

「常陽」MK-III取替炉心の核熱設計に関する設計評価 (II)

(技術報告書)



2002年3月

核燃料サイクル開発機構
大洗工学センター

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

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松 4 番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2002

「常陽」MK-III取替炉心の核熱設計に関する設計評価（II）

（技術報告書）

関根 隆*、田渕土郎**、吉田昌宏*

要　旨

高速実験炉「常陽」では、照射性能の向上を目的としたMK-III計画を進めている。従来、「常陽」ではウラン濃縮度18%の硝酸ウラニル溶液を用いてMOX粉末を製造してきたが、JC0事故の影響でウラン濃縮度18%の硝酸ウラニル溶液の入手が困難となった。このため、2010年（平成22年）以降に使用する第3次取替炉心燃料集合体以降の原料に再処理で得られたMOX粉末を用いた場合の、炉心の核設計及び熱設計の成立性に関する検討を平成12年度から開始した。

今年度の報告書では、燃料スタック長を60cmとし、1)Pu富化度の上限値を現行とほぼ同じ31%、Puフィッサイル割合を63.06%とした場合、及び2)ふげん使用済燃料を再処理したPuフィッサイル率50.5%の原料粉を内側燃料集合体のみに使用した場合の成立性に関する検討を行い、MK-III標準平衡炉心及び昨年度までの解析結果との比較を行った。

その結果、炉心燃料のPu富化度及びウラン濃縮度を、1)の内側燃料についてはそれぞれ26.9%及び12.8%、外側燃料は31%及び11.2%、2)については内側燃料を30.5%及び11.4%、外側燃料を32.6%及び10.6%とすることにより、MK-III標準平衡炉心と同等の臨界性を確保できることを確認した。炉心燃料領域高さを60cmとすることに伴う中性子束の低下は、MK-III標準平衡炉心に比べ約5~7%の減少となつたが、MK-II炉心の最大中性子束は上回った。

反応度特性では、制御棒価値、ドップラ係数、出力係数は全ての検討ケースでMK-III標準平衡炉心に比べて絶対値が大きくなつた。ナトリウムボイド反応度についても、絶対値は小さくなるものの負の値であることを確認し、MK-III標準平衡炉心と同等の安全性を有していることを確認した。

また、被ばく評価及び安全評価について検討した結果、評価結果はMK-III標準平衡炉心と同程度であることを確認した。

*大洗工学センター 照射施設運転管理センター 実験炉部 技術課

**現、三菱重工業株式会社

March, 2002

Analysis and Evaluation Studies on Nuclear and Thermal Design of JOYO MK-III Next Generation Core (II)

Takashi SEKINE*, Shiro TABUCHI** and Akihiro YOSHIDA*

ABSTRACT

The experimental fast reactor "JOYO" is being upgraded to the MK-III core to improve its irradiation capability. At present, the MOX fuel is fabricated using 18% enriched uranium. However, due to the JCO accident, 18% enriched uranyl nitrate is not available in Japan. So, the uranium enrichment of MOX fuel will decrease starting with the third fuel manufacturing campaign in 2010. The nuclear and thermal design of JOYO MK-III next generation core started in 2001.

We examined the criticality, linear heat rate and other parameters for two fuel compositions with a 60cm core height. About 31% plutonium content is required to keep the core reactivity as much as the present MK-III core when using plutonium with 63% fissile plutonium ratio. In case of using reprocessing plutonium only for the MK-III inner driver fuel from the ATR Fugen, which has less fissile plutonium ratio about 50%, plutonium content needs to increase about 32.6%.

Neutron flux decreased about 5~7% from the present MK-III score mainly due to the increase of core height, but exceeded the MK-II core. The control rod worth, the absolute value of Doppler coefficient and power coefficient are larger than the MK-III score. The absolute value of the sodium void reactivity decreased but remained negative. These calculations confirmed the safety of each core configuration.

Safety analyses were also carried out and it was confirmed that maximum fuel temperature during the transient event and the post accident public radiation dose are almost same as those of the MK-III core.

* Reactor Technology Section, Experimental Reactor Division, Irradiation Center,
Oarai Engineering Center, JNC

** Presently, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

目 次

1.はじめに	1
2.背景及び経緯	2
3. MK-III 取替炉心の設計方針	5
3. 1 取替炉心の設計方針	5
3. 2 燃料仕様	5
3. 2. 1 プルトニウム同位体組成比	5
3. 2. 2 プルトニウム富化度の目標値の設定	5
3. 2. 3 U-235 濃縮度	6
3. 2. 4 炉心燃料領域高さ	6
3. 2. 5 その他の燃料仕様項目	6
3. 3 検討ケース	6
4. MK-III 取替炉心の特性解析	11
4. 1 炉定数	11
4. 2 原子数密度	11
4. 3 計算方法	11
4. 4 計算値の補正方法	12
5. 組成及び出力分布の計算結果	25
5. 1 MK-III 取替炉心の組成計算結果	25
5. 2 出力分布特性	25
5. 3 中性子束分布特性	26
6. MK-III 取替炉心の核特性解析	38
6. 1 反応度係数の計算方法	38
6. 2 反応度係数の計算結果	39
6. 3 制御棒特性の計算方法	40
6. 4 制御棒特性の計算結果	40
6. 5 動特性パラメータ	40
6. 6 過剰反応度の内訳について	41
7. MK-III 取替炉心の熱計算	53
7. 1 計算条件	53
7. 2 計算結果	56
8. 許認可性の検討	67
8. 1 被ばく評価への影響について	67
8. 2 事故時の被ばく評価への影響について	68
8. 3 安全評価への影響について	69
9. まとめ	74
謝 辞	75
参考文献	76

図リスト

図 2.1 従来の燃料製造工程	3
図 2.2 変更工程（その1）	4
図 2.3 変更工程（その2）	4
図 3.1 MK-III 標準平衡炉心構成	7
図 4.1 各領域の温度	13
図 4.2 (1) 1次元径方向縮約計算体系	14
図 4.2 (2) 1次元軸方向縮約計算体系	15
図 4.3 燃焼チェーン	16
図 4.4 2次元 RZ 燃焼計算の計算体系	17
図 4.5 2次元 XY 三角メッシュ計算体系	18
図 5.1 径方向の高速中性子束($>0.1\text{MeV}$)分布	28
図 8.1 燃料、被覆管、冷却材最高温度 (ケース2)	70
図 8.2 燃料、被覆管、冷却材最高温度 (ケース4)	71

表リスト

表 3.1 Pu 同位体組成比	8
表 3.2 MK-III 標準平衡炉心の概略仕様	9
表 3.3 計算ケース	10
表 4.1 エネルギー群数及び核分裂スペクトル	19
表 4.2 原子数密度	20
表 4.3 燃料交換バッチ	24
表 5.1 MK-III 取替炉心の核計算の計算結果	29
表 5.2 各列の最大集合体出力	30
表 5.3 各列の最大線出力密度	31
表 5.4 各列の要素最大出力	32
表 5.5 出力分担	33
表 5.6 各列の最大中性子束	34
表 6.1 反応度特性	42
表 6.2 温度係数及び出力係数評価用各部温度	44
表 6.3 温度係数	45
表 6.4 出力係数	46
表 6.5 制御棒価値（基準計算値）	47
表 6.6 制御棒反応度価値の補正係数	47
表 6.7 制御棒価値（最小値）	47
表 6.8 (1) 遅発中性子発生率	48
表 6.8 (2) 崩壊定数	49
表 6.8 (3) 遅発中性子スペクトル	50
表 6.9 動特性パラメータ	51
表 6.10 炉心の過剰反応度の内訳	52
表 7.1 工学的安全係数	57
表 7.2 最高温度計算結果	58
表 7.3 軸方向温度分布（ケース 2）	59
表 7.4 燃料中心温度（ケース 2）	62
表 7.5 軸方向温度分布（ケース 4）	63
表 7.6 燃料中心温度（ケース 4）	66
表 8.1 核分裂性核種の取扱い	72
表 8.2 全炉心の核分裂生成物の線源強度	72
表 8.3 全炉心のPu核種の放射能	72
表 8.4 仮想事故時の被ばく評価結果	73

1. はじめに

高速実験炉「常陽」の MK-III 炉心⁽¹⁾の初装荷用の炉心燃料は、使用済燃料を再処理したプルトニウム（硝酸プルトニウム）とウラン濃縮度 18%の硝酸ウラニルとの 1:1 混合転換を行って製造した MOX 粉末を使用してきた。しかし、JC0 事故の影響でこの硝酸ウラニル溶液の入手が困難となり、第 3 次取替燃料以降は燃料製造方法の変更、及びこれに伴うウラン濃縮度低下等の燃料仕様の変更が必要となる。これに対応するため、燃料仕様を変更した場合における炉心の核熱設計の成立性に関する検討を行ってきた^{(2), (3)}。

平成 12 年度は、ウラン濃縮度の低下分を補償するため、プルトニウム富化度の上限値を 34、37% とし、炉心燃料領域高さについても 55, 60cm に増加させた炉心について、MK-III 標準平衡炉心と同等の臨界性が得られる燃料仕様を求め、核熱設計が成立することを確認した。

今年度は、上記の検討結果を踏まえ、プルトニウム富化度の上限値を東海・プルトニウム燃料センターの燃料製造設備の改造を必要としない 31%とした場合の設計成立性について検討し、MK-III 標準平衡炉心及び平成 12 年度の解析結果と比較を行った。さらに、「ふげん」使用済 MOX 燃料を再処理して得られる低フィッサイル率のプルトニウムを「常陽」MK-III 炉心の内側燃料集合体に使用する場合の燃料組成及び核特性を評価し、その使用の可否を検討した。

2. 背景及び経緯

「常陽」は小型高速炉心であるため、中性子の漏えいが大きく、かつ、炉心燃料集合体に比べて核物質量が少ない、あるいは全く含まない照射燃料集合体や材料照射用反射体を炉内に装荷するため、軽水炉燃料を再処理したプルトニウムと濃縮ウラン（濃縮度 18%）を混合した MOX 燃料を使用することにより運転に必要な核分裂性物質を確保してきた。従来の燃料製造工程を図 2.1 に示すが、再処理施設からのプルトニウム（硝酸プルトニウム）とウラン濃縮度 18% の硝酸ウラニルの 1:1 混合転換により MOX 粉末を製造し、これを濃縮ウラン粉末と混合することにより、所定のプルトニウム富化度の MOX 粉末とし、ペレットに焼結していた。このうち、ウラン濃縮度約 18% の硝酸ウラニル溶液については、製造元であった JC0 の臨界事故の影響で入手できなくなつたため、燃料製造方法の変更が必要となっている。

「常陽」MK-III 炉心用の第 1 次及び第 2 次取替燃料集合体は、サイクル機構の保有する海外返還プルトニウムを用いて製造可能である。この場合の製造工程を図 2.2 に示す。この工程では海外返還プルトニウムとロシア等から調達する濃縮度約 20% のウラン粉末を直接混ぜて燃料を製造するため、MK-III 初装荷燃料集合体と同一の仕様の燃料集合体を製造することができる。

2010 年以降に使用する第 3 次以降の取替燃料集合体の原料については、以下の調達方法が考えられる。

- ① プルトニウムの海外からの調達
- ② 国内再処理（六ヶ所又は東海）で 1:1 混合転換により製造される
MOX 粉末（ウラン濃縮度約 1%）
- ③ 海外から購入する濃縮（20%）、又は、軽水炉並（5%）のウラン

このうち、海外のプルトニウム調達には解決すべき課題が多いことから、①は検討対象外とし、②及び③のケースについて燃料仕様を変更（ウラン濃縮度の低下、プルトニウム富化度の増加）した場合の炉心の成立性を検討した。この場合の製造工程を図 2.3 に示す。将来入手できる可能性が最も高い②の MOX 粉末に、③の濃縮ウラン粉末を混ぜてプルトニウム富化度を調整する製造手法では、従来の方法に比べて炉心燃料集合体のウラン濃縮度が、濃縮ウラン粉末の値の約半分に低下する。

本報告書では、上記の方法で製造した炉心燃料集合体による炉心（低ウラン濃縮度炉心）の核設計及び熱設計の成立性に関する検討結果について述べる。さらに、「ふげん」使用済 MOX 燃料を再処理して得られた、フィッサイル率の低いプルトニウムを内側燃料集合体に使用した場合の核設計の成立性についても検討した。

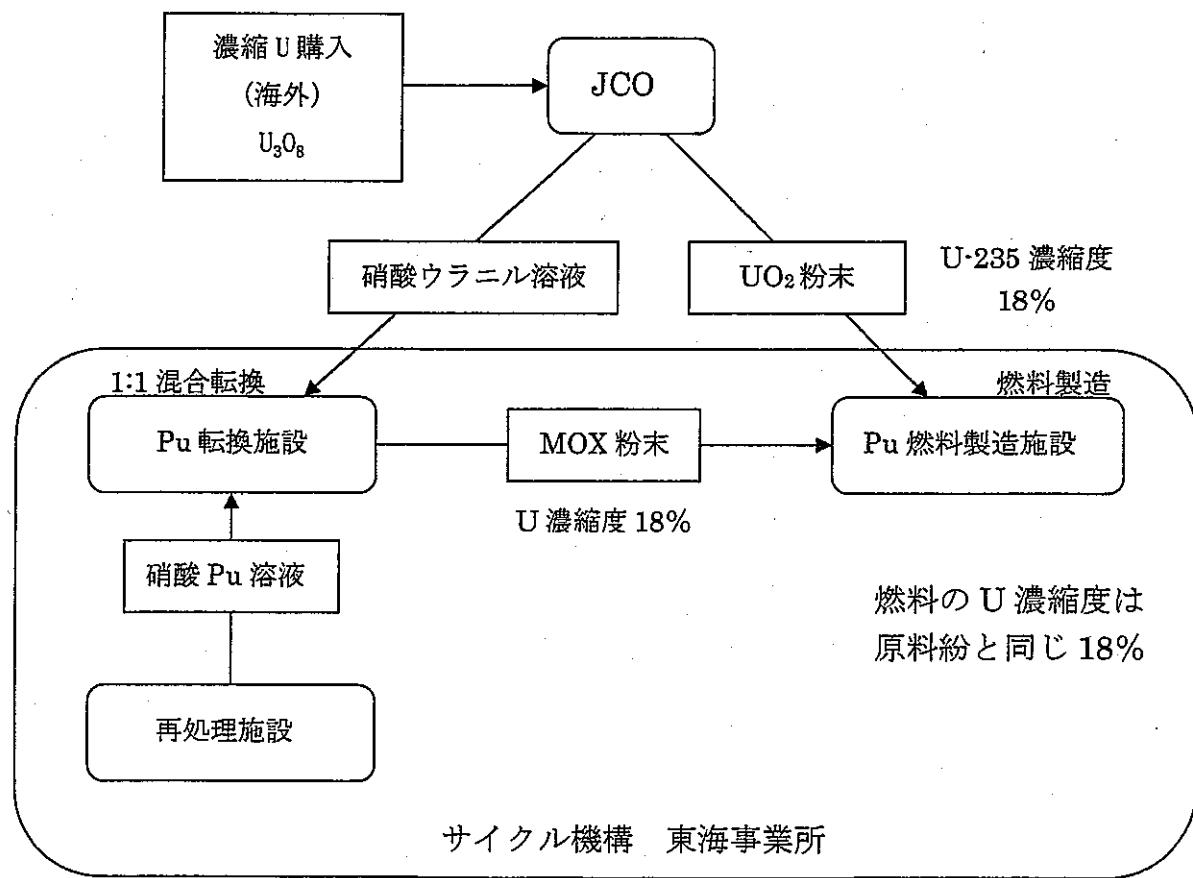
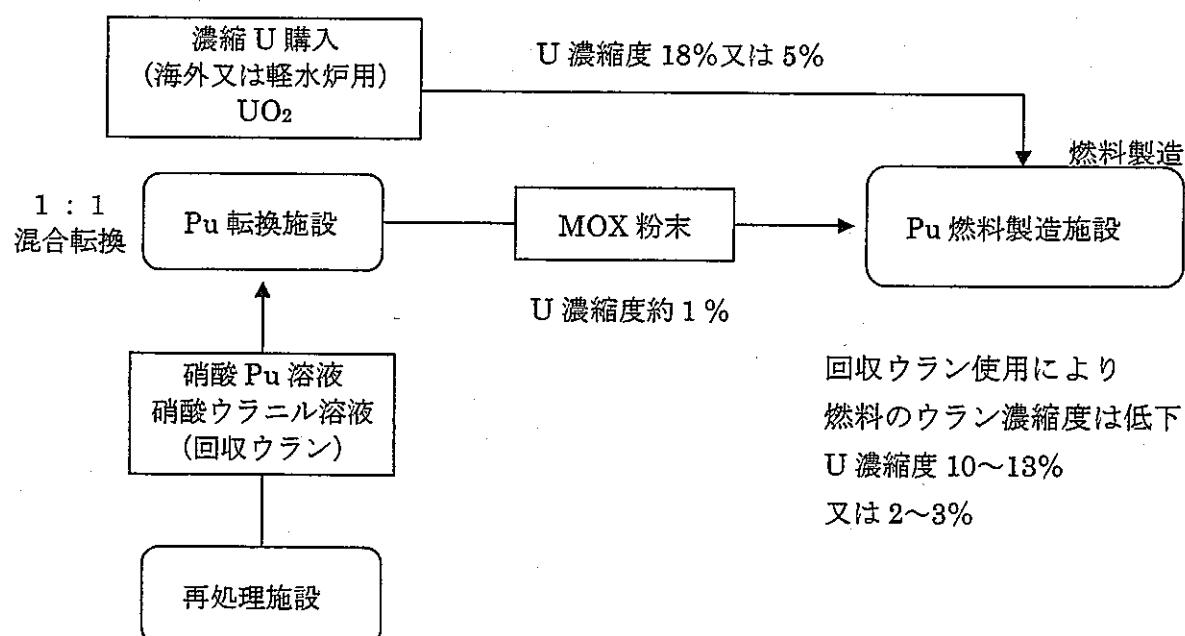
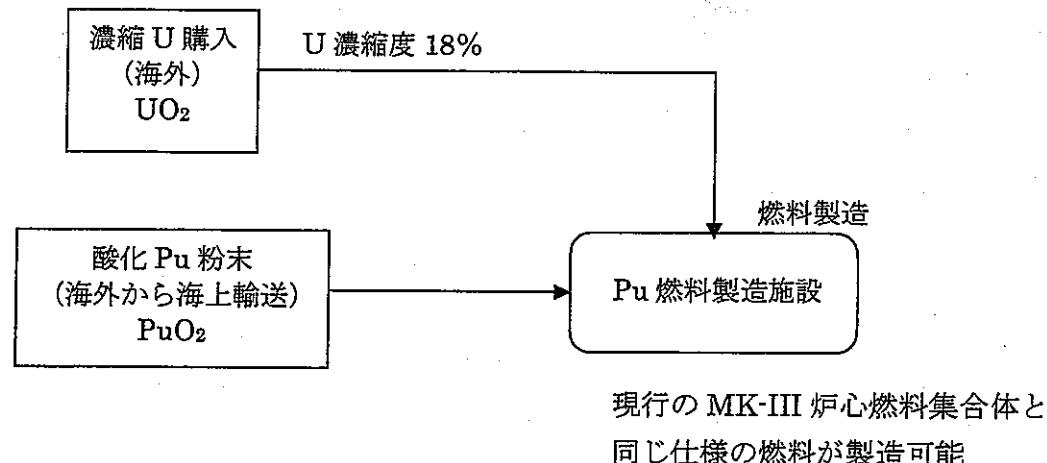


図 2.1 従来の燃料製造工程



3. MK-III 取替炉心の設計方針

3. 1 取替炉心の設計方針

取替炉心の設計にあたっての方針を以下に示す。

- (1) 原子炉出力は MK-III 標準平衡炉心と同じく 140MWt とする。
- (2) 平衡炉心末期における臨界性を維持するため、MK-III 標準平衡炉心の設計計算と同様に、2 次元 RZ 計算において $k_{eff}=0.994 \pm 0.001$ となるようにする。
- (3) サイクル当たりの運転日数（60 日）及び燃料装荷体数（取出燃料本数）は、MK-III 標準平衡炉心と同じとする。
- (4) 炉心構成については、照射燃料集合体、材料照射用反射体等の装荷体数を MK-III 標準平衡炉心時と同じとする。
- (5) 軽水炉燃料の高燃焼度化に伴うプルトニウムの高次化、及び「ふげん」使用済燃料を再処理したプルトニウムを使用する場合には、プルトニウムフィッサイル率の低下を考慮する。

3. 2 燃料仕様

3. 2. 1 プルトニウム同位体組成比

燃焼度 55GWd/t に達した軽水炉燃料の取出しは 2007～2009 年頃の見通しであり、これに冷却期間を加えると、2010 年頃に製造を計画している「常陽」の第 3 次取替炉心燃料集合体用の製造に六ヶ所再処理工場で再処理される軽水炉燃料の最大燃焼度は、現在と変わらないと考えられる。そこで、安藤、高野らの検討結果⁽⁴⁾から、現在稼動中の軽水炉の取出平均燃焼度（PWR:43GWd/t、BWR:39GWd/t）のプルトニウム同位体組成比を内挿により求め、MOX 粉末のノミナル値ベースの組成比とした。また、軽水炉 MOX の設計に使用されたプルトニウム同位体組成比をフィッサイル率最大値ベースのプルトニウム同位体組成比とした。いずれのケースも再処理から炉心に装荷されるまでの期間を 5 年と想定し、この期間中の ^{241}Pu の崩壊による ^{241}Am の蓄積を考慮した。

また、「ふげん」使用済燃料を再処理して得られるプルトニウムの同位体組成比については、燃料の製造実績から評価した平均的な組成の炉心燃料集合体が、17GWd/t まで照射された後、5 年後に再処理され、さらに、3 年間保管されたものとして求めた組成を使用した。

以上、3 ケースのプルトニウム同位体組成比を表 3.1 に示す。

3. 2. 2 プルトニウム富化度の目標値の設定

プルトニウム富化度の上限値は、①現行の燃料製造施設で製造が可能な 31wt%、②燃料製造施設の小規模な設備対応によって製造が可能な 34wt%（燃料製造上の R&D は不要）、③燃料製造に関する新たな R&D が必要となる 37wt%との 3 ケースとした。なお、「ふげん」使用済燃料を再処理したプルトニウムを内・外側燃料領域の両方に使用した場合、プルトニウム富化度を 37wt% としても、臨界を維持するために必要な核分裂

性物質量を確保できないことから、ここでは、内側燃料領域のみに使用することとし、外側燃料領域にはノミナル値ベースの同位体組成比のプルトニウムを使用することとした。

内側及び外側燃料領域のプルトニウム富化度は、平衡炉心のサイクル末期の臨界性が MK-II 炉心及び MK-III 標準平衡炉心⁽⁵⁾ (0.994 ± 0.001) と同等となるように調整した。また、原則として平衡炉心末期における内側燃料領域と外側燃料領域の最大線出力密度が等しくなるよう、内・外側のプルトニウム富化度を調整した。なお、設定したプルトニウム富化度の範囲内でサイクル末期の臨界性を維持できない場合には、反応度を確保することを優先した。すなわち、外側燃料領域のプルトニウム富化度を上限値まで上げ、内側燃料領域のプルトニウム富化度を実効増倍率が 0.994 ± 0.001 となるように調整した。

3. 2. 3 U-235 濃縮度

MOX 粉末に添加する酸化ウランの濃縮度は、①入手可能な 19.75wt%、②軽水炉燃料での実績のある 4.8wt% の 2 ケースを想定した。なお、プルトニウム転換施設からの回収ウランの濃縮度は 1% とし、混合転換比は 1 : 1 とした。

3. 2. 4 炉心燃料領域高さ

上記の燃料仕様では、MK-III 標準平衡炉心と比較して核分裂性物質の量が減少することから、原子炉出力を維持しつつ臨界性を確保するため、炉心燃料領域高さを MK-III 標準平衡炉心の 50cm より長い、55cm、60cm として検討した。

3. 2. 5 その他の燃料仕様項目

燃料組成及び炉心燃料領域高さ以外の燃料仕様は、現行の MK-III 標準平衡炉心と同じとした。MK-III 標準平衡炉心の仕様及び炉心構成をそれぞれ表 3.2 及び図 3.1 に示す。

3. 3 検討ケース

本作業で検討したプルトニウム同位体組成比、プルトニウム富化度の上限値、U-235 濃縮度、炉心燃料領域高さの検討ケースを MK-III 標準平衡炉心と比較して表 3.3 に示す。

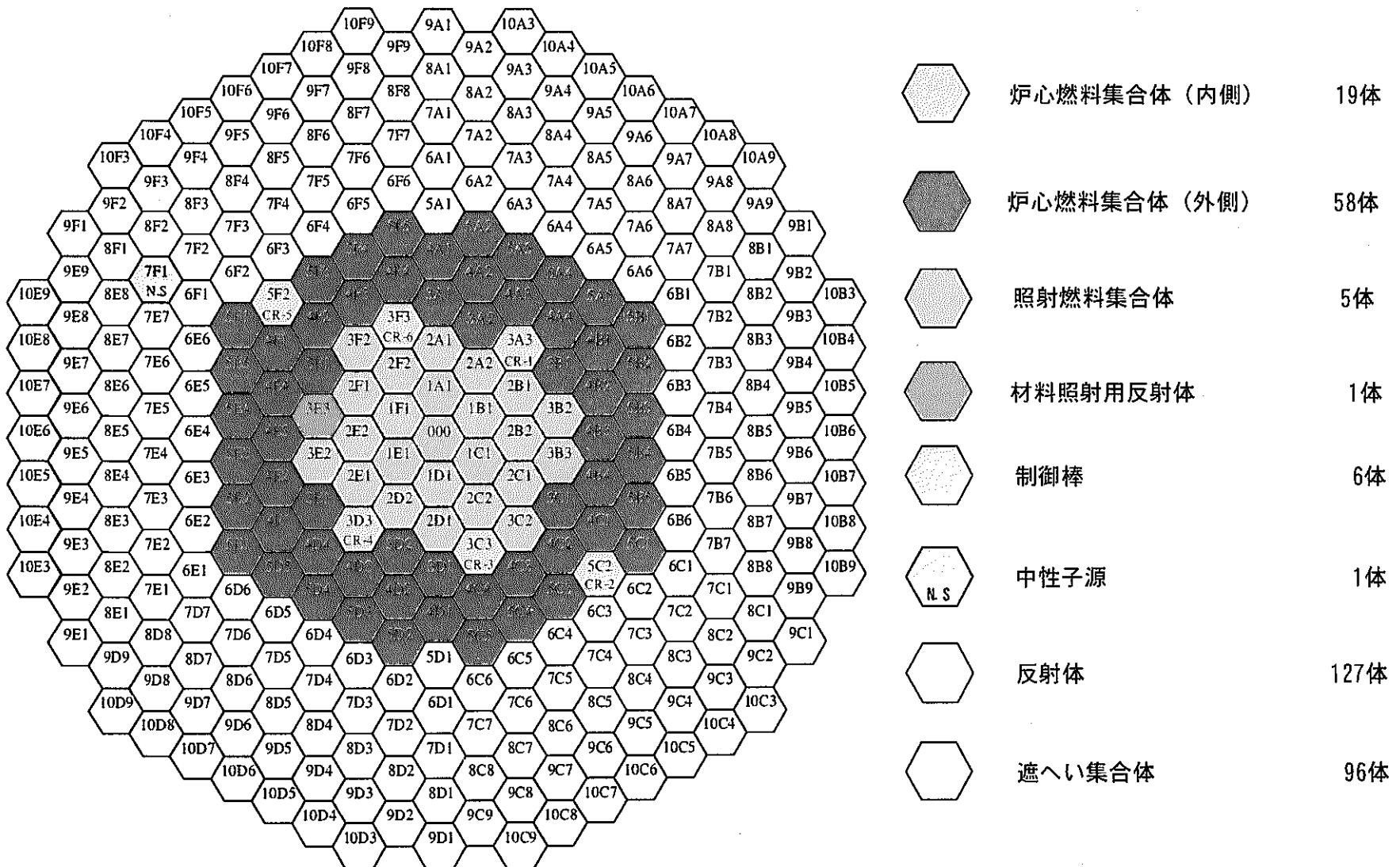


図 3.1 MK-III 標準平衡炉心構成

表 3.1 Pu 同位体組成比

		^{238}Pu	^{239}Pu	^{240}Pu	^{241}Pu	^{242}Pu	^{241}Am
軽水炉 使用済燃料	ノミナル値ベース	2.33	54.10	25.05	8.96	7.16	2.40
	最大値ベース	1.90	57.50	23.30	9.39	5.40	2.51
「ふげん」 使用済燃料		1.1	42.0	38.2	8.5	8.8	1.3
MK-III 標準平衡炉心		1	63	24	8	4	0

表 3.2 MK-III 標準平衡炉心の概略仕様

項目	仕様	備考
原子炉熱出力	140MWt	
運転サイクル期間	60 日	
一次冷却材	2,680t/h	
原子炉入口温度	350°C	
原子炉出口温度	500°C	
炉心燃料領域高さ	50cm(内側、外側)	
燃料装荷体数	内側 : 最大 25 体 外側 : 最大 60 体	
ラッパ管外対面距離	78.5cm	
集合体ピッチ	81.5cm	
炉心燃料集合体	燃料材	Pu・U 混合酸化物燃料
	燃料要素外径／内径	5.5/4.8mm
	燃料ペレット直径	4.63mm
	プルトニウム富化度	内側 23.0wt% 外側 28.8wt%
	ウラン濃縮度	18wt%
	ペレット密度	94%T. D.
	ピン本数	127
制御棒	構造材	PNC1520 計算対象範囲内ではプレナムスリーブのみ SUS316 相当ステンレス鋼
	制御要素材	B ₄ C ペレット
	制御要素濃縮度	90%
	B ₄ C ペレット外径	16.3mm
	制御材有効長さ	650mm
遮へい集合体	要素本数	7
	遮へい要素材	B ₄ C ペレット
	遮へい要素濃縮度	20%*
	遮へい要素外径/内径	26.0/24.4mm*
	B ₄ C ペレット直径	24mm*
	遮へい材有効長さ	1000mm
反射体	要素本数	7
	反射体要素材	PNC1540(内側、外側)
	ラッパ管材	フェライト鋼(内側、外側)

*)設置変更(その 15)に使用した核設計計算用仕様。今回の計算はリファレンスとの

比較のため、当時の仕様で実施。

表 3.3 計算ケース

ケース	原料粉 U 濃縮度 (wt%)	Pu 同位体 組成比*	炉心燃料 領域高さ (cm)	Pu 富化度 上限値 (wt%)
標準平衡 炉心	18	1/63/24/8/4/0	50	30
1	19.75	最大値ベース	55	34
2	19.75	ノミナル値ベース	55	34
3	4.8	最大値ベース	60	37
4	4.8	ノミナル値ベース	60	37
5	19.75	ノミナル値ベース	60	31
6	19.75	内側燃料領域 「ふげん」使用済燃料 外側燃料領域 ノミナル値ベース	60	34

*:表 3.1 を参照

4. MK-III 取替炉心の核特性解析

4. 1 炉定数

核計算に用いる炉定数には、MK-III 標準平衡炉心の設計計算と同様に、高速炉用の 70 群 JFS-3-J2 セットを用いた。エネルギー群構造と核分裂スペクトルを表 4.1 に示す。

4. 2 原子数密度

燃料領域以外の部分については、MK-III 標準平衡炉心と同じ組成を使用した。表 4.2 に各領域の原子数密度を示す。

4. 3 計算方法

70 群の実効断面積を縮約して 7 群の実効ミクロ断面積を作成し、2 次元 RZ 計算を行い、これにより炉心面での軸方向バックリング及び軸方向出力分布を求めた。これと 2 次元 XY 三角メッシュ計算により、3 次元相当の出力分布を求めた。

(1) 7 群実効ミクロ断面積の作成

炉定数セット JFS-3-J2 より 70 群実効断面積を作成するための各領域の温度を図 4.1 に示す。7 群の実効ミクロ断面積を作成するための縮約には、軸方向及び径方向 1 次元拡散計算 (ODDBURN)⁽⁶⁾ から求めた領域毎の 70 群の中性子束を用いた。ここで、核分裂スペクトルには ^{239}Pu の値を使用した。径方向、軸方向の計算体系を図 4.2 に示す。

(2) 燃焼チェーン

図 4.3 に示す高次の TRU 核種を考慮した燃焼チェーンを使用した。

(3) 燃焼交換バッチ

運転日数は 1 サイクル 60 日とし、炉心各列の燃料交換方式は、従来の MK-II 炉心及び MK-III 標準平衡炉心と同じバッチ分散方式とした。各列の交換バッチ数を表 4.3 に示す。

(4) 2 次元 RZ 燃焼計算

2 次元 RZ 7 群燃焼計算 (2DBURN)⁽⁶⁾ により、上記の燃料交換に基づいて、サイクル初期及び末期の実効増倍率がほぼ一定となるまで燃焼計算を繰り返し、平衡炉心末期における実効増倍率が 0.994 ± 0.001 となる燃料組成を求めた。2 次元 RZ 計算体系を図 4.4 に示す。

(5) 2次元XY三角メッシュ計算

(4) で求めた軸方向バックリングを用いて、1集合体を6等分した2次元XY三角メッシュ計算 (TRIANGLE)⁽⁶⁾により出力分布、制御棒価値を求めた。計算体系を図4.5に示す。

4. 4 計算値の補正方法

2次元RZ拡散計算及び2次元三角メッシュ拡散計算から得られた出力分布を、MK-II性能試験炉心により得られたC/E等に基づいて補正した。補正方法を以下に示す。

(1) 炉心部の出力分担

MK-III標準平衡炉心と同様に、炉心部の出力分担率は96%とする。

(2) 各集合体出力の算出

MK-II性能試験炉心の解析結果に基づき、反射体に接する炉心燃料集合体の出力を1.039倍し、全出力を保存するよう規格化した。

(3) 制御棒挿入効果

MK-III標準並行炉心の検討において、3次元六角メッシュ拡散計算コードを用いて、制御棒全引抜 ($k_{eff}=1.048$) 及び均等引抜状態 ($k_{eff}=1.009$) における出力分布を比較し、制御棒挿入効果を求めた。今回の検討でもこの補正係数を用いて、サイクル初期の制御棒全引抜状態で求めた出力を補正した。

(4) 燃焼因子

燃焼因子は、同一仕様、同一炉心位置の燃料集合体の燃焼に伴う出力の違いを示すものである。核計算では列毎に平均組成で計算を行っており、平均組成の発熱の値から最大発熱の値を求めるため、最大発熱の値と使用中の平均の発熱の値との比で補正した。

	ペレット 温 度	冷却材 構造材 温 度	制御棒 ナトリウム チャンネル 温 度	中性子源 温 度	径方向反射体 遮へい集合体 温 度	マトリックス外側
ガスプ レナム						
反射体						
インシュ レータ	600°C	550°C	410°C	500°C	500°C	
炉 心	1200°C	450°C	380°C	425°C	410°C	
インシュ レータ	420°C					
下部空間				350°C		
反射体						
	6cm					

図 4.1 各領域の温度

R 座標 (cm)	メッシュ番号
0.0	1
4.3041	5
6.5028	7
9.8926	9
11.3876	11
18.7611	15
19.7328	17
21.5205	19
23.1783	21
26.1808	23
33.6161	29
40.6048	35
41.0585	37
47.3451	41
63.4034	45
70.0657	47
76.1473	49
91.1473	51

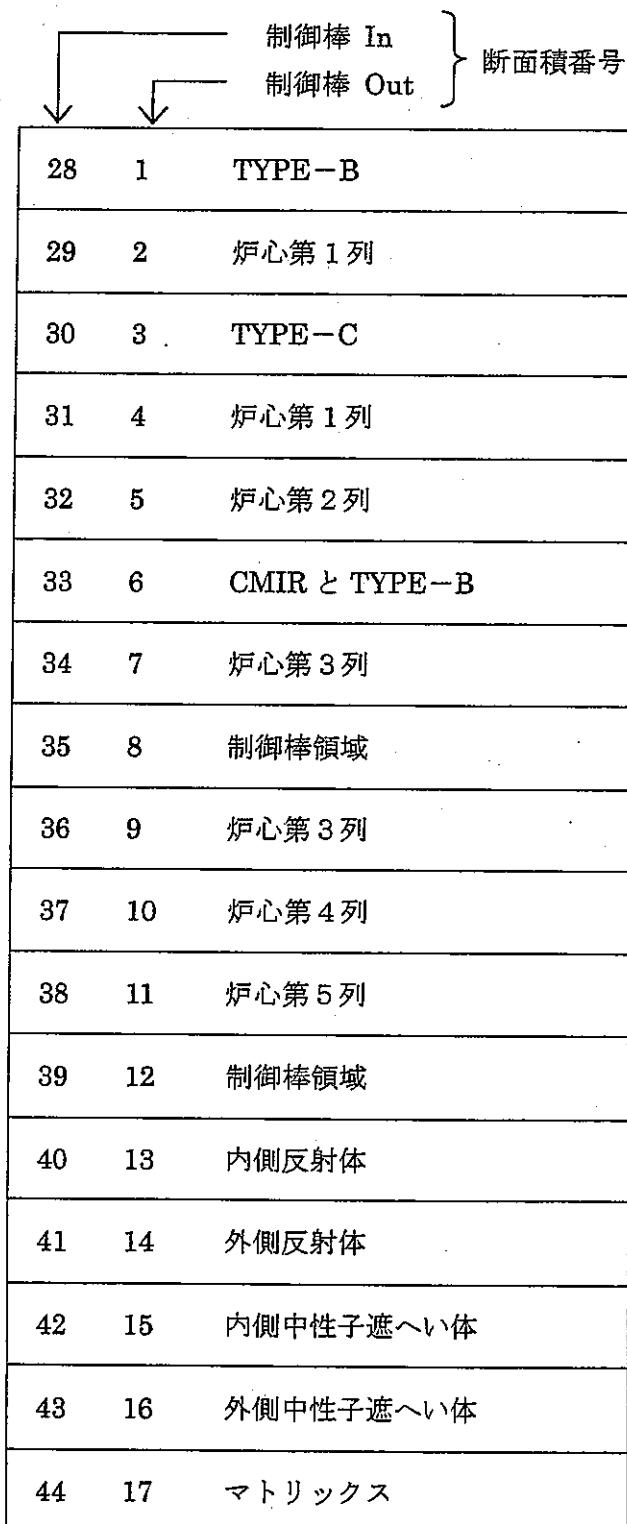


図 4.2 (1) 1 次元径方向縮約計算体系

R 座標 (cm)	メッシュ番号	断面積番号
0.0	1	18 ハンドリングヘッド
5.00	3	19 ガスプレナム
58.00	9	20 制御棒吸収体
60.50	11	21 上部反射体
93.00	19	22 上部インシュレータ
94.2065	21	23 炉心 (制御棒アダプタ)
144.8205	37	24 下部インシュレータ
146.0251	39	25 下部空間
164.5251	45	26 下部反射体
199.5251	51	27 炉心支持板
205.5251	53	

図 4.2 (2) 1 次元軸方向縮約計算体系

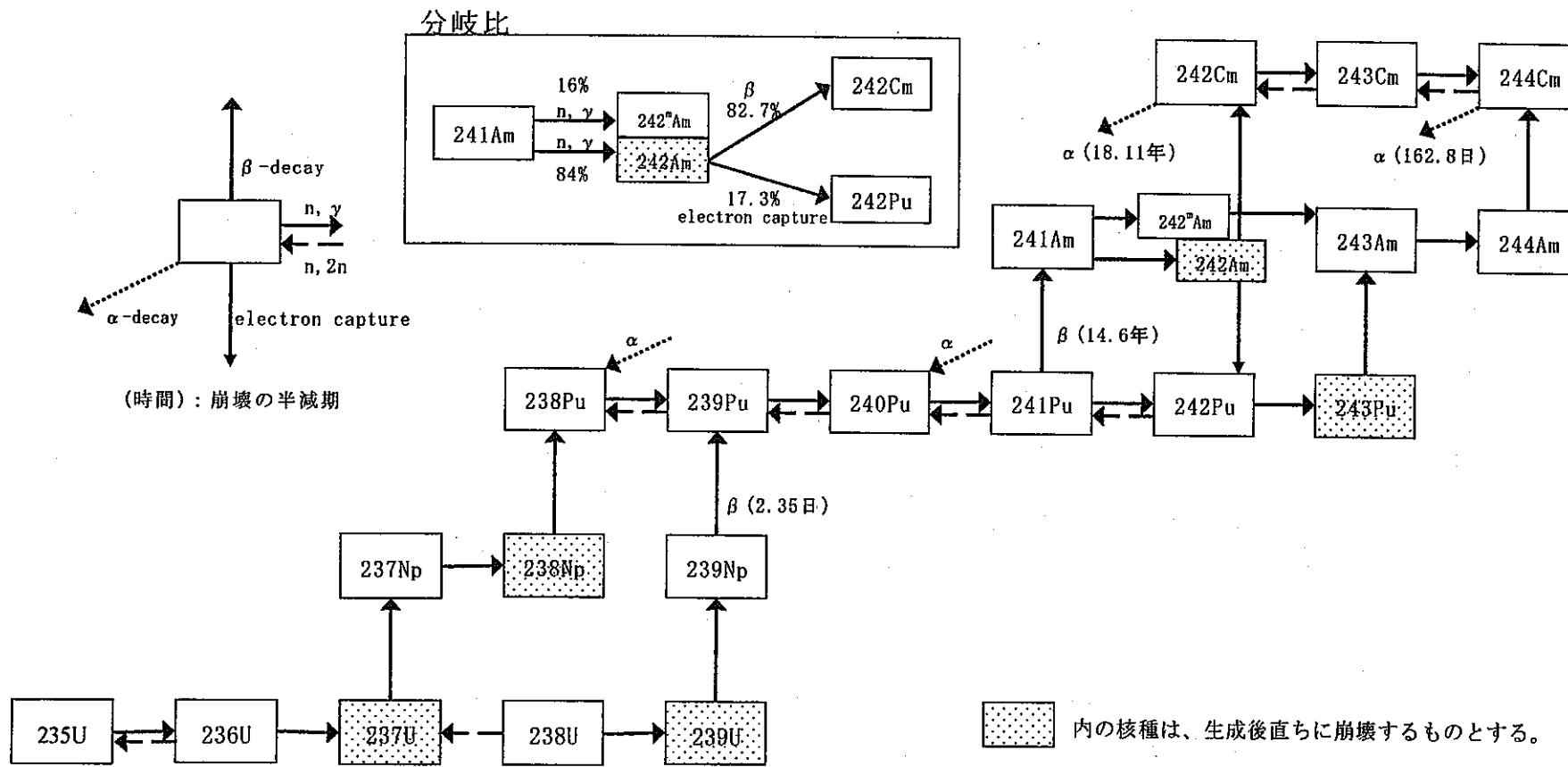


図 4.3 燃焼チェーン

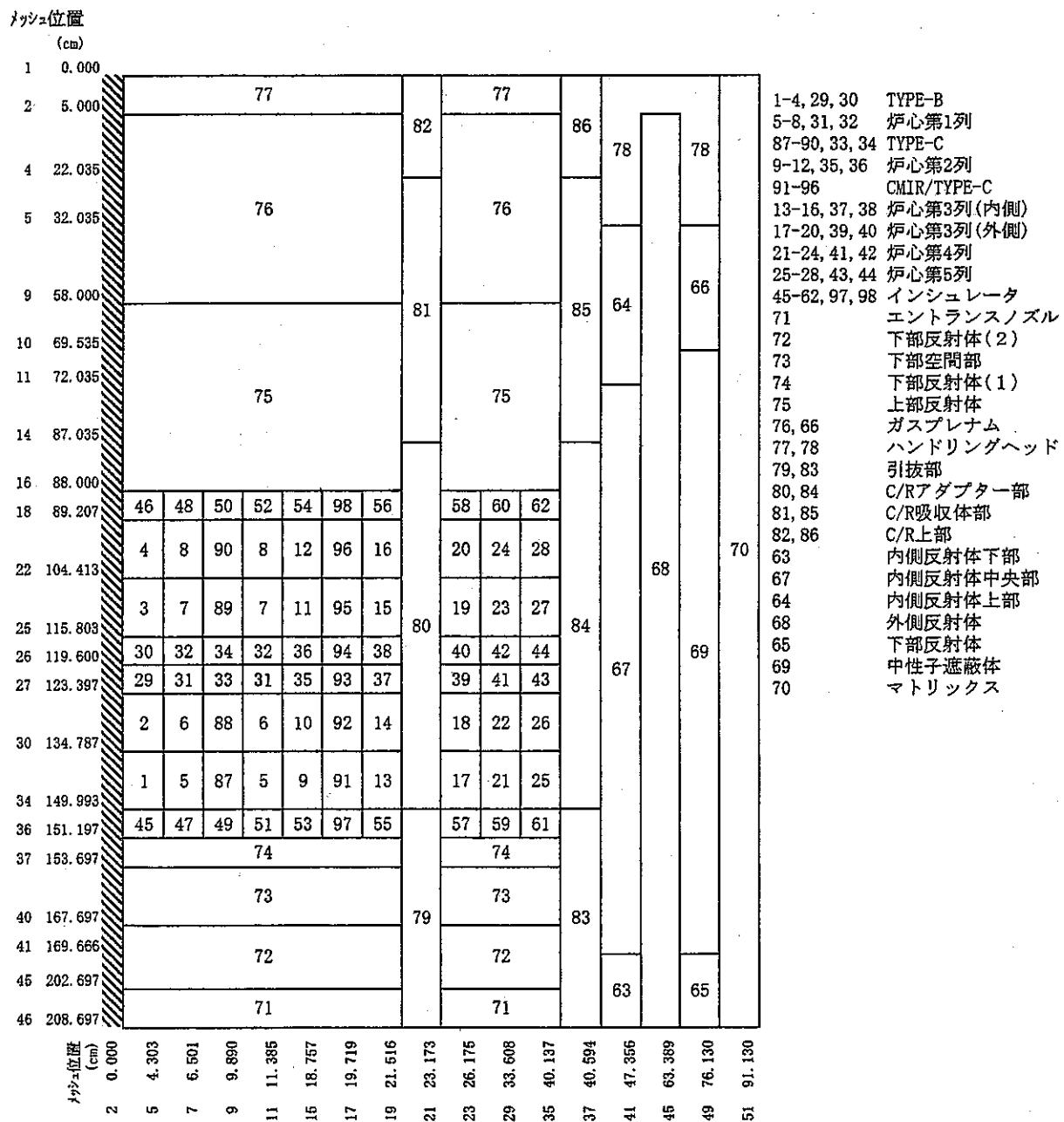
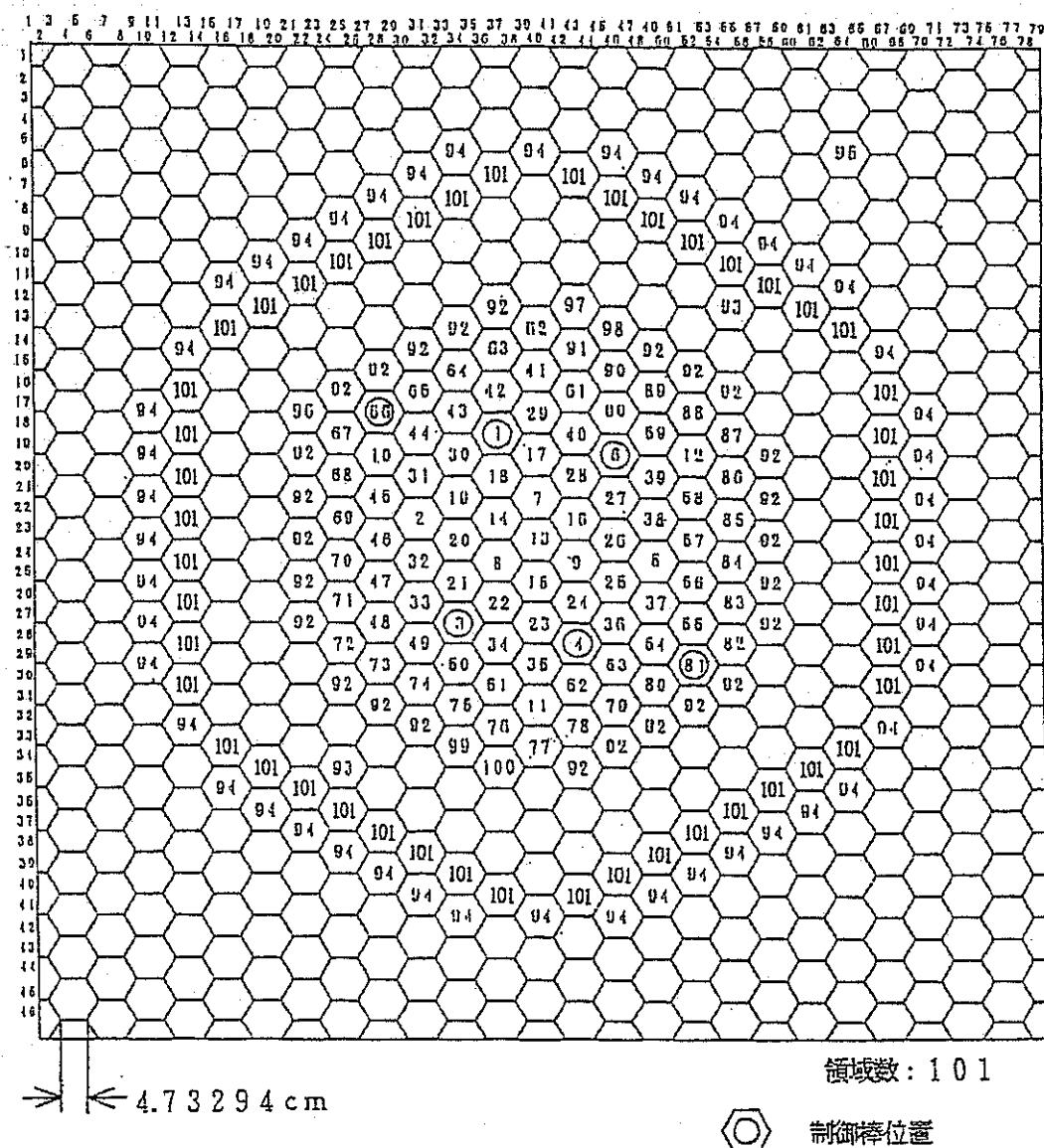


図4.4 2次元RZ燃焼計算の計算体系



注意) 6角形の内部は  の様に正三角形のメッシュに分割されている。

図 4.5 2次元 XY 三角メッシュ計算体系

表 4.1 エネルギー群数及び核分裂スペクトル

70G			18G		7G		70G			18G		7G	
1	7.788(MeV)*	8.32536E-03	1	3.098636E-02			47	78.893	0.0				
2	6.065	2.26610E-02					48	61.442	0.0				
3	4.724	4.57986E-02	2	1.190183E-01			49	47.851	0.0				
4	3.679	7.32197E-02					50	37.267	0.0				
5	2.865	9.73698E-02	3	2.094428E-01			51	29.023	0.0				
6	2.231	1.12073E-01					52	22.603	0.0				
7	1.738	1.15202E-01	4	2.235960E-01			53	17.603	0.0				
8	1.353	1.08394E-01					54	13.710	0.0				
9	1.054	9.51789E-02					55	10.677	0.0				
10	0.821	7.91807E-02	5	1.743576E-01			56	8.315	0.0				
11	0.639	6.31562E-02					57	6.476	0.0				
12	0.498	4.87468E-02	6	1.485763E-01			58	5.043	0.0				
13	0.388	3.66733E-02					59	3.928	0.0				
14	0.302	2.70447E-02					60	3.059	0.0				
15	0.235	1.96360E-02	7	6.076580E-02			61	2.382	0.0				
16	0.183	1.40851E-02					62	1.855	0.0				
17	0.143	1.00083E-02					63	1.445	0.0				
18	0.111	7.05936E-03	8	2.201850E-02			64	1.125	0.0				
19	86.517(keV)	4.95084E-03					65	0.876	0.0				
20	67.379	3.45662E-03					66	0.683	0.0				
21	52.475	2.40499E-03					67	0.532	0.0				
22	40.868	1.66878E-03					68	0.414	0.0				
23	31.828	1.15549E-03					69	0.322	0.0				
24	24.788	7.98769E-04	10	2.505726E-03			70	0.251	0.0				
25	19.305	5.51467E-04											
26	15.034	3.80351E-04											
27	11.709	2.62127E-04	11	8.230190E-04									
28	9.119	1.80541E-04											
29	7.102	1.24290E-04											
30	5.531	8.55336E-05	12	2.686691E-04									
31	4.307	5.88455E-05											
32	3.355	4.04756E-05											
33	2.613	2.78354E-05	13	8.745110E-05									
34	2.035	1.91401E-05											
35	1.585	1.31597E-05											
36	1.234	9.047095E-06	14	2.758824E-05									
37	96.112(eV)	5.38145E-06											
38	74.852	0.0											
39	58.295	0.0	15	0.0									
40	45.400	0.0											
41	35.358	0.0											
42	27.536	0.0	16	0.0									
43	21.445	0.0											
44	16.702	0.0											
45	13.007	0.0	17	0.0									
46	10.130	0.0											

* 各エネルギー群の下限値の値

表4.2 原子数密度 (1/4)
(/barn · cm)

組成番号	1	2	ケース1		ケース2		ケース3		ケース4	
	標準平衡炉心 内側燃料領域	標準平衡炉心 外側燃料領域	内側 燃料領域	外側 燃料領域	内側 燃料領域	外側 燃料領域	内側 燃料領域	外側 燃料領域	内側 燃料領域	外側 燃料領域
B-10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B-11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
O	1.66E-02	1.66E-02	1.66E-02	1.66E-02	1.66E-02	1.66E-02	1.66E-02	1.66E-02	1.66E-02	1.66E-02
Na	8.25E-03	8.25E-03	8.25E-03	8.25E-03	8.25E-03	8.25E-03	8.25E-03	8.25E-03	8.25E-03	8.25E-03
Cr	3.18E-03	3.18E-03	3.18E-03	3.18E-03	3.18E-03	3.18E-03	3.18E-03	3.18E-03	3.18E-03	3.18E-03
Fe	1.19E-02	1.19E-02	1.19E-02	1.19E-02	1.19E-02	1.19E-02	1.19E-02	1.19E-02	1.19E-02	1.19E-02
Ni	3.68E-03	3.68E-03	3.68E-03	3.68E-03	3.68E-03	3.68E-03	3.68E-03	3.68E-03	3.68E-03	3.68E-03
Mn	3.44E-04	3.44E-04	3.44E-04	3.44E-04	3.44E-04	3.44E-04	3.44E-04	3.44E-04	3.44E-04	3.44E-04
Mo	2.73E-04	2.73E-04	2.73E-04	2.73E-04	2.73E-04	2.73E-04	2.73E-04	2.73E-04	2.73E-04	2.73E-04
W	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pu-238	1.93E-05	2.42E-05	4.05E-05	5.40E-05	5.84E-05	6.70E-05	5.04E-05	5.84E-05	6.76E-05	7.31E-05
U-235	1.18E-03	1.09E-03	8.50E-04	5.78E-04	7.06E-04	5.65E-04	1.75E-04	1.38E-04	1.54E-04	1.33E-04
U-236	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U-238	5.31E-03	4.92E-03	5.45E-03	5.04E-03	5.23E-03	5.02E-03	5.62E-03	5.26E-03	5.41E-03	5.21E-03
Pu-239	1.21E-03	1.52E-03	1.22E-03	1.63E-03	1.35E-03	1.55E-03	1.52E-03	1.76E-03	1.56E-03	1.69E-03
Pu-240	4.59E-04	5.77E-04	4.92E-04	6.56E-04	6.23E-04	7.14E-04	6.13E-04	7.11E-04	7.21E-04	7.79E-04
Pu-241	1.52E-04	1.92E-04	1.98E-04	2.63E-04	2.22E-04	2.54E-04	2.46E-04	2.85E-04	2.57E-04	2.77E-04
Pu-242	7.59E-05	9.54E-05	1.13E-04	1.51E-04	1.76E-04	2.02E-04	1.41E-04	1.63E-04	2.04E-04	2.21E-04
Am-241	0.0	0.0	5.28E-05	7.04E-05	5.94E-05	6.82E-05	6.58E-05	7.62E-05	6.88E-05	7.43E-05

表4.2 原子数密度 (2/4)
(/barn · cm)

組成番号	ケース5		ケース6		3	4	5	6	7	8	9
組成要素	内側燃料領域	外側燃料領域	内側燃料領域	外側燃料領域	照射燃料集合体 TYPE-B	照射燃料集合体 TYPE-C	CMIR	インシュレータ (上部)	インシュレータ (下部)	内側反射体 上下部	中性子遮蔽体 下部
B-10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B-11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
O	1.66E-02	1.66E-02	1.66E-02	1.66E-02	6.30E-03	1.09E-02	0.0	1.64E-02	1.64E-02	0.0	0.0
Na	8.25E-03	8.25E-03	8.25E-03	8.25E-03	9.76E-03	1.07E-02	9.42E-03	8.01E-03	8.48E-03	1.12E-02	6.03E-03
Cr	3.18E-03	3.18E-03	3.18E-03	3.18E-03	4.42E-03	3.59E-03	3.90E-03	3.18E-03	3.18E-03	6.88E-03	9.89E-03
Fe	1.19E-02	1.19E-02	1.19E-02	1.19E-02	1.66E-02	1.34E-02	1.46E-02	1.19E-02	1.19E-02	2.10E-02	4.02E-02
Ni	3.68E-03	3.68E-03	3.68E-03	3.68E-03	5.12E-03	4.15E-03	4.52E-03	3.68E-03	3.68E-03	1.42E-02	1.05E-02
Mn	3.44E-04	3.44E-04	3.44E-04	3.44E-04	4.78E-04	3.88E-04	4.22E-04	3.44E-04	3.44E-04	6.13E-04	1.02E-03
Mo	2.73E-04	2.73E-04	2.73E-04	2.73E-04	3.79E-04	3.08E-04	3.35E-04	2.73E-04	2.73E-04	5.59E-04	7.91E-04
W	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.35E-04	8.97E-06
Pu-238	5.29E-05	6.10E-05	2.84E-05	6.41E-05	9.16E-06	1.59E-05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U-235	7.96E-04	6.63E-04	6.79E-04	6.13E-04	4.14E-04	7.16E-04	0.0	1.66E-05	1.67E-05	0.0	0.0
U-236	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U-238	5.37E-03	5.17E-03	5.20E-03	5.09E-03	1.86E-03	3.22E-03	0.0	8.31E-03	8.32E-03	0.0	0.0
Pu-239	1.22E-03	1.41E-03	1.08E-03	1.48E-03	5.75E-04	9.95E-04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pu-240	5.64E-04	6.50E-04	9.78E-04	6.83E-04	2.18E-04	3.78E-04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pu-241	2.01E-04	2.32E-04	2.17E-04	2.43E-04	7.24E-05	1.25E-04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pu-242	1.60E-04	1.84E-04	2.23E-04	1.94E-04	3.61E-05	6.24E-05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Am-241	5.38E-05	6.21E-05	3.31E-05	6.52E-05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表4.2 原子数密度 (3/4)
(/barn · cm)

組成番号	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
要素 \ 組成	ガスプレナム (遮蔽体上部)	内側反射体 中央部	外側反射体	中性子遮蔽体 (B ₄ C)	マトリックス	エントランス ノズル	下部反射体 (2)	下部空間部	上下部反射体 (1)	ガスプレナム (炉心部)	ハンドリング ヘッド (炉心部)
B-10	0.0	0.0	0.0	1.08E-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B-11	0.0	0.0	0.0	4.34E-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C	0.0	0.0	0.0	1.35E-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
O	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Na	5.78E-03	5.93E-03	4.36E-03	5.93E-03	1.92E-02	2.18E-02	8.91E-03	1.91E-02	8.01E-03	8.01E-03	1.82E-02
Cr	1.95E-03	1.03E-02	1.13E-02	1.95E-03	2.18E-03	5.72E-04	8.48E-03	2.26E-03	8.05E-03	3.61E-03	2.12E-03
Fe	1.05E-02	2.93E-02	3.17E-02	1.05E-02	8.16E-03	2.14E-03	3.17E-02	8.46E-03	3.01E-02	1.34E-02	7.93E-03
Ni	1.27E-03	2.23E-02	2.47E-02	1.27E-03	1.36E-03	6.62E-04	9.81E-03	2.16E-03	9.31E-03	3.89E-03	2.45E-03
Mn	1.61E-04	9.38E-04	1.03E-03	1.61E-04	0.0	4.91E-05	9.16E-04	2.44E-04	8.70E-04	3.81E-04	2.29E-04
Mo	1.09E-04	8.69E-04	9.61E-04	1.09E-04	1.73E-04	6.18E-05	7.27E-04	1.94E-04	6.90E-04	3.06E-04	1.82E-04
W	8.97E-06	3.65E-04	4.03E-04	8.97E-06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pu-238	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U-235	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U-236	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U-238	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pu-239	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pu-240	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pu-241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pu-242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Am-241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表4.2 原子数密度 (4/4)
(/barn・cm)

組成番号	21	22	23	24	25
組成要素	ハンドリングヘッド (遮蔽体部)	C/R 引抜部	C/R アダプター部	C/R 吸収体部	C/R 上部
B-10	0.0	0.0	0.0	2.24E-02	0.0
B-11	0.0	0.0	0.0	2.49E-03	0.0
C	0.0	0.0	0.0	6.20E-03	0.0
O	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Na	1.85E-02	2.10E-02	1.61E-02	1.29E-02	1.78E-02
Cr	2.12E-03	1.10E-03	4.17E-03	2.49E-03	3.00E-03
Fe	7.93E-03	4.20E-03	1.60E-02	9.51E-03	1.15E-02
Ni	2.45E-03	8.50E-04	3.23E-03	1.93E-03	2.32E-03
Mn	2.29E-04	1.14E-04	4.32E-04	2.57E-04	3.10E-04
Mo	1.82E-04	9.29E-05	3.53E-04	2.11E-04	2.54E-04
W	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pu-238	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U-235	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U-236	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U-238	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pu-239	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pu-240	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pu-241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pu-242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Am-241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表 4.3 燃料交換バッチ

炉心領域	集合体列	燃料交換バッチ数
内側燃料領域	0	5
	1	5
	2	6
	3	6
外側燃料領域	3	6
	4	7
	5	8

5. 組成及び出力分布の計算結果

5. 1 MK-III 取替炉心の組成計算結果

MK-III 取替炉心のプルトニウム富化度、プルトニウム同位体組成比、ウラン濃縮度、炉心高さをパラメータとして、臨界性、最大線出力密度について計算した結果を表 5.1 に示す。また、主な計算結果について以下に示す。

- ① 臨界性は、ケース 1~6 のいずれのケースにおいても設計条件を満たし、標準平衡炉心程度を確保できた。
- ② 最大線出力密度は、炉心高さの増加に伴い、全てのケースについて標準平衡炉心の最大線出力密度を下回った。
- ③ ケース 1, 3, 6 では、内側及び外側燃料領域の出力を平坦化でき、炉心燃料領域高さ 55cm であるケース 1 では約 380W/cm、60cm であるケース 3, 6 では約 354 W/cm となった。
- ④ ケース 2, 4, 5 では、内側及び外側燃料領域の最大線出力密度を同じとした場合に反応度が不足するため、外側燃料領域のプルトニウム富化度を上限値の 34、37、31wt% とし、内側燃料領域のプルトニウム富化度を上げることによって反応度を確保した。このため、内側燃料領域の線出力密度が外側燃料領域のそれと比べて約 6~7% 高い結果となった。
- ⑤ 燃焼欠損反応度は、全ての検討ケースについて MK-III 標準平衡炉心に比べて小さい結果となった。これは、MK-III 標準平衡炉心と今回検討したケース 1~6 では熱出力及び燃焼期間を同じとしており、核分裂性物質量の絶対量の減少は同じであるが、炉心燃料領域高さが長くなっているため、核分裂性物質の装荷量が多く、核分裂性物質量の相対変化で比較すると、ケース 1~6 の方が減少割合が MK-III 標準平衡炉心に比べて小さくなるためである。
- ⑥ また、同じ炉心燃料領域高さであるケース 3~6 で比較した場合についても、ケース 3, 4 の燃焼欠損反応度がケース 5, 6 に比して大きい。これは、ケース 3, 4 では等価フィッサイル係数が小さい U-235 の濃縮度が低く、逆に等価フィッサイル係数が大きいプルトニウムの量が多いため、同じ臨界性を得るために必要な核分裂性物質のインベントリーがケース 5, 6 と比べて小さいことから、燃焼による核分裂性物質の減少量の相対変化が大きくなるためである。

5. 2 出力分布特性

(1) 最大集合体出力

各流量領域における最大集合体出力の計算結果を表 5.2 に示す。最大集合体出力は、全てのケースにおいて第 1 流量領域に現れた。内側及び外側燃料領域の出力バランスが取れているケース 1, 3, 6 では、各流量領域とも標準平衡炉心とほぼ同じ集合体出力となっているが、ケース 2, 4, 5 では内側燃料領域の出力分担が大きい結果となっている。

(2) 最大線出力密度

各流量領域における最大集合体出力の計算結果を表 5.3 に示す。最大線出力密度は全てのケースにおいて第 1 流量領域に現れた。

今回検討したケースでは、炉心燃料領域高さの増加に伴い最大線出力密度は標準平衡炉心に比べて低下した。内側及び外側燃料領域の出力バランスがとれているケース 1, 3, 6 で比較すると、炉心燃料領域高さが 5cm 長くなるごとに約 8% 最大線出力密度は減少する結果となっている。

(3) 要素最大出力

各流量領域における最大集合体出力の計算結果を表 5.4 に示す。要素最大出力は、全てのケースにおいて第 1 流量領域に現れた。また、最大集合体出力と同様に、出力バランスが取れているケース 1, 3, 6 では標準平衡炉心とほぼ同じ値となった。

(4) 出力分担

炉心部の発熱割合を 96% とした各部の出力分担を表 5.5 に示す。初期の出力分担で比較すると、

① 出力のバランスを考慮した場合

内側燃料領域の出力分担	約 27%	
外側燃料領域	〃	約 67%

② 出力のバランスを考慮しない場合

内側燃料領域の出力分担	約 28%	
外側燃料領域	〃	約 66%

となり、その差は約 1% であった。

また、照射燃料集合体の発熱分担は 5.2~5.8% となった。

5. 3 中性子束分布特性

平衡炉心初期及び末期の各列における最大中性子束を表 5.6(1)~(7) に示す。また、径方向の中性子束分布を図 5.1 に示す。

ケース 1~4 では次に示す 2 つの要因が相殺することにより、炉内最大中性子束は標準平衡炉心とほぼ同じ値となったと考えられる。

- ① 炉心燃料領域高さの増加による出力密度の減少に伴う中性子束の低下。
- ② U 濃縮度の低下に伴い、等価フィッサイル係数の高い Pu-239, 241 の存在割合が大きくなり、臨界の維持に必要な核分裂物質量が少なくなることに伴う、中性子束の増加。

また、ケース 5, 6 では、炉心燃料領域高さについてはケース 3, 4 と同じであるが、U-235 濃縮度が大きいために②の効果が小さくなり、他のケースに比して中性子

束の低下が大きくなつたと考えられる。しかしながら、いずれのケースについても MK-II 炉心における炉内最大中性子束 ($>0.1\text{MeV}$) である $3.6 \times 10^{15}\text{n/cm}^2 \cdot \text{s}$ を上回る結果となつた。

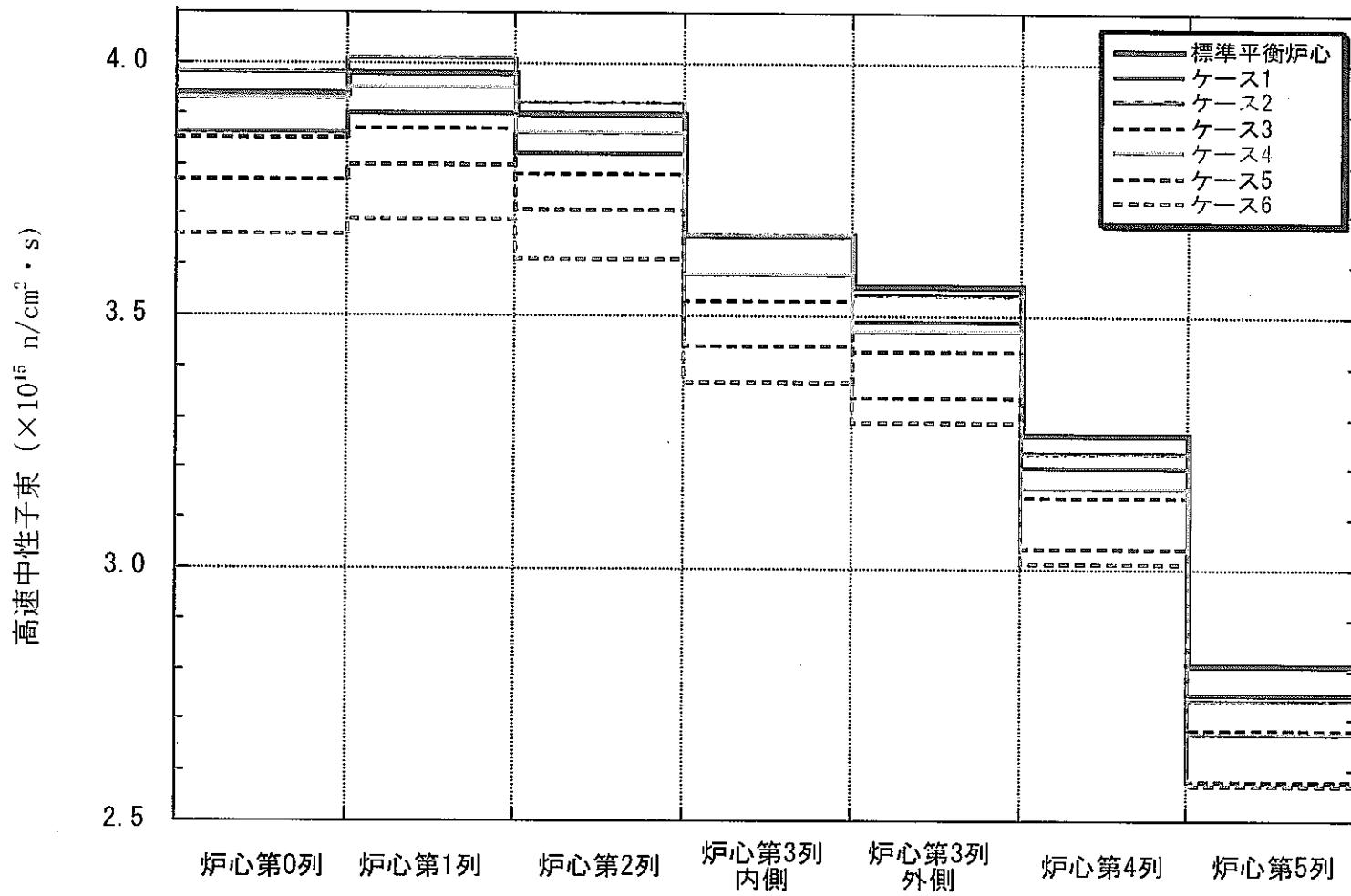
図 5.1 径方向の高速中性子束 ($>0.1 \text{ MeV}$) 分布

表5.1 MK-III取替炉心の核計算の計算結果

	標準平衡炉心*	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
炉心燃料領域高さ (cm)	50	55	55	60	60	60	60
Pu同位体組成比 (wt%)							内側燃料領域 外側燃料領域
Pu-238	1	1.90	2.33	1.90	2.33	2.33	1.1 2.33
Pu-239	63	57.50	54.10	57.50	54.10	54.10	42.0 54.10
Pu-240	24	23.30	25.05	23.30	25.05	25.05	38.2 25.05
Pu-241	8	9.39	8.96	9.39	8.96	8.96	8.5 8.96
Pu-242	4	5.40	7.16	5.40	7.16	7.16	8.8 7.16
Am-241	0	2.51	2.40	2.51	2.40	2.40	1.3 2.40
U-235濃縮度 (wt%)							
内側燃料領域	18.0	13.3	11.8	3.0	2.7	12.8	11.4
外側燃料領域	18.0	10.2	10.0	2.5	2.5	11.2	10.6
Pu富化度 (wt%) **							
内側燃料領域	23.0	25.3	29.7	31.4	34.3	26.9	30.5
外側燃料領域	28.8	33.6	34.0	36.3	37.0	31.0	32.6
実効増倍率***							
サイクル初期	1.0087 (1.0101) ****	1.0109	1.0107	1.0106	1.0102	1.0097	1.0094
サイクル末期	0.9913 (0.9939) ****	0.9940	0.9940	0.9941	0.9937	0.9939	0.9941
燃焼欠損反応度 (%Δk/kk')	1.74	1.68	1.64	1.62	1.62	1.57	1.52
最大線出力密度 (W/cm)							
内側燃料領域	415.7 (414.4) ****	382	403	354	372	374	354
外側燃料領域	414.5 (413.4) ****	381	377	354	351	348	353
炉内最大中性子束 (n/cm ² s) (0.1MeV以上)	3.98×10^{15}	3.90×10^{15}	4.01×10^{15}	3.87×10^{15}	3.95×10^{15}	3.80×10^{15}	3.69×10^{15}

* 燃焼チェーンの計算方法をケース1から6と同じにした場合。

** (Pu+Am-241) / (U+Pu+Am-241)

*** 臨界性の目標は2次元燃焼計算で0.994とする。

**** () 内は以前の燃焼チェーンによる計算値

標準平衡炉心
表 5.2 各列の最大集合体出力

炉心領域	流量領域	燃焼因子	制御棒挿入効果	集合体番号*	最大集合体出力(MW)
内側燃料領域	1	1.068	1.009	16	2.25
	2	1.079	1.017	26	2.18
	3	1.075	1.022	38	2.02
外側燃料領域	3	1.074	1.000	40	2.13
	4	1.078	1.034	57	1.99
	5	1.079	1.041	85	1.74

* : 集合体番号については図4.4参照。

ケース1

炉心領域	流量領域	燃焼因子	制御棒挿入効果	集合体番号	最大集合体出力(MW)
内側燃料領域	1	1.058	1.009	16	2.22
	2	1.069	1.017	26	2.15
	3	1.065	1.022	38	2.00
外側燃料領域	3	1.065	1.000	40	2.11
	4	1.069	1.034	57	1.97
	5	1.068	1.041	85	1.71

ケース2

炉心領域	流量領域	燃焼因子	制御棒挿入効果	集合体番号	最大集合体出力(MW)
内側燃料領域	1	1.059	1.009	16	2.34
	2	1.070	1.017	26	2.26
	3	1.065	1.022	38	2.08
外側燃料領域	3	1.063	1.000	40	2.08
	4	1.067	1.034	57	1.93
	5	1.066	1.041	85	1.67

ケース3

炉心領域	流量領域	燃焼因子	制御棒挿入効果	集合体番号	最大集合体出力(MW)
内側燃料領域	1	1.052	1.009	16	2.21
	2	1.061	1.017	26	2.14
	3	1.057	1.022	38	1.97
外側燃料領域	3	1.060	1.000	40	2.10
	4	1.064	1.034	57	1.95
	5	1.062	1.041	85	1.68

ケース4

炉心領域	流量領域	燃焼因子	制御棒挿入効果	集合体番号	最大集合体出力(MW)
内側燃料領域	1	1.053	1.009	16	2.32
	2	1.063	1.017	26	2.24
	3	1.059	1.022	38	2.06
外側燃料領域	3	1.058	1.000	40	2.07
	4	1.061	1.034	57	1.92
	5	1.060	1.041	85	1.65

ケース5

炉心領域	流量領域	燃焼因子	制御棒挿入効果	集合体番号	最大集合体出力(MW)
内側燃料領域	1	1.056	1.009	16	2.33
	2	1.066	1.017	26	2.25
	3	1.062	1.022	38	2.07
外側燃料領域	3	1.060	1.000	40	2.06
	4	1.063	1.034	57	1.92
	5	1.062	1.041	85	1.66

ケース6

炉心領域	流量領域	燃焼因子	制御棒挿入効果	集合体番号	最大集合体出力(MW)
内側燃料領域	1	1.049	1.009	16	2.21
	2	1.058	1.017	26	2.13
	3	1.054	1.022	38	1.97
外側燃料領域	3	1.060	1.000	40	2.09
	4	1.064	1.034	57	1.95
	5	1.063	1.041	85	1.69

表 5.3 各列の最大線出力密度

標準平衡炉心

炉心領域	流量領域	燃焼因子	制御棒挿入効果	集合体番号*	最大線出力密度 (W/cm)
内側燃料領域	1	1.068	1.009	16	414
	2	1.079	1.017	26	411
	3	1.075	1.022	38	391
外側燃料領域	3	1.074	1.000	40	413
	4	1.078	1.034	57	394
	5	1.079	1.041	85	354

* : 集合体番号については図4.4参照

ケース1

炉心領域	流量領域	燃焼因子	制御棒挿入効果	集合体番号	最大線出力密度 (W/cm)
内側燃料領域	1	1.058	1.009	16	382
	2	1.069	1.017	26	379
	3	1.065	1.022	38	359
外側燃料領域	3	1.065	1.000	40	381
	4	1.069	1.034	57	363
	5	1.068	1.041	85	326

ケース2

炉心領域	流量領域	燃焼因子	制御棒挿入効果	集合体番号	最大線出力密度 (W/cm)
内側燃料領域	1	1.059	1.009	16	403
	2	1.070	1.017	26	399
	3	1.065	1.022	38	377
外側燃料領域	3	1.063	1.000	40	377
	4	1.067	1.034	57	359
	5	1.066	1.041	85	319

ケース3

炉心領域	流量領域	燃焼因子	制御棒挿入効果	集合体番号	最大線出力密度 (W/cm)
内側燃料領域	1	1.052	1.009	16	354
	2	1.061	1.017	26	351
	3	1.057	1.022	38	332
外側燃料領域	3	1.060	1.000	40	354
	4	1.064	1.034	57	337
	5	1.062	1.041	85	300

ケース4

炉心領域	流量領域	燃焼因子	制御棒挿入効果	集合体番号	最大線出力密度 (W/cm)
内側燃料領域	1	1.053	1.009	16	372
	2	1.063	1.017	26	369
	3	1.059	1.022	38	347
外側燃料領域	3	1.058	1.000	40	351
	4	1.061	1.034	57	333
	5	1.060	1.041	85	294

ケース5

炉心領域	流量領域	燃焼因子	制御棒挿入効果	集合体番号	最大線出力密度 (W/cm)
内側燃料領域	1	1.056	1.009	16	374
	2	1.066	1.017	26	370
	3	1.062	1.022	38	348
外側燃料領域	3	1.060	1.000	40	348
	4	1.063	1.034	57	331
	5	1.062	1.041	85	293

ケース6

炉心領域	流量領域	燃焼因子	制御棒挿入効果	集合体番号	最大線出力密度 (W/cm)
内側燃料領域	1	1.049	1.009	16	354
	2	1.058	1.017	26	350
	3	1.054	1.022	38	331
外側燃料領域	3	1.060	1.000	40	353
	4	1.064	1.034	57	336
	5	1.063	1.041	85	300

表 5.4 各列の要素最大出力

標準平衡炉心

炉心領域	流量領域	燃焼因子	制御棒挿入効果	集合体番号*	要素最大出力 (kW)
内側燃料領域	1	1.068	1.009	16	17.9
	2	1.079	1.017	26	17.7
	3	1.075	1.022	38	16.8
外側燃料領域	3	1.074	1.000	40	17.8
	4	1.078	1.034	57	17.1
	5	1.079	1.041	85	15.5

* : 集合体番号については図4.4参照。

ケース1

炉心領域	流量領域	燃焼因子	制御棒挿入効果	集合体番号	要素最大出力 (kW)
内側燃料領域	1	1.058	1.009	16	17.7
	2	1.069	1.017	26	17.5
	3	1.065	1.022	38	16.7
外側燃料領域	3	1.065	1.000	40	17.6
	4	1.069	1.034	57	16.9
	5	1.068	1.041	85	15.3

ケース2

炉心領域	流量領域	燃焼因子	制御棒挿入効果	集合体番号	要素最大出力 (kW)
内側燃料領域	1	1.059	1.009	16	18.6
	2	1.070	1.017	26	18.4
	3	1.065	1.022	38	17.4
外側燃料領域	3	1.063	1.000	40	17.4
	4	1.067	1.034	57	16.7
	5	1.066	1.041	85	15.0

ケース3

炉心領域	流量領域	燃焼因子	制御棒挿入効果	集合体番号	要素最大出力 (kW)
内側燃料領域	1	1.052	1.009	16	17.6
	2	1.061	1.017	26	17.4
	3	1.057	1.022	38	16.5
外側燃料領域	3	1.060	1.000	40	17.6
	4	1.064	1.034	57	16.8
	5	1.062	1.041	85	15.1

ケース4

炉心領域	流量領域	燃焼因子	制御棒挿入効果	集合体番号	要素最大出力 (kW)
内側燃料領域	1	1.053	1.009	16	18.6
	2	1.063	1.017	26	18.4
	3	1.059	1.022	38	17.3
外側燃料領域	3	1.058	1.000	40	17.5
	4	1.061	1.034	57	16.7
	5	1.060	1.041	85	14.9

ケース5

炉心領域	流量領域	燃焼因子	制御棒挿入効果	集合体番号	要素最大出力 (kW)
内側燃料領域	1	1.056	1.009	16	18.6
	2	1.066	1.017	26	18.4
	3	1.062	1.022	38	17.3
外側燃料領域	3	1.060	1.000	40	17.3
	4	1.063	1.034	57	16.6
	5	1.062	1.041	85	14.8

ケース6

炉心領域	流量領域	燃焼因子	制御棒挿入効果	集合体番号	要素最大出力 (kW)
内側燃料領域	1	1.049	1.009	16	17.6
	2	1.058	1.017	26	17.4
	3	1.054	1.022	38	16.5
外側燃料領域	3	1.060	1.000	40	17.5
	4	1.064	1.034	57	16.8
	5	1.063	1.041	85	15.2

表5.5 出力分担

燃焼時期	ケース	内側 燃料領域	外側 燃料領域	インシュ レータ上部	インシュ レータ下部	(%) 照射燃料 集合体
平衡初期	ケース1	27.1	67.2	0.2	0.2	5.3
	ケース2	28.3	65.9	0.2	0.2	5.4
	ケース3	27.1	66.8	0.2	0.2	5.8
	ケース4	28.2	65.6	0.2	0.2	5.8
	ケース5	28.4	65.7	0.2	0.2	5.6
	ケース6	27.1	67.0	0.2	0.2	5.5
平衡末期	ケース1	27.0	67.4	0.2	0.2	5.2
	ケース2	28.2	66.1	0.2	0.2	5.3
	ケース3	26.9	67.0	0.2	0.2	5.7
	ケース4	28.1	65.8	0.2	0.2	5.8
	ケース5	28.2	65.9	0.2	0.2	5.5
	ケース6	27.0	67.1	0.2	0.2	5.4

表5.6(1) 各列の最大中性子束 (標準平衡炉心)
サイクル初期 (n/cm²·s)

集合体列 エネルギー群	第0列	第1列	第2列	第3列 内側燃料 領域	第3列 外側燃料 領域	第4列	第5列
1群	7.09E+14	7.36E+14	7.27E+14	6.88E+14	6.72E+14	6.20E+14	5.32E+14
2群	1.37E+15	1.38E+15	1.35E+15	1.27E+15	1.24E+15	1.14E+15	9.73E+14
3群	1.96E+15	1.97E+15	1.92E+15	1.80E+15	1.75E+15	1.60E+15	1.37E+15
4群	1.29E+15	1.28E+15	1.25E+15	1.16E+15	1.13E+15	1.03E+15	9.01E+14
5群	2.29E+14	2.10E+14	2.00E+14	1.83E+14	1.83E+14	1.65E+14	1.52E+14
6群	1.67E+13	1.41E+13	1.31E+13	1.21E+13	1.25E+13	1.17E+13	1.57E+13
7群	1.17E+10	7.66E+09	7.09E+09	7.64E+09	8.89E+09	2.01E+10	2.26E+11
高速群 (E>0.1MeV)	3.85E+15	3.89E+15	3.82E+15	3.58E+15	3.49E+15	3.20E+15	2.74E+15
全群	5.57E+15	5.58E+15	5.46E+15	5.11E+15	4.99E+15	4.56E+15	3.95E+15

サイクル末期

集合体列 エネルギー群	第0列	第1列	第2列	第3列 内側燃料 領域	第3列 外側燃料 領域	第4列	第5列
1群	7.23E+14	7.49E+14	7.39E+14	6.98E+14	6.81E+14	6.30E+14	5.42E+14
2群	1.40E+15	1.41E+15	1.38E+15	1.29E+15	1.26E+15	1.16E+15	9.94E+14
3群	2.01E+15	2.02E+15	1.97E+15	1.85E+15	1.79E+15	1.64E+15	1.41E+15
4群	1.33E+15	1.32E+15	1.29E+15	1.20E+15	1.17E+15	1.06E+15	9.31E+14
5群	2.38E+14	2.19E+14	2.09E+14	1.91E+14	1.92E+14	1.72E+14	1.59E+14
6群	1.75E+13	1.49E+13	1.39E+13	1.29E+13	1.33E+13	1.24E+13	1.66E+13
7群	1.22E+10	8.02E+09	7.44E+09	8.06E+09	9.41E+09	2.14E+10	2.39E+11
高速群 (E>0.1MeV)	3.94E+15	3.98E+15	3.90E+15	3.66E+15	3.56E+15	3.27E+15	2.81E+15
全群	5.71E+15	5.72E+15	5.60E+15	5.24E+15	5.11E+15	4.68E+15	4.05E+15

表5.6(2) 各列の最大中性子束 (ケース1)

サイクル初期 集合体列 エネルギー群	第0列	第1列	第2列	第3列 内側燃料 領域	第3列 外側燃料 領域	第4列	第5列
1群	6.92E+14	7.14E+14	7.03E+14	6.63E+14	6.49E+14	5.98E+14	5.12E+14
2群	1.35E+15	1.35E+15	1.32E+15	1.23E+15	1.20E+15	1.11E+15	9.43E+14
3群	1.95E+15	1.95E+15	1.91E+15	1.79E+15	1.74E+15	1.58E+15	1.36E+15
4群	1.30E+15	1.29E+15	1.26E+15	1.18E+15	1.15E+15	1.05E+15	9.15E+14
5群	2.38E+14	2.20E+14	2.11E+14	1.94E+14	1.95E+14	1.75E+14	1.63E+14
6群	1.83E+13	1.57E+13	1.48E+13	1.40E+13	1.46E+13	1.36E+13	1.79E+13
7群	1.26E+10	8.59E+09	8.17E+09	9.26E+09	1.07E+10	2.41E+10	2.57E+11
高速群 (E>0.1MeV)	3.80E+15	3.83E+15	3.75E+15	3.51E+15	3.42E+15	3.14E+15	2.68E+15
全群	5.54E+15	5.54E+15	5.42E+15	5.07E+15	4.95E+15	4.52E+15	3.91E+15

サイクル末期

サイクル末期 集合体列 エネルギー群	第0列	第1列	第2列	第3列 内側燃料 領域	第3列 外側燃料 領域	第4列	第5列
1群	6.98E+14	7.21E+14	7.11E+14	6.72E+14	6.57E+14	6.08E+14	5.22E+14
2群	1.37E+15	1.37E+15	1.34E+15	1.25E+15	1.22E+15	1.13E+15	9.64E+14
3群	1.99E+15	2.00E+15	1.96E+15	1.83E+15	1.78E+15	1.62E+15	1.39E+15
4群	1.34E+15	1.34E+15	1.31E+15	1.22E+15	1.19E+15	1.08E+15	9.45E+14
5群	2.49E+14	2.30E+14	2.21E+14	2.03E+14	2.04E+14	1.83E+14	1.69E+14
6群	1.94E+13	1.67E+13	1.57E+13	1.48E+13	1.54E+13	1.43E+13	1.88E+13
7群	1.33E+10	9.06E+09	8.60E+09	9.78E+09	1.14E+10	2.57E+10	2.70E+11
高速群 (E>0.1MeV)	3.86E+15	3.90E+15	3.82E+15	3.58E+15	3.49E+15	3.20E+15	2.75E+15
全群	5.67E+15	5.67E+15	5.55E+15	5.19E+15	5.07E+15	4.64E+15	4.01E+15

表5.6(3) 各列の最大中性子束 (ケース2)

サイクル初期

集合体列 エネルギー群	(n/cm ² ·s)						
	第0列	第1列	第2列	第3列 内側燃料 領域	第3列 外側燃料 領域	第4列	第5列
1群	7.20E+14	7.45E+14	7.32E+14	6.84E+14	6.60E+14	6.03E+14	5.09E+14
2群	1.39E+15	1.39E+15	1.36E+15	1.26E+15	1.22E+15	1.12E+15	9.40E+14
3群	1.99E+15	2.00E+15	1.95E+15	1.82E+15	1.76E+15	1.60E+15	1.36E+15
4群	1.32E+15	1.32E+15	1.28E+15	1.19E+15	1.17E+15	1.06E+15	9.25E+14
5群	2.41E+14	2.22E+14	2.13E+14	1.96E+14	1.98E+14	1.78E+14	1.66E+14
6群	1.84E+13	1.58E+13	1.48E+13	1.40E+13	1.48E+13	1.39E+13	1.84E+13
7群	1.28E+10	8.43E+09	7.99E+09	9.02E+09	1.10E+10	2.52E+10	2.68E+11
高速群 (E>0.1MeV)	3.91E+15	3.94E+15	3.85E+15	3.58E+15	3.47E+15	3.16E+15	2.68E+15
全群	5.68E+15	5.69E+15	5.55E+15	5.16E+15	5.02E+15	4.57E+15	3.92E+15

サイクル末期

集合体列 エネルギー群	(n/cm ² ·s)						
	第0列	第1列	第2列	第3列 内側燃料 領域	第3列 外側燃料 領域	第4列	第5列
1群	7.26E+14	7.51E+14	7.40E+14	6.93E+14	6.69E+14	6.12E+14	5.19E+14
2群	1.41E+15	1.41E+15	1.38E+15	1.28E+15	1.24E+15	1.14E+15	9.61E+14
3群	2.04E+15	2.05E+15	2.00E+15	1.86E+15	1.80E+15	1.64E+15	1.40E+15
4群	1.37E+15	1.36E+15	1.33E+15	1.23E+15	1.21E+15	1.10E+15	9.55E+14
5群	2.53E+14	2.33E+14	2.23E+14	2.05E+14	2.07E+14	1.86E+14	1.72E+14
6群	1.96E+13	1.68E+13	1.58E+13	1.49E+13	1.57E+13	1.47E+13	1.93E+13
7群	1.34E+10	8.88E+09	8.41E+09	9.52E+09	1.16E+10	2.68E+10	2.81E+11
高速群 (E>0.1MeV)	3.98E+15	4.01E+15	3.92E+15	3.66E+15	3.54E+15	3.23E+15	2.74E+15
全群	5.81E+15	5.82E+15	5.68E+15	5.29E+15	5.15E+15	4.69E+15	4.03E+15

表5.6(4) 各列の最大中性子束 (ケース3)

サイクル初期

集合体列 エネルギー群	(n/cm ² ·s)						
	第0列	第1列	第2列	第3列 内側燃料 領域	第3列 外側燃料 領域	第4列	第5列
1群	6.85E+14	7.03E+14	6.90E+14	6.45E+14	6.28E+14	5.78E+14	4.91E+14
2群	1.33E+15	1.33E+15	1.30E+15	1.21E+15	1.17E+15	1.08E+15	9.12E+14
3群	1.95E+15	1.96E+15	1.92E+15	1.79E+15	1.73E+15	1.58E+15	1.34E+15
4群	1.34E+15	1.34E+15	1.30E+15	1.22E+15	1.19E+15	1.08E+15	9.37E+14
5群	2.57E+14	2.41E+14	2.32E+14	2.14E+14	2.15E+14	1.92E+14	1.77E+14
6群	2.17E+13	1.93E+13	1.84E+13	1.76E+13	1.83E+13	1.67E+13	2.13E+13
7群	1.61E+10	1.16E+10	1.14E+10	1.34E+10	1.56E+10	3.36E+10	3.18E+11
高速群 (E>0.1MeV)	3.78E+15	3.80E+15	3.72E+15	3.46E+15	3.37E+15	3.08E+15	2.62E+15
全群	5.59E+15	5.59E+15	5.46E+15	5.08E+15	4.96E+15	4.52E+15	3.88E+15

サイクル末期

集合体列 エネルギー群	(n/cm ² ·s)						
	第0列	第1列	第2列	第3列 内側燃料 領域	第3列 外側燃料 領域	第4列	第5列
1群	6.90E+14	7.09E+14	6.97E+14	6.53E+14	6.36E+14	5.87E+14	5.00E+14
2群	1.35E+15	1.35E+15	1.32E+15	1.23E+15	1.19E+15	1.10E+15	9.32E+14
3群	2.00E+15	2.00E+15	1.96E+15	1.83E+15	1.77E+15	1.61E+15	1.38E+15
4群	1.38E+15	1.38E+15	1.34E+15	1.25E+15	1.23E+15	1.11E+15	9.65E+14
5群	2.67E+14	2.51E+14	2.41E+14	2.23E+14	2.24E+14	1.99E+14	1.84E+14
6群	2.30E+13	2.04E+13	1.94E+13	1.85E+13	1.92E+13	1.75E+13	2.22E+13
7群	1.69E+10	1.22E+10	1.20E+10	1.41E+10	1.65E+10	3.55E+10	3.32E+11
高速群 (E>0.1MeV)	3.85E+15	3.87E+15	3.78E+15	3.53E+15	3.43E+15	3.14E+15	2.68E+15
全群	5.71E+15	5.71E+15	5.58E+15	5.20E+15	5.07E+15	4.62E+15	3.98E+15

表5.6(5) 各列の最大中性子束 (ケース4)

サイクル初期

集合体列 エネルギー群	第0列	第1列	第2列	第3列 内側燃料 領域	第3列 外側燃料 領域	第4列	第5列	(n/cm ² ·s)
1群	7.07E+14	7.27E+14	7.13E+14	6.61E+14	6.37E+14	5.81E+14	4.87E+14	
2群	1.37E+15	1.36E+15	1.33E+15	1.23E+15	1.19E+15	1.08E+15	9.09E+14	
3群	1.99E+15	1.99E+15	1.94E+15	1.80E+15	1.75E+15	1.59E+15	1.35E+15	
4群	1.35E+15	1.35E+15	1.32E+15	1.22E+15	1.20E+15	1.08E+15	9.43E+14	
5群	2.57E+14	2.41E+14	2.31E+14	2.14E+14	2.17E+14	1.93E+14	1.79E+14	
6群	2.16E+13	1.90E+13	1.81E+13	1.74E+13	1.83E+13	1.69E+13	2.16E+13	
7群	1.60E+10	1.13E+10	1.10E+10	1.30E+10	1.57E+10	3.45E+10	3.26E+11	
高速群 (E>0.1MeV)	3.87E+15	3.89E+15	3.80E+15	3.52E+15	3.40E+15	3.10E+15	2.61E+15	
全群	5.69E+15	5.69E+15	5.55E+15	5.15E+15	5.01E+15	4.55E+15	3.89E+15	

サイクル末期

集合体列 エネルギー群	第0列	第1列	第2列	第3列 内側燃料 領域	第3列 外側燃料 領域	第4列	第5列	(n/cm ² ·s)
1群	7.12E+14	7.33E+14	7.19E+14	6.69E+14	6.45E+14	5.90E+14	4.97E+14	
2群	1.38E+15	1.38E+15	1.35E+15	1.25E+15	1.21E+15	1.10E+15	9.28E+14	
3群	2.03E+15	2.04E+15	1.99E+15	1.85E+15	1.79E+15	1.62E+15	1.38E+15	
4群	1.39E+15	1.39E+15	1.35E+15	1.26E+15	1.24E+15	1.12E+15	9.71E+14	
5群	2.68E+14	2.51E+14	2.41E+14	2.22E+14	2.25E+14	2.01E+14	1.85E+14	
6群	2.28E+13	2.01E+13	1.91E+13	1.82E+13	1.92E+13	1.77E+13	2.25E+13	
7群	1.68E+10	1.18E+10	1.16E+10	1.36E+10	1.66E+10	3.63E+10	3.40E+11	
高速群 (E>0.1MeV)	3.93E+15	3.95E+15	3.86E+15	3.58E+15	3.47E+15	3.16E+15	2.67E+15	
全群	5.81E+15	5.81E+15	5.67E+15	5.26E+15	5.12E+15	4.65E+15	3.98E+15	

表5.6(6) 各列の最大中性子束 (ケース5)

サイクル初期

集合体列 エネルギー群	第0列	第1列	第2列	第3列 内側燃料 領域	第3列 外側燃料 領域	第4列	第5列	(n/cm ² ·s)
1群	6.78E+14	6.98E+14	6.84E+14	6.36E+14	6.13E+14	5.59E+14	4.70E+14	
2群	1.31E+15	1.31E+15	1.28E+15	1.18E+15	1.15E+15	1.05E+15	8.79E+14	
3群	1.91E+15	1.91E+15	1.86E+15	1.73E+15	1.68E+15	1.52E+15	1.29E+15	
4群	1.28E+15	1.27E+15	1.24E+15	1.15E+15	1.13E+15	1.02E+15	8.91E+14	
5群	2.35E+14	2.17E+14	2.08E+14	1.91E+14	1.94E+14	1.74E+14	1.61E+14	
6群	1.82E+13	1.57E+13	1.47E+13	1.40E+13	1.48E+13	1.39E+13	1.83E+13	
7群	1.27E+10	8.63E+09	8.27E+09	9.46E+09	1.15E+10	2.63E+10	2.71E+11	
高速群 (E>0.1MeV)	3.71E+15	3.74E+15	3.65E+15	3.38E+15	3.28E+15	2.98E+15	2.52E+15	
全群	5.43E+15	5.42E+15	5.29E+15	4.90E+15	4.78E+15	4.34E+15	3.72E+15	

サイクル末期

集合体列 エネルギー群	第0列	第1列	第2列	第3列 内側燃料 領域	第3列 外側燃料 領域	第4列	第5列	(n/cm ² ·s)
1群	6.82E+14	7.03E+14	6.90E+14	6.43E+14	6.20E+14	5.68E+14	4.79E+14	
2群	1.33E+15	1.33E+15	1.30E+15	1.20E+15	1.17E+15	1.07E+15	8.98E+14	
3群	1.95E+15	1.95E+15	1.90E+15	1.77E+15	1.72E+15	1.56E+15	1.33E+15	
4群	1.32E+15	1.31E+15	1.28E+15	1.19E+15	1.16E+15	1.05E+15	9.17E+14	
5群	2.45E+14	2.27E+14	2.17E+14	1.99E+14	2.02E+14	1.81E+14	1.68E+14	
6群	1.92E+13	1.66E+13	1.56E+13	1.48E+13	1.56E+13	1.46E+13	1.91E+13	
7群	1.34E+10	9.08E+09	8.69E+09	9.96E+09	1.21E+10	2.78E+10	2.83E+11	
高速群 (E>0.1MeV)	3.77E+15	3.80E+15	3.71E+15	3.44E+15	3.34E+15	3.04E+15	2.58E+15	
全群	5.54E+15	5.54E+15	5.40E+15	5.02E+15	4.89E+15	4.44E+15	3.81E+15	

表5.6(7) 各列の最大中性子束 (ケース6)

サイクル初期

(n/cm²·s)

集合体列 エネルギー群	第0列	第1列	第2列	第3列 内側燃料 領域	第3列 外側燃料 領域	第4列	第5列
1群	6.54E+14	6.72E+14	6.60E+14	6.19E+14	6.04E+14	5.57E+14	4.74E+14
2群	1.27E+15	1.27E+15	1.24E+15	1.15E+15	1.13E+15	1.04E+15	8.81E+14
3群	1.86E+15	1.87E+15	1.82E+15	1.70E+15	1.65E+15	1.51E+15	1.29E+15
4群	1.27E+15	1.27E+15	1.23E+15	1.15E+15	1.12E+15	1.01E+15	8.84E+14
5群	2.38E+14	2.21E+14	2.11E+14	1.94E+14	1.94E+14	1.73E+14	1.60E+14
6群	1.90E+13	1.65E+13	1.55E+13	1.46E+13	1.51E+13	1.39E+13	1.80E+13
7群	1.37E+10	9.45E+09	8.97E+09	1.00E+10	1.16E+10	2.54E+10	2.62E+11
高速群 (E>0.1MeV)	3.61E+15	3.62E+15	3.55E+15	3.31E+15	3.23E+15	2.95E+15	2.52E+15
全群	5.31E+15	5.31E+15	5.18E+15	4.83E+15	4.72E+15	4.30E+15	3.71E+15

サイクル末期

集合体列 エネルギー群	第0列	第1列	第2列	第3列 内側燃料 領域	第3列 外側燃料 領域	第4列	第5列
1群	6.60E+14	6.78E+14	6.67E+14	6.27E+14	6.12E+14	5.65E+14	4.82E+14
2群	1.29E+15	1.29E+15	1.26E+15	1.17E+15	1.15E+15	1.05E+15	8.98E+14
3群	1.90E+15	1.91E+15	1.86E+15	1.74E+15	1.69E+15	1.54E+15	1.32E+15
4群	1.31E+15	1.30E+15	1.27E+15	1.18E+15	1.16E+15	1.04E+15	9.10E+14
5群	2.47E+14	2.30E+14	2.20E+14	2.02E+14	2.02E+14	1.80E+14	1.66E+14
6群	2.00E+13	1.74E+13	1.64E+13	1.54E+13	1.59E+13	1.46E+13	1.88E+13
7群	1.44E+10	9.91E+09	9.40E+09	1.05E+10	1.22E+10	2.69E+10	2.74E+11
高速群 (E>0.1MeV)	3.66E+15	3.69E+15	3.61E+15	3.37E+15	3.29E+15	3.01E+15	2.57E+15
全群	5.42E+15	5.42E+15	5.29E+15	4.94E+15	4.82E+15	4.40E+15	3.79E+15

6. MK-III 取替炉心の核特性解析

6. 1 反応度係数の計算方法

反応度係数の計算方法を以下に示す。

(1) 18群ミクロ断面積の作成

平衡炉心初期における炉心のミクロ断面積について、制御棒全引抜状態で、

① 基準状態（図4.1に示す温度状態。ボイド無し）のもの

② 重金属、酸素及び核分裂生成物についてのみ、定格時よりも500°C高温状態のもの

③ Naの原子数密度をゼロとしたもの

を作成する。

(2) ドップラ係数 (PERT-DFBR 1次摂動計算 18群)

18群2次元RZ計算により平衡炉心初期、制御棒全引抜状態の中性子束 ϕ と随伴中性子束 ϕ^* を求め、これらと500°C高温状態の断面積を用いて、1次摂動計算コード PERT-DFBRにより反応度変化を求めた。

(3) Naボイド反応度 (PERT-DFBR 1次摂動計算 18群)

18群2次元RZ計算により平衡炉心初期、制御棒全引抜状態の中性子束 ϕ と随伴中性子束 ϕ^* を求め、これらとノーマル状態のミクロ断面積及びボイド状態のミクロ断面積を用いて、1次摂動計算コード PERT-DFBRによりナトリウムボイド反応度を計算する。漏えい項の拡散係数の摂動はノーマル時の拡散係数とボイド時の拡散係数の差で与えた。

(4) 密度係数 (PERT-DFBR 1次摂動計算 18群)

燃料組成、構造材組成及び冷却材組成が変化した時の反応度変化について、1次摂動計算コード PERT-DFBRにより求めた。

(5) 形状係数 (2DBURN 2次元RZ拡散計算 7群)

炉心組成を変えずに炉心高さ、あるいは炉心半径が増加した場合の反応度変化を2次元RZ拡散計算により求めた。ここで、軸方向に炉心を膨張させる際は、炉心下端と制御棒下端との距離は一定として、炉心燃料を膨張させた。なお、制御棒は膨張しないものとした。径方向に膨張させる際は、制御棒及び照射燃料集合体も一様に炉心範囲のみ膨張させた。

(6) 温度係数、出力係数

ドップラ係数、密度係数及び形状係数より、温度係数、出力係数を求めた。

6. 2 反応度係数の計算結果

(1) ドップラ係数の計算結果

ケース 2, 4, 5 のドップラ係数の計算結果を表 6.1 に示す。標準平衡炉心と比較すると、全てのケースについてドップラ係数は絶対値が大きな負の値となった。

(2) Na ボイド反応度

炉心全体をボイド状態にした場合の Na ボイド反応度の計算結果を表 6.1 に示す。標準平衡炉心のナトリウムボイド反応度は -1.89×10^{-2} ($\Delta k/kk'$)、ケース 4 の Na ボイド反応度は -1.12×10^{-2} ($\Delta k/kk'$)、ケース 5 については -1.54×10^{-2} ($\Delta k/kk'$) である。炉心燃料領域高さの増加に伴う漏えい成分の減少により、全てのケースについて標準平衡炉心の値に比べて絶対値が小さくなっているが、全ての炉心位置で Na ボイド反応度は負となった。

また、炉心高さが同じケース 4 と 5 で差異が生じた理由として、燃料組成の違いによる影響が考えられる。Pu-239 の $v \sigma_f / \sigma_a$ 、U-238 の $v \sigma_f$ については、そのエネルギー構造からインポータンスのエネルギー依存性が大きく、ボイド状態とすると中性子束が硬くなり、正の反応度が生じる効果を大きくすることが考えられる。ケース 5 はケース 4 に比べて Pu-239 及び U-238 が少ないため、Na ボイド反応度の負の値が大きくなったと考えられる。

(3) 密度係数

密度係数の計算結果を表 6.1 に示す。各ケースの燃料密度係数は、 5.26×10^{-1} ($\Delta k/kk' / (\Delta \rho / \rho)$) (ケース 2, 4)、 5.19×10^{-1} ($\Delta k/kk' / (\Delta \rho / \rho)$) (ケース 5) であり、MK-III 標準平衡炉心の 5.25×10^{-1} ($\Delta k/kk' / (\Delta \rho / \rho)$) とほぼ同じ結果となった。

(4) 形状係数

形状係数の計算結果を表 6.1 に示す。軸方向形状係数は炉心燃料領域高さの増加に伴って小さくなり、MK-III 標準平衡炉心の 0.241 ($\Delta k/kk' / (\Delta z/z)$) に対して、炉心燃料領域高さ 55cm であるケース 2 では 0.215 ($\Delta k/kk' / (\Delta z/z)$)、60cm であるケース 4, 5 ではそれぞれ 0.206 , 0.205 ($\Delta k/kk' / (\Delta z/z)$) となった。また、径方向形状係数についてはすべてのケースで MK-III 標準平衡炉心とほぼ同じ値となった。

(5) 温度係数及び出力係数

各出力状態での温度は、全てのケースについて表 6.2 に示す標準平衡炉心の値を用いた。温度係数の計算結果を表 6.3、出力係数の計算結果を表 6.4 に示す。すべてのケースについて温度係数、出力係数は負の値となった。

6. 3 制御棒特性の計算方法

制御棒特性の計算方法を以下に示す。

(1) 7群ミクロ断面積の作成

第4章と同様の手法により、制御棒全引抜状態及び全挿入状態における7群ミクロ断面積を作成する。

(2) 軸方向バックリングの算出

(1) で作成した7群ミクロ断面積を用いて、2次元RZ拡散計算(2DBURN)により、制御棒全引抜状態及び全挿入状態での炉心中心高さにおける軸方向バックリングをそれぞれ求める。2次元RZ計算体系は第4章の図4.3に示したとおりである。

(3) 制御棒価値の算出

2次元三角メッシュXY計算体系の直接計算から、制御棒全挿入時、ワンロッドスタック時及び1本挿入時の制御棒価値を求める。ここで、挿入した制御棒とその周囲の集合体には制御棒挿入時のミクロ断面積及び軸方向バックリングを用い、それ以外の領域には制御棒引抜時のミクロ断面積及び軸方向バックリングを用いる。2次元三角メッシュ計算体系は図4.4に示したとおりである。

6. 4 制御棒特性の計算結果

7群2次元三角メッシュXY計算による制御棒価値の計算結果(以下、基準計算値と記述する。)を表6.5に示す。ここでは、MK-III炉心の設計に用いたMK-II炉心の性能試験解析、B-10燃焼効果及び設計余裕に基づく補正係数を使用した(表6.6)。最小値を与える補正係数は0.676、最大値については1.180である。表6.7に制御棒価値の最小値の結果を示す。各ケースでのワンロッドスタック時の制御棒価値の最小値は、5.65、5.76、5.91(%dk/kk')であり、6.6項で述べる100°C体系における最大過剰反応度を上回る結果が得られた。

6. 5 動特性パラメータ

18群2次元RZ計算により計算された制御棒全引抜状態の中性子束 ϕ と隨伴中性子束 ϕ^* 、ノーマル状態のミクロ断面積と遅発中性子データから摂動計算コードHANYO-KPARMにより、表6.8に示す遅発中性子発生率、崩壊定数、遅発中性子スペクトルを用いて動特性パラメータを求めた。表6.9に動特性パラメータの計算結果を示す。実効遅発中性子割合はMK-III標準平衡炉心が最も大きく、ケース4で最小となつた。これは遅発中性子発生率の大きいU-235濃縮度がMK-III標準平衡炉心で最も大きく、逆にケース4で最も小さいことに起因している。

6. 6 過剰反応度の内訳について

反応度のバランスに関する評価手法を以下に示す。

(1) 燃焼欠損反応度

燃焼欠損反応度は 2 次元 RZ 拡散計算 (2DBURN) により求めた。(第 3 章参照)

(2) 燃焼補償用反応度

燃焼補償用反応度は、MK-III 標準平衡炉心と同様に、燃焼欠損反応度の計算値に 10% の誤差を加えたものとする。

(3) 運転余裕用反応度

暫定的に MK-III 標準平衡炉心と同じ $0.9\% \Delta k/kk'$ とする。

(4) 温度補償用及び出力補償用反応度

温度係数、出力係数より算出する。

反応度バランスに関する評価結果を表 6.10 に示す。ケース 2, 4, 5 では、燃焼補償用の反応度が低下するため、いずれのケースについても 100°C 体系における最大過剰反応度は、MK-III 標準平衡炉心よりも低い結果となった。これより、今後運転余裕用反応度を調整することで、適切な反応度バランスを設定できる。

表 6.1 反応度特性

MK-III標準平衡炉心

反応度特性		単位	内側燃料領域	外側燃料領域	炉心合計
ドップラ係数	制御棒全引抜き 制御棒中途挿入	$\Delta k/kk' / (\Delta T/T)$	-7.01×10^{-4}	-1.24×10^{-3}	-1.94×10^{-3}
			-6.26×10^{-4}	-1.08×10^{-3}	-1.71×10^{-3}
		$\Delta k/kk'$	-5.08×10^{-3}	-1.38×10^{-2}	-1.89×10^{-2}
Naボイド反応度	燃料 構造材 冷却材	$\Delta k/kk' / (\Delta \rho/\rho)$	1.91×10^{-1}	3.34×10^{-1}	5.25×10^{-1}
		$\Delta k/kk' / (\Delta \rho/\rho)$	-2.09×10^{-3}	1.36×10^{-2}	1.15×10^{-2}
		$\Delta k/kk' / (\Delta \rho/\rho)$	4.08×10^{-3}	1.17×10^{-2}	1.58×10^{-2}
形状係数*	軸方向	$\Delta k/kk' / (\Delta z/z)$	---	---	2.41×10^{-1}
	径方向	$\Delta k/kk' / (\Delta r/r)$	---	---	3.65×10^{-1}

ケース 2

反応度特性		単位	内側燃料領域	外側燃料領域	炉心合計
ドップラ係数	制御棒全引抜き 制御棒中途挿入	$\Delta k/kk' / (\Delta T/T)$	-7.34×10^{-4}	-1.33×10^{-3}	-2.06×10^{-3}
			-6.59×10^{-4}	-1.16×10^{-3}	-1.82×10^{-3}
		$\Delta k/kk'$	-3.55×10^{-3}	-1.14×10^{-2}	-1.50×10^{-2}
密度係数	燃料 構造材 冷却材	$\Delta k/kk' / (\Delta \rho/\rho)$	2.04×10^{-1}	3.22×10^{-1}	5.26×10^{-1}
		$\Delta k/kk' / (\Delta \rho/\rho)$	-4.26×10^{-3}	1.09×10^{-2}	6.67×10^{-3}
		$\Delta k/kk' / (\Delta \rho/\rho)$	2.79×10^{-3}	9.76×10^{-3}	1.26×10^{-2}
形状係数*	軸方向	$\Delta k/kk' / (\Delta z/z)$	---	---	2.15×10^{-1}
	径方向	$\Delta k/kk' / (\Delta r/r)$	---	---	3.64×10^{-1}

* 形状係数は 7 群の直接計算で算出した。

ケース4

反応度特性		単位	内側燃料領域	外側燃料領域	炉心合計
ドップラ係数	制御棒全引抜き 制御棒中途挿入	$\Delta k/kk' / (\Delta T/T)$	-8.18×10^{-4}	-1.45×10^{-3}	-2.27×10^{-3}
			-7.36×10^{-4}	-1.27×10^{-3}	-2.00×10^{-3}
		$\Delta k/kk'$	-1.65×10^{-3}	-9.57×10^{-3}	-1.12×10^{-2}
Naボイド反応度	燃料 構造材 冷却材	$\Delta k/kk' / (\Delta \rho/\rho)$	2.07×10^{-1}	3.20×10^{-1}	5.26×10^{-1}
		$\Delta k/kk' / (\Delta \rho/\rho)$	-7.06×10^{-3}	8.53×10^{-3}	1.47×10^{-3}
		$\Delta k/kk' / (\Delta \rho/\rho)$	1.19×10^{-3}	8.21×10^{-3}	9.40×10^{-3}
形状係数*	軸方向	$\Delta k/kk' / (\Delta z/z)$	---	---	2.06×10^{-1}
	径方向	$\Delta k/kk' / (\Delta r/r)$	---	---	3.65×10^{-1}

ケース5

反応度特性		単位	内側燃料領域	外側燃料領域	炉心合計
ドップラ係数	制御棒全引抜き 制御棒中途挿入	$\Delta k/kk' / (\Delta T/T)$	-7.84×10^{-4}	-1.42×10^{-3}	-2.20×10^{-3}
			-6.59×10^{-4}	-1.16×10^{-3}	-1.82×10^{-3}
		$\Delta k/kk'$	-3.63×10^{-3}	-1.17×10^{-2}	-1.54×10^{-2}
密度係数	燃料 構造材 冷却材	$\Delta k/kk' / (\Delta \rho/\rho)$	2.02×10^{-1}	3.17×10^{-1}	5.19×10^{-1}
		$\Delta k/kk' / (\Delta \rho/\rho)$	-4.68×10^{-3}	1.09×10^{-2}	6.24×10^{-3}
		$\Delta k/kk' / (\Delta \rho/\rho)$	2.86×10^{-3}	9.99×10^{-3}	1.29×10^{-3}
形状係数*	軸方向	$\Delta k/kk' / (\Delta z/z)$	---	---	2.05×10^{-1}
	径方向	$\Delta k/kk' / (\Delta r/r)$	---	---	3.67×10^{-1}

* 形状係数は7群の直接計算で算出した。

表 6.2 溫度係数及び出力係数評価用各部温度

炉心状態	組成	領域					(°C)
		炉心	径方向反射体	上部軸方向反射体	下部軸方向反射体	炉心支持板	
140MW	燃料ペレット	1232	—	—	—	—	
	被覆管	453	—	—	—	—	
	ラッパ管及び構造材	413	400	517	350	350	
	冷却材	433	400	517	350	350	
100MW	燃料ペレット	955	—	—	—	—	
	被覆管	423	—	—	—	—	
	ラッパ管及び構造材	395	386	469	350	350	
	冷却材	409	386	469	350	350	
60MW	燃料ペレット	758	—	—	—	—	
	被覆管	395	—	—	—	—	
	ラッパ管及び構造材	377	371	421	350	350	
	冷却材	386	371	421	350	350	
高温零出力	全領域	350	350	350	350	350	
温態待機	全領域	250	250	250	250	250	

表6.3 溫度係数

 $(\times 10^{-6} \Delta k/kk' / ^\circ C)$

熱出力	項目	MK-III 標準平衡炉心	ケース2	ケース4	ケース5
140MW	燃料ペレット膨張	-3.79	-4.16	-4.29	-4.20
	被覆管膨張	-0.96	-0.73	-0.51	-0.74
	ラッパ管膨張	-2.13	-1.83	-1.59	-1.71
	炉心支持板膨張	-13.15	-13.00	-12.91	-12.59
	冷却材膨張	-9.02	-7.77	-6.19	-7.33
	ドップラ効果	-1.3	-1.37	-1.51	-1.46
	合計	-30.35	-28.86	-27.00	-28.04
100MW	燃料ペレット膨張	-3.41	-3.74	-3.86	-3.78
	被覆管膨張	-0.95	-0.73	-0.51	-0.74
	ラッパ管膨張	-2.12	-1.82	-1.59	-1.7
	炉心支持板膨張	-13.15	-13.00	-12.91	-12.59
	冷却材膨張	-8.97	-7.72	-6.16	-7.28
	ドップラ効果	-1.59	-1.68	-1.85	-1.79
	合計	-30.2	-28.70	-26.86	-27.89
60MW	燃料ペレット膨張	-3.15	-3.45	-3.55	-3.48
	被覆管膨張	-0.94	-0.72	-0.50	-0.73
	ラッパ管膨張	-2.11	-1.82	-1.58	-1.70
	炉心支持板膨張	-13.15	-13.00	-12.91	-12.59
	冷却材膨張	-8.92	-7.68	-6.13	-7.24
	ドップラ効果	-1.89	-2.00	-2.20	-2.14
	合計	-30.17	-28.67	-26.87	-27.89
350°C	燃料ペレット膨張	-2.6	-2.86	-2.94	-2.88
	被覆管膨張	-0.94	-0.72	-0.50	-0.73
	ラッパ管膨張	-2.1	-1.81	-1.57	-1.69
	炉心支持板膨張	-13.15	-13.00	-12.91	-12.59
	冷却材膨張	-8.84	-7.62	-6.08	-7.18
	ドップラ効果	-3.13	-3.30	-3.64	-3.53
	合計	-30.76	-29.3	-27.64	-28.61
250°C	燃料ペレット膨張	-2.47	-2.71	-2.79	-2.74
	被覆管膨張	-0.92	-0.70	-0.49	-0.71
	ラッパ管膨張	-2.05	-1.77	-1.54	-1.65
	炉心支持板膨張	-12.88	-12.73	-12.64	-12.33
	冷却材膨張	-8.55	-7.37	-5.88	-6.95
	ドップラ効果	-3.73	-3.93	-4.34	-4.21
	合計	-30.61	-29.22	-27.68	-28.59

表6.4 出力係数

 $(\times 10^{-5} \Delta k/kk' /MW)$

出力	項目	MK-III標準 平衡炉心	ケース2	ケース4	ケース5
140MW	燃料ペレット膨張	-2.63	-2.88	-2.97	-2.91
	被覆管膨張	-0.07	-0.06	-0.04	-0.06
	ラッパ管膨張	-0.12	-0.10	-0.08	-0.09
	炉心支持板膨張				
	冷却材膨張	-0.43	-0.35	-0.27	-0.34
	ドップラ効果	-0.90	-0.95	-1.05	-1.01
	合計	-4.15	-4.33	-4.41	-4.40
100MW	燃料ペレット膨張	-2.02	-2.22	-2.29	-2.24
	被覆管膨張	-0.07	-0.05	-0.04	-0.05
	ラッパ管膨張	-0.12	-0.10	-0.08	-0.09
	炉心支持板膨張				
	冷却材膨張	-0.43	-0.34	-0.27	-0.33
	ドップラ効果	-0.94	-0.99	-1.10	-1.06
	合計	-3.57	-3.71	-3.77	-3.77
60MW	燃料ペレット膨張	-1.90	-2.09	-2.15	-2.11
	被覆管膨張	-0.07	-0.05	-0.04	-0.05
	ラッパ管膨張	-0.11	-0.10	-0.08	-0.09
	炉心支持板膨張				
	冷却材膨張	-0.42	-0.34	-0.27	-0.33
	ドップラ効果	-1.15	-1.21	-1.33	-1.29
	合計	-3.66	-3.79	-3.87	-3.87
~1MW	燃料ペレット膨張	-1.77	-1.94	-2.00	-1.96
	被覆管膨張	-0.07	-0.05	-0.04	-0.06
	ラッパ管膨張	-0.11	-0.09	-0.08	-0.09
	炉心支持板膨張				
	冷却材膨張	-0.42	-0.34	-0.26	-0.33
	ドップラ効果	-2.13	-2.25	-2.48	-2.41
	合計	-4.50	-4.68	-4.86	-4.83

表 6.5 制御棒価値（基準計算値）

(%dk/kk')

制御棒挿入状態	MK-III標準 平衡炉心	ケース 2	ケース 4	ケース 5
制御棒全挿入	11.31	11.33	11.55	11.86
ワンロッドスタック				
制御棒No. 1 (6)	8.33	8.36	8.53	8.75
制御棒No. 2 (81)	10.31	10.36	10.58	10.84
制御棒No. 3 (4)	8.78	8.79	8.96	9.19
制御棒No. 4 (3)	8.48	8.50	8.67	8.90
制御棒No. 5 (66)	10.41	10.46	10.67	10.94
制御棒No. 6 (1)	8.88	8.89	9.06	9.30

(n) : 図4.4に示した集合体番号

表 6.6 制御棒反応度価値の補正係数

補正項目	補正係数			
	最小値	標準値	最大値	
計算上の補正	「常陽」 MK-II炉心性能 試験解析に基づく補正	0.970	0.970	1.000
	B-10燃焼効果 (1/4挿入、 100%出力730日運転)	0.850	0.920	1.000
	累計	0.825	0.892	1.000
設計余裕	0.820	1.000	1.180	
合計	0.676	0.892	1.180	

表 6.7 制御棒価値（最小値）

(%dk/kk')

制御棒挿入状態	MK-III標準 平衡炉心	ケース 2	ケース 4	ケース 5
制御棒全挿入	7.64	7.66	7.81	8.02
ワンロッドスタック				
制御棒No. 1 (6)	5.63	5.65	5.76	5.91
制御棒No. 2 (81)	6.97	7.01	7.15	7.33
制御棒No. 3 (4)	5.94	5.94	6.06	6.22
制御棒No. 4 (3)	5.73	5.75	5.86	6.01
制御棒No. 5 (66)	7.04	7.07	7.22	7.40
制御棒No. 6 (1)	6.00	6.01	6.12	6.28

(n) : 図4.4に示した集合体番号

表6.8 (1) 遅発中性子発生率

核種	U-235	U-238	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	Am-241
生成率	0.01673	0.0439	0.0079	0.0063	0.0095	0.0152	0.0221	0.0051
遅発中性子グループ								
1	0.038	0.013	0.0377	0.038	0.028	0.01	0.01	0.0355
2	0.213	0.137	0.239	0.28	0.273	0.229	0.229	0.254
3	0.188	0.162	0.1577	0.216	0.192	0.173	0.173	0.1563
4	0.407	0.388	0.3562	0.328	0.35	0.39	0.39	0.3364
5	0.128	0.225	0.159	0.103	0.128	0.182	0.182	0.1724
6	0.026	0.075	0.0504	0.035	0.029	0.016	0.016	0.0454
計	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

データの出典

U-235, U-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Pu-242 : L.Tomlison,"Delayed Neutrons From Fission",AERE-R6993 (1973)

Pu-238, Am-241
: M.C.Brady and T.R.England, "Delayed Neutron Data and Group Parameters for 43 Fissioning Systems", N.S.E., 103, 129-149

表6.8 (2) 崩壊定数

核種	U-235	U-238	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	Am-241
遅発中性子グループ								
1	0.0127	0.0132	0.0133	0.0129	0.0129	0.0128	0.0128	0.0133
2	0.0317	0.0321	0.0312	0.0311	0.0313	0.0299	0.0299	0.0308
3	0.115	0.139	0.1162	0.134	0.135	0.124	0.124	0.113
4	0.311	0.358	0.2888	0.331	0.333	0.352	0.352	0.2868
5	1.4	1.41	0.8561	1.26	1.36	1.61	1.61	0.8654
6	3.87	4.02	2.7138	3.21	4.04	3.47	3.47	2.643

データの出典

U-235, U-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Pu-242 : L.Tomlison, "Delayed Neutrons From Fission", AERE-R6993 (1973)

Pu-238, Am-241

: M.C.Brady and T.R.England, "Delayed Neutron Data and Group Parameters for 43 Fissioning Systems", N.S.E., 103, 129-149

表6.8 (3) 遅発中性子スペクトル

核種	U-235	U-238	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	Am-241
遅発中性子グループ								
4	0.0201	0.0205	0.0184	0.0184	0.0184	0.0184	0.0184	0.0184
5	0.1033	0.0952	0.1021	0.1021	0.1021	0.1021	0.1021	0.1021
6	0.3571	0.3506	0.3570	0.3570	0.3570	0.3570	0.3570	0.3570
7	0.3273	0.3275	0.3342	0.3342	0.3342	0.3342	0.3342	0.3342
8	0.1763	0.1900	0.1692	0.1692	0.1692	0.1692	0.1692	0.1692
9	0.0159	0.0162	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191

データの出典

U-235, U-238, Pu-239 : D. Sapher, D. Ilberg, D. Shalev and S. Yiftah, "Evaluated Delayed Neutrons Spectra and Their Importance in Reactor", NSE, 62, 660-697 (1977)

Pu-238, Pu-240, Pu-241, Pu-242, Am-241に関しては、Pu-239の値を使用。

表6.9 動特性パラメータ

動特性パラメータ		MK-III 標準平衡炉心	ケース2	ケース4	ケース5
実効遅発中性子割合	β_{eff}	4.49E-03	4.06E-03	3.59E-03	4.18E-03
	β_1	1.32E-04	1.09E-04	8.78E-05	1.15E-04
	β_2	9.61E-04	8.80E-04	7.90E-04	8.99E-04
	β_3	8.39E-04	7.58E-04	6.71E-04	7.77E-04
	β_4	1.71E-03	1.53E-03	1.32E-03	1.58E-03
	β_5	6.71E-04	6.26E-04	5.69E-04	6.44E-04
	β_6	1.72E-04	1.60E-04	1.50E-04	1.65E-04
遅発中性子崩壊定数[sec ⁻¹]	λ_1	1.28E-02	1.29E-02	1.29E-02	1.28E-02
	λ_2	3.14E-02	3.12E-02	3.11E-02	3.13E-02
	λ_3	1.26E-01	1.28E-01	1.32E-01	1.28E-01
	λ_4	3.30E-01	3.35E-01	3.42E-01	3.34E-01
	λ_5	1.40E+00	1.42E+00	1.42E+00	1.41E+00
	λ_6	3.79E+00	3.77E+00	3.74E+00	3.77E+00
即発中性子寿命 [$\times 10^{-6}$ sec]	Lp	0.312	0.309	0.305	0.304
逆時間反応度[%Δk/kk']	Ih	1.47E-05	1.31E-05	1.14E-05	1.35E-05

*核分裂する核種としてU-235, U-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Pu-242を考慮。

表6.10 炉心の過剰反応度の内訳

(% $\Delta k/kk'$)

反応度バランス		MK-I II 標準平衡炉心	ケース2	ケース4	ケース5
定格時の最大過剰反応度		2.8	2.70	2.68	2.63
内訳	燃焼補償用	1.9	1.80	1.78	1.73
	運転余裕用	0.9	0.90	0.90	0.90
温度補償及び出力補償用		1.67	1.65	1.62	1.64
内訳	100~250°C	0.58	0.55	0.53	0.54
	250~350°C	0.39	0.37	0.35	0.36
	350°C~定格	0.70	0.73	0.74	0.74
最大過剰反応度 100°C		4.5	4.35	4.30	4.27

7. MK-III 取替炉心の熱計算

核計算作業で選定した6ケースのうち、2ケースについて各流量領域毎の最大出力集合体の熱計算を実施するとともに、各炉心で燃料温度が最大となる集合体を対象に、物性値等をパラメータとしたホットチャンネルのサーベイ計算を行った。

7. 1 計算条件

(1) 対象ケース

以下の2ケースを計算対象とした。

ケース	炉心燃料領域高さ (cm)	Pu 富化度 (wt%)		最大線出力密度 (W/cm)	
		内側	外側	内側	外側
2	55	29.7	34.0	403	372
4	60	34.3	37.0	377	351

(2) 計算条件

(i) 原子炉入口冷却材温度 351°C

原子炉入口温度 350°C に、炉心スタック下部のガンマ発熱分として 1 °C を加えた。

(ii) 冷却材流量

流量領域	冷却材流量 (kg/s)
1	8.66
2	8.63
3	8.15
4	7.70
5	7.76

(iii) 周辺流れ係数 $f_w = 1.16$

ここで、周辺流れ係数は、「周辺部を含んだ全燃料要素の1本当りの平均冷却材流量」と「周辺部を除く内側の燃料要素1本当りの平均冷却材流量」との比を表すものである。

$$f_w = (Wt/N)/Win$$

f_w : 周辺流れ効果係数 [-]

Wt : 燃料集合体全冷却材流量 [g/s]

N : 燃料集合体全燃料要素本数 [本]

Win : 燃料集合体内の内側の燃料要素1本当りの
平均冷却材流量 [g/s/本]

(iv) 過出力因子

MK-III 標準平衡炉心と同様に、1.07 を使用する。

(v) 発熱割合

ペレット	:	0.98
被覆管・ワイヤ	:	0.014
ラッパ管	:	0.006

ここで、ラッパ管の発熱は集合体内冷却材の温度上昇に寄与しないものとした。

(vi) 工学的安全係数

表 7.1 に本解析で使用したギャップ熱伝達率の見直しを反映した場合の工学的安全係数を示す。

(vii) 燃料温度計算条件

- ・各領域密度 士井一桂川モデル
- ・等軸晶一柱状晶境界温度 1,800°C
- ・燃料ペレット熱伝導度

現在までのところ、MOX 燃料の熱伝導度に関しては、プルトニウム富化度 30%以下のデータしか公開されていないことから⁽⁷⁾⁽⁸⁾、MK-III 標準平衡炉心の解析に使用した式を使用し、理論密度比については、以下に示す値を使用して計算を行うこととした。

$$K_p = 0.01169 + \left[0.06717 + \frac{0.02226(1-D)}{O/M - 1.90} \right]^{-1} T_p^{-1} + 0.7214 \times 10^{-12} T_p^3$$

ここで K_p : 燃料ペレット熱伝導度 (W/cm°C)

D : 理論密度比

$$\begin{cases} D = 0.9773 & 1800^\circ\text{C} \leq T_p \\ D = 0.9586 & 1400^\circ\text{C} \leq T_p < 1800 \\ D = \text{燃料ペレット初期密度} & T_p < 1400 \end{cases}$$

T_p : 燃料ペレット温度

O/M : 化学量論比

・ギャップ熱伝達率

本解析では以下の値を用いた。

ノミナル : 0.6951W/cm²・K (線出力密度約400W/cm)

ホットスポット : 0.7428W/cm²・K (線出力密度約430W/cm)

過出力時 : 0.7947W/cm²・K (線出力密度約460W/cm)

(vii) 線出力密度、燃料温度、被覆管温度、冷却材温度等の関係式

・冷却材温度 : T_{Na}

$$T_{Na} = T_{IN} + \frac{1}{W \cdot C_p} \int_0^x q_l(x) dx$$

ここで T_{Na} : 冷却材温度 (炉心下端からの距離 x), °C

q_l(x) : 線出力密度, W/cm

W : 冷却材流量, g/s

C_p : 冷却材比熱, W s/g °C

T_{IN} : 冷却材入口温度, °C

x : 軸方向距離, cm

・被覆管表面温度 : T_{Co}

$$T_{Co} = T_{Na} + \frac{D_e}{K_{Na}} \cdot \frac{1}{Nu} \cdot \frac{q_l}{\pi d_{Co}}$$

ここで T_{Co} : 被覆管表面温度, °C

D_e : 水力等価直径, cm

d_{Co} : 被覆管外径, cm

K_{Na} : 冷却材熱伝導度, W/cm°C

Nu : ヌセルト数

・被覆管内面温度 : T_{Ci}

$$T_{Ci} = T_{Co} + \frac{\ln(d_{Co}/d_{Ci})}{2\pi K_c} \cdot q_l$$

ここで T_{Ci} : 被覆管内面温度, °C

K_c : 被覆管熱伝導度, W/cm°C

d_{Ci} : 被覆管内径, cm

・燃料表面温度 : T_s

$$T_s = T_{Ci} + \frac{q_l}{h_g \cdot \pi (d_p + d_{Ci}) / 2}$$

ここで T_s : 燃料表面温度, °C

h_g : ギャップ熱伝達率, W/cm²°C

d_p : ペレット直径, cm

- ・溶融温度に達しない範囲の燃料最高温度：TP

$$\int_{Ts}^{Tp} k dT = \frac{ql}{4\pi} \cdot S$$

ここで TP : 燃料最高温度

k : 燃料ペレット熱伝導度, W/cm°C

S : 中心ボイド孔生成に対する補正因子

7. 2 計算結果

ケース2及び4の熱計算結果を表7.2に示す。また、以下にそれぞれのケースにおける各部の最高温度を示す。

ケース2

冷却材温度（定格時）	:	637°C
被覆管温度（定格時）	:	656°C
燃料温度（定格時）	:	2,454°C
燃料温度（過出力時）	:	2,555°C

ケース4

冷却材温度（定格時）	:	635°C
被覆管温度（定格時）	:	650°C
燃料温度（定格時）	:	2,332°C
燃料温度（過出力時）	:	2,431°C

以上の結果から、いずれのケースについても被覆管最高温度は制限値である675°Cを下回っている。また、過出力時燃料最高温度については、MK-III設置変更許可申請時の評価結果より約90°C低い値となっている。

表7.3, 7.4, 7.5, 7.6に、それぞれのケースにおける冷却材、被覆管及び燃料温度の軸方向分布を示す。

表7.1 工学的安全係数

	因子	冷却材 ΔT_{Ne}	被覆管表面 ΔT_{film}	被覆管内 ΔT_{clad}	ギャップ内 ΔT_{gap}	ペレット内 ΔT_{fuel}
累積項	出力分布誤差	1.028	1.028	1.028	1.028	1.028
	中性子束検出器誤差	1.028	1.01	1.01	1.01	1.01
	原子炉熱出力誤差		1.036	1.036	1.036	1.036
	流量配分誤差	1.04	1.007			
統計項	出力変動幅	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
	サブチャンネル流量分布	1.04	1.006			
	集合体流量分布誤差	1.019	1.004			
	(1) ペレット直径公差 ^(注1) ^(注2)	1.015	1.028	1.028		
	(2)				1.4020	
	ペレット密度公差		1.022	1.022	1.022	1.026
	ペレット濃縮度		1.02	1.02	1.02	1.02
	被覆管外径公差		1.006	1.04		
	被覆管内径公差 ^(注3)			1.038	1.2020	
	ペレットスタック長	1.0052				
	ペレットO/M比					1.014
	フィルム熱伝達率誤差		1.70			
	被覆材熱伝導度誤差			1.05		
	ギャップ熱伝達率誤差				1.08	1.08
	ペレット熱伝導度誤差					

(空欄は全て1.00)

注1：被覆管温度計算時には(1)の係数を使用し、燃料温度計算時には(2)の行の係数を使用する。

注2：過出力時の ΔT_{gap} に関する係数は1.421とする。

注3：過出力時の ΔT_{gap} に関する係数は1.211とする。

標準平衡炉心

表7.2 最高温度計算結果

炉心領域	流量領域	集合体出力 (MW)	最大 線出力密度 (W/cm)	冷却材流量 (kg/s)	定格時最高温度 (°C)			過出力時 燃料最高温度 (°C)
					冷却材	被覆管	燃料 ペレット	
内側 燃料領域	1	2.25	414	8.45	631	653	2513	2639
	2	2.18	411	8.33	631	651	2493	2620
	3	2.02	391	7.81	632	651	2410	2535
外側 燃料領域	3	2.13	413	7.81	647	667	2500	2626
	4	1.99	394	7.71	637	657	2422	2547
	5	1.74	354	6.79	642	660	2256	2379

ケース 2

炉心領域	流量領域	集合体出力 (MW)	最大 線出力密度 (W/cm)	冷却材流量 (kg/s)	定格時最高温度 (°C)			過出力時 燃料最高温度 (°C)
					冷却材	被覆管	燃料 ペレット	
内側 燃料領域	1	2.34	403	8.66	637	656	2454	2555
	2	2.26	399	8.63	632	650	2431	2531
	3	2.08	377	8.15	629	646	2336	2435
外側 燃料領域	3	2.08	377	8.15	629	645	2336	2435
	4	1.93	359	7.70	630	646	2258	2356
	5	1.67	319	6.76	632	646	2081	2176

ケース 4

炉心領域	流量領域	集合体出力 (MW)	最大 線出力密度 (W/cm)	冷却材流量 (kg/s)	定格時最高温度 (°C)			過出力時 燃料最高温度 (°C)
					冷却材	被覆管	燃料 ペレット	
内側 燃料領域	1	2.32	372	8.66	635	650	2332	2431
	2	2.24	369	8.63	630	645	2307	2406
	3	2.06	347	8.15	626	639	2210	2307
外側 燃料領域	3	2.07	351	8.15	628	641	2224	2322
	4	1.92	333	7.70	628	642	2146	2242
	5	1.65	294	6.76	628	640	1969	2060

表7.3(1) 軸方向温度分布 (ケース 2)

炉心第1列

軸方向 位置 (cm)	定格時ノミナル温度(°C)			定格時最高温度(°C)		
	冷却材 温度	被覆管温度		冷却材 温度	被覆管温度	
		表面	肉厚中心		表面	肉厚中心
0.0	351	352	354	355	351	352
1.2	351	357	371	386	352	361
4.7	363	369	385	401	365	375
8.2	376	382	400	417	380	390
11.7	390	397	416	435	396	407
15.1	405	413	433	453	414	426
18.6	422	430	451	472	433	445
22.1	439	447	469	490	452	465
25.6	457	465	487	509	473	486
29.1	475	484	505	527	494	506
32.5	496	502	523	544	515	527
36.0	511	519	540	560	535	547
39.5	528	537	556	575	555	567
43.0	545	553	571	589	574	585
46.5	560	568	585	601	592	602
50.0	575	582	597	612	609	618
53.4	587	594	607	620	624	632
56.9	599	604	616	627	637	643
58.1	599	600	601	603	637	638
67.2	599	599	599	599	637	637
76.2	599	599	599	599	637	637
85.3	599	599	599	599	637	637
94.3	598	598	598	598	636	636
103.4	598	598	598	598	636	636
112.4	597	597	597	597	635	635
121.5	597	597	597	597	634	634
130.5	596	596	596	596	633	633
139.6	595	595	595	595	632	632
148.6	594	594	594	594	632	632

炉心第2列

軸方向 位置 (cm)	定格時ノミナル温度(°C)			定格時最高温度(°C)		
	冷却材 温度	被覆管温度		冷却材 温度	被覆管温度	
		表面	肉厚中心		表面	肉厚中心
0.0	351	352	354	355	351	352
1.2	352	356	371	385	352	361
4.7	363	368	381	400	365	374
8.2	375	382	399	416	379	390
11.7	389	396	415	434	395	406
15.1	405	412	432	452	413	425
18.6	421	429	449	470	432	444
22.1	438	446	467	488	454	463
25.6	455	464	485	506	471	484
29.1	473	482	503	524	492	504
32.5	491	500	520	541	512	525
36.0	509	517	537	557	533	545
39.5	526	534	553	572	552	564
43.0	542	550	568	586	571	582
46.5	557	565	581	598	589	599
50.0	571	578	593	608	605	614
53.4	584	590	603	616	619	627
56.9	595	600	611	622	632	638
58.1	595	596	597	599	632	633
67.2	595	595	595	595	632	632
76.2	594	594	594	594	632	632
85.3	594	594	594	594	631	631
94.3	593	593	593	593	630	630
103.4	592	592	592	592	629	629
112.4	591	591	591	591	627	627
121.5	590	590	590	590	626	626
130.5	588	588	588	588	625	625
139.6	587	587	587	587	623	623
148.6	586	586	586	586	623	623

表7.3(2) 軸方向温度分布 (ケース2)

炉心第3列(内側)

軸方向 位置 (cm)	定格時ノミナル温度(°C)			定格時最高温度(°C)		
	冷却材 温度	被覆管温度		冷却材 温度	被覆管温度	
		表面	肉厚中心		表面	内面
0.0	351	352	353	355	351	354
1.2	351	356	370	381	352	375
4.7	363	368	383	398	365	374
8.2	376	381	398	414	379	389
11.7	389	396	413	431	395	407
15.1	405	412	430	448	413	424
18.6	421	428	447	466	431	442
22.1	437	445	465	484	450	462
25.6	455	463	482	502	470	482
29.1	472	480	500	520	491	502
32.5	490	498	517	537	511	522
36.0	507	515	534	553	531	542
39.5	524	532	550	567	550	561
43.0	540	548	564	581	569	579
46.5	555	562	578	593	586	596
50.0	569	575	589	603	602	611
53.4	581	587	599	611	617	624
56.9	592	597	607	617	629	635
58.1	592	593	594	596	629	630
67.2	592	592	592	592	629	629
76.2	592	592	592	592	629	629
85.3	591	591	591	591	628	628
94.3	590	590	590	590	627	627
103.4	589	589	589	589	626	626
112.4	588	588	588	588	624	624
121.5	587	587	587	587	623	623
130.5	586	586	586	586	621	621
139.6	584	584	584	584	620	620
148.6	583	583	583	583	620	620

炉心第3列(外側)

軸方向 位置 (cm)	定格時ノミナル温度(°C)			定格時最高温度(°C)		
	冷却材 温度	被覆管温度		冷却材 温度	被覆管温度	
		表面	肉厚中心		表面	内面
0.0	351	352	353	355	351	354
1.2	351	356	370	383	352	375
4.7	363	368	383	398	365	390
8.2	376	381	398	414	379	407
11.7	389	396	413	431	395	425
15.1	405	412	430	448	413	444
18.6	421	428	447	466	431	464
22.1	437	445	465	484	450	485
25.6	455	463	482	502	470	482
29.1	472	480	500	520	491	545
32.5	490	498	517	537	511	565
36.0	507	515	534	553	531	583
39.5	524	532	550	567	550	600
43.0	540	548	564	581	569	615
46.5	555	562	578	593	586	629
50.0	569	575	589	603	602	640
53.4	581	587	599	611	617	650
56.9	592	597	607	617	629	657
58.1	592	593	594	596	631	633
67.2	592	592	592	592	629	629
76.2	592	592	592	592	629	629
85.3	591	591	591	591	628	628
94.3	590	590	590	590	627	627
103.4	589	589	589	589	626	626
112.4	588	588	588	588	624	624
121.5	587	587	587	587	623	623
130.5	586	586	586	586	621	621
139.6	584	584	584	584	620	620
148.6	583	583	583	583	620	620

表7.3(3) 軸方向温度分布 (ケース2)

炉心第4列

軸方向 位置 (cm)	定格時ノミナル温度(°C)			定格時最高温度(°C)		
	冷却材 温度	被覆管温度		冷却材 温度	被覆管温度	
		表面	肉厚中心		表面	肉厚中心
0.0	351	352	353	355	351	352
1.2	351	356	369	382	352	360
4.7	363	368	382	396	365	374
8.2	376	381	397	412	380	389
11.7	390	396	413	429	396	406
15.1	405	412	429	447	413	424
18.6	421	428	447	465	432	443
22.1	438	446	464	483	451	462
25.6	456	463	482	501	472	483
29.1	473	481	500	519	492	503
32.5	491	499	517	536	512	523
36.0	509	516	534	552	533	543
39.5	525	533	550	567	552	562
43.0	541	549	565	580	571	580
46.5	557	563	578	593	588	597
50.0	570	577	590	603	604	612
53.4	583	588	599	611	618	625
56.9	593	598	607	617	630	636
58.1	593	594	595	596	630	631
67.2	592	592	592	592	629	629
76.2	590	590	590	590	627	627
85.3	589	589	589	589	625	625
94.3	586	586	586	586	622	622
103.4	584	584	584	584	620	620
112.4	582	582	582	582	617	617
121.5	580	580	580	580	615	615
130.5	578	578	578	578	613	613
139.6	576	576	576	576	611	611
148.6	575	575	575	575	611	611

炉心第5列

軸方向 位置 (cm)	定格時ノミナル温度(°C)			定格時最高温度(°C)		
	冷却材 温度	被覆管温度		冷却材 温度	被覆管温度	
		表面	肉厚中心		表面	肉厚中心
0.0	351	351	353	354	351	352
1.2	351	356	368	380	352	360
4.7	364	368	381	394	366	374
8.2	377	382	396	409	381	389
11.7	391	396	411	426	397	406
15.1	406	412	428	443	415	424
18.6	422	429	445	461	433	443
22.1	439	446	462	479	453	462
25.6	457	464	480	497	473	483
29.1	474	481	498	514	493	503
32.5	492	499	515	531	514	523
36.0	509	516	532	547	534	543
39.5	526	533	548	563	553	562
43.0	542	549	563	577	571	580
46.5	557	563	579	589	589	597
50.0	571	577	588	600	605	612
53.4	583	588	599	609	619	625
56.9	594	599	607	616	631	637
58.1	594	595	596	597	632	632
67.2	593	593	593	593	630	630
76.2	591	591	591	591	628	628
85.3	589	589	589	589	626	626
94.3	587	587	587	587	623	623
103.4	585	585	585	585	620	620
112.4	583	583	583	583	618	618
121.5	580	580	580	580	615	615
130.5	579	579	579	579	613	613
139.6	577	577	577	577	611	611
148.6	575	575	575	575	611	611

表7.4 燃料中心温度 (ケース2)

炉心第1列

軸方向位置 (cm)	定格時 ノミナル 温度	定格時 最高 温度
0.0	800	826
1.2	1405	1635
4.7	1540	1790
8.2	1683	1945
11.7	1825	2092
15.1	1936	2211
18.6	2023	2304
22.1	2093	2377
25.6	2142	2427
29.1	2166	2452
32.5	2171	2454
36.0	2151	2434
39.5	2114	2388
43.0	2056	2324
46.5	1978	2237
50.0	1874	2119
53.4	1747	1980
56.9	1608	1831
58.1	800	805

炉心第2列

軸方向位置 (cm)	定格時 ノミナル 温度	定格時 最高 温度
0.0	800	826
1.2	1383	1611
4.7	1521	1768
8.2	1666	1926
11.7	1808	2073
15.1	1918	2192
18.6	2004	2283
22.1	2073	2356
25.6	2121	2405
29.1	2145	2429
32.5	2149	2431
36.0	2132	2410
39.5	2091	2365
43.0	2031	2300
46.5	1955	2211
50.0	1846	2090
53.4	1709	1942
56.9	1560	1776
58.1	800	806

炉心第3列(内側)

軸方向位置 (cm)	定格時 ノミナル 温度	定格時 最高 温度
0.0	800	827
1.2	1346	1572
4.7	1469	1708
8.2	1597	1853
11.7	1729	1991
15.1	1838	2104
18.6	1921	2192
22.1	1987	2263
25.6	2033	2310
29.1	2056	2333
32.5	2060	2336
36.0	2043	2315
39.5	2003	2270
43.0	1947	2206
46.5	1869	2118
50.0	1761	1999
53.4	1625	1854
56.9	1480	1684
58.1	800	807

炉心第3列(外側)

軸方向位置 (cm)	定格時 ノミナル 温度	定格時 最高 温度
0.0	800	827
1.2	1335	1560
4.7	1463	1701
8.2	1595	1851
11.7	1730	1991
15.1	1839	2105
18.6	1922	2193
22.1	1988	2264
25.6	2034	2311
29.1	2057	2331
32.5	2061	2336
36.0	2043	2315
39.5	2004	2270
43.0	1947	2205
46.5	1868	2117
50.0	1759	1997
53.4	1621	1849
56.9	1472	1675
58.1	800	807

炉心第4列

軸方向位置 (cm)	定格時 ノミナル 温度	定格時 最高 温度
0.0	800	828
1.2	1279	1500
4.7	1407	1631
8.2	1533	1779
11.7	1662	1920
15.1	1770	2030
18.6	1852	2117
22.1	1917	2185
25.6	1962	2232
29.1	1985	2255
32.5	1989	2258
36.0	1973	2238
39.5	1936	2195
43.0	1882	2134
46.5	1808	2050
50.0	1701	1935
53.4	1572	1793
56.9	1436	1633
58.1	800	807

炉心第5列

軸方向位置 (cm)	定格時 ノミナル 温度	定格時 最高 温度
0.0	800	829
1.2	1230	1446
4.7	1318	1539
8.2	1422	1650
11.7	1529	1772
15.1	1622	1874
18.6	1697	1952
22.1	1759	2015
25.6	1802	2058
29.1	1821	2079
32.5	1828	2081
36.0	1813	2064
39.5	1779	2025
43.0	1727	1969
46.5	1657	1893
50.0	1566	1790
53.4	1461	1666
56.9	1347	1536
58.1	800	810

表7.5(1) 軸方向温度分布 (ケース4)

炉心第1列

軸方向位置 (mm)	定格時ノミナル温度(°C)			定格時最高温度(°C)		
	冷却材温度	被覆管温度		冷却材温度	被覆管温度	
		表面	肉厚中心		表面	肉厚中心
0.0	351	352	353	355	351	352
1.2	351	356	368	381	352	360
5.0	363	368	382	396	364	373
8.8	375	381	396	412	379	388
12.6	389	395	413	430	395	405
16.4	404	411	430	448	413	423
20.2	421	428	447	467	432	443
24.0	438	446	466	485	452	463
27.8	456	464	484	504	472	484
31.6	474	482	502	522	493	505
35.4	493	501	520	540	514	526
39.2	510	519	537	556	535	546
43.0	528	536	553	571	555	565
46.8	544	552	568	585	574	584
50.6	560	567	582	597	592	601
54.4	574	580	593	607	608	616
58.2	586	592	603	615	622	629
62.0	597	601	611	621	634	640
63.2	597	598	599	600	635	635
72.0	597	597	597	597	635	635
80.8	597	597	597	597	634	634
89.6	597	597	597	597	634	634
98.4	596	596	596	596	634	634
107.2	596	596	596	596	633	633
116.0	595	595	595	595	633	633
124.8	595	595	595	595	632	632
133.6	594	594	594	594	631	631
142.4	593	593	593	593	630	630
154.2	592	592	592	592	630	630

炉心第2列

軸方向位置 (mm)	定格時ノミナル温度(°C)			定格時最高温度(°C)		
	冷却材温度	被覆管温度		冷却材温度	被覆管温度	
		表面	肉厚中心		表面	肉厚中心
0.0	351	352	353	355	351	352
1.2	351	356	368	381	352	360
5.0	362	367	381	396	364	373
8.8	375	380	396	404	378	388
12.6	389	395	412	424	394	405
16.4	404	411	429	443	412	422
20.2	420	427	446	465	431	442
24.0	437	445	464	484	450	462
27.8	455	463	482	502	471	483
31.6	473	481	500	520	491	504
35.4	491	499	518	537	512	524
39.2	508	516	535	553	532	545
43.0	525	533	550	568	552	565
46.8	541	549	565	581	571	588
50.6	557	563	578	593	588	600
54.4	570	576	590	603	604	615
58.2	582	588	599	610	618	629
62.0	592	597	606	615	629	640
63.2	593	593	595	596	630	633
72.0	592	592	592	592	629	632
80.8	592	592	592	592	629	633
89.6	591	591	591	591	628	628
98.4	591	591	591	591	627	627
107.2	590	590	590	590	626	626
116.0	589	589	589	589	625	625
124.8	587	587	587	587	623	623
133.6	586	586	586	586	622	622
142.4	585	585	585	585	621	621
154.2	584	584	584	584	621	621

表7.5(2) 軸方向温度分布 (ケース4)

炉心第3列(内側)

軸方向 位置 (cm)	定格時ノミナル温度(°C)			定格時最高温度(°C)		
	冷却材 温度	被覆管温度		冷却材 温度	被覆管温度	
		表面	肉厚中心		表面	内面
0.0	351	352	353	355	351	354
1.2	351	356	367	379	352	372
5.0	362	367	380	393	364	387
8.8	375	380	394	409	378	403
12.6	388	394	410	426	394	421
16.4	403	410	427	444	411	440
20.2	419	426	444	461	430	459
24.0	436	443	461	480	449	479
27.8	454	461	479	498	469	500
31.6	471	479	497	515	490	500
35.4	489	496	514	532	510	520
39.2	506	514	531	548	530	540
43.0	523	530	546	563	549	559
46.8	539	546	561	576	568	577
50.6	554	560	574	588	585	593
54.4	567	573	585	597	600	608
58.2	579	584	594	605	614	620
62.0	589	593	601	610	625	630
63.2	589	590	591	592	626	628
72.0	589	589	589	589	625	625
80.8	588	588	588	588	625	625
89.6	588	588	588	588	624	624
98.4	587	587	587	587	623	623
107.2	586	586	586	586	622	622
116.0	585	585	585	585	621	621
124.8	584	584	584	584	619	619
133.6	582	582	582	582	618	618
142.4	581	581	581	581	616	616
154.2	580	580	580	580	616	616

炉心第3列(外側)

軸方向 位置 (cm)	定格時ノミナル温度(°C)			定格時最高温度(°C)		
	冷却材 温度	被覆管温度		冷却材 温度	被覆管温度	
		表面	肉厚中心		表面	内面
0.0	351	352	353	355	351	354
1.2	351	356	367	379	351	372
5.0	362	367	380	393	364	385
8.8	375	380	394	409	378	401
12.6	388	394	410	426	394	419
16.4	403	410	427	444	411	438
20.2	419	426	444	461	430	458
24.0	436	443	461	480	449	479
27.8	454	461	479	498	469	500
31.6	471	479	497	515	490	500
35.4	489	496	514	532	490	520
39.2	506	514	531	548	507	532
43.0	523	530	546	563	524	564
46.8	539	546	561	576	540	578
50.6	554	560	574	588	555	595
54.4	567	573	585	597	569	610
58.2	579	584	594	605	581	623
62.0	589	593	601	610	591	633
63.2	589	590	591	592	591	644
72.0	589	589	589	589	591	650
80.8	588	588	588	588	590	660
89.6	588	588	588	588	589	670
98.4	587	587	587	587	589	670
107.2	586	586	586	586	588	670
116.0	585	585	585	585	587	670
124.8	584	584	584	584	585	670
133.6	582	582	582	582	584	670
142.4	581	581	581	581	583	670
154.2	580	580	580	580	582	670

表7.5(3) 軸方向温度分布 (ケース4)

炉心第4列

軸方向 位置 (cm)	定格時ノミナル温度(°C)			定格時最高温度(°C)		
	冷却材 温度	被覆管温度		冷却材 温度	被覆管温度	
		表面	肉厚中心		表面	内面
0.0	351	352	353	355	351	352
1.2	351	355	367	378	352	359
5.0	363	367	380	392	364	372
8.8	375	380	394	408	379	387
12.6	389	395	410	425	395	404
16.4	404	410	427	443	412	422
20.2	421	427	444	461	431	441
24.0	438	445	462	479	451	461
27.8	455	462	480	498	471	481
31.6	473	480	498	515	492	502
35.4	491	498	515	532	513	522
39.2	509	516	532	549	533	542
43.0	526	532	548	564	552	561
46.8	542	548	563	577	571	579
50.6	556	563	576	589	588	596
54.4	570	575	587	599	603	610
58.2	582	586	596	606	617	623
62.0	591	595	603	612	628	633
63.2	591	592	593	594	628	629
72.0	590	590	590	590	627	627
80.8	589	589	589	589	625	625
89.6	587	587	587	587	623	623
98.4	585	585	585	585	620	620
107.2	583	583	583	583	618	618
116.0	580	580	580	580	615	615
124.8	579	579	579	579	613	613
133.6	577	577	577	577	611	611
142.4	575	575	575	575	609	609
154.2	573	573	573	573	609	609

炉心第5列

軸方向 位置 (cm)	定格時ノミナル温度(°C)			定格時最高温度(°C)		
	冷却材 温度	被覆管温度		冷却材 温度	被覆管温度	
		表面	肉厚中心		表面	内面
0.0	351	351	353	354	351	352
1.2	351	355	366	376	351	359
5.0	363	367	379	390	365	372
8.8	376	380	393	405	380	387
12.6	390	395	408	422	396	404
16.4	405	411	425	439	413	422
20.2	421	427	442	457	432	441
24.0	438	444	460	475	452	460
27.8	456	462	477	493	472	481
31.6	474	480	495	510	492	501
35.4	491	498	513	527	513	521
39.2	509	515	529	544	533	541
43.0	525	532	545	559	552	560
46.8	541	547	560	572	570	578
50.6	556	562	573	585	587	594
54.4	569	574	585	595	603	609
58.2	581	586	594	603	616	622
62.0	591	595	602	610	628	632
63.2	591	592	593	593	628	628
72.0	590	590	590	590	626	626
80.8	588	588	588	588	625	625
89.6	586	586	586	586	622	622
98.4	584	584	584	584	620	620
107.2	582	582	582	582	617	617
116.0	580	580	580	580	615	615
124.8	578	578	578	578	612	612
133.6	576	576	576	576	610	610
142.4	574	574	574	574	608	608
154.2	573	573	573	573	608	608

表7.6 燃料中心温度 (ケース4)

炉心第1列

軸方向位置 (cm)	定格時 ノミナル 温度	定格時 最高 温度
0.0	800	827
1.2	1211	1458
4.7	1399	1625
8.2	1549	1799
11.7	1697	1957
15.1	1818	2082
18.6	1908	2178
22.1	1980	2254
25.6	2029	2306
29.1	2054	2330
32.5	2057	2332
36.0	2038	2308
39.5	1995	2259
43.0	1934	2190
46.5	1851	2096
50.0	1736	1971
53.4	1598	1821
56.9	1454	1651
58.1	800	806

炉心第2列

軸方向位置 (cm)	定格時 ノミナル 温度	定格時 最高 温度
0.0	800	827
1.2	1221	1437
4.7	1380	1605
8.2	1532	1779
11.7	1679	1938
15.1	1800	2062
18.6	1888	2156
22.1	1959	2231
25.6	2007	2282
29.1	2031	2306
32.5	2034	2307
36.0	2015	2283
39.5	1972	2234
43.0	1910	2165
46.5	1826	2069
50.0	1706	1940
53.4	1560	1777
56.9	1405	1594
58.1	800	806

炉心第3列(内側)

軸方向位置 (cm)	定格時 ノミナル 温度	定格時 最高 温度
0.0	800	828
1.2	1186	1395
4.7	1323	1545
8.2	1465	1701
11.7	1601	1855
15.1	1715	1973
18.6	1805	2065
22.1	1872	2137
25.6	1919	2186
29.1	1942	2209
32.5	1945	2210
36.0	1926	2186
39.5	1884	2138
43.0	1823	2069
46.5	1736	1975
50.0	1618	1848
53.4	1475	1680
56.9	1313	1498
58.1	800	808

炉心第3列(外側)

軸方向位置 (cm)	定格時 ノミナル 温度	定格時 最高 温度
0.0	800	828
1.2	1191	1402
4.7	1333	1555
8.2	1477	1715
11.7	1614	1869
15.1	1729	1988
18.6	1818	2080
22.1	1886	2152
25.6	1933	2201
29.1	1956	2221
32.5	1958	2224
36.0	1939	2201
39.5	1897	2152
43.0	1836	2083
46.5	1749	1988
50.0	1629	1859
53.4	1484	1690
56.9	1319	1504
58.1	800	808

炉心第4列

軸方向位置 (cm)	定格時 ノミナル 温度	定格時 最高 温度
0.0	800	829
1.2	1140	1340
4.7	1274	1492
8.2	1418	1645
11.7	1549	1795
15.1	1658	1913
18.6	1746	2003
22.1	1815	2073
25.6	1860	2121
29.1	1883	2141
32.5	1887	2146
36.0	1869	2124
39.5	1830	2078
43.0	1770	2012
46.5	1687	1923
50.0	1575	1798
53.4	1443	1642
56.9	1291	1474
58.1	800	808

炉心第5列

軸方向位置 (cm)	定格時 ノミナル 温度	定格時 最高 温度
0.0	800	830
1.2	1092	1280
4.7	1188	1396
8.2	1300	1517
11.7	1419	1644
15.1	1513	1751
18.6	1589	1837
22.1	1652	1902
25.6	1695	1946
29.1	1718	1967
32.5	1721	1969
36.0	1701	1949
39.5	1667	1907
43.0	1613	1847
46.5	1540	1762
50.0	1445	1649
53.4	1328	1517
56.9	1200	1373
58.1	800	811

8. 許認可性の検討

今回検討した 6 ケースの取替炉心は、炉心燃料領域高さ（スタック長）、炉心燃料領域核分裂性物質重量をはじめとする原子炉設置許可申請書の本文記載事項を変更するため、その採用にあたっては、設置変更許可を申請する必要がある。

取替炉心の安全設計のうち、核熱計算結果については、前章までに述べたとおり成立性を確認した。本章では、取替炉心の設置許可にあたって評価が必要と考えられる被ばく評価と安全評価について述べる。

8. 1 被ばく評価への影響について

(1) 平常時

「常陽」の平常時の被ばく評価では、廃ガス処理系からの排ガス、原子炉格納容器換気系からの排気等の気体廃棄物、及び燃料洗浄廃液、機器洗浄廃液等の液体廃棄物を線源としている。「常陽」では、ある程度の燃料破損があっても運転を継続することがあるため、最大個数の燃料全てが最高燃焼度に達した時、炉内に蓄積されていた核分裂生成ガスの 1%が一次冷却材中に放出されるとともに、その後も運転が継続され、新たに生成する核分裂生成ガスの 1%が連続的に放出されることとして、評価を行っている。

今回の取替炉心に係る変更においては、放出経路をはじめとする評価方法は見直しの必要がないため、被ばく評価結果は線源の量と核種構成によって一義的に決まる。そこで、変更前後の線源について以下に示す。

① 核分裂生成ガスの量

取替燃料では、スタック長を現行の 50cm から 55cm あるいは 60cm に変更するが、原子炉熱出力と炉心燃料集合体数を変えず、検討の結果、径方向出力分布がほとんど変わらない設計としたため、列毎の集合体出力は変更前後でほとんど変わらない。また、運転パターン（運転日数、燃料交換バッチ数）も変えないため、炉心燃料集合体の燃焼度は装填される燃料の金属重量の増加に伴って低下するが、1 体当たりに蓄積される核分裂生成物の量に変わりはない。よって、核分裂生成ガスの量は変更前後で変わらない。

② 核種構成

被ばく評価では、原子炉安全専門部会報告書「被ばく計算に用いる放射線エネルギー等について」（平成元年3月27日原子力安全委員会了承）に基づき、MEEK and RIDER 1974 のデータ⁽⁹⁾を核分裂収率に用いている。本報告には、²³⁵U、²³⁸U、²³⁹Pu 及び²⁴¹Pu の核分裂収率データしかなく、燃焼によって生成する他の核分裂性核種については、表 8.1 に示すように上記 4 核種のデータで代用している。

現行の被ばく評価結果と 55cm 及び 60cm 炉心で Pu 富化度が高いケース 2 とケー

ス 4 について、全炉心に含まれる希ガスとよう素の線源強度を計算した結果を表 8.2 に示す。これより、核分裂性核種の違いにより、現行の評価とケース 4 を比較すると希ガスは約 4% 減少し、よう素は約 1% 増加した。

8. 2 事故時の被ばく評価への影響について

「常陽」の設置変更許可書では、以下の事故事象について被ばく評価を行っている。

- ・ 気体廃棄物処理設備破損事故
- ・ 一次冷却材漏えい事故
- ・ 一次アルゴンガス漏えい事故
- ・ 重大事故
- ・ 仮想事故

上記において、線源としては 1% 破損を想定しており、仮想事故ではこれにプルトニウムが追加される。1% 破損時の希ガスとよう素の変更による影響については、8.1 で評価済であるため、ここでは、変更前後の Pu のインベントリについて示す。

現行とケース 2 及び 4 における全炉心の Pu 核種の放射能の比較を表 8.3 に示す。ここで、評価対象核種は、「プルトニウムを燃料とする原子炉の立地評価上必要なプルトニウムに関するめやす線量について（昭和 56 年 7 月 20 日原子力安全委員会決定、平成 13 年 3 月 29 日一部改訂）に預託等価線量が示されているもののみとした。これより、スタック長と Pu 富化度の上昇により、ケース 2 は現行の約 1.4 倍、ケース 4 は約 1.6 倍に放射能が上昇する。

以上より、今回の変更で被ばく評価に用いる線源に生じる差は、希ガスとよう素について数%、Pu について 1.4~1.6 倍となることがわかった。

一例として、仮想事故時の被ばく評価結果を表 8.4 に示す。これより、甲状腺（成人）の組織線量、希ガスによる全身に対する線量は現行と数% 以内で一致し、プルトニウムによる組織線量はケース 2 で約 1.4 倍、ケース 4 で 1.6 倍となるが、判断基準に対して十分に小さいことがわかる。

8. 3 安全評価への影響について

安全評価に影響する因子のうち、一次主ポンプのフローコースト特性、ポンピーモータ流量等のプラント特性及び計測制御系に変更はない。今回の変更では、燃料組成を変更するものの、集合体の構造は従来と同一であるため炉心構成要素の冷却材流動特性は変わらない。

炉心核熱特性のうち、炉心崩壊熱については、8.1で述べたとおり、炉心燃料集合体数を変えず、1体当たりに蓄積される核分裂生成物の量が変わらないことから変更はない。

制御棒駆動速度、制御棒ストローク等を変更せず、第6章で述べたとおりワン・ロッドスタックマージンが確保されることから、制御棒価値やストローク曲線にわずかな変化があっても、スクラム時間に変更はない。さらに、反応度係数の変動は、従来の安全評価で設定している反応度係数の不確かさ（±25～45%）と比較して十分小さい。以上のことから、LOF型事象の場合、各ケースに対して従来程度の裕度をもって熱設計基準値と熱的制限値を設定することにより、運転時の異常な過渡変化時及び事故時において、設計方針を満足できる見通しである。

ただし、TOP型事象においては、今回の変更で β_{eff} が変わることにより、解析条件に影響することがわかった。具体的には、「出力運転中の制御棒の異常な引抜き」と「燃料スランピング事故」において、¢単位で与えている前者の反応度付加率と後者のステップ反応度投入量が変わることになる。

「出力運転中の制御棒の異常な引抜き」を例にとると、従来と制御棒反応度価値や駆動速度が変わらないものの、Pu成分の増加により β_{eff} が小さくなり、従来5¢/sとしていた反応度付加率がケース4では6¢/sとなる。

炉心動特性解析コードHARHO-IN⁽⁵⁾によるケース2、4の「出力運転中の制御棒の異常な引抜き」事象の解析結果を図8.1と8.2に示す。Pu富化度34%のケース2は、 β_{eff} の変動が比較的小なく、反応度付加率の評価結果は従来どおりの5¢/sとなる。ここで、本事象で熱設計基準値に対して解析結果がもっとも厳しくなる燃料最高度の熱的制限値を、ケース2は2500°C、ケース4は2470°Cとした。これより、ケース4では、スクラム時間がケース2の約1.4sより早い約1.2sとなり、燃料温度の上昇幅はケース2の約40°Cに対して約36°Cまでしか上昇しない結果となった。

以上の結果より、安全評価においては、 β_{eff} の変動により従来¢単位で与えている反応度付加率等の評価条件を変更する必要があるが、それを考慮しても、従来の結果に包絡されることを確認した。

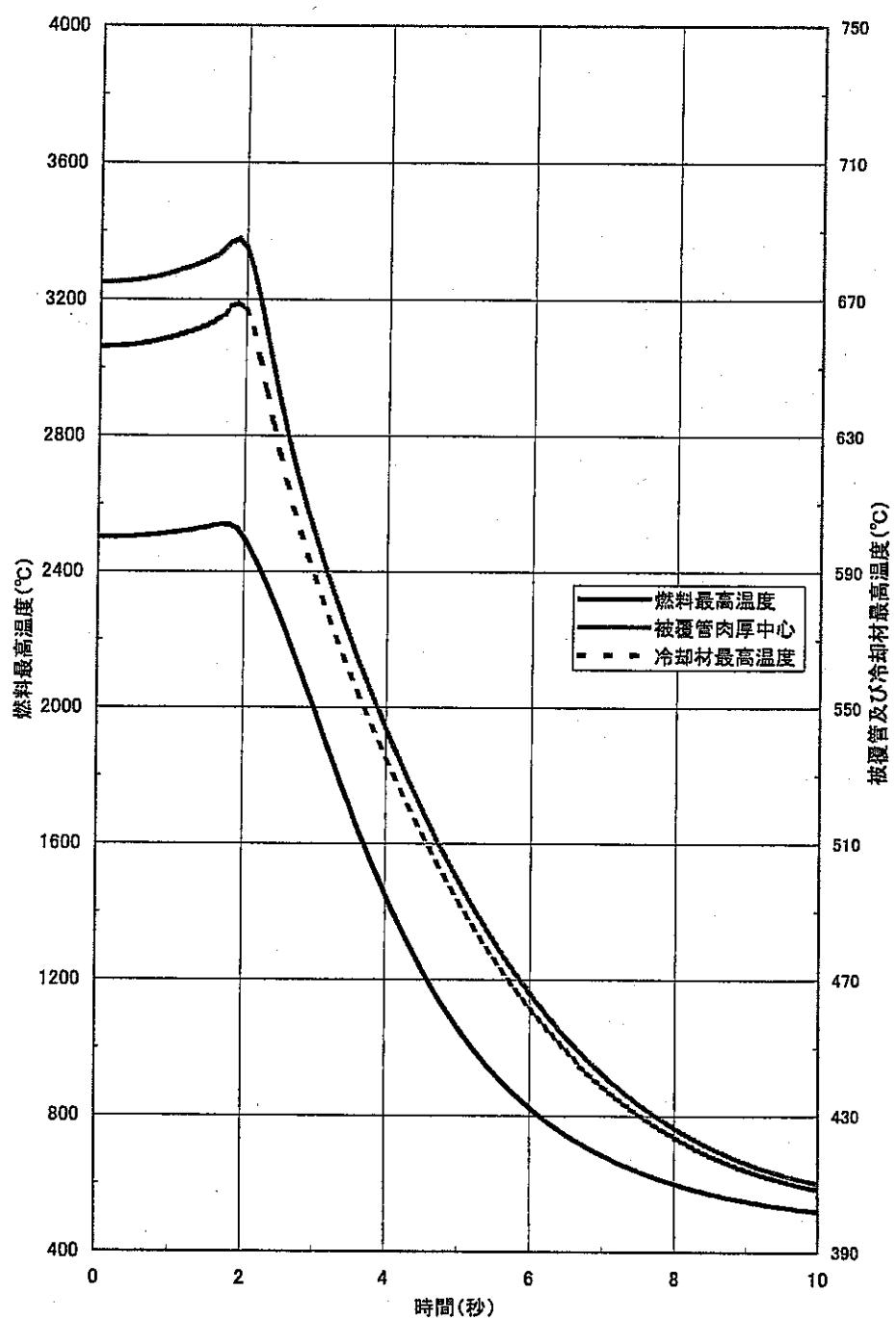


図 8.1 燃料、被覆管、冷却材最高温度（ケース 2）

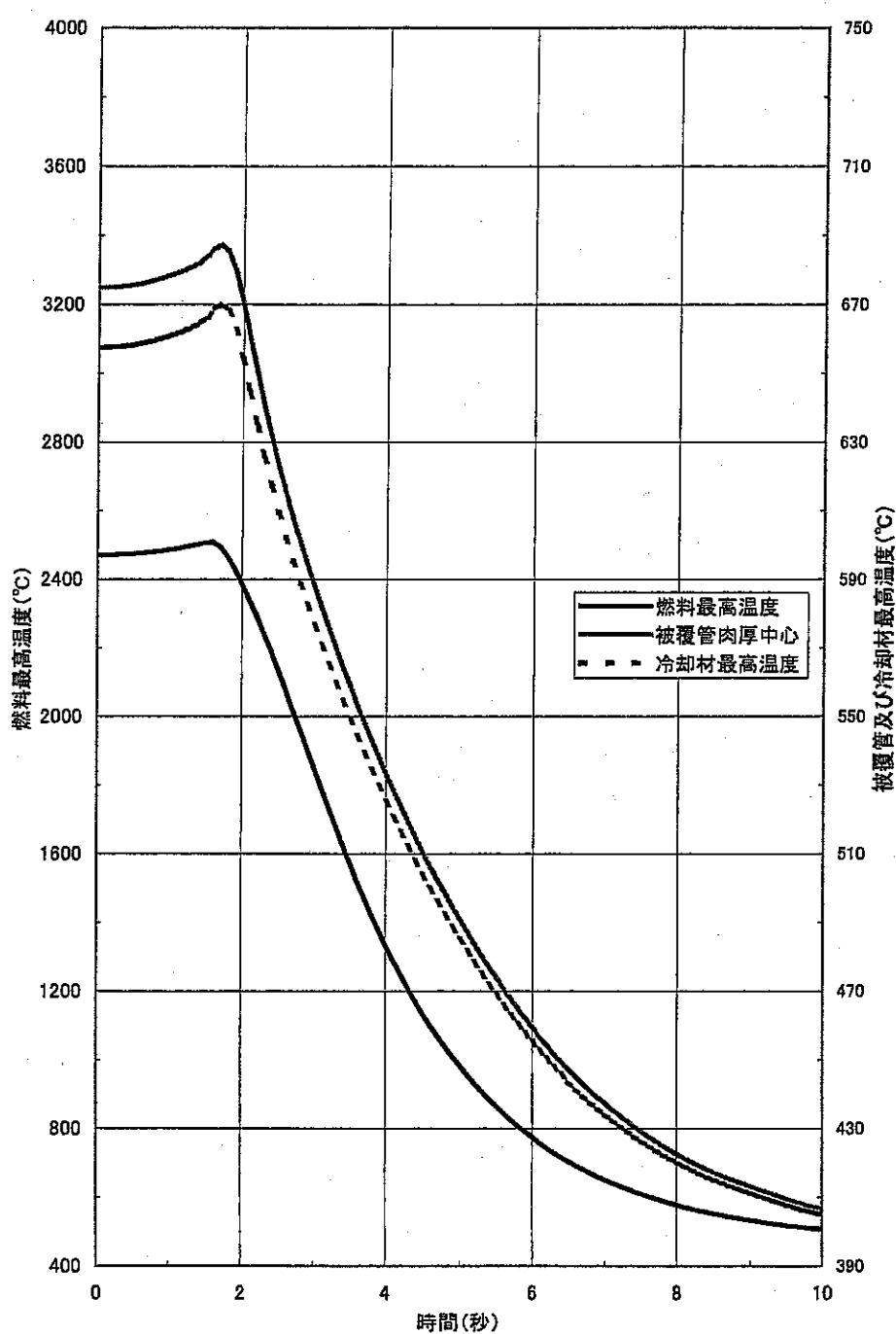


図 8.2 燃料、被覆管、冷却材最高温度（ケース 4）

表8.1 核分裂性核種の取扱い

核種	計算上の 取扱核種
^{235}U	^{235}U
^{236}U	
^{238}U	^{238}U
^{238}Pu	
^{239}Pu	^{239}Pu
^{240}Pu	
^{241}Pu	^{241}Pu
^{242}Pu	
^{237}Np	^{239}Pu
^{239}Np	
^{241}Am	
^{242m}Am	
^{243}Am	^{241}Pu
^{242}Cm	
^{243}Cm	
^{244}Cm	

表8.2 全炉心の核分裂生成物の線源強度

	核種	現行	ケース2	ケース4
核分裂 反応率比	^{235}U	33%	21%	7%
	^{238}U	7%	7%	8%
	^{239}Pu	53%	60%	71%
	^{241}Pu	8%	12%	15%
線源強度 (Bq)	希ガス	1.41E+18	1.39E+18	1.36E+18
	よう素	1.29E+18	1.29E+18	1.30E+18

表8.3 全炉心のPu核種の放射能

	核種	現行	ケース2	ケース4
放射能(Bq)	^{238}Pu	3.0E+15	4.1E+15	4.8E+15
	^{239}Pu	2.7E+14	3.7E+14	4.4E+14
	^{240}Pu	5.2E+14	7.0E+14	8.3E+14
	^{241}Pu	1.1E+17	1.5E+17	1.8E+17
	^{242}Pu	2.4E+12	3.3E+12	3.9E+12
	^{241}Am	7.4E+14	1.0E+15	1.2E+15
	合計	1.1E+17	1.6E+17	1.9E+17

表8.4 仮想事故時の被ばく評価結果

[単位 : Sv]

	現行	ケース2	ケース4	判断基準
甲状腺(成人)の組織線量	5.0E-02	5.0E-02	5.1E-02	3
希ガスによる全身に対する線量 (γ 線) [*] (β 線)	9.5E-04 2.0E-03	9.2E-04 2.0E-03	8.9E-04 2.0E-03	0.25 —
プルトニウムによる組織線量 (肺) (骨表面) (肝)	2.4E-02 9.9E-02 1.8E-02	3.3E-02 1.3E-01 2.4E-02	3.9E-02 1.6E-01 2.9E-02	3 2.4 5

*) スカイシャイン及び直接線による値を加算しない値

9 まとめ

2010年（平成22年）以降に使用する「常陽」MK-III炉心用取替燃料の仕様について検討し、核熱設計の成立性を評価した。

本検討では、炉心燃料領域高さを60cmとして評価した結果、Pu フィッサイル割合を63.06%とした場合には、プルトニウム富化度を内側燃料領域26.9%、外側燃料領域31%、U-235 濃縮度については内側燃料領域12.8%、外側燃料領域11.2%とすることにより成立解が得られた。また、「ふげん」使用済燃料を再処理したPu フィッサイル割合の低いプルトニウムを使用する場合についても、プルトニウム富化度を内側燃料領域30.5%、外側燃料領域32.6%に増加し、U-235 濃縮度を内側燃料領域11.4%、外側燃料領域10.6%とすることにより成立解が得られた。

炉心燃料領域高さを60cmとすることに伴う中性子束の低下は、MK-III 標準平衡炉心に比べ約5~7%の減少となつたが、MK-II 炉心の最大中性子束は上回った。

反応度特性については、制御棒価値、ドップラ係数、出力係数は絶対値が大きくなり、ナトリウム反応度は絶対値が小さくなるものの負の値となつた。これにより、いずれの検討ケースについても、MK-III 標準平衡炉心と同等の安全性を有していることを確認した。

燃料最高温度については、炉心燃料領域高さの増加に伴い、最大線出力密度が低下し、現状の知見に基づいた計算では、MK-III 標準平衡炉心よりも約90°C低下する結果となつた。今後は、プルトニウム富化度30%以上の燃料に関する熱伝導率等の物性値の取得及び設計への適用性評価を行い、詳細な熱設計を行う予定である。

また、被ばく評価及び安全評価については、運転時の異常な過渡変化時の代表事象として「出力運転中の制御棒の異常な引き抜き」及び仮想事故について検討した。その結果、仮想事故時の希ガス・よう素の生成量及び異常な過渡変化時の燃料最高温度等はMK-III 標準平衡炉心と同等であり、十分な安全性を有していることを確認した。

謝 辞

本検討に係る計算を実施するにあたり、三菱重工株式会社の池田一三氏、大久保良幸氏、館野徹氏、千歳敬子氏、ニュークリア・デベロップメント株式会社の小倉理志、新型炉技術開発株式会社の長田博夫氏に多大な協力をいただきました。この場を借りて深く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) A. Yoshida, S. Yogo, "Upgrading Program of the Experimental Fast Reactor Joyo", *Proc. of Ninth International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-9)*, (2001)
- (2) 田渕士郎、吉田昌宏：“「常陽」MK-III 取替炉心の核熱設計に関する設計評価”，JNC TN9410 2001-013
- (3) 吉田昌宏、青山卓史：“「常陽」MK-III 炉心燃料のウラン濃縮度低減に関する検討”，JNC TN9410 98-084
- (4) 安藤良平、高野秀機，“使用済軽水炉燃料の核種生成評価”，JAERI-Research 99-004, (1999)
- (5) 大洗工学センター 原子炉設置変更許可申請書(高速実験炉設置変更)（その 15まで）
- (6) 「高速増殖炉核設計計算コードの概要」，三菱原子力工業株式会社，MAPI-F-0001 (1981)
- (7) 井上賢紀，他：“高速炉用ウラン-プルトニウム混合酸化物燃料の熱伝導特性評価—照射初期用熱伝導度式の作成：その 1—”，PNC TN9410 98-014, (1997)
- (8) 井上賢紀，他：“高速炉用ウラン-プルトニウム混合酸化物燃料の熱伝導特性評価—照射初期用熱伝導度式の作成：その 2—”，PNC TN9400 98-005, (1998)
- (9) MEEK, M. E. and RIDER, B. F. : Compilation of Fission Products Yields, Vallecitos Nuclear Center, NEDO-12154-1 (1974).