

高速増殖原型炉もんじゅ
性能試験結果を反映した燃料設計最適化

技術資料		
開示区分	レポートNo.	受領日
Z	ZJ1678 95-006	1996.2.20
この資料は技術管理室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です <small>動力炉・核燃料開発事業団 技術協力部技術管理室</small>		

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1994年11月

新型炉技術開発株式会社

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、特に限られた関係者だけに開示するものです。については複製、転写、引用等を行わないよう、また、第三者への開示または内容漏洩がないように管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう特に注意して下さい。

本資料についての問い合わせは下記に願います。
〒107 東京都港区赤坂1丁目9番13号
動力炉・核燃料開発事業団
技術協力部 技術管理室

限定資料

PNC ZJ1678 95-006

1994年11月

高速増殖原型炉もんじゅ

性能試験結果を反映した燃料設計最適化

菅 太郎^{*1} 大矢 武明^{*2}

小川 伸太^{*3} 横堀 仁^{*2}

貝瀬 與一郎^{*1}

要 旨

高速増殖原型炉もんじゅは、平成6年4月に初臨界を達成後、5月には初期炉心構成を完了し、炉心反応度の測定等の性能試験が実施されている。そこで、性能試験で得られたデータ及び燃料製造実績を反映した炉心及び燃料特性を評価し、今後の炉心運転計画を策定するためのデータの整備作業を実施した。

(1) 初装荷炉心の運転日数増加策の検討

運転日数増加策の検討を行い、第一回取替燃料のうち、内側炉心燃料を最大24体まで初装荷炉心の中途で交換することにより必要な運転日数を確保できることを確認するとともに、核特性上の成立性を評価した。

(2) 初装荷炉心中途燃料交換した場合の第二サイクル炉心核特性評価

初装荷炉心での中途燃料交換体数をパラメータとして残りの取替燃料を交換した第二サイクルでの炉心特性を評価し、その成立性を確認した。

また、(1)及び(2)の結果から第一回取替燃料のPu富化度を検討評価し、

内側炉心・・・16.0fiss Pu wt%

外側炉心・・・21.0fiss Pu wt%

を選定し、炉心特性の評価検討を行って設工認変更申請のための基礎データを作成した。

(3) 热特性評価

初装荷炉心の中途で燃料交換を行う場合、交換体数をパラメータとして

・本報告書は新型炉技術開発株式会社が動力炉・核燃料開発事業団との契約により実施した業務の成果である。

契約番号：061C0044

事業団担当課：動力炉開発推進本部 もんじゅ管理課 竹内 則彦

*1 新型炉技術開発株式会社

*2 三菱原子力工業株式会社

*3 ニュークリア・デベロップメント株式会社

熱特性評価を行った。その結果、一部ケースで被覆管最高温度が676°Cとなるものの他のケースでは673°Cであり、また、燃料最高温度は2322°Cであり、熱的制限値を満足することを確認した。

また、従来設計からの設計進捗及び製造実績を反映した工学的安全係数を再整理し、燃料及び被覆管の最高温度への影響を検討した。従来正規分布を仮定していたものを一様分布とした場合でも、従来設計からの見直し、保守性の削減により、燃料温度で約9°C、被覆管温度で約1°Cの温度上昇に留まり、熱的制限値を満足することを確認した。

(4) 今後の燃料取替計画見直しのための基本データの整備

今後策定される第二サイクルまでの運転計画で、初装荷炉心での中途燃料交換体数等の決定に資するため、初装荷炉心での中途燃料交換後の炉心及び第二サイクル炉心の核特性基本データを整備した。

目 次

1. まえがき	1-1
2. 性能試験の結果を踏ました炉心燃料特性の明確化.....	2.1-1
2.1 燃料製造実績及び性能試験結果の影響.....	2.1-1
2.2 燃料製造実績及び性能試験結果を反映した炉心特性評価.....	2.2.1-1
2.2.1 初装荷炉心の運転日数増加策の検討	2.2.1-1
2.2.2 初装荷炉心運転計画を反映した第二サイクル炉心特性評価 ..	2.2.2-1
2.2.3 反応度係数評価	2.2.3-1
2.2.4 熱特性評価	2.2.4-1
3 燃料製造実績に起因した熱的影響評価.....	3.1-1
4. 今後の燃料取替計画見直しのための基本データの整備	4.1-1
4.1 性能試験期間中燃料交換を実施した炉心の核特性基本データの整備	4.1-1
4.2 第二サイクル炉心の核特性基本データの整備	4.2-2
5. 今後の燃料取替計画見直しのための補足データの整備	5-1
5.1 第三サイクル以降の炉心特性評価	5-1
5.2 性能試験期間中に燃料交換をした後の第三サイクル以降の炉心特性評価	5-4
5.3 第三サイクル及び第四サイクル炉心の成立性確認	5-4
6. あとがき	6-1

付録A. 設工認資料（案）	A-1
付録B. 性能試験期間中の燃料交換におけるPu富化度の影響.....	B-1
付録C. 予備体使用の検討	C-1
付録D. ミルシート平均組成の取替燃料使用の検討	D-1
付録E. 補足説明資料	E-1

1 まえがき

高速増殖原型炉もんじゅは、平成6年4月に初臨界を達成し、5月には初期炉心構成を完了し、炉心反応度の測定等の性能試験が実施されている。これらの性能試験の結果及び燃料製造実績を踏まえ、初装荷炉心を含めて今後の運転計画を策定する必要がある。

そこで、これまでに得られた性能試験結果及び燃料製造実績に基づき今後の運転計画変更を行った場合の炉心特性への影響を検討した。また、燃料製造実績データが熱特性へ与える影響も併せて検討した。

2 性能試験の結果を踏まえた炉心燃料特性の明確化

2.1 燃料製造実績及び性能試験結果の影響

'94/4/5の最小臨界及び'94/5/22初期炉心構成での臨界達成後、もんじゅでは各種の性能試験が実施され、炉心核特性データが得られつつある。これらの実機データは今後の炉心運用計画を策定する上で非常に有益なものであるが、炉心核特性上、実際に初装荷炉心での性能試験から第二サイクルまでの運転計画に反映できるものとしては、現状では燃料製造実績（製作密度及び燃料組成）及び過剰反応度が重要である。

燃料製造実績データを反映した初装荷炉心の炉心特性評価として別途実施されている「炉心特性の詳細評価（IV）」での、設計手法による過剰反応度評価結果と実測値との差異や燃料組成の影響等の検討結果から、現状で初装荷炉心における100%出力運転日数は、核特性の不確定性を最も保守的に考慮した場合で50日と評価されている。この結果、性能試験に必要な運転日数が不足する可能性がある。

この現状を踏まえて、本検討では、性能試験に必要な初装荷炉心の運転日数を80日とし、不足分30日の運転日数を確保するために、第二サイクル用の第一回取替燃料を最大で24体まで先行使用することを想定する。

また、第二サイクルでの所要反応度を確保するための取替燃料のPu富化度の変更も併せて検討する。

2.2 燃料製造実績及び性能試験結果を反映した炉心特性評価

2.2.1 初装荷炉心の運転日数増加策の検討

2.1で述べたように初装荷炉心の運転日数が、性能試験に必要な80日に対して不足する可能性があるため、ここでは初装荷炉心の途中で第二サイクル用の取替燃料（内側炉心集合体42体及び外側炉心燃料36体 計78体）の一部を燃料交換し、運転日数を確保する方策を検討する。

(1) 検討条件

燃料組成

検討に使用した燃料組成を表2.2.1-1及び図2.2.1-1に示す。初装荷炉心については実組成を用いる。第二サイクルでの取替燃料については、基本的には設計基準組成を用いるが、ミルシート平均組成についてもその影響を評価検討する。なお、それぞれの組成に対応したPu富化度は、設計手法と同様、等価フィッサイル法を用いて設計基準組成ベースの等価フィッサイル富化度となる様に設定する。表2.2.1-2にこの際使用する等価フィッサイル係数を示す。

初装荷燃料

’94/04/25時点の燃料実組成

第二サイクル取替燃料

’96/08/15を燃料装荷日とする設計基準組成相当

(約3年分の²⁴¹Puの崩壊と²⁴¹Amの蓄積を考慮)

燃料交換体数

初装荷炉心中途燃料交換は、内側炉心について最大24体まで実施するものとする。

運転計画

運転計画については、初装荷炉心の運転日数不足の可能性を考慮し、性能試験に必要な100%出力運転換算日数を80日とし、初装荷炉心中途燃料交換の時期は出力運転開始後50日目とする。この際、性能試験期間の中の部分負荷運転は全て100%出力運転換算とし、中途燃料交換を’95/08/31に実施するものとして燃焼モデル化する。以上の条件により設定される燃焼計算モデルを以下に示す。

’94/04/25 より燃焼計算モデル化（初装荷燃料実組成定義日）

炉物理試験等443日

’95/07/12 出力上昇試験開始
(計算上は部分負荷を考慮せずこれ以降100%出力として燃焼)
100%出力運転50日

’95/08/31 燃料交換
100%出力運転30日

’95/09/30 初装荷炉心終了

第二サイクルは、その開始を’96/08/15で運転サイクル日数を所定の123日として燃焼モデル化する。よって、初装荷炉心終了後の定期検査期間は計算モデル上320日となる。

’95/09/30 初装荷炉心終了
定検等320日

’96/08/15 第二サイクル燃料交換・運転開始
100%出力運転123日

’96/12/16 第二サイクル終了

ここで、表2.2.1-3に初装荷炉心から第二サイクルまでの燃焼計算モデルを示す。

(2) 解析手法

設計手法を用いる。燃焼及び出力分布計算体系図を図2.2.1-2及び-3に示す。

(3) 取替燃料とPu富化度

第一回燃料交換における取替燃料の設計基準組成ベースでのPu富化度で、本検討時点で設工認上認可されているのは以下の値である。

内側炉心 15.4fiss Pu wt%

外側炉心 20.8fiss Pu wt%

ここで、想定外の工程の遅延等に伴う反応度不足に対処するため、この値をベースにPu富化度を増加させた場合について、等価フィッサイル法により各燃料組成に対応したPu富化度を計算した。結果を表2.2.1-4及び図2.2.1-4に示す。同図表より、実際のPu富化度は、設計基準組成相当 (^{239}Pu の崩壊約3年分を考慮) の場合で0.1fiss Pu wt%、ミルシート平均組成の場合で0.4fiss Pu wt%設計基準組成ベースの値と比較して増大する。特に、ミルシート平均組成の様な ^{241}Pu の少ない組成で

外側炉心で高いPu富化度を設定する場合は、富化度が30 Pu/(Pu+U)wt%を大きく超える可能性があるので注意を要する。

また、本来、第二サイクルで使用する取替燃料を初装荷炉心で使用する場合、今回の燃焼モデルでは燃料製造上の装荷日、すなわち、第二サイクル100%運転開始時点である'96/8/15から350日遡って燃料を装荷することになるため、燃料中の²⁴¹Puの量が増える効果があることに留意する必要がある。図2.2.1-5に燃料製造上の装荷日との時差に依存する核分裂性Pu富化度の変化を示したが、350日前に装荷する場合、設計基準組成相当の組成で約0.1fiss Pu wt%富化度が高くなっていることがわかる。この影響は反応度的には高く、また出力分布の観点からは厳しくなる方向であると考えられる。なお、²⁴¹Puの量が少ないミルシート平均組成等はその変化量も減少する。

表2.2.1-5に初装荷実燃料及び設計基準組成相当の組成をもつ取替燃料の代表的なPu富化度（内側炉心・16.0fiss Pu wt%/外側炉心・21.0fiss Pu wt%）に対する原子数密度を示す。

(4) 取替燃料のPu富化度の検討

第1回取替燃料のPu富化度を増加させる場合、初装荷炉心の運転日数増加策としてサイクル期間中に中途燃料交換を実施することを考慮して決定する必要がある。

中途燃交する内側炉心取替燃料のPu富化度と燃料交換パターンの検討結果によると（付録B）、炉心最内層（第一流量領域）での燃交を含むケースでは最大線出力が約359W/cmとなり、これ以上Pu富化度を増加させ得ない結果が得られた。

また、この結果を反映した燃交パターンを採用した場合、出力分布の制限から、Pu富化度は最大で16.0fiss Pu wt%に増加させることが可能である見通しを得た。

これらの検討結果から、第一回取替燃料の内、内側炉心のPu富化度として16.0fiss Pu wt%を選定する。

(5) 初装荷中途燃料交換体数の検討

(4)で選定した内側炉心の取替燃料（16.0fiss Pu wt%）を最大で24体まで初装荷炉心で中途燃交をする場合について、その燃料交換体数をパラメータとした評価を実施した。評価した燃料交換体数は、12、17及び24体である。図2.2.1-6にこれら各ケースの燃料交換パターンを示す。

表2.2.1-6に実効倍率及び反応度変化量を示す。同表より、燃料交換による反応度增加分として次の値が得られる。

12体・・・0.64%dk/kk' ($\div 0.016\%dk/kk' / \text{days}^* = \text{約40日}$)

17体・・・0.93%dk/kk' ($\div 0.016\%dk/kk' / \text{days}^* = \text{約60日}$)

24体・・・1.27%dk/kk' ($\div 0.016\%dk/kk' / \text{days}^* = \text{約80日}$)

* 表2.2.1-6の中途燃交後の燃焼欠損反応度の平均から求めた値

従って、初装荷炉心の運転可能日数として現状で考えられている最低50日から、初装荷炉心における必要運転日数80日までの反応度増加であれば、中途燃料交換体数は12体程度と予想される。また、出力分布の変動については最大線出力の評価結果を表2.2.1-7に示した。炉心最内層における燃料交換を行わない場合は、最大線出力は燃交体数に依らず約358W/cmに収まる。

表2.2.1-1 検討に使用する燃料Pu組成

Pu 同位体	設計基準組成	設計基準組成(Pu-241崩壊考慮)	ミルシート平均組成	初装荷燃料実組成
Pu-238	0.0	0.0	1.0	1.2
Pu-239	58.0	58.0	62.0	62.2
Pu-240	24.0	24.0	24.0	23.6
Pu-241	14.0	12.0	6.0	7.3
Pu-242	4.0	4.0	4.0	3.9
Am-241	0.0	2.0	3.0	1.8

注1) Pu-241の崩壊は約3年間を考慮した。

注2) 初装荷燃料実組成は内側及び外側炉心の平均とした。

表2.2.1-2 検討に使用する等価フィッサイル係数

核種	第二サイクル（反応度保存方式）	
	内側炉心	外側炉心
235U	0.78600	0.76133
235U	-0.05446	-0.03868
238Pu	0.56880	0.60974
239Pu	1.00000	1.00000
240Pu	0.13749	0.17477
241Pu	1.43430	1.39560
242Pu	0.10785	0.14509
241Am	-0.00419	0.03325

表2.2.1-3 初装荷から第二サイクルまでの燃焼計算モデル

日時	94/04/25	→	95/07/12	→	95/08/31	→	95/09/30	→	96/08/15	→	96/12/16							
日数	—	443日	—	50日	—	—	—	320日	—	—	123日	—						
イベント	初装荷 炉心 臨界	性能試験	出上 力昇	100%出力 運転	燃料 交換	100%出力 運転	初装荷 炉終	心了	定検	燃料 交換	100%出力 運転	第2サイクル 終了						
燃料交換	↑ I/C ~24体中途燃料交換 ↑ I/C 中途燃交の残り分燃料交換 0/C 36体取替																	
出力	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%;"> <tr> <td style="width: 33.33%;">100%</td> <td style="width: 33.33%;"></td> <td style="width: 33.33%;"></td> </tr> <tr> <td>0%</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>												100%			0%		
100%																		
0%																		
備考	初装荷 実組成	部分負荷 無し		性能試験 中の部分 負荷はこ こで考慮	必要反応度分を装荷	現状想定 されてい る燃焼日 数			第1回取替燃料の 製造上の 燃料装荷日	通常のサ イクル運転 日 数								

表2.2.1-4 設計基準組成ベースの値に対応する各Pu組成でのPu富化度

単位 ; Pu/(Pu+U+Am) wt %

	設計基準組成		等価フッサイル富化度 (単位無)	Am考慮の設計基準組成相当		ミルシート平均組成組成	
	核分裂性Pu富化度	Pu富化度		核分裂性Pu富化度	Pu富化度	核分裂性Pu富化度	Pu富化度
内側炉心用	15.4	21.39	0.1326	15.48	22.12	15.78	23.21
	15.8	21.94	0.1374	15.88	22.68	16.19	23.81
	16.0	22.22	0.1398	16.08	22.97	16.40	24.11
	16.4	22.78	0.1446	16.49	23.55	16.81	24.72
外側炉心用	20.9	29.03	0.2115	20.98	29.97	21.32	31.35
	21.0	29.17	0.2127	21.08	30.12	21.42	31.50
	21.3	29.58	0.2163	21.38	30.54	21.72	31.95

表2.2.1-5 検討に使用する初装荷燃料及び取替燃料の原子数密度

単位： 10^{-24} atom/cc

NELM	MICS ID	核種	初装荷燃料		取替燃料	
			内側炉心	外側炉心	内側炉心	外側炉心
1	2	Mn	3.2360E-04	3.2360E-04	3.2368E-04	3.2368E-04
2	6	10B				
3	7	11B				
4	8	C				
5	10	O	1.3627E-02	1.3753E-02	1.3737E-02	1.3774E-02
6	11	Na	8.7500E-03	8.7600E-03	8.7499E-03	8.7499E-03
7	19	Cr	3.8749E-03	3.8749E-03	3.8760E-03	3.8760E-03
8	20	Fe	1.3900E-02	1.3900E-02	1.3904E-02	1.3904E-02
9	21	Ni	2.7262E-03	2.7262E-03	2.7269E-03	2.7269E-03
10	25	Mo	3.0883E-04	3.0883E-04	3.0892E-04	3.0892E-04
11	34	235U	1.1008E-05	1.0489E-05	1.0897E-05	9.9177E-06
12	35	236U				
13	36	238U	5.4676E-03	4.9665E-03	5.3687E-03	4.8863E-03
14	30	238Pu	1.7407E-05	2.3100E-05		
15	37	239Pu	9.0578E-04	1.2635E-03	9.2666E-04	1.2186E-03
16	38	240Pu	3.5053E-04	4.6677E-04	3.8185E-04	5.0216E-04
17	39	241Pu	1.0403E-04	1.4777E-04	1.9013E-04	2.5004E-04
18	40	242Pu	5.7395E-05	7.5435E-05	6.3114E-05	8.3001E-05
19	41	241Am	3.2717E-05	2.8192E-05	3.1688E-05	4.1673E-05
20	31	239Np				
21	42	U-FP				
22	43	Pu-FP				
Pu富化度 (Pu/(Pu+U) wt%)			21.24	28.84	22.97	30.12

注) Naは定格出力時の密度、その他は20°Cの密度に基づいて算出

表2.2.1-6 燃料交換体数を変えた場合の反応度

・初装荷炉心50日燃焼後中途燃料交換の場合

燃料交換体数	0		12		17		24	
Pu富化度 (fiss Pu wt%)	-		16.0		同左		同左	
	実効増倍率	反応度差 (%dk/kk')	実効増倍率	反応度差 (%dk/kk')	実効増倍率	反応度差 (%dk/kk')	実効増倍率	反応度差 (%dk/kk')
94/04/25時点	1.0255	-	1.0255	-	1.0255	-	1.0255	-
出力上昇開始	1.0213	-0.40	1.0213	-0.40	1.0213	-0.40	1.0213	-0.40
50日燃焼後	1.0134	-0.76	1.0134	-0.76	1.0134	-0.76	1.0134	-0.76
中途燃交後	1.0134	0.00	1.0200	0.64	1.0230	0.93	1.0266	1.27
80日燃焼終了	1.0088	-0.45	1.0152	-0.46	1.0181	-0.47	1.0215	-0.49

表2.2.1-7 初装荷炉心中途燃料の交換体数を変えた場合の流量領域毎の最大線出力 (1 / 3)

・取替燃料のPu富化度 : 16.0 fiss Pu wt%

流量領域		初装荷炉心初期				12体燃料交換				
		集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	(a)最大線出力 W/cm	集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	(b)最大線出力 W/cm	(b)/(a)
内側炉心	1	2	BOC	NaF	325.5	10	BOC	CR IN	357.6	1.0989
	2	19	BOC	CR IN	320.4	23	BOC	CR IN	317.3	0.9904
	3	47	BOC	CR IN	314.0	38	BOC	CR IN	350.5	1.1161
	4	63	BOC	CR IN	300.1	58	BOC	NaF	314.8	1.0489
	5	90	BOC	CR IN	287.8	93	BOC	CR IN	293.4	1.0194
外側炉心	6	124	BOC	CR IN	341.7	124	BOC	CR IN	332.4	0.9729
	7	168	BOC	CR IN	295.5	168	BOC	CR IN	287.6	0.9734
	8	166	BOC	CR IN	278.0	166	BOC	CR IN	272.3	0.9797

表2.2.1-7 初装荷炉心中途燃料の交換体数を変えた場合の流量領域毎の最大線出力 (2 / 3)

・取替燃料のPu富化度 : 16.0 fiss Pu wt%

流量領域		初装荷炉心初期				17体燃料交換				
		集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	(a) 最大線出力 W/cm	集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	(b) 最大線出力 W/cm	(b)/(a)
内側炉心	1	2	BOC	NaF	325.5	14	BOC	CR IN	358.3	1.1010
	2	19	BOC	CR IN	320.4	28	BOC	CR IN	346.4	1.0811
	3	47	BOC	CR IN	314.0	46	BOC	CR IN	350.9	1.1173
	4	63	BOC	CR IN	300.1	71	BOC	CR IN	337.4	1.1241
	5	90	BOC	CR IN	287.8	103	BOC	CR IN	292.5	1.0162
外側炉心	6	124	BOC	CR IN	341.7	138	BOC	CR IN	332.3	0.9727
	7	168	BOC	CR IN	295.5	184	BOC	CR IN	286.6	0.9700
	8	166	BOC	CR IN	278.0	182	BOC	CR IN	270.1	0.9715

表2.2.1-7 初装荷炉心中途燃料の交換体数を変えた場合の流量領域毎の最大線出力 (3 / 3)

・取替燃料のPu富化度 : 16.0 fiss Pu wt%

流量領域		初装荷炉心初期				24体燃料交換				
		集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	(a)最大線出力 W/cm	集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	(b)最大線出力 W/cm	(a)/(b)
内側炉心	1	2	BOC	NaF	325.5	14	BOC	CR IN	357.8	1.0992
	2	19	BOC	CR IN	320.4	28	BOC	CR IN	345.3	1.0779
	3	47	BOC	CR IN	314.0	46	BOC	CR IN	350.8	1.1172
	4	63	BOC	CR IN	300.1	71	BOC	CR IN	337.2	1.1235
	5	90	BOC	CR IN	287.8	100	BOC	CR IN	321.4	1.1166
外側炉心	6	124	BOC	CR IN	341.7	138	BOC	CR IN	333.1	0.9749
	7	168	BOC	CR IN	295.5	184	BOC	CR IN	286.6	0.9702
	8	166	BOC	CR IN	278.0	182	BOC	CR IN	269.7	0.9702

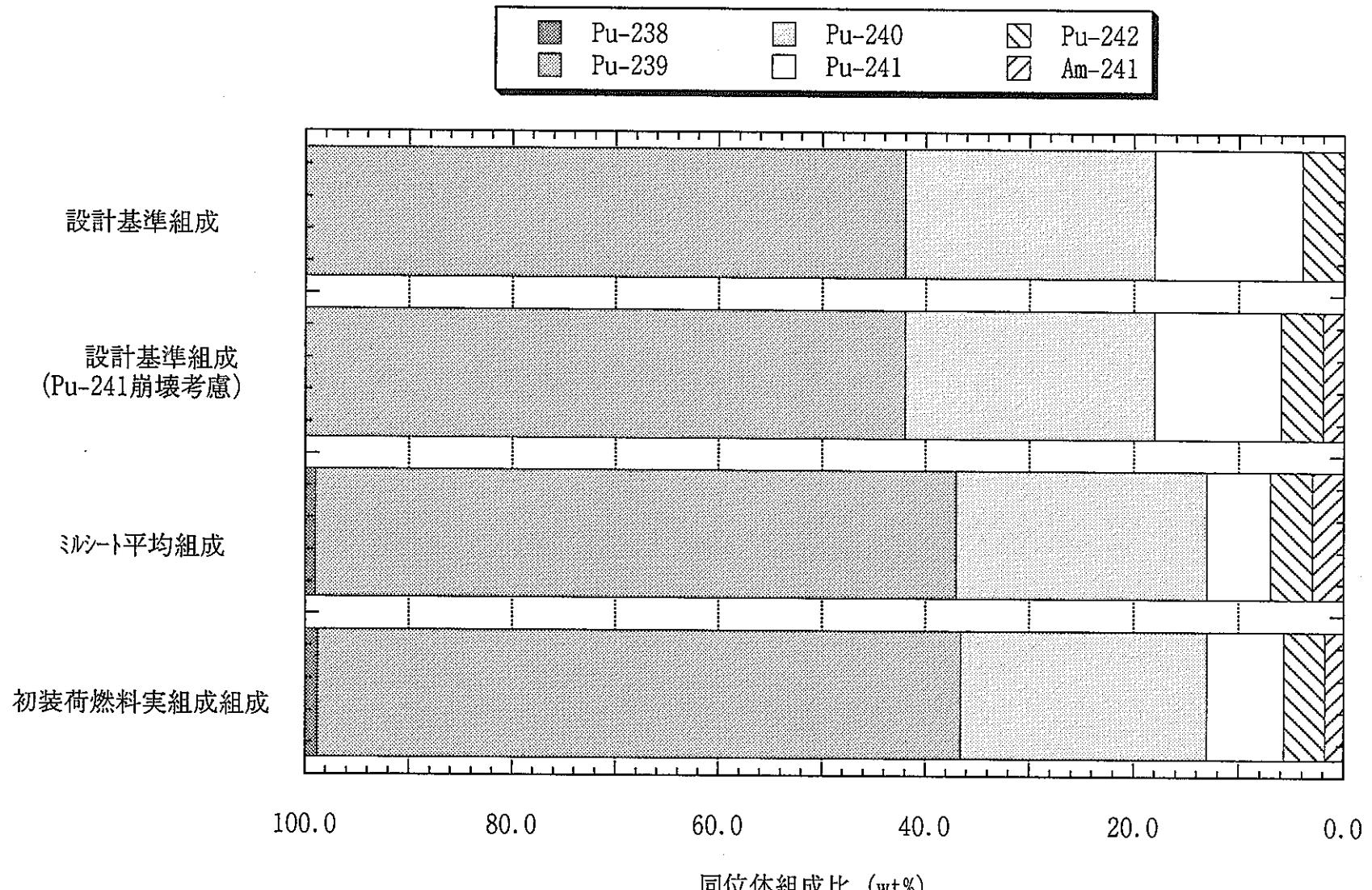


図2.2.1-1 検討に使用した燃料Pu組成

1~36: 内側炉心 37~48: 外側炉心 67~98: 軸方向ブランケット
 49~66: 半径方向ブランケット(炉心さ部) 99~110: 半径方向ブランケット(軸ブランケット部)
 111~115: 反射体 116~139: 制御棒チャンネル

(cm)

48- 198.0

45- 178.0

43- 165.0

42- 161.5

38- 148.0

33- 131.0

32- 128.0

31- 126.5

29- 117.0

28- 114.0

26- 105.0

25- 101.5

21- 86.0

17- 70.5

12- 55.0

8- 40.0

4- 20.0

1- 0.0

113												115		
122	70	74	78	130 129	78	82	86	139 138	90	94	98	102	106	110
121	69	73	77	128	77	81	85	137	89	93	97	101	105	109
	6	12	18		18	24	30		36	42	48	54	60	66
120	5	11	17	127	17	23	29	136	35	41	47	53	59	65
119				126				135						
118	4	10	16	125	16	22	28	134	34	40	46	52	58	64
117				124				133						
	3	9	15		15	21	27	132	33	39	45	51	57	63
	2	8	14		14	20	26		32	38	44	50	56	62
116	1	7	13	123	13	19	25	131	31	37	43	49	55	61
	68	72	76		76	80	84		88	92	96	100	104	108
	67	71	75		75	79	83		87	91	95	99	103	107
112												114		

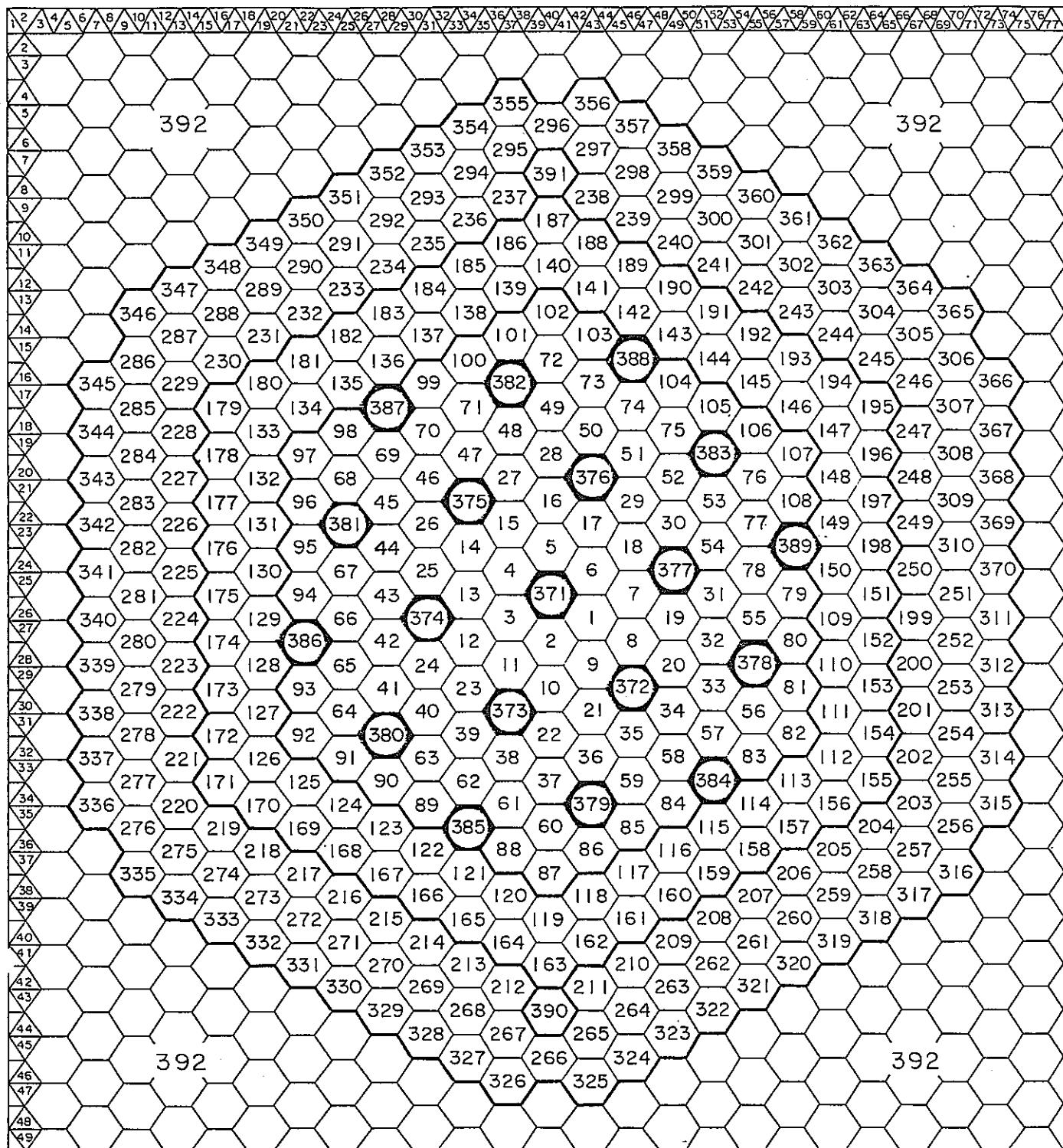
↑ 上部軸
30cm ブランケット部

炉心部
93cm

↓ 下部軸
35cm ブランケット部

(cm)

図2.2.1-2 2次元RZ全炉心計算体系図



1 - 108	内側炉心	371, 376, 372, 374, 387	粗調整棒
109 - 198	外側炉心	388, 389, 384, 385, 386	
199 - 370	半径方向ブランケット	379, 381, 383	
392	中性子しゃへい体	375, 377, 373, 382, 378	後備炉停止棒
		380	
		390, 391	中性子源 (半径方向ブランケット)

図2.2.1-3 2次元XY全炉心体系図

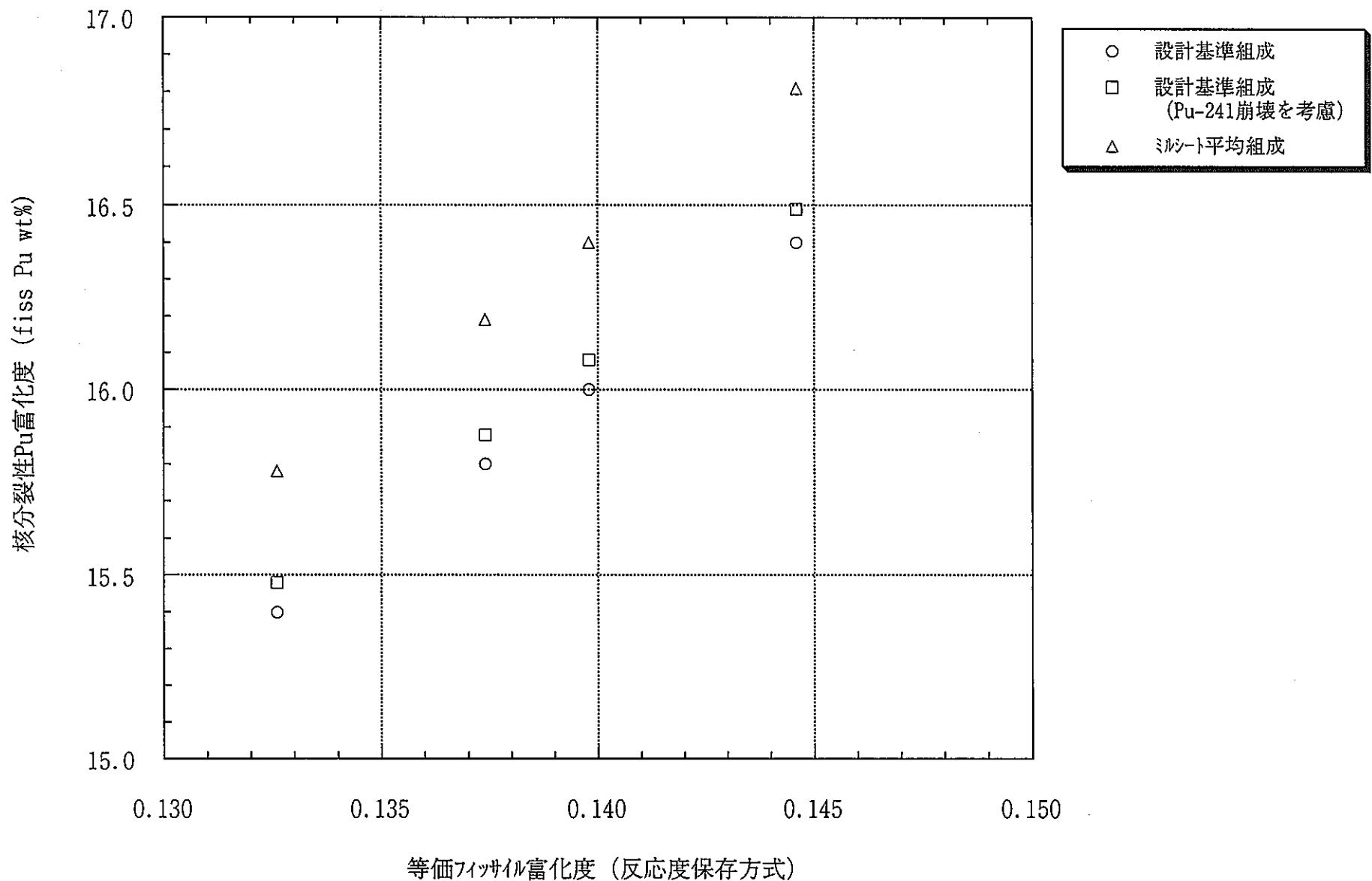


図2.2.1-4 各Pu組成に対応した核分裂性Pu富化度（内側炉心）

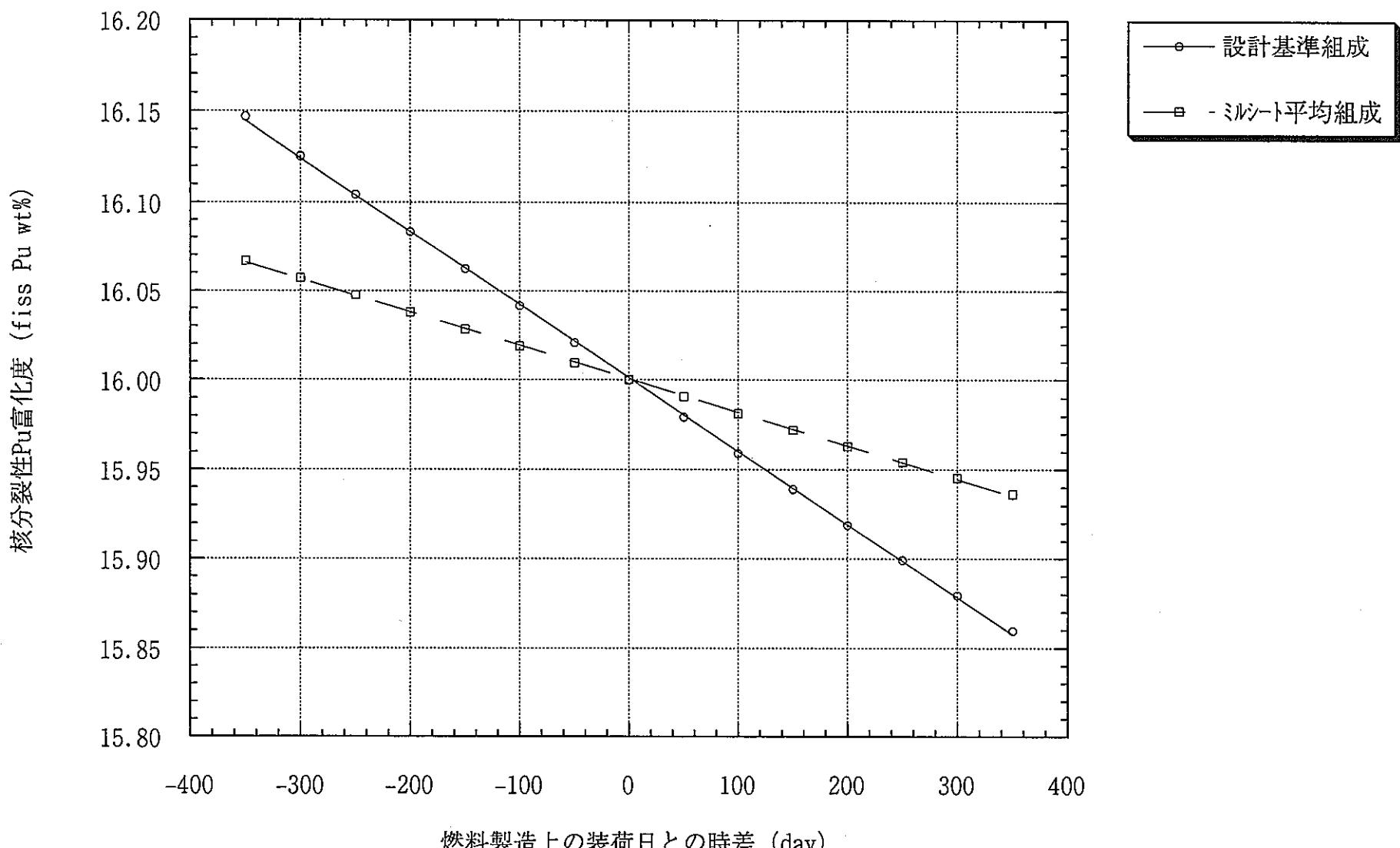
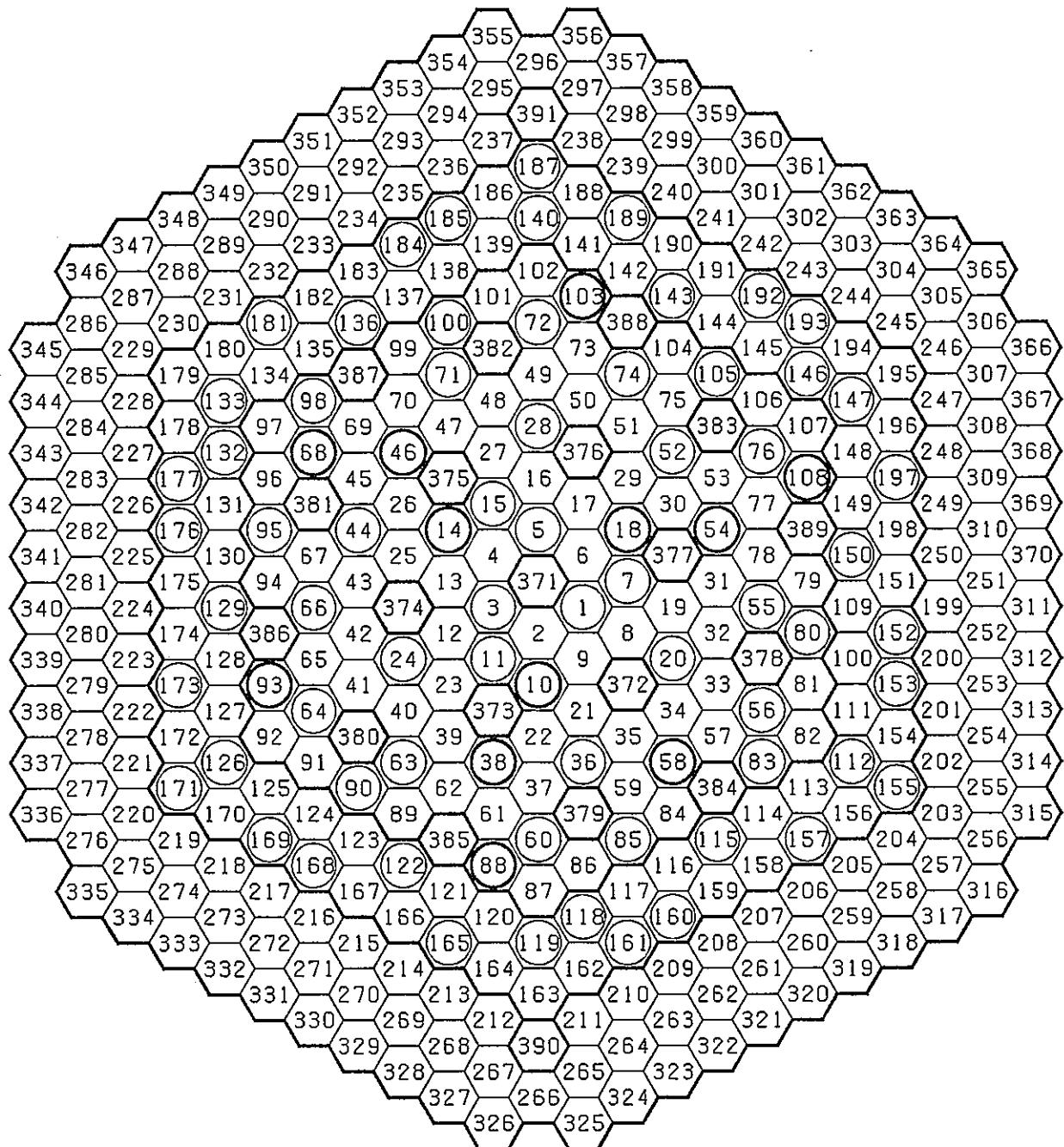


図2.2.1-5 Pu-241崩壊に伴う核分裂性Pu富化度の経時変化

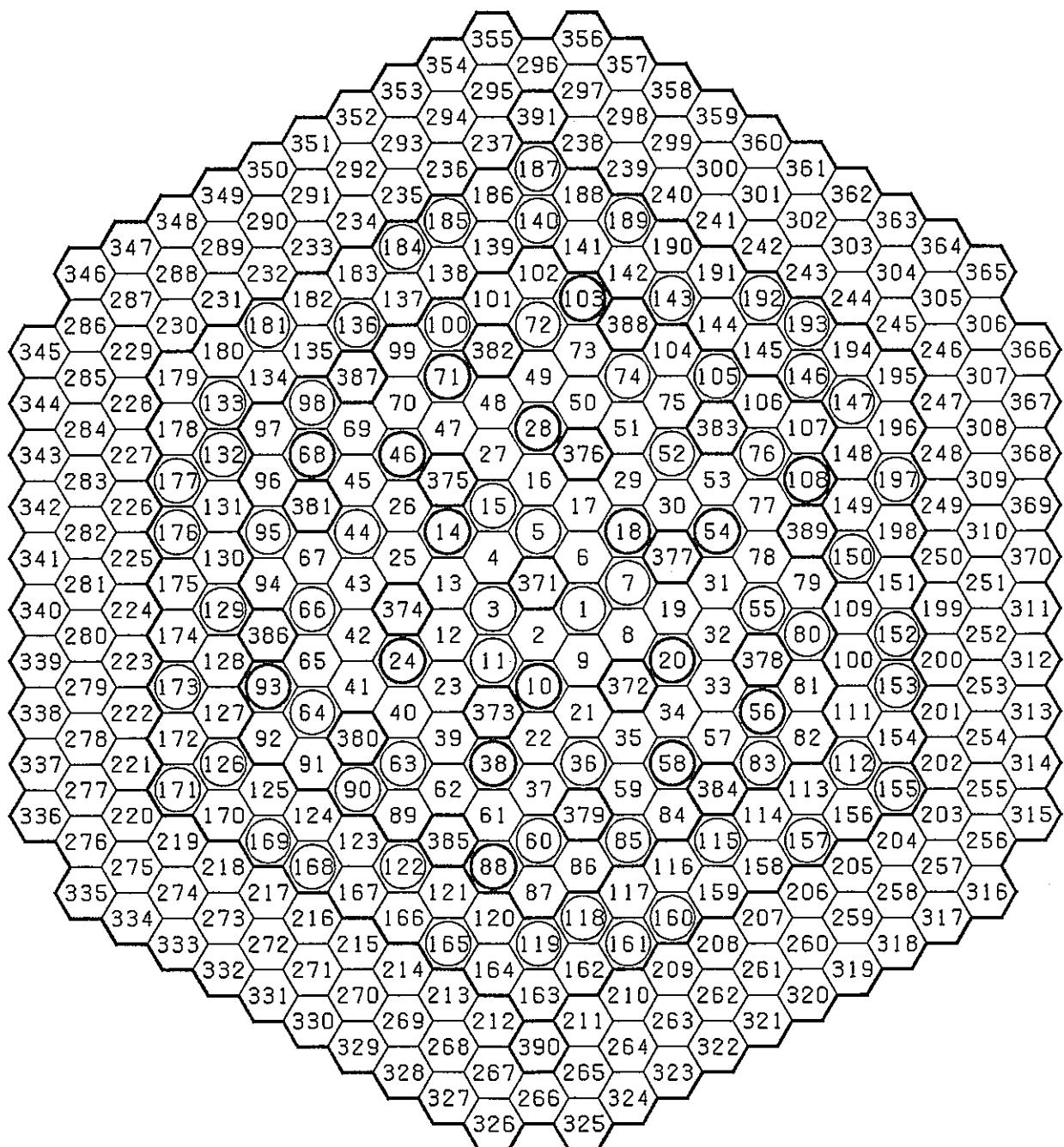


* 初装荷中途燃交12体の場合

注1) 太線の丸で囲まれた位置が初装荷炉心中途燃料交換位置

注2) 細線の丸で囲まれた位置が第一回燃料交換位置

図2.2.1-6 初装荷中途燃交パターン (1 / 3)

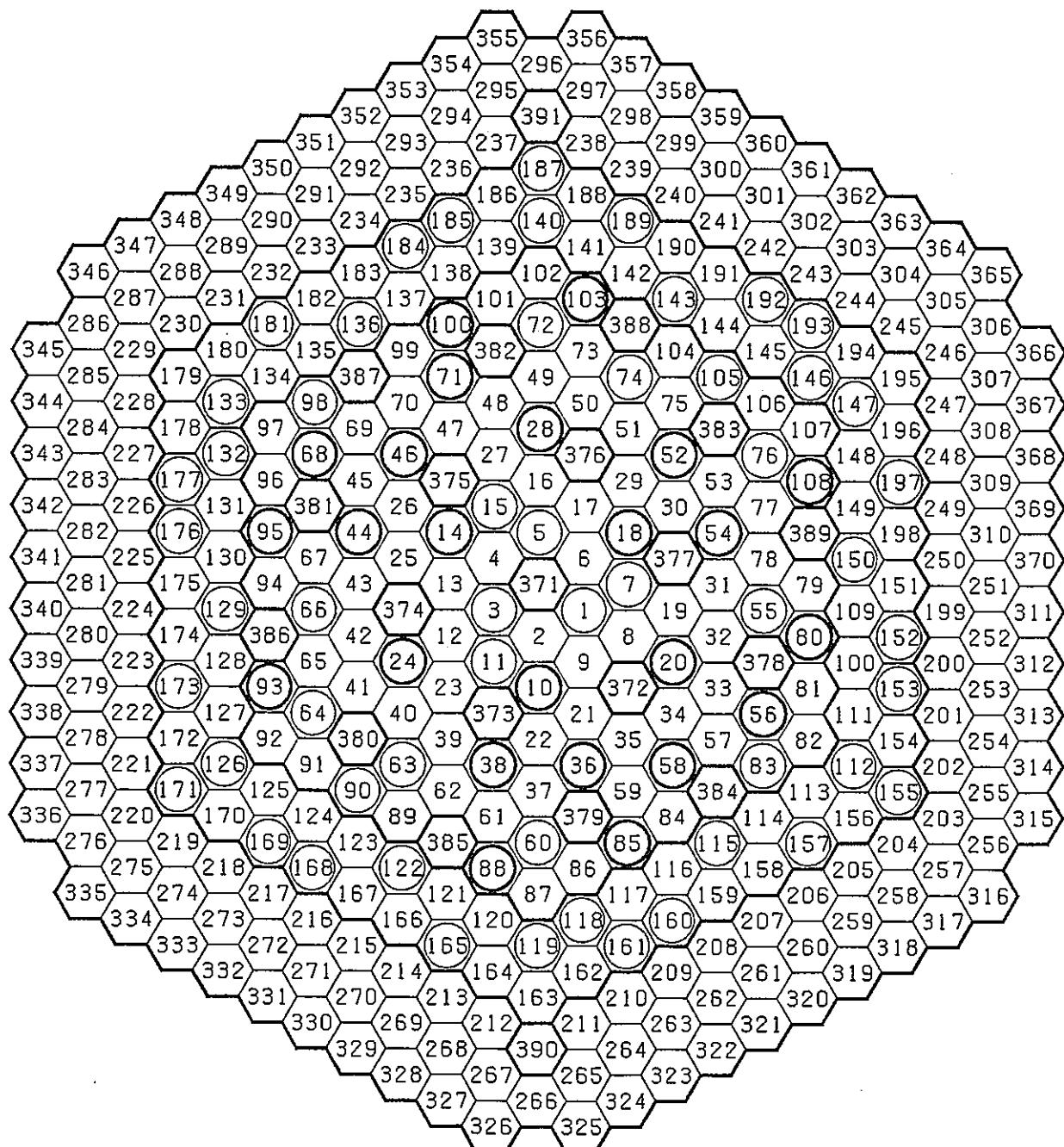


* 初装荷中途燃交17体の場合

注1) 太線の丸で囲まれた位置が初装荷炉心中途燃料交換位置

注2) 細線の丸で囲まれた位置が第一回燃料交換位置

図2.2.1-6 初装荷中途燃交パターン (2 / 3)



* 初装荷中途燃交24体の場合

- 注1) 太線の丸で囲まれた位置が初装荷炉心中途燃料交換位置
- 注2) 細線の丸で囲まれた位置が第一回燃料交換位置

図2.2.1-6 初装荷中途燃交パターン（3／3）

2.2.2 初装荷炉心運転計画を反映した第二サイクル炉心特性評価

2.2.1では、初装荷炉心において所要の運転日数を確保するための方策として燃焼開始後50日目に第二サイクル用の取替燃料の一部を燃料交換することを検討し、その場合のPu富化度としては16.0fiss Pu wt% が出力分布的に上限であること及び燃料交換体数としては炉心最内層で燃料交換を行わないこととして最大24体までが可能であるとの見通しを得た。

ここでは、初装荷炉心での中途燃交の装荷体数をパラメータとして第二サイクル炉心の成立性を確認するための評価を行う。

(1) 第二サイクルの炉心特性評価

以下に示す第二サイクルの炉心特性評価では、内側炉心取替燃料のPu富化度として2.2.1での検討結果から16.0fiss Pu wt%とし、初装荷炉心中途燃料交換体数が、0、12、17及び24体の場合を対象とし、各ケースとも取替燃料の総数を等しくする。すなわち、燃交体数は以下の様になる。

初装荷中途燃交	第二サイクル燃交
0体・・・0 体	78体 (内側炉心42・外側炉心36)
12体・・・12 体	66体 (内側炉心30・外側炉心36)
17体・・・17 体	61体 (内側炉心25・外側炉心36)
24体・・・24 体	54体 (内側炉心18・外側炉心36)

これら各ケースの燃料交換パターンは前出の図2.2.1-6に示したとおりである。また、第二サイクルでの外側炉心の取替燃料は、反応度及び出力分布の観点から21.0fiss Pu wt%として以下の評価を実施する。

まず、表2.2.2-1に各燃料交換を行った場合の第二サイクルの反応度の推移を示す。各ケースとも中途交換と第二サイクル燃交での取替燃料の合計は78体であるから第1回燃交後はほぼ反応度が等しくなっていることがわかる。また、78体の取替燃料で得られる反応度はほぼ3.0%dk/kk'である。

出力分布については各流量領域毎の最大線出力の評価結果を表2.2.2-2に示す。第二サイクルの場合、初装荷中途燃交体数の差異による出力分布への影響は、初装荷炉心後半での取替燃料の30日分の燃焼の有無に起因したものであるが、評価の結果、その影響は大きくて1%程度であることがわかる。また、全ケースとも最大線出力は約354W/cmで制限値360W/cm以下であり問題はないと考えられる。

(2) ミルシート平均組成の取替燃料

初装荷燃料の実組成に近いミルシート平均組成の取替燃料を使用した場合の影響を評価する。評価は、初装荷炉心で中途燃料交換を実施しないケースで行った。

表2.2.2-3に反応度推移を示す。等価フィッサイル法により反応度が保存されているため燃料交換後の実効増倍率は変化しない。また、燃焼欠損反応度は設計基準組成相当の組成の場合より相対的に約5%小さい。

表2.2.2-4に設計基準組成相当の組成を使用した場合と最大線出力を比較した結果を示す。同表より出力分布にはほとんど影響が無いことがわかる。

表2.2.2-1 初装荷中途燃料交換体数を変えた場合の第二サイクルの反応度

	初装荷中途燃料交換体数	0		12		17		24	
	Pu富化度 (fiss Pu wt%)	-		16.0		同左		同左	
		実効増倍率	反応度差 (%dk/kk')	実効増倍率	反応度差 (%dk/kk')	実効増倍率	反応度差 (%dk/kk')	実効増倍率	反応度差 (%dk/kk')
初装荷炉心	94/04/25時点	1.0255	-	1.0255	-	1.0255	-	1.0255	-
	出力上昇開始	1.0213	-0.40	1.0213	-0.40	1.0213	-0.40	1.0213	-0.40
	50日燃焼後	1.0134	-0.76	1.0134	-0.76	1.0134	-0.76	1.0134	-0.76
	中途燃交後	1.0134	0.00	1.0200	0.64	1.0230	0.93	1.0266	1.27
	80日燃焼終了	1.0088	-0.45	1.0152	-0.46	1.0181	-0.47	1.0215	-0.49
第二サイクル	'96/08/15 第二サイクル開始 (燃交前)	1.0054	-0.34	1.0117	-0.34	1.0146	-0.34	1.0180	-0.34
	〃 (燃交後)	1.0364	2.98	1.0359	2.31	1.0357	2.01	1.0354	1.65
	'96/12/16 第二サイクル終了	1.0154	-2.00	1.0150	-1.99	1.0147	-2.00	1.0145	-1.99

表 2.2.2-2 初装荷炉心中途燃交後の第二サイクルでの流量領域毎の最大線出力の比較 (1 / 3)

・Pu富化度 : 16.0 fiss Pu wt%の場合

流量領域		中途燃交0体				中途燃交12体				(b)/(a)
		集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	(a)最大線出力 W/cm	集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	(b)最大線出力 W/cm	
内側炉心	1	5	BOC	NaF	354.5	5	BOC	NaF	354.3	0.9992
	2	24	BOC	CR IN	333.5	24	BOC	CR IN	333.4	0.9997
	3	46	BOC	CR IN	338.3	46	BOC	CR IN	334.3	0.9882
	4	63	BOC	CR IN	324.6	63	BOC	CR IN	324.5	0.9997
	5	90	BOC	CR IN	311.4	90	BOC	CR IN	311.4	1.0002
外側炉心	6	136	BOC	NaF	331.5	136	BOC	NaF	331.6	1.0004
	7	184	BOC	CR IN	299.2	184	BOC	CR IN	299.6	1.0011
	8	166	BOC	CR IN	281.9	182	BOC	CR IN	282.1	1.0007

表 2.2.2-2 初装荷炉心中途燃交後の第二サイクルでの流量領域毎の最大線出力の比較 (2 / 3)

・Pu富化度 : 16.0 fiss Pu wt%の場合

流量領域		中途燃交0体				中途燃交17体				
		集合体番号 TRIAG NREG	時期 BOC	CCR 状態	(a)最大線出力 W/cm	集合体番号 TRIAG NREG	時期 BOC	CCR 状態	(b)最大線出力 W/cm	(b)/(a)
内側炉心	1	5	BOC	NaF	354.5	3	BOC	NaF	354.1	0.9987
	2	24	BOC	CR IN	333.5	24	BOC	CR IN	329.7	0.9886
	3	46	BOC	CR IN	338.3	38	BOC	CR IN	334.7	0.9893
	4	63	BOC	CR IN	324.6	63	BOC	CR IN	324.7	1.0003
	5	90	BOC	CR IN	311.4	90	BOC	CR IN	311.7	1.0011
外側炉心	6	136	BOC	NaF	331.5	136	BOC	NaF	331.5	1.0001
	7	184	BOC	CR IN	299.2	168	BOC	CR IN	300.0	1.0025
	8	166	BOC	CR IN	281.9	166	BOC	CR IN	282.5	1.0018

表 2.2.2-2 初装荷炉心中途燃交後の第二サイクルでの流量領域毎の最大線出力の比較（3／3）

・Pu富化度：16.0 fiss Pu wt%の場合

流量領域	中途燃交0体				中途燃交24体				
	集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	(a)最大線出力 W/cm	集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	(b)最大線出力 W/cm	(b)/(a)
内側炉心	1	5	BOC NaF	354.5	3	BOC	NaF	354.2	0.9990
	2	24	BOC CR IN	333.5	24	BOC	CR IN	329.9	0.9893
	3	46	BOC CR IN	338.3	38	BOC	CR IN	334.8	0.9896
	4	63	BOC CR IN	324.6	63	BOC	CR IN	324.9	1.0010
	5	90	BOC CR IN	311.4	90	BOC	CR IN	312.0	1.0021
外側炉心	6	136	BOC NaF	331.5	136	BOC	NaF	331.5	1.0000
	7	184	BOC CR IN	299.2	168	BOC	CR IN	300.4	1.0038
	8	166	BOC CR IN	281.9	166	BOC	CR IN	282.7	1.0028

表2.2.2-3 ミルシート平均組成の取替燃料を使用した場合の第二サイクルの反応度
 ・中途燃交無しの初装荷炉心を受けた第二サイクルでの評価

燃料組成	設計基準組成相当		ミルシート平均組成	
	実効 倍 率	反応度 差 (%dk/kk')	実効 倍 率	反応度 差 (%dk/kk')
'96/08/15 第二サイクル開始 (燃交前)	1.0054	-	1.0054	-
〃 (燃交後)	1.0364	2.98	1.0362	2.96
'96/12/16 第二サイクル終了	1.0154	-2.00	1.0163	-1.89

表 2.2.2-4 ミルシート平均組成の取替燃料を使用した場合の最大線出力の比較

・中途燃交無しの初装荷炉心を受けた第二サイクルでの評価

流量領域		設計基準組成相当				ミルシート平均組成				
		集合体番号 TRIAG NREG	時期 BOC	CCR 状態	(a)最大線出力 W/cm	集合体番号 TRIAG NREG	時期 BOC	CCR 状態	(b)最大線出力 W/cm	(b)/(a)
内側炉心	1	5	BOC	NaF	354.5	5	BOC	NaF	354.6	1.0000
	2	24	BOC	CR IN	333.5	24	BOC	CR IN	334.1	1.0017
	3	46	BOC	CR IN	338.3	38	BOC	CR IN	338.6	1.0010
	4	63	BOC	CR IN	324.6	63	BOC	CR IN	325.1	1.0017
	5	90	BOC	CR IN	311.4	90	BOC	CR IN	311.5	1.0006
外側炉心	6	136	BOC	NaF	331.5	136	BOC	NaF	331.5	1.0000
	7	184	BOC	CR IN	299.2	168	BOC	CR IN	300.0	1.0024
	8	166	BOC	CR IN	281.9	166	BOC	CR IN	282.8	1.0029

2.2.3 反応度係数評価

ここでは、2.2.1及び2.2.2の検討の結果から、第一回取替燃料のPu富化度を以下の値に設定し、反応度係数評価を実施した結果を示す。

内側炉心・・・16.0 fiss Pu wt%

外側炉心・・・21.0 fiss Pu wt%

評価手法としては設計手法を用い、設計基準組成相当 (^{241}Pu の崩壊約3年考慮) の燃料組成で評価した。また、評価時期は、初装荷炉心中途燃料交換直後及び第二サイクル初期・末期とし、燃料交換ケースは反応度係数が厳しくなる新燃料の多い場合、すなわち、初装荷炉心中途燃交後については24体燃交、第二サイクル初期・末期については中途燃交無しの場合について評価した。

各評価結果を、以下の表にまとめた。

表2.2.3- 1 初装荷炉心中途燃交後のドップラ係数 (100%出力時)

表2.2.3- 2 初装荷炉心中途燃交後の燃料密度係数

表2.2.3- 3 初装荷炉心中途燃交後の構造材密度係数

表2.2.3- 4 初装荷炉心中途燃交後の冷却材密度係数

表2.2.3- 5 初装荷炉心中途燃交後の形状係数

表2.2.3- 6 初装荷炉心中途燃交後の温度係数

表2.2.3- 7 初装荷炉心中途燃交後の出力係数

表2.2.3- 8 初装荷炉心中途燃交後のNaボイド反応度

表2.2.3- 9 第二サイクルのドップラ係数 (100%出力時)

表2.2.3-10 第二サイクルの燃料密度係数

表2.2.3-11 第二サイクルの構造材密度係数

表2.2.3-12 第二サイクルの冷却材密度係数

表2.2.3-13 第二サイクルの形状係数

表2.2.3-14 第二サイクルの温度係数

表2.2.3-15 第二サイクルの出力係数

表2.2.3-16 第二サイクルのNaボイド反応度

これらの結果から以下のことがわかる。

ドップラ係数

今回の取替燃料は、Pu富化度が高く ^{238}U が減少しているため、設計評価値より絶対値は小さくなる。初装荷中途燃料交換後の値は、第二サ

イクル初期に比べて負側に約20%大きく、従って、安全評価の観点から第二サイクルに包絡されていると言える。

燃料密度係数

サイクル初期の設計評価値と比較して初装荷中途燃料交換後の値は1~2%大きめであり、この増加分はほぼ新燃料の装荷された内側炉心での変化の寄与である。

逆に第二サイクル初期では設計評価値と比べて1~2%小さめとなるが、サイクル末期ではこの差異は小さくなっている。

構造材密度係数

今回の初装荷中途燃交後の値は、低燃平衡炉心初期における設計評価値と比べて内側炉心での差異により約7%負側に大きくなっている。

第二サイクルでも、同様に低燃平衡炉心初期より内側炉心の寄与により約4%負側に大きくなっており、この分がサイクル末期にも影響を与えた形である。

冷却材密度係数

冷却材密度係数は、全体的に負側に大きくなっているが、これは、初装荷炉心に装荷されたPu実組成において²⁴¹Puが少ないことがその主要な原因であると考えられる。

形状係数

初装荷中途燃交後の値は、初装荷及び低燃平衡炉心での設計評価値の範囲内にある。

また、第二サイクルでは、ほぼ、低燃平衡炉心初期での設計評価値と一致している。

Naホド反応度

初装荷中途燃交後の値は、初装荷燃料の実組成の影響により冷却材密度反応度同様に上昇しており、低燃平衡炉心並となっている。

第二サイクルでは、新燃料78体のPu組成が設計基準組成ベースであるため低燃平衡炉心での値を下回ったと考えられる。

表2.2.3-1 初装荷炉心中途燃交後のドップラー係数（100%出力時）

単位・ $T \frac{dk}{kk'} / dT$

	基準炉心 (1)			今回の解析	
	初装荷炉心		低燃平衡炉心		
	初期	末期			
内側炉心	-5.191E-03	-5.816E-03	-4.545E-03	-4.463E-03	
外側炉心	-1.808E-03	-1.735E-03	-1.637E-03	-1.501E-03	
径ブランケット	-8.950E-04	-9.191E-04	-1.011E-03	-8.562E-04	
軸ブランケット	-6.309E-04	-7.425E-04	-6.794E-04	-6.096E-04	
合計	-8.525E-03	-9.213E-03	-7.872E-03	-7.429E-03	

* "x.xxxE-0n"は"x.xx×10⁻ⁿ"を表す。

表2.2.3-2 初装荷炉心中途燃交後の燃料密度係数

単位・ $dk/kk' / (\Delta \rho / \rho)$

	基準炉心 (1)			今回の解析	
	初装荷炉心		低燃平衡炉心		
	初期	末期			
内側炉心	2.444E-01	2.337E-01	2.416E-01	2.522E-01	
外側炉心	1.781E-01	1.619E-01	1.724E-01	1.739E-01	
径プランケット	4.808E-03	5.320E-03	6.659E-03	5.169E-03	
軸プランケット	-1.427E-03	-9.540E-04	-2.920E-04	-1.037E-03	
合計	4.259E-01	4.000E-01	4.204E-01	4.302E-01	

* "x.xxE-0n"は"x.xx×10⁻ⁿ"を表す。

表2.2.3-3 初装荷炉心中途燃交後の構造材密度係数

単位・ $dk/kk' / (\Delta \rho / \rho)$

	基準炉心 (1)			今回の解析	
	初装荷炉心		低燃平衡炉心		
	初期	末期			
内側炉心	-3.287E-02	-3.602E-02	-3.425E-02	-3.604E-02	
外側炉心	5.261E-04	4.121E-04	-9.480E-04	-9.603E-04	
径プランケット	6.505E-03	6.029E-03	6.243E-03	6.179E-03	
軸プランケット	4.589E-03	4.818E-03	4.373E-03	4.416E-03	
合計	-2.125E-02	-2.476E-02	-2.458E-02	-2.641E-02	

* "x.xxE-0n"は"x.xx×10⁻ⁿ"を表す。

表2.2.3-4 初装荷炉心中途燃交後の冷却材密度係数

単位・ $dk/kk' / (\Delta \rho / \rho)$

	基準炉心 (1)			今回の解析	
	初装荷炉心		低燃平衡炉心		
	初期	末期			
内側炉心	-4.972E-03	-5.351E-03	-6.591E-03	-7.587E-03	
外側炉心	4.725E-03	4.137E-03	3.756E-03	3.414E-03	
径プランケット	3.183E-03	2.986E-03	3.162E-03	2.986E-03	
軸プランケット	1.959E-03	2.100E-03	1.918E-03	1.847E-03	
合計	4.895E-03	3.872E-03	2.245E-03	6.600E-04	

* "x.xxE-0n"は"x.xx×10⁻ⁿ"を表す。

表2.2.3-5 初装荷炉心中途燃交後の形状係数

	基準炉心 (1)			今回の解析	
	初装荷炉心		低燃平衡炉心		
	初期	末期			
炉心高さ係数 ($dk/kk' / (\Delta H/H)$)	1.961E-01	1.970E-01	1.901E-01	1.910E-01	
炉心半径係数 ($dk/kk' / (\Delta R/R)$)	1.771E-01	1.774E-01	1.696E-01	1.723E-01	

* "x.xxE-0n"は"x.xx×10⁻ⁿ"を表す。

表2.2.3-6 初装荷炉心中途燃交後の温度係数（100%出力時）

単位・dk/kk' / °C

	基準炉心 (1)			今回の解析	
	初装荷炉心		低燃平衡炉心		
	初期	末期			
燃料	-3.420E-06	-3.000E-06	-3.390E-06	-3.560E-06	
被覆管	-5.000E-08	4.000E-08	1.100E-07	2.100E-07	
ラッパ管	1.000E-07	1.400E-07	1.500E-07	1.800E-07	
炉心支持板	-1.198E-05	-1.088E-05	-1.193E-05	-1.229E-05	
冷却材	-1.370E-06	-1.080E-06	-6.200E-07	-1.700E-07	
ドップラー	-7.100E-06	-7.660E-06	-6.740E-06	-6.260E-06	
合計	-2.382E-05	-2.244E-05	-2.242E-05	-2.189E-05	

* "x.xxE-0n"は"x.xx×10⁻ⁿ"を表す。

表2.2.3-7 初装荷炉心中途燃交後の出力係数（100%出力時）

単位・dk/kk' /MW

	基準炉心 (1)		今回の解析	
	初装荷炉心		低燃平衡炉心	初装荷炉心
	初期	末期	初期	中途燃交後
内側炉心	-5.860E-06	-6.090E-06	-5.240E-06	-5.440E-06
外側炉心	-2.940E-06	-2.590E-06	-2.730E-06	-2.720E-06
径プランケット	-2.400E-07	-2.500E-07	-3.000E-07	-2.300E-07
軸プランケット	-1.800E-07	-2.200E-07	-2.100E-07	-1.800E-07
合計	-9.220E-06	-9.150E-06	-8.480E-06	-8.570E-06

* "x.xxE-0n"は"x.xx×10⁻ⁿ"を表す。

表2.2.3-8 初装荷炉心中途燃交後のNa²³反応度

単位・ dk/kk'

	基準炉心 (1)			今回の解析	
	初装荷炉心		低燃平衡炉心		
	初期	末期			
内側炉心	7.295E-03	7.849E-03	8.967E-03	8.999E-03	
外側炉心	-4.299E-03	-3.675E-03	-3.270E-03	-3.165E-03	
径プランケット	-2.784E-03	-2.594E-03	-2.742E-03	-2.728E-03	
軸プランケット	-1.734E-03	-1.845E-03	-1.680E-03	-1.717E-03	
合計	-1.522E-03	-2.650E-04	1.275E-03	1.389E-03	

* "x.xxE-0n"は"x.xx×10⁻ⁿ"を表す。

表2.2.3-9 第二サイクルのドップラー係数（100%出力時）

単位・ $T \frac{dk}{kk'} / dT$

	基準炉心 (1)			今回の解析	
	初装荷炉心		低燃平衡炉心	第二サイクル	
	初期	末期	初期	初期	末期
内側炉心	-5.191E-03	-5.816E-03	-4.545E-03	-4.333E-03	-4.883E-03
外側炉心	-1.808E-03	-1.735E-03	-1.637E-03	-1.479E-03	-1.446E-03
径プランケット	-8.950E-04	-9.191E-04	-1.011E-03	-8.663E-04	-8.870E-04
軸プランケット	-6.309E-04	-7.425E-04	-6.794E-04	-5.962E-04	-6.980E-04
合計	-8.525E-03	-9.213E-03	-7.872E-03	-7.274E-03	-7.915E-03

* "x.xxE-0n"は"x.xx×10⁻ⁿ"を表す。

表2.2.3-10 第二サイクルの燃料密度係数

単位・ $dk/kk' / (\Delta \rho / \rho)$

	基準炉心 (1)			今回の解析	
	初装荷炉心		低燃平衡炉心	第二サイクル	
	初期	末期	初期	初期	末期
内側炉心	2.444E-01	2.337E-01	2.416E-01	2.402E-01	2.356E-01
外側炉心	1.781E-01	1.619E-01	1.724E-01	1.716E-01	1.585E-01
径ブランケット	4.808E-03	5.320E-03	6.659E-03	5.774E-03	5.720E-03
軸ブランケット	-1.427E-03	-9.540E-04	-2.920E-04	-6.922E-04	-5.417E-04
合計	4.259E-01	4.000E-01	4.204E-01	4.169E-01	3.993E-01

* "x.xxE-0n"は"x.xx×10⁻ⁿ"を表す。

表2.2.3-11 第二サイクルの構造材密度係数

単位・ $dk/kk' / (\Delta \rho / \rho)$

	基準炉心 (1)			今回の解析	
	初装荷炉心		低燃平衡炉心	第二サイクル	
	初期	末期	初期	初期	末期
内側炉心	-3.287E-02	-3.602E-02	-3.425E-02	-3.537E-02	-3.824E-02
外側炉心	5.261E-04	4.121E-04	-9.480E-04	-9.073E-04	-1.251E-03
径プランケット	6.505E-03	6.029E-03	6.243E-03	6.184E-03	5.768E-03
軸プランケット	4.589E-03	4.818E-03	4.373E-03	4.362E-03	4.587E-03
合計	-2.125E-02	-2.476E-02	-2.458E-02	-2.573E-02	-2.914E-02

* "x.xxxE-0n"は"x.xx×10⁻ⁿ"を表す。

表2.2.3-12 第二サイクルの冷却材密度係数

単位・ $dk/kk' / (\Delta \rho / \rho)$

	基準炉心 (1)			今回の解析	
	初装荷炉心		低燃平衡炉心	第二サイクル	
	初期	末期	初期	初期	末期
内側炉心	-4.972E-03	-5.351E-03	-6.591E-03	-7.514E-03	-7.831E-03
外側炉心	4.725E-03	4.137E-03	3.756E-03	3.463E-03	3.011E-03
径プランケット	3.183E-03	2.986E-03	3.162E-03	3.007E-03	2.839E-03
軸プランケット	1.959E-03	2.100E-03	1.918E-03	1.833E-03	1.968E-03
合計	4.895E-03	3.872E-03	2.245E-03	7.890E-04	-1.300E-05

* "x.xxE-On"は"x.xx×10^-n"を表す。

表2.2.3-13 第二サイクルの形状係数

	基準炉心 (1)			今回の解析	
	初装荷炉心		低燃平衡炉心	第二サイクル	
	初期	末期	初期	初期	末期
炉心高さ係数 ($dk/kk' / (\Delta H/H)$)	1.961E-01	1.970E-01	1.901E-01	1.890E-01	1.891E-01
炉心半径係数 ($dk/kk' / (\Delta R/R)$)	1.771E-01	1.774E-01	1.696E-01	1.696E-01	1.708E-01

* "x. xxxE-0n"は"x.xx×10⁻ⁿ"を表す。

表2.2.3-14 第二サイクルの温度係数（100%出力時）

単位・dk/kk' /°C

	基準炉心 (1)			今回の解析	
	初装荷炉心		低燃平衡炉心	第二サイクル	
	初期	末期	初期	初期	末期
燃料	-3.420E-06	-3.000E-06	-3.390E-06	-3.380E-06	-3.120E-06
被覆管	-5.000E-08	4.000E-08	1.100E-07	2.000E-07	2.800E-07
ラッパ管	1.000E-07	1.400E-07	1.500E-07	1.800E-07	2.100E-07
炉心支持板	-1.198E-05	-1.088E-05	-1.193E-05	-1.178E-05	-1.105E-05
冷却材	-1.370E-06	-1.080E-06	-6.200E-07	-2.100E-07	2.000E-08
ドップラー	-7.100E-06	-7.660E-06	-6.740E-06	-6.150E-06	-6.670E-06
合計	-2.382E-05	-2.244E-05	-2.242E-05	-2.114E-05	-2.033E-05

* "x.xxE-0n"は"x.xx×10⁻ⁿ"を表す。

表2.2.3-15 第二サイクルの出力係数（100%出力時）

単位・dk/kk' /MW

	基準炉心 (1)			今回の解析	
	初装荷炉心		低燃平衡炉心	第二サイクル	
	初期	末期	初期	初期	末期
内側炉心	-5.860E-06	-6.090E-06	-5.240E-06	-5.180E-06	-5.440E-06
外側炉心	-2.940E-06	-2.590E-06	-2.730E-06	-2.660E-06	-2.450E-06
径フランケット	-2.400E-07	-2.500E-07	-3.000E-07	-2.400E-07	-2.300E-07
軸フランケット	-1.800E-07	-2.200E-07	-2.100E-07	-1.700E-07	-2.000E-07
合計	-9.220E-06	-9.150E-06	-8.480E-06	-8.250E-06	-8.320E-06

* "x.xxxE-0n"は"x.xx×10⁻ⁿ"を表す。

表2.2.3-16 第二サイクルのNaホイド反応度

単位・ dk/kk'

	基準炉心 (1)			今回の解析	
	初装荷炉心		低燃平衡炉心	第二サイクル	
	初期	末期	初期	初期	末期
内側炉心	7.295E-03	7.849E-03	8.967E-03	8.912E-03	9.246E-03
外側炉心	-4.299E-03	-3.675E-03	-3.270E-03	-3.228E-03	-2.748E-03
径ブランケット	-2.784E-03	-2.594E-03	-2.742E-03	-2.749E-03	-2.594E-03
軸ブランケット	-1.734E-03	-1.845E-03	-1.680E-03	-1.704E-03	-1.831E-03
合計	-1.522E-03	-2.650E-04	1.275E-03	1.231E-03	2.073E-03

* "x.xxE-0n"は"x.xx×10⁻ⁿ"を表す。

2. 2. 4 热特性評価

前項までに検討した初装荷及び第2サイクル炉心について、その炉心燃料の热特性評価を実施した。

温度評価は、各炉心状態の各流量領域毎における最高温度集合体について行い、冷却材最高温度、被ふく管最高温度、燃料最高温度及びラッパ管最高温度を評価した。

また、温度評価にあたっては、ノミナル値及び工学的安全係数を考慮したホットスポット値を算出し、温度評価を行った。

評価の結果、初装荷及び第2サイクル炉心については、何れのケースにおいても各部最高温度は熱設計条件を満足しており、問題ないことを確認した。

(1) 解析条件

①対象炉心及び対象集合体

第2.2.4-1表に示すとおり、初装荷中途燃料交換時の各ケース（中途取替体数12～24体）及び初装荷それぞれの炉心に対応する第2サイクル炉心を対象として、各流量領域毎に冷却材、燃料、被ふく管、及びラッパ管温度がそれ各自最高となる集合体を選択し、温度評価を行う。

②出力レベル

定格100%出力を対象とする。なお、燃料温度については過出力時（過出力係数1.16）についても評価を実施する。

③発熱条件及び除熱条件

温度評価に使用する出力分布は、前項までに検討した炉心検討結果での出力分布、燃焼解析の評価結果を使用する。但し、温度計算に用いる線出力は、集合体の発熱による軸方向伸びを考慮し、出力分布解析値に対し1.2%の補正を行うこととする。

また、除熱条件として使用する集合体流量は、実機設計における基準炉心（I）の流量配分計画の評価結果を使用する。

集合体の温度評価に使用する各流量領域毎の集合体流量を第2.2.4-2表に示す。

流量配分領域図を第2.2.4-1図に示す。

④境界条件

燃料集合体の各部最高温度を保守側に評価するため、集合体外側を断熱条件とする。

⑤燃料集合体仕様

温度評価に使用する炉心燃料の仕様は、実機設計における基準炉心（I）での仕様値とする。

⑥物性値

温度計算に使用する物性値は、実機設計における基準炉心（I）で用いた物性値を使用する。

(2) 解析手法

①使用コード

温度評価に使用するコードは、もんじゅ炉心熱設計コード「MIX-MkII」とする。「MIX-MkII」は、いわゆるサブチャンネル解析コードであり、燃料要素束部入口部における冷却材流速及び温度を与え、質量保存則とエネルギー保存則を解き、集合体内の冷却材温度、被ふく管温度、燃料温度及びラッパ管壁温度を求める。集合体内におけるサブチャンネル間の冷却材流量配分と乱流やワイヤスペーサ等による冷却材のエネルギー混合効果に対しては実験によって決定した設計パラメータである周辺流れ係数と冷却材混合係数により考慮するモデルを採用している。

②周辺流れ係数

炉心燃料に対する周辺流れ係数は、実機設計における基準炉心（I）で用いた $f_w = 1.13$ を使用する。

③冷却材混合係数

炉心燃料に対する冷却材混合係数は実機設計における基準炉心（I）で用いた下式

を用いる。

$$\varepsilon h / \nu = 0.15 \times Re^{0.8}$$

εh : 冷却材混合係数
 ν : 冷却材動粘性係数
 Re : サブチャンネルのレイノズル数

コード内では、上記冷却材混合係数を用い、乱流交錯流れや、ワイヤスペーサ等による冷却材混合効果をサブチャンネル間の温度差に比例した熱移動量として考慮する。

上記パラメータは、実験により決定されたものであり、温度評価においては実験上の不確かさを考慮して設定している。

④ギャップコンダクタンス

燃料ペレット温度評価に使用する被ふく管一ペレット間のギャップコンダクタンスは、実機設計における基準炉心（I）で用いた $hg = 1000 \text{ BTU}/\text{ft}^2 \cdot \text{hr} \cdot {}^\circ\text{F}$ を用いる。本数値はノミナル値として用い、その不確かさは工学的安全係数により考慮する。

⑤燃料組織変化モデル

燃料ペレット中心温度評価においては、高温状態での照射によってペレット内密度分布が製造時の状態から変化することを考慮する。採用した組織変化モデルは、未変化領域、等軸晶領域、柱状晶領域から成る3領域モデルである。以下にもんじゅ炉心燃料ペレットにおける主要パラメータを示す。

・各領域境界温度

等軸晶領域：1400°C
柱状晶領域：1800°C

・各領域密度

未変化領域：85%TD
等軸晶領域：90%TD
柱状晶領域：94%TD

・熱伝導度計算用各領域密度

未変化領域：85%TD
等軸晶領域：95%TD
柱状晶領域：97%TD

⑥工学的安全係数

燃料集合体の最高温度評価においては、各種不確かさを工学的安全係数により考慮する。

第2.2.4-3表に炉心燃料集合体の冷却材、被ふく管及び燃料中心温度に対する最高温度評価用の工学的安全係数を示す。また、ラッパ管最高温度評価に使用する工学的安全係数を第2.2.4-4表に示す。

(3) 各部温度解析結果

前項までに示した解析条件、解析手法等に従って燃料集合体温度の温度特性を算出した。

第2.2.4-5～2.2.4-44表に各炉心毎での燃料集合体各部最高温度及びP_u富化度領域毎（内側炉心、外側炉心毎）での各部温度の軸方向温度分布を示す。

これらの各表について、特記事項を列挙する。

- ① 表中に示す集合体番号は、第2.2.4-2図に示す炉心配置図上の番号を示す。

- ② 燃料中心温度軸方向分布表において、ホットスポット温度は過出力時の値である。
- ③ 被ふく管、ラッパ管の軸方向温度分布におけるホットスポット値は、工学的安全係数を考慮した場合の値である。
- ④ 軸方向温度分布における軸方向高さ位置は、下部軸方向ブランケット下端からの距離を表しており、かつ、その値は製作時の cold 状態の値である。
- ⑤ ラッパ管軸方向温度分布において、Wall No. 1~6 の定義は、第 2. 2. 4-2 図に示す炉心配置図の上部方向（371番→5番方向）を Wall No. 1 とし、時計回り方向に No. 2~6 となるように定義している。

(4) 結論

各燃料交換ケースにおける初装荷及び第 2 サイクル炉心において、燃料及び被ふく管温度の最高温度は、

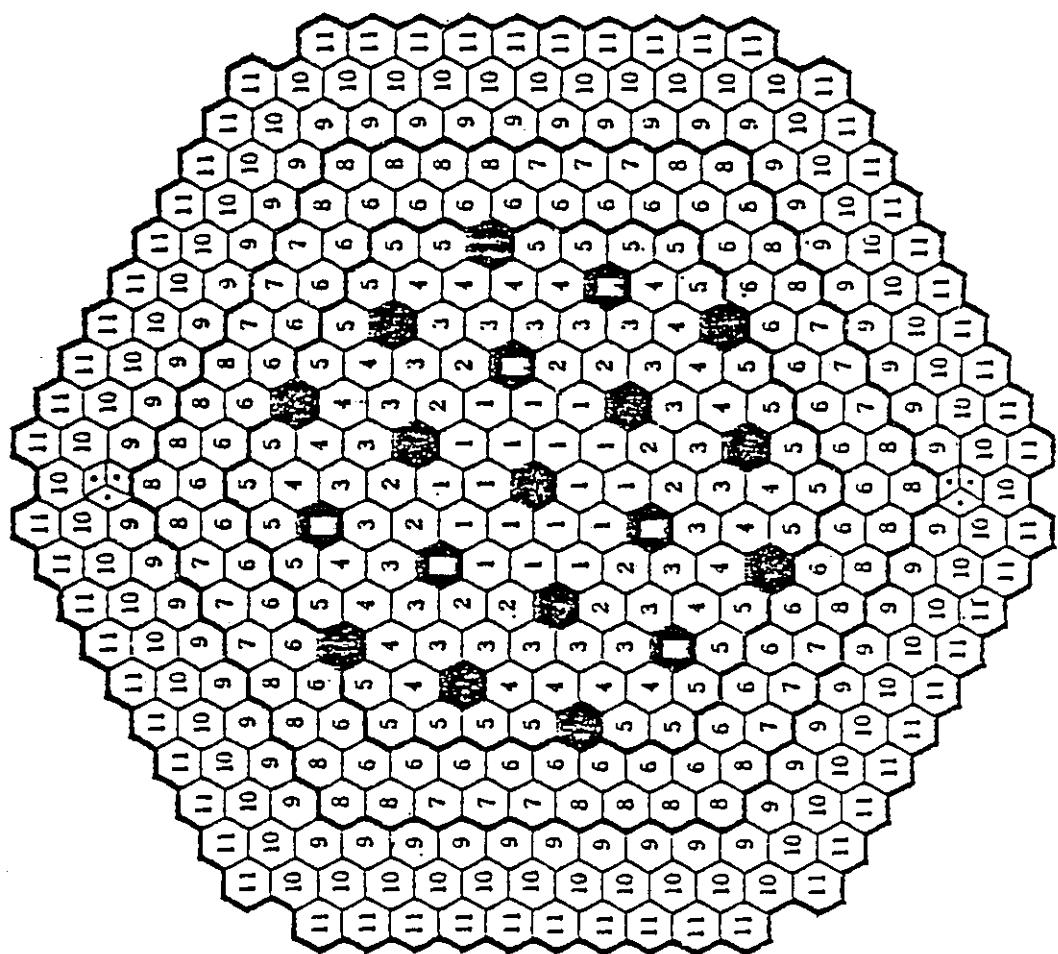
$$\begin{aligned} \text{燃料最高温度} &: 2322^{\circ}\text{C} \quad (17 - \text{第 2 サイクル}) \\ \text{被ふく管最高温度 (肉厚中心)} &: 676^{\circ}\text{C} \quad (24 - \text{初装荷}) \end{aligned}$$

であり、燃料温度についてはいずれのケースでも熱的制限値を満足している。但し、被ふく管温度については初装荷中途 24 体交換の場合、初装荷炉心において 676°C となり、現行の熱的制限値を越える。しかしながら、その他の交換パターンでは被ふく管温度は 673°C であり、熱的制限値を満足していることを確認した。またラッパ管についても現行基準炉心での最高温度と同等の温度であり、その健全性に対し問題ないことを確認した。

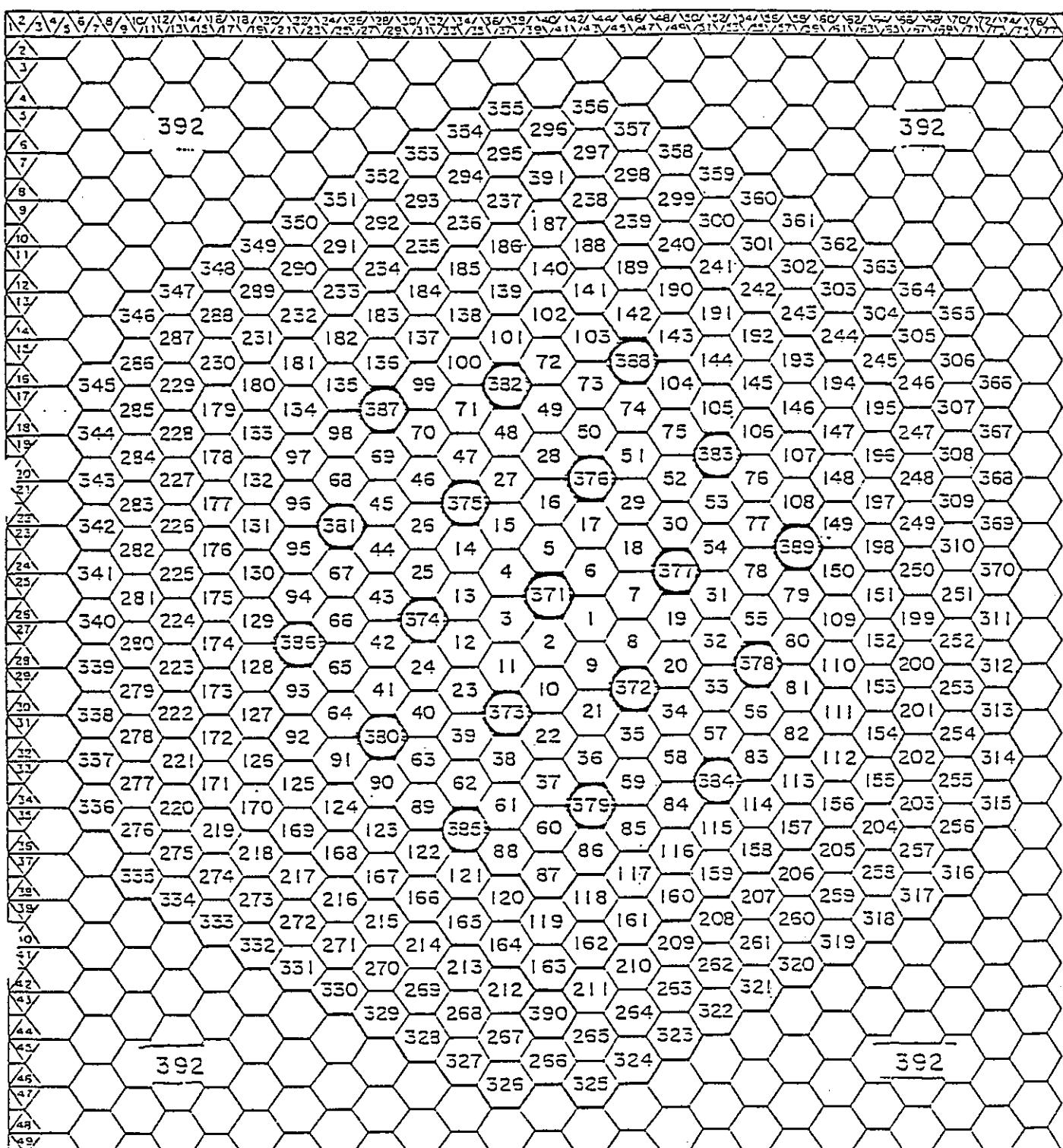
(5) 参考文献

- ① E16-975c-2101M-30 燃料集合体の工学的安全係数
- ② E16-975c-2201M-30 冷却材流量配分計画
- ③ D06-975c-0000E-10 炉心設計条件書 一基準炉心一

記号	領域	記号
①	流量領域 1 内側炉心	
②	流量領域 2	
③	流量領域 3	
④	流量領域 4	
⑤	流量領域 5	
⑥	流量領域 6	
⑦	流量領域 7	
⑧	流量領域 8	
⑨	流量領域 9 半径方向	
⑩	流量領域 10	
⑪	流量領域 11	
◆	粗調整棒, 微調整棒 後備炉停止棒	
◆	中性子源集合体*	



第2.2.4-1図 流量領域区分図



1 - 108	内側炉心	371, 376, 372, 374, 387	粗調整率
109 - 198	外側炉心	388, 389, 384, 385, 386	
199 - 370	半径方向ブランケット	379, 381, 383	微調整率
392	半径方向反射体	375, 377, 373, 382, 378 380 390, 391	
			後備炉停止率
			中性子源 (半径方向ブランケット)

第2.2.4-2図 炉心集合体番号

第2.2.4-1表 热特性評価炉心

热特性評価ケースNo.	取替燃料組成	初装荷炉心		→	第2サイクル	
		中途取替体数	運転日数		取替体数	運転日数
01-初装荷、第2サイクル	設計基準組成	0	80	→	78(内42+外36)	123
02-初装荷、第2サイクル	製造実績平均	0	80	→	78(内42+外36)	123
12-初装荷、第2サイクル	設計基準組成	12(内12)	80	→	66(内30+外36)	123
17-初装荷、第2サイクル	設計基準組成	17(内17)	80	→	61(内25+外36)	123
24-初装荷、第2サイクル	設計基準組成	24(内24)	80	→	54(内18+外36)	123

富化度 領域	流量 領域	集合体流量 (kg/s)
内 侧 炉 心	1	21.35
	2	20.04
	3	19.04
	4	17.67
	5	16.47
外 侧 炉 心	6	19.24
	7	16.17
	8	14.64

第2.2.4-2表 各流量領域毎集合体流量

第2.2.4-3表 炉心燃料集合体最高温度評価用工学的安全係数*

処理法	因 子	係 数 値				
		ΔT_{na}	ΔT_{film}	ΔT_{clad}	ΔT_{gap}	ΔT_{fuel}
乗算処理	出力分布誤差	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
	原子炉熱出力誤差		1.02	1.02	1.02	1.02
	流路変形効果	1.03				
	集合体間流量配分誤差(注1)	1.06 1.07				
	ワイヤ巻付効果	1.005	2.37			
	原子炉出入口温度誤差	1.02				
統計処理	流路断面積製作誤差	1.021				
	ペレット製作公差	1.029	1.042	1.042	1.042	1.028
	被ふく管肉厚製作公差			1.041		
	冷却材物性値誤差	1.02				
	被ふく材熱伝導度誤差			1.03		
	ペレット熱伝導度誤差					1.10
	膜熱伝達率誤差		1.30			
	ギャップ熱伝達率誤差				1.40	
	ペレット偏心効果		1.20	1.07		

(空欄は全て1.0)

(注1) 第1、2、3、4、6流量領域に対して1.06、

第5、7、8流量領域に対して1.07

* 冷却材、被ふく管、燃料ペレットの最高温度評価に適用する。

第2.2.4-4表 ラッパ管最高温度評価用工学的安全係数

処理法	因 子	係 数 値 ^(注1)
		炉心燃料集合体
乗 算	出力分布誤差 集合体間流量配分誤差	1. 05 1. 06 ^(注2) 1. 07
処 理	原子炉出入口温度誤差 ^(注3) その他 ^(注4)	+ 5°C 1. 05

(注1) 係数値は、全て ΔT_{Na} に対するものである。

(注2) 第1、2、3、4、6流量領域に対して1.06、
第5、7、8流量領域に対して1.07を適用する。

(注3) 原子炉出入口温度誤差に対しては、集合体入口冷却材温度を表記の値だけ増加させる。

(注4) 周辺流れ係数の誤差、その他による集合体内流量配分の誤差として5%設定する。

第2. 2. 4-5表 ケース01-第2サイクルの熱特性

炉心：01-第2サイクル

流量領域		燃料最高温度解析結果				
		集合体番号	時期	CCR 状態	最大線出力 W/cm	燃料最高温度 °C
内側炉心	1	5	BOC	NaF	354.5	2319 *1
	2	24	BOC	CR IN	333.5	2226
	3	46	BOC	CR IN	338.3	2247
	4	63	BOC	CR IN	324.6	2199
	5	90	BOC	CR IN	311.4	2142
外側炉心	6	136	BOC	NaF	331.5	2218
	7	184	BOC	CR IN	299.2	2089
	8	166	BOC	CR IN	281.9	2023

* 1 : 軸方向分布を第2. 2. 4-6表に示す。

流量領域		被ふく管最高温度解析結果				
		集合体番号	時期	CCR 状態	集合体出力 MW	被ふく管最高温度 °C
内側炉心	1	5	BOC	NaF	4.68	661
	2	28	BOC	NaF	4.33	658
	3	38	BOC	NaF	4.18	663
	4	71	BOC	CR IN	3.96	660
	5	100	BOC	CR IN	3.72	666
外側炉心	6	122	BOC	NaF	3.94	652
	7	168	BOC	CR IN	3.31	661
	8	182	BOC	CR IN	3.17	671 *2

* 2 : 被ふく管及びラッパ管温度軸方向温度分布を第2. 2. 4-7~9表に示す。

第2.2.4-6表 燃料温度軸方向温度分布

炉心：01－第2サイクル、集合体番号5

MONJU ZONE-1 ASM-NO.5 FUEL CENTER TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C)				
	HIGHT (CM)	NOMINAL	H.S.F	HSF+OPF*
1	0.0	403	410	411
2	5.0	407	415	416
3	10.0	411	420	423
4	15.0	417	427	431
5	20.0	425	437	442
6	25.0	435	450	457
7	30.0	451	470	480
8	35.0	1253	1447	1613
9	38.0	1345	1547	1725
10	41.0	1430	1633	1822
11	44.0	1505	1723	1922
12	47.0	1577	1810	2019
13	50.0	1647	1893	2110
14	53.0	1712	1969	2193
15	56.0	1772	2034	2263
16	59.0	1825	2092	2326
17	62.0	1869	2144	2381
18	65.0	1907	2189	2429
19	68.0	1940	2227	2470
20	71.0	1967	2259	2504
21	74.0	1988	2284	2530
22	77.0	2004	2302	2549
23	80.0	2015	2314	2561
24	83.0	2019	2319	2566
25	86.0	2018	2317	2564
26	89.0	2011	2309	2555
27	92.0	1999	2293	2539
28	95.0	1981	2272	2515
29	98.0	1958	2243	2485
30	101.0	1929	2208	2448
31	104.0	1894	2167	2403
32	107.0	1855	2119	2352
33	110.0	1810	2067	2294
34	113.0	1756	2008	2231
35	116.0	1697	1943	2160
36	119.0	1633	1867	2076
37	122.0	1568	1789	1990
38	125.0	1505	1712	1904
39	128.0	1442	1636	1820
40	133.0	635	687	729
41	138.0	616	664	702
42	143.0	604	650	685
43	148.0	595	639	673
44	153.0	587	630	662
45	158.0	580	622	653

* : 過出力係数

第2.2.4-7表 冷却材、被ふく管温度軸方向分布

炉心：01-第2サイクル、集合体番号182

MONJU ZONE-8 ASM-NO.182 *** HOT CHANNEL TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) ***									
HEIGHT (CM)	NA TEMP	* * * NOMINAL * * *			*	* * * WITH HOT SPOT FACTOR * * *			
		CLAD OUTER	CLAD CENTER	CLAD INNER		CLAD OUTER	CLAD CENTER	CLAD INNER	
1	0.0	397	397	397	402	402	402	402	
2	5.0	397	397	397	402	402	402	403	
3	10.0	397	397	398	402	402	403	403	
4	15.0	397	397	398	402	403	403	403	
5	20.0	398	398	398	403	403	404	404	
6	25.0	398	398	399	403	404	404	405	
7	30.0	398	399	400	404	405	406	407	
8	35.0	399	403	413	405	418	428	439	
9	38.0	404	408	418	410	424	436	448	
10	41.0	409	413	425	416	432	445	458	
11	44.0	414	419	432	423	440	454	468	
12	47.0	420	426	439	430	448	463	479	
13	50.0	427	433	447	438	457	473	490	
14	53.0	434	440	455	446	467	484	501	
15	56.0	441	447	463	455	476	494	512	
16	59.0	448	455	471	464	486	505	523	
17	62.0	456	463	480	474	496	515	534	
18	65.0	464	472	489	484	507	526	545	
19	68.0	472	480	497	494	517	537	556	
20	71.0	481	488	506	504	528	547	567	
21	74.0	489	497	514	514	538	557	577	
22	77.0	498	505	523	524	548	568	587	
23	80.0	506	514	531	534	558	577	597	
24	83.0	515	522	539	545	568	587	606	
25	86.0	523	530	547	555	578	596	614	
26	89.0	531	538	554	564	587	605	623	
27	92.0	539	546	561	574	596	613	630	
28	95.0	547	554	568	583	604	621	637	
29	98.0	554	561	575	592	613	628	644	
30	101.0	561	567	581	594	620	635	650	
31	104.0	568	574	587	599	627	641	655	
32	107.0	574	580	592	604	634	647	660	
33	110.0	580	585	597	608	640	652	664	
34	113.0	585	591	601	611	645	657	668	
35	116.0	591	595	605	614	650	661	671	
36	119.0	595	600	608	617	655	664	673	
37	122.0	599	603	611	619	658	667	675	
38	125.0	603	607	614	620	662	669	677	
39	128.0	606	610	616	622	665	671	678	
40	133.0	607	607	608	656	657	658	658	
41	138.0	607	607	608	656	657	657	658	
42	143.0	607	607	608	656	657	657	657	
43	148.0	607	607	607	656	657	657	657	
44	153.0	607	607	607	656	656	656	656	
45	158.0	606	607	607	656	656	656	656	
46	169.8	606	606	606	655	655	655	655	
47	181.7	605	605	605	654	654	654	654	
48	193.5	604	604	604	652	652	652	652	
49	205.4	603	603	603	651	651	651	651	
50	217.2	602	602	602	650	650	650	650	
51	229.1	601	601	601	648	648	648	648	
52	240.9	599	599	599	647	647	647	647	
53	252.8	598	598	598	646	646	646	646	
54	264.6	597	597	597	645	645	645	645	
55	276.5	596	596	596	645	645	645	645	

第2.2.4-8表 ラッパ管軸方向温度分布(ノミナル)

炉心：01-第2サイクル、集合体番号182

MONJU ZONE-8 ASM-NO.182 *** WRAPPER TUBE TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) *** (NOMINAL)							
HIGHT (CM)	WALL NO1	WALL NO2	WALL NO3	WALL NO4	WALL NO5	WALL NO6	AVERAGE
1 0.0	397	397	397	397	397	397	397
2 5.0	397	397	397	397	397	397	397
3 10.0	397	397	397	397	397	397	397
4 15.0	397	397	397	397	397	397	397
5 20.0	397	397	397	397	397	397	397
6 25.0	397	397	398	397	397	397	397
7 30.0	398	398	398	398	398	398	398
8 35.0	398	398	398	398	398	398	398
9 38.0	400	400	401	401	400	400	400
10 41.0	402	403	403	402	402	403	403
11 44.0	404	405	406	406	405	404	405
12 47.0	407	408	410	409	408	407	408
13 50.0	410	412	413	413	411	410	411
14 53.0	413	415	417	417	415	413	415
15 56.0	416	419	421	421	418	416	419
16 59.0	420	423	426	425	422	419	423
17 62.0	423	427	431	430	426	423	427
18 65.0	427	432	435	435	431	427	431
19 68.0	431	436	440	440	435	430	435
20 71.0	435	441	446	445	439	434	440
21 74.0	439	446	451	450	444	439	445
22 77.0	444	451	456	455	449	443	449
23 80.0	448	456	462	460	453	447	454
24 83.0	452	460	467	466	458	451	459
25 86.0	456	465	472	471	463	455	464
26 89.0	461	470	478	476	468	459	469
27 92.0	465	475	483	481	472	463	473
28 95.0	469	480	488	487	477	468	478
29 98.0	473	484	493	492	481	472	483
30 101.0	477	489	498	496	486	475	487
31 104.0	481	493	503	501	490	479	491
32 107.0	484	498	508	506	494	483	495
33 110.0	488	502	512	510	498	486	499
34 113.0	491	505	517	514	502	490	503
35 116.0	495	509	521	518	505	493	507
36 119.0	498	513	524	522	508	496	510
37 122.0	500	516	528	525	512	499	513
38 125.0	503	519	531	529	515	501	516
39 128.0	506	522	534	532	517	504	519
40 133.0	508	524	537	534	519	506	521
41 138.0	509	526	539	536	521	507	523
42 143.0	511	528	541	538	523	509	525
43 148.0	512	529	542	539	525	510	526
44 153.0	514	531	544	541	526	512	528
45 158.0	515	532	545	542	527	513	529
46 169.8	518	535	548	545	530	515	532
47 181.7	520	537	551	548	532	518	534
48 193.5	522	539	553	550	534	519	536
49 205.4	523	541	554	551	536	521	538
50 217.2	525	542	556	553	537	522	539
51 229.1	526	543	557	554	539	524	541
52 240.9	527	545	559	555	540	525	542
53 252.8	528	546	560	556	541	526	543
54 264.6	529	547	561	557	542	527	544
55 276.5	530	548	562	558	543	528	545

第2.2.4-9表 ラッパ管軸方向温度分布(ホットスポット)

炉心：01-第2サイクル、集合体番号182

MONJU ZONE-8 ASM-NO.182 *** WRAPPER TUBE TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) *** (WITH H.S.F.)							
HIGHT (CM)	WALL NO1	WALL NO2	WALL NO3	WALL NO4	WALL NO5	WALL NO6	AVERAGE
1 0.0	402	402	402	402	402	402	402
2 5.0	402	402	402	402	402	402	402
3 10.0	402	402	402	402	402	402	402
4 15.0	402	402	402	402	402	402	402
5 20.0	402	402	402	402	402	402	402
6 25.0	402	403	403	403	402	402	403
7 30.0	403	403	403	403	403	403	403
8 35.0	403	403	403	403	403	403	403
9 38.0	405	406	406	406	405	405	406
10 41.0	408	408	409	409	408	407	408
11 44.0	410	412	413	412	411	410	411
12 47.0	413	415	416	416	414	413	415
13 50.0	416	419	420	420	418	416	418
14 53.0	420	423	425	424	422	420	422
15 56.0	424	427	430	429	426	423	426
16 59.0	428	431	435	434	430	427	431
17 62.0	432	436	440	439	435	431	435
18 65.0	436	441	445	444	440	435	440
19 68.0	440	446	451	450	445	440	445
20 71.0	445	452	457	456	450	444	451
21 74.0	450	457	463	462	455	449	456
22 77.0	454	462	469	467	460	453	461
23 80.0	459	468	475	473	466	458	467
24 83.0	464	474	481	479	471	463	472
25 86.0	469	479	487	485	476	468	477
26 89.0	474	485	493	491	482	472	483
27 92.0	478	490	499	497	487	477	488
28 95.0	483	495	505	503	492	482	493
29 98.0	488	501	511	509	497	486	498
30 101.0	492	506	516	514	502	490	503
31 104.0	496	511	522	519	507	495	508
32 107.0	501	515	527	525	511	499	513
33 110.0	505	520	532	529	516	503	517
34 113.0	508	524	537	534	520	506	522
35 116.0	512	528	541	539	524	510	526
36 119.0	515	532	546	543	528	513	530
37 122.0	519	536	550	547	531	517	533
38 125.0	522	539	553	550	534	519	536
39 128.0	524	542	557	554	538	522	540
40 133.0	527	545	559	556	540	524	542
41 138.0	529	547	562	559	542	526	544
42 143.0	531	549	564	561	544	528	546
43 148.0	532	551	566	563	546	530	548
44 153.0	534	553	567	564	547	531	549
45 158.0	535	554	569	566	549	533	551
46 169.8	538	557	572	569	552	536	554
47 181.7	540	560	575	572	554	538	557
48 193.5	543	562	577	574	557	540	559
49 205.4	544	564	579	576	559	542	561
50 217.2	546	566	581	578	560	543	562
51 229.1	547	567	583	579	562	545	564
52 240.9	549	568	584	580	563	546	565
53 252.8	550	570	585	582	564	547	566
54 264.6	551	571	586	583	565	549	567
55 276.5	552	572	587	584	566	550	568

第2.2.4-10表 ケース02-第2サイクルの熱特性

炉心 : 02-第2サイクル

流量領域		燃料最高温度解析結果				
		集合体番号	時期	CCR 状態	最大線出力 W/cm	燃料最高温度 °C
内側炉心	1	5	BOC	NaF	354.6	2320 *1
	2	24	BOC	CR IN	334.1	2228
	3	38	BOC	CR IN	338.6	2248
	4	63	BOC	CR IN	325.1	2201
	5	90	BOC	CR IN	311.5	2144
外側炉心	6	136	BOC	NaF	331.5	2219
	7	168	BOC	CR IN	300.0	2092
	8	166	BOC	CR IN	382.8	2026

* 1 : 軸方向温度分布を第2.2.4-11表に示す。

流量領域		被ふく管最高温度解析結果				
		集合体番号	時期	CCR 状態	集合体出力 MW	被ふく管最高温度 °C
内側炉心	1	5	BOC	NaF	4.68	661
	2	28	BOC	NaF	4.33	659
	3	38	BOC	NaF	4.18	663
	4	71	BOC	CR IN	3.97	660
	5	90	BOC	CR IN	3.73	667
外側炉心	6	122	BOC	NaF	3.94	656
	7	168	BOC	CR IN	3.31	661
	8	166	BOC	CR IN	3.17	672 *2

* 2 : 被ふく管及びラッパ管温度軸方向温度分布を第2.2.4-12~14表に示す。

第2.2.4-11表 燃料温度軸方向温度分布

炉心：02-第2サイクル、集合体番号5

MONJU ZONE-1 ASM-NO.5 FUEL CENTER TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C)				
	HIGHT (CM)	NOMINAL	H.S.F	HSF+OPF*
1	0.0	403	410	411
2	5.0	407	415	416
3	10.0	411	420	423
4	15.0	417	427	431
5	20.0	425	437	442
6	25.0	435	450	456
7	30.0	451	470	479
8	35.0	1248	1442	1606
9	38.0	1341	1543	1721
10	41.0	1428	1630	1819
11	44.0	1503	1720	1919
12	47.0	1576	1808	2017
13	50.0	1646	1891	2108
14	53.0	1711	1969	2193
15	56.0	1772	2034	2263
16	59.0	1825	2092	2326
17	62.0	1869	2144	2381
18	65.0	1907	2189	2430
19	68.0	1940	2228	2470
20	71.0	1967	2259	2504
21	74.0	1989	2285	2531
22	77.0	2005	2303	2550
23	80.0	2015	2315	2562
24	83.0	2020	2320	2567
25	86.0	2018	2318	2565
26	89.0	2012	2309	2556
27	92.0	1999	2294	2539
28	95.0	1981	2272	2516
29	98.0	1958	2244	2485
30	101.0	1929	2209	2448
31	104.0	1895	2167	2403
32	107.0	1855	2119	2352
33	110.0	1810	2066	2294
34	113.0	1755	2007	2230
35	116.0	1695	1941	2158
36	119.0	1632	1865	2074
37	122.0	1566	1786	1987
38	125.0	1502	1708	1901
39	128.0	1439	1632	1815
40	133.0	635	687	729
41	138.0	616	664	702
42	143.0	604	649	685
43	148.0	595	639	672
44	153.0	587	630	662
45	158.0	580	621	652

* : 過出力係数

第2.2.4-12表 冷却材、被ふく管温度軸方向分布

炉心：02—第2サイクル、集合体番号166

MONJU ZONE-8 ASM-NO.166 *** HOT CHANNEL TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) ***									
HEIGHT (CM)	NA TEMP	* * * NOMINAL * * *			*	* * * WITH HOT SPOT FACTOR * * *			
		CLAD OUTER	CLAD CENTER	CLAD INNER		CLAD OUTER	CLAD CENTER	CLAD INNER	
1	0.0	397	397	397	402	402	402	402	
2	5.0	397	397	397	402	402	402	403	
3	10.0	397	397	397	402	402	403	403	
4	15.0	397	397	398	402	403	403	403	
5	20.0	398	398	398	403	403	404	404	
6	25.0	398	398	399	403	404	404	405	
7	30.0	398	399	400	404	405	406	407	
8	35.0	399	403	412	405	418	428	439	
9	38.0	404	408	418	410	424	436	448	
10	41.0	409	413	425	416	432	445	458	
11	44.0	414	419	432	423	440	454	468	
12	47.0	420	426	439	430	448	463	479	
13	50.0	427	433	447	438	457	473	490	
14	53.0	434	440	455	446	467	484	501	
15	56.0	441	447	463	455	476	494	512	
16	59.0	448	455	471	464	486	505	523	
17	62.0	456	463	480	474	497	515	534	
18	65.0	464	472	489	484	507	526	545	
19	68.0	473	480	497	494	517	537	556	
20	71.0	481	489	506	504	528	547	567	
21	74.0	489	497	514	514	538	558	577	
22	77.0	498	506	523	524	548	568	587	
23	80.0	506	514	531	535	559	578	597	
24	83.0	515	522	539	545	568	587	606	
25	86.0	523	531	547	563	578	596	615	
26	89.0	531	539	555	570	587	605	623	
27	92.0	539	546	562	577	596	613	631	
28	95.0	547	554	569	583	605	621	638	
29	98.0	554	561	575	589	613	629	644	
30	101.0	561	568	581	595	621	635	650	
31	104.0	568	574	587	600	628	642	656	
32	107.0	574	580	592	604	634	647	661	
33	110.0	580	586	597	608	640	653	665	
34	113.0	586	591	601	611	631	646	669	
35	116.0	591	596	605	614	637	651	661	
36	119.0	596	600	608	617	643	655	664	
37	122.0	600	604	611	619	648	659	676	
38	125.0	603	607	614	621	652	662	677	
39	128.0	607	610	616	622	656	665	678	
40	133.0	607	607	608	609	657	658	659	
41	138.0	607	608	608	608	657	658	658	
42	143.0	607	607	608	608	657	657	658	
43	148.0	607	607	607	608	657	657	657	
44	153.0	607	607	607	607	657	657	657	
45	158.0	607	607	607	607	656	656	656	
46	169.8	606	606	606	606	655	655	655	
47	181.7	605	605	605	605	654	654	654	
48	193.5	604	604	604	604	653	653	653	
49	205.4	603	603	603	603	652	652	652	
50	217.2	602	602	602	602	650	650	650	
51	229.1	601	601	601	601	649	649	649	
52	240.9	600	600	600	600	648	648	648	
53	252.8	599	599	599	599	646	646	646	
54	264.6	598	598	598	598	645	645	645	
55	276.5	597	597	597	597	645	645	645	

第2.2.4-13表 ラッパ管軸方向温度分布(ノミナル)

炉心: 02-第2サイクル、集合体番号166

MONJU ZONE-8 ASM-NO.166		*** WRAPPER TUBE TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) ***						(NOMINAL)
HIGHT (CM)		WALL NO1	WALL NO2	WALL NO3	WALL NO4	WALL NO5	WALL NO6	AVERAGE
1	0.0	397	397	397	397	397	397	397
2	5.0	397	397	397	397	397	397	397
3	10.0	397	397	397	397	397	397	397
4	15.0	397	397	397	397	397	397	397
5	20.0	397	397	397	397	397	397	397
6	25.0	398	397	397	397	397	397	397
7	30.0	398	398	398	398	398	398	398
8	35.0	398	398	398	398	398	398	398
9	38.0	401	401	400	400	400	400	400
10	41.0	403	403	402	402	403	403	403
11	44.0	406	406	405	404	404	405	405
12	47.0	410	409	408	407	407	408	408
13	50.0	413	413	411	409	410	412	411
14	53.0	417	417	415	412	413	415	415
15	56.0	421	421	418	416	416	419	419
16	59.0	426	425	422	419	420	423	423
17	62.0	431	430	426	423	423	427	427
18	65.0	435	435	430	426	427	432	431
19	68.0	440	440	435	430	431	436	435
20	71.0	446	445	439	434	435	441	440
21	74.0	451	450	444	438	439	446	445
22	77.0	456	455	449	442	443	451	449
23	80.0	462	461	453	447	448	455	454
24	83.0	467	466	458	451	452	460	459
25	86.0	473	471	463	455	456	465	464
26	89.0	478	477	468	459	460	470	469
27	92.0	483	482	472	463	465	475	473
28	95.0	488	487	477	467	469	480	478
29	98.0	494	492	481	471	473	484	483
30	101.0	499	497	486	475	477	489	487
31	104.0	503	502	490	479	480	493	491
32	107.0	508	506	494	483	484	497	495
33	110.0	512	510	498	486	488	502	499
34	113.0	517	515	502	489	491	505	503
35	116.0	521	519	505	492	494	509	507
36	119.0	525	522	508	495	497	513	510
37	122.0	528	526	512	498	500	516	513
38	125.0	531	529	515	501	503	519	516
39	128.0	534	532	517	503	505	522	519
40	133.0	537	535	519	505	507	524	521
41	138.0	539	537	521	507	509	526	523
42	143.0	541	538	523	509	511	527	525
43	148.0	542	540	525	510	512	529	526
44	153.0	544	542	526	511	513	530	528
45	158.0	545	543	527	513	515	532	529
46	169.8	548	546	530	515	517	535	532
47	181.7	551	548	532	517	519	537	534
48	193.5	553	550	534	519	521	539	536
49	205.4	555	552	536	521	523	541	538
50	217.2	556	554	537	522	524	542	539
51	229.1	558	555	539	524	526	543	541
52	240.9	559	556	540	525	527	545	542
53	252.8	560	557	541	526	528	546	543
54	264.6	561	558	542	527	529	547	544
55	276.5	562	559	543	528	530	548	545

第2.2.4-14表 ラッパ管軸方向温度分布(ホットスポット)

炉心：02-第2サイクル、集合体番号166

MONJU ZONE-8 ASM-NO.166 *** WRAPPER TUBE TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) *** (WITH H.S.F.)							
HIGHT (CM)		WALL NO1	WALL NO2	WALL NO3	WALL NO4	WALL NO5	AVERAGE
1	0.0	402	402	402	402	402	402
2	5.0	402	402	402	402	402	402
3	10.0	402	402	402	402	402	402
4	15.0	402	402	402	402	402	402
5	20.0	402	402	402	402	402	402
6	25.0	403	403	402	402	403	403
7	30.0	403	403	403	403	403	403
8	35.0	403	403	403	403	403	403
9	38.0	406	406	406	405	406	406
10	41.0	409	409	408	407	408	408
11	44.0	412	412	411	410	411	411
12	47.0	416	416	414	413	415	415
13	50.0	420	420	418	416	419	418
14	53.0	425	424	422	419	423	422
15	56.0	430	429	426	423	427	426
16	59.0	435	434	430	427	431	431
17	62.0	440	439	435	431	436	435
18	65.0	445	445	440	435	441	440
19	68.0	451	450	445	440	446	445
20	71.0	457	456	450	444	452	450
21	74.0	463	462	455	449	457	456
22	77.0	469	468	460	453	462	461
23	80.0	475	474	466	458	468	466
24	83.0	481	480	471	463	473	472
25	86.0	487	486	476	467	479	477
26	89.0	493	492	482	472	484	483
27	92.0	499	498	487	477	490	488
28	95.0	505	503	492	481	493	493
29	98.0	511	509	497	486	500	498
30	101.0	516	514	502	490	506	503
31	104.0	522	520	507	494	511	508
32	107.0	527	525	511	498	515	513
33	110.0	532	530	516	502	520	517
34	113.0	537	535	520	506	524	522
35	116.0	541	539	524	510	528	526
36	119.0	546	543	528	513	532	530
37	122.0	550	547	531	516	536	533
38	125.0	553	551	535	519	539	536
39	128.0	557	554	538	522	542	540
40	133.0	560	557	540	524	545	542
41	138.0	562	559	542	526	547	544
42	143.0	564	561	544	528	549	546
43	148.0	566	563	546	530	551	548
44	153.0	568	565	547	531	552	549
45	158.0	569	567	549	532	554	551
46	169.8	573	570	552	535	557	554
47	181.7	575	573	554	538	560	557
48	193.5	578	575	557	540	562	559
49	205.4	580	577	559	542	544	561
50	217.2	581	579	560	543	546	562
51	229.1	583	580	562	545	547	564
52	240.9	584	581	563	546	548	565
53	252.8	586	583	564	547	550	567
54	264.6	587	584	565	549	551	568
55	276.5	588	585	566	550	552	569

第2. 2. 4-15表 ケース12-初装荷の熱特性

炉心：12-初装荷

流量領域		燃料最高温度解析結果				
		集合体番号	時期	CCR 状態	最大線出力 W/cm	燃料最高温度 °C
内側炉心	1	10	BOC	CR IN	357.6	2320 *1
	2	23	BOC	CR IN	317.3	2159
	3	38	BOC	CR IN	350.5	2296
	4	58	BOC	NaF	314.8	2167
	5	93	BOC	CR IN	293.4	2066
外側炉心	6	124	BOC	CR IN	332.4	2221
	7	168	BOC	CR IN	287.6	2039
	8	166	BOC	CR IN	272.3	1981

* 1 : 軸方向温度分布を第2. 2. 4-16表に示す。

流量領域		被ふく管最高温度解析結果				
		集合体番号	時期	CCR 状態	集合体出力 MW	被ふく管最高温度 °C
内側炉心	1	10	BOC	NaF	4.67	661
	2	21	BOC	NaF	4.07	642
	3	38	BOC	NaF	4.33	661
	4	58	BOC	NaF	4.02	673 *2
	5	88	BOC	NaF	3.58	663
外側炉心	6	123	BOC	CR IN	3.95	649
	7	168	BOC	CR IN	3.19	651
	8	166	BOC	CR IN	3.07	663

* 2 : 被ふく管及びラッパ管温度軸方向温度分布を第2. 2. 4-16~19表に示す。

第2.2.4-16表 燃料温度軸方向温度分布

炉心：12-初装荷、集合体番号10

MONJU ZONE-1 ASM-NO.10 FUEL CENTER TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C)				
HIGHT (CM)	NOMINAL	H.S.F	HSF+OPF*	
1 0.0	404	411	412	
2 5.0	408	416	418	
3 10.0	413	423	426	
4 15.0	420	431	435	
5 20.0	429	442	447	
6 25.0	441	457	465	
7 30.0	460	481	493	
8 35.0	1404	1602	1787	
9 38.0	1482	1696	1893	
10 41.0	1562	1792	2000	
11 44.0	1643	1889	2106	
12 47.0	1720	1979	2204	
13 50.0	1790	2053	2285	
14 53.0	1847	2118	2355	
15 56.0	1895	2175	2415	
16 59.0	1936	2224	2467	
17 62.0	1969	2263	2508	
18 65.0	1994	2292	2539	
19 68.0	2010	2311	2559	
20 71.0	2019	2320	2568	
21 74.0	2019	2319	2567	
22 77.0	2010	2309	2556	
23 80.0	1993	2288	2534	
24 83.0	1968	2258	2501	
25 86.0	1937	2220	2461	
26 89.0	1900	2176	2414	
27 92.0	1860	2128	2361	
28 95.0	1816	2076	2305	
29 98.0	1766	2021	2246	
30 101.0	1713	1963	2183	
31 104.0	1658	1898	2111	
32 107.0	1601	1829	2036	
33 110.0	1543	1759	1958	
34 113.0	1483	1687	1877	
35 116.0	1422	1613	1794	
36 119.0	1347	1538	1709	
37 122.0	1264	1452	1613	
38 125.0	1184	1356	1504	
39 128.0	1107	1262	1396	
40 133.0	601	645	681	
41 138.0	586	628	660	
42 143.0	577	617	648	
43 148.0	571	610	639	
44 153.0	565	604	632	
45 158.0	561	598	626	

* : 過出力係数

第2.2.4-17表 冷却材、被ふく管温度軸方向分布

炉心：12—初装荷、集合体番号58

MONJU ZONE-4 ASM-NO.58 *** HOT CHANNEL TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) ***									
HEIGHT (CM)	NA TEMP	* * * NOMINAL * * *			* * * WITH HOT SPOT FACTOR * * *				
		CLAD OUTER	CLAD CENTER	CLAD INNER	*	NA TEMP	CLAD OUTER	CLAD CENTER	CLAD INNER
1	1	0.0	397	397	397	402	402	402	402
1	2	5.0	397	397	398	402	402	403	403
1	3	10.0	397	397	398	402	403	403	403
1	4	15.0	397	398	398	403	403	404	404
1	5	20.0	398	398	399	403	404	405	405
1	6	25.0	398	398	399	403	404	405	406
1	7	30.0	399	399	400	404	405	407	408
1	8	35.0	399	404	414	405	419	431	443
1	9	38.0	404	408	420	410	425	438	452
1	10	41.0	408	413	426	415	432	446	461
1	11	44.0	413	419	432	421	439	455	470
1	12	47.0	419	424	439	428	447	463	480
1	13	50.0	424	430	446	435	455	473	490
1	14	53.0	430	437	453	442	464	482	500
1	15	56.0	437	444	461	450	472	492	511
1	16	59.0	444	451	469	458	482	501	522
1	17	62.0	451	458	477	467	491	511	532
1	18	65.0	458	466	485	475	501	522	543
1	19	68.0	466	474	493	484	510	532	553
1	20	71.0	473	482	501	494	520	542	564
1	21	74.0	481	490	509	503	530	552	574
1	22	77.0	489	498	517	513	540	562	584
1	23	80.0	497	506	525	522	549	572	594
1	24	83.0	505	514	533	532	559	581	603
1	25	86.0	513	522	541	542	569	590	612
1	26	89.0	521	530	549	551	578	599	621
1	27	92.0	529	538	556	561	587	608	629
1	28	95.0	537	545	563	570	596	616	637
1	29	98.0	544	553	570	579	604	624	644
1	30	101.0	552	560	577	588	612	631	650
1	31	104.0	559	566	583	596	620	638	656
1	32	107.0	566	573	589	604	627	644	662
1	33	110.0	572	579	594	609	633	650	666
1	34	113.0	578	585	599	613	640	655	670
1	35	116.0	584	590	603	616	645	660	674
1	36	119.0	589	595	607	619	633	650	664
1	37	122.0	594	600	611	622	655	667	679
1	38	125.0	599	604	614	624	659	670	681
1	39	128.0	603	608	617	626	663	673	683
1	40	133.0	604	604	605	606	650	652	653
1	41	136.0	604	604	605	606	651	652	653
1	42	143.0	604	605	605	605	651	652	653
1	43	146.0	604	605	605	605	651	652	652
1	44	153.0	604	604	605	605	651	652	652
1	45	158.0	604	604	604	605	651	651	651
1	46	169.8	604	604	604	604	650	650	650
1	47	181.7	603	603	603	603	649	649	649
1	48	193.5	602	602	602	602	648	648	648
1	49	205.4	601	601	601	601	647	647	647
1	50	217.2	600	600	600	600	646	646	646
1	51	229.1	599	599	599	599	645	645	645
1	52	240.9	598	598	598	598	643	643	643
1	53	252.8	597	597	597	597	642	642	642
1	54	264.6	596	596	596	596	641	641	641
1	55	276.5	595	595	595	595	641	641	641

第2.2.4-18表 ラッパ管軸方向温度分布(ノミナル)

炉心：12-初装荷、集合体番号58

MONJU ZONE-4 ASM-NO.58 *** WRAPPER TUBE TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) *** (NOMINAL)							
HIGHT (CM)		WALL NO1	WALL NO2	WALL NO3	WALL NO4	WALL NO5	AVERAGE
1	0.0	397	397	397	397	397	397
2	5.0	397	397	397	397	397	397
3	10.0	397	397	397	397	397	397
4	15.0	397	397	397	397	397	397
5	20.0	397	397	397	397	397	397
6	25.0	398	398	398	398	398	398
7	30.0	398	398	398	398	398	398
8	35.0	398	398	398	398	398	398
9	36.0	400	400	400	400	401	400
10	41.0	403	403	402	402	403	403
11	44.0	406	405	405	405	406	405
12	47.0	408	408	408	408	409	408
13	50.0	412	411	411	411	412	411
14	53.0	415	414	414	414	415	414
15	56.0	419	418	417	417	418	418
16	59.0	423	422	421	421	422	422
17	62.0	427	425	424	425	427	426
18	65.0	431	430	428	429	430	430
19	68.0	435	434	433	433	434	434
20	71.0	440	438	437	437	439	439
21	74.0	445	443	441	442	444	443
22	77.0	450	447	446	446	448	448
23	80.0	455	452	450	451	453	453
24	83.0	460	457	455	456	458	458
25	86.0	465	462	460	460	463	462
26	89.0	470	467	464	465	468	467
27	92.0	475	472	469	470	473	472
28	95.0	480	476	474	475	478	477
29	98.0	485	481	478	479	483	482
30	101.0	490	486	483	484	487	487
31	104.0	495	491	487	488	492	491
32	107.0	499	495	492	493	497	496
33	110.0	504	499	496	497	501	500
34	113.0	508	504	500	501	505	505
35	116.0	512	508	504	505	510	509
36	119.0	516	512	508	509	513	513
37	122.0	520	515	511	513	517	516
38	125.0	524	519	515	516	521	520
39	128.0	527	522	518	519	524	523
40	133.0	530	524	520	522	527	526
41	138.0	532	527	522	524	529	528
42	143.0	534	529	524	526	531	530
43	148.0	536	530	526	527	532	531
44	153.0	537	532	527	529	534	533
45	156.0	539	533	529	530	535	534
46	169.8	542	536	532	533	539	537
47	181.7	545	539	534	536	541	540
48	193.5	547	541	536	538	543	542
49	205.4	549	543	538	540	545	544
50	217.2	550	544	540	541	547	546
51	229.1	552	546	541	543	548	547
52	240.9	553	547	542	544	550	548
53	252.8	554	548	544	545	551	550
54	264.6	555	549	545	547	552	551
55	276.5	556	550	546	548	553	552

第2.2.4-19表 ラッパ管軸方向温度分布(ホットスポット)

炉心：12-初装荷、集合体番号58

MONJU ZONE-4 ASM-NO.58 *** WRAPPER TUBE TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) *** (WITH H.S.F.)							
HIGHT (CM)		WALL NO1	WALL NO2	WALL NO3	WALL NO4	WALL NO5	AVERAGE
1	0.0	402	402	402	402	402	402
2	5.0	402	402	402	402	402	402
3	10.0	402	402	402	402	402	402
4	15.0	402	402	402	402	402	402
5	20.0	402	402	402	402	402	402
6	25.0	403	403	403	403	403	403
7	30.0	403	403	403	403	403	403
8	35.0	403	403	403	403	403	403
9	38.0	406	406	406	406	406	406
10	41.0	409	408	408	408	409	408
11	44.0	412	411	411	411	412	411
12	47.0	415	414	414	414	415	414
13	50.0	418	418	417	417	418	418
14	53.0	422	421	421	422	422	421
15	56.0	426	425	424	425	426	425
16	59.0	431	429	428	429	431	430
17	62.0	435	434	433	434	435	434
18	65.0	440	438	437	437	440	439
19	68.0	445	443	442	442	444	443
20	71.0	450	448	446	447	449	448
21	74.0	455	453	451	452	454	454
22	77.0	461	458	456	457	459	459
23	80.0	466	464	461	462	465	464
24	83.0	472	469	467	467	470	470
25	86.0	477	474	472	473	476	475
26	89.0	483	480	477	478	481	480
27	92.0	489	485	482	483	487	486
28	95.0	494	491	488	489	492	491
29	98.0	500	496	493	494	498	497
30	101.0	506	501	498	499	503	502
31	104.0	511	506	503	504	508	507
32	107.0	516	511	508	509	513	512
33	110.0	521	516	512	514	518	517
34	113.0	526	521	517	518	523	522
35	116.0	531	526	521	523	526	527
36	119.0	535	530	525	527	532	531
37	122.0	540	534	529	531	536	535
38	125.0	544	538	533	535	540	539
39	128.0	548	542	537	536	544	543
40	133.0	550	544	539	541	547	551
41	138.0	553	547	542	543	549	548
42	143.0	555	549	544	546	551	556
43	146.0	557	551	546	548	553	552
44	153.0	559	553	547	549	555	560
45	158.0	560	554	549	551	557	561
46	169.8	564	557	552	554	560	565
47	181.7	567	560	555	557	563	568
48	193.5	569	563	557	559	565	570
49	205.4	571	565	559	561	567	572
50	217.2	573	566	561	563	569	574
51	229.1	575	568	563	565	571	576
52	240.9	576	570	564	566	572	577
53	252.8	577	571	566	568	574	579
54	264.6	579	572	567	569	575	580
55	276.5	580	573	568	570	576	581

第2.2.4-20表 ケース12-第2サイクルの熱特性

炉心：12-第2サイクル

流量領域		燃料最高温度解析結果				
		集合体番号	時期	CCR 状態	最大線出力 W/cm	燃料最高温度 °C
内側炉心	1	5	BOC	NaF	354.3	2318 *1
	2	24	BOC	CR IN	333.4	2225
	3	46	BOC	CR IN	334.3	2231
	4	63	BOC	CR IN	324.5	2198
	5	90	BOC	CR IN	311.4	2143
外側炉心	6	136	BOC	NaF	331.6	2219
	7	184	BOC	CR IN	299.6	2091
	8	182	BOC	CR IN	282.1	2024

* 1 : 軸方向温度分布を第2.2.4-21表に示す。

流量領域		被ふく管最高温度解析結果				
		集合体番号	時期	CCR 状態	集合体出力 MW	被ふく管最高温度 °C
内側炉心	1	5	BOC	NaF	4.68	661
	2	28	BOC	NaF	4.33	658
	3	46	BOC	NaF	4.15	661
	4	71	BOC	CR IN	3.96	660
	5	100	BOC	CR IN	3.73	666
外側炉心	6	136	BOC	NaF	3.94	656
	7	184	BOC	CR IN	3.31	661
	8	182	BOC	CR IN	3.17	672 *2

* 2 : 被ふく管及びラッパ管温度軸方向温度分布を第2.2.4-22~23表に示す。

第2.2.4-21表 燃料温度軸方向温度分布

炉心：12—第2サイクル、集合体番号5

MONJU ZONE-1 ASM-NO.5 FUEL CENTER TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C)				
HIGHT (CM)	NOMINAL	H.S.F	HSF+OPF*	
1 0.0	403	410	411	
2 5.0	407	415	416	
3 10.0	411	420	423	
4 15.0	417	427	431	
5 20.0	425	437	442	
6 25.0	435	450	457	
7 30.0	451	470	480	
8 35.0	1253	1447	1612	
9 38.0	1345	1547	1725	
10 41.0	1430	1633	1822	
11 44.0	1504	1722	1922	
12 47.0	1577	1809	2018	
13 50.0	1646	1892	2109	
14 53.0	1711	1968	2192	
15 56.0	1771	2033	2262	
16 59.0	1824	2091	2325	
17 62.0	1868	2143	2380	
18 65.0	1906	2188	2428	
19 68.0	1939	2226	2469	
20 71.0	1966	2258	2502	
21 74.0	1987	2283	2529	
22 77.0	2003	2301	2548	
23 80.0	2014	2313	2560	
24 83.0	2018	2318	2565	
25 86.0	2017	2316	2563	
26 89.0	2010	2308	2554	
27 92.0	1998	2292	2538	
28 95.0	1980	2271	2514	
29 98.0	1957	2242	2484	
30 101.0	1928	2208	2447	
31 104.0	1894	2166	2402	
32 107.0	1854	2119	2351	
33 110.0	1810	2066	2294	
34 113.0	1756	2008	2231	
35 116.0	1697	1943	2160	
36 119.0	1633	1867	2076	
37 122.0	1568	1788	1990	
38 125.0	1505	1712	1904	
39 128.0	1442	1636	1820	
40 133.0	635	687	729	
41 138.0	616	664	702	
42 143.0	604	650	685	
43 148.0	595	639	673	
44 153.0	587	630	662	
45 158.0	580	621	652	

* : 過出力係数

第2.2.4-22表 冷却材、被ふく管温度軸方向分布

炉心：12—第2サイクル、集合体番号182

MONJU ZONE-8 ASM-NO.162 *** HOT CHANNEL TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) ***									
HEIGHT (CM)	NA TEMP	* * * NOMINAL * * *			*	* * * WITH HOT SPOT FACTOR * * *			
		CLAD OUTER	CLAD CENTER	CLAD INNER		CLAD OUTER	CLAD CENTER	CLAD INNER	
1	0.0	397	397	397	402	402	402	402	
2	5.0	397	397	397	402	402	402	403	
3	10.0	397	397	397	402	402	403	403	
4	15.0	397	397	398	402	403	403	403	
5	20.0	396	398	398	403	403	404	404	
6	25.0	398	398	399	403	404	404	405	
7	30.0	396	399	400	404	405	406	407	
8	35.0	399	403	413	405	418	429	439	
9	38.0	404	408	418	410	424	436	448	
10	41.0	409	413	425	416	432	445	458	
11	44.0	414	419	432	423	440	454	468	
12	47.0	420	426	439	430	448	464	479	
13	50.0	427	433	447	461	438	457	490	
14	53.0	434	440	455	446	467	484	501	
15	56.0	441	447	463	455	476	494	512	
16	59.0	448	455	471	464	486	505	523	
17	62.0	456	463	480	474	497	515	534	
18	65.0	464	472	489	484	507	526	545	
19	68.0	473	480	497	494	517	537	556	
20	71.0	481	489	506	504	528	547	567	
21	74.0	489	497	514	532	538	558	577	
22	77.0	498	506	523	540	548	568	587	
23	80.0	506	514	531	548	559	578	597	
24	83.0	515	522	539	556	568	587	606	
25	86.0	523	531	547	563	578	596	615	
26	89.0	531	539	554	570	587	605	623	
27	92.0	539	546	562	577	596	613	630	
28	95.0	547	554	568	583	605	621	638	
29	98.0	554	561	575	589	613	628	644	
30	101.0	561	568	581	594	620	635	650	
31	104.0	568	574	587	599	627	641	656	
32	107.0	574	580	592	604	634	647	660	
33	110.0	580	586	597	608	640	652	665	
34	113.0	586	591	601	611	646	657	668	
35	116.0	591	595	605	614	650	661	671	
36	119.0	595	600	608	617	655	664	674	
37	122.0	600	603	611	619	659	667	676	
38	125.0	603	607	614	621	662	670	677	
39	128.0	607	610	616	622	665	672	678	
40	133.0	607	607	608	657	657	658	658	
41	138.0	607	607	608	657	657	658	658	
42	143.0	607	607	608	657	657	657	657	
43	148.0	607	607	607	657	657	657	657	
44	153.0	607	607	607	656	656	657	657	
45	158.0	607	607	607	656	656	656	656	
46	169.0	606	606	606	655	655	655	655	
47	181.7	605	605	605	654	654	654	654	
48	193.5	604	604	604	653	653	653	653	
49	205.4	603	603	603	651	651	651	651	
50	217.2	602	602	602	650	650	650	650	
51	229.1	601	601	601	649	649	649	649	
52	240.9	600	600	600	647	647	647	647	
53	252.8	599	599	599	646	646	646	646	
54	264.6	598	598	598	645	645	645	645	
55	276.5	597	597	597	645	645	645	645	

第2.2.4-23表 ラッパ管軸方向温度分布(ノミナル)

炉心：12-第2サイクル、集合体番号182

MONJU ZONE-8 ASM-NO.182 *** WRAPPER TUBE TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) *** (NOMINAL)								
HIGHT (CM)		WALL NO1	WALL NO2	WALL NO3	WALL NO4	WALL NO5	WALL NO6	AVERAGE
1	0.0	397	397	397	397	397	397	397
2	5.0	397	397	397	397	397	397	397
3	10.0	397	397	397	397	397	397	397
4	15.0	397	397	397	397	397	397	397
5	20.0	397	397	397	397	397	397	397
6	25.0	397	397	398	397	397	397	397
7	30.0	398	398	398	398	398	398	398
8	35.0	398	398	398	398	398	398	398
9	38.0	400	400	401	401	400	400	400
10	41.0	402	403	403	403	402	402	403
11	44.0	404	405	406	406	405	404	405
12	47.0	407	408	410	409	408	407	408
13	50.0	410	412	413	413	411	410	411
14	53.0	413	415	417	417	415	413	415
15	56.0	416	419	421	421	418	416	419
16	59.0	420	423	426	425	422	419	423
17	62.0	423	427	431	430	426	423	427
18	65.0	427	432	435	435	431	427	431
19	68.0	431	436	440	440	435	430	436
20	71.0	435	441	446	445	439	434	440
21	74.0	439	446	451	450	444	439	445
22	77.0	444	451	456	455	449	443	450
23	80.0	448	456	462	460	453	447	454
24	83.0	452	461	467	466	458	451	459
25	86.0	456	465	473	471	463	455	464
26	89.0	461	470	478	476	468	459	469
27	92.0	465	475	483	482	472	464	473
28	95.0	469	480	488	487	477	468	478
29	98.0	473	484	494	492	481	472	483
30	101.0	477	489	498	497	486	475	487
31	104.0	481	493	503	501	490	479	491
32	107.0	485	498	508	506	494	483	495
33	110.0	488	502	512	510	498	486	499
34	113.0	491	506	517	514	502	490	503
35	116.0	495	509	521	518	505	493	507
36	119.0	498	513	524	522	509	496	510
37	122.0	501	516	528	525	512	499	513
38	125.0	503	519	531	529	515	501	516
39	128.0	506	522	534	532	517	504	519
40	133.0	508	524	537	534	520	506	521
41	138.0	510	526	539	536	521	507	523
42	143.0	511	528	541	538	523	509	525
43	148.0	513	529	542	540	525	510	526
44	153.0	514	531	544	541	526	512	528
45	158.0	515	525	542	545	527	513	529
46	169.8	518	535	548	545	530	516	532
47	181.7	520	537	551	548	532	518	534
48	193.5	522	539	553	550	534	520	536
49	205.4	523	541	555	551	536	521	538
50	217.2	525	542	556	553	538	523	539
51	229.1	526	544	557	554	539	524	541
52	240.9	527	545	559	555	540	525	542
53	252.8	528	546	560	557	541	526	543
54	264.6	529	547	561	558	542	527	544
55	276.5	530	548	562	558	543	528	545

第2.2.4-24表 ラッパ管軸方向温度分布(ホットスポット)

炉心：12-第2サイクル、集合体番号182

MONJU ZONE-8 ASM-NO.182 *** WRAPPER TUBE TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) *** (WITH E.S.F.)							
HIGHT (CM)	WALL NO1	WALL NO2	WALL NO3	WALL NO4	WALL NO5	WALL NO6	AVERAGE
1 0.0	402	402	402	402	402	402	402
2 5.0	402	402	402	402	402	402	402
3 10.0	402	402	402	402	402	402	402
4 15.0	402	402	402	402	402	402	402
5 20.0	402	402	402	402	402	402	403
6 25.0	402	403	403	403	403	403	403
7 30.0	403	403	403	403	403	403	403
8 35.0	403	403	403	403	403	403	
9 38.0	405	406	406	406	405	406	
10 41.0	408	408	409	409	408	407	408
11 44.0	410	412	413	412	411	410	411
12 47.0	413	415	416	416	414	413	415
13 50.0	416	419	420	420	418	416	418
14 53.0	420	423	425	424	422	420	422
15 56.0	424	427	430	429	426	423	426
16 59.0	428	431	435	434	430	427	431
17 62.0	432	436	440	439	435	431	436
18 65.0	436	441	445	445	440	435	440
19 68.0	440	446	451	450	445	440	445
20 71.0	445	452	457	456	450	444	451
21 74.0	450	457	463	462	455	449	456
22 77.0	455	463	469	468	460	453	461
23 80.0	459	468	475	474	466	458	467
24 83.0	464	474	481	479	471	463	472
25 86.0	469	479	487	485	476	468	477
26 89.0	474	485	493	491	482	472	483
27 92.0	479	490	499	497	487	477	488
28 95.0	483	495	505	503	492	482	493
29 98.0	488	501	511	509	497	486	499
30 101.0	492	506	516	514	502	490	503
31 104.0	497	511	522	520	507	495	508
32 107.0	501	515	527	525	511	499	513
33 110.0	505	520	532	530	516	503	517
34 113.0	509	524	537	534	520	507	522
35 116.0	512	528	541	539	524	510	526
36 119.0	516	532	546	543	528	513	530
37 122.0	519	536	550	547	531	517	533
38 125.0	522	539	553	550	535	520	537
39 128.0	525	543	557	554	538	522	540
40 133.0	527	545	560	556	540	525	542
41 138.0	529	547	562	559	542	527	544
42 143.0	531	549	564	561	544	528	546
43 148.0	532	551	566	563	546	530	548
44 153.0	534	553	568	564	548	531	550
45 158.0	535	554	569	566	549	533	551
46 169.8	538	557	572	569	552	536	554
47 181.7	541	560	575	572	555	538	557
48 193.5	543	562	578	574	557	540	559
49 205.4	544	564	580	576	559	542	561
50 217.2	546	566	581	578	560	544	562
51 229.1	548	567	583	579	562	545	564
52 240.9	549	569	584	581	563	546	565
53 252.8	550	570	585	582	564	548	567
54 264.6	551	571	587	583	566	549	568
55 276.5	552	572	588	584	567	550	569

第2.2.4-25表 ケース17—初装荷の熱特性

炉心：17—初装荷

流量領域		燃料最高温度解析結果				
		集合体番号	時期	CCR 状態	最大線出力 W/cm	燃料最高温度 °C
内側炉心	1	14	BOC	CR IN	358.3	2322 *1
	2	28	BOC	CR IN	346.4	2279
	3	46	BOC	CR IN	350.9	2299
	4	71	BOC	CR IN	337.4	2252
	5	103	BOC	CR IN	292.5	2062
外側炉心	6	138	BOC	CR IN	332.3	2220
	7	184	BOC	CR IN	286.6	2035
	8	182	BOC	CR IN	270.1	1970

* 1 : 軸方向温度分布を第2.2.4-26表に示す。

流量領域		被ふく管最高温度解析結果				
		集合体番号	時期	CCR 状態	集合体出力 MW	被ふく管最高温度 °C
内側炉心	1	14	BOC	NaF	4.67	661
	2	20	BOC	NaF	4.49	668
	3	46	BOC	NaF	4.33	673 *2
	4	71	BOC	CR IN	4.11	670
	5	108	BOC	NaF	3.54	660
外側炉心	6	137	BOC	CR IN	3.94	648
	7	184	BOC	CR IN	3.17	650
	8	182	BOC	CR IN	3.04	661

* 2 : 被ふく管及びラッパ管温度軸方向温度分布を第2.2.4-26~29表に示す。

第2.2.4-26表 燃料温度軸方向温度分布

炉心：17－初装荷、集合体番号14

MONJU ZONE-1 ASM-NO.14 FUEL CENTER TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C)				
HIGHT (CM)	NOMINAL	H.S.F	HSF+OPF*	
1 0.0	404	411	412	
2 5.0	408	416	418	
3 10.0	413	423	425	
4 15.0	420	431	435	
5 20.0	429	442	447	
6 25.0	441	457	465	
7 30.0	460	481	493	
8 35.0	1404	1602	1787	
9 38.0	1482	1696	1893	
10 41.0	1563	1793	2001	
11 44.0	1644	1890	2107	
12 47.0	1721	1980	2205	
13 50.0	1791	2055	2286	
14 53.0	1848	2120	2356	
15 56.0	1896	2177	2417	
16 59.0	1937	2225	2469	
17 62.0	1971	2264	2510	
18 65.0	1996	2294	2541	
19 68.0	2012	2313	2561	
20 71.0	2020	2322	2570	
21 74.0	2020	2322	2570	
22 77.0	2012	2311	2558	
23 80.0	1995	2290	2536	
24 83.0	1970	2260	2504	
25 86.0	1939	2223	2464	
26 89.0	1903	2179	2416	
27 92.0	1862	2130	2364	
28 95.0	1819	2078	2308	
29 98.0	1769	2023	2248	
30 101.0	1716	1966	2185	
31 104.0	1660	1901	2114	
32 107.0	1603	1832	2039	
33 110.0	1545	1761	1961	
34 113.0	1485	1689	1880	
35 116.0	1424	1615	1797	
36 119.0	1349	1540	1712	
37 122.0	1266	1455	1616	
38 125.0	1186	1358	1506	
39 128.0	1108	1264	1398	
40 133.0	601	646	681	
41 138.0	586	628	661	
42 143.0	577	618	648	
43 148.0	571	610	639	
44 153.0	566	604	632	
45 158.0	561	599	626	

* : 過出力係数

第2.2.4-27表 冷却材、被ふく管温度軸方向分布

炉心：17—初装荷、集合体番号46

MONJU ZONE-3 ASM-NO.46								
*** HOT CHANNEL TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) ***								
HEIGHT (CM)	NA TEMP	NOMINAL			WITH HOT SPOT FACTOR			
		CLAD OUTER	CLAD CENTER	CLAD INNER	*	CLAD OUTER	CLAD CENTER	CLAD INNER
1	0.0	397	397	397	402	402	402	402
2	5.0	397	397	397	402	402	403	403
3	10.0	397	397	398	402	403	403	403
4	15.0	397	398	398	403	403	404	404
5	20.0	398	398	399	403	404	404	405
6	25.0	398	398	399	403	404	405	406
7	30.0	399	399	400	404	405	407	408
8	35.0	399	404	415	405	420	433	446
9	38.0	404	408	421	410	426	440	455
10	41.0	408	413	427	415	433	448	464
11	44.0	413	419	433	421	440	457	473
12	47.0	418	425	440	428	448	466	483
13	50.0	424	431	447	435	456	475	494
14	53.0	430	437	455	442	465	484	504
15	56.0	437	444	462	450	474	494	515
16	59.0	443	451	470	458	483	504	526
17	62.0	450	458	478	466	492	514	536
18	65.0	458	466	486	475	502	524	547
19	68.0	465	474	494	484	511	534	557
20	71.0	473	481	502	493	521	544	568
21	74.0	481	489	510	502	531	554	578
22	77.0	488	497	519	502	531	554	578
23	80.0	496	505	527	506	531	554	578
24	83.0	504	514	534	515	531	554	578
25	86.0	512	521	542	517	541	569	592
26	89.0	520	529	550	520	550	578	601
27	92.0	528	537	557	527	559	587	610
28	95.0	536	545	564	536	569	596	618
29	98.0	543	552	571	540	578	604	625
30	101.0	551	559	577	549	586	612	633
31	104.0	558	566	583	561	595	620	639
32	107.0	564	572	589	566	603	627	645
33	110.0	571	578	594	571	611	633	651
34	113.0	577	584	599	577	618	639	656
35	116.0	583	589	603	597	625	645	660
36	119.0	588	594	607	602	631	650	664
37	122.0	593	599	611	607	637	654	667
38	125.0	597	603	614	614	643	658	670
39	126.0	602	607	616	625	648	662	673
40	133.0	602	603	604	605	649	650	651
41	136.0	603	603	604	605	649	650	651
42	143.0	603	603	604	604	649	650	651
43	146.0	603	603	604	604	650	650	651
44	153.0	603	603	604	604	650	650	651
45	156.0	603	603	603	604	650	650	650
46	169.8	603	603	603	603	649	649	649
47	181.7	602	602	602	602	648	648	648
48	193.5	602	602	602	602	648	648	648
49	205.4	601	601	601	601	647	647	647
50	217.2	600	600	600	600	646	646	646
51	229.1	600	600	600	600	645	645	645
52	240.9	599	599	599	599	644	644	644
53	252.8	598	598	598	598	643	643	643
54	264.6	598	598	598	598	643	643	643
55	276.5	597	597	597	597	643	643	643

第2.2.4-28表 ラッパ管軸方向温度分布(ノミナル)

炉心：17-初装荷、集合体番号46

MONJU ZONE-3 ASM-NO.46 *** WRAPPER TUBE TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) *** (NOMINAL)							
HEIGHT (CM)		WALL NO1	WALL NO2	WALL NO3	WALL NO4	WALL NO5	AVERAGE
1	0.0	397	397	397	397	397	397
2	5.0	397	397	397	397	397	397
3	10.0	397	397	397	397	397	397
4	15.0	397	397	397	397	397	397
5	20.0	397	397	397	397	397	397
6	25.0	398	398	398	398	398	398
7	30.0	398	398	398	398	398	398
8	35.0	398	398	398	398	398	398
9	38.0	400	400	401	400	400	400
10	41.0	403	403	403	403	402	403
11	44.0	405	405	406	405	405	405
12	47.0	408	408	409	408	408	408
13	50.0	411	411	412	411	411	411
14	53.0	414	415	415	415	414	414
15	56.0	417	418	419	418	417	418
16	59.0	421	422	423	422	421	422
17	62.0	425	426	427	426	425	426
18	65.0	429	430	431	430	429	430
19	68.0	433	434	436	435	433	434
20	71.0	437	439	440	439	438	438
21	74.0	442	443	445	444	442	443
22	77.0	446	448	450	449	447	448
23	80.0	451	453	455	454	451	452
24	83.0	455	458	460	458	456	457
25	86.0	460	463	465	463	461	462
26	89.0	465	468	470	468	466	467
27	92.0	470	473	475	473	471	472
28	95.0	474	477	480	478	475	477
29	98.0	479	482	485	483	480	481
30	101.0	484	487	490	488	485	486
31	104.0	488	492	495	493	489	491
32	107.0	492	496	500	497	494	495
33	110.0	497	501	504	502	498	496
34	113.0	501	505	509	506	502	504
35	116.0	505	509	513	510	506	508
36	119.0	509	513	517	514	510	512
37	122.0	512	517	521	518	514	515
38	125.0	516	520	525	522	517	519
39	128.0	519	524	528	525	520	522
40	133.0	521	526	531	527	523	525
41	138.0	523	528	533	530	525	527
42	143.0	525	530	535	531	527	529
43	148.0	527	532	536	533	529	530
44	153.0	528	534	538	535	530	532
45	158.0	530	535	540	536	532	533
46	169.8	533	538	543	539	534	536
47	181.7	535	541	545	542	537	539
48	193.5	537	543	547	544	539	541
49	205.4	539	545	549	546	541	543
50	217.2	541	546	551	548	543	545
51	229.1	542	548	552	549	544	546
52	240.9	543	549	554	550	545	547
53	252.6	545	550	555	552	547	548
54	264.6	546	551	556	553	548	544
55	276.5	547	552	557	554	549	551

第2.2.4-29表 ラッパ管軸方向温度分布(ホットスポット)

炉心：17-初装荷、集合体番号46

MONJU ZONE-3 ASM-NO.46 *** WRAPPER TUBE TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) *** (WITH H.S.F.)								
HIGHT (CM)		WALL NO1	WALL NO2	WALL NO3	WALL NO4	WALL NO5	WALL NO6	AVERAGE
1	0.0	402	402	402	402	402	402	402
2	5.0	402	402	402	402	402	402	402
3	10.0	402	402	402	402	402	402	402
4	15.0	402	402	402	402	402	402	402
5	20.0	402	402	402	402	402	402	402
6	25.0	403	403	403	403	403	403	403
7	30.0	403	403	403	403	403	403	403
8	35.0	403	403	403	403	403	403	403
9	38.0	406	406	406	406	406	406	406
10	41.0	408	408	408	408	408	408	408
11	44.0	411	411	412	411	411	411	411
12	47.0	414	414	415	414	414	414	414
13	50.0	417	418	419	418	417	417	418
14	53.0	421	422	422	422	421	421	421
15	56.0	425	426	426	426	425	424	425
16	59.0	429	430	431	430	429	428	429
17	62.0	433	434	435	435	433	433	434
18	65.0	437	439	440	439	438	437	438
19	68.0	442	444	445	444	443	442	443
20	71.0	447	449	450	449	447	446	448
21	74.0	452	454	456	454	452	451	453
22	77.0	457	459	461	460	458	456	458
23	80.0	462	464	467	465	463	461	464
24	83.0	467	470	472	471	468	467	469
25	86.0	472	475	478	476	473	472	475
26	89.0	478	481	484	482	479	477	480
27	92.0	483	486	489	487	484	482	485
28	95.0	488	492	495	493	489	487	491
29	98.0	493	497	501	498	495	493	496
30	101.0	499	503	506	504	500	498	501
31	104.0	504	508	511	509	505	503	507
32	107.0	509	513	517	514	510	507	512
33	110.0	513	518	522	519	515	512	516
34	113.0	518	523	527	524	519	517	521
35	116.0	522	527	532	528	524	521	526
36	119.0	527	532	536	533	528	525	530
37	122.0	531	536	540	537	532	529	534
38	125.0	534	540	544	541	536	533	538
39	128.0	538	543	548	545	540	537	542
40	133.0	541	546	551	548	542	539	545
41	136.0	543	549	554	550	545	541	547
42	143.0	545	551	556	552	547	544	549
43	146.0	547	553	558	554	549	545	551
44	153.0	549	554	559	556	551	547	553
45	156.0	550	556	561	557	552	549	554
46	169.8	554	559	565	561	555	552	558
47	181.7	556	562	567	564	556	555	560
48	193.5	559	565	570	566	561	557	563
49	205.4	561	567	572	568	563	559	565
50	217.2	562	569	574	570	565	561	567
51	229.1	564	570	575	572	566	562	568
52	240.9	565	572	577	573	568	564	570
53	252.8	567	573	578	574	569	565	571
54	264.6	568	574	579	576	570	566	572
55	276.5	569	575	580	577	571	567	573

第2.2.4-30表 ケース17-第2サイクルの熱特性

炉心：17-第2サイクル

流量領域		燃料最高温度解析結果				
		集合体番号	時期	CCR 状態	最大線出力 W/cm	燃料最高温度 °C
内側炉心	1	3	BOC	NaF	354.1	2318 *1
	2	24	BOC	CR IN	329.7	2210
	3	38	BOC	CR IN	334.7	2232
	4	63	BOC	CR IN	324.7	2199
	5	90	BOC	CR IN	311.7	2144
外側炉心	6	136	BOC	NaF	331.5	2219
	7	168	BOC	CR IN	300.0	2093
	8	166	BOC	CR IN	282.5	2025

* 1 : 軸方向温度分布を第2.2.4-31表に示す。

流量領域		被ふく管最高温度解析結果				
		集合体番号	時期	CCR 状態	集合体出力 MW	被ふく管最高温度 °C
内側炉心	1	3	BOC	NaF	4.67	661
	2	24	BOC	NaF	4.30	657
	3	38	BOC	NaF	4.15	661
	4	63	BOC	CR IN	3.96	660
	5	90	BOC	CR IN	3.73	667
外側炉心	6	122	BOC	NaF	3.94	656
	7	168	BOC	CR IN	3.32	661
	8	166	BOC	CR IN	3.18	672 *2

* 2 : 被ふく管及びラッパ管温度軸方向温度分布を第2.2.4-32~34表に示す。

第2.2.4-31表 燃料温度軸方向温度分布

炉心：17-第2サイクル、集合体番号3

MONJU ZONE-1 ASM-NO.3 FUEL CENTER TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C)				
HIGHT (CM)	NOMINAL	H.S.F	HSF+OPF*	
1 0.0	403	410	411	
2 5.0	407	415	416	
3 10.0	411	420	423	
4 15.0	417	427	431	
5 20.0	425	437	442	
6 25.0	435	450	457	
7 30.0	451	470	480	
8 35.0	1253	1447	1612	
9 38.0	1345	1547	1725	
10 41.0	1430	1633	1822	
11 44.0	1504	1722	1922	
12 47.0	1577	1809	2018	
13 50.0	1646	1892	2109	
14 53.0	1711	1968	2192	
15 56.0	1771	2033	2262	
16 59.0	1824	2091	2325	
17 62.0	1868	2143	2380	
18 65.0	1906	2188	2428	
19 68.0	1939	2226	2469	
20 71.0	1966	2258	2502	
21 74.0	1987	2283	2529	
22 77.0	2003	2301	2548	
23 80.0	2013	2313	2560	
24 83.0	2018	2318	2565	
25 86.0	2017	2316	2563	
26 89.0	2010	2307	2554	
27 92.0	1998	2292	2537	
28 95.0	1980	2271	2514	
29 98.0	1957	2242	2484	
30 101.0	1928	2208	2447	
31 104.0	1894	2166	2402	
32 107.0	1854	2119	2351	
33 110.0	1810	2066	2294	
34 113.0	1756	2008	2231	
35 116.0	1697	1943	2160	
36 119.0	1633	1867	2076	
37 122.0	1568	1788	1990	
38 125.0	1505	1712	1904	
39 128.0	1442	1636	1820	
40 133.0	635	687	729	
41 138.0	616	664	702	
42 143.0	604	649	685	
43 148.0	595	639	672	
44 153.0	587	629	661	
45 158.0	580	621	652	

* : 過出力係数

第2.2.4-32表 冷却材、被ふく管温度軸方向分布

炉心：17—第2サイクル、集合体番号166

MONJU ZONE-8 ASM-NO.166 *** HOT CHANNEL TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) ***									
HIGHT (CM)	NA TEMP	* * * NOMINAL * * *			*	* * * WITH HOT SPOT FACTOR * * *			
		CLAD OUTER	CLAD CENTER	CLAD INNER		NA TEMP	CLAD OUTER	CLAD CENTER	CLAD INNER
1 0.0	397	397	397	397	402	402	402	402	402
2 5.0	397	397	397	397	402	402	402	402	403
3 10.0	397	397	397	398	402	402	403	403	403
4 15.0	397	397	398	398	402	403	403	403	403
5 20.0	398	398	398	398	403	403	404	404	404
6 25.0	398	398	399	399	403	404	404	405	405
7 30.0	398	399	400	400	404	405	406	407	407
8 35.0	399	403	413	422	405	418	429	439	439
9 38.0	404	408	419	429	410	425	436	448	
10 41.0	409	413	425	437	416	432	445	458	
11 44.0	414	419	432	444	423	440	454	468	
12 47.0	420	426	439	453	430	448	464	479	
13 50.0	427	433	447	461	438	457	474	490	
14 53.0	434	440	455	470	446	467	484	501	
15 56.0	441	447	463	479	455	476	494	512	
16 59.0	448	455	472	488	464	486	505	523	
17 62.0	456	463	480	497	474	497	515	534	
18 65.0	464	472	489	506	484	507	526	545	
19 68.0	473	480	497	515	494	517	537	556	
20 71.0	481	489	506	523	504	528	547	567	
21 74.0	489	497	515	532	514	538	558	577	
22 77.0	498	506	523	540	524	549	568	587	
23 80.0	506	514	531	548	535	559	578	597	
24 83.0	515	523	539	556	545	569	587	606	
25 86.0	523	531	547	563	555	578	596	615	
26 89.0	531	539	555	570	565	587	605	623	
27 92.0	539	546	562	577	574	596	613	631	
28 95.0	547	554	569	583	584	605	621	638	
29 98.0	554	561	575	589	593	613	629	644	
30 101.0	561	568	581	595	601	621	635	650	
31 104.0	568	574	587	600	609	628	642	656	
32 107.0	574	580	592	604	617	634	647	661	
33 110.0	580	586	597	608	624	640	653	665	
34 113.0	586	591	601	611	631	646	657	669	
35 116.0	591	596	605	614	637	651	661	672	
36 119.0	596	600	608	617	643	655	665	674	
37 122.0	600	604	611	619	648	659	667	676	
38 125.0	604	607	614	621	652	662	670	677	
39 128.0	607	610	616	622	656	665	672	678	
40 133.0	607	608	608	609	657	658	658	659	
41 138.0	607	608	608	608	657	657	658	658	
42 143.0	607	608	608	608	657	657	657	658	
43 148.0	607	607	608	608	657	657	657	657	
44 153.0	607	607	607	607	657	657	657	657	
45 158.0	607	607	607	607	656	656	656	656	
46 169.8	606	606	606	606	655	655	655	655	
47 181.7	605	605	605	605	654	654	654	654	
48 193.5	604	604	604	604	653	653	653	653	
49 205.4	603	603	603	603	652	652	652	652	
50 217.2	602	602	602	602	650	650	650	650	
51 229.1	601	601	601	601	649	649	649	649	
52 240.9	600	600	600	600	648	648	648	648	
53 252.8	599	599	599	599	646	646	646	646	
54 264.6	598	598	598	598	645	645	645	645	
55 276.5	597	597	597	597	645	645	645	645	

第2.2.4-33表 ラッパ管軸方向温度分布(ノミナル)

炉心：17-第2サイクル、集合体番号166

MONJU ZONE-6 ASM-NO.166 *** WRAPPER TUBE TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) *** (NOMINAL)							
HIGHT (CM)	WALL NO1	WALL NO2	WALL NO3	WALL NO4	WALL NO5	WALL NO6	AVERAGE
1 0.0	397	397	397	397	397	397	397
2 5.0	397	397	397	397	397	397	397
3 10.0	397	397	397	397	397	397	397
4 15.0	397	397	397	397	397	397	397
5 20.0	397	397	397	397	397	397	397
6 25.0	398	397	397	397	397	397	397
7 30.0	398	398	398	398	398	398	398
8 35.0	398	398	398	398	398	398	398
9 38.0	401	401	400	400	400	400	400
10 41.0	403	403	402	402	403	403	403
11 44.0	406	406	405	404	405	405	405
12 47.0	410	409	408	407	407	408	408
13 50.0	413	413	411	410	412	411	411
14 53.0	417	417	415	413	415	415	415
15 56.0	422	421	418	416	416	419	419
16 59.0	426	425	422	419	420	423	423
17 62.0	431	430	426	423	423	427	427
18 65.0	436	435	431	427	427	432	431
19 68.0	441	440	435	431	431	436	436
20 71.0	446	445	439	435	435	441	440
21 74.0	451	450	444	439	439	446	445
22 77.0	456	455	449	443	444	451	450
23 80.0	462	461	454	447	448	456	454
24 83.0	467	466	458	451	452	461	459
25 86.0	473	471	463	455	456	465	464
26 89.0	478	477	468	460	461	470	469
27 92.0	483	482	472	464	465	475	474
28 95.0	488	487	477	468	469	480	478
29 98.0	494	492	481	472	473	485	483
30 101.0	499	497	486	476	477	489	487
31 104.0	503	502	490	479	481	493	491
32 107.0	508	506	494	483	485	498	496
33 110.0	512	510	498	487	488	502	500
34 113.0	517	515	502	490	492	506	503
35 116.0	521	519	505	493	495	509	507
36 119.0	525	522	509	496	498	513	510
37 122.0	528	526	512	499	501	516	514
38 125.0	531	529	515	501	503	519	517
39 128.0	534	532	517	504	506	522	519
40 133.0	537	535	520	506	508	524	521
41 138.0	539	537	522	508	510	526	523
42 143.0	541	538	523	509	511	528	525
43 148.0	543	540	525	511	513	529	527
44 153.0	544	542	526	512	514	531	528
45 158.0	545	543	527	513	515	532	529
46 169.8	548	546	530	516	518	535	532
47 181.7	551	548	532	518	520	537	534
48 193.5	553	550	534	520	522	539	536
49 205.4	555	552	536	522	524	541	538
50 217.2	556	554	538	523	525	542	540
51 229.1	558	555	539	524	526	544	541
52 240.9	559	556	540	526	528	545	542
53 252.8	560	557	541	527	529	546	543
54 264.6	561	558	542	528	530	547	544
55 276.5	562	559	543	529	531	548	545

第2.2.4-34表 ラッパ管軸方向温度分布(ホットスポット)

炉心：17-第2サイクル、集合体番号166

MONJU ZONE-8 ASM-NO.166 *** WRAPPER TUBE TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) *** (WITH H.S.F.)							
HIGHT (CM)	WALL NO1	WALL NO2	WALL NO3	WALL NO4	WALL NO5	WALL NO6	AVERAGE
1 0.0	402	402	402	402	402	402	402
2 5.0	402	402	402	402	402	402	402
3 10.0	402	402	402	402	402	402	402
4 15.0	402	402	402	402	402	402	402
5 20.0	402	402	402	402	402	402	402
6 25.0	403	403	402	402	402	403	403
7 30.0	403	403	403	403	403	403	403
8 35.0	403	403	403	403	403	403	403
9 38.0	406	406	406	405	405	406	406
10 41.0	409	409	408	407	408	408	408
11 44.0	413	412	411	410	410	412	411
12 47.0	416	416	414	413	413	415	415
13 50.0	420	420	418	416	416	419	418
14 53.0	425	424	422	420	420	423	422
15 56.0	430	429	426	423	424	427	426
16 59.0	435	434	430	427	428	432	431
17 62.0	440	439	435	431	432	436	436
18 65.0	445	445	440	435	436	441	440
19 68.0	451	450	445	440	441	446	445
20 71.0	457	456	450	444	445	452	451
21 74.0	463	462	455	449	450	457	456
22 77.0	469	468	460	454	455	463	461
23 80.0	475	474	466	458	459	468	467
24 83.0	481	480	471	463	464	474	472
25 86.0	487	486	476	468	469	479	478
26 89.0	493	492	482	472	474	485	483
27 92.0	499	498	487	477	479	490	488
28 95.0	505	503	492	492	483	495	494
29 98.0	511	509	497	486	488	501	499
30 101.0	516	515	502	491	492	506	504
31 104.0	522	520	507	495	497	511	508
32 107.0	527	525	512	499	501	516	513
33 110.0	532	530	516	503	505	520	518
34 113.0	537	535	520	507	509	524	522
35 116.0	542	539	524	510	512	529	526
36 119.0	546	543	528	514	516	533	530
37 122.0	550	547	531	517	519	536	533
38 125.0	554	551	535	520	522	540	537
39 128.0	557	554	538	523	525	543	540
40 133.0	560	557	540	525	527	545	542
41 138.0	562	559	542	527	529	547	545
42 143.0	564	561	544	529	531	549	546
43 148.0	566	563	546	530	533	551	548
44 153.0	568	565	548	532	534	553	550
45 158.0	569	567	549	533	535	554	551
46 169.8	573	570	552	536	538	557	554
47 181.7	575	573	555	538	541	560	557
48 193.5	578	575	557	541	543	562	559
49 205.4	580	577	559	542	545	564	561
50 217.2	581	579	560	544	546	566	563
51 229.1	583	580	562	546	548	567	564
52 240.9	584	581	563	547	549	569	566
53 252.8	586	583	565	548	550	570	567
54 264.6	587	584	566	549	552	571	568
55 276.5	588	585	567	550	553	572	569

第2. 2. 4-35表 ケース24-初装荷の熱特性

炉心 : 24-初装荷

流量領域		燃料最高温度解析結果				
		集合体番号	時期	CCR 状態	最大線出力 W/cm	燃料最高温度 °C
内側炉心	1	14	BOC	CR IN	357.8	2320 *1
	2	28	BOC	CR IN	345.3	2274
	3	46	BOC	CR IN	350.8	2299
	4	71	BOC	CR IN	337.2	2251
	5	100	BOC	CR IN	321.4	2188
外側炉心	6	138	BOC	CR IN	333.1	2222
	7	184	BOC	CR IN	286.6	2035
	8	182	BOC	CR IN	269.7	1968

* 1 : 軸方向温度分布を第2. 2. 4-36表に示す。

流量領域		被ふく管最高温度解析結果				
		集合体番号	時期	CCR 状態	集合体出力 MW	被ふく管最高温度 °C
内側炉心	1	14	BOC	NaF	4.66	660
	2	20	BOC	NaF	4.48	667
	3	46	BOC	NaF	4.33	673
	4	71	BOC	CR IN	4.11	670
	5	100	BOC	CR IN	3.86	676 *2
外側炉心	6	137	BOC	CR IN	3.94	649
	7	184	BOC	CR IN	3.17	650
	8	182	BOC	CR IN	3.04	660

* 2 : 被ふく管及びラッパ管温度軸方向温度分布を第2. 2. 4-37~39表に示す。

第2.2.4-36表 燃料温度軸方向温度分布

炉心：24—初装荷、集合体番号14

MONJU ZONE-1 ASM-NO.14 FUEL CENTER TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C)				
HIGHT (CM)	NOMINAL	H.S.F	HSF+OPF*	
1 0.0	404	411	412	
2 5.0	408	416	418	
3 10.0	413	423	425	
4 15.0	420	431	435	
5 20.0	429	442	447	
6 25.0	441	457	465	
7 30.0	460	481	492	
8 35.0	1403	1600	1786	
9 38.0	1481	1695	1891	
10 41.0	1561	1791	1998	
11 44.0	1642	1888	2105	
12 47.0	1719	1978	2203	
13 50.0	1789	2052	2284	
14 53.0	1846	2117	2354	
15 56.0	1894	2174	2414	
16 59.0	1935	2223	2466	
17 62.0	1969	2262	2507	
18 65.0	1994	2291	2538	
19 68.0	2010	2310	2558	
20 71.0	2018	2320	2568	
21 74.0	2018	2319	2567	
22 77.0	2010	2309	2556	
23 80.0	1993	2288	2534	
24 83.0	1968	2258	2502	
25 86.0	1937	2220	2461	
26 89.0	1901	2177	2414	
27 92.0	1860	2128	2362	
28 95.0	1817	2076	2306	
29 98.0	1767	2021	2246	
30 101.0	1714	1964	2183	
31 104.0	1659	1899	2112	
32 107.0	1602	1830	2037	
33 110.0	1543	1760	1959	
34 113.0	1483	1687	1878	
35 116.0	1422	1613	1795	
36 119.0	1347	1538	1710	
37 122.0	1265	1453	1614	
38 125.0	1185	1357	1504	
39 128.0	1107	1263	1397	
40 133.0	601	646	681	
41 138.0	586	628	660	
42 143.0	577	617	648	
43 148.0	571	610	639	
44 153.0	565	604	632	
45 158.0	561	598	626	

* : 過出力係数

第2.2.4-37表 冷却材、被ふく管温度軸方向分布

炉心：24—初装荷、集合体番号100

MONJU ZONE-5 ASM-NO.100									
*** HOT CHANNEL TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) ***									
HEIGHT (CM)	NA TEMP	* * * NOMINAL * * *			* * * WITH HOT SPOT FACTOR * * *				
		CLAD OUTER	CLAD CENTER	CLAD INNER	*	NA TEMP	CLAD OUTER	CLAD CENTER	CLAD INNER
1	0.0	397	397	397		402	402	402	402
2	5.0	397	397	397		402	402	403	403
3	10.0	397	397	398		402	403	403	403
4	15.0	398	398	398		403	403	404	404
5	20.0	398	398	399		403	404	405	405
6	25.0	398	399	400		404	405	406	407
7	30.0	399	400	401		404	406	408	409
8	35.0	400	405	417		406	422	435	449
9	38.0	405	410	423		412	429	444	459
10	41.0	411	416	430		418	437	453	469
11	44.0	417	423	438		426	446	463	480
12	47.0	423	430	446		434	455	473	492
13	50.0	430	437	454		442	465	484	504
14	53.0	437	445	462		451	475	495	515
15	56.0	445	453	471		460	485	506	527
16	59.0	453	461	480		470	496	517	539
17	62.0	461	469	489		480	507	529	551
18	65.0	470	478	498		490	517	540	563
19	68.0	478	487	507		501	528	551	574
20	71.0	487	496	516		511	539	562	585
21	74.0	496	505	525		522	550	572	595
22	77.0	505	513	533		532	560	583	605
23	80.0	513	522	542		543	571	592	614
24	83.0	522	531	549		553	580	601	623
25	86.0	530	539	557		563	590	610	631
26	89.0	538	546	564		573	598	618	638
27	92.0	546	554	571		583	607	626	644
28	95.0	554	561	577		592	615	633	651
29	98.0	561	568	583		600	622	639	656
30	101.0	567	574	589		609	629	645	662
31	104.0	574	580	594		608	636	651	666
32	107.0	580	586	599		611	642	656	670
33	110.0	585	591	603		615	647	660	673
34	113.0	591	596	607		618	652	664	676
35	116.0	595	600	610		620	643	657	668
36	119.0	600	604	613		622	648	661	670
37	122.0	604	608	616		624	652	664	673
38	125.0	607	611	618		625	657	667	682
39	128.0	610	613	619		626	660	676	693
40	133.0	611	611	612		661	662	663	663
41	138.0	611	611	612		661	662	662	663
42	143.0	611	611	612		661	662	662	662
43	146.0	611	611	611		661	661	662	662
44	153.0	611	611	611		661	661	661	661
45	156.0	610	611	611		661	661	661	661
46	169.8	610	610	610		660	660	660	660
47	161.7	609	609	609		659	659	659	659
48	193.5	608	608	608		658	658	658	658
49	205.4	607	607	607		656	656	656	656
50	217.2	606	606	606		655	655	655	655
51	229.1	605	605	605		654	654	654	654
52	240.9	604	604	604		653	653	653	653
53	252.6	603	603	603		651	651	651	651
54	264.6	602	602	602		650	650	650	650
55	276.5	601	601	601		650	650	650	650

第2.2.4-38表 ラッパ管軸方向温度分布(ノミナル)

炉心：24-初装荷、集合体番号100

MONJU ZONE-5 ASM-NO.100 *** WRAPPER TUBE TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) *** (NOMINAL)								
HIGHT (CM)		WALL NO1	WALL NO2	WALL NO3	WALL NO4	WALL NO5	WALL NO6	AVERAGE
1	0.0	397	397	397	397	397	397	397
2	5.0	397	397	397	397	397	397	397
3	10.0	397	397	397	397	397	397	397
4	15.0	397	397	397	397	397	397	397
5	20.0	397	397	397	397	397	397	397
6	25.0	398	398	398	398	398	398	398
7	30.0	398	398	398	398	398	398	398
8	35.0	399	399	399	399	399	399	399
9	38.0	401	401	401	401	401	401	401
10	41.0	404	404	404	404	404	404	404
11	44.0	406	407	407	407	406	407	407
12	47.0	410	410	411	411	410	410	410
13	50.0	413	414	415	415	414	413	414
14	53.0	417	418	419	419	418	417	418
15	56.0	421	422	423	423	422	421	422
16	59.0	425	427	428	428	426	425	427
17	62.0	430	431	433	433	431	430	431
18	65.0	434	436	438	437	436	434	436
19	68.0	439	441	443	443	441	439	441
20	71.0	444	446	448	448	446	444	446
21	74.0	449	451	454	453	451	449	451
22	77.0	454	456	459	459	456	454	456
23	80.0	459	462	465	464	461	459	462
24	83.0	464	467	470	470	466	464	467
25	86.0	469	472	476	475	472	469	472
26	89.0	474	477	481	480	477	474	477
27	92.0	478	482	486	485	482	478	482
28	95.0	483	487	491	490	486	483	487
29	98.0	488	492	496	495	491	487	492
30	101.0	492	496	501	500	496	492	496
31	104.0	496	501	506	505	500	496	501
32	107.0	500	505	510	509	504	500	505
33	110.0	504	509	514	513	508	504	509
34	113.0	508	513	518	517	512	508	513
35	116.0	511	516	522	521	516	511	516
36	119.0	515	520	526	524	519	514	520
37	122.0	518	523	529	528	522	518	523
38	125.0	520	526	532	531	525	520	526
39	128.0	523	529	535	534	528	523	529
40	133.0	525	531	537	536	530	525	531
41	138.0	527	533	540	538	532	527	533
42	143.0	529	535	541	540	534	529	535
43	148.0	531	537	543	542	536	531	536
44	153.0	532	538	545	543	537	532	538
45	158.0	534	540	546	545	539	533	539
46	169.8	536	542	549	548	542	536	542
47	181.7	539	545	552	550	544	539	545
48	193.5	541	547	554	552	546	541	547
49	205.4	543	549	555	554	548	543	549
50	217.2	544	550	557	556	550	544	550
51	229.1	546	552	559	557	551	546	552
52	240.9	547	553	560	556	552	547	553
53	252.8	548	554	561	560	554	548	554
54	264.6	549	555	562	561	555	549	555
55	276.5	550	556	563	562	556	550	556

第2.2.4-39表 ラッパ管軸方向温度分布(ホットスポット)

炉心：24-初装荷、集合体番号100

MONJU ZONE-5 ASM-NO.100 *** WRAPPER TUBE TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) *** (WITH B.S.F.)								
	HIGHT (CM)	WALL NO1	WALL NO2	WALL NO3	WALL NO4	WALL NO5	WALL NO6	AVERAGE
1	0.0	402	402	402	402	402	402	402
2	5.0	402	402	402	402	402	402	402
3	10.0	402	402	402	402	402	402	402
4	15.0	402	402	402	402	402	402	402
5	20.0	402	403	403	403	403	402	403
6	25.0	403	403	403	403	403	403	403
7	30.0	403	403	403	403	403	403	403
8	35.0	404	404	404	404	404	404	404
9	38.0	406	407	407	407	406	407	407
10	41.0	409	410	410	410	409	410	410
11	44.0	413	413	414	414	413	413	413
12	47.0	416	417	418	418	417	416	417
13	50.0	420	421	422	422	421	420	421
14	53.0	425	426	427	426	425	425	426
15	56.0	429	430	432	431	430	429	430
16	59.0	434	435	437	437	435	434	435
17	62.0	439	441	442	442	440	439	440
18	65.0	444	446	448	448	446	444	446
19	68.0	449	452	454	453	451	449	451
20	71.0	455	457	460	459	457	455	457
21	74.0	460	463	466	465	463	460	463
22	77.0	466	469	472	472	469	466	469
23	80.0	472	475	478	478	474	472	475
24	83.0	477	481	485	484	480	477	481
25	86.0	483	487	491	490	486	483	486
26	89.0	488	492	497	496	492	488	492
27	92.0	494	498	503	502	497	494	498
28	95.0	499	503	508	507	503	499	503
29	98.0	504	509	514	513	508	504	509
30	101.0	509	514	519	518	513	509	514
31	104.0	514	519	525	523	518	514	519
32	107.0	518	524	530	528	523	518	523
33	110.0	523	528	534	533	527	523	528
34	113.0	527	533	539	537	532	527	532
35	116.0	531	537	543	542	536	531	536
36	119.0	535	541	547	546	540	534	540
37	122.0	538	544	551	549	543	538	544
38	125.0	541	546	554	553	547	541	547
39	128.0	544	551	558	556	550	544	550
40	133.0	547	553	560	559	552	547	553
41	136.0	549	556	563	561	555	549	555
42	143.0	551	558	565	563	557	551	557
43	146.0	553	559	567	565	558	553	559
44	153.0	554	561	568	567	560	554	561
45	158.0	556	563	570	568	562	556	562
46	169.8	559	566	573	572	565	559	566
47	181.7	562	569	576	575	566	562	566
48	193.5	564	571	579	577	570	564	571
49	205.4	566	573	581	579	572	566	573
50	217.2	568	575	582	581	574	568	575
51	229.1	570	577	584	582	576	569	576
52	240.9	571	578	585	584	577	571	578
53	252.8	572	579	587	585	578	572	579
54	264.6	574	581	586	586	580	573	580
55	276.5	575	582	589	588	581	574	581

第2. 2. 4-40表 ケース24-第2サイクルの熱特性

炉心：24-第2サイクル

流量領域		燃料最高温度解析結果				
		集合体番号	時期	CCR 状態	最大線出力 W/cm	燃料最高温度 °C
内側炉心	1	3	BOC	NaF	354.2	2318 *1
	2	24	BOC	CR IN	329.9	2211
	3	38	BOC	CR IN	334.8	2232
	4	63	BOC	CR IN	324.9	2200
	5	90	BOC	CR IN	312.0	2145
外側炉心	6	136	BOC	NaF	331.5	2218
	7	168	BOC	CR IN	300.4	2094
	8	166	BOC	CR IN	282.7	2026

* 1 : 燃料温度軸方向温度分布を第2. 2. 4-41表に示す。

流量領域		被ふく管最高温度解析結果				
		集合体番号	時期	CCR 状態	集合体出力 MW	被ふく管最高温度 °C
内側炉心	1	3	BOC	NaF	4.68	661
	2	24	BOC	NaF	4.30	657
	3	38	BOC	NaF	4.15	661
	4	63	BOC	CR IN	3.97	660
	5	90	BOC	CR IN	3.37	667
外側炉心	6	122	BOC	NaF	3.95	656
	7	168	BOC	CR IN	3.32	662
	8	166	BOC	CR IN	3.18	672 *2

* 2 : 被ふく管及びラッパ管温度軸方向温度分布を第2. 2. 4-42~44表に示す。

第2.2.4-41表 燃料温度軸方向温度分布

炉心：24—第2サイクル、集合体番号3

MONJU ZONE-1 ASM-NO.3 FUEL CENTER TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C)				
HIGHT (CM)	NOMINAL	H.S.F	HSF+OPF*	
1 0.0	403	410	411	
2 5.0	407	415	416	
3 10.0	411	420	423	
4 15.0	417	427	431	
5 20.0	425	437	442	
6 25.0	435	450	457	
7 30.0	451	470	480	
8 35.0	1253	1448	1613	
9 38.0	1345	1547	1725	
10 41.0	1430	1633	1822	
11 44.0	1505	1723	1922	
12 47.0	1577	1810	2019	
13 50.0	1647	1892	2110	
14 53.0	1711	1969	2193	
15 56.0	1771	2033	2263	
16 59.0	1824	2091	2325	
17 62.0	1868	2143	2381	
18 65.0	1907	2188	2429	
19 68.0	1939	2226	2469	
20 71.0	1966	2258	2503	
21 74.0	1988	2283	2529	
22 77.0	2004	2302	2549	
23 80.0	2014	2313	2561	
24 83.0	2018	2318	2566	
25 86.0	2017	2316	2564	
26 89.0	2011	2308	2554	
27 92.0	1998	2293	2538	
28 95.0	1981	2271	2515	
29 98.0	1957	2243	2484	
30 101.0	1928	2208	2447	
31 104.0	1894	2167	2403	
32 107.0	1855	2119	2352	
33 110.0	1810	2066	2294	
34 113.0	1756	2008	2231	
35 116.0	1697	1943	2160	
36 119.0	1634	1867	2077	
37 122.0	1569	1789	1990	
38 125.0	1505	1712	1905	
39 128.0	1443	1637	1820	
40 133.0	635	687	729	
41 138.0	616	664	702	
42 143.0	604	649	685	
43 148.0	595	639	672	
44 153.0	587	629	662	
45 158.0	580	621	652	

* : 過出力係数

第2.2.4-42表 冷却材、被ふく管温度軸方向分布

炉心：24—第2サイクル、集合体番号166

MONJU ZONE-8 ASM-NO.166 *** HOT CHANNEL TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) ***									
HEIGHT (CM)	NA TEMP	* * * NOMINAL * * *			*	* * * WITH HOT SPOT FACTOR * * *			
		CLAD OUTER	CLAD CENTER	CLAD INNER		CLAD OUTER	CLAD CENTER	CLAD INNER	
1 0.0	397	397	397	397	402	402	402	402	
2 5.0	397	397	397	397	402	402	402	403	
3 10.0	397	397	397	398	402	402	403	403	
4 15.0	397	397	398	398	402	403	403	403	
5 20.0	398	398	398	398	403	403	404	404	
6 25.0	398	398	399	399	403	404	404	405	
7 30.0	398	399	400	400	404	405	406	407	
8 35.0	399	403	413	422	405	416	429	440	
9 38.0	404	408	419	429	410	425	436	448	
10 41.0	409	413	425	437	416	432	445	458	
11 44.0	414	419	432	445	423	440	454	468	
12 47.0	420	426	439	453	430	448	464	479	
13 50.0	427	433	447	461	438	457	474	490	
14 53.0	434	440	455	470	447	467	484	501	
15 56.0	441	447	463	479	455	477	494	512	
16 59.0	449	455	472	488	464	487	505	523	
17 62.0	456	463	480	497	474	497	516	534	
18 65.0	464	472	489	506	484	507	526	546	
19 68.0	473	480	497	515	494	518	537	556	
20 71.0	481	489	506	523	504	528	547	567	
21 74.0	490	497	515	532	514	538	558	577	
22 77.0	498	506	523	540	525	549	568	587	
23 80.0	507	514	531	548	535	559	578	597	
24 83.0	515	523	539	556	545	569	587	606	
25 86.0	523	531	547	564	555	578	597	615	
26 89.0	531	539	555	571	565	588	605	623	
27 92.0	539	547	562	577	575	597	614	631	
28 95.0	547	554	569	584	584	605	622	638	
29 98.0	554	561	575	589	593	613	629	645	
30 101.0	561	568	581	595	601	621	636	651	
31 104.0	568	574	587	600	609	628	642	656	
32 107.0	574	580	592	604	617	634	648	661	
33 110.0	580	586	597	608	624	641	653	665	
34 113.0	586	591	601	612	631	646	657	669	
35 116.0	591	596	605	615	637	651	661	672	
36 119.0	596	600	609	617	643	655	665	674	
37 122.0	600	604	612	619	648	659	668	676	
38 125.0	604	607	614	621	653	663	670	678	
39 128.0	607	610	616	622	657	665	672	679	
40 133.0	607	608	608	609	657	658	658	659	
41 138.0	608	608	608	608	657	658	658	658	
42 143.0	608	608	608	608	657	658	658	658	
43 148.0	608	608	608	608	657	657	657	658	
44 153.0	607	607	607	608	657	657	657	657	
45 158.0	607	607	607	607	657	657	657	657	
46 169.8	606	606	606	606	656	656	656	656	
47 181.7	605	605	605	605	654	654	654	654	
48 193.5	604	604	604	604	653	653	653	653	
49 205.4	603	603	603	603	652	652	652	652	
50 217.2	602	602	602	602	651	651	651	651	
51 229.1	601	601	601	601	649	649	649	649	
52 240.9	600	600	600	600	648	648	648	648	
53 252.8	599	599	599	599	647	647	647	647	
54 264.6	598	598	598	598	645	645	645	645	
55 276.5	597	597	597	597	645	645	645	645	

第2.2.4-43表 ラッパ管軸方向温度分布(ノミナル)

炉心：24-第2サイクル、集合体番号166

MONJU ZONE-8 ASM-NO.166 *** WRAPPER TUBE TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) *** (NOMINAL)							
HIGHT (CM)		WALL NO1	WALL NO2	WALL NO3	WALL NO4	WALL NO5	AVERAGE
1	0.0	397	397	397	397	397	397
2	5.0	397	397	397	397	397	397
3	10.0	397	397	397	397	397	397
4	15.0	397	397	397	397	397	397
5	20.0	397	397	397	397	397	397
6	25.0	398	397	397	397	398	398
7	30.0	398	398	398	398	398	398
8	35.0	398	398	398	398	398	398
9	38.0	401	401	400	400	400	400
10	41.0	403	403	402	402	403	403
11	44.0	406	406	405	404	405	405
12	47.0	410	409	408	407	409	408
13	50.0	413	413	411	410	412	411
14	53.0	417	417	415	413	415	415
15	56.0	422	421	418	416	419	419
16	59.0	426	425	422	419	420	423
17	62.0	431	430	426	423	427	427
18	65.0	436	435	431	427	432	431
19	68.0	441	440	435	431	436	436
20	71.0	446	445	440	435	441	440
21	74.0	451	450	444	439	446	445
22	77.0	456	455	449	443	451	450
23	80.0	462	461	454	447	448	456
24	83.0	467	466	458	451	452	461
25	86.0	473	471	463	455	457	466
26	89.0	478	477	468	460	461	469
27	92.0	483	482	472	464	465	474
28	95.0	489	487	477	468	469	480
29	98.0	494	492	482	472	473	483
30	101.0	499	497	486	476	477	487
31	104.0	503	502	490	479	481	492
32	107.0	508	506	494	483	485	496
33	110.0	513	511	498	487	488	502
34	113.0	517	515	502	490	492	506
35	116.0	521	519	505	493	495	509
36	119.0	525	522	509	496	498	513
37	122.0	528	526	512	499	501	516
38	125.0	532	529	515	502	504	519
39	128.0	535	532	518	504	506	522
40	133.0	537	535	520	506	508	524
41	138.0	539	537	522	508	510	526
42	143.0	541	539	523	509	511	528
43	148.0	543	540	525	511	513	527
44	153.0	544	542	526	512	514	531
45	158.0	546	543	528	513	515	532
46	169.8	549	546	530	516	518	535
47	181.7	551	548	533	518	520	537
48	193.5	553	551	535	520	522	539
49	205.4	555	552	536	522	524	541
50	217.2	556	554	538	523	525	543
51	229.1	558	555	539	524	527	544
52	240.9	559	556	540	526	528	545
53	252.8	560	558	541	527	529	546
54	264.6	561	559	542	528	530	547
55	276.5	562	559	543	529	531	548

第2.2.4-44表 ラッパ管軸方向温度分布(ホットスポット)

炉心：24-第2サイクル、集合体番号166

MONJU ZONE-8 ASM-NO.166 *** WRAPPER TUBE TEMPERATURE DISTRIBUTION (DEG-C) *** (WITH H.S.F.)							
HIGHT (CM)	WALL NO1	WALL NO2	WALL NO3	WALL NO4	WALL NO5	WALL NO6	AVERAGE
1 0.0	402	402	402	402	402	402	402
2 5.0	402	402	402	402	402	402	402
3 10.0	402	402	402	402	402	402	402
4 15.0	402	402	402	402	402	402	402
5 20.0	402	402	402	402	402	402	402
6 25.0	403	403	402	402	402	403	403
7 30.0	403	403	403	403	403	403	403
8 35.0	403	403	403	403	403	403	403
9 38.0	406	406	406	405	405	406	406
10 41.0	409	409	408	407	408	408	408
11 44.0	413	412	411	410	410	412	411
12 47.0	416	416	414	413	413	415	415
13 50.0	420	420	418	416	416	419	418
14 53.0	425	424	422	420	420	423	422
15 56.0	430	429	426	423	424	427	426
16 59.0	435	434	430	427	428	432	431
17 62.0	440	439	435	431	432	436	436
18 65.0	445	445	440	435	436	441	440
19 68.0	451	450	445	440	441	446	446
20 71.0	457	456	450	444	445	452	451
21 74.0	463	462	455	449	450	457	456
22 77.0	469	468	460	454	455	463	461
23 80.0	475	474	466	458	459	468	467
24 83.0	481	480	471	463	464	474	472
25 86.0	487	486	476	468	469	479	478
26 89.0	493	492	482	473	474	485	483
27 92.0	499	498	487	477	479	490	488
28 95.0	505	503	492	482	483	496	494
29 98.0	511	509	497	486	488	501	499
30 101.0	517	515	502	491	492	506	504
31 104.0	522	520	507	495	497	511	509
32 107.0	527	525	512	499	501	516	513
33 110.0	532	530	516	503	505	520	518
34 113.0	537	535	520	507	509	525	522
35 116.0	542	539	524	510	512	529	526
36 119.0	546	543	528	514	516	533	530
37 122.0	550	547	532	517	519	536	534
38 125.0	554	551	535	520	522	540	537
39 128.0	557	554	538	523	525	543	540
40 133.0	560	557	540	525	527	545	543
41 138.0	562	560	543	527	529	548	545
42 143.0	564	562	545	529	531	550	547
43 148.0	566	563	546	530	533	551	548
44 153.0	568	565	548	532	534	553	550
45 158.0	570	567	549	533	536	554	551
46 169.8	573	570	552	536	539	558	555
47 181.7	576	573	555	539	541	560	557
48 193.5	578	575	557	541	543	562	559
49 205.4	580	577	559	543	545	564	561
50 217.2	582	579	561	544	547	566	563
51 229.1	583	580	562	546	548	568	564
52 240.9	585	582	563	547	549	569	566
53 252.8	586	583	565	548	551	570	567
54 264.6	587	584	566	549	552	571	568
55 276.5	588	585	567	550	553	572	569

3. 燃料製造実績に起因した熱的影響評価

従来設計（初装荷設工認時）後の設計進捗、及び製造実績に関連に起因した燃料集合体に對し熱的に影響のある項目を整理した。

また、ペレット欠け、Puスポットについては昨年度に引き続きより詳細なモデルによって温度低減の可能性を検討した。

3. 1 工学的安全係数の見直しについて

(1) 工安係数の丸めの見直し

現在設定されている各種の工学的安全係数は、概ね小数点第3位を丸めて設定されているが、新たに第3位までの工安係数を設定することによって若干の温度低減が期待できる。

また、流路変形効果については余裕が含まれているため、余裕削減による低減が期待できる。

以上より、工安係数見直しの候補としては、出力分布誤差、熱出力誤差及び流路変形効果が挙げられる。

①出力分布誤差

添付-1に示す通り、現状の出力分布誤差1.05の丸め前の値は1.0472であり、また、設計体系自体の不確かさのうち、装荷燃料組成の不確かさには臨界時期の遅れの吸収しろとして0.3%が見込まれている。この0.3%を削除して出力分布誤差を算出すると、1.0467となる。

従って、出力分布誤差を現状の1.05より1.047とする。

②熱出力誤差

参考資料(1)に示す通り、現状の熱出力誤差1.02のうち、定格出力での丸め前の値は1.0139であるため、熱出力誤差を現状の1.02より1.014とする。

③流路変形効果

炉心燃料の流路変形効果による工安係数は余裕を含めて1.03と設定されているが、燃料要素束照射変形解析⁽²⁾によると、寿命初期の工安係数は1.02と設定されている。従つて、流路変形効果を現状の1.03より1.02とする。

なお、炉心燃料の流路変形効果による温度上昇が支配的になるのは燃焼初期であるため、スエリング、クリープ式の見直しが生じたとしても本工安係数に与える影響は少ない。

④Pu富化度の製造実績の反映

従来設計においては製造時のPu富化度の不確かさは、Pu富化度=19%を基準に算定されていたが、初装荷燃料の製造実績を反映した場合、Pu富化度の下限値を21%とすることが可能である。下限値を上げることによりPu富化度に対する製造時のばらつきの割合を少なくすることが可能であるため、製造公差にかかわる工学的安全係数を低減させることが期待出来る。

(2) ペレットの分布形の見直しについて

従来設計においては、ペレット密度公差を2.0% = 3σと想定し、ペレット製作公差に係わる工安係数を算出していたが、初装荷製造実績での密度分布を考慮した場合、当面は公差内での密度分布を正規分布からある程度のばらつきを反映させる必要ある。このばらつきは公差内一様分布を想定することとし、従つて、工安係数算出にあたっては公差2.0%に√3を乗じた値を基準に算出するものとする。

Pu富化度についても同様に、従来の正規分布と一様分布の場合の工学的安全係数を比較し、温度変化を検討する。

(3) 工学的安全係数の算出

前項(1)、(2)の各項目を考慮し、工学的安全係数を再算出するとともに、燃料及び被ふく管の温度変化を算出した。

各項目の組み合わせケース及び各ケースでの燃料及び被ふく管温度の従来設計に対する温度の影響を第3.1.1-1表及び第3.1.1-2表に示す。なお、算出にあたっては、各工学的安全係数を以下の通り設定した。

出力分布誤差 : 1.05 → 1.047

流路変形効果 : 1.03 → 1.02 (但し、ケース8では1.025)

熱出力誤差 : 1.02 → 1.014

Pu富化度 = 21%

第3.1.1-1表 「もんじゅ」被ふく管、燃料温度増減検討ケース

検討ケース		工安係数低減 ^{*1}			ペレット密度公差				Pu富化度 ^{*2}			
		出力分布誤差	流路変形効果	熱出力誤差	正規分布		一様分布		19%		21%	
					±2.0	±2.5	±2.0	±2.5	正規	一様	正規	一様
従来設計					○				○			
温度低減ケース	ケース1	○	○		○						○	
	ケース2	○	○	○	○						○	
	ケース8	○	○		○						○	
分布形変更ケース	ケース3	○	○				○				○	
	ケース4	○	○				○				○	
	ケース5	○	○					○			○	
	ケース6	○	○					○			○	
	ケース7	○	○	○			○				○	

*1 ; 出力分布誤差 : 1.05 → 1.047

流路変形効果 : 1.03 → 1.02 (但し、ケース8では1.025)

熱出力誤差 : 1.02 → 1.014

*2 ; 従来設計においては製造時のPu富化度の不確かさは、Pu富化度=19%を基準に算定されていたが、初装荷燃料の製造実績を反映した場合、Pu富化度の下限値を21%とすることが可能である。

第3.1.1-2表 被ふく管、燃料温度増減検討結果

検討ケース		温度評価結果 °C		従来設計に対する増減 °C	
		被ふく管	燃 料	被ふく管	燃 料
従来設計		674	2352	—	—
温度低減ケース	ケース1	671	2346	-3	-6
	ケース2	671	2338	-3	-14
	ケース8	672	2347	-2	-5
分布形変更ケース	ケース3	671	2352	-3	0
	ケース4	675	2361	+1	+9
	ケース5	671	2357	-3	+5
	ケース6	675	2366	+1	+14
	ケース7	675	2353	+1	+1

3. 2 ペレット欠けの影響

燃料ペレットが欠けを伴う場合の燃料最高温度を評価する。

3.2.1 評価方法

有限要素法による3次元熱弾性解析を実施し、燃料最高温度を定量評価する。

評価は、欠けペレット同士が軸方向に向かい合い欠損部が鏡面対称状態に存在する場合と、欠けペレットが1個だけ存在する場合の2種を対象として行う。

(1) 解析モデル

図3.2.1-1、及び図3.2.1-2に解析モデルを示す。図3.2.1-1のモデルは欠けペレットが1個だけ存在する場合で、解析対象領域はペレット2個相当分の高さである。

図3.2.1-2は欠けペレット同士が軸方向に向かい合う場合の解析モデルで、欠損部を持つペレットの上端面（ペレット-ペレット・インターフェイス面）を鏡面対称面とし評価する。

温度境界は被覆管外表面温度とし、また解析モデル上下端面は断熱境界とする。

燃料ペレット、及び被覆管は3次元ソリッド要素で模擬し、燃料ペレットと被覆管間の間隙にはギャップ要素を配する。ギャップ要素は半径方向1次元の熱伝達を記述し、ギャップ寸法に応じた熱伝達率の差異を考慮する。

尚、図3.2.1-1のモデルに於て欠けペレットとその上部ペレットとの軸方向境界面での接触熱抵抗は無視する。

欠損部の形状は、端面部欠損率^[注1]10%、円筒部欠損率^[注2]5%を想定する。

評価対象とする燃料の仕様を表3.2.1に示す。

表3.2.1 燃料仕様

被覆管外直径	6.5 mm
内直径	5.56 mm
材料	SUS316 20%CW
燃料ペレット直径	5.4 mm
高さ	8.0 mm
理論密度比	85 %T.D
O/M	1.97
Pu富化度	20.2 wt%
材料	MOX

$$\text{注1： 端面部欠損率} = \frac{\text{(端面部欠け面積)}}{\text{(ペレット横断面積)}}$$

$$\text{注2： 円筒部欠損率} = \frac{\text{(円筒部欠け面積)}}{\text{(ペレット縦断面積)}}$$

(2) 解析条件

燃料ペレットの線出力、及び被覆管の外表面温度は以下の通りである。

線出力 : 360 W/cm
被覆管外表面温度 : 508 °C

(3) 物性値

被覆管、及び燃料ペレットの物性値は「原型炉炉心構成要素設計物性値集」の物性モデルを適用する。物性値の温度依存性は考慮する。

ギャップ熱伝達率 h_{gap} は下記の式で計算する。

$$h_{gap} = K_{He} / \delta_{gap} + h_{rad.}$$

K_{He} : Heガス熱伝導率
 δ_{gap} : 半径ギャップ寸法
 $h_{rad.}$: 輻射による熱伝達

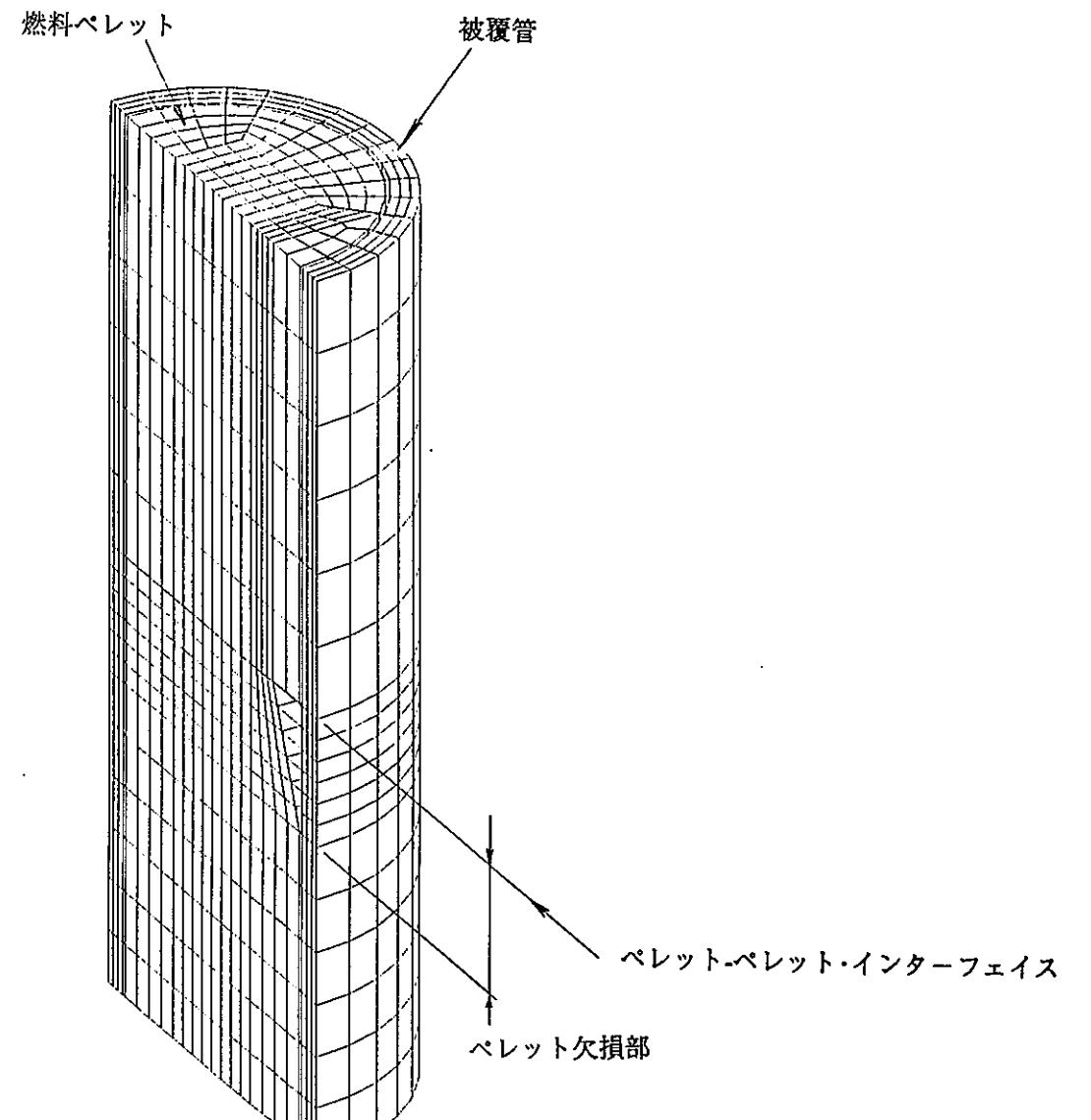


図3.2.1-1 解析モデル

Z
Y
X

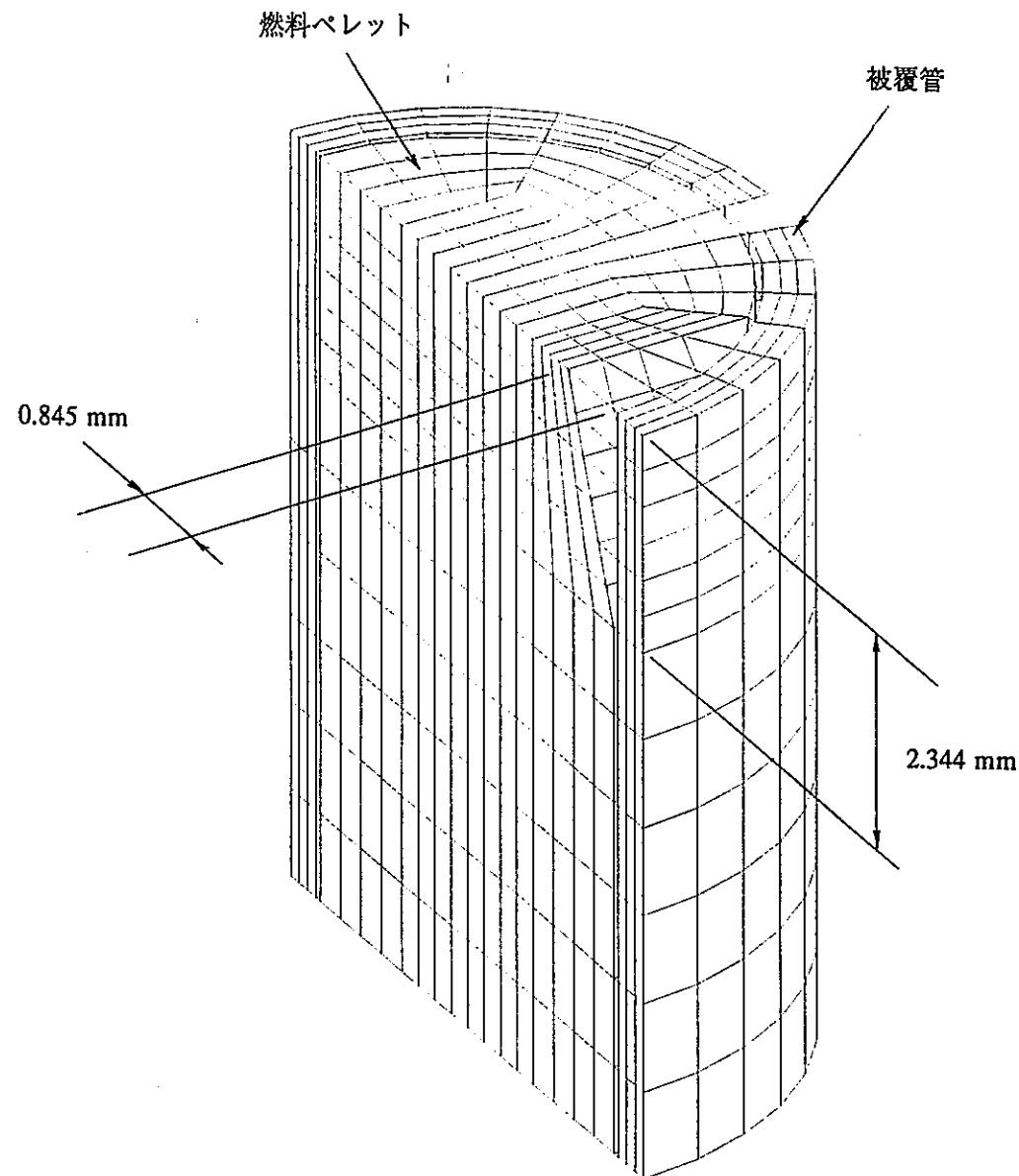


図3.2.1-2 解析モデル

X Y Z
RX= -60
RY= 0
RZ= -60

3.2.2 解析結果

(1) 热伝導解析結果

初期ギャップ寸法で定まるギャップ热伝達率を適用し、燃料の温度解析を実施した結果を以下に示す。

図3.2.2-1、及び図3.2.2-2に燃料の温度分布状態を示す。図3.2.2-1は欠けペレットの上部に健全ペレットが存在する場合の結果を示している。又、図3.2.2-2はモデル上端面を対称面に欠けペレットが上部にも存在するとした解析結果である。

何れのモデルも欠け部ではギャップ热伝達率が小さいため燃料ペレットの高温領域が欠け側に偏る傾向を示している。

図3.2.2-3、図3.2.2-4に各モデルの欠け部近傍の等温度線図を示す。欠けペレットの上部に健全ペレットが存在する場合、軸方向への熱流が存在し欠け部表層での等温度線の法線方向が軸方向に上向き傾向を示している様子が判る（図3.2.2-3）。

図3.2.2-5にペレット欠損部に対向する被覆管内面の温度分布状態を示す。ペレット欠損部では熱流束が低下する為、被覆管内面温度が欠損部がない領域に比べ低くなる。

図3.2.2-6にペレット欠損部での燃料温度プロファイルを示す。

各モデルでの燃料最高温度を以下に示す。尚、「欠損部なし」は欠損部遠方のモデル軸方向境界面での値である。

欠損部なし	2275.7 °C
欠損部2個	2319.4 °C
欠損部1個	2295.7 °C

(2) 热弹性解析結果

図3.2.2-7に热弹性解析により热膨胀を考慮した場合のペレット欠損部での燃料温度プロファイルを示す。

热膨胀によるギャップ閉塞に起因してギャップ热伝達率が向上するため燃料最高温度は約150°C程度低下する。各モデルでの燃料最高温度を以下に示す。

欠損部なし	2128.4 °C
欠損部2個	2162.7 °C
欠損部1個	2146.9 °C

3.2.3 まとめ

燃料ペレットが欠けを伴う場合の燃料最高温度を下記要領で解析評価した。

ペレット欠損部の形状は、端面部欠損率10%で円筒部欠損率5%の欠けに着目し、この欠けがスタッツ軸方向に観て対向する場合（欠損部2個）と、1個存在する場合（欠損部1個）の2種に就いて、欠けの無い場合との相対比較を行った。

又、热膨胀に起因するギャップ热伝達率の変化を勘案した場合の現実的な解析も実施した。以下に解析結果をまとめる。

初期ギャップ寸法で定まるギャップ热伝達率による解析（热伝導解析）：

	最高温度	温度差（欠け無しを基準）
欠損部なし	2275.7 °C	
欠損部2個	2319.4 °C	+43.7°C
欠損部1個	2295.7 °C	+20.0°C

热膨胀を勘案したギャップ热伝達率による解析（热弹性解析）：

	最高温度	温度差（欠け無しを基準）
欠損部なし	2128.4 °C	
欠損部2個	2162.7 °C	+34.3°C
欠損部1個	2146.9 °C	+18.5°C

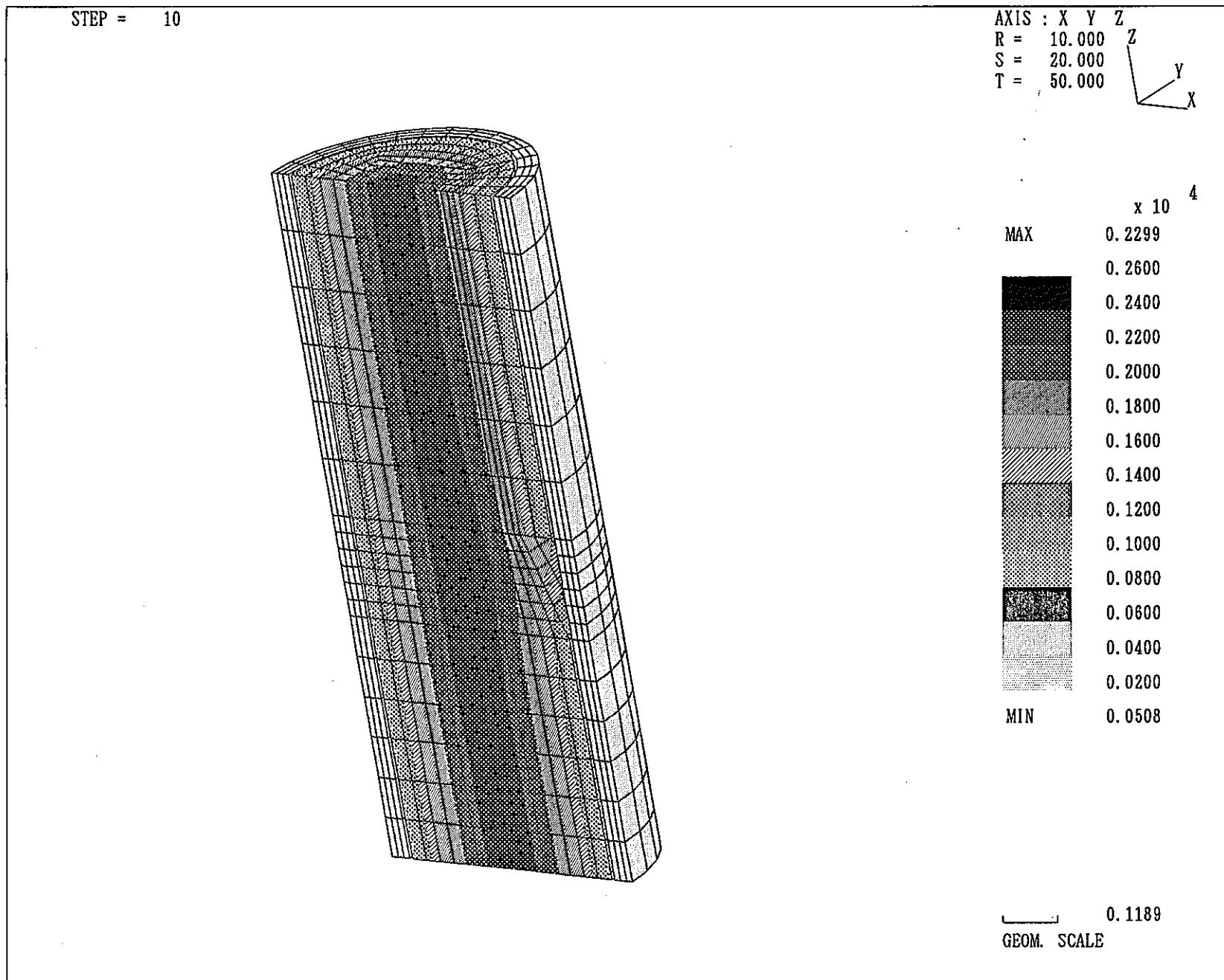


図3.2.2-1 燃料温度分布（ペレット欠損部1個）

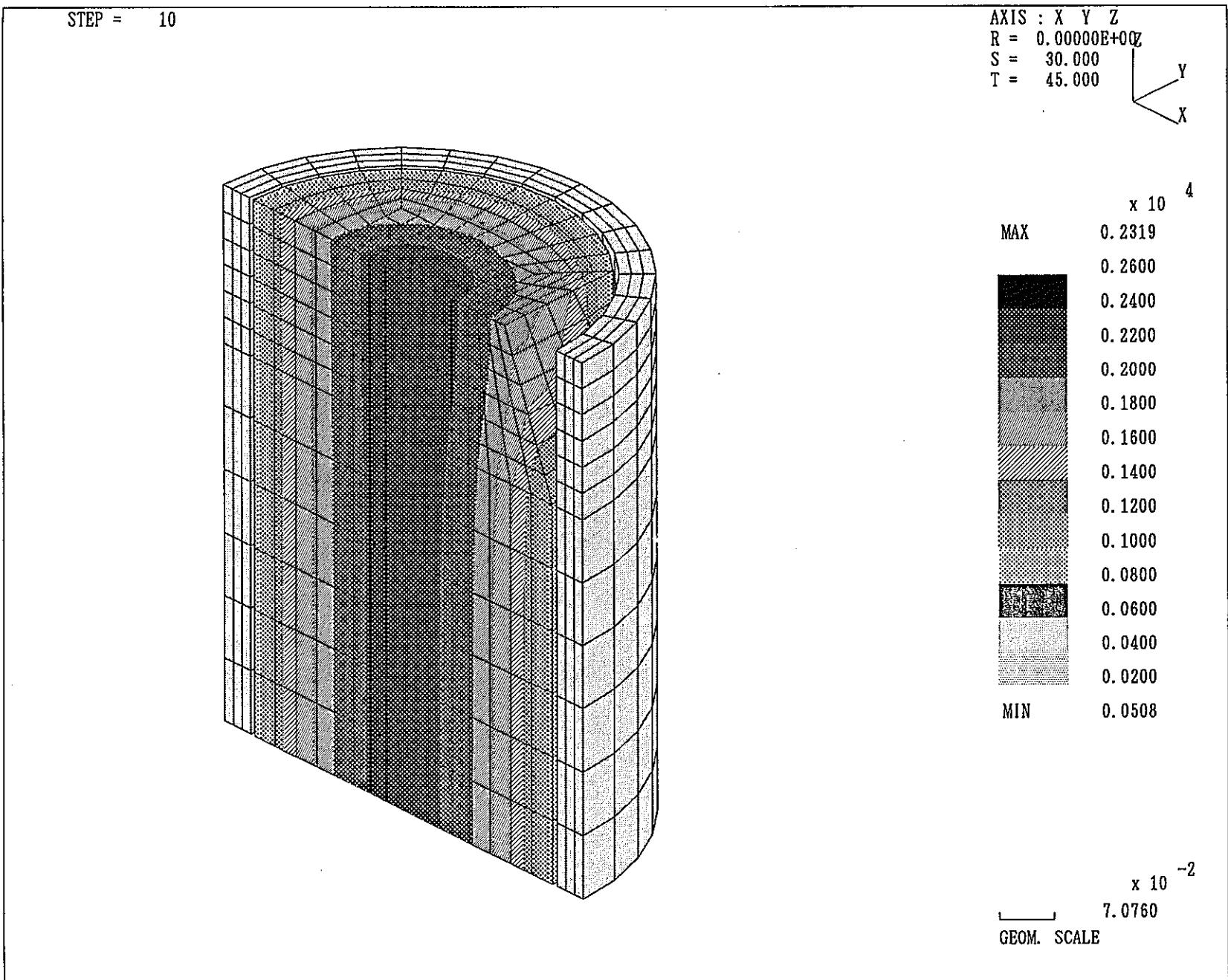


図3.2.2-2 燃料温度分布（ペレット欠損部2個：欠損部対向）

3-2-9

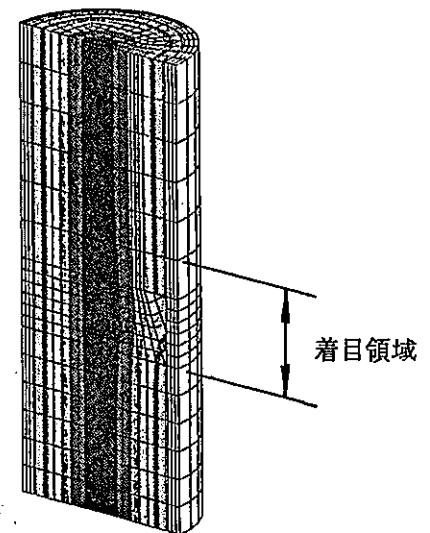
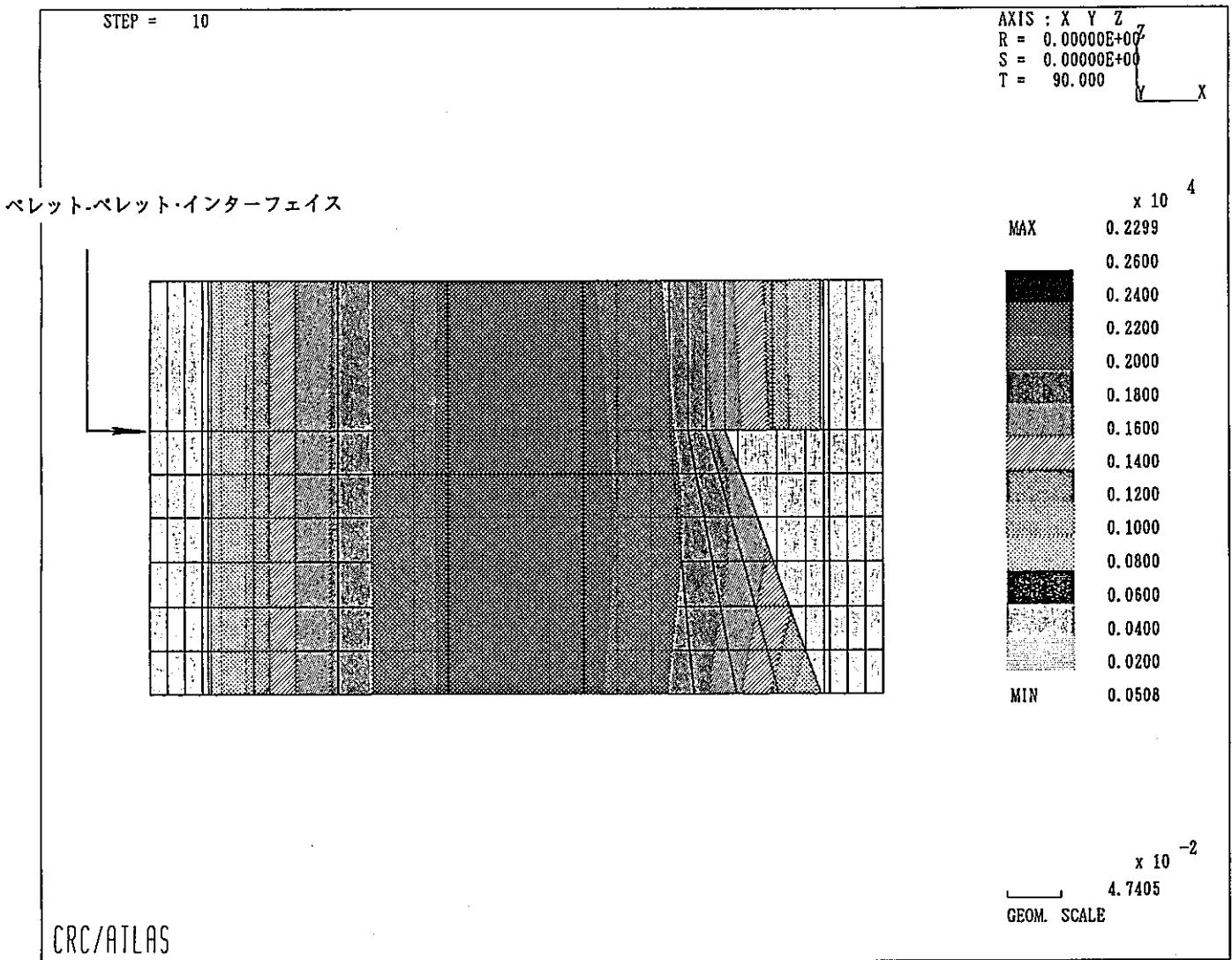


図3.2.2-3 欠け部近傍の温度分布（ペレット欠損部1個）

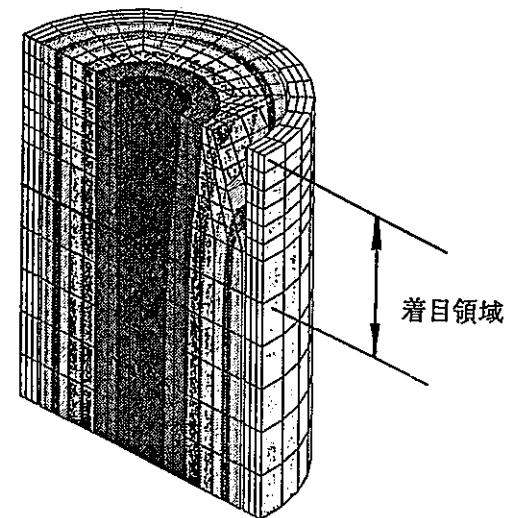
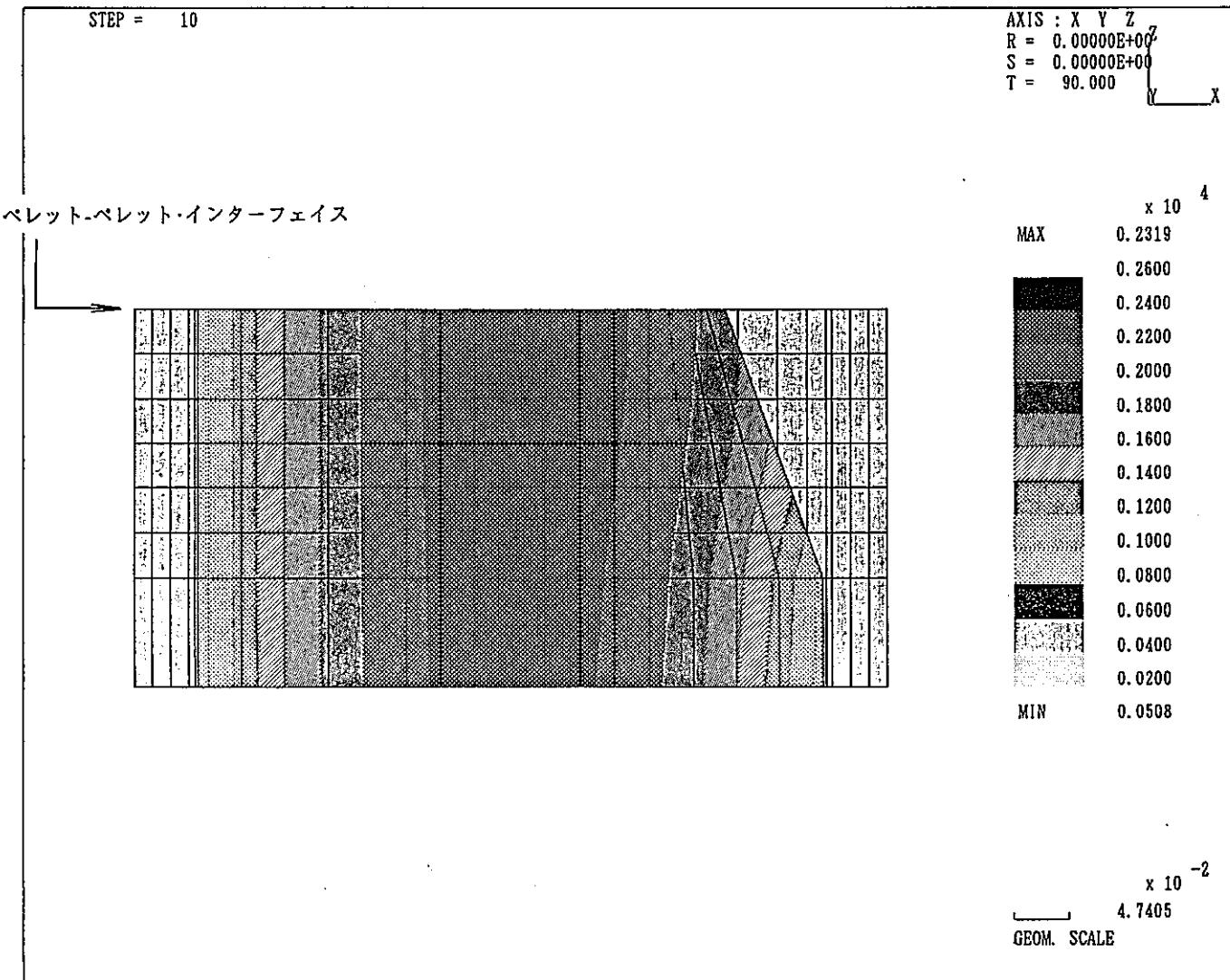


図3.2.2-4 欠け部近傍の温度分布（ペレット欠損部2個：欠損部対向）

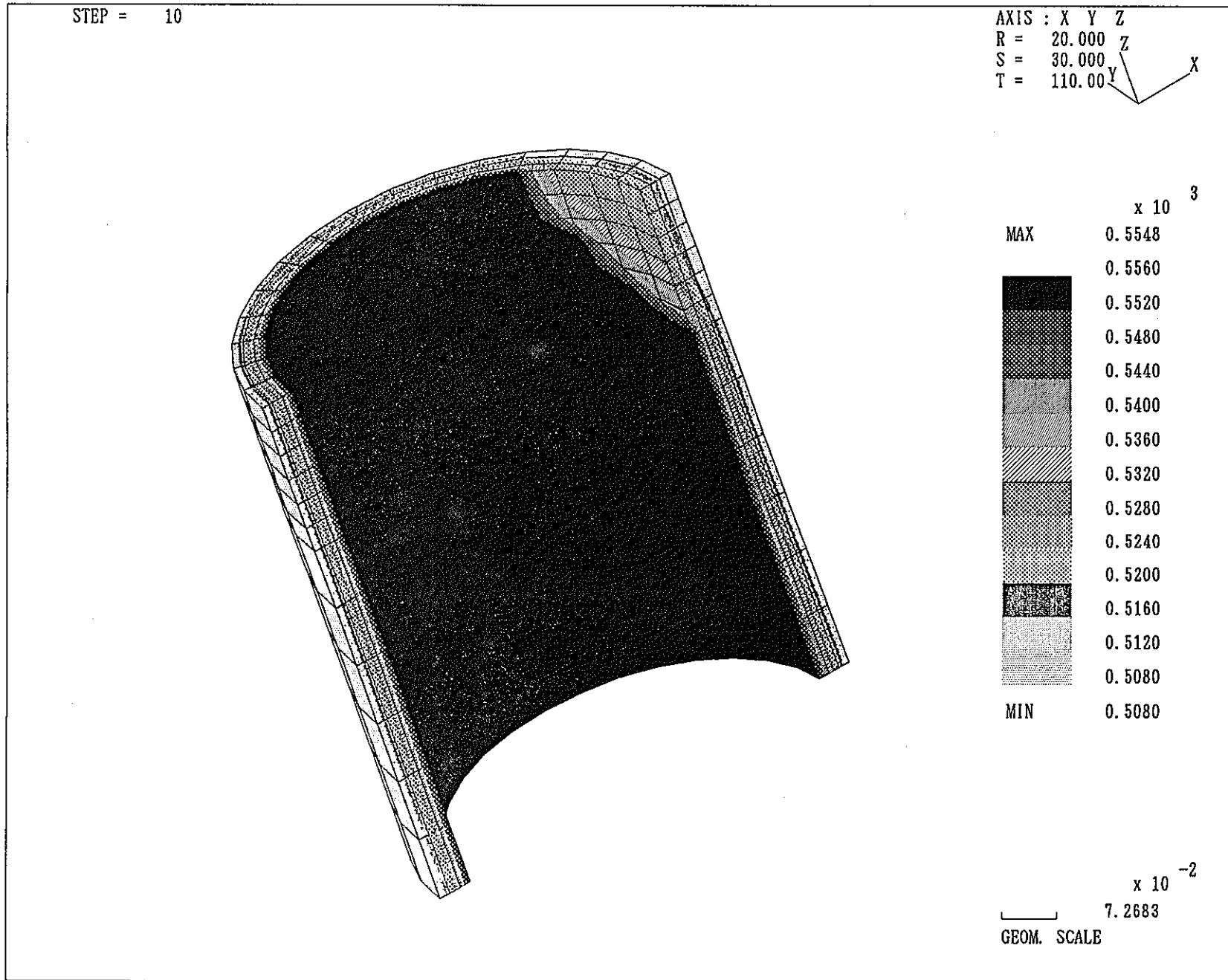


図3.2.2-5 欠け部近傍の被覆管温度分布 (ペレット欠損部2個：欠損部対向)

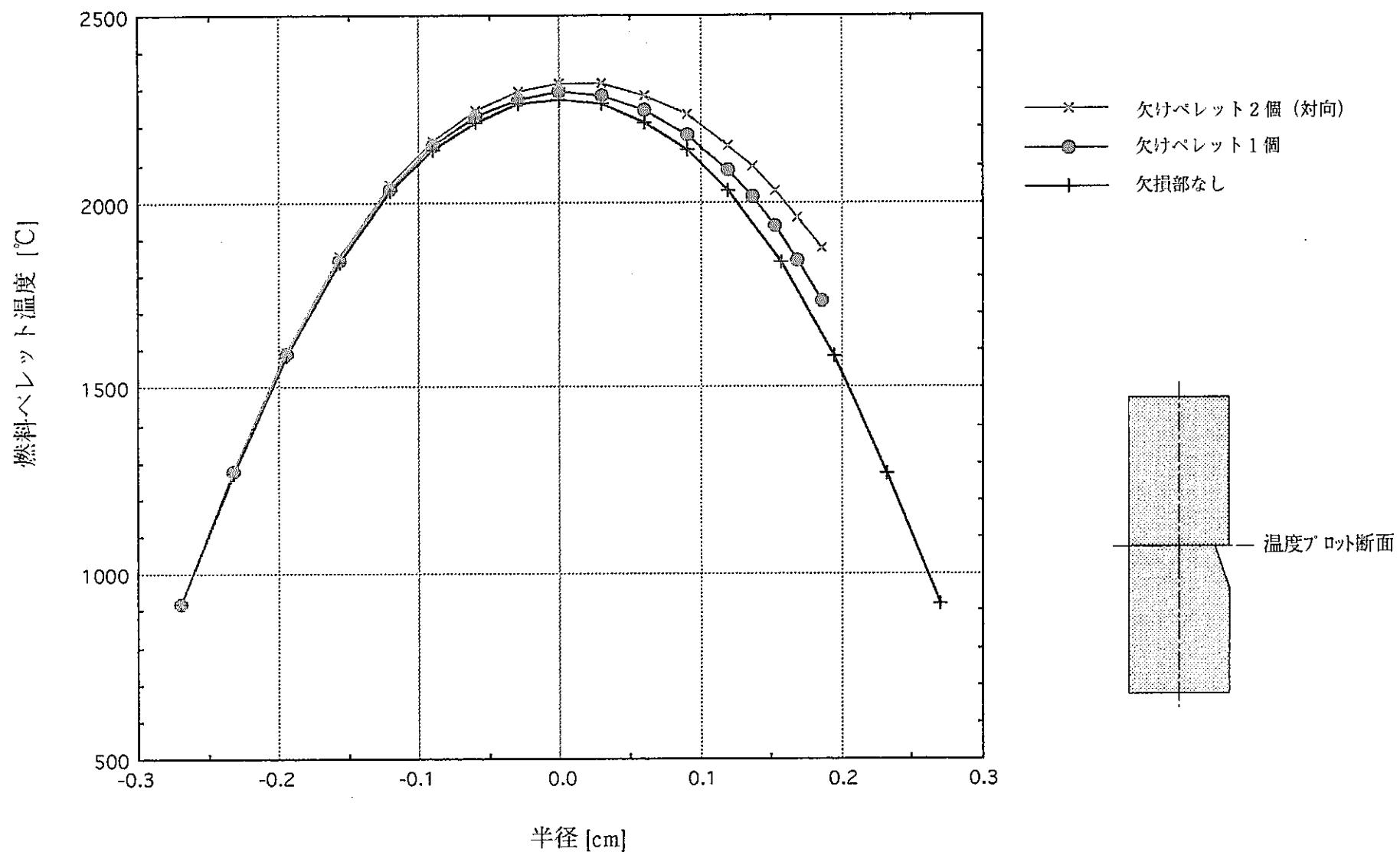


図3.2.2-6 欠け部での燃料温度径方向分布（熱伝導解析結果）

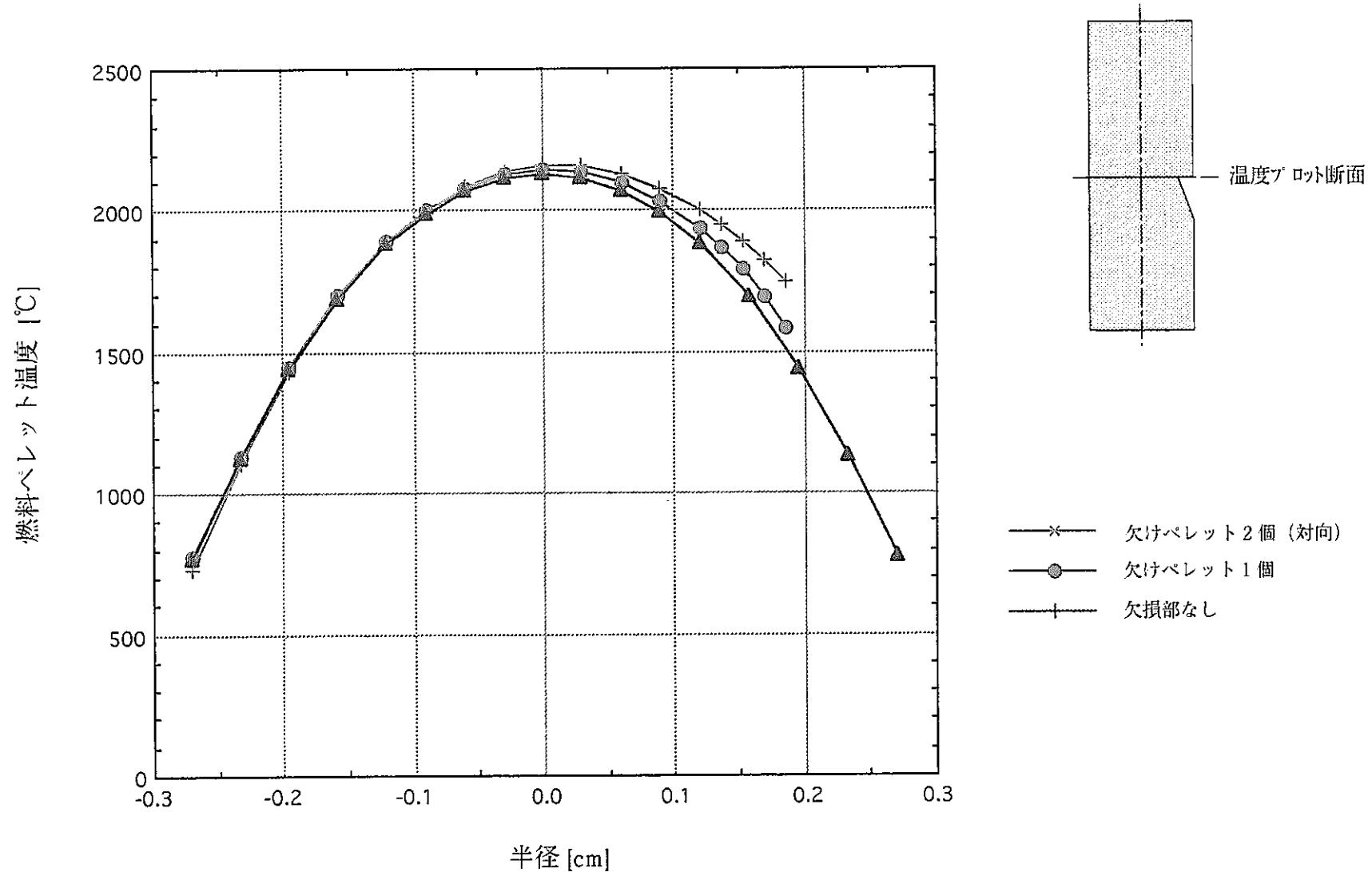


図3.2.2-7 欠け部での燃料温度径方向分布（熱弾性解析結果）

3. 3 Puスポットによる温度上昇

昨年度においては、Puスポットによる温度上昇を2次元モデルにより検討した。

更なる保守性排除の観点から、本項ではPuスポットによる温度上昇を3次元モデルとした解析を実施した。

3. 3. 1 評価方法

Puスポットに起因する燃料及び被ふく管温度への影響評価は、Puスポットが存在しない場合の温度との相対比較により行う。従って、Puスポットが存在しない解析結果を基準に検討する。

3. 3. 2 解析条件

- ① Puスポットの大きさは、直径 $150\text{ }\mu\text{m}$ の球体を仮定する。
- ② Puスポットは、燃料ペレット中心及び外周部に存在する2種類を対象とする。 $r/r_0 = 0.0, 0.972$
ここで、 r/r_0 : ペレット外半径比
- ③ 燃料温度上昇による組織変化、Pu再配分は考慮しない。
- ④ Puスポット部の発熱密度は、Puスポットが存在しない領域の5倍を仮定する。但し、総発熱量はPuスポットの存在の有無に係わらず保存する。
- ⑤ 燃料ペレット-被ふく管の間の隙間は、Heガスを媒体とした熱伝導を仮定する。
- ⑥ 温度境界は、各評価項目毎に以下の規定温度を設定する。

ペレット最高温度評価：ペレット外表面温度 = 1000°C

被ふく管温度評価：被ふく管外表面温度 = 550°C

図3. 3. 2-1に解析モデルを示す。Puスポットが外周部に存在する場合は、周方向等間隔に4個の存在を考える。解析対象は、形状の対称性より 45° の範囲とする。また、軸方向はペレット $1/4$ 高さ相当をモデル化する。

燃料ペレット仕様は、初装荷炉心燃料ペレットの仕様を適用する。

被ふく管外径 : 6.5 mm

被ふく管内径 : 5.56 mm

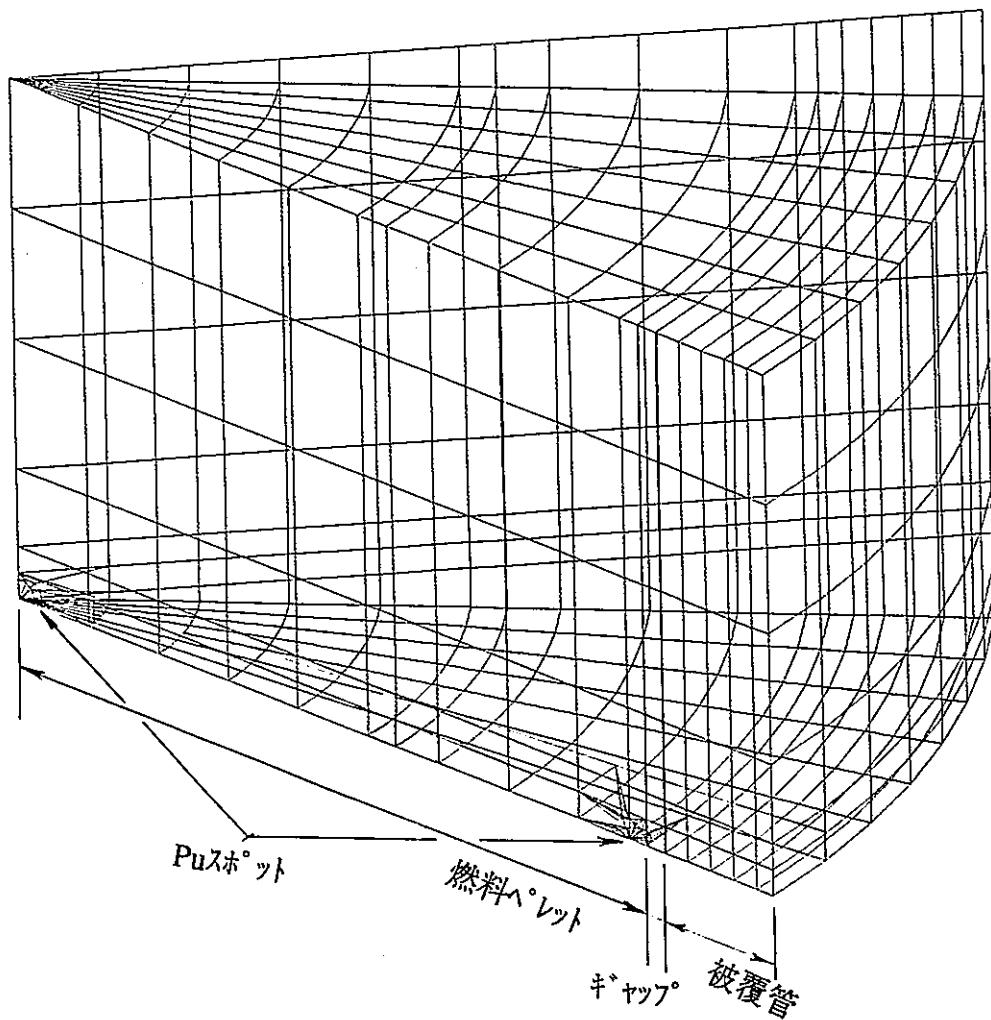


図3.3.2-1 解析モデル

材質 : P N C 3 1 6
ペレット外径 : 5.4 mm
ペレット高さ : 8.0 mm
理論密度比 : 85% T.D.
O/M : 1.97
Pu富化度 : 20 w/o

Puスポット部での発熱は均一にPuが存在する場合の5倍を見込んで評価する。Puスポット部の発熱は核計算の評価結果を適用することが望ましいが、ここでは便宜的にPuスポットの富化度を100w/oと仮定し、Pu均一領域のPu富化度との比から、5倍を設定する。

燃料ペレットと被ふく管の間隙にはHeガスが存在するものとし、間隙部の停留状態でのガスによる熱伝導のみを考慮する。

使用する物性値（熱伝導率）は、「高速原型炉燃料集合体及び炉心構成要素・設計用物性値集」記載式とする。

3.3.3 解析結果

(1) 燃料最高温度評価

前項までの解析モデル、条件による燃料温度解析結果を図3.3.3-1（半径方向温度分布）及び図3.3.3-2（軸方向温度分布）に示す。

Puスポットによる燃料中心温度への影響は、中心にPuスポットが存在した場合に約6°Cである。

Puスポットの軸方向の影響は、図3.3.3-2に示すとおり、Puスポット直徑の約3倍の距離までは有為な温度上昇が観察されるが、それ以遠では殆ど温度上昇がなく、3次元解析による熱の放散効果が認められる。

図3.3.3-3に燃料内温度上昇（ペレット中心—表面温度差）とPuスポット存在位置の関係を示す。Puスポットが中心に存在する場合、Puスポットが存在しない場合に比べ燃料温度上昇は0.45%程度であることが判る。また、Puスポットが外周部に存在する場合には燃料温度上昇への影響は認められない。

表3.3.3-1に燃料温度上昇値を2次元解析の結果と対比して示す。

(2) 被ふく管温度評価

Puスポットが存在した場合での被ふく管内面及び肉厚中心での周方向温度分布を図3.3.3—4及び図3.3.3—5に示す。

被ふく管への温度上昇が認められるのは、Puスポットがペレット最外周に存在する場合であるが、被ふく管肉厚中心で見た場合にはその温度上昇は0.1°C以下と無視し得るものであり、被ふく管温度での3次元効果は燃料温度に比べ非常に大きい。

表3.3.3—2に被ふく管温度上昇値を2次元解析の結果と対比して示す。

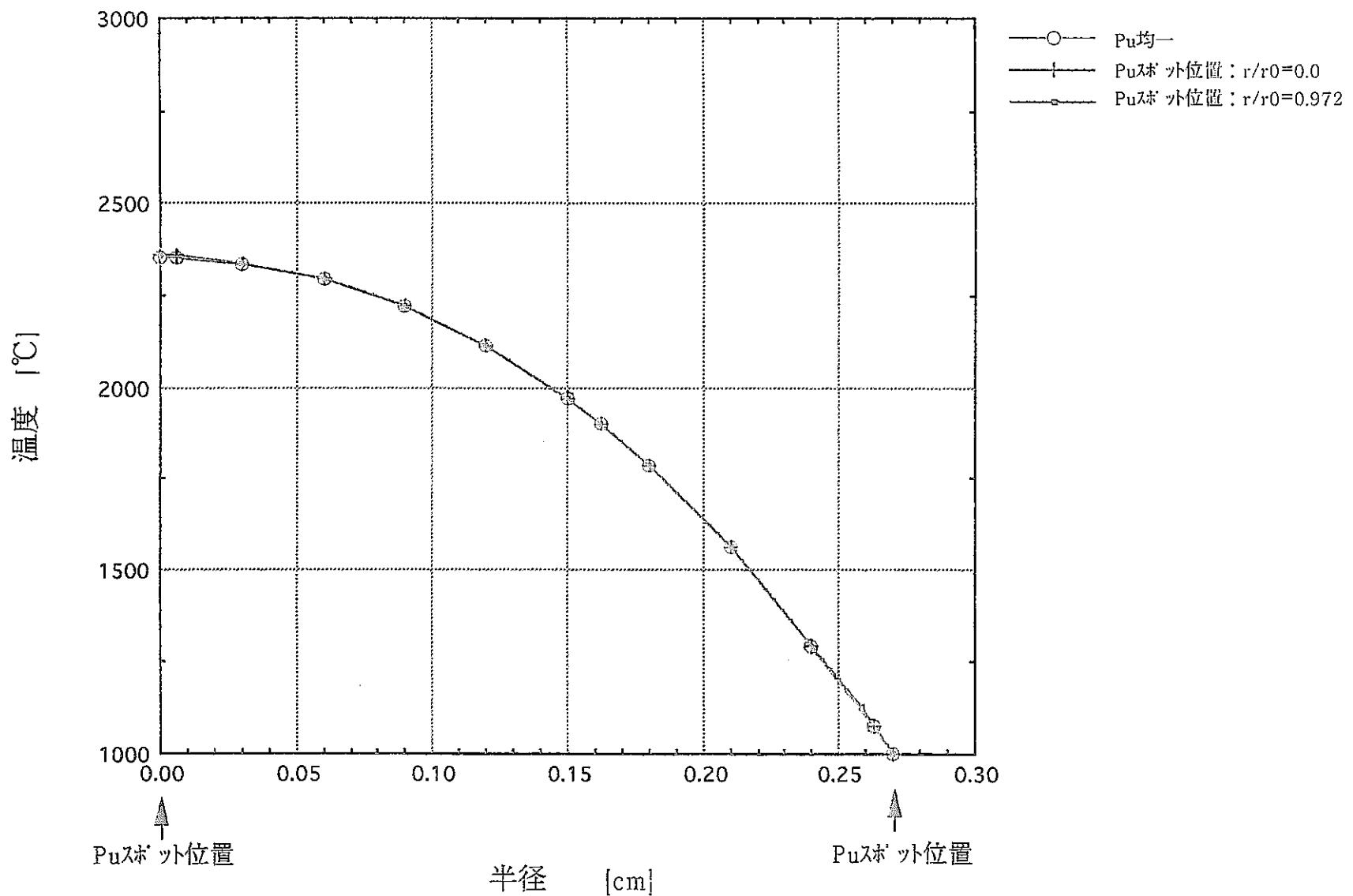


図3.3.3-1 燃料ペレット半径方向温度分布

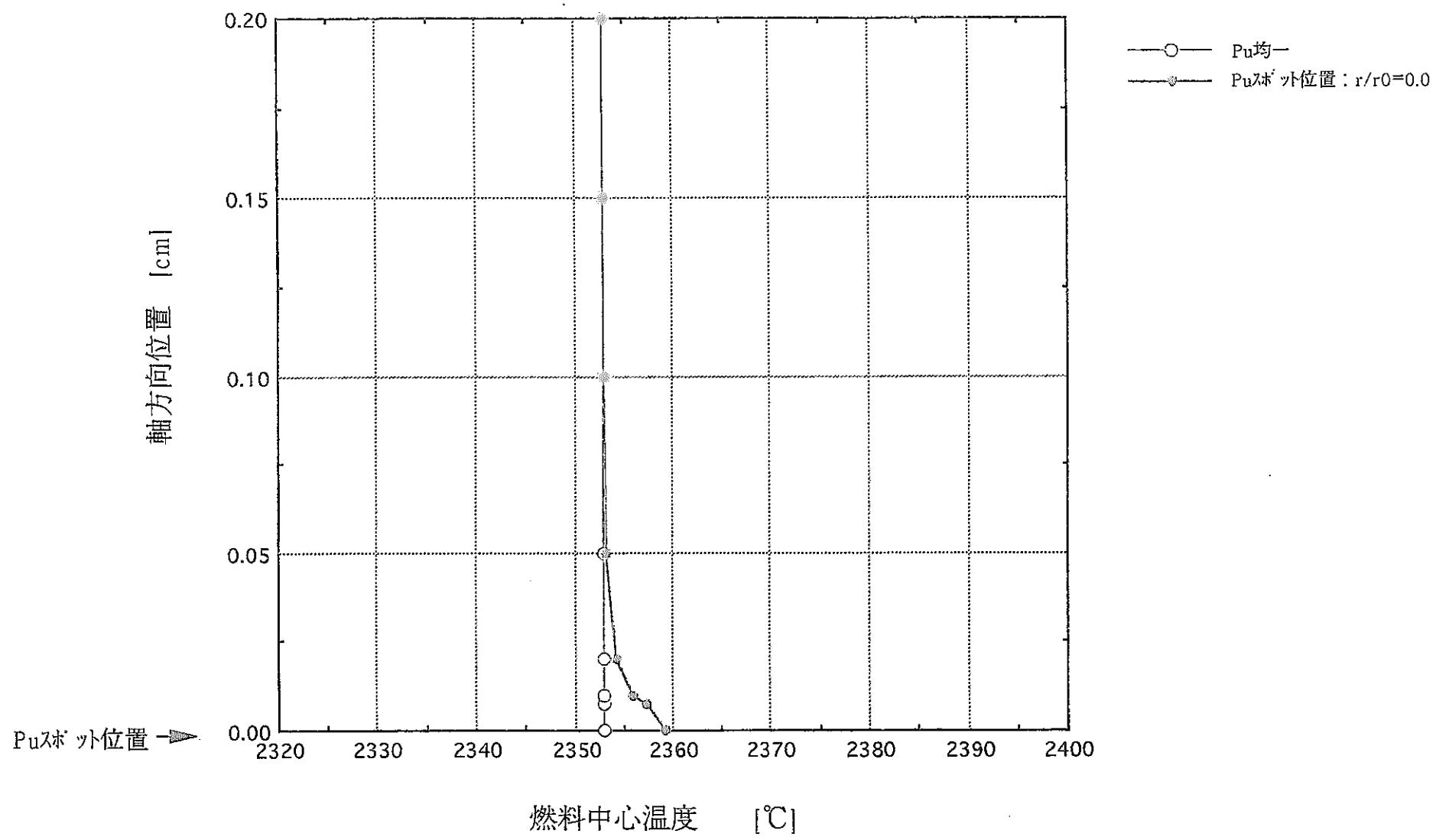


図3.3.3—2 燃料ペレット軸方向温度分布

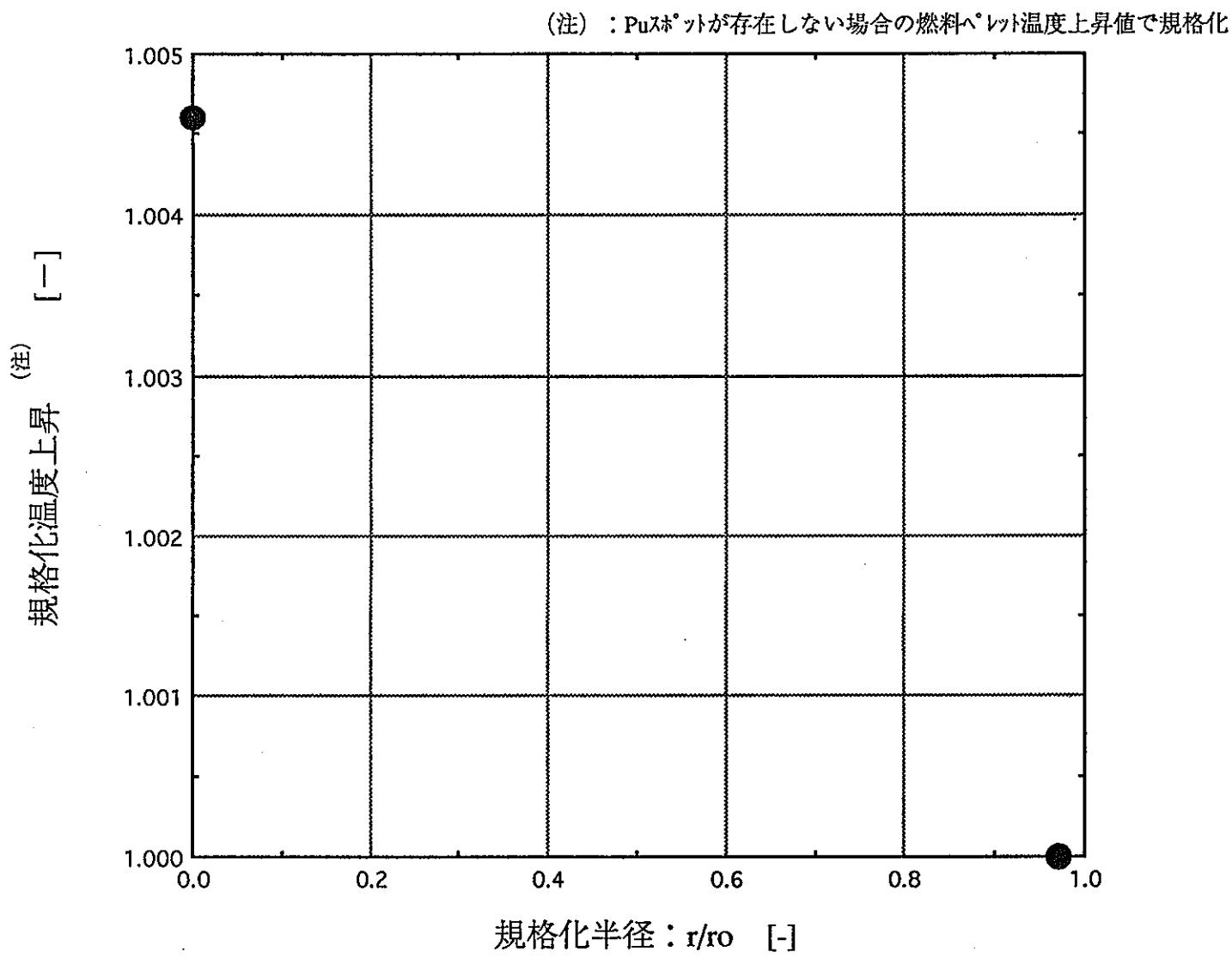


図 3. 3. 3—3 規格化温度上昇と Puスポット位置の関係

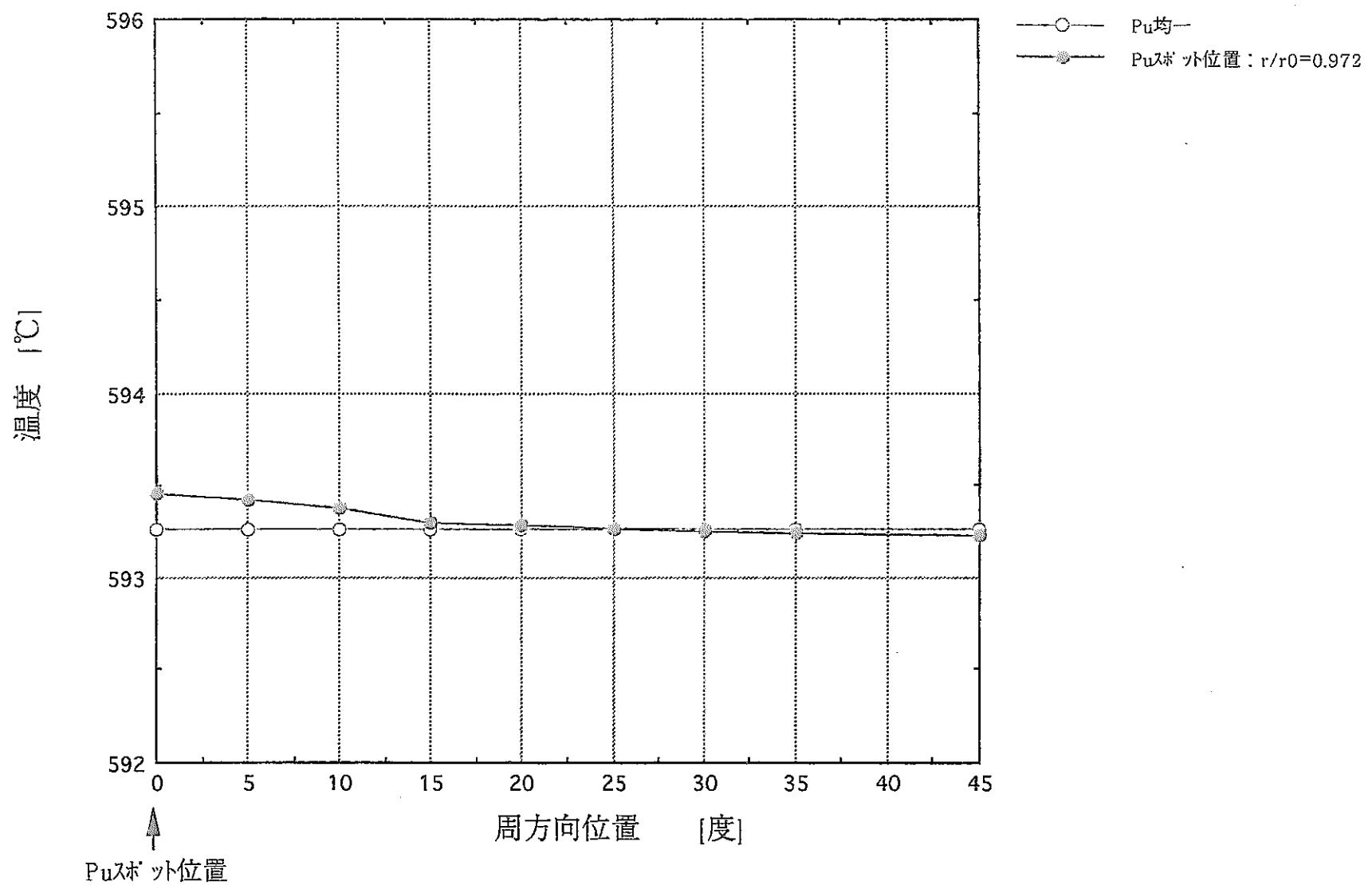


図 3. 3. 3-4 被ふく管内面周方向温度分布

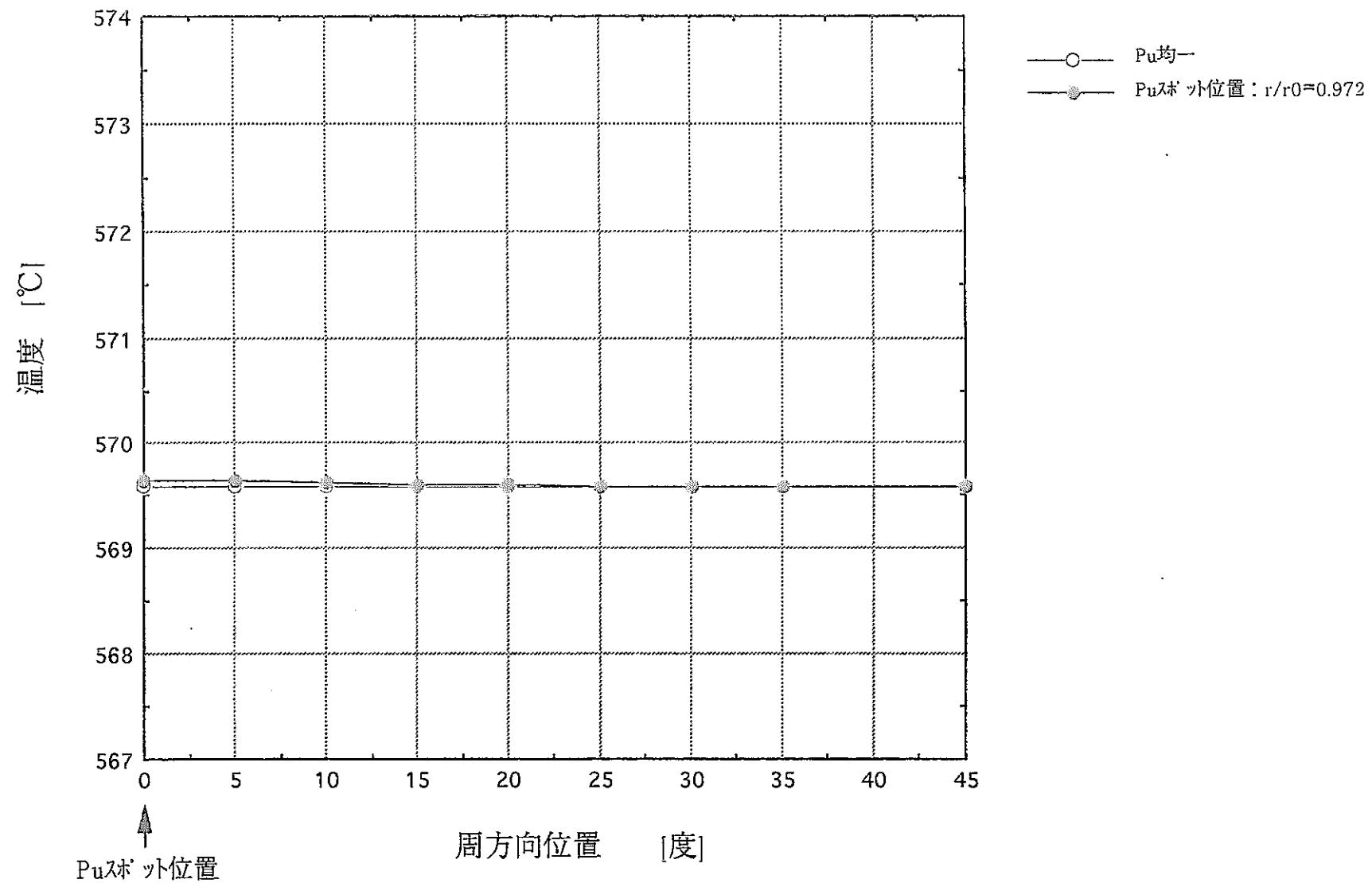


図 3.3.3-5 被ふく管肉厚中心周方向温度分布

表3.3.3-1 Puスポットによる燃料温度上昇

Puスポット位置 r/r_0	規格化温度上昇 ^{*1}		温度上昇値 °C	
	3次元解析	2次元解析	3次元解析	2次元解析
0.0	1.005	1.023	<u>6.3</u>	32.0
0.972	1.00	1.00	0.0	0.0

注) *1. 規格温度: $1.00 = 1353.0^\circ\text{C}$ (ペレット内温度上昇)

2. 評価出力は定格出力ベース

表3.3.3-2 Puスポットによる被ふく管温度上昇

被ふく管温度 評価位置	温 度 上 昇 值 °C	
	3次元解析	2次元解析
肉厚中心	<u>0.05</u>	0.75
内 面	0.20	1.5

注) 1. 評価出力は定格出力ベース
2. Puスポット位置はペレット最外周

3. 3. 4 まとめ

- (1) 3次元解析により、Puスポットによる燃料温度及び被ふく管温度への影響は大幅に低減され、特に被ふく管温度についてはPuスポットによる影響は無視し得るものとなった。
- (2) 3次元解析結果を積極的に導入する場合には、主要な大きさの複数Puスポットの接近が問題となるが、
 - ① 本解析でのPuスポット直径は150 μmであり、実機燃料スペック直径の100 μmに対して体積比で約3倍の保守性を有している。従って、仮に2個の100 μm直径のPuスポットが接触したと仮定した場合でも本解析値に包絡される。
 - ② Puスポットの温度上昇が影響する距離は直径の3倍程度までであり、影響する範囲が限られること。
から、実用上問題とはならない。

3. 4 その他の温度低減項目について

(1) 軸方向熱移動の考慮

現状のサブチャンネル解析では、熱移動はピン半径方向のみの1次元として考慮している。従って、被ふく管温度はその位置の冷却材温度及びペレットからの熱流束によって決定される。炉心燃料の被ふく管の場合、その温度は炉心スタック上端で最高を示すが、炉心スタック上端では軸ブラへのとの温度差が大きく、炉心燃料ペレットから軸ブラへの熱移動が期待でき、その部分での被ふく管への熱移動が低減され、被ふく管温度が低減できる可能性がある。

炉心スタック上端部における類似の解析が参考資料(1)に示されており、これによると1～2°Cの被ふく管最高温度の低減が期待できる。

(2) 実プラントヒートバランスの反映

S K S等で現在まで得られたヒートバランスを考慮したヒートバランス解析によると、原子炉出入口Na温度が約13°Cの低減が見込まれている。

3. 5 热的評価のまとめ

- (1) 現段階での工学的安全係数の合理化については、出力分布誤差及び流路変形効果の採用が妥当である。従って、工学的安全係数の合理化による温度低減は燃料温度6°C、被ふく管温度3°Cとなる。
- (2) 热出力誤差、実ヒートバランスの反映については、更なる性能試験結果の検討を待って導入を検討する。
- (3) ペレット欠け及びPuスポット共に今回解析によって大幅な温度低減が認められたが、特にペレット欠けについては未だに燃料温度への影響が大きく、工学的安全係数の合理化による温度低減での吸収は困難である。従って、現段階での欠け及びPuスポットの扱いについては、
 - ① 設計評価としての定格時及び過出力時の温度（許認可資料記載値）算出は、工学的安全係数のみを考慮したものとする。
 - ② 従来、欠けを設計評価に取り込んでいなかった理由は、先行炉でのペレット欠けの大きさ、発生頻度から考慮して特に燃料温度に有為に影響するものではないとの判断に基づくものであったとし、当面は設計評価としての定格時及び過出力時の温度評価には取り込まない。但し、取り込んだ場合でも燃料制限温度（2650°C）を超えないことを確認する。
 - ③ なお、現仕様でのもんじゅ燃料の製造実績が蓄積された場合でも欠けが改善されない場合には、この欠けについてはもんじゅ仕様燃料の特質として位置付け、各種不確かさとともに設計評価に取り込んでいくものとする。

3. 6 関連資料

- (1) E16-975C-210M-30 燃料集合体の工学的安全係数
- (2) D17-040-0000H-50 燃料要素束照射変形解析書

4 今後の燃料取替計画見直しのための基本データの整備

前章までに、初装荷燃料の製造実績及び初装荷炉心における性能試験結果が炉心特性及び燃料特性に与える影響を評価検討し、初装荷炉心の運転日数確保の観点から、第二サイクルの取替燃料のPu富化度向上及び初装荷炉心での中途燃料交換の成立性を検討した。この結果、第一回取替燃料のPu富化度を従来の、

内側炉心・・・15.4fiss Pu wt%

外側炉心・・・20.8fiss Pu wt%

に対して、

内側炉心・・・16.0fiss Pu wt%

外側炉心・・・21.0fiss Pu wt%

を選定した。

燃料交換方法等を含めた運転計画を策定するに当たっては、今後得られる性能試験結果を見た上での検討が必要であるが、ここでは検討のベースとして上記のPu富化度での炉心核特性について整理する。

核特性値の評価に当たっては、初装荷炉心における中途燃料交換については、燃交体数として内側炉心を 0 (燃交無し)、12、17及び24体のそれぞれについてまとめる。

燃料交換位置、燃焼モデル等は2.2で示した検討と同一とする。

4.1 性能試験期間中燃料交換を実施した炉心の核特性基本データの整備

初装荷炉心において100%出力運転開始後50日目で中途燃料交換を実施した場合の以下の炉心特性値をまとめる。

- (1) 実効増倍率 (反応度)
- (2) 出力分布
- (3) 制御棒価値

ここで、出力分布については、0体燃交、すなわち、中途燃料交換しない場合は通常の初装荷炉心で包絡されていると考えられるのでここでは触れない。また、制御棒価値については、燃料交換体数が多いほど減少する傾向があるため、最も厳しくなると考えられる24体燃交の場合のみまとめる。

(1) 実効増倍率 (反応度)

図4.1-1に燃料交換体数と燃料交換による反応度增加の関係を示す。同図より、0から24体までの範囲ではほぼ体数と反応度は比例し、1体当たりの反応度は約0.05%dk/kk'となることがわかる。

(2) 出力分布

各流量領域毎の最大線出力及び最大集合体出力を、それぞれ、表4.1-1及び表4.1-2に示す。また、図4.1-2に最大線出力について各燃料交換体数の場合毎の流量領域毎に図示する。これらの図表により、流量領域によっては値がばらついていることが分かるが、これは、その領域で燃料交換が行われているか否か、かつ、その燃交位置が領域内のピーク出力の出る位置であるかどうかによることは明らかである。従って、燃料交換体数が多い程最大出力的に厳しくなるが、第一流量領域の最内層での燃交を避けた今回の燃交パターンでは24体の燃料交換でも最大線出力の制限値360W/cmを超えないことがわかる。

(3) 制御棒価値

表4.1-3に24体の中途燃料交換後の制御棒価値計算値を示す。また、表4.1-4に設計評価値（初装荷及び低燃平衡炉心のサイクル初期）を示す。これらの表から、今回の結果は、初装荷炉心の設計評価値と比較して約3%程度小さい値となっていることがわかる。この主要な要因としては、燃料中の²⁴¹Puの組成比に依存していることが考えられる。すなわち、従来の知見に依れば、設計基準組成での²⁴¹Pu組成比0.14に対して、実組成の0.04では制御棒価値が約3%減少する結果が得られており、これにより、今回の結果と初装荷炉心での設計値との差異がほぼ説明できる。

表4.1-1 初装荷炉心中途燃料交換後の流量領域毎の最大線出力（1／3）

・初装荷炉心80日燃焼（12体中途燃交）／第二サイクル66体燃交の場合

流量領域		解析結果			
		集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	最大線出力 W/cm
内側炉心	1	10	BOC	CR IN	357.6
	2	23	BOC	CR IN	317.3
	3	38	BOC	CR IN	350.5
	4	58	BOC	NaF	314.8
	5	93	BOC	CR IN	293.4
外側炉心	6	124	BOC	CR IN	332.4
	7	168	BOC	CR IN	287.6
	8	166	BOC	CR IN	272.3

表4.1-1 初装荷炉心中途燃料交換後の流量領域毎の最大線出力（2／3）

・初装荷炉心80日燃焼（17体中途燃交）／第二サイクル1体燃交の場合

流量領域		解析結果			
		集合体番号 TRIAG NREG	時期 BOC	CCR 状態	最大線出力
					W/cm
内側炉心	1	14	BOC	CR IN	358.3
	2	28	BOC	CR IN	346.4
	3	46	BOC	CR IN	350.9
	4	71	BOC	CR IN	337.4
	5	103	BOC	CR IN	292.5
外側炉心	6	138	BOC	CR IN	332.3
	7	184	BOC	CR IN	286.6
	8	182	BOC	CR IN	270.1

表4.1-1 初装荷炉心中途燃料交換後の流量領域毎の最大線出力（3／3）

・初装荷炉心80日燃焼（24体中途燃交）／第二サイクル54体燃交の場合

流量領域		解析結果			
		集合体番号 TRIAG NREG	時期 BOC	CCR 状態	最大線出力 W/cm
内側炉心	1	14	BOC	CR IN	357.8
	2	28	BOC	CR IN	345.3
	3	46	BOC	CR IN	350.8
	4	71	BOC	CR IN	337.2
	5	100	BOC	CR IN	321.4
外側炉心	6	138	BOC	CR IN	333.1
	7	184	BOC	CR IN	286.6
	8	182	BOC	CR IN	269.7

表4.1-2 初装荷炉心中途燃料交換後の流量領域毎の最大集合体出力（1／3）

・初装荷炉心80日燃焼（12体中途燃交）／第二サイクル66体燃交の場合

流量領域		解析結果			
		集合体番号 TRIAG NREG	時期 BOC	CCR 状態	集合体出力 MW
内側炉心	1	10	BOC	NaF	4.67
	2	21	BOC	NaF	4.07
	3	38	BOC	NaF	4.33
	4	58	BOC	NaF	4.02
	5	88	BOC	NaF	3.58
外側炉心	6	123	BOC	CR IN	3.95
	7	168	BOC	CR IN	3.19
	8	166	BOC	CR IN	3.07

表4.1-2 初装荷炉心中途燃料交換後の流量領域毎の最大集合体出力（2／3）

・初装荷炉心80日燃焼（17体中途燃交）／第二サイクル1体燃交の場合

流量領域		解析結果			
		集合体番号 TRIAG NREG	時期 BOC	CCR 状態	集合体出力 MW
内側炉心	1	14	BOC	NaF	4.67
	2	20	BOC	NaF	4.49
	3	46	BOC	NaF	4.33
	4	71	BOC	CR IN	4.11
	5	108	BOC	NaF	3.54
外側炉心	6	137	BOC	CR IN	3.94
	7	184	BOC	CR IN	3.17
	8	182	BOC	CR IN	3.04

表4.1-2 初装荷炉心中途燃料交換後の流量領域毎の最大集合体出力（3／3）

・初装荷炉心80日燃焼（24体中途燃交）／第二サイクル54体燃交の場合

流量領域		解析結果			
		集合体番号 TRIAG NREG	時期 BOC	CCR 状態	集合体出力
					MW
内側炉心	1	14	BOC	NaF	4.66
	2	20	BOC	NaF	4.48
	3	46	BOC	NaF	4.33
	4	71	BOC	CR IN	4.11
	5	100	BOC	CR IN	3.86
外側炉心	6	137	BOC	CR IN	3.94
	7	184	BOC	CR IN	3.17
	8	182	BOC	CR IN	3.04

表4.1-3 各制御棒挿入パターンでの制御棒価値（初装荷炉心I/C24体中途燃交後）

・初装荷炉心80日燃焼（24体中途燃交）／第二サイクル54体燃交の場合

CASE No.	挿入制御棒	実効増倍率	基準計算値 (%dk/kk')	評価値*1			設計値との差 (%)	
				補正因子	設計基準組成	ワース (%dk/kk')		
							初装荷	低燃平衡
1	Na7オロワー	1.02576	—	—	—	—	—	—
2	CCR 10体	0.94615	8.202	最小値	0.740	6.07	-3.4	-1.2
				標準値	0.823	6.75		
				最大値	0.958	7.86		
3	FCR 3体	1.00225	2.287	最小値	0.701	1.60	-2.1	-0.7
				標準値	0.779	1.78		
				最大値	0.958	2.19		
4	CCR & FCR ワンロット・スタック (CCR 9 +FCR 3)	0.93464	9.504	最小値	0.740	7.03	-2.7	-0.8
				標準値	0.823	7.82		
				最大値	0.958	9.10		
5	BCR 6体	0.88217	7.861	最小値	0.739	5.81	-2.8	0.0
				標準値	0.869	6.83		
				最大値	1.011	7.95		

*1 制御棒2サイクル化を考慮した評価値である。

表4.1-4 各制御棒挿入パターンでの制御棒価値設計評価値（1／2）

(初装荷炉心初期)

CASE No.	挿入制御棒	実効増倍率	基準計算値 (%dk/kk')	補正後の制御棒価値		
					補正因子	ワース (%dk/kk')
1	Na7オロワー	1.02833		—	—	—
2	CCR 10体	0.94577	8.489	最小値	0.740	6.282
				標準値	0.823	6.986
				最大値	0.958	8.132
3	FCR 3体	1.00420	2.337	最小値	0.701	1.638
				標準値	0.779	1.820
				最大値	0.958	2.239
4	CCR&FCR One Rod Stuck (CCR 9 FCR 3)	0.93445	9.770	最小値	0.740	7.230
				標準値	0.823	8.041
				最大値	0.958	9.359
5	BCR 6体	0.88014	8.085 *	最小値	0.739	5.975
				標準値	0.869	7.026
				最大値	1.011	8.174

* CCR10体挿入状態からの反応度価値に、干渉効果として 2.55%を上乗せした値

表4.1-4 各制御棒挿入パターンでの制御棒価値設計評価値（2／2）

(低燃焼度平衡炉心初期)

CASE No.	挿入制御棒	実効増倍率	基準計算値 (%dk/kk')	補正後の制御棒価値		
					補正因子	ワース (%dk/kk')
1	Naフロワー	1.02620		—	—	—
2	CCR 10体	0.94566	8.299	最小値	0.740	6.142
				標準値	0.823	6.830
				最大値	0.958	7.951
3	FCR 3体	1.00252	2.302	最小値	0.701	1.614
				標準値	0.779	1.793
				最大値	0.958	2.205
4	CCR&FCR One Rod Stuck (CCR 9 FCR 3)	0.93432	9.583	最小値	0.740	7.091
				標準値	0.823	7.887
				最大値	0.958	9.180
5	BCR 6体	0.88174	7.861 *	最小値	0.739	5.810
				標準値	0.869	6.832
				最大値	1.011	7.948

* CCR10体挿入状態からの反応度価値に、干渉効果として 2.55%を上乗せした値

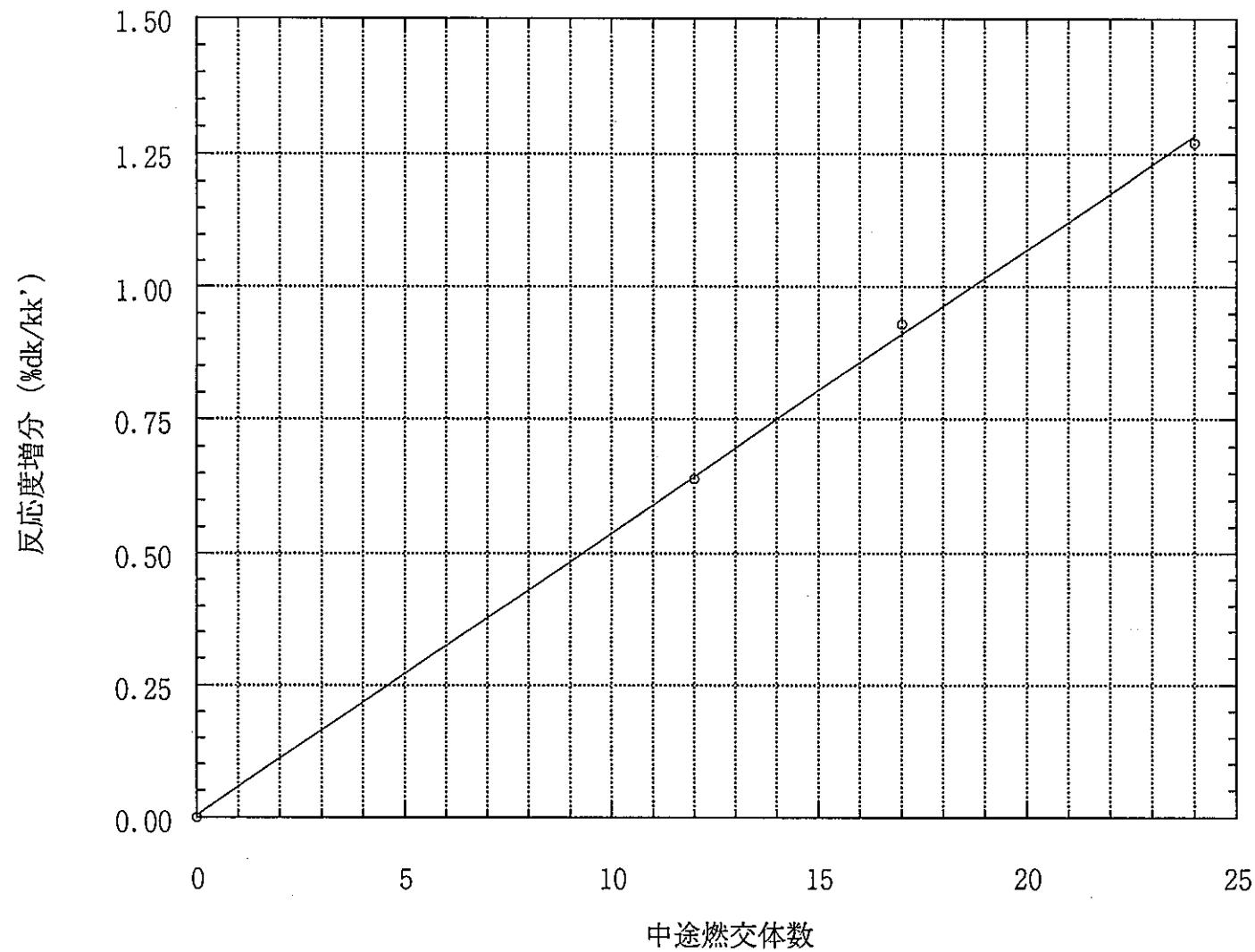


図4.1-1 初装荷炉心中途燃料交換による反応度増分

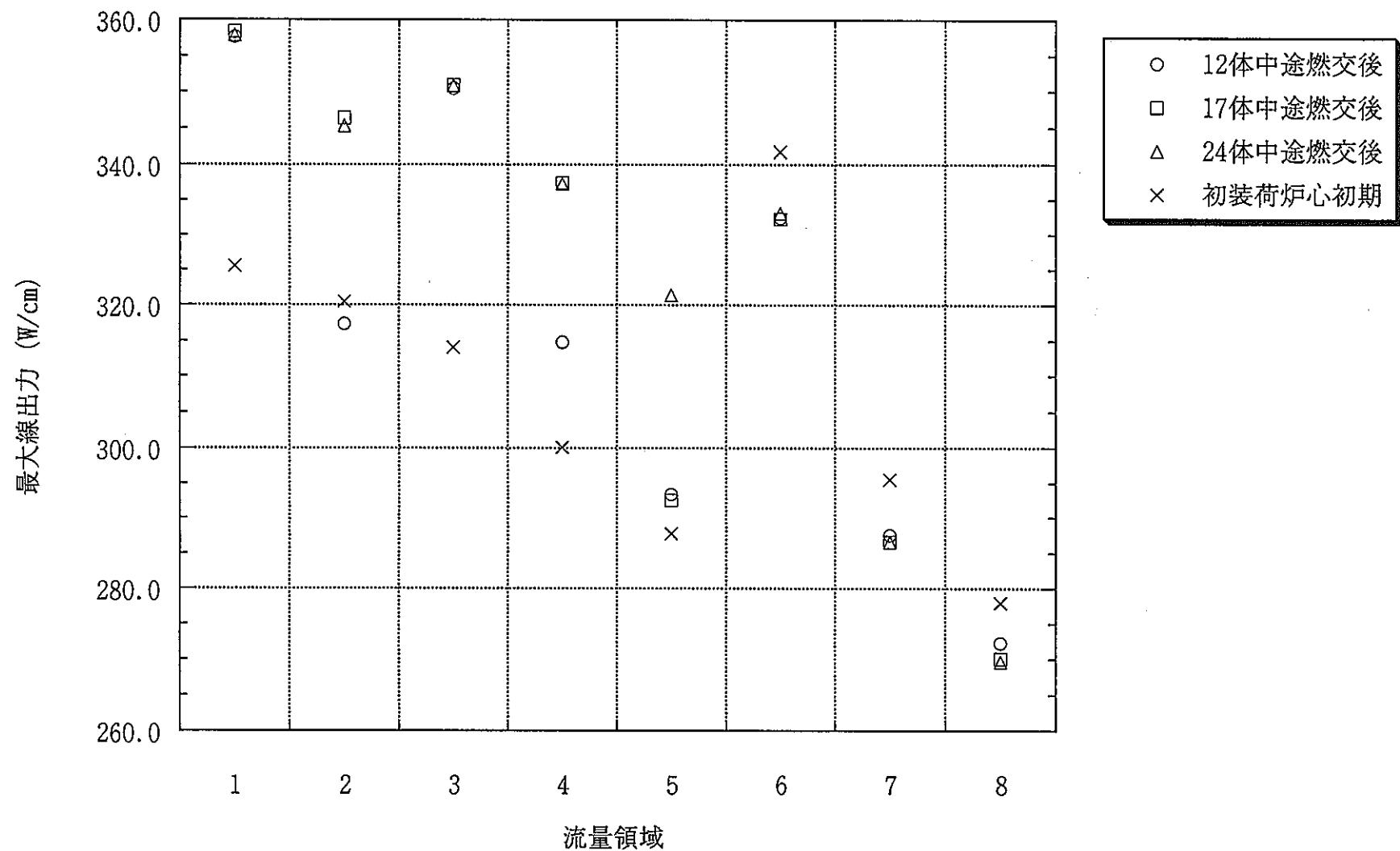


図4.1-2 初装荷炉心中途燃料交換後の流量領域毎の最大線出力

4.2 第二サイクル炉心の核特性基本データの整備

初装荷炉心の中途燃料交換を 0、12、17及び24体実施した後の第二サイクル炉心の以下の炉心特性をまとめる。

- (1) 実効増倍率（反応度）
- (2) 出力分布
- (3) 制御棒価値

制御棒価値については、燃料交換体数が多いほど減少する傾向があるため、最も厳しくなると考えられる0体燃交（中途燃交無しで78体すべての取替燃料が第二サイクルで交換される場合）の結果をまとめる。

第二サイクルまでの運転履歴は、初装荷炉心で100%出力運転開始後50日燃焼→中途燃料交換→燃交後30日燃焼→定検320日とする。（初装荷炉心はトータルで80日燃焼）

- (1) 実効増倍率（反応度）

図4.2-1に燃料交換体数と燃料交換による反応度増加の関係を示す。同図より、初装荷炉心中途燃料交換体数が増加するに従って第二サイクルでの燃交による反応度増加は減少するが、トータルで見た場合には各ケースともほぼ3.0%dk/kk'の反応度増加となることがわかる。（ただし、中途燃交後の燃焼が進む分24体燃交のケースで約0.1%dk/kk'低い。）

図4.2-2には初装荷炉心から第二サイクル末期までの実効増倍率の基準計算値の時間推移を示した。同図より、初装荷炉心で中途燃交を実施した場合でも、第二サイクル炉心の反応度はその燃交体数にほとんど依らず定まることがわかる。

- (2) 出力分布

各流量領域毎の最大線出力及び最大集合体出力を、それぞれ、表4.2-1及び表4.2-2に示す。また、図4.2-3に最大線出力について燃料交換体数との関係をまとめる。これらの図表から、第二サイクルの出力分布は初装荷中途燃交体数に依らずにほぼ等しく、約0.3%以内で一致していることがわかる。

- (3) 制御棒価値

表4.2-3に初装荷中途燃交をしない場合の第二サイクル初期における制御棒価値計算値を示す。設計値との比べると今回の結果は、低燃平衡炉心での値からさらに3%程度低い値である。これは、まず、第二サイクル

の燃交後も炉内の燃料の半数以上を占める初装荷燃料の実組成の影響（ ^{241}Pu が少ない）があり、かつ、燃焼に伴う中性子エネルギースペクトルの硬化に起因した制御棒価値の減少も少なからず寄与しているものと考えられる。

最後に、サイクル初期で評価すべき反応度バランスについて、2.2.3で得られた反応度係数から出力補償を見直し求めた制御棒の必要反応度価値と制御棒価値評価結果との比較の形で表4.2-4に示す。同表より、最も厳しい主炉停止系制御棒ワンロッドスタックの場合でも、評価最小値が必要反応度の最大値を約0.5%dk/kk'上回っており問題が無いことがわかる。

表4.2-1 第二サイクルの流量領域毎の最大線出力 (1 / 4)

・初装荷炉心中途燃交無しの場合

流量領域		解析結果			
		集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	最大線出力 W/cm
内側炉心	1	5	BOC	NaF	354.5
	2	24	BOC	CR IN	333.5
	3	46	BOC	CR IN	338.3
	4	63	BOC	CR IN	324.6
	5	90	BOC	CR IN	311.4
外側炉心	6	136	BOC	NaF	331.5
	7	184	BOC	CR IN	299.2
	8	166	BOC	CR IN	281.9

表 4.2-1 第二サイクルの流量領域毎の最大線出力 (2 / 4)

・初装荷炉心12体中途燃交の場合

流量領域		解析結果				
		集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	最大線出力	0体燃交との差
					W/cm	%
内側炉心	1	5	BOC	NaF	354.3	-0.08
	2	24	BOC	CR IN	333.4	-0.03
	3	46	BOC	CR IN	334.3	-1.18
	4	63	BOC	CR IN	324.5	-0.03
	5	90	BOC	CR IN	311.4	0.02
外側炉心	6	136	BOC	NaF	331.6	0.04
	7	184	BOC	CR IN	299.6	0.11
	8	182	BOC	CR IN	282.1	0.07

表 4.2-1 第二サイクルの流量領域毎の最大線出力 (3 / 4)

・初装荷炉心17体中途燃交の場合

流量領域		解析結果				
		集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	最大線出力	0体燃交との差 %
					W/cm	
内側炉心	1	3	BOC	NaF	354.1	-0.13
	2	24	BOC	CR IN	329.7	-1.14
	3	38	BOC	CR IN	334.7	-1.07
	4	63	BOC	CR IN	324.7	0.03
	5	90	BOC	CR IN	311.7	0.11
外側炉心	6	136	BOC	NaF	331.5	0.01
	7	168	BOC	CR IN	300.0	0.25
	8	166	BOC	CR IN	282.5	0.18

表4.2-1 第二サイクルの流量領域毎の最大線出力（4／4）

・初装荷炉心24体中途燃交の場合

流量領域		解析結果				
		集合体番号 TRIAG NREG	時期 BOC	CCR 状態	最大線出力	0体燃交との差 %
内側炉心	1		3	NaF	354.2	-0.10
	2		24	CR IN	329.9	-1.07
	3		38	CR IN	334.8	-1.04
	4		63	CR IN	324.9	0.10
	5		90	CR IN	312.0	0.21
外側炉心	6	136	BOC	NaF	331.5	0.00
	7		168	CR IN	300.4	0.38
	8		166	CR IN	282.7	0.28

表 4.2-2 第二サイクルの流量領域毎の最大集合体出力 (1 / 4)

・初装荷炉心中途燃交無しの場合

流量領域	解析結果				
	集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	集合体出力	
				MW	
内側炉心	1	5	BOC	NaF	4.68
	2	28	BOC	NaF	4.33
	3	38	BOC	NaF	4.18
	4	71	BOC	CR IN	3.96
	5	100	BOC	CR IN	3.72
外側炉心	6	122	BOC	NaF	3.94
	7	168	BOC	CR IN	3.31
	8	182	BOC	CR IN	3.17

表 4.2-2 第二サイクルの流量領域毎の最大集合体出力 (2 / 4)

・初装荷炉心12体中途燃交の場合

流量領域		解析結果				
		集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	集合体出力	0体燃交との差
					MW	%
内側炉心	1	5	BOC	NaF	4.68	-0.05
	2	28	BOC	NaF	4.33	0.02
	3	46	BOC	NaF	4.15	-0.66
	4	71	BOC	CR IN	3.96	0.02
	5	100	BOC	CR IN	3.73	0.07
外側炉心	6	136	BOC	NaF	3.94	0.08
	7	184	BOC	CR IN	3.31	0.11
	8	182	BOC	CR IN	3.17	0.09

表4.2-2 第二サイクルの流量領域毎の最大集合体出力（3／4）

・初装荷炉心17体中途燃交の場合

流量領域		解析結果				
		集合体番号 TRIAG NREG	時期 BOC	CCR 状態	集合体出力	0体燃交との差 %
内側炉心	1		3	NaF	4.67	-0.07
	2		24	NaF	4.30	-0.65
	3		38	NaF	4.15	-0.62
	4		63	CR IN	3.96	0.06
	5		90	CR IN	3.73	0.15
外側炉心	6	122	BOC	NaF	3.94	0.15
	7		168	CR IN	3.32	0.25
	8		166	CR IN	3.18	0.20

表4.2-2 第二サイクルの流量領域毎の最大集合体出力（4／4）

・初装荷炉心24体中途燃交の場合

流量領域		解析結果				
		集合体番号 TRIAG NREG	時期 BOC	CCR 状態	集合体出力 MW	0体燃交との差 %
内側炉心	1	3	BOC	NaF	4.68	-0.04
	2	24	BOC	NaF	4.30	-0.60
	3	38	BOC	NaF	4.15	-0.60
	4	63	BOC	CR IN	3.97	0.16
	5	90	BOC	CR IN	3.73	0.26
外側炉心	6	122	BOC	NaF	3.95	0.24
	7	168	BOC	CR IN	3.32	0.39
	8	166	BOC	CR IN	3.18	0.31

表4.2-3 各制御棒挿入パターンでの制御棒価値（第二サイクル初期）

・初装荷炉心80日燃焼（中途燃交無し）／第二サイクル78体燃交の場合

CASE No.	挿入制御棒	実効増倍率	基準計算値 (%dk/kk')	評価値*1			他の評価との差 (%)	
				補正因子	ワース (%dk/kk')	ワース (%dk/kk')	設計基準組成	
							初装荷	低燃平衡
1	Naフロワー	1.03672	—	—	—	—	—	—
2	CCR 10体	0.95655	8.084	最小値	0.740	5.98	-4.8	-2.6
				標準値	0.823	6.65		
				最大値	0.958	7.74		
3	FCR 3体	1.01321	2.237	最小値	0.701	1.57	-4.2	-2.8
				標準値	0.779	1.74		
				最大値	0.958	2.14		
4	CCR&FCR One Rod Stuck (CCR 9 FCR 3)	0.94534	9.323	最小値	0.740	6.90	-4.6	-2.7
				標準値	0.823	7.67		
				最大値	0.958	8.93		
5	BCR 6体	0.89272	7.666	最小値	0.739	5.66	-5.2	-2.5
				標準値	0.869	6.66		
				最大値	1.011	7.75		

*1 制御棒2サイクル化を考慮した評価値である。

表4.2-4 制御棒必要反応度及び制御棒価値（第二サイクル初期）
 ・初装荷炉心80日燃焼（中途燃交無し）／第二サイクル78体燃交の場合

制御棒系統	主炉停止系									後備炉停止系		
	粗調整棒 10体			微調整棒 3体			ワンロット [△] スタック*1					
挿入制御棒	粗調整棒 10体	微調整棒 3体	ワンロット [△] スタック*1	ワンロット [△] スタック*2								
制御すべき反応度項目	最大値	標準値	最小値	最大値	標準値	最小値	最大値	標準値	最小値	最大値	標準値	最小値
(1)出力補償(低温0～30%出力)	0.87	0.67	0.47	-	-	-	0.87	0.67	0.47	0.87	0.67	0.47
(2)出力補償(30%～102%出力)	-	-	-	0.71	0.55	0.38	0.71	0.55	0.38	0.71	0.55	0.38
(3)燃焼補償*3	2.5	2.5	2.5	-	-	-	2.5	2.5	2.5	-	-	-
(4)炉の反応度誤差吸収	1.0	1.0	1.0	-	-	-	1.0	1.0	1.0	-	-	-
(5)運転余裕とバイト	-	-	-	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	-	-	-
(6)炉停止余裕	1.4	1.4	1.4	-	-	-	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
制御すべき反応度合計	5.77	5.57	5.37	1.01	0.85	0.68	6.78	6.42	6.05	2.98	2.62	2.25
制御棒価値評価値*4	7.74	6.65	5.98	2.14	1.74	1.57	8.93	7.67	6.90	6.31	5.42	4.61
										(7.75)	(6.66)	(5.66)

*1 粗調整棒9体、微調整棒3体

*2 粗調整棒10体挿入時

*3 高燃初装荷炉心相当の燃焼欠損分

*4 () 内の値は後備炉停止棒全数（6体）挿入時の値

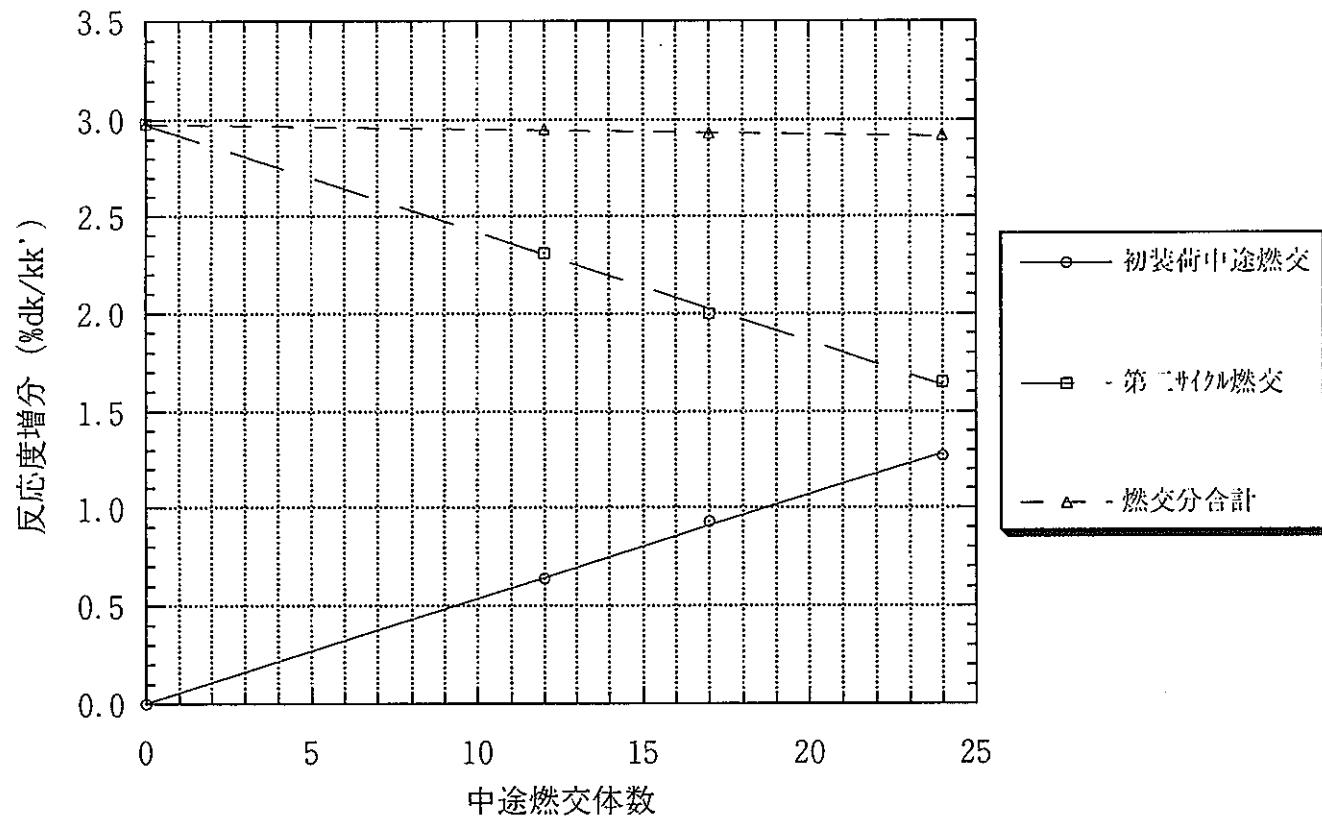


図4.2-1 初装荷炉心中途燃料交換体数と燃料交換による反応度増分

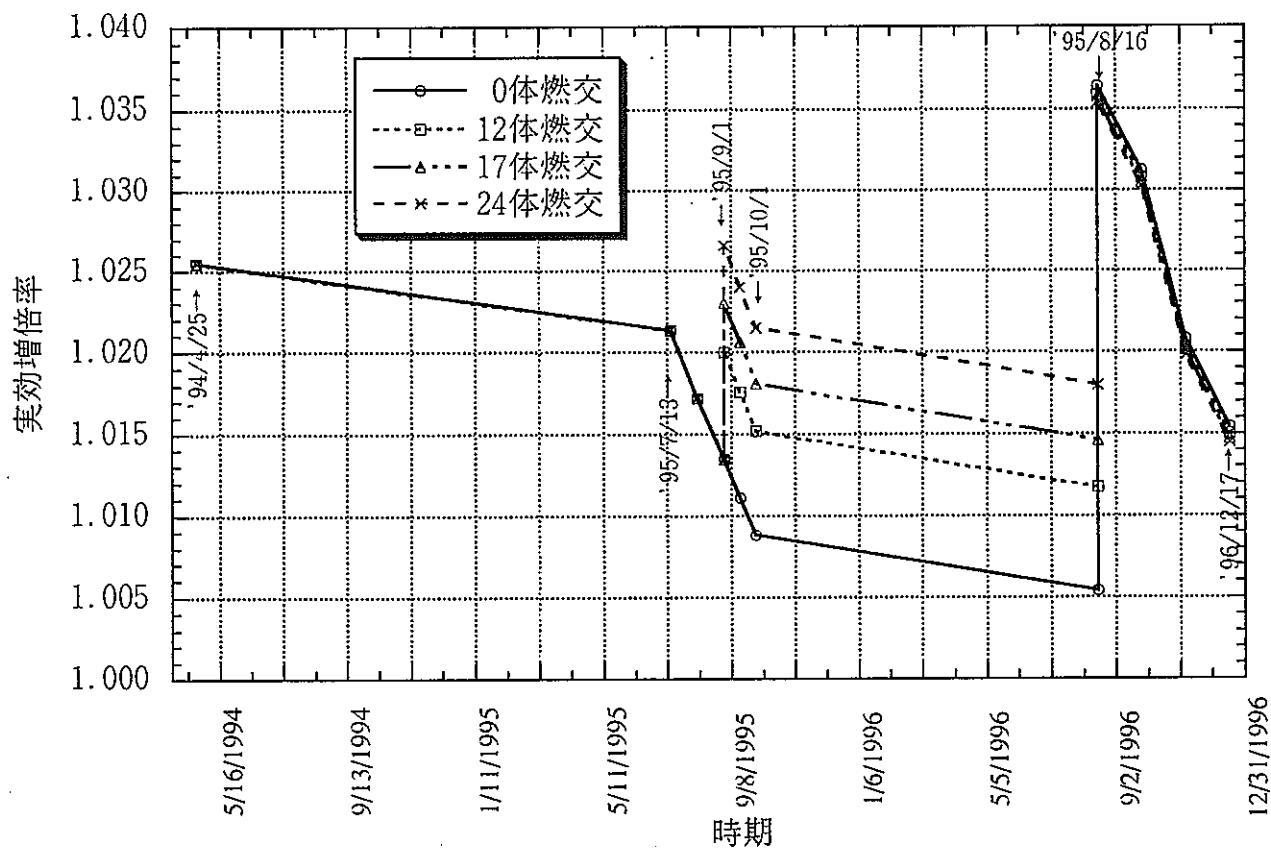


図4.2-2 初臨界時から第二サイクル末期までの実効増倍率基準計算値

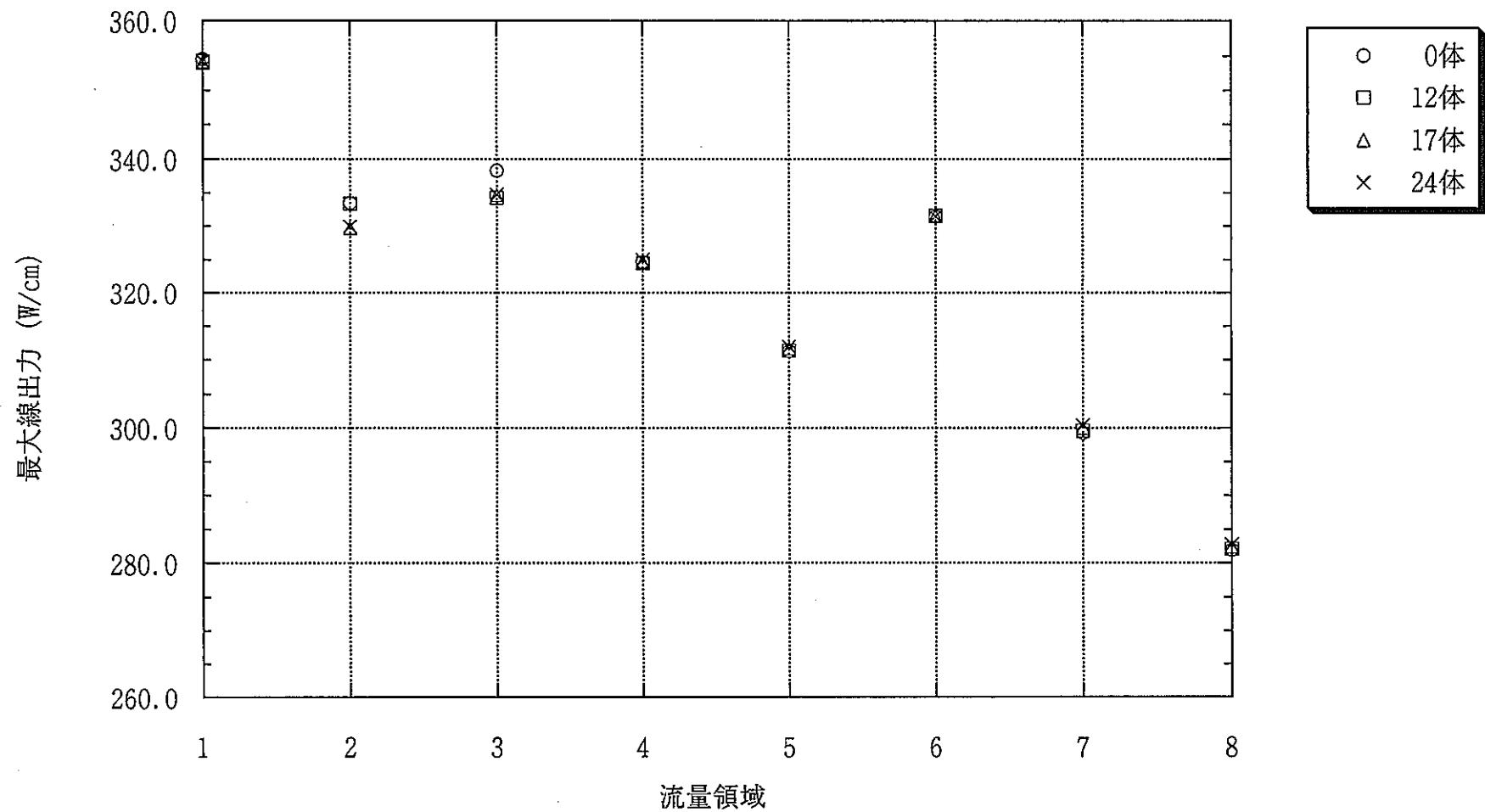


図4.2-3 第二サイクルの流量領域毎の最大線出力

5. 今後の燃料取替計画見直しのための補足データの整備

性能試験期間中の燃料交換及び第1回取替燃料のPu富化度向上に伴い、第3サイクル及び第4サイクルの炉心特性を明確化し、燃料交換計画の見直しも含めて成立性を確認する。

まず、第1回取替燃料のPu富化度向上のみの場合について検討し、次に性能試験期間中の燃料交換を想定する場合について検討する。

5.1 第3サイクル炉心以降の炉心特性評価（申請ベース）

第3サイクル炉心以降の炉心特性は初装荷炉心及び第2サイクルの運転履歴に依存するが、ここでは第1回取替燃料のPu富化度向上のみの場合について検討する。

(1) 検討方針及び解析条件

主な検討条件を以下に示す。

(a) 運転履歴

第2サイクルまでの運転履歴は第2章で検討した運転履歴と同一とする。第2サイクル以降のサイクル間の停止日数は、実機の設計条件と同じく60日とした。また、各サイクルの運転日数は123日（全出力換算）とした。

(b) 取替燃料用のPu組成

第2サイクルの取替燃料用の設計基準組成相当(²⁴¹Puの3年分の崩壊を考慮して設定)のPu組成を第3サイクル以降の取替燃料Pu組成とする。具体的な値を以下に示す。

$$\begin{array}{ccccccc} {}^{238}\text{Pu} & : & {}^{239}\text{Pu} & : & {}^{240}\text{Pu} & : & {}^{241}\text{Pu} & : & {}^{242}\text{Pu} & : & {}^{241}\text{Am} \\ = 0 & : & 58 & : & 24 & : & 12 & : & 4 & : & 2 \end{array}$$

(各サイクル起動時点での組成)

(c) 解析条件

第3サイクル以降の炉心の成立性確認のための評価項目は以下のとおりである。

- ・ 実効増倍率
- ・ 出力分布（最大線出力、集合体出力）
- ・ 集合体燃焼度

これらの解析条件は基本的に実機の基準炉心と同一であり、出力分布・燃焼計算条件を表5-1に示した。出力分布の基準計算値に表5-2に示す実機の基準炉心と同一の補正係数を適用した。この時の制御棒挿入深度も表5-3に示すように基準炉心の値と同一である。

また、2次元RZ全炉心体系及び2次元XY計算体系をそれぞれ図5-1及び図5-2に示した。

なお、定格出力運転時の実効増倍率の基準計算は以下のように行う。

- ①炉心体系寸法は20℃製作時寸法を用いる。(膨張効果は補正で取り入れる。)
- ②燃料、構造材の密度も20℃のものを用いる。
- ③燃料のドップラ温度は、定格運転時の燃料温度を用いる。
- ④実効増倍率の計算には、2次元三角メッシュ6群拡散計算を用いる。
このようにして得られた基準計算値に各種補正を施す。

(d) 実効増倍率の目標値

性能試験結果を反映して設計手法での実効増倍率の目標値を見直して設定する。

ケース1：第2サイクルと同様な考え方とし、初期及び末期の実効増倍率の目標値は以下の値とした。

初期：1.0370

末期：1.0154

ケース2：可能な限り高めの値を設定するとして、初期及び末期の実効増倍率の目標値は表5-4に示したように以下の値とした。

初期：1.046

末期：1.017

(e) 燃料交換パターン

第2サイクルの燃料交換パターンは図5-3に示すように従来の設工認申請ベースのものであり、これは実機の基準炉心で標準パターンとして設定したものと同一である。

そこで、第3サイクル及び第4サイクルの燃料交換パターンも図5-4～5に示したように実機の基準炉心で標準パターンとして設定したものを基本的に用いる。また、参考のために第5サイクルの燃料交換パターンを図5-6に示した。

(2) 検討結果

(a) 実効増倍率

ケース1の内側炉心及び外側炉心のPu富化度(Pufiss/(Pu+U) wt%)は、それぞれ15.4及び20.8である。このPu富化度に対する第3サイクル及び第4サイクルの初期並びに末期の実効増倍率は表5-5に示したように以下のとおりであり、実効増倍率の目標値を満足している。

サイクル	実効増倍率	
	初期	末期
3	1.0375	1.0160
4	1.0369	1.0153

ケース 2 の内側炉心及び外側炉心の Pu 富化度(Pufiss/(Pu+U) wt%)は、それぞれ15.8及び21.3である。このPu富化度に対する第3サイクル及び第4サイクルの初期並びに末期の実効増倍率は表5-5に示したように以下のとおりであり、実効増倍率の目標値を満足している。

サイクル	実効増倍率	
	初期	末期
3	1.0420	1.0203
4	1.0447	1.0225

(b)出力分布

ケース 1 の流量領域毎の最大線出力及び最大集合体出力を表 5-6 及び表 5-7 に示した。これらの表には最大線出力と最大集合体出力から評価した燃料温度及び被覆管温度を示した。

これらの表から燃料温度は約2240°Cであり、制限温度2350°Cを十分満足して、被覆管温度は約665°Cであり、制限温度675°Cを十分満足している。

(c)燃焼度

実機の基準炉心において移行・平衡炉心で燃焼度の制限値を超える恐れのある集合体は第2層にある集合体番号 7, 11, 15 である。なお、第1層にある集合体は中心制御棒により出力が抑えられる傾向がある。

ケース 1 では第2サイクルで装荷された燃料集合体は従来の実機設計に比較して表5-8に示すように約3%程度出力が高く、従って燃焼度も高くなつており、集合体最大燃焼度の制限値を超える。

ケース 2 でも第2サイクルで装荷された燃料集合体は従来の実機設計に比較して表5-9に示すように第3サイクル以降で約2%程度出力が高く、従つて燃焼度も高くなつており、集合体最大燃焼度の制限値を超える。

ただし、これらの両ケースでの第5サイクルでの燃焼に伴う集合体出力の低減割合は基準炉心と同一と想定して推定した。

(d)燃焼度低減策の検討

第2サイクルに装荷した集合体は初装荷炉心燃料が臨界遅れのため反応度が劣化しており、その分だけ第2サイクルに装荷した集合体の出力が高くなつており、その傾向が第4サイクルまで継続するので、Pu富化度だけでの対策では第2層の集合体の燃焼度を低減することは困難である。

そこで、燃料交換パターンを検討した結果から、第4サイクルの初期に図 5-7 に示すような集合体番号 7, 11, 15 の集合体を交換することが実効増倍率及び出力分布の観点から燃焼度低減策として可能性があることがわ

かった。

第4サイクルの燃料交換パターンとして、集合体番号7, 11, 15を追加して交換するパターンを選定して検討した。その結果から、実効増倍率、集合体出力及び燃焼度は以下のようにになることがわかった。

実効増倍率の増加： +0.14% $\Delta k/kk'$

燃料寿命初期の出力： -0.18MW(-約4%)

燃焼度 : -0.16MWd/t(-約3%)

更に、集合体番号7, 11, 15の集合体燃焼度の比較を表5-10に示した。

したがって、図5-7に示す第4サイクルの燃料交換パターンを採用すれば設計値を満足する取替炉心が設定できることがわかった。

5.2 性能試験期間中に燃料交換した後の第3サイクル炉心以降の炉心特性評価

第3サイクル炉心以降の炉心特性は初装荷炉心及び第2サイクルの運転履歴に依存するが、ここでは性能試験期間中に燃料交換(24体)を実施した場合を想定して検討した。

(1) 検討方針及び解析条件

検討方針及び解析条件は5.1節と同一である。

(2) 検討結果

性能試験期間中に燃料交換し、30日(全出力換算)燃焼し、第2サイクル初期に残りの燃料交換をした場合の出力分布への影響は第2章で検討したように1%以下であり、また、実効増倍率への影響は-0.1% $\Delta k/kk'$ であり、ほぼ無視できる。ただし、性能試験期間中に装荷する集合体は線出力制限の観点から炉心中心付近に装荷できないので、集合体最大燃焼度は5.1節と同じ結論になることがわかった。

したがって、性能試験期間中に燃料交換する影響はほぼ第2サイクルで影響が無視できるようになるので、第3サイクル以降の炉心特性への影響はほとんどなく、性能試験期間中の燃料交換が無い場合の検討結果を適用できる。

5.3 第3サイクルおよび第4サイクル炉心の成立性確認

性能試験の結果を反映すると、現状で約-0.7% $\Delta k/kk'$ の補正を施す必要があり、今後不測の事態を想定して可能な限りPu富化度を高めて実効増倍率を約0.9% $\Delta k/kk'$ 程高め、誤差を考慮しても過剰反応度は制限値を超えない可能性がある。したがって、初装荷炉心の性能試験結果を反映して今後の炉心に反映する必要がある。

また、第2サイクルで装荷した従来よりPu富化度が高い燃料は初装荷炉心

燃料のほぼ大半が取り出されるまでは出力が高くなり、集合体燃焼度の一部が制限値を超える可能性があるので、燃料交換パターンの一部を変更する必要がある。

今回得られた燃料交換パターンは第4サイクルに従来想定していた交換本数を3体超える結果になっているので、性能試験結果を更に反映して交換本数が増加するかどうか詳細検討する必要がある。

表5-1 出力分布・燃焼計算条件

	項目	2次元RZ計算	2次元XY計算
(a) 計算体系 燃 燒 計 算	炉心 + プランケット 出力	全サイクル710MWt	2DRZ計算により、炉心高さ相当部の出力を燃焼ステップ毎に求めて使用
	計算コード	図5-1参照 2DBURN	図5-2参照 TRIANGLE(三角メッシュ拡散コード)
	エネルギー群数	6群	6群
	制御棒状態 (各制御棒の軸方向位置は完全に揃っているとする)	表5-3参照 <ul style="list-style-type: none"> ・粗調整棒 <ul style="list-style-type: none"> 1) BOC: 炉心上端より 34.0cm挿入 2) MOC: 炉心上端より 21.5cm挿入 3) EOC: 炉心上端より 13.5cm引抜 ・微調整棒 炉心上端より17.0cm挿入 ・後備炉停止棒 上部軸方向グリット上端より13.0cm挿入 	表5-3参照 <ul style="list-style-type: none"> ・粗調整棒 <ul style="list-style-type: none"> 1) BOC: 中途挿入 2) MOC: 中途挿入 3) EOC: 全引抜 ・微調整棒 中途挿入 ・後備炉停止棒 全引抜
	軸方向バックリング	<使用せず>	2DRZ計算より、燃焼ステップ毎に、炉心高さのバックリングを求めて使用。
	制御棒状態	表5-3に示す	表5-3に示す
	その他	上記(a)と同じ	上記(a)と同じ
(b) 出力分布計算	出力補正係数	XY, RZ 計算の合成により得られた集合体出力に対してE/C 補正を行う。半径方向プランケットに対しては更に表5-2に示す補正を加える。	

表5-2 出力計算に対する補正

項目	計算法
1) 燃焼領域の粗さに対する補正	1次元26群拡散・燃焼計算。 2次元の燃焼領域と等しい領域分割計算と、これより3倍細かい領域分割計算による、径方向プランケット出力分布の補正。 初装荷炉心末期と平衡BOC, EOC 別々に実施。
2) γ -heatingに対する補正	2次元 γ 輸送計算。（中性子6群、 γ 線16群） 2次元拡散計算と、 γ 線の輸送を考慮した出力分布を比較し、 径方向プランケット出力を補正。初装荷炉心と平衡炉心のBOC とEOCで実施。

表5-3 制御棒挿入深度

時 期		制御棒挿入割合 ^{*1} (%)			制御棒挿入深度 ^{*2}					
					RZ体系(cm)			XY体系(%)		
		CCR	FCR	BCR	CCR	FCR	BCR	CCR	FCR	BCR
出力分布評価用	BOC	C/R out	0.0	0.0	0.0	(Naフォロワ)	(Naフォロワ)	(Naフォロワ)	(Naフォロワ)	(Naフォロワ)
		C/R in	50.0	16.5	0.0	43.0	20.0	-17.0	32.6	12.0
	EOC		0.0	13.1	0.0	-13.5	20.0	-17.0	(Naフォロワ)	12.0
燃焼計算用	BOC～1/4サイクル		35.8	13.1	0.0	34.0	17.0	-17.0	22.5	10.0
	(1/4～3/4)サイクル		17.9	13.1	0.0	21.5	17.0	-17.0	11.5	10.0
	3/4サイクル～EOC		0.0	13.1	0.0	-13.5	17.0	-17.0	(Naフォロワ)	10.0

* 1 全挿入時を 100%とした相対値。制御棒価値に対する必要反応度の比から得る。

* 2 RZ体系では炉心上端からの距離で表示。XY体系では、RZ体系の挿入深度に対応する C/Rの組成を CRP組成 (Naフォロワ組成) に対する混合率で表示。

表5-4 もんじゅ第三サイクル以降の実効増倍率目標値

時期	サイクル初期		サイクル末期	
評価対象状態	低温零出力		高温全出力	
補正 ((1)+(2)+(3)+(4)+(5))	補正值 0.81	誤差 +0.37 -0.37	補正值 -1.19	誤差 +0.48 -0.47
過剰反応度 (最大値)	5.60 %dk/kk'		0.95 %dk/kk'	
(最確値)	5.23 %dk/kk'		0.47 %dk/kk'	
(最小値)	4.86 %dk/kk'		0.00 %dk/kk'	
基準計算での実効増倍率目標値	1.0462 以下		1.0169 以上	
反応度目標値	4.42 %dk/kk' 以下		1.66 %dk/kk' 以上	
	補正值	誤差	補正值	誤差
メッシュ効果	-0.09	—	-0.09	—
群縮約補正	-0.08	—	-0.08	—
輸送理論補正	0.17	—	0.17	—
E/C補正	0.10	—	0.10	—
実験との組成差	-0.10	—	-0.10	—
フォロワース実験補正	0.49	—	0.49	—
実験との体系差	—	—	—	—
実験との温度差 (トップラ)	—	—	—	—
等価フイツイル法の予測誤差	—	+0.20 -0.20	—	+0.20 -0.20
(1) 設計補正・小計	0.49	+0.20 -0.20	0.49	+0.20 -0.20
炉心膨張効果 (20°C→180°C)	-0.19	±0.06	—	—
(20°C→定格)	—	—	-0.69	±0.21
トップラ・Na温度 (定格→180°C)	0.89	—	—	—
(2) 温度補正・小計	0.70	±0.06	-0.69	±0.21
熱湾曲反応度	—	—	0.09	+0.09 -0.05
スエリング・クリーフによる湾曲反応度	0.01	+0.03 -0.02	0.03	+0.06 -0.04
集合体非均質効果	0.30	±0.20	0.30	±0.20
239Np効果	—	—	-0.10	—
燃料製作公差	0.00	±0.12	0.00	±0.12
(3) 設計外評価項目・小計	0.31	+0.23 -0.23	0.32	+0.26 -0.24
運転余裕及びバイト (FCR)	—	—	-0.30	—
燃焼欠損反応度補正	—	—	—	±0.21
CCR・BCRの残留反応度	—	—	-0.12	—
定検遅れ	—	—	—	—
(4) その他・小計	—	—	-0.42	±0.21
(5) SST結果の反映	-0.69	±0.20	-0.89	±0.20

表 5-5 各サイクル (NaF) の実効増倍率

	サイクル番号	3	4	5
	基準炉心	1. 0327 1. 0108	1. 0328 1. 0110	1. 0330 1. 0102
ケース 1	取替燃料 富化度*1 15.4/20.8	1. 0375 1. 0160	1. 0368 1. 0153	---
ケース 2	取替燃料 富化度 15.8/21.3	1. 0420 1. 0202	1. 0447 1. 0224	1. 0450 1. 0225
* 2	取替燃料 富化度 15.8/21.3	1. 0420 1. 0202	1. 0461 1. 0237	1. 0462 1. 0238

* 1 : Pu 富化度 : ($Pu_{fiss}/(Pu+U)$) w%

* 2 : 第4サイクルで集合体番号 7、11、15を交換。

注：上段 サイクル初期

下段 サイクル末期

ケース1 Pu富化度 15.4, 20.8 wt%

表5-6(a) 第三サイクルの流量領域毎の最大線出力

流量領域		解析結果			
		集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	最大線出力 W/cm
内側炉心	1	6	BOC	NaF	339.8
	2	29	BOC	CR IN	322.1
	3	54	BOC	CR IN	317.9
	4	71	BOC	CR IN	306.8
	5	90	BOC	CR IN	293.8
外側炉心	6	138	BOC	CR IN	341.6
	7	183	BOC	CR IN	288.3
	8	189	BOC	CR IN	264.7

ケース1 Pu富化度 15.4, 20.8 wt%

表5-6(b) 第三サイクルの流量領域毎の最大集合体出力

流量領域		解析結果			
		集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	集合体出力 W/cm
内側炉心	1	5	BOC	NaF	4.52
	2	29	BOC	NaF	4.24
	3	54	BOC	NaF	4.02
	4	71	BOC	CR IN	3.81
	5	100	BOC	CR IN	3.59
外側炉心	6	138	BOC	CR IN	4.03
	7	183	BOC	CR IN	3.23
	8	181	BOC	CR IN	2.97

ケース1 Pu富化度 15.4, 20.8 wt%

表5-7(a) 第四サイクルの流量領域毎の最大線出力

流量領域		解析結果			
		集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	最大線出力 W/cm
内側炉心	1	17	BOC	NaF	326.9
	2	30	BOC	CR IN	328.4
	3	47	BOC	CR IN	322.8
	4	77	BOC	CR IN	296.5
	5	101	BOC	CR IN	291.8
外側炉心	6	137	BOC	CR IN	339.6
	7	185	BOC	CR IN	284.3
	8	190	BOC	CR IN	273.8

5-12

ケース1 Pu富化度 15.4, 20.8wt%

表5-7(b) 第四サイクルの流量領域毎の最大集合体出力

流量領域		解析結果			
		集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	集合体出力 W/cm
内側炉心	1	17	BOC	NaF	4.35
	2	30	BOC	NaF	4.14
	3	51	BOC	NaF	4.04
	4	71	BOC	CR IN	3.71
	5	100	BOC	CR IN	3.51
外側炉心	6	137	BOC	CR IN	4.03
	7	185	BOC	CR IN	3.14
	8	190	BOC	CR IN	3.10

表5-8 集合体燃焼度比較 (Pu富化度 15.4/20.8 PuFiss Metal W%)

集合体出力及び燃焼度 (集合体番号7)

サイクル番号	2		3		4		5	
	基準炉心	今回	基準炉心	今回	基準炉心	今回	基準炉心	今回
集合体出力(MW)								(推定)
初期	4.44	4.59	4.28	4.40	4.12	4.23	4.05	4.14
末期	4.35	4.47	4.20	4.30	4.06	4.15	3.99	4.07
燃焼度(*E+4 MWd/t)								
サイクル毎	1.73	1.78	1.65	1.69	1.56	1.60	1.48	1.51
履歴	1.73	1.78	3.38	3.47	4.94	5.07	6.42	6.58

集合体出力及び燃焼度 (集合体番号11)

サイクル番号	2		3		4		5	
	基準炉心	今回	基準炉心	今回	基準炉心	今回	基準炉心	今回
集合体出力(MW)								(推定)
初期	4.44	4.57	4.27	4.39	4.12	4.23	4.05	4.14
末期	4.35	4.46	4.19	4.29	4.05	4.15	3.98	4.07
燃焼度(*E+4 MWd/t)								
サイクル毎	1.73	1.78	1.65	1.69	1.56	1.60	1.48	1.51
履歴	1.73	1.78	3.38	3.47	4.94	5.07	6.42	6.58

集合体出力及び燃焼度 (集合体番号15)

サイクル番号	2		3		4		5	
	基準炉心	今回	基準炉心	今回	基準炉心	今回	基準炉心	今回
集合体出力(MW)								(推定)
初期	4.45	4.60	4.28	4.40	4.12	4.23	4.04	4.14
末期	4.36	4.49	4.20	4.30	4.06	4.15	3.98	4.07
燃焼度(*E+4 MWd/t)								
サイクル毎	1.74	1.80	1.64	1.68	1.56	1.60	1.48	1.52
履歴	1.74	1.80	3.38	3.48	4.94	5.08	6.42	6.60

表5-9 集合体燃焼度比較 (Pu富化度 15.8/21.3 PuFiss Metal W%)

集合体出力及び燃焼度(集合体番号7)

サイクル番号	2		3		4		5	
	基準炉心	今回	基準炉心	今回	基準炉心	今回	基準炉心	今回
集合体出力(MW)								
初期	4.44	4.59	4.28	4.37	4.12	4.19	4.05	4.10
末期	4.35	4.47	4.20	4.27	4.06	4.11	3.99	4.03
燃焼度(*E+4 MWd/t)								
サイクル毎 履歴	1.73	1.78	1.65	1.68	1.56	1.58	1.48	1.50
	1.73	1.78	3.38	3.46	4.94	5.04	6.42	6.54

集合体出力及び燃焼度(集合体番号11)

サイクル番号	2		3		4		5	
	基準炉心	今回	基準炉心	今回	基準炉心	今回	基準炉心	今回
集合体出力(MW)								
初期	4.44	4.57	4.27	4.37	4.12	4.18	4.05	4.10
末期	4.35	4.46	4.19	4.27	4.05	4.10	3.98	4.03
燃焼度(*E+4 MWd/t)								
サイクル毎 履歴	1.73	1.78	1.65	1.69	1.56	1.58	1.48	1.50
	1.73	1.78	3.38	3.46	4.94	5.04	6.42	6.54

集合体出力及び燃焼度(集合体番号15)

サイクル番号	2		3		4		5	
	基準炉心	今回	基準炉心	今回	基準炉心	今回	基準炉心	今回
集合体出力(MW)								
初期	4.45	4.60	4.28	4.37	4.12	4.19	4.04	4.09
末期	4.36	4.49	4.20	4.27	4.06	4.11	3.98	4.02
燃焼度(*E+4 MWd/t)								
サイクル毎 履歴	1.74	1.80	1.64	1.67	1.56	1.58	1.48	1.50
	1.74	1.80	3.38	3.47	4.94	5.05	6.42	6.55

表5-10 集合体燃焼度比較（第4サイクルで集合体番号7、11、15交換）
 (Pu富化度 15.8/21.3 PuFiss Metal W%)

集合体出力及び燃焼度（集合体番号7）

サイクル番号	4		5	
	基準炉心	今回	基準炉心	今回
集合体出力(MW)	(第2サイクル)		(第3サイクル)	
初期	4.44	4.41	4.28	4.29
末期	4.35	4.32	4.20	4.21
燃焼度(*E+4MWd/t)				
サイクル毎	1.73	1.72	1.65	1.65
履歴	1.73	1.72	3.38	3.37

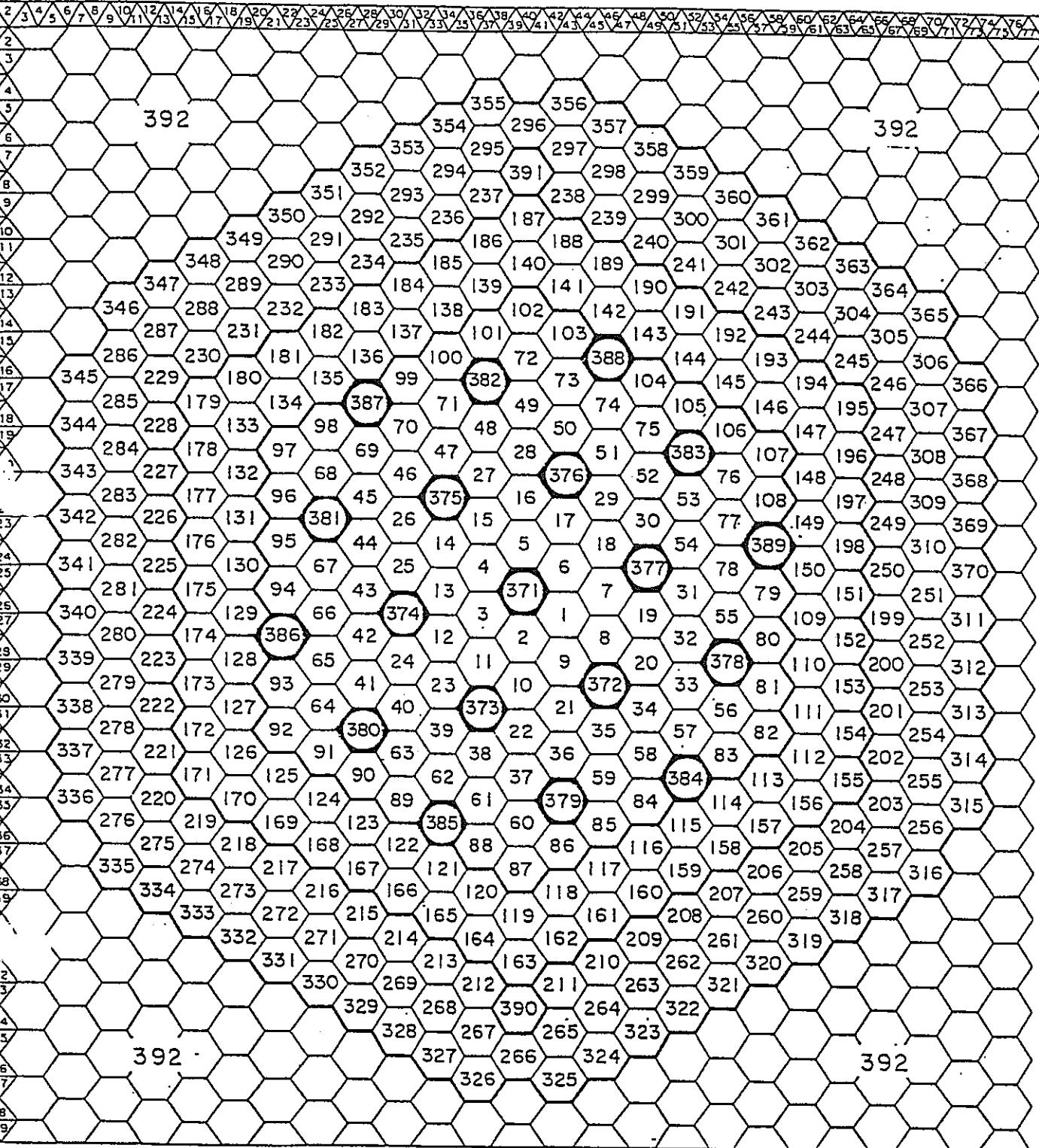
集合体出力及び燃焼度（集合体番号11）

サイクル番号	4		5	
	基準炉心	今回	基準炉心	今回
集合体出力(MW)	(第2サイクル)		(第3サイクル)	
初期	4.44	4.41	4.27	4.29
末期	4.35	4.32	4.19	4.21
燃焼度(*E+4MWd/t)				
サイクル毎	1.73	1.72	1.65	1.66
履歴	1.73	1.72	3.38	3.38

集合体出力及び燃焼度（集合体番号15）

サイクル番号	4		5	
	基準炉心	今回	基準炉心	今回
集合体出力(MW)	(第2サイクル)		(第3サイクル)	
初期	4.45	4.41	4.28	4.29
末期	4.36	4.32	4.20	4.21
燃焼度(*E+4MWd/t)				
サイクル毎	1.74	1.72	1.64	1.64
履歴	1.74	1.72	3.38	3.37

図5-1 2次元RZ全炉心体系



1 - 108	内側炉心	371, 376, 372, 374, 387	粗調整棒
99 - 198	外側炉心	388, 389, 384, 385, 386	
99 - 370	半径方向ブランケット	379, 381, 383	微調整棒
2	中性子しゃへい体	375, 377, 373, 382, 378 380 390, 391	
			後備炉停止棒
			中性子源 (半径方向ブランケット)

図5-2 2次元XY3角全炉心体系

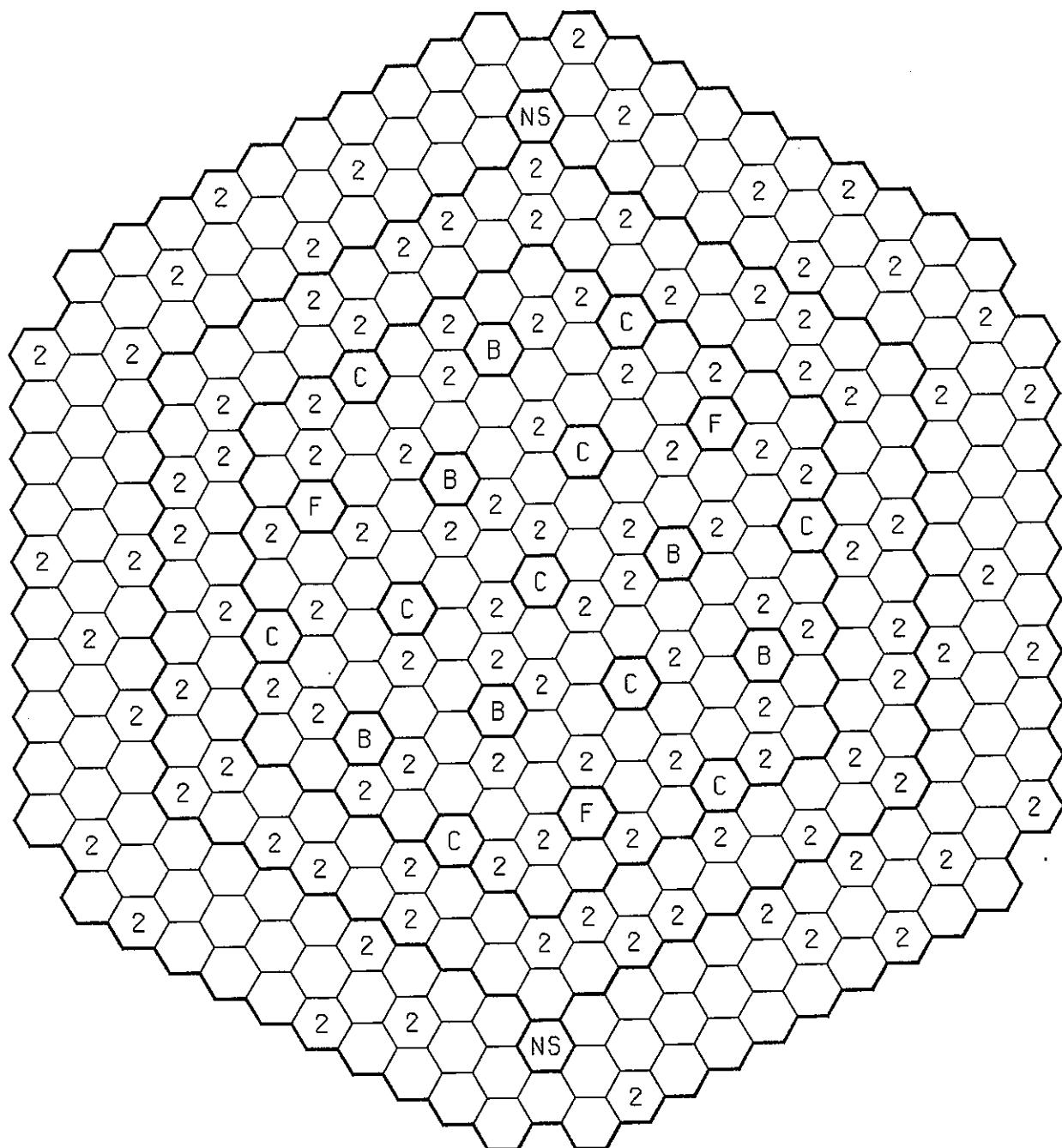


図5－3 第1回燃料交換位置（第2サイクル）

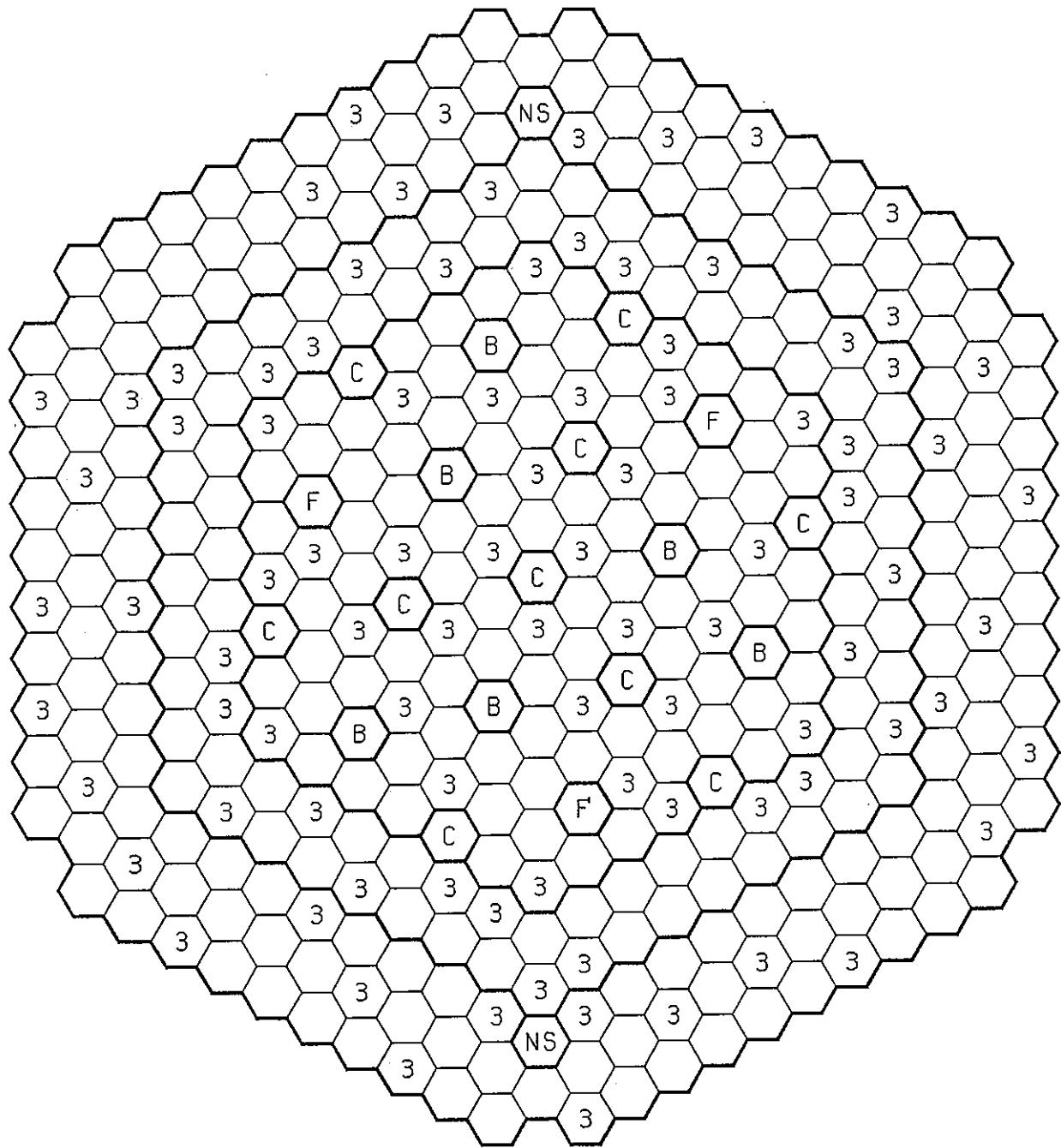


図5-4 第2回燃料交換位置（第3サイクル）

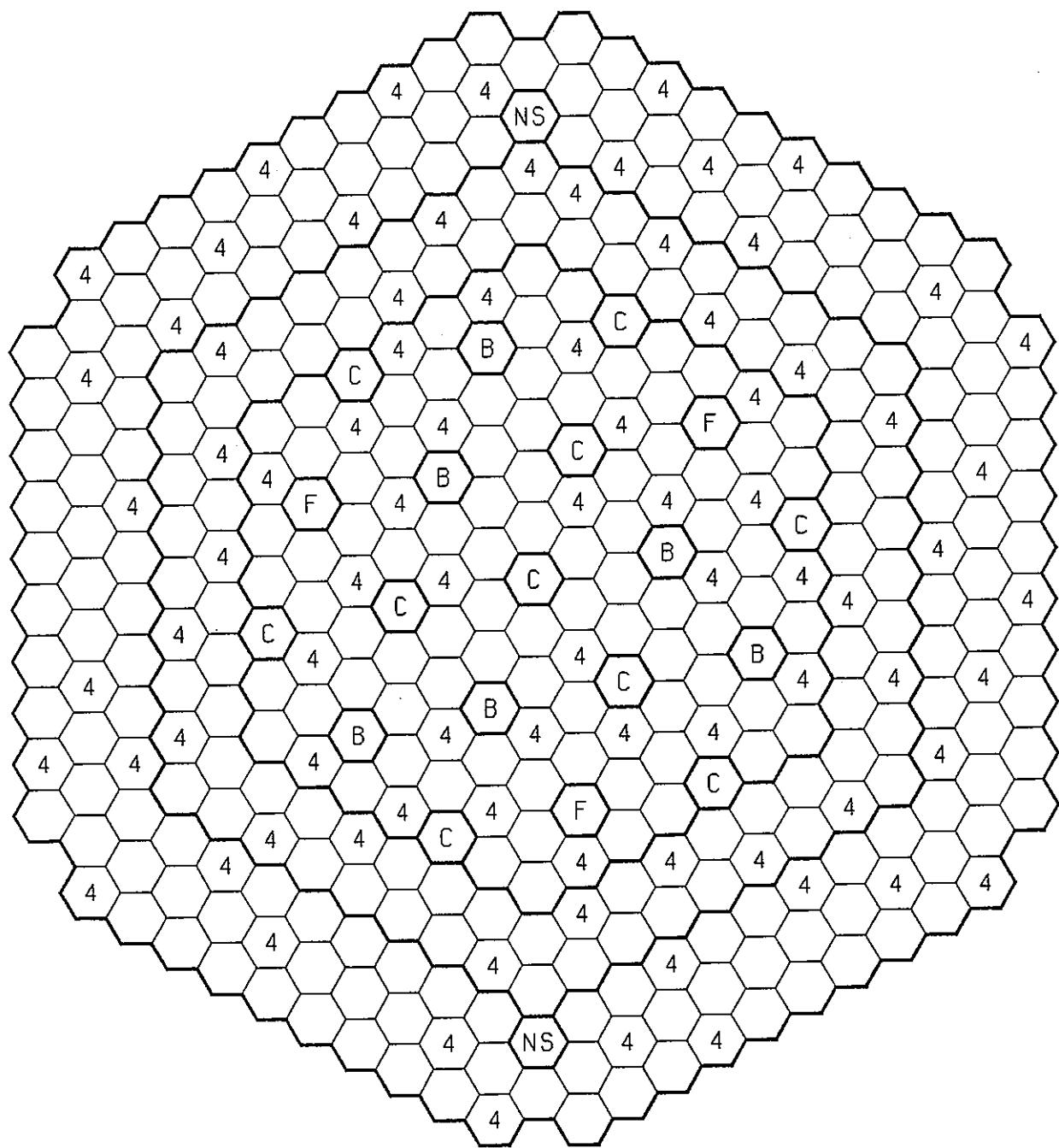


図5-5 第3回燃料交換位置（第4サイクル）

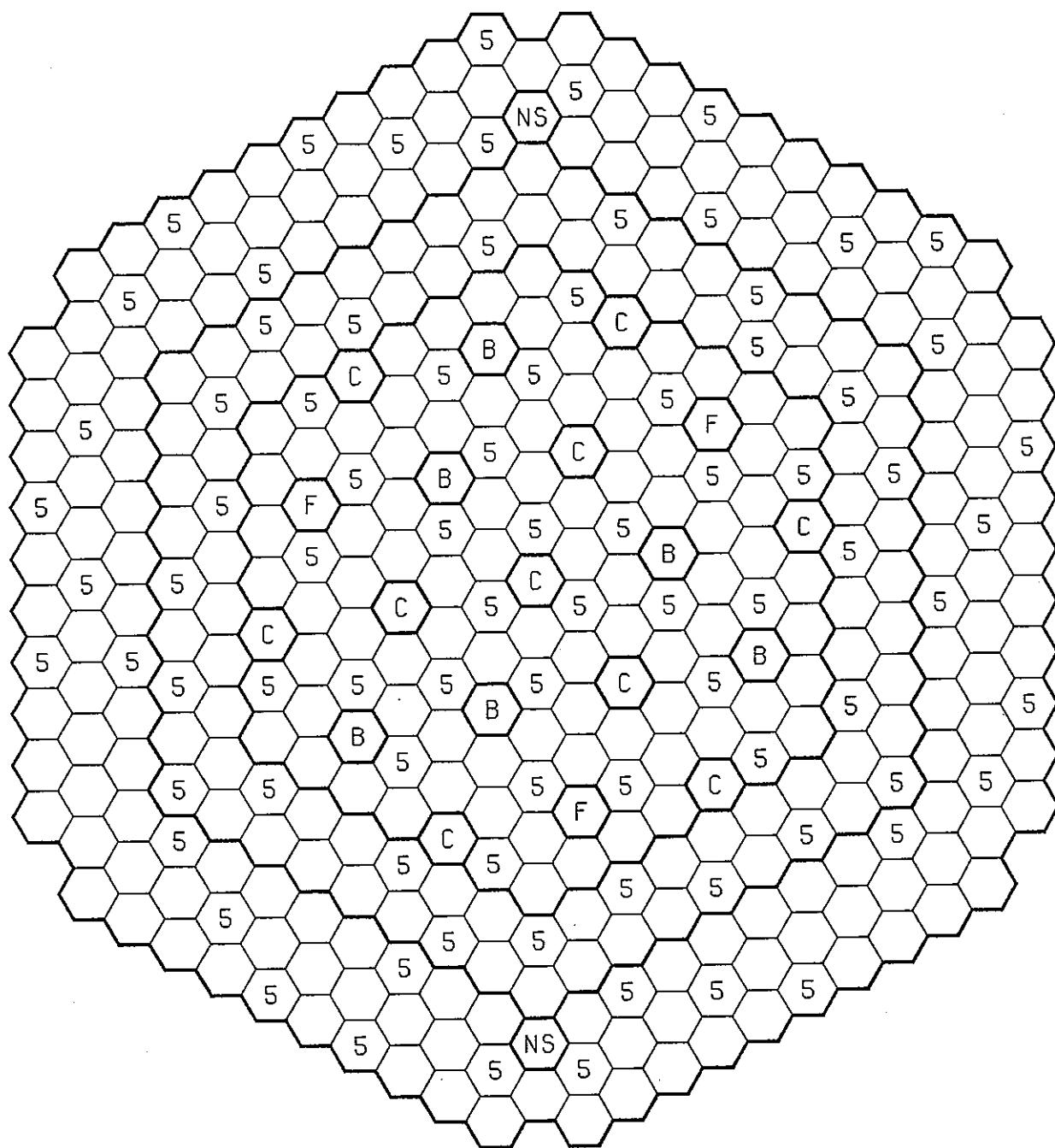


図5-6 第4回燃料交換位置（第5サイクル）

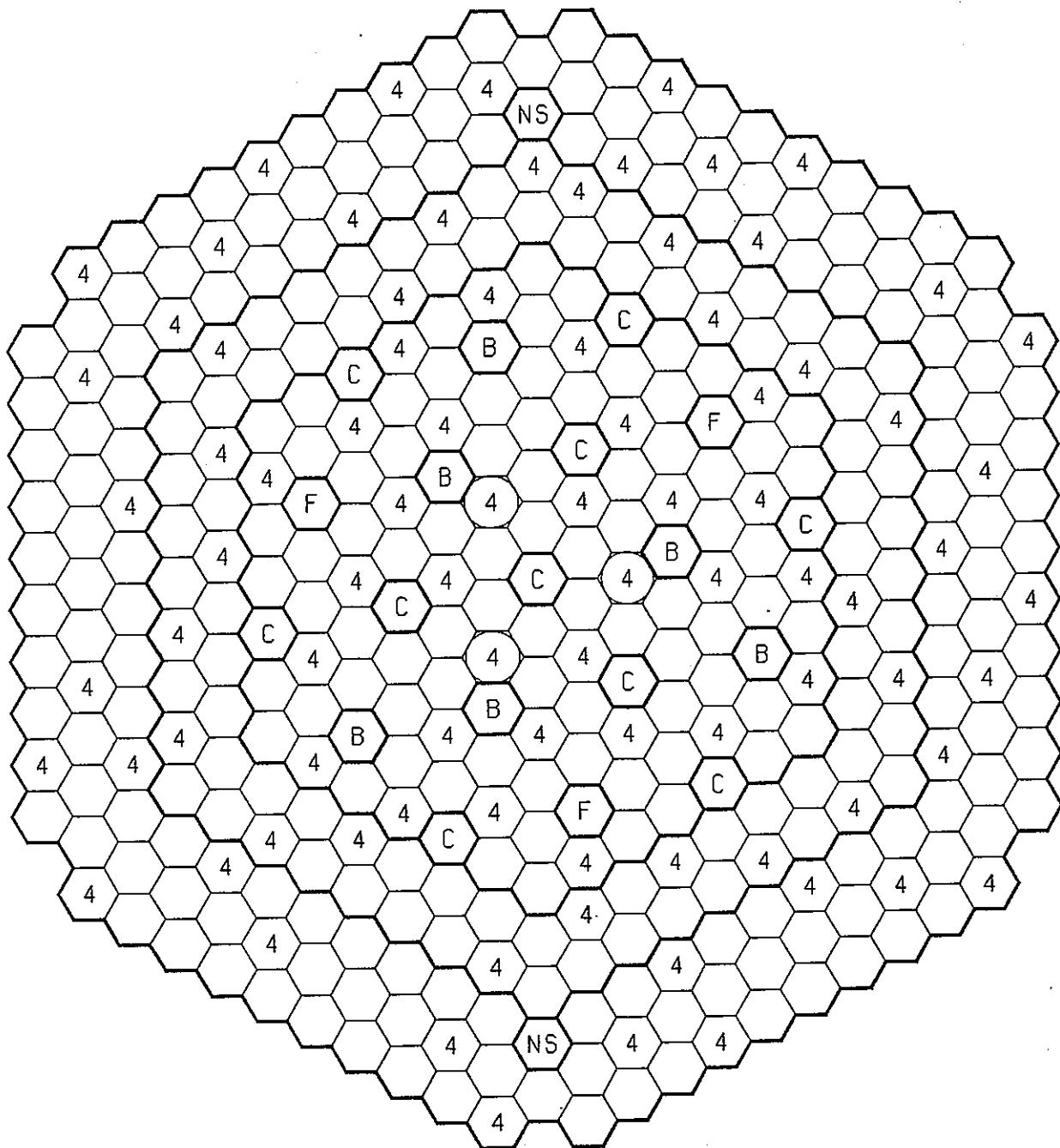


図5-7 第3回燃料交換位置変更案（第4サイクル）

6. まとめ

もんじゅの燃料製造実績及び性能試験結果を反映し、炉心の運転計画の見直しを考慮した炉心特性評価並びに燃料特性評価を実施した。評価検討の結果、以下の成果が得られた。

(1) 初装荷炉心の運転日数増加策の検討

現状で考えられる性能試験期間中の100%出力運転日数50日に対して、必要運転日数が80日であることから運転日数増加策の検討を行い、第二サイクルでの第一回取替燃料の内、内側炉心約12体初装荷炉心で燃料交換することによりほぼ所定の運転日数が確保できる見通しを得た。また、燃交体数を最大24体まで増加させた場合についても核特性上成立性を確認した。

(2) 初装荷炉心中途燃料交換した場合の第二サイクル炉心核特性評価

初装荷炉心での中途燃交体数をパラメータとして残りの取替燃料を交換した第二サイクルでの炉心特性を評価し、その成立性を確認した。

また、(1)及び(2)の検討結果から第一回取替燃料のPu富化度として、

内側炉心・・・16.0fiss Pu wt%

外側炉心・・・21.0fiss Pu wt%

を選定し、炉心特性評価を行って設工認変更申請のための基礎データを作成した。

(3) 热特性評価

初装荷中途燃交体数を変えた炉心について熱特性評価を行った。その結果、一部ケースで被覆管最高温度が676°Cとなるものの、他のケースでの燃料最高温度は2322°C、被覆管最高温度は673°Cであり、熱的制限値を満足することを確認した。

また、従来設計から設計進歩及び製造実績を反映した工学的安全係数を再整理し、燃料及び被覆管の最高温度への影響を検討した。従来正規分布を仮定していたものを製造実績を踏まえ一様分布とした場合でも、従来設計からの見直し、保守性の削減により、燃料温度で約9°C、被覆管温度で約1°Cの温度上昇に留まった。

(4) 今後の燃料取替計画見直しのための基本データの整備

今後策定される第二サイクルまでの運転計画で、初装荷炉心での中途燃交体数等の決定等に資するため、初装荷中途燃交後及び第二サイクル炉心特性基本データを、変更された設工認ベースで整備した。

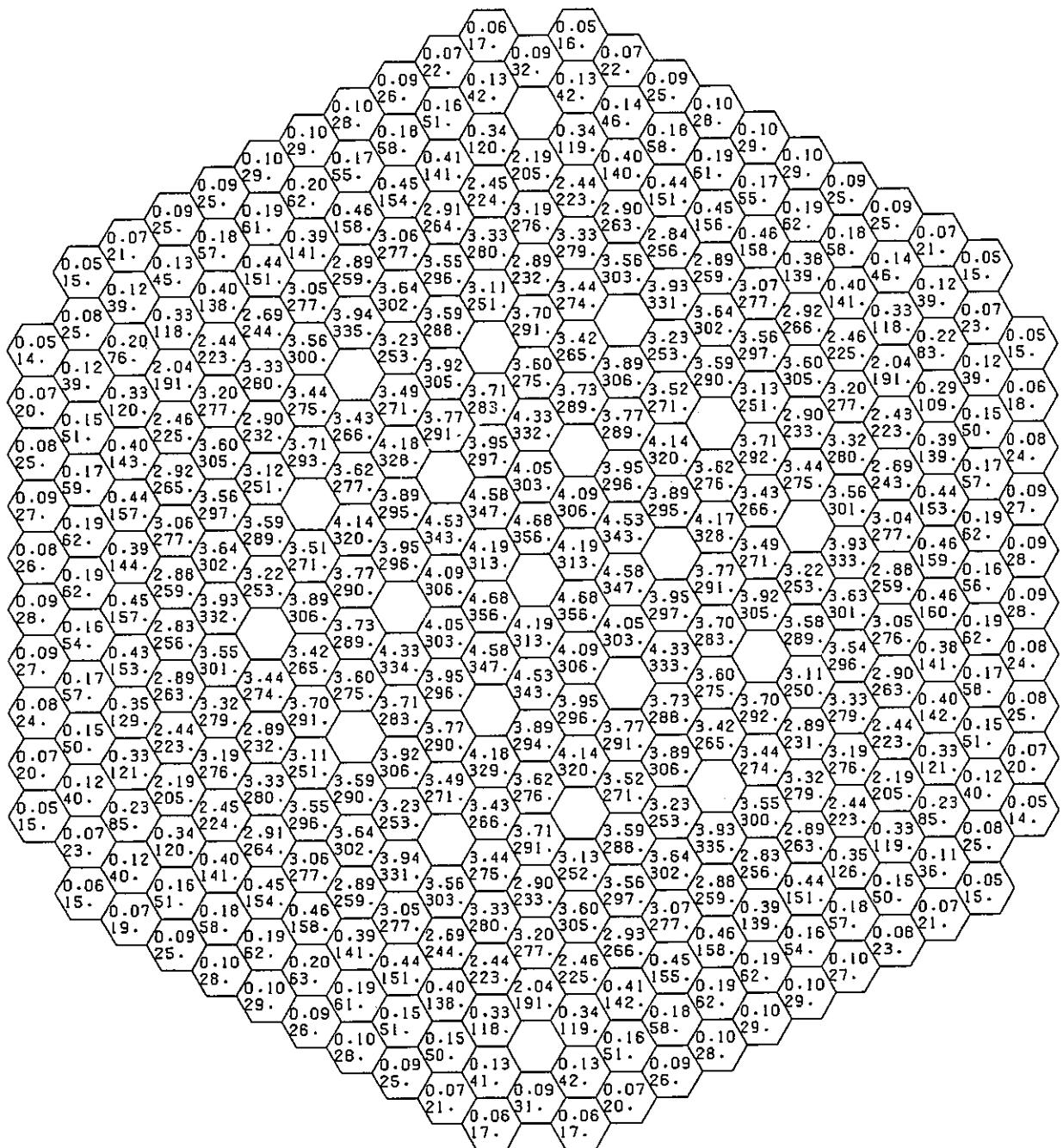
付録A 設工認資料（案）

(1) 炉心の核熱設計に関する説明書

- ・第6-1図 取替炉心サイクル初期の出力分布例（粗調整棒引抜状態）
- ・第6-2図 取替炉心サイクル初期の出力分布例（粗調整棒挿入状態）
- ・第6-3図 取替炉心サイクル末期の出力分布例（粗調整棒引抜状態）

(2) プルトニウム富化度についての説明書

- ・第2表 等価フィッサイル富化度及び核分裂性プルトニウム富化度の評価結果

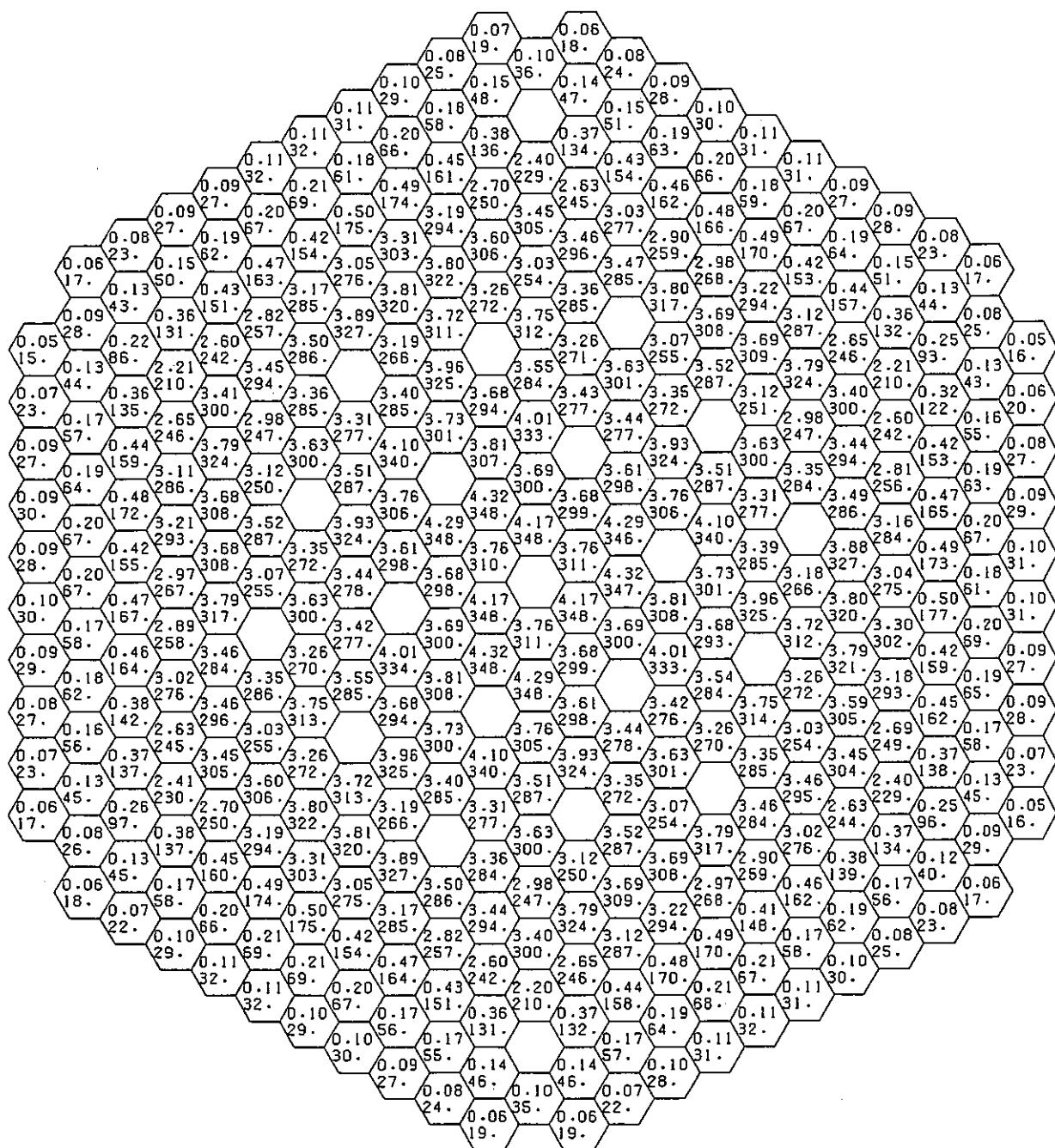


上段：燃料集合体出力 (MW)

下段：最高線出力密度 (W/cm)

第6-1図 取替炉心サイクル初期の出力分布例

〔粗調整棒引抜状態〕

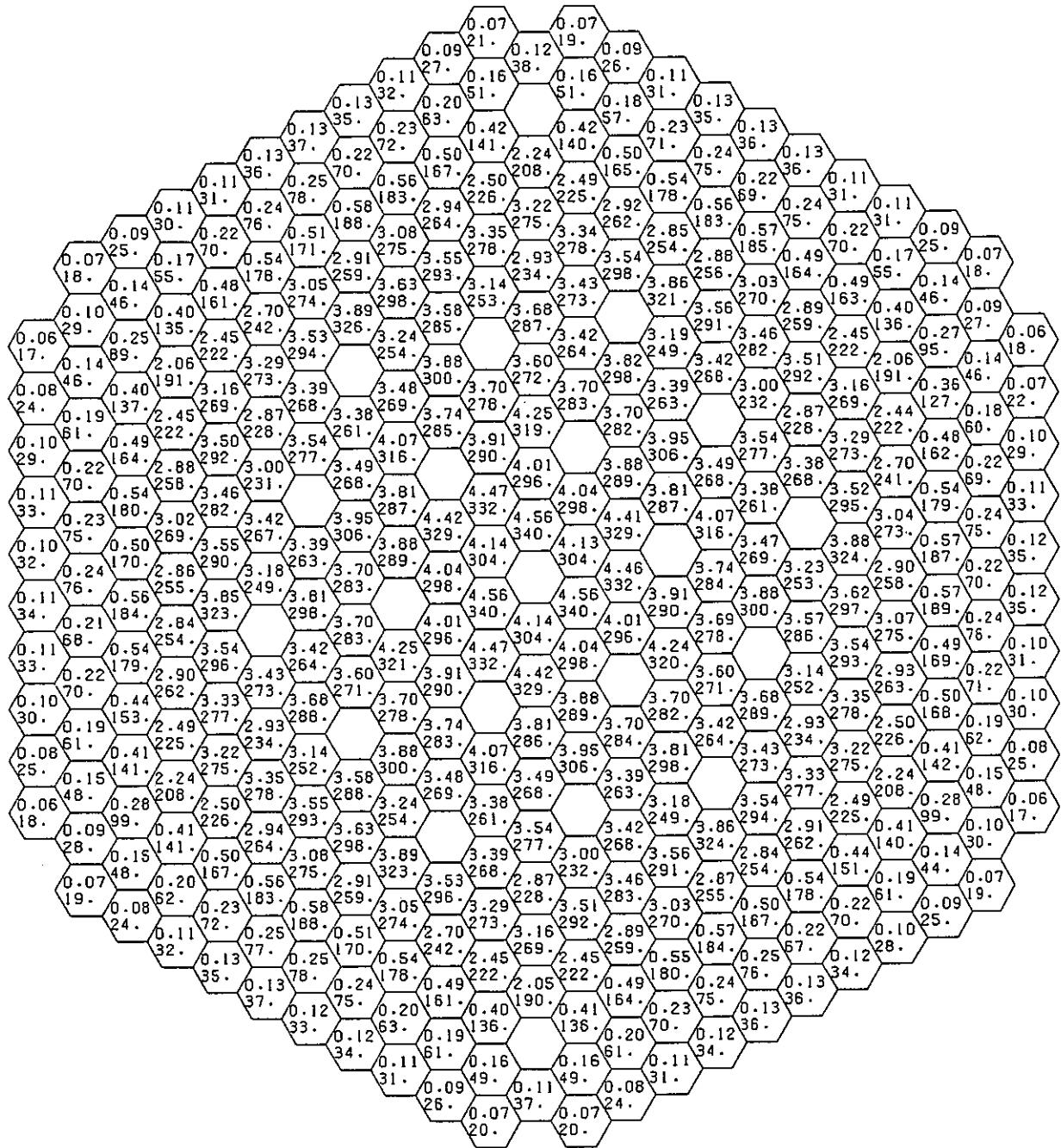


上段：燃料集合体出力 (MW)

下段：最高線出力密度 (W/cm)

第6-2図 取替炉心サイクル初期の出力分布例

[粗調整棒挿入状態]



上段：燃料集合体出力 (MW)

下段：最高線出力密度 (W/cm)

第6-3図 取替炉心サイクル末期の出力分布例

〔粗調整棒引抜状態〕

第2表 等価フィッサイル富化度及び核分裂性プルトニウム富化度の評価結果

燃料製造から炉心装荷までの時間(年)	炉心燃料組成	内側炉心		外側炉心	
		製造時等価フィッサイル富化度(—)	製造時核分裂性プルトニウム富化度(wt%)	製造時等価フィッサイル富化度(—)	製造時核分裂性プルトニウム富化度(wt%)
0	設計基準組成 組成例1 組成例2	0.140 ±0.005 同上 同上	16.0 ±0.4 17.1 ±0.5 15.3 ±0.4	0.213 ±0.006 同上 同上	21.0 ±0.5 22.5 ±0.6 20.1 ±0.5
		0.142 ±0.005 0.141 ±0.005 0.142 ±0.005	16.2 ±0.4 17.2 ±0.5 15.5 ±0.4	0.215 ±0.006 0.214 ±0.006 0.216 ±0.006	21.2 ±0.5 22.6 ±0.6 20.3 ±0.5
		0.144 ±0.005 0.142 ±0.005 0.144 ±0.005	16.3 ±0.4 17.3 ±0.5 15.7 ±0.4	0.218 ±0.006 0.215 ±0.006 0.219 ±0.006	21.4 ±0.5 22.7 ±0.6 20.5 ±0.5
1	設計基準組成 組成例1 組成例2	0.146 ±0.005 0.143 ±0.005 0.147 ±0.005	16.5 ±0.4 17.4 ±0.5 15.9 ±0.4	0.220 ±0.006 0.216 ±0.006 0.221 ±0.006	21.6 ±0.5 22.8 ±0.6 20.8 ±0.5
		0.148 ±0.005 0.144 ±0.005 0.149 ±0.005	16.7 ±0.4 17.4 ±0.5 16.0 ±0.4	0.223 ±0.006 0.217 ±0.006 0.224 ±0.006	21.8 ±0.5 22.9 ±0.6 21.0 ±0.5
		0.150 ±0.005 0.144 ±0.005 0.151 ±0.005	16.8 ±0.4 17.5 ±0.5 16.2 ±0.4	0.225 ±0.006 0.219 ±0.006 0.227 ±0.006	22.0 ±0.5 23.0 ±0.6 21.2 ±0.5

*炉心装荷時の等価フィッサイル富化度は、内側炉心で0.140、外側炉心で0.213である。

付録B) 性能試験期間中の燃料交換におけるPu富化度の影響

初装荷炉心中途燃料交換による運転日数増加策の検討として、取替燃料のPu富化度を従来の設計値である15.4fiss Pu wt%とし、内側炉心20体及び17体の燃料交換を実施した場合の評価を実施した。燃料交換パターンを図B-1に示すが、両者の差異は炉心最内層の3体の燃交の有無である。

まず、燃料交換前後のNaフォロワ状態での実効増倍率基準計算値を以下に示す。

交換前 . . . 1.0134

20体交換後 . 1.0221 (燃交による反応度 0.84%dk/kk')

17体交換後 . 1.0204 (" " 0.68%dk/kk')

従って、この燃料交換により、1日当たりの燃焼欠損反応度を約0.016%dk/kk' として見ると、それぞれ、約50及び40日程度の燃焼日数増大を確保できる。(ただし、燃焼させた分だけ第二サイクルでの運転可能日数が減少することに注意する必要がある。)

出力分布については、中途燃料交換直後の各流量領域後の最大線出力を評価した。結果を表B-1及び図B-2に示す。同図表より17体に対して20体では炉心最内層、第一流量領域での燃料交換を実施している分最大線出力が約3%増大し約359W/cmとなることがわかる。ここで、先程も述べたように、初装荷炉心での中途燃交により燃焼させた分第二サイクルで反応度が不足するので、取替燃料のPu富化度を上げることが必要となる。その場合、第一流量領域で最大線出力の制限値360W/cmを超えることが予想されるので、燃料交換パターンとしては、炉心最内層を避けたものである必要がある。

次に、17体燃料交換を実施する場合で取替燃料のPu富化度を15.4から15.8及び16.0fiss Pu wt%に上げた場合について評価した。

まず、実効増倍率及び反応度変化についての結果を表B-2に示す。同表より、燃交による反応度増加分は15.8fiss Pu wt%とすると15.4fiss Pu wt%を20体燃交した場合とほぼ等しくなり、さらに、16.0fiss Pu wt%とすると燃焼日数にして約60日に相当する反応度が回復できる。

次に、出力分布について、表B-3にPu富化度が15.4fiss Pu wt%

に対する15.8及び16.0 fiss Pu wt%の差をまとめた。同表より、16.0fiss Pu wt%の場合で最大線出力が約359W/cmとなるため、Pu富化度としてはこの場合が限界であることがわかる。

表B-1 初装荷炉心中途20及び17体燃料交換後の流量領域毎の最大線出力の比較

・Pu富化度 : 15.4 fiss Pu wt%の場合

流量領域		中途燃交20体				中途燃交17体				
		集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	(a)最大線出力 W/cm	集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	(b)最大線出力 W/cm	(a)/(b)
内側炉心	1	1	BOC	NaF	358.5	14	BOC	CR IN	347.1	1.0326
	2	28	BOC	CR IN	337.0	28	BOC	CR IN	335.7	1.0039
	3	46	BOC	CR IN	340.9	46	BOC	CR IN	339.6	1.0038
	4	71	BOC	CR IN	325.8	71	BOC	CR IN	325.6	1.0006
	5	80	BOC	CR IN	283.0	80	BOC	CR IN	283.5	0.9981
外側炉心	6	138	BOC	CR IN	332.3	138	BOC	CR IN	333.6	0.9962
	7	184	BOC	CR IN	287.2	184	BOC	CR IN	288.7	0.9951
	8	182	BOC	CR IN	270.7	182	BOC	CR IN	272.0	0.9951

表 B.2 取替燃料Pu富化度及び燃料交換体数を変えた場合の反応度

・初装荷炉心50日燃焼後中途燃料交換の場合

燃料交換体数	0		20		17		17		17	
Pu富化度 (fiss Pu wt%)	-		15.4		15.4		15.8		16.0	
	実効 増倍率	反応度差 (%dk/kk')								
94/04/25時点	1.0255	-	1.0255	-	1.0255	-	1.0255	-	1.0255	-
出力上昇開始	1.0213	-0.40	1.0213	-0.40	1.0213	-0.40	1.0213	-0.40	1.0213	-0.40
50日燃焼後	1.0134	-0.76	1.0134	-0.76	1.0134	-0.76	1.0134	-0.76	1.0134	-0.76
中途燃交後	1.0134	0.00	1.0221	0.84	1.0204	0.68	1.0222	0.85	1.0230	0.93
80日燃焼終了	1.0088	-0.45	-	-	-	-	-	-	1.0181	-0.47

表B-3 初装荷炉心中途燃料のPu富化度を変えた場合の流量領域毎の最大線出力 (1/2)

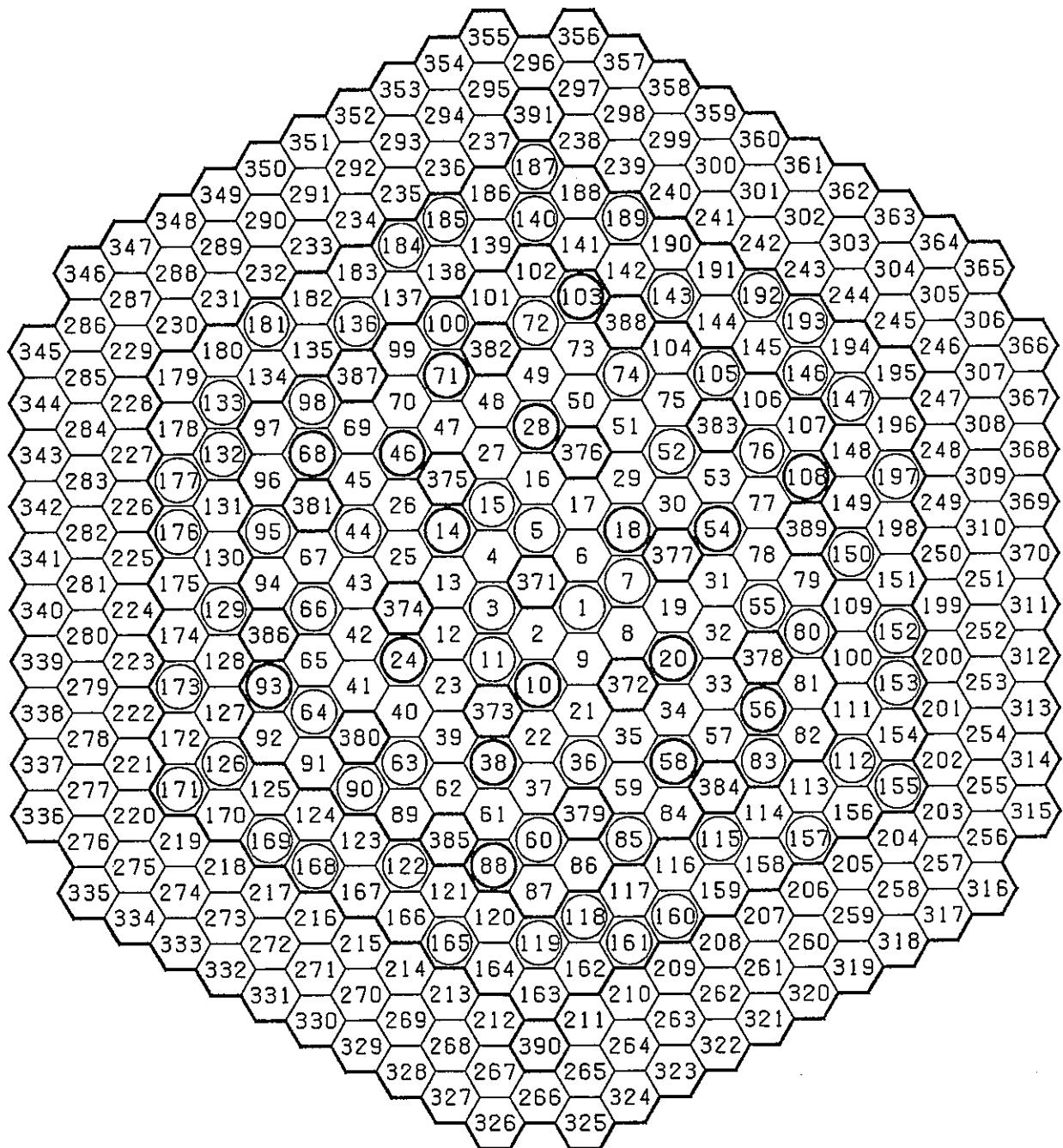
・燃料交換体数 : 17体の場合

流量領域		15.4 fiss Pu wt%				15.8 fiss Pu wt%				
		集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	(a)最大線出力 W/cm	集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	(b)最大線出力 W/cm	(b)/(a)
内側炉心	1	14	BOC	CR IN	347.1	14	BOC	CR IN	355.3	1.0235
	2	28	BOC	CR IN	335.7	28	BOC	CR IN	343.4	1.0229
	3	46	BOC	CR IN	339.6	46	BOC	CR IN	347.5	1.0234
	4	71	BOC	CR IN	325.6	71	BOC	CR IN	332.9	1.0227
	5	80	BOC	CR IN	283.5	103	BOC	CR IN	288.8	1.0188
外側炉心	6	138	BOC	CR IN	333.6	138	BOC	CR IN	332.9	0.9981
	7	184	BOC	CR IN	288.7	184	BOC	CR IN	287.8	0.9970
	8	182	BOC	CR IN	272.0	182	BOC	CR IN	271.2	0.9971

表B-3 初装荷炉心中途燃料のPu富化度を変えた場合の流量領域毎の最大線出力（2／2）

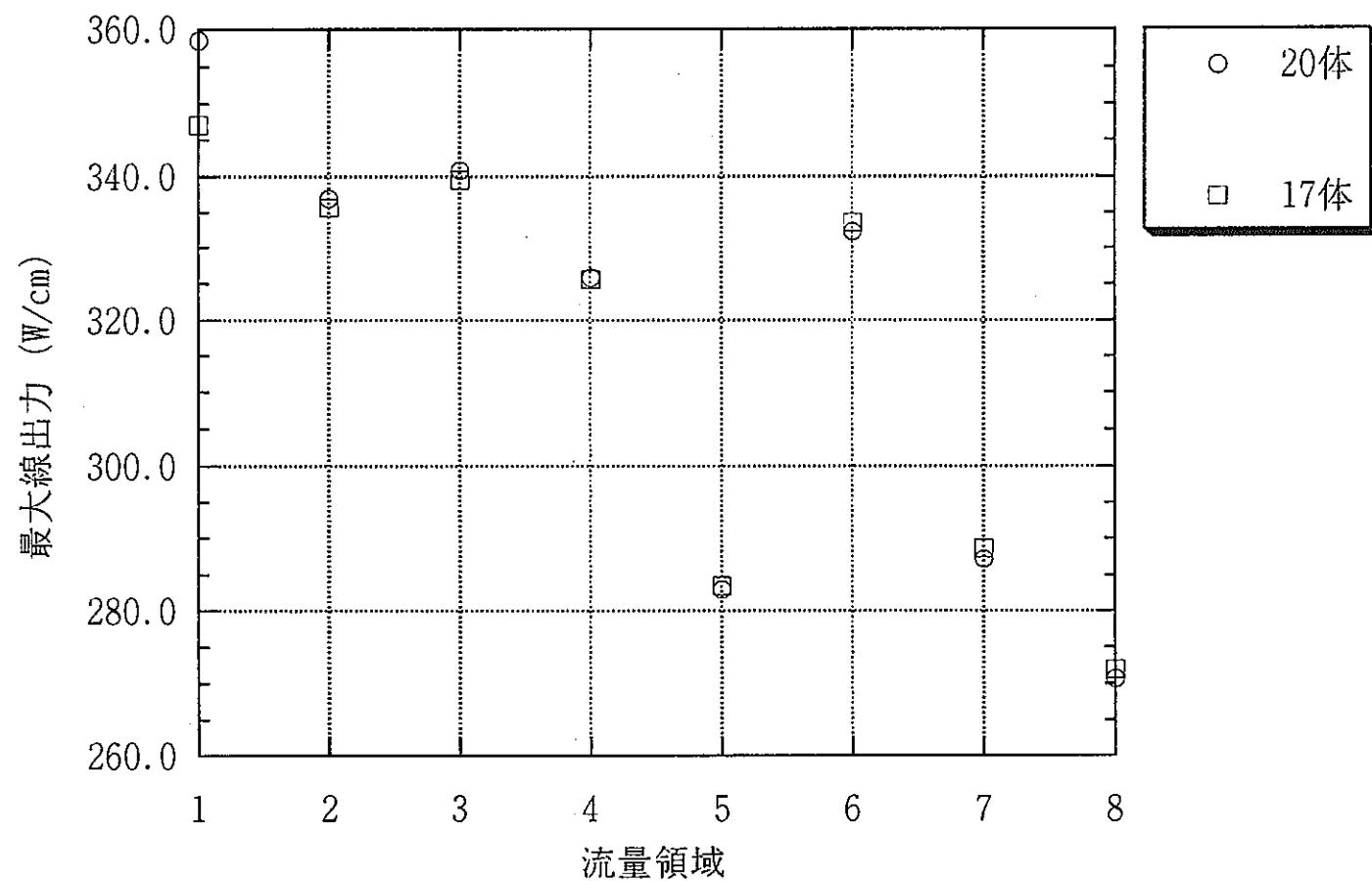
・燃料交換体数：17体の場合

流量領域		15.4 fiss Pu wt%				16.0 fiss Pu wt%				
		集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	(a)最大線出力 W/cm	集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	(b)最大線出力 W/cm	(a)/(b)
内側炉心	1	14	BOC	CR IN	347.1	14	BOC	CR IN	358.3	1.0322
	2	28	BOC	CR IN	335.7	28	BOC	CR IN	346.4	1.0318
	3	46	BOC	CR IN	339.6	46	BOC	CR IN	350.9	1.0332
	4	71	BOC	CR IN	325.6	71	BOC	CR IN	337.4	1.0363
	5	80	BOC	CR IN	283.5	103	BOC	CR IN	292.5	1.0317
外側炉心	6	138	BOC	CR IN	333.6	138	BOC	CR IN	332.3	0.9963
	7	184	BOC	CR IN	288.7	184	BOC	CR IN	286.6	0.9928
	8	182	BOC	CR IN	272.0	182	BOC	CR IN	270.1	0.9929



注) 太線の○で囲まれた集合体17体を交換する。

図B-1 17体燃料交換パターン



注) Pu富化度 15.4 fiss Pu wt%での評価

図B-2 初装荷炉心中途20及び17体燃料交換後の流量領域毎の最大線出力

付録C) 予備使用の検討

第一回取替燃料に対して、それぞれ、内側及び外側炉心1体づつ存在する予備燃料集合体（予備体）を第二サイクルで装荷することにより炉心の反応度増加を図る検討を実施した。

検討は、初装荷中途燃交をしない第二サイクルで、予備体の有無による影響を評価した。図C-1に予備体装荷位置を示す。

表C-1及びC-2にそれぞれ予備体の有無による反応度推移を示す。同表より、予備体2体の反応度効果は約 $0.1\%dk/kk'$ ($=3.07-2.98$) であることがわかる。これは100%出力運転日数にすると1週間弱に相当する。

出力分布については表C-3に示す様に、内側炉心での影響はわずかであるが、外側炉心についてはその最内層（第6流量領域）で予備体を装荷したことにより約6%出力が上昇する。これは、予備体による反応度増分をできる限り大きく取るため炉心中心に最も近い位置に予備体を装荷したためである。

表(一) 初装荷から第二サイクルまでの反応度(基準計算値)推移評価結果
 ・初装荷炉心80日燃焼(中途燃交無し)／第二サイクル78体燃交の場合(燃交パターン変更)

日時	94/04/25	→	95/07/13	→	95/09/01			→	95/10/01	→	96/08/16			→	96/12/17	
日数	—	444日	—	50日	—	—	—	30日	—	320日	—	—	—	123日	—	
イベント	初装荷炉心臨界	性能試験	出上力昇	100%出力運転	燃料交換			100%出力運転	初装荷炉心終了	定検	燃料交換			100%出力運転	第2サイクル終了	
燃料交換体数				内側炉心 0体						内側炉心42体 (16.0 fiss Pu wt%) 外側炉心36体 (21.0 fiss Pu wt%)						
C-2	実効増倍率	1.0255	—	1.0213	—	1.0134	—	1.0134	—	1.0088	—	1.0054	—	1.0364	—	1.0154
反応度(%dk/kk')	2.49	-0.41	2.08	-0.76	1.32	0.00	1.32	-0.45	0.87	-0.34	0.53	2.98	3.51	-1.99	1.52	
〃(%dk/kk'/day)	—	-0.0009	—	-0.0152	—	—	—	-0.0150	—	-0.0011	—	—	—	-0.0162	—	
余裕(%dk/kk')	—			0.45	—			0.00	—			—			0.45	
余裕(day)	—			30	—			0	—			—			28	
備考																

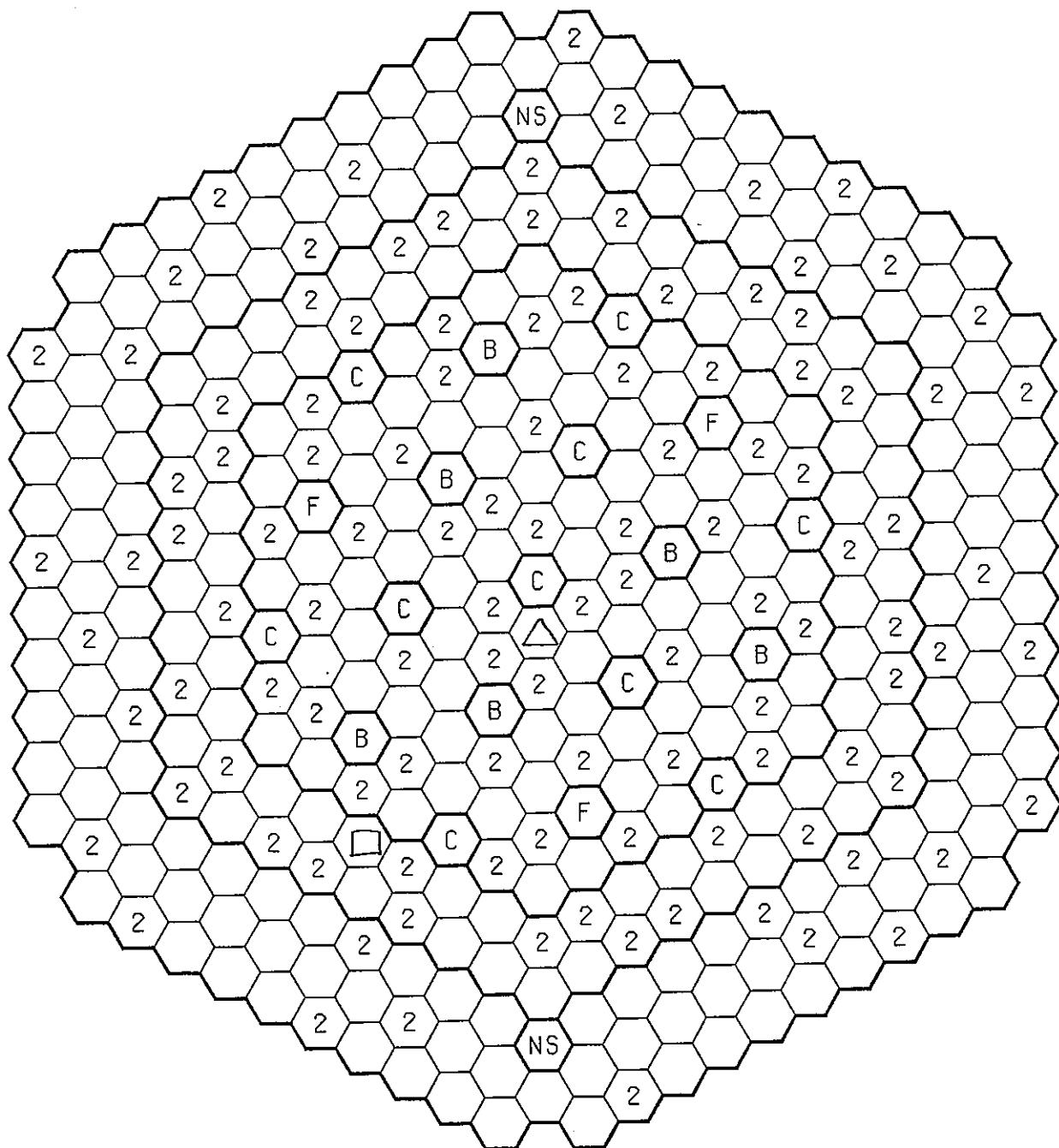
表C-2 初装荷から第二サイクルまでの運転計画及び主要な解析結果

・初装荷炉心80日燃焼（中途燃交無し）／第二サイクル78体+予備体2体燃交の場合（燃交パターン変更）

表C-3 第二サイクルの流量領域毎の最大線出力の比較

・初装荷中途燃交無しの場合

流量領域		予備体未使用時				予備体2体使用時				
		集合体番号 TRIAG NREG	時期 BOC	CCR 状態	(a)最大線出力 W/cm	集合体番号 TRIAG NREG	時期 BOC	CCR 状態	(b)最大線出力 W/cm	(b)/(a)
内側炉心	1	3	BOC	NaF	354.5	5	BOC	NaF	355.9	1.0038
	2	24	BOC	CR IN	333.4	28	BOC	CR IN	335.9	1.0074
	3	46	BOC	CR IN	338.3	54	BOC	CR IN	339.9	1.0048
	4	63	BOC	CR IN	324.5	55	BOC	CR IN	325.6	1.0036
	5	90	BOC	CR IN	311.1	80	BOC	CR IN	312.7	1.0051
外側炉心	6	115	BOC	NaF	331.2	110	BOC	CR IN	351.2	1.0604
	7	184	BOC	CR IN	298.6	152	BOC	CR IN	302.0	1.0112
	8	165	BOC	CR IN	274.0	197	BOC	CR IN	274.6	1.0022



△：内側炉心予備体装荷位置

○：外側炉心予備体装荷位置

図 C-1 燃料交換パターン

付録D) ミルシート平均組成の取替燃料使用の検討

設計基準組成で²⁴¹Puの崩壊約3年分を考慮した設計基準組成相当の燃料組成に対して、初装荷燃料の実組成に近いミルシート平均組成での取替燃料を使用した場合の反応度及び出力分布（最大線出力）についての評価結果を次葉以下にまとめた。解析は、初装荷炉心50日燃焼の中途燃料交換17体をして、第二サイクルで残りの取替燃料とその予備体2体を燃交した場合について実施した。

初装荷炉心での中途燃交による反応度増加は、ミルシート平均組成の方が約0.04%dk/kk'程低い。これは²⁴¹Puの割合が低いため燃料製造上の炉心装荷日より遡って使用することによる戻り分が小さいためであるが、差異としては小さく影響はほとんど無いと言える。

第二サイクルにおける燃料交換による反応度増加分については、等価フィッサイル法により反応度を保存させるようPu富化度が決められているためこれについても影響は無いと言える。第二サイクル末期での反応度はそれまでの関係が逆転して、ミルシート平均組成の方が高くなっているが、これは燃焼欠損反応度が小さいためである。

出力分布的には、初装荷中途燃交後及び第二サイクルとも組成による差は1%以下であり問題無い。

表 初装荷から第二サイクルまでの反応度（基準計算値）推移評価結果
 ・初装荷炉心80日燃焼（17体中途燃交）／第二サイクル61+2（予備体）体燃交の場合

表 初装荷から第二サイクルまでの反応度（基準計算値）推移評価結果

・初装荷炉心80日燃焼(17体中途燃交)／第二サイクル61+2(予備体)体燃交の場合(ミルシート平均)

表 初装荷炉心中途燃交後の流量領域毎の最大線出力の比較

・初装荷中途燃交17体の場合

流量領域		設計基準組成相当の組成				ミルシート平均組成				
		集合体番号 TRIAG NREG	時期 BOC	CCR 状態 CR IN	(a)最大線出力 W/cm	集合体番号 TRIAG NREG	時期 BOC	CCR 状態 CR IN	(b)最大線出力 W/cm	(b)/(a)
内側炉心	1	14	BOC	CR IN	359.5	14	BOC	CR IN	358.2	0.9963
	2	28	BOC	CR IN	347.5	28	BOC	CR IN	347.0	0.9985
	3	46	BOC	CR IN	351.7	46	BOC	CR IN	350.4	0.9962
	4	71	BOC	CR IN	336.9	71	BOC	CR IN	336.4	0.9984
	5	103	BOC	CR IN	292.0	103	BOC	CR IN	292.1	1.0003
外側炉心	6	138	BOC	CR IN	332.9	138	BOC	CR IN	332.2	0.9978
	7	184	BOC	CR IN	287.6	184	BOC	CR IN	287.7	1.0001
	8	182	BOC	CR IN	271.0	182	BOC	CR IN	271.0	1.0001

表 第二サイクルの流量領域毎の最大線出力の比較

・初装荷中途燃交17体・取替燃料予備体使用の場合

流量領域		設計基準組成相当の組成				ミルシート平均組成				
		集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	(a)最大線出力 W/cm	集合体番号 TRIAG NREG	時期	CCR 状態	(b)最大線出力 W/cm	(b)/(a)
内側炉心	1	5	BOC	NaF	357.0	5	BOC	NaF	356.6	0.9989
	2	28	BOC	CR IN	332.6	28	BOC	CR IN	333.5	1.0026
	3	54	BOC	CR IN	336.0	54	BOC	CR IN	336.2	1.0004
	4	55	BOC	CR IN	324.3	55	BOC	CR IN	324.9	1.0018
	5	80	BOC	CR IN	311.5	80	BOC	CR IN	311.7	1.0006
外側炉心	6	110	BOC	CR IN	351.3	110	BOC	CR IN	351.7	1.0010
	7	152	BOC	CR IN	303.0	152	BOC	CR IN	303.6	1.0019
	8	197	BOC	CR IN	275.6	197	BOC	CR IN	276.2	1.0023

付録E) 補足説明資料

今回の設工認変更申請に当たって作成した補足説明資料を次葉以下にまとめる。ここで示した資料は以下の通りである。

- ・移行炉心燃料の本数が多い理由について
- ・Amの等価フィッサイル係数の変更効果
- ・Pu富化度変動に伴う過剰反応度変化について
- ・設計と実測の臨界体数について

移行炉心燃料の本数が多い理由について

燃焼に伴う燃料組成の変化は、図E-1に示すように例えば、核分裂物質である²³⁹Puの滞在サイクル数にはほぼ比例して減少する。

サイクル初期に全炉心中の核分裂物質は約1000kgであり、初装荷炉心燃料及び平衡炉心燃料の集合体一体当たりの平均核分裂物質はそれぞれ5.05kg, 5.35kgである。

各集合体は1サイクル(123日)燃焼すると、核分裂物質が0.19kg減少する。また、全炉心では37.6kg減少する。したがって、第2サイクルの初期に交換する概略の燃料本数は

$$37.6 \text{ kg} / (5.35 \text{ kg} - 4.86 \text{ kg}) = \text{約 } 77 \text{ 体}$$

ここで、初装荷炉心燃料の第1サイクル末期の集合体平均核分裂物質は

$$5.05 \text{ kg} - 0.19 \text{ kg} = 4.86 \text{ kg}$$

である。

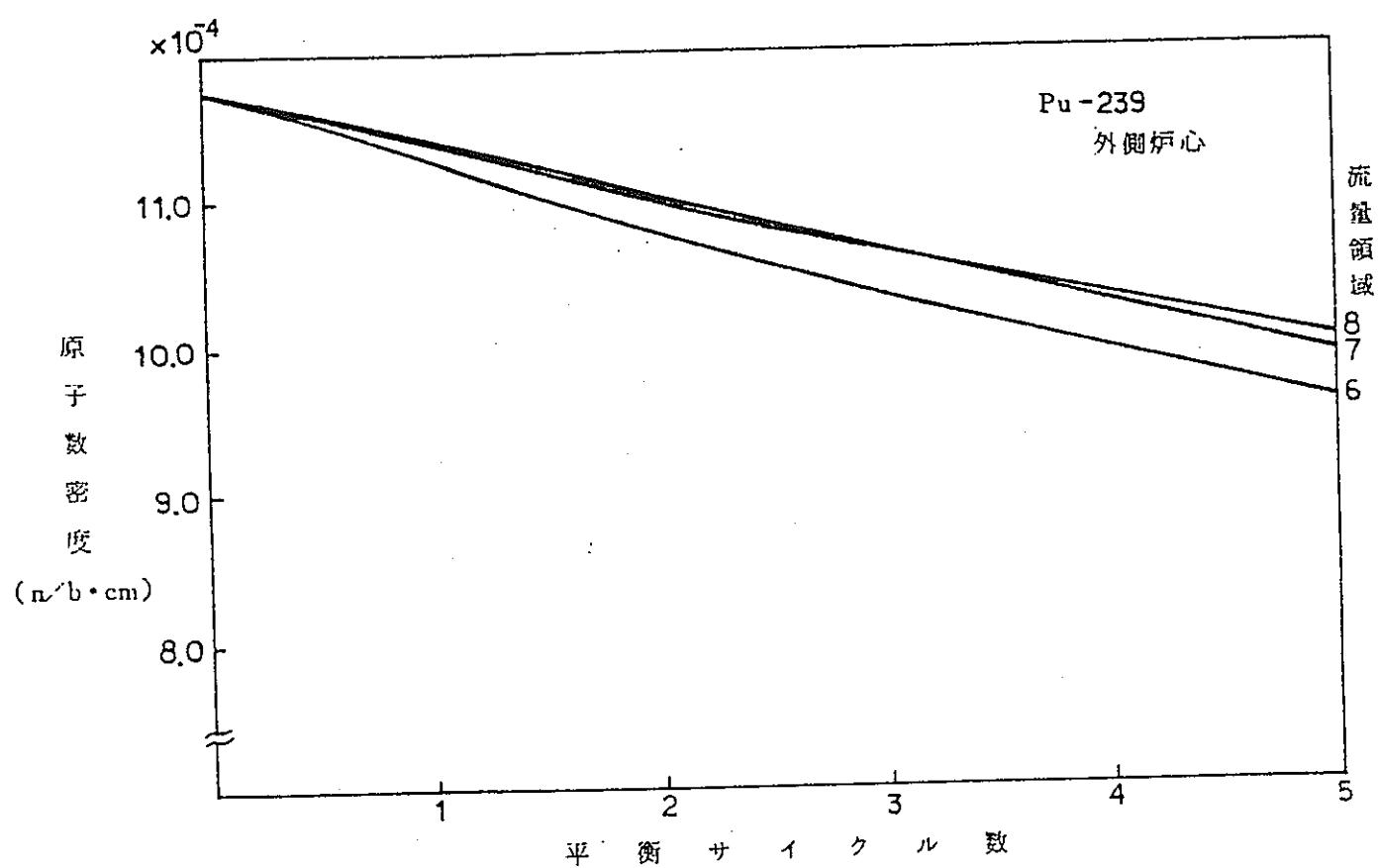
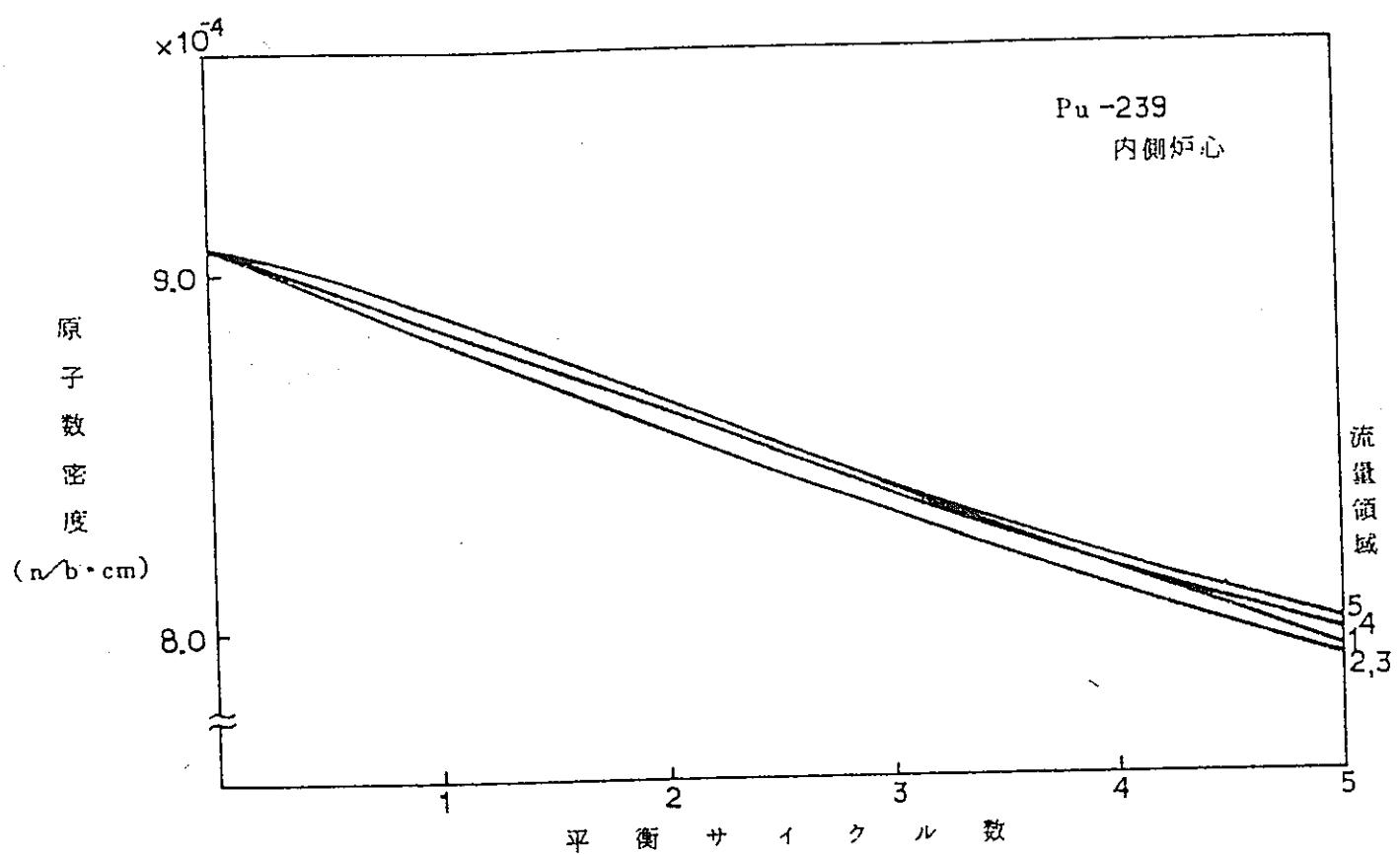
なお、参考までに平衡炉心での燃料交換の概略本数は

$$37.6 \text{ kg} / (5.35 \text{ kg} - 4.59 \text{ kg}) = \text{約 } 49 \text{ 体}$$

ここで、平衡炉心燃料の4サイクル滞在後の集合体平均核分裂物質は

$$5.35 \text{ kg} - 0.19 \text{ kg} \times 4 = 4.59 \text{ kg}$$

である。



図E-1 燃焼による組成変化(Pu-239)

Amの等価フィッサイル係数の変更効果

MICSの²⁴¹Am等価フィッサイル係数は、JFS-3-J2での値と異なり、それぞれの値を以下に示す。

	MICS	JFS-3-J2
²⁴¹ Am等価フィッサイル係数		
内側炉心	-0.00419	-0.22194
外側炉心	0.0332	-0.17186

代表的な組成として、Amの含有率が2%とした以下の設計基準組成相当で等価フィッサイル係数の変更効果を検討した。

$$^{239}\text{Pu}: \quad ^{240}\text{Pu}: \quad ^{241}\text{Pu}: \quad ^{242}\text{Pu}: \quad ^{241}\text{Am} = 58: 24: 12: 4: 2$$

内側炉心の核分裂性Pu富化度は16.16wt%から16.25wt%となり、外側炉心の核分裂性Pu富化度は21.23wt%から21.33wt%となる。

第2サイクル初期の内側炉心及び外側炉心燃料の交換本数を、それぞれ43体及び37体とした場合で、Pu富化度を0.1%だけ変化させた時の実効増倍率の変動は、それぞれ

$$\begin{aligned} \text{内側炉心: } & 0.1\% \Delta k/kk' \\ \text{外側炉心: } & 0.03\% \Delta k/kk' \end{aligned}$$

である。

したがって、Amの等価フィッサイル係数の変更に伴う反応度の変化は、約0.12% $\Delta k/kk'$ となる。

反応度を0.2% $\Delta k/kk'$ 程度高めに設定するかAmの等価フィッサイル係数をMICSからJFS-3-J2に変更するどちらでも可能である。

Pu富化度変動に伴う過剰反応度変化について

この反応度変化は、「燃料製作公差が実効増倍率に及ぼす影響」として評価している。

具体的には、初装荷炉心において、

内側炉心のPu富化度が20.03wt%から20.59wt%に

外側炉心のPu富化度が27.57wt%から28.17wt%に
変動した場合の反応度変化は2.10% $\Delta k/k'$ である。

なお、Pu富化度の変動範囲は以下の式による。

$$Pu\text{富化度公差 (wt\%)} = \pm (0.235 + 0.0162E)$$

ただし、E : Pu富化度 (wt%) ノミナル値 $[PuO_2 / (PuO_2 + UO_2)]$

設計と実測の臨界体数について

	日時	H 4. 10	H 5. 10	H 6. 4
設 計	過剰反応度 (% ρ)	4. 7	4. 2	3. 9
	臨界体数	156. 6	159. 7	162. 2
実 測	過剰反応度 (% ρ)	---	---	3. 2
	臨界体数	---	---	168

燃料製造側に要求した最大臨界体数は以下のとおり。

$$180 = 162 + 4 \quad (\text{更なる遅れに対する余裕})$$

+ 4 (制御棒価値測定用)

± 10 (反応度誤差)