

# 「常陽」MK-Ⅲ炉心燃料の ウラン濃縮度低減に関する検討

1998年8月

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター

システム開発推進部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki-gun, Ibaraki-ken 311-1393 Japan.

©動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1998

## 「常陽」MK-III炉心燃料のウラン濃縮度低減 に関する検討

吉田 昌宏\*、青山 卓史\*

### 要 旨

将来、濃縮ウランの入手が困難になった場合に備え、かつ、燃料製造コスト削減を図るため、「常陽」MK-III炉心燃料のウラン濃縮度を低減した場合の燃料仕様を検討し、核計算により炉心の成立性を検討した。また、現在使用している原子炉級プルトニウム（以下、Pu）以外に、 $^{239}\text{Pu}$ の同位体組成比が90%を超える高フィッサイルPuを使用した場合についても検討した。

まず、現行のMK-III炉心燃料に対して、ウラン濃縮度を現行の18%から軽水炉燃料並みの5%以下にすることを目標とし、ウラン濃縮度の低下により減少した核分裂性物質を補完し、燃焼末期において現行のMK-III炉心と同等の臨界性を維持できるように等価フィッサイル係数を用いて燃料仕様を検討した結果、以下の結論が得られた

- 1) Pu富化度を現行の29%から35%まで増加させた場合、または高フィッサイルPuを採用した場合、内側炉心のウラン濃縮度を5%以下とすることができる。
- 2) 外側炉心のウラン濃縮度を5%以下とするには、Pu富化度を37%まで増加する必要がある。この時、内側炉心には劣化ウランを使用することができる。また、高フィッサイルPuを採用した場合、Pu富化度を33%まで増加させることにより、内側・外側炉心とも劣化ウランを使用できる。

次に、Pu富化度を増加した炉心及び高フィッサイルPuを採用した炉心の核特性を計算し、その結果を現行のMK-III標準設計炉心の値と比較した結果、以下の結論が得られた。

- 1) Pu富化度を増加した場合には、 $^{235}\text{U}$ の代わりに反応度価値の高いPuが燃焼するため、同じ運転期間でも燃焼欠損反応度が大きくなるが、新燃料との置換反応度も大きくなるため、反応度バランスは同じである。
- 2) 高フィッサイルPuを使用した場合には、燃焼によりPuのフィッサイル率は新燃料時の94%から89%まで低下するが、原子炉級Puの場合に比べて核特性に特異な変化はみられない。

---

\* 動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター 実験炉部 技術課

## Evaluation for the Nuclear Characteristics of the Low $^{235}\text{U}$ Enriched Fueled MK-III core

Akihiro YOSHIDA\*, Takafumi AOYAMA\*

### ABSTRACT

The investigation is underway to reduce the  $^{235}\text{U}$  enrichment of Joyo MK-III core fuel. The difficulties of obtaining enriched Uranium and reducing fuel fabrication costs are the items being investigated. In addition, the utilization of weapon-grade Plutonium, of which  $^{239}\text{Pu}$  content exceeds 90%, instead of current reactor-grade Pu, is also under investigation.

Initially, specification of the MK-III core fuel was adjusted in order to have the same reactivity worth as the current fuel. The  $^{235}\text{U}$  enrichment were reduced from 18% to 10%, and in some cases as low as 5%. The results are as follows:

- 1) When Pu content was improved from 30% to 35%, or when weapon-grade Pu was adopted,  $^{235}\text{U}$  enrichment can be decreased lower than 5% for the inner core fuel.
- 2) To decrease  $^{235}\text{U}$  enrichment lower than 5% for outer core fuel, Pu content must be improved up to 37%. Then depleted Uranium can be adopted for the inner core fuel. When weapon-grade Pu was adopted and Pu content was improved up to 33%, depleted Uranium can be utilized for both inner and outer core fuel

The nuclear characteristics of the low  $^{235}\text{U}$  enriched fueled core were calculated and compared with that of the MK-III standard core(reference core). The results are as follows:

- 1) With the increase of  $^{239}\text{Pu}$  and  $^{241}\text{Pu}$ , burn-up reactivity increase. By increasing the substitution reactivity between a spent fuel and fresh fuel subassembly, burn-up reactivity could be compensated.
- 2) When weapon-grade Pu was adopted, the change of Pu vector per unit burn-up increased when compared with current core fuel. However, the nuclear characteristics were almost the same when compared with the standard core.

---

\* Reactor Technology Section, Experimental Reactor Division, O-arai Engineering Center, PNC

## 目 次

1. 緒 言	1
2. 燃料仕様変更の検討のためのサーベイ計算	2
2.1 サーベイ目標の設定	2
2.2 サーベイケースの選定	2
2.3 サーベイ計算方法	2
2.4 結果	3
3. ウラン濃縮度低減炉心の核計算	17
3.1 計算ケース設定	17
3.2 計算方法	17
3.3 結果	17
4. 結 言	29
参考文献	30

## 表リスト

表 2.2.1	ウラン濃縮度低減効果サーベイケース	5
表 2.2.2	MK-III炉心の主要仕様	6
表 2.3.1	MK-III標準平衡炉心のPu等価フィッサイル係数	7
表 2.3.2	エネルギー群構造と核分裂スペクトル	8
表 2.4.1	主要核特性計算結果	9
表 3.3.1	サーベイ計算結果	19
表 3.3.2	最大中性子束（平行炉心末期）	19
表 3.3.3	各列最大集合体出力	19
表 3.3.4	各列最大線出力	19
表 3.3.5	出力ピーキング係数	20
表 3.3.6	最高燃焼度（平行炉心末期）	20
表 3.3.7	重金属インベントリ（新燃料時）	20
表 3.3.8	燃焼に伴うPu同位体重量比の相対変化（ケース3）	21
表 3.3.9	燃焼に伴うPu同位体組成比の相対変化（ケース3）	22
表 3.3.10	燃焼に伴うPu同位体重量比の相対変化（ケース4）	23
表 3.3.11	燃焼に伴うPu同位体組成比の相対変化（ケース4）	24

## 図リスト

図 2.2.1	実効断面積作成フロー	10
図 2.2.2	定格出力時の温度分布	11
図 2.2.3	"2DBURN"による2次元RZ計算フロー	12
図 2.2.4	MK-III標準炉心構成	13
図 2.2.5	MK-III標準炉心二次元RZ体系	14
図 2.2.6	燃焼チェーン	15
図 2.4.1	各燃料パラメータのウラン濃縮度低減効果	16
図 3.3.1	中性子スペクトル (ケース1)	25
図 3.3.2	中性子スペクトル (ケース2)	26
図 3.3.3	中性子スペクトル (ケース3)	27
図 3.3.4	中性子スペクトル (ケース4)	28

## 1. 緒 言

高速実験炉「常陽」は小型炉心であり、軽水炉燃料を再処理したプルトニウム（以下、Pu）だけでは臨界に必要な核物質質量を確保できないため、Puと濃縮ウランを混合させたMOX燃料を炉心燃料に使用している。これまで、ウラン濃縮度を調整することにより、照射試験の遂行に必要な炉心反応度を確保するとともに、軽水炉燃料の高燃焼度化に伴うPu高次化にも対応してきた。

今後、現在使用している約18%の濃縮ウランの入手が困難になった場合に備え、かつ、燃料製造コスト低減の観点から、「常陽」MK-III炉心燃料のウラン濃縮度低減について検討した。まず、炉心燃料のウラン濃縮度を低減した場合でも、現行と同等の臨界性を有する燃料仕様をサーベイし、次に、核特性の観点からウラン濃縮度を低減した炉心の成立性を評価した。また、現在使用している原子炉級Pu以外に、 $^{239}\text{Pu}$ の同位体組成比が90%を超える高フィッサイルPuを使用した場合についても検討した。



## 2. 燃料仕様変更の検討のためのサーベイ計算

ウラン濃縮度を低減した場合に必要な炉心反応度を確保する方法をサーベイするため、MK-III炉心燃料の燃料仕様をパラメータとした核計算を行い、各々の燃料仕様を変更した時のウラン濃縮度低減効果を評価した。

### 2.1 サーベイ目標の設定

目標とするウラン濃縮度は現行の18%に対して、第1ステップとして10%以下とし、さらに、可能な場合は、入手性及び燃料製造コスト低減の観点から軽水炉並みの5%以下とする。

### 2.2 サーベイケース選定

ウラン濃縮度を低減した場合、炉心燃料のフィッサイル量が低減する。これによる炉心の反応度低下を抑制するため、下記の燃料仕様変更案を検討した。

- 1) 炉心燃料のPu富化度増加により、減少したフィッサイル量を補う。今回、これまでのMOX燃料の製造・使用経験から、Pu富化度35%までをサーベイ範囲とし、Pu富化度32%（ケース1-1）、35%（ケース1-2）の計算を行う。
- 2) 燃料インベントリを増加させることにより、減少したフィッサイル量を補う。インベントリ増加方策の一つとして、被覆管薄肉化により燃料ペレットを太径化した場合について検討する。ここでは、概算で集合体あたりの燃料体積比を現行より4%増（ケース2-1）及び8%増（ケース2-2）とした場合の計算を行う。  
同様に、ペレット径は従来通りとし、燃料スタック長を現行の50cmから55cm（ケース3-1）、60cm（ケース3-2）とした場合の計算を行う。
- 3) 燃料を現行のMOX燃料から重金属の充填率を上げることができる窒化物燃料とする（ケース4）。変更にあたっては、ピン径等の仕様はすべて従来通りとし、動燃のリサイクル炉研究結果<sup>1)</sup>を参考にスミヤ密度を80%とした。
- 4) 高フィッサイルPu（核兵器級Pu）を採用することにより、単位重量あたりのフィッサイル量を増加させる（ケース5）。

設定したサーベイケースを表2.2.1に示す。計算にあたり、MK-III標準平衡炉心<sup>2)</sup>をリファレンスとした（ケース0）。MK-III炉心の主要仕様を表2.2.2に示す。なお、今回の検討では、核設計の成立性のみを評価し、熱設計等の検討は行わないこととする。

### 2.3 サーベイ計算方法

#### 2.3.1 ウラン濃縮度の設定

表2.2.1に示した各ケースについて、Pu等価フィッサイル係数を用いて、平衡末期における臨界性が現行のMK-III標準炉心と同等となり、かつ、内側・外側炉心の最大線出力がほぼ同じとなる内側・外側炉心燃料のウラン濃縮度を求める。「常陽」MK-III標準平衡炉心のPu等価フィッサイル係数を表2.3.1に示す。これは別途

摂動計算により求めたものであり、この時の原子数密度、断面積作成方法、計算体系等は後述の2.3.2、2.3.3に記載のものと同じである。なお、今回のサーベイは、ウラン濃縮度低減効果を概算することが目的であるため、簡易的にウラン濃縮度を内側/外側同じとして行った。

### 2.3.2 原子数密度、実効断面積の作成

2.3.1で設定した燃料仕様を基に、各ケースの炉心燃料の新燃料時の原子数密度を作成した。この時、Pu組成 (Pu-238/Pu-239/Pu-240/Pu-241/Pu-242) については、ケース6を除くすべてのケースはリファレンスと同じとし (1/63/24/8/4)、ケース6は0.012/93.8/5.8/0.35/0.02とした。

実効断面積は、核定数セットとしてJFS-3-J2<sup>3)</sup> (70群) を用い、"ODDBURN"コードの1次元拡散計算により、縮約中性子束を算出し、これを用いてケース毎に7群の実効断面積を作成した。70及び7群のエネルギー群構造と核分裂スペクトルを表2.3.2に、計算フローを図2.3.1に、体系作成に用いた定格出力時の領域毎温度分布を図2.3.2に示す。ここで、核分裂スペクトルは<sup>239</sup>Puの値を使用した。

### 2.3.3 確認計算、核特性の評価

計算コード"2DBURN"の2次元RZ7群拡散計算により、平衡炉心末期の実効増倍率、中性子束及び出力分布等の核特性を算出した。計算手法はMK-III炉心の設計に用いたものと同じであり、運転日数は1サイクル60日とし、バッチ分散方式 (0,1,2,3,4,5列についてそれぞれ5,5,6,6,7,8バッチ) の燃料交換計画に基づき9サイクルの燃焼計算を行った。計算フローを図2.3.3、リファレンスとしたMK-III標準平衡炉心の構成を図2.3.4、RZ計算モデルを図2.3.5、燃焼チェーンを図2.3.6に示す。

計算では、照射燃料集合体の配置、組成は全ケースともリファレンスと同じとし、照射燃料集合体と遮へい集合体の燃焼は無視した。また、核特性が下記の条件を満たすように、ウラン濃縮度を微調整した。

- ・ 実効増倍率が0.994(リファレンス炉心平衡末期)±0.001
- ・ 内側炉心と外側炉心の最大線出力の比が1.00±0.01

なお、今回の作業では、下記の補正係数を各ケースについて新たに求めることはせず、MK-III標準設計炉心の設計と同じ値を用いた。

- ・ 最大線出力評価用ピーキング係数 (ピン配列効果の考慮)
- ・ 制御棒挿入による線出力上昇量補正係数  
(計算はすべて制御棒全引抜状態で実施)

## 2.4 結果

各ケースについて得られたウラン濃縮度と主要核特性計算結果を表2.4.1に示す。各ケースに関する評価結果を下記にまとめる。

- 1) Pu富化度を35%まで増加させた場合、ウラン濃縮度を9%まで低減できる。
- 2) 集合体内の燃料体積比を8%増加させた場合、ウラン濃縮度を13%まで低減できる。

- 3) 燃料スタック長を10cm延長させた場合、ウラン濃縮度を12%まで低減できる。
- 4) 窒化物燃料を採用した場合、ウラン濃縮度を5%まで低減できる。
- 5) 高フィッサイルPuを用いた場合、ウラン濃縮度を9%まで低減できる。
- 6) Pu富化度、集合体内燃料体積比及び燃料スタック長とウラン濃縮度の関係を図2.4.1に示す。これより、各パラメータの変化に対し、ウラン濃縮度はほぼ直線的に変化することがわかった。
- 7)  $^{235}\text{U}$ と比較し、等価フィッサイル係数の大きな $^{239}\text{Pu}$ 、 $^{241}\text{Pu}$ の割合が増えることにより、燃焼欠損反応度は大きくなり、リファレンスの $1.56\% \Delta k/kk'$ に対し、Pu富化度を35%としたケース1-2で $1.60\% \Delta k/kk'$ 、高フィッサイルPuを使用したケース5で $1.68\% \Delta k/kk'$ となった。
- 8) ケース1、5、6では、リファレンスと比較して中性子束が2~5%上昇した。これは、等価フィッサイル係数の大きな $^{239}\text{Pu}$ 、 $^{241}\text{Pu}$ の割合が増えることにより、リファレンスケースと比較して少ない核分裂性物質質量で同等の臨界性を維持できるためである。

以上より、燃料仕様の変更によるウラン濃縮度の低減効果及び平衡炉心核特性への影響を把握した。この結果、第一目標であるウラン濃縮度10%以下を満足したのは、Pu富化度35%以上、窒化物燃料採用及び高フィッサイルPu採用の3ケースであった。

表2.2.1 ウラン濃縮度低減効果サーベイケース

低減化方策 ケースNo.	リファレンス	Pu富化度増加		燃料ペレット太径化		燃料スタック長尺化		窒化物燃料使用	高フィッサイルPu使用
	0	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2	4	5
Pu富化度	内側23.0%	パラメータ	パラメータ	内側23.0%	←	←	←	←	←
	外側28.8%	32%	35%	外側28.8%	←	←	←	←	←
燃料体積比*	37.2%	←	←	38.7%	40.2%	37.2%	←	←	←
スタック長**	55cm	←	←	←	←	55cm	60cm	50cm	←
燃料形態	MOX	←	←	←	←	←	←	窒化物	MOX
Pu組成***	A	←	←	←	←	←	←	←	B
備考	MK-III 標準炉心								

\*) 軸方向燃料領域の水平断面に占める燃料の面積割合。構造材面積割合を一定とし、冷却材面積を調整。

\*\*) 燃料軸方向中心を固定し、ガスプレナム部、下部空間部をそれぞれ2.5、5.0cmづつ減少。

\*\*\*) A (原子炉級Pu) :  $^{238}\text{Pu} : ^{239}\text{Pu} : ^{240}\text{Pu} : ^{241}\text{Pu} : ^{242}\text{Pu} = 1:63:24:8:4$

B (高フィッサイルPu) :  $^{238}\text{Pu} : ^{239}\text{Pu} : ^{240}\text{Pu} : ^{241}\text{Pu} : ^{242}\text{Pu} = 0.012:93.8:5.8:0.35:0.02$

表2.2.2 「常陽」MK-III炉心の主要仕様

項目	仕様	備考	
原子炉熱出力	140MWt		
一次冷却材流量	2,680t/h		
原子炉入口温度	350℃		
原子炉出口温度	500℃		
スタック長	50cm (内側、外側共通)		
炉内燃料装荷本数	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		
燃料集合体	燃料材	プルトニウム・ウラン混合酸化物燃料	
	燃料要素外径/内径	5.5/4.8mm	
	燃料ペレット外径	4.63mm	
	プルトニウム富化度	内側23.0w/o、外側28.8w/o	
	ウラン濃縮度	18w/o	
	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 (図2.2.4) ではプレナムスリーブのみ SUS316相当鋼
	制御要素材	B <sub>4</sub> Cペレット	
	制御要素濃縮度	90%	
	B <sub>4</sub> 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 <sub>4</sub> Cペレット	
	遮へい要素濃縮度	20%*	現行 45%
	遮へい要素外径/内径	26.0/24.4mm*	現行 25.6/22.2mm
	B <sub>4</sub> Cペレット外径	24mm*	現行 20.5mm
反射体	遮へい材有効長さ	1000mm	
	要素本数	7	
反射体	反射体要素材	PNC1540 (内側、外側共通)	
	ラッパ管材	フェライト鋼 (内側、外側共通)	

\*) 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。最新の仕様は備考欄参照。

表2.3.1 MK-III標準平衡炉心のPu等価フィッサイル係数

核種	内側炉心	外側炉心	全炉心
$^{238}\text{Pu}$	0.611	0.599	0.600
$^{239}\text{Pu}$	1.000	1.000	1.000
$^{240}\text{Pu}$	0.205	0.211	0.208
$^{241}\text{Pu}$	1.290	1.300	1.300
$^{242}\text{Pu}$	0.142	0.151	0.148
$^{235}\text{U}$	0.664	0.680	0.696
$^{236}\text{U}$	-0.044	-0.033	-0.038
$^{238}\text{U}$	-0.027	-0.013	-0.020
$^{241}\text{Am}$	-0.099	-0.093	-0.100

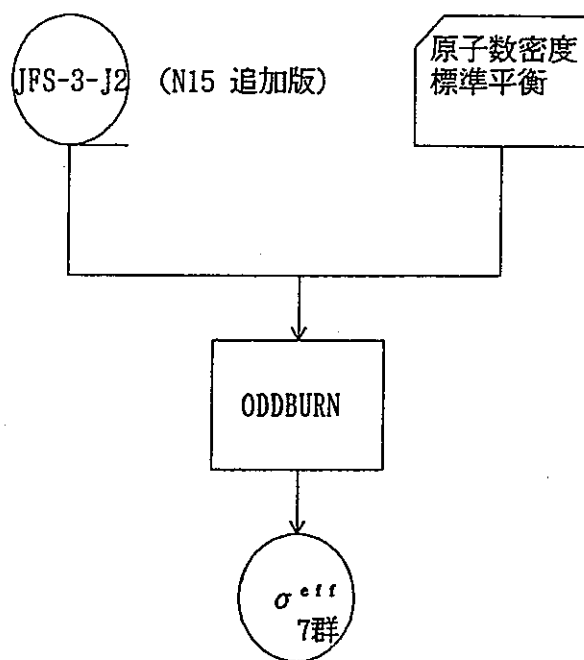
表2.3.2 中性子のエネルギー群構造

群数		境界エネルギー(eV)		核分裂スペクトル (Pu-239)	群数		境界エネルギー(eV)		核分裂スペクトル (Pu-239)
7群	70群	上限	下限		7群	70群	上限	下限	
1	1	1.0000E+07	7.7880E+06	8.32536E-03	6	38	9.6112E+02	7.4852E+02	
	2	7.7880E+06	6.0653E+06	2.26610E-02		39	7.4852E+02	5.8295E+02	
	3	6.0653E+06	4.7237E+06	4.57986E-02		40	5.8295E+02	4.5400E+02	
	4	4.7237E+06	3.6788E+06	7.32197E-02		41	4.5400E+02	3.5358E+02	
	5	3.6788E+06	2.8650E+06	9.73698E-02		42	3.5358E+02	2.7536E+02	
	6	2.8650E+06	2.2313E+06	1.12073E-01		43	3.5358E+02	2.1445E+02	
	7	2.2313E+06	1.7377E+06	1.15202E-01		44	2.1445E+02	1.6702E+02	
	8	1.7377E+06	1.3534E+06	1.08394E-01		45	1.6702E+02	1.3007E+02	
2	9	1.3534E+06	1.0540E+06	9.51769E-02	46	1.3007E+02	1.0130E+02		
	10	1.0540E+06	8.2085E+05	7.91807E-02	47	1.0130E+02	7.8893E+01		
	11	8.2085E+05	6.3928E+05	6.31562E-02	48	7.8893E+01	6.1442E+01		
	12	6.3928E+05	4.9787E+05	4.87468E-02	49	6.1442E+01	4.7851E+01		
3	13	4.9787E+05	3.8774E+05	3.66733E-02	50	4.7851E+01	3.7267E+01		
	14	3.8774E+05	3.0197E+05	2.70447E-02	51	3.7267E+01	2.9023E+01		
	15	3.0197E+05	2.3518E+05	1.96360E-02	52	2.9023E+01	2.2603E+01		
	16	2.3518E+05	1.8316E+05	1.40851E-02	53	2.2603E+01	1.7603E+01		
	17	1.8316E+05	1.4264E+05	1.00083E-02	54	1.7603E+01	1.3710E+01		
	18	1.4264E+05	1.1109E+05	7.05936E-03	55	1.3710E+01	1.0677E+01		
4	19	1.1109E+05	8.6517E+04	4.95084E-03	56	1.0677E+01	8.3153E+00		
	20	8.6517E+04	6.7379E+04	3.45662E-03	57	8.3153E+00	6.4760E+00		
	21	6.7379E+04	5.2475E+04	2.40499E-03	58	6.4760E+00	5.0435E+00		
	22	5.2475E+04	4.0868E+04	1.66878E-03	59	5.0435E+00	3.9279E+00		
	23	4.0868E+04	3.1828E+04	1.15549E-03	60	3.9279E+00	3.0590E+00		
	24	3.1828E+04	2.4788E+04	7.98769E-04	61	3.0590E+00	2.3824E+00		
	25	2.4788E+04	1.9305E+04	5.51467E-04	62	2.3824E+00	1.8554E+00		
	26	1.9305E+04	1.5034E+04	3.80351E-04	63	1.8554E+00	1.4450E+00		
	27	1.5034E+04	1.1709E+04	2.62127E-04	64	1.4450E+00	1.1254E+00		
5	28	1.1709E+04	9.1188E+03	1.80541E-04	65	1.1254E+00	8.7642E-01		
	29	9.1188E+03	7.1017E+03	1.24290E-04	66	8.7642E-01	6.8256E-01		
	30	7.1017E+03	5.5308E+03	8.55336E-05	67	6.8256E-01	5.3158E-01		
	31	5.5308E+03	4.3074E+03	5.88455E-05	68	5.3158E-01	4.1399E-01		
	32	4.3074E+03	3.3546E+03	4.04756E-05	69	4.1399E-01	3.2242E-01		
	33	3.3546E+03	2.6126E+03	2.78354E-05	70	3.2242E-01	1.0000E-05		
	34	2.6126E+03	2.0347E+03	1.91401E-05					
	35	2.0347E+03	1.5846E+03	1.31597E-05					
	36	1.5846E+03	1.2341E+03	9.04709E-06					
	37	1.2341E+03	9.6112E+02	5.38145E-06					
							合計	1.00000E+00	

表2.4.1 主要核特性計算結果

ケース	U濃縮度 (%)	Pu富化度 (%)		keff (平衡末期)	燃焼欠損 反応度 ( $\Delta k/k'$ )	集合体出力 (MW)		最大線出力 (W/cm)		最大中性子束 (n/cm <sup>2</sup> ·s)	
		内側	外側			内側	外側	内側	外側	>0.1MeV	total
0	18.0	23.0	28.8	0.9945	0.0156	2.25	2.13	414.4	413.4	3.95E+15	5.71E+15
1-1	13.1	26.6	32.0	0.9941	0.0160	2.25	2.13	414.4	413.9	4.03E+15	5.85E+15
1-2	8.5	30.0	35.0	0.9938	0.0164	2.24	2.13	414.4	414.3	4.10E+15	5.98E+15
2-1	15.6	23.4	28.8	0.9941	0.0154	2.24	2.13	413.8	413.2	3.95E+15	5.73E+15
2-2	13.1	23.7		0.9936	0.0151	2.24	2.12	413.2	412.9	3.96E+15	5.75E+15
3-1	14.9	23.3		0.9942	0.0148	2.23	2.12	382.3	382.2	3.82E+15	5.57E+15
3-2	11.7	23.5		0.9938	0.0139	2.22	2.11	350.4	351.2	3.69E+15	5.44E+15
4	5.0	24.8		0.9936	0.0140	2.22	2.11	411.8	410.8	4.09E+15	5.79E+15
5	9.0	24.6		0.9939	0.0168	2.25	2.13	413.6	414.0	4.07E+15	5.93E+15





ODDBURNの計算項目

- ① 70群実効断面積作成
- ② 7群縮約計算……炉心特性計算に用いる $\sigma^{eff}$ を作成

図 2.2.1 実効断面積作成フロー

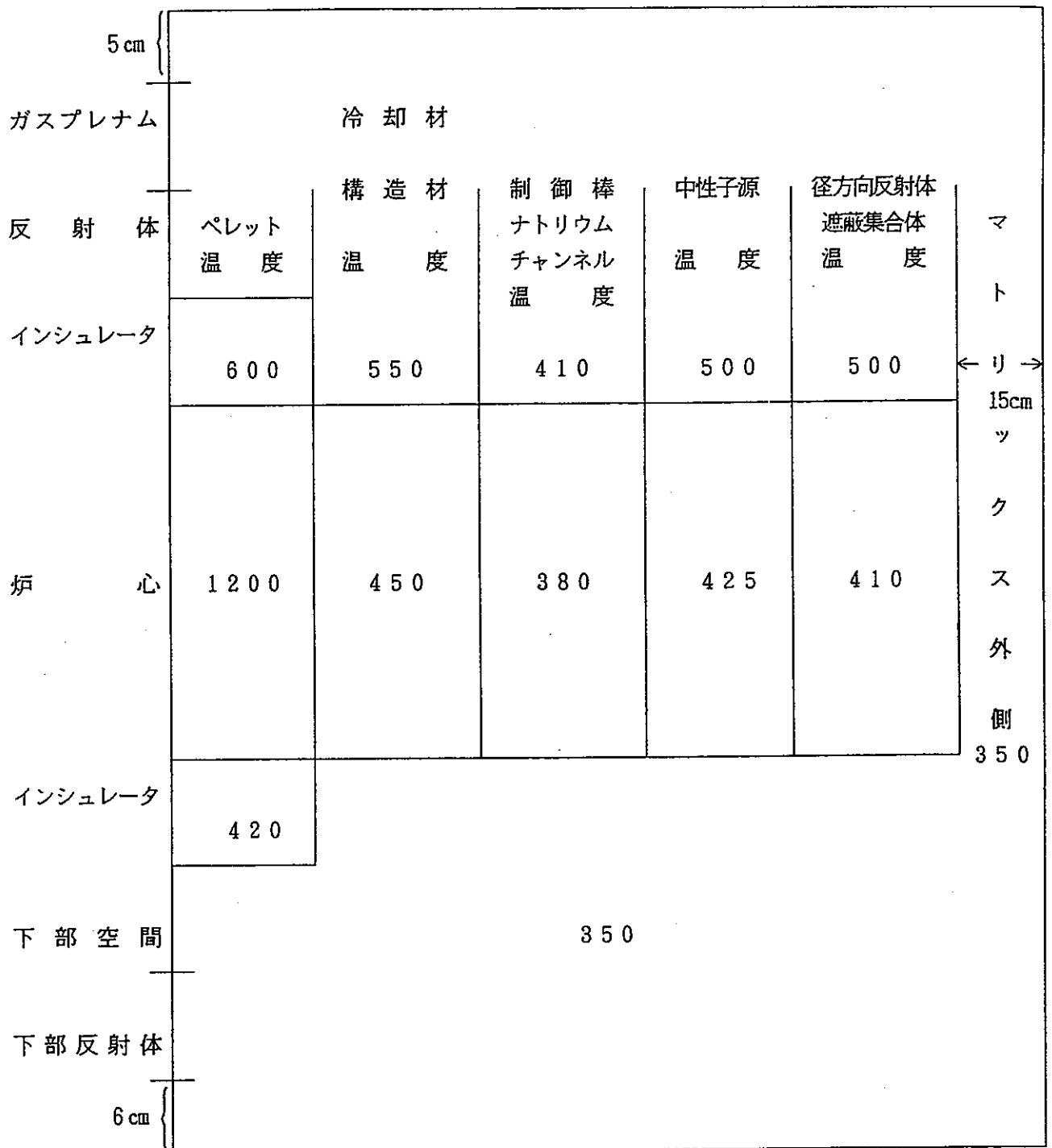


図 2.2.2 定格出力時の温度分布

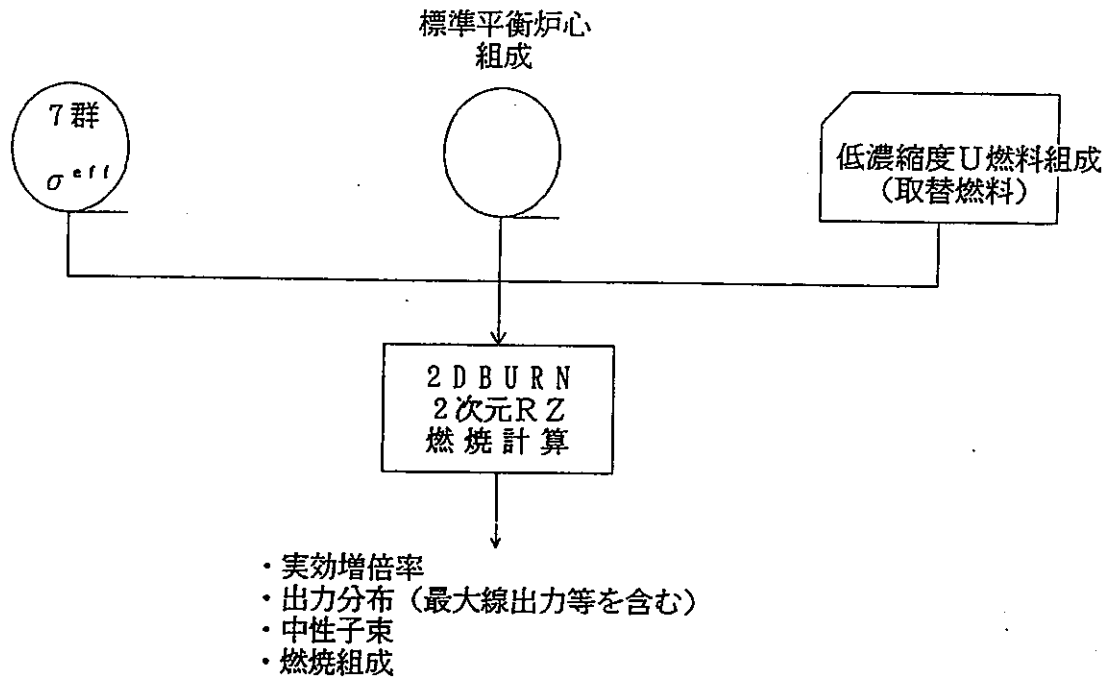
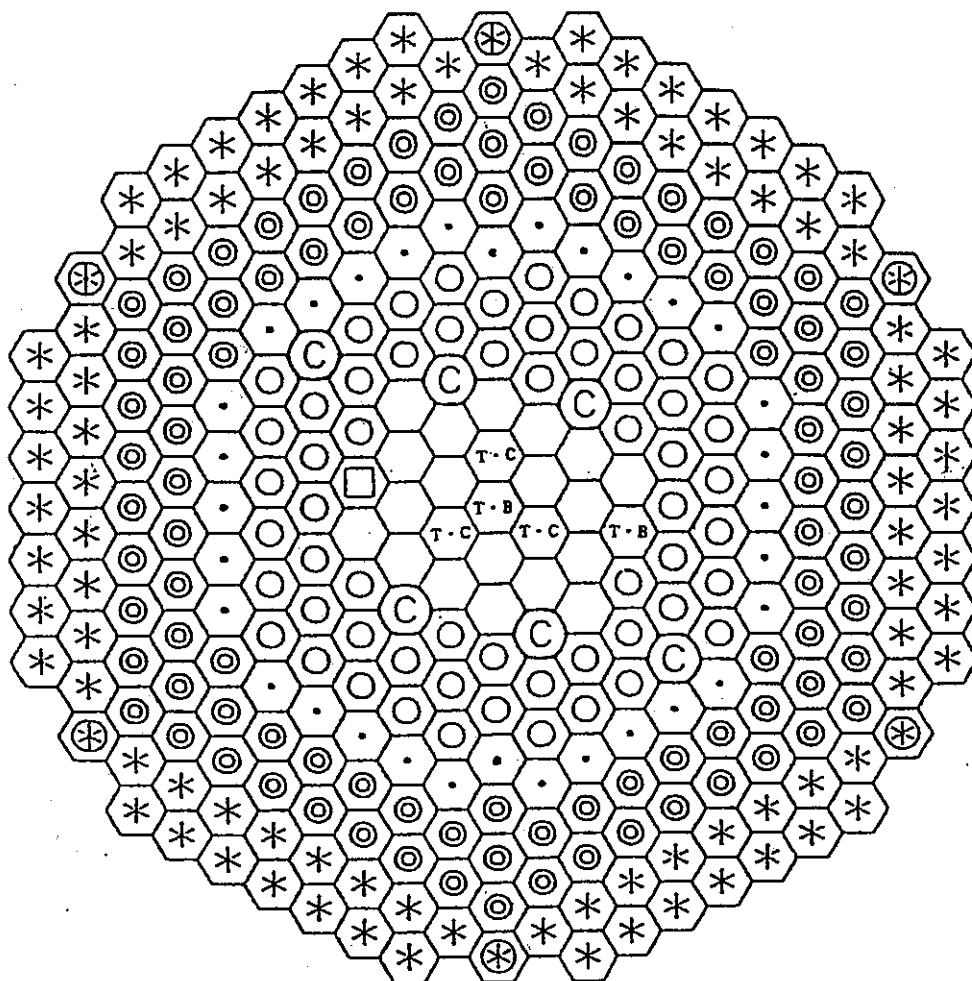


図 2.2.3 "2DBURN"による2次元RZ計算フロー

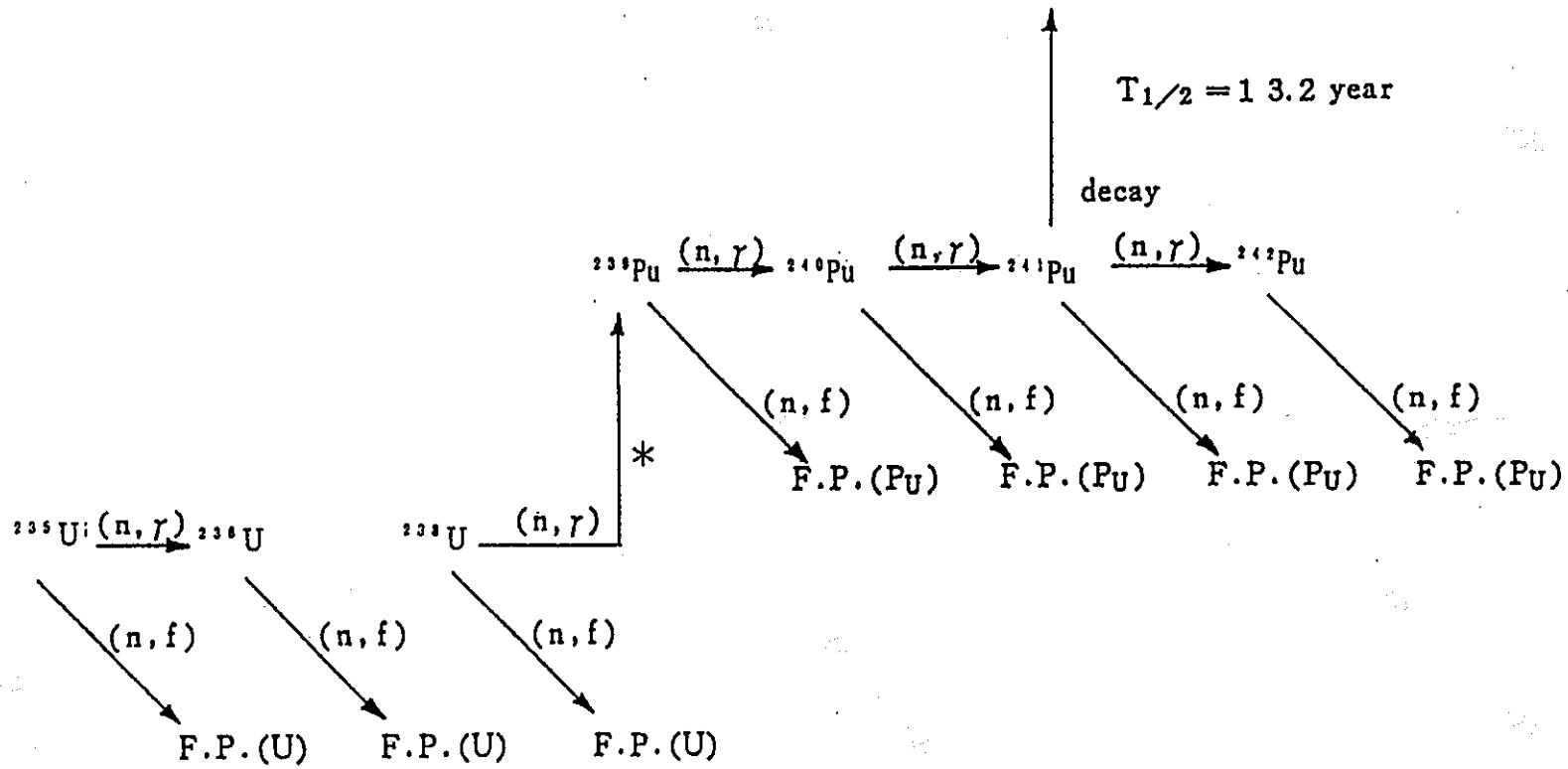


- |  |   |
|--|---|
|  : 内側炉心燃料     |  : 中世子遮蔽体 (B1C)        |
|  : 外側炉心燃料     |  : 中世子遮蔽体 (B1C) スリット付き |
|  : 制御棒 (6体)   |  : 特殊燃料集合体・タイプB        |
|  : 内側反射体      |  : 特殊燃料集合体・タイプC        |
|  : 外側 (A) 反射体 |  : CMIR                |

図 2.2.4 MK-III標準炉心構成

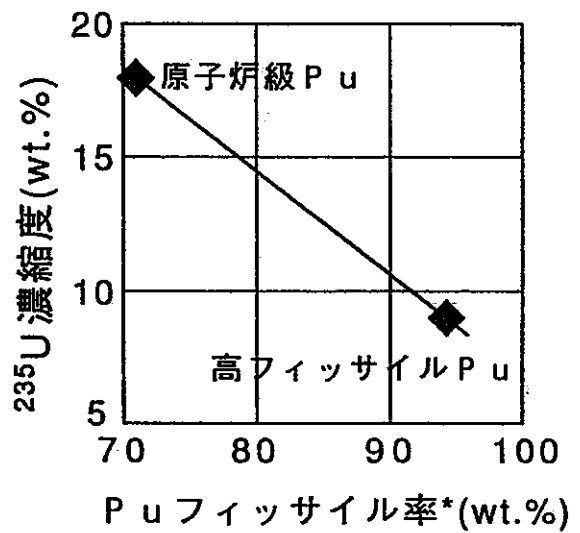
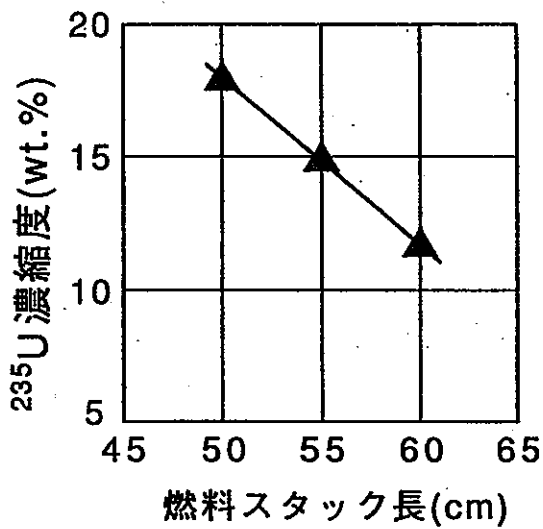
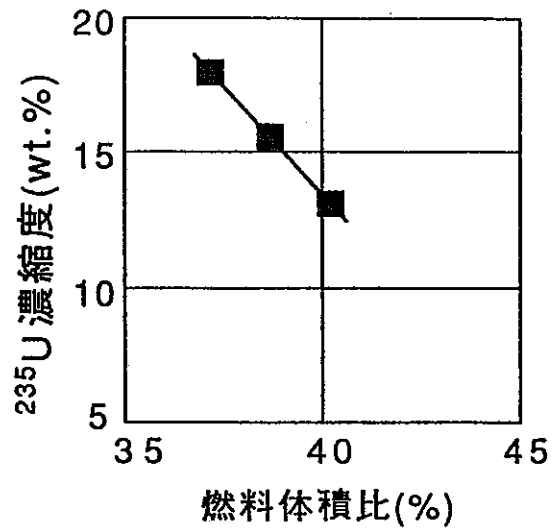
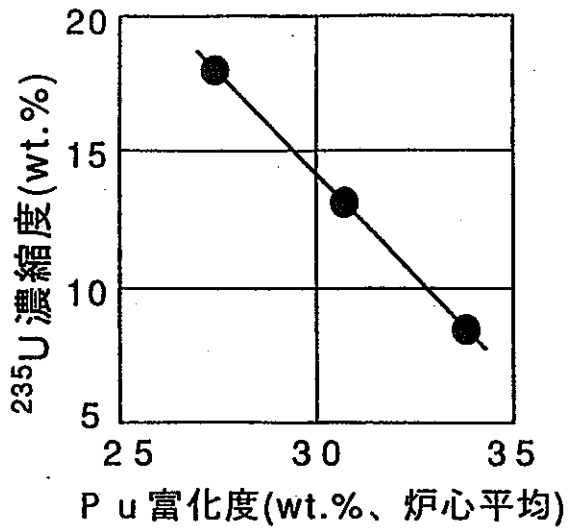
Z座標 (cm)	(ケ-ス4-2)	メッシュ番号											R座標 (cm)		
0.0	0.0	1	ハンドリングヘッド										0.0		
5.00	5.00	2	C/R 上部										4.3081		
22.0345	22.0345	4	ハンドリングヘッド										6.5013		
32.0345	32.0345	5	C/R 上部										9.8903		
			ガスプレナム										11.3850		
63.00	60.5	9	C/R 吸収体部										18.7568		
69.5345	67.0345	10	ガスプレナム										19.7192		
72.0345	69.5345	11	C/R 吸収体部										21.5155		
87.0345	84.5345	14	上部反射体										23.1729		
93.00	90.50	16	上部反射体										26.1747		
94.207	91.707	18	インシュレータ										33.6083		
			インシュレータ										40.1367		
		22	TYPE-B	炉心第1列	TYPE-C	炉心第1列	炉心第2列	C M I R & TYPE-B	炉心第3列(内側)	C/R アダプター部	炉心第3列(外側)	炉心第4列	炉心第5列	C/R アダプター部	40.5940
		25	内側反射体中央部										47.3561		
119.5345	119.5345	26	外側反射体										63.3887		
		27	中性子遮蔽体										70.0495		
		30	マトリックス										76.1297		
144.862	147.362	34	インシュレータ										91.1297		
146.066	148.566	36	インシュレータ												
148.566	151.066	37	下部反射体(1)												
			下部空間部												
167.566	170.066	40	C/R 引抜部												
169.5345	172.0345	41	下部反射体(2)												
202.566	205.066	45	下部反射体(2)												
208.566	211.066	46	エントランスノズル												
			エントランスノズル												
			C/R 引抜部												
			内側反射体下部												
			下部反射体												

図 2.2.5 MK-III標準炉心二次元RZ体系



\*  $^{235}\text{Np}$  の半減期 ( $T_{1/2} = 2.35 \text{ 日}$ ) は考慮しない。

図 2.2.6 燃焼チェーン



$$* \text{Pu フィッサイル率} = \frac{{}^{239}\text{Pu} + {}^{241}\text{Pu}}{\text{全Pu}}$$

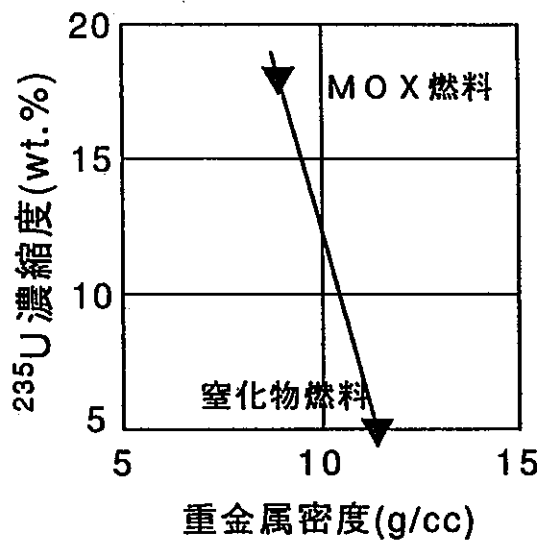


図 2.4.1 各燃料パラメータのウラン濃縮度低減効果

### 3. ウラン濃縮度低減炉心の核計算

第2章での評価結果に基づき燃料製造費低減の観点から有効と考えられるウラン濃縮度低減炉心の燃料仕様を検討し、その核特性を現行の設計炉心の核特性と比較することにより、炉心の成立性を評価した。

#### 3.1 計算ケース設定

第2章での検討より、ウラン濃縮度の低減にはPu富化度増加、窒化物燃料及び高フィッサイルPu採用の効果が大きいことがわかった。このうち、大幅なR&Dの展開を必要としないPu富化度増加と高フィッサイルPu採用を対象として、ウラン濃縮度低減炉心を検討することとした。サーベイケースの概要を下記に示す。

ケース1： 第2章よりPu富化度の上限を35%とした場合、外側燃料のウラン濃縮度を約9%まで低減できた。次に、燃料製造費低減の観点から、内側燃料と外側燃料のウラン濃縮度を変えることにより、内側燃料のウラン濃縮度を5%以下とする炉心を構成する。

ケース2： Pu富化度の上限を40%とし、ウラン濃縮度を内側・外側ともに5%以下とする炉心を構成する。

ケース3： Pu富化度は現行の30%以下とし、高フィッサイルPuの採用により、ウラン濃縮度を極力低減させた炉心を構成する。

ケース4： 高フィッサイルPuを採用し、Pu富化度を増加させることにより、ウラン濃縮度を極力低減させた炉心を構成する。

#### 3.2 計算方法

炉心・燃料仕様のサーベイ方法、判定条件、定数作成方法及び燃焼計算方法等はすべて第2章で用いたものと同じとする。

#### 3.3 結果

##### 3.3.1 ウラン濃縮度及び臨界性

サーベイ結果に基づき設定した各ケースの炉心・燃料仕様及び臨界性計算結果を表3.3.1に示す。これより、

ケース1： Pu富化度上限35%の場合、内側炉心のウラン濃縮度は1.6%まで低減できた。

ケース2： Pu富化度37%で外側炉心のウラン濃縮度を5%とできた。なお、Pu富化度36%で、内側炉心のウラン濃縮度を劣化ウラン相当の0.2%とできる。

ケース3： Pu富化度30%のままで兵器級Puを使用した場合、内側炉心のウラン濃縮度を天然ウラン相当の0.7%、外側炉心を6.6%とできた。

ケース4： 高フィッサイルPuを使用し、Pu富化度を33%とした場合、内側・外側炉心のウラン濃縮度を劣化ウラン相当の0.2%とできた。

各ケースの燃焼欠損反応度は1.67~1.77% $\Delta k/k'$ であり、2章で述べたように



$^{235}\text{U}$ と $^{239}\text{Pu}$ 、 $^{241}\text{Pu}$ の等価フィッサイル係数の違いにより、リファレンス炉心の $1.56\% \Delta k/k'$ より大きな値となった。

### 3.3.2 中性子束

各ケースの平衡炉心末期の最大中性子束を表3.3.2に示す。図3.3.1～図3.3.4に各ケースの7群中性子スペクトルを示すが、ケース1～4とも、リファレンスと比較し、特に5～7群にかけてややスペクトルが軟化している。2章で述べたとおり、炉心燃料の核分裂性物質の原子数密度が減少したため、リファレンスと比較し、最大中性子束は高速、トータルとも5～8%増加する。

### 3.3.3 最大集合体出力、最大線出力

各列の最大集合体出力を表3.3.3に、最大線出力を表3.3.4に示す。これより、各列の最大集合体出力は、第3列と第5列でケースによってばらつきが見られたが、第1、2列では一致した。一方、最大線出力は、各ケースともリファレンスとほぼ同じ $414\sim 415\text{W/cm}$ となった。また、出力ピーキング係数を表3.3.5に示す。軸方向ピーキングファクタは、リファレンスの1.18に対し1.19となった。

### 3.3.4 燃焼度

各列の最大燃焼度（要素最高、集合体平均）を表3.3.6に示す。前述のとおり、各ケースの出力分布はリファレンスと大きく変わらないが、燃料の重金属インベントリが最大0.5%増加することにより、最大燃焼度はリファレンスより小さくなった。各ケースの新燃料の重金属インベントリを表3.3.7に示す。

### 3.3.5 高フィッサイルPuの組成変化

リファレンス炉心及びケース3、4の燃焼によるPu同位体重量、Pu同位体組成比の変化を表3.3.8～3.3.11に示す。

これより、取出時のPu重量はリファレンスが約9～10%減少するのに対し、Pu組成中フィッサイルの多いケース3、4では14～15%減少した。また、フィッサイル割合は新燃料時の94%から89%まで低下した。

表3.3.1 サーバイ計算結果

ケース	ウラン濃縮度(%)	Pu富化度(%)	Pu組成*	実効増倍率	燃焼欠損反応度(%Δk/k')	備考	
リファレンス	内側	18	A	0.9945	1.56	MK-III標準平衡炉心	
	外側	28.8					
1	内側	1.6		0.9944	1.67		
	外側	7.9					35.0
2	内側	0.2		0.9941	1.68		
	外側	5.0					35.7
3	内側	0.7		B	0.9937		1.73
	外側	6.6					
4	内側	0.2	0.9939		1.77		
	外側	0.2				29.7	
		33.4					

\* ) A: Pu-238/Pu-239/Pu-240/Pu-241/Pu-242= 1/63/24/8/4

B: Pu-238/Pu-239/Pu-240/Pu-241/Pu-242= 0.012/93.8/5.8/0.35/0.02

表3.3.2 最大中性子束 (平衡炉心末期)

(単位: n/cm<sup>2</sup>·s)

ケース	内側炉心				外側炉心			
	0列	1列	2列	3列	3列	4列	5列	
リファレンス	2.79E+15	3.95E+15	3.87E+15	3.55E+15	3.65E+15	3.25E+15	2.79E+15	
	5.69E+15	5.71E+15	5.57E+15	5.09E+15	5.22E+15	4.64E+15	4.03E+15	
1	4.15E+15	4.17E+15	4.08E+15	3.72E+15	3.81E+15	3.38E+15	2.89E+15	
	6.06E+15	6.09E+15	5.94E+15	5.40E+15	5.52E+15	4.90E+15	4.23E+15	
2	4.18E+15	4.20E+15	4.10E+15	3.74E+15	3.84E+15	3.41E+15	2.91E+15	
	6.11E+15	6.14E+15	5.99E+15	5.45E+15	5.58E+15	4.95E+15	4.28E+15	
3	4.15E+15	4.17E+15	4.08E+15	3.72E+15	3.81E+15	3.38E+15	2.89E+15	
	6.07E+15	6.09E+15	5.94E+15	5.40E+15	5.52E+15	4.90E+15	4.23E+15	
4	4.19E+15	4.21E+15	4.11E+15	3.77E+15	3.86E+15	3.44E+15	2.94E+15	
	6.15E+15	6.17E+15	6.02E+15	5.50E+15	5.63E+15	5.01E+15	4.34E+15	

上段: 高速中性子束 (E>0.1MeV)、下段: 全中性子束

表3.3.3 各列最大集合体出力

(単位: MW)

ケース	内側炉心			外側炉心		
	0,1列	2列	3列	3列	4列	5列
リファレンス	2.25	2.18	2.02	2.13	1.99	1.74
1	2.25	2.18	2.00	2.13	1.98	1.72
2	2.25	2.18	2.01	2.13	1.98	1.71
3	2.25	2.18	2.01	2.14	1.99	1.73
4	2.24	2.18	2.01	2.13	1.99	1.72

表3.3.4 各列最大線出力

(単位: W/cm)

ケース	内側炉心			外側炉心		
	0,1列	2列	3列	3列	4列	5列
リファレンス	414	411	391	413	394	354
1	415	413	391	415	396	353
2	415	414	391	415	396	353
3	415	413	391	415	396	353
4	414	412	391	415	395	354

表3.3.5 出力ピーキング係数

ケース	径方向	軸方向	局所	全炉心
リファレンス	1.38	1.18	1.01	1.64
1	1.37	1.19	1.01	1.64
2	1.37	1.19	1.01	1.64
3	1.37	1.19	1.01	1.64
4	1.37	1.18	1.01	1.64

表3.3.6 取出燃料の最高燃焼度 (平衡炉心末期)

(単位: MWd/t)

ケース	内側炉心			外側炉心		
	1列	2列	3列	3列	4列	5列
リファレンス	65,300	76,800	73,200	77,000	86,800	89,200
	64,700	74,300	69,200	72,600	79,200	78,700
1	64,900	76,300	72,300	76,900	86,400	87,900
	64,300	73,800	68,300	72,500	78,800	77,500
2	64,800	76,300	72,300	76,800	86,300	87,600
	64,200	73,800	68,400	72,400	78,700	77,300
3	65,100	76,500	72,600	77,200	86,700	88,400
	64,500	74,100	68,600	72,800	79,100	78,000
4	64,800	76,400	72,700	76,700	86,400	88,000
	64,200	73,900	68,700	72,300	78,900	77,700

上段: 要素最高、下段: 集合体平均

表3.3.7 重金属インベントリ (新燃料時)

(単位: kg)

ケース	内側燃料		外側燃料	
	重量(kg)	差*	重量(kg)	差*
リファレンス	9.79		9.82	
1	9.84	0.5%	9.84	0.2%
2	9.84	0.5%	9.85	0.3%
3	9.82	0.3%	9.82	0.0%
4	9.82	0.3%	9.83	0.1%

\*) リファレンスとの差

表3.3.8 燃焼に伴うPu同位体重量の相対変化

## 炉心第1列 (5バッチ)

	核種	新燃料時	1cyEOC	2cyEOC	3cyEOC	4cyEOC	5cyEOC
リ フ ア レ ン ス	<sup>239</sup> Pu	63.64%	61.95%	60.34%	58.80%	57.56%	55.94%
	<sup>240</sup> Pu	24.24%	24.25%	24.25%	24.23%	24.21%	24.16%
	<sup>241</sup> Pu	8.08%	7.75%	7.45%	7.17%	6.94%	6.66%
	<sup>242</sup> Pu	4.04%	4.04%	4.05%	4.04%	4.04%	4.03%
	合計	100.00%	98.00%	96.09%	94.25%	92.76%	90.80%
	フィッソイル割合	71.72%	71.13%	70.55%	70.00%	69.54%	68.95%
ケ ー ス 3	<sup>239</sup> Pu	93.83%	89.83%	86.05%	82.48%	79.12%	75.97%
	<sup>240</sup> Pu	5.80%	6.56%	7.25%	7.89%	8.48%	9.02%
	<sup>241</sup> Pu	0.35%	0.39%	0.43%	0.48%	0.53%	0.58%
	<sup>242</sup> Pu	0.02%	0.02%	0.03%	0.03%	0.04%	0.04%
	合計	100.00%	96.80%	93.77%	90.89%	88.18%	85.62%
	フィッソイル割合	94.18%	93.20%	92.23%	91.28%	90.33%	89.41%

## 炉心第3列 (6バッチ)

	核種	新燃料時	1cyEOC	2cyEOC	3cyEOC	4cyEOC	5cyEOC	6cyEOC
リ フ ア レ ン ス	<sup>239</sup> Pu	63.64%	61.92%	60.27%	58.01%	57.16%	55.70%	54.31%
	<sup>240</sup> Pu	24.24%	24.25%	24.24%	24.19%	24.19%	24.15%	24.10%
	<sup>241</sup> Pu	8.08%	7.80%	7.53%	7.18%	7.04%	6.82%	6.61%
	<sup>242</sup> Pu	4.04%	4.04%	4.04%	4.04%	4.04%	4.04%	4.03%
	合計	100.00%	98.01%	96.08%	93.42%	92.43%	90.71%	89.06%
	フィッソイル割合	71.72%	71.13%	70.56%	69.78%	69.46%	68.93%	68.41%
ケ ー ス 3	<sup>239</sup> Pu	93.83%	90.46%	87.25%	84.19%	81.27%	78.50%	75.88%
	<sup>240</sup> Pu	5.80%	6.42%	7.00%	7.54%	8.05%	8.52%	8.95%
	<sup>241</sup> Pu	0.35%	0.38%	0.42%	0.45%	0.49%	0.53%	0.57%
	<sup>242</sup> Pu	0.02%	0.02%	0.03%	0.03%	0.03%	0.04%	0.04%
	合計	100.00%	97.29%	94.69%	92.21%	89.84%	87.59%	85.44%
	フィッソイル割合	94.18%	93.37%	92.59%	91.79%	91.01%	90.23%	89.48%

表3.3.9 燃焼に伴うPu同位体組成比の相対変化

炉心第1列 (5バッチ)

	核種	新燃料時	1cyEOC	2cyEOC	3cyEOC	4cyEOC	5cyEOC
リ フ ア レ ン ス	<sup>239</sup> Pu	63.64%	63.21%	62.80%	62.39%	62.05%	61.61%
	<sup>240</sup> Pu	24.24%	24.75%	25.24%	25.71%	26.10%	26.61%
	<sup>241</sup> Pu	8.08%	7.91%	7.75%	7.61%	7.49%	7.34%
	<sup>242</sup> Pu	4.04%	4.13%	4.21%	4.29%	4.36%	4.44%
	合計	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
ケ ー ス 3	<sup>239</sup> Pu	93.83%	92.80%	91.77%	90.75%	89.73%	88.73%
	<sup>240</sup> Pu	5.80%	6.77%	7.73%	8.69%	9.62%	10.54%
	<sup>241</sup> Pu	0.35%	0.40%	0.46%	0.53%	0.60%	0.68%
	<sup>242</sup> Pu	0.02%	0.02%	0.03%	0.04%	0.04%	0.05%
	合計	100.00%	99.99%	99.99%	100.01%	99.99%	100.00%

炉心第3列 (6バッチ)

	核種	新燃料時	1cyEOC	2cyEOC	3cyEOC	4cyEOC	5cyEOC	6cyEOC
リ フ ア レ ン ス	<sup>239</sup> Pu	63.64%	63.18%	62.73%	62.09%	61.84%	61.41%	60.99%
	<sup>240</sup> Pu	24.24%	24.74%	25.23%	25.90%	26.17%	26.62%	27.06%
	<sup>241</sup> Pu	8.08%	7.96%	7.84%	7.69%	7.62%	7.52%	7.42%
	<sup>242</sup> Pu	4.04%	4.13%	4.21%	4.32%	4.37%	4.45%	4.52%
	合計	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
ケ ー ス 3	<sup>239</sup> Pu	93.83%	92.98%	92.14%	91.29%	90.45%	89.62%	88.80%
	<sup>240</sup> Pu	5.80%	6.60%	7.39%	8.18%	8.96%	9.73%	10.48%
	<sup>241</sup> Pu	0.35%	0.39%	0.44%	0.49%	0.55%	0.61%	0.67%
	<sup>242</sup> Pu	0.02%	0.02%	0.03%	0.03%	0.04%	0.04%	0.05%
	合計	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

表3.3.10 燃焼に伴うPu同位体重量の相対変化

## 炉心第1列 (5バッチ)

	核種	新燃料時	1cyEOC	2cyEOC	3cyEOC	4cyEOC	5cyEOC
リ フ ア レ ン ス	<sup>239</sup> Pu	63.64%	61.95%	60.34%	58.80%	57.56%	55.94%
	<sup>240</sup> Pu	24.24%	24.25%	24.25%	24.23%	24.21%	24.16%
	<sup>241</sup> Pu	8.08%	7.75%	7.45%	7.17%	6.94%	6.66%
	<sup>242</sup> Pu	4.04%	4.04%	4.05%	4.04%	4.04%	4.03%
	合計	100.00%	98.00%	96.09%	94.25%	92.76%	90.80%
	フィッサル割合	71.72%	71.13%	70.55%	70.00%	69.54%	68.95%
ケ ー ス 4	<sup>239</sup> Pu	93.83%	89.83%	86.03%	82.44%	79.06%	75.90%
	<sup>240</sup> Pu	5.80%	6.54%	7.25%	7.89%	8.49%	9.04%
	<sup>241</sup> Pu	0.35%	0.39%	0.43%	0.48%	0.53%	0.58%
	<sup>242</sup> Pu	0.02%	0.03%	0.03%	0.03%	0.04%	0.04%
	合計	100.00%	96.78%	93.73%	90.85%	88.13%	85.56%
	フィッサル割合	94.18%	93.22%	92.24%	91.27%	90.31%	89.39%

## 炉心第3列 (6バッチ)

	核種	新燃料時	1cyEOC	2cyEOC	3cyEOC	4cyEOC	5cyEOC	6cyEOC
リ フ ア レ ン ス	<sup>239</sup> Pu	63.64%	61.92%	60.27%	58.01%	57.16%	55.70%	54.31%
	<sup>240</sup> Pu	24.24%	24.25%	24.24%	24.19%	24.19%	24.15%	24.10%
	<sup>241</sup> Pu	8.08%	7.80%	7.53%	7.18%	7.04%	6.82%	6.61%
	<sup>242</sup> Pu	4.04%	4.04%	4.04%	4.04%	4.04%	4.04%	4.03%
	合計	100.00%	98.01%	96.08%	93.42%	92.43%	90.71%	89.06%
	フィッサル割合	71.72%	71.13%	70.56%	69.78%	69.46%	68.93%	68.41%
ケ ー ス 4	<sup>239</sup> Pu	93.83%	90.32%	86.95%	83.74%	80.68%	77.79%	75.05%
	<sup>240</sup> Pu	5.80%	6.41%	7.01%	7.56%	8.07%	8.55%	8.98%
	<sup>241</sup> Pu	0.35%	0.38%	0.41%	0.45%	0.49%	0.53%	0.58%
	<sup>242</sup> Pu	0.02%	0.02%	0.03%	0.03%	0.03%	0.04%	0.04%
	合計	100.00%	97.14%	94.40%	91.78%	89.29%	86.91%	84.65%
	フィッサル割合	94.18%	93.37%	92.54%	91.73%	90.91%	90.12%	89.34%

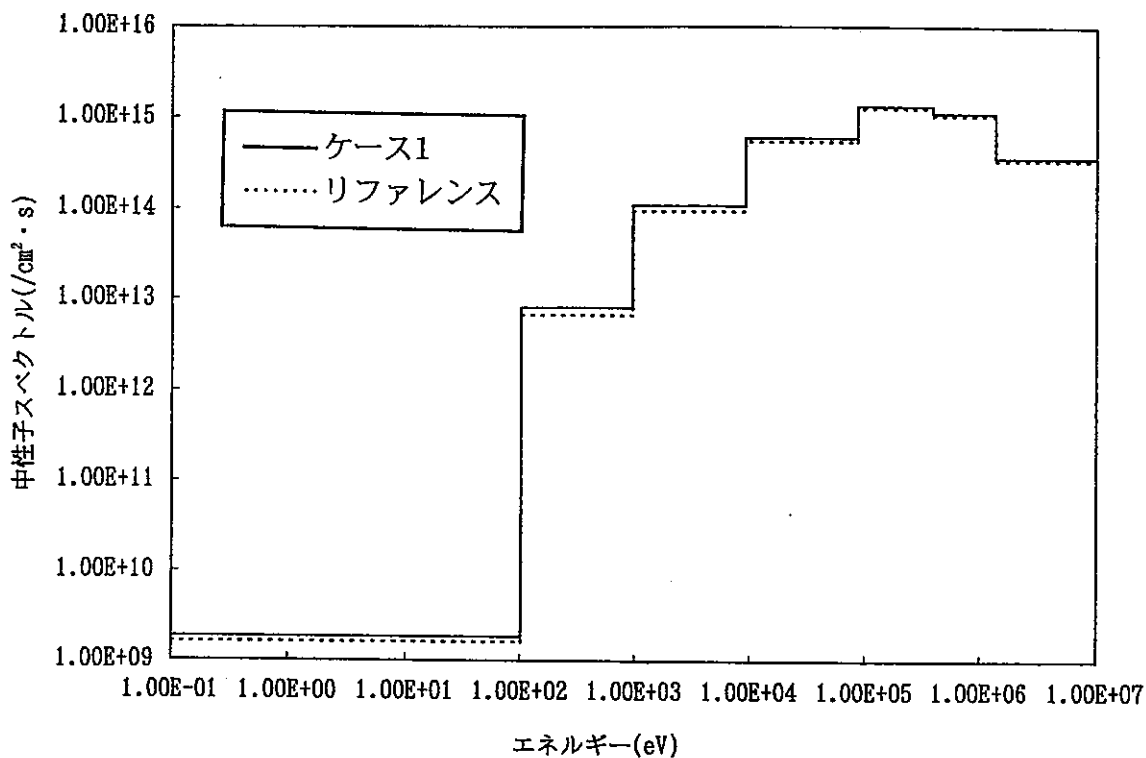
表3.3.11 燃焼に伴うPu同位体組成比の相対変化

炉心第1列 (5バッチ)

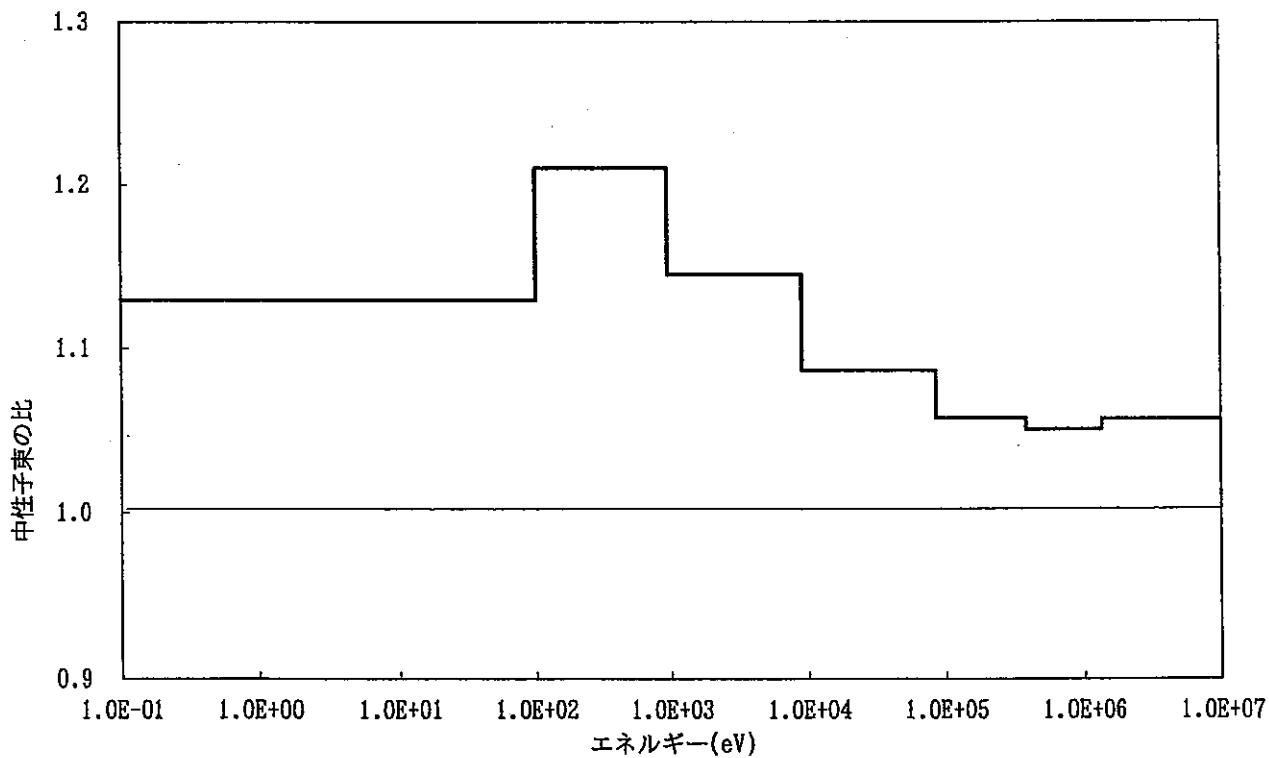
	核種	新燃料時	1cyEOC	2cyEOC	3cyEOC	4cyEOC	5cyEOC
リ フ ア レ ン ス	<sup>239</sup> Pu	63.64%	63.21%	62.80%	62.39%	62.05%	61.61%
	<sup>240</sup> Pu	24.24%	24.75%	25.24%	25.71%	26.10%	26.61%
	<sup>241</sup> Pu	8.08%	7.91%	7.75%	7.61%	7.49%	7.34%
	<sup>242</sup> Pu	4.04%	4.13%	4.21%	4.29%	4.36%	4.44%
	合計	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
ケ ー ス 4	<sup>239</sup> Pu	93.83%	92.82%	91.78%	90.74%	89.72%	88.71%
	<sup>240</sup> Pu	5.80%	6.76%	7.73%	8.69%	9.63%	10.56%
	<sup>241</sup> Pu	0.35%	0.40%	0.46%	0.53%	0.60%	0.68%
	<sup>242</sup> Pu	0.02%	0.03%	0.03%	0.04%	0.04%	0.05%
	合計	100.00%	100.01%	100.00%	100.00%	99.99%	100.00%

炉心第3列 (6バッチ)

	核種	新燃料時	1cyEOC	2cyEOC	3cyEOC	4cyEOC	5cyEOC	6cyEOC
リ フ ア レ ン ス	<sup>239</sup> Pu	63.64%	63.18%	62.73%	62.09%	61.84%	61.41%	60.99%
	<sup>240</sup> Pu	24.24%	24.74%	25.23%	25.90%	26.17%	26.62%	27.06%
	<sup>241</sup> Pu	8.08%	7.96%	7.84%	7.69%	7.62%	7.52%	7.42%
	<sup>242</sup> Pu	4.04%	4.13%	4.21%	4.32%	4.37%	4.45%	4.52%
	合計	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
ケ ー ス 4	<sup>239</sup> Pu	93.83%	92.98%	92.11%	91.24%	90.37%	89.50%	88.65%
	<sup>240</sup> Pu	5.80%	6.60%	7.42%	8.24%	9.04%	9.84%	10.61%
	<sup>241</sup> Pu	0.35%	0.39%	0.44%	0.49%	0.55%	0.62%	0.68%
	<sup>242</sup> Pu	0.02%	0.03%	0.03%	0.03%	0.04%	0.04%	0.05%
	合計	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%



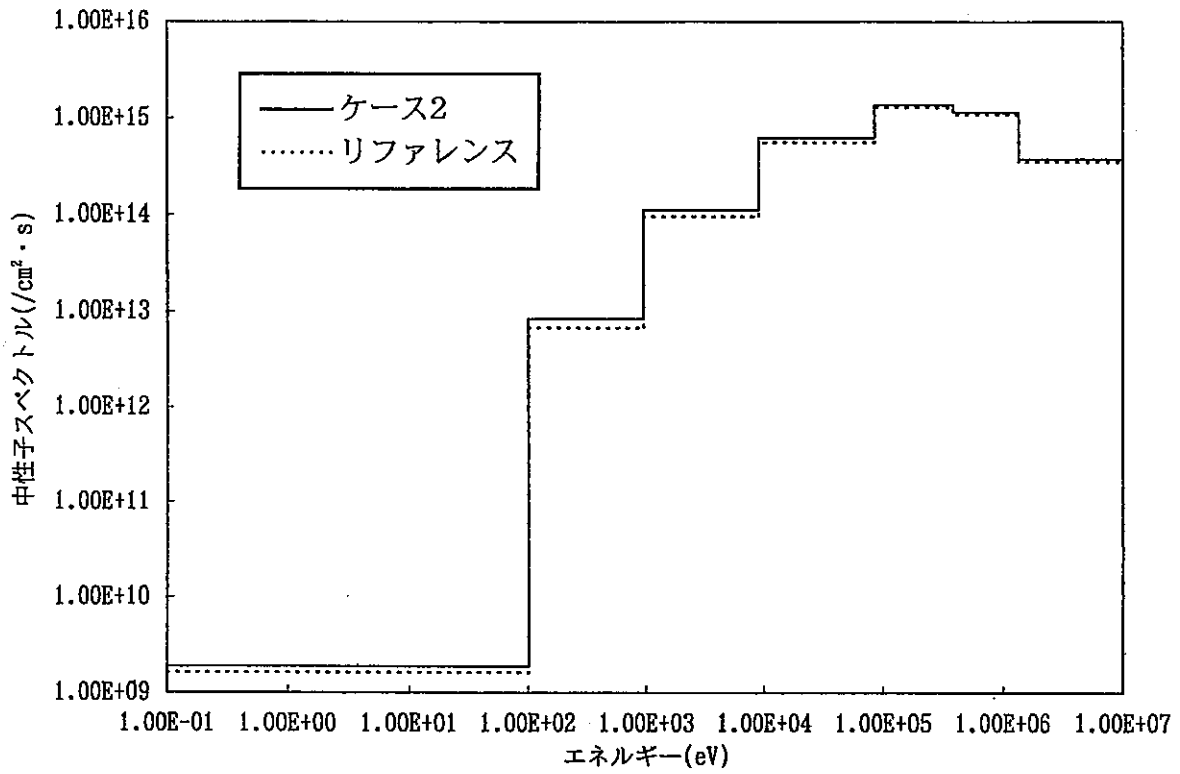
炉中心位置中性子スペクトル



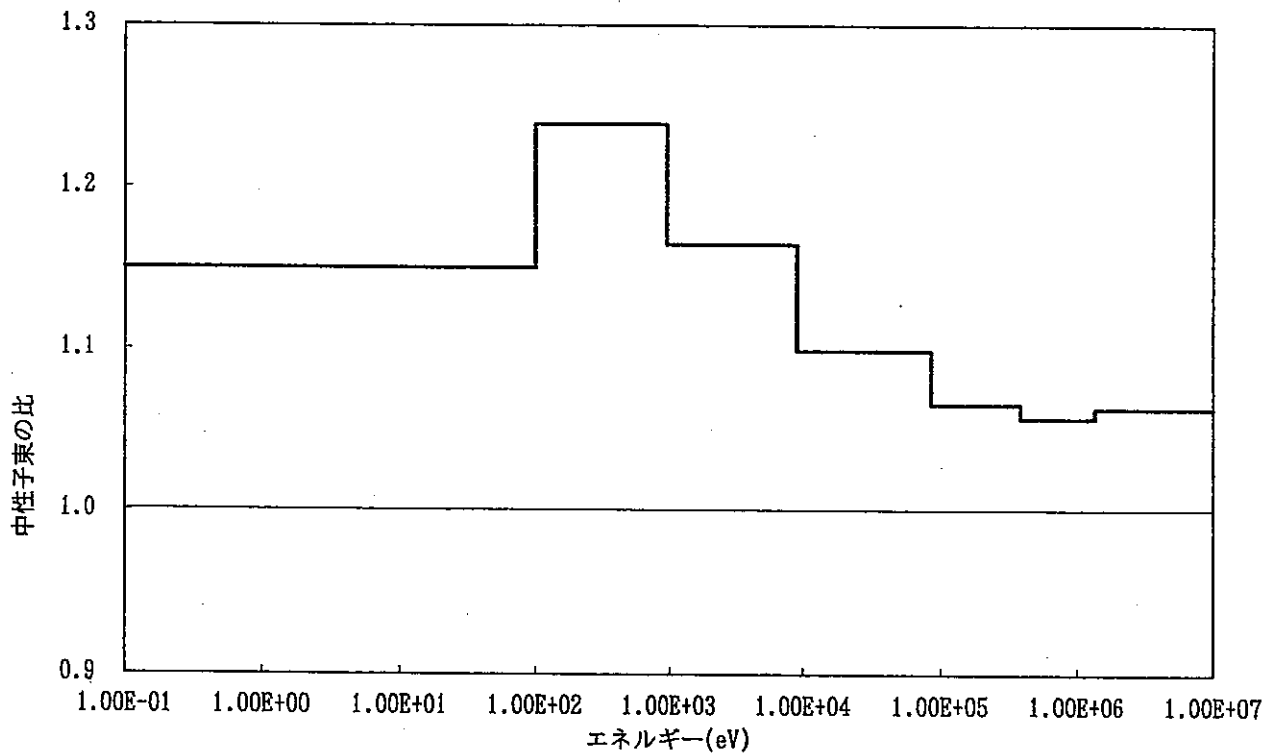
炉中心位置中性子スペクトルの比 (ケース1/リファレンス)

図 3.3.1 中性子スペクトル (平衡炉心末期、ケース1)



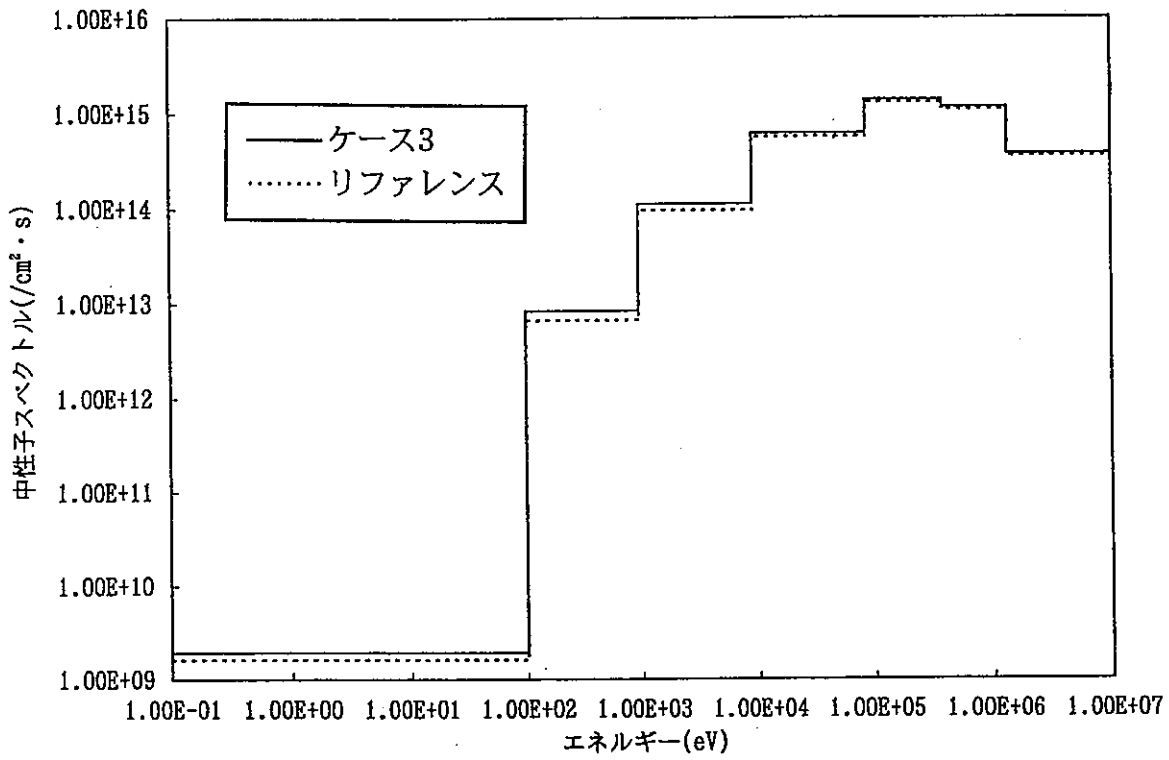


炉中心位置中性子スペクトル

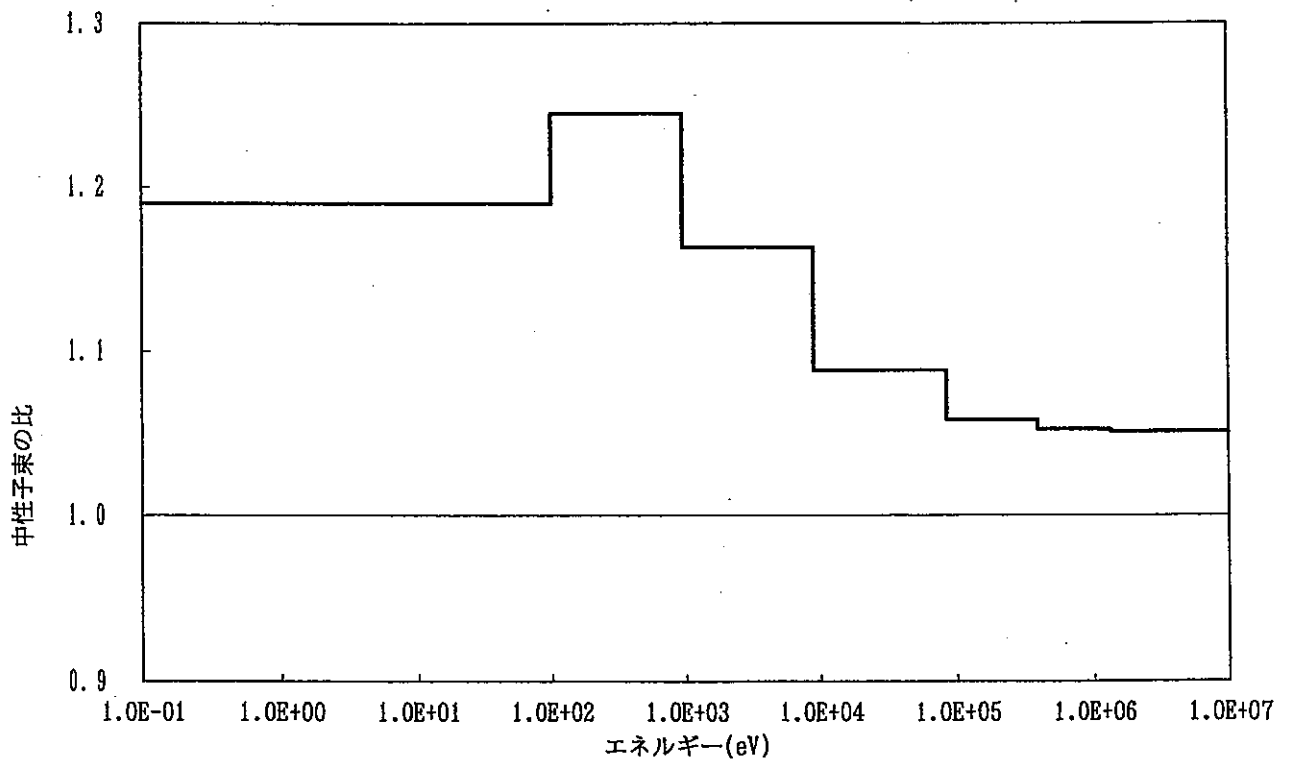


炉中心位置中性子スペクトルの比 (ケース2/リファレンス)

図 3.3.2 中性子スペクトル (平衡炉心末期、ケース2)



炉中心位置中性子スペクトル



炉中心位置中性子スペクトルの比 (ケース3/リファレンス)

図 3.3.3 中性子スペクトル (平衡炉心末期、ケース3)

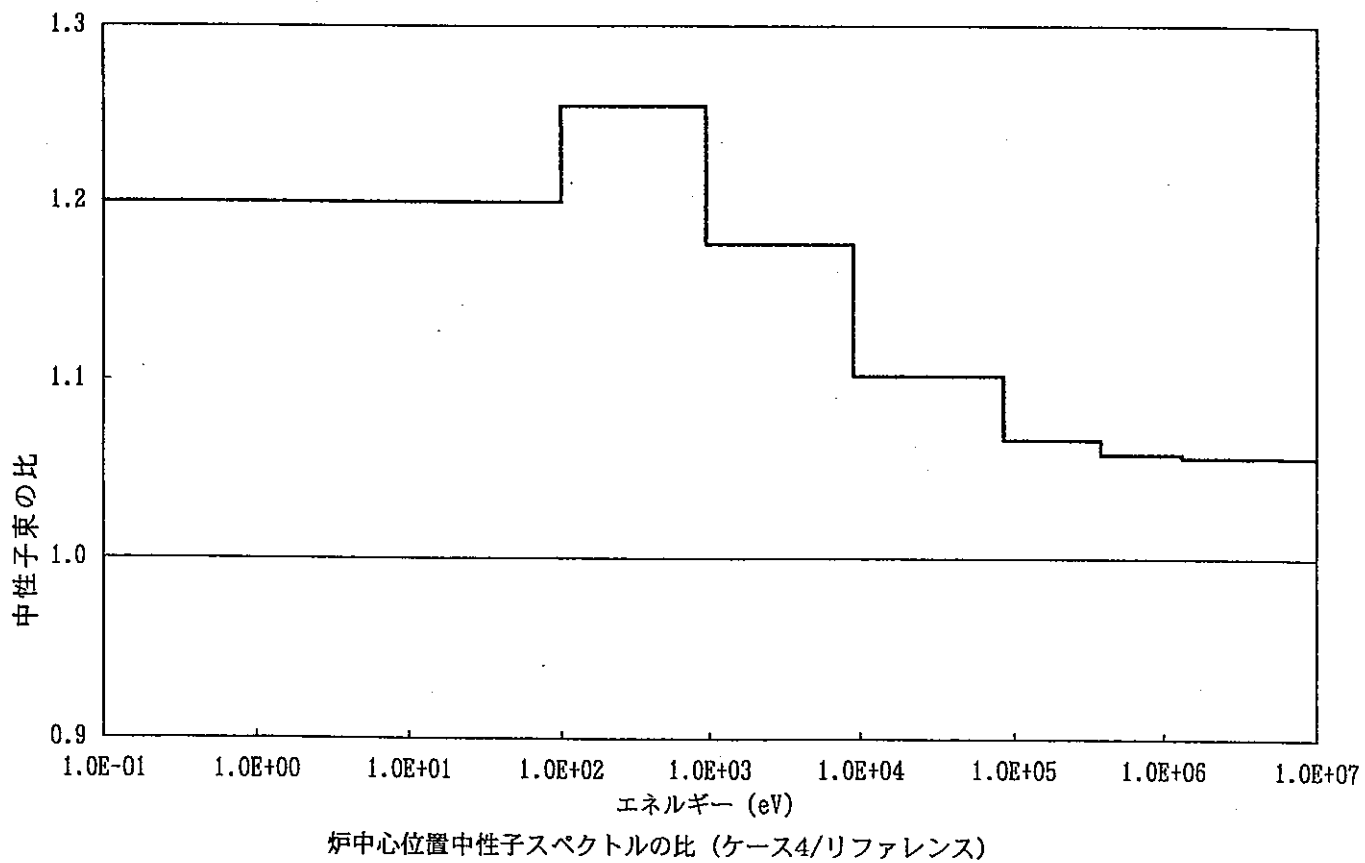
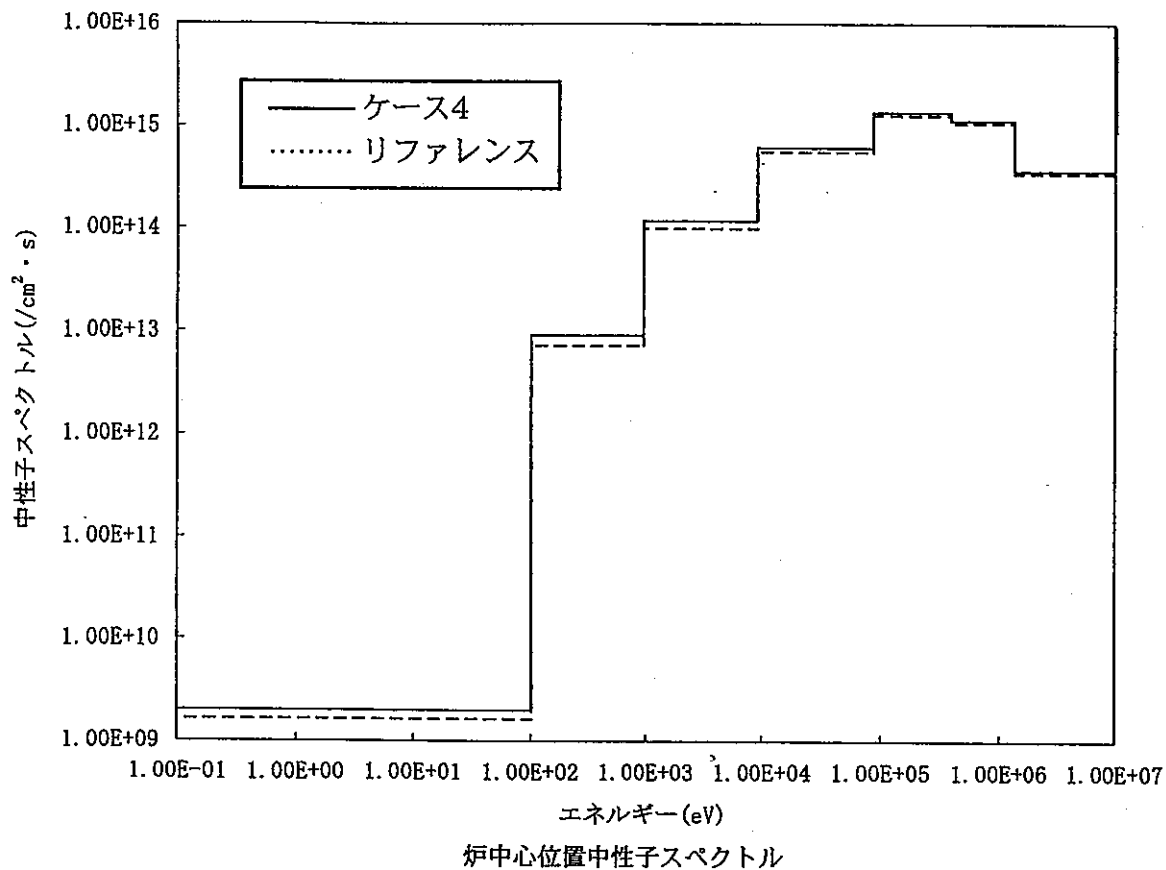


図3.3.4 中性子スペクトル (平衡炉心末期、ケース4)

#### 4. 結言

燃料仕様の変更による「常陽」MK-III炉心燃料のウラン濃縮度低減方策を策定し、核特性の観点から炉心の成立性を評価した。その結果、Pu富化度35%、または高フィッサイルPuの採用により、現行のMK-III炉心と同等の臨界性を保ちつつ、内側炉心のウラン濃縮度を軽水炉燃料並みの5%以下とすることができた。さらに、Pu富化度を37%まで増加できれば、外側炉心のウラン濃縮度も5%以下とでき、また、高フィッサイルPuを採用し、併せてPu富化度を33%まで増加させた場合、内側・外側炉心に劣化ウランを使用できることがわかった。

上記燃料仕様の炉心の核特性を計算し、その結果を現行のMK-III標準設計炉心の値と比較した結果、以下の結論が得られた。

- 1) Pu富化度を増加した場合には、 $^{235}\text{U}$ の代わりに反応度価値の高いPuが燃焼するため、同じ運転期間でも燃焼欠損反応度が大きくなるが、新燃料との置換反応度も大きくなるため、反応度バランスは同じである。
- 2) 高フィッサイルPuを使用した場合には、燃焼によりPuベクトルが大きく変化する、フィッサイル率は新燃料時の94%から89%まで低下するが、原子炉級Puの場合に比べて核特性に特異な変化はみられない。

今回検討したケースでは核特性の成立性のみを評価したが、Pu富化度を向上した場合、燃料融点が低下するため、ウラン濃縮度低減炉心では、熱設計が厳しくなることが予想される。また、中性子スペクトルが変わらないことから、反応度係数はリファレンス炉心と大きく変わらないと考えられるが、 $^{235}\text{U}$ の組成を低減し $^{239}\text{Pu}$ を増加させた場合、実効遅発中性子割合が小さくなるため、安全評価も課題の一つであり、今後検討していく予定である。

参考文献

- 1) Shigeo KASAI, et al , "A Study on the Recycle Core Using Nitride Fuel in an Advanced Nuclear Recycling System", GLOBAL '97, Vol.2, p1056~1061(1997)
- 2) 有井祥夫、富田直樹、前田彰、小林孝良、伊東秀明、飛田公一、山下芳興、『高速実験炉「常陽」の炉心高性能化計画（MK-III計画）』、日本原子力学会誌Vol.38, No.7, p577~584(1996)
- 2) 高野 他、『Production and Benchmark Tests of Fast Reactor Group Constant Set JFS-3-J2』、JAERI-M 82(135)(1982)