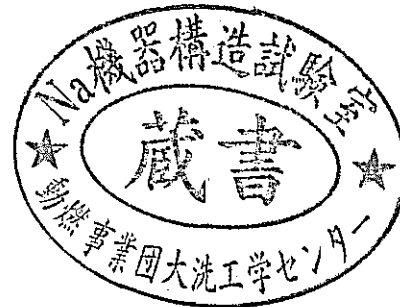


TN 241 70-53

区 分 変 更	
変更後資料番号	<del>111</del>
決議年月日	平成13年7月31日

# 「常陽」MK-II炉心開発の必要性和 その可能性について



昭和45年11月

高 速 炉 開 発 本 部  
高 速 実 験 炉 建 設 部

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

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

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

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

## ま え が き

高速実験炉「常陽」はその設計、建設ならびに運転を通じて原型炉あるいは更に実用炉の建設に必要な技術を開発することを目的として建設中である。従つて定常運転が開始される時点においては長期の運転経験を得ると言う点を除けば一応この炉の建設目的は達成されることになり、それ以後におけるこの炉の運用については高速炉用燃料材料開発の為に照射ベッドとして活用されることになつている。

一方実験炉の建設に関しては「安全な炉をできるだけ早期に建設し、運転に到らしめる」と言う基本的な要請があり、これに対しては①保守的な設計条件の採用②段階的な出力の上昇による限界出力達成と云う考え方で作業が進められて来た。

従つてこの炉の建設目的が一応達成された以後の運用についてはその具体的な方法について以前からの1つの提案がなされていた。すなわち

① この炉が照射専用炉として設計されたものではなく且又設計条件に保守的な考えを採用している事から、到達可能な限界出力においても照射炉としての性能は高性能を期待できないであろうこと

② 燃料、制御棒等の炉心要素は元来消耗品であり、取替用炉心要素を適切に設計変更することにより、照射炉としての大巾な性能向上が期待し得ること

の2つの点から、限界出力到達後の適当な時期において炉心部を現在の炉心(MK-Iと呼ぶ)から照射炉用炉心(MK-IIと呼ぶ)に変更するのが真に実験炉を有効に活用する道であるとする考えである。

この考えは既に1年以上も前からFBR本部内に存在し、このMK-II炉心について今日まで何回かの討論会が持たれたが、MK-II炉心開発を真剣に検討すべきであると言うのが部内の大方の意見であつた。

然し乍らMK-II炉心の具体的な性能については各種の意見があり、そのイメージを廻つて種種の議論があつたことも亦事実である。それらの議論の多くは①どのような照射用炉心が実現可能であるか②どのような照射が実施できる炉心が必要であるか、と言う2つの問題に関するものであり、結果として議論が堂々めぐりしてMK-II炉心のイメージをはつきりさせるには至らなかつた。

以上の事から①の「どのような炉心が実現可能であるか」については、MK-II炉心としては炉心要素のみの変更で実現可能なものと言う物理的制限条件が付されていることから、先づ技術

的に妥当であると思われる範囲について予備的なパラメトリックサーベイを行なつて、その実現可能な炉心性能を評価してみることにした。

この報告に書かれている内容はMK-II炉心に関する今日までの議論のうち要約可能なものをできるだけとりまとめ、更に今日まで行なつたMK-II炉心についてのパラメトリックサーベイの結果を簡単に記したものである。

勿論これだけではMK-II炉心のイメージを確立するのに全く不十分であり、今后更に広範なサーベイ、解析を必要とすることは明らかであるが、それらの解析の結果については作業の進捗に従つてその都度報告書にまとめる考えである。然し乍ら或程度実現可能な炉心性能の範囲が把握できるようになつた時点においては上記②の「どのような照射が実施できる炉心が必要であるか」と言う実験炉の利用計画に関連した議論が必要となるので利用計画についても並行して検討を進めることが必要である。

4 5 年 1 1 月 5 日

実 験 炉 建 設 部

苫 米 地 顕

## 要

## 旨

「常陽」は我が国ではじめて建設される高速実験炉であるので、その性能は比較的保守的な考え方によつて設計されてきた。

しかし、建設完了後安全な運転を確認した後は、実験炉建設の他の1つの目的である照射ベッドとしての有効でしかも効率のよい使用条件を実現させることが大切である。

この目的に添つて検討を開始しようとする「常陽」第2世代の炉心体系をMK-II (Mark-two) 炉心と呼ぶ。

本報は、このMK-II炉心開発の必要性とその目標を述べ、目標達成の可能性に関する予備的検討結果を、まとめたものであり、動燃内資料として、今後の作業を進めるための参考用として利用することを目的とした。

高 速 炉 開 発 本 部

高 速 実 験 炉 建 設 部

井 上 晃 次  
吉 野 富 士 男

# 「常陽」MK-II炉心開発の必要性とその可能性について

## 目 次

	ページ
I 必要性と目標 .....	1
1. 必要性 .....	1
2. 目 標 .....	1
II 核特性の検討 .....	8
1. 概 要 .....	8
2. 反射体効率の検討 .....	8
3. 単純モデルによる臨界半径の検討 .....	13
4. 制御棒領域模擬による特性の検討 .....	20
5. $UO_2$ 炉心の検討 .....	32
6. 球形モデルによる濃縮度の対比 .....	36
III 熱特性の検討 .....	40
IV 作業の進め方 .....	48
V あとがき .....	50

# I 必要性と目標

## 1. 必要性

昭和60年代初期に高速増殖炉が実用化されるためには、設計、製作、建設の期間を考慮して、実用化が開始されるよりも数年迄に、技術上の問題点が解明されて経済設計と安全設計の最適化の見通しがたてられていなければならないであろう。

各国高速炉専門家の間で一致して取り上げられている高速炉開発技術上の問題点の一つは、原子炉の心臓部である燃料の挙動に関してである。すなわち燃料ペレットのスエリング、被覆管の直径増加、照射にともなう被覆材機械強度の変化……などが燃焼限界を決める要素となり、経済設計の重要な決め手となる。1例として、EBR-IIで照射した被覆の直径増加に関する実験データを第I-1図に示す。

これらの情報を実用炉の設計に有効に反映させるためには、昭和50年代中期頃迄に統計的に処理しうるだけの十分な照射情報が集積されなければならない。

将来炉の最高燃焼度における積算中性子束(nvt)を第I-1表に示す。米国のWASH計画による被覆材の設計例を第I-2表に示す。これらの表から将来炉の被覆材積算照射量は $2 \sim 5 \times 10^{23}$  nvt程度であることがわかる。

照射を主目的とする“常陽”の照射条件を、MK-I第1期原子炉出力、MK-I限界出力(仮りに70MWとする)、およびMK-II別にまとめて第I-3表に示す。MK-Iの中性子束分布の形が凸形であるとすれば、MK-IIのそれはなだらかな凸形であつて高中性子束領域を広くとるよう工夫することが可能であり、MK-IIの中性子束の大きさがMK-I限界出力の約2倍近くとりうることから、MK-II炉心体系ができるだけ早期に実現されることが望ましい。

参考までに既存高速炉の一部主要特性を第I-4表に示すが、RapsodieとRapsodie Fortissimoとを対比すると、「常陽」においても中性子束増大の可能性が充分にあることがわかる。

## 2. 目標

MK-I炉心体系の炉心構成要素部分だけの設計変更を行ない、ブランケットを反射効率の大きい反射体で置き換えることにより、照射ベッドを主目的とした以下のような機能を有するMK-II炉心体系を実現させることを目標とする。

- Ⅰ) 最高中性子束は  $5 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$  以上
- Ⅱ) 高中性子束領域を広くとる。
- Ⅲ) 高温条件を達成させる。

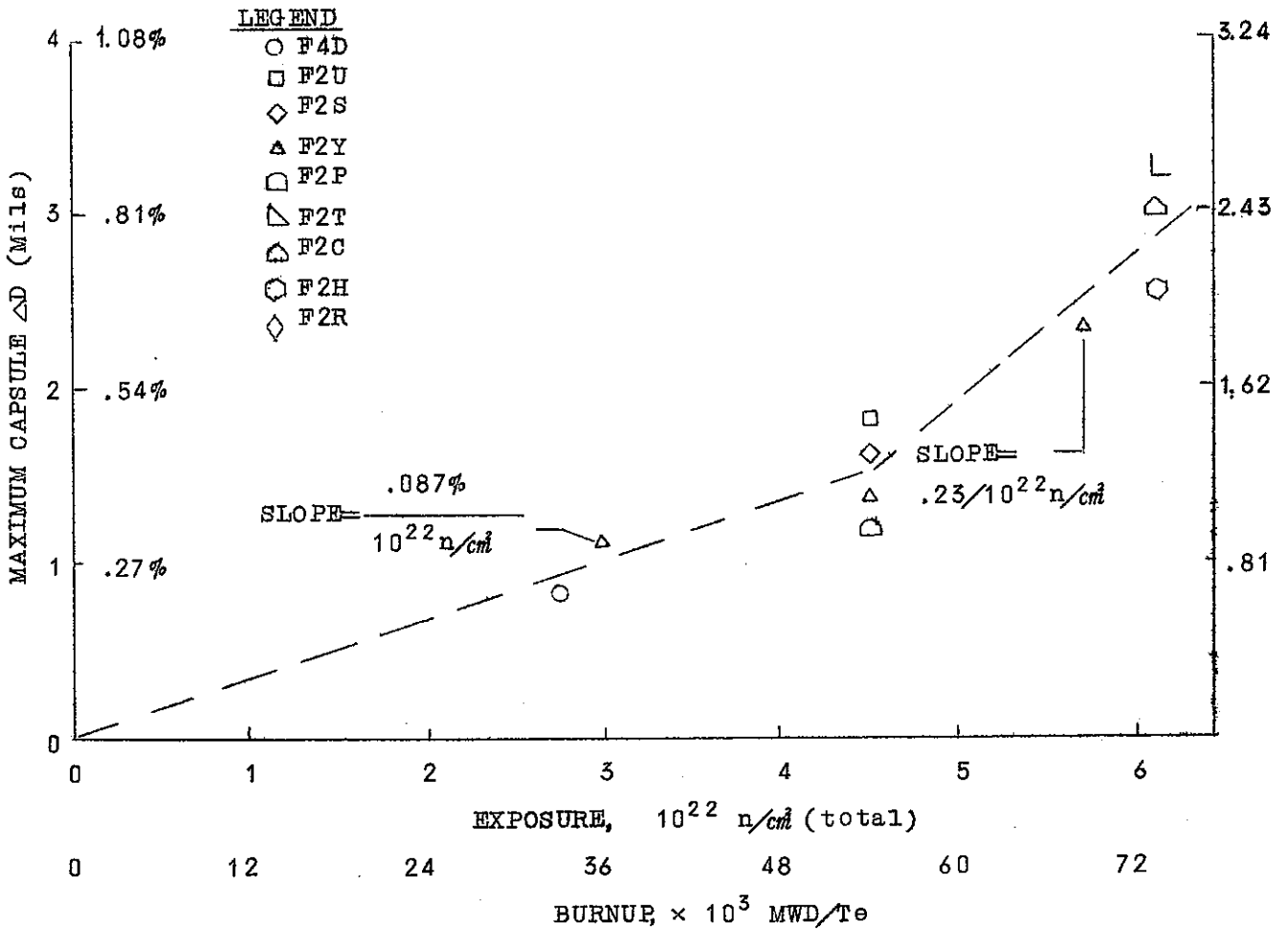
以上のような照射ベッドとしての環境条件は、核・熱・燃料・炉内構造物などの設計が予備設計、概念設計へと進むにしたがって具体化される。

したがって当初はできるだけパラメトリックに可能性の巾をもたせたサーベイを行ない、照射を必要とする側と充分検討をする必要がある。

一方、原型炉および実用炉側から実験炉へ期待する照射条件などについても充分検討をすることは、MK-II炉心体系を有効に活用するための必須条件となる。



MAXIMUM DIAMETRAL INCREASE  
OF 304 CAPSULES IN EBR-II  
TEMPERATURES 900F



第I-1図 EBR-IIで照射した被覆材直径増加の実測値  
(1968. 10)

第I-1表 原型炉および実用炉の燃焼特性

	もんじゆ	PHENIX	GE 1000MWe
熱出力 (MWt)	750	563	2345
最高中性子束 ( $n/cm^2 \cdot sec$ )	$7 \times 10^{15}$	$7.6 \times 10^{15}$	$1.3 \times 10^{15}$ *
設計燃焼度 (MWD/T)	100.000	50.000 (100.000 延長可能)	av 110.000
最高積算中性子束 (nvt)	$4.4 \times 10^{23}$	$2 \times 10^{23}$	$7.6 \times 10^{22}$ **
炉入口ナトリウム温度 (°C)	400	400	457
炉出口ナトリウム温度 (°C)	540	560	620

\* 高速中性子束

\*\* 1 MeV以上

	EBR-II*	FFTF	Early Demon- Stration Plants	Commercial Plants
Type of fuel element	Sealed	Sealed	Sealed (1st core)	Probably vented
Outside diameter (in.)	0.174	0.23-0.25	0.23-0.25	0.25-0.28
Wall thickness (in.)	0.009-0.012	0.015-0.016	~0.015	0.01-0.02
Operating temperature range (F)	700-1130	500-1250	700-1300	800-1400
Neutron fluence (n/cm <sup>2</sup> )	10 <sup>22</sup> -10 <sup>23</sup>	1-2 × 10 <sup>23</sup>	1-3 × 10 <sup>23</sup>	2-5 × 10 <sup>23</sup>
In-core residence time (days at power)	70-1000	250-500	250-500	250-500
Sodium velocity (ft/sec)	11-16	~30	15-20	10-30
Sodium purity (ppm oxygen)	1-10	1-10	1-5	1-5
Fuel	U-5Fs	(U, Pu)O <sub>2</sub>	Probably (U, Pu)O <sub>2</sub>	Open
Fuel burnup (Mwd/T)	1-6 × 10 <sup>4</sup>	4.5-8 × 10 <sup>4</sup>	5-7 × 10 <sup>4</sup>	~10 <sup>5</sup>
Cladding-fuel bonding medium	Sodium	Helium	Probably He	He or Na
Fuel element support:				
a) Type	Spiral wire	Spiral wire	Open	Open
b) Pitch or interval (in.)	6	12	Open	Open
Temperature cycles during in-core residence time:				
a) Normal rate	10-400	10-25	5-500	5-1000
b) Scram rate	2-10	2-20	1-5	1-5

\* Ranges include power to 625 Mwt

第I-3表 常陽における照射条件

	MK-I 炉心体系		MK-II 炉心体系
	第1期原子炉出力	限界出力	
熱出力 (MWt)	50	~70 (?)	~100(?)
最高中性子束 ( $n/cm^2sec$ )	$2 \times 10^{15}$	$\sim 2.8 \times 10^{15} (?)$	$> 5 \times 10^{15}$
1年間における積算中性子束 但し稼働率: 70% ( $nvt$ )	$4 \times 10^{22}$	$5.6 \times 10^{22} (?)$	$> 1.1 \times 10^{23}$

第I-4表

各国高速炉主要特性一覧

	EBR-II	Enrico Fermi	DFR	BR-5	Rapsodie	Rapsodie Fortissimo	FETF	常陽	もんじゅ
熱出力 (MW)	62.5	200	72	5	24	37.4	400	50	750
最高中性子束 ( $n/cm^2/s$ )	$5.7 \times 10^{15}$	$5.1 \times 10^{15}$	$3.8 \times 10^{15}$	$1 \times 10^{15}$	$1.9 \times 10^{15}$	$3 \times 10^{15}$	$7.2 \times 10^{15}$	$2.0 \times 10^{15}$	$7 \times 10^{15}$
炉心									
有効炉心容積 ( $\ell$ )	60	380	120	17.2	48.6	427	1033	252	2100
燃料集合体数					64	59	91	67	191
燃料									
ペレット外径 (mm)					5.57	4.23	5.84	5.5	5.5
有効高さ (mm)	361	755	533	280	340	320	915	600	900
アセンブリ当り 燃料ピン数					37	61	217	91	169
PuO <sub>2</sub> 富化度 (%)					25	30		18	14.0 a / 0.0145 外 19.6 a / 0.0145
U <sup>235</sup> 濃縮度	49	25.6	45.5		60	85		23	
熱および冷却特性									
Na 炉心入口温度 (°C)	371	228	200	375	405	410	~3300 (初期)	370	400
Na 炉心出口温度 (°C)	473	427	350	450	495	530	~500 (初期)	435	540
一次系流量 ( $m^3/h$ )					890	1,060	~8000	2550	16000
最高単位長出力 ( $w/cm$ )	376	234		300	380	400	436	234	400
炉心平均出力密度 ( $Kw/l$ )	89	460	500				250	188	350

## II 核特性の検討

### 1. 概要

炉心の周囲をブランケットのかわりに反射体で囲むことにより、炉心内の中性子束を高くし、出力分布の平坦化、中性子スペクトルを大型炉のそれに近づけることなどの効果が期待される。一方、ブランケットをなくすことによる反応度係数への影響はきびしくなる。

核特性の検討においては、種々の炉心体系の臨界特性のサーベイを主目標とし、

- ① 反射体の材質と効率、
- ② 単純モデルの臨界半径と得られる最高中性子束、
- ③ 制御棒領域を考慮したときの臨界特性、最高中性子束とスペクトル、
- ④  $UO_2$  炉心の特性
- ⑤ 球形モデルでの検討

などを行なった。

群定数はABBNセット、コードはEXPANDA-2, 3を使用し、25群で計算した。

### 2. 反射体効率の検討

#### 1) 目的

適当な反射体数種を対象に、その反射体特性を1次元平板の体系で計算を行なり。

#### 2) 計算体系

##### (1) 炉心組成

MK-I 炉心と同じ

プルトニウム富化度 18 w/o

$U_{235}$  濃縮度 23 w/o

体積比

燃料 ( $PuO_2 - UO_2$ ) 37.59 v/o

冷却材 40.60 v/o

構造材 (SUS32) 20.44 v/o

プルトニウムアイソトープ組成比

$239/240/241 = 70/25/5$

##### (2) 反射体

$UO_2$ , Nb, Mo, Ni, Fe,  $Al_2O_3$ , BeO, SUS32

これらのうち、主要なものについての特性を第2-1表に示す。

反射体厚さ 50cm (上下各)

反射体配列

MK-I炉心における軸方向ブランケットと同じく、91本のピンを3角ピッチで配列させる。

体積比(軸方向ブランケット)

燃料部 35.59 v/o

Na 40.60 v/o

SUS 20.44 v/o

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, BeOはSUS32の被覆管におさめる。SUS反射体は、この体積比のほか、65, 70, 75 v/oの3種の体積比についても計算した。

炉心および反射体の原子数密度を第2-2表に示す。

### 3) 計算と結果

計算は無限平板の体系で、まず裸炉心について臨界計算を行ない、つぎにそれぞれの反射体について臨界計算を行ない、それぞれの反射体効率を求めた。

反射体効率 $\delta$ は、裸炉心の臨界厚さを $H_0$ 、反射体付炉心の臨界厚さを $H_1$ とすると

$$\delta = \frac{1}{2} (H_0 - H_1)$$

により与えられる。

また、軸方向バックリング $B_L^2$ は、炉心高さを $L$ とすると、

$$B_L^2 = \left( \frac{\pi}{L + 2\delta} \right)^2$$

により与えられる。

これらの計算結果を第2-3表に示す。

計算の結果、反射体効率の大きい順に列挙すると、BeO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SUS32, Fe, Ni, UO<sub>2</sub>, Mo, Nbの順になる。

また、SUSの場合、体積比を大きくしても反射体効率はそれ程改善されなことがわかる。

なお、BeO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のKg当りのコストはそれぞれ約120千円、約26千円で、SUS32の約0.4千円に比して高価であり、加工性にも難点があると云われる。

第2-1表

## 反射材の特性

	比重	融点 (°C)	比熱 (cal/°C·g)	熱伝導率 (cal/cm·g·°C)	線膨張率 (°C <sup>-1</sup> at 400°C)	Naとの 共存性
BeO	2.7~2.8	2550	10.5 cal/mol·°C	0.22	$9.6 \times 10^{-6}$	良
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.99	2050			$\sim 10 \times 10^{-6}$	否
Fe	7.86	1530	0.11	0.10~0.15	$1.15 \times 10^{-5}$	否
Ni	8.845	1455	0.1065	0.198	$1.279 \times 10^{-5}$	良
Mo	10.23	2620	0.061	0.328	$0.52 \times 10^{-5}$	良
Nb	8.56	1950	0.0645			良
SUS32	7.954	1370	0.154	0.78	$1.765 \times 10^{-5}$	良



第2-2表

原子数密度 (単位  $10^{22}$  atom/cm<sup>3</sup>)

	炉心	UO <sub>2</sub>	Nb	Mo	Ni	Fe	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BeO	SUS32	* SUS32(1)	** SUS32(2)	*** SUS32(3)
Pu <sup>239</sup>	0.1093											
Pu <sup>240</sup>	0.0390											
Pu <sup>241</sup>	0.00781											
U <sup>235</sup>	0.1665	0.00219										
U <sup>238</sup>	0.5505	0.8619										
O	1.729	1.728					2.660	2.3646				
Na	0.9212	0.9212	0.9212	0.9212	0.9212	0.9212	0.9212	0.9212	0.9212	0.79414	0.68069	0.56724
Cr	0.3563	0.3563	0.14454	0.14454	0.14454	0.14454	0.14454	0.14454	1.0354	1.1330	1.22021	1.30736
Fe	1.610	1.610	0.4710	0.4710	0.4710	3.7442	0.4710	0.4710	3.739	3.6920	3.97603	4.26003
Ni	0.1993	0.1993	0.08085	0.08085	2.6791	0.08085	0.08085	0.08085	0.5792	0.6338	0.68253	0.73129
Mo	0.02514	0.02514	0.01031	2.5052	0.01031	0.01031	0.01031	0.01031	0.07384	0.0808	0.08702	0.09324
Al							1.7730					
Be								2.3646				
Nb			2.1428									

\* SUS 65V/O

体系の温度 20°C, Na のみは 370°C \*\* SUS 70V/O

\*\*\* SUS 75V/O

第2-3表

## 反 射 体 効 率

反射体材質	臨 界 厚 さ	反 射 体 効 率	バックリング	
			L=55cm	L=60cm
反射体なし	23.914 <sup>cm</sup>			
UO <sub>2</sub>	8.717	15.197 <sup>cm</sup>	$1.353 \times 10^{-3}$	$1.208 \times 10^{-3}$
Nb	9.991	13.923	$1.438 \times 10^{-3}$	$1.279 \times 10^{-3}$
Mo	9.087	14.827	$1.377 \times 10^{-3}$	$1.228 \times 10^{-3}$
Ni	8.264	15.650	$1.325 \times 10^{-3}$	$1.184 \times 10^{-3}$
Fe	8.123	15.791	$1.317 \times 10^{-3}$	$1.177 \times 10^{-3}$
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.137	18.777	$1.152 \times 10^{-3}$	$1.037 \times 10^{-3}$
BeO	4.892	19.022	$1.140 \times 10^{-3}$	$1.027 \times 10^{-3}$
SUS32	7.153	16.761	$1.259 \times 10^{-3}$	$1.128 \times 10^{-3}$
" (1)*	7.060	16.854	$1.254 \times 10^{-3}$	$1.124 \times 10^{-3}$
" (2)*	7.039	16.875	$1.253 \times 10^{-3}$	$1.123 \times 10^{-3}$
" (3)*	7.021	16.893	$1.252 \times 10^{-3}$	$1.122 \times 10^{-3}$

\* (1) SUS 65V/O

\* (2) SUS 70V/O

\* (3) SUS 75V/O

### 3. 単純モデルによる臨界半径の検討

#### 1) 目的

炉心熱出力を一定にすると、高中性子束を得るためには炉心体積を小さく、また、濃縮度を大きくしなければならない。中性子束は炉心体積と濃縮度との積に反比例する。

臨界半径のサーチでのパラメータは下記の通りである。

#### (1) 1 集合体中のピン本数

91, 127, 169

#### (2) PuO<sub>2</sub> 富化度

18, 25 w/o

#### (3) U<sup>235</sup> 濃縮度

23, 50 w/o

#### (4) 炉心高さ

55, 60 cm

#### (5) 反射体

反射体効率のサーチにもとづき、反射体材質はSUS32とした。

軸方向	上下各 50cm
体積比	SUS 59.40 v/o
	Na 40.60 v/o
半径方向	厚さ 50cm
体積比	SUS 67.81 v/o
	Na 32.19 v/o

ここで、半径方向反射体の体積比はMK-Iにおける半径方向ブランケットと同じ形状を想定したことにとづく。

これらすべてのパラメータの組合せにより、1次元円筒炉心形状での臨界計算を行い、その臨界半径と、得られる最高中性子束を求めることを目的とした。

#### 2) 炉心体積比の検討

MK-IIでは集合体のピッチが規定されているので、炉心の燃料体積比のサーチは燃料ピンの本数を増加させることにより行なつた。

三角ピッチの配列では燃料ピンは91本以上は、127本、169本、217本、……の如く増加させうる。このうち、可能性のある127本、169本の場合について次の条件

のもとにピンの寸法を計算し、炉心体積比を求めた。

- (1) ピンピッチ/ピン外径の比を 1.15~1.30 の範囲とする。
- (2) ラッパ管の水平断面形状は MK-I と同じとする。
- (3) 被覆管肉厚および被覆管ペレット間ギャップは MK-I と同じにする。
- (4) ラッパ管内壁と最外周ピンとのクリアランスを適切にとる。

数ケースについて計算した結果を第 3-1 表に示す。これにより炉心体積比を下記のよ  
うに設定した。

ピン本数	燃料	Na	SUS
91本	37.59 $\text{V}/\text{o}$	40.60 $\text{V}/\text{o}$	20.44 $\text{V}/\text{o}$
127本	40.00	36.70	22.00
169本	38.80	35.50	23.80

### 3) 原子数密度の計算

- (1) (Pu-U)  $\text{O}_2$  の理論密度

$$\rho_T = 11.465x + 10.960(1-x)$$

$x$  は  $\text{PuO}_2$  の重量比 (富化度)

実効密度 ( $\rho_e$ ) を 94% T.D. とすると

$$\rho_e = 0.94 \rho_T$$

- (2)  $\text{Pu}^N$  ( $N=239, 240, 241$ ) の原子数密度

Pu のアイソトープ組成比を

$$239/240/241 = 0.7/0.25/0.05$$

に固定すると、例えば  $\text{Pu}^{239}$  の原子数密度は

$$\frac{\rho_e \cdot x}{A} \cdot N_0 \cdot 0.7 \quad (N_0 = 6.02544 \times 10^{23} / \text{mol})$$

により計算できる。但し A は  $\text{PuO}_2$  1 mol の質量。

- (3) U の原子数密度

$\text{U}^{235}$  の濃縮度を  $a$  ( $\text{a}/\text{o}$ ) とすると、その原子数密度は

$$\frac{\rho_e (1-x)}{A} \cdot N_0 \cdot a \quad (A \text{ は } \text{UO}_2 \text{ 1 mol の質量})$$

により求まる。濃縮度の重量比(w)と原子数比(a)とは次の関係がある。

$$a = \left[ 1 + \frac{1-w}{w} \cdot \frac{235}{238} \right]^{-1}$$

#### 4) 臨界半径のサーチ

##### (1) 計算体系：1次元円筒での臨界計算

軸方向バックリング

$$\text{炉心高さ } 55 \text{ cm の場合 } B_1^2 = 1.917 \times 10^{-8}$$

$$\text{炉心高さ } 60 \text{ cm の場合 } B_1^2 = 1.675 \times 10^{-8}$$

体系温度 20°C 但し Na は 370°C

メッシュ数 炉心部 20, 反射体部 20

1~4で記した体系での各ケースの原子数密度を第3-2表に示す。

##### (2) 計算結果

第3-3表に各ケースの臨界半径およびその最高中性子束を示す。

最高中性子束の絶対値の計算は下記により行なつた。

- 1 fission 当りの放出エネルギーを 190 Mev とする  
( $3.3 \times 10^{10}$  fissions/sec/w)
- 炉心熱出力 100 Mwt
- 平均発生中性子数  $\bar{\nu}$  は 2.7 とする。(MK-Iにおける値)

最高中性子束の絶対値を  $\bar{\nu}$  ( $n/cm^2/sec$ ) とすると

$$\bar{\nu} = 10^8 \times 3.3 \times 10^{10} \times \bar{\nu} \times \phi / L$$

ここで  $\phi$  は EXPANDA-2 での炉心中心における中性子束で、L は炉心高さである。

$$\phi = \sum_{i=1}^{25} \phi(o, u) du$$

##### (3) 結果の検討

第3-3表の最高中性子束の値は、入力  $B_1^2$  の値を大きくしたため小さめの値になっているが、全てのケースで  $5 \times 10^{15} n/cm^2 sec$  以上を得る。

また、臨界半径は制御棒領域が炉心中心より約 20.3 cm ~ 22.8 cm にあることから、これを炉心の体系内におくように臨界半径を制限しなければならない。

第3-1図に、 $\phi_{max}$  と  $\sum fV_c$  ( $V_c$  は臨界となる炉心体積) の関係を示す。

第3-1表

## 集合体内燃料ピン本数の検討

(単位 mm)

ピン本数	91	127		169		
集合体ピッチ	81.5					
集合体外辺間キヨリ	78.3	同 左		同 左		
集合体内辺間キヨリ	74.7					
ピンピッチ	7.6	6.47	6.45	5.6	5.6	5.6
ピン外径	6.3	5.6	5.3	4.9	4.7	4.8
P/D	1.21	1.155	1.217	1.143	1.191	1.167
集合体内壁と最外周 ピンとのクリアランス	1.291	0.931	1.185	0.952	1.051	1.002
ワイヤ直径	1.20	0.77	1.05	0.6	0.8	0.7
被覆管肉厚	0.35	同 左		同 左		
被覆管-ペレット間ギャップ	0.1					
体 積 比 (v/o)						
燃 料	37.59	39.95	35.11	38.79	35.01	36.92
Na	40.60	36.74	41.09	35.47	39.26	37.41
構 造 材	20.44	22.06	22.22	23.82	23.81	23.80

第3-2表

## 原子数密度

(単位  $10^{23}/\text{cm}^3$ )

Pu 富化度		18w/o	18w/o	25w/o	25w/o	反射体
U <sup>235</sup> 濃縮度		23w/o	50w/o	23w/o	50w/o	
Pu <sup>239</sup>	1	0.1094	同 左	0.1524	同 左	0
	2	0.11642		0.1622		
	3	0.11293		0.15731		
Pu <sup>240</sup>	1	0.03907	同 左	0.05443	同 左	0
	2	0.04158		0.05792		
	3	0.04033				
Pu <sup>241</sup>	1	0.00781	同 左	0.01089	同 左	0
	2	0.00832		0.01158		
	3	0.00807		0.01124		
U <sup>235</sup>	1	0.1666	0.36209	0.15285	0.33217	0
	2	0.1773	0.38531	0.16265	0.35347	
	3	0.17198	0.37375	0.15777	0.34286	
U <sup>238</sup>	1	0.5508	0.35749	0.50528	0.32795	0
	2	0.5861	0.38041	0.53767	0.34898	
	3	0.56852	0.3690	0.52154	0.33851	
O	1	1.729	1.93835	1.73418	1.73813	0
	2	1.8399	2.0626	1.84537	1.84957	
	3	1.7847	2.0007	1.79001	1.79408	
Na	1	0.9212	同	同	同	0.7304
	2	0.8327				
	3	0.8055				
Cr	1	0.3565	同	同	同	1.4349
	2	0.3837				
	3	0.4151				
Fe	1	1.161	同	同	同	4.6776
	2	1.2496				
	3	1.3519				
Ni	1	0.1993	左	左	左	0.8031
	2	0.2145				
	3	0.2321				
Mo	1	0.02541	同	同	同	0.1023
	2	0.02735				
	3	0.02959				

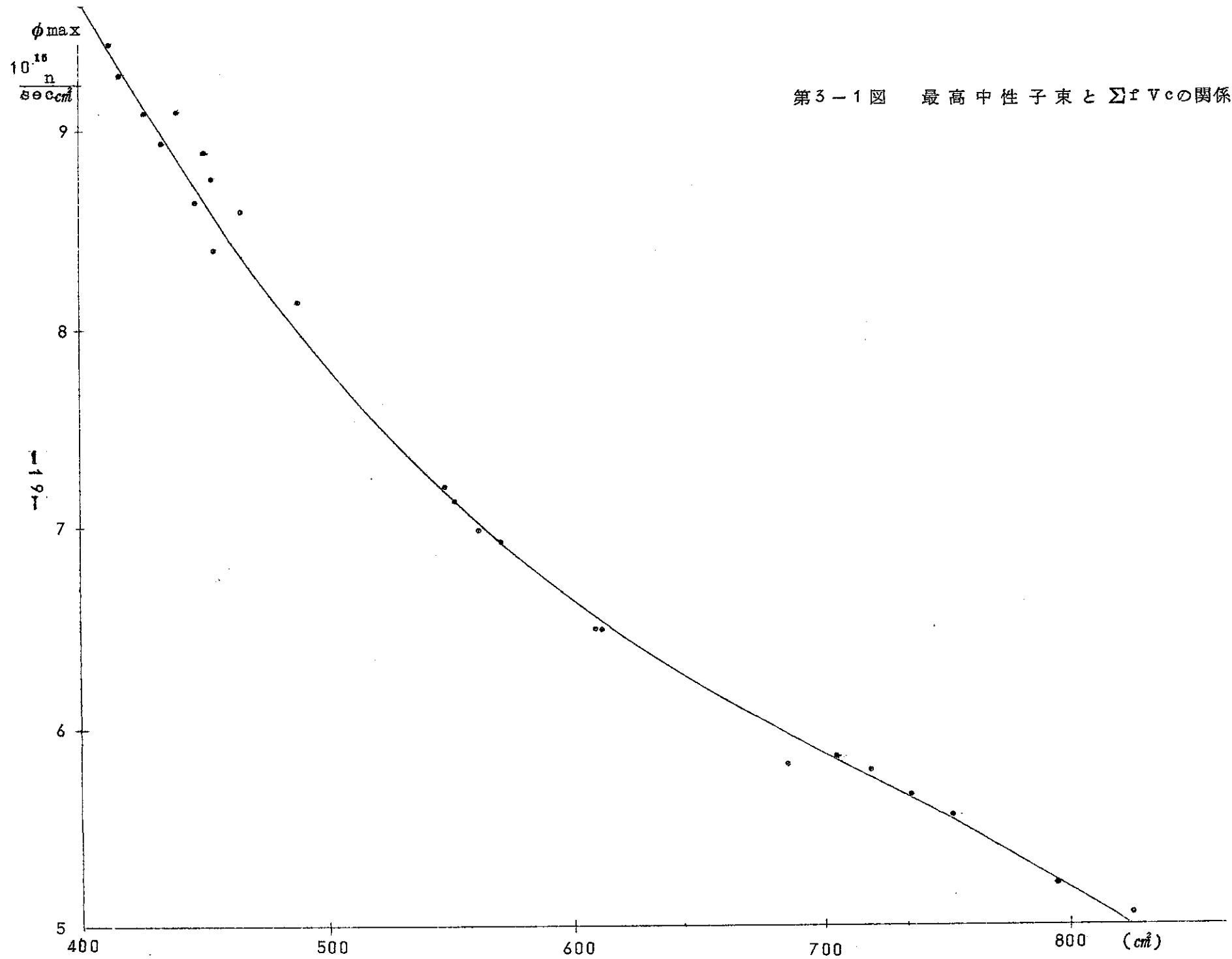
1 91本/集合体  
 2 127本/集合体  
 3 169本/集合体

第3-3表

臨界半径 (Rc) と最高中性子束 ( $\phi_{max}$ )

Case				91本/集合体		127本/集合体		169本/集合体	
Case No.	Pu 富化度	U235 濃縮度	炉心 高さ	Rc (cm)	$\phi_{max}(\times 10^{15})$	Rc	$\phi_{max}$	Rc	$\phi_{max}$
1	18 <sup>W/O</sup>	23 <sup>W/O</sup>	60 <sup>cm</sup>	26.78	5.205	24.50	5.83	25.39	5.63
2	18	23	55	28.55	5.057	25.86	5.77	26.88	5.52
3	18	50	60	17.06	8.16	15.96	8.78	16.40	8.59
4	18	50	55	17.61	8.39	16.41	9.10	16.88	8.89
5	25	23	60	22.18	6.483	20.50	7.12	21.17	6.92
6	25	23	55	23.27	6.479	21.36	7.21	22.10	6.98
7	25	50	60	15.97	8.66	14.97	9.28	15.37	9.10
8	25	50	55	16.45	8.94	15.36	9.65	15.79	9.45





第3-1図 最高中性子束と  $\Sigma fvc$  の関係

#### 4. 制御棒領域模擬による特性の検討

##### 1) 目的

臨界半径の検討により  $5 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$  以上の最高中性子束が得られるめやすがついた。ここでは

- ① BeO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SUS 反射体の特性,
- ② 制御棒領域を模擬して炉心体系を固定し, Pu 富化度を種々変化させたときの臨界体系における U<sup>235</sup> 濃縮度, 最高中性子束, 出力分布,
- ③ 反射体領域の体積比を変化させたときの臨界特性, など, 現実に近いモデルでの計算を行なった。ただし, 炉心燃料集合体内のピン本数は 91 本の体系のものを採用した。

##### 2) BeO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 反射体による特性

軸方向・半径方向反射体に BeO および Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を使用するときの中性子束, 出力分布などの特性をしらべた。臨界調整は Pu 富化度を固定し, U<sup>235</sup> 濃縮度のサーチにより行なった。

##### (1) 計算体系

炉心半径	33.42 cm	(炉心燃料集合体 55 本, 制御棒 6 本)
炉心高さ	55 cm	
反射体厚さ	軸方向(上下各), 50 cm	
	半径方向	42.3 cm
反射体材質	BeO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
反射体体積比	(v/o)	
	反射体 / Na / SUS	47.98 / 32.19 / 17.70
Pu 富化度	18, 15, 12 w/o	の 3 ケース

##### (2) 計算結果

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 反射体の計算結果を下表に示す。

Pu 富化度 (w/o)	18	15	12
U <sup>235</sup> 濃縮度 (w/o)	10.75	14.46	18.00
最高中性子束 ( $\times 10^{15} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$ )	4.27	4.22	4.15

上表からわかるように、最高中性子束は  $5 \times 10^{15}$  未満である。これは炉心半径をひろげすぎたことに起因する。また、Pu 富化度を下げると  $\phi_{max}$  は減少するが、これは  $\bar{v}$  の減少によるものと考えられる。

### (3) 出力分布とスペクトル

BeO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 反射体の半径方向出力分布を第 4-1 図に示す。いずれの場合も炉心-反射体の境界近傍で鋭い立上りがあり、ピークは境界点にくる。

半径方向出力分布係数は

$$\left. \begin{array}{ll} \text{BeO} & 2.28 \\ \text{Al}_2\text{O}_3 & 1.33 \end{array} \right\} \quad (\text{PuO}_2: 18\text{w/o の場合})$$

となる。

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 反射体付の炉心中心と反射体境界の中性子スペクトルを第 4-2 図に示す。

### 3) 炉心半径縮少による反射体付炉心の特性

前の検討では炉心燃料集合体 55 本の体系を設定したが、ここでは 2. と同じ炉心集合体を第 4-3 図に示す 43 本の体系に固定し、炉心高さを 50 cm, 55 cm にとり、中性子束などの計算を行なった。

反射体は BeO を対象外とし、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SUS の 2 種類とした。

#### (1) 計算体系

炉心半径	29.953 cm
炉心高さ	50 cm, 55 cm 2 ケース
炉心 Pu 富化度	21, 18, 15 w/o 3 ケース
炉心体積比 (v/o)	
	燃料/Na/SUS = 37.59/40.60/20.44
反射体材質	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SUS32 2 種類
反射体厚さ	軸方向 50 cm (上下各)
	半径方向 4.6 cm
反射体体積比 (半径方向 v/o)	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Na/SUS = 47.98/32.19/17.70
	SUS/Na = 67.81/32.19

#### (2) 計算結果

第 4-1 表に各ケースの臨界体系における U<sup>255</sup> 濃縮度および最高中性子束を示す。

これらをPu 富化度の関数として炉心高さ 50 cmおよび 55 cmのケースについて第4 - 4 図に示す。

この図から以下のことが推察されよう。

- ①  $Al_2O_3$  はSUS より反射効率が大きく, fissile materials の臨界量は少ないが, 最高中性子束はSUS よりも小である。
- ② 中性子束はPu の富化度にほぼ比例する。
- ③ 最高中性子束は全てのケースで  $5 \times 10^{15}$  以上である。

(3) 反射体体積比の検討

反射体の体積比を増加させたときの効果を次の体系でしらべた。

炉心高さ            55 cm  
 Pu 富化度            18 w/o  
 反射体材質            SUS 32  
 反射体体積比        ( v/o )

67.81, 73.0, 78.0 の3ケース

他の条件は(1)の体系と同じである。

$U^{235}$  濃縮度調整による臨界計算の結果は第4 - 5 図の通りで, 体積比を1v/o 増加させることによる  $U^{235}$  濃縮度の減少の効果は約0.05 a/o であり, あまり大きな効果はない。

(4) 出力分布とスペクトル

$Al_2O_3$  と SUS 反射体について, 代表的なケースの出力分布を第4 - 6 図に示す。

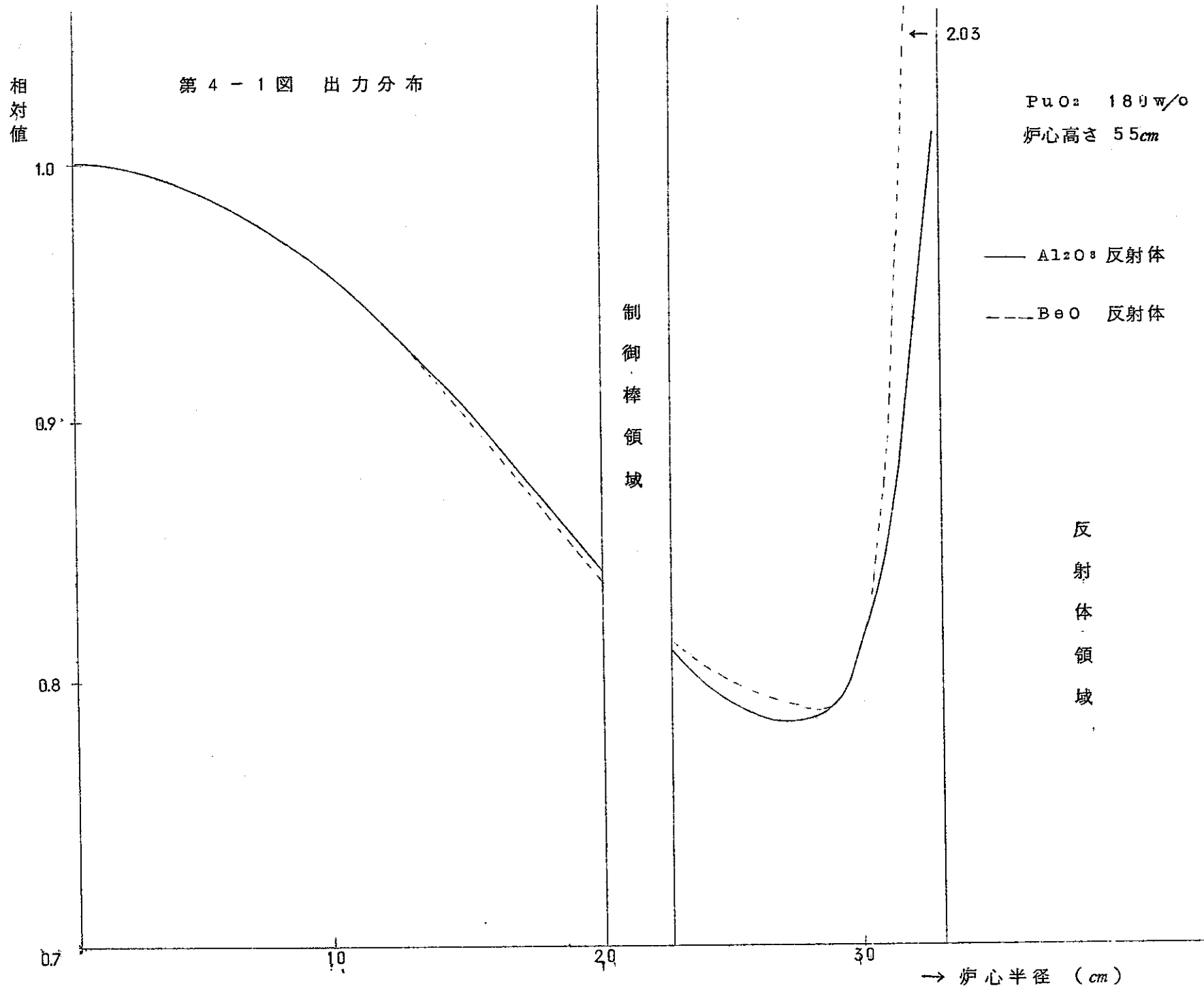
半径方向出力分布係数(最大/平均)は下記の通りである。

反 射 材	Pu 富化度	炉 心 高 さ	出力分布係数
$Al_2O_3$	21 w/o	50 cm	1.343
	15	55	1.359
SUS	21	50	1.291
	15	55	1.279

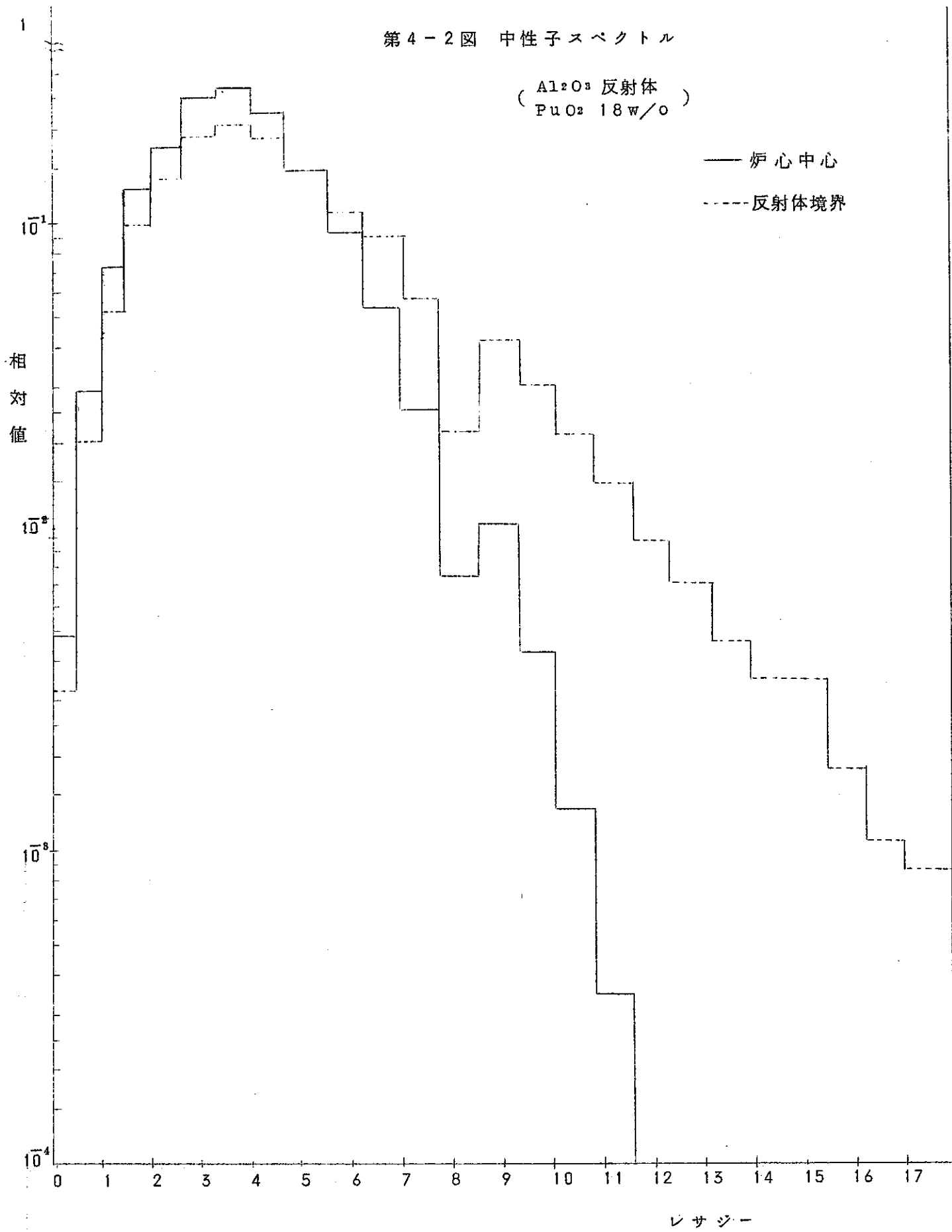
炉心中心および炉心-反射体境のスペクトルを  $Al_2O_3$ , SUS 反射体について, Pu 富  
化度 18 w/o, 炉心高さ 55 cm のケースを第 4 - 7 図に示す。

(  $Al_2O_3$  の中心スペクトルは省略した )

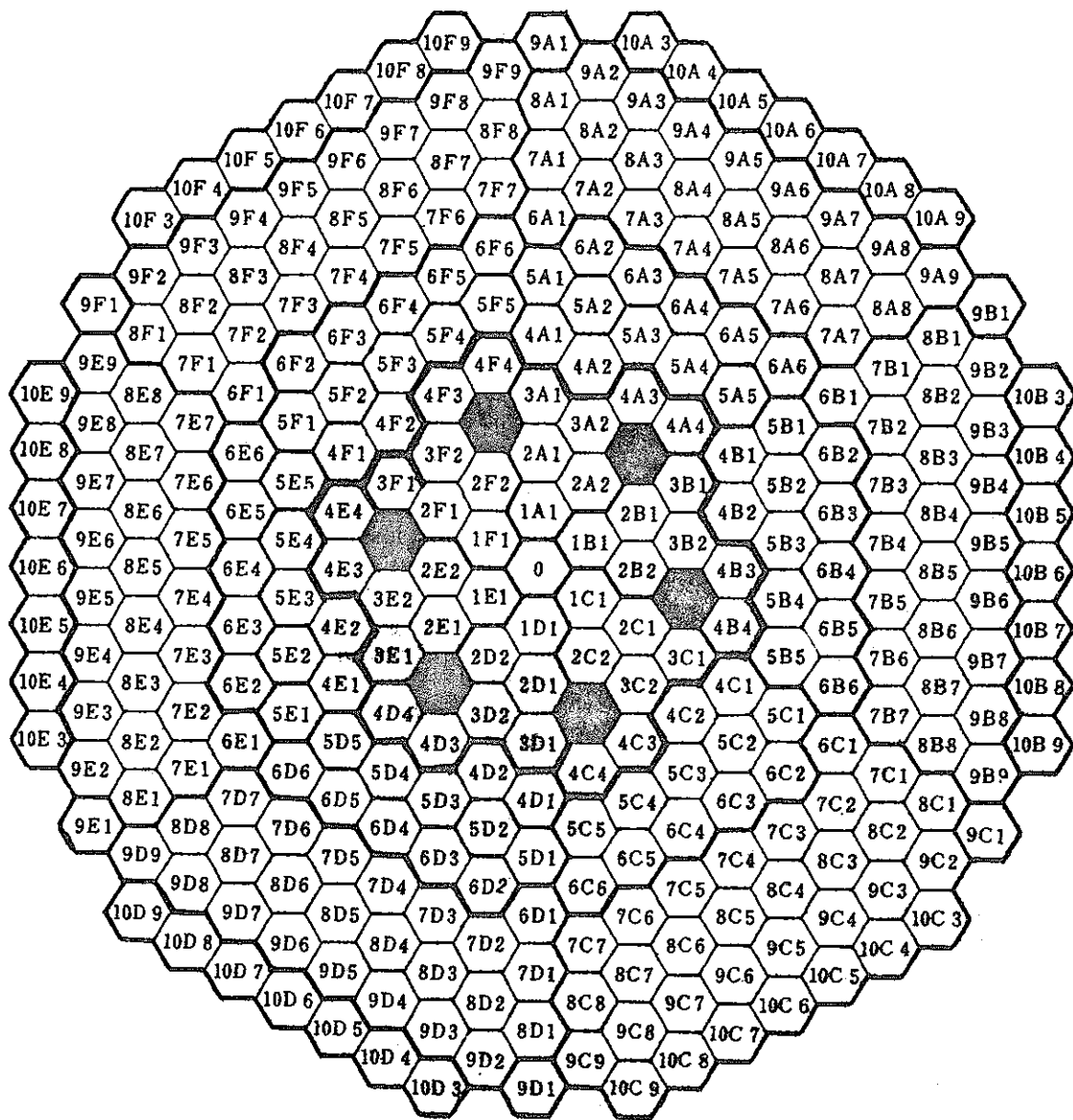
炉心中心および反射体境界におけるスペクトルは, いずれも  $Al_2O_3$  反射体の方が若  
干ソフトである。



第4-2図 中性子スペクトル



4 基準方位(トランスファロータ)



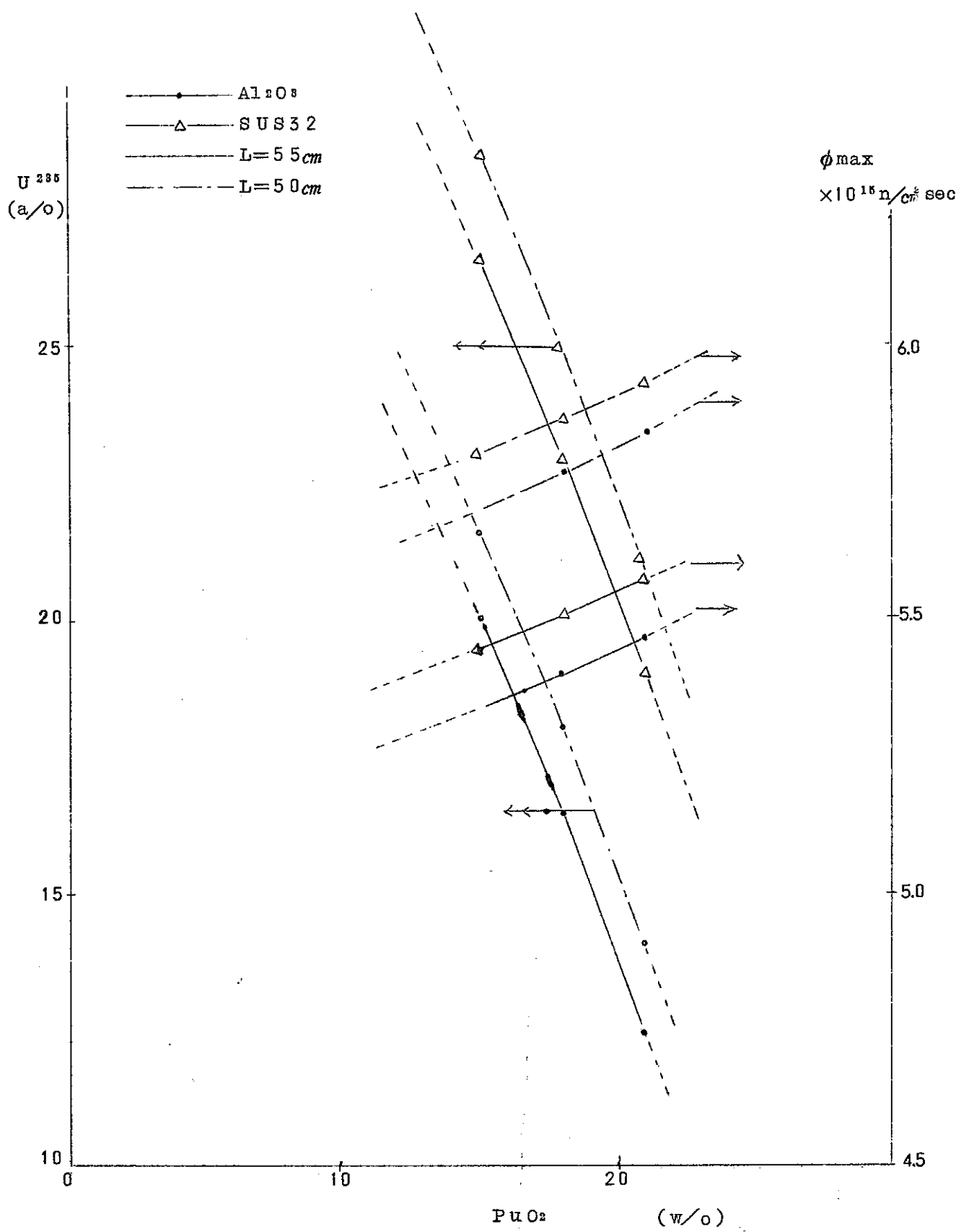
炉 心 燃 料	4 3 本
制 御 棒	6 本
反 射 体	2 6 4 本

第 4 - 3 図 高速実験炉炉心マトリックス

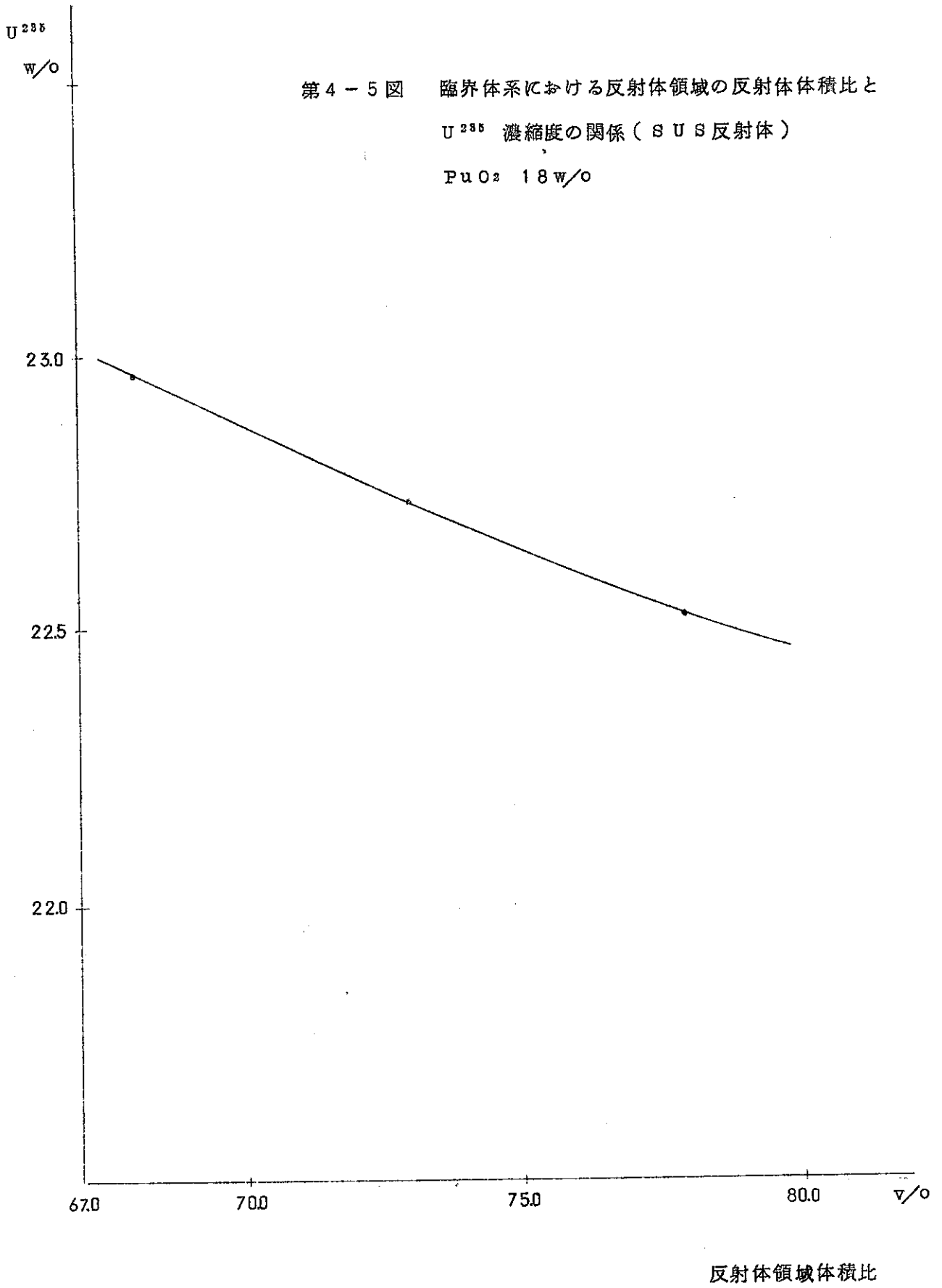


第 4 - 1 表 計 算 結 果

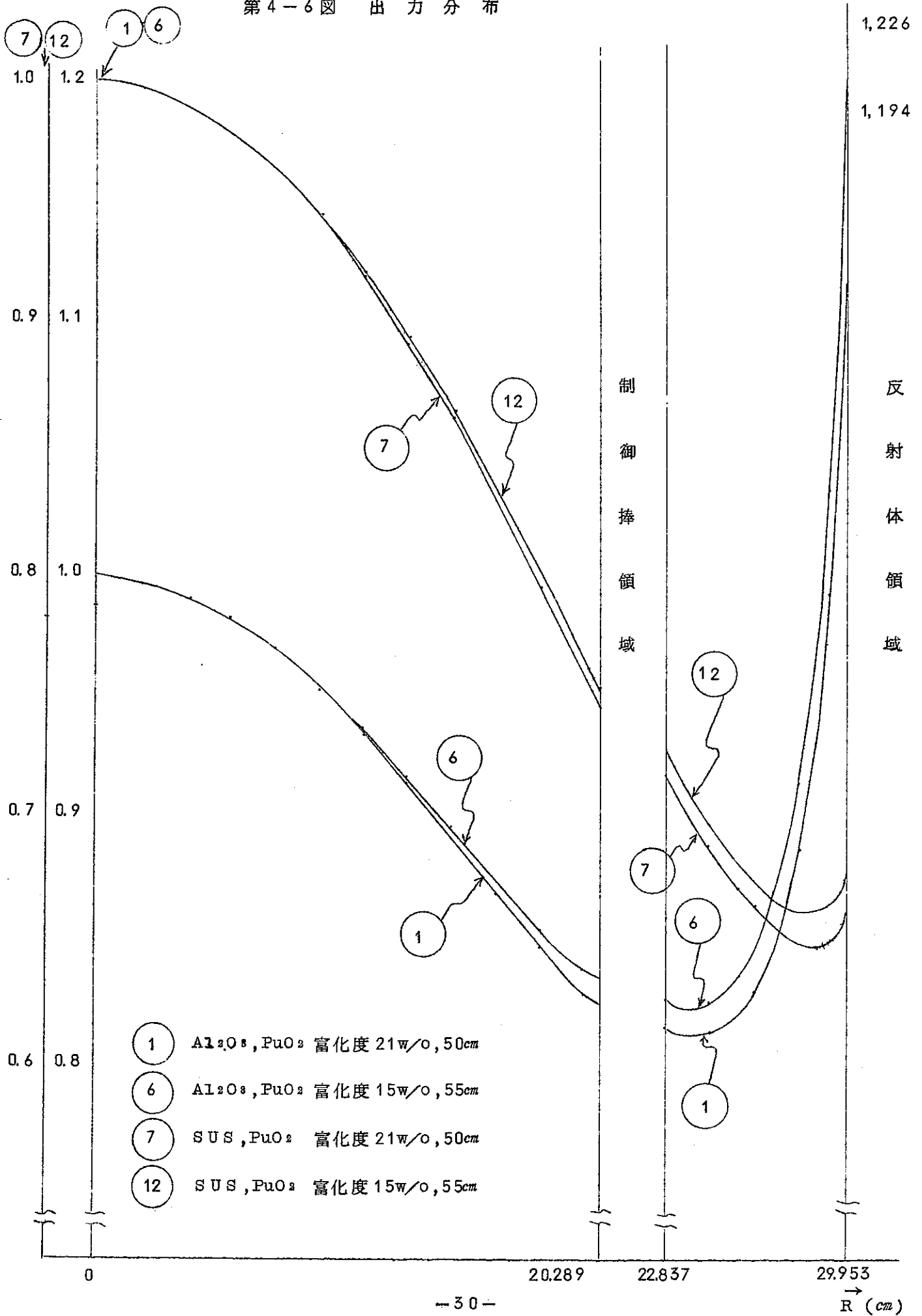
反 射 体	Pu 富 化 度	2 1 w/o		1 8 w/o		1 5 w/o	
	炉 心 高 さ	5 0 cm	5 5 cm	5 0 cm	5 5 cm	5 0 cm	5 5 cm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	U <sup>235</sup> (a/o)	14.07	12.48	18.01	16.43	21.60	20.03
	$\phi_{\max}$ ( $\times 10^{15}$ )	5.85	5.47	5.77	5.40	5.70	5.34
S U S	U <sup>235</sup> (a/o)	21.06	19.02	25.00	22.97	28.55	26.55
	$\phi_{\max}$ ( $\times 10^{15}$ )	5.94	5.57	5.87	5.51	5.81	5.45



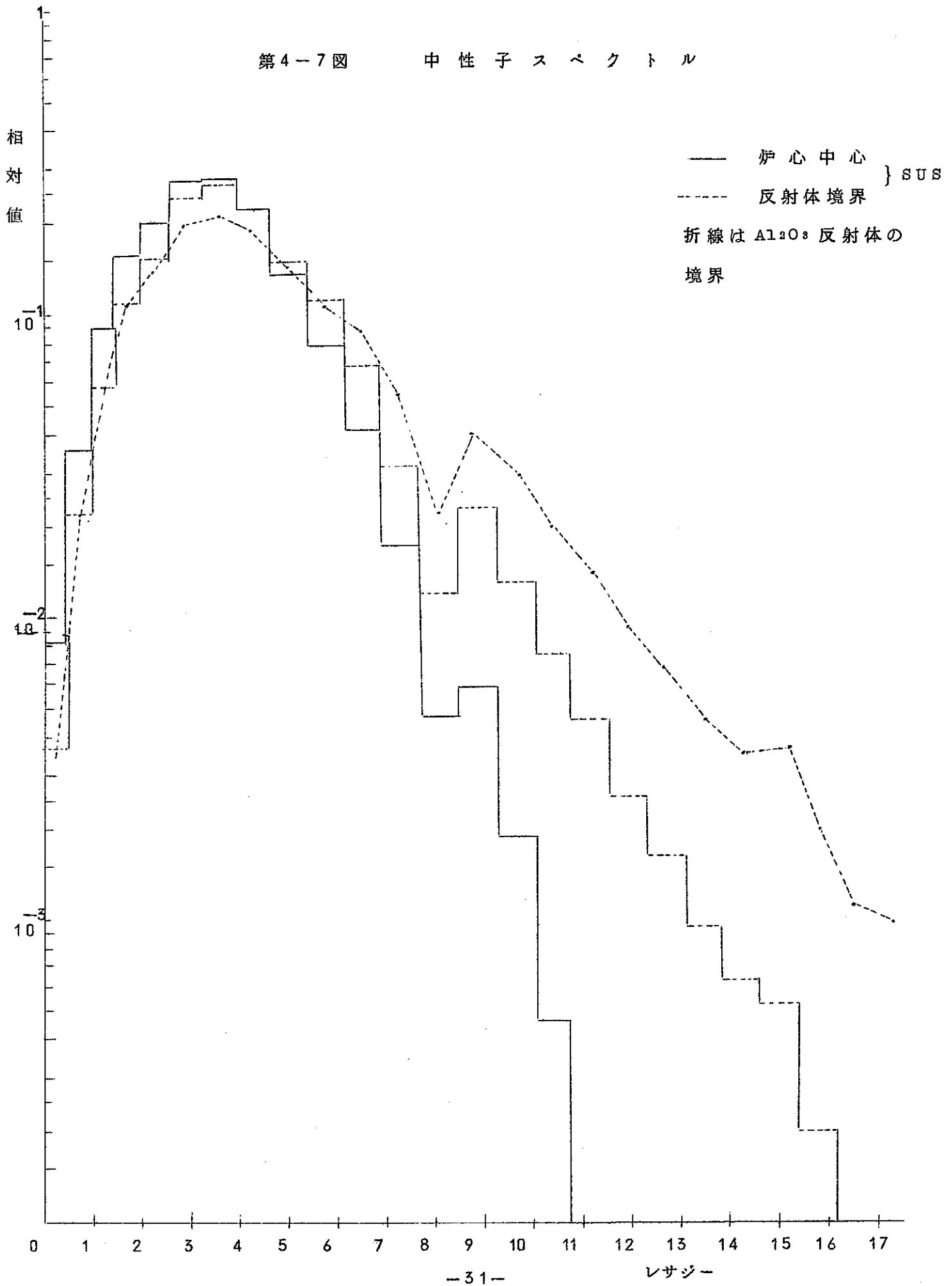
第4-4図 プルトニウム富化度と  $U^{235}$  濃縮度，最高中性子束  
 (反射体  $Al_2O_3$ , SUS32; 炉心高さ (L) 50, 55cm)



第4-6图 出力分布



第4-7図 中性子スペクトル



## 5 UO<sub>2</sub> 炉心の検討

### 1) 目的

これまでは (Pu-U) O<sub>2</sub> 炉心であつたが、ここでは UO<sub>2</sub> 炉心にした場合の特性をしらべた。燃料体積比はとくに 40 v/o とした。

### 2) 計算体系

炉心燃料 UO<sub>2</sub>

U<sup>235</sup> 濃縮度は臨界計算により求める。

炉心半径 29.953 cm (炉心燃料 43 集合体)

炉心高さ 55 cm, 60 cm 2 ケース

炉心体積比 (v/o)

燃料 / Na / SUS = 40.0 / 36.7 / 22.0

(燃料 127 本クラスタを想定)

反射体 SUS 32

反射体厚さ 軸方向 50 cm (上下各)

半径方向 45.752 cm

半径方向反射体体積比 (v/o)

SUS / Na = 67.81 / 32.19

### 3) 計算結果

炉心高さ 55 cm, 60 cm の両者に対する U<sup>235</sup> 濃縮度および最高中性子は下表の通りとなる。

	U <sup>235</sup> 濃縮度	最高中性子束
炉心高さ 55 cm	38.875 a/o	4.94 × 10 <sup>15</sup>
炉心高さ 60 cm	37.628 a/o	4.64 × 10 <sup>15</sup>

### 4) 出力分布とスペクトル

炉心半径方向出力分布を第 5-1 図に、中性子スペクトルを第 5-1 表に示す。(炉心高さ 55 cm) 比較のため、PuO<sub>2</sub> (18 W/o) - UO<sub>2</sub> (U<sup>235</sup> - 22.97%) 炉心の についても示した。

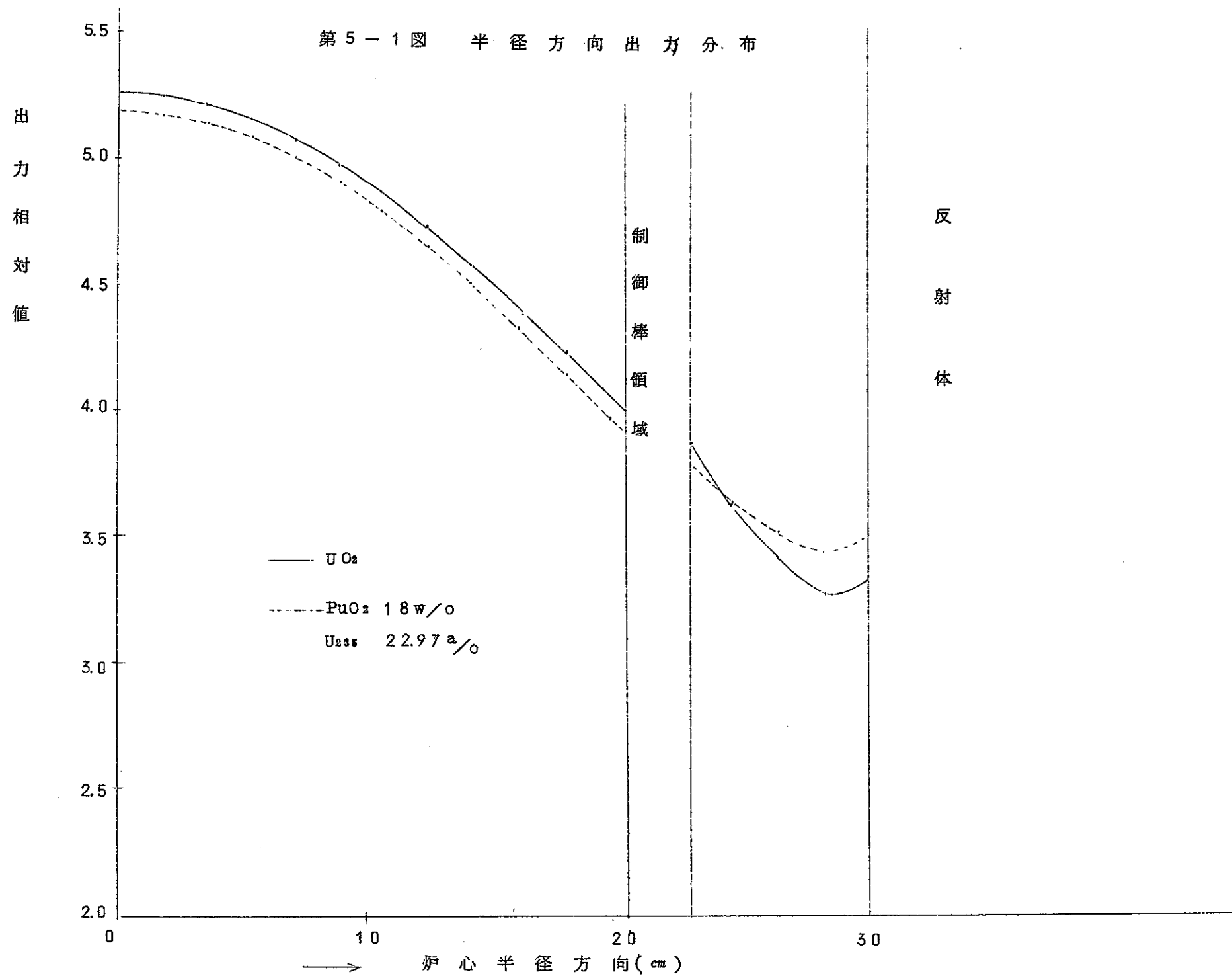
出力分布は図でも明らかなように、外側の炉心領域で (Pu-U) O<sub>2</sub> 炉心のそれと著しく

傾向を異にしている。

炉心中心のスペクトルは (Pu-U)O<sub>2</sub> 炉心に較べて硬くなっている。

これらの傾向はプルトニウム燃料使用による中性子散乱特性が、ウラン燃料使用によるそれよりも大きいことによるものらしい。

第 5 - 1 图 半径方向出力分布





第5-1表

UO<sub>2</sub> 炉心のスペクトル

エネルギー群	UO <sub>2</sub> 炉心	PuO <sub>2</sub> 18w/o U <sub>235</sub> 22.97w/o
1	5.888 - 3	5.804 - 3
2	3.569 - 2	3.531 - 2
3	8.924 - 2	8.848 - 2
4	1.551 - 1	1.535 - 1
5	1.989 - 1	1.959 - 1
6	2.747 - 1	2.685 - 1
7	2.771 - 1	2.720 - 1
8	2.200 - 1	2.166 - 1
9	1.332 - 1	1.331 - 1
10	7.395 - 2	7.755 - 2
11	3.521 - 2	4.034 - 2
12	1.308 - 2	1.689 - 2
13	3.510 - 3	4.666 - 3
14	3.445 - 3	5.787 - 3
15	9.192 - 4	1.856 - 3
16	1.919 - 4	4.603 - 4



3) 計算結果と検討

1) の(1)~(5)までの計算結果を以下に示す。

炉心半径	32.41 cm			28.41 cm	
反射体	UO <sub>2</sub>	SUS32		SUS32	
Pu 富化度 (a/o)	18	18	——	18	——
U <sup>235</sup> 濃縮度 (a/o)	23.225	21.467	40.957	32.719	51.236

これを図示すると第6-1図になる。

また、炉心と反射体(またはブランケット)との境界における中性子エネルギースペクトルを第6-2図に示す。

これらの結果により次のことが云えよう。

- (1) 半径方向ブランケットをSUS反射体におきかえることによる効果は ① U<sup>235</sup>濃縮度 2 a/o 弱節約できる, ② スペクトルを軟化させ, 最高中性子束を高めることができる, ことである。
- (2) UO<sub>2</sub>炉心の中性子スペクトルは(Pu-U)O<sub>2</sub>炉心のそれより硬い。
- (3) 炉心体積の変動に対するU<sup>235</sup>濃縮度の変化は(Pu-U)O<sub>2</sub>炉心の方がやや敏感である。

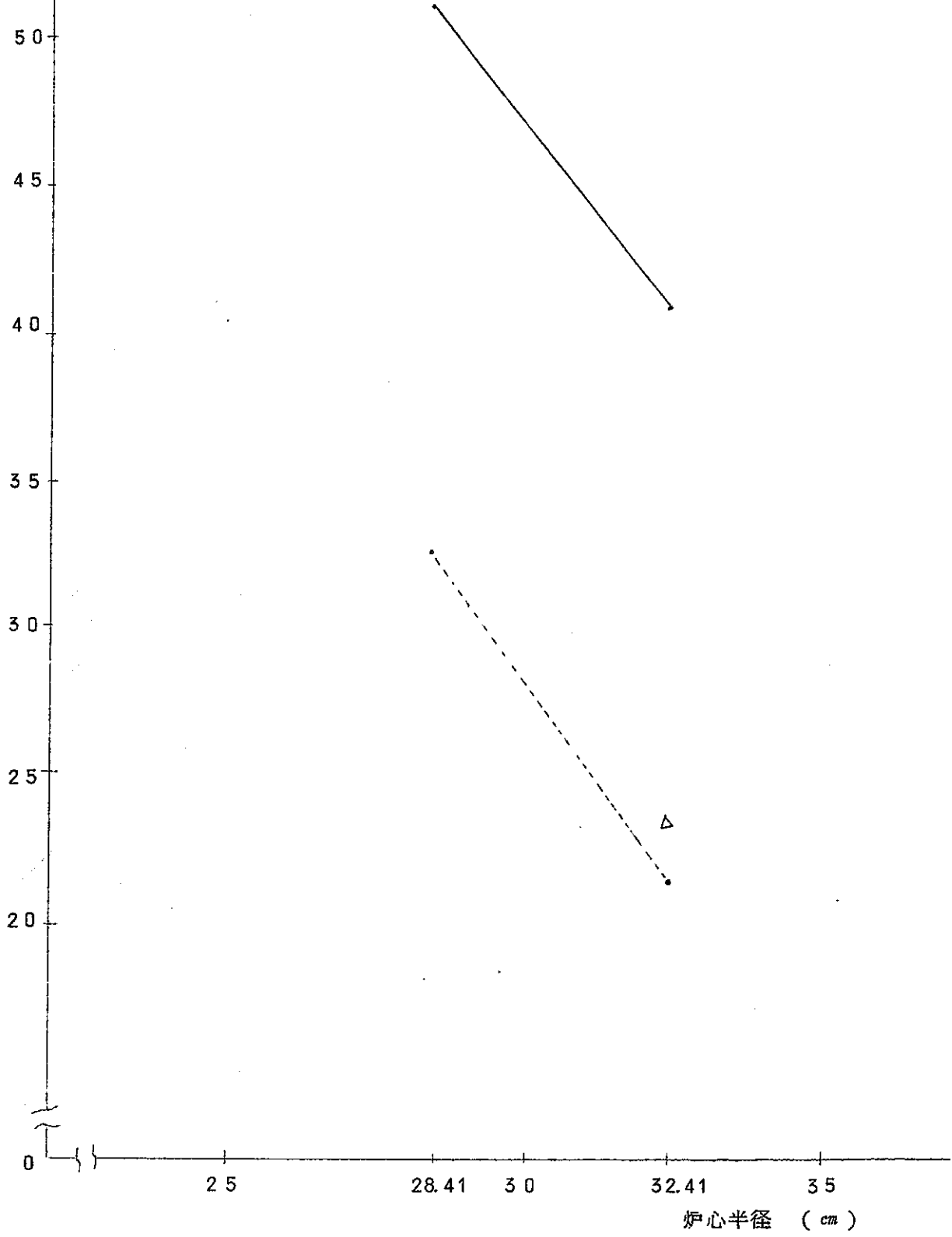
$U^{235}$

濃縮度  
(a/o)

————  $UO_2$  炉心

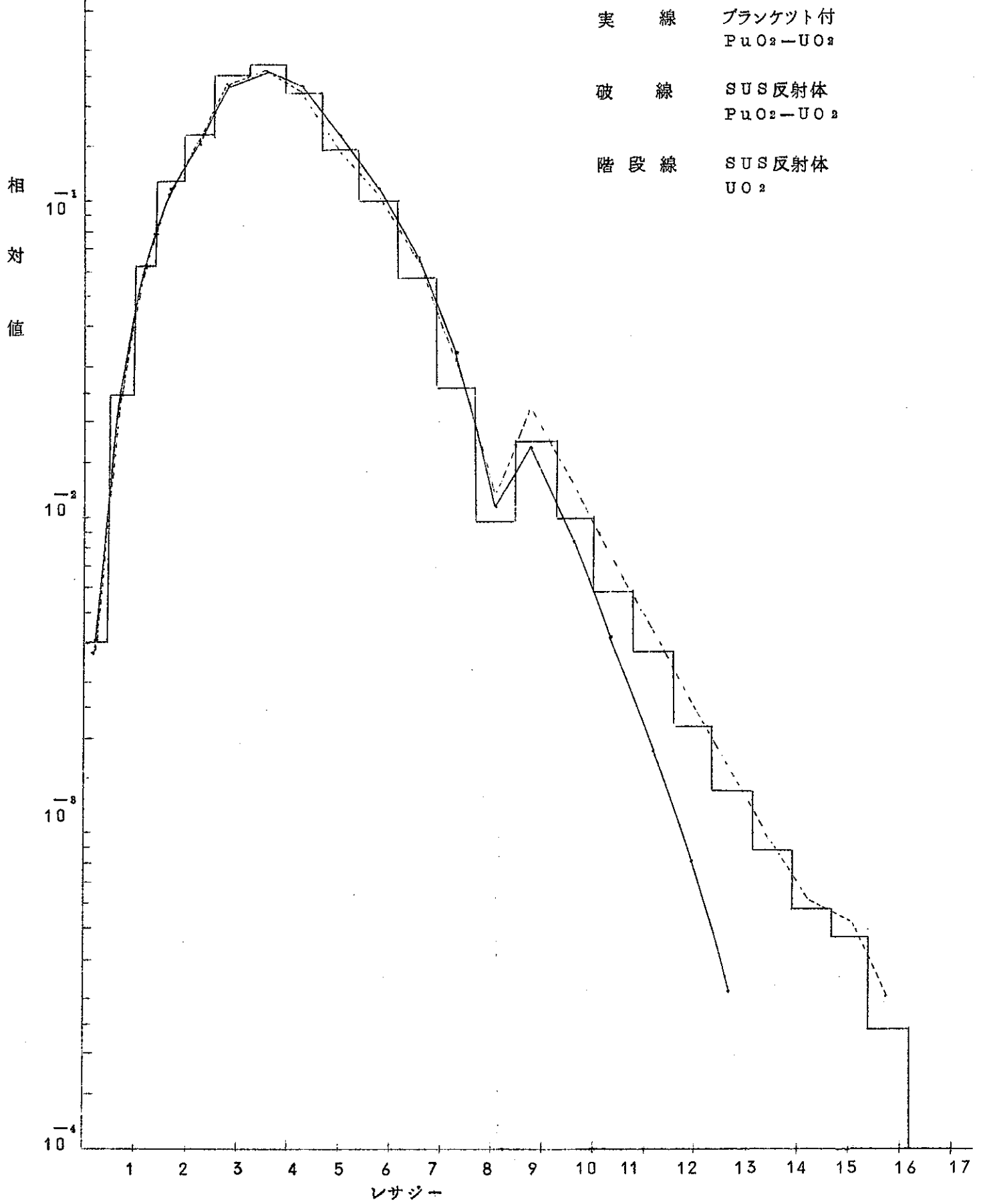
-----  $(Pu-U)O_2$  炉心

( $\Delta$ はブランケット付)



第 6 - 1 図 炉心半径と  $U^{235}$  濃縮度

第6-2図 中性子スペクトル (炉心境界)



## Ⅲ 熱特性の検討

### 1. 目的

炉心燃料集合体の熱特性を適当な燃料要素配列条件および冷却材流量条件を設けて、ホットテストピンを対象に検討した。

炉心熱出力は 100 MWt，冷却材原子炉入口温度は 370℃とした。

### 2. 計算体系

#### 1) 炉心燃料集合体本数と炉心高さ

炉心体積は体系の中性子束を与える大きな因子である。ここではその上限，下限としてそれぞれ炉心燃料集合体 55 本，43 本の 2 ケースについて計算を行なった。炉心高さは 55 cm とした。

#### 2) 燃料要素の配列，寸法

燃料要素の集合体当りの本数は 127 本とし，その形状は MK-I にほぼ同じとした。すなわち，スペーサはスパイラルワイヤとし，軸方向反射体はインテグラル型とした。

ピンピッチ対ピン外径の比は 1.10～1.30 の範囲内をめやすとし，ワイヤー被覆管，ワイヤーラップ管内壁とのクリアランス等にも留意した。

被覆管の肉厚は機械的強度，加工性などを考慮し，MK-1 燃料と同じ 0.35 mm とした。

集合体内面間距離は 74.8 mm となり，MK-1 より 0.1 mm 大きくなる。

寸法諸元を下表に，MK-1 と対比させて示す。

(単位 mm)

項 目	計 算 値	(MK-1)
炉心燃料集合体本数 (本)	43, 55	67
炉心高さ (cm)	55	60
ピン本数/集合体 (本)	127	91
ピンピッチ (mm)	6.5	7.6
ピン外径 (mm)	5.6	6.3
ペレット直径 (mm)	4.8	5.5
被覆管肉厚 (mm)	0.35	0.35
ペレット・被覆管ギャップ (片側)	0.05	0.05
スパイラルワイヤ直径 (mm)	0.8	1.2
集合体内面間距離 (mm)	74.8	74.7
単位格子流路断面積 (cm <sup>2</sup> )		
中央格子	0.0573	0.177
周辺格子	0.1083	0.260
単位格子水力直径 (cm)		
中央格子	0.228	0.301
周辺格子	0.262	0.315

### 3. 冷却材流量

炉心部の冷却材流量は，原子炉入口高圧プレナムから最外周反射体の脚部スリットを通つて，炉心部高圧プレナムと半径方向ブランケット部の低圧プレナムへと分岐させることにより得られる。

MK-I においては

炉 心 部	425kg/sec
半径方向ブランケット部	125kg/sec
合 計	550kg/sec

である。

炉心部流量は反射体のスリットを調節することにより適当に配分させることが可能である。

ここでは、

	(Kg/sec)	
炉心部	425	500
半径方向反射体部	125	50

の2ケースを仮定した。

炉心燃料集合体間の流量配分はMK-Iでの配分比に等しくさせた。

また、集合体内単位格子間の流量は圧損平衡による次式により計算した。

$$\frac{W_p}{W_c} = \sqrt{\frac{A_p^2 D_{ep}}{A_c^2 D_{ec}}}$$

$$n_c W_c + n_p W_p = G$$

ここで、添字のcは中央の、pは周辺の単位格子で

W : 単位格子内流量

A : 単位格子の流路断面積

De : 単位格子の水力直径

G : 集合体内流量

n : 燃料要素数 ( $n_c = 108$ ,  $n_p = 19$ )

これらの計算結果を下表に示す。

炉心部流量	425 Kg/sec		500 Kg/sec	
炉心燃料 集合体本数	43	55	43	55
ホットテストチャン ネル流量 (Kg/sec)	12.85	10.05	15.12	11.82
ホットテストセル 流量 (g/sec)	87.7	68.6	103.2	80.7
ホットテストセル 冷却材流速 (m/sec)	9.04	7.06	10.63	8.31



4. 出力分布係数

半径方向出力分布係数はS U S 反射体における値を採用し、軸方向出力分布係数は1.20を仮定した。

また、局所出力分布係数は無視し、径方向の係数を大きめにとることで補償した。

半径方向出力分布係数            1.30    (計算値 1.288)

軸方向出力分布係数            1.20

5. 出力密度および単位長出力は下表のとおり

(過出力条件を含まず)

S/A 本数		43	55
出力密度 (kW/ℓ)	平均	735	575
	最高	1,147	897
単位長出力 (w/co)	平均	333	260
	最高	520	406

6. 基本定数

熱計算に必要な基本定数はMK-Iに使用したものと、GE社1000MwC設計で使用したものとを使用した。

下表にそれらを示す。

	MK-I	GE 1,000MwC
ペレット熱伝導率 (W/cm・℃)	Baily $K=0.0110 + [T(0.4848-0.4465D)]^{-1}$	k = 同左 $\int_S^C k dT = \int_{T_s}^{T_{sm}} + F \int_{T_{sm}}^{T_c}$
ギャップ熱伝達率	0.6 w/cm <sup>2</sup> ・℃ (1,056 Btu/h・ft <sup>2</sup> ・F)	0.85 w/cm <sup>2</sup> ・℃ (1,500 Btu/h・ft <sup>2</sup> ・F)
被覆管熱伝導率	0.18 w/cm・℃ (370℃, TRG-840(R))	0.21 w/cm・℃ (370℃の値)
被覆管表面熱伝達率	Lubarsky-Kaufman $Nu=0.625Pe^{0.4}$	Martinelli-Lyon $Nu=7.0+0.025Pe^{0.8}$

## 7. ホットスポットファクタ

ホットスポット温度をMK-Iでの因子および値を使つて計算した。処理方法もMK-Iと同じく、統計的処理と累積的処理の重ね合せによる。

第Ⅲ-1表にそれらを示す。

## 8. 温度分布の計算

第Ⅲ-2表に炉心体系43本、53本；炉心流量425kg/sec, 500kg/secの組合せの4ケースについて、ホットスポットの温度分布（各部最高温度）の計算結果を示す。

基本定数は6.で述べたMK-I体系に使用したものと、参考のためGE社1000MWeのデータによるものも計算し、カッコ内に示した。後者のペレット熱伝導度については第Ⅲ-1図からの読取りによる概略値である。

これらの結果により次のことが云えよう。

- ① 被覆管最高温度は全てのケースでホットスポットにおいて700℃以下である。（過出力を含めず）
- ② ペレット中心温度は43本体系の場合、公称最高で3000℃以上になる。55本体系では定格時ホットスポットで3000℃近くになり、過出力時には3000℃以上になる。またペレット熱伝導度のデータによる差がきわめて大きい。MK-IではBaileyの式でペレット半径方向の密度一定としたときの熱伝導度を使用したか、ペレット半径方向の密度変化、中心ボイドの形成などを考慮に入れると計算値は格段に改善されることが明らかである。

第Ⅲ-1表 ホットスポット係数

1	高温点因子	冷却材 温度上昇	被覆管表面 温度上昇	被覆管内 温度上昇	ギャップ 温度上昇	燃料体内 温度上昇	取扱 い
1	ペレット直径	—	1.01	1.01	1.005	1.01	統 計 的
2	ペレット密度	—	1.02	1.02	1.02	1.02	
3	分裂分質密度	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	
4	ペレットスタック長さ	1.01	—	—	—	—	
5	出力の時間的変動	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	
6	燃 焼	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	
7	被覆管外径	—	1.01	1.01	—	—	
8	被覆管肉厚	—	—	1.09	—	—	
9	ピンピッチ	1.10	1.10	—	—	—	
10	チャンネル流量	1.04	—	—	—	—	
11	冷却材エンタルピー	1.01	—	—	—	—	
12	表面熱伝達率	—	1.30	—	—	—	
13	被覆管熱伝導率	—	—	1.04	—	—	
14	ギャップ熱伝達率	—	—	—	1.3	—	
15	ペレット熱伝導率	—	—	—	—	1.1	
16	出力分布	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	累 積 的
17	制御棒操作	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	
18	炉心全流量	1.01	—	—	—	—	
19	冷却材入口温度	1.05	—	—	—	—	

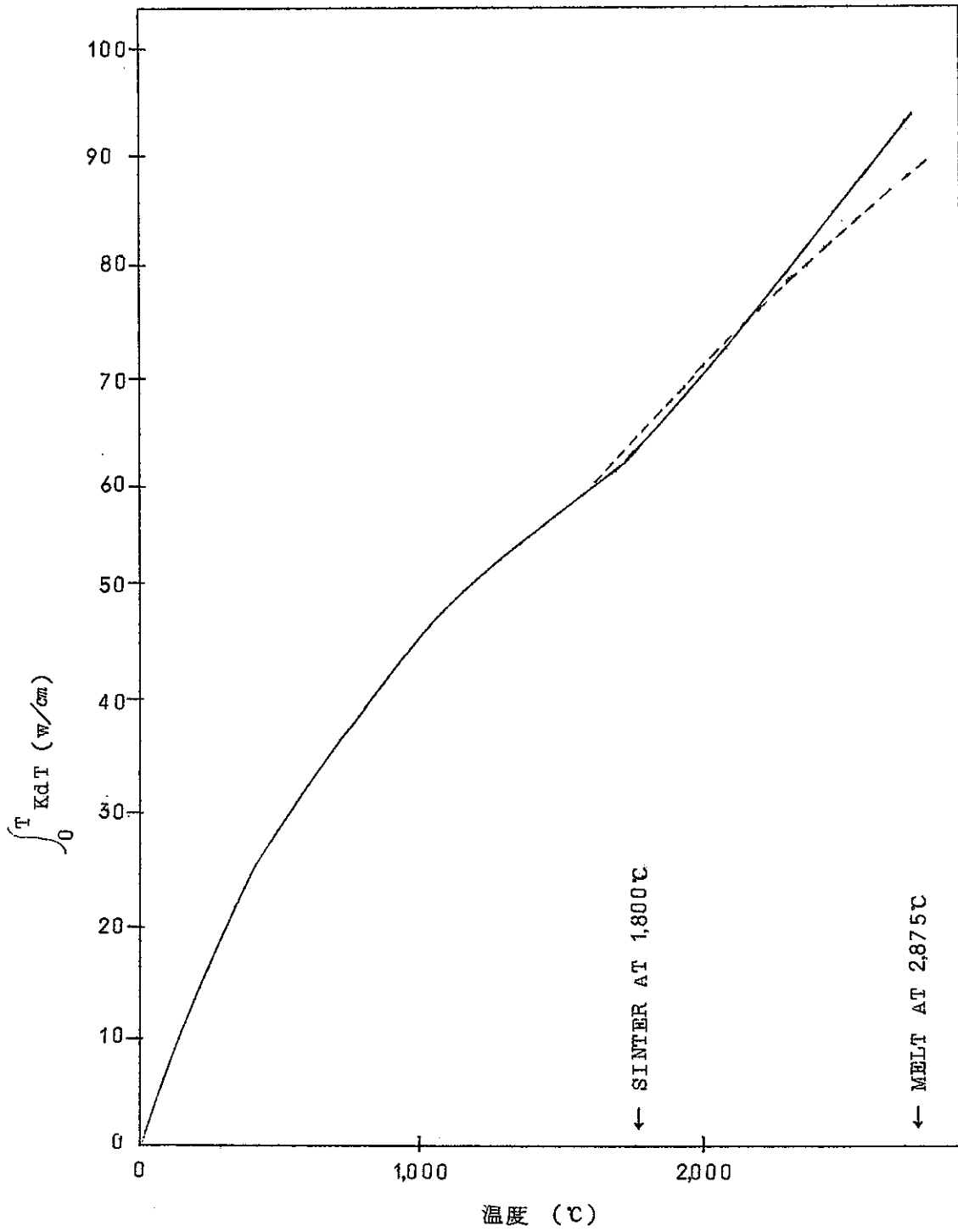
第Ⅲ-2表 各ケースの温度分布

炉心燃料集合体数		43 (520 W/cm)		55 (406 W/cm)	
炉心部流量		425kg/sec	500kg/sec	425kg/sec	500kg/sec
単位格子流量		87.7g/sec	103.2g/sec	68.6g/sec	80.7g/sec
冷却材最高温度	公称	585	553	585	553
	ホットスポット	634	595	634	595
* 被覆管最高温度	冷却材	585	553	585	553
	被覆管表面	599 (595)	567 (562)	598 (593)	565 (561)
	被覆管内面	642 (632)	611 (600)	632 (622)	600 (591)
	内面ホットスポット	695 (689)	658 (647)	686 (675)	643 (636)
** 燃料体最高温度	冷却材	477	460	477	460
	被覆管表面	494 (489)	475 (470)	491 (486)	473 (469)
	被覆管内面	549 (537)	531 (519)	534 (523)	515 (505)
	ペレット表面	1156 (940)	1138 (924)	1008 (839)	989 (821)
	ペレット中心	>3000 (2550)	>3000 (2545)	2590 (2190)	2580 (2140)
	ホットスポット	————— (2907)	————— (2888)	2946 (2475)	2934 (2418)

( )内はGE 1000MWe のデータによる計算値

\* 炉心出口位置

\*\* 炉心中心面位置

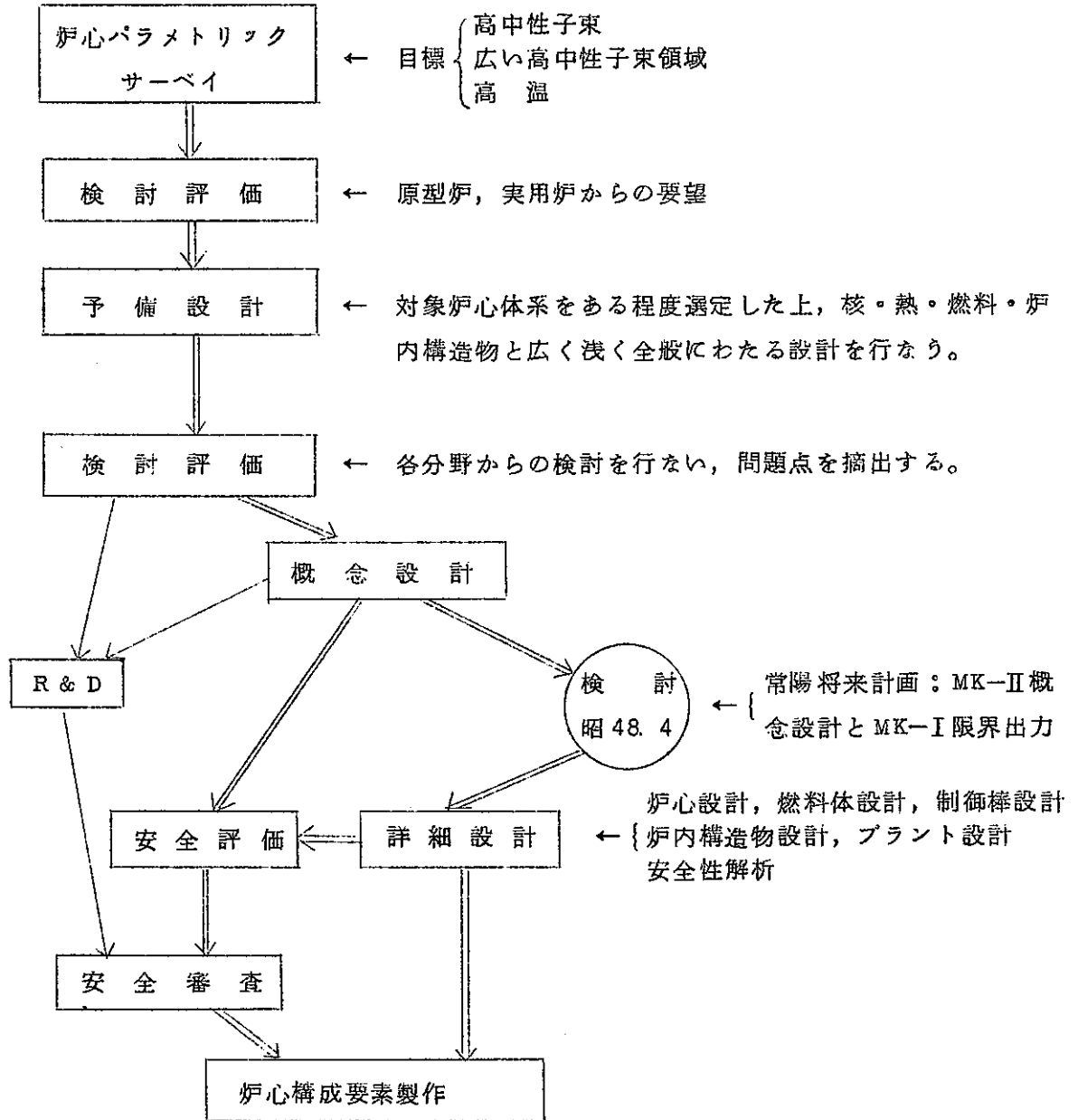


第三-1图  $\int KdT$  (GE 1000MWe 例)

## IV 作業の進め方

### 1. 概略的な手順

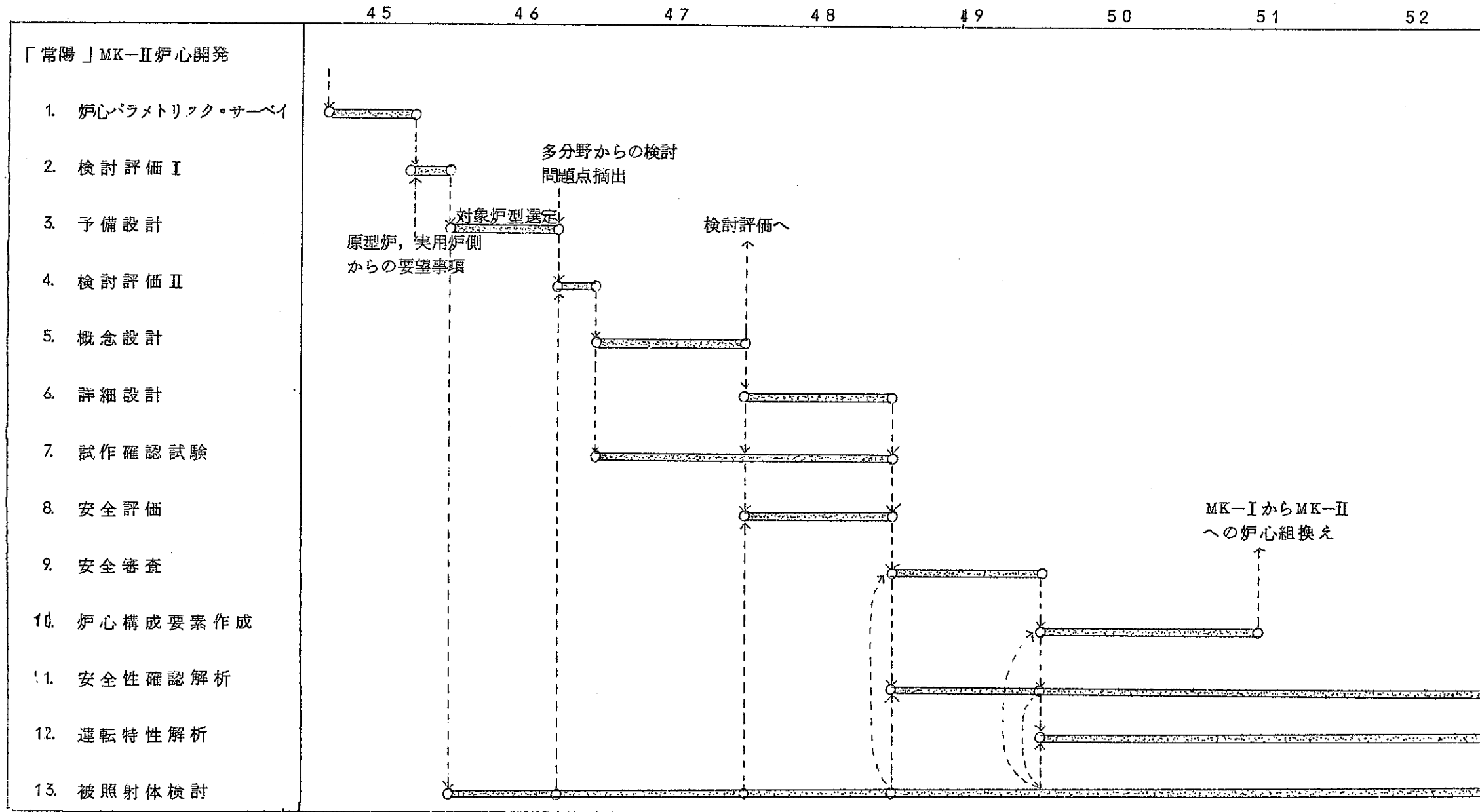
作業を進める概略的な手順は下記の通りとなる。



### 2. タイム・スケジュール

設計, 検討評価および安全評価などのタイム・スケジュールを第IV-1表に示す。

第IV-1表 「常陽」MK-II炉心開発タイム・スケジュール



## V あとがき

本報はMK-II炉心開発をスタートさせるために必要な検討を行なったものであつて、MK-II炉心の必要性と所要目標の達成が可能であるかどうかにかつて力を注いだものである。

検討および得られた結果の主要点は以下の通りである。

1. MK-II炉心の開発は、燃料材料に対する所要照射量を必要とする期間を半減させるために必要である。
2. ブランケットを反射体で置き換え、燃料ピン直径およびピッチなどの炉心燃料集合体設計の変更をすることにより、 $5 \times 10^{16} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 以上の最高中性子束を達成させることは可能である。
3. 出力密度の増加により、熱的制限値に対する温度条件が厳しくなるが、設計定数を検討し、燃料の配列、出力ピーキング係数などを工夫することによつて、制限値以内におさめうる見通しである。

以上により、目標達成の可能性をえたので、今後「常陽」の炉心構造および性能に関する境界条件を明確にし、可変パラメータを広くとり、広い分野からの多数のアイデアをとり入れて、照射ベツトとして有効な炉心のパラメータ・サーベイを実施する予定である。

一方、高速実用炉を目標に、照射すべき燃料がどのようなタイプのもので、照射の手順をどのようにして進めるか、についても早急に検討立案することが必要である。