

MA及びLLFPのリサイクルによる
高速炉サイクルでの平衡炉心の検討（I）
(研究報告)

1999年5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。

〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

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 319-1194,
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
1999

MA及びLLFPのリサイクルによる高速炉サイクルでの平衡炉心の検討（I） (研究報告書)

水谷昭彦*、庄野 彰*、石川 真*

要 旨

高速炉を中心とする核燃料リサイクルシステムにおいて、自身の炉で生成されるMA及びLLFPをリサイクルし炉内に閉じ込めて消滅をはかる、自己完結型炉の炉心概念検討に資するため、電気出力60万kW、径プランケット無しの典型的なNa冷却酸化物燃料炉心の炉心仕様で、MA及びLLFPを原子炉内に閉じ込めた「平衡炉心」の核特性解析を行った。また、この「平衡炉心」の核特性と、MAやLLFPの閉じ込めを行わない「基準炉心」、及びこの「基準炉心」にLWRからの取り出し組成のMAを5w/o装荷する「5w/oMA炉心」の核特性との比較検討も行った。

本解析では、「平衡炉心」と、「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」との核特性の比較を通して、「平衡炉心」の特異性を検討した。また、その特異性がゆえに、「平衡炉心」は高速炉設計概念に大きな変更を要求するのか否かの検討を、核特性の観点から行った。なお、これら3種類の「炉心」に関して、MA及びLLFPの消滅に際して中性子経済の観点から魅力のある、窒化物や金属燃料炉心に対しても評価検討を行った。

本解析の結論をまとめると以下のようになる。

まず、典型的な電気出力60万kW、Na冷却酸化物燃料炉心の炉心設計に変更を加えずに、平衡量のMA及びLLFPを、MAはREの分離を仮定して、LLFPは同位体分離を仮定して炉心にリサイクルして閉じ込めた場合、一部の核特性を除いて「基準炉心」から「5w/oMA炉心」の核特性の変化範囲を大きく逸脱するものではなかった。したがって、核特性の観点からは、燃焼欠損反応度増大に対処できれば、「基準炉心」の炉心仕様に大幅な変更を加えることなしに、自身の炉心から取り出されるMA及びLLFPを炉内に閉じ込めた「平衡炉心」が成立する可能性があることがわかった。

また、酸化物燃料「平衡炉心」は、LLFPが平衡量の15.1w/o装荷するためにPu富化度が増大したが、その増殖比は径プランケット燃料無しで1を上回った。また、Puマスバランスに関して、平衡サイクルでのPuの装荷量と取出量の差は0.04t/yと僅かであった。したがって、酸化物燃料炉心においてでも、U以外を新たに加えずにPuを自給自足できる可能性があることがわかった。さらに、Pu同位体組成の違いが炉心の増殖性に与える影響が大きいことがわかった。

新型燃料炉心は酸化物燃料炉心に比べて、中性子経済の良さから種々の核特性に優れ、MAやLLFPをリサイクルする炉心において設計時の自由度が高いことが確認できた。

*) 大洗工学センターシステム技術開発部炉心技術開発Gr.

Investigation of Equilibrium Core by Recycling MA and LLFP in Fast Reactor Cycle (I)

Akihiko Mizutani*, Akira Shono* and Makoto Ishikawa*

Abstract

Feasibility study on a self-consistent fuel cycle system is performed in the nuclear fuel recycle system with fast reactors. In this system, the self-generated MAs(Minor Actinides) and LLFPs(Long Lived Fission Products) are confined and incinerated in the fast reactor. Analyses of the nuclear properties for an "Equilibrium Core", in which the self-generated MAs and LLFPs are confined, are investigated. A conventional sodium cooled oxide fuel fast reactor is selected as the core specifications for the "Equilibrium Core". This 600MWe fast reactor does not have a radial blanket.

In this study, the nuclear characteristics of the "Equilibrium Core" are compared with those of a "Standard Core" and "5w/oMA Core". The "Standard Core" does not confine MAs and LLFPs in the core, and a 5w/o-MA from LWR is loaded in the "5w/oMA Core". Through this comparison between "Equilibrium Core" and the others, the specific characters of the "Equilibrium Core" are investigated. In order to realize the "Equilibrium Core" in the viewpoint of nuclear properties, whether the conventional design concept of fast reactors must be changed or not is also evaluated. The analyses for the nitride and metallic fuel cores are also performed because of their different nuclear characteristics compared with the oxide fuel core.

Assuming the separation of REs(Rare Earth elements) from MAs and the isotope separation of LLFPs, most of the nuclear properties for the "Equilibrium Core" are not beyond those for the "5w/oMA Core". It is, therefore, possible to bring the "Equilibrium Core" into existence without any drastic modification for the design concept of the typical oxide fuel fast reactors.

Although the 15.1[w/o] LLFPs are loading in the core of the oxide fuel "Equilibrium Core", a breeding ratio is more than 1.0 and the difference in a amount of plutonium between a charging and discharging is only 0.04[ton/year]. Without any drastic change for the design concept of the conventional oxide fuel fast reactors, there is also a possibility that the "Equilibrium Core" comes into existence with making the plutonium self-sufficient and with loading only uranium out of the considering fuel cycle.

Since the nuclear properties of the nitride and metallic fuels are superior to those of the oxide fuel, these new fuels have the advantage of a large degree of flexibility for the core design with recycling MAs and LLFPs.

*) Reactor Physics Research Group, System Engineering Technology Division, O-arai Engineering Center, JNC

目 次

1. 概要	.....	1
2. 検討条件及び検討炉心（検討ケース）	.....	2
3. 解析結果及び考察	.....	6
3.1 基準炉心	.....	6
(1) 核特性	.....	6
① 酸化物燃料炉心	.....	6
② 酸化物燃料炉心と新型燃料（窒化物、金属）炉心の比較	.....	7
③ 窒化物燃料炉心と金属燃料炉心の比較	.....	9
(2) 物質収支	.....	11
3.2 5w/oMA炉心	.....	25
(1) 核特性	.....	25
① 酸化物燃料炉心	.....	25
② 新型燃料（窒化物、金属）炉心	.....	26
3.3 平衡炉心	.....	29
(1) 核特性	.....	29
① 酸化物燃料炉心における「平衡炉心」と 「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」との比較	.....	29
② 酸化物燃料炉心と新型燃料（窒化物、金属）炉心の比較	.....	34
(2) 物質収支	.....	35
3.4 その他の炉心	.....	55
4. まとめ	.....	58
参考文献	.....	61
謝辞	.....	61
付録A 核特性表	.....	62
付録B 重金属物質収支表	.....	78

図表リスト

表リスト

表2-1	解析ケース1（「基準炉心」）	4
表2-2	解析ケース2（「5w/oMA炉心」）	4
表2-3	解析ケース3（「平衡炉心」）	5
表2-4	解析ケース4（「70群定数変更炉心」、「Pu組成変更炉心1」及び 「Pu組成変更炉心2」）	5
表3-1	電気出力60万kW炉心の炉心仕様	12
表3-2	「基準炉心」解析結果	13
表3-3	燃料種別ごとの主要重核種の核種数密度・一群ミクロ核分裂断面積 ・一群マクロ核分裂断面積（「基準炉心」）	14
表3-4	平衡サイクルにおけるU及びPuの物質収支（「基準炉心」）	15
表3-5	「5w/oMA炉心」解析結果	27
表3-6	「平衡炉心」解析結果	37
表3-7	酸化物燃料炉心の核特性解析結果	38
表3-8	MA核種の崩壊定数及び一群核定数（酸化物燃料炉心）	39
表3-9	LLFP核種の生成量・組成比及び一群捕獲断面積（酸化物燃料炉心）	40
表3-10	「平衡炉心」における燃料種別ごとのMA核種の崩壊定数及び一群核定数	41
表3-11	平衡サイクルにおけるU及びPuの物質収支（「平衡炉心」）	42
表3-12	酸化物燃料炉心における「平衡炉心」と「基準炉心」の U及びPu物質収支解析結果の比較（平衡サイクル）	43
表3-13	「その他の炉心」解析結果	57

図リスト

図3-1	炉心特性解析フロー	16
図3-2	60万kWe酸化物燃料炉の炉心配置図例	17
図3-3	酸化物燃料炉心（Case1-1）の径方向出力密度分布	18
図3-4	酸化物燃料炉心（Case1-1）の径方向出力分布	18
図3-5	酸化物燃料炉心（Case1-1）の燃焼初期軸方向出力密度分布	19
図3-6	酸化物燃料炉心（Case1-1）の燃焼末期軸方向出力密度分布	19
図3-7	酸化物燃料炉心（Case1-1）の径方向中性子束分布	20
図3-8	酸化物燃料炉心（Case1-1）の軸方向中性子束分布	20
図3-9	「基準炉心」7群中性子スペクトル	21
図3-10	「基準炉心」中性子スペクトル（30keV以下）	22
図3-11	「基準炉心」中性子スペクトル（10keV以上）	23
図3-12	「基準炉心」7群中性子スペクトル（10keV以上）	24
図3-13	酸化物燃料炉心の中性子スペクトル（「基準炉心」と「5w/oMA炉心」との比較）	28
図3-14	酸化物燃料炉心（Case3-1）の径方向出力密度分布	44
図3-15	酸化物燃料炉心（Case3-1）の径方向出力分布	44
図3-16	酸化物燃料炉心（Case3-1）の燃焼初期軸方向出力密度分布	45
図3-17	酸化物燃料炉心（Case3-1）の燃焼末期軸方向出力密度分布	45
図3-18	酸化物燃料炉心（Case3-1）の径方向中性子束分布	46
図3-19	酸化物燃料炉心（Case3-1）の軸方向中性子束分布	46
図3-20-1	酸化物燃料炉心の7群中性子スペクトル （「平衡炉心」、「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」の比較）	47
図3-20-2	酸化物燃料炉心の7群中性子スペクトル（10keV以上）	48
図3-21	酸化物燃料炉心の中性子スペクトル（30keV以下） （「基準炉心」、「5w/oMA炉心」及び「平衡炉心」）	49
図3-22	酸化物燃料炉心の中性子スペクトル（「平衡炉心」及び「基準炉心」）	50
図3-23	酸化物燃料炉心の中性子スペクトル（「平衡炉心」及び「5w/oMA炉心」）	51
図3-24	酸化物燃料炉心の中性子スペクトルの差異 （「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」の「平衡炉心」との差）	52
図3-25	燃料種別毎「平衡炉心」中性子スペクトル（30keV以下）	53
図3-26	燃料種別毎「平衡炉心」中性子スペクトル（10keV以上）	54

1. 概要

高速炉を中心とする核燃料リサイクルシステム（以下「高速炉サイクル」という）において、運転期間中に自身の炉で生成されるMA及びLLFPをリサイクルし炉内に閉じ込めて消滅をはかる、自己完結型炉の炉心概念検討に資するため、電気出力60万kW、径ブランケット無しの典型的なNa冷却酸化物燃料炉心の炉心仕様で、MA及びLLFPを原子炉内に閉じ込めた炉心¹⁾（以下「平衡炉心」とする）の核特性解析を以下に示す基本条件の下に行った。また、この「平衡炉心」の核特性と、MAやLLFPの閉じ込めを行わない炉心（「基準炉心」とする）、及びこの「基準炉心」にLWRからの取り出し組成のMAを5w/o装荷する炉心（「5w/oMA炉心」とする）の核特性との比較検討も行った。解析項目は、Puの平衡組成、MA,LLFPの平衡量及び平衡組成、最大線出力、増殖比、燃焼欠損反応度、取り出し燃料平均燃焼度、最大高速フルエンス、ドップラー係数、Naボイド反応度、及び燃料サイクルマスバランスである。

本解析では、「平衡炉心」と、「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」との核特性の比較を通して「平衡炉心」の特異性を検討する。また、その特異性がゆえに、「平衡炉心」は高速炉設計概念に大きな変更を要求するのか否かの検討を、核特性の観点から行う。なお、これら3種類の「炉心」に関して、MA及びLLFPの消滅に際して中性子経済の観点から魅力のある、窒化物や金属燃料炉心に対しても評価検討を行った^{2)~5)}。

<基本条件>

- ・ 自身の炉で生成されたMAはRE（希土類元素）と分離し、リサイクル時のロス無しに完全に回収され炉心に戻されると仮定する。ここでMAは²³⁷Np, ²⁴¹Am, ^{242m}Am, ²⁴³Am, ²⁴²Cm, ²⁴³Cm, ²⁴⁴Cm, ²⁴⁵Cmの8核種とする。
- ・ 自身の炉で生成されたLLFPは同位体分離によってロス無しに回収され炉心に戻されると仮定する。ここでLLFPは⁷⁹Se, ⁹³Zr, ⁹⁹Tc, ¹⁰⁷Pd, ¹²⁶Sn, ¹²⁹I, ¹³⁵Csの7核種とする。
- ・ MA及びLLFPは炉心に均質に装荷する。
- ・ リサイクルされるPu,MA,LLFP以外の核種（主にLLFP以外のFP）は高速炉サイクル外へ廃棄されるものとする。
- ・ Puに関しては自給を目指し、Uのみ外部から供給されるものとする。

2. 検討条件及び検討炉心（検討ケース）

MA及びLLFPを炉内に閉じ込める「平衡炉心」の核特性の特異性を検討するために、基準となる炉心として、これら核種の閉じ込めを行わない「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」を以下のように設定する。共通の炉心仕様としては、電気出力60万kW、径プランケット無しの均質2領域Na冷却酸化物燃料炉心とする。全ての検討ケースにおいて運転サイクル長さ、炉心直径、軸プランケット厚さ等、炉心仕様を変えずに解析を行う。なお、「基準炉心」、「5w/oMA炉心」及び「平衡炉心」とともに、燃料のみを窒化物、金属に置き換えた解析も行う。その場合、炉心仕様の最適化を行わない為、燃料種別計算の違いは各燃料の物性値の違いのみである。

<検討炉心>

以下の炉心に対して検討を行う。「基準炉心」、「5w/oMA炉心」、「平衡炉心」とも酸化物、窒化物、金属燃料の燃料種別について検討する。表2-1、表2-2、表2-3及び表2-4に電気出力60万kWクラス炉の核特性解析ケースを示す。

自身のMA及びLLFPの閉じ込めを行わないレファレンス炉心

- ・ 「基準炉心」（表2-1、Case 1-1,1-2,1-3）
平衡Pu組成、MA及びLLFPの閉じ込め無し。
- ・ 「5w/oMA炉心」（表2-2、Case 2-1,2-2,2-3）
平衡Pu組成、LWR取り出し（3年燃焼、5年冷却）組成のMAを5w/o炉心に均質に装荷する。

自身のMA及びLLFPの閉じ込めを行う炉心

- ・ 「平衡炉心」（表2-3、Case 3-1,3-2,3-3）
平衡Pu組成、自身の炉からの平衡量、平衡組成のMA及びLLFPを炉内に閉じ込む。

その他、基準炉心（Case 1-1）と平衡炉心（Case 3-1）との差異の考察の為に設定する炉心

- ・ 「70群定数変更炉心」（表2-4、Case 4-1-1,4-1-2）
「基準炉心」（Case1-1）において、高速炉用70群定数のみをJFS3J2.ADJ91RからJFS3J3.Y9511に変更して行う計算。前者には前述した7核種のLLFPの断面積が含まれず、後者には含まれる。なお、「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」計算では前者を、「平衡炉心」では後者の群定数をそれぞれ用いて7群定数を作成、計算が行われる。

なお、Case4-1-1ではPu富化度調整を行い、Case4-1-2ではPu富化度を「基準炉心」の値に固定して計算を行う。

表2-4において、Pu平衡組成に「A」及び「B」とあるが、これはCase1-1「基準炉心」のPu平衡組成を「A」、Case3-1「平衡炉心」のPu平衡組成を「B」と、便宜上付けた仮の識別名である。これにより例えば、「基準炉心」と「70群定数変更炉心」はともに識別名が「A」であり、したがって両ケースとも同一のPu平衡組成で解析が行われることを意味している。

- ・ 「Pu組成変更炉心1」（表 2-4、Case 4-2-1,4-2-2）

「基準炉心」（Case 1-1）において、Pu平衡組成のみを「平衡炉心」の値（Case 3-1）（Pu平衡組成の識別名「B」）に変更して行う計算。

なお、Case4-2-1ではPu富化度調整を行い、Case4-2-2ではPu富化度を「基準炉心」の値に固定して計算を行う。

- ・ 「Pu組成変更炉心2」（表 2-4、Case 4-3-1,4-3-2）

「平衡炉心」（Case 3-1）において、Pu平衡組成のみを「基準炉心」の値（Case 1-1）（Pu平衡組成の識別名「A」）に変更して行う計算。

なお、Case4-3-1ではPu富化度調整を行い、Case4-3-2ではPu富化度を「平衡炉心」の値に固定して計算を行う。

表 2-1 解析ケース1（「基準炉心」）

基 準 炉 心			
ケース名	Case 1-1	Case 1-2	Case 1-3
燃料型	酸化物	窒化物	金属
運転サイクル長さ	365日	365日	365日
炉心直径	2.8m	2.8m	2.8m
炉心高さ	1m	1m	1m
軸ブランケット	70cm	70cm	70cm
径ブランケット	なし	なし	なし
炉心へのMA装荷	なし	なし	なし
炉心へのLLFP装荷	なし	なし	なし

表 2-2 解析ケース2（「5w/oMA炉心」）

5w/oMA 炉 心			
ケース名	Case 2-1	Case 2-2	Case 2-3
燃料型	酸化物	窒化物	金属
運転サイクル長さ	365日	365日	365日
炉心直径	2.8m	2.8m	2.8m
炉心高さ	1m	1m	1m
軸ブランケット	70cm	70cm	70cm
径ブランケット	なし	なし	なし
炉心へのMA装荷	5w/o*	5w/o*	5w/o*
炉心へのLLFP装荷	なし	なし	なし

*) LWRからの取り出し組成（3年燃焼、5年冷却）

表 2-3 解析ケース3（「平衡炉心」）

平衡炉心			
ケース名	Case 3-1	Case 3-2	Case 3-3
燃料型	酸化物	窒化物	金属
運転サイクル長さ	365日	365日	365日
炉心直径	2.8m	2.8m	2.8m
炉心高さ	1m	1m	1m
軸ブランケット	70cm	70cm	70cm
径ブランケット	なし	なし	なし
炉心へのMA装荷	平衡量、平衡組成	平衡量、平衡組成	平衡量、平衡組成
炉心へのLLFP装荷	平衡量、平衡組成	平衡量、平衡組成	平衡量、平衡組成

表 2-4 解析ケース4（「70群定数変更炉心」、「Pu組成変更炉心1」
及び「Pu組成変更炉心2」）

	基準炉心	平衡炉心	70群定数 変更炉心	Pu組成 変更炉心1	Pu組成 変更炉心2
ケース名	Case 1-1	Case 3-1	Case 4-1-1, 4-1-2	Case 4-2-1, 4-2-2	Case 4-3-1, 4-3-2
燃料型	酸化物	酸化物	酸化物	酸化物	酸化物
運転サイクル長さ	365日	365日	365日	365日	365日
炉心直径	2.8m	2.8m	2.8m	2.8m	2.8m
炉心高さ	1m	1m	1m	1m	1m
軸ブランケット	70cm	70cm	70cm	70cm	70cm
径ブランケット	なし	なし	なし	なし	なし
炉心へのMA装荷	なし	平衡量、 平衡組成	なし	なし	平衡量、 平衡組成
炉心へのLLFP装荷	なし	平衡量、 平衡組成	なし	なし	平衡量、 平衡組成
Pu平衡組成	A	B	A	B	A
高速炉用70群定数	JFS3J2. ADJ91R	JFS3J3. Y9511	JFS3J3. Y9511	JFS3J2. ADJ91R	JFS3J3. Y9511

3. 解析結果及び考察

図3-1に炉心核特性解析に用いる解析フローを示す。各「炉心」のPu平衡同位体組成比、「平衡炉心」におけるMA及びLLFPの平衡量と平衡組成は、それぞれORIGEN2コードを用いた繰り返し計算によって見積もる。この際、1回の計算は3年間燃焼し30日間の冷却期間を経るものとし、この計算を収束するまで繰り返す。計算ケース毎に各々7エネルギー群の実効ミクロ断面積を作成し、その定数を用いて炉心の燃焼特性を評価する。Naボイド反応度及びドップラー反応度係数の算出には、厳密及び一次摂動計算を各々用いる。

表3-1に電気出力60万kWの典型的なNa冷却酸化物燃料炉心の炉心仕様を示す。この表には、酸化物燃料炉心と同一の炉心仕様を持つ、本解析で用いる新型燃料炉心の炉心仕様も付記する。また、図3-2に、電気出力60万kWの酸化物燃料炉の炉心配置図例を示す。

3.1 基準炉心

(1) 核特性

表3-2に「基準炉心」の燃料種別毎の炉心核特性解析結果を示す。この表にはドップラー反応度係数、Naボイド反応度、集合体バンドル圧損及び実効燃料体積比も合わせて示す。また表3-3に、「基準炉心」における燃料種別ごとの主要重核種(^{238}U , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu)の核種数密度、一群ミクロ核分裂断面積、一群マクロ核分裂断面積を示す。

図3-3～図3-8に酸化物燃料炉心(Case 1-1)の径方向出力分布、軸方向出力分布、径方向中性子束分布及び軸方向中性子束分布を示す。

付録Aには核特性解析結果の詳細を示す。

電気出力60万kWクラス「基準炉心」の核特性に関する解析結果を、始めに酸化物燃料炉心に関してまとめる。続いて窒化物、金属燃料の新型燃料炉心に関して酸化物燃料炉心の結果との比較を通してまとめ、さらに窒化物燃料と金属燃料炉心の比較検討を行う。なお、金属燃料にはNaボンドを使用し、窒化物燃料には100% ^{15}N を用いる。

① 酸化物燃料炉心 (Case 1-1)

- ・Pu富化度は内側炉心で17.5w/o、外側炉心で22.2w/oであり、内側と外側炉心とで5w/o程の差がある。
- ・最大線出力は425W/cmと、MOX燃料の許容最大線出力(430W/cm)内に収まっている。
- ・増殖比は炉全体で1.09(燃焼初期)、1.08(燃焼末期)と1.1にわずかに足りない程度

である。なお、炉心部のみでは0.84（燃焼初期）、0.82（燃焼末期）となっている。

- ・燃焼欠損反応度は $2.21\% \Delta k/kk'$ であり、12ヶ月連續運転の制限値 $3\% \Delta k/kk'$ を下回っている。
- ・取出燃料平均燃焼度は84800MWD/tである。
- ・最大高速フルエンスは $2.75 \times 10^{23} n/cm^2$ と、被覆管材料として考えている改良オーステナイト鋼の適用範囲である $3 \times 10^{23} n/cm^2$ 以内に収まっている。
- ・ドップラー反応度係数は $-7.28 \times 10^{-3} Tdk/dT$ であり、Naボイド反応度は $2.16\% \Delta k/kk'$ （約6\$）となっている。
- ・Rehmeの評価式⁶⁾に基づいて簡易的に見積もった集合体バンドル部圧損は $3.11 kg/cm^2$ であり、従来より圧損の目安値とされている $3.5 kg/cm^2$ 以下である。

② 酸化物燃料炉心と新型燃料（窒化物、金属）炉心の比較（Case 1-1, 1-2, 1-3）

- ・新型燃料炉心の平衡Pu同位体組成比は、酸化物燃料炉心に比べて高次のPuの割合が少ない。図3-9に平衡サイクル初期の各燃料炉心ごとの7群中性子スペクトルを示す（各炉心の中性子スペクトルは各々1に規格化されている）。新型燃料炉心は中性子スペクトルが酸化物燃料炉心に比べて硬く、Puの高次化が進みにくいことがわかる。
- ・新型燃料炉心のPu富化度は酸化物燃料炉心に比べて、内側炉心で約7w/o、外側炉心で約8w/o小さな値である。新型燃料炉心は酸化物燃料炉心に比べて少ないPu量でサイクルを通して臨界を保持できる。
- ・新型燃料炉心の最大線出力は438W/cm（窒化物）、429W/cm（金属）と、各燃料炉心とも炉心体積が等しくPu富化度調整の設定条件も同一であることから、酸化物燃料炉心（425W/cm）に比べて大差無い。窒化物燃料炉心に関しては許容最大線出力（約800W/cm）を十分に下回っており、安全上の裕度は大きい。一方金属燃料炉心に関しても、許容最大線出力（400～500W/cm）であることから、ほぼ満足できると思われる。
- ・新型燃料炉心の増殖比は燃焼初期で1.30を、燃焼末期で1.25を越えており、新型燃料炉心は酸化物燃料炉心に比べて高い増殖性能をもつことがわかる。概して、これら増殖比には新型燃料炉心と酸化物燃料炉心とのPu富化度の違いが良く反映されている。

- ・燃焼欠損反応度は窒化物燃料炉心で $-0.71\% \Delta k/kk'$ 、金属燃料炉心で $-0.41\% \Delta k/kk'$ であり、酸化物燃料炉心に比べて大幅に小さな値となっている。新型燃料炉心の中性子経済が良いことがわかる。
- ・新型燃料炉心の炉心部の取出燃料平均燃焼度は、酸化物燃料炉心に比べて25%程度小さな値となっている。燃料種別によらず、炉心出力及び燃料の炉内滞在期間は同一であり、新型燃料炉心の高い重金属密度割合が反映している。
- ・最大高速フルエンスは窒化物燃料炉心では $2.69 \times 10^{23} n/cm^2$ であり、金属燃料炉心においては $3.27 \times 10^{23} n/cm^2$ である。金属燃料炉心は酸化物燃料炉心より20%近く高い最大高速フルエンスとなっている。この最大高速フルエンスに関しては、続く「③窒化物燃料炉心と金属燃料炉心の比較」で考察する。
- ・ドップラー反応度係数は窒化物燃料炉心で $-7.54 \times 10^{-3} Tdk/dT$ であり酸化物燃料炉心の値と同程度である。また、金属燃料炉心では $-5.06 \times 10^{-3} Tdk/dT$ であり、酸化物燃料炉心よりその絶対値が小さい。図3-10に燃料種別ごとに30keV以下の中性子エネルギー域における中性子スペクトル（各中性子スペクトルとも全エネルギー域で1に規格化されている）を示す。

中性子スペクトルに関しては、ドップラー効果に効く25keV以下のエネルギー域で、酸化物、窒化物、金属燃料炉心の順に中性子が多い（中性子スペクトルが軟らかい）。

また表3-3より、 ^{238}U の数密度及び主要重核種に対する ^{238}U の割合は、酸化物燃料炉心が新型燃料炉心に比べて小さい。窒化物燃料炉心は酸化物燃料炉心と比べ中性子スペクトルが硬い為にドップラー反応度係数の絶対値が小さくなる効果と、 ^{238}U の量が多い為に絶対値が大きくなる効果とが打ち消し合って、ほぼドップラー反応度係数が等しくなったと考えられる。一方、金属燃料炉心は中性子スペクトルが酸化物燃料炉心に比べ硬い為にドップラー反応度係数の絶対値を小さくする効果が、 ^{238}U 量の増加による効果を上回り、ドップラー反応度係数に関して酸化物燃料炉心より絶対値が小さくなつたと考えられる。

- ・Naボイド反応度は窒化物燃料炉心で $2.38\% \Delta k/kk'$ であり酸化物燃料炉心の値と大きな差はない。他方、金属燃料炉心では $3.73\% \Delta k/kk'$ と酸化物燃料炉心より4倍程度大きな値となっている。図3-11に燃料種別ごとに10keV以上の中性子エネルギーにおける70群中性子スペクトルを示す。

新型燃料炉心の中性子スペクトルは、Naボイド反応度に効く100keV付近からMeV域にかけて酸化物燃料炉心より硬く、これがNaボイド反応度にプラスを寄与を与える。このエネルギー域では、3種の燃料種別炉心の中でもとりわけ金属燃料炉心の中性子スペクトルが大きな値となっている（硬くなっている）。

また表3-3より、新型燃料炉心は酸化物燃料炉心に比べ ^{238}U 量が多く、高速中性子

による核分裂反応や($n, 2n$)反応の増大によりさらにプラスの寄与を与える。ただし、図3-11の1MeV以上の中性子スペクトルからわかるように、この ^{238}U 量の多さ故に、 ^{238}U の非弾性散乱によってこのエネルギー域の中性子量は新型燃料炉心の方が酸化物燃料炉心より小さい。したがって、表3-3に示す一群ミクロ核分裂断面積からもわかるように、新型燃料炉心の核分裂断面積が酸化物燃料炉心より小さい為にボイド反応度へのプラスの効果は薄れる。

さらに、新型燃料炉心は酸化物燃料炉心に比べて、 ^{240}Pu の組成比が小さくPu富化度も小さいことから ^{238}Pu 量を含めて実質的にfertilePu核種量が少ない。そのため高速中性子に対して核分裂を起こす核種の寄与が小さいのでNaボイド反応度にマイナスの寄与を与える。

また、表には記さなかったが、中性子スペクトルの硬さを表す指標となりNaボイド反応度にプラスの寄与を与える ^{239}Pu の η 値は、燃料種別毎に酸化物、窒化物及び金属燃料炉心で各々2.31、2.38及び2.46となっている。

以上の様に、中性子スペクトルの寄与とfertile核種及びfissile核種の寄与とが競合した結果、新型燃料炉心のボイド反応度係数は酸化物燃料炉心より大きくなっている。

- ・集合体バンドル部圧損は、燃料種別変更に際して炉心仕様が変わらないことから、新型燃料炉心も 3.11kg/cm^2 と酸化物燃料炉心と同一値となる。

③ 窒化物燃料炉心と金属燃料炉心の比較 (Case 1-2, 1-3)

ここでは、窒化物燃料炉心と金属燃料炉心との核特性の差異を考察する。まず、7群中性子スペクトルに関して考察し、最大高速フルエンス、増殖比、燃焼欠損反応度、取出燃料平均燃焼度に関して検討を行う。

中性子スペクトル

図3-12に平衡サイクル初期の7群中性子スペクトル ($10\text{keV} \leq E \leq 10\text{MeV}$ 域) を示す。各炉心のスペクトルは各々全エネルギー域で1に規格化されている。

図3-9及び図3-12により、金属燃料炉心は窒化物燃料炉心と比べて、0.1MeV～1MeV域のスペクトルが大きく、0.1MeV以下及び1MeV以上のエネルギー域ではスペクトルが小さい。

まず、中性子スペクトルの低エネルギー域の振る舞いに関しては、金属燃料炉心は窒化物燃料炉心の窒素のように軽い核種を含んでいない為に、中性子が0.1MeV以下のエネルギー域へ減速されずらいといえる。

他方、金属燃料が数MeV以上の高いエネルギー域で多くの中性子の減速が起こることに関して、以下のようなことが言える。 ^{238}U の非弾性散乱に依る事象について、表3-3に示すように、 ^{238}U の数密度が主要重核種に占める割合 ($^{238}\text{U}/(^{238}\text{U}+^{238}\text{Pu}+^{239}\text{Pu}$)

$+^{240}\text{Pu} + ^{241}\text{Pu} + ^{242}\text{Pu})$ は 88.5a/o (窒化物燃料) 88.7a/o (金属燃料) と 0.2% しか違わない。したがって、金属燃料と窒化物燃料との比較に於いて、 ^{238}U の炉心内における量の違いに起因する非弾性散乱の違いが、1MeV以上の中エネルギー域で中性子減速の大小を大きく左右しているとは考えづらい。

さらに表3-3より、金属燃料炉心は窒化物燃料炉心より各核種ともに、ミクロ核分裂断面積、核種数密度が小さく、したがって一群マクロ核分裂断面積も小さい。表に掲げた6核種の燃料種別ごとの一群マクロ核分裂断面積の合計は、金属燃料炉心は窒化物燃料炉心より 12% 程小さい (酸化物燃料を基準とすると、窒化物燃料炉心は 6% 増、金属燃料炉心は 7% 減となっている。)。この生成断面積の差が、窒化物燃料炉心と金属燃料炉心との 1MeV 以上のエネルギー域でのスペクトルに差異を与えていたと考え得る。

最大高速フルエンス

金属燃料炉心の最大高速フルエンスが窒化物燃料炉心より 20% 近く大きくなっている原因を探る。

最大高速フルエンスはピーピング係数、中性子束高速群割合及び炉心平均中性子束の積で求める。ピーピング係数に関しては、金属、窒化物両燃料炉心とも炉心形状が等しく、Pu富化度を決定する際の条件が同一であることから大差無い。また、中性子束高速群割合は平衡サイクル初期値で金属燃料が 67%、窒化物燃料が 63% となっており、金属燃料の方が僅かに大きい値をとるがフルエンス全体の違いに比しては僅かな差でしかない。

一方、炉心平均中性子束に関しては以下のようないい事が言える。表3-3に示す一群マクロ核分裂断面積の6核種 (^{238}U , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu) の合計値は、金属燃料炉心の断面積が各核種とも窒化物燃料炉心に比べて 12% 程小さな値となっている。金属、窒化物両燃料炉心とも出力は同一値であることから、炉心平均中性子束はこのマクロ断面積に反比例した大小関係をとる。したがって、金属燃料炉心の炉心平均中性子束が大きく、結果として最大高速フルエンスが窒化物燃料炉心に比べて大きくなつたと考えられる。

ただここで、金属、窒化物両燃料炉心ともにPu富化度は内側炉心で 10.7 及び 10.5 と 0.2 程の差にも関わらず、表3-3に示す通り各核種の数密度にはこのPu富化度の差に比して大きな差異がある。このことは金属燃料炉心に含まれるZrと窒化物燃料炉心に含まれる ^{15}N により生じている。つまり、実際の核種数密度を求める際、金属燃料に含まれる約 11a/o の Zr と窒化物燃料に含まれる ^{15}N を比べると、同一Pu富化度であっても Pu の核種数密度が燃料間で違ってくる。すなわち定まったある一定のPu富化度に対して計算コード内に於いてPuの核種数密度が計算される際に、金属燃料ではZrが燃料に含まれる為にPuの核種数密度が減じられる効果の方が窒化物燃料に於ける ^{15}N の同様の効果に比して 6% 程大きく、このため金属燃料炉心のPuの核種数密度が窒化物炉心に比べ先述のごとく小さくなると考えられる。

以上より、主要重核の核種数密度が金属燃料炉心の方が窒化物燃料炉心より小さく、さらに金属燃料炉心の重核のミクロ核分裂断面積が窒化物燃料炉心より小さいことから、金属燃料炉心の炉心平均中性子束が大きくなる。これにより、金属燃料炉心の僅かに大きい中性子束高速群割合と合わせて、結果として金属燃料炉心の高速中性子束フルエンスが大きくなっている。

増殖比

金属燃料炉心のPu富化度は窒化物燃料炉心に比べ僅かに小さい値であるが、増殖比も小さい。このことは、表3-3に示す通り、 ^{238}U の数密度が金属燃料炉心で $1.02\text{E-}02$ [atoms/barn/cm]であり、窒化物燃料炉心で $1.08\text{E-}02$ [atoms/barn/cm]であることから、金属燃料炉心の ^{238}U 量が実質的に少ないために増殖比が小さくなると考えられる。

燃焼欠損反応度

金属燃料炉心はPu富化度が低いにもかかわらず、燃焼欠損反応度は窒化物燃料より大きい。このことは、金属燃料炉心の内部転換比が窒化物燃料炉心より小さいことによる。

取出燃料平均燃焼度

金属燃料、窒化物燃料炉心とともに炉心出力及び燃料の炉内滞在期間のいずれも同じ値である。先述したように、金属燃料炉心の実効的な重金属量は窒化物燃料炉心より少ない。したがって取出燃料平均燃焼度は金属燃料炉心の方が窒化物燃料炉心に比べて大きい。

(2) 物質収支

表3-4に、各燃料種別ごとの平衡サイクルにおけるU及びPuの物質収支を示す。付録Bには各ケースの重金属物質収支解析結果の詳細を示す。「基準炉心」の物質収支をPuの自給の観点からまとめると以下のようになる。

平衡サイクルにおいて、酸化物燃料炉心では、Pu装荷量は 1.32t/y 、取出量は 1.37t/y であり、再処理や加工の際のロスを考慮しても自給出来ているといえる。一方、新型燃料炉心では、窒化物及び金属燃料炉心の双方ともPuの取出量が装荷量を 0.2t/y 程上回っており、Puの収支は酸化物燃料に比べて4倍程であり、自給に関して何ら問題は無い。

表 3-1 電気出力60万kW炉心の炉心仕様

	項目	酸化物燃料	窒化物燃料	金属燃料
	ケース名	Case 1-1,2-1,3-1, 4-1-1,4-1-2, 4-2-1,4-2-2 4-3-1,4-3-2	Case 1-2,2-2,3-2	Case 1-3,2-3,3-3
基本仕様	炉出力	60万kWe	←	←
	運転サイクル長さ	365日	←	←
	燃料型式	均質2領域	←	←
	炉心燃料交換パターン	3バッチ	←	←
	原子炉出入口温度	550°C／380°C	←	←
	炉心高さ	100cm	←	←
燃料仕様	燃料化学形	(U,Pu)O1.98	(U,Pu) ¹⁵ N	U-Pu-10Zr
	理論密度	11.0g/cm ³	14.3g/cm ³	15.9g/cm ³
	ペレット密度	96.0%TD	←	100%TD
	ペレット径	7.09mm	←	6.53mm
	ピン径	8.50mm	←	←
	ピン配列ピッチ	9.85mm	←	←
	被覆管肉厚	0.48mm	←	←
	スミア密度	85.0%	←	75%
	構造材材質	改良オーステナイト鋼	MA957相当鋼	←
	実効燃料体積比	36.8% (32.5%*)	36.8% (31.2%*)	32.5% (26.9%*)
集合体仕様	集合体あたりピン本数	217本	←	←
	ダクト肉厚	4.0mm	←	←
	集合体配列ピッチ	160.7mm	←	←
	燃料集合体数 (IC/OC)	108体／138体	←	←

*) Case 3-1, 3-2, 3-3

表 3-2 「基準炉心」解析結果

燃料型	基 準 炉 心		
	酸化物燃料	窒化物燃料	金属燃料
ケース名	Case 1-1	Case 1-2	Case 1-3
平衡Pu同位体組成比*[w/o]	0.2/57.4/34.0/5.2/3.2	0.2/69.6/25.7/3.3/1.2	0.2/69.5/25.8/3.3/1.2
Pu富化度（内側/外側） [w/o]	17.5/22.2	10.7/14.3	10.5/14.5
MA装荷量[w/o]	0	0	0
装荷MA組成比**[w/o]	—	—	—
最大線出力（RZ計算値） [W/cm]	425	438	429
増殖比（BOC/EOC）	1.09/1.08	1.34/1.28	1.31/1.26
燃焼欠損反応度[%Δk/kk']	2.21	-0.71	-0.41
取出燃料平均燃焼度[MWD/t]	84800	61500	64900
最大高速フルエンス[10 ²³ n/cm ²]	2.75	2.69	3.27
ドップラー係数[10 ⁻³ Tdk/dT]	-7.28	-7.54	-5.06
Naボイド反応度[%Δk/kk']	2.16	2.38	3.73
実効燃料体積比[%]	36.8	←	32.5
集合体バンドル圧損[kg/cm ²]	3.11	←	←

*) 平衡Pu同位体組成比： $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}/^{241}\text{Pu}/^{242}\text{Pu}$

表 3-3 燃料種別ごとの主要重核種の核種数密度・一群ミクロ核分裂断面積・一群マクロ核分裂断面積（「基準炉心」）

燃料型	核種数密度*[atoms/barn/cm]			一群ミクロ核分裂断面積[barn]			一群マクロ核分裂断面積[1/cm]		
	酸化物	窒化物	金属	酸化物	窒化物	金属	酸化物	窒化物	金属
²³⁸ U	7.16E-03	1.08E-02	1.02E-02	9.82E-02	9.23E-02	8.49E-02	7.02E-04	9.94E-04	8.63E-04
²³⁸ Pu	2.96E-06	2.51E-06	2.31E-06	1.24E+00	1.21E+00	1.19E+00	3.67E-06	3.04E-06	2.74E-06
²³⁹ Pu	8.89E-04	9.81E-04	9.08E-04	1.89E+00	1.81E+00	1.73E+00	1.68E-03	1.77E-03	1.57E-03
²⁴⁰ Pu	5.33E-04	3.58E-04	3.29E-04	5.18E-01	5.02E-01	4.83E-01	2.76E-04	1.80E-04	1.59E-04
²⁴¹ Pu	8.38E-05	4.69E-05	4.23E-05	2.54E+00	2.37E+00	2.19E+00	2.13E-04	1.11E-04	9.28E-05
²⁴² Pu	5.02E-05	1.68E-05	1.56E-05	3.83E-01	3.73E-01	3.58E-01	1.93E-05	6.26E-06	5.57E-06
6種の重核合計	8.71E-03	1.22E-02	1.15E-02	—	—	—	2.89E-03	3.06E-03	2.69E-03
²³⁸ Uの 6種の重核に対する割合[%]	82.1	88.5	88.7	—	—	—	—	—	—

*) 平衡サイクル初期の値。

表 3-4 平衡サイクルにおけるU及びPuの物質収支（「基準炉心」）

平 衡 サ イ ク ル										
項 目		酸化物燃料炉心			窒化物燃料炉心			金属燃料炉心		
		炉心燃料 (内側・ 外側合計)	軸方向 プランケ ット燃料	合計	炉心燃料 (内側・ 外側合計)	軸方向 プランケ ット燃料	合計	炉心燃料 (内側・ 外側合計)	軸方向 プランケ ット燃料	合計
装 荷	Pu+U [kg]	6560	4835	11395	9048	6706	15754	8526	6366	14892
	Pu [kg]	1318	0	1318	1148	0	1148	1089	0	1089
	U [kg]	5242	4835	10077	7900	6706	14606	7437	6366	13803
取 出	Pu+U [kg]	5964	4809	10772	8451	6679	15130	7934	6336	14270
	Pu [kg]	1229	137	1365	1213	152	1365	1115	156	1272
	U [kg]	4735	4672	9407	7238	6527	13765	6819	6179	12998

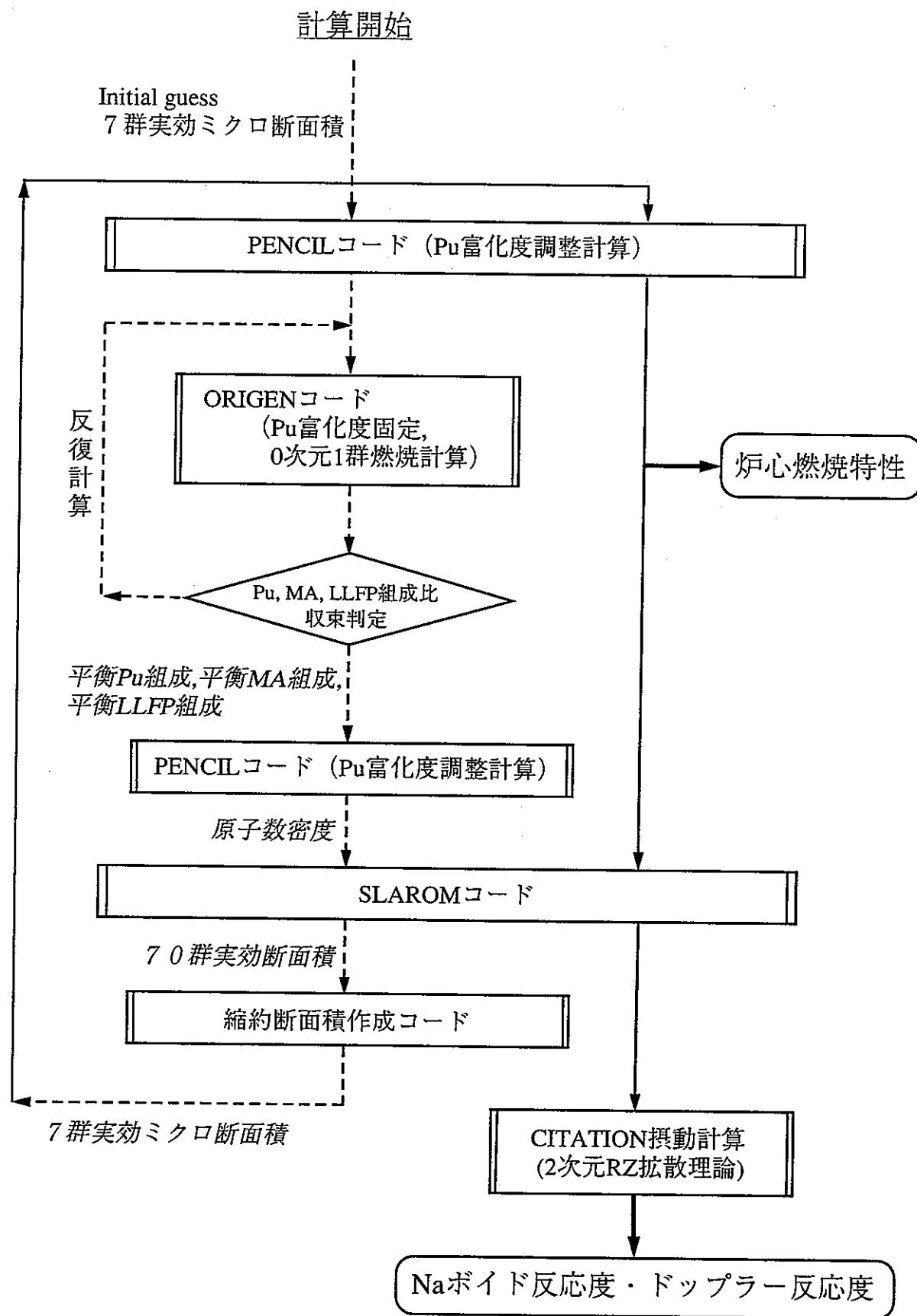
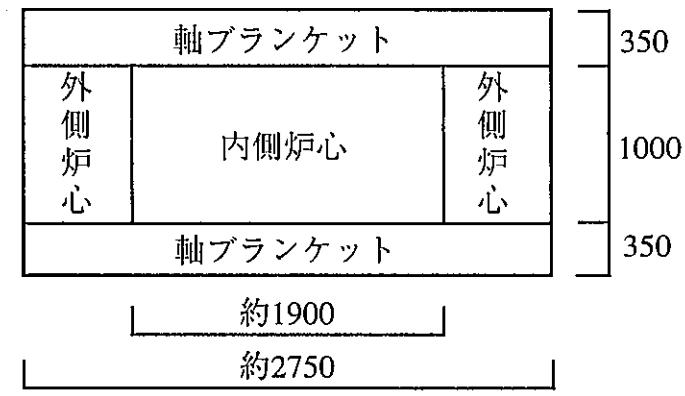
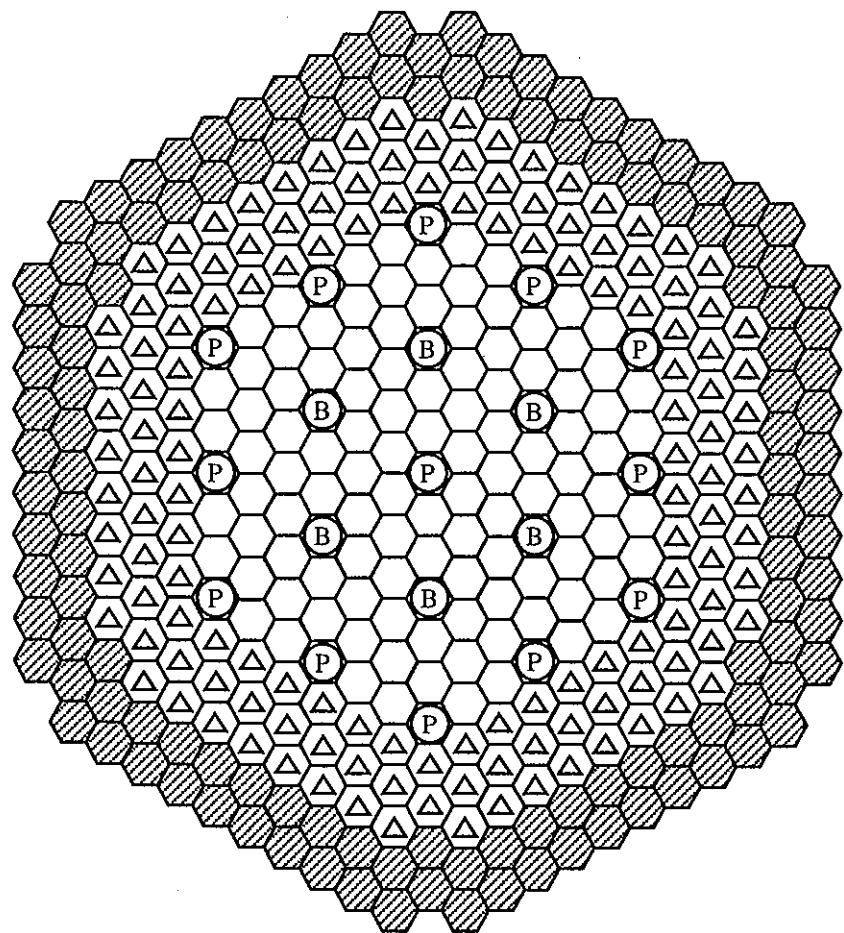


図 3-1 炉心特性解析フロー



○ 内側炉心	108 体
△ 外側炉心	138 体
▨ SUS遮蔽体	126 体
□ 主炉停止系制御棒	13 体
▨ 後備炉停止系制御棒	6 体
合計 391 体	

図 3-2 60万kWe 酸化物燃料炉の炉心配置図例

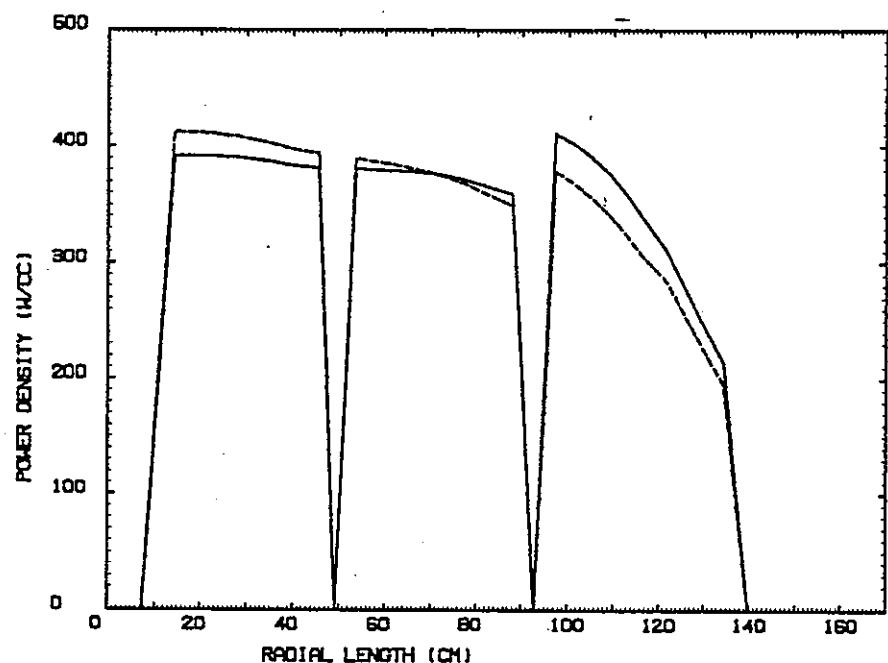


図3-3 酸化物燃料炉心（Case1-1）の径方向出力密度分布

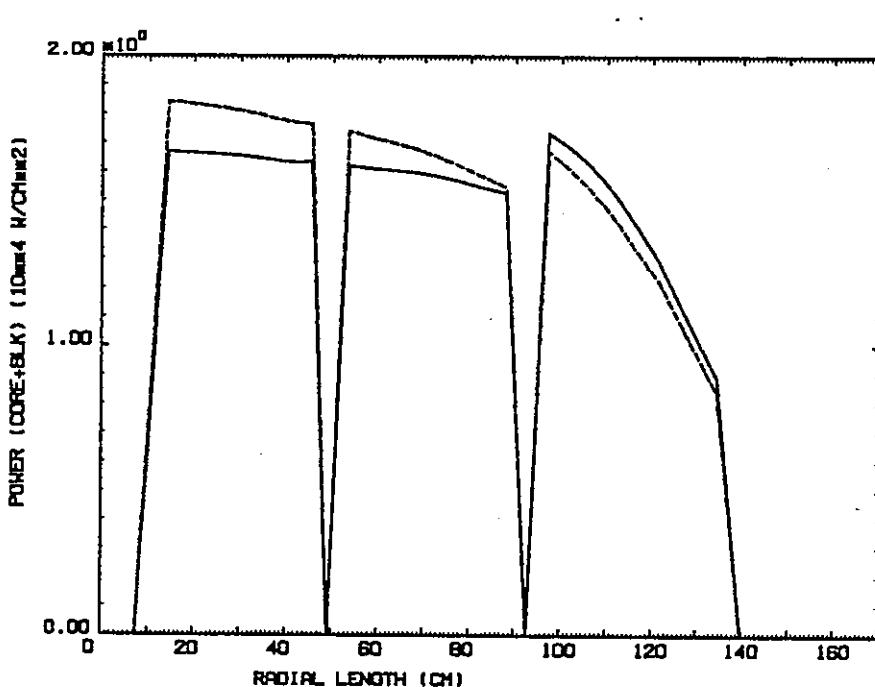


図3-4 酸化物燃料炉心（Case1-1）の径方向出力分布

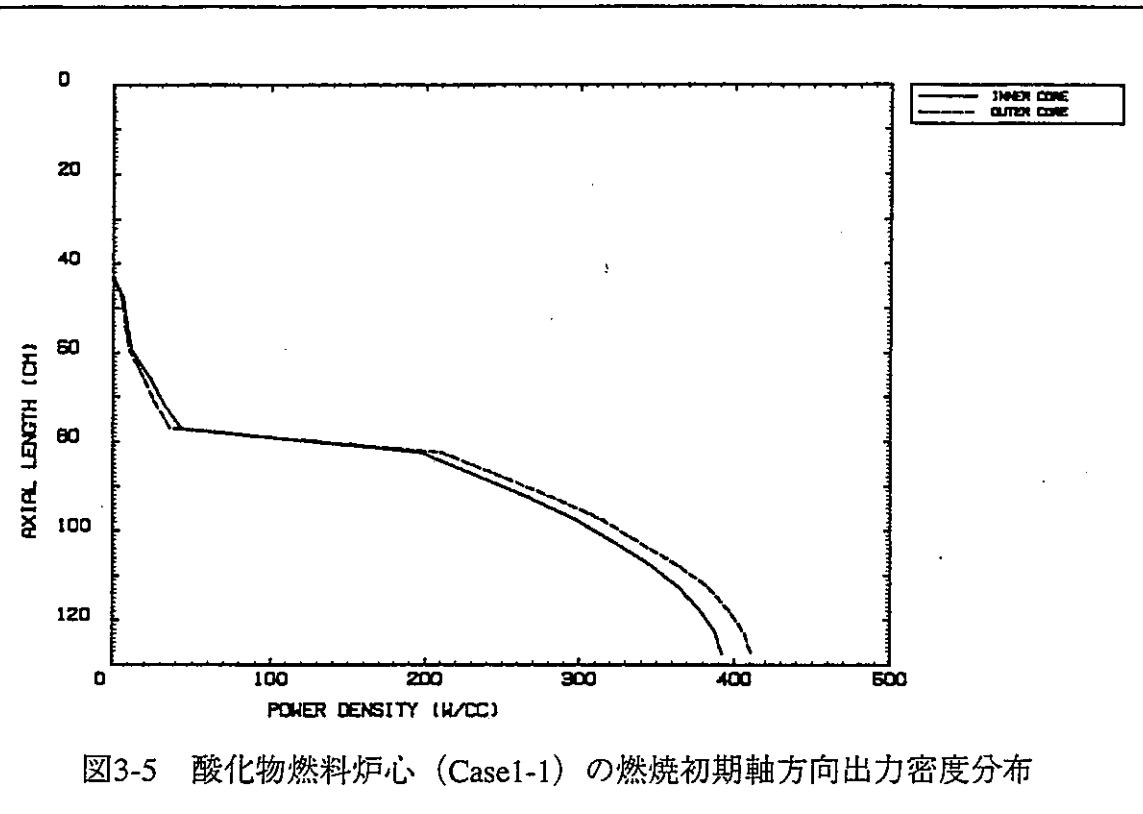


図3-5 酸化物燃料炉心（Case1-1）の燃焼初期軸方向出力密度分布

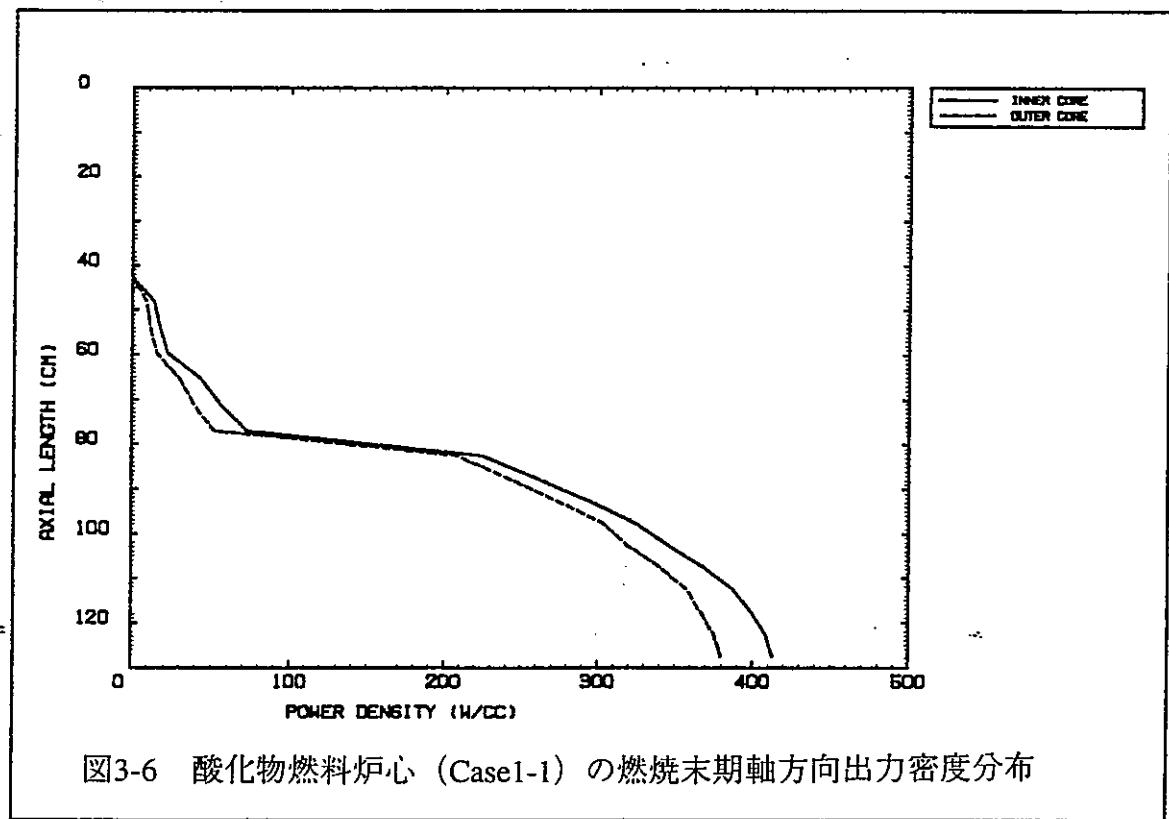
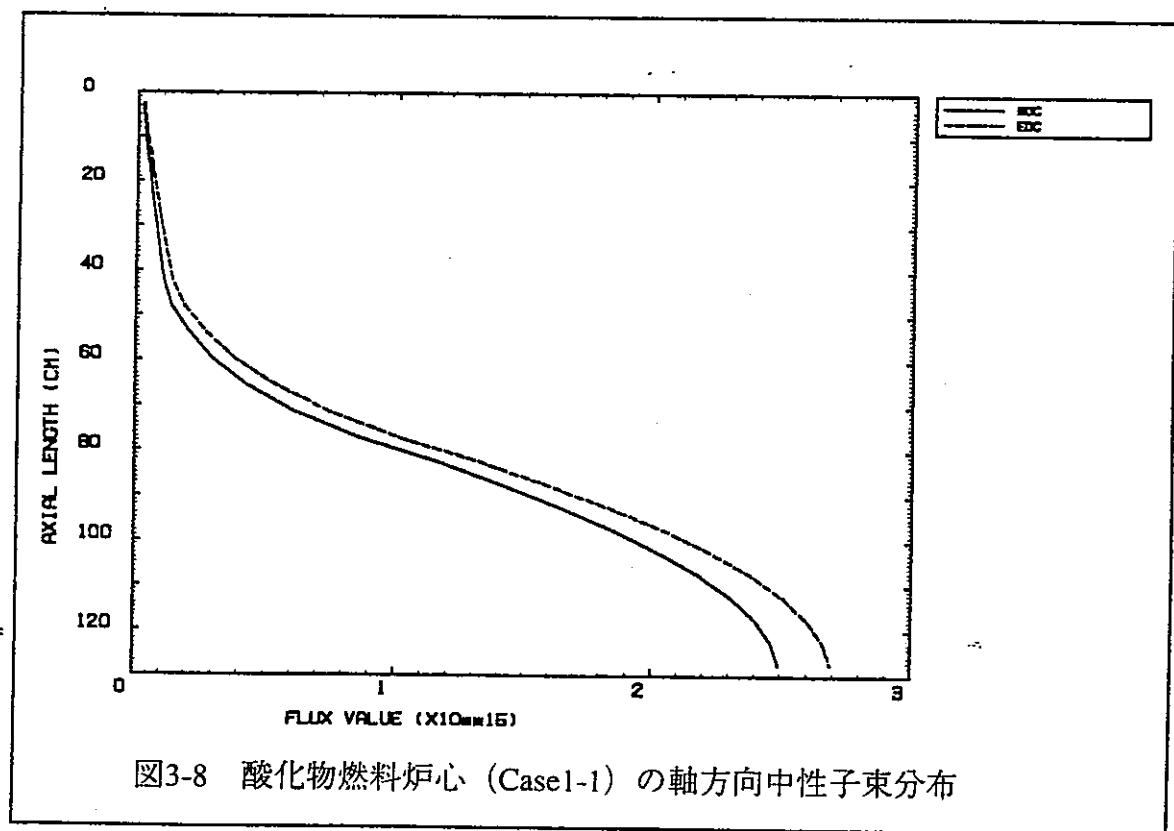
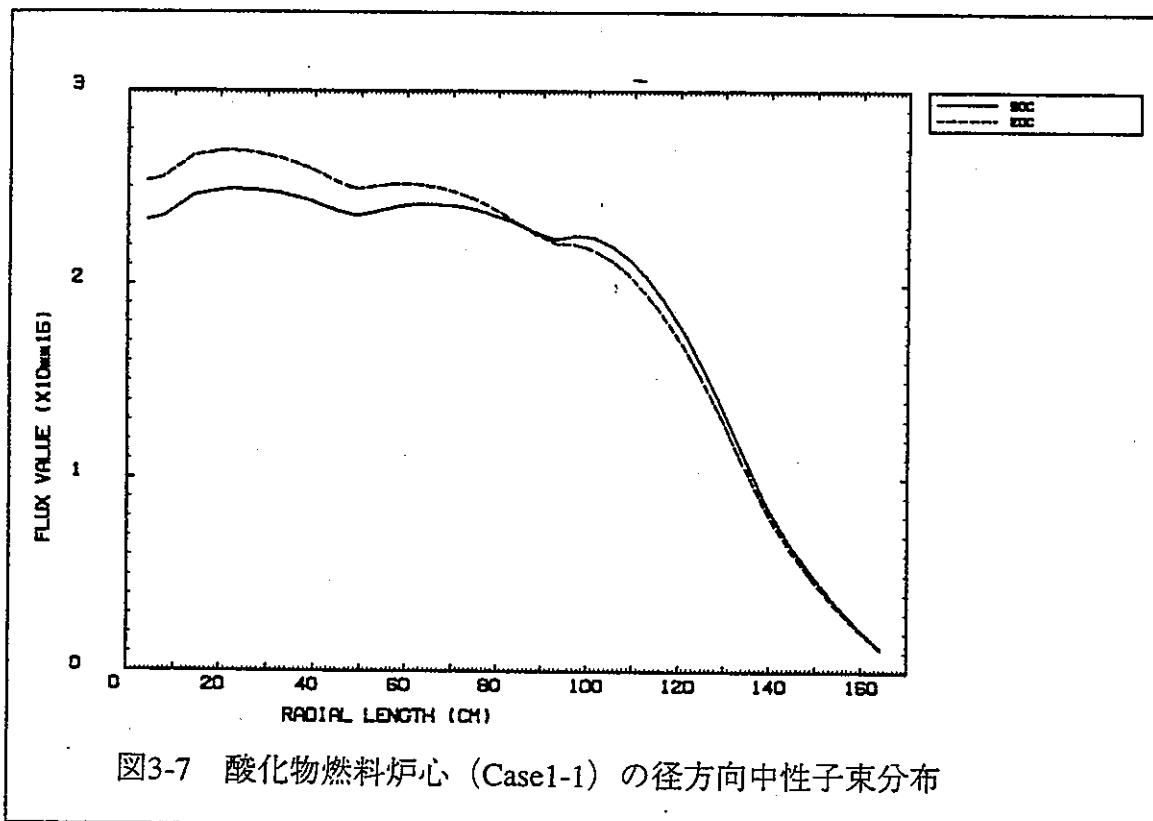


図3-6 酸化物燃料炉心（Case1-1）の燃焼末期軸方向出力密度分布



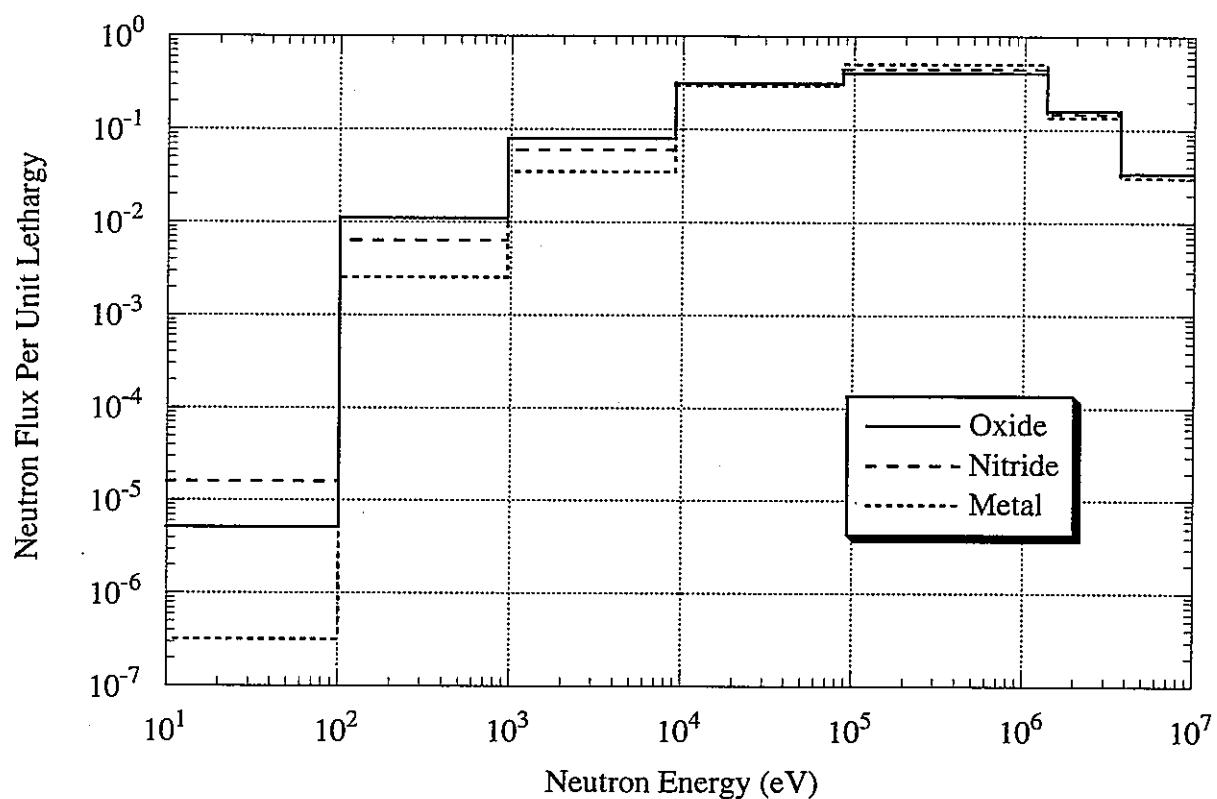


図3-9 「基準炉心」 7群中性子スペクトル

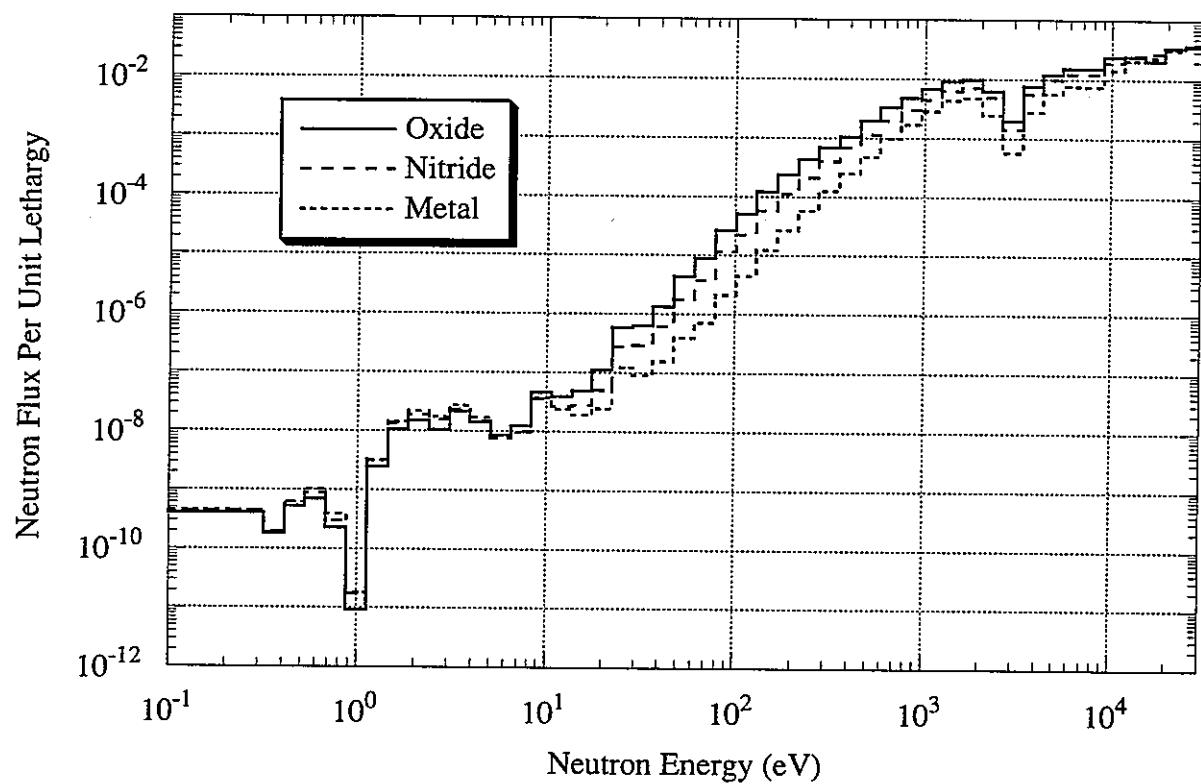


図3-10 「基準炉心」中性子スペクトル（30keV以下）

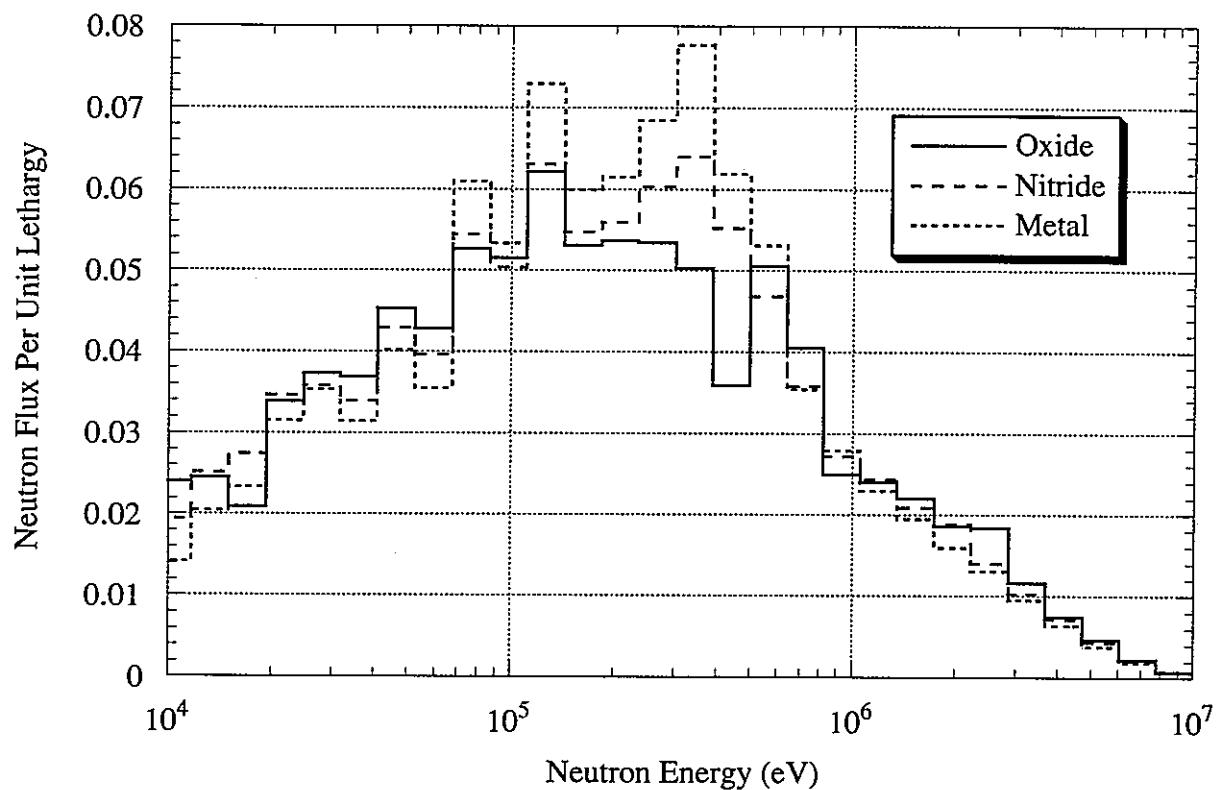


図3-11 「基準炉心」 中性子スペクトル (10keV以上)

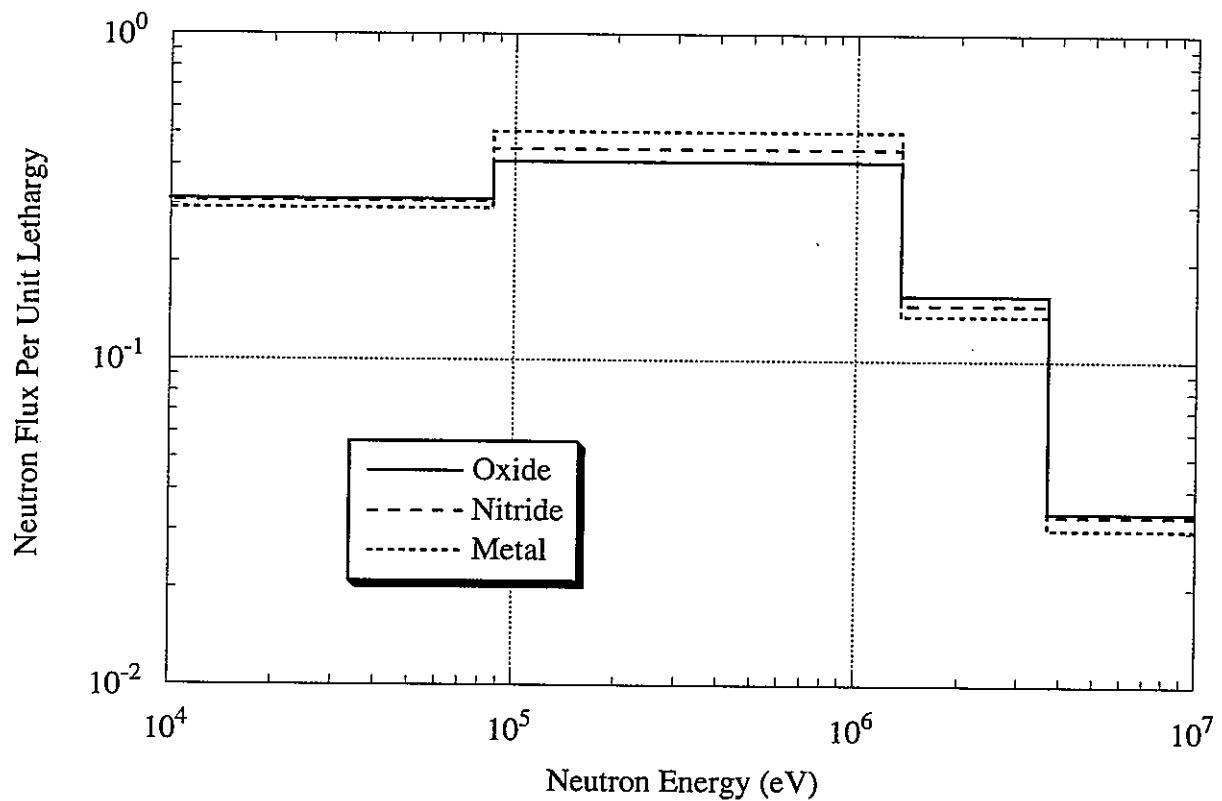


図3-12 「基準炉心」 7群中性子スペクトル (10keV以上)

3.2 5w/oMA炉心

(1) 核特性

表3-5に「5w/oMA炉心」の燃料種別ごとの炉心核特性解析結果を示す。この表にはドップラー反応度係数、Naボイド反応度及び実効燃料体積比を合わせて示す。なお、解析に用いる炉心の仕様は表3-1に示す。

付録Aには核特性解析結果の詳細を示す。

LWRからの使用済み燃料に含まれるMAを5w/o（全重金属重量に対する割合）炉心に均質に装荷する「5w/oMA炉心」の核特性に関する解析結果を、始めに酸化物燃料炉心に関して、続いて窒化物、金属燃料といった新型燃料炉心に関して、「基準炉心」の結果との同一燃料種別間での比較を通してまとめると以下のようなになる。なお、計算に用いるMA組成は、LWRにて3年間の燃焼後5年間冷却したものであり、その組成比は表3-5に示す通りである。

① 酸化物燃料炉心 (Case 2-1とCase 1-1との比較)

- ・ 「5w/oMA炉心」の平衡Pu組成は「基準炉心」と比べて、 ^{238}Pu の量が10w/o大きくなっている。これは主に装荷MAの49w/oを占める ^{237}Np による影響である。また、 ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu の量はそれぞれ減少している。
- ・ 「5w/oMA炉心」のPu富化度は「基準炉心」と比べて、内側及び外側炉心とも1w/oに満たない量の減少がみられる。
- ・ 最大線出力に関しては、「5w/oMA炉心」及び「基準炉心」とも炉心体積が等しく、Pu富化度調整の設定条件も同じであることから、「5w/oMA炉心」において434W/cmと僅かに大きくなる程度である。ただ、MOX燃料の許容最大線出力は430W/cmであることから、許容値を僅かに越えてしまっている。
- ・ 増殖比に関しては、MA装荷により減少したPu富化度の影響で、増殖比が「基準炉心」と比べて4%程増加している。
- ・ 「5w/oMA炉心」の燃焼欠損反応度は「基準炉心」と比べて、約2% $\Delta k/kk'$ 減少する。このことは、Pu富化度が減少したこと、及び装荷MA中で49w/oを占める量の ^{237}Np を装荷することにより内部転換比が上がったことによる。
- ・ 「5w/oMA炉心」は「基準炉心」に比べて炉心部の取出燃料平均燃焼度が大きくなり、最大高速フルエンスは小さくなる。これらの変化は総じて小さい。

- 「5w/oMA炉心」は「基準炉心」に比べてドップラー反応度係数は約 2.6×10^{-3} Tdk/dTほど絶対値を下げる方向であり、Naボイド反応度に関しては約2\$程度大きくなる。図3-13に酸化物炉心の「5w/oMA炉心」と「基準炉心」との70群中性子スペクトルの比較を示す。MAの混入で中性子スペクトルが硬くシフトしている。このためにMA混入でドップラー反応度係数は絶対値を下げる方向に、Naボイド反応度は大きくなる方向に変化する。

「5w/oMA炉心」には、装荷される5w/oのMA中で49w/oを占める量の ^{237}Np が装荷される。 ^{237}Np は低エネルギー域での吸収断面積が ^{238}U と同程度であり、かつ高速エネルギー域で核分裂をするため、上記中性子スペクトル硬化の主たる要因と考えられる。

さらに、ドップラー反応度係数に関して ^{238}U の量をみてみると、「基準炉心」で7.16E-03[atoms/barn/cm]（表3-3）、「5w/oMA炉心」で6.82E-03[atoms/barn/cm]であり（表に記載なし）、この ^{238}U 量の差異も「5w/oMA炉心」のドップラー反応度係数の絶対値を下げている1つの要因になっている。

② 新型燃料（窒化物、金属）炉心（Case 2-2, 2-3とCase 1-2, 1-3との比較）

酸化物燃料炉心に関する「5w/oMA炉心」と「基準炉心」との核特性の比較において得られた特徴が、例えば平衡Pu組成における ^{238}Pu の量の差異のように、新型燃料炉心の比較においても当てはまる場合にはその再記述は避ける。

- Pu富化度に関しては、酸化物燃料炉心において「5w/oMA炉心」は「基準炉心」と比べて、1w/o程減少するが、新型燃料炉心の場合窒化物及び金属燃料炉心の双方とともに、内側、外側炉心で0.1, 0.2w/o大きくなる程度である。つまり、新型燃料炉心のPu富化度は、5w/oのMAを装荷してもほとんど変化しないことがわかる。
- 「5w/oMA炉心」の燃焼欠損反応度は「基準炉心」と比べて、約1.3% $\Delta k/kk'$ 減少する。これは酸化物燃料炉心の差、約2% $\Delta k/kk'$ に比べて変化が小さい。もともと新型燃料炉心のPu富化度は酸化物燃料炉心の6割程度であり、5w/oMA装荷による燃焼欠損反応度の変化が小さいと考えられる。
- 「5w/oMA炉心」は「基準炉心」に比べてドップラー反応度係数は窒化物燃料炉心で 3.5×10^{-3} Tdk/dT程度、金属燃料炉心で 2.2×10^{-3} Tdk/dTほど絶対値を下げる方向に、Naボイド反応度に関しては窒化物燃料炉心で2\$程度、金属燃料炉心で3\$程度大きくなる。

表 3-5 「5w/oMA炉心」解析結果

	5w/oMA 炉 心		
燃料型	酸化物燃料	窒化物燃料	金属燃料
ケース名	Case 2-1	Case 2-2	Case 2-3
平衡Pu同位体組成比*[w/o]	10.4/54.2/27.8/4.0/3.6	12.4/62.1/20.8/2.5/2.2	11.8/62.4/21.0/2.5/2.3
Pu富化度（内側/外側）[w/o]	16.6/21.5	10.8/14.5	10.6/14.7
MA装荷量[w/o]	5	5	5
装荷MA組成比**[w/o]	49.1/30.0/0.1/15.5/0.0/0.0/5.0/0.3	←	←
最大線出力 (RZ計算値) [W/cm]	434	442	434
増殖比 (BOC/EOC)	1.13/1.11	1.39/1.31	1.36/1.29
燃焼欠損反応度[% Δ k/kk']	0.25	-2.00	-1.69
取出燃料平均燃焼度 [MWD/t]	85100	61800	64800
最大高速フルエンス [10 ²³ n/cm ²]	2.70	2.62	3.12
ドップラー係数[10 ⁻³ Tdk/dT]	-4.70	-4.04	-2.85
Naボイド反応度[% Δ k/kk']	2.91	3.18	4.84
実効燃料体積比[%]	36.8	←	32.5

*) 平衡Pu同位体組成比 : $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}/^{241}\text{Pu}/^{242}\text{Pu}$ **) 装荷MA組成比 : $^{237}\text{Np}/^{241}\text{Am}/^{242m}\text{Am}/^{243}\text{Am}/^{242}\text{Cm}/^{243}\text{Cm}/^{244}\text{Cm}/^{245}\text{Cm}$

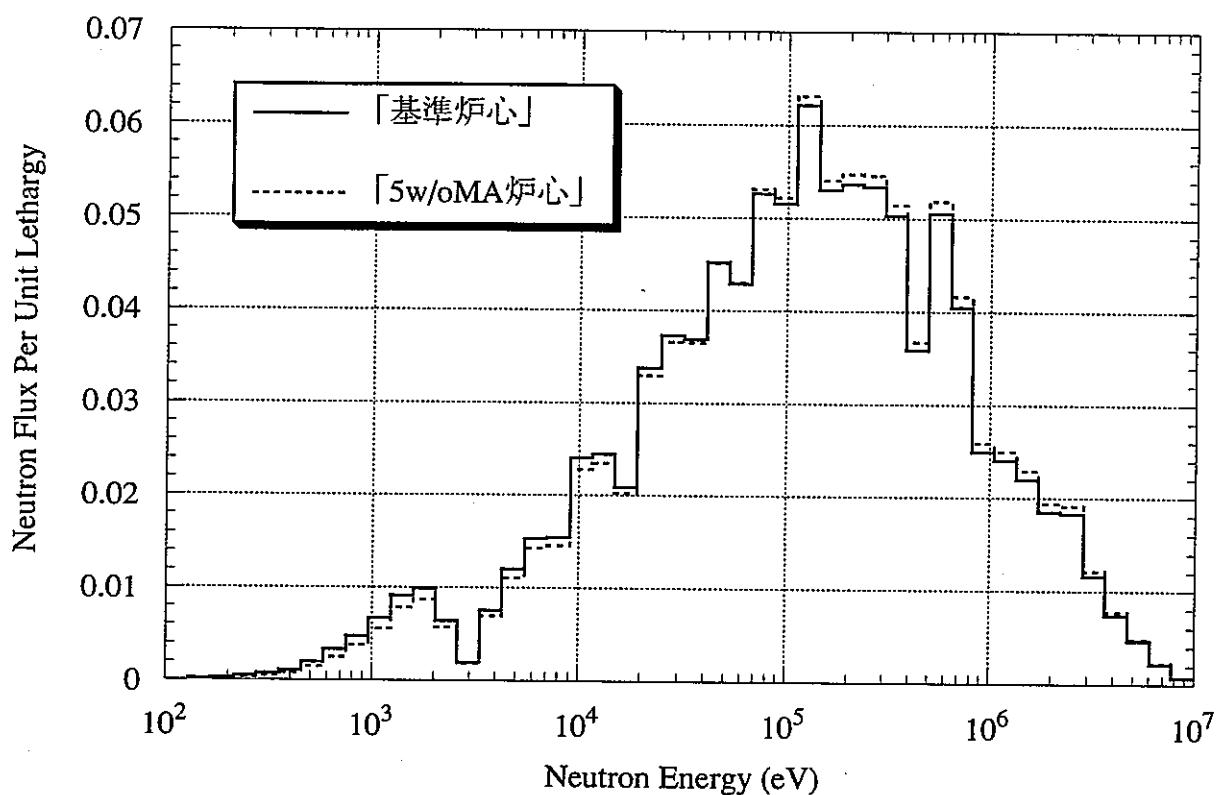


図3-13 酸化物燃料炉心の中性子スペクトル
(「基準炉心」と「5w/oMA炉心」との比較)

3.3 平衡炉心

(1) 核特性

表3-6に「平衡炉心」の燃料種別ごとの核特性解析結果を示す。この表にはドップラー反応度係数、Naボイド反応度及び実効燃料体積比を合わせて示す。また表3-7には、表3-2（「基準炉心」）、表3-5（「5w/oMA炉心」）及び表3-6（「平衡炉心」）の核特性解析結果から酸化物燃料炉心の結果のみをまとめて示す。なお、解析に用いる炉心の仕様は表3-1に示す。

図3-14～図3-19に酸化物燃料炉心（Case 3-1）の径方向出力分布、軸方向出力分布、径方向中性子束分布及び軸方向中性子束分布を示す。

付録Aには核特性解析結果の詳細を示す。

自身の炉から取り出されるMA及びLLFP (^{79}Se , ^{93}Zr , ^{99}Tc , ^{107}Pd , ^{126}Sn , ^{129}I , ^{135}Cs) を炉内に閉じ込める、「平衡炉心」の炉心核特性評価の結果をまとめた。ここに、平衡量のMA及びLLFPは炉心に均質に装荷するものとする。なお、平衡量のLLFPの炉内装荷に関して、まず平衡量に相当するLLFPの体積を求め、その体積分を燃料ピン内に確保して計算を行う。したがって、LLFPが装荷された分実効燃料体積比は減ることになる。

始めに、酸化物燃料炉心に関する「平衡炉心」の核特性解析結果を、酸化物燃料炉心に関する「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」の解析結果との比較を通してまとめた。さらに、「平衡炉心」における燃料種別間での差異に関してまとめる。

①酸化物燃料炉心における「平衡炉心」と「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」との比較 (Case 3-1とCase 1-1, Case 2-1との比較)

平衡Pu同位体組成比

- 「平衡炉心」の平衡Pu同位体組成は「基準炉心」と比べて、 ^{239}Pu の組成比が9w/o程減り、 ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu といった高次のPu組成比が増えている。なかでも ^{240}Pu の組成比は、「基準炉心」に比べて5w/o近く増加している。このことは、「平衡炉心」に装荷される平衡量のMAに、 ^{244}Cm が全装荷MA量の32w/o程含まれるためであると考えられる。「平衡炉心」には ^{237}Np が7w/o程装荷されるために、 ^{238}Pu の組成比も「基準炉心」に比べて1w/o程増えている。（装荷MAに関しては後に改めて説明する。）
- 「平衡炉心」の平衡Pu同位体組成は「5w/oMA炉心」と比べて、 ^{239}Pu の組成比が6w/o近く減り、 ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu といった高次のPu組成比が増えている。なかでも ^{240}Pu の組成比は、「基準炉心」に比べて11w/o程増加している。一方、 ^{238}Pu の組成比は「5w/oMA炉心」と比べて9w/o程減少している。これらのことは、「平衡炉心」と「5w/oMA炉心」に各々装荷されるMAの組成比に違いがあるためと考えられる。つまり、「平衡炉心」に装荷される平衡MA組成には、「5w/oMA炉心」に装荷されるLWR取り出し燃料組成のMAと比べて、 ^{244}Cm が多量に含まれており、 ^{237}Np は少量含まれる為に、 ^{240}Pu 及び ^{238}Pu の組成比に

各々差が現れたと考え得る。

・総じて、「平衡炉心」の平衡Pu同位体組成は「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」と比較して、 ^{239}Pu の割合が少なく、 ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu の割合が多くなっている。なかでもとりわけ ^{240}Pu の割合が多いものとなっている。

平衡MA装荷量及び組成比

- ・「平衡炉心」におけるMAの平衡量は、MAを含む全重金属重量に対する割合で1.18w/oである。
- ・「平衡炉心」の平衡MA組成比は、 ^{244}Cm が32w/o、 ^{243}Am が28w/o、 ^{241}Am が23w/oと、これら3核種の組成比が高い。「5w/oMA炉心」に装荷するLWR取り出し燃料からのMAは、UO₂燃料であることに起因して ^{237}Np の組成が49w/oと多く高次のMAの組成が少ないが、「平衡炉心」に装荷されるMAは、 ^{237}Np が7w/o程であり、高次のMAの組成も多くなっている。
- ・表3-8に酸化物燃料炉心のMA核種の崩壊定数及び一群核定数を示す。これは、ORIGEN燃焼コードにおいて平衡MA量及び組成を見積もる際に使用する核定数である。表の「吸収断面積」は、捕獲断面積と核分裂断面積の和として定義したものである。また、この表には、「平衡炉心」の酸化物燃料の平衡MA組成比も付記してある。

この表から、 ^{241}Am 、 ^{243}Am 及び ^{244}Cm は他のMAに比べて吸収断面積が小さいことがわかる。「平衡炉心」の平衡Pu組成は ^{240}Pu , ^{241}Pu といった高次のPuの割合が大きい。したがって、 ^{241}Am の量が増え、 $^{241}\text{Am} \rightarrow ^{243}\text{Am} \rightarrow ^{244}\text{Cm}$ という高次MAの生成過程において、その途中途中で吸収断面積が小さいためにこれら3核種の平衡量が増えると考えられる。もちろん、この外にも ^{243}Am の場合のように、「平衡炉心」では ^{242}Pu の量が多い為に ^{243}Pu を経て ^{243}Am の量が増える効果もある。なお、 ^{242}Cm も吸収断面積は小さいが、半減期が160日程である為に、この核種の平衡量は少ない。

平衡LLFP装荷量及び組成比

- ・「平衡炉心」における7種のLLFPの平衡量は、重金属及びLLFPを合わせた量の15.1w/oである。
- ・「平衡炉心」における7種のLLFPの平衡組成比は、 ^{135}Cs が33w/o、 ^{93}Zr が28w/o、 ^{126}Sn が27w/oと、これら3核種がLLFPの中で大きな割合を占める。
- ・表3-9に酸化物燃料炉心におけるLLFP核種の生成量、組成比及び一群捕獲断面積を示す。この表には、 ^{239}Pu から生成されるこれら7核種のLLFPの収率及び平衡LLFP組成比も合わせて示す。
- ・平衡Pu組成で、平衡MA組成のMAを平衡量装荷した炉心を3年間燃焼した場合、生成するLLFPの量（3年燃焼後30日冷却したもの）は、その量が多い順に ^{135}Cs が84kg、 ^{99}Tc が46kg、 ^{93}Zr が31kg、 ^{107}Pd が25kgとなっている。またその組成比は ^{239}Pu の収率（ ^{79}Se の収率が0.2となるよう規格化されている）と比較してほぼその収率通りの組成比となってい

ることがわかる。

- ・表3-9から「平衡炉心」における平衡LLFP組成比でその割合が多い核種についてその理由は、 ^{135}Cs は生成量が多いためであり、 ^{93}Zr は生成量はむしろ ^{99}Tc よりも少いものの一群捕獲断面積が0.09barnと小さいためであり、 ^{126}Sn は生成量は2.88kgと ^{135}Cs に比べて1/30程であるが一群捕獲断面積が0.008barnと小さいためであるといえる。

7群中性子スペクトル

- ・図3-20-1（1～7エネルギー群；1群が高エネルギー）及び図3-20-2（1～4エネルギー群）に「平衡炉心」、「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」の7群中性子スペクトル（各炉心の中性子スペクトルは各々全エネルギー域で1に規格化されている）を示す。
- ・この図より、「平衡炉心」は「基準炉心」と比べて、3MeV以上を除いて、スペクトルが硬くなっていることがわかる。
- ・「平衡炉心」は「5w/oMA炉心」と比べて、スペクトルの硬軟は一概には判断しにくい。エネルギー群ごとに複雑にスペクトルが変化しており、その変化幅も小さい。
- ・3-1節において、「基準炉心」の燃料種別変更した際の7群中性子スペクトル（図3-9）の変化に比べて、酸化物燃料炉心において「平衡炉心」、「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」を比較した場合の中性子スペクトルの各炉心間の変化幅は小さい。

Pu富化度

- ・「平衡炉心」のPu富化度は「基準炉心」と比べて、内側・外側炉心ともに約5.5w/o大きくなっている。また「5w/oMA炉心」と比べて、内側・外側炉心ともに約6.5w/o大きくなっている。
- ・「平衡炉心」には、MAを含む全重金属重量に対する割合で1.18w/oの平衡量のMAが装荷されるため、Pu富化度が「基準炉心」に比べ下がる効果があるが、重金属及びLLFPを合わせた量の15.1w/oの平衡量のLLFPが炉内に装荷されることにより、「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」と比較して臨界維持のために多量のPuが必要となる。

最大線出力

- ・「平衡炉心」の最大線出力は419W/cmと、MOX燃料の許容最大線出力（430W/cm）内に収まっている。
- ・「平衡炉心」の最大線出力は「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」と比べて、僅かに小さくなっているが、各炉心の炉心体積やPu富化度調整の設定条件等が等しいために大差無い。

増殖比

- ・「平衡炉心」の増殖比は燃焼初期で1.04であり、燃焼末期で1.05と1を上回っている。
- ・「平衡炉心」の増殖比は「基準炉心」と比べて5%程、「5w/oMA炉心」と比べて8%程小さくなっている。しかしながら、「平衡炉心」は「基準炉心」や「5w/oMA炉心」と比

べて、Pu富化度が5w/o以上増加していること、及び15.1w/oのLLFPが炉内に装荷されることを考慮に入れると、非常に高い増殖比を得ていることになる。

- ・この「平衡炉心」が高い増殖比を得ている理由は大きく2つ考えられる。

1つは、「平衡炉心」は他の炉心と異なり、 ^{239}Pu の組成比が小さく、 ^{240}Pu の組成比が大きいことであり、この組成比の効果に関しては、この節（3.3節）の続く「物質収支」で考察する。さらに、次節（3.4節）において、「Pu組成変更炉心1」（Case4-2）及び「Pu組成変更炉心2」（Case4-3）を設定して、このPu組成比の変化がどのくらい増殖比に影響を与えるか考察する。

もう1つは、「平衡炉心」は7種類のLLFP核種が炉内に存在するために、このLLFP核種の断面積セットが含まれる「JFS3J3.Y9511」高速炉用70群定数を用いており、他方、「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」の解析にはLLFP核種の断面積セットが含まれていない、「JFS3J2.ADJ91R」高速炉用70群定数を用いているということである。このことに関しては、やはり次節（3.4節）において、「70群定数変更炉心」（Case4-1）を設定して、この70群定数の変更がどの程度増殖比に影響を与えるか考察する。

燃焼欠損反応度

- ・「平衡炉心」の燃焼欠損反応度は3.16% $\Delta k/kk'$ であり、「基準炉心」と比べて1% $\Delta k/kk'$ 程、「5w/oMA炉心」と比べて3% $\Delta k/kk'$ 程大きい値である。このことは主に、「平衡炉心」のPu富化度が「基準炉心」と比べて約5.5w/o、「5w/oMA炉心」と比べて約6.5w/o大きくなっていることに起因する。なお、「平衡炉心」と「5w/oMA炉心」との燃焼欠損反応度の差が大きいことに関しては、「5w/oMA炉心」には ^{237}Np が49w/o装荷されているため内部転換比が良く、この内部転換比の差に起因していると考えられる。

取出燃料平均燃焼度

- ・「平衡炉心」の取出燃料平均燃焼度は「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」と比べて11%程大きくなっている。このことは、「平衡炉心」に装荷されるLLFPにより実効燃料体積比が減少し（実効燃料体積比に関しては下記「実効燃料体積比」にて説明する。）、したがって「平衡炉心」の重金属密度割合の低下により取出燃料平均燃焼度が増加したものである。

最大高速フルエンス

- ・「平衡炉心」の最大高速フルエンスは $2.91 \times 10^{23} \text{n/cm}^2$ と、被覆管材料として考えている改良オーステナイト鋼の適用範囲である $3 \times 10^{23} \text{n/cm}^2$ 以内に収まっている。
- ・「平衡炉心」の最大高速フルエンスは「基準炉心」と比べて6%程小さく、「5w/oMA炉心」と比べて7%程小さい。

ドップラー反応度係数

- ・「平衡炉心」のドップラー反応度係数は、「5w/oMA炉心」とほぼ同じ値であり、「基準炉心」と比べて、約 $2.8 \times 10^{-3} \text{Tdk/dT}$ ほど絶対値を下げる方向に変化している。
- ・ドップラー反応度はその90%以上が ^{238}U によってもたらされる。 ^{238}U の内側炉心での平衡サイクル時燃焼初期の数密度は、「平衡炉心」、「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」で、それぞれ $5.81\text{E-}03$ 、 $7.16\text{E-}03$ 及び $6.82\text{E-}03[\text{atoms/barn/cm}]$ である。
- この数値からは、「平衡炉心」のドップラー反応度係数が「5w/oMA炉心」とほぼ同じ値となることは説明できず、むしろ「基準炉心」と「5w/oMA炉心」とが類似する値を取ると考える方が自然である。
- ・図3-21に30keV以下のエネルギー領域における「基準炉心」、「5w/oMA炉心」及び「平衡炉心」の70群中性子スペクトル（各炉心の中性子スペクトルは各々全エネルギー域で1に規格化されている）を示す。

この図よりドップラー反応度に効くエネルギー領域において、「5w/oMA炉心」と「平衡炉心」とが類似した中性子スペクトルを持っていることがわかる。

- ・3.1節「基準炉心」の(1)の②において燃料種別間でのドップラー反応度係数の差異を考察したが、そこでの ^{238}U の数密度は、「基準炉心」の酸化物、窒化物及び金属燃料で、それぞれ $7.16\text{E-}03$ 、 $1.08\text{E-}02$ 及び $1.02\text{E-}02[\text{atoms/barn/cm}]$ であった。

その燃料種別間の比較と比べると、本節における酸化物燃料の各「炉心」間の比較では、 ^{238}U の数密度の各「炉心」間での変化割合が少ない。したがって、中性子スペクトルの差異の効果が ^{238}U の数密度の差異の効果に比して支配的となり、「平衡炉心」のドップラー反応度係数が「5w/oMA炉心」とほぼ同じ値となると考えられる。

Naボイド反応度

- ・「平衡炉心」のNaボイド反応度は、「5w/oMA炉心」と比べて1\$程小さい値であり、「基準炉心」と比べて1\$程大きな値となっている。
- ・図3-22及び図3-23に10keV以上のエネルギー領域での中性子スペクトルを示す。これらの図は、「平衡炉心」の中性子スペクトルと「基準炉心」（図3-22）及び「5w/oMA炉心」（図3-23）の中性子スペクトルとを各々比較したものである。
- ・また図3-24には、図3-22の「平衡炉心」の中性子スペクトルと「基準炉心」の中性子スペクトルとの差（単純に引き算した値）を実線で、図3-23の「平衡炉心」の中性子スペクトルと「5w/oMA炉心」の中性子スペクトルとの差を破線で（斜線で示した部分が差の大きさを表す）それぞれ示す。なお、図3-22,3-23ともに中性子スペクトルは各々1に規格化されており、また単位レサジーあたりの量になっている。
- ・図3-24から、中性子スペクトルの変化は複雑であり、3.2節(1)の①において図3-13を用いて酸化物燃料炉心の「基準炉心」と「5w/oMA炉心」の中性子スペクトルを比較した場合のように、Naボイド反応度に効くエネルギー域全域で中性子スペクトルの硬軟を議論することは難しい。
- ・Naボイド反応度は「平衡炉心」で $2.54\% \Delta k/kk'$ 、「基準炉心」で $2.16\% \Delta k/kk'$ であり、

その差は（「平衡炉心」を基準として） $-0.38\% \Delta k/kk'$ であり、一方「5w/oMA炉心」のNaボイド反応度は $2.91\% \Delta k/kk'$ であり、「平衡炉心」との差は（「平衡炉心」を基準として） $+0.37\% \Delta k/kk'$ である。この $-0.38\% \Delta k/kk'$ の差は図3-24の実線で示された部分によって、 $+0.37\% \Delta k/kk'$ の差は図3-24の点線で示された部分（斜線部の面積）によってそれぞれもたらされると考えられる。

実効燃料体積比

- 「平衡炉心」の実効燃料体積比は32.5%であり、「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」の実効燃料体積比36.8%より小さい。この差は、「平衡炉心」は炉心内にLLFPを装荷するため、LLFPの平衡量に相当する体積分を炉心内に確保して計算を行うことから生じるものである。つまり、燃料部分がLLFP装荷量分相対的に少なくなる為に生じる。

その他（径方向出力分布、軸方向出力分布、径方向中性子束分布及び軸方向中性子束分布）

- 「平衡炉心」（図3-14～図3-19）と「基準炉心」（図3-3～図3-8）の出力分布及び中性子束分布を比較する。径方向出力分布に関して、出力密度及び出力とともに、「平衡炉心」は内側炉心の燃焼初期と燃焼末期との差が「基準炉心」に比べて小さい。また、軸方向出力分布に関してその出力密度は、「平衡炉心」の燃焼初期における内側炉心と外側炉心との出力密度差が、炉心中心部で「基準炉心」に比べて大きい。中性子束分布に関しては、「平衡炉心」と「基準炉心」とで大差ない。

② 酸化物燃料炉心と新型燃料（窒化物、金属）炉心（Case 3-1, 3-2, 3-3）の比較

ここでは、3.1節基準炉心の「② 酸化物燃料炉心と新型燃料（窒化物、金属）炉心の比較」において既述された事柄との重複は避ける。また、新型燃料炉心の「平衡炉心」と「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」との差異についての考察も特筆すべき部分に関しては記述する。

- 平衡Pu同位体組成比に関して、新型燃料炉心は酸化物燃料炉心と同様に「平衡炉心」の ^{240}Pu の量が「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」に比べて5w/o程大きくなっている。
- 新型燃料炉心の平衡MA量は、酸化物燃料炉心に比べておよそ半分の量となっている。このことは主にPu富化度の大小及び、（「平衡炉心」の） ^{241}Pu の核種数密度（平衡サイクル燃焼初期値）が、酸化物燃料炉心で $1.14\text{E-}04[\text{atoms/barn/cm}]$ 、窒化物及び金属燃料炉心で $0.69\text{E-}04[\text{atoms/barn/cm}]$ であることに起因していると考えられる。さらに、 ^{243}Pu （半減期約5時間）を介して ^{243}Am の生成という意味で、酸化物燃料炉心の ^{242}Pu の量が窒化物及び金属燃料炉に比べて大きいことも原因の一つと考えられる。

- ・新型燃料炉心の平衡MA組成比は、酸化物燃料炉心に比べて²⁴³Amや²⁴⁴Cmといった高次のMAの組成比が減少し、²⁴¹Amの組成比及び²³⁷Npの組成比が増加している。表3-10に、燃料種別ごとのMA核種の崩壊定数及び、1群ミクロ捕獲、核分裂、吸収断面積を示す。これは、ORIGEN燃焼コードにおいて平衡MA量及び組成を見積もる際に使用する核定数である。この表より、新型燃料炉心の高次のMAの組成比が少ないので、新型燃料炉心におけるMA核種の捕獲断面積が酸化物燃料炉心に比べ小さいからであると考えられる。また、新型燃料炉心の²³⁷Npの組成比が増加していることに関しては、もちろん新型燃料炉心において²³⁷Npの吸収断面積が酸化物燃料炉心に比べ小さいこともその理由の一つであるが、このことは主に²³⁶Uが窒化物及び金属燃料炉心双方ともに、酸化物燃料炉心の2.4倍（重量割合の比率）炉内に存在していることに起因していると考えられる。
- ・新型燃料炉心の平衡LLFP量は、酸化物燃料炉心と大差ない。金属燃料炉心の平衡LLFP量が2w/o程他の燃料種別炉心に比べ大きい程度である。
- ・新型燃料炉心の平衡LLFP組成比は酸化物燃料炉心と比べて、⁹³Zr及び¹²⁶Snの組成比が減少し、その減少分に相当する¹³⁵Csの組成比が増加している。
- ・ドップラー反応度係数及びNaボイド反応度に関してはいずれも、酸化物燃料炉心と窒化物燃料炉心との差が少ない。金属燃料炉心はこれら燃料炉心と比べて、ドップラー反応度係数はその絶対値を小さくする方向へ、Naボイド反応度は大きくなる方向へそれぞれ変化している。図3-25及び図3-26に、燃料種別ごとの30keV以下及び10keV以上の中性子エネルギー域における中性子スペクトルを各々示す（両図ともに、各中性子スペクトルは全エネルギー域で1に規格化されている）。これら燃料種別間での反応度の変化の傾向及び中性子スペクトルの変化の傾向は、「基準炉心」の燃料種別間の振る舞い（表3-2、図3-10及び図3-11）と同様である。

(2) 物質収支

表3-11に、各燃料種別ごとの平衡サイクルにおけるU及びPuの物質収支を示す。また、表3-12に、酸化物燃料炉心におけるU及びPuの平衡サイクル燃焼初期及び燃料末期に関する、「平衡炉心」と「基準炉心」との物質収支解析結果の比較を示す。なお、付録Bには各ケースの重金属物質収支解析結果の詳細を示す。

表3-11より、「平衡炉心」の物質収支をPuの自給の観点から考察する。

平衡サイクルにおいて、酸化物燃料炉心では、Pu装荷量は1.50t/y、取出量は1.46t/yであり、さらに再処理や加工の際のロスを考慮しなければならず、本解析結果からはPuの自給には至っていない。しかしながら、Puの装荷量と取出量の差は僅かに0.04t/yであることから、炉心仕様の大幅な変更を加えること無しに、酸化物燃料炉心でもPuを自給自足してU以外を新たに加えること無しに「平衡炉心」の炉心成立の可能性があるといえる。

一方、新型燃料炉心ではPuの取出量が装荷量を、窒化物燃料炉心では0.11t/y、金属燃料炉心では0.06t/y、いずれも上回っており、Puの自給自足に関して物質収支からは何の問題も無い。

次に表3-12より、「基準炉心」との比較を通して、「平衡炉心」の物質収支を各Pu同位体ごとに考察する。

^{239}Pu に関して、「平衡炉心」の平衡サイクルバランス量は24kg増であり、「基準炉心」の45kg増に比べてその増加量は半分ほどに減少している。理由は、 ^{238}U の量が「平衡炉心」で27ton、「基準炉心」で29ton（何れも燃焼初期値）と「平衡炉心」の量が少なく、結果として ^{238}U から ^{239}Pu の生成量が小さいためであると考えられる。

^{240}Pu に関して、「平衡炉心」の平衡サイクルバランス量は52kg減であり、「基準炉心」の1kg減に比べてその減少量は非常に大きくなっている。これは主に、 ^{240}Pu 自身の量が「平衡炉心」で1.7ton、「基準炉心」で1.3ton（何れも燃焼初期値）と「平衡炉心」の量が多いことに起因すると考えられる。平衡サイクルバランス量におけるこの ^{240}Pu の減少量の多さは、とりもなおさず「平衡炉心」において、 ^{240}Pu の平衡サイクルを通しての生成量よりも、 ^{240}Pu が核分裂あるいは捕獲反応によって消滅し炉心燃焼に寄与する度合いの方が、「基準炉心」に比べて高いということを意味している。

PuのTotal量及びPuのFissile量に関しては以下のことがわかる。「基準炉心」の平衡サイクルバランスにおいて、PuのTotal量は48kg増であり、PuのFissile量は47kg増であることからこのPuのFertile量の平衡サイクルを通しての増分は1kg未満である。他方、「平衡炉心」の平衡サイクルバランスにおいて、PuのTotal量は36kg減であり、PuのFissile量は20kg増である。したがって、「平衡炉心」ではPuのFertile量が56kg減ということであり、燃焼に伴ってFertile-Puが「基準炉心」に比べて減少していることがわかる。

以上より、「平衡炉心」は「基準炉心」と比べて、Pu富化度が高くしたがって相対的に少ない ^{238}U の量により、 ^{238}U による増殖の効果が減少するということ。さらに、 ^{240}Pu 量の増加による ^{241}Pu 生成量増加の効果が増えるということがわかる。この、 ^{240}Pu の増殖の効果が ^{238}U の効果を上回ることにより、「平衡炉心」の増殖比が高くなったと考えられる。このことについては、次節（3.4節）において、「Pu組成変更炉心1」（Case4-2）及び「Pu組成変更炉心2」（Case4-3）を設定することにより、Pu組成比の変化がどのくらい増殖比に影響を与えるかについて検討を加える。

表 3-6 「平衡炉心」解析結果

平衡炉心			
燃料型	酸化物燃料	窒化物燃料	金属燃料
ケース名	Case 3-1	Case 3-2	Case 3-3
平衡Pu同位体組成比*[w/o]	1.2/48.6/38.7/6.3/5.2	1.1/62.0/30.4/4.3/2.2	1.2/60.3/31.5/4.6/2.5
Pu富化度（内側/外側）[w/o]	23.0/28.0	14.8/18.9	15.7/20.1
平衡MA装荷量[w/o]	1.18	0.549	0.648
平衡MA組成比**[w/o]	6.7/23.1/1.5/27.7/1.7/0.3/31.5/7.5	19.1/30.0/2.1/21.4/1.8/0.3/20.7/4.5	17.1/26.1/2.0/25.1/1.8/0.2/23.1/4.5
平衡LLFP装荷量[w/o]	15.1	15.0	17.1
平衡LLFP組成比***[w/o]	0.1/28.0/6.9/2.3/26.6/3.5/32.6	0.1/25.2/7.2/2.2/24.9/3.7/36.7	0.1/21.9/7.3/2.3/23.5/3.8/41.1
最大線出力 (RZ計算値) [W/cm]	419	426	417
増殖比 (BOC/EOC)	1.04/1.05	1.21/1.19	1.15/1.15
燃焼欠損反応度[% Δ k/kk']	3.16	1.08	1.84
取出燃料平均燃焼度 [MWD/t]	95900	72600	78200
最大高速フルエンス [10 ²³ n/cm ²]	2.91	2.87	3.42
ドップラー係数[10 ⁻³ Tdk/dT]	-4.46	-4.62	-3.26
Naボイド反応度[% Δ k/kk']	2.54	2.66	3.94
実効燃料体積比[%]	32.5	31.2	26.9

*) 平衡Pu同位体組成比 : $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}/^{241}\text{Pu}/^{242}\text{Pu}$ **) 装荷平衡MA組成比 : $^{237}\text{Np}/^{241}\text{Am}/^{242m}\text{Am}/^{243}\text{Am}/^{242}\text{Cm}/^{243}\text{Cm}/^{244}\text{Cm}/^{245}\text{Cm}$ ***) 装荷平衡LLFP組成比 : $^{79}\text{Se}/^{93}\text{Zr}/^{99}\text{Tc}/^{107}\text{Pd}/^{126}\text{Sn}/^{129}\text{I}/^{135}\text{Cs}$

表 3-7 酸化物燃料炉心の核特性解析結果

	酸化物燃料炉心		
	基準炉心	5w/oMA炉心	平衡炉心
平衡Pu同位体組成比*[w/o]	0.2/57.4/34.0/5.2/3.2	10.4/54.2/27.8/4.0/3.6	1.2/48.6/38.7/6.3/5.2
Pu富化度（内側/外側）[w/o]	17.5/22.2	16.6/21.5	23.0/28.0
平衡MA装荷量[w/o]	0	5	1.18
平衡MA組成比**[w/o]	—	49.1/30.0/0.1/15.5/0.0/0.0/5.0/0.3	6.7/23.1/1.5/27.7/1.7/0.3/31.5/7.5
平衡LLFP装荷量[w/o]	0	0	15.1
平衡LLFP組成比***[w/o]	—	—	0.1/28.0/6.9/2.3/26.6/3.5/32.6
最大線出力（RZ計算値）[W/cm]	425	434	419
増殖比（BOC/EOC）	1.09/1.08	1.13/1.11	1.04/1.05
燃焼欠損反応度[%Δk/kk']	2.21	0.25	3.16
取出燃料平均燃焼度[MWD/t]	84800	85100	95900
最大高速フルエンス [10 ²³ n/cm ²]	2.75	2.70	2.91
ドップラー係数[10 ⁻³ Tdk/dT]	-7.28	-4.70	-4.46
Naポイド反応度[%Δk/kk']	2.16	2.91	2.54
実効燃料体積比[%]	36.8	36.8	32.5

*) 平衡Pu同位体組成比 : $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}/^{241}\text{Pu}/^{242}\text{Pu}$

**) 装荷平衡MA組成比 : $^{237}\text{Np}/^{241}\text{Am}/^{242m}\text{Am}/^{243}\text{Am}/^{242}\text{Cm}/^{243}\text{Cm}/^{244}\text{Cm}/^{245}\text{Cm}$

***) 装荷平衡LLFP組成比 : $^{79}\text{Se}/^{93}\text{Zr}/^{99}\text{Tc}/^{107}\text{Pd}/^{126}\text{Sn}/^{129}\text{I}/^{135}\text{Cs}$

表 3-8 MA核種の崩壊定数及び一群核定数（酸化物燃料炉心）

核種名	崩壊定数 [s ⁻¹]	捕獲断面積 [barn]	(n,2n)反応 断面積 [barn]	核分裂 断面積 [barn]	吸収断面積 [barn]	平衡MA 組成比[w/o]
²³⁷ Np	1.026E-14	1.728	7.672E-05	0.3295	2.058	6.7
²⁴¹ Am	5.082E-11	1.468	5.602E-05	0.2724	1.740	23.1
^{242m} Am	1.445E-10	0.5638	4.359E-04	3.165	3.729	1.5
²⁴³ Am	2.976E-12	0.08209	3.580E-04	0.1982	0.2803	27.7
²⁴² Cm	4.916E-08	0.5357	1.636E-04	0.7156	1.251	1.7
²⁴³ Cm	7.707E-10	0.3914	1.559E-03	3.081	3.472	0.3
²⁴⁴ Cm	1.213E-09	0.7235	4.423E-04	0.4178	1.141	31.5
²⁴⁵ Cm	2.584E-12	0.3576	1.803E-03	2.711	3.069	7.5

表 3-9 LLFP核種の生成量・組成比及び一群捕獲断面積（酸化物燃料炉心）

核種名	3年間の燃焼で生成される LLFP量及びLLFP組成比*		^{239}Pu の収率**	一群捕獲 断面積 [barn]	平衡LLFP 組成比 [w/o]
	量 [kg]	組成比 [w/o]			
^{79}Se	0.359	0.2	0.2	0.36	0.1
^{93}Zr	30.5	14.9	12.1	0.09	28.0
^{99}Tc	46.3	22.7	19.7	0.58	6.9
^{107}Pd	24.6	12.1	9.8	1.0	2.3
^{126}Sn	2.88	1.4	1.0	0.008	26.6
^{129}I	15.5	7.6	4.9	0.33	3.5
^{135}Cs	84.0	41.1	24.3	0.21	32.6

*) 「平衡炉心」で、平衡Pu組成の炉心に平衡組成のMAを平衡量入れて3年燃焼後30日間の冷却を経たLLFP量。組成比は7核種の総量を100[w/o]とする。

**) ^{239}Pu から7つのLLFP核種への収率を ^{79}Se を0.2として規格化したもの。

表 3-10 「平衡炉心」における燃料種別ごとのMA核種の崩壊定数及び一群核定数

	崩壊定数 [s ⁻¹]	捕獲断面積 [barn]			核分裂断面積 [barn]			吸収断面積* [barn]		
		酸化物	窒化物	金属	酸化物	窒化物	金属	酸化物	窒化物	金属
²³⁷ Np	1.026E-14	1.728	1.432	1.203	0.3295	0.3513	0.3387	2.058	1.783	1.542
²⁴¹ Am	5.082E-11	1.468	1.223	1.037	0.2724	0.2870	0.2636	1.740	1.510	1.301
^{242m} Am	1.445E-10	0.5638	0.4909	0.4393	3.165	2.899	2.697	3.729	3.390	3.136
²⁴³ Am	2.976E-12	0.08209	0.06858	0.05833	0.1982	0.2102	0.1896	0.2803	0.2788	0.2479
²⁴² Cm	4.916E-08	0.5357	0.4397	0.3652	0.7156	0.7418	0.7223	1.251	1.182	1.088
²⁴³ Cm	7.707E-10	0.3914	0.3297	0.2814	3.081	2.799	2.573	3.472	3.129	2.854
²⁴⁴ Cm	1.213E-09	0.7235	0.6018	0.5068	0.4178	0.4384	0.4194	1.141	1.040	0.9262
²⁴⁵ Cm	2.584E-12	0.3576	0.3161	0.2875	2.711	2.479	2.295	3.069	2.795	2.583

*）吸収断面積は捕獲断面積と核分裂断面積の和として定義。

表 3-11 平衡サイクルにおけるU及びPuの物質収支（「平衡炉心」）

平 衡 サ イ ク ル										
項 目		酸化物燃料炉心			窒化物燃料炉心			金属燃料炉心		
		炉心燃料 (内側・ 外側合計)	軸方向 プランケ ット燃料	合計	炉心燃料 (内側・ 外側合計)	軸方向 プランケ ット燃料	合計	炉心燃料 (内側・ 外側合計)	軸方向 プランケ ット燃料	合計
装 荷	Pu+U [kg]	5739	4835	10574	7613	6706	14319	7026	6366	13393
	Pu [kg]	1497	0	1497	1308	0	1308	1281	0	1281
	U [kg]	4241	4835	9076	6305	6706	13011	5745	6366	12111
取 出	Pu+U [kg]	5155	4809	9964	7028	6679	13707	6447	6336	12784
	Pu [kg]	1320	141	1461	1259	159	1418	1183	159	1342
	U [kg]	3835	4668	8503	5769	6519	12289	5264	6177	11441

表 3-12 酸化物燃料炉心における「平衡炉心」と「基準炉心」のU及びPu物質収支解析結果*の比較（平衡サイクル）

	「平衡炉心」			「基準炉心」		
	平衡サイクル 燃焼初期	平衡サイクル 燃焼末期	平衡サイクル バランス	平衡サイクル 燃焼初期	平衡サイクル 燃焼末期	平衡サイクル バランス
²³⁸ Pu	52.80	52.10	-0.70	7.43	7.78	0.36
²³⁹ Pu	2207.42	2231.71	24.29	2319.39	2363.91	44.52
²⁴⁰ Pu	1683.36	1631.44	-51.92	1342.97	1342.06	-0.90
²⁴¹ Pu	280.27	276.35	-3.92	208.96	211.54	2.58
²⁴² Pu	229.54	225.59	-3.96	127.38	128.29	0.91
²³⁸ U	26547.32	25982.98	-564.34	29468.35	28807.45	-660.90
Pu TOTAL	4453.38	4417.17	-36.21	4006.13	4053.59	47.46
Pu FISSILE	2487.68	2508.05	20.37	2528.35	2575.45	47.10
U TOTAL	26645.96	26072.31	-573.65	29548.38	28878.06	-670.32

*) 炉心燃料部及びブランケット燃料部全体の物質収支

(単位：kg)

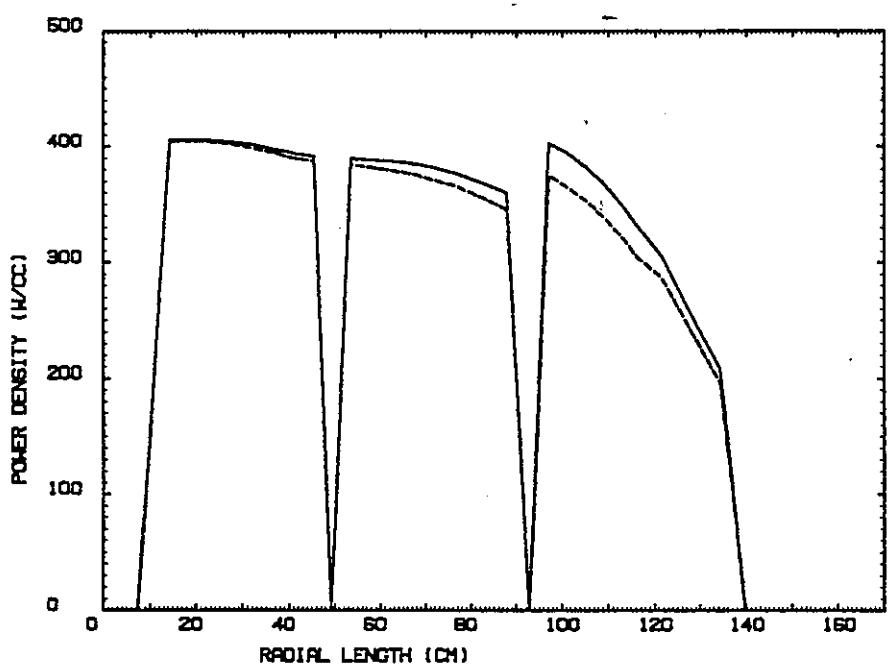


図3-14 酸化物燃料炉心（Case3-1）の径方向出力密度分布

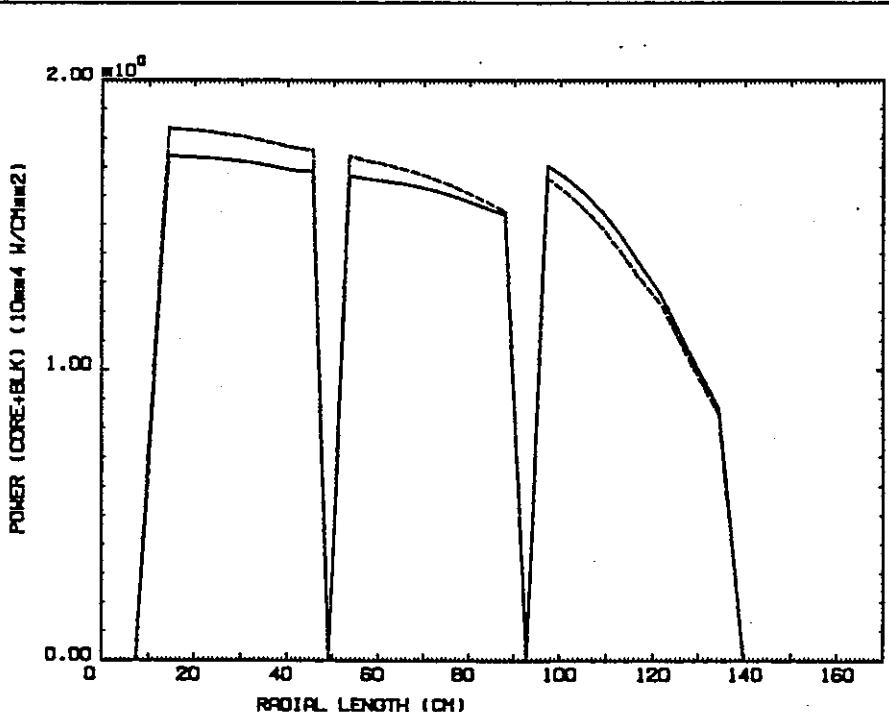


図3-15 酸化物燃料炉心（Case3-1）の径方向出力分布

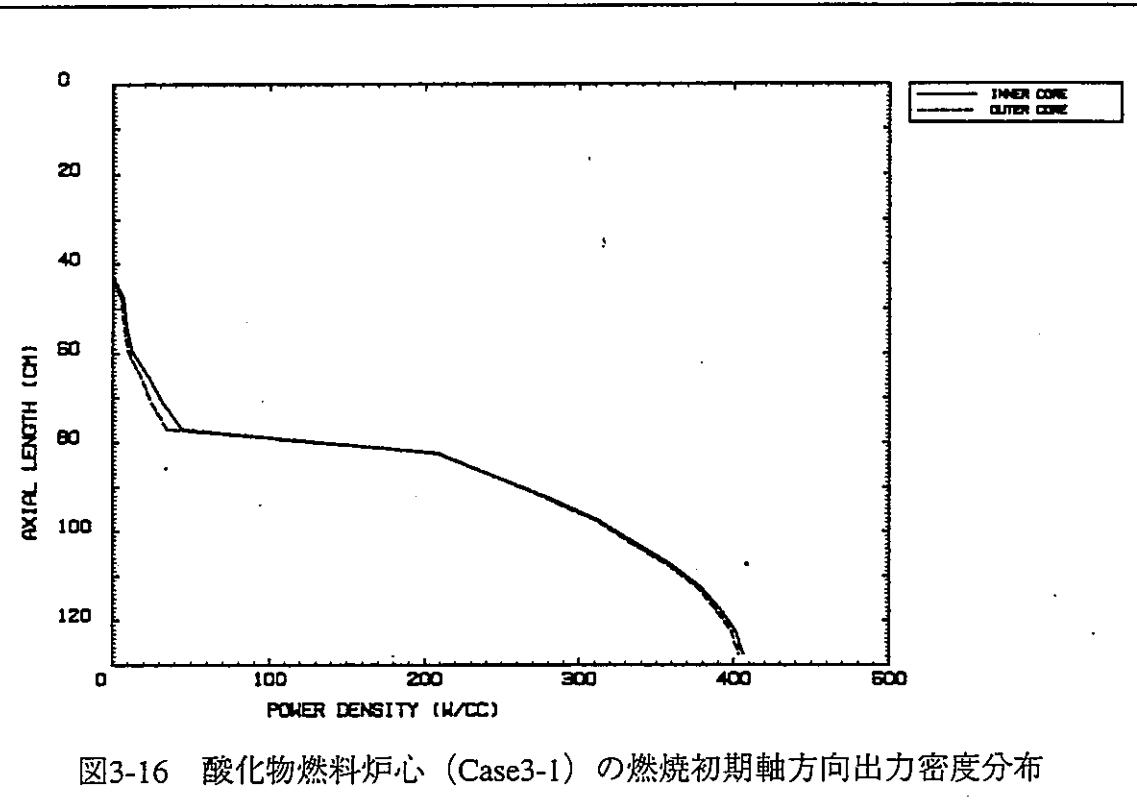


図3-16 酸化物燃料炉心（Case3-1）の燃焼初期軸方向出力密度分布

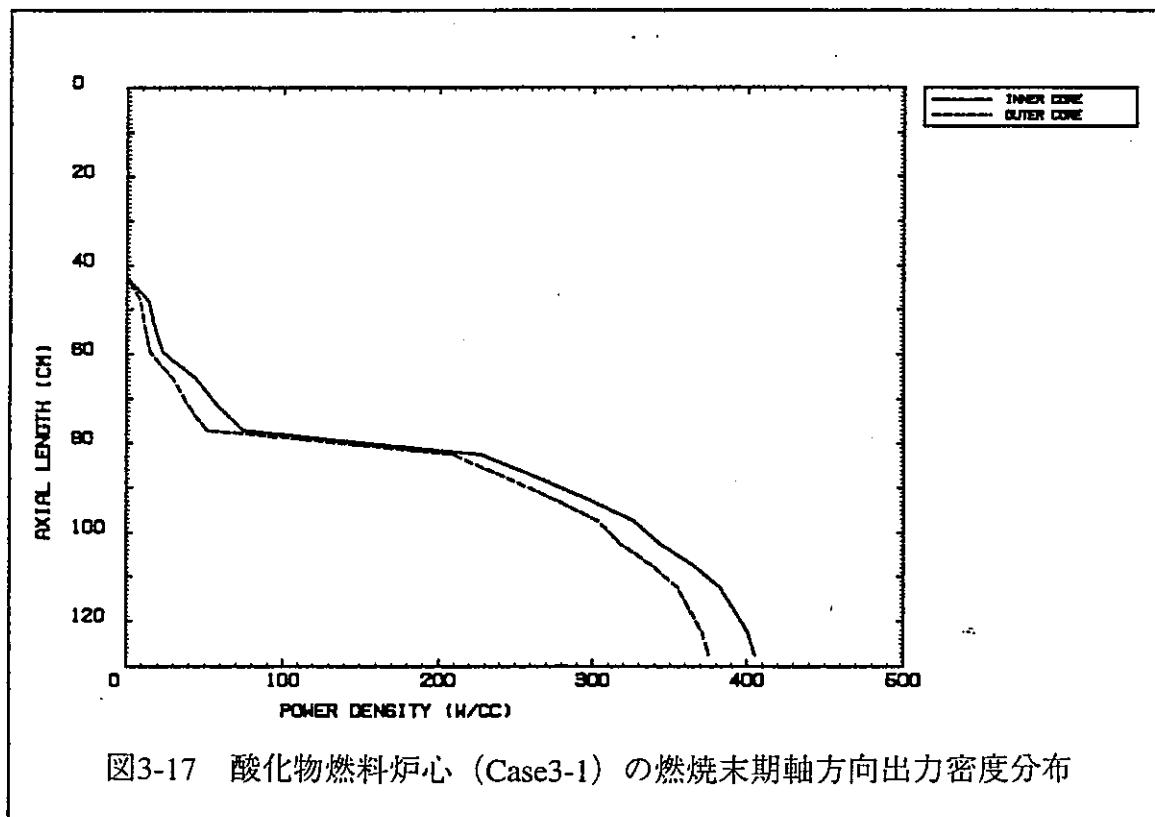


図3-17 酸化物燃料炉心（Case3-1）の燃焼末期軸方向出力密度分布

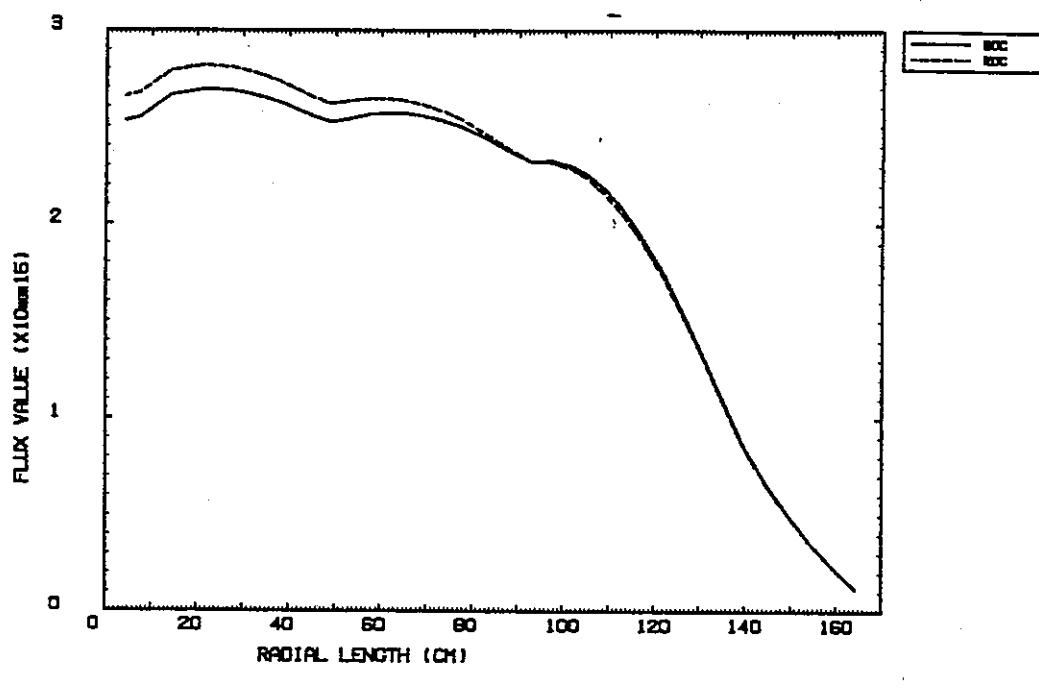


図3-18 酸化物燃料炉心（Case3-1）の径方向中性子束分布

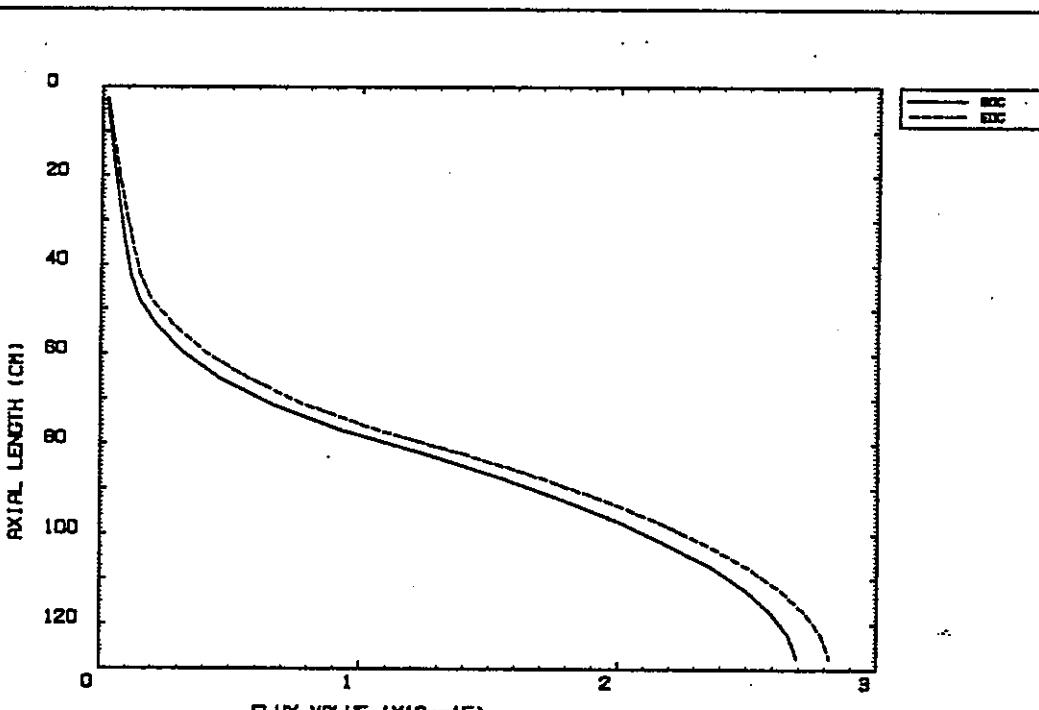


図3-19 酸化物燃料炉心（Case3-1）の軸方向中性子束分布

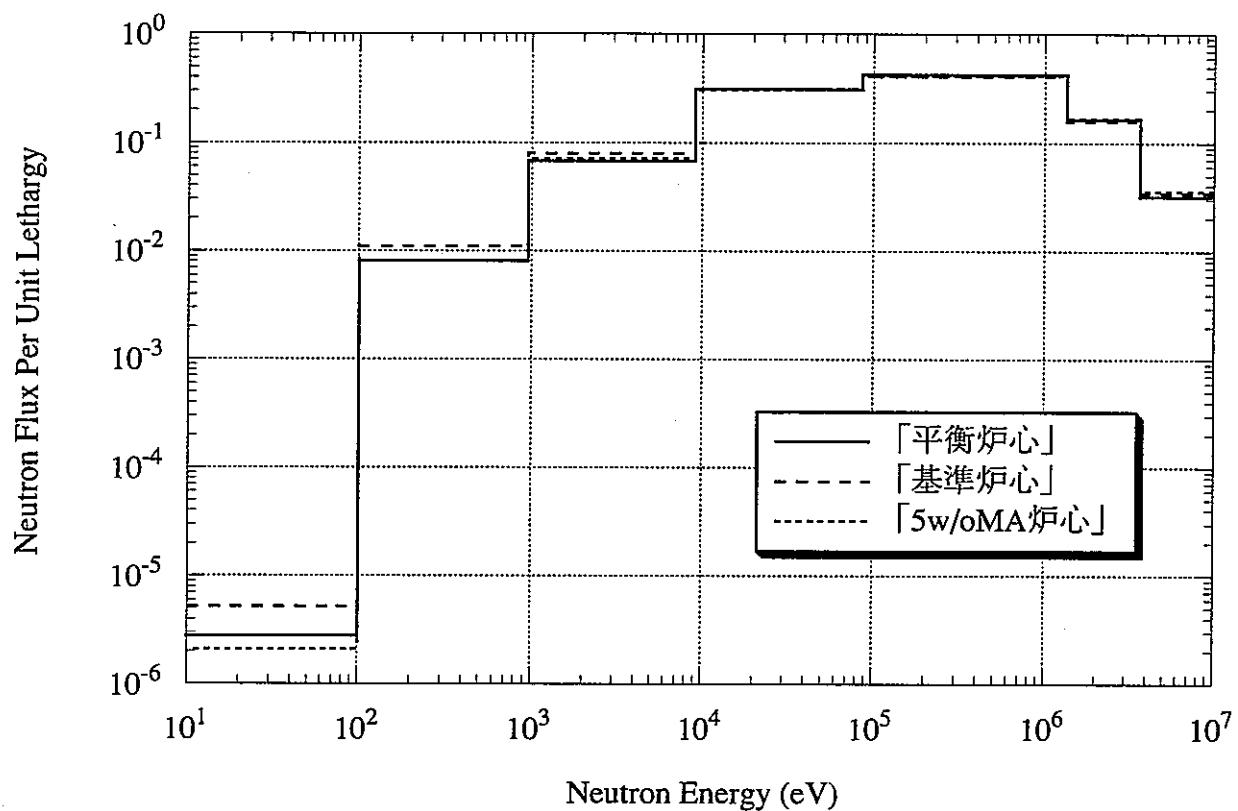


図3-20-1 酸化物燃料炉心の7群中性子スペクトル
(「平衡炉心」、「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」の比較)

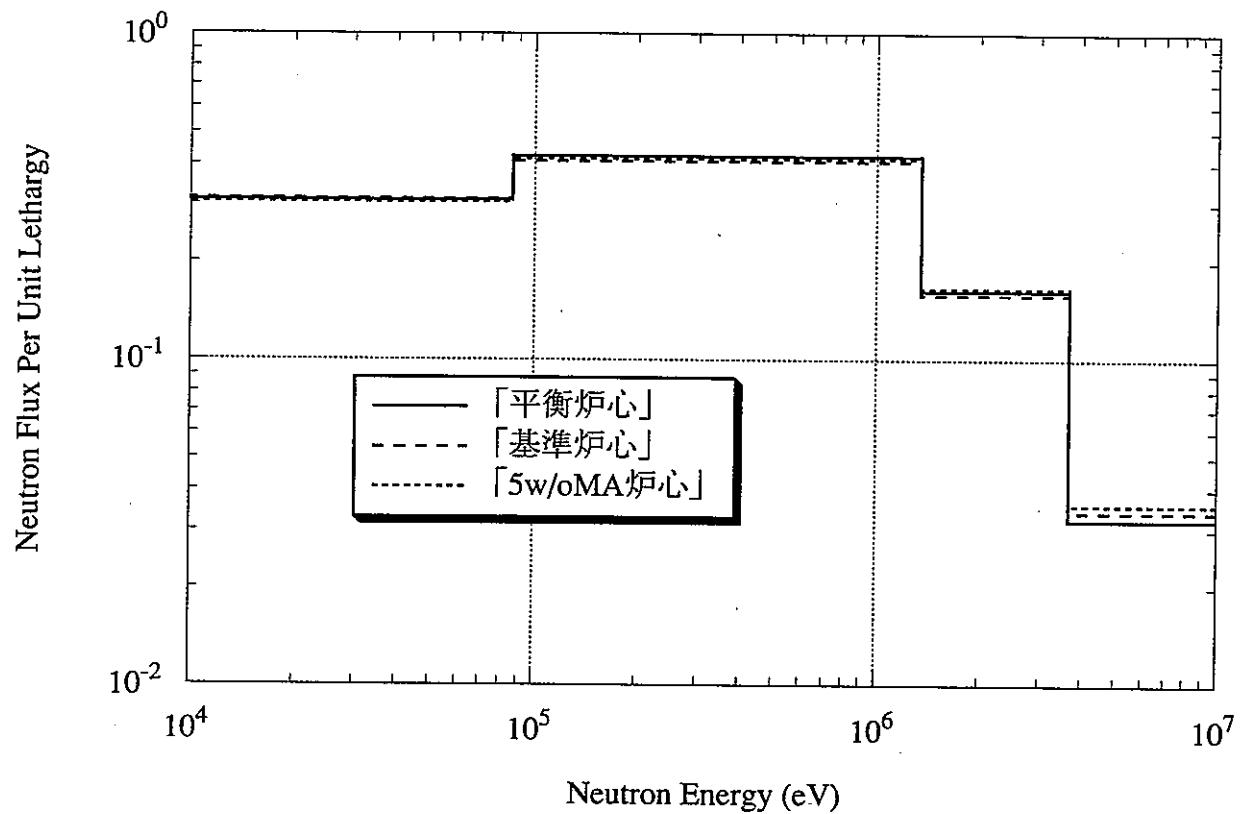


図3-20-2 酸化物燃料炉心の7群中性子スペクトル
(10keV以上)

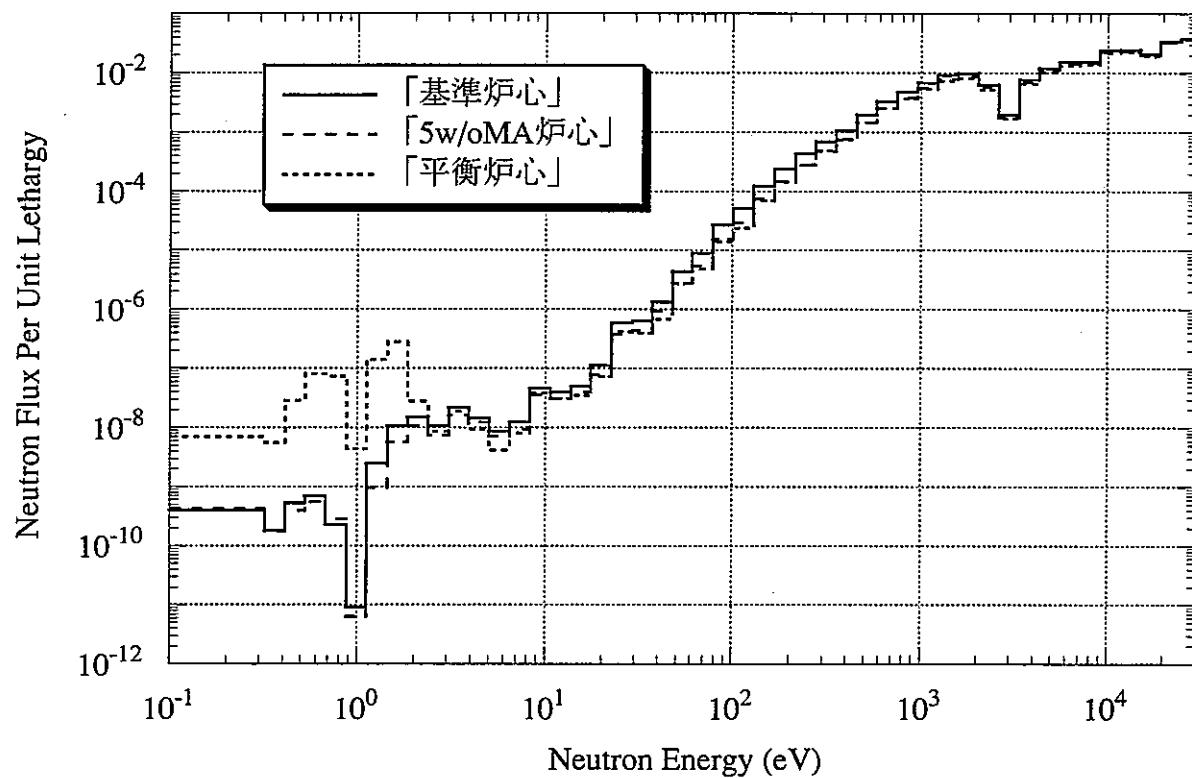


図3-21 酸化物燃料炉心の中性子スペクトル（30keV以下）
（「基準炉心」、「5w/oMA炉心」及び「平衡炉心」）

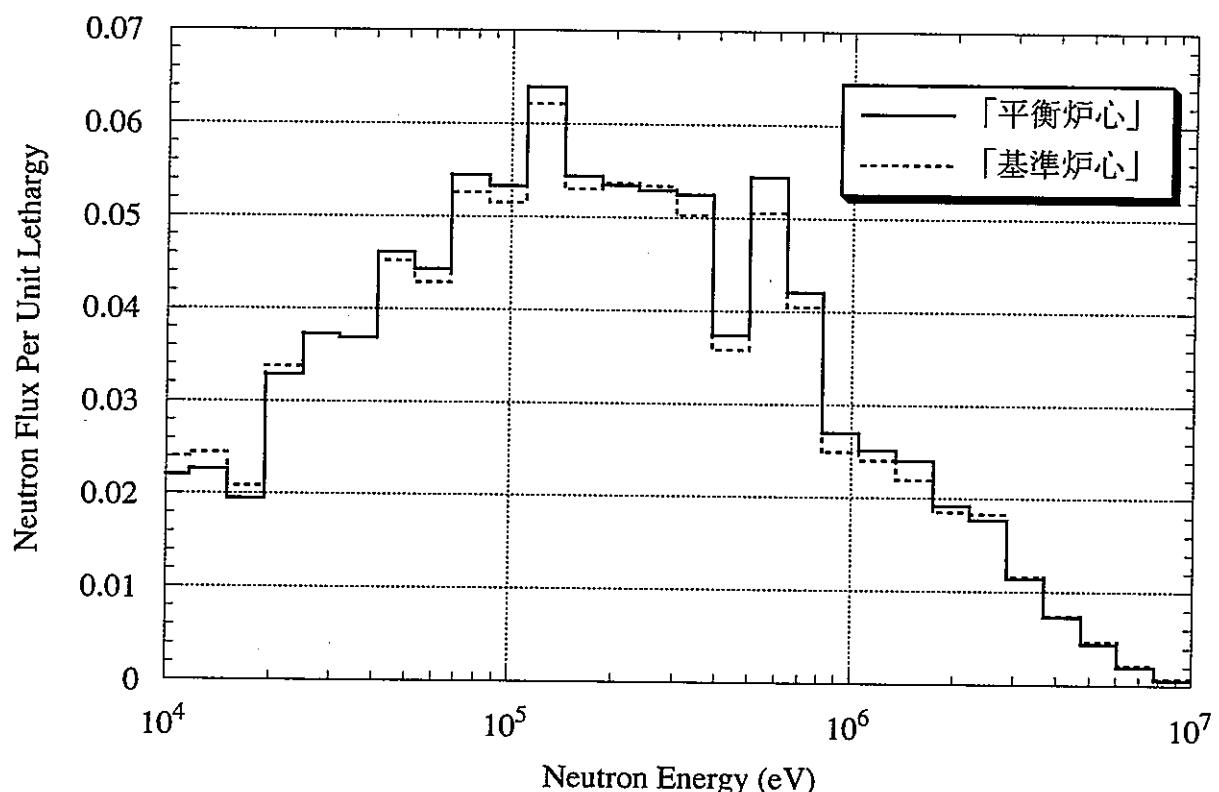


図3-22 酸化物燃料炉心の中性子スペクトル
(「平衡炉心」及び「基準炉心」)

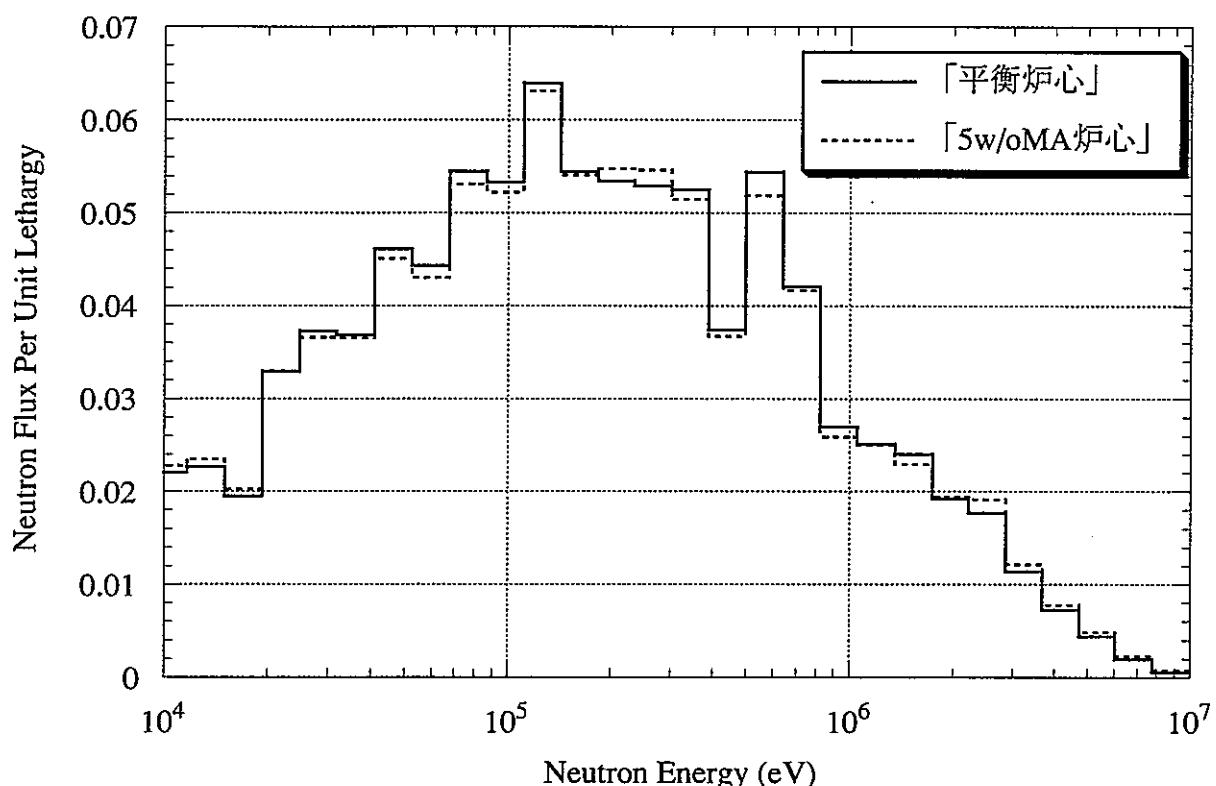


図3-23 酸化物燃料炉心の中性子スペクトル
(「平衡炉心」及び「5w/oMA炉心」)

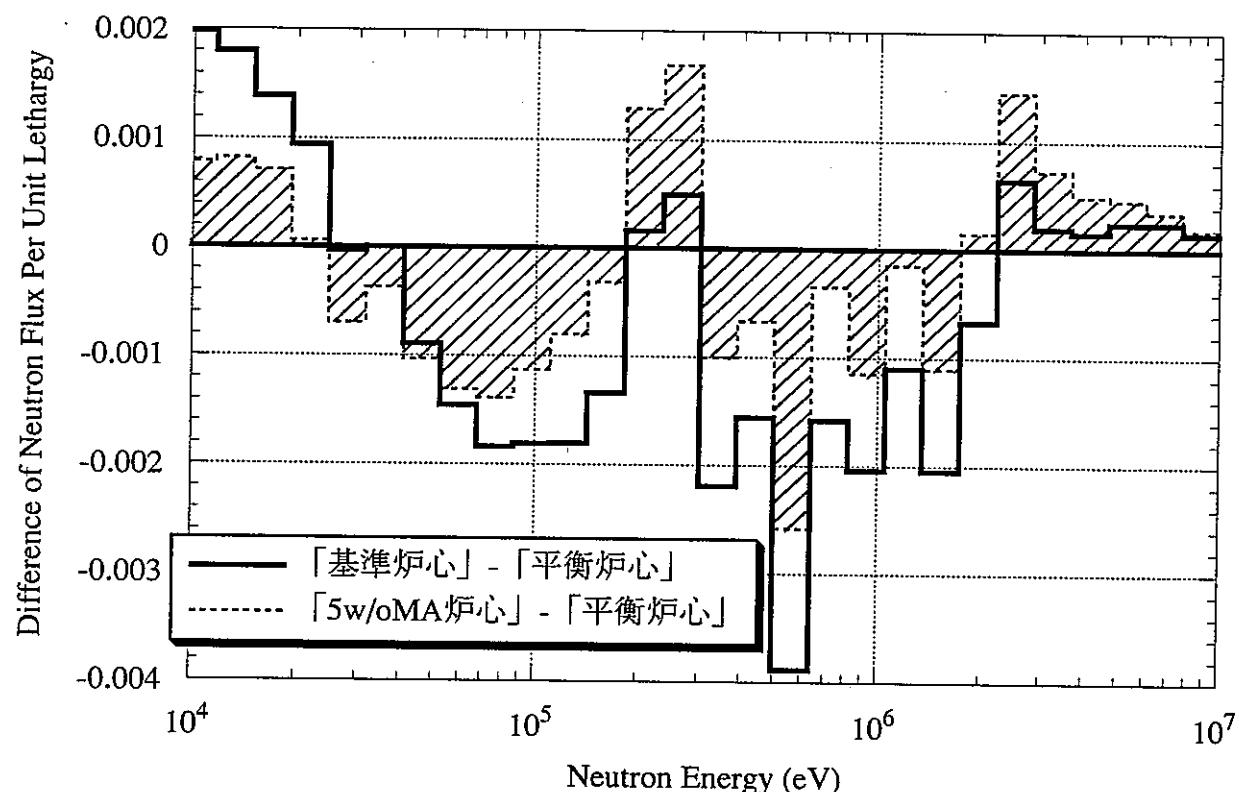


図3-24 酸化物燃料炉心の中性子スペクトルの差異
(「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」の「平衡炉心」との差)

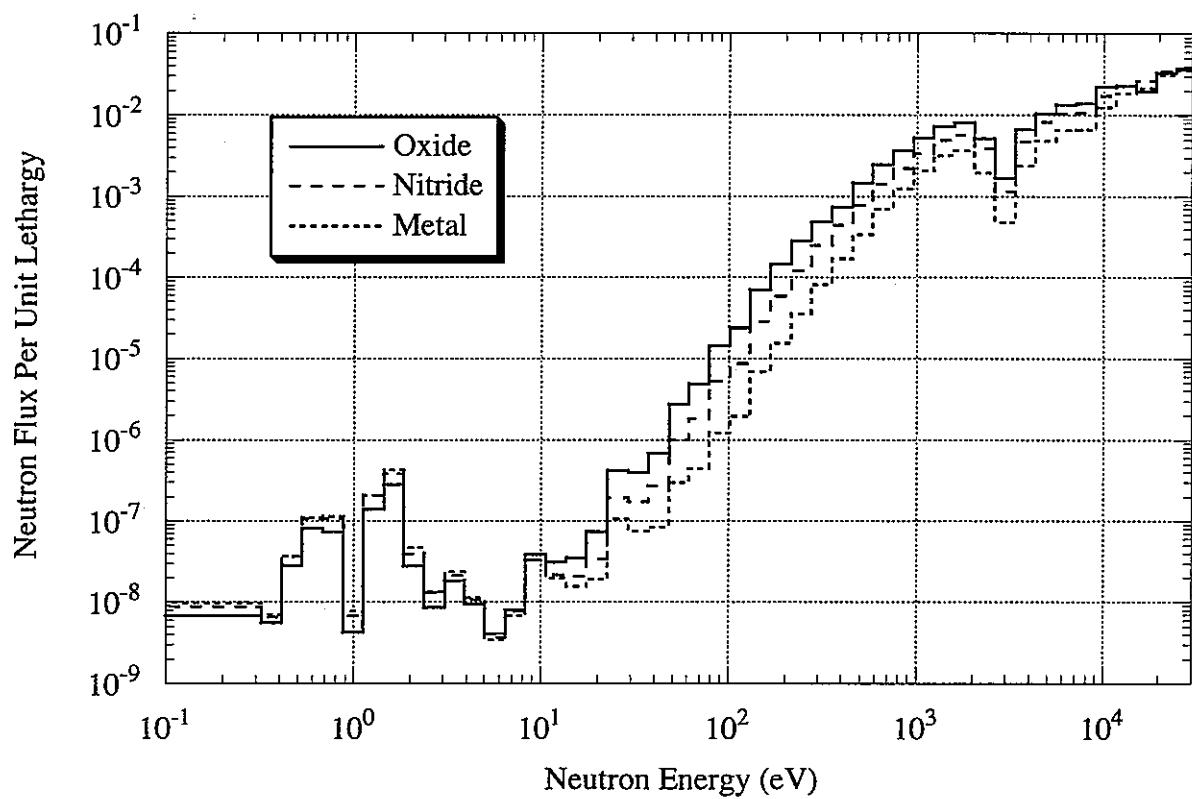


図3-25 燃料種別毎「平衡炉心」中性子スペクトル（30keV以下）

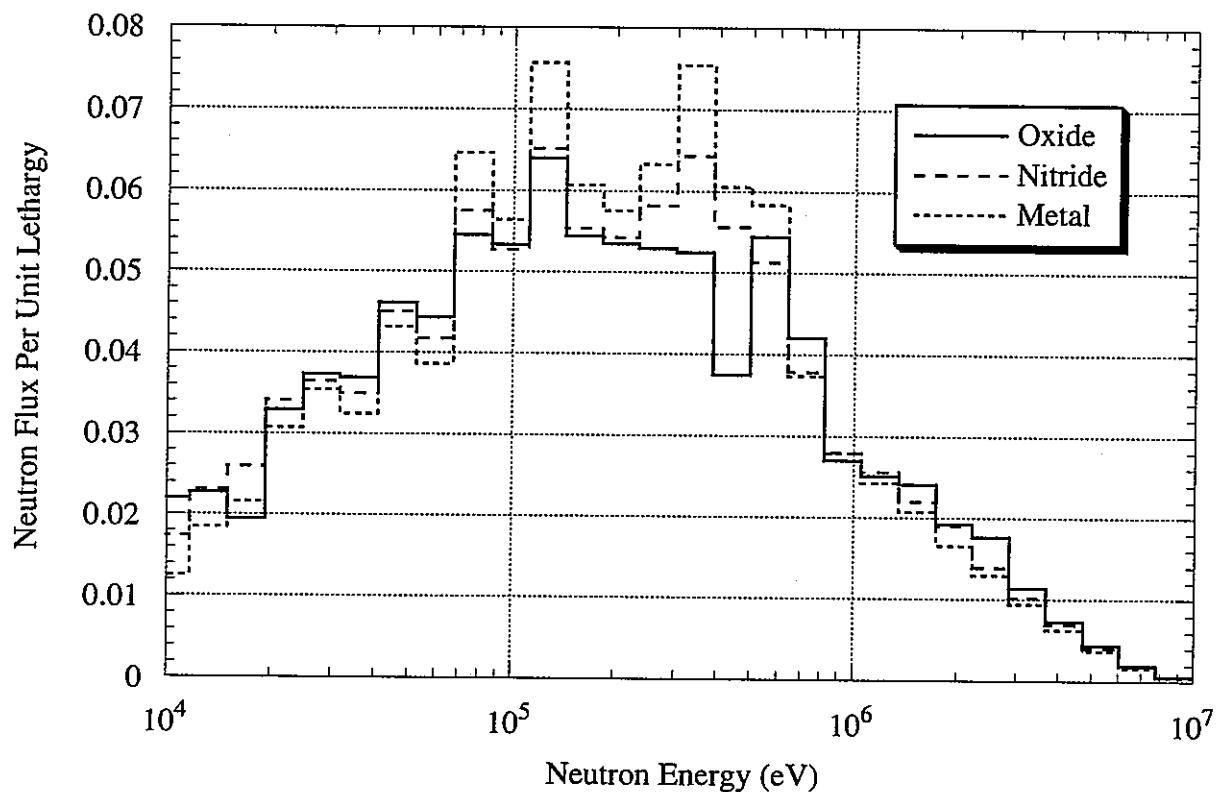


図3-26 燃料種別毎「平衡炉心」中性子スペクトル（10keV以上）

3.4 その他の炉心（70群定数変更炉心、及びPu組成変更炉心1及び2）

表3-13に「その他の炉心」と称して、「70群定数変更炉心」、「Pu組成変更炉心1」及び「Pu組成変更炉心2」（全て酸化物燃料炉心）における核特性解析結果を示す。この表には「基準炉心」及び「平衡炉心」の酸化物燃料に関する解析結果を合わせて示す。なお、解析に用いる炉心の仕様は表3-1に示す。

付録Aには核特性解析結果の詳細を示す。

前節3.3において、「平衡炉心」の増殖比が「基準炉心」や「5w/oMA炉心」と比べて高い値となることがわかった。「平衡炉心」は、Pu富化度が「基準炉心」に比べ5w/o以上大きく、かつ15.1w/oのLLFPが炉内に装荷されているにもかかわらず、その増殖比は燃焼初期及び末期でそれぞれ1.04,1.05と1を越えている。

ここでは、以下のように「70群定数変更炉心」、「Pu組成変更炉心1」及び「Pu組成変更炉心2」を設定し、酸化物燃料「基準炉心」に対して、70群定数のみを「平衡炉心」と同じにした場合、平衡Pu組成のみを「平衡炉心」と同じにした場合、及び酸化物燃料「平衡炉心」に対して平衡Pu組成のみを「基準炉心」と同じにした場合、の3ケースを新たに計算する。

これにより、「基準炉心」（Case 1-1）と「平衡炉心」（Case 3-1）との増殖比の差異がいかにして生じるかを検討する。

- ・ 「70群定数変更炉心」（Case 4-1-1,4-1-2）

「基準炉心」（Case1-1）において、高速炉用70群定数のみをJFS3J2.ADJ91RからJFS3J3.Y9511に変更して行う計算。前者には7核種のLLFPの断面積が含まれず、後者には含まれる。なお、「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」計算では前者を、「平衡炉心」では後者の群定数を用いて7群定数を作成、核特性解析が行われた。

本来、統一すべきこれらの核定数であるが、「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」計算ではLLFPが炉内に無く、したがって計算出来ていたが、「平衡炉心」ではこの定数を使用して行なうことは計算出来なくなつた為、LLFPの断面積が含まれる核定数を使う必要性が生じた。

なお、Case4-1-1ではPu富化度調整を行い、Case4-1-2ではPu富化度を「基準炉心」の値に固定して計算を行う。

- ・ 「Pu組成変更炉心1」（Case 4-2-1,4-2-2）

「基準炉心」（Case 1-1）において、Pu平衡組成のみを「平衡炉心」の値（Case 3-1）に変更して行う計算。

なお、Case4-2-1ではPu富化度調整を行い、Case4-2-2ではPu富化度を「基準炉心」の値に固定して計算を行う。

- ・ 「Pu組成変更炉心2」（Case 4-3-1,4-3-2）

「平衡炉心」（Case 3-1）において、Pu平衡組成のみを「基準炉心」の値（Case 1-1）に変更して行う計算。

なお、Case4-3-1ではPu富化度調整を行い、Case4-3-2ではPu富化度を「平衡炉心」の値に固定して計算を行う。

「70群定数変更炉心」、「Pu組成変更炉心1」及び「Pu組成変更炉心2」の核特性解析結果を、増殖比の観点からまとめると以下のようになる。

「70群定数変更炉心」

「70群定数変更炉心」の増殖比は「基準炉心」と比べて、Pu富化度調整計算を行った場合は、燃焼初期及び末期で各々0.06,0.05大きな値となる。また、Pu富化度を「基準炉心」の値に固定して燃焼計算を行った場合は、燃焼初期及び末期で各々0.05,0.04大きな値となる。いずれにせよ、JENDL-3ベースの核定数を使用すると、JENDL-2ベース（炉定数調整済）の核定数を使用した場合と比べて、燃焼に伴って増殖比が5%程大きくなることがわかる。

「Pu組成変更炉心1」

「Pu組成変更炉心1」の増殖比は「基準炉心」と比べて、Pu富化度調整計算を行った場合は、燃焼初期及び末期で各々0.05,0.04大きな値となる。また、Pu富化度を「基準炉心」の値に固定して燃焼計算を行った場合は、燃焼初期及び末期で各々0.12,0.09大きな値となる。「70群定数変更炉心」と違い、Pu富化度調整の有無によって増殖比の差が開いたが、これはPu富化度調整によりPu富化度が1w/o以上変化したためである。

前節で述べたように、「平衡炉心」の平衡Pu同位体組成比は「基準炉心」と比べて、²³⁹Puが9w/o程減り、²⁴⁰Pu,²⁴¹Pu,²⁴²Puといった高次のPu組成比が増え、なかでも²⁴⁰Puの組成比が5w/o近く増加している。

この平衡Pu同位体組成の違いにより、「平衡炉心」の増殖比が「基準炉心」に比べて大きくなることがわかる。

「Pu組成変更炉心2」

「Pu組成変更炉心2」の増殖比は「平衡炉心」と比べて、Pu富化度調整計算を行った場合は、燃焼初期及び末期で各々0.05,0.04小さな値となる。また、Pu富化度を「平衡炉心」の値に固定して燃焼計算を行った場合は、燃焼初期及び末期で各々0.11,0.10小さな値となる。Pu組成の変化により、「平衡炉心」の増殖性は1.0を下回る程悪化することがわかる。

以上より、「平衡炉心」は「基準炉心」と比べて、核定数の効果とPu組成の効果がいずれも増殖比を高める方向に働き、結果として「平衡炉心」の増殖比は燃焼初期で1.04、燃焼末期で1.05と1を上回ると考えられる。

さらに、Puの同位体組成が炉心の増殖性に与える影響は大きいことがわかる。

表 3-13 「その他の炉心」解析結果

	基準炉心	平衡炉心	70群定数変更炉心		Pu組成変更炉心1		Pu組成変更炉心2	
燃料型	酸化物燃料	酸化物燃料	酸化物燃料		酸化物燃料		酸化物燃料	
ケース名	Case 1-1	Case 3-1	Case 4-1-1	Case 4-1-2	Case 4-2-1	Case 4-2-2	Case 4-3-1	Case 4-3-2
平衡Pu同位体組成比*[w/o]	0.2/ 57.4/34.0/ 5.2/3.2	1.2/ 48.6/38.7/ 6.3/5.2	0.2/ 57.4/34.0/ 5.2/3.2	0.2/ 57.4/34.0/ 5.2/3.2	1.2/ 48.6/38.7/ 6.3/5.2	1.2/ 48.6/38.7/ 6.3/5.2	0.2/ 57.4/34.0/ 5.2/3.2	0.2/ 57.4/34.0/ 5.2/3.2
Pu富化度（内側/外側）[w/o]	17.5/22.2	23.0/28.0	17.1/21.9	17.5/22.2	18.7/23.9	17.5/22.2	21.4/25.9	23.0/28.0
MA装荷量[w/o]	0	1.18	0	0	0	0	1.18	1.18
LLFP装荷量[w/o]	0	15.1	0	0	0	0	15.1	15.1
最大線出力（RZ計算値）[W/cm]	425	419	429	432	427	444	424	418
増殖比（BOC/EOC）	1.09/1.08	1.04/1.05	1.15/1.13	1.14/1.12	1.14/1.12	1.21/1.17	0.994/1.01	0.926/0.954
燃焼欠損反応度[% $\Delta k/kk'$]	2.21	3.16	1.60	1.77	1.86	1.20	3.48	3.82
取出燃料平均燃焼度[MWD/t]	84800	95900	84900	84900	84800	84500	95900	96200
最大高速フルエンス [$10^{23} n/cm^2$]	2.75	2.91	2.81	2.82	2.72	2.93	2.92	2.73
実効燃料体積比[%]	36.8	32.5	36.8	36.8	36.8	36.8	32.5	32.5

*) 平衡Pu同位体組成比： $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}/^{241}\text{Pu}/^{242}\text{Pu}$

4. まとめ

高速炉を中心とする核燃料リサイクルシステム（以下「高速炉サイクル」という）において、運転期間中に自身の炉で生成されるMA及びLLFPをリサイクルし炉内に閉じ込めて消滅をはかる、自己完結型炉の炉心概念検討に資するため、電気出力60万kW、径ブランケット無しの典型的なNa冷却酸化物燃料炉心の炉心仕様で、MA及びLLFPを原子炉内に閉じ込めた「平衡炉心」の核特性解析を以下に示す基本条件の下に行った。また、この「平衡炉心」の核特性と、MAやLLFPの閉じ込めを行わない「基準炉心」、及びこの「基準炉心」にLWRからの取り出し組成のMAを5w/o装荷する「5w/oMA炉心」の核特性との比較検討も行った。

本解析では、「平衡炉心」と、「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」との核特性の比較を通して、「平衡炉心」の特異性を検討する。また、その特異性がゆえに、「平衡炉心」は高速炉設計概念に大きな変更を要求するのか否かの検討を、核特性の観点から行う。なお、これら3種類の「炉心」に関して、MA及びLLFPの消滅に際して中性子経済の観点から魅力のある、窒化物や金属燃料炉心に対しても評価検討を行った。

<基本条件>

- ・自身の炉で生成されたMAはRE（希土類元素）と分離し、リサイクル時のロス無しに完全に回収され炉心に戻されると仮定する。ここでMAは ^{237}Np , ^{241}Am , $^{242\text{m}}\text{Am}$, ^{243}Am , ^{242}Cm , ^{243}Cm , ^{244}Cm , ^{245}Cm の8核種とする。
- ・自身の炉で生成されたLLFPは同位体分離によってロス無しに回収され炉心に戻されると仮定する。ここでLLFPは ^{79}Se , ^{93}Zr , ^{99}Tc , ^{107}Pd , ^{126}Sn , ^{129}I , ^{135}Cs の7核種とする。
- ・MA及びLLFPは炉心に均質に装荷する。
- ・リサイクルされるPu, MA, LLFP以外の核種（主にLLFP以外のFP）は高速炉サイクル外へ廃棄されるものとする。
- ・Puに関しては自給を目指し、Uのみ外部から供給されるものとする。

本検討の結果をまとめると以下のようになる。

酸化物燃料炉心のPu、MA、LLFP平衡量及び平衡組成について

- ・「平衡炉心」の平衡Pu同位体組成は「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」と比べ、 ^{239}Pu の組成比が減少し、高次Puの組成比が増加した。中でも ^{240}Pu の組成比が大きく増加した。
- ・「平衡炉心」のMA平衡量は1.18w/o（全重金属量に対して）であり、その組成は ^{244}Cm , ^{243}Am , ^{241}Am が多く、一方LLFP平衡量は15.1w/o（重金属及びLLFPを合わせた量に対して）であり、 ^{135}Cs , ^{93}Zr , ^{126}Sn が多い組成となった。

核特性に関して

- ・酸化物燃料炉心の「平衡炉心」は「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」に比べ、Pu富化度が5w/o以上大きく、燃焼欠損反応度が $3.16\% \Delta k/kk'$ と増大したが、最大線出力、最大高速フルエンスは小さかった。
- ・ドップラー反応度係数及びNaボイド反応度に関しては、燃料種別によらず、「平衡炉心」及び「5w/oMA炉心」の双方ともに「基準炉心」と比べて、ドップラー反応度係数はその絶対値を下げる方向に変化し、Naボイド反応度は正の方向に大きくなる傾向を示した。「平衡炉心」のドップラー反応度係数及びNaボイド反応度は「5w/oMA炉心」と比べて大きな差は無かった。

増殖比とPuバランスの評価に関して

- ・「平衡炉心」は「基準炉心」及び「5w/oMA炉心」に比べ、Pu富化度が5w/o以上高い為に ^{238}U 量が少なく、さらにLLFPが平衡量装荷されているにもかかわらず、「平衡炉心」の増殖比は径プランケット燃料無しで、燃焼初期で1.04、燃焼末期で1.05と1を上回った。このことは、 ^{239}Pu 量の減少によるFissile消滅量の減少、及び ^{240}Pu 量の増加による ^{241}Pu 生成量増加の効果が、 ^{238}U による増殖効果の減少を上回ったことによる。
- ・酸化物燃料「平衡炉心」に関して、平衡サイクルでのPu装荷量は1.50t/y、取出量は1.46t/yであり、Puの装荷量と取出量の差は僅かに0.04t/yであった。

新型燃料炉心に関して

- ・新型燃料炉心は酸化物燃料炉心に比べて、Pu富化度が小さく、増殖比が大きく、中性子経済が良いため燃焼欠損反応度が小さくなった。また、ドップラー反応度係数及びNaボイド反応度に関して、酸化物燃料炉心と窒化物燃料炉心との差は小さかった。他方、金属燃料炉心はこれら2種類の燃料炉心に対して、ドップラー反応度係数はその絶対値が小さくなり、Naボイド反応度が大きくなつた。

以上より、本検討の結論は以下のようになる。

- ・典型的な電気出力60万kW、Na冷却酸化物燃料炉心の炉心設計に変更を加えずに、平衡量のMA及びLLFPを、MAはREの分離を仮定して、LLFPは同位体分離を仮定して炉心にリサイクルして閉じ込めた場合、一部の核特性を除いて「基準炉心」から「5w/oMA炉心」

の核特性の変化範囲を大きく逸脱するものではなかった。したがって、核特性の観点からは、燃焼欠損反応度増大に対処できれば、「基準炉心」の炉心仕様に大幅な変更を加えることなしに、自身の炉心から取り出されるMA及びLLFPを炉内に閉じ込めた「平衡炉心」が成立する可能性があることがわかった。

- ・酸化物燃料「平衡炉心」は、LLFPが平衡量の15.1w/o装荷されるためにPu富化度が増大したが、その増殖比は径プランケット燃料無しで1を上回った。また、Puマスバランスに関して、平衡サイクルでのPuの装荷量と取出量の差は0.04t/yと僅かであった。したがって、酸化物燃料炉心においてでも、U以外を新たに加えずにPuを自給自足できる可能性があることがわかった。さらに、Pu同位体組成の違いが炉心の増殖性に与える影響が大きいことがわかった。
- ・新型燃料炉心は酸化物燃料炉心に比べて、中性子経済の良さから種々の核特性に優れ、MAやLLFPをリサイクルする炉心において設計時の自由度が高いことが確認できた。

今後の検討課題としては以下のものが挙げられる。

- ・MAに関して、REの完全分離を仮定しており、このRE混入の影響の評価。
- ・LLFPに関して同位体分離を仮定しているが、元素分離での装荷の検討。
- ・上記MA及びLLFPも含めて、可能な限り高速炉システム外へ廃棄される核物質を減じることを目的として、更なる核種の炉内閉じ込めの検討。
- ・LLFP核種の化学形態の考慮。
- ・軸プランケット燃料部から取り出されるPuの組成比の検討。
- ・Pu同位体組成が炉の増殖性能に与える影響の検討。
- ・各燃料種別における炉心の最適化の検討。
- ・計算に使用する核定数セットの統一。
- ・Na以外の冷却材種別を用いた核特性解析の検討。

参考文献

- 1) H. SEKIMOTO, N. TAKAGI, *J. Nucl. Sci. Technol.*, 28(10), 1991.
- 2) A. MIZUTANI, H. SEKIMOTO, *Ann. Nucl. Energy*, 25(13), 1998.
- 3) 若林他、TRUリサイクルシステム試験炉の炉心概念予備検討報告書、
PNC TN9410 93-157 (1993年6月)
- 4) 白方他、新型燃料高速炉の炉心核特性評価、PNC TN9410 89-098 (1989年6月)
- 5) 天本他、FBR新型燃料評価研究報告書（第1ステップ）、
PNC TN8410 90-075 (1990年4月)
- 6) K. REHME, *Nucl. Technol.*, 17, 1973.

謝辞

本検討を実施するにあたり、解析に多大な協力を頂きました（株）アイ・エス・エー
青柳成美氏に心より感謝致します。また、原子力システム（株）沼田一幸、福島学両氏にも
解析に協力して頂きました。ここに深く感謝の意を表します。なお、旧基盤技術開発部
炉心技術開発室、若林利男氏、白方敬章氏をはじめとし、現システム技術開発部炉心技術
開発Gr. の皆様には、本研究を進めるにあたって親身なご指導を頂くとともに、貴重なご
助言を多々賜りましたこと、厚く御礼申し上げます。

付録 A 核特性表

- 付表A-1 Case1-1 (「基準炉心」、酸化物燃料)
- 付表A-2 Case1-2 (「基準炉心」、窒化物燃料)
- 付表A-3 Case1-3 (「基準炉心」、金属燃料)
- 付表A-4 Case2-1 (「5w/oMA炉心」、酸化物燃料)
- 付表A-5 Case2-2 (「5w/oMA炉心」、窒化物燃料)
- 付表A-6 Case2-3 (「5w/oMA炉心」、金属燃料)
- 付表A-7 Case3-1 (「平衡炉心」、酸化物燃料)
- 付表A-8 Case3-2 (「平衡炉心」、窒化物燃料)
- 付表A-9 Case3-3 (「平衡炉心」、金属燃料)
- 付表A-10 Case4-1-1 (「70群定数変更炉心」、酸化物燃料)
- 付表A-11 Case4-1-2 (「70群定数変更炉心」、酸化物燃料)
- 付表A-12 Case4-2-1 (「Pu組成変更炉心1」、酸化物燃料)
- 付表A-13 Case4-2-2 (「Pu組成変更炉心1」、酸化物燃料)
- 付表A-14 Case4-3-1 (「Pu組成変更炉心2」、酸化物燃料)
- 付表A-15 Case4-3-2 (「Pu組成変更炉心2」、酸化物燃料)

付表A-1

酸化物燃料炉心計算

(1599 MWTH)

VS.40

炉心高さ				100 cm	集合体ピッチ				16.07 cm				
ピン径				8.5 mm	Pu富化度 (内側) (外側)	(内側)				17.46 W/O			
炉心直径				cm		(外側)				22.15 W/O			
サイクル		K-EFF	燃焼反応度 (%△K/KK')	最大高速中性子束 (n/cm ² *s)	最大線出力 (w/cm)			ピーリング係数					
					(内側炉心)	(外側炉心)	(外/内)	(径方向)	(軸方向)	(炉心)			
4	BOC	1.022965	2.21	2.790E+15	404.1	423.6	1.05	1.19	1.23	1.467			
EOC		1.000371		3.013E+15	425.3	391.2	0.92	1.25	1.21	1.505			
サイクル		増殖比		Fissile Pu量 (T)			原子炉倍増時間 (年)	炉心平均燃焼度 (MWD/T)	出力分担率 (%)				
		(炉心)	(全体)	(炉心)	(軸プラ)	(径プラ)			(炉心)	(軸プラ)	(径プラ)		
4	BOC	0.841	1.091	2.389	0.139	0.000	2.528	66.9	96.4	3.6	0.0		
EOC		0.821	1.084	2.307	0.268	0.000	2.575		94.3	5.7	0.0		
7群ミクロ断面積 POCOF14.H3E60.MIC7G								備考 365DAYS CORE BLANKET 3BATCH 4BATCH					
SYSTEM DATA POCOF14.AOLDEN.DATA(H3E61)													
CITATION DATA POCOF14.AOLCIT.DATA(H3E61)													
TABLE DATA SYS99103.T091532.SV326.POCOF140.TBLIN													
OUTPUT FILE (FLUX)													
OUTPUT FILE (POWER)													
OUTPUT FILE (APPLE) POCOF14.AOLAPL.DATA(H3E61)													

付表A-2

窒化物燃料炉心計算

(1599 MWTH)

V5.40

炉心高さ				100 cm	集合体ピッチ				16.07 cm			
ピン径				8.5 mm	Pu富化度	(内側)			10.65 W/O			
炉心直径				cm		(外側)			14.28 W/O			
サイクル		K-EFF	燃焼反応度 (%△K/KK')	最大高速中性子束 (n/cm ² *s)	最大線出力 (w/cm)			ピーリング係数				
4	BOC	1.000172	-0.71	2.675E+15	379.1	436.7	1.15	1.21	1.24	1.514		
	EOC	1.007304		3.007E+15	437.9	400.9	0.92	1.25	1.24	1.548		
サイクル		増殖比		Fissile Pu量 (T)			原子炉倍増時間 (年)	炉心平均燃焼度 (MWD/T)	出力分担率 (%)			
		(炉心)	(全体)	(炉心)	(軸プラ)	(径プラ)			(炉心)	(軸プラ)		
4	BOC	1.053	1.342	2.554	0.155	0.000	2.710	61500	96.2	3.8		
	EOC	0.990	1.282	2.584	0.302	0.000	2.886		94.4	5.6		
7群ミクロ断面積 POCOF14.H3E6N.MIC7G										備考 365DAYS CORE BLANKET 3BATCH 4BATCH		
SYSTEM DATA POCOF14.AOLDEN.DATA(H3E6N)												
CITATION DATA POCOF14.AOLCIT.DATA(H3E6N)												
TABLE DATA SYS99103.T092154.SV329.POCOF14N.TBLIN												
OUTPUT FILE (FLUX)												
OUTPUT FILE (POWER)												
OUTPUT FILE (APPLE) POCOF14.AOLAPL.DATA(H3E6N)												

付表A-3

金属燃料炉心計算

(1599 MWTH)

V5.40

炉心高さ				100 cm	集合体ピッチ				16.07 cm					
ピン径				8.5 mm	Pu富化度	(内側)			10.53 W/O					
炉心直径				cm		(外側)			14.52 W/O					
サイクル		K-EFF	燃焼反応度 (%△K/KK')	最大高速中性子束 (n/cm ² *s)	最大線出力 (w/cm)			ピーティング係数						
4	BOC	0.999161	-0.41	3.274E+15	377.0	426.7	1.13	1.21	1.22	1.486				
	EOC	1.003266		3.648E+15	428.7	389.8	0.91	1.26	1.22	1.528				
サイクル		増殖比		Fissile Pu量 (T)			原子炉 倍増時間 (年)	炉心平均 燃焼度 (MWD/T)		出力分担率 (%)				
		(炉心)	(全体)	(炉心)	(軸プラ)	(径プラ)		(炉心)	(軸プラ)	(径プラ)				
4	BOC	1.004	1.314	2.393	0.161	0.000	2.554	20.4	64900	95.8	4.2	0.0		
	EOC	0.949	1.262	2.399	0.312	0.000	2.710			93.6	6.4	0.0		
7群ミクロ断面積 POCOF14.H3E6M.MIC7G								備考 365DAYS CORE 3BATCH BLANKET 4BATCH						
SYSTEM DATA POCOF14.AOLDEN.DATA(H3E6M)														
CITATION DATA POCOF14.AOLCIT.DATA(H3E6M)														
TABLE DATA SYS99103.T092858.SV332.POCOF14M.TBLIN														
OUTPUT FILE (FLUX)														
OUTPUT FILE (POWER)														
OUTPUT FILE (APPLE) POCOF14.AOLAPL.DATA(H3E6M)														

付表A-4

酸化物燃料炉心計算

(1599 MWTH)

V5.40

付表A-5 窒化物燃料炉心計算

(1599 MWTH)

V5.40

炉心高さ				100 cm	集合体ピッチ				16.07 cm				
ピン径				8.5 mm	Pu富化度	(内側)			10.82 W/O				
炉心直徑				cm		(外側)			14.50 W/O				
サイクル		K-EFF	燃焼反応度 (%△K/KK')	最大高速中性子束 (n/cm ² *s)	最大線出力 (w/cm)			ピーピング係数					
					(内側炉心)	(外側炉心)	(外/内)	(径方向)	(軸方向)	(炉心)			
4	BOC	0.999918	-2.00	2.613E+15	381.7	440.1	1.15	1.21	1.25	1.521			
	EOC	1.020307		2.919E+15	442.0	406.8	0.92	1.24	1.25	1.553			
サイクル		増殖比		Fissile Pu量 (T)			原子炉倍増時間 (年)	炉心平均燃焼度 (MWD/T)	出力分担率 (%)				
		(炉心)	(全体)	(炉心)	(軸プラ)	(径プラ)			(炉心)	(軸プラ)	(径プラ)		
4	BOC	1.055	1.385	2.327	0.146	0.000	2.473	61800	96.5	3.5	0.0		
	EOC	0.986	1.310	2.381	0.285	0.000	2.666		94.9	5.1	0.0		
7群ミクロ断面積 POCOF14.H3EN5.MIC7G								備考 365DAYS CORE BLANKET 3BATCH 4BATCH					
SYSTEM DATA POCOF14.AOLDEN.DATA(H3EN5)													
CITATION DATA POCOF14.AOLCIT.DATA(H3EN5)													
TABLE DATA SYS99103.T092442.SV330.POCOF14N.TBLIN													
OUTPUT FILE (FLUX)													
OUTPUT FILE (POWER)													
OUTPUT FILE (APPLE) POCOF14.AOLAPL.DATA(H3EN5)													

付表A-6

金屬燃料爐心計算

(1599 MWTH)

V5.40

付表A-7 酸化物燃料炉心計算

(1599 MWTH)

V5.40

炉心高さ				100 cm	集合体ピッチ				16.07 cm											
ピン径				8.5 mm	Pu富化度 (内側)	(内側)			22.96 W/O											
炉心直径				cm		(外側)			27.96 W/O											
サイクル		K-EFF	燃焼反応度 (%△K/KK')	最大高速中性子束 (n/cm ² *s)	最大線出力 (W/cm)			ピッキング係数												
					(内側炉心)	(外側炉心)	(外/内)	(径方向)	(軸方向)	(炉心)										
4	BOC	1.032977	3.16	3.005E+15	418.5	415.5	0.99	1.18	1.23	1.448										
	EOC	1.000365		3.137E+15	417.2	386.5	0.93	1.23	1.19	1.477										
サイクル		増殖比		Fissile Pu量 (T)			原子炉倍増時間 (年)	炉心平均燃焼度 (MWD/T)	出力分担率 (%)											
		(炉心)	(全体)	(炉心)	(軸プラ)	(径プラ)			(炉心)	(軸プラ)										
4	BOC	0.765	1.038	2.345	0.143	0.000	2.488	152.3	95900	96.4										
	EOC	0.754	1.045	2.231	0.277	0.000	2.508			94.2										
7群ミクロ断面積 POCOF14.HOXFP.MIC7G								備考 365DAYS CORE BLANKET 3BATCH 4BATCH												
SYSTEM DATA				POCOF14.ADDDEN.DATA(HEQ10)																
CITATION DATA				POCOF14.ADDCIT.DATA(HEQ10)																
TABLE DATA				SYS99099.T170240.SV791.POCOF140.TBLIN																
OUTPUT FILE (FLUX)																				
OUTPUT FILE (POWER)																				
OUTPUT FILE (APPLE)				POCOF14.ADDAPL.DATA(HEQ10)																

付表A-8

窒化物燃料炉心計算

(1599 MWTH)

V5.40

炉心高さ				100 cm	集合体ピッチ				16.07 cm				
ピン径				8.5 mm	Pu富化度 (内側)		(内側)				14.80 W/O		
炉心直径				cm			(外側)				18.87 W/O		
サイクル	K-EFF	燃焼反応度 (%ΔK/KK')	最大高速中性子束 (n/cm ² *s)	最大線出力 (w/cm)		ピーリング係数							
4	BOC	1.011549	1.08	2.903E+15	395.1	424.5	1.07	1.19	1.23	1.472			
	EOC	1.000596		3.165E+15	426.3	391.5	0.92	1.24	1.22	1.511			
サイクル	増殖比		Fissile Pu量 (T)			原子炉倍増時間 (年)	炉心平均燃焼度 (MWD/T)	出力分担率 (%)					
	(炉心)	(全体)	(炉心)	(軸プラ)	(径プラ)	(計)		(炉心)	(軸プラ)	(径プラ)			
4	BOC	0.902	1.210	2.560	0.162	0.000	2.722	31.2	72600	96.2			
	EOC	0.870	1.190	2.515	0.316	0.000	2.831			94.1			
7群ミクロ断面積 POCOF14.HNIFP.MIC7G								備考 365DAYS CORE BLANKET 3BATCH 4BATCH					
SYSTEM DATA POCOF14.ADDDEN.DATA(HEQ1N)													
CITATION DATA POCOF14.ADDCIT.DATA(HEQ1N)													
TABLE DATA SYS99099.T172751.SV793.POCOF14N.TBLIN													
OUTPUT FILE (FLUX)													
OUTPUT FILE (POWER)													
OUTPUT FILE (APPLE) POCOF14.ADDAPL.DATA(HEQ1N)													

付表A-9

金属燃料炉心計算

(1599 MWTH)

V5.40

炉心高さ				100 cm	集合体ピッチ				16.07 cm					
ピン径				8.5 mm	Pu富化度	(内側) 15.65 W/O								
炉心直径				cm		(外側) 20.07 W/O								
サイクル	K-EFF	燃焼反応度 (%△K/KK')	最大高速中性子束 (n/cm ² *s)	最大線出力 (w/cm)			ピーリング係数							
				(内側炉心)	(外側炉心)	(外/内)	(径方向)	(軸方向)	(炉心)					
4	BOC	1.019152	1.84	3.498E+15	399.3	414.1	1.04	1.18	1.21	1.440				
	EOC	1.000430		3.736E+15	416.7	381.8	0.92	1.24	1.19	1.486				
サイクル	増殖比		Fissile Pu量 (T)			原子炉倍増時間 (年)	炉心平均燃焼度 (MWD/T)	出力分担率 (%)						
	(炉心)	(全体)	(炉心)	(軸プラ)	(径プラ)			(炉心)	(軸プラ)	(径プラ)				
4	BOC	0.832	1.151	2.412	0.163	0.000	2.575	41.5	78200	95.9	4.1	0.0		
	EOC	0.812	1.147	2.335	0.318	0.000	2.652			93.5	6.5	0.0		
7群ミクロ断面積 POCOF14.HMEFP.MIC7G								備考 365DAYS CORE 3BATCH BLANKET 4BATCH						
SYSTEM DATA POCOF14.ADDDEN.DATA(HEQ1M)														
CITATION DATA POCOF14.ADDCIT.DATA(HEQ1M)														
TABLE DATA SYS99099.T173420.SV795.POCOF14M.TBLIN														
OUTPUT FILE (FLUX)														
OUTPUT FILE (POWER)														
OUTPUT FILE (APPLE) POCOF14.ADDAPL.DATA(HEQ1M)														

付表A-10 酸化物燃料炉心計算

(1599 MWTH)

V5.40

炉心高さ				100 cm	集合体ピッチ				16.07 cm				
ピン径				8.5 mm	Pu富化度	(内側)			17.07 W/O				
炉心直径				cm		(外側)			21.94 W/O				
サイクル		K-EFF	燃焼反応度 (%ΔK/KK')	最大高速中性子束 (n/cm ² *s)	最大線出力 (w/cm)			ピーリング係数					
4	BOC	1.016135	1.60	2.832E+15	397.8	426.7	1.07	1.19	1.23	1.477			
	EOC	0.999866		3.102E+15	429.2	392.0	0.91	1.25	1.21	1.519			
サイクル		増殖比		Fissile Pu量 (T)			原子炉倍増時間 (年)	炉心平均燃焼度 (MWD/T)	出力分担率 (%)				
		(炉心)	(全体)	(炉心)	(軸プラ)	(径プラ)			(炉心)	(軸プラ)	(径プラ)		
4	BOC	0.890	1.154	2.386	0.145	0.000	2.531	39.8	84900	96.4	3.6		
	EOC	0.857	1.131	2.330	0.280	0.000	2.610			94.3	5.7		
7群ミクロ断面積 POCOF14.HOXFP.MIC7G								備考 365DAYS CORE BLANKET 3BATCH 4BATCH					
SYSTEM DATA POCOF14.AOLDEN.DATA(H3E62)													
CITATION DATA POCOF14.AOLCIT.DATA(H3E62)													
TABLE DATA SYS99103.T175200.SV382.POCOF140.TBLIN													
OUTPUT FILE (FLUX)													
OUTPUT FILE (POWER)													
OUTPUT FILE (APPLE) POCOF14.AOLAPL.DATA(H3E62)													

付表A-11

酸化物燃料炉心計算

(1599 MWTH)

V5.40

炉心高さ				100 cm	集合体ピッチ				16.07 cm				
ピン径				8.5 mm	Pu富化度	(内側)			17.52 W/O				
炉心直径				cm		(外側)			22.20 W/O				
サイクル		K-EFF	燃焼反応度 (%ΔK/KK')	最大高速中性子束 (n/cm ² *s)	最大線出力 (w/cm)			ピーティング係数					
4	BOC	1.025002	1.77	2.858E+15	406.6	424.1	1.04	1.19	1.23	1.467			
	EOC	1.006715		3.095E+15	432.0	391.1	0.91	1.26	1.21	1.527			
サイクル		増殖比		Fissile Pu量 (T)			原子炉倍増時間 (年)	炉心平均燃焼度 (MWD/T)					
		(炉心)	(全体)	(炉心)	(軸ブラ)	(径ブラ)	(計)	(炉心)	(軸ブラ)	(径ブラ)			
4	BOC	0.876	1.137	2.420	0.143	0.000	2.563	42.9	84900	96.5	3.5	0.0	
	EOC	0.847	1.118	2.356	0.277	0.000	2.634			94.4	5.6	0.0	
7群ミクロ断面積 POCOF14.HOXFP.MIC7G								備考 365DAYS CORE 3BATCH BLANKET 4BATCH					
SYSTEM DATA POCOF14.AOLDEN.DATA(HFIX2)													
CITATION DATA POCOF14.AOLCIT.DATA(HFIX2)													
TABLE DATA SYS99120.T093143.SV627.POCOF140.TBLIN													
OUTPUT FILE (FLUX)													
OUTPUT FILE (POWER)													
OUTPUT FILE (APPLE) POCOF14.AOLAPL.DATA(HFIX2)													

付表A-12

酸化物燃料炉心計算

(1599 MWTH)

V5.40

炉心高さ	100	cm	集合体ピッチ	16.07	cm						
ピン径	8.5	mm	Pu富化度	(内側)	18.67 W/O						
炉心直径	cm			(外側)	23.94 W/O						
サイクル	K-EFF	燃焼反応度 (%△K/KK')	最大高速中性子束 (n/cm ² s)	最大線出力 (w/cm)	ピーリング係数						
				(内側炉心) (外側炉心) (外/内)	(径方向) (軸方向) (炉心)						
4	BOC	1.019056	2.748E+15	397.2	426.9	1.07	1.20	1.23	1.478		
	EOC	1.000141	2.996E+15	424.2	393.7	0.93	1.24	1.21	1.501		
サイクル	増殖比		Fissile Pu量 (T)			原子炉倍増時間 (年)	炉心平均燃焼度 (MWD/T)			出力分担率 (%)	
	(炉心)	(全体)	(炉心)	(軸プラ)	(径プラ)		(炉心)	(軸プラ)	(径プラ)		
4	BOC	0.879	1.138	2.283	0.139	0.000	2.422	84800	96.4	3.6	0.0
	EOC	0.848	1.117	2.225	0.268	0.000	2.493		94.3	5.7	0.0

付表A-13

酸化物燃料炉心計算

(1599 MWTH)

V5.40

炉心高さ				100	cm	集合体ピッチ				16.07	cm												
ピン径				8.5	mm	Pu富化度	(内側)			17.52	W/O												
炉心直径				cm			(外側)			22.20	W/O												
サイクル		K-EFF	燃焼反応度 (%△K/KK')	最大高速中性子束 (n/cm ² *s)	最大線出力 (w/cm)			ピーリング係数															
4	BOC	0.988375	1.20	2.976E+15	416.1	420.6	1.01	1.18	1.23	1.461													
	EOC	0.976785		3.212E+15	443.8	387.2	0.87	1.30	1.21	1.578													
サイクル		増殖比		Fissile Pu量 (T)			原子炉倍増時間 (年)	炉心平均燃焼度 (MWD/T)	出力分担率 (%)														
		(炉心)	(全体)	(炉心)	(軸プラ)	(径プラ)			(炉心)	(軸プラ)	(径プラ)												
4	BOC	0.934	1.207	2.156	0.145	0.000	2.302	25.3	84500	96.1	3.9												
	EOC	0.885	1.165	2.128	0.280	0.000	2.408			93.8	6.2												
7群ミクロ断面積 POCOF14.H3E60.MIC7G								備考 365DAYS CORE 3BATCH BLANKET 4BATCH															
SYSTEM DATA				POCOF14.AOLDEN.DATA(HFIX3)																			
CITATION DATA				POCOF14.AOLCIT.DATA(HFIX3)																			
TABLE DATA				SYS99120.T102224.SV631.POCOF140.TBLIN																			
OUTPUT FILE (FLUX)																							
OUTPUT FILE (POWER)																							
OUTPUT FILE (APPLE) POCOF14.AOLAPL.DATA(HFIX3)																							

付表A-14

酸化物燃料炉心計算

(1599 MWTH)

v5.40

JNC TN9400 99-043

炉心高さ	100	cm	集合体ピッチ	16.07	cm
ピン径	8.5	mm	Pu富化度	(内側)	21.43 W/O
炉心直徑	cm			(外側)	25.90 W/O
サイクル	K-EFF	燃焼反応度 (%△K/KK')	最大高速中性子束 (n/cm ² *s)	最大線出力 (w/cm)	ピーリング係数
	BOC	1.036015	3.48	(内側炉心) 423.5	(外側炉心) 412.9
	EOC	0.999938		(外/内) 0.97	(径方向) 1.19
				(軸方向) 1.22	(炉心) 1.466
サイクル	増殖比	Fissile Pu量 (T)	原子炉倍増時間 (年)	炉心平均燃焼度 (MWD/T)	出力分担率 (%)
	(炉心) (全体)	(炉心) (軸プラ) (径プラ) (計)			(炉心) (軸プラ) (径プラ)
	BOC	0.729 0.994	2.459 0.143 0.000 2.603	-804.5 95900	96.4 3.6 0.0
	EOC	0.728 1.012	2.321 0.278 0.000 2.599		94.2 5.8 0.0
7群ミクロ断面積	POCOF14.HOXFP.MIC7G				
SYSTEM DATA	POCOF14.AA1DEN.DATA(HEQ10)				
CITATION DATA	POCOF14.AA1CIT.DATA(HEQ10)				
TABLE DATA	SYS99168.T100445.SV606.POCOF140.TBLIN				
OUTPUT FILE (FLUX)					
OUTPUT FILE (POWER)					
OUTPUT FILE (APPLE)	POCOF14.AA1APL.DATA(HEQ10)				

付表A-15

酸化物燃料炉心計算

(1599 MWTH)

V5.40

炉心高さ				100 cm	集合体ピッチ				16.07 cm				
ピン径				8.5 mm	Pu富化度	(内側)				22.96 W/O			
炉心直径				cm		(外側)				27.96 W/O			
サイクル		K-EFF	燃焼反応度 (%△K/KK')	最大高速中性子束 (n/cm ² *s)	最大線出力 (w/cm)			ピーリング係数					
4	BOC	1.073563	3.82	2.828E+15	411.6	417.7	1.01	(径方向)	(軸方向)	(炉心)			
	EOC	1.031262		2.943E+15	403.8	390.2	0.97	1.18	1.22	1.441			
サイクル		増殖比		Fissile Pu量 (T)			原子炉倍増時間 (年)	炉心平均燃焼度 (MWD/T)	出力分担率 (%)				
		(炉心)	(全体)	(炉心)	(軸プラ)	(径プラ)			(炉心)	(軸プラ)	(径プラ)		
4	BOC	0.678	0.926	2.627	0.136	0.000	2.763	-81.4 96200	96.7	3.3	0.0		
	EOC	0.686	0.954	2.459	0.264	0.000	2.723		94.7	5.3	0.0		
7群ミクロ断面積 POCOF14.HOXFP.MIC7G								備考 365DAYS CORE 3BATCH BLANKET 4BATCH					
SYSTEM DATA POCOF14.AA1DEN.DATA(HEQ10)													
CITATION DATA POCOF14.AA1CIT.DATA(HEQ10)													
TABLE DATA SYS99168.T100837.SV607.POCOF140.TBLIN													
OUTPUT FILE (FLUX)													
OUTPUT FILE (POWER)													
OUTPUT FILE (APPLE) POCOF14.AA1APL.DATA(HEQ10)													

付録B 重金属物質収支表

- 付表B-1-1 Case1-1（「基準炉心」、酸化物燃料、全体）
- 付表B-1-2 Case1-1（「基準炉心」、酸化物燃料、炉心部）
- 付表B-1-3 Case1-1（「基準炉心」、酸化物燃料、全体、装荷及び取り出し）
- 付表B-2-1 Case1-2（「基準炉心」、窒化物燃料、全体）
- 付表B-2-2 Case1-2（「基準炉心」、窒化物燃料、炉心部）
- 付表B-2-3 Case1-2（「基準炉心」、窒化物燃料、全体、装荷及び取り出し）
- 付表B-3-1 Case1-3（「基準炉心」、金属燃料、全体）
- 付表B-3-2 Case1-3（「基準炉心」、金属燃料、炉心部）
- 付表B-3-3 Case1-3（「基準炉心」、金属燃料、全体、装荷及び取り出し）
- 付表B-4-1 Case3-1（「平衡炉心」、酸化物燃料、全体）
- 付表B-4-2 Case3-1（「平衡炉心」、酸化物燃料、炉心部）
- 付表B-4-3 Case3-1（「平衡炉心」、酸化物燃料、全体、装荷及び取り出し）
- 付表B-5-1 Case3-2（「平衡炉心」、窒化物燃料、全体）
- 付表B-5-2 Case3-2（「平衡炉心」、窒化物燃料、炉心部）
- 付表B-5-3 Case3-2（「平衡炉心」、窒化物燃料、全体、装荷及び取り出し）
- 付表B-6-1 Case3-3（「平衡炉心」、金属燃料、全体）
- 付表B-6-2 Case3-3（「平衡炉心」、金属燃料、炉心部）
- 付表B-6-3 Case3-3（「平衡炉心」、金属燃料、全体、装荷及び取り出し）

CASE : OXI

付表B-1-1	1CY. BOC (TOTAL)	4CY. BOC (TOTAL)	4CY. EOC (TOTAL)	4CY. BALANCE	FRESH FUEL	SPENT FUEL
PU238	7.91	7.43	7.78	0.36	2.64	2.99
PU239	2269.39	2319.39	2363.91	44.52	756.46	800.98
PU240	1344.23	1342.97	1342.06	-0.90	448.08	447.17
PU241	205.59	208.96	211.54	2.58	68.53	71.11
PU242	126.52	127.38	128.29	0.91	42.17	43.09
U235	90.70	76.76	64.61	-12.15	30.23	18.08
U236	0.00	3.27	6.00	2.73	0.00	2.73
U238	30141.31	29468.35	28807.45	-660.90	10047.10	9386.20
NP237	0.00	2.51	4.76	2.24	0.00	2.24
NP239	0.00	3.62	5.34	1.73	0.00	1.73
AM241	0.00	8.41	15.81	7.40	0.00	7.40
AM242	0.00	0.23	0.55	0.32	0.00	0.32
AM243	0.00	5.35	10.11	4.76	0.00	4.76
CM242	0.00	0.52	1.09	0.57	0.00	0.57
CM243	0.00	0.02	0.05	0.03	0.00	0.03
CM244	0.00	0.77	1.99	1.22	0.00	1.22
CM245	0.00	0.03	0.10	0.07	0.00	0.07
PU..TOTAL	3953.63	4006.13	4053.59	47.46	1317.88	1365.34
PU..FISSILE	2474.98	2528.35	2575.45	47.10	824.99	872.09
FIS.RATIO.(%)	62.60	63.11	63.54	0.00	62.60	63.87
PU..ENRICHMENT.(W/O)	11.57	11.93	12.29	0.00	11.57	12.65
U..TOTAL	30232.00	29548.38	28878.06	-670.32	10077.33	9407.01
U235	90.70	76.76	64.61	-12.15	30.23	18.08
U..ENRICHMENT.(W/O)	0.30	0.26	0.22	0.00	0.30	0.19
TRU..TOTAL	0.00	21.44	39.80	18.36	0.00	18.36
NP..TOTAL	0.00	6.13	10.10	3.97	0.00	3.97
AM..TOTAL	0.00	13.98	26.47	12.49	0.00	12.49
CM..TOTAL	0.00	1.33	3.23	1.90	0.00	1.90
TRU.RATIO.(W/O)	0.00	0.06	0.12	0.00	0.00	0.17
HM..TOTAL	34185.63	33575.94	32971.44	-604.50	11395.21	10790.70
RE..TOTAL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FP..TOTAL	0.00	618.44	1231.01	612.56	0.00	612.56

CASE : OXI

付表B-I-2	1CY. BOC (CORE TOTAL)	4CY. BOC (CORE TOTAL)	4CY. EOC (CORE TOTAL)	4CY. BALANCE	FRESH FUEL	SPENT FUEL
PU238	7.91	7.40	7.72	0.32	2.64	2.95
PU239	2269.39	2180.62	2095.92	-84.71	756.46	671.76
PU240	1344.23	1338.85	1330.99	-7.87	448.08	440.21
PU241	205.59	208.86	211.17	2.31	68.53	70.84
PU242	126.52	127.38	128.28	0.91	42.17	43.08
U235	47.18	37.31	28.96	-8.36	15.73	7.37
U236	0.00	2.18	3.93	1.75	0.00	1.75
U238	15679.28	15166.96	14666.41	-500.55	5226.43	4725.88
NP237	0.00	2.22	4.18	1.95	0.00	1.95
NP239	0.00	2.67	3.93	1.26	0.00	1.26
AM241	0.00	8.40	15.80	7.40	0.00	7.40
AM242	0.00	0.23	0.55	0.32	0.00	0.32
AM243	0.00	5.35	10.11	4.76	0.00	4.76
CM242	0.00	0.52	1.09	0.57	0.00	0.57
CM243	0.00	0.02	0.05	0.03	0.00	0.03
CM244	0.00	0.77	1.99	1.22	0.00	1.22
CM245	0.00	0.03	0.10	0.07	0.00	0.07
PU..TOTAL	3953.63	3863.12	3774.08	-89.04	1317.88	1228.83
PU..FISSILE	2474.98	2389.48	2307.09	-82.40	824.99	742.59
FIS.RATIO.(%)	62.60	61.85	61.13	0.00	62.60	60.43
PU..ENRITHMENT.(W/O)	20.09	20.24	20.39	0.00	20.09	20.54
U..TOTAL	15726.46	15206.45	14699.29	-507.16	5242.15	4734.99
U235	47.18	37.31	28.96	-8.36	15.73	7.37
U..ENRICHMENT.(W/O)	0.30	0.25	0.20	0.00	0.30	0.16
TRU..TOTAL	0.00	20.21	37.80	17.59	0.00	17.59
NP..TOTAL	0.00	4.90	8.11	3.21	0.00	3.21
AM..TOTAL	0.00	13.98	26.46	12.48	0.00	12.48
CM..TOTAL	0.00	1.33	3.23	1.90	0.00	1.90
TRU.RATIO.(W/O)	0.00	0.11	0.20	0.00	0.00	0.29
HM..TOTAL	19680.08	19089.77	18511.16	-578.61	6560.02	5981.42
RE..TOTAL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FP..TOTAL	0.00	603.35	1193.95	590.60	0.00	590.60

付表B-1-3 重金屬物質收支 OX1

照射日数 365 バッチ数 3 ピン径 8.5mm ワイヤ径 1.30mm

項目		平衡炉心					
		炉心燃料			軸方向ブランケット 燃料	径方向ブランケット 燃料	合計
		内側炉心	外側炉心	合計			
装荷	本数	36	46	82	82	0	82
	Pu + U kg	2877	3683	6560	4835	0	11395
	Pu kg	502	816	1318	0	0	1318
	U kg	2375	2868	5242	4835	0	10077
	Pu (fis) kg	314	511	825	0	0	825
	U ²³⁵ kg	7	9	16	15	0	30
	Pu 富化度 (%)	17.45	22.16	20.09	0.00	0.00	11.57
	U 濃縮度 (%)	0.29	0.31	0.31	0.31	0.00	0.30
取出	本数	36	46	82	82	0	82
	Pu + U kg	2590	3373	5964	4809	0	10772
	Pu kg	490	739	1229	137	0	1365
	U kg	2101	2634	4735	4672	0	9407
	Pu (fis) kg	301	441	743	129	0	872
	U ²³⁵ kg	3	5	7	11	0	18
	Pu 富化度 (%)	18.92	21.91	20.61	2.85	0.00	12.67
	U 濃縮度 (%)	0.14	0.19	0.15	0.24	0.00	0.19

CASE : NIT

付表B-2-1	1CY. BOC	4CY. BOC	4CY. EOC	4CY. BALANCE	FRESH FUEL	SPENT FUEL
	(TOTAL)	(TOTAL)	(TOTAL)			
PU238	6.89	6.46	6.64	0.18	2.30	2.48
PU239	2396.96	2589.64	2759.36	169.72	798.98	968.71
PU240	885.07	922.43	961.04	38.61	295.02	333.64
PU241	113.65	120.09	126.34	6.24	37.88	44.13
PU242	41.33	43.66	46.06	2.40	13.78	16.18
U235	131.46	113.32	97.35	-15.97	43.82	27.84
U236	0.00	4.11	7.61	3.50	0.00	3.50
U238	43687.22	42842.47	42013.57	-828.89	14562.41	13733.51
NP237	0.00	3.39	6.45	3.06	0.00	3.06
NP239	0.00	4.50	6.66	2.16	0.00	2.16
AM241	0.00	4.90	9.41	4.51	0.00	4.51
AM242	0.00	0.12	0.29	0.17	0.00	0.17
AM243	0.00	1.60	3.10	1.50	0.00	1.50
CM242	0.00	0.26	0.57	0.30	0.00	0.30
CM243	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.02
CM244	0.00	0.19	0.52	0.32	0.00	0.32
CM245	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.02
PU..TOTAL	3443.89	3682.28	3899.45	217.17	1147.96	1365.13
PU..FISSILE	2510.60	2709.73	2885.70	175.97	836.87	1012.83
FIS.RATIO.(%)	72.90	73.59	74.00	0.00	72.90	74.19
PU..ENRICHMENT.(W/O)	7.29	7.89	8.47	0.00	7.29	9.02
U..TOTAL	43818.68	42959.90	42118.53	-841.37	14606.22	13764.85
U235	131.46	113.32	97.35	-15.97	43.82	27.84
U..ENRICHMENT.(W/O)	0.30	0.26	0.23	0.00	0.30	0.20
TRU..TOTAL	0.00	14.98	27.04	12.06	0.00	12.06
NP..TOTAL	0.00	7.89	13.11	5.22	0.00	5.22
AM..TOTAL	0.00	6.62	12.80	6.18	0.00	6.18
CM..TOTAL	0.00	0.47	1.13	0.66	0.00	0.66
TRU.RATIO.(W/O)	0.00	0.03	0.06	0.00	0.00	0.08
HM..TOTAL	47262.56	46657.15	46045.01	-612.15	15754.18	15142.04
RE..TOTAL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FP..TOTAL	0.00	603.31	1214.30	610.99	0.00	610.99

CASE : NIT

付表B-2-2	1CY. BOC (CORE TOTAL)	4CY. BOC (CORE TOTAL)	4CY. EOC (CORE TOTAL)	4CY. BALANCE |	FRESH FUEL |	SPENT FUEL|
PU238	6.89	6.44	6.59	0.15	2.30	2.44
PU239	2396.96	2434.46	2457.79	23.33	798.98	822.32
PU240	885.07	919.08	951.97	32.89	295.02	327.91
PU241	113.65	120.03	126.11	6.08	37.88	43.96
PU242	41.33	43.66	46.06	2.40	13.78	16.18
U235	71.10	57.57	45.95	-11.63	23.70	12.07
U236	0.00	2.92	5.32	2.40	0.00	2.40
U238	23629.62	22961.34	22308.48	-652.86	7876.54	7223.68
NP237	0.00	3.07	5.80	2.73	0.00	2.73
NP239	0.00	3.46	5.11	1.65	0.00	1.65
AM241	0.00	4.90	9.40	4.50	0.00	4.50
AM242	0.00	0.12	0.29	0.17	0.00	0.17
AM243	0.00	1.60	3.10	1.50	0.00	1.50
CM242	0.00	0.26	0.57	0.30	0.00	0.30
CM243	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.02
CM244	0.00	0.19	0.52	0.32	0.00	0.32
CM245	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.02
PU..TOTAL	3443.89	3523.68	3588.53	64.85	1147.96	1212.81
PU..FISSILE	2510.60	2554.49	2583.90	29.41	836.87	866.28
FIS.RATIO.(X)	72.90	72.50	72.00	0.00	72.90	71.43
PU..ENRICHMENT.(W/O)	12.69	13.27	13.82	0.00	12.69	14.33
U..TOTAL	23700.72	23021.84	22359.75	-662.09	7900.24	7238.14
U235	71.10	57.57	45.95	-11.63	23.70	12.07
U..ENRICHMENT.(W/O)	0.30	0.25	0.21	0.00	0.30	0.17
TRU..TOTAL	0.00	13.62	24.83	11.21	0.00	11.21
NP..TOTAL	0.00	6.53	10.92	4.38	0.00	4.38
AM..TOTAL	0.00	6.61	12.79	6.18	0.00	6.18
CM..TOTAL	0.00	0.47	1.13	0.66	0.00	0.66
TRU.RATIO.(W/O)	0.00	0.05	0.10	0.00	0.00	0.13
HM..TOTAL	27144.61	26559.13	25973.11	-586.03	9048.20	8462.17
RE..TOTAL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FP..TOTAL	0.00	587.08	1175.46	588.38	0.00	588.38

付表B-2-3 重 金 属 物 質 収 支 NIT

照射日数 365 バッチ数 3 ピン径 8.5mm ワイヤ径 1.30mm

項 目	平 衡 炉 心						
	爐 心 燃 料			軸方向ブランケット 燃 料	径方向ブランケット 燃 料	合 計	
	内 側	爐 心	外 側				
装 荷	本 数	36	46	82	82	0	82
	P u + U kg	3973	5076	9048	6706	0	15754
	P u kg	423	725	1148	0	0	1148
	U kg	3550	4351	7900	6706	0	14606
	P u (fis) kg	308	528	837	0	0	837
	U ²³⁵ kg	11	13	24	20	0	44
	P u 富化度 (%)	10.65	14.28	12.69	0.00	0.00	7.29
取 出	U 濃縮度 (%)	0.31	0.30	0.30	0.30	0.00	0.30
	本 数	36	46	82	82	0	82
	P u + U kg	3697	4754	8451	6679	0	15130
	P u kg	491	722	1213	152	0	1365
	U kg	3206	4032	7238	6527	0	13765
	P u (fis) kg	356	510	866	147	0	1013
	U ²³⁵ kg	5	7	12	16	0	28
P u 富化度 (%)		13.28	15.19	14.35	2.28	0.00	9.02
U 濃縮度 (%)		0.16	0.17	0.17	0.25	0.00	0.20

CASE : MET

付表B-3-1	1CY. BOC (TOTAL)	4CY. BOC (TOTAL)	4CY. EOC (TOTAL)	4CY. BALANCE	FRESH FUEL	SPENT FUEL
PU238	6.53	6.07	6.17	0.10	2.18	2.27
PU239	2269.78	2443.08	2596.37	153.30	756.59	909.89
PU240	842.58	865.73	890.18	24.46	280.86	305.32
PU241	107.77	110.92	114.03	3.11	35.92	39.04
PU242	39.19	41.20	43.20	2.00	13.06	15.06
U235	124.23	106.74	91.33	-15.41	41.41	26.00
U236	0.00	3.78	6.99	3.22	0.00	3.22
U238	41285.96	40478.39	39685.50	-792.89	13761.98	12969.09
NP237	0.00	3.33	6.33	3.00	0.00	3.00
NP239	0.00	4.29	6.35	2.06	0.00	2.06
AM241	0.00	4.54	8.65	4.11	0.00	4.11
AM242	0.00	0.11	0.26	0.16	0.00	0.16
AM243	0.00	1.41	2.72	1.31	0.00	1.31
CM242	0.00	0.24	0.51	0.27	0.00	0.27
CM243	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01
CM244	0.00	0.16	0.43	0.27	0.00	0.27
CM245	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01
PU..TOTAL	3265.85	3466.98	3649.95	182.97	1088.62	1271.58
PU..FISSILE	2377.55	2553.99	2710.40	156.41	792.52	948.93
FIS.RATIO.(%)	72.80	73.67	74.26	0.00	72.80	74.63
PU..ENRICHMENT.(W/O)	7.31	7.87	8.40	0.00	7.31	8.90
U..TOTAL	41410.19	40588.91	39783.82	-805.09	13803.39	12998.30
U235	124.23	106.74	91.33	-15.41	41.41	26.00
U..ENRICHMENT.(W/O)	0.30	0.26	0.23	0.00	0.30	0.20
TRU..TOTAL	0.00	14.09	25.30	11.21	0.00	11.21
NP..TOTAL	0.00	7.62	12.68	5.06	0.00	5.06
AM..TOTAL	0.00	6.05	11.64	5.58	0.00	5.58
CM..TOTAL	0.00	0.41	0.98	0.57	0.00	0.57
TRU.RATIO.(W/O)	0.00	0.03	0.06	0.00	0.00	0.08
HM..TOTAL	44676.04	44069.97	43459.06	-610.91	14892.00	14281.09
RE..TOTAL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FP..TOTAL	0.00	605.59	1216.88	611.30	0.00	611.30

CASE : MET

付表B-3-2	1CY. BOC (CORE TOTAL)	4CY. BOC (CORE TOTAL)	4CY. EOC (CORE TOTAL)	4CY. BALANCE	FRESH FUEL	SPENT FUEL
PU238	6.53	6.05	6.11	0.06	2.18	2.24
PU239	2269.78	2282.48	2284.81	2.33	756.59	758.92
PU240	842.58	862.63	881.79	19.16	280.86	300.02
PU241	107.77	110.87	113.84	2.98	35.92	38.90
PU242	39.19	41.19	43.19	2.00	13.06	15.06
U235	66.94	54.10	43.08	-11.03	22.31	11.29
U236	0.00	2.65	4.81	2.17	0.00	2.17
U238	22245.09	21621.57	21012.13	-609.44	7415.03	6805.59
NP237	0.00	2.97	5.62	2.65	0.00	2.65
NP239	0.00	3.21	4.74	1.53	0.00	1.53
AM241	0.00	4.54	8.65	4.11	0.00	4.11
AM242	0.00	0.11	0.26	0.16	0.00	0.16
AM243	0.00	1.41	2.72	1.31	0.00	1.31
CM242	0.00	0.24	0.51	0.27	0.00	0.27
CM243	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01
CM244	0.00	0.16	0.43	0.27	0.00	0.27
CM245	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01
PU..TOTAL	3265.85	3303.22	3329.74	26.52	1088.62	1115.14
PU..FISSILE	2377.55	2393.35	2398.65	5.30	792.52	797.82
FIS.RATIO.(%)	72.80	72.45	72.04	0.00	72.80	71.54
PU..ENRICHMENT.(W/O)	12.77	13.22	13.64	0.00	12.77	14.04
U..TOTAL	22312.02	21678.32	21060.02	-618.30	7437.34	6819.04
U235	66.94	54.10	43.08	-11.03	22.31	11.29
U..ENRICHMENT.(W/O)	0.30	0.25	0.20	0.00	0.30	0.17
TRU..TOTAL	0.00	12.65	22.97	10.32	0.00	10.32
NP..TOTAL	0.00	6.18	10.36	4.18	0.00	4.18
AM..TOTAL	0.00	6.05	11.63	5.58	0.00	5.58
CM..TOTAL	0.00	0.41	0.98	0.57	0.00	0.57
TRU.RATIO.(W/O)	0.00	0.05	0.09	0.00	0.00	0.13
HM..TOTAL	25577.87	24994.19	24412.73	-581.46	8525.95	7944.49
RE..TOTAL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FP..TOTAL	0.00	587.68	1173.66	585.98	0.00	585.98

付表B-3-3 重金屬物質收支

MET

照射日数 365 パッチ数 3 ピン径 8.5mm ワイヤ径 1.30mm

項目	平衡炉心						
	炉心燃料			軸方向ブランケット 燃料	径方向ブランケット 燃料	合計	
	内側炉心	外側炉心	合計				
販荷	本数	36	46	82	82	0	82
	Pu + U kg	3743	4783	8526	6366	0	14892
	Pu kg	394	694	1089	0	0	1089
	U kg	3349	4088	7437	6366	0	13803
	Pu (fis) kg	287	506	793	0	0	793
	U ²³⁵ kg	10	12	22	19	0	41
	Pu 富化度 (%)	10.53	14.51	12.77	0.00	0.00	7.31
取出	U 濃縮度 (%)	0.30	0.29	0.30	0.30	0.00	0.30
	本数	36	46	82	82	0	82
	Pu + U kg	3470	4464	7934	6336	0	14270
	Pu kg	446	669	1115	156	0	1272
	U kg	3025	3794	6819	6179	0	12998
	Pu (fis) kg	325	473	798	151	0	949
	U ²³⁵ kg	4	7	11	15	0	26
	Pu 富化度 (%)	12.85	14.99	14.05	2.46	0.00	8.91
	U 濃縮度 (%)	0.13	0.18	0.16	0.24	0.00	0.20

CASE : OXI

付表B-4-1	1CY. BOC (TOTAL)	4CY. BOC (TOTAL)	4CY. EOC (TOTAL)	4CY. BALANCE	FRESH FUEL	SPENT FUEL
PU238	53.90	52.80	52.10	-0.70	17.97	17.27
PU239	2183.11	2207.42	2231.71	24.29	727.70	751.99
PU240	1738.38	1683.36	1631.44	-51.92	579.46	527.54
PU241	282.99	280.27	276.35	-3.92	94.33	90.41
PU242	233.58	229.54	225.59	-3.96	77.86	73.90
U235	81.61	70.20	60.12	-10.08	27.20	17.12
U236	27.36	28.44	29.21	0.77	9.12	9.89
U238	27120.23	26547.32	25982.98	-564.34	9040.07	8475.73
NP237	13.80	14.51	15.13	0.62	4.60	5.22
NP239	0.00	3.10	4.59	1.48	0.00	1.48
AM241	47.70	51.19	54.24	3.05	15.90	18.95
AM242	3.04	3.50	3.92	0.42	1.01	1.43
AM243	57.29	57.98	58.51	0.53	19.10	19.63
CM242	3.51	3.89	4.17	0.29	0.23	0.52
CM243	0.70	0.68	0.66	-0.02	0.00	-0.02
CM244	65.01	66.49	67.91	1.42	21.67	23.09
CM245	15.43	15.34	15.32	-0.02	5.14	5.12
PU..TOTAL	4491.96	4453.38	4417.17	-36.21	1497.32	1461.12
PU..FISSILE	2466.10	2487.68	2508.05	20.37	822.03	842.40
FIS.RATIO.(%)	54.90	55.86	56.78	0.00	54.90	57.65
PU..ENRICHMENT.(W/O)	14.07	14.22	14.38	0.00	14.07	14.55
U.TOTAL	27229.19	26645.96	26072.31	-573.65	9076.39	8502.74
U235	81.61	70.20	60.12	-10.08	27.20	17.12
U.ENRICHMENT.(W/O)	0.30	0.26	0.23	0.00	0.30	0.20
TRU.TOTAL	206.47	216.68	224.45	7.77	67.65	75.42
NP..TOTAL	13.80	17.62	19.72	2.10	4.60	6.70
AM..TOTAL	108.03	112.67	116.67	4.00	36.01	40.00
CM..TOTAL	84.65	86.39	88.06	1.67	27.05	28.71
TRU.RATIO.(W/O)	0.65	0.69	0.73	0.00	0.64	0.75
HM..TOTAL	31927.62	31316.02	30713.93	-602.09	10641.37	10039.27
RE..TOTAL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FP..TOTAL	0.00	623.36	1236.11	612.75	0.00	612.75

CASE : OXI

付表B-4-2	1CY. BOC (CORE TOTAL)	4CY. BOC (CORE TOTAL)	4CY. EOC (CORE TOTAL)	4CY. BALANCE	FRESH FUEL	SPENT FUEL
PU238	53.90	52.78	52.04	-0.74	17.97	17.23
PU239	2183.11	2064.34	1954.77	-109.56	727.70	618.14
PU240	1738.38	1679.44	1620.86	-58.57	579.46	520.89
PU241	282.99	280.17	275.99	-4.18	94.33	90.15
PU242	233.58	229.54	225.58	-3.96	77.86	73.90
U235	38.09	30.55	24.09	-6.46	12.70	6.24
U236	27.36	27.50	27.40	-0.09	9.12	9.02
U238	12658.20	12249.69	11849.74	-399.95	4219.40	3819.45
NP237	13.80	14.24	14.59	0.35	4.60	4.95
NP239	0.00	2.13	3.14	1.01	0.00	1.01
AM241	47.70	51.19	54.23	3.04	15.90	18.94
AM242	3.04	3.50	3.92	0.42	1.01	1.43
AM243	57.29	57.98	58.51	0.53	19.10	19.63
CM242	3.51	3.89	4.17	0.29	0.23	0.52
CM243	0.70	0.68	0.66	-0.02	0.00	-0.02
CM244	65.01	66.49	67.91	1.42	21.67	23.09
CM245	15.43	15.34	15.32	-0.02	5.14	5.12
PU..TOTAL	4491.96	4306.27	4129.25	-177.01	1497.32	1320.31
PU..FISSILE	2466.10	2344.51	2230.77	-113.74	822.03	708.29
FIS.RATIO.(%)	54.90	54.44	54.02	0.00	54.90	53.65
PU..ENRICHMENT.(W/O)	25.78	25.59	25.41	0.00	25.79	25.25
U..TOTAL	12723.65	12307.74	11901.24	-406.50	4241.21	3834.72
U235	38.09	30.55	24.09	-6.46	12.70	6.24
U..ENRICHMENT.(W/O)	0.30	0.25	0.20	0.00	0.30	0.16
TRU..TOTAL	206.47	215.44	222.45	7.01	67.65	74.66
NP..TOTAL	13.80	16.37	17.73	1.35	4.60	5.95
AM..TOTAL	108.03	112.67	116.66	3.99	36.01	40.00
CM..TOTAL	84.65	86.39	88.06	1.67	27.05	28.71
TRU.RATIO.(W/O)	1.19	1.28	1.37	0.00	1.17	1.43
HM..TOTAL	17422.08	16829.44	16252.93	-576.51	5806.18	5229.68
RE..TOTAL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FP..TOTAL	0.00	608.73	1199.88	591.15	0.00	591.15

付表B-4-3 重金属性物質收支 OXI

照射日数 365 パッチ数 3 ピン径 8.5mm ワイヤ径 1.30mm

項目	平衡炉心						
	炉心燃料			軸方向ブランケット 燃料	径方向ブランケット 燃料	合計	
	内側炉心	外側炉心	合計				
荷	本数	36	46	82	82	0	82
	Pu + U kg	2516	3222	5739	4835	0	10574
	Pu kg	585	912	1497	0	0	1497
	U kg	1931	2310	4241	4835	0	9076
	Pu (fis) kg	321	501	822	0	0	822
	U ²³⁵ kg	6	7	13	15	0	27
	Pu 富化度 (%)	23.25	28.31	26.08	0.00	0.00	14.16
	U 濃縮度 (%)	0.31	0.30	0.31	0.31	0.00	0.30
出	本数	36	46	82	82	0	82
	Pu + U kg	2231	2924	5155	4809	0	9964
	Pu kg	523	797	1320	141	0	1461
	U kg	1708	2126	3835	4668	0	8503
	Pu (fis) kg	287	422	708	134	0	842
	U ²³⁵ kg	2	4	6	11	0	17
	Pu 富化度 (%)	23.44	27.26	25.61	2.93	0.00	14.66
	U 濃縮度 (%)	0.12	0.19	0.16	0.24	0.00	0.20

CASE : NIT							
付表B-5-1	1CY. BOC (TOTAL)	4CY. BOC (TOTAL)	4CY. EOC (TOTAL)	4CY. BALANCE	FRESH FUEL	SPENT FUEL	
PU238	43.18	43.47	43.91	0.44	14.39	14.83	
PU239	2433.57	2550.28	2656.53	106.25	811.19	917.44	
PU240	1193.22	1191.20	1190.77	-0.43	397.74	397.31	
PU241	168.78	172.02	174.57	2.55	56.26	58.81	
PU242	86.35	87.55	88.77	1.22	28.78	30.00	
U235	116.95	102.02	88.74	-13.28	38.98	25.70	
U236	48.44	49.40	50.00	0.60	16.15	16.75	
U238	38866.14	38145.46	37436.28	-709.19	12955.38	12246.19	
NP237	24.05	24.68	25.21	0.53	8.02	8.55	
NP239	0.00	3.88	5.74	1.86	0.00	1.86	
AM241	37.81	39.19	40.55	1.36	12.60	13.96	
AM242	2.79	2.96	3.12	0.16	0.93	1.09	
AM243	27.01	26.57	26.22	-0.35	9.00	8.65	
CM242	2.27	2.59	2.79	0.21	0.12	0.32	
CM243	0.35	0.36	0.37	0.01	0.00	0.01	
CM244	26.14	27.02	27.80	0.79	8.71	9.50	
CM245	5.75	5.76	5.80	0.03	1.92	1.95	
PU..TOTAL	3925.09	4044.51	4154.54	110.03	1308.36	1418.40	
PU..FISSILE	2602.35	2722.29	2831.10	108.80	867.45	976.25	
FIS.RATIO.(%)	66.30	67.31	68.14	0.00	66.30	68.83	
PU..ENRITHMENT.(W/O)	9.11	9.52	9.92	0.00	9.11	'10.31	
U..TOTAL	39031.54	38296.88	37575.01	-721.87	13010.51	12288.64	
U235	116.95	102.02	88.74	-13.28	38.98	25.70	
U..ENRICHMENT.(W/O)	0.30	0.27	0.24	0.00	0.30	0.21	
TRU..TOTAL	126.16	133.00	137.59	4.59	41.30	45.89	
NP..TOTAL	24.05	28.55	30.95	2.39	8.02	10.41	
AM..TOTAL	67.61	68.72	69.88	1.16	22.54	23.70	
CM..TOTAL	34.50	35.72	36.76	1.03	10.75	11.78	
TRU.RATIO.(W/O)	0.29	0.31	0.33	0.00	0.29	0.33	
HM..TOTAL	43082.79	42474.39	41867.14	-607.24	14360.17	13752.93	
RE..TOTAL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
FP..TOTAL	0.00	613.32	1225.41	612.10	0.00	612.10	

CASE : NIT

付表B-5-2	1CY. BOC (CORE TOTAL)	4CY. BOC (CORE TOTAL)	4CY. EOC (CORE TOTAL)	4CY. BALANCE |	FRESH FUEL |	SPENT FUEL|
PU238	43.18	43.45	43.86	0.41	14.39	14.80
PU239	2433.57	2388.07	2340.76	-47.31	811.19	763.87
PU240	1193.22	1187.94	1181.91	-6.03	397.74	391.71
PU241	168.78	171.96	174.35	2.39	56.26	58.65
PU242	86.35	87.55	88.77	1.21	28.78	30.00
U235	56.60	46.14	37.09	-9.05	18.87	9.82
U236	48.44	48.33	47.94	-0.40	16.15	15.75
U238	18808.54	18271.26	17745.38	-525.89	6269.51	5743.63
NP237	24.05	24.37	24.60	0.23	8.02	8.24
NP239	0.00	2.79	4.12	1.33	0.00	1.33
AM241	37.81	39.19	40.54	1.35	12.60	13.96
AM242	2.79	2.96	3.12	0.16	0.93	1.09
AM243	27.01	26.57	26.22	-0.35	9.00	8.65
CM242	2.27	2.59	2.79	0.21	0.12	0.32
CM243	0.35	0.36	0.37	0.01	0.00	0.01
CM244	26.14	27.02	27.80	0.79	8.71	9.50
CM245	5.75	5.76	5.80	0.03	-1.92	1.95
PU..TOTAL	3925.09	3878.97	3829.64	-49.33	1308.36	1259.03
PU..FISSILE	2602.35	2560.03	2515.10	-44.93	867.45	822.52
FIS.RATIO.(%)	66.30	66.00	65.67	0.00	66.30	65.33
PU..ENRICHMENT.(W/O)	17.09	17.34	17.57	0.00	17.09	17.80
U..TOTAL	18913.58	18365.73	17830.40	-535.33	6304.52	5769.19
U235	56.60	46.14	37.09	-9.05	18.87	9.82
U..ENRICHMENT.(W/O)	0.30	0.25	0.21	0.00	0.30	0.17
TRU..TOTAL	126.16	131.60	135.35	3.75	41.30	45.04
NP..TOTAL	24.05	27.16	28.72	1.55	8.02	9.57
AM..TOTAL	67.61	68.72	69.88	1.16	22.54	23.69
CM..TOTAL	34.50	35.72	36.76	1.03	10.75	11.78
TRU.RATIO.(W/O)	0.55	0.59	0.62	0.00	0.54	0.64
HM..TOTAL	22964.83	22376.30	21795.39	-580.91	7654.18	7073.27
RE..TOTAL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FP..TOTAL	0.00	597.37	1186.81	589.44	0.00	589.44

付表B-5-3 重金屬物質収支 NIT

照射日数 365 バッチ数 3 ピン径 8.5mm ワイヤ径 1.30mm

項目	平衡炉心						
	炉心燃料			軸方向ブランケット 燃料	径方向ブランケット 燃料	合計	
	内側炉心	外側炉心	合計				
装荷	本数	36	46	82	82	0	82
	Pu + U kg	3342	4271	7613	6706	0	14319
	Pu kg	498	811	1308	0	0	1308
	U kg	2845	3460	6305	6706	0	13011
	Pu(fis) kg	330	537	867	0	0	867
	U ²³⁵ kg	9	10	19	20	0	39
	Pu富化度 (%)	14.90	18.99	17.18	0.00	0.00	9.13
取出	U濃縮度 (%)	0.32	0.29	0.30	0.30	0.00	0.30
	本数	36	46	82	82	0	82
	Pu + U kg	3067	3962	7028	6679	0	13707
	Pu kg	505	754	1259	159	0	1418
	U kg	2561	3208	5769	6519	0	12289
	Pu(fis) kg	336	486	823	154	0	976
	U ²³⁵ kg	4	6	10	16	0	26
	Pu富化度 (%)	16.47	19.03	17.91	2.38	0.00	10.35
	U濃縮度 (%)	0.16	0.19	0.17	0.25	0.00	0.21

CASE : MET

付表B-1	1CY. BOC	4CY. BOC	4CY. EOC	4CY. BALANCE	FRESH FUEL	SPENT FUEL
	(TOTAL)	(TOTAL)	(TOTAL)			
PU238	46.07	45.40	44.92	-0.49	15.36	14.87
PU239	2315.26	2400.11	2479.39	79.28	771.75	851.03
PU240	1209.45	1191.67	1175.56	-16.11	403.15	387.04
PU241	176.62	174.94	173.07	-1.87	58.87	57.00
PU242	95.99	96.60	97.14	0.54	32.00	32.54
U235	108.85	94.68	82.08	-12.61	36.28	23.68
U236	52.01	52.62	52.92	0.30	17.34	17.63
U238	36173.39	35505.99	34848.11	-657.88	12057.80	11399.92
NP237	23.45	24.12	24.68	0.57	7.82	8.38
NP239	0.00	3.59	5.31	1.72	0.00	1.72
AM241	35.78	37.76	39.53	1.77	11.93	13.70
AM242	2.85	2.92	2.99	0.08	0.95	1.03
AM243	34.56	33.33	32.23	-1.10	11.52	10.43
CM242	2.45	2.54	2.62	0.09	0.13	0.21
CM243	0.38	0.37	0.36	-0.01	0.00	-0.01
CM244	31.71	32.74	33.60	0.86	10.57	11.43
CM245	6.27	6.32	6.40	0.07	2.09	2.16
PU..TOTAL	3843.39	3908.73	3970.08	61.35	1281.13	1342.48
PU..FISSILE	2491.88	2575.05	2652.46	77.41	830.63	908.03
FIS.RATIO.(%)	64.84	65.88	66.81	0.00	64.84	67.64
PU..ENRICHMENT.(W/O)	9.53	9.84	10.15	0.00	9.53	10.46
U..TOTAL	36334.25	35653.29	34983.10	-670.19	12111.41	11441.22
U235	108.85	94.68	82.08	-12.61	36.28	23.68
U..ENRICHMENT.(W/O)	0.30	0.27	0.23	0.00	0.30	0.21
TRU..TOTAL	137.46	143.68	147.74	4.05	45.00	49.06
NP..TOTAL	23.45	27.70	29.99	2.29	7.82	10.11
AM..TOTAL	73.20	74.01	74.76	0.75	24.40	25.15
CM..TOTAL	40.81	41.97	42.99	1.01	12.79	13.80
TRU.RATIO.(W/O)	0.34	0.36	0.38	0.00	0.33	0.38
HM..TOTAL	40315.09	39705.70	39100.91	-604.79	13437.54	12832.75
RE..TOTAL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FP..TOTAL	0.00	617.65	1230.21	612.56	0.00	612.56

CASE : MET

付表B-6-2	1CY. BOC (CORE TOTAL)	4CY. BOC (CORE TOTAL)	4CY. EOC (CORE TOTAL)	4CY. BALANCE	FRESH FUEL	SPENT FUEL
PU238	46.07	45.38	44.86	-0.52	15.36	14.84
PU239	2315.26	2236.86	2161.86	-75.00	771.75	696.75
PU240	1209.45	1188.80	1167.74	-21.06	403.15	382.09
PU241	176.62	174.90	172.89	-2.00	58.87	56.87
PU242	95.99	96.60	97.14	0.54	32.00	32.53
U235	51.55	41.88	33.53	-8.35	17.18	8.83
U236	52.01	51.59	50.92	-0.67	17.34	16.67
U238	17132.52	16650.80	16178.62	-472.18	5710.84	5238.66
NP237	23.45	23.79	24.03	0.24	7.82	8.06
NP239	0.00	2.49	3.68	1.19	0.00	1.19
AM241	35.78	37.76	39.53	1.76	11.93	13.69
AM242	2.85	2.92	2.99	0.08	0.95	1.03
AM243	34.56	33.33	32.23	-1.10	11.52	10.43
CM242	2.45	2.54	2.62	0.09	0.13	0.21
CM243	0.38	0.37	0.36	-0.01	0.00	-0.01
CM244	31.71	32.74	33.60	0.86	10.57	11.43
CM245	6.27	6.32	6.40	0.07	2.09	2.16
PU..TOTAL	3843.39	3742.54	3644.50	-98.04	1281.13	1183.09
PU..FISSILE	2491.88	2411.76	2334.76	-77.00	830.63	753.62
FIS.RATIO.(%)	64.84	64.44	64.06	0.00	64.84	63.70
PU..ENRICHMENT.(W/O)	18.11	18.14	18.17	0.00	18.12	18.21
U..TOTAL	17236.08	16744.27	16263.07	-481.20	5745.36	5264.16
U235	51.55	41.88	33.53	-8.35	17.18	8.83
U..ENRICHMENT.(W/O)	0.30	0.25	0.21	0.00	0.30	0.17
TRU..TOTAL	137.46	142.26	145.45	3.19	45.00	48.19
NP..TOTAL	23.45	26.28	27.71	1.43	7.82	9.24
AM..TOTAL	73.20	74.00	74.75	0.75	24.40	25.14
CM..TOTAL	40.81	41.97	42.99	1.01	12.79	13.80
TRU.RATIO.(W/O)	0.65	0.69	0.73	0.00	0.64	0.74
HM..TOTAL	21216.92	20629.07	20053.01	-576.05	7071.49	6495.43
RE..TOTAL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FP..TOTAL	0.00	600.62	1188.64	588.03	0.00	588.03

付表B-6-3 重金属物質收支 MET

照射日数 365 バッチ数 3 ピン径 8.5mm ワイヤ径 1.30mm

項目	平衡炉心					
	炉心燃料			軸方向ブランケット 燃料	径方向ブランケット 燃料	合計
	内側炉心	外側炉心	合計			
装荷	本数	36	46	82	82	82
	Pu + U kg	3084	3942	7026	6366	13393
	Pu kg	486	796	1281	0	1281
	U kg	2599	3147	5745	6366	12111
	Pu (fis) kg	315	516	831	0	831
	U ²³⁵ kg	8	9	17	19	36
	Pu 富化度 (%)	15.76	20.19	18.23	0.00	9.56
取出	U 濃縮度 (%)	0.31	0.29	0.30	0.30	0.30
	本数	36	46	82	82	82
	Pu + U kg	2809	3639	6447	6336	12784
	Pu kg	469	715	1183	159	1342
	U kg	2340	2924	5264	6177	11441
	Pu (fis) kg	305	449	754	154	908
	U ²³⁵ kg	3	5	9	15	24
	Pu 富化度 (%)	16.70	19.65	18.35	2.51	10.50
	U 濃縮度 (%)	0.13	0.17	0.17	0.24	0.21