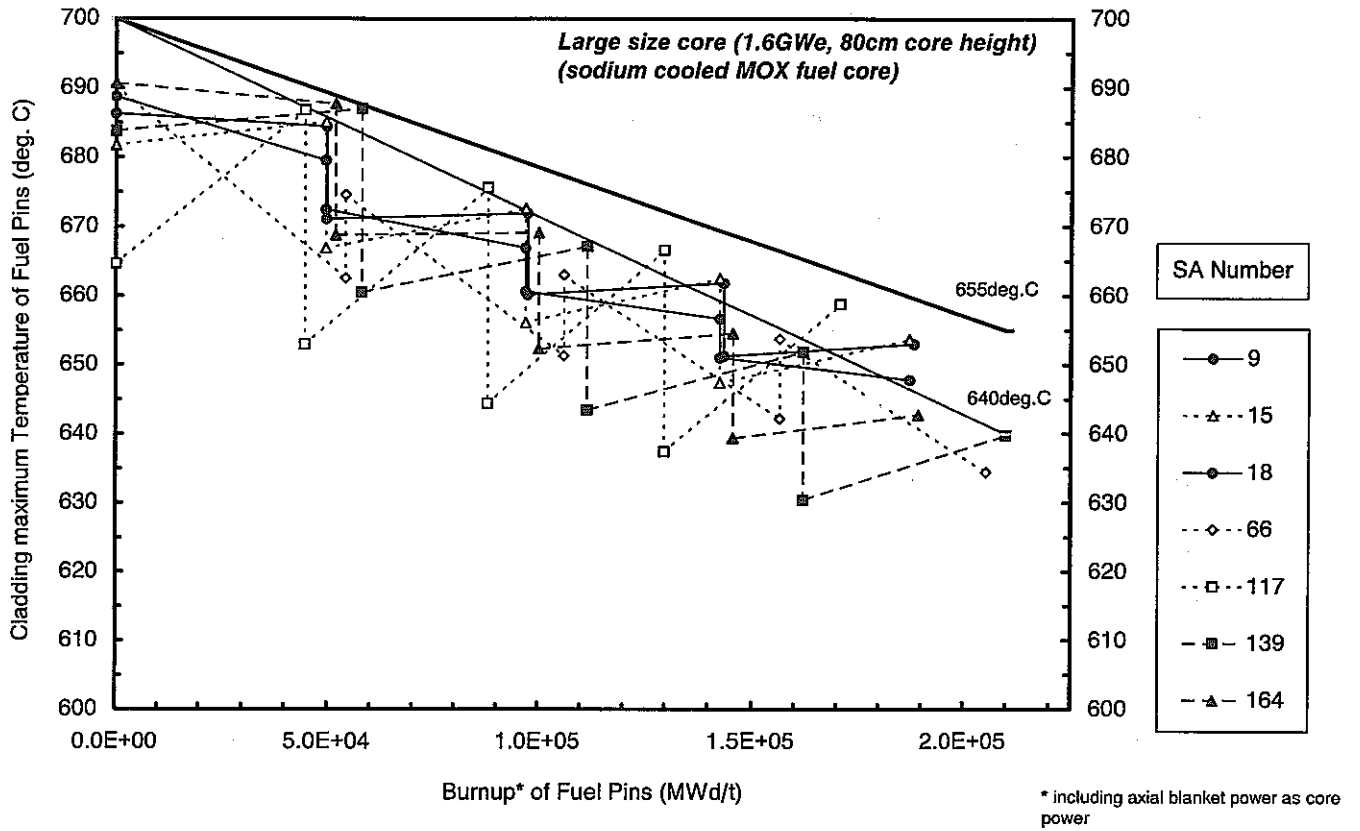
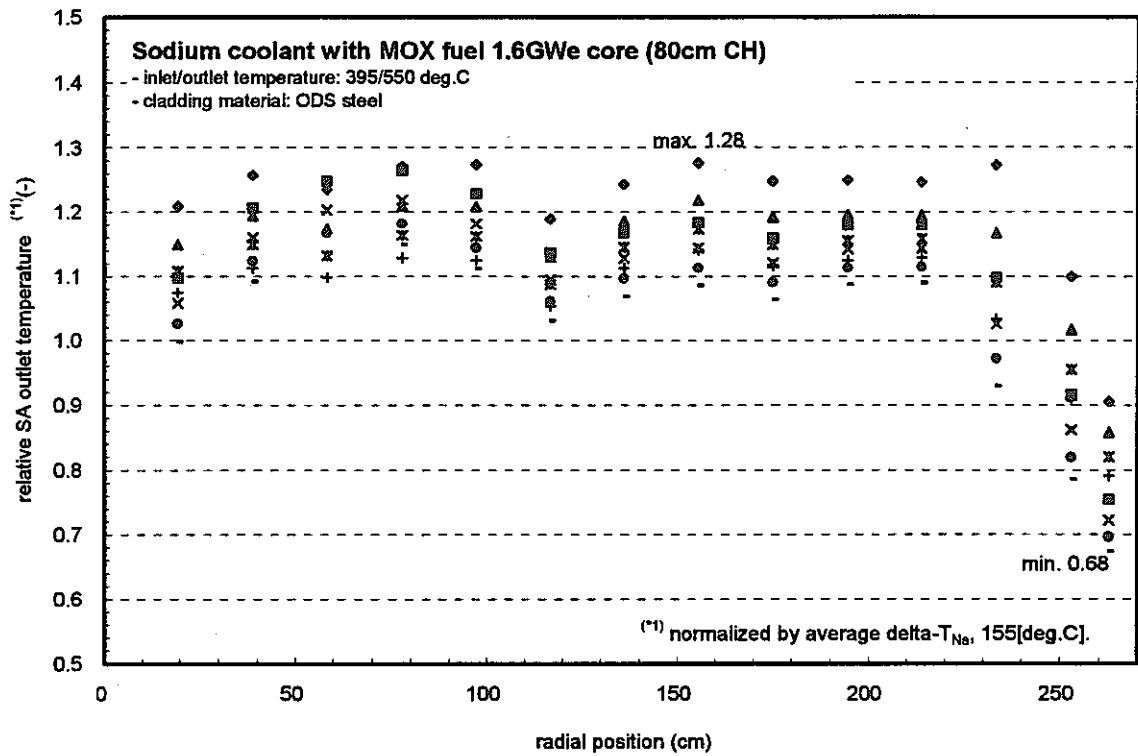
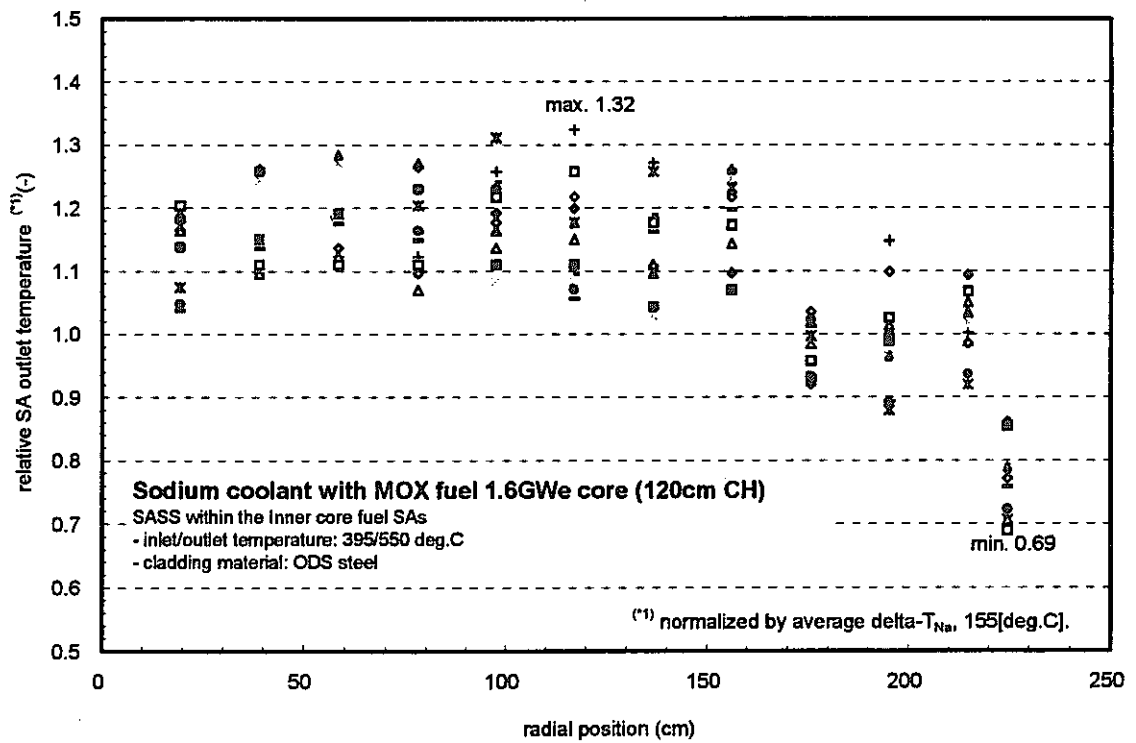


図 5.6-7 燃料ピンの燃焼度と被覆管温度 (HS、軸方向最高値) との関係 (流配ケース A)



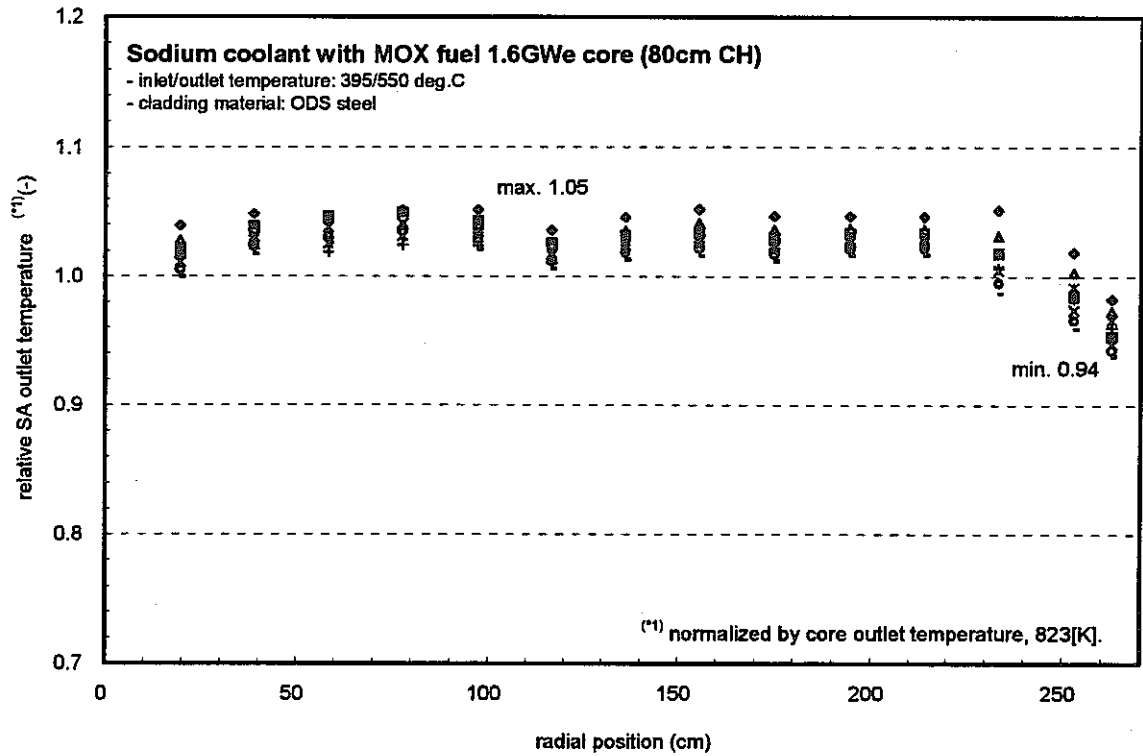


(1/2) 本対象炉心 (炉心有効長 80cm)

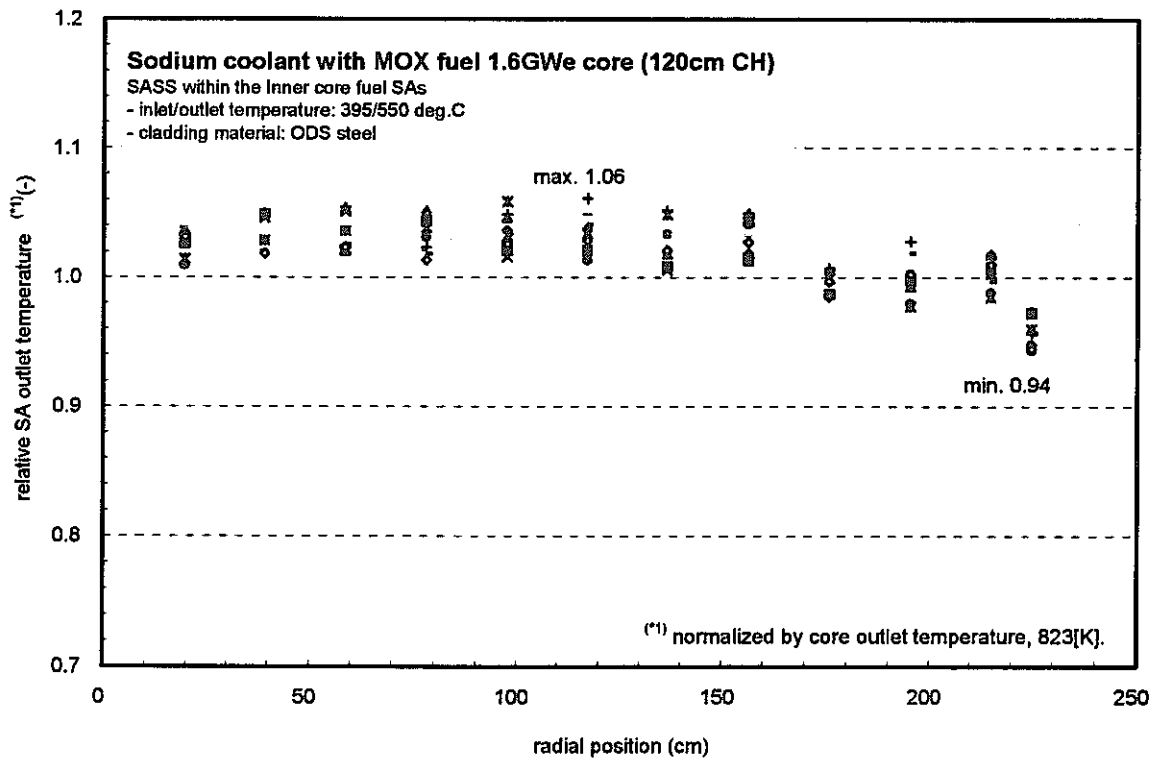


(2/2) 大型酸化物燃料・ナトリウム炉心 (長期運転サイクル炉心、炉心有効長 120cm)

図 5.6-8 集合体出口温度相対値の径方向分布 (冷却材温度上昇 [°C] にて規格化)

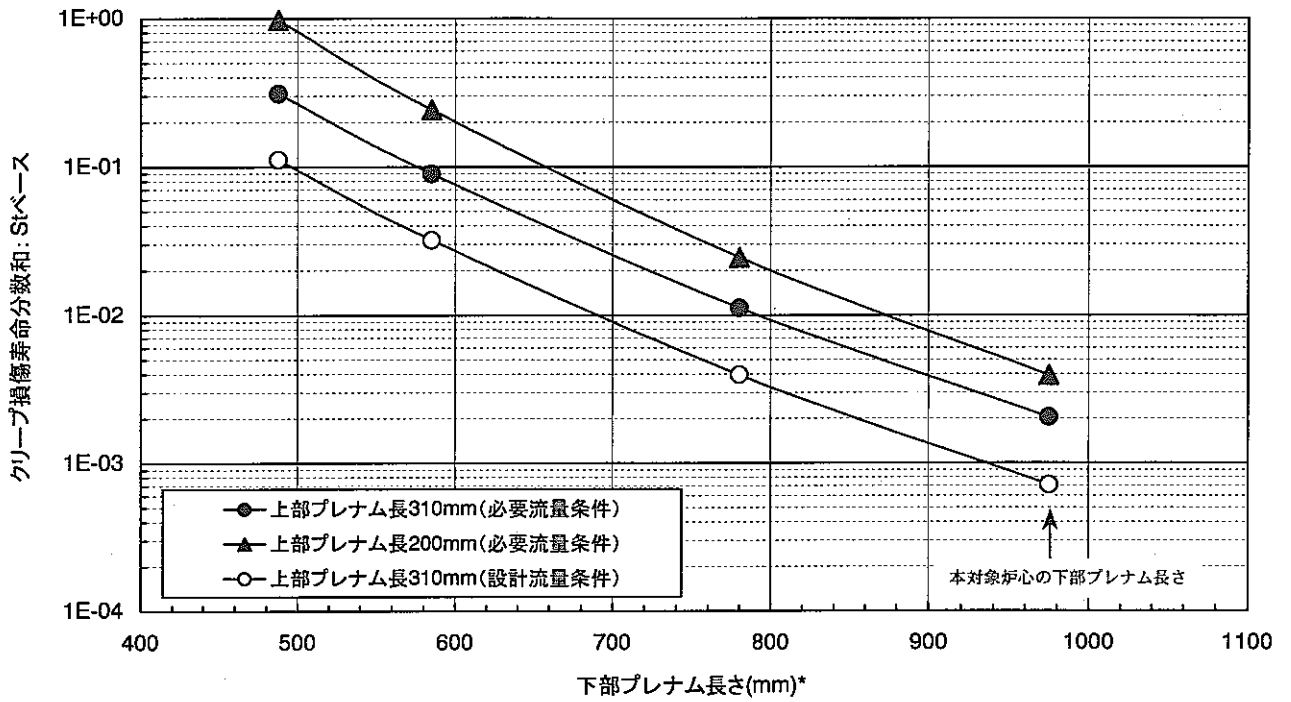


(1/2) 本検討炉心 (炉心有効長 80cm)



(2/2) 大型酸化物燃料・ナトリウム炉心 (長期運転サイクル炉心、炉心有効長 120cm)

図 5.6-9 集合体出口温度相対値の径方向分布 (出口温度絶対値 [K] にて規格化)



\*対象炉心<sup>III</sup>(CF-10-2)は97.5cmである。尚、上部プレナムは31.0cmが現行設計値である。

図 5.6-10 下部プレナム長さ と CDF との関係 (ODS 鋼被覆管、被覆管肉厚保存)

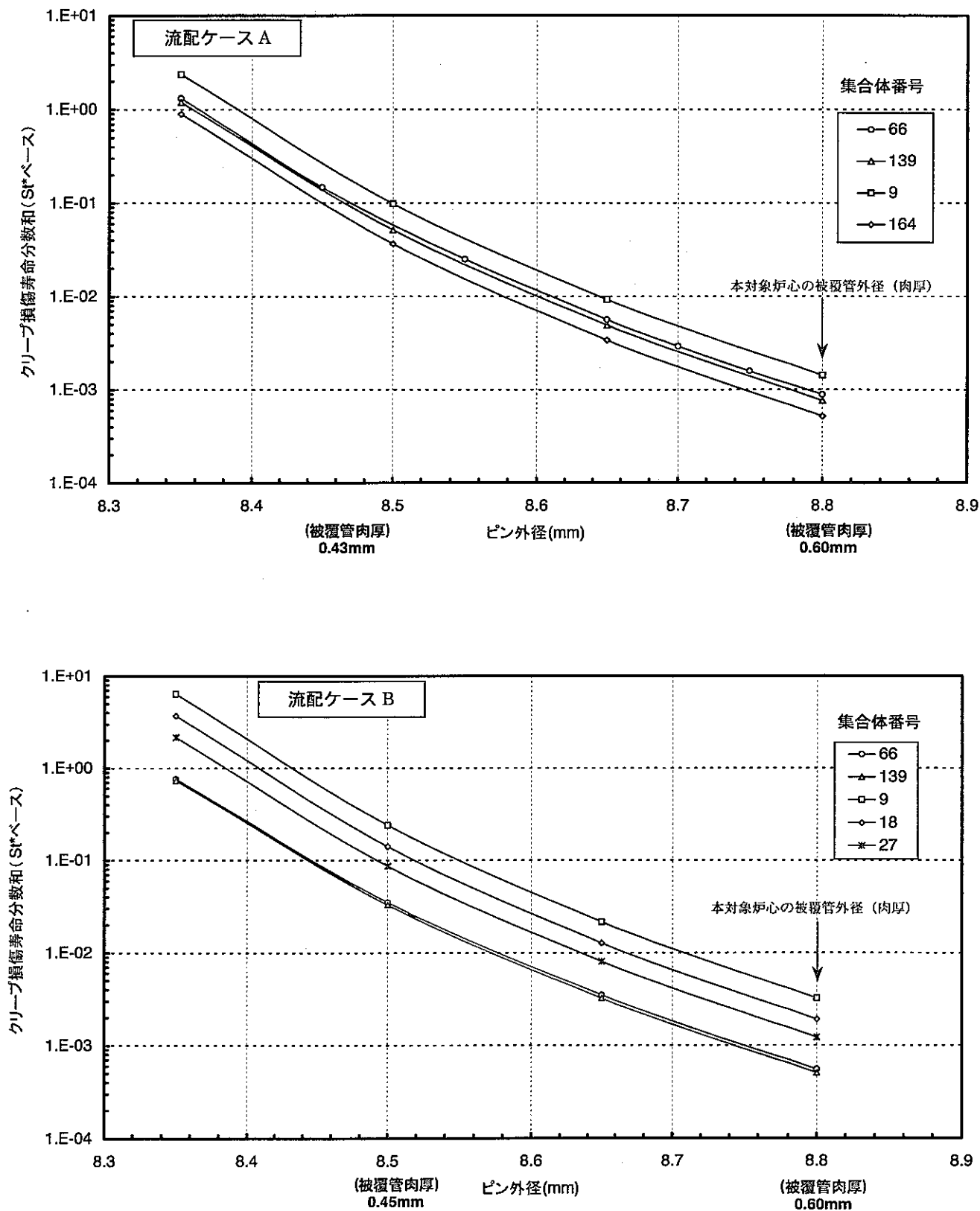


図 5.6-11 被覆管外径 (肉厚) と CDF の関係

(ガスプレナム長保存、被覆管内径一定、設計流量条件、被覆管温度：表 5.6-4)

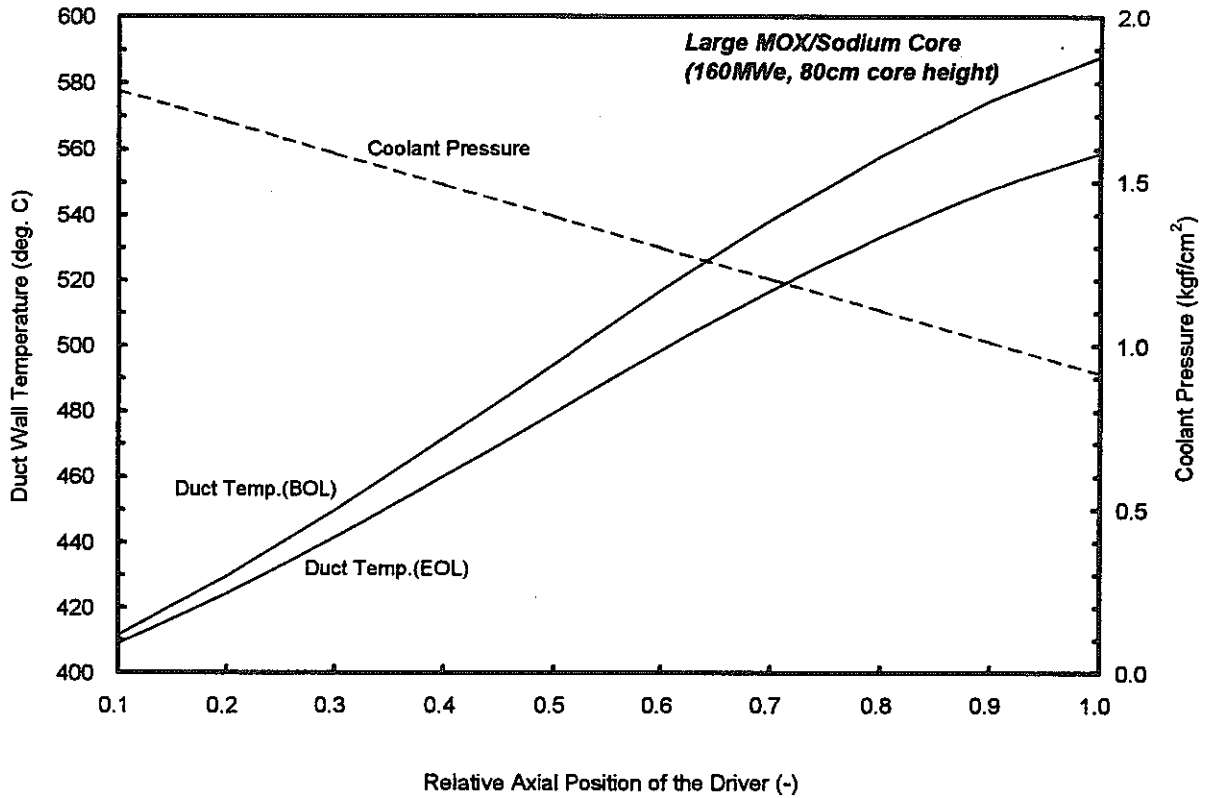


図 5.6-12 ダクト膨れ量評価用ダクト温度分布及び冷却材圧力差

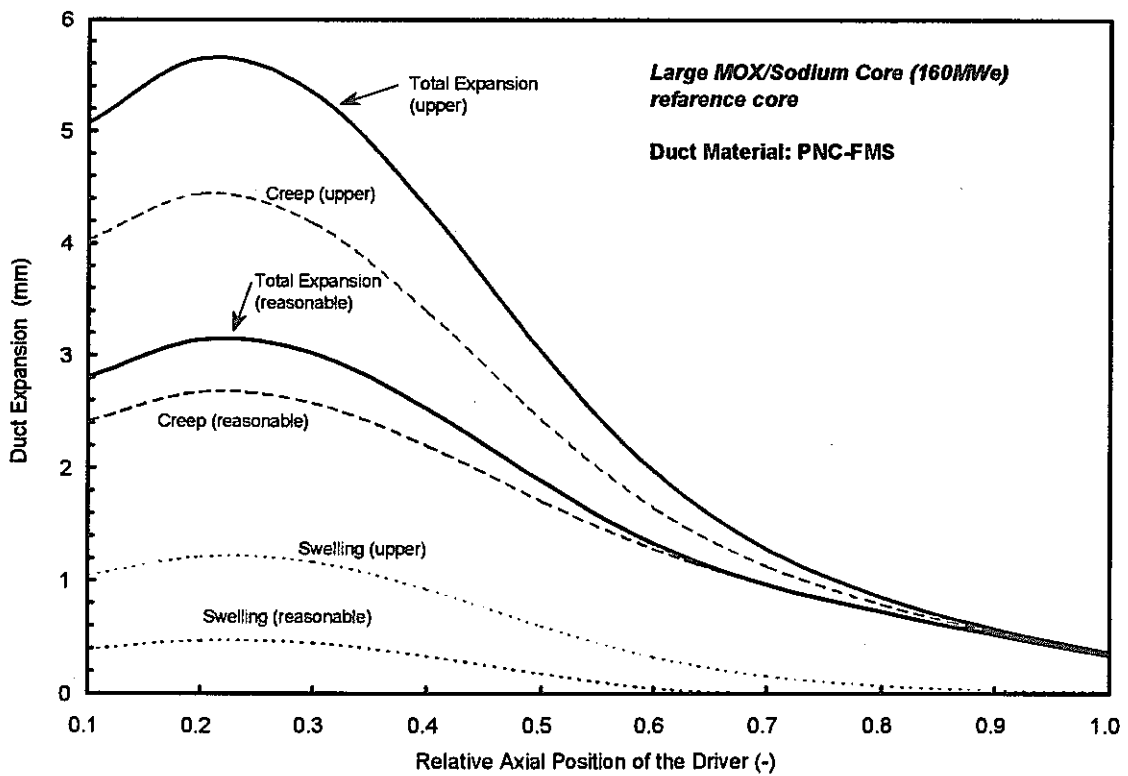


図 5.6-13 ダクト膨れ量評価結果 (ノミナル条件\*)

\*不確かさ因子：ダクト製作交差、流配誤差、圧損予測誤差

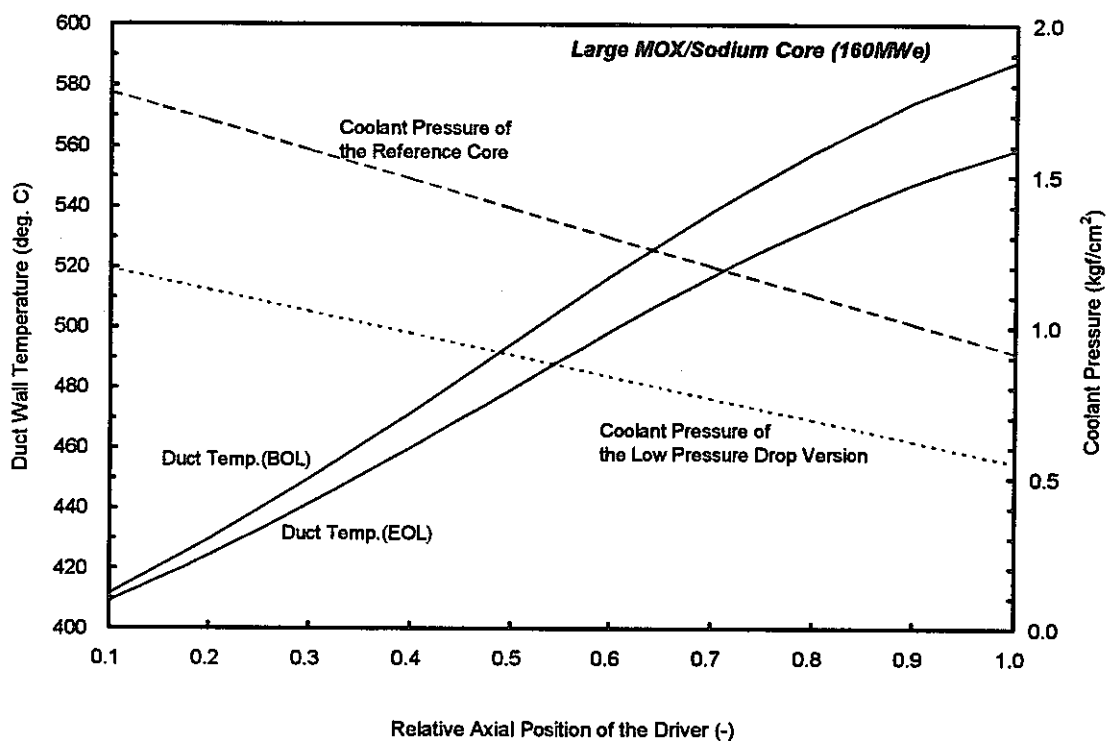


図 5.6-14 対象炉心及び低圧損炉心のダクト膨れ量評価用温度／圧力条件

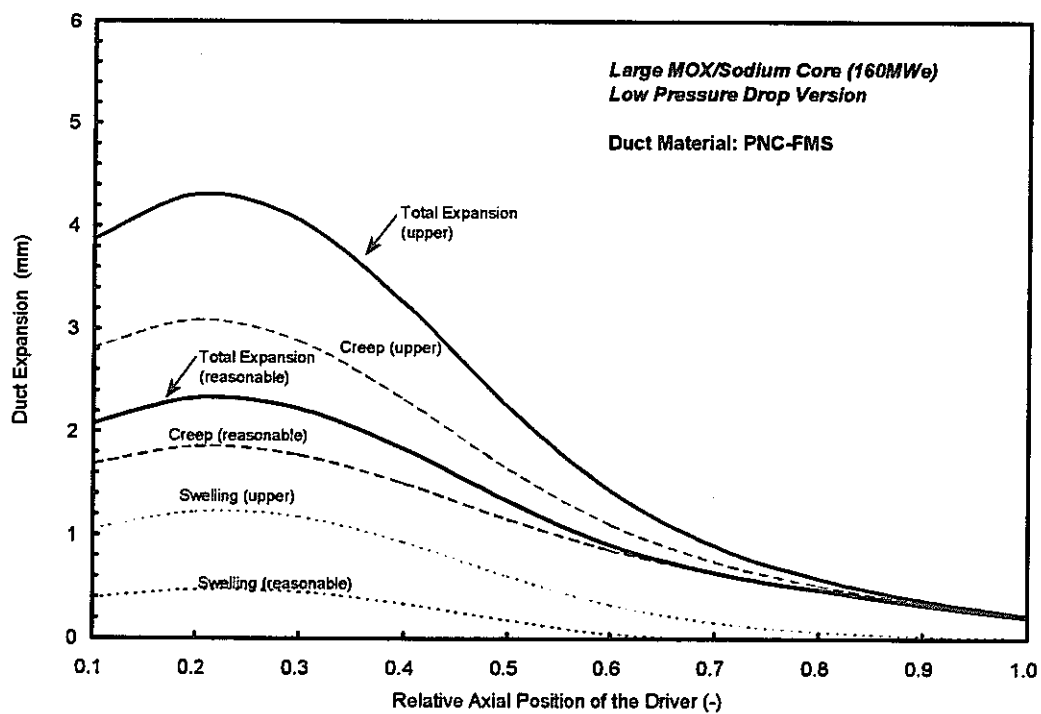


図 5.6-15 低圧損炉心のバンドル膨れ量軸方向分布

## 5.7 まとめ

再臨界排除を追求したナトリウムボイド反応度低減・内部ダクト付炉心（高圧損炉心と低圧損炉心）の配置・仕様を選定し、夫々の主要炉心核特性についての評価結果を示した。

また、燃料組成を変更（MA 混入；低除染燃料使用；プルサーマル取出プルトニウム使用）した場合の炉心核特性への影響を把握した。

## 6. 再臨界排除を追求した炉心（中空軸方向ブランケット炉心、径方向非均質炉心）

### 6.1 背景と目的

ナトリウム冷却大型酸化物燃料炉心は、ナトリウムボイド反応度が大きい（ $\beta$ 6 超）と、CDA 起因過程においていわゆる LOF-driven-TOP に至る可能性が高い。また、再臨界排除の観点から、全燃料集合体に内部ダクトを設置（内部ダクト付炉心）すること、及び内部ダクトによる溶融燃料排出時間確保のために外部ダクトを厚肉化する必要がある。これを踏まえて設定したナトリウムボイド反応度低減炉心の配置・仕様及び主要核特性についての検討結果を、第5章で述べた。

本章では、再臨界排除を追求した酸化物燃料炉心として、内部ダクト付炉心以外の炉心・燃料集合体概念（中空軸方向ブランケット炉心、径方向非均質炉心）について、夫々の炉心・燃料仕様及び主要核特性を検討する。



## 6.2 再臨界排除に対する炉心設計側のアプローチ

### (1) 炉心安全性からの要求

実用化戦略調査研究では、実証炉等これまでの炉心設計から一步踏み込んで、炉心崩壊事象に対する耐性を確保するものとし、これを炉心設計条件として明示している。

炉心崩壊事象への備えとして提示された設計条件は、まず、「起因過程での即発臨界の防止」であり、従来からの SAS4A による ULOF 解析経験に基づいて全炉心ナトリウムボイド反応度を制限値以下にするものとし、これを \$6 と設定している。しかしながら、起因過程における事象推移はナトリウムボイド反応度だけでなく、燃料分散時の反応度減少等、炉心形状に依存する要因が大きな比重を占めることから、単に、ナトリウムボイド反応度制限を満足するだけでは判定できず、実際に崩壊事象評価を実施することによって確認するものとしている。

起因過程での即発防止制限を満足することを確認した後、炉心安全評価としては、遷移過程で十分な量の燃料が体系外へ排出されることによって、事象が終息され、デブリの安定冷却に移行できるとしており、このことを確実にするために燃料集合体構造では何らかの溶融燃料排出パスを設置するものとしており、これを「再臨界排除条件」としている。

### (2) 再臨界排除のための炉心・燃料集合体概念

現在の再臨界排除概念としてレファレンス的な位置付けとされている内部ダクト付炉心は、遷移過程における燃料の溶融移動に関して、不確かさを減少させて事故終息性を確保する観点から、全燃料集合体に溶融燃料排出用ダクトを設置している。また、本概念は IGR における実験的研究でより直接的にその妥当性が確認されるものである。しかし、遷移過程における溶融燃料排出のメカニズムについては、楽観的な挙動予測もあり、炉心設計側への負担がもっと少ない概念が幾つか提案されている。したがって、再臨界排除を最も保守的な想定のもとに達成する概念（内部ダクト付炉心）とともに、下記の概念についても炉心燃焼特性をサーベイし、再臨界排除概念の合理化による増殖比等の性能限界の変化を把握するものとした。図 6.2-1 に夫々の燃料集合体概念を示す。

- ・ 中空軸方向ブランケット炉心：下部軸方向ブランケットの一部のペレットを取り除き、また、上下軸方向ブランケットを中空ペレットとすることで溶融燃料の排出を促す炉心概念である(図 6.2-1-B)。
- ・ 径方向非均質炉心：集合体単位で溶融燃料の排出を保証する概念ではないが、ナトリウムボイド反応度を低減でき、かつ、炉心燃料領域を内部ブランケットにより幾つかの小さい円環領域に区切ることが可能な非均質炉心によって、部分溶融プール形成後の燃料排出によって事象が終息

するという概念・シナリオがある。サーマルストライピング等、同概念を採用することによって生ずる幾つかのデメリットについては、研究開発課題の見直し等を再度実施する必要があるが、炉心安全性確保と増殖性確保を両立させる観点から検討すべき炉心概念である(図 6.2-1-C)。

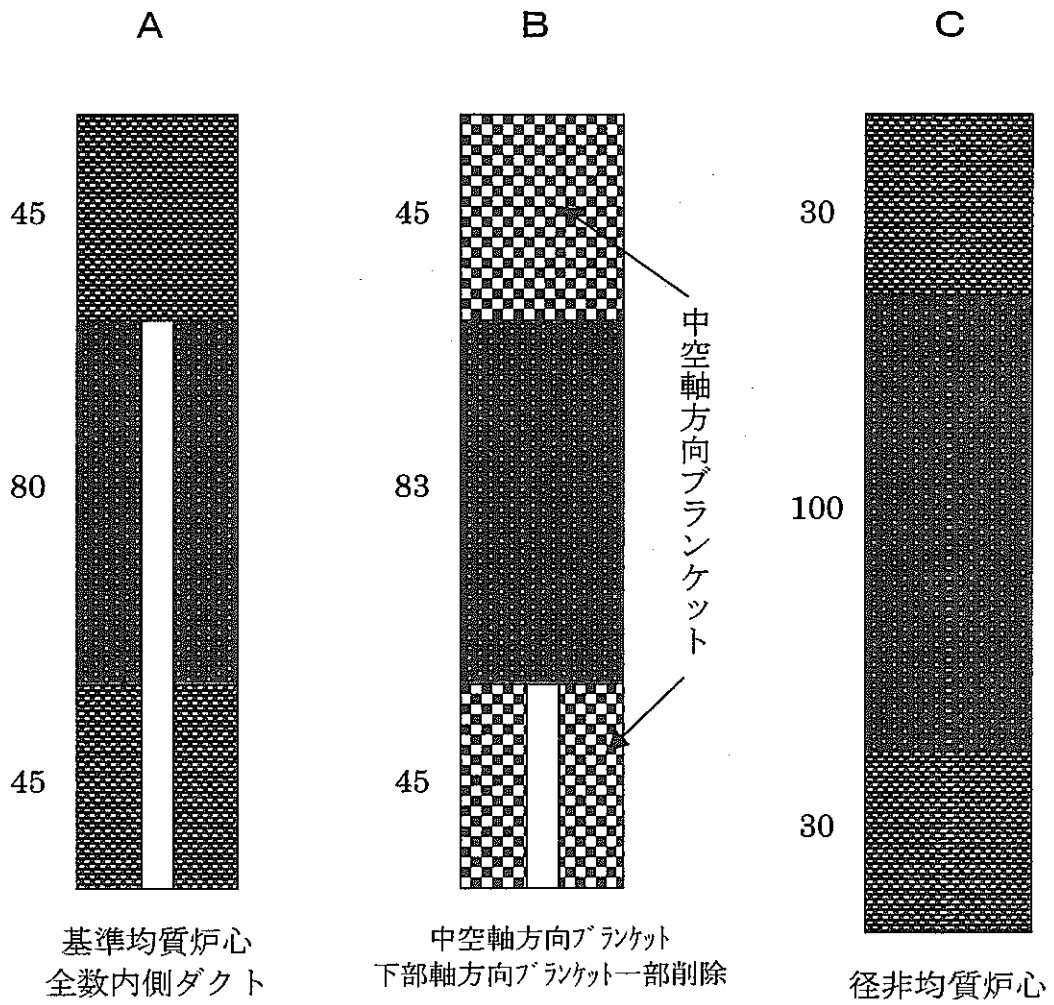


図 6.2-1 再臨界排除炉心の軸方向概念

### 6.3 設計条件及び炉心・燃料仕様設定の考え方

設計条件と核特性目標値は前章の内部ダクト付炉心と同じである。

#### (1) 設計条件

- ・ 炉出力 1600MWe / 3800MWt
- ・ 取出し平均燃焼度 150GWd/t
- ・ 運転サイクル長 18ヶ月
- ・ ボイド反応度 \$6以下
- ・ しゃへい体外接円径 6.6m以下
- ・ 燃料バンドル部圧損 2kg/cm<sup>2</sup>
- ・ 切欠きUISに対応した制御棒配置
- ・ 再臨界排除に対応した炉心・燃料集合体構成
- ・ 燃料組成
  - プルトニウム組成 LWR 取出し
  - MA 混入率 0%
  - 燃料に付随する FP の混入率 0%

#### (2) 核特性目標

- ・ ボイド反応度 \$5台以下
- ・ 増殖比 径方向ブランケットなしで1.0以上
- ・ 燃焼欠損反応度 4.5% Δk/k'程度
- ・ 定格最大線出力 460W/cm

#### (3) 炉心配置及び燃料仕様

炉心配置・燃料仕様を図 6.3-1～図 6.3-3、及び表 6.3-1 に示す。燃料集合体長、燃料ピン全長、燃料バンドル部以外の構成は、長期運転サイクル炉心と同じ仕様とした。炉心燃料は酸化物燃料中空ペレット、炉心材料にはフェライト系鋼を想定した。炉心はいずれも切欠き型 UIS に対応可能な制御棒配置とし、また中空軸方向ブランケット炉心は内部ダクト付炉心と同じ均質 2 領域炉心構成とした。

##### (i) 内部ダクト付炉心 (図 6.3-1)

全燃料集合体に 6cm 径の内部ダクトを設置するとともに、内部ダクトによる熔融燃料排出時間確保のために外部ダクトを厚肉化し、外部ダクトと内部ダクトの肉厚の差を 4mm とした。集合体当りの燃料ピン本数は 294 本であり、中央部の 37 ピン相当分が内部ダクトになっている。

CDA 起因過程においていわゆる LOF-driven-TOP に至らないためのナトリウムボイド反応度の制限値は\$6程度とされる。均質炉心においてボイド反

応度を低減するには炉心有効長を小さくすることが効果的であり、今回の炉心では、ナトリウムボイド反応度を\$6以下とするため炉心有効長を80cmとした。

プラント設計への影響が大きいしゃへい体外接円径(=炉心バレル径)について、プラント設計との取合い条件として6.6mと暫定して検討を進めることとした。しゃへい体外接円径は、5バッチ燃交では7m超となるが、4バッチ燃交では径方向ブランケットなし、しゃへい体3層とすると、6.6mにおさまる。また、炉心特性改善のオプションとして内部ダクト内に短尺燃料ピン(UAB)を導入した構成とした。

#### (ii) 中空軸方向ブランケット炉心 (図 6.3-2)

内部ダクトを設けず、上下の軸方向ブランケットを中空パレットとして熔融燃料の排出効果を持たせ、また、下部軸方向ブランケットの中央37ピンについては、パレットを削除する概念である。軸方向ブランケットは中空径2.5mmとし、スミヤ密度は80.7%TDまで減少した。ナトリウムボイド反応度を\$6以下とするため、炉心有効長は内部ダクト付炉心とほぼ同じ83cmとした。

#### (iii) 径方向非均質炉心 (図 6.3-3)

径方向非均質炉心では、内部ダクトは設けず、炉心燃料領域を内部ブランケットにより幾つかの小さい領域に区切る構成としている。内部ブランケットの割合を全炉心燃料集合体の25%とすることで、内部ブランケットへの中性子リークが大きくなり、炉心有効長100cm程度でも(炉心燃料領域の)ナトリウムボイド反応度\$6以下は達成可能と見込んだ。軸方向ブランケットについては、暫定的に上下とも30cmとした。炉心有効長を増加した分、燃料ピン長が増加しており、炉心圧損を合わせた結果、ワイヤ径は1.44mmとなり、実効燃料体積比は34.9%に低下している。

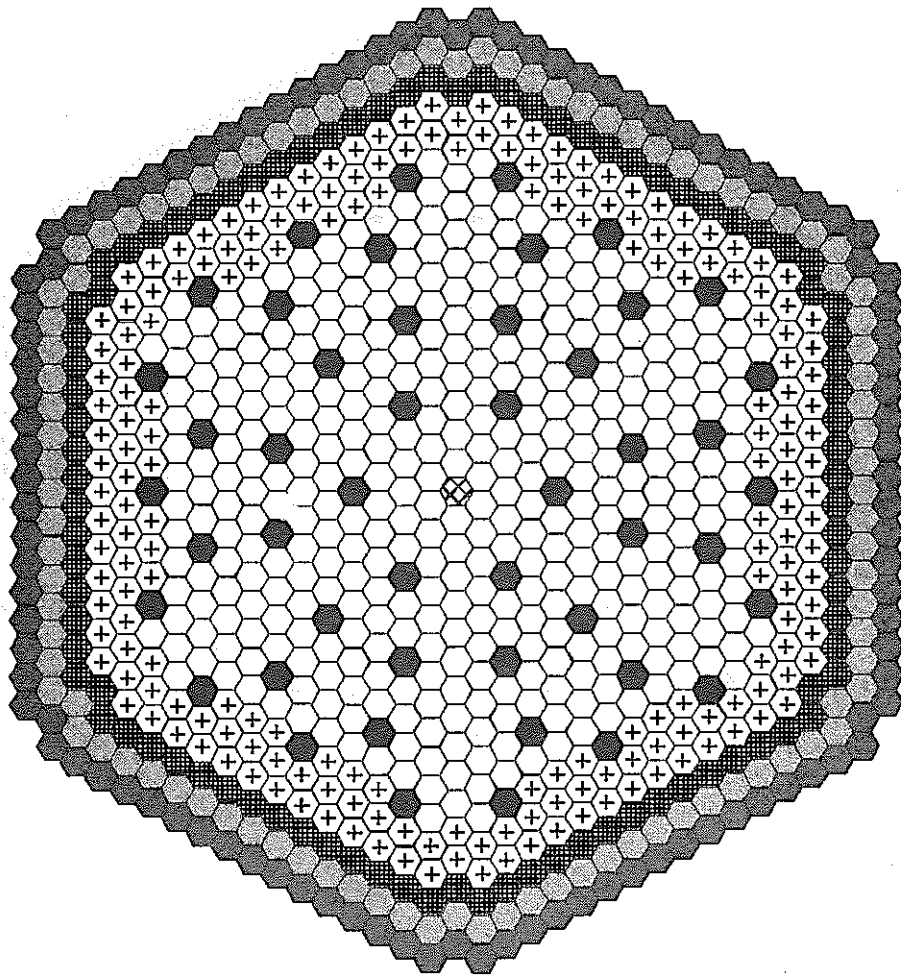
なお、径方向均質炉心の内部ブランケット配置は、出力分布・中性子束分布平坦化の観点からまだ最適化されておらず、暫定案である。

表 6.3-1 炉心の燃料仕様一覧

パラメータ	内部ダクト付炉心 (基準炉心)	中空軸方向 ブランケット炉心	径非均質炉心
炉心燃料	酸化物燃料 中空ペレット	酸化物燃料 中空ペレット	酸化物燃料 中空ペレット
炉心材料	フェライト系鋼	フェライト系鋼	フェライト系鋼
炉心有効長,cm	80	83	100
上/下軸方向ブランケット長,cm	45/45	45/45	30/30
集合体当りピン本数	294	331	331
ピン外径/内径,mm	8.8/7.6	8.8/7.6	8.8/7.6
被覆管肉厚,mm	0.60	0.60	0.60
ペレットスミア密度,%TD	83	83	83
ワイヤ径,mm	1.10	1.15	1.44
ピン配列ピッチ,mm	9.95	10.0	10.3
ワイヤ巻ピッチ,mm	200	200	200
集合体配列ピッチ,mm	196.4	197.4	203.0
ダクト外対面間距離,mm	193.4	194.4	200.0
ダクト肉厚,mm	5	5	5
内部ダクト外対面間距離*,mm	60	-	-
内部ダクト肉厚,mm	1	-	-
集合体実効燃料体積比,%	33.1	36.9	34.9
ピンバンドル圧損,kg/cm <sup>2</sup>	2.0	2.0	2.0
流量,kg/s	37	37	37
炉心燃料集合体数	576	492	366
制御棒本数	48	36	36
炉心等価径,m	5.2	4.8	4.9
しゃへい体外接円径**,m	6.6		

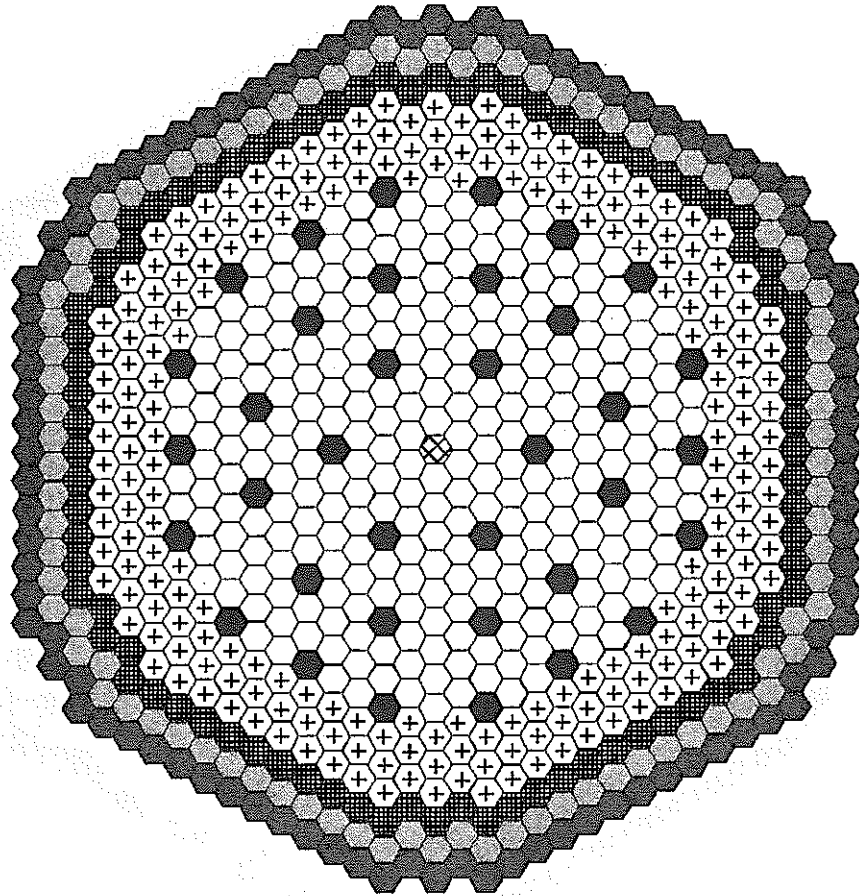
\* 37 ピン相当

\*\* SUS 1 層 ; B<sub>4</sub>C 2 層



○	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遮蔽体	96体
●	B <sub>4</sub> C遮蔽体	102体
●	主炉停止系制御棒	48体
⊠	SUS集合体	1体
合 計		913体

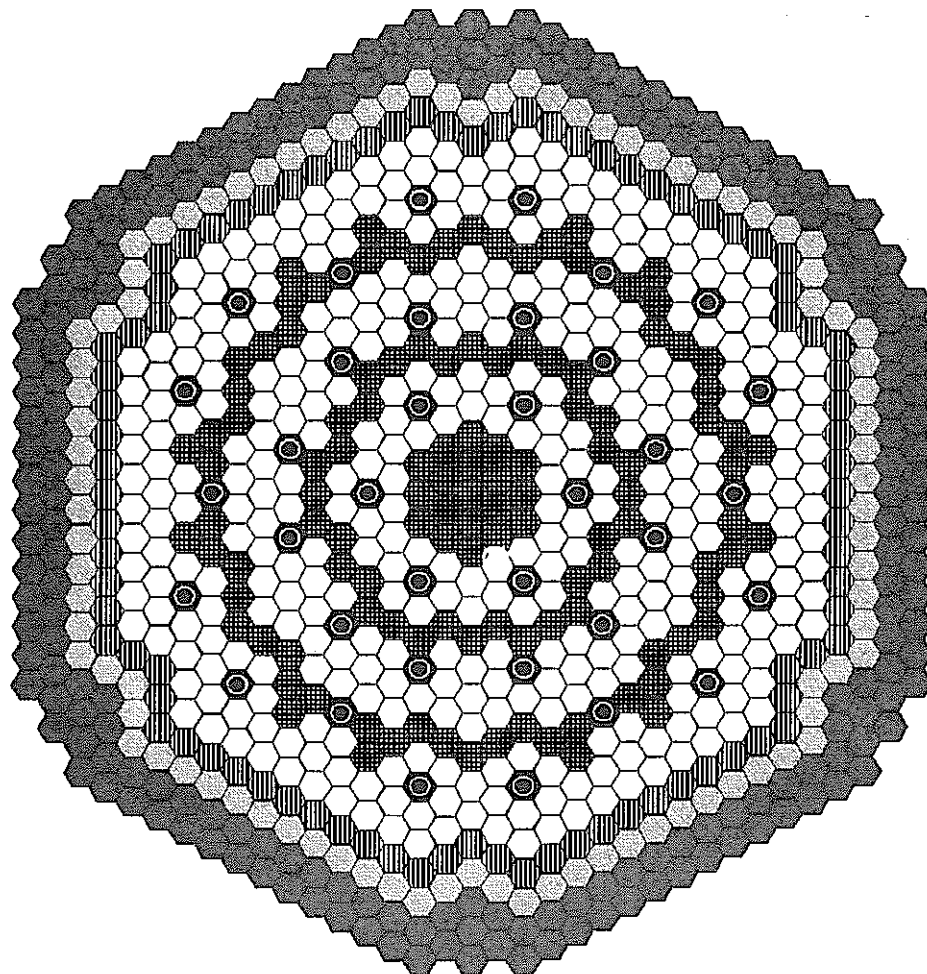
図 6.3-1 基準炉心 (炉心A : 全集合体に内側ダクト)  
 - 径方向ブランケット1層付炉心 -



○	内側炉心燃料集合体	276体
⊕	外側炉心燃料集合体	216体
⊗	径方向ブランケット	84体
●	SUS遮蔽体	90体
■	B <sub>4</sub> C遮蔽体	96体
●	主炉停止系制御棒	36体
⊗	SUS集合体	1体
合 計		799体

図 6.3-2 合理化概念 (炉心 B: 下部軸方向ブランケット一部削除)  
 — 径方向ブランケット1層付炉心 —





○	炉心燃料集合体	366体
■	内部ブランケット	121体
▨	径方向ブランケット	84体
●	SUS反射体	90体
■	B <sub>4</sub> C遮蔽体	204体
◎	制御棒	36体
合 計		901体

図 6.3-3 径方向非均質炉心 (炉心C)  
(暫定炉心)

## 6.4 主要炉心核特性

### (1) 解析手法

核データは、JENDL-3.2 修正炉定数に基づく 7 群ないし 70 群の実効核定数を使用した。2次元 R-Z 炉心体系で CITATION を使用して、拡散・燃焼計算を行った。

### (2) 炉心核特性

2次元燃焼解析に基づく平衡炉心の核特性評価結果を表 6.4-1 に比較して示す。いずれの炉心も、ボイド反応度、燃焼欠損反応度、増殖比に係わる核特性目標値を満足しているが、中空軸方向ブランケット炉心と径方向非均質炉心の核特性は内部ダクト付炉心を凌いでいる。特に径方向非均質炉心は、内部ブランケット配置が十分最適化されていないためピーク線出力が過大となつてはいるが、ベストの性能を与える。

径非均質炉心の核特性上のメリットは下記にある。

- ・ 炉心を極端に扁平化しなくともボイド反応度を低減できる（→炉心を高くできる）。
- ・ 内部ブランケットによる溶融燃料の囲いこみによる再臨界排除の可能性（→集合体内部ダクト不要）。
- ・ 増殖性の向上→酸化物燃料で、経済性（長期運転サイクル、高燃焼度、低除染燃料使用）と環境負荷低減（MA 燃焼、LLFP 核変換）の要求に対応しつつ資源有効利用（増殖比 1.05 確保）が可能。

表 6.4-1 炉心核特性評価結果

パラメータ	内部ダクト付 炉心 (基準炉心)	中空軸ブランケット 炉心	径非均質炉心
サイクル長×バッチ数, 月	18×4	18×4	18×4
内側/外側炉心燃料集合体数	378/198	276/216	366/—
炉心有効長,cm	80	83	100
集合体当り燃料ピン本数	294	331	331
プルトニウム富化度,wt% 内側/外側	22.2/27.7	19.7/22.7	27.1
燃焼欠損反応度,% $\Delta k/kk'$	4.6	3.9	3.3
平衡装荷核分裂性プルトニウム 量,t/バッチ	1.84	1.60	1.85
増殖比(径方向ブランケットなし) (炉心/軸方向ブランケット)	1.04 0.68/0.36	1.07 0.76/0.31	1.12 0.54/0.58
増殖比(径方向ブランケットあり)* (炉心/軸方向ブランケット/径方向ブラ ンケット)	1.13 0.68/0.36/0.09	1.15 0.75/0.31/0.09	1.22 0.54/0.58/0.10
ピーク線出力**,W/cm 内側燃料	397 (BOC)	397 (BOC)	470 (BOC)
外側燃料	397 (BOC)	390 (BOC)	
ピーク高速中性子束, $10^{15}/\text{cm}^2\text{s}$	2.4	2.6	2.3
ピークフルエンス, $10^{23}/\text{cm}^2$	4.4	4.8	4.3
炉心平均取出燃焼度,GWd/t	151	152	149
ナトリウムボイド反応度***,\$	5.4	6.0	4.4 (5.7)****
ドップラ係数, $10^{-3}\text{Tdk/dT}$	-6.9		

\*径方向ブランケット一層

\*\*暫定値(2次元計算; ミスマッチ込; 今後の3次元評価、内部ブランケット配置の最適化により変更の可能性あり)

\*\*\*EOEC炉心部ナトリウムボイド(ダクト間ナトリウムと内部ダクト内ナトリウムは非ボイド);  $1\$=0.34\%dk/kk'$ ; 均質・拡散ベースの計算値

\*\*\*\*内部ブランケット部のナトリウムもボイド時

## 6.5 まとめ

再臨界排除のための大型酸化物燃料炉心（内部ダクト付炉心、中空軸方向ブランケット炉心、径方向非均質炉心）の配置・仕様を選定し、主要炉心核特性について比較評価した。径非均質炉心のメリットを活用できれば、炉心核特性は内部ダクト付炉心に比べ大幅に改善され则认为る。

## 7. 炉心特性の出力依存性

中規模出力（40万kWe）の長期運転サイクル炉心及び倍増時間短縮炉心を設定し、この中型炉心に酸化物燃料、金属燃料、窒化物燃料を用いた場合の燃焼特性を評価するとともに、大型炉心（160万kWe）とその特性を比較した。

### 7.1 40万kWe炉心の設定

#### (1) 炉心基本仕様及び燃料基本仕様

中型炉心の炉心基本仕様及び燃料基本仕様を表7.1-1に示す。

中型炉心は前記2、3及び4で設定した大型炉心より原子炉熱出力（大型炉心；3800MWth、中型炉心；950MWth）、炉心燃料集合体数（大型炉心；462体または450体、中型炉心；114体）のみを1/4に変更し、その他の炉心基本仕様、燃料基本仕様は大型炉心と同じものを用いており、炉心等価直径は大型炉心と比べて2m程度小さくなっている。

中型炉心の主な仕様を以下に示す。

- ・ 炉心熱出力 950MWth
- ・ 運転サイクル長 18ヶ月<sup>\*1</sup>、12ヶ月<sup>\*2</sup>
- ・ バッチ数 5バッチ
- ・ 取出平均燃焼度 15万MWd/t
- ・ 炉心有効長 120cm<sup>\*1</sup>、80cm～85cm<sup>\*2</sup>
- ・ 軸方向ブランケット長 1.2(0)cm/10cm<sup>\*1</sup>、40cm/40cm<sup>\*2</sup>
- ・ 燃料ピン本数(内部ダクト有/無) 234本/271本<sup>\*1</sup>、336本/397本<sup>\*2</sup>
- ・ ラッパ管肉厚 3mm
- ・ 集合体間ギャップ 3mm
- ・ ワイヤ巻き付きピッチ 150mm
- ・ バンドル部圧損 3kg/cm<sup>2</sup>程度

#### (2) 炉心配置

炉心配置図を図7.1-1に示す。

炉心は内側炉心燃料集合体54体、外側炉心燃料集合体60体、径方向ブランケット集合体90体、SUS遮へい体54体、B<sub>4</sub>C遮へい体126体、制御棒12体、SUS集合体1体の合計397体で構成されている。

ここで、径方向ブランケット集合体は大型炉心と同じように2層配置しているが、炉心燃料集合体数に対する径方向ブランケット集合体の割合は大型炉心の約2倍（大型炉心；0.3～0.4、中型炉心；0.8）になっている。

\*1 長期運転サイクル炉心

\*2 倍増時間短縮炉心

表 7.1-1 中型炉心における各燃料形態の炉心基本仕様・燃料基本仕様

燃料	酸化物燃料		金属燃料		窒化物燃料			
	長期運転サイクル炉心	倍増時間短縮炉心	長期運転サイクル炉心	倍増時間短縮炉心	長期運転サイクル炉心	倍増時間短縮炉心	長期運転サイクル炉心	倍増時間短縮炉心
ボンド材	He	←	Na	←	He	←	Na	←
FPガス放出率 (%)	100	←	80	←	100	←	50	←
原子炉熱出力 (MW)	950	←	←	←	←	←	←	←
運転サイクル長 (月)	18	12	18	12	18	12	18	12
燃料交換バッチ数	5	←	←	←	←	←	←	←
集合体数 (体 ; IC/OC/RB)	54/60/90	←	←	←	←	←	←	←
炉心高さ/燃料要素長 (cm)	120/297.5	80/297.5	120/297.5	82/279	120/297.5	82/263	120/297.5	85/285
軸ブラケット長 (cm ; 上/下)	1.2/10	40/40	0/10	40/40	1.2/10	40/40	1.2/10	40/40
ガスプレナム長 (cm ; 上/下) *1	29.8/127.5	31.0/97.5	161.5/0	111.0/0	29.8/127.5	5.0/87.0	160.3/0	114.0/0
ピン本数 (本 ; 内部ダクト付/無)	234/271	336/397	234/271	336/397	234/271	336/397	234/271	336/397
スミア密度 (%)	82	←	75	←	80	←	←	←
被覆管内径 (mm) *2	8.50	6.88	7.38	5.92	7.32	5.87	7.32	5.77
被覆管肉厚 (mm) *1	0.60	0.55	0.82	0.74	0.73	0.67	0.54	0.51
被覆管外径 (mm)	9.70	7.98	9.02	7.40	8.78	7.21	8.40	6.79
ラッパ管肉厚 (mm)	3	←	←	←	←	←	←	←
集合体間ギャップ (mm)	3	←	←	←	←	←	←	←
ワイヤ径 (mm) *3	1.40	1.20	1.50	1.30	1.55	1.34	1.65	1.52
ワイヤ巻付ピッチ (mm)	150	←	←	←	←	←	←	←
ポロシティ/リング (mm/ring)	0.086	0.093	0.086	0.095	0.086	0.084	0.086	0.087
集合体配列ピッチ (mm)	195.4	←	185.9	←	182.8	←	178.2	←
等価直径 (cm ; 炉心/径ブラケット)	231/302	←	220/288	←	216/283	←	211/276	←
実効燃料体積比 (%) ; IC/OC/平均	32.9/38.2/35.3	31.0/36.6/35.1	25.1/29.0/26.9	23.2/27.4/26.3	27.2/31.5/29.2	25.1/29.7/28.5	28.6/33.2/30.7	25.6/30.2/29.0
MOXとのHM密度比をweight (%) ; 平均	-	-	39.2	38.3	40.5	39.5	42.6	40.2
構造材体積比 *4	21.3	22.7	27.0	23.2	25.4	27.2	21.8	23.7
冷却材体積比 *4	32.2	32.6	34.2	34.9	35.1	35.7	36.8	38.6

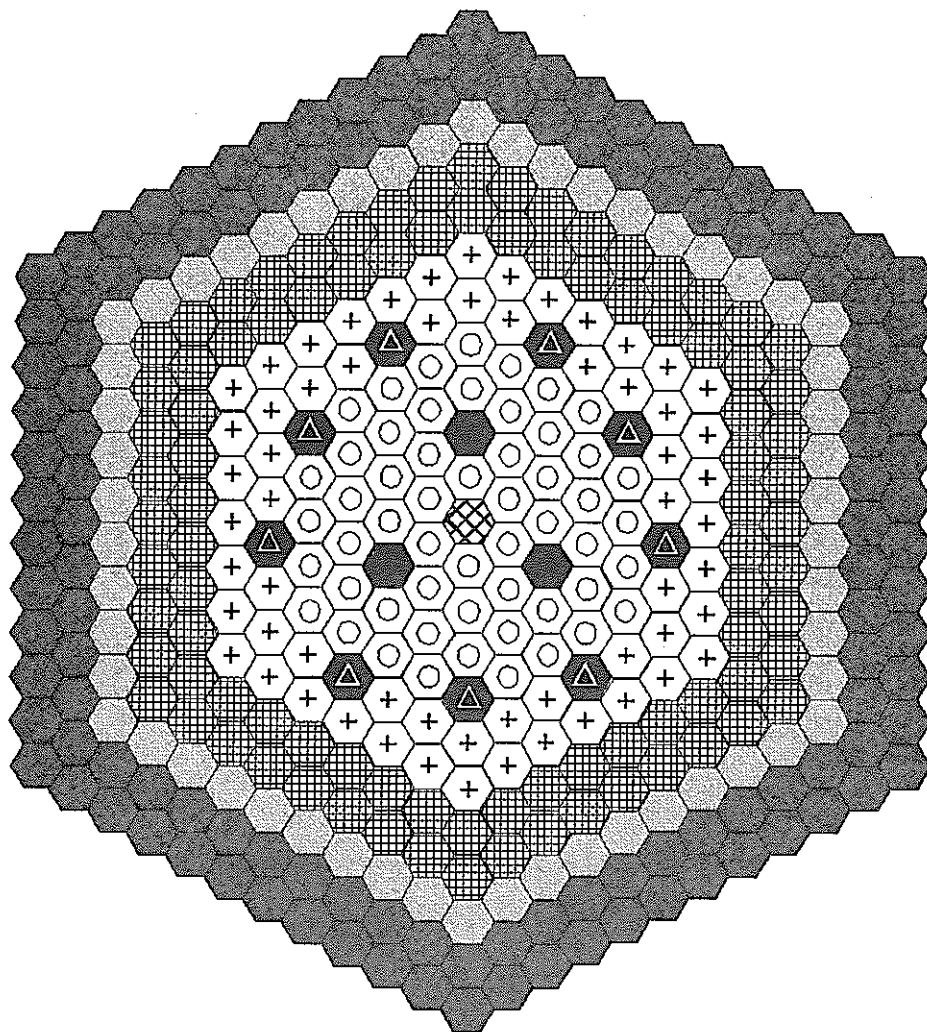
\*1 : 酸化物燃料の仕様を基に寿命末期の被覆管応力が同じになるように設定。

\*2 : 取出平均燃焼度15万MWd/tが得られるように設定。

[Pu同位体組成] : [Pu238/Pu239/Pu240/Pu241/Pu242/Am241=3/52/27/9.5/7/1.5]

\*3 : バンドル部圧損が酸化物燃料と同じになるように設定。

\*4 : 内部ダクト領域内を除く。



⊙	内側炉心燃料集合体(内部ダクト付)	54体
⊕	外側炉心燃料集合体	60体
⊞	径ブランケット集合体	90体
⊠	SUS遮蔽体	54体
⬢	B <sub>4</sub> C遮蔽体	126体
●	制御棒(起動棒)	3体
△	制御棒(調整棒)	9体
⊗	SUS集合体	1体
合 計		397体

図 7.1-1 中型炉心の炉心配置図 (内部ダクト付燃料 54 体装荷炉心)

## 7.2 40万kWe炉心の燃焼特性

### (1) 解析方法

解析方法は前記 4.2.2 と同じである。

### (2) 解析結果

#### (i) 炉心燃焼特性

中型炉心の燃焼特性解析結果を表 7.2-1 及び図 7.2-1～図 7.2-2 に示す。

#### (a) 炉心平均プルトニウム富化度

酸化物燃料と金属燃料、窒化物燃料の炉心平均プルトニウム富化度を比べると、長期運転サイクル炉心、倍増時間短縮炉心ともに金属燃料が 3wt% 程度、ヘリウムボンド窒化物燃料が 3wt% 程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 4wt% 程度小さくなる。

また、長期運転サイクル炉心と倍増時間短縮炉心の炉心平均プルトニウム富化度を比べると、倍増時間短縮炉心は各燃料形態とも 5wt% 程度大きくなる。

#### (b) 初装荷核分裂性プルトニウム量

酸化物燃料と金属燃料、窒化物燃料の初装荷核分裂性プルトニウム量を比べると、長期運転サイクル炉心では金属燃料が 0.3t 程度、ヘリウムボンド窒化物燃料が 0.3t 程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 0.4t 程度小さくなる。倍増時間短縮炉心では金属燃料、窒化物燃料とも 0.2t 程度小さくなる。

また、長期運転サイクル炉心と倍増時間短縮炉心の初装荷核分裂性プルトニウム量を比べると、倍増時間短縮炉心は酸化物燃料が 0.5t 程度、金属燃料が 0.4t 程度、ヘリウムボンド窒化物燃料が 0.4t 程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 0.3t 程度小さくなる。

参考に、各燃料形態の領域別物質収支を表 7.2-2～表 7.2-9 に示す。

#### (c) 燃焼欠損反応度

酸化物燃料と金属燃料、窒化物燃料の燃焼欠損反応度を比べると、長期運転サイクル炉心では金属燃料が 0.7%  $\Delta k/kk'$  程度、ヘリウムボンド窒化物燃料が 0.7%  $\Delta k/kk'$  程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 1.1%  $\Delta k/kk'$  程度小さくなる。倍増時間短縮炉心では金属燃料が 0.3%  $\Delta k/kk'$  程度、ヘリウムボンド窒化物燃料が 0.3%  $\Delta k/kk'$  程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 0.5%  $\Delta k/kk'$  程度小さくなる。

また、長期運転サイクル炉心と倍増時間短縮炉心の燃焼欠損反応度を比べると、倍増時間短縮炉心は酸化物燃料が 0.5%  $\Delta k/kk'$  程度、金属燃料



が 0.9%  $\Delta k/kk'$  程度、ヘリウムボンド窒化物燃料が 0.9%  $\Delta k/kk'$  程度、ナトリウムボンド窒化物燃料が 1.1%  $\Delta k/kk'$  程度大きくなる。

(d) 増殖比

酸化物燃料と金属燃料、窒化物燃料の増殖比を比べると、長期運転サイクル炉心、倍増時間短縮炉心とも金属燃料、窒化物燃料は 0.1 程度大きくなる。

また、長期運転サイクル炉心と倍増時間短縮炉心の増殖比を比べると、倍増時間短縮炉心は各燃料形態で 0.1 程度大きくなる。

(e) 原子炉倍増時間<sup>\*1</sup>

酸化物燃料と金属燃料、窒化物燃料の原子炉倍増時間を比べると、倍増時間短縮炉心では金属燃料、窒化物燃料とも 10 年程度短くなる。

(f) 最大高速中性子照射量

酸化物燃料と金属燃料、窒化物燃料の最大高速中性子照射量を比べると、長期運転サイクル炉心、倍増時間短縮炉心とも金属燃料が 30% 程度、窒化物燃料が 20% 程度大きくなる。

また、長期運転サイクル炉心と倍増時間短縮炉心の最大高速中性子照射量を比べると、倍増時間短縮炉心は各燃料形態で 20% 程度小さくなる。

(g) ナトリウムボイド反応度

酸化物燃料と金属燃料、窒化物燃料のナトリウムボイド反応度を比べると、長期運転サイクル炉心、倍増時間短縮炉心とも金属燃料が 0.6%  $\Delta k/kk'$  程度、窒化物燃料が 0.3%  $\Delta k/kk'$  ~ 0.4%  $\Delta k/kk'$  程度大きくなる。

また、長期運転サイクル炉心と倍増時間短縮炉心のナトリウムボイド反応度を比べると、倍増時間短縮炉心は各燃料形態で 0.5%  $\Delta k/kk'$  ~ 0.6%  $\Delta k/kk'$  程度小さくなる。

---

<sup>\*1</sup> 初装荷炉心部核分裂性プルトニウム量/(365 日/運転サイクル長\*(EOEC 全核分裂性プルトニウム量-BOEC 全核分裂性プルトニウム量))

表 7.2-1 中型炉心における各燃料形態の燃焼特性 (2次元 R-Z 計算)

燃料	酸化物燃料		金属燃料		窒化物燃料				
	長期運転サイクル炉心	倍増時間短縮炉心	長期運転サイクル炉心	倍増時間短縮炉心	長期運転サイクル炉心	倍増時間短縮炉心	長期運転サイクル炉心	倍増時間短縮炉心	
Pu富化度 (wt% ; IC/OC/平均) *1	20.6/25.4/23.3	25.5/30.6/28.4	17.5/21.9/20.0	22.4/27.2/25.1	17.8/22.4/20.4	22.8/27.5/25.5	16.8/21.3/19.3	21.9/26.8/24.7	
初装荷Puf量 (t)	2.25	1.74	1.96	1.57	1.96	1.56	1.86	1.52	
取出平均燃焼度 (万Mwd/t)	14.9	15.2	14.5	14.8	14.8	15.2	14.8	15.1	
燃焼反応度 (%Δk/kk')	3.9	4.4	3.2	4.1	3.2	4.1	2.8	3.9	
増殖比 (-) [炉心部/ブランケット/合計]	BOEC	0.70/0.34/1.04	0.56/0.59/1.15	0.74/0.41/1.15	0.59/0.65/1.24	0.75/0.40/1.15	0.60/0.63/1.23	0.78/0.40/1.18	0.62/0.63/1.25
	MOEC	0.70/0.35/1.05	-	0.74/0.41/1.15	-	0.75/0.40/1.15	-	0.78/0.40/1.18	-
	EOEC	0.70/0.37/1.07	0.57/0.64/1.21	0.73/0.44/1.17	0.59/0.70/1.29	0.74/0.43/1.17	0.60/0.68/1.28	0.76/0.43/1.19	0.62/0.67/1.29
	平均	0.70/0.35/1.05	0.56/0.62/1.18	0.74/0.42/1.16	0.59/0.67/1.26	0.74/0.41/1.15	0.60/0.65/1.25	0.77/0.41/1.18	0.62/0.65/1.27
最大線出力 *2 [内側炉心/外側炉心]	BOEC	416/419	399/401	408/406	390/387	408/408	392/389	403/402	376/376
	MOEC	400/400	-	395/386	-	394/388	-	392/383	-
	EOEC	386/383	358/364	382/368	351/350	381/370	351/351	381/365	339/338
出力分担率 (%) [炉心/軸ブラ/径ブラ]	BOEC	92.8/1.3/5.8	89.6/5.1/5.3	91.7/1.4/6.9	89.1/4.8/6.1	91.8/1.4/6.7	89.3/4.9/5.9	91.7/1.4/6.9	89.1/4.8/6.1
	MOEC	91.5/1.4/6.2	-	90.5/1.5/7.3	-	90.7/1.5/7.1	-	90.7/1.5/7.3	-
	EOEC	90.0/1.8/8.2	85.8/6.9/7.3	88.4/1.9/9.8	85.0/6.7/8.4	88.5/1.9/9.5	85.2/6.7/8.1	88.4/1.9/9.6	85.0/6.5/8.4
最大高速中性子束 (n/cm <sup>2</sup> ・s ; 平均)	1.97E+15	2.45E+15	2.63E+15	3.20E+15	2.37E+15	2.94E+15	2.43E+15	2.98E+15	
最大高速中性子照射量 (n/cm <sup>2</sup> ) *3	4.60E+23	3.86E+23	6.14E+23	5.05E+23	5.54E+23	4.63E+23	5.68E+23	4.69E+23	
原子炉倍増時間 (年) *4	102.7	28.7	36.2	18.8	35.4	19.0	29.4	17.2	
Puf利得 (kg/年)	21.9	60.6	54.1	83.5	55.4	82.1	63.3	88.4	
Naボイド反応度 (%Δk/kk') *5	2.0	1.4	2.6	2.0	2.3	1.8	2.4	1.8	

\*1 : Pu富化度はICとOCの線出力比が同じになるように設定。

\*2 : 燃焼ミスマッチファクタ考慮。

\*3 : (最大高速中性子束) \*サイクル長\*バッチ\*24hr\*3600s

\*4 : 初装荷炉心部Puf重量 / (365日/運転サイクル長 \* (EOEC全Puf重量 - BOEC全Puf重量))

\*5 : 炉心領域のラッパ管内側 (内部ダクト領域内を除く) のみボイド化、EOEC

表 7.2-2 中型長期運転サイクル炉心の領域別物質収支  
(酸化物燃料; 5 バッチ×18 ヶ月運転, 取出平均燃焼度 15 万 MWd/t) [1/4]

全領域							船プランケット領域						
	初核燃料	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料供給	取出し燃料		初核燃料	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料供給	取出し燃料
FU230	109.0	81.4	84.5	-6.9	22.0	15.1	FU230	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FU239	1902.3	2032.0	2097.3	64.7	389.5	465.2	FU239	0.0	36.6	52.1	15.5	0.0	15.5
FU240	997.7	1096.3	1019.2	9.9	197.5	297.4	FU240	0.0	3.2	5.6	2.3	0.0	2.3
FU241	347.5	269.3	228.0	-92.3	69.5	37.2	FU241	0.0	0.2	0.4	0.2	0.0	0.2
FU242	255.1	244.3	237.5	-6.8	51.2	44.4	FU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U235	102.9	81.5	72.2	-9.3	20.6	11.3	U235	4.0	2.9	2.4	-0.5	0.9	0.3
U236	0.0	4.6	5.5	1.9	0.0	1.9	U236	0.0	0.3	0.4	0.1	0.0	0.1
U238	34157.6	33021.7	32451.0	-576.0	6631.5	6201.5	U238	1019.6	1202.5	1230.7	-25.9	282.7	236.9
NP237	0.0	3.0	5.5	1.7	0.0	1.7	NP237	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
NP239	0.0	2.6	3.2	0.6	0.0	0.6	NP239	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0
AM241	54.9	67.7	71.3	3.6	11.0	14.6	AM241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	2.8	3.9	1.1	0.0	1.1	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	16.1	25.7	7.5	0.0	7.5	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	3.0	3.0	0.0	0.0	0.0	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.2	0.3	0.1	0.0	0.1	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	4.3	7.3	3.0	0.0	3.0	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.3	0.6	0.3	0.0	0.3	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FU..TOTAL	3003.4	3697.0	3665.5	-28.5	720.7	749.2	FU..TOTAL	0.0	40.0	58.0	18.0	0.0	18.0
FU..FISCIILE	2249.8	2292.3	2325.3	32.4	450.5	492.4	FU..FISCIILE	0.0	36.8	52.5	15.7	0.0	15.7
FIS..RATIO..(%)	62.4	63.0	63.4	0.0	62.4	64.4	FIS..RATIO..(%)	0.0	92.0	90.6	0.0	0.0	87.1
FU..ENRICHMENT..(W/O)	9.5	9.9	10.1	0.0	9.5	10.6	FU..ENRICHMENT..(W/O)	0.0	3.1	4.5	0.0	0.0	7.0
U..TOTAL	34250.4	33197.0	32590.5	-577.4	6952.1	6274.7	U..TOTAL	1317.6	1265.6	1239.4	-26.2	282.5	237.4
U235	102.9	81.5	72.2	-9.3	20.6	11.3	U235	4.0	2.9	2.4	-0.5	0.9	0.3
U..ENRICHMENT..(W/O)	0.3	0.3	0.2	0.0	0.3	0.2	U..ENRICHMENT..(W/O)	0.3	0.2	0.2	0.0	0.3	0.1
TRU..TOTAL	54.9	102.9	121.6	19.7	11.0	25.7	TRU..TOTAL	6.0	0.2	0.4	0.1	0.0	0.1
NP..TOTAL	0.0	6.4	9.7	2.3	0.0	2.3	NP..TOTAL	0.0	0.2	0.3	0.1	0.0	0.1
AM..TOTAL	54.9	86.6	109.9	12.2	11.0	23.2	AM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM..TOTAL	0.0	7.0	12.0	4.2	0.0	4.2	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO..(W/O)	0.1	0.3	0.3	0.0	0.1	0.4	TRU..RATIO..(W/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NU..TOTAL	39516.6	36847.6	36317.5	-500.1	7503.7	7053.6	NU..TOTAL	1317.6	1305.9	1287.8	-8.1	282.5	255.5
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

炉心燃料領域							住プランケット領域						
	初核燃料	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料供給	取出し燃料		初核燃料	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料供給	取出し燃料
FU230	109.0	51.3	84.4	-7.0	22.0	15.0	FU230	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
FU239	1902.3	1716.2	1639.6	-64.4	389.5	285.0	FU239	0.0	272.8	411.7	132.9	0.0	132.3
FU240	997.7	994.7	933.0	-1.0	197.5	136.6	FU240	0.0	16.4	19.0	6.6	0.0	6.6
FU241	347.5	259.9	226.9	-92.3	69.5	35.5	FU241	0.0	0.3	0.6	0.4	0.0	0.4
FU242	255.1	244.3	237.5	-6.9	51.2	44.4	FU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U235	36.1	23.8	16.8	-5.0	7.2	2.2	U235	62.7	54.9	51.1	-3.9	12.5	8.7
U236	0.0	2.6	3.4	0.9	0.0	0.9	U236	0.0	1.9	2.9	0.9	0.0	0.9
U238	12069.2	11252.3	10899.4	-169.9	2499.7	2031.9	U238	20849.7	20507.0	20321.7	-176.3	4168.1	3992.9
NP237	0.0	3.0	4.2	1.2	0.0	1.2	NP237	0.0	0.7	1.1	0.4	0.0	0.4
NP239	0.0	1.6	2.0	0.4	0.0	0.4	NP239	0.0	0.8	1.1	0.2	0.0	0.2
AM241	54.9	67.7	71.3	3.6	11.0	14.6	AM241	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	2.8	3.9	1.1	0.0	1.1	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	16.1	25.7	7.5	0.0	7.5	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	3.0	3.0	0.0	0.0	0.0	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.2	0.3	0.1	0.0	0.1	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	4.3	7.3	3.0	0.0	3.0	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.3	0.6	0.3	0.0	0.3	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FU..TOTAL	3603.4	3308.4	3176.1	-132.3	720.7	586.4	FU..TOTAL	0.0	289.6	431.5	142.9	0.0	142.9
FU..FISCIILE	2249.8	1979.0	1860.5	-117.5	450.5	332.5	FU..FISCIILE	0.0	278.1	412.3	134.2	0.0	134.2
FIS..RATIO..(%)	62.4	63.6	68.6	0.0	62.4	68.6	FIS..RATIO..(%)	0.0	96.4	95.6	0.0	0.0	94.0
FU..ENRICHMENT..(W/O)	9.5	22.5	22.4	0.0	23.0	22.2	FU..ENRICHMENT..(W/O)	0.0	1.4	2.1	0.0	0.0	2.6
U..TOTAL	12039.4	11278.0	10899.6	-373.0	2499.7	2034.9	U..TOTAL	20849.7	20507.0	20321.7	-176.3	4168.1	3992.9
U235	36.1	23.8	16.8	-5.0	7.2	2.2	U235	62.7	54.9	51.1	-3.9	12.5	8.7
U..ENRICHMENT..(W/O)	0.3	0.2	0.2	0.0	0.3	0.1	U..ENRICHMENT..(W/O)	0.3	0.3	0.3	0.0	0.3	0.2
TRU..TOTAL	54.9	101.0	119.0	18.0	11.0	29.0	TRU..TOTAL	0.0	1.6	2.2	5.6	0.0	6.6
NP..TOTAL	0.0	4.6	6.2	1.6	0.0	1.6	NP..TOTAL	0.0	1.5	2.1	0.6	0.0	0.6
AM..TOTAL	54.9	86.6	109.6	12.2	11.0	23.2	AM..TOTAL	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
CM..TOTAL	0.0	7.0	12.0	4.2	0.0	4.2	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO..(W/O)	0.4	0.7	0.8	0.0	0.4	1.1	TRU..RATIO..(W/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NU..TOTAL	15697.6	14698.0	14200.6	-497.3	3199.5	2652.2	NU..TOTAL	20849.7	20507.0	20319.1	-34.7	4168.1	4146.0
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

表 7.2-3 中型長期運転サイクル炉心の領域別物質収支  
(金属燃料; 5 バッチ×18 ヶ月運転, 取出平均燃焼度 15 万 MWd/t) [2/4]

全燃料 [kg]							燃料ブランケット種類 [kg]						
	初燃炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料装荷	取出し燃料		初燃炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料装荷	取出し燃料
FU238	95.5	77.5	70.7	-5.8	19.1	12.3	FU238	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FU239	1655.9	1607.5	1599.1	(11.4)	331.2	442.0	FU239	0.0	37.8	53.8	16.1	0.0	16.1
FU240	859.8	857.0	856.0	-0.4	172.0	171.6	FU240	0.0	2.6	4.5	1.9	0.0	1.9
FU241	302.5	217.4	185.0	-31.8	60.5	25.9	FU241	0.0	0.1	0.3	0.1	0.0	0.1
FU242	222.9	211.5	204.5	-6.6	44.8	36.0	FU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U235	126.9	102.0	92.5	-10.3	25.3	15.0	U235	4.3	3.1	2.7	-0.5	0.9	0.4
U238	0.0	4.9	6.8	2.0	0.0	2.0	U238	0.0	0.3	0.4	0.1	0.0	0.1
U239	4184.4	4078.2	40173.5	-594.3	8385.9	7792.6	U239	1414.0	1322.5	1336.0	-26.2	282.8	256.7
NP237	0.0	4.2	5.0	1.9	0.0	1.8	NP237	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
NP239	0.0	2.7	3.3	0.7	0.0	0.7	NP239	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0
AM241	47.6	59.6	61.4	2.9	9.8	12.4	AM241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	2.2	2.1	0.0	0.0	0.0	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	14.7	20.7	6.1	0.0	6.1	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	2.5	3.1	0.6	0.0	0.6	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	3.3	5.6	2.3	0.0	2.3	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.2	0.4	0.2	0.0	0.2	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FU..TOTAL	3136.6	3250.9	3317.1	66.3	827.3	683.6	FU..TOTAL	0.0	40.5	58.7	18.1	0.0	18.1
FU..FISSILE	1655.4	2104.8	2184.3	80.0	331.7	431.7	FU..FISSILE	0.0	37.9	54.1	16.2	0.0	16.2
FIS..RATIO.(%)	52.4	64.8	65.8	0.0	62.4	63.0	FIS..RATIO.(%)	0.0	93.5	92.2	0.0	0.0	93.3
FU..ENRICHMENT.(%/O)	6.9	7.4	7.6	0.0	6.9	8.1	FU..ENRICHMENT.(%/O)	0.0	2.9	4.2	0.0	0.0	6.6
U..TOTAL	42110.7	40486.7	40273.1	-612.6	8422.1	7809.5	U..TOTAL	1418.9	1385.9	1339.3	-26.6	282.8	257.2
U235	126.9	102.0	92.5	-10.3	25.3	15.0	U235	4.3	3.1	2.7	-0.5	0.9	0.4
U..ENRICHMENT.(%/O)	0.3	0.3	0.2	0.0	0.3	0.2	U..ENRICHMENT.(%/O)	0.3	0.2	0.2	0.0	0.0	0.1
TRU..TOTAL	47.8	88.5	104.0	15.5	9.8	25.3	TRU..TOTAL	0.0	0.3	0.4	0.1	0.0	0.1
NP..TOTAL	0.0	6.9	8.4	1.5	0.0	2.5	NP..TOTAL	0.0	0.2	0.3	0.1	0.0	0.1
AM..TOTAL	47.6	75.6	85.2	9.8	9.8	19.3	AM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM..TOTAL	0.0	6.2	8.4	2.2	0.0	3.2	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO.(%/O)	0.1	0.2	0.2	0.0	0.1	0.3	TRU..RATIO.(%/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HW..TOTAL	45295.1	44225.1	43854.2	-539.8	8059.0	8528.2	HW..TOTAL	1418.9	1408.7	1396.3	-8.4	283.8	275.4
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

炉心燃料領域 [kg]							燃料ブランケット種類 [kg]						
	初燃炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料装荷	取出し燃料		初燃炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料装荷	取出し燃料
FU238	95.5	77.4	70.5	-6.9	13.1	12.2	FU238	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
FU239	1655.9	1533.9	1476.5	-58.4	331.2	272.8	FU239	0.0	315.8	483.7	153.9	0.0	153.9
FU240	859.8	847.3	839.1	-8.2	172.0	163.7	FU240	0.0	7.1	19.1	5.8	0.0	5.9
FU241	302.5	217.1	185.2	-31.9	60.5	28.6	FU241	0.0	0.1	0.3	0.2	0.0	0.2
FU242	222.9	211.5	204.9	-6.6	44.8	38.0	FU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U235	38.2	24.8	19.5	-6.4	7.8	2.3	U235	83.9	74.8	70.4	-4.5	16.8	12.3
U238	0.0	2.5	3.5	0.9	0.0	0.9	U238	0.0	2.0	2.9	1.0	0.0	1.0
U239	12702.6	11324.9	11545.3	-273.5	2540.5	2161.0	U239	27867.3	27480.9	27292.3	-198.5	5572.5	5374.9
NP237	0.0	3.2	4.5	1.3	0.0	1.3	NP237	0.0	0.3	1.3	0.5	0.0	0.5
NP239	0.0	1.6	2.0	0.4	0.0	0.4	NP239	0.0	0.3	1.2	0.3	0.0	0.9
AM241	47.6	56.6	61.4	2.3	3.6	12.4	AM241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	2.2	2.1	0.3	0.0	0.3	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	14.7	20.7	6.1	0.0	6.1	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	2.5	3.1	0.6	0.0	0.6	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	3.3	5.6	2.3	0.0	2.3	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.2	0.4	0.2	0.0	0.2	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FU..TOTAL	3136.6	2997.2	2775.3	-111.5	827.3	615.4	FU..TOTAL	0.0	323.1	489.2	160.1	0.0	160.1
FU..FISSILE	1655.4	1751.0	1660.6	-50.3	331.7	301.4	FU..FISSILE	0.0	315.9	470.0	154.1	0.0	154.1
FIS..RATIO.(%)	52.4	60.7	62.6	0.0	62.4	60.5	FIS..RATIO.(%)	0.0	97.8	97.3	0.0	0.0	86.3
FU..ENRICHMENT.(%/O)	19.7	10.3	10.2	0.0	19.7	19.1	FU..ENRICHMENT.(%/O)	0.0	1.2	1.7	0.0	0.0	2.9
U..TOTAL	12740.0	11852.2	11569.2	-304.0	2548.2	2164.2	U..TOTAL	27351.1	27667.7	27365.0	-202.0	5590.2	5309.2
U235	38.2	24.9	19.5	-6.4	7.6	2.3	U235	83.9	74.0	70.4	-4.5	16.8	12.3
U..ENRICHMENT.(%/O)	0.3	0.2	0.2	0.0	0.3	0.1	U..ENRICHMENT.(%/O)	0.3	0.3	0.3	0.0	0.0	0.2
TRU..TOTAL	47.8	86.4	101.1	14.7	9.8	24.2	TRU..TOTAL	0.0	1.9	2.5	0.7	0.0	0.7
NP..TOTAL	0.0	4.8	6.5	1.7	0.0	1.7	NP..TOTAL	0.0	1.8	2.5	0.7	0.0	0.7
AM..TOTAL	47.6	75.4	85.2	9.8	9.8	19.3	AM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM..TOTAL	0.0	6.2	8.4	2.2	0.0	3.2	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO.(%/O)	0.3	0.8	0.7	0.0	0.3	0.8	TRU..RATIO.(%/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HW..TOTAL	15918.2	14316.9	14444.0	-481.3	3185.0	2703.9	HW..TOTAL	27351.1	27892.6	27851.4	-41.2	5590.2	5449.0
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

表 7.2-4 中型長期運転サイクル炉心の領域別物質収支  
 (窒化物燃料(ヘリウム); 5 バッチ×18 ヶ月運転, 取出平均燃焼度 15 万 MWd/t) [3/4]

全領域							炉ブランケット領域						
	初核種炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料投入	取出し燃料		初核種炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料投入	取出し燃料
FU230	55.7	78.1	71.5	-6.6	15.1	12.0	FU230	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FU239	1659.2	1894.5	2005.0	111.4	331.8	443.0	FU239	0.0	38.4	54.5	10.1	0.0	16.1
FU240	861.0	875.2	894.0	8.6	172.2	180.8	FU240	0.0	3.2	5.4	2.3	0.0	2.3
FU241	302.3	222.2	192.0	-29.5	60.6	31.1	FU241	0.0	0.2	0.4	0.2	0.0	0.2
FU242	223.2	211.8	205.2	-6.5	44.6	38.1	FU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U235	117.8	94.3	84.1	-10.2	23.0	12.4	U235	4.2	3.0	2.5	-0.5	0.0	0.3
U236	0.0	4.9	7.0	2.0	0.0	2.0	U236	0.0	0.3	0.4	0.1	0.0	0.1
U238	33122.6	37899.1	37292.0	-616.1	7825.5	7210.4	U238	1380.1	1355.4	1308.4	-27.0	278.0	251.0
NP237	0.0	4.2	6.0	1.8	0.0	1.8	NP237	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
NP239	0.0	2.9	3.4	0.7	0.0	0.7	NP239	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0
AM241	47.8	57.8	60.5	2.7	5.6	12.2	AM241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	2.4	2.9	0.9	0.0	0.9	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	16.0	22.5	6.5	0.0	6.5	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	2.6	2.3	0.7	0.0	0.7	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.2	0.3	0.1	0.0	0.1	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	3.3	6.6	2.7	0.0	2.7	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.3	0.6	0.3	0.0	0.3	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FU..TOTAL	3141.0	3282.8	3369.1	77.4	828.2	705.6	FU..TOTAL	0.0	41.7	60.4	16.5	0.0	18.6
FU..FISSILE	1961.1	2116.7	2198.6	81.3	332.2	474.1	FU..FISSILE	0.0	38.6	54.3	16.3	0.0	16.2
FIS.RATIO.(%)	62.4	64.5	65.4	0.0	62.4	67.2	FIS.RATIO.(%)	0.0	82.4	90.9	0.0	0.0	87.6
FU..ENRICHMENT.(%/D)	7.4	7.3	8.2	0.0	7.4	8.9	FU..ENRICHMENT.(%/D)	0.0	3.0	4.4	0.0	0.0	6.9
U.TOTAL	35250.3	37387.3	37373.0	-624.3	7850.1	7225.0	U.TOTAL	1394.3	1338.7	1212.3	-27.4	278.9	251.5
U235	117.8	94.3	84.1	-10.2	23.0	12.4	U235	4.2	3.0	2.5	-0.5	0.0	0.3
U.ENRICHMENT.(%/D)	0.3	0.3	0.2	0.0	0.3	0.2	U.ENRICHMENT.(%/D)	0.3	0.2	0.2	0.0	0.3	0.1
TRU..TOTAL	47.8	86.1	103.3	16.3	3.6	25.0	TRU..TOTAL	0.0	0.3	0.4	0.1	0.0	0.1
NP..TOTAL	0.0	6.9	8.4	2.5	0.0	2.5	NP..TOTAL	0.0	0.3	0.3	0.1	0.0	0.1
AM..TOTAL	47.8	76.2	85.2	10.1	3.6	19.6	AM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM..TOTAL	0.0	7.0	10.7	3.7	0.0	3.7	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU.RATIO.(%/D)	0.1	0.2	0.3	0.0	0.1	0.3	TRU.RATIO.(%/D)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HM..TOTAL	42439.1	41970.1	40838.5	-550.7	8487.0	7957.2	HM..TOTAL	1394.3	1381.7	1375.0	-6.7	278.9	270.2
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

炉心燃料領域							炉ブランケット領域						
	初核種炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料投入	取出し燃料		初核種炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料投入	取出し燃料
FU230	55.7	78.0	71.3	-6.7	19.1	12.5	FU230	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
FU239	1659.2	1642.5	1495.1	-66.4	331.8	275.2	FU239	0.0	312.6	455.2	151.7	0.0	151.7
FU240	861.0	863.0	861.0	-2.0	172.2	170.2	FU240	0.0	10.1	16.3	8.3	0.0	8.3
FU241	302.3	221.8	151.9	-29.9	60.6	30.5	FU241	0.0	0.3	0.5	0.3	0.0	0.3
FU242	223.2	211.8	205.2	-6.6	44.6	38.1	FU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U235	37.4	24.0	18.7	-5.3	7.5	2.2	U235	76.2	67.3	62.3	-4.4	15.2	10.9
U236	0.0	2.6	3.5	1.0	0.0	1.0	U236	0.0	2.1	3.1	1.0	0.0	1.0
U238	12424.3	11619.4	11220.3	-391.4	2494.3	2093.5	U238	25316.2	24942.3	24744.6	-197.9	5025.0	4955.3
NP237	0.0	3.2	4.5	1.3	0.0	1.3	NP237	0.0	0.8	1.3	0.5	0.0	0.5
NP239	0.0	1.7	2.1	0.4	0.0	0.4	NP239	0.0	0.3	1.2	0.3	0.0	0.3
AM241	47.8	57.8	60.4	2.6	5.6	12.2	AM241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	2.4	2.9	0.3	0.0	0.3	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	16.0	22.5	6.5	0.0	6.5	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	2.6	2.3	0.7	0.0	0.7	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.2	0.3	0.1	0.0	0.1	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	3.3	6.6	2.7	0.0	2.7	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.3	0.6	0.3	0.0	0.3	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FU..TOTAL	3141.0	2917.0	2615.5	-391.5	629.2	516.7	FU..TOTAL	0.0	324.0	484.3	160.3	0.0	160.3
FU..FISSILE	1961.1	1764.3	1679.0	-66.4	232.2	205.0	FU..FISSILE	0.0	313.9	465.9	151.9	0.0	151.3
FIS.RATIO.(%)	62.4	60.5	53.6	0.0	62.4	58.1	FIS.RATIO.(%)	0.0	86.8	96.2	0.0	0.0	94.8
FU..ENRICHMENT.(%/D)	20.1	19.9	19.0	0.0	20.1	19.9	FU..ENRICHMENT.(%/D)	0.0	1.2	1.9	0.0	0.0	3.2
U.TOTAL	12467.6	11646.0	11250.3	-395.0	2492.3	2036.6	U.TOTAL	25994.4	25011.6	24810.6	-201.1	5076.9	4877.6
U235	37.4	24.0	18.7	-5.3	7.5	2.2	U235	76.2	67.3	62.3	-4.4	15.2	10.9
U.ENRICHMENT.(%/D)	0.3	0.2	0.2	0.0	0.3	0.1	U.ENRICHMENT.(%/D)	0.3	0.3	0.3	0.0	0.3	0.2
TRU..TOTAL	47.8	86.1	103.5	16.4	3.6	25.0	TRU..TOTAL	0.0	1.8	2.5	0.7	0.0	0.7
NP..TOTAL	0.0	4.9	6.6	1.7	0.0	1.7	NP..TOTAL	0.0	1.7	2.4	0.7	0.0	0.7
AM..TOTAL	47.8	76.1	85.2	10.0	3.6	19.6	AM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM..TOTAL	0.0	7.0	10.7	3.7	0.0	3.7	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU.RATIO.(%/D)	0.3	0.6	0.7	0.0	0.3	0.3	TRU.RATIO.(%/D)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HM..TOTAL	15550.5	14551.1	14169.2	-481.0	3130.1	2645.2	HM..TOTAL	26384.4	25317.4	25297.3	-40.1	5076.9	5028.8
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

表 7.2-5 中型長期運転サイクル炉心の領域別物質収支  
(窒化物燃料(ナトリウム);5バッチ×18ヶ月運転,取出平均燃焼度 15万 MWd/t) [4/4]

全領域							炉ブランケット領域						
	初燃炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料供給	取出し燃料		初燃炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料供給	取出し燃料
PU238	00.7	73.7	67.4	-6.3	19.1	11.8	PU238	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU239	1571.0	1037.4	1359.9	121.5	314.3	435.6	PU239	0.0	39.4	54.6	15.2	0.0	16.2
PU240	816.0	824.6	845.2	10.6	163.2	173.9	PU240	0.0	3.0	5.2	2.2	0.0	2.2
PU241	287.1	210.2	192.5	-27.8	57.4	29.7	PU241	0.0	0.2	0.3	0.2	0.0	0.2
PU242	211.6	200.4	194.0	-6.4	42.3	36.0	PU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U235	114.4	90.6	80.4	-16.2	22.9	12.7	U235	4.2	3.0	2.6	-0.5	0.0	0.4
U236	0.0	5.0	7.0	2.0	0.0	2.0	U236	0.0	0.0	0.4	0.1	0.0	0.1
U238	39020.6	38751.6	38121.6	-630.0	7604.1	6974.1	U238	1389.3	1335.7	1308.7	-26.9	277.9	250.9
NP237	0.0	4.3	6.2	1.9	0.0	1.9	NP237	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
NP239	0.0	2.8	3.5	0.7	0.0	0.7	NP239	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0
AM241	46.2	54.2	56.4	2.3	9.1	11.4	AM241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	2.3	3.1	0.9	0.0	0.9	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	15.6	21.9	6.3	0.0	6.3	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	2.5	3.2	0.7	0.0	0.7	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.2	0.3	0.1	0.0	0.1	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	3.9	6.5	2.7	0.0	2.7	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.3	0.6	0.3	0.0	0.3	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU..TOTAL	2977.0	3166.3	3247.9	91.7	595.4	697.0	PU..TOTAL	0.0	41.6	60.2	18.6	0.0	18.6
PU..FISSE	1669.7	2047.7	2141.4	93.7	371.7	465.4	PU..FISSE	0.0	38.6	54.9	16.3	0.0	16.3
FIS..RATIO..(%)	82.4	64.9	66.9	0.0	62.4	67.8	FIS..RATIO..(%)	0.0	32.7	31.2	0.0	0.0	88.0
PU..ENRICHMENT..(W/D)	7.2	7.9	8.2	0.0	7.2	8.9	PU..ENRICHMENT..(W/D)	0.0	3.0	4.4	0.0	0.0	6.9
U..TOTAL	38135.0	38847.2	38209.0	-630.2	7627.0	6999.8	U..TOTAL	1399.5	1336.9	1311.7	-27.3	278.7	251.4
U235	114.4	90.6	80.4	-16.2	22.9	12.7	U235	4.2	3.0	2.6	-0.5	0.0	0.4
U..ENRICHMENT..(W/D)	0.3	0.3	0.2	0.0	0.3	0.2	U..ENRICHMENT..(W/D)	0.3	0.2	0.2	0.0	0.3	0.1
TRU..TOTAL	46.3	69.0	101.6	15.6	9.1	24.7	TRU..TOTAL	0.0	0.3	0.4	0.1	0.0	0.1
NP..TOTAL	0.0	7.1	9.7	2.6	0.0	2.6	NP..TOTAL	0.0	0.3	0.4	0.1	0.0	0.1
AM..TOTAL	46.2	72.0	81.4	8.4	9.1	18.6	AM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM..TOTAL	0.0	7.0	10.6	3.7	0.0	3.7	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO..(W/D)	0.1	0.2	0.3	0.0	0.1	0.3	TRU..RATIO..(W/D)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HM..TOTAL	43157.3	40089.5	39569.5	-597.0	8211.5	7700.5	HM..TOTAL	1399.5	1386.9	1372.2	-8.8	278.7	270.1
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

炉心燃料領域							炉ブランケット領域						
	初燃炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料供給	取出し燃料		初燃炉心	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料供給	取出し燃料
PU238	90.7	79.6	67.2	-6.4	19.1	11.7	PU238	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
PU239	1571.8	1499.3	1449.9	-49.4	314.3	270.9	PU239	0.0	393.7	459.4	149.7	0.0	149.7
PU240	816.0	821.2	821.2	0.0	163.2	169.2	PU240	0.0	10.4	18.0	8.4	0.0	8.4
PU241	287.1	209.9	191.6	-28.3	57.4	29.2	PU241	0.0	0.3	0.6	0.3	0.0	0.3
PU242	211.6	200.4	194.0	-6.4	42.3	35.9	PU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U235	97.9	24.0	16.9	-5.5	7.6	2.7	U235	72.4	63.6	59.3	-4.3	14.5	10.2
U236	0.0	2.7	3.7	1.0	0.0	1.0	U236	0.0	2.0	3.0	1.0	0.0	1.0
U238	12581.3	11739.0	11332.3	-407.3	2516.3	2109.0	U238	24950.1	23676.2	23400.5	-195.9	4910.0	4614.2
NP237	0.0	3.4	4.7	1.4	0.0	1.4	NP237	0.0	0.9	1.3	0.5	0.0	0.5
NP239	0.0	1.8	2.2	0.4	0.0	0.4	NP239	0.0	0.9	1.2	0.2	0.0	0.2
AM241	46.2	54.1	56.4	2.3	9.1	11.3	AM241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	2.3	3.1	0.9	0.0	0.9	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	15.6	21.9	6.3	0.0	6.3	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	2.5	3.2	0.7	0.0	0.7	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.2	0.3	0.1	0.0	0.1	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	3.9	6.5	2.7	0.0	2.7	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.3	0.6	0.3	0.0	0.3	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU..TOTAL	2977.0	2794.2	2709.7	-84.5	595.4	510.9	PU..TOTAL	0.0	320.4	478.9	157.5	0.0	157.5
PU..FISSE	1669.7	1699.1	1677.4	-21.7	371.7	300.1	PU..FISSE	0.0	316.6	459.9	149.9	0.0	149.9
FIS..RATIO..(%)	62.4	60.8	60.1	0.0	62.4	59.7	FIS..RATIO..(%)	0.0	96.7	96.0	0.0	0.0	94.6
PU..ENRICHMENT..(W/D)	19.0	19.1	19.1	0.0	19.0	19.3	PU..ENRICHMENT..(W/D)	0.6	1.3	2.0	0.0	0.0	3.3
U..TOTAL	12619.1	11769.2	11394.5	-411.8	2523.8	2112.0	U..TOTAL	24922.5	23741.9	23542.8	-199.1	4924.5	4625.4
U235	97.9	24.0	16.9	-5.5	7.6	2.7	U235	72.4	63.6	59.3	-4.3	14.5	10.2
U..ENRICHMENT..(W/D)	0.3	0.2	0.2	0.0	0.3	0.1	U..ENRICHMENT..(W/D)	0.3	0.3	0.3	0.0	0.3	0.2
TRU..TOTAL	46.3	84.0	99.8	14.8	9.1	23.9	TRU..TOTAL	0.0	1.8	2.5	0.7	0.0	0.7
NP..TOTAL	0.0	5.1	6.9	1.8	0.0	1.8	NP..TOTAL	0.0	1.7	2.4	0.7	0.0	0.7
AM..TOTAL	46.2	71.9	81.2	9.4	9.1	18.4	AM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM..TOTAL	0.0	7.0	10.6	3.7	0.0	3.7	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO..(W/D)	0.3	0.6	0.7	0.0	0.3	0.5	TRU..RATIO..(W/D)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HM..TOTAL	15641.4	14644.6	14163.1	-481.5	3128.3	2646.8	HM..TOTAL	24122.5	24064.1	24023.3	-40.9	4924.5	4792.6
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

表 7.2-6 中型倍増時間短縮炉心の領域別物質収支  
(酸化燃料; 5 バッチ×12 ヶ月運転, 取出平均燃焼度 15 万 MWd/t) [1/4]

全領域	[kg]						燃料プランケット領域					
	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	84.8	70.5	84.0	-5.7	17.0	11.3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
PU239	1470.6	1626.1	1708.3	89.2	294.1	377.3	0.0	164.7	225.4	72.0	0.0	72.0
PU240	763.8	772.1	776.7	4.7	152.7	157.4	0.0	7.2	12.3	5.7	0.0	5.7
PU241	268.7	209.3	195.7	-23.2	53.7	30.5	0.0	0.3	0.6	0.3	0.0	0.3
PU242	199.0	190.1	185.5	-4.6	39.6	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U235	128.3	111.5	103.9	-7.7	25.7	18.0	23.8	15.4	23.4	-2.0	6.0	3.9
U236	0.0	3.8	5.4	1.7	0.0	1.7	0.0	1.0	1.5	0.5	0.0	0.5
U238	42620.8	41895.8	41380.7	-415.1	9524.2	9189.0	9895.4	9895.6	9586.0	-57.6	1977.1	1879.5
NP237	0.0	2.6	3.0	1.2	0.0	1.2	0.0	0.4	0.6	0.2	0.0	0.2
NP239	0.0	2.7	3.4	0.7	0.0	0.7	0.0	0.7	0.9	0.2	0.0	0.2
AM241	42.4	47.5	49.5	1.2	9.5	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	1.9	2.5	0.7	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	12.4	17.9	5.4	0.0	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	2.5	3.2	0.7	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	2.4	4.2	1.8	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.1	0.3	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU..TOTAL	2785.6	2866.6	2921.0	54.3	567.1	611.6	0.0	182.2	249.2	78.0	0.0	78.0
PU..FISSILE	1789.2	1834.0	1884.0	60.0	447.8	497.8	0.0	164.9	227.2	72.3	0.0	72.3
FIS..RATIO.(%)	62.4	64.0	64.8	0.0	82.4	82.7	0.0	85.5	94.6	0.0	0.0	82.7
PU..ENRICHMENT.(%/D)	8.1	6.4	5.6	0.0	6.1	7.0	0.0	1.6	2.4	0.0	0.0	4.0
U..TOTAL	42749.1	41921.9	41500.0	-421.1	9549.8	9128.7	9915.2	9722.0	9522.9	-99.2	1983.0	1889.9
U235	128.3	111.5	103.9	-7.7	25.7	18.0	23.8	26.4	23.4	-2.0	6.0	3.9
U..ENRICHMENT.(%/D)	0.3	0.3	0.3	0.0	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.0	0.3	0.2
TRU..TOTAL	42.4	72.3	84.1	31.8	8.5	28.3	0.0	1.1	3.4	0.4	0.0	0.4
NP..TOTAL	0.0	6.3	7.2	1.3	0.0	1.0	0.0	1.0	1.4	0.4	0.0	0.4
AM..TOTAL	42.4	61.6	68.9	7.2	8.5	15.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM..TOTAL	0.0	5.3	8.0	2.7	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO.(%/D)	0.7	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HM..TOTAL	45677.1	44880.0	44505.0	-355.0	9115.4	8760.4	9915.2	9888.3	9884.5	-20.8	1983.0	1882.2
RE..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

炉心燃料領域	[kg]						燃料プランケット領域					
	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	84.8	70.4	84.0	-5.6	17.0	11.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
PU239	1470.6	1626.0	1774.2	-80.7	294.1	203.4	0.0	265.5	307.4	102.0	0.0	102.0
PU240	763.8	753.3	753.7	-5.7	152.7	147.0	0.0	5.5	10.2	4.6	0.0	4.6
PU241	268.7	208.5	184.5	-23.7	53.7	30.1	0.0	0.1	0.3	0.2	0.0	0.2
PU242	199.0	190.1	185.6	-4.6	39.6	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U235	21.5	14.8	12.0	-2.8	4.3	1.5	77.1	71.3	68.4	-2.3	15.4	12.5
U236	0.0	1.3	1.3	0.5	0.0	0.5	0.0	1.4	2.1	0.7	0.0	0.7
U238	7123.0	6741.4	6540.1	-192.3	1425.9	1235.5	26586.4	25369.9	25248.7	-125.2	5121.3	4936.1
NP237	0.0	1.8	2.5	0.0	0.0	0.8	0.0	0.5	0.7	0.3	0.0	0.3
NP239	0.0	1.2	1.5	0.3	0.0	0.3	0.0	0.3	1.1	0.2	0.0	0.2
AM241	42.4	47.4	49.5	1.1	9.5	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	1.8	2.5	0.7	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	12.4	17.9	5.4	0.0	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	2.5	3.2	0.7	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	2.4	4.2	1.8	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.1	0.3	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU..TOTAL	2785.6	2493.3	2382.8	-120.4	557.1	426.7	0.0	211.2	319.0	106.8	0.0	106.8
PU..FISSILE	1789.2	1473.5	1358.1	-114.4	347.8	232.4	0.0	265.6	307.7	102.1	0.0	102.1
FIS..RATIO.(%)	62.4	59.1	57.5	0.0	82.4	54.7	0.0	97.4	96.8	0.0	0.0	95.6
PU..ENRICHMENT.(%/D)	27.5	26.0	25.2	0.0	27.3	25.4	0.0	0.8	1.2	0.0	0.0	2.1
U..TOTAL	7150.4	6757.5	6583.0	-134.5	1430.1	1235.0	26683.5	25441.6	25214.2	-127.4	5186.7	5005.3
U235	21.5	14.8	12.0	-2.8	4.3	1.5	77.1	71.3	68.4	-2.3	15.4	12.5
U..ENRICHMENT.(%/D)	0.3	0.2	0.2	0.0	0.3	0.1	0.3	0.3	0.3	0.0	0.3	0.3
TRU..TOTAL	42.4	83.9	90.6	10.9	8.5	15.4	0.0	1.3	1.8	0.5	0.0	0.5
NP..TOTAL	0.0	3.0	4.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.3	1.8	0.5	0.0	0.5
AM..TOTAL	42.4	61.6	68.9	7.2	8.5	15.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM..TOTAL	0.0	5.3	8.0	2.7	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO.(%/D)	0.4	0.8	0.9	0.0	0.4	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HM..TOTAL	9376.4	8370.8	8086.6	-314.0	1965.7	1681.6	26683.5	26064.1	26038.9	-20.1	5186.7	5116.6
RE..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表 7.2-7 中型倍増時間短縮炉心の領域別物質収支  
(金属燃料; 5 バッチ×12 ヶ月運転, 取出平均燃焼度 15 万 MWd/t) [2/4]

全領域							棒ブランケット領域 [kg]						
	初核燃料	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料供給	取出し燃料		初核燃料	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料供給	取出し燃料
PU238	76.6	82.3	56.6	-5.7	15.3	3.6	PU238	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
PU239	1329.3	1530.2	1637.3	107.1	265.7	372.8	PU239	0.0	140.6	248.2	65.6	0.0	65.6
PU240	893.7	893.3	876.5	-3.5	137.3	134.1	PU240	0.0	5.4	5.7	4.3	0.0	4.3
PU241	242.7	182.1	156.4	-23.7	49.5	24.8	PU241	0.0	0.2	0.4	0.2	0.0	0.2
PU242	178.8	170.9	166.2	-4.6	35.8	31.2	PU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U235	153.8	136.2	120.0	-6.2	30.8	22.6	U235	27.2	23.3	21.5	-1.8	5.4	3.6
U238	0.0	3.7	5.4	1.7	0.0	1.7	U238	0.0	0.0	1.9	0.4	0.0	0.4
U239	51109.2	50270.7	49842.0	-427.9	10221.0	9794.0	U239	3025.0	9854.4	9766.1	-88.3	1605.2	1716.3
NP237	0.0	2.7	4.0	1.3	0.0	1.3	NP237	0.0	0.3	0.5	0.2	0.0	0.2
NP239	0.0	2.8	3.5	0.7	0.0	0.7	NP239	0.6	0.6	0.8	0.2	0.0	0.2
AM241	39.3	49.0	44.0	1.0	7.7	8.7	AM241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	1.5	2.0	0.6	0.0	0.6	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	10.2	14.6	4.4	0.0	4.4	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	2.1	2.7	0.6	0.0	0.6	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	1.9	3.3	1.4	0.0	1.4	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU..TOTAL	2516.2	2625.8	2895.0	85.2	503.2	572.5	PU..TOTAL	0.0	145.2	216.3	70.1	0.0	70.1
PU..FISSILE	1571.0	1712.3	1795.7	83.4	314.2	357.5	PU..FISSILE	0.0	149.8	206.6	65.8	0.0	65.8
FIS.RATIO.(%)	62.4	65.2	65.6	0.0	62.4	69.5	FIS.RATIO.(%)	0.0	96.3	95.6	0.0	0.0	93.6
FU..ENRICHMENT.(W/D)	4.7	4.9	5.1	0.0	4.7	5.5	FU..ENRICHMENT.(W/D)	0.0	1.6	2.4	0.0	0.0	3.9
U..TOTAL	61269.0	59410.6	49376.3	-434.2	10252.6	9818.3	U..TOTAL	8553.1	8979.6	8786.0	-80.9	1810.0	1720.9
U..ENRICHMENT.(W/D)	0.3	0.3	0.3	0.0	0.3	0.2	U..ENRICHMENT.(W/D)	0.3	0.3	0.2	0.0	0.3	0.2
TRU..TOTAL	38.3	64.4	74.5	10.1	7.7	17.7	TRU..TOTAL	0.0	0.9	1.3	0.3	0.0	0.9
NP..TOTAL	0.0	5.6	7.6	2.0	0.0	2.0	NP..TOTAL	0.0	0.9	1.2	0.3	0.0	0.3
AM..TOTAL	38.3	64.7	60.6	6.0	7.7	18.7	AM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM..TOTAL	0.0	4.2	6.4	2.1	0.0	2.1	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO.(W/D)	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2	TRU..RATIO.(W/D)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HM..TOTAL	53817.4	53309.8	52745.8	-355.0	10763.5	10408.6	HM..TOTAL	8053.1	8026.7	8006.4	-15.3	1810.6	1781.3
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

炉心燃料領域							棒ブランケット領域 [kg]						
	初核燃料	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料供給	取出し燃料		初核燃料	平衡初期	平衡末期	バランス	新燃料供給	取出し燃料
PU238	76.6	82.2	56.5	-5.8	15.3	3.6	PU238	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
PU239	1329.3	1154.0	1077.3	-76.8	265.7	188.9	PU239	0.0	235.9	353.8	118.3	0.0	118.3
PU240	893.7	871.3	860.1	-11.2	137.3	126.7	PU240	0.0	3.8	6.7	3.1	0.0	3.1
PU241	242.7	181.3	157.9	-23.9	49.5	24.6	PU241	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
PU242	178.8	170.3	166.3	-4.6	35.8	31.2	PU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U235	22.8	15.7	12.7	-3.0	4.6	1.8	U235	103.8	97.2	93.9	-3.3	29.6	17.4
U238	0.0	1.4	1.9	0.5	0.0	0.5	U238	0.0	1.5	2.2	0.7	0.0	0.7
U239	7569.0	7151.2	6594.1	-107.1	1517.8	1320.7	U239	34494.3	34225.1	34062.7	-142.4	6893.9	6756.4
NP237	0.0	1.9	2.7	0.8	0.0	0.8	NP237	0.0	0.5	0.8	0.3	0.0	0.3
NP239	0.0	1.2	1.5	0.3	0.0	0.3	NP239	6.0	1.0	1.2	0.3	0.0	0.3
AM241	39.3	49.0	44.0	1.0	7.7	8.7	AM241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	1.5	2.0	0.6	0.0	0.6	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	10.2	14.6	4.4	0.0	4.4	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	2.1	2.7	0.6	0.0	0.6	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	1.9	3.3	1.4	0.0	1.4	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU..TOTAL	2516.2	2240.4	2110.1	-122.3	503.2	381.0	PU..TOTAL	0.0	235.2	360.6	121.4	0.0	121.4
PU..FISSILE	1571.0	1325.9	1230.2	-100.7	314.2	213.5	PU..FISSILE	0.0	235.6	353.3	118.3	0.0	118.3
FIS.RATIO.(%)	62.4	59.6	59.3	0.0	62.4	56.1	FIS.RATIO.(%)	0.0	98.5	99.1	0.0	0.0	97.5
FU..ENRICHMENT.(W/D)	24.8	23.6	23.0	0.0	24.8	22.1	FU..ENRICHMENT.(W/D)	0.0	0.7	1.0	0.0	0.0	1.0
U..TOTAL	7611.0	7209.2	7089.7	-199.5	1522.4	1322.9	U..TOTAL	34599.0	34323.0	34176.8	-145.0	6313.0	6774.0
U..ENRICHMENT.(W/D)	0.3	0.2	0.2	0.0	0.3	0.1	U..ENRICHMENT.(W/D)	0.3	0.3	0.3	0.0	0.3	0.3
TRU..TOTAL	38.3	62.0	71.1	9.2	7.7	16.6	TRU..TOTAL	0.0	1.5	2.1	0.6	0.0	0.6
NP..TOTAL	0.0	3.1	4.2	1.1	0.0	1.1	NP..TOTAL	0.0	1.5	2.1	0.6	0.0	0.6
AM..TOTAL	38.3	64.6	60.6	6.0	7.7	18.6	AM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM..TOTAL	0.0	4.2	6.4	2.1	0.0	2.1	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO.(W/D)	0.4	0.7	0.8	0.0	0.4	1.0	TRU..RATIO.(W/D)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HM..TOTAL	10166.3	9510.6	9197.9	-312.6	1633.3	1720.6	HM..TOTAL	34588.0	34564.5	34541.4	-23.1	6319.6	6896.6
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



表 7.2-8 中型倍増時間短縮炉心の領域別物質収支  
(窒化物燃料(ヘリウム); 5 バッチ×12 ヶ月運転, 取出平均燃焼度 15 万 MWd/t) [3/4]

全燃料 [kg]							船ブランドット報 [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	76.3	62.2	66.6	-5.6	15.3	9.7	PU238	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
PU239	1322.8	1522.0	1627.5	104.7	284.6	369.3	PU239	0.0	148.8	206.1	65.3	0.0	65.2
PU240	695.0	699.0	690.9	2.0	137.4	139.4	PU240	0.0	0.4	11.9	6.1	0.0	6.1
PU241	241.7	184.1	161.8	-22.2	49.3	26.1	PU241	0.0	0.2	0.5	0.3	0.0	0.3
PU242	178.1	170.1	165.5	-4.6	35.6	31.0	PU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U235	142.3	124.7	116.7	-8.1	20.5	20.4	U235	26.7	22.8	21.0	-1.8	5.3	3.5
U238	0.0	3.8	5.0	1.7	0.0	1.7	U238	0.0	0.9	1.3	0.4	0.0	0.4
U239	47295.0	46443.2	46095.6	-433.7	3459.2	3025.5	U239	8869.9	8690.7	8601.8	-89.0	1772.0	1693.0
NP237	0.0	2.7	3.0	1.2	0.0	1.2	NP237	0.0	0.0	0.5	0.2	0.0	0.2
NP239	0.0	2.8	3.6	0.7	0.0	0.7	NP239	0.0	0.6	0.8	0.2	0.0	0.2
AM241	38.2	42.0	42.9	0.9	7.6	6.4	AM241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	1.6	2.2	0.6	0.0	0.6	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	11.2	16.0	4.8	0.0	4.8	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	2.3	2.9	0.6	0.0	0.6	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	2.2	3.3	1.6	0.0	1.6	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.1	0.3	0.1	0.0	0.1	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU..TOTAL	2605.6	2628.0	2702.4	74.9	501.1	575.6	PU..TOTAL	0.0	147.3	218.1	70.7	0.0	70.7
PU..FISSILE	1564.4	1708.8	1789.3	82.6	212.9	236.4	PU..FISSILE	0.0	141.0	205.6	65.6	0.0	65.6
FIS..RATIO.(%)	62.4	65.0	66.2	0.0	62.4	68.7	FIS..RATIO.(%)	0.0	96.8	94.7	0.0	0.0	92.8
U..ENRICHMENT.(%/O)	5.0	5.2	5.5	0.0	5.0	5.0	U..ENRICHMENT.(%/O)	0.8	1.7	2.5	0.0	0.0	4.0
U..TOTAL	47438.1	46571.8	46131.6	-440.1	3487.5	3047.6	U..TOTAL	8890.4	8714.4	8624.0	-80.4	1778.1	1687.7
U235	142.3	124.7	116.7	-8.1	20.5	20.4	U235	26.7	22.8	21.0	-1.8	5.3	3.5
U..ENRICHMENT.(%/O)	0.3	0.3	0.3	0.0	0.3	0.2	U..ENRICHMENT.(%/O)	0.3	0.3	0.2	0.0	0.3	0.2
TRU..TOTAL	38.2	65.2	75.7	10.5	7.6	18.1	TRU..TOTAL	6.0	0.9	1.3	0.3	0.0	0.2
NP..TOTAL	0.0	5.6	7.6	2.0	0.0	2.0	NP..TOTAL	0.0	0.9	1.3	0.3	0.0	0.2
AM..TOTAL	38.2	64.8	68.9	6.1	7.6	13.8	AM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM..TOTAL	0.0	4.8	7.3	2.4	0.0	2.4	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO.(%/O)	0.1	0.1	0.2	0.0	0.1	0.2	TRU..RATIO.(%/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HM..TOTAL	49381.9	49365.0	49305.9	-365.2	3986.4	3541.2	HM..TOTAL	8890.4	8682.8	8648.4	-19.4	1778.1	1758.7
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

炉心燃料組成 [kg]							船ブランドット報 [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	76.3	62.1	58.5	-6.7	15.3	9.8	PU238	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
PU239	1322.8	1152.2	1077.0	-75.2	284.8	169.3	PU239	0.0	228.7	244.4	114.9	0.0	114.0
PU240	695.8	677.4	670.0	-7.4	137.4	130.0	PU240	0.0	5.2	3.5	4.4	0.0	4.4
PU241	241.7	189.7	161.1	-22.4	49.3	25.7	PU241	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
PU242	178.1	170.1	165.5	-4.8	35.6	31.0	PU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U235	22.9	15.1	12.2	-9.0	4.5	1.5	U235	33.9	66.8	83.6	-3.9	18.7	15.4
U238	0.0	1.4	1.9	0.5	0.0	0.5	U238	0.0	1.5	2.3	0.8	0.0	0.8
U239	7419.4	7098.1	6797.9	-285.1	1493.7	1278.6	U239	3103.7	3079.5	3069.9	-139.6	2287.7	2062.1
NP237	0.0	1.9	2.7	0.8	0.0	0.8	NP237	0.0	0.5	0.6	0.3	0.0	0.3
NP239	0.0	1.3	1.6	0.3	0.0	0.3	NP239	0.0	1.0	1.2	0.3	0.0	0.3
AM241	38.2	42.0	42.6	0.7	7.6	6.4	AM241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	1.6	2.2	0.6	0.0	0.6	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	11.2	16.0	4.8	0.0	4.8	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	2.3	2.9	0.6	0.0	0.6	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	2.2	3.3	1.6	0.0	1.6	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.1	0.3	0.1	0.0	0.1	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU..TOTAL	2305.6	2245.5	2130.0	-115.5	501.1	336.7	PU..TOTAL	0.0	235.1	264.2	119.2	0.0	119.2
PU..FISSILE	1564.4	1335.9	1238.1	-97.8	212.9	215.1	PU..FISSILE	0.0	228.4	244.6	114.0	0.0	114.0
FIS..RATIO.(%)	62.4	59.6	58.1	0.0	62.4	65.9	FIS..RATIO.(%)	0.0	97.0	97.3	0.0	0.0	96.3
U..ENRICHMENT.(%/O)	25.1	24.1	23.6	0.0	25.1	22.8	U..ENRICHMENT.(%/O)	0.0	0.8	1.1	0.0	0.0	1.9
U..TOTAL	7440.7	7018.6	6812.0	-287.6	1498.2	1269.6	U..TOTAL	31107.0	30937.9	30695.7	-142.1	6221.4	6079.3
U235	22.9	15.1	12.2	-9.0	4.5	1.5	U235	33.9	66.8	83.6	-3.9	18.7	15.4
U..ENRICHMENT.(%/O)	0.3	0.2	0.2	0.0	0.3	0.1	U..ENRICHMENT.(%/O)	0.3	0.3	0.3	0.0	0.3	0.2
TRU..TOTAL	38.2	62.6	72.4	9.6	7.6	17.3	TRU..TOTAL	0.0	1.5	2.0	0.5	0.0	0.5
NP..TOTAL	0.0	3.2	4.3	1.1	0.0	1.1	NP..TOTAL	0.0	1.6	2.0	0.5	0.0	0.5
AM..TOTAL	38.2	64.8	68.9	6.1	7.6	13.7	AM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM..TOTAL	0.0	4.8	7.3	2.4	0.0	2.4	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO.(%/O)	0.4	0.7	0.9	0.0	0.4	1.0	TRU..RATIO.(%/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HM..TOTAL	9884.5	9217.8	8944.4	-213.4	1892.0	1639.5	HM..TOTAL	31107.0	31074.4	31052.0	-22.4	6221.4	6199.0
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

表 7.2-9 中型倍増時間短縮炉心の領域別物質収支  
(窒化物燃料(ナトリウム);5バッチ×12ヶ月運転,取出平均燃焼度 15万 MWd/t)[4/4]

主燃料							船ブランドケット燃料						
	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		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
PU239	74.1	60.2	64.7	-5.5	14.9	9.4	PU239	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
PU239	1284.4	1498.0	1607.7	108.7	256.3	366.6	PU239	0.0	197.0	205.4	63.4	0.0	63.4
PU240	668.9	670.9	674.0	3.1	133.4	136.5	PU240	0.0	6.3	11.2	5.0	0.0	5.0
PU241	234.6	178.5	157.0	-21.5	46.9	25.4	PU241	0.0	0.2	0.5	0.3	0.0	0.3
PU242	172.9	165.0	160.5	-4.5	34.6	39.1	PU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U235	137.7	113.9	111.8	-8.1	27.5	19.4	U235	25.9	22.0	20.2	-1.8	5.2	3.4
U238	0.0	0.3	5.8	1.7	0.0	1.7	U238	0.0	0.3	1.3	0.4	0.0	0.4
U238	45755.8	44886.3	44445.4	-440.3	3151.2	8710.3	U238	6584.2	6395.6	6303.1	-66.6	1712.0	1626.3
NP237	0.0	2.0	4.0	1.3	0.0	1.3	NP237	0.0	0.3	0.5	0.2	0.0	0.2
NP239	0.0	2.0	3.6	0.7	0.0	0.7	NP239	0.0	0.6	0.8	0.2	0.0	0.2
AM241	37.1	40.6	41.1	0.6	7.4	9.0	AM241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	1.5	2.1	0.6	0.0	0.6	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	11.1	15.8	4.7	0.0	4.7	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	2.2	2.8	0.6	0.0	0.6	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	2.3	4.0	1.7	0.0	1.7	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.1	0.3	0.2	0.0	0.2	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU..TOTAL	2402.3	2572.7	2854.0	81.3	466.6	667.3	PU..TOTAL	0.0	149.5	212.2	66.7	0.0	66.7
PU..FISSILE	1519.0	1676.6	1764.7	69.2	308.8	392.0	PU..FISSILE	0.0	197.2	205.8	63.7	0.0	63.7
FIS..RATIO.(%)	62.4	65.2	66.5	0.0	62.4	68.0	FIS..RATIO.(%)	0.0	95.6	94.7	0.0	0.0	92.7
PU..ENRICHMENT.(%/O)	6.0	6.4	6.6	0.0	6.0	6.1	PU..ENRICHMENT.(%/O)	0.0	1.7	2.5	0.9	0.0	4.0
U..TOTAL	45993.5	45010.0	44562.9	-447.3	5179.7	8791.4	U..TOTAL	8980.0	8416.5	8320.6	-66.0	1719.0	1630.1
U235	137.7	113.9	111.8	-8.1	27.5	19.4	U235	25.9	22.0	20.2	-1.8	5.2	3.4
U..ENRICHMENT.(%/O)	0.3	0.3	0.3	0.0	0.3	0.2	U..ENRICHMENT.(%/O)	0.3	0.3	0.2	0.0	0.3	0.2
TRU..TOTAL	37.1	89.7	74.0	-10.3	7.4	17.7	TRU..TOTAL	0.0	0.3	1.3	0.3	0.0	0.3
NP..TOTAL	0.0	6.7	7.7	2.0	0.0	2.0	NP..TOTAL	0.0	0.9	1.2	0.3	0.0	0.3
AM..TOTAL	37.1	58.2	59.1	6.9	7.4	19.3	AM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM..TOTAL	0.0	4.8	7.3	2.5	0.0	2.5	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO.(%/O)	0.1	0.1	0.2	0.0	0.1	0.2	TRU..RATIO.(%/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HM..TOTAL	48989.4	47846.4	47290.7	-355.6	9672.7	9317.1	HM..TOTAL	6539.0	6522.3	6544.0	-19.0	1719.0	1639.0
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

炉心燃料繰越							棒ブランドケット繰越						
	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
PU239	74.1	60.1	64.8	-5.5	14.9	9.3	PU239	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
PU239	1284.4	1128.1	1058.9	-69.2	256.9	187.7	PU239	0.0	232.9	348.4	115.5	0.0	115.5
PU240	668.9	659.1	652.6	-6.5	133.4	126.9	PU240	0.0	5.5	10.2	4.6	0.0	4.6
PU241	234.6	178.2	156.9	-21.3	46.9	25.0	PU241	0.0	0.1	0.3	0.1	0.0	0.1
PU242	172.9	165.0	160.5	-4.5	34.6	39.1	PU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U235	22.9	16.2	12.1	-3.1	4.5	1.5	U235	69.3	62.7	79.5	-3.3	17.9	14.6
U238	0.0	1.4	2.0	0.6	0.0	0.6	U238	0.0	1.5	2.3	0.8	0.0	0.8
U238	2507.6	2075.9	2003.4	-212.5	1501.6	4289.0	U238	29584.0	29414.7	29272.9	-141.0	5992.0	5755.0
NP237	0.0	2.0	2.0	0.8	0.0	0.8	NP237	0.0	0.5	0.8	0.3	0.0	0.3
NP239	0.0	1.3	1.6	0.3	0.0	0.3	NP239	0.0	1.0	1.2	0.3	0.0	0.3
AM241	37.1	40.6	41.1	0.6	7.4	9.0	AM241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	1.5	2.1	0.6	0.0	0.6	AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	11.1	15.8	4.7	0.0	4.7	AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	0.0	2.2	2.8	0.6	0.0	0.6	CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	0.0	2.3	4.0	1.7	0.0	1.7	CM244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM245	0.0	0.1	0.3	0.2	0.0	0.2	CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU..TOTAL	2402.3	2190.5	2092.0	-107.6	466.6	379.0	PU..TOTAL	0.0	236.6	359.3	120.3	0.0	120.3
PU..FISSILE	1519.0	1306.3	1215.2	-91.1	309.9	212.7	PU..FISSILE	0.0	233.0	349.7	115.7	0.0	115.7
FIS..RATIO.(%)	62.4	59.6	58.3	0.0	62.4	56.1	FIS..RATIO.(%)	0.0	97.7	97.2	0.0	0.0	96.1
PU..ENRICHMENT.(%/O)	24.0	23.4	23.1	0.0	24.0	22.5	PU..ENRICHMENT.(%/O)	0.0	0.6	1.2	0.6	0.0	2.0
U..TOTAL	7599.2	7092.5	6877.5	-215.0	1509.0	1291.0	U..TOTAL	29773.3	29499.0	29354.7	-144.3	5954.7	5810.3
U235	22.9	16.2	12.1	-3.1	4.5	1.5	U235	69.3	62.7	79.5	-3.3	17.9	14.6
U..ENRICHMENT.(%/O)	0.3	0.2	0.2	0.0	0.3	0.1	U..ENRICHMENT.(%/O)	0.3	0.3	0.3	0.0	0.3	0.3
TRU..TOTAL	37.1	61.2	70.7	9.4	7.4	16.9	TRU..TOTAL	0.0	1.5	2.1	0.6	0.0	0.6
NP..TOTAL	0.0	3.3	4.4	1.1	0.0	1.1	NP..TOTAL	0.0	1.5	2.1	0.6	0.0	0.6
AM..TOTAL	37.1	59.1	59.0	6.9	7.4	19.3	AM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM..TOTAL	0.0	4.8	7.3	2.5	0.0	2.5	CM..TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TRU..RATIO.(%/O)	0.4	0.7	0.9	0.0	0.4	1.0	TRU..RATIO.(%/O)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HM..TOTAL	10000.7	9344.3	9031.1	-313.2	2000.0	1688.9	HM..TOTAL	29773.3	29299.1	29116.5	-23.6	6554.7	6391.2
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

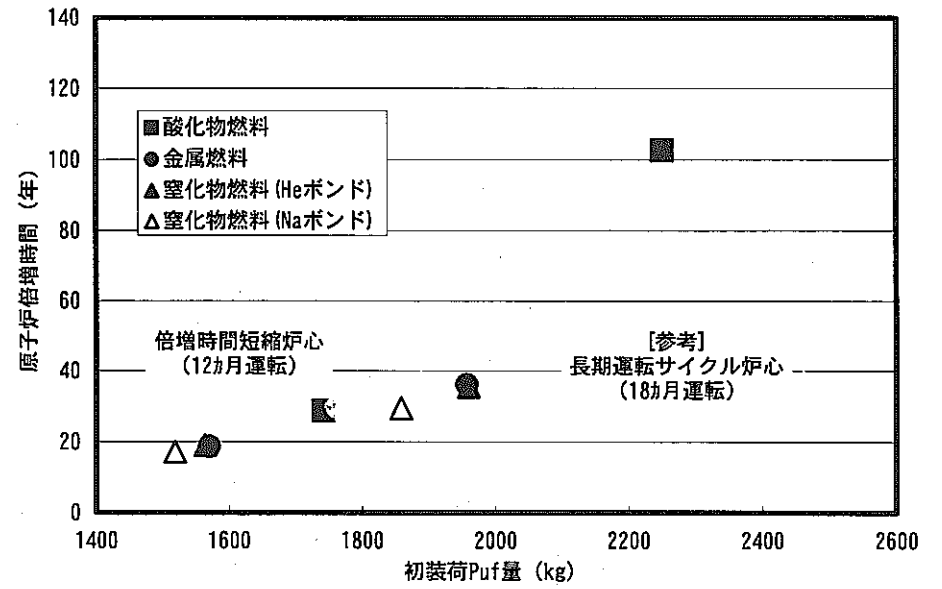
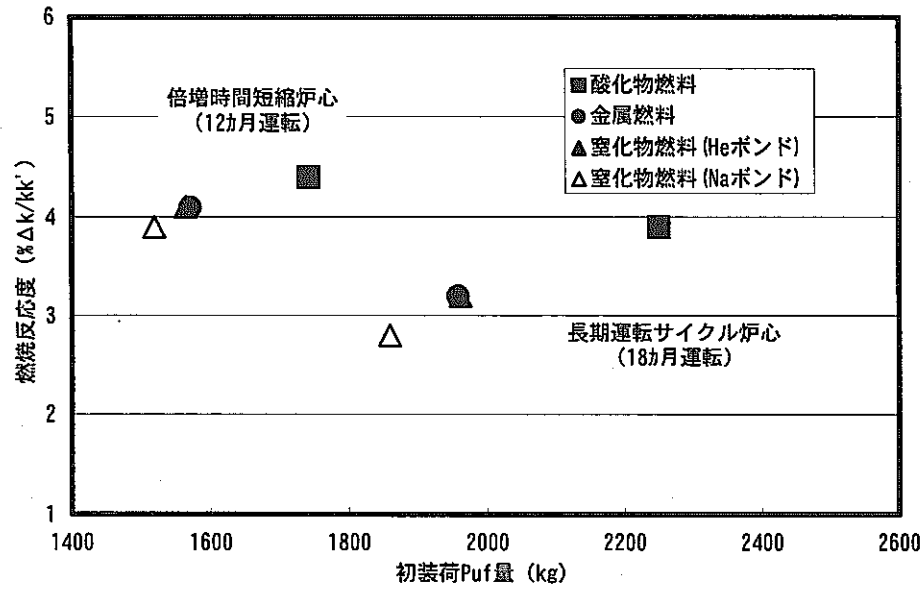
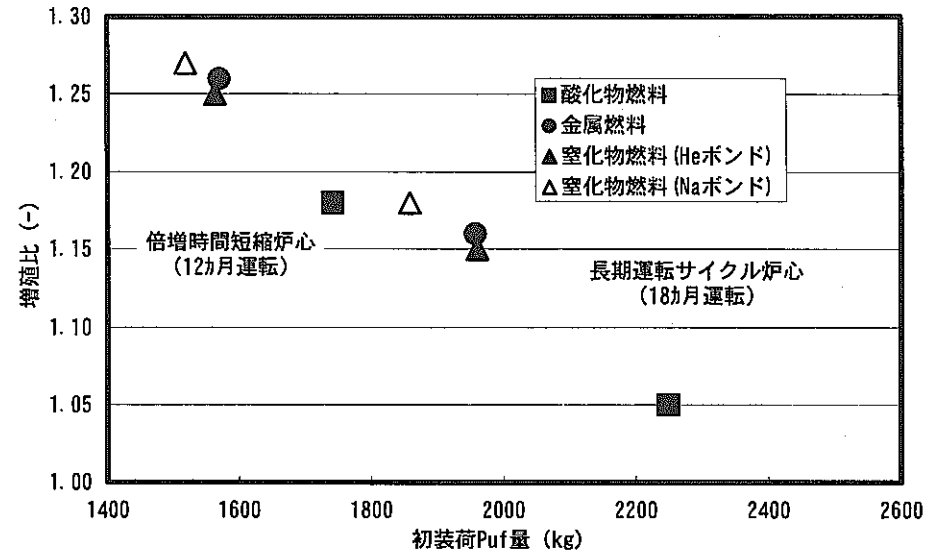
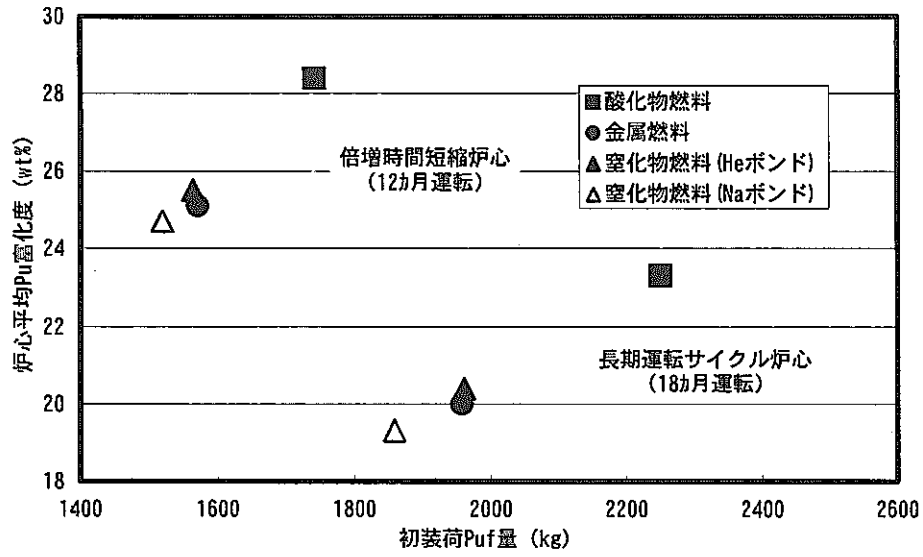


図 7.2-1 中型炉心における燃料形態の違いによる燃焼特性の比較 (2次元 R-Z 計算) [1/2]

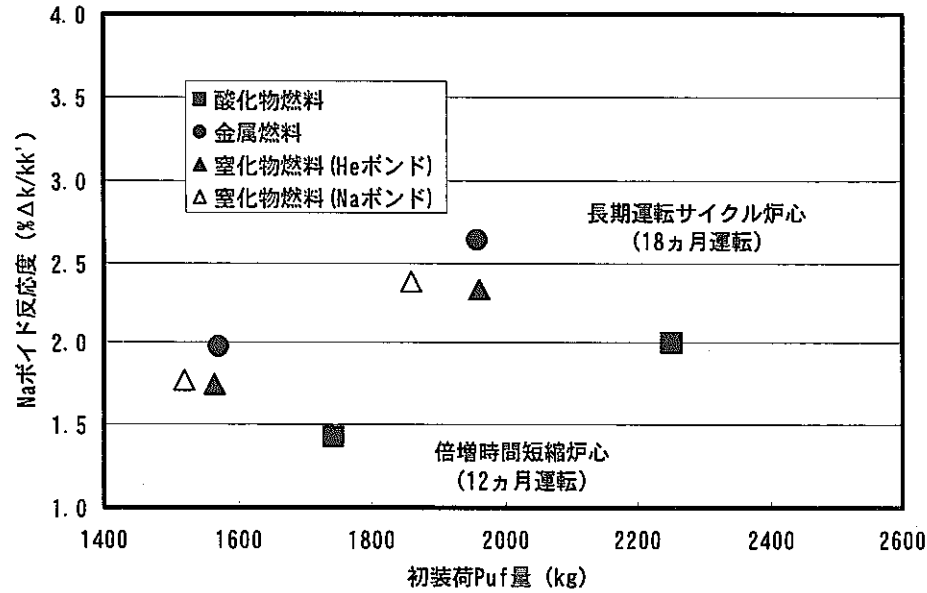
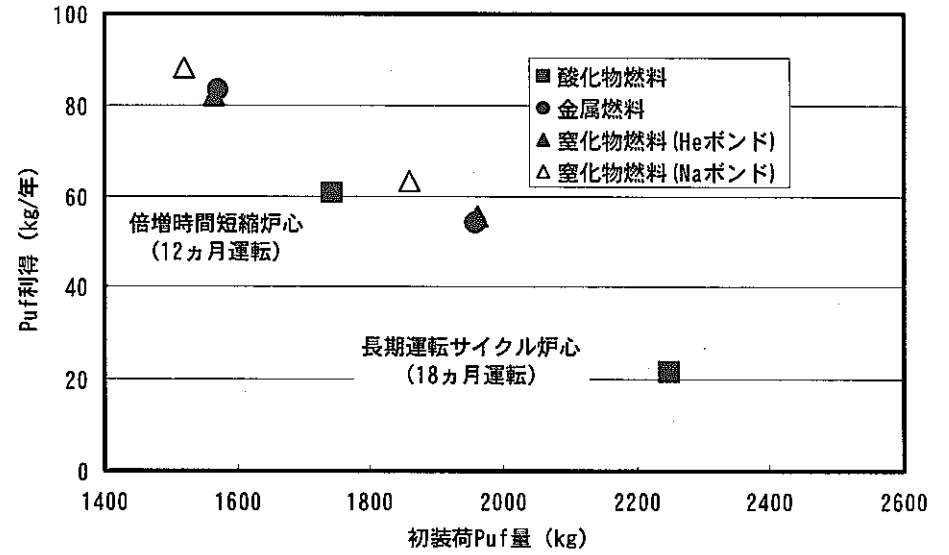
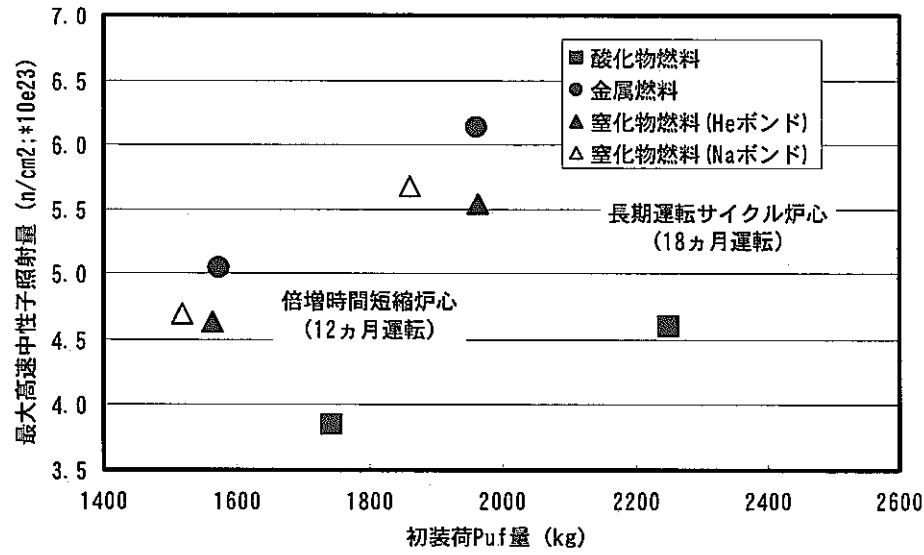


図 7.2-2 中型炉心における燃料形態の違いによる燃焼特性の比較 (2次元 R-Z 計算) [2/2]

### 7.3 大型炉心（160万kWe）との炉心特性比較

前記 4.2 及び前記 4.3 で解析した大型炉心の燃焼特性と前記 7.2 で解析した中型炉心の燃焼特性を比較して図 7.3-1～図 7.3-2 に示す。

(1) 炉心平均プルトニウム富化度

大型炉心と中型炉心の炉心平均プルトニウム富化度を比べると、中型炉心は長期運転サイクル炉心で 4wt%程度、倍増時間短縮炉心で 5wt%程度大きくなる。

(2) 初装荷核分裂性プルトニウム量

大型炉心と中型炉心の初装荷核分裂性プルトニウム量を比べると、中型炉心は長期運転サイクル炉心、倍増時間短縮炉心とも 1/3 程度になる。

(3) 燃焼欠損反応度

大型炉心と中型炉心の燃焼欠損反応度を比べると、中型炉心は長期運転サイクル炉心、倍増時間短縮炉心とも 1%  $\Delta k/kk'$  程度大きくなる。

(4) 増殖比

大型炉心と中型炉心の増殖比を比べると、中型炉心は長期運転サイクル炉心、倍増時間短縮炉心ともわずか（ $\sim 0.04$  程度）に増加する。

(5) 原子炉倍増時間<sup>\*1</sup>

大型炉心と中型炉心の原子炉倍増時間を比べると、中型炉心は倍増時間短縮炉心で 2 年程度増加する。

(6) 最大高速中性子照射量

大型炉心と中型炉心の最大高速中性子照射量を比べると、中型炉心は長期運転サイクル炉心で 7%～10%程度、倍増時間短縮炉心で 13%～15%程度小さくなる。

(7) ナトリウムボイド反応度

大型炉心と中型炉心のナトリウムボイド反応度を比べると、中型炉心は長期運転サイクル炉心、倍増時間短縮炉心とも 0.6%  $\Delta k/kk'$  ～0.9%  $\Delta k/kk'$  程度小さくなる。

<sup>\*1</sup> 初装荷炉心部核分裂性プルトニウム量/(365日/運転サイクル長\*(EOEC全核分裂性プルトニウム量-BOEC全核分裂性プルトニウム量))

(8) 年間核分裂性プルトニウム利得量

大型炉心と中型炉心の年間核分裂性プルトニウム利得量を比べると、中型炉心は長期運転サイクル炉心で 1/3～1/2 程度、倍増時間短縮炉心で 1/4 程度に減少する。

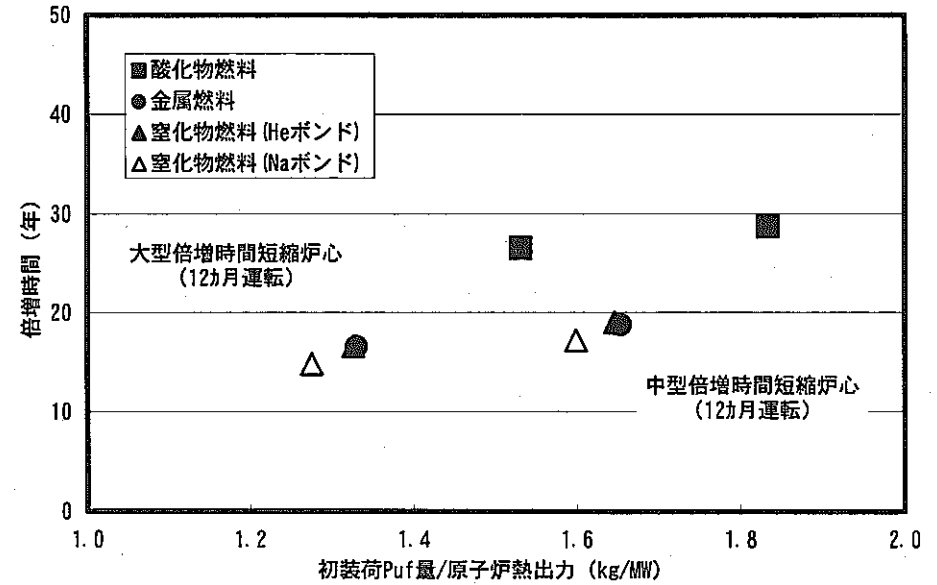
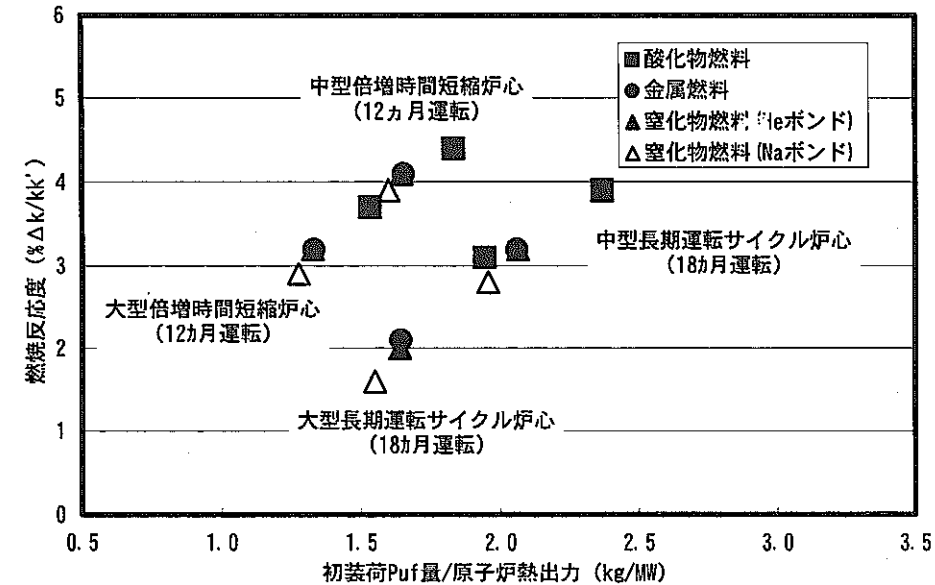
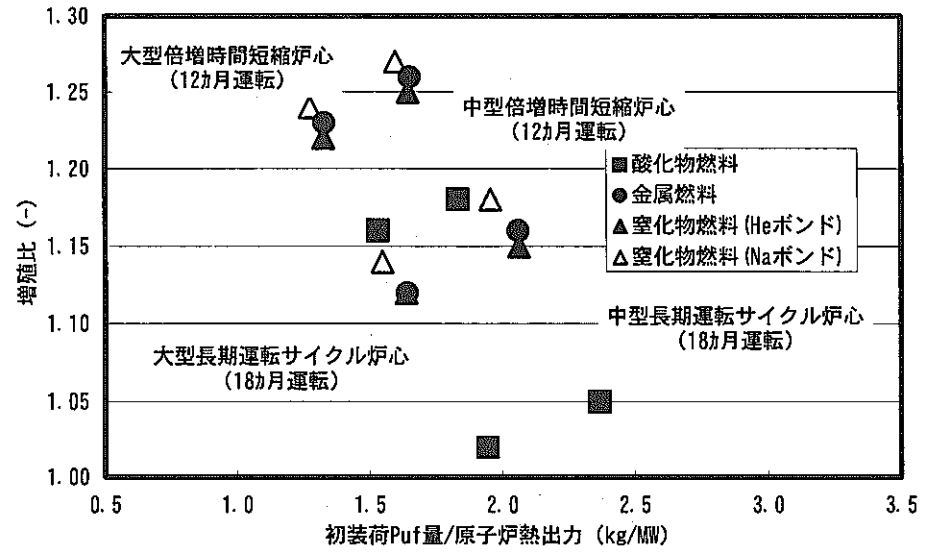
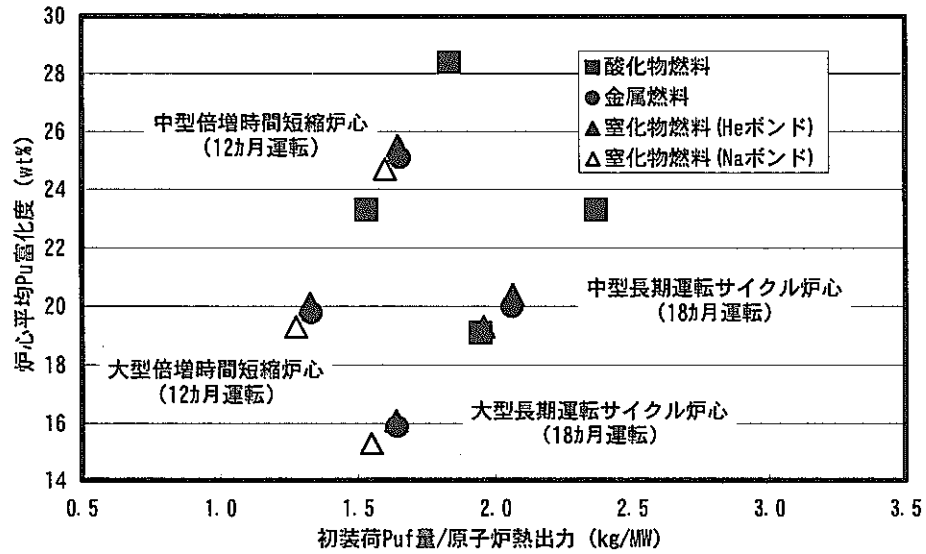


図 7.3-1 大型炉心(160万 kWe)と中型炉心(40万 kWe)の燃料形態の違いによる燃焼特性の比較 (2次元 R-Z 計算) [1/2]

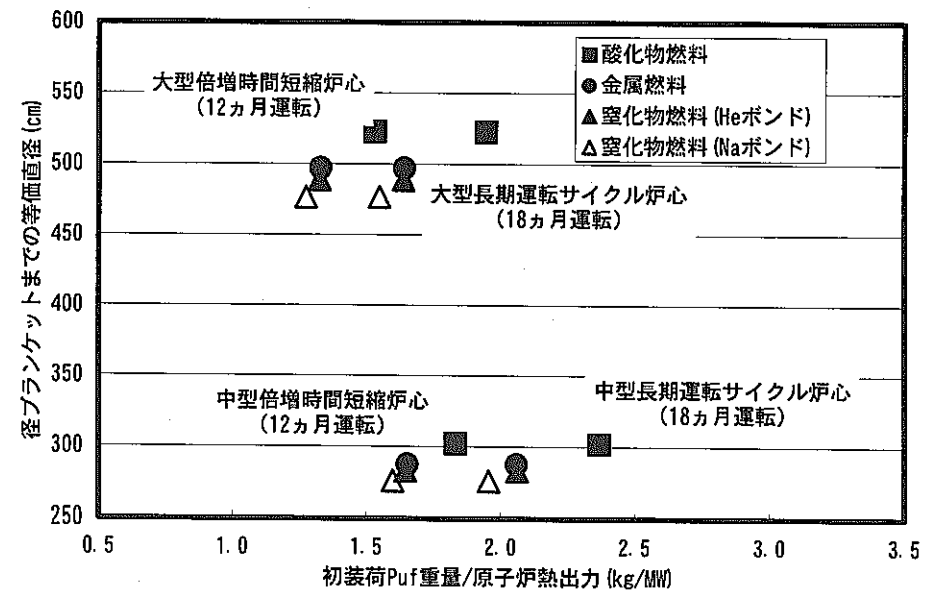
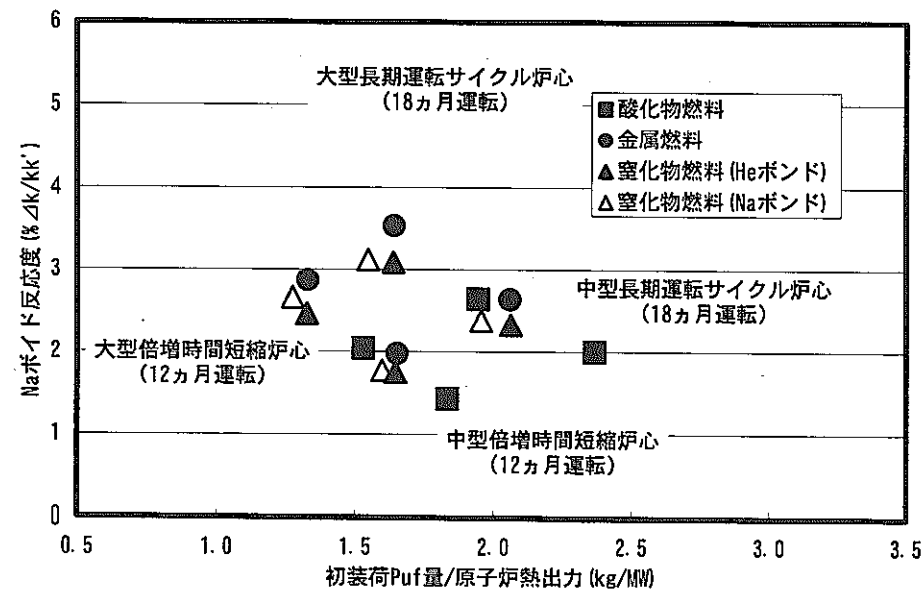
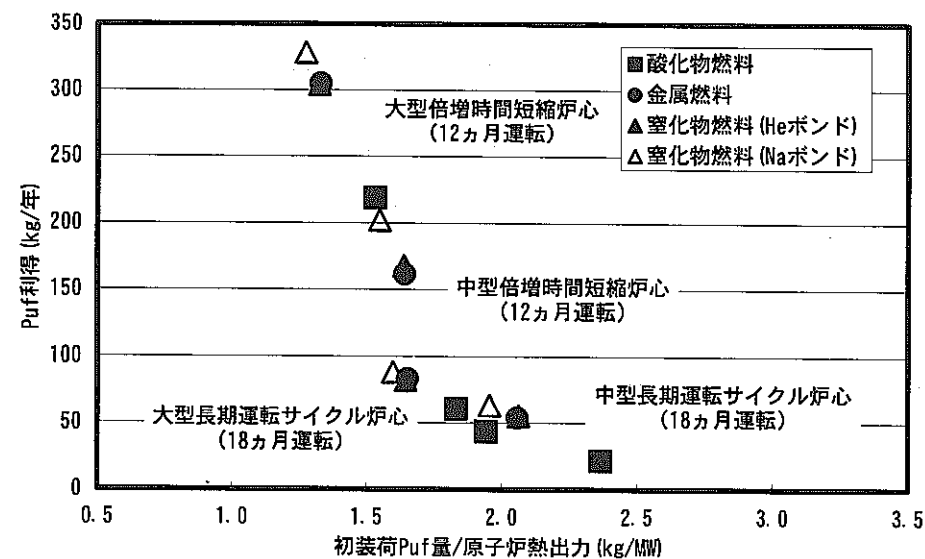
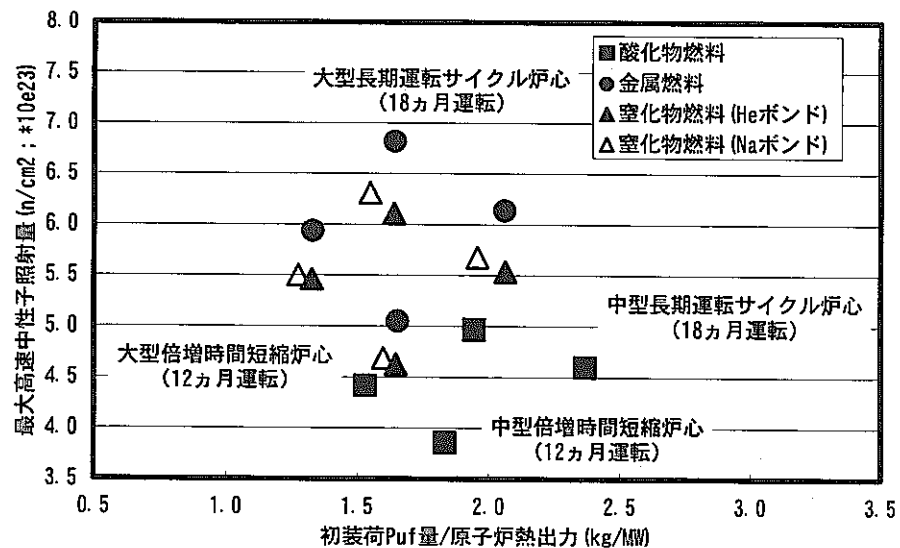


図 7.3-2 大型炉心(160万 kWe)と中型炉心(40万 kWe)の燃料形態の違いによる燃焼特性の比較(2次元 R-Z 計算) [2/2]



## 7.4 まとめ

酸化物燃料、金属燃料及び窒化物燃料を用いた中規模出力（40万 kWe）の長期運転サイクル炉心及び倍増時間短縮炉心を設定し、燃料形態の違いによる燃焼特性を比較するとともに、大型炉心（160万 kWe）とその特性を比較した。結果を以下に示す。

- 酸化物燃料と金属燃料、窒化物燃料の燃焼特性を比較すると、金属燃料、窒化物燃料は最大高速中性子照射量が 20%～30%程度、ナトリウムボイド反応度が 20%～40%程度大きくなる。しかし、金属燃料、窒化物燃料は重元素密度が 40%～50%程度大きいことからプルトニウム富化度を小さくでき、優れた燃焼欠損反応度、増殖比等が得られている。
- 長期運転サイクル炉心と倍増時間短縮炉心の主な燃焼特性を比べると、倍増時間短縮炉心は燃料体積減少により燃焼欠損反応度が  $1\% \Delta k/kk'$  程度増加するものの、軸方向ブランケット体積の増加及び径方向ブランケット数の増加により増殖比は 0.1 程度増加し、原子炉倍増時間は酸化物燃料が 1/4 程度、金属燃料、窒化物燃料が 1/2 程度に短くなる。
- 中型炉心と大型炉心の主な燃焼特性を比べると、中型炉心は燃焼欠損反応度が  $1\% \Delta k/kk'$  程度大きくなるものの、炉心燃料集合体数に対する径方向ブランケットの割合は大型炉心の約 2 倍になっていることから増殖比、倍増時間は中型炉心と大型炉心で大きな差は無い。
- 金属燃料と窒化物燃料では燃焼欠損反応度、増殖比等に大きな差は見られなかった。ただし、重元素密度、燃料仕様設定に用いた FP ガス放出率、スミア密度の違いにより、ナトリウムボンド窒化物燃料を用いた場合の燃焼欠損反応度、増殖比等が若干良くなる。

## 8. おわりに

ナトリウム冷却炉において、酸化物燃料大型炉心をベースに、実用化戦略調査研究での目標である経済性、資源有効利用、環境負荷低減、安全性の観点で実用化炉心燃料として、どこまでの性能が得られるかを検討すると同時に、燃料形態の比較検討を行い、以下の主な結果を得た。

酸化物燃料大型炉心でどこまで長期運転サイクルが可能かを示した。また、この長期運転サイクルを指向した炉心と replaceable で、倍増時間短縮を狙った炉心を検討し、酸化物燃料炉心で倍増時間 30 年以下が可能であることを示した。

MA 燃焼特性については、MA 添加率 5wt% における MA 変換率は酸化物燃料炉心で 11%/サイクル程度であり、金属、窒化物燃料炉心の方が 1~2% 程度大きいものの、燃料形態間の差は小さいことを示した。

低除染燃料の適用性については、最も影響の大きな RIAR 法 (F P 混入率: 約 2vol%) でも燃焼反応度  $0.5\% \Delta k/k'$ 、増殖比  $-0.04$  程度の変化であり、設計対応可能な見通しを得た。

炉心安全性に関しては、再臨界回避が実用化にあたっての前提条件となったため、増殖性に代表される高速炉の炉心特性を損なわない範囲で再臨界回避を可能ならしめる炉心燃料概念の追求を行い、炉心特性への影響の大きい内部ダクト方式に替わり、下部軸ブランケット部分削除方式及び径方向非均質炉心の採用等の炉心特性への影響が小さい再臨界回避概念の方向性を示すことができた。

燃料形態の比較検討では、金属燃料と窒化物燃料はほぼ同様の炉心核特性を示し、酸化物燃料と比較してポイド反応度の増加、高速中性子フルエンスの増加等のデメリット要素はあるものの、長期運転サイクルと炉心径縮小が可能で、増殖性も向上する等、炉心核特性上は総じて実用化の目標に合致する燃料形態であることを定量的に示した。

## 参考文献

### 2.4 の参考文献

- [1] 上平、JNC TN9400 99-022 「高強度フェライト／マルテンサイト鋼(PNC-FMS 鋼)のスエリング及び照射クリープ歪特性の評価」、1999年2月.

### 5.6 の参考文献

- [1] 上平、JNC TN9400 99-022、「高強度フェライト／マルテンサイト鋼(PNC-FMS 鋼)のスエリング及び照射クリープ歪特性の評価」、2月、1999年2月.  
[2] S.Cheng and N.Todreas, Nucl.Eng.Design vol.92, pp227-251, 1986.

### 添付資料・1 の参考文献

- [1] 上平ら、JNC TN 9400 99-045、「高強度フェライト／マルテンサイト鋼 (PNC-FMS) のクリープ強度特性の評価 (研究報告書)」、1999年4月.

### 添付資料・2 の参考文献

- [1] 上平、JNC TN9400 99-022 「高強度フェライト／マルテンサイト鋼(PNC-FMS 鋼)のスエリング及び照射クリープ歪特性の評価」、1999年2月.  
[2] N.Nakae, et al., "Irradiation Performance of High Burn-up Annular Fuel inPFR," ICONE-6257, Proc. of 6th Int'. Conf. on Nuc. Eng.(ICONE-6), San Diego, California, May 10-14, 1998.  
[3] Chin.B.A. and Puigh.R.J., "Analysis of the High Fluence Creep Behavior of Two Precipitation Strengthened Alloys," Effects of Radiation on Materials: 11th Conference, ASTM STP 782, ASTM, pp 122-135, 1982.

## 添付資料-1

## 各種被覆材(PNC-FMS 鋼、ODS 鋼、PE16 鋼)における強度特性式

実用化戦略調査研究では幅広い炉心燃料を対象としており、その中で、各炉心概念(ナトリウム冷却、鉛冷却、炭酸ガス冷却)を対象に各種被覆材について燃料設計成立性評価のためクリープ損傷解析を実施している。このクリープ損傷解析での使用に資するため、平成 11 年度、各種被覆管材(PNC-FMS 鋼、ODS 鋼、PE16 鋼)の強度特性式(クリープ破断強度式、外面腐食式(冷却材：ナトリウム、鉛、炭酸ガス)、酸化物燃料内面腐食式)の一部について、新たに暫定評価式の策定を行った。これらの平成 11 年度策定の暫定評価式を含め、本検討のクリープ損傷解析で使用した各種被覆材の強度特性式を以下にまとめた。

## (1) クリープ破断強度式

・ PNC-FMS 鋼 (92 年材料強度基準(暫定案)評価式)

$$LMP = (T+273.15)(35.32+\log_{10}(3 \times t_r)) \times 10^{-3}$$

$$S_R \leq 5.2 \text{ [kgf/mm}^2\text{]}$$

$$LMP = 39.813 - 2.9810 \times (\log_{10} S_R)$$

$$S_R > 5.2 \text{ [kgf/mm}^2\text{]}$$

$$LMP = 40.246 - 6.7351 \times (\log_{10} S_R) + 7.953 \times (\log_{10} S_R)^2 - 4.964 \times (\log_{10} S_R)^3$$

$S_R$  : 設計クリープ破断応力強さ [kgf・mm<sup>-2</sup>]

$T$  : 被覆管肉厚中心温度 [°C]

$t_r$  : 破断時間 [hour]

(環境効果)<sup>[1]</sup>

$$S_R^* = S_R \times \gamma$$

$$\gamma = \text{Min}(\sigma_{Na}, \sigma_{irr}) / \sigma_{air}$$

大気中ノミナル強度

$$LMP = (T + 273.15)(35.32 + \log_{10} t) \times 10^{-3}$$

$$\sigma_{air} < 51.0 \text{ [MPa]}$$

$$LMP = 42.768 - 2.9805(\log_{10} \sigma_{air})$$

$$\sigma_{air} \geq 51.0 \text{ [MPa]}$$

$$LMP = 59.581 - 37.147(\log_{10} \sigma_{air}) + 22.719(\log_{10} \sigma_{air})^2 - 4.964(\log_{10} \sigma_{air})^3$$

ナトリウム中ノミナル強度

$$LMP = (T + 273.15)(33.84 + \log_{10} t) \times 10^{-3}$$

$$\sigma_{Na} < 72.6 \text{ [MPa]}$$

$$LMP = 38.959 - 2.2756(\log_{10} \sigma_{Na})$$

$$\sigma_{Na} \geq 72.6 \text{ [MPa]}$$

$$LMP = 129.60 - 145.32(\log_{10} \sigma_{Na}) + 75.213(\log_{10} \sigma_{Na})^2 - 13.176(\log_{10} \sigma_{Na})^3$$

炉内ノミナル強度

$$LMP = (T + 273.15)(34.20 + \log_{10} t) \times 10^{-3}$$

$$\sigma_{irr} < 20.0 \text{ [MPa]}$$

$$LMP = 44.772 - 5.0897(\log_{10} \sigma_{irr})$$

$$\sigma_{irr} \geq 20.0 \text{ [MPa]}$$

$$LMP = 66.861 - 48.884(\log_{10} \sigma_{irr}) + 28.172(\log_{10} \sigma_{irr})^2 - 5.8114(\log_{10} \sigma_{irr})^3$$

$S_R^*$  : 環境効果を考慮した設計クリープ破断応力強さ [kgf・mm<sup>2</sup>]

$\gamma$  : 環境効果係数[-]

$\sigma_{air}$  : 大気中における時間  $t$  に対する破断周応力 [MPa]

$\sigma_{Na}$  : ナトリウム中における時間  $t$  に対する破断周応力 [MPa]

$\sigma_{irr}$  : 炉内における時間  $t$  に対する破断周応力 [MPa]

・ ODS 鋼 (平成 11 年度策定暫定評価式)

$$LMP = (T + 273.15)(35.12 + \log(3 \times t_r)) \times 10^{-3}$$

$$LMP = 56.784 - 9.133 \log_{10} S_R$$

$T$  : 被覆管肉厚中心温度 [°C]

$t_r$  : 破断時間 [hour]

$S_R$  : 設計クリープ破断応力強さ [MPa]

・ PE16 鋼 (平成 11 年度策定暫定評価式)

$$LMP = (T + 273.15)(27.30 + \log(3 \times t_r)) \times 10^{-3}$$

$$LMP = 38.74 - 6.845 \log_{10} S_R$$

$T$  : 被覆管肉厚中心温度 [°C]

$t_r$  : 破断時間 [hour]

$S_R$  : 設計クリープ破断応力強さ [kgf・mm<sup>2</sup>]

(2) 外面腐食式

[ナトリウム腐食式]

・ PNC・FMS 鋼 (92 年材料強度基準(暫定案)評価式)

$$C_{Na} = [C_{R1} + C_{R2} \times t] \times O_x$$

$C_{Na}$  : ナトリウムによる外面腐食量 [ $\mu\text{m}$ ]

$C_{R1}$  : 寿命初期の被覆管外面温度における初期腐食量 [ $\mu\text{m} \cdot \text{ppm}^{-1}$ ]  
 $\log C_{R1} = 9.078 - 8.251 \times 10^3 / (T + 273.15)$   
 $C_{R2}$  : 定常腐食速度 [ $\mu\text{m} \cdot \text{hour}^{-1} \cdot \text{ppm}^{-1}$ ]  
 $C_{R2} = 4.1667 \times 10^4 \cdot \exp[-1.7580 \times 10^4 / (T + 273.15)]$   
 $T$  : 被覆管外面温度 [ $^{\circ}\text{C}$ ]  
 $O_x$  : ナトリウム中の酸素濃度 [ppm]  
 $t$  : 被覆管外面温度  $T$ 、ナトリウム中の酸素濃度  $O_x$  での使用時間 [hour]

・ ODS 鋼

PNC-FMS 鋼のナトリウム腐食式と同様。

・ PE16 鋼

PNC-FMS 鋼のナトリウム腐食式を暫定的に適用した。

[鉛腐食式]

・ PNC-FMS 鋼 (平成 11 年度策定暫定評価式)

$$C = C_0 \cdot t^{1/2}$$

$$C_0 = 1.144 \times 10^5 \exp(-1.116 \times 10^4 / T)$$

$C$  : 腐食量 [ $\mu\text{m}$ ]

$t$  : 時間 [hour]

$T$  : 温度 [K]

・ ODS 鋼

PNC-FMS 鋼の鉛腐食式と同様。

[炭酸ガス腐食式]

・ PNC-FMS 鋼 (平成 11 年度策定暫定評価式)

ブレイクアウェイが発生するまでの腐食式

$$X = 4.4w$$

$$w = \sqrt{(k \cdot t)}$$

$$k = \alpha \cdot \exp(-5.45[\text{Si}]) \cdot \exp(-1.09[\text{Cr}]) \cdot \exp(-11253/T)$$

$$\alpha = 1.65 \times 10^8 \sim 4.40 \times 10^9$$

ブレイクアウェイが発生する減肉量

$$X = 66 \sim 154$$

ブレイクアウェイが発生した後の腐食式

$$X = 4.4w$$

$$w = k' \cdot t$$

$$k' = 2.86 \times 10^{-2}$$

X : 腐食量 [ $\mu\text{m}$ ]  
 w : 腐食増量 [ $\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ]  
 k : 放物線定数 [ $\text{mg}^2 \cdot \text{cm}^{-4} \cdot \text{hour}^{-1}$ ]  
 k' : 放物線定数 [ $\text{mg}^2 \cdot \text{cm}^{-4} \cdot \text{hour}^{-1}$ ]  
 t : 時間 [hour]  
 $\alpha$  : 定数  
 [Si] : Si 量 [wt.%]  
 [Cr] : Cr 量 [wt.%]  
 T : 温度 [K]

フェライト系材料について、Si・Cr 含有依存性を含む関係式を策定した。PNC-FMS 鋼における Si・Cr 量のノミナル値は、それぞれ 0.05 wt.%・11 wt.% であり、これらの値を設定した。

・ ODS 鋼

PNC-FMS 鋼の炭酸ガス腐食式と同様。ODS 鋼における Si・Cr 量のノミナル値は、それぞれ、0.03 wt.%、12 wt.% であり、これらの値を設定した。

・ PE16 鋼 (平成 11 年度策定暫定評価式)

$$X = 4.4w \times 1000$$

$$w = \sqrt{(k_p \cdot t)}$$

$$k_p = 1.090 \times 10^{-3} \exp(-192500/(RT))$$

X : 腐食量 [ $\mu\text{m}$ ]  
 w : 腐食増量 [ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ ]  
 $k_p$  : 放物線定数 [ $\text{g}^2 \cdot \text{cm}^{-4} \cdot \text{sec}^{-2}$ ]  
 t : 時間 [sec]  
 R : 気体定数 [ $8.314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ ]  
 T : 温度 [K]

(3) 酸化物燃料内面腐食式

• PNC-FMS 鋼 (92 年材料強度基準(暫定案)評価式)

- a)  $0 \leq Bu \leq 9000$     CFP = 35  
 b)  $9000 < Bu \leq 57500$     CFP =  $1.363 \times 10^{-3} \times (Bu - 9000)$   
        $- 1.363 \times 10^{-3} / K2 \times \{1 - \exp(-K2 \times (Bu - 9000))\} + 35$   
 c)  $57500 < Bu$             CFP =  $1.363 \times 10^{-3} \times (57500 - 9000)$   
        $- 1.363 \times 10^{-3} / K2 \times \{1 - \exp(-K2 \times (57500 - 9000))\} + 35$

CFP : FP による内面腐食量 [ $\mu$ m]

T : 被覆管内面温度 [°C]

Bu : 局部燃焼度 [MWd/t]

K2 :  $7.676 \times 10^8 \times \exp\{-4700 / (1.987 \times (T + 273.15))\}$

• ODS 鋼

PNC-FMS 鋼の酸化物燃料内面腐食式と同様。

• PE16 鋼

PNC-FMS 鋼の酸化物燃料内面腐食式を暫定的に適用とした。



## 添付資料-2

### ダクト膨れ量評価用各種ダクト材の照射物性式について

#### 1. 概要

本実用化戦略調査研究では、集合体健全性評価におけるダクト膨れ量解析にて、現段階にて炉心燃料設計をした場合に設計評価に用いるべき「現状での PNC-FMS 上限式」に加えて、本研究のフェーズを鑑み、将来的に実験データ取得の拡充等により照射物性式の合理化が図られた場合を想定し、上限式ベースでの「PNC-FMS 合理化式」を設定した。

また、海外材料特性の調査／把握の目的にて、HT9 暫定上限式及び PE16 ノミナル相当式<sup>[2][3]</sup>も評価対象に加えた。

本添付資料は、上記 3 種類の照射物性式について出典データ及び設定の考え方等をまとめたものである。

#### 2. PNC-FMS 合理化式及び HT9 暫定上限式

本評価で用いた PNC-FMS の照射物性式（スエリング上限式及び照射クリープ歪上限式）を付表 2-1<sup>[4]</sup>に示す。本式は現段階での上限式であり、以降これを PNC-FMS 上限式と呼ぶ。PNC-FMS 上限式は、ただちに実機の許認可に適用できる程度に保守性を担保したものである。

まず、照射クリープ歪式について記す。PNC-FMS の照射クリープ歪式と実際の照射データとの比較を付図 2-1 に示す。本図から分かる通り、上限式においても不適切に過剰な保守性を持ったものではない。この関係式を FFTF 照射 HT9 集合体 ACO3 の集合体ダクト変形解析に試適用した結果を付図 2-2 に示す。クリープ歪式に上限式を適用してもノミナル式と比較して著しく大きい変形を与えるわけではないことが分かる（例えば、図中の曲線[1]と[2]との比較）。

一方、PNC-FMS のスエリングについては、実機燃料照射データがほとんど取得できていないこともあり、その上限式は PNC-FMS の材料照射データと比較して顕著に保守的な設定となっている。照射データとスエリング式の関係性を付図 2-3 に示す。本図より、PNC-FMS スエリング上限式は、類似鋼である HT9 の照射データも包絡していることが分かる。

そこで、本検討においては、保守性破綻のリスクを理解した上で、PNC-FMS のスエリング上限式を小さめに設定することを試みた。付図 2-3 に基づいて、現状のノミナル式でも PNC-FMS の材料照射データと比較して保守的であることを考慮し、本評価用として、現状ノミナル式そのものを「将来的に期待される合理化が図られた際の上限式」として試適用した。このスエリング合理化式と組み合わせて適用する照射クリープ歪式は、前述のノミナル式と上限式との差を考慮して、上限式とした。

HT9 については、PNC-FMS スエリングノミナル式のポイドスエリング分を 1.5

倍とし、「焼きしまり」項をゼロとするとともに、PNC-FMS 照射クリープ歪式上限式と組み合わせて「ACO3」の解析を実施した。図 2.4-4 にその結果を示す。比較対象は 1 集合体に過ぎないが、本組み合わせ式であれば、スエリングと照射クリープ変形を合わせた集合体ダクト変形量を概ね包絡して評価できることが分かった。本図中では、低温側にて過度な保守性となっている傾向が見られる。しかし、この低温部の照射温度は 430℃程度以下であり、現状の設計評価にて着目すべき領域より低温であり、本傾向そのものが原因となって設計評価結果自体が過剰に保守的になることはないと考えられる。以上より、本検討で用いた HT9 の暫定的な上限式としては、PNC-FMS スエリングノミナル式のボイドスエリング分を 1.5 倍とし、「焼きしまり」項をゼロとしたスエリング式と、PNC-FMS 照射クリープ歪式上限式とを組み合わせ適用した。

### 3. PE16 評価式（ノミナル相当式）

PE16 評価式は、英国より提示されたスエリング式及び照射クリープ歪式を用いた。これらの評価式を用いて PE16 被覆管の燃料ピン変形解析を実施し、ピンの変形については概ね適切に評価できることが示されている（付図 2-5 参照）<sup>[2]</sup>。また、付図 2-6<sup>[3]</sup>の照射クリープ歪定数と、本照射クリープ歪式の定数が 550℃程度以下の低温側では概ね一致しており、本評価にて用いた照射クリープ歪式の定数は概ね妥当であり、ノミナル式に相当するものであると判断して適用した。

付表 2-1 PNC-FMS の照射物性式

JNC TN9400 99-022

## PNC-FMS鋼のスエリング式 (被覆管・ラップ管共通)

$$\Delta V/V = S_0 + D'$$

$$S_0 = R \phi_1 \\ = [R_0 \exp\{A(T - T_0)^2\}] \phi_1$$

[ノミナル・上下限式共通]

$$A = -1.74 \times 10^{-4}$$

$$T_0 = 414$$

[ノミナル式]

$$R_0 = 2.44 \times 10^{-2}$$

$$D' = -0.17$$

[上限式]

$$R_0 = 5.13 \times 10^{-2}$$

$$D' = 0.00$$

[下限式]

$$R_0 = 1.40 \times 10^{-2}$$

$$D' = -0.48$$

 $\Delta V/V$  : スエリング量 [vol.%] $S_0$  : ボイドスエリング量 [vol.%] $D'$  : 焼きしまり量 [vol.%] $R$  : 定常スエリング速度 [(vol.%) (10<sup>25</sup> n/m<sup>2</sup>, E>0.1MeV)<sup>-1</sup>] $\phi_1$  : 中性子照射量 [10<sup>25</sup> n/m<sup>2</sup>, E>0.1MeV] $R_0$  : ピークスエリング温度での定常スエリング速度[(vol.%) (10<sup>25</sup> n/m<sup>2</sup>, E>0.1MeV)<sup>-1</sup>] $A$  : 定常スエリング速度の温度依存性に関する定数 [C<sup>-2</sup>] $T$  : 照射温度 [C] $T_0$  : ピークスエリング温度 [C]

適用範囲

照射温度 : 400~700 [C]

中性子照射量 : ~40 [X10<sup>25</sup> n/m<sup>2</sup>, E>0.1MeV]

JNC TN9400 99-022

## PNC-FMS鋼の照射クリープ歪み式 (被覆管・ラップ管共通)

$$\epsilon = B_0 \phi_1 \sigma^n + D \epsilon_s \sigma$$

[ノミナル・上下限式共通]

$$n = 1$$

[ノミナル式]

$$B_0 = 2.51 \times 10^{-5}$$

$$D = 5.50 \times 10^{-2}$$

(\*) スエリング歪みは、スエリング式のノミナル式を用いる

[上限式]

$$B_0 = 3.20 \times 10^{-5}$$

$$D = 6.07 \times 10^{-2}$$

(\*) スエリング歪みは、スエリング式の上限式を用いる

[下限式]

$$B_0 = 1.78 \times 10^{-5}$$

$$D = 3.54 \times 10^{-2}$$

(\*) スエリング歪みは、スエリング式の下限式を用いる

 $\epsilon$  : 照射クリープ相当歪み [-] $B_0$  : 照射クリープ係数 [(10<sup>25</sup> n/m<sup>2</sup>, E>0.1MeV)<sup>-1</sup> (MPa)<sup>-n</sup>] $\phi_1$  : 中性子照射量 [10<sup>25</sup> n/m<sup>2</sup>, E>0.1MeV] $\sigma$  : 相当応力 [MPa] $n$  : 応力に関する指数 [-] $D$  : スエリング相互作用項の係数 [(MPa)<sup>-1</sup>] $\epsilon_s$  : スエリング歪み [-] ( $\epsilon_s$  [-] = (1/300)  $S_0$  [Vol.%]) $S_0$  : ボイドスエリング量 [Vol.%]

適用範囲

照射温度 : 400~700 [C]

中性子照射量 : ~40 [X10<sup>25</sup> n/m<sup>2</sup>, E>0.1MeV]

周応力 : ~150 [MPa]

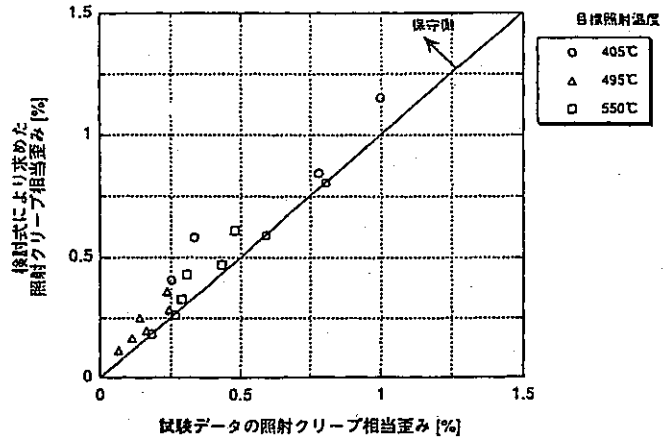


図 27.1 照射クリープ歪み式(検討式)のデータに対する保守性の検証 (上限式の場合)

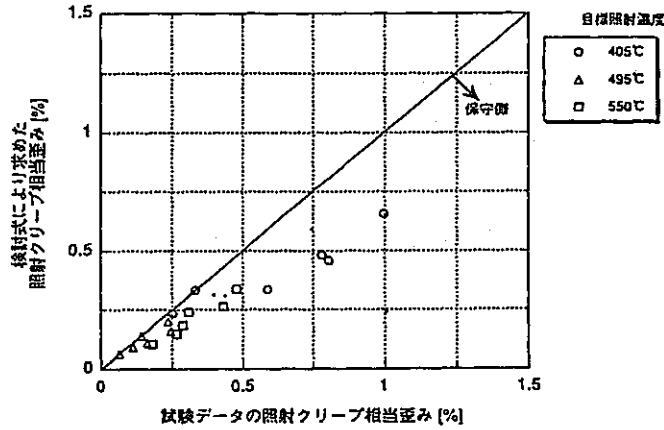


図 27.2 照射クリープ歪み式(検討式)のデータに対する保守性の検証 (下限式の場合)

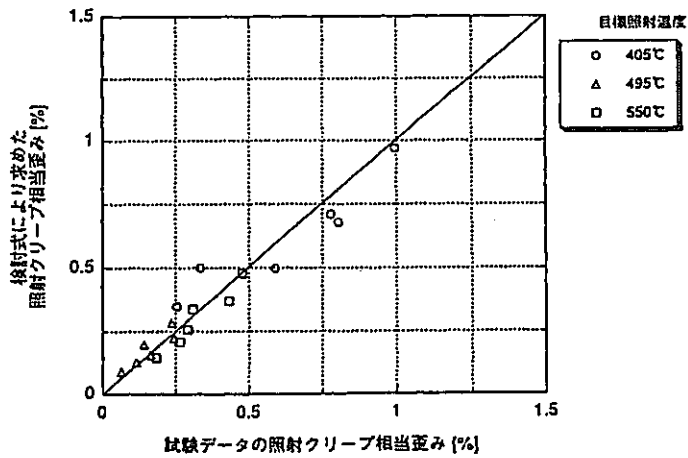


図 27.3 照射クリープ歪み式(検討式)のデータに対する保守性の検証 (参考図：ノミナル式の場合)

付図 2-1 PNC-FMS の照射クリープ式と照射データとの比較

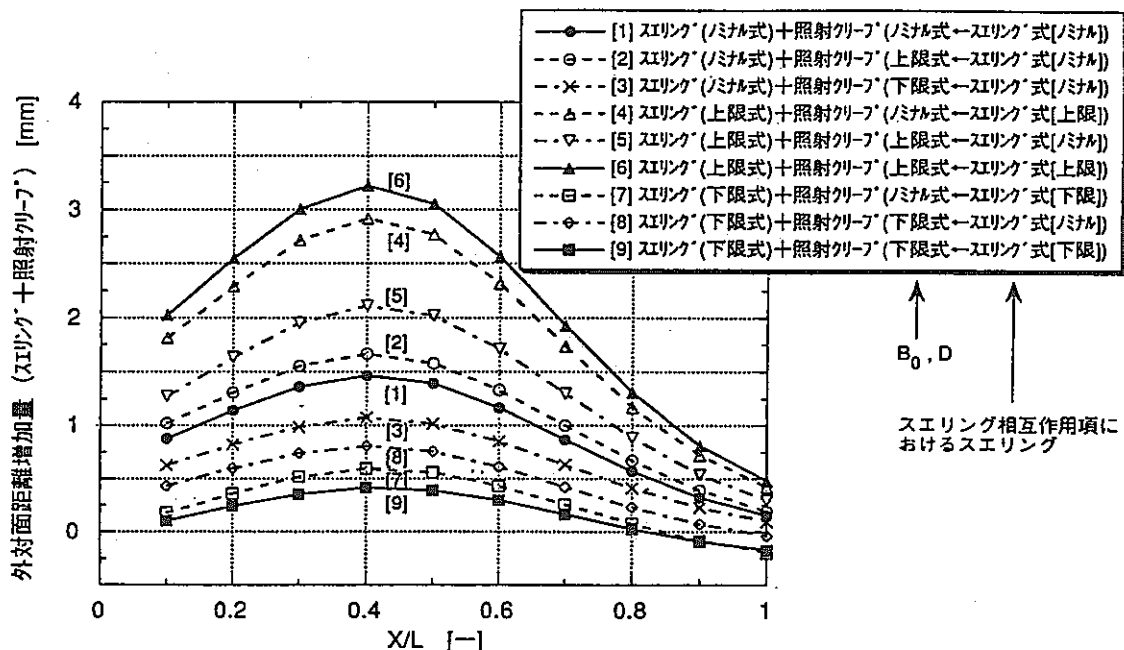
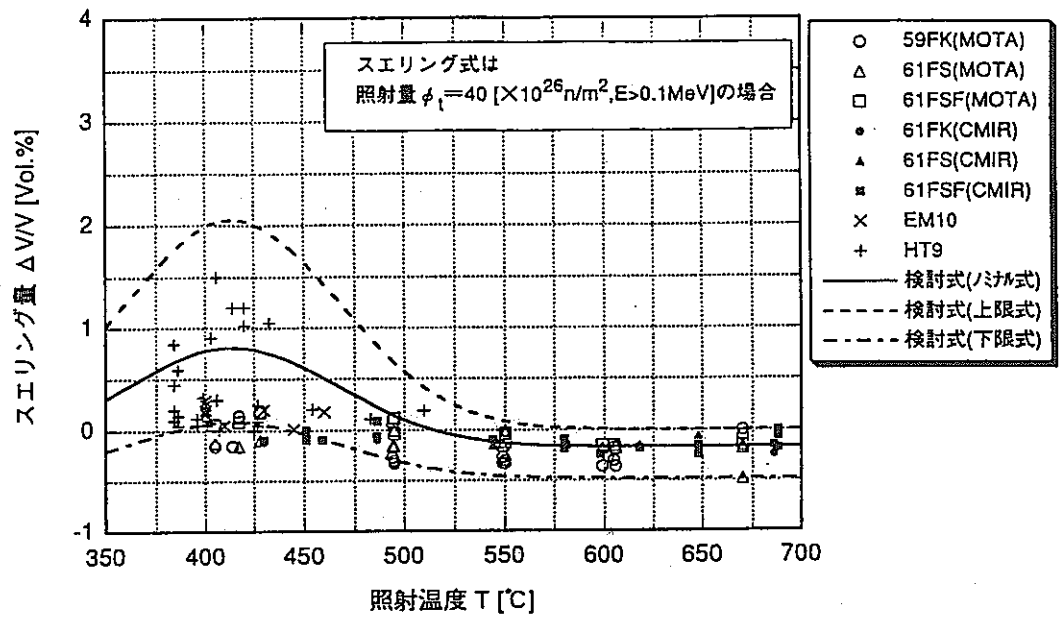
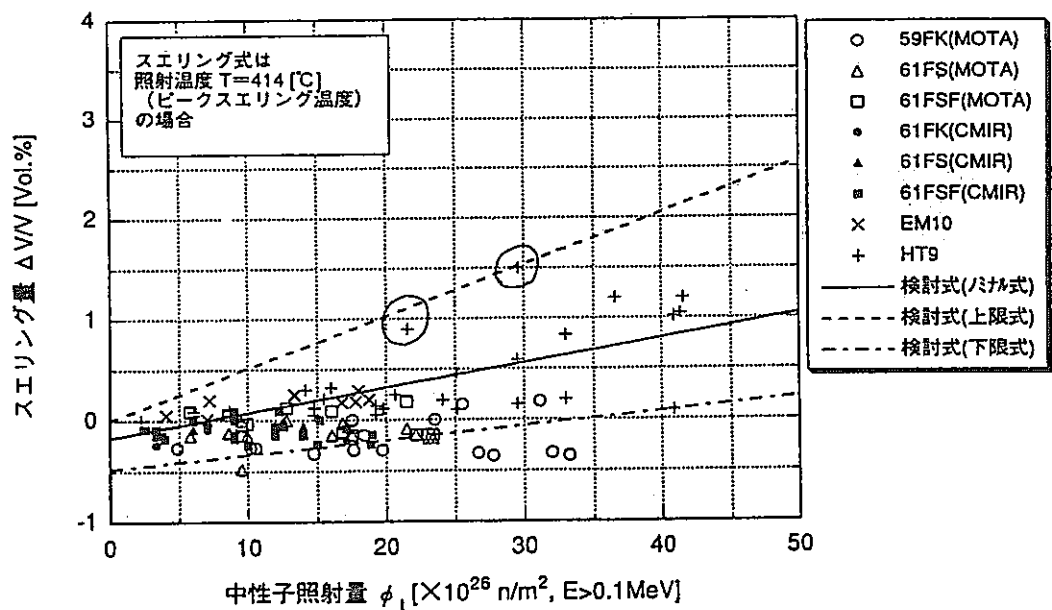


図 29 PNC-FMS検討式のスリング式と照射クリーブ歪み式の  
組合せ方によるACO3解析結果  
(スエリング量+照射クリーブ歪み量の比較)

付図 2-2 PNC-FMS 照射物性式による HT9 ダクト集合体 ACO3 解析結果

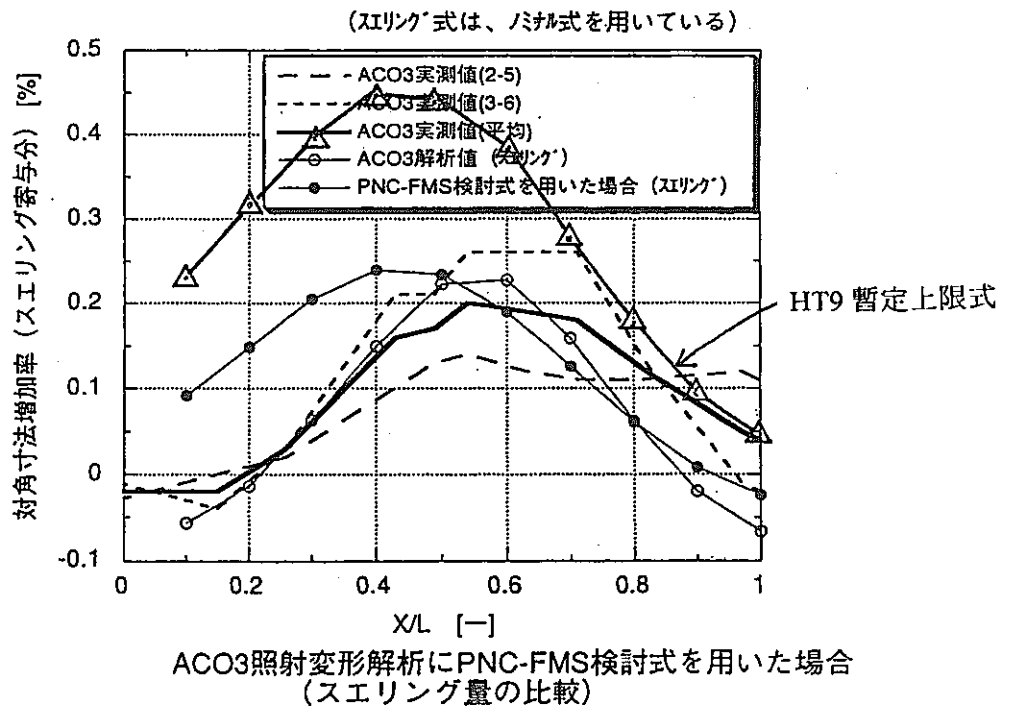
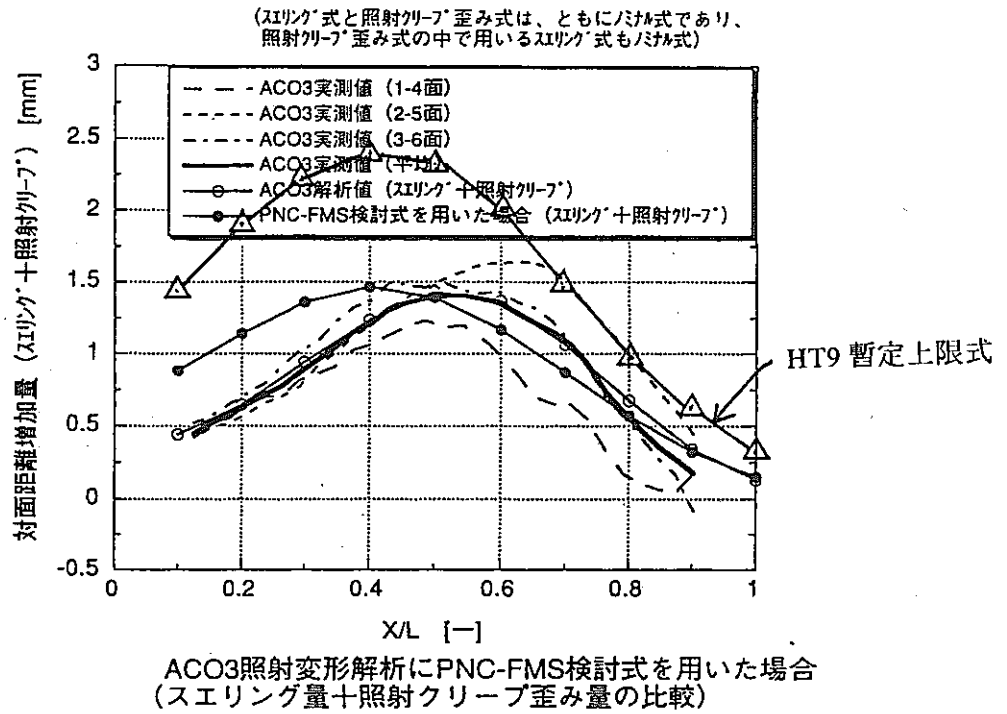


今回検討したスエリング式の温度依存性

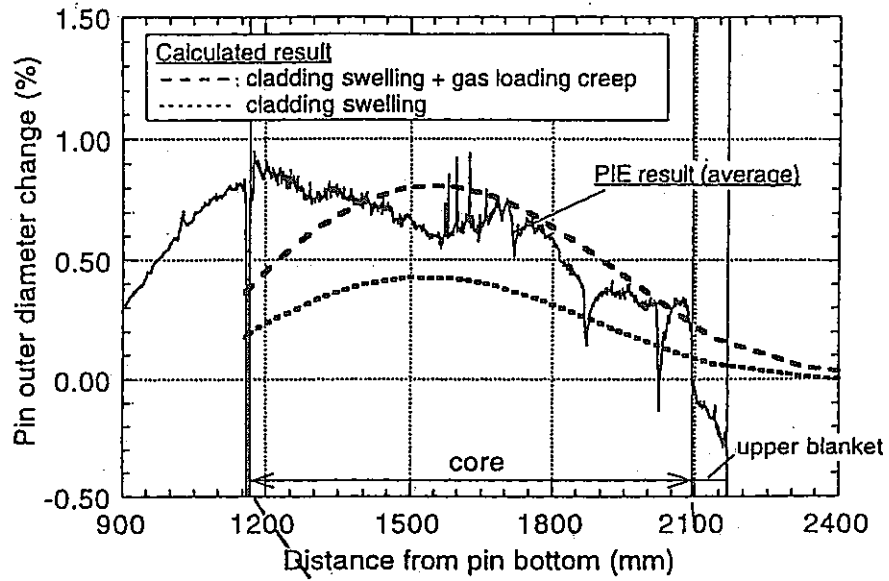


今回検討したスエリング式の照射量依存性

付図 2-3 PNC-FMS のスエリング式と照射データとの比較



付図 2-4 本検討にて用いた HT9 の照射物性暫定上限式



被覆管外径変化率の比較（炉心領域）（623387 ピン）

付図 2-5 被覆管外径変化率の比較（炉心領域、623387 ピン）

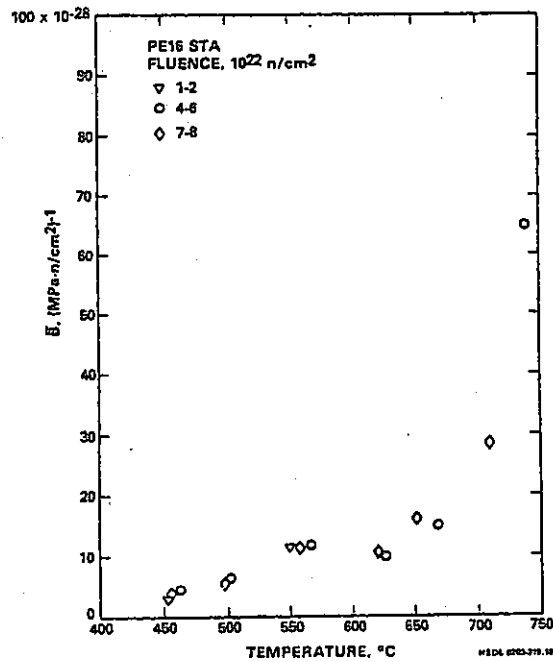


Fig. 6 -Temperature dependence of the in-reactor creep of PE16 STA.

付図 2-6 PE16 照射物性式の妥当性判断用データ