

クラスター型炉心における 材料バックリングの測定

1974年12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。

〒311-13 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 O-arai-machi Higashi-
Ibaraki-gun, Ibaraki, 311-14, Japan

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

1974年12月6日

クラスター型炉心における材料バックリングの測定

報告者 若林利男※
八谷雄喜※
福村信男※

期間 1973年9月～1974年7月

目的 クラスター型炉心における材料バックリングを求める方法として中性子束分布測定法を用い、その方法の確立と有用性について論じる。

要旨

クラスター型炉心における材料バックリングを求める方法として中性子束分布測定法に注目し、その方法の確立と有用性について、METHUSELAH-II コードによる計算値、置換法による実験値との比較より論じた。

本研究で使用したフィッティング法により各種体系での材料バックリングを求めた結果、フィッティング法による材料バックリングの導出は十分精度よくおこなえることが示された。

また、2領域炉心の中心領域での材料バックリングの導出についても十分精度よく求まることが示され、フィッティング法の有用性が認められた。

※大洗工学センター重水臨界実験室

DCA実験グループ 官脇良夫、八谷雄喜、樋口幸次郎、竹下徳人、柴公倫、福村信男、仁紫明人、飯島一敬、
浅野雄一郎、戸村和二、相原永史、米田平、平山卓、若林利男、小綿泰樹、磯村和利、菅原昇三、
成尾一輝、今泉清、村松精（現ATR本社）

6. Dec, 1974

MEASUREMENT OF MATERIAL BUCKLINGS IN CLUSTER-TYPE FUEL CORES

Toshio Wakabayashi

Yuuki Hachiya

Nobuo Fukumura

Abstract

The fitting method of flux distribution was investigated to obtain material bucklings in cluster-type fuel cores in comparison with calculated values by METHUSELAH-II code and experimental values by the substitution method.

As the results, it can be considered that the fitting method developed in the present work for measurement of material buckling in cluster-type fuel core has been established.

This method will be used various core configurations, especially 2-region core configuration.

目 次

第1章 序	1
第2章 導出の方法	2
第3章 実験体系	8
第4章 理論的な考察	15
第5章 実験方法	37
5.1 半径方向中性子束の測定	37
5.2 軸方向中性子束の測定	37
第6章 実験結果	46
6.1 半径方向バックリングの導出	46
6.2 軸方向バックリングの導出	70
6.3 材料バックリングの導出	77
第7章 検 討	78
7.1 半径方向バックリング	78
7.2 軸方向バックリング	78
7.3 材料バックリング	78
7.4 材料バックリングの計算値，置換法の値との比較	78
7.5 今後の問題点	83
第8章 結 論	85
謝 辞	86
参 考 文 献	87
付録1 グロス分布測定データ	88
付録2 燃料の物理定数	106
付録3 NOAH-II計算用入力	109

第1章 序

材料バックリング B_{∞} は原子炉を構成している媒質の材料とその組成によって決まるものである。これを測定し、核設計計算コードによる理論値と比較することは使用した計算コードの有用性を調べる上で重要なことである。

一般に材料バックリングを求める方法には(1)中性子束分布測定法、(2)置換法、(3)指数実験による方法がある。クラスター型原子炉においては、単領域として扱える領域が大きい場合、すなわち炉心全体が同一燃料体でできている場合などには形状が複雑であるが中性子束分布を測定して、理論的に予想される関数にフィッティングしてバックリングを求めることは可能であった。しかし領域が小さい場合、すなわち小数燃料体で臨界になり、単領域とし扱える範囲が小さい場合、又燃料体数が少なくその種の燃料だけでは臨界にできず、周囲にドライバー燃料を配置した場合(二領域)の中心燃料のバックリングを求める場合等は、フィッティングによりバックリングを求めることは行なわれていなかった。そのため、現在において特にその種の燃料体だけでは臨界にできない場合に、材料バックリングを求める方法としては、炉心の燃料の一部を濃縮度の異なる燃料集合体に置換して行なり置換法が使用されている。

本研究においては、形状が複雑であるが燃料集合体の配列が規則正しいクラスター型の原子炉について、臨界状態にある中性子束分布を測定し、関数にフィッティングしてから材料バックリングを求める方法を用い、各種の炉心体系、特に二領域炉心等について材料バックリングを求め、この方法の確立と有用性について調べた。有用性については置換法による実験値、又、クラスター型原子炉の核設計計算に用いられているMETHUSELAH-IIコードの理論値との比較によって調べた。

第2章 導出の方法

臨界状態にある原子炉内の熱中性子束分布を測定して材料バックリングを求める方法を以後フィッティング法と呼ぶ。

フィッティング法の概略についてFig. 1のような有限円筒形の裸の均質型熱中性子炉で説明する。

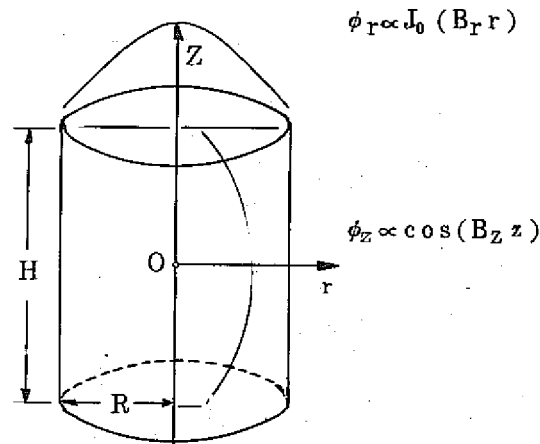


Fig. 1 Cylindrical reactor

Fig. 1 に示した有限円筒形熱中性子炉の臨界状態にある場合の熱中性子束分布は次の式で表わされる。

$$\phi(r, z) = A J_0(B_r r) \cos(B_z z) \quad (2-1)$$

ここで $B_r = \left(\frac{2.405}{R'}\right)$, $B_z = \left(\frac{\pi}{H'}\right)$

R' : 外挿距離を含む半径

H' : 外挿距離を含む高さ

有限な円筒形原子炉の形状バックリングは次の式で表わされる。

$$B_g^2 = B_r^2 + B_z^2 = \left(\frac{2.405}{R'}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{H'}\right)^2 \quad (2-2)$$

又、臨界にあるため、 $B_g^2 = B_m^2$ (材料バックリング) の関係もある。これより、材料バックリングを求めるには(2-1)式における係数 B_r , B_z が必要となる。 B_r , B_z はそれぞれ、半径方向、軸方向の熱中性子束分布を測定し、半径方向については0次ベッセル関数、軸方向についてはコサ

イン関数にフィッティングして求めることができる。以上は、有限円筒形裸の均質型原子炉におけるフィッティング法による材料バックリングを求める方法であるが、実際の原子炉(クラスター型原子炉)の場合には、非均質であり、より複雑である。非均質なクラスター型原子炉において半径方向バックリングを測定した例としては Serdula⁽¹⁾ のものがある。

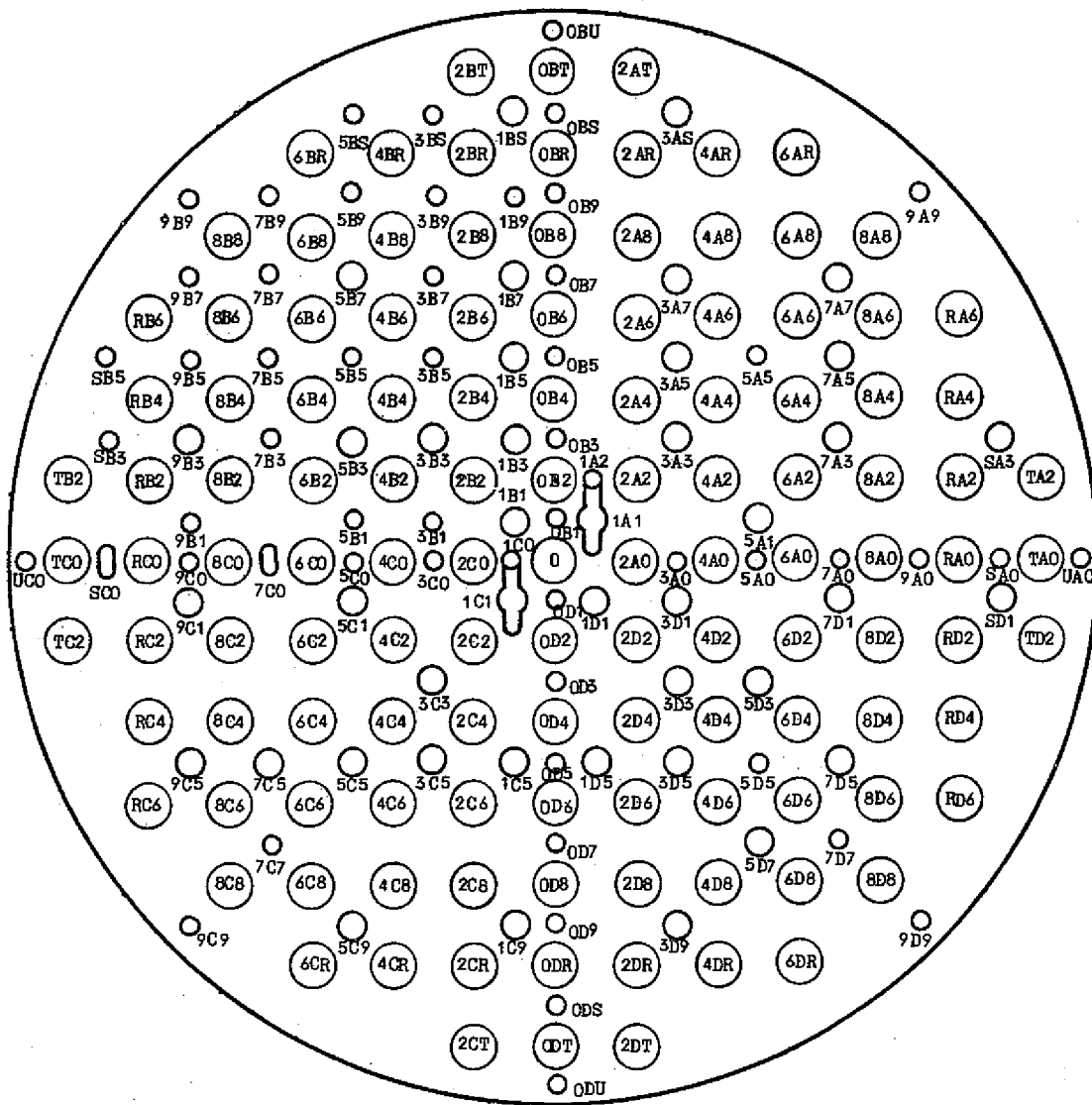


Fig. 2 DCA core configuration

今回、実験に用いた原子炉は Fig. 2 に示したようなクラスター型原子炉で、1つのチャンネルには 28 本の燃料が入り、全体で 121 チャンネルに燃料を挿入できる。各チャンネル間の間隔は 2.25 cm で正方状に配列されている。このため半径方向の熱中性子束分布を測定したとすると Fig. 3 のようなことが予想され、半径方向のバックリングを求めるには均質炉のように任意の点における中性子束を測定し、フィッティング法で求めることはできない。これは炉心全体のグロスな中性子束分布にセル自身のマイクロな中性子束分布がかさなりあっているためである。この2つの中性子束分布のうち炉心のバックリングを示す中性子束分布はグロスな中性子束分布であり、バックリングを求めるためには2つの重なった中性子束分布よりグロスな中性子束分布を分離してフィッティング法を用いなくてはならない。しかし、グロスな中性子束分布だけをぬきだすためには無限大体系における単一セルのマイクロ分布を求めなくてはならず、実際の体系では求めることは不可能である。

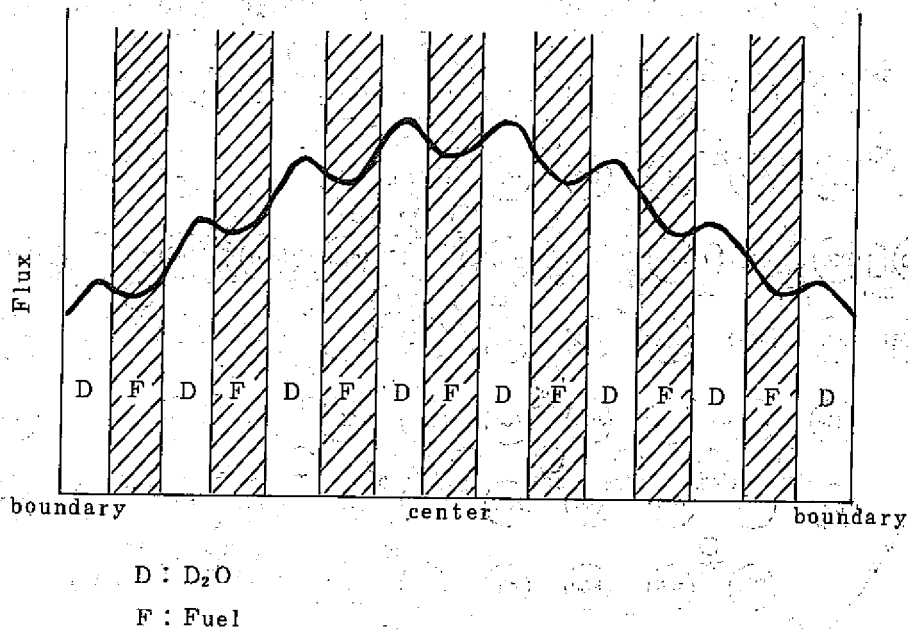


Fig3 Thermal neutron flux distribution in heterogeneous core

しかし、ここでDCA炉心を単一セルの集まりとして考えて見ると Fig. 4 のようになる。いま、これらおのおのの単一セルの同一点（例えば、セルの中心）において、単一セルのマイクロな中性子束分布とグロスな中性子束分布が分離できるとすると、これらの点をむすんだ曲線はグロスな分布を示すことになる。マイクロな中性子束分布とグロスな中性子束分布が単純に分離できる

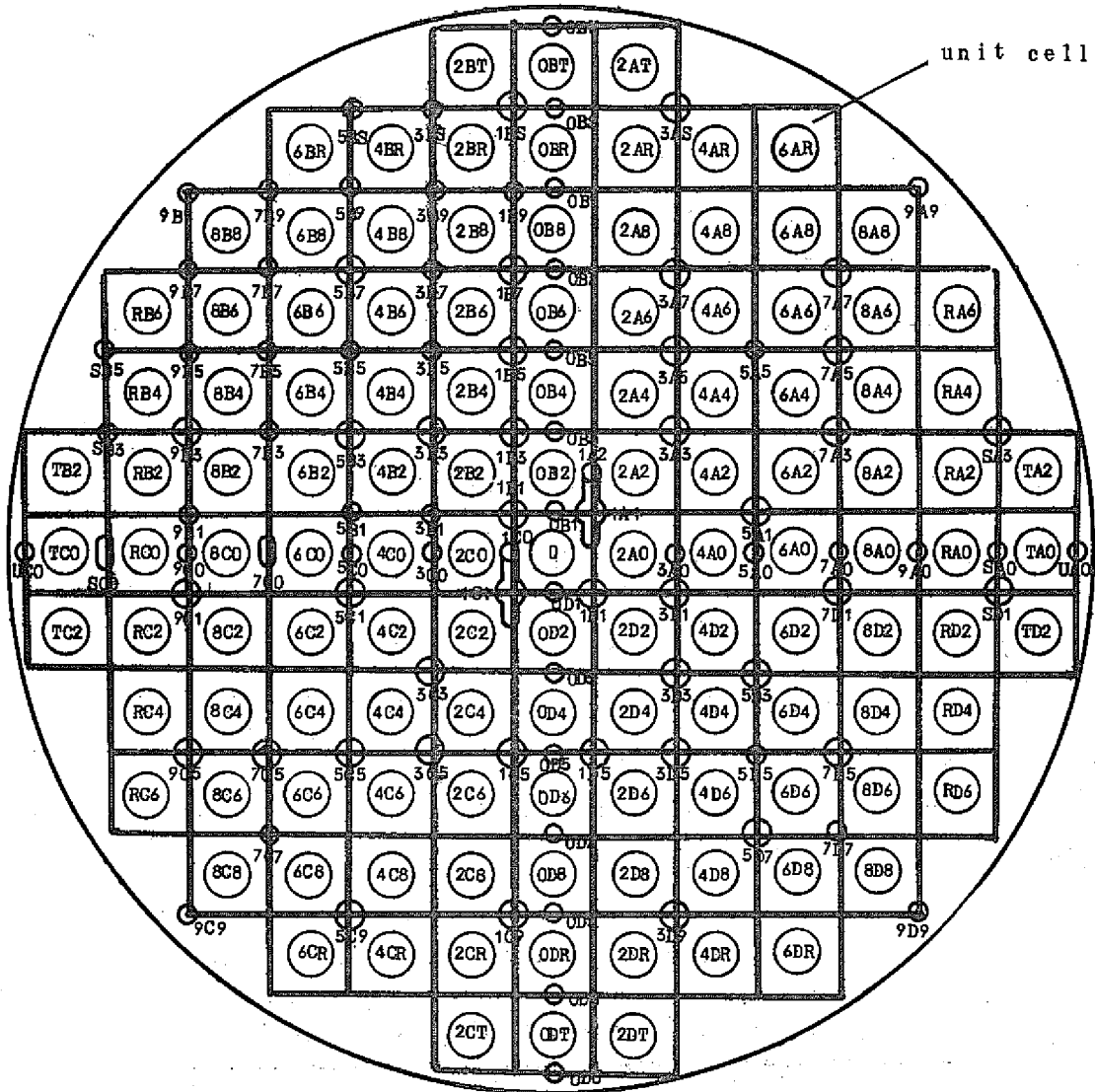


Fig. 4 View of unit cell of DCA core

場所は Leslie⁽²⁾, Auerbach⁽³⁾ の論文によると単一セルの中心と単一セルの境界の端であることが示されている。又、単一セルの境界ではマイクロな中性子束分布とグロスな中性子束分布は単純に分離できないけれどその補正は小さく無視できるとされている。この点については第4章において詳しく述べる。

このためクラスター型炉心において半径方向のバックリングを求めるためには、マイクロな中性子束分布とグロスな中性子束分布の分離が可能な点、すなわち単一セルの中心又は境界において、かつ各単一セルの同一点で中性子束分布を測定し、フィッティング法を使用しなければならない。DCAのような炉心にフィッティング法を用いる場合に、この条件にあう場所として単一セルの中心を選ぶと、測定点は最大121体の単一領域炉心の場合で13点であり、2領域炉心における中心領域のバックリングをもとめる場合は、測定点の数は少なくなり実験精度上このましくない。このため本研究においては単一セルの中心での測定でなく Fig.4 の黒線のように、単一セルの境界において測定することにした。この場合、Fig.5 に示されているような点を考えると、1つ1つのセルについて無限大体系では各点1,2は対称な位置(単一セルの境界からの距離が同じ)にあり、同じ大きさの中性子束を示す。このため無限大体系でない実際の原子炉においてはこれら1,2の点は同一のグロスな中性子束分布を示す。このことは同一点だけにフィッティング法を用いる場合より測定点の数で2倍に増えたことになり測定精度の向上につながる。同様に他の対称な位置で測定すればグロスな中性子束分布が多数得られたことになる。以上のことを利用して本研究においてのグロス中性子束分布の測定をおこなった。実際の測定方法、データ処理の方法については第5章で詳しく述べる。

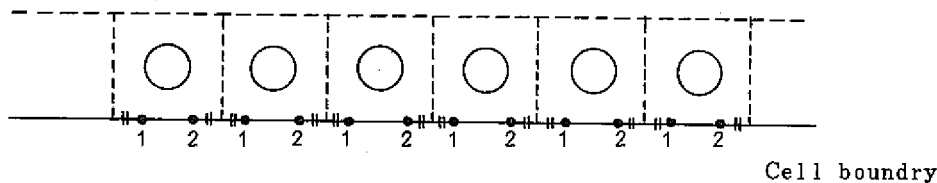


Fig. 5 Symmetrical positions in unit cell

軸方向のバックリングの測定は重水中又は燃料中で軸方向全体にわたって測定されたデータについてフィッティング法により求めた。フィッティング法を用いて半径方向のバックリングをもとめる場合の使用する関数は境界より十分はなれた範囲で、円筒形炉心として近似できる場合は第0次ベッセル関数、正方形炉心として近似できる場合にはコサイン関数が使用できる。又、軸方向についてはコサイン関数が使用できる。本研究においては第4章で述べるような考察のもとにスペクトル的に一定である範囲を求め各関数でフィッティングをおこなった。

以上バックリング導出の方法についてまとめてみると、

(1) 半径方向のバックリングの導出

- (イ) 測定は各セルの境界において、格子の対称性を利用しておこなった。
- (ロ) フィッティングはスペクトル一定で単純関数の使用できる領域でおこなった。

(2) 軸方向のバックリングの導出

- (イ) 重水中の軸方向全体にわたって測定されたものを使用した。
- (ロ) フィッティングはコサイン関数でおこなった。

第 3 章 実験体系

実験に使用した炉心の構成は Table 1 に示し、又冷却材ボイド率は Table 2 に示した成分の混合液で模擬した。Fig.6~Fig.10 には炉心構成図を示した。格子間隔はすべての炉心について 22.5 cm である。

Table 1 Experimental condition

Core number	Core type	Fuel enrichment	Void fraction (%)	Number of total clusters	Number of U clusters	Number of Pu clusters	Remarks
1	1 region	1.2w/o UO ₂	0	1 2 1	1 2 1	0	} ref Fig. 6
2	1 region	"	1 0 0	1 2 1	1 2 1	0	
3	2 regions	"	0	2 5	2 5	0	} ref Fig. 7
4	2 regions	"	1 0 0	2 5	2 5	0	
5	2 regions	0.54w/o PuO ₂ -UO ₂ & 1.2w/o UO ₂	0	1 2 1	9 6	2 5	} ref Fig. 8
6	2 regions	"	3 0	1 2 1	9 6	2 5	
7	2 regions	"	7 0	1 2 1	9 6	2 5	
8	2 regions	0.87w/o(s)PuO ₂ - UO ₂ & 1.2w/o UO ₂	0	1 2 1	1 1 2	9	ref Fig. 9
9	2 regions	"	1 0 0	1 2 1	9 6	2 5	ref Fig. 10

Table 2. Composition of the coolant material

Simulated state of void fraction in the coolant	Weight percent of each material in the mixture (w/o)			
	D ₂ O	H ₂ O	H ₂ BO ₃	Air
0 (no void)	0	1 0 0	0	0
3 0	3 6.8 2	6 3.1 7	0.0 0 9 2 1	0
7 0	8 1.9 1	1 8.0 7	0.0 2 1 5 0	0
1 0 0 (loss of coolant)	0	0	0	1 0 0

Table 1 に示されたように実験に使用した炉心は 1 領域炉心 (炉心番号 1, 2, 全炉心は同じ組成の物質で成り立っている) と 2 領域炉心 (炉心番号 3~9, 炉心の中央領域とその周囲の領域で組成がことなる) とに分けて考えることができる。

フィッティング法の確立のためには, まず 1 領域炉心で十分にその精度を確認し, 次に 2 領域炉心に適用できるかをチェックしていくことが望ましい。そのため本研究では 1 領域として 1.2 w/o UO_2 燃料 1 2 1 体装荷炉心を考えその冷却材ボイド率 0%, 100% について実験をおこなった。

次に 2 領域炉心として 2 つのタイプのことを考えた。1 つは 1 種類の燃料に対して周囲に大きな反射体領域があるもの, もう 1 つは 2 種類の燃料を使い, 中心領域に材料バックリングを求めようとする燃料を, その周囲にはドライバー燃料を使用したような炉心を考える。これは, 反射体による影響が大きい場合と小さい場合とに相当し, フィッティング法がどの程度 2 領域炉心に利用できるかを調べた。また材料バックリングを求めようとする燃料体系が小さい場合, 周囲の領域にどのような組成の物質を使用すればよいかを調べた。

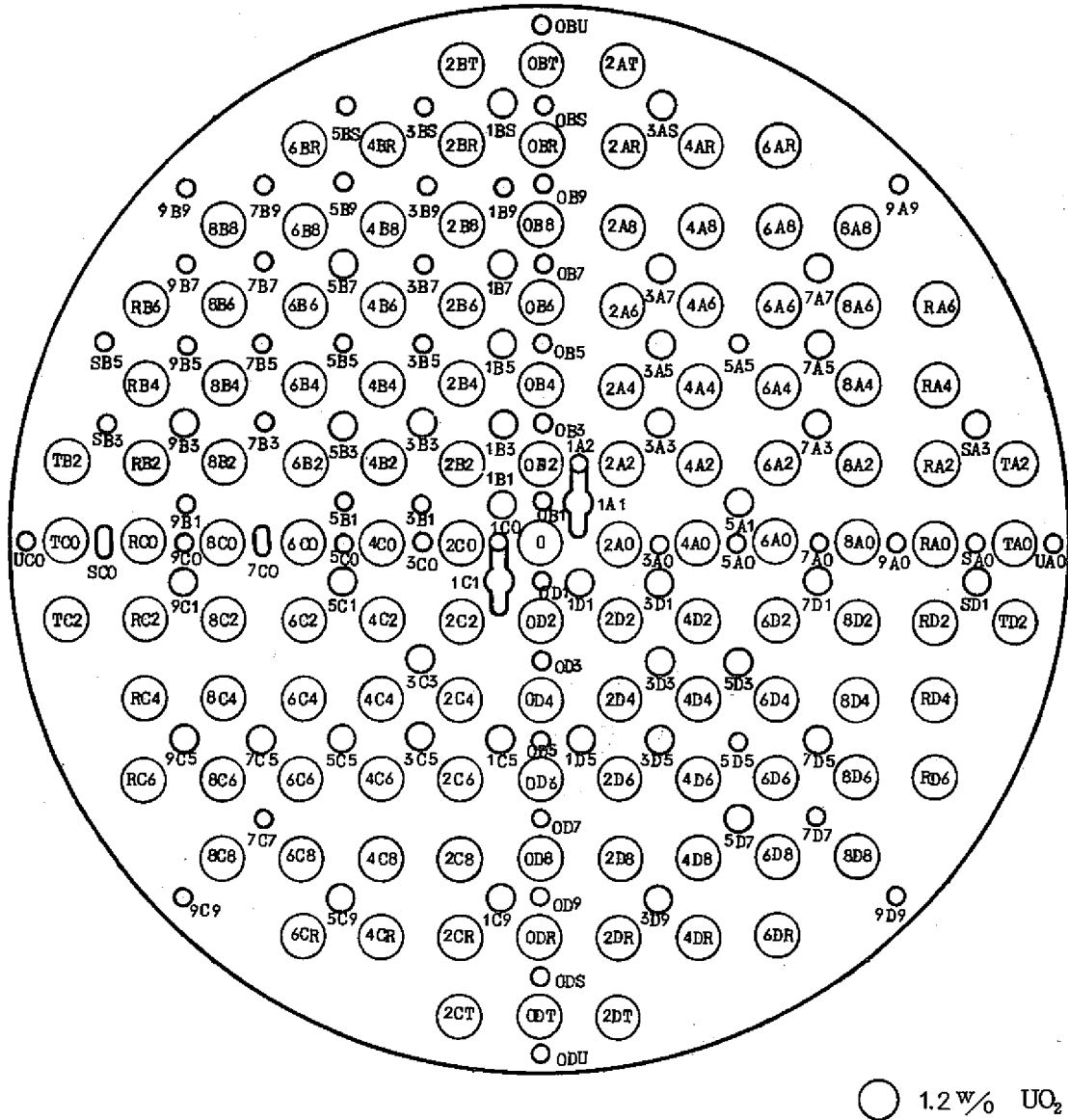


Fig. 6 DCA core configuration
for core number 1 and 2

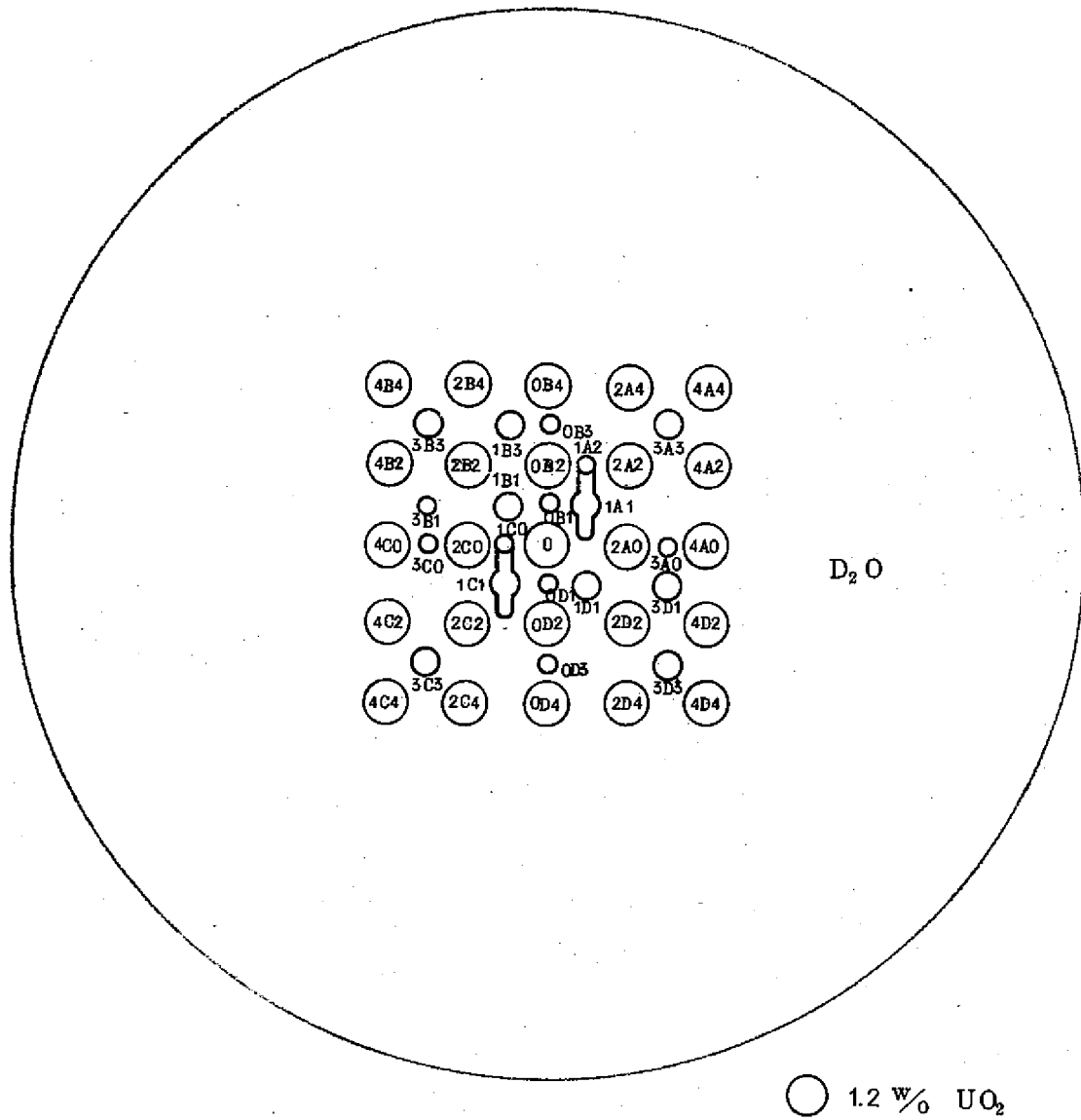


Fig. 7 DCA core configuration
for core number 3 and 4

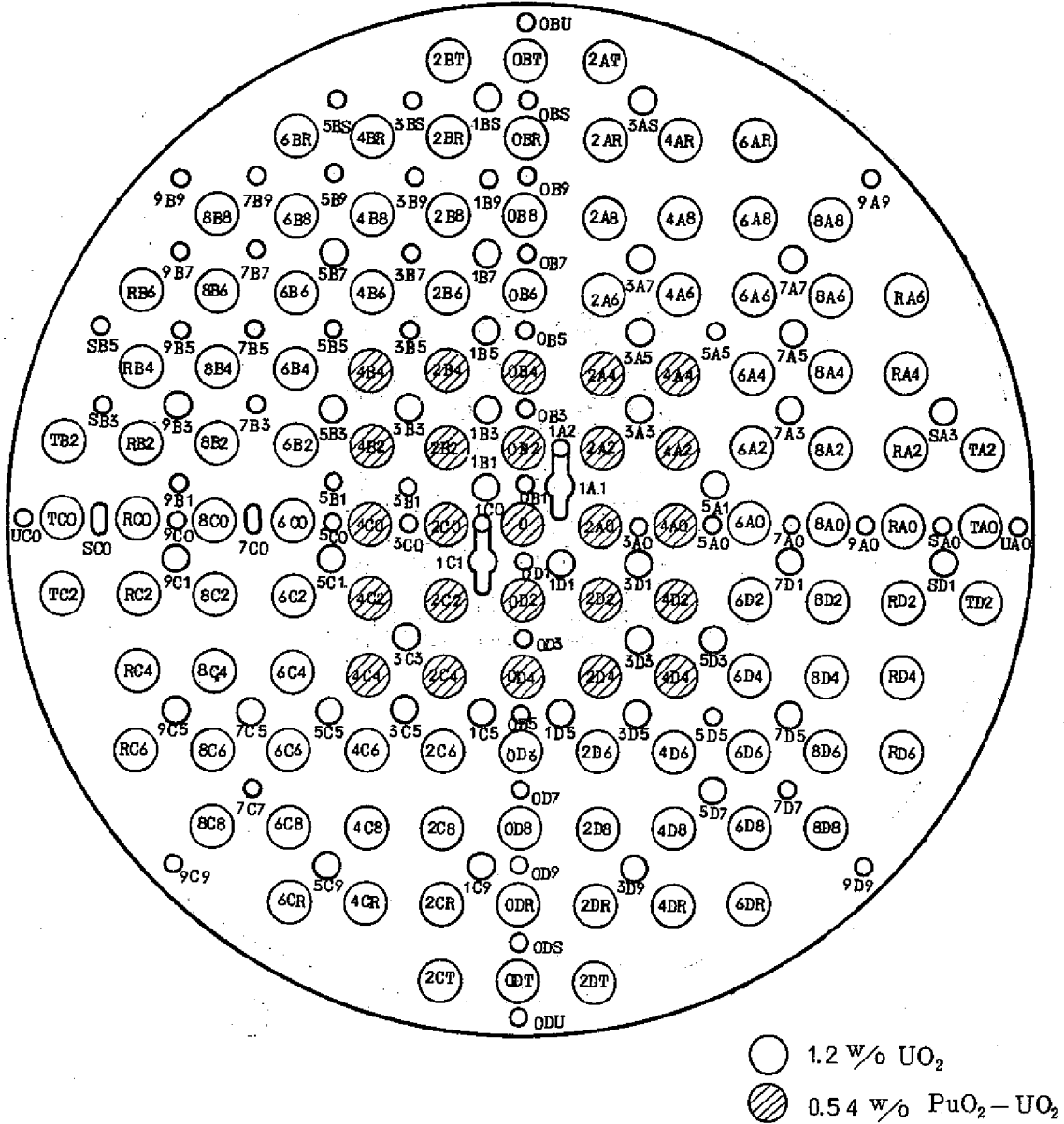


Fig. 8 DCA core configuration
 for core number 5,6 and 7

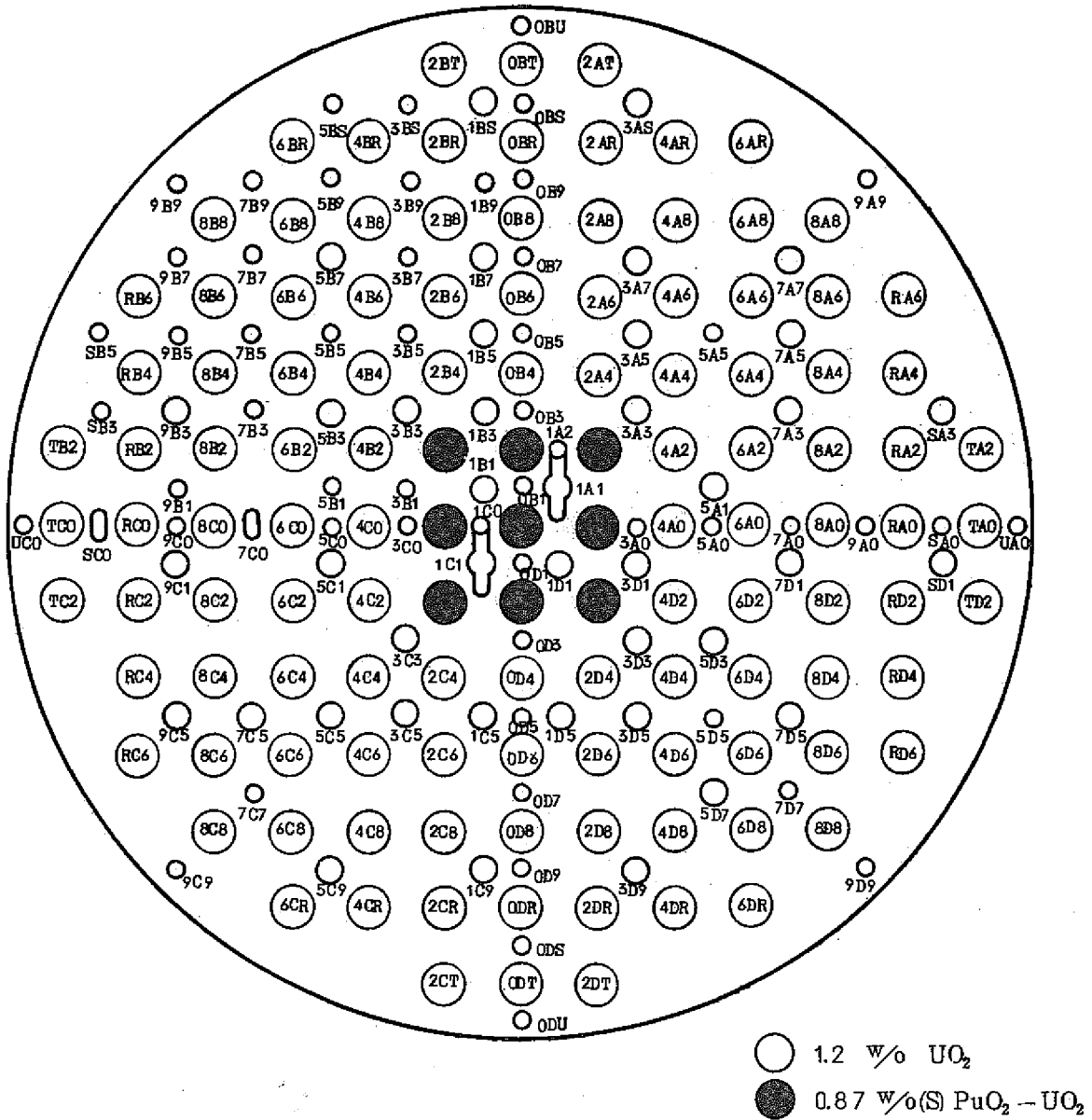


Fig. 9 DCA core configuration
 for core number 8

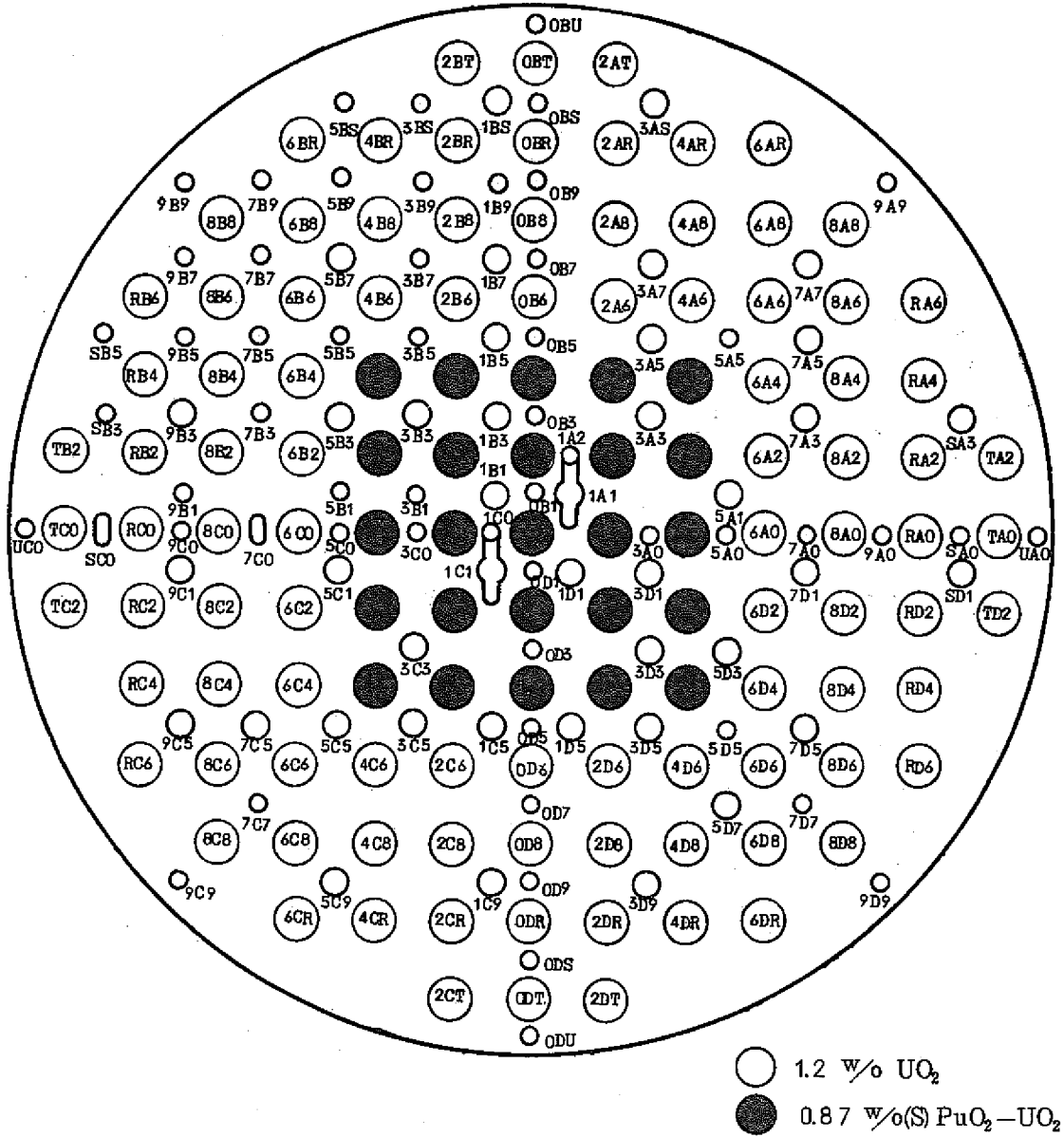


Fig. 10 DCA core configuration
 for core number 9

第 4 章 理論的考察

フィッティング法を用いてクラスター型炉心の材料バックリングを求める場合、次の2つの事を十分考察しなければならない。1つは、(1)フィッティングに使用する範囲が境界より離れており、単純な関数で表わされるかどうか。もう1つは前に述べたように(2)単一セルのミクロな中性子束分布と炉心全体のグロスな中性子束分布の分離ができるか、又、分離できない場合でも非分離⁽²⁾の効果が小さいかどうかの問題である。これに関してはLeslieの論文に詳しく述べられている。

以上のことに関して詳細に検討してみる。

(1) (1)について簡単のため均質円筒形炉心に対して2群理論により考えてみる。

2群理論により求まる炉心内の中性子束は

熱中性子束

$$\phi_{th}(r) = A' J_0(\alpha r) + C' I_0(\beta r) \quad (4-1)$$

速中性子束

$$\phi_f(r) = A'S J_0(\alpha r) - C'S' I_0(\beta r) \quad (4-2)$$

ここで

α^2 : 2群の半径方向のバックリング

A' と C' : 係数

S と S' : 結合係数

$$\beta^2 = \frac{1}{L^2} + \frac{1}{L_s^2} + \alpha^2 + 2\gamma^2 \quad (4-3)$$

L : 拡散距離 }
 L_s : 減速距離 }

γ^2 : 軸方向のバックリング $(\frac{\pi}{H_{ex}})^2$

H_{ex} : 外挿距離を含む高さ

ここで熱中性子束分布と速中性子束分布の比を求めると

$$\frac{\phi_{th}(r)}{\phi_f(r)} = \frac{A' J_0(\alpha r) + C' I_0(\beta r)}{A'S J_0(\alpha r) - C'S' I_0(\beta r)} \quad (4-4)$$

もし境界から十分離れた領域では I_0 の寄与は小さい。それで式(4-4)は

$$\frac{\phi_{th}(r)}{\phi_f(r)} \approx \frac{1}{S}$$

のように定数となり、スペクトルは一定の値になることを示す。逆にいえば、2つの中性子束の比をとって一定であればその範囲では境界における効果を考えないで単純な関数で表わせることになる。このスペクトル一定の範囲を求める方法としては実験的にはカドミ比等を測定し、その値が一定である範囲を求めればよい。

また理論的には、核計算コードにより少数群の組定数を求め、それを用いて1次元又は2次元の少数拡散計算によりスペクトルの空間分布を調べればよい。本研究においては、実験の前に予め計算でどの程度までスペクトル的に一定であるか調べ、その結果をもとに測定点、フィッティング範囲を決めることにした。計算は1次元少数拡散計算コードFOGをエネルギーグループを4群に分けて行った。4群における組定数についてはクラスター型原子炉の核設計コードであるMETHUSELAH-IIで計算された4群の組定数を用いた。

Table 3に計算方式を示した。

Table 3 One dimensional diffusion calculation by FOG code

Geometry	Cylinder
Energy group 1	1.0 Mev ~ 821 keV (fast-1)
2	821 keV ~ 55 keV (fast-2)
3	55 keV ~ 0.625 eV (resonance)
4	0.625 eV ~ 0 eV (thermal)
Mesh points	99
Calculated core	① 1.2 w/o UO ₂ region + D ₂ O region (0%, 100% void) ② 0.54 w/o PuO ₂ -UO ₂ region + 1.2 w/o UO ₂ region + D ₂ O region (0%, 30%, 70%, 100% void) ③ 0.87 w/o (S)PuO ₂ -UO ₂ region + 1.2 w/o UO ₂ region + D ₂ O region (0%, 100% void)

又、計算でスペクトル平衡の範囲を求める方法は中心領域の半径を変えて計算し、1%以内でスペクトルが平衡になる範囲をプロットし、実際の体系はこのグラフより求めた。これらのグラフは体系を色々変えてやる場合に有効であると思う。

Fig.11~Fig.17 には 0.54w/o PuO₂-UO₂ 燃料 0% ボイドにおける Pu 燃料領域を変えた場合の 4 群の中性子束分布を示し、Fig.18~Fig.24 には第 4 群の中性子束で 3 群、2 群、1 群の中性子束をわたった比をプロットしたものである。グラフ上で 1 は 1 群の中性子束 / 4 群の中性子束、2 は 2 群の中性子束 / 4 群の中性子束、3 は 3 群の中性子束 / 4 群の中性子束を示す。

このようにして各燃料に対して計算し、スペクトルが 1% 以内で平衡である範囲を示すグラフが Fig.25~Fig.27 である。このグラフより各燃料、ボイド率における燃料体数を変えた場合のスペクトル平衡の範囲の様子がわかり、これより予測がつく。Fig.25~Fig.27 のグラフより本実験で用いた燃料体系におけるスペクトルが 1% 以内一定になる範囲を求めた結果を Table 4 に示した。

Table 4 Constant region of spectra within 1 %
calculated by FOG code

Fuel	Void fraction (%)	Effective core radius or core length (cm)	* Region within 1%
1.2 ^w / _o UO ₂ 1 2 1 clusters	0	1 5 0	1 4 8.6
	1 0 0	1 5 0	1 4 4.2
1.2 ^w / _o UO ₂ 2 5 clusters	0	5 6.2 5	3 2.2 5
	1 0 0	5 6.2 5	2 4.2 5
0.54 ^w / _o PuO ₂ -UO ₂ 25clusters	0	5 6.2 5	4 4.4 5
	3 0	5 6.2 5	4 3.2 5
	7 0	5 6.2 5	4 1.4 5
0.8 7 ^w / _o (S) PuO ₂ - ⁹ UO ₂ (9)-	0	3 3.7 5	1 8.2 5
0.8 7 ^w / _o (S) PuO ₂ -UO ₂ (9)	1 0 0	5 6.2 5	2 9.2 5

* Obtained from Fig.25, 26 and 27.

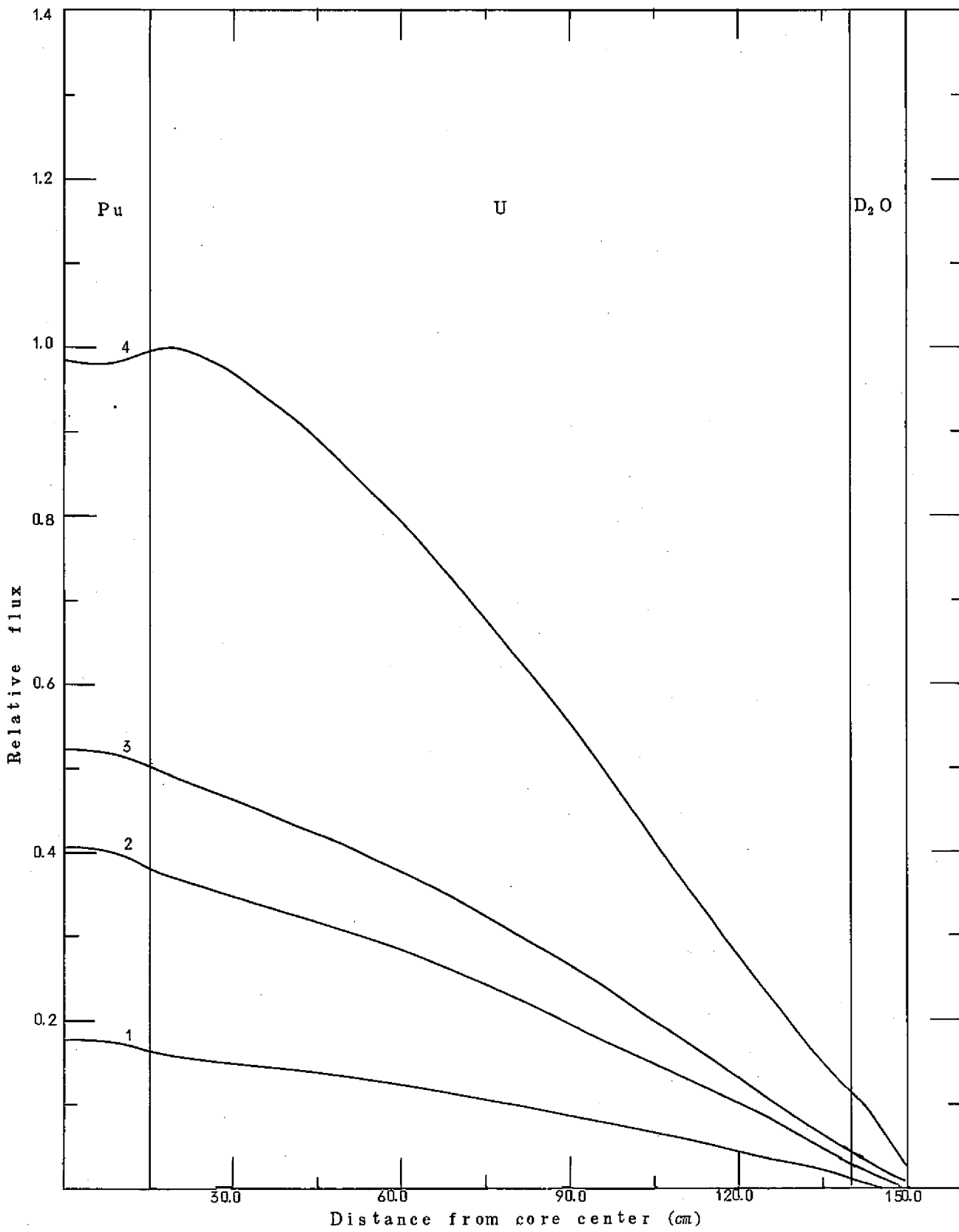


Fig. 11 0.54^w% PuO₂ - UO₂ 2 regions core, 0% void(1)

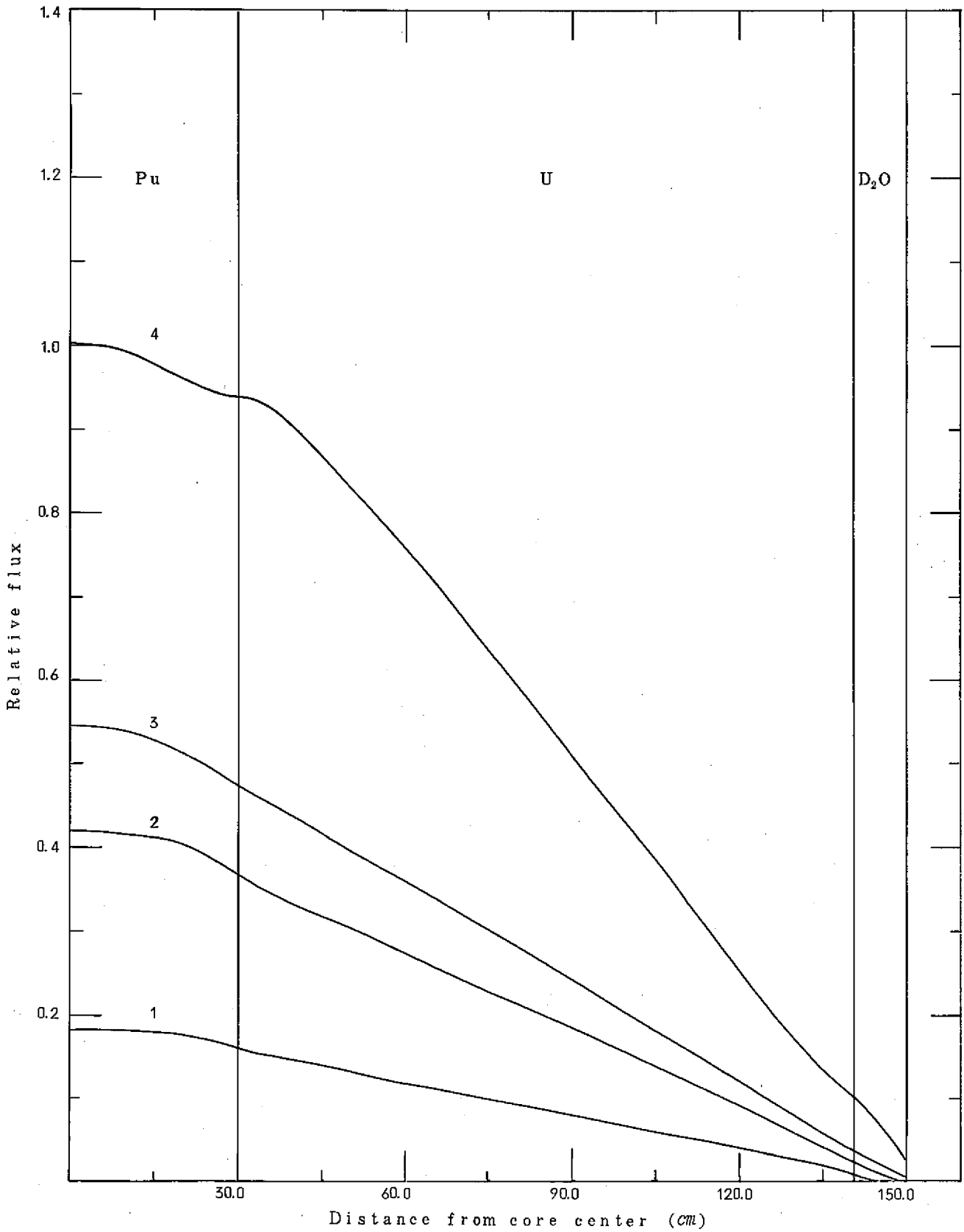


Fig. 12 0.54w/o PuO₂ - UO₂ 2 regions core, 0% void (2)

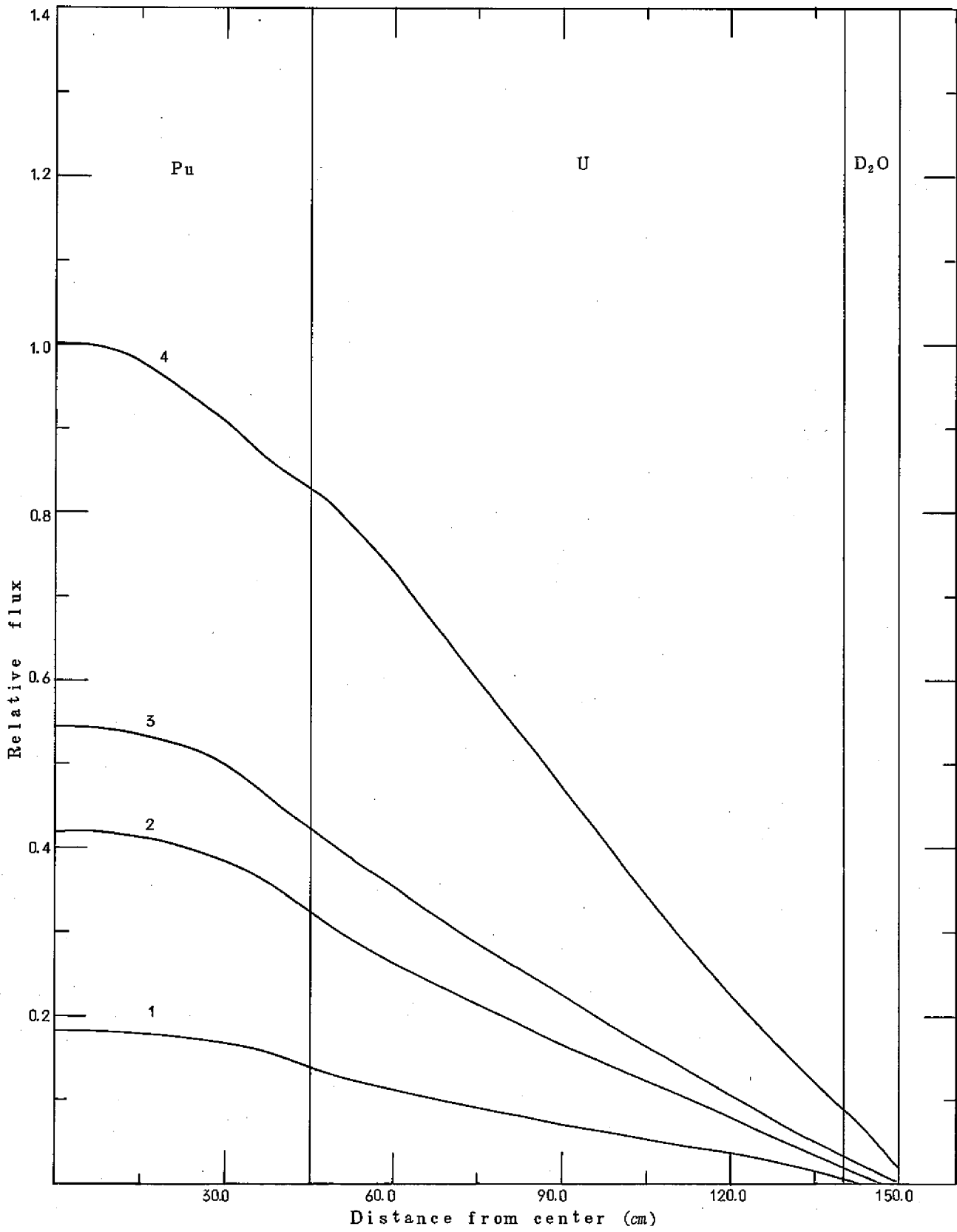


Fig. 13 0.54 % PuO₂-UO₂ 2 regions core, 0% void (3)

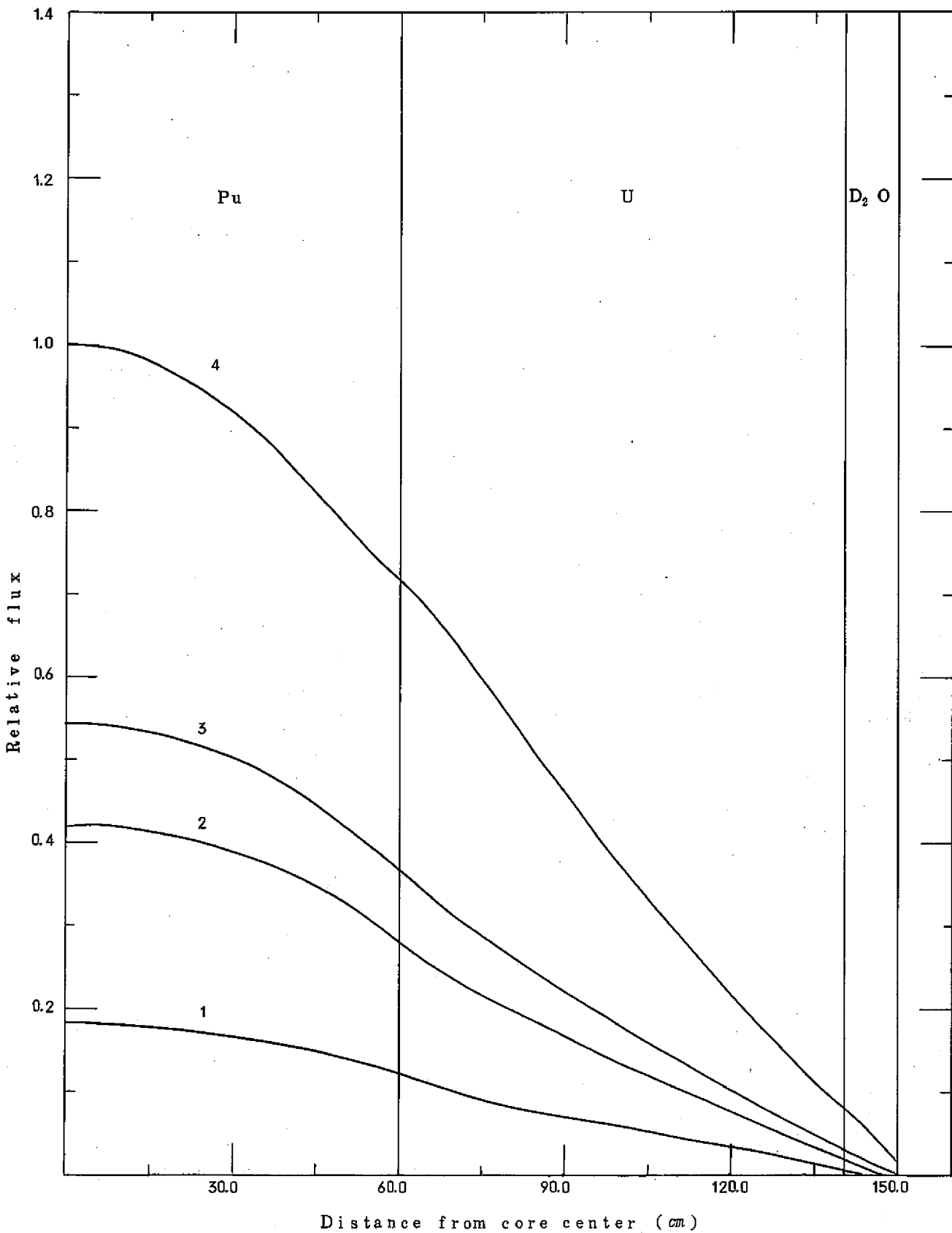


Fig. 14 0.54 w/o PuO₂-UO₂ 2 regions core, 0% void (4)

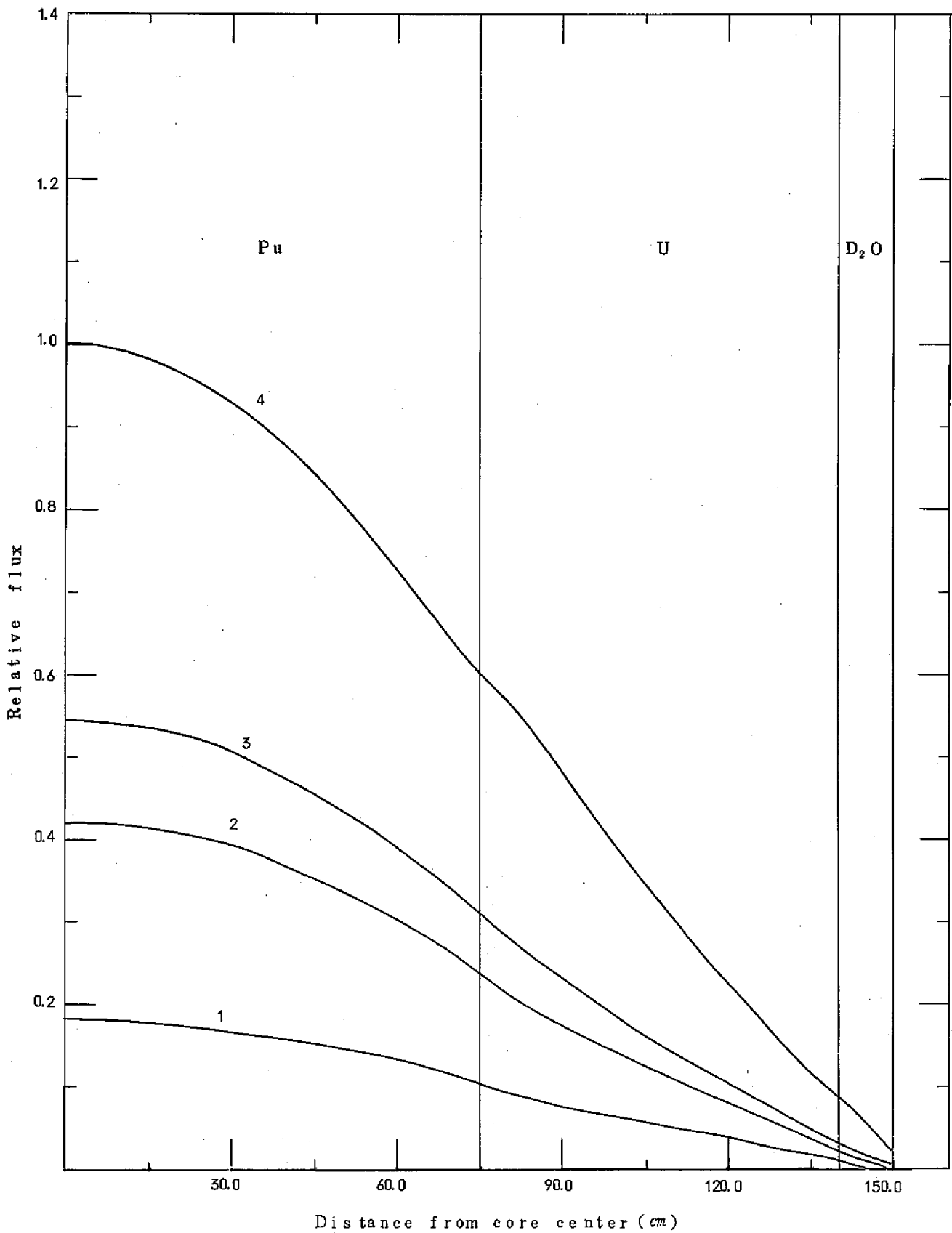


Fig. 15 0.54^{w/o} PuO₂-UO₂ 2 regions core, 0% void (5)

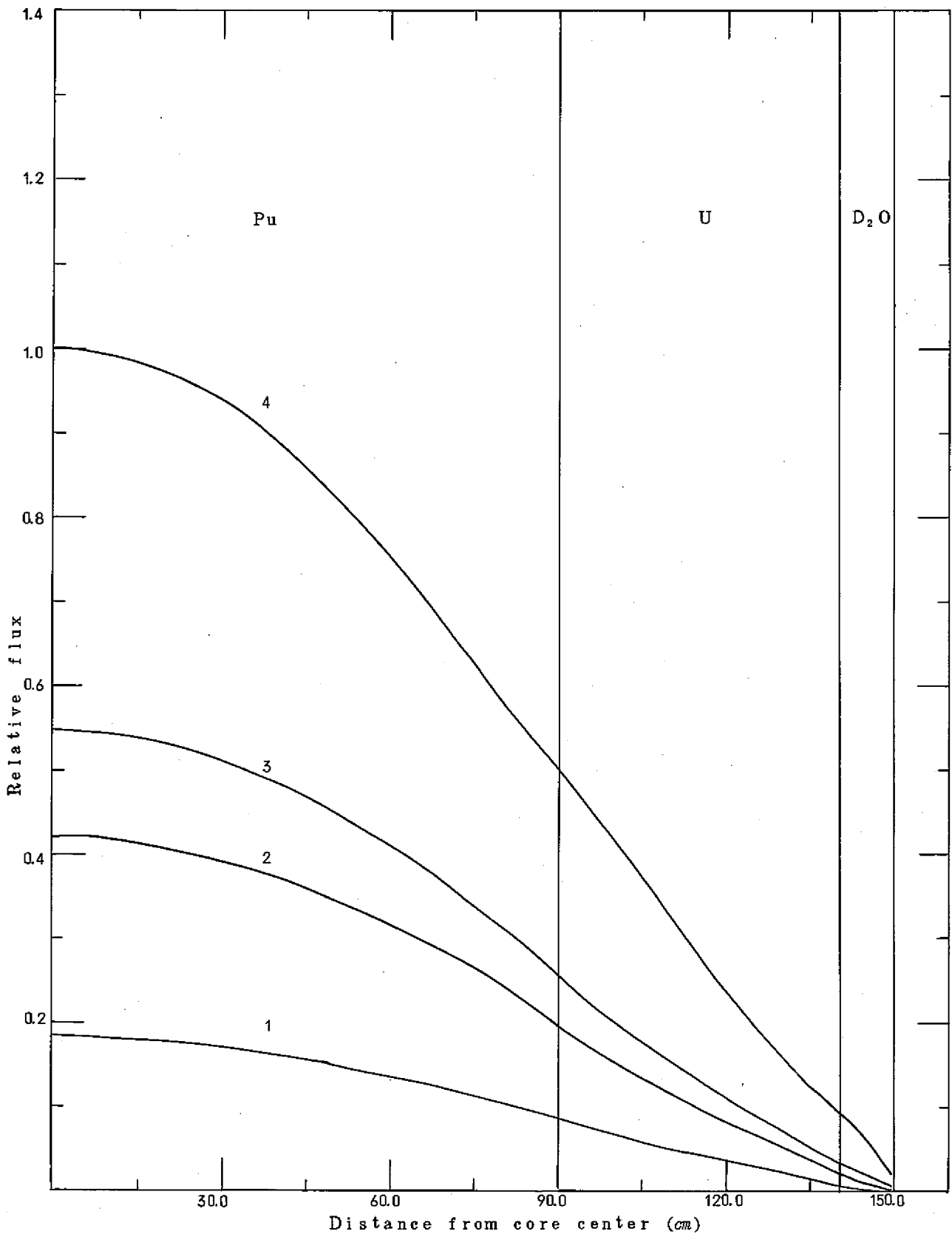


Fig. 16 0.54w/o PuO₂-UO₂ 2 regions core, 0% void (6)

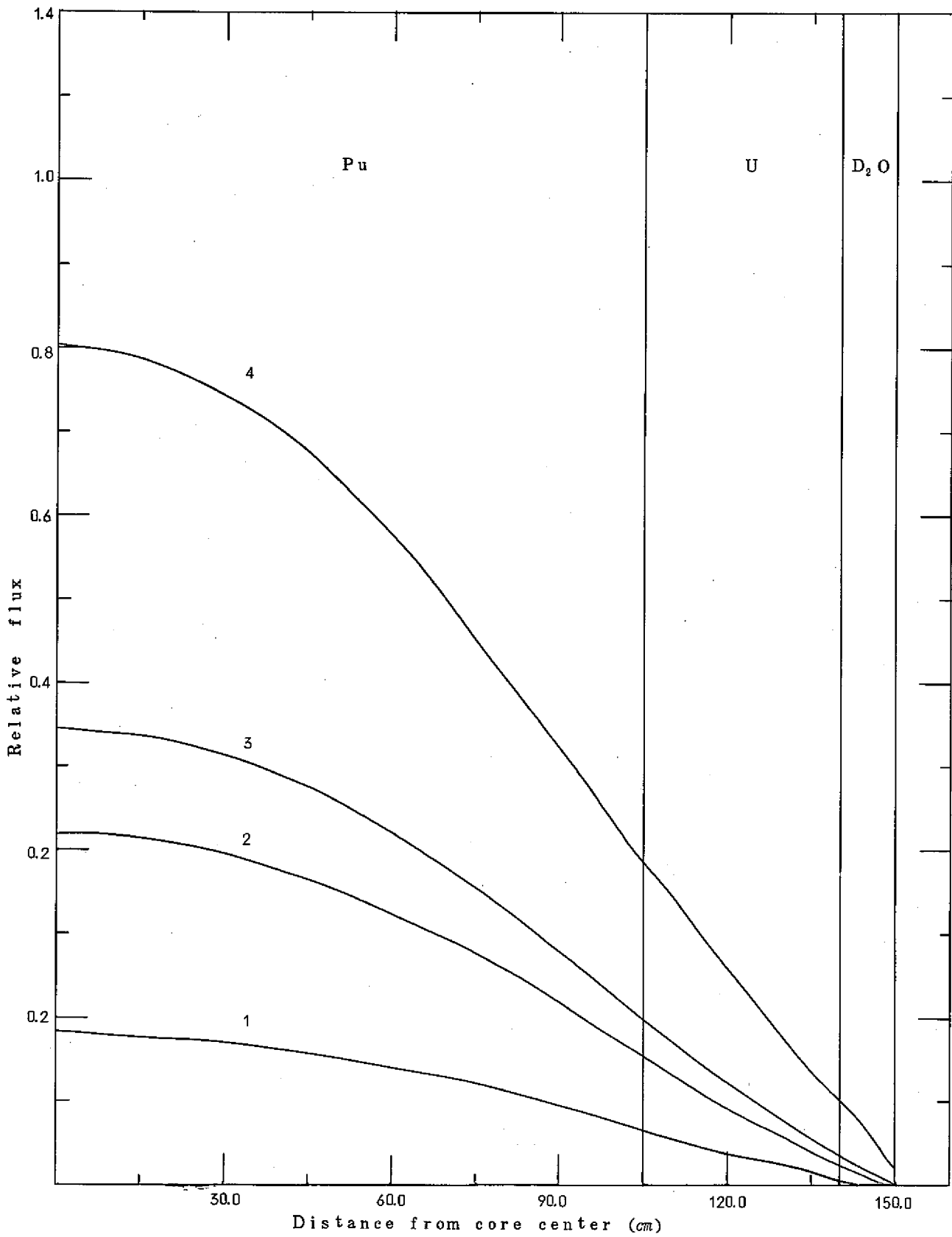


Fig. 17 0.54w/o PuO₂ -UO₂ 2 regions core, 0% void (7)

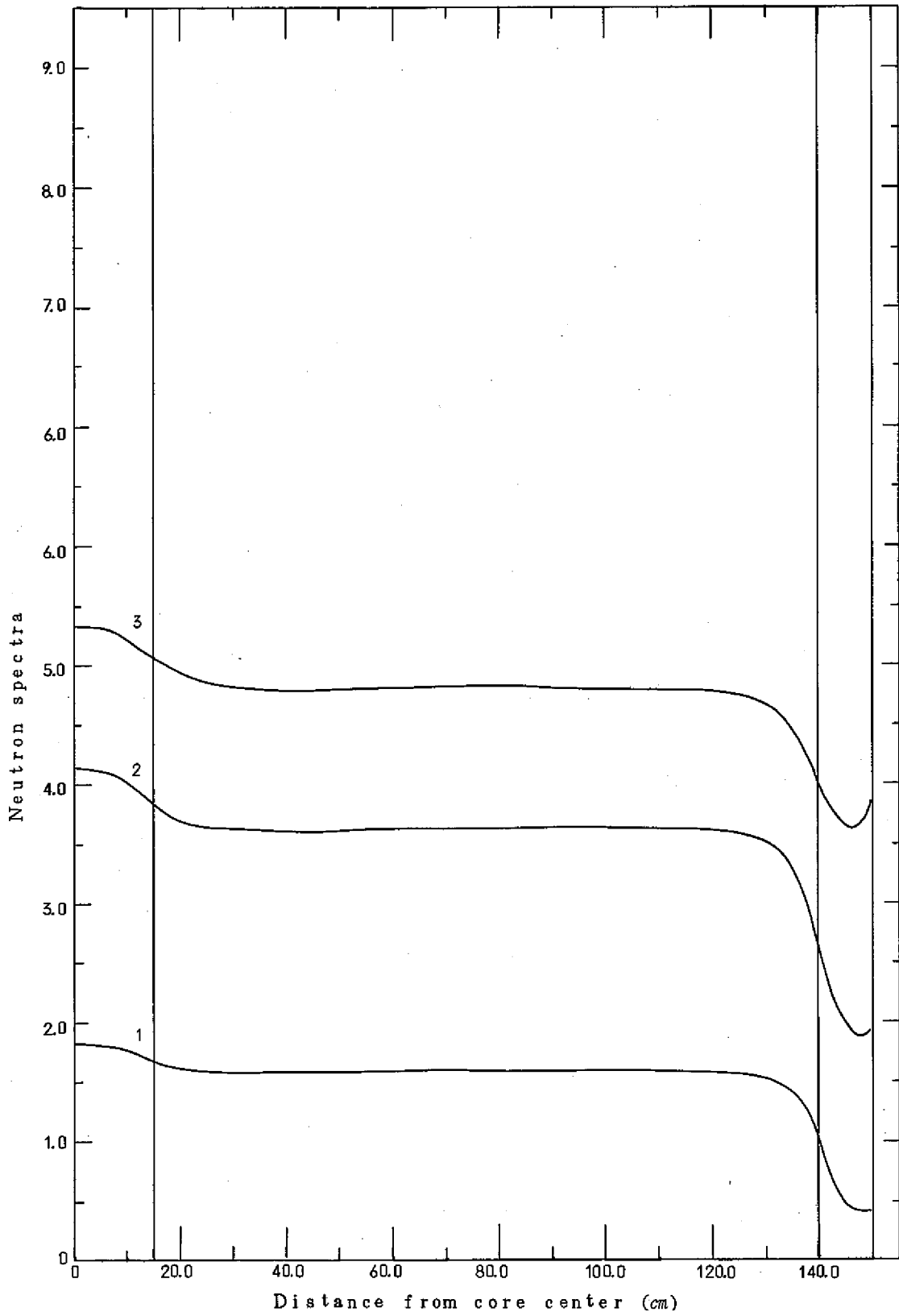


Fig. 18 0.54w/o PuO₂ -UO₂ 2regions core, 0% void (1)

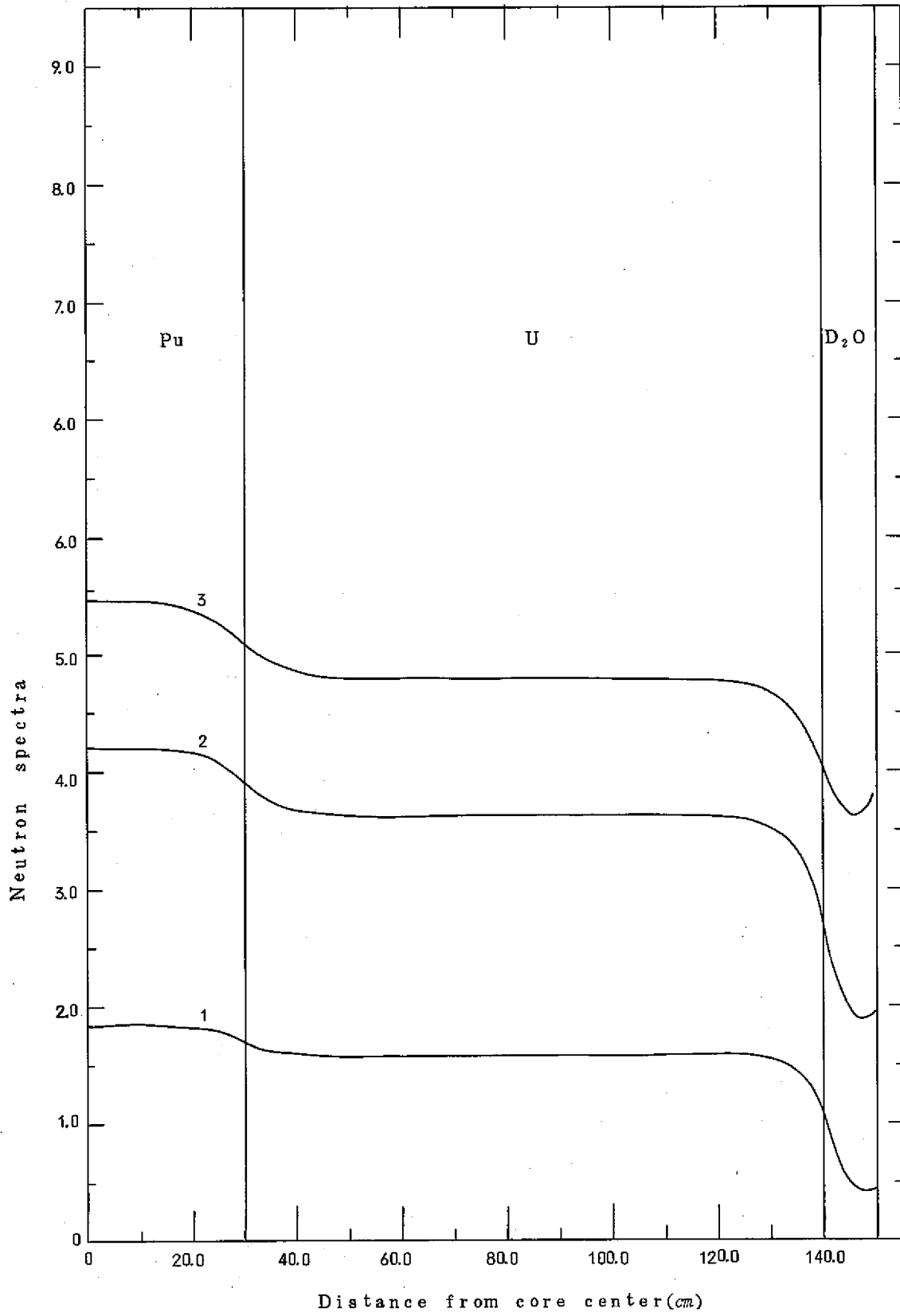


Fig. 19 0.54w/o PuO₂ -UO₂ 2regions core, 0% void (2)

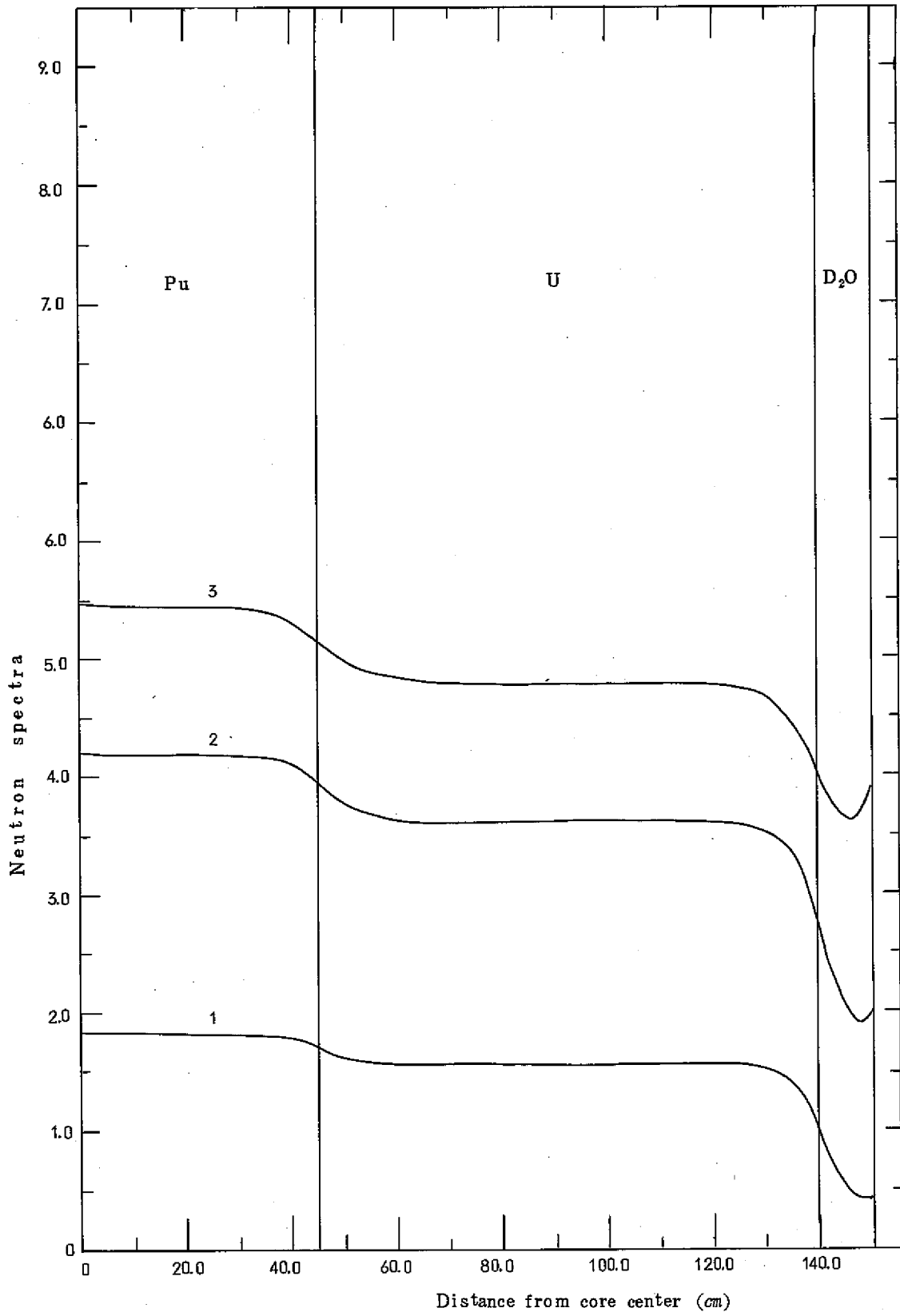


Fig. 20 0.54W/o PuO₂-UO₂ 2 regions core, 0% void (3)

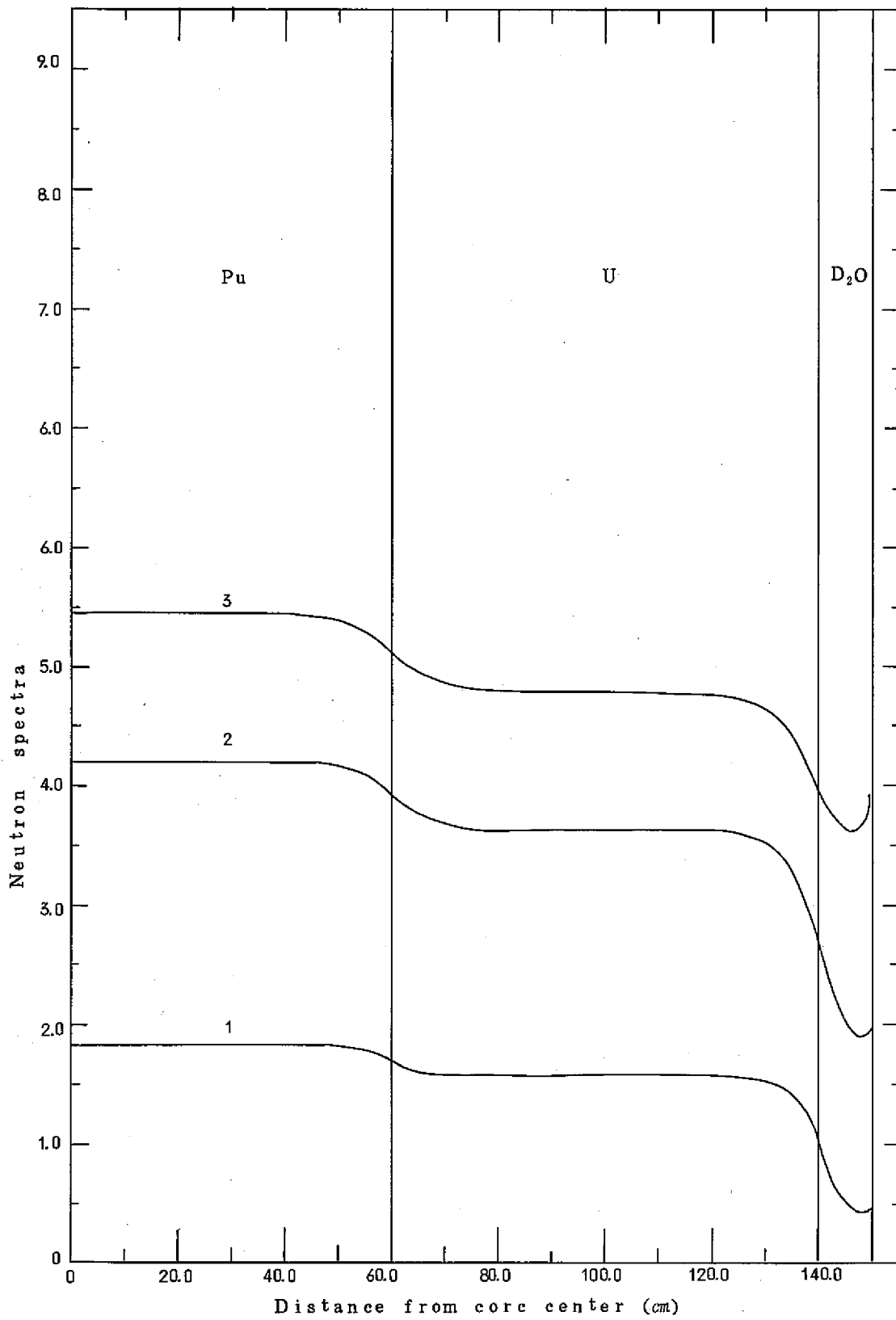


Fig. 21 0.54w/o PuO₂-UO₂ 2regions core, 0% void (4)

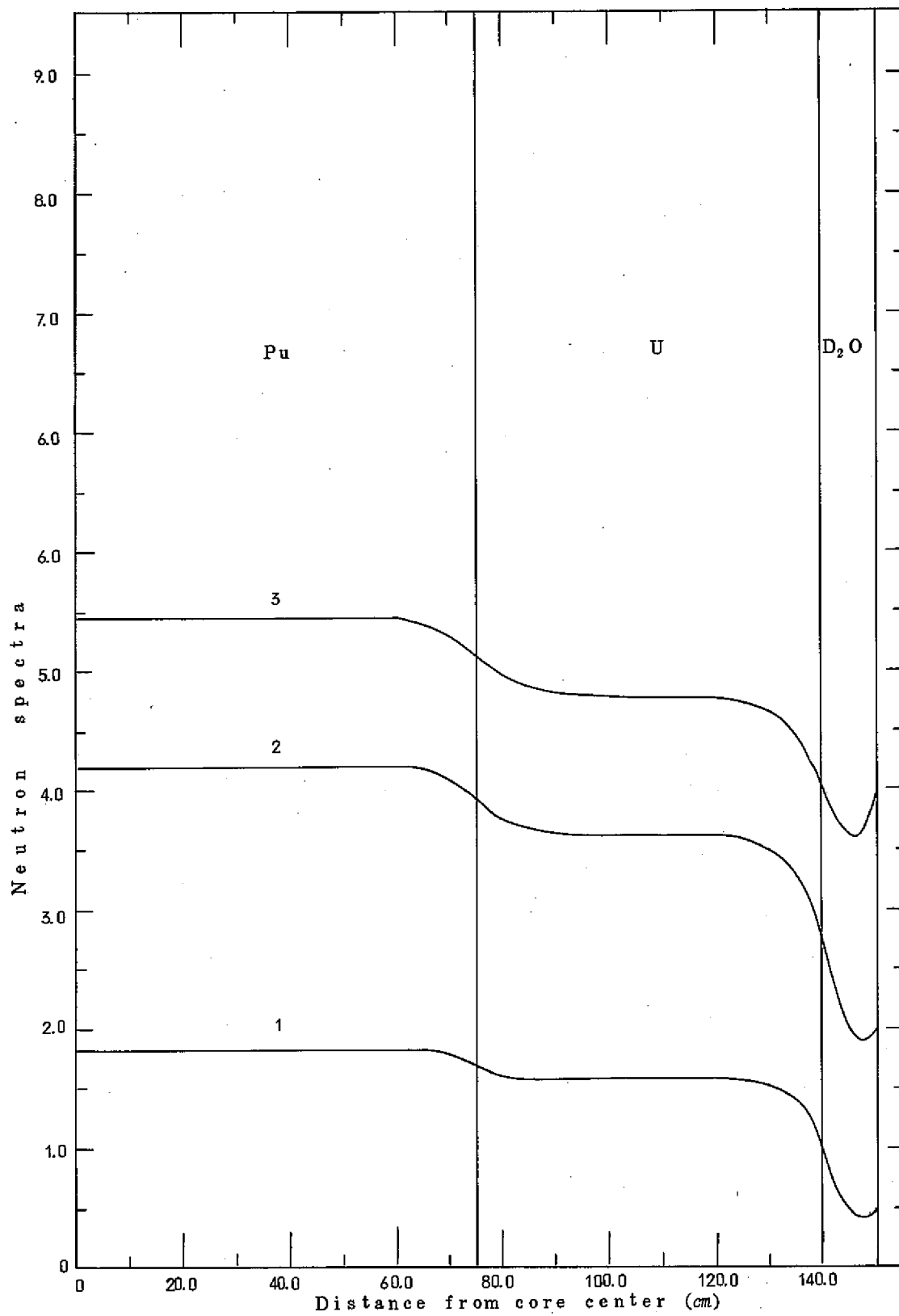


Fig. 22 0.54w/o PuO₂ - UO₂ 2 regions core, 0% void (5)

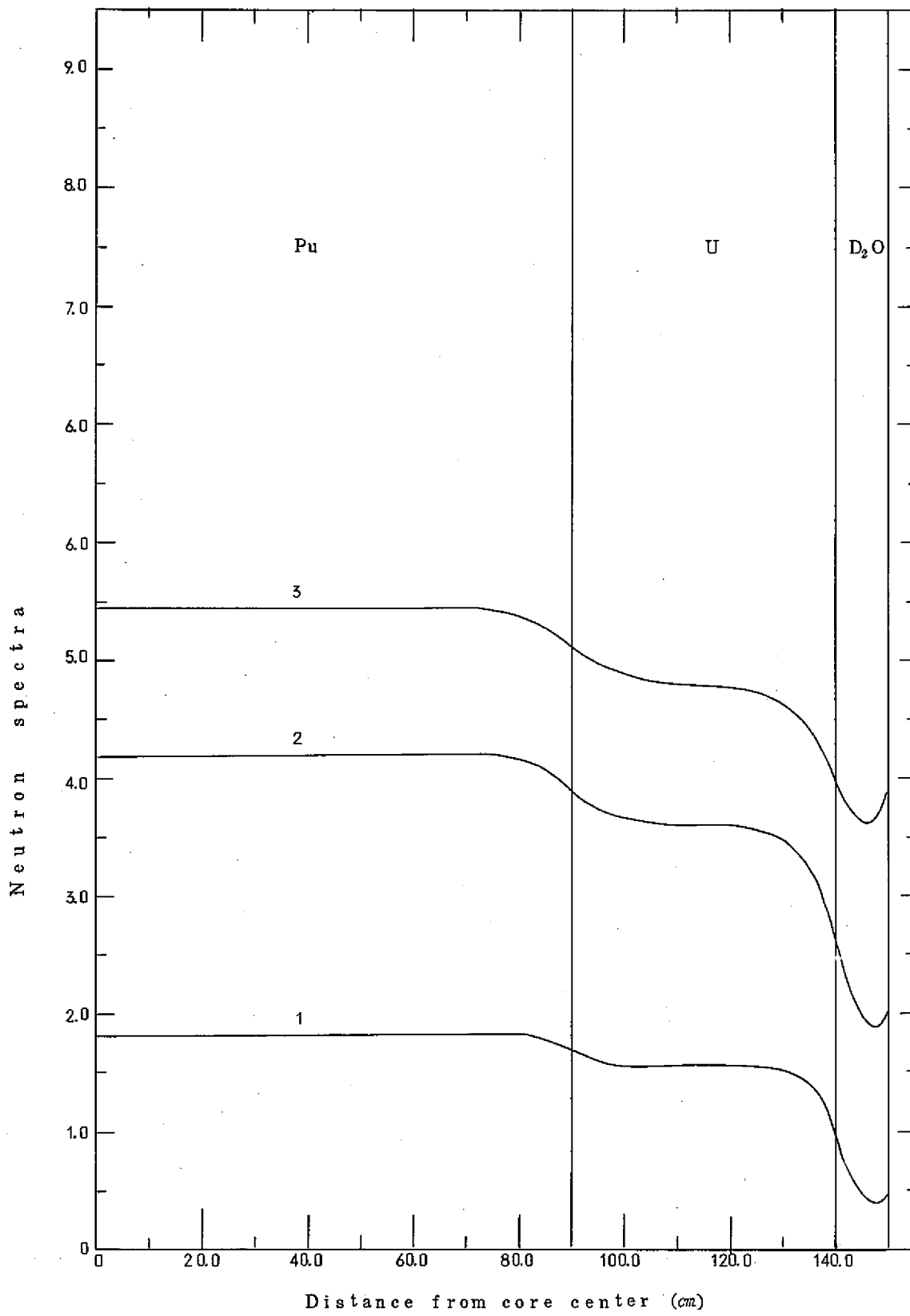


Fig. 23 0.54^w/_o PuO₂-UO₂ 2 regions core, 0% void (6)

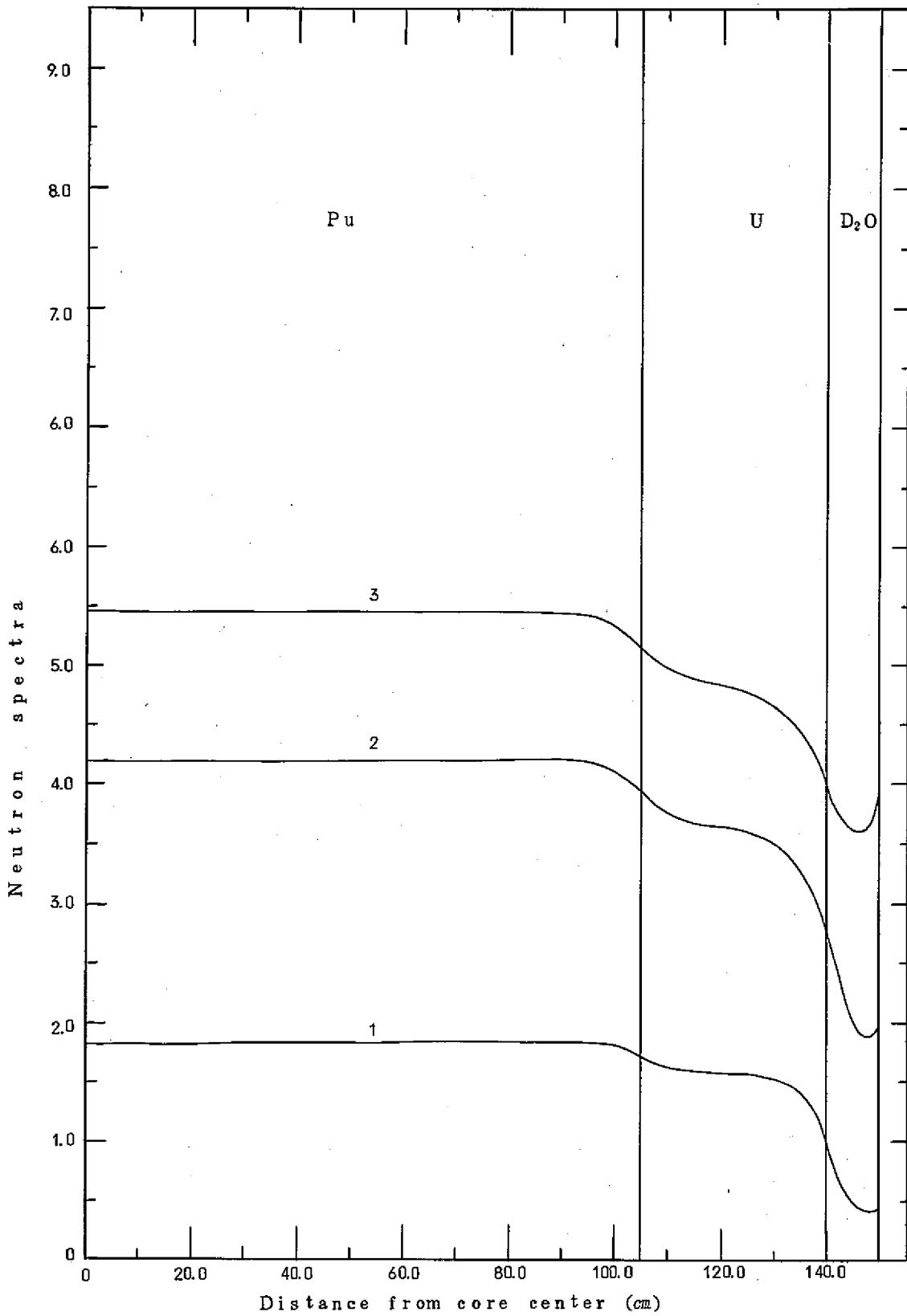


Fig. 24 0.54w/o PuO₂ - UO₂, 2 regions core, 0% void (7)

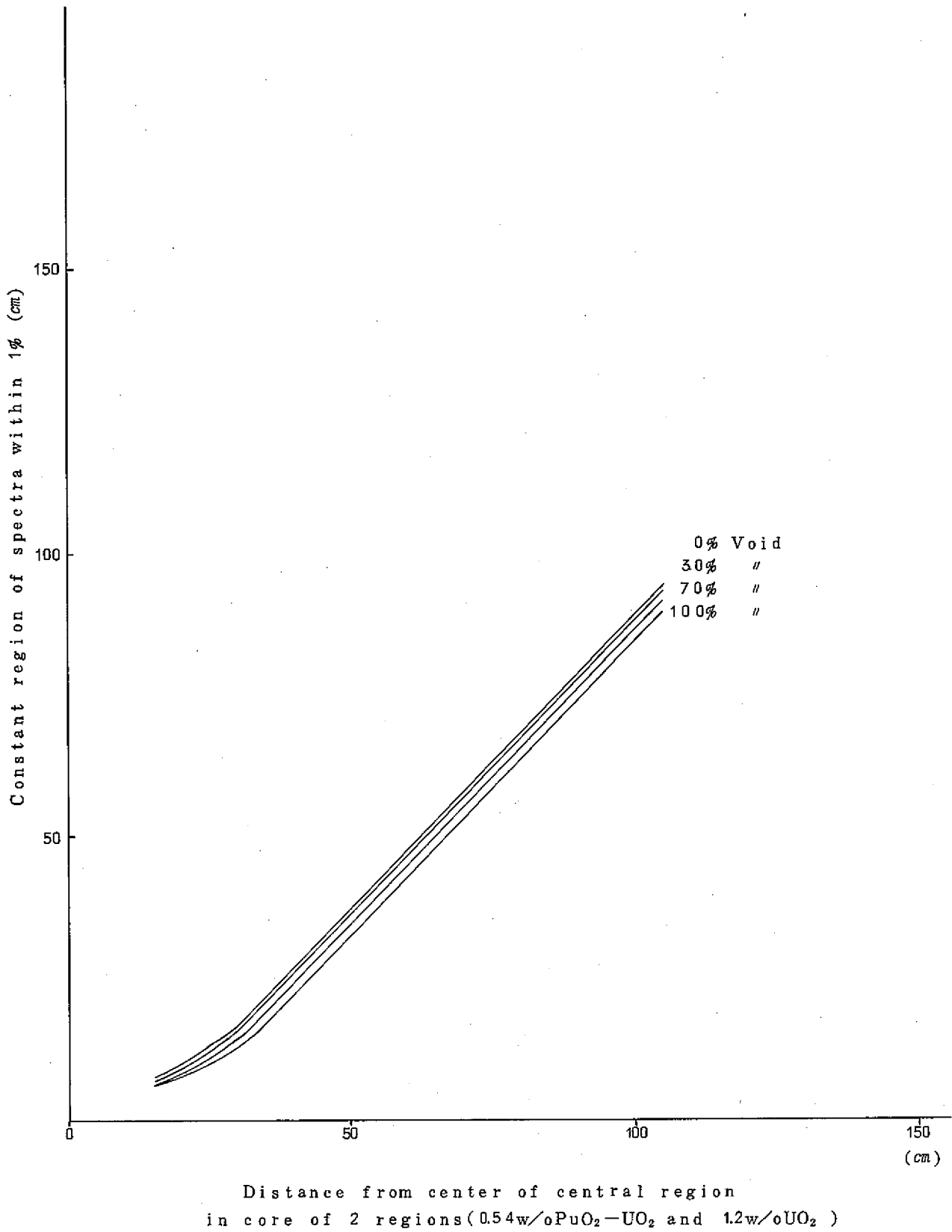


Fig. 25 Survey of spectral equilibrium

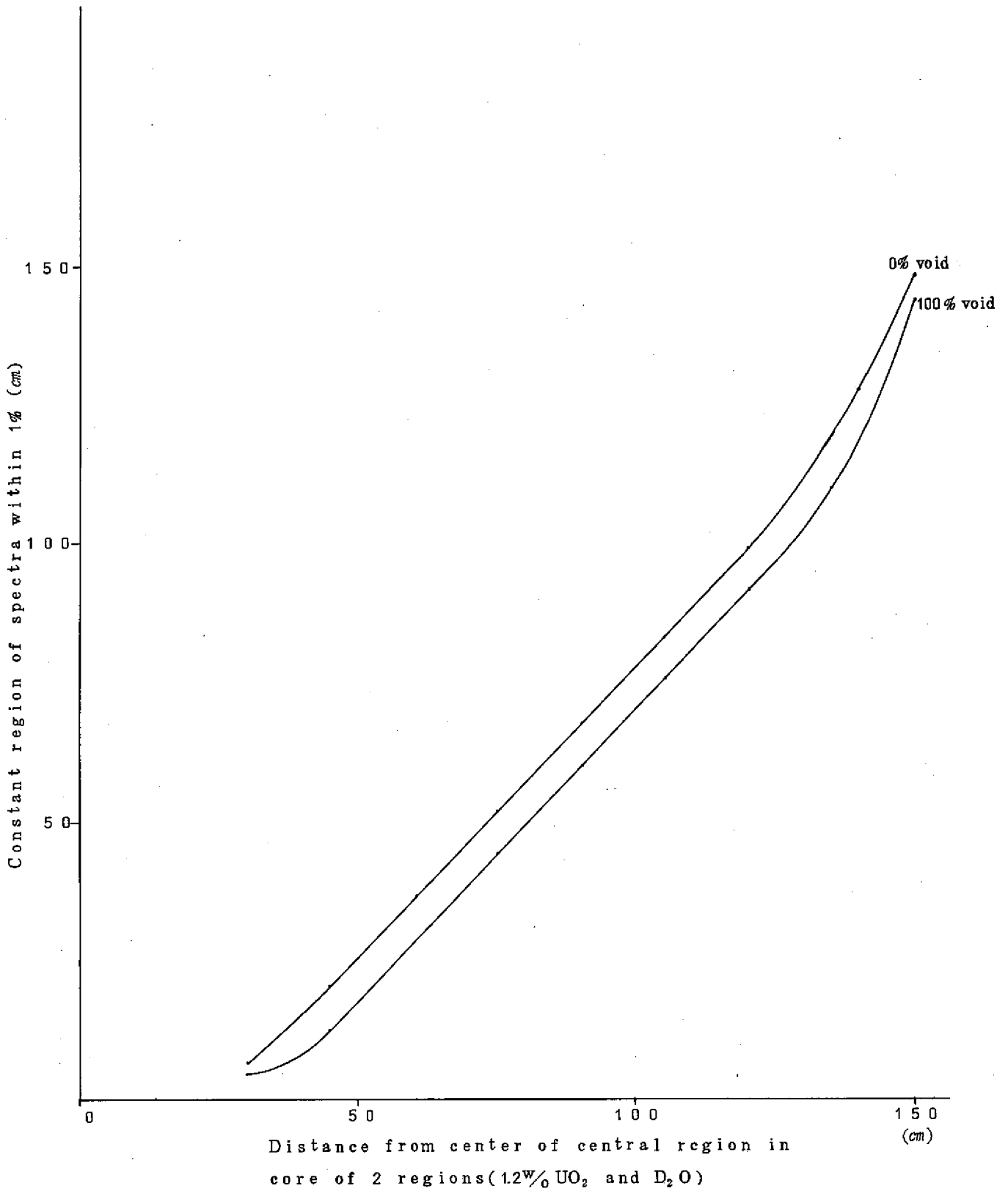


Fig. 26 Survey of spectral equilibrium

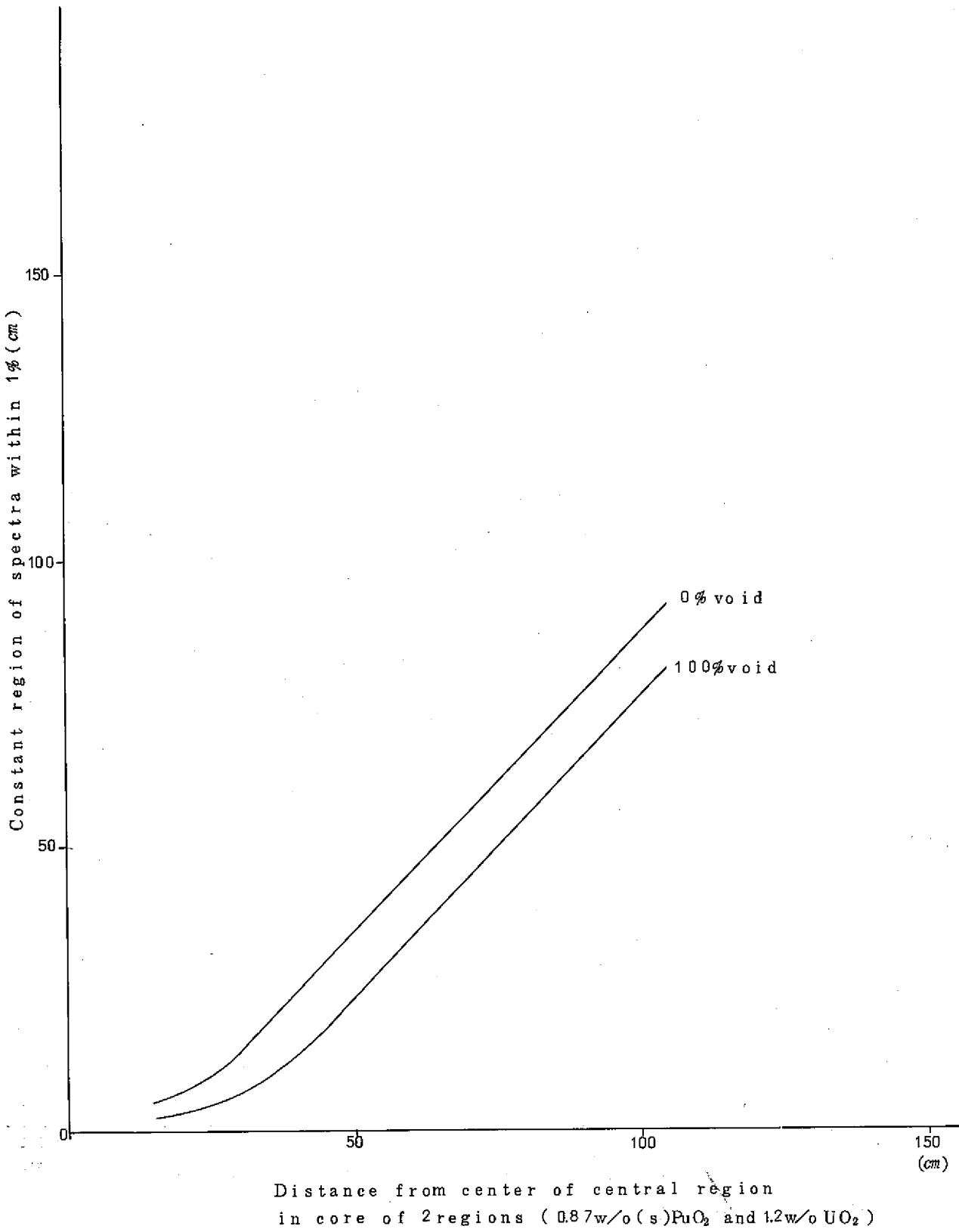


Fig. 27 Survey of spectral equilibrium

(2) 単一セルのマイクロ中性子束分布と、炉心全体のグロスな中性子束分布のカップリングについては、Leslie,⁽²⁾ Auerbach⁽³⁾等の論文に詳しく述べられている。Auerbachの論文を要約すると次の様になる。考える格子をFig.28に示す。

この格子系におけるgグループにおける中性子束は、Blochの法則によると次のように表わされる。

正方格子であるので $B_x = B_y$ となる。

$$\begin{aligned} \phi_g(x, y) = & Ag(\xi, \eta) \cos B_x x \cos B_y y \\ & + Bg(\xi, \eta) \cos B_x x \sin B_y y \\ & + Cg(\xi, \eta) \sin B_x x \cos B_y y \\ & + Dg(\xi, \eta) \sin B_x x \sin B_y y \quad (4-5) \end{aligned}$$

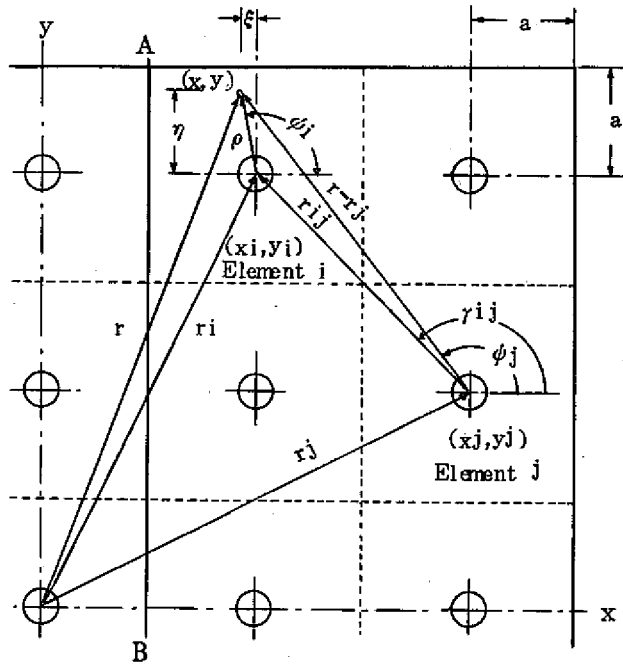


Fig.28 Partial view of a square lattice showing coordinates. Lattice pitch=2a.

$Ag(\xi, \eta)$, $Bg(\xi, \eta)$, $Cg(\xi, \eta)$, $Dg(\xi, \eta)$ はセル関数で、格子間(格子ピッチ $2a$)において周期的な値を示す。又座標 x_i , y_i を中心にもつ i 番目のセルに対しては次のような関係にある。

$$\xi = x - x_i, \eta = y - y_i, -a \leq \xi, \eta \leq a, \quad (4-6)$$

格子の対称性により $\phi_g(x, y)$ は

$$\phi_g(x, y) = \phi_g(-x, y) = \phi_g(x, -y) = \phi_g(y, x) \quad (4-7)$$

となり、セル関数の対称性より

$$\begin{aligned} Ag(-\xi, \eta) &= Ag(\xi, \eta) & Ag(\xi, -\eta) &= Ag(\xi, \eta) \\ Bg(-\xi, \eta) &= Bg(\xi, \eta) & Bg(\xi, -\eta) &= -Bg(\xi, \eta) \\ Cg(-\xi, \eta) &= -Cg(\xi, \eta) & Cg(\xi, -\eta) &= Cg(\xi, \eta) \\ Dg(-\xi, \eta) &= -Dg(\xi, \eta) & Dg(\xi, -\eta) &= -Dg(\xi, \eta) \end{aligned} \quad (4-8)$$

となる。

又、セルの境界において中性子束と中性子流の連続性が必要であり、これらの条件を入れるとセル関数間では次の様な関係となる。

$$Bg(\xi, \pm a) = Cg(\pm a, \eta) = Dg(\pm a, \eta) = Dg(\xi, \pm a) = 0 \quad (4-9)$$

ここで(4-5)式を見てみると、第1項は多くの原子炉計算につかわれた中性子束の積の形である。

すなわち $B_x = 0$ を入れた場合に $Ag(\xi, \eta)$ だけとなり無限大格子における単一格子の中性

子束（マイクロな中性子束）になる。また、 $\cos B x x \times \cos B x x$ はgross中性子束分布に対応している。残っている3つの項は第1項の値の補正項でありそれぞれ $B x^2$, $B x^2$, $B x^4$ のオーダーである。

以上のことより(4-5)式において第1項だけで表わされる場所（すなわち、マイクロな中性子束分布と、grossな中性子束分布が分離できる場所）を調べてみる。

まずセルの中心が、 $x=0$, $y=0$ で測定点が $x=0$, $y=0$ のセル中心である場合を考えると(4-5), (4-6)式より

$$\phi g(0, 0) = A g(0, 0) \times 1 \times 1$$

となり第1項だけで表わされる。

次に同じくセルの中心が $x=a$, $y=a$, すなわちセルの端である場合は、(4-5), (4-6), (4-9)式より

$$\phi g(0, 0) = A g(a, a) \cos B x a \times \cos B x a$$

となりこれも又第1項だけで表わされる。

これらの結果はセルの中心の位置を別の場所にしても同様のことが言える。

以上の結果より、中性子束が(4-5)式の第1項だけで表わされる場所は、セルの中心と4つのセルの端であることになる。

それでは、本実験で採用する4つの端以外のセルの境界ではどのようになるか調べてみる。測定点を Fig. 28 の直線 AB 上とし、セルの端は上記のように第1項だけで表わされることが示されているのでぞくと、(4-5), (4-6), (4-9)式より次のようになる。

$$\phi g(x, y) = A(a, \eta) \cos B x x \cos B x y + B g(a, \eta) \cos B x x \sin B x y$$

第1項と補正項の第2項だけの形となる。

ここで前にも述べたように第2項の大きさは第1項を1とすると $B x^2$ のオーダーである。

本実験で使用する炉心について計算で半径方向のバックリングを求めると最大でも 10^{-3} のオーダーであった。すなわち第1項に対する補正項は0.1%以下であり実験における中性子束分布の測定精度は1%程度であるため、この程度の補正值は測定不可能であり影響も無視できると思われる。

以上の(1), (2)の問題点についての考察の結果、本実験において第3章に述べた方法を用いて、半径方向のバックリングを求めても十分精度よく求まるものと思われる。

第 5 章 実 験 方 法

5.1 半径方向中性子束分布の測定

半径方向の中性子束分布の測定は、Table 5 に示したような $7\text{ mm } \phi$ の Dy-Al 合金箔を用いておこなった。Dy-Al 合金箔は Fig.29(a) に示したような Al ホルダーに、各燃料体系に対して Fig.30 ~ Fig.35 のような位置にスコッチテープではりつけ、はりつけた Al ホルダーは Fig.29 に示したような炉心中央のセルの境界上に、臨界水位の中間になるよう位置に水平にセットした。

照射は熱出力 300 W ($\sim 10^8\text{ n/cm}^2\cdot\text{sec}$) でおこなった。

放射化箔の測定は Fig.36 に示したサンプルチェンジャーを用いて、半減期 139.9 分でベータ崩壊する $^{165}\text{ Dy}$ のベータ線をアントラセンシンチレーションカウンターで測定した。

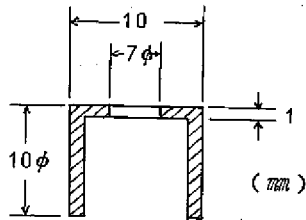
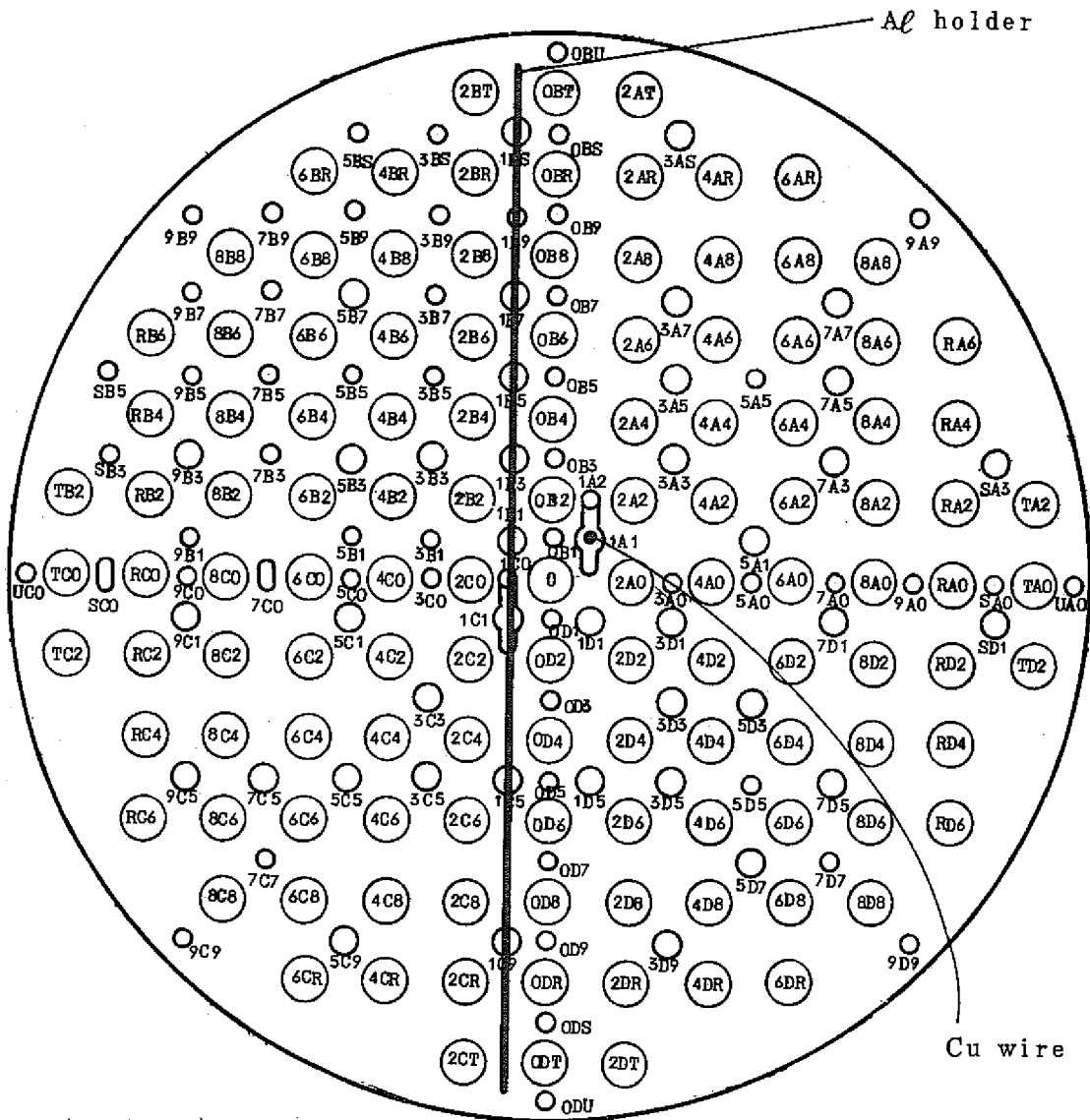
Table 5 Specification of Dy-Al foil

Dimensions	$7\text{ mm } \phi \times 0.1\text{ mm}$
Physical property	Dy-Al alloy
Dy contents	4%
Purity	99.697%
Maker	Research Chemical Inc.

5.2 軸方向中性子束分布の測定

軸方向中性子束分布の測定は半径方向クロス中性子束分布と同時に照射しておこなった。軸方向中性子束分布の測定には $3\text{ mm } \phi$ の Cu ワイヤーを用い、中央クラスター中心 (Fig.29 中の 0 の位置) と重水中 (Fig.29 中の 1A1 の位置) で照射した。

照射後は Cu ワイヤーをガンマ線スキャンニング装置にセットするか、又カッターで 15 mm に切断して Fig.36 のサンプルチェンジャーにセットするかどちらかで、半減期 129 時間で崩壊する $^{64}\text{ Cu}$ のエネルギー 0.511 MeV の γ 線を NaI (Tl) シンチレーションカウンターを用いて測定した。



(a) Cross sectional view of Al holder

Fig. 29 Al holder arrangement for measurement of gross distribution

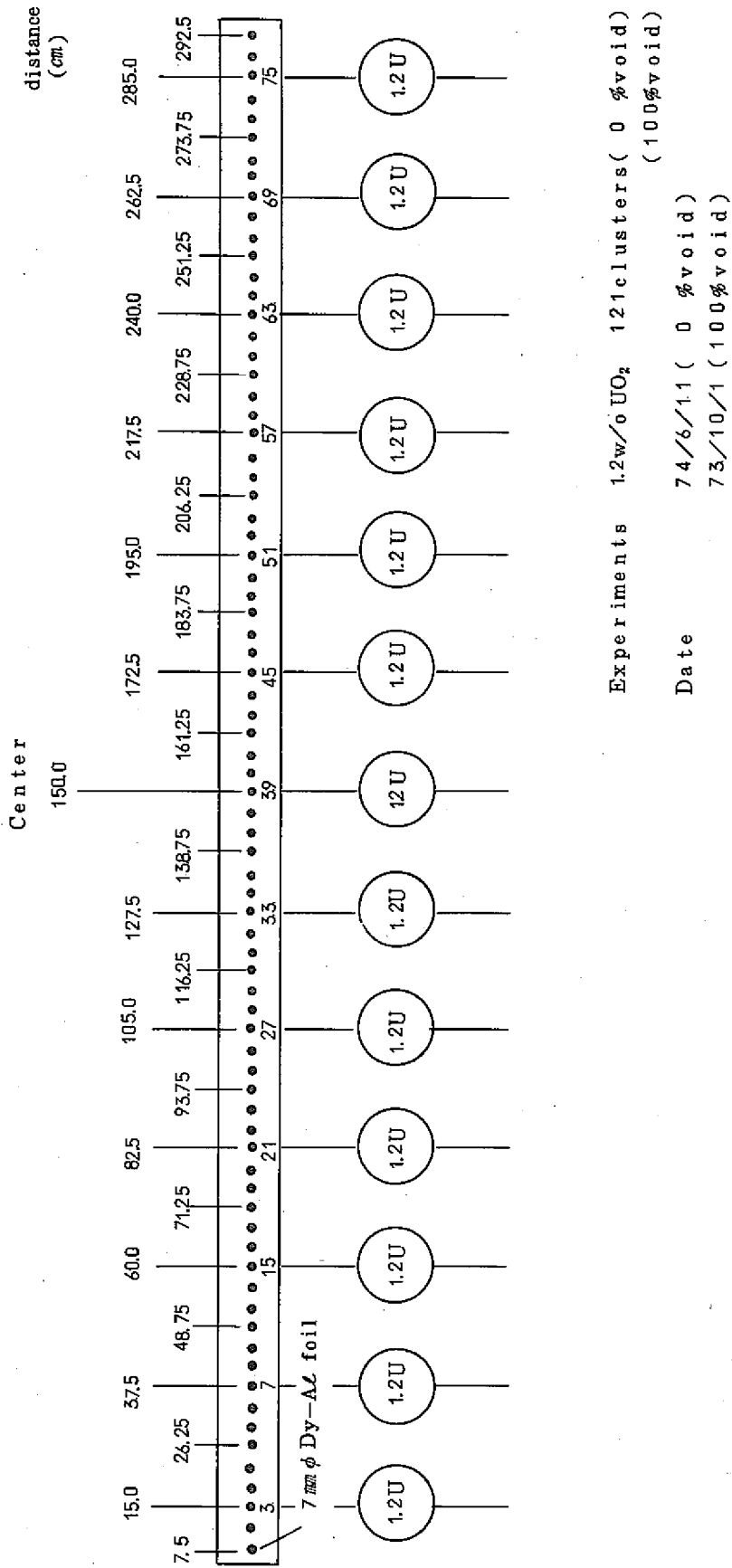


Fig. 30 Foil positions for measurement of gross distribution (I)

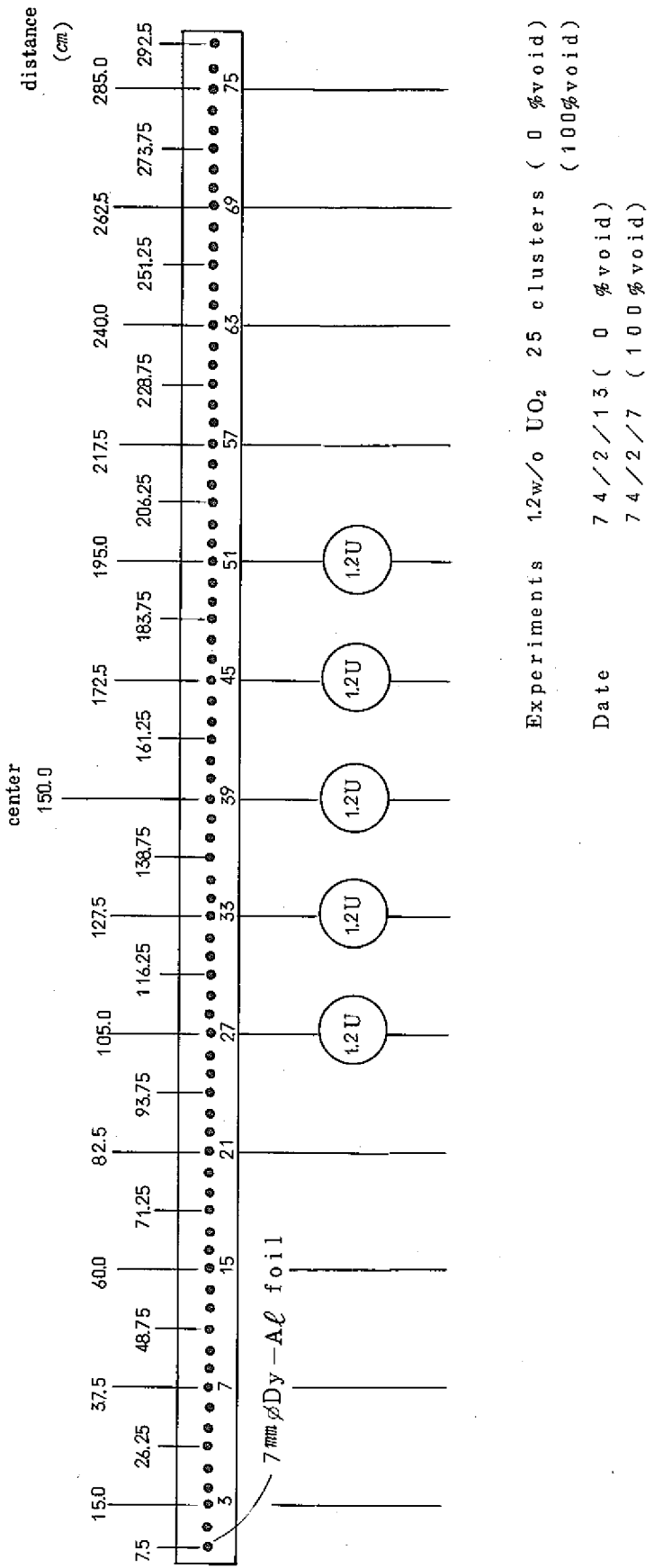
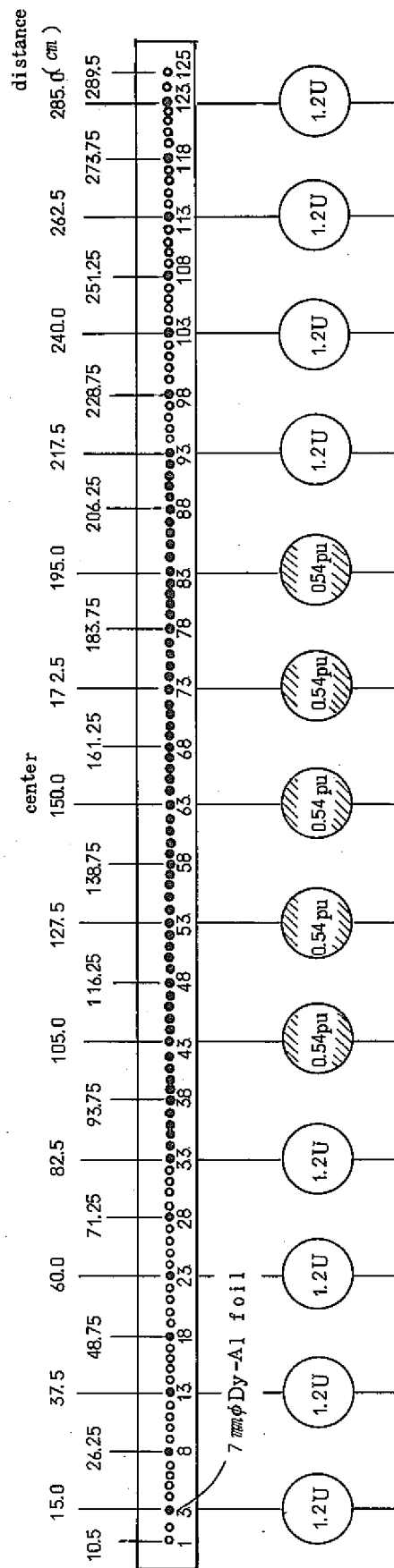


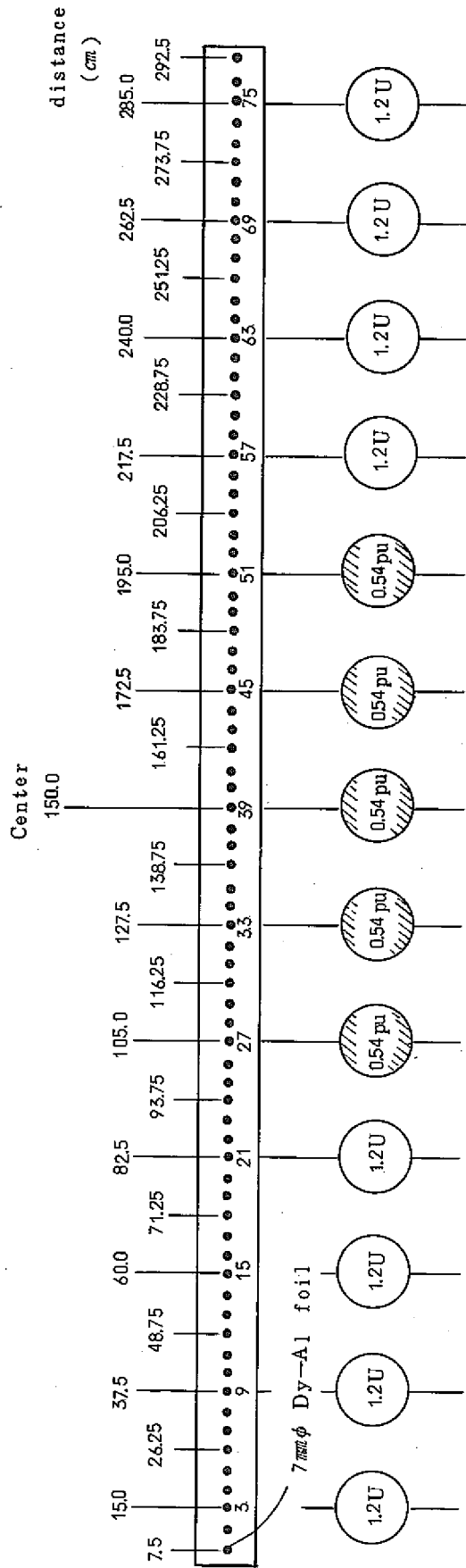
Fig. 31 Foil positions for measurement of gross distribution (2)



Experiment 0.54w/oPuO₂-UO₂, 25 clusters (0% void)

Date 74/6/26

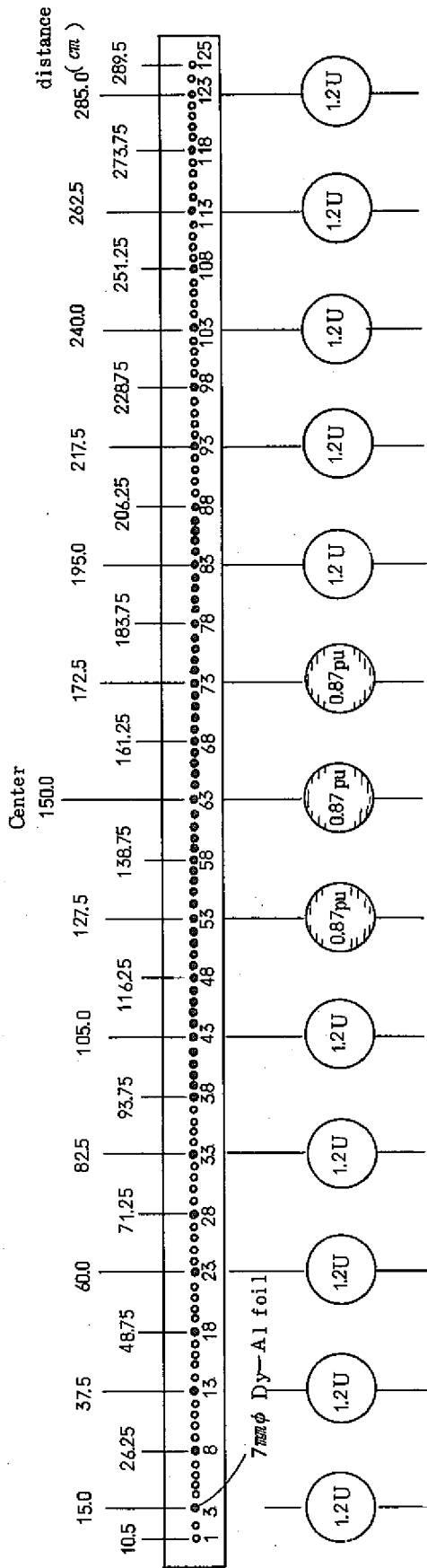
Fig. 32 Foil positions of measurement of gross distribution (8)



Experiments 0.54w/o PuO₂-UO₂ 25 clusters (3.0% void)
(7.0% void)

Date 73/9/12
73/9/12

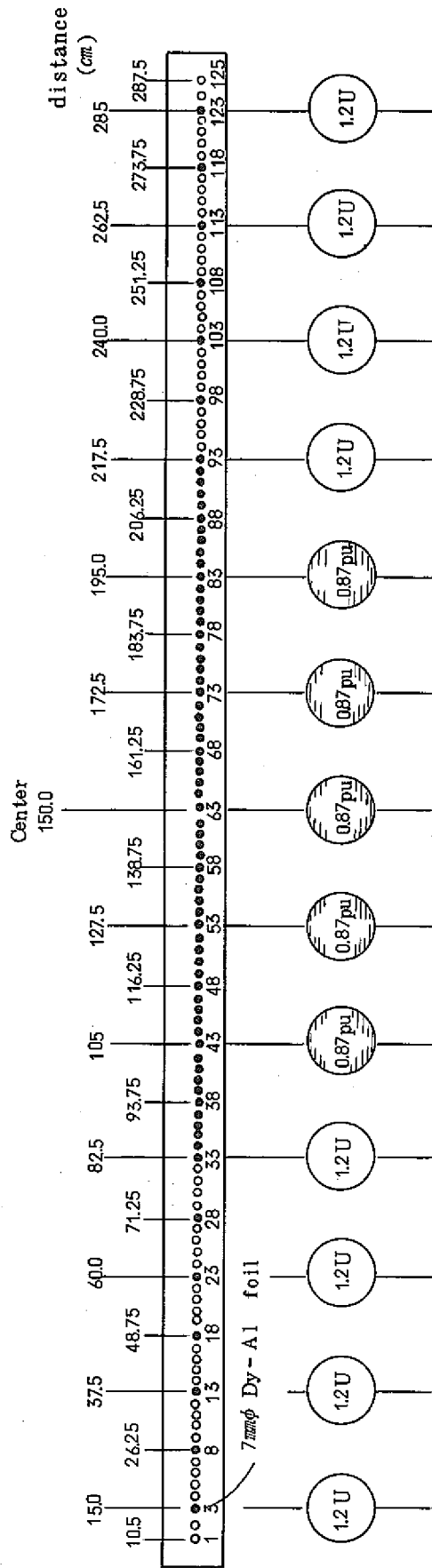
Fig. 33 Foil positions for measurement of gross distribution (4)



Experiment 0.87w/o(S)PuO₂-UO₂ 9 clusters (0% void)

Date 7 4 / 6 / 13

Fig. 34 Foil positions for measurement of gross distribution (5)



Experiment 0.87w/o (S)PuO₂-UO₂ 25clusters (100%void)

Date 74/4/16

Fig. 35 Foil positions for measurement of gross distribution (6)

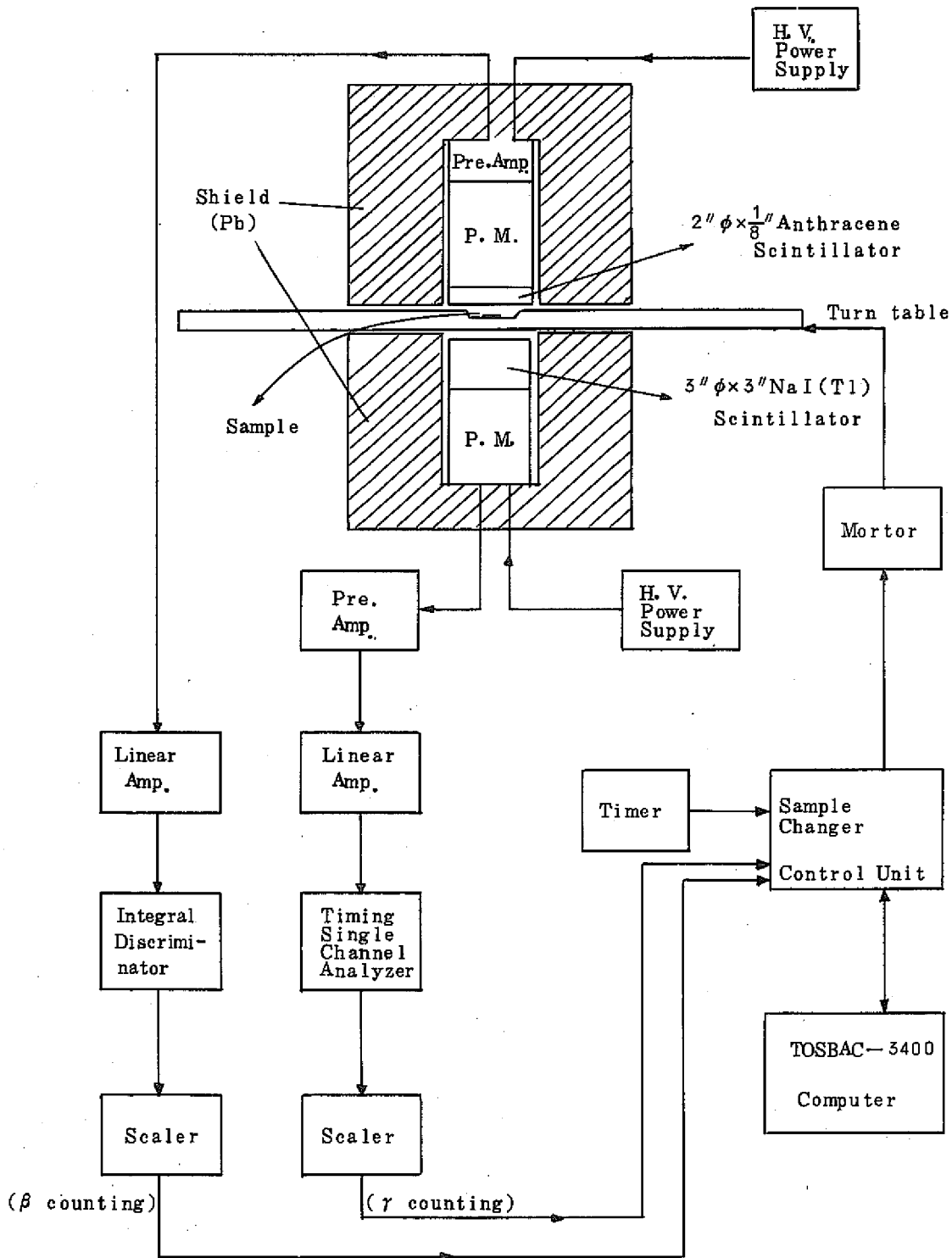


Fig. 36 Block diagram of β -ray and γ -ray measurement system

第 6 章 実 験 結 果

6.1 半径方向のバックリングの導出

測定された ^{166}Dy の放射化量は、バックグラウンド、不感時間、時間による放射化量の減衰、箔の検出感度を式 (6-1) によって補正した。

$$A_{\text{act}} = \frac{\frac{N_0}{1 - \frac{N_0}{t_c} \cdot \tau} - N_b \cdot t_c}{\frac{1 - e^{-\lambda t_c}}{\lambda}} \cdot \frac{e^{-\lambda t_s}}{m} \quad (6-1)$$

ここで N_0 : 計数值

N_b : バックグラウンド (cps)

t_s : 経過時間 (sec)

t_c : 計数時間 (sec)

λ : ^{166}Dy の崩壊定数 (sec^{-1})
($\lambda_{\text{Dy}} = 0.00008258$)

τ : 不感時間

m : 箔の重量

各燃料体系における補正した値を付録 1 にのせた。また、Fig.38~Fig.46 にグロス中性子束分布を示す。

以上の様にして求めたグロス中性子束分布により半径方向のバックリングを求める手順は Fig.37 に示した。Fig.37 の [3] より後の半径方向のバックリングの導出を説明する。

[3] [2] で求めたグロス中性子束分布より格子的に対称な点を選び各点を結ぶと 1 つの曲線となる。対称な点を選ぶ場合、前に FOG によって計算したスペクトル平衡な領域を参考にする。測定点の数によってこの曲線は 4~6 個求まる。その格子的に対称な点を結んだグラフを Fig.47~Fig.55 に示す。曲線は、A (○-○), B (▲-▲), C (□-□), D (●-●), E (×-×), F (□-□) の記号がつけられ、又 2 領域の場合にはその境界を 1 点鎖線で示した。

[4] [3] で求められた 4~6 の曲線は、それぞれ最小自乗法によりフィッティングされ各係数が求められる。1 領域炉心 ($1.2\% \text{UO}_2$, 0%, 100%ポイド, 121体クラスター) の場合は $f = A J_0(Br)$ の関数で、2 領域炉心の場合は $f = A \cos(B(x-c))$ の関数でフィッティングをおこなった。これは $1.2\% \text{UO}_2$ 121体炉心では、Fig.6 を見てわかるように円筒形炉心と考えられるからであり、2 領域炉心では Fig.7~Fig.10 を見てわかるように中心領域はつねに 3×3 又は 5×5 の正方形の格子配列をしてい

るためである。

- ⑤ 求められた曲線の式において、係数Aは Amplitudeであり、係数Bの2乗がバックリングを表わす。これら4～6の曲線は原理的にいえばフィッティングの結果、Aが異なるだけで、B、Cはすべて同じになるはずである。このことを利用して求めようとするバックリングの領域での測定点すべてを利用するために、Aの値を規格化し、その規格化に用いた値をそれぞれのフィッティングに用いた測定値にかけ、原理的に1つの曲線でフィッティングできるようにする。すなわち、

$$f_1 = A_1 \cos (B (x - c))$$

$$f_2 = A_2 \cos (B (x - c))$$

$$f_3 = A_3 \cos (B (x - c))$$

$$f_4 = A_4 \cos (B (x - c))$$

の4つの曲線がフィッティングにより求めたとすると、係数 A_1, A_2, A_3, A_4 が $A_1 = A_2 = A_3 = A_4$ になるように、 f_2, f_3, f_4 のフィッティングに使用された測定値に $A_1/A_2, A_1/A_3, A_1/A_4$ の値をかけてやる。しかし、實際上、B、Cの値はすべて同じにはならない。これは測定精度（主に測定点が少ないためのフィッティング誤差）に依存する。

ここで述べた方法を用いると、測定点が多くなりフィッティング上の誤差は少なくなる。

- ⑥ ⑤で規格化して求めた測定点を全部用いて与えられた関数でフィッティングをおこない Br^2 を求める。
- ⑦ ⑥では測定点全部でフィッティングをおこなったが、フィッティングの範囲を変えてすなわちフィッティング点を少なくしてフィッティングをおこない Br^2 を求める。これをくり返し、 Br^2 が一定となるところを見つける。これはフィッティングする領域がまだ1領域では境界、2領域では周囲の領域の影響をうけている場合、 Br^2 が変化するためである。
- ⑧ ⑦における Br^2 の一定となる値をもって、半径方向のバックリングとする。

Table 4 (1), (2), (3), (4), (5), (6)に以上の手続によりフィッティング領域を変えて求めた半径方向のバックリングの値を示した。これらの中でRecommended value が半径方向バックリングとして使用するものである。又、参考にFOGで計算された一定領域の値を示した。

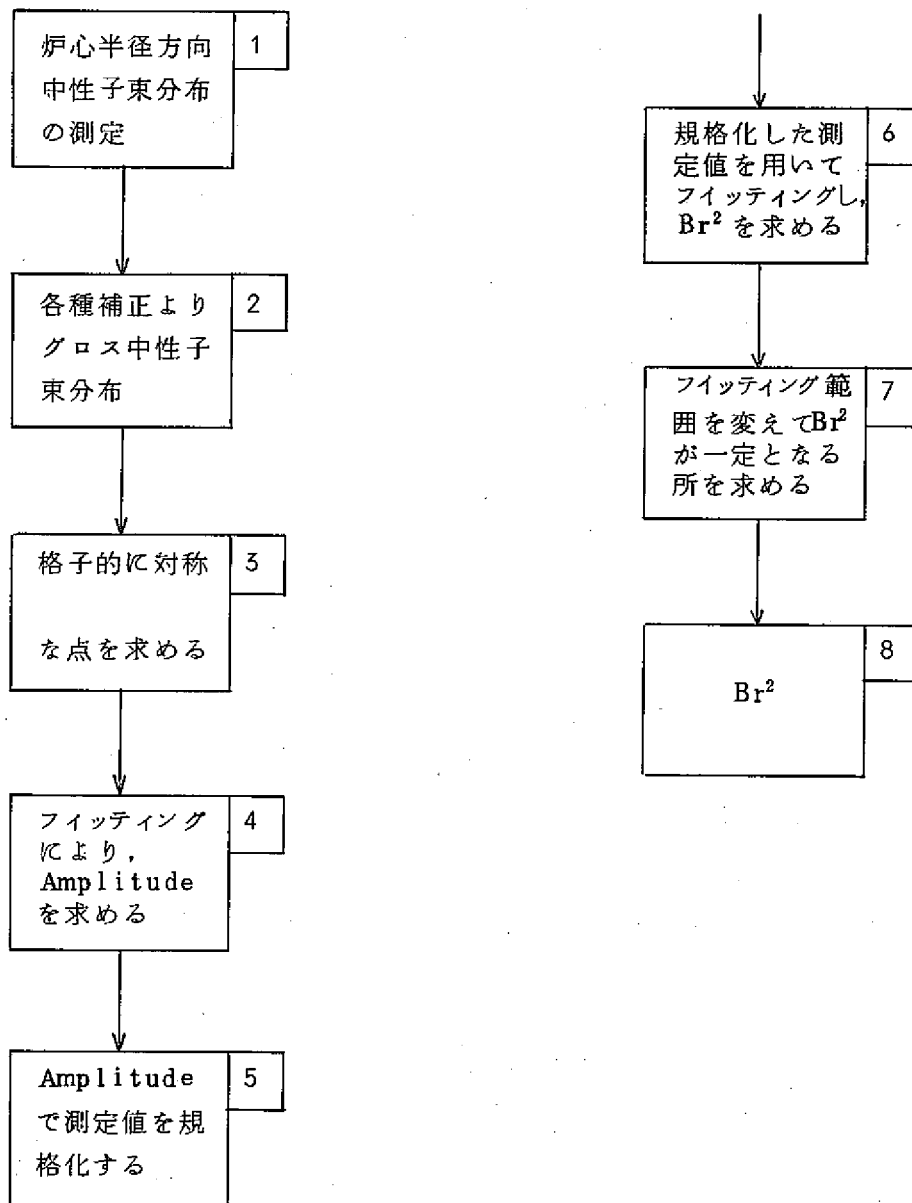


Fig.37 Data processing procedure for measurement of radial buckling

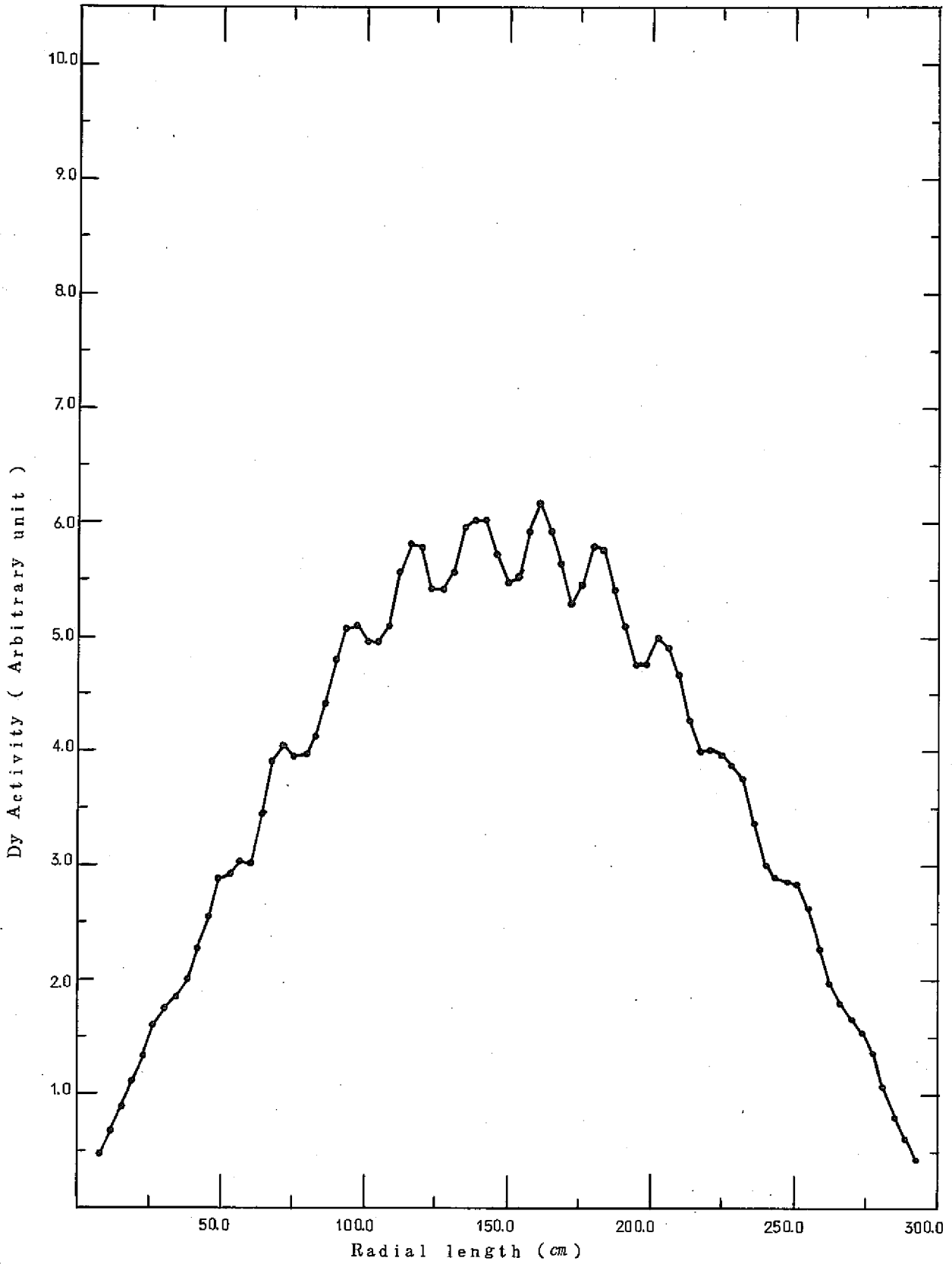


Fig. 38 Radial flux distribution
(1.2% UO₂, 121 clusters, 0% void)

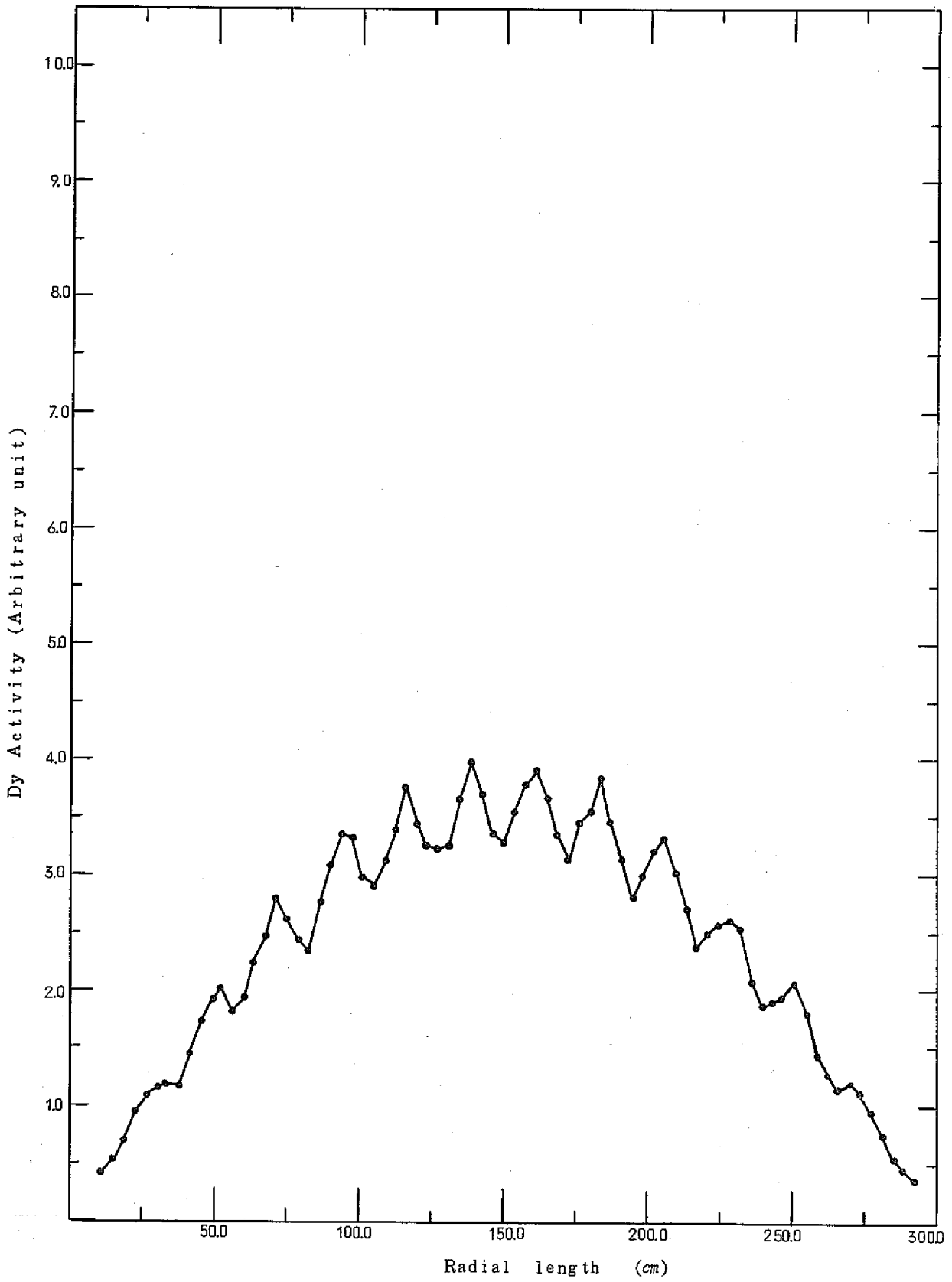


Fig. 39 Radial flux distribution
(1.2w/o UO₂, 121 clusters, 100% void)

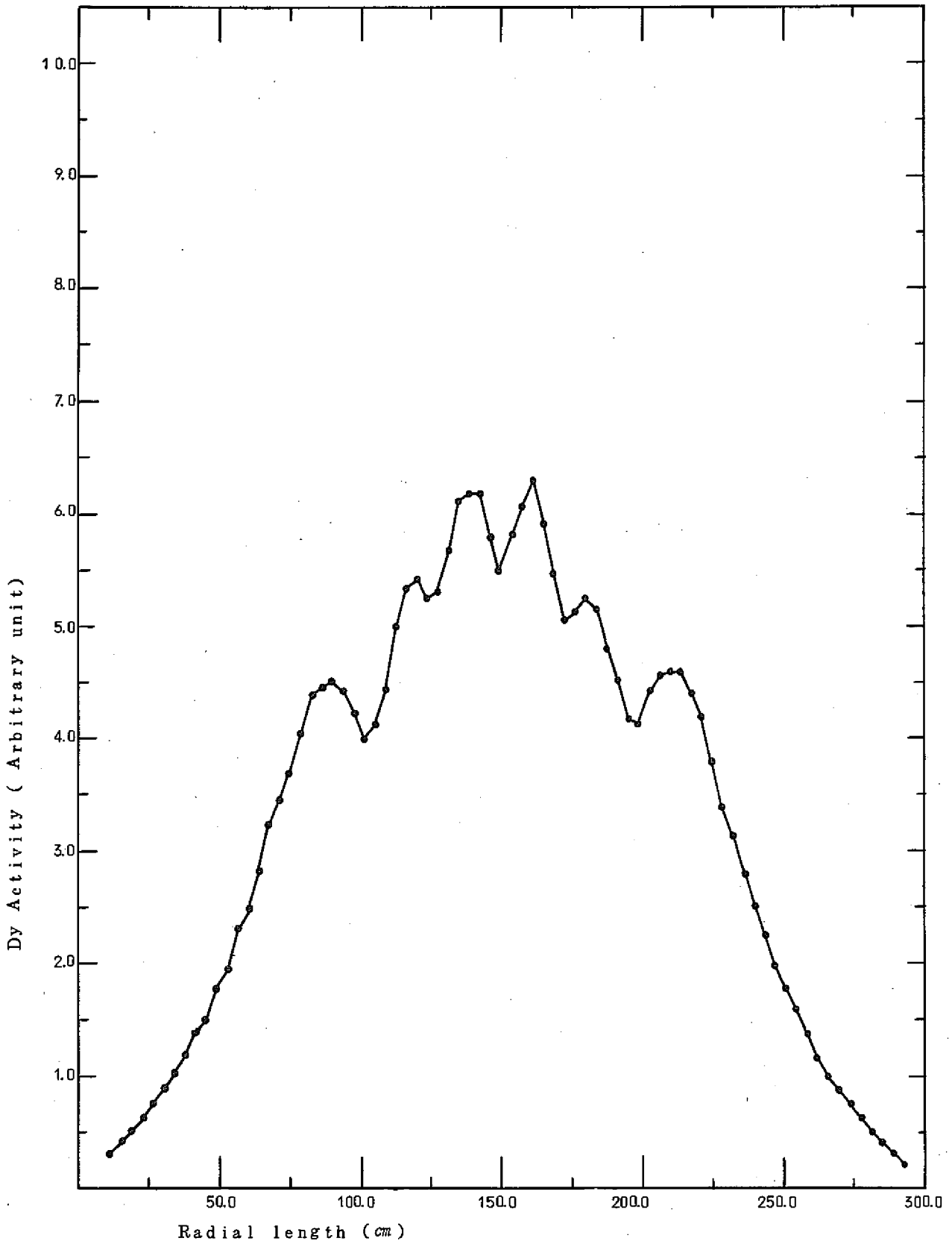


Fig. 40 Radial flux distribution
(1.2w/o UO₂, 25 clusters, 0% void)

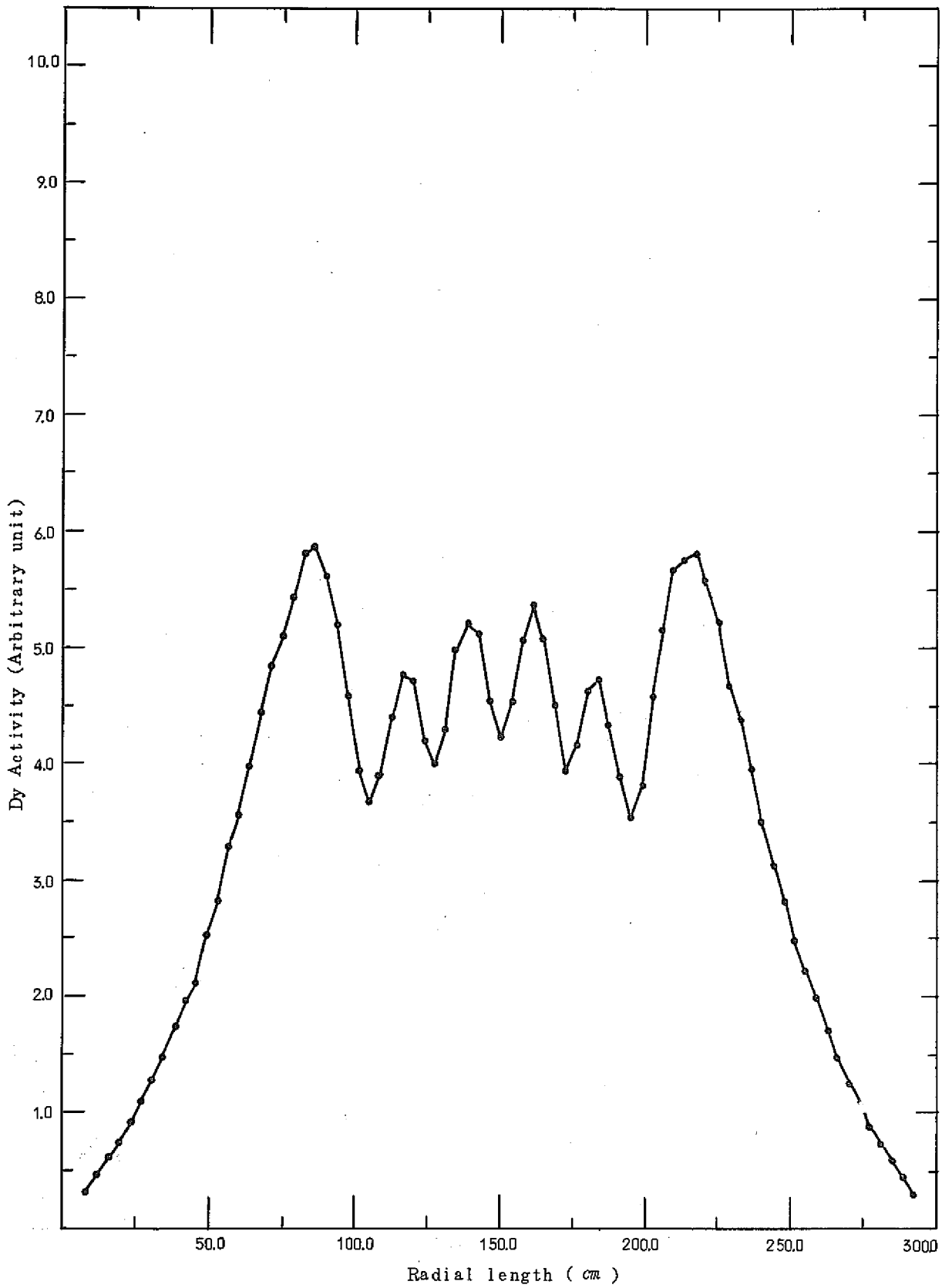


Fig. 41 Radial flux distribution
(1.2% UO₂, 25 clusters, 100% void)

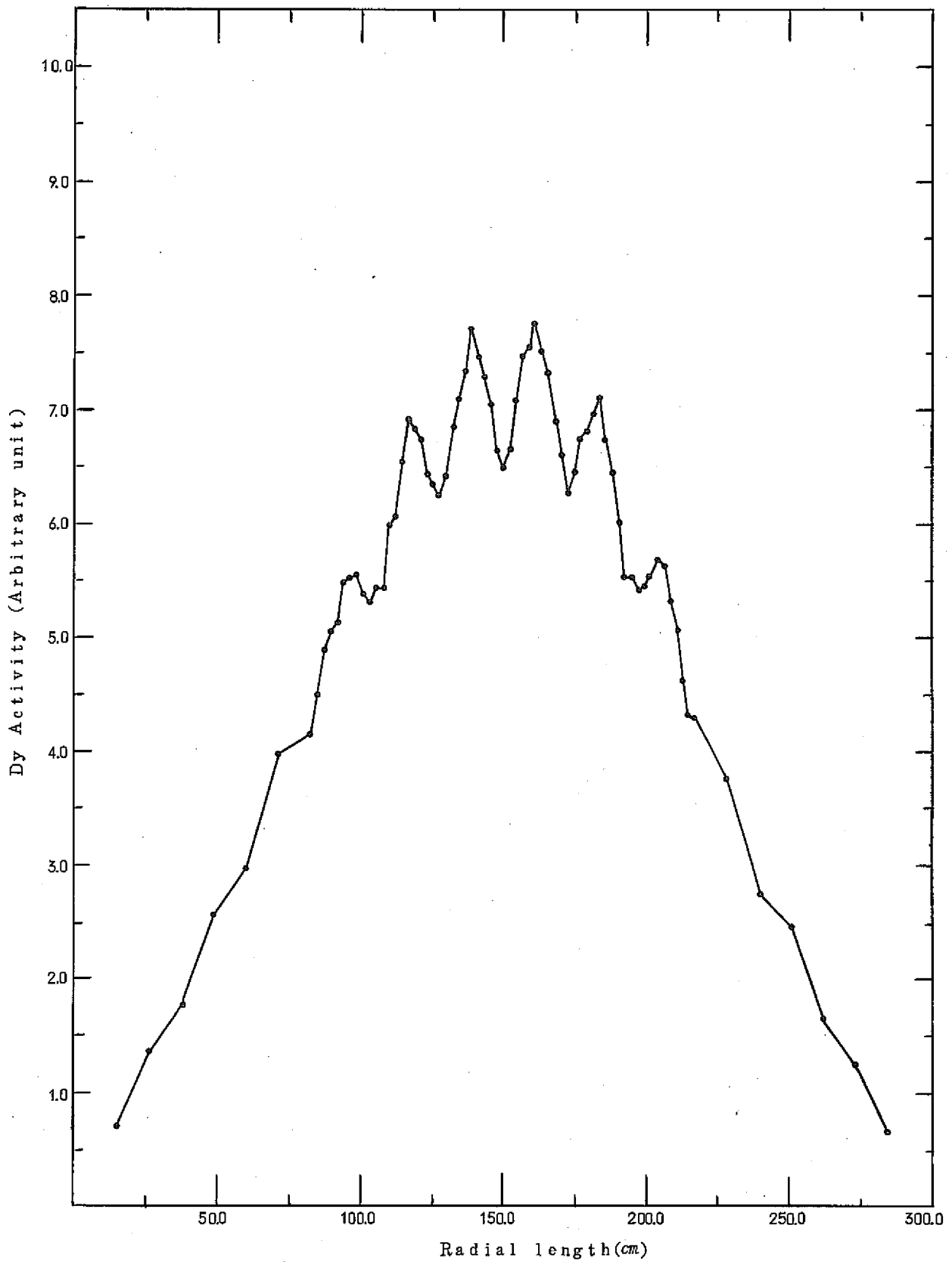


Fig. 42 Radial flux distribution
(0.54W/0 PuO₂ -UO₂, 25 clusters, 0% void)

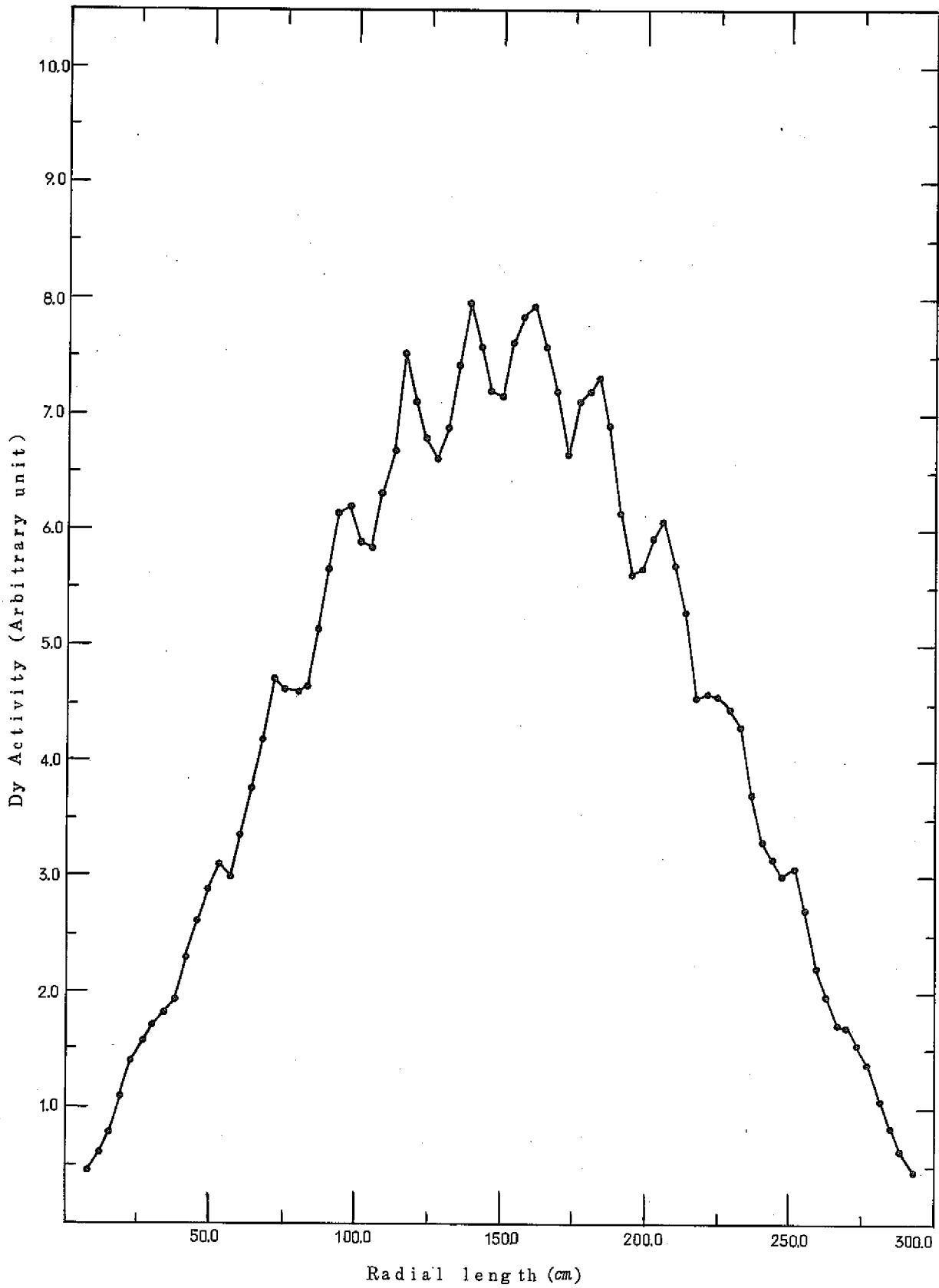


Fig.43 Radial flux distribution
(0.54w/o PuO₂-UO₂, 25 clusters, 30% void)

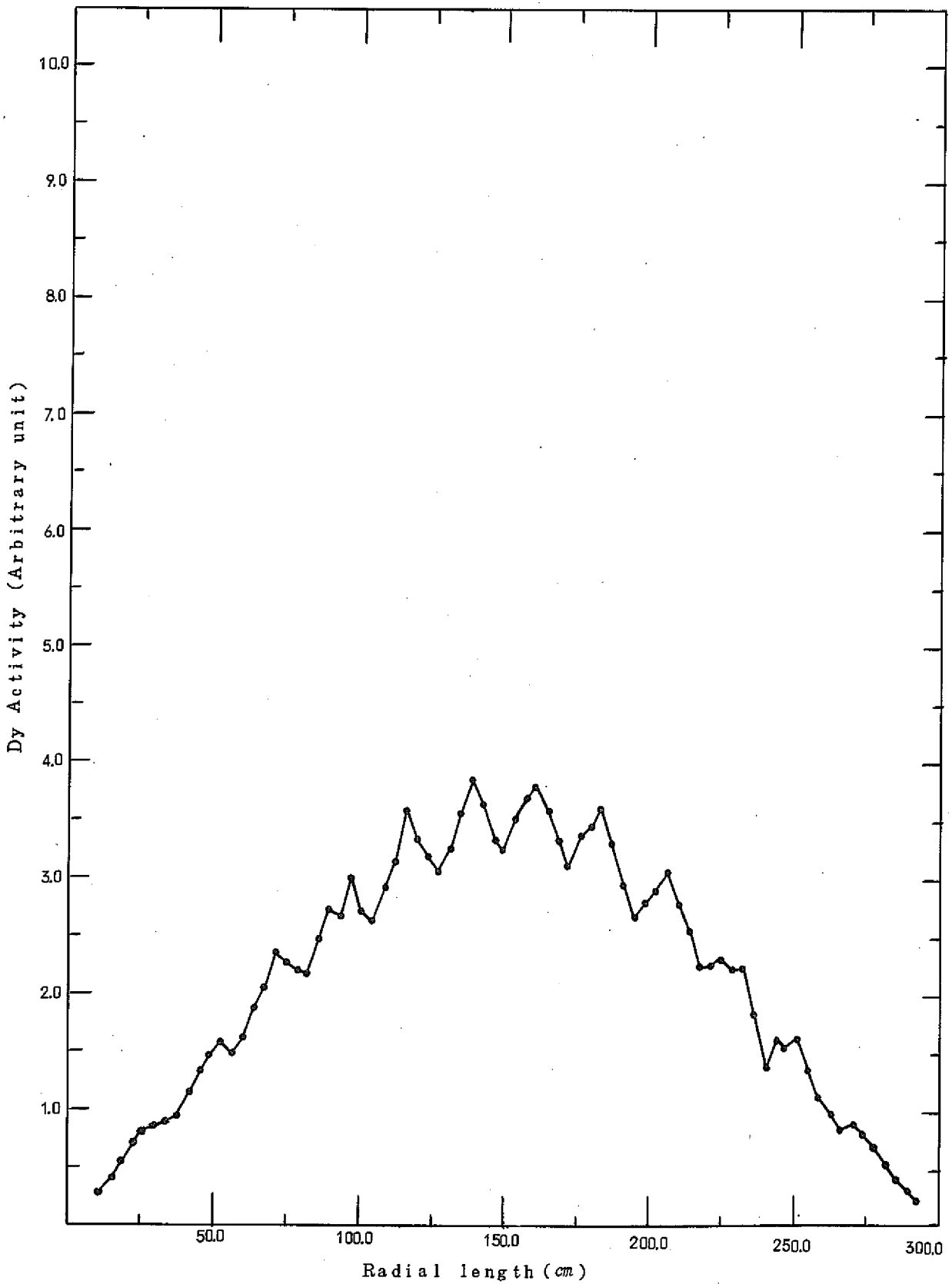


Fig. 44 Radial flux distribution
(0.54w/o PuO₂ - UO₂, 25 clusters, 70% void)

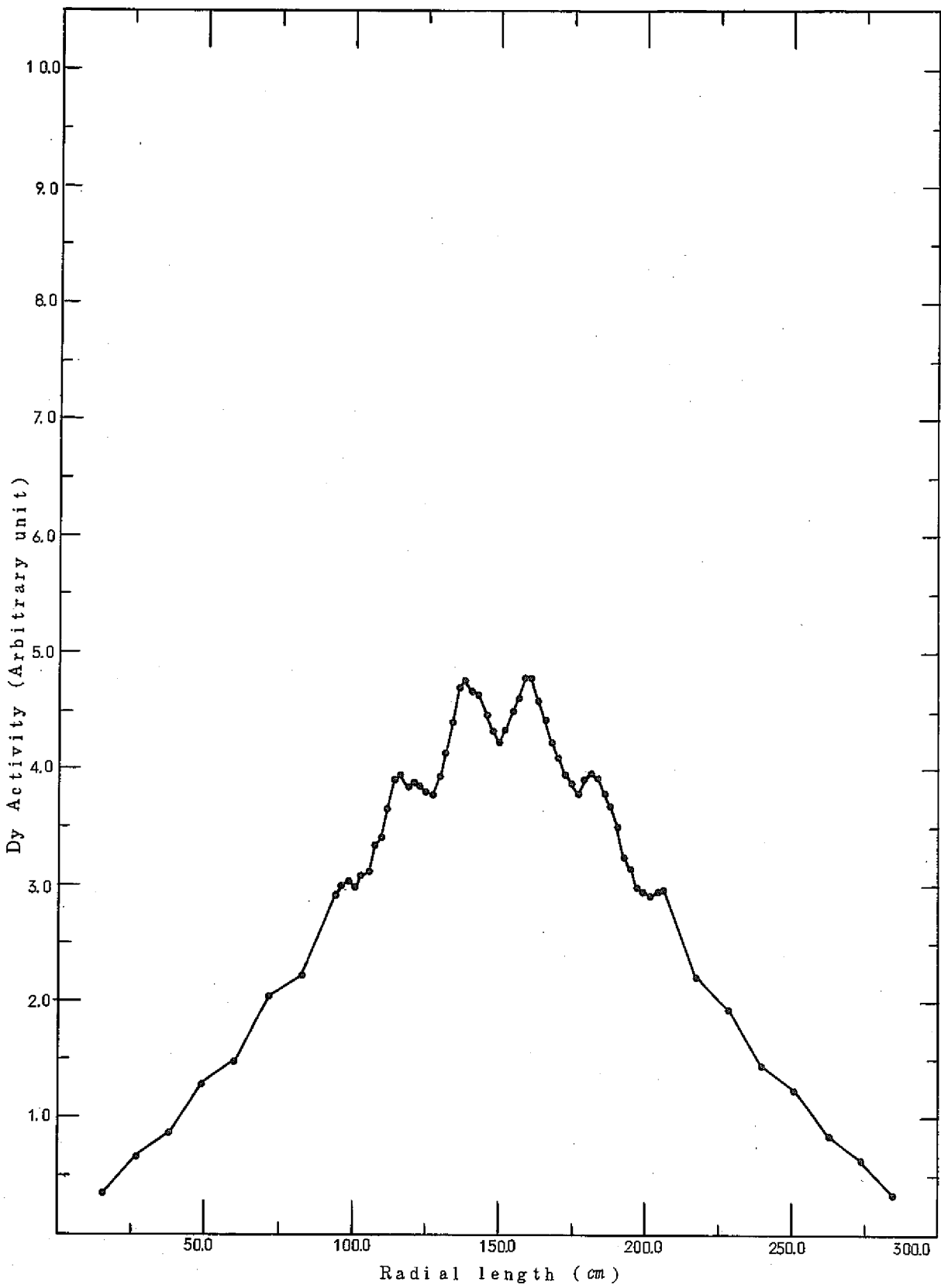


Fig. 45 Radial flux distribution
(0.87w/o (S) PuO₂-UO₂, 9 clusters, 0% void)

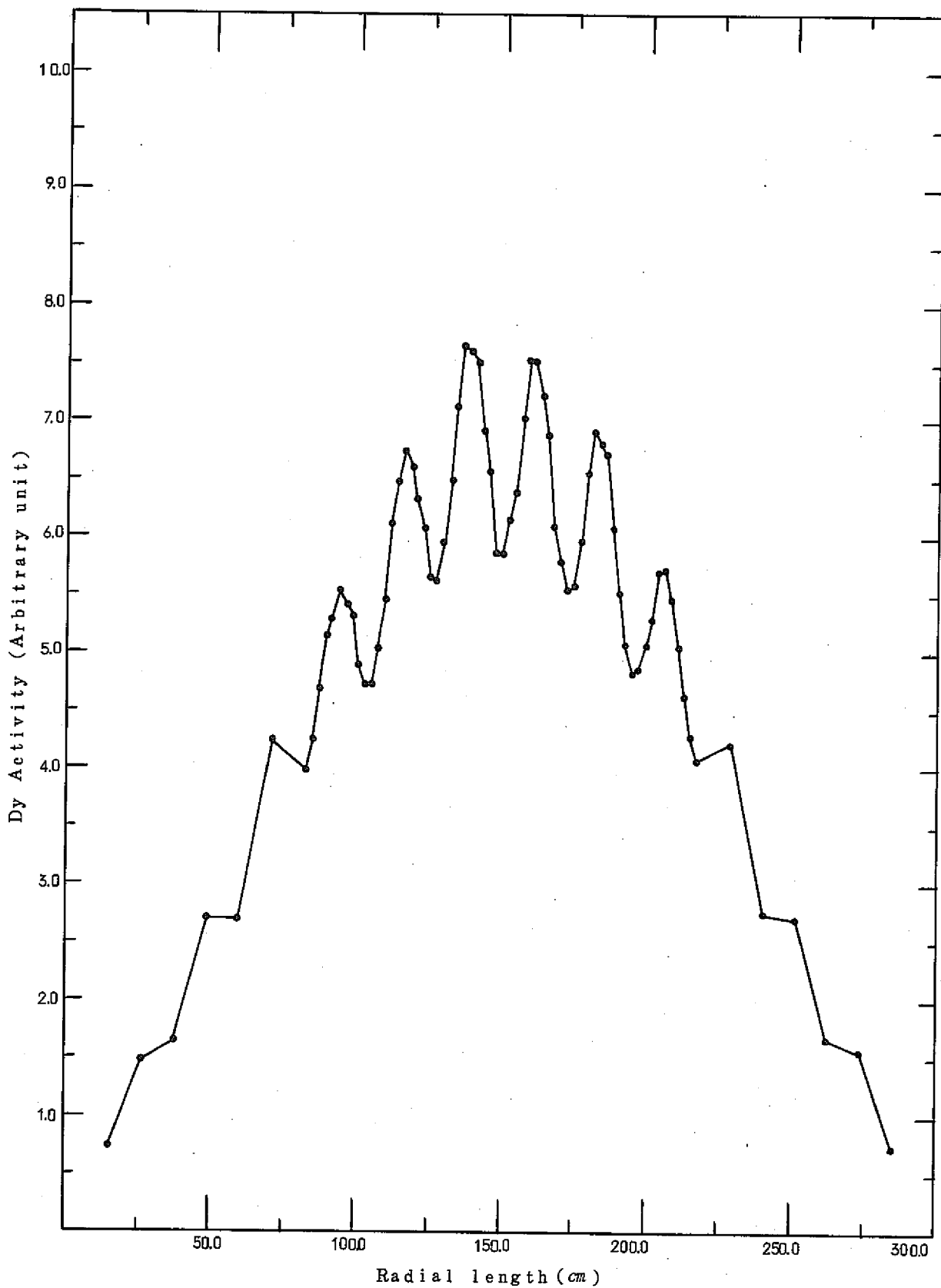


Fig. 46 Radial flux distribution
(0.87w/o(S) PuO₂-UO₂, 25 clusters, 100% void)

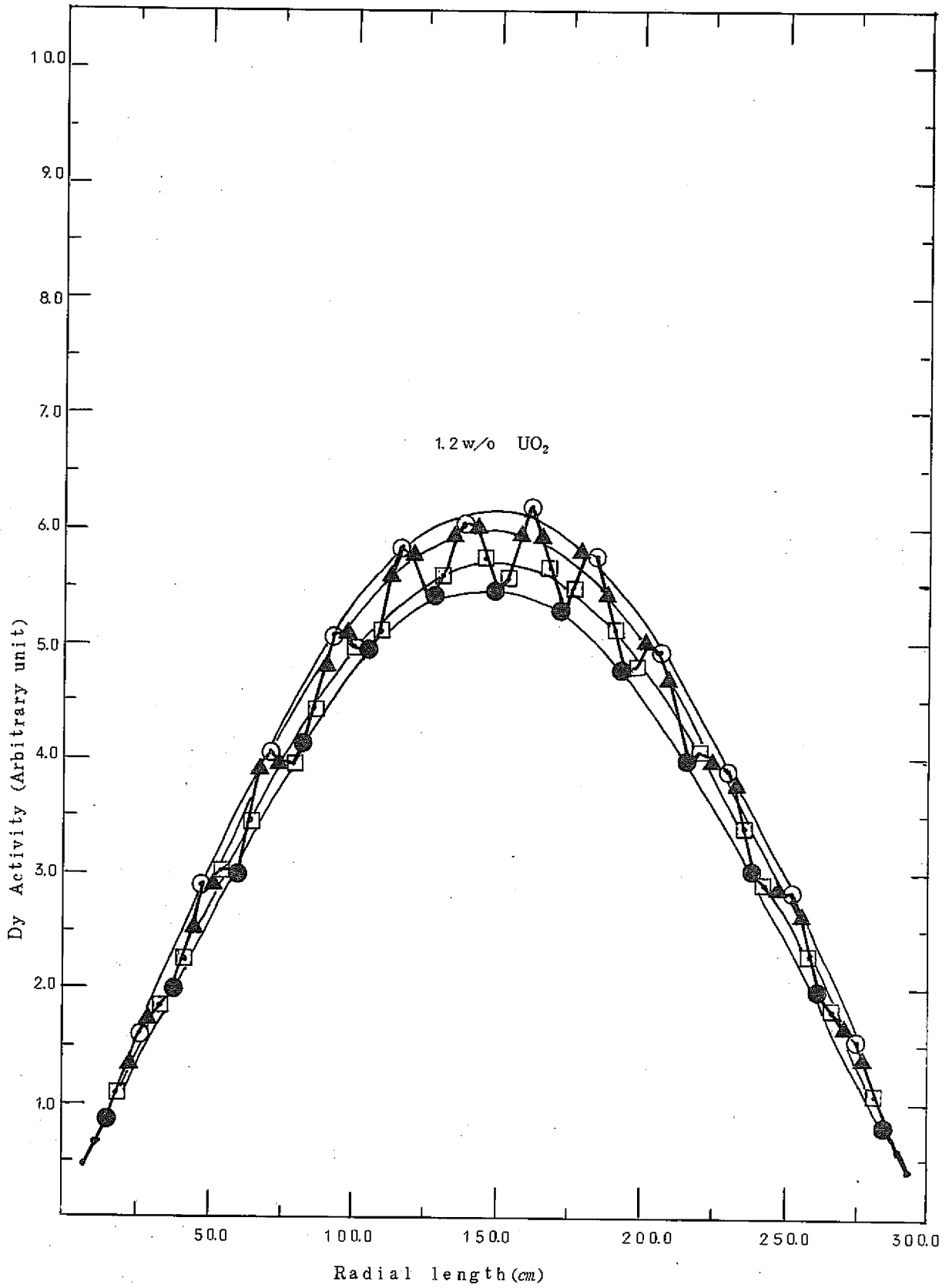


Fig.47 Radial flux distribution
(1.2w/o UO_2 , 121 clusters, 0% void)

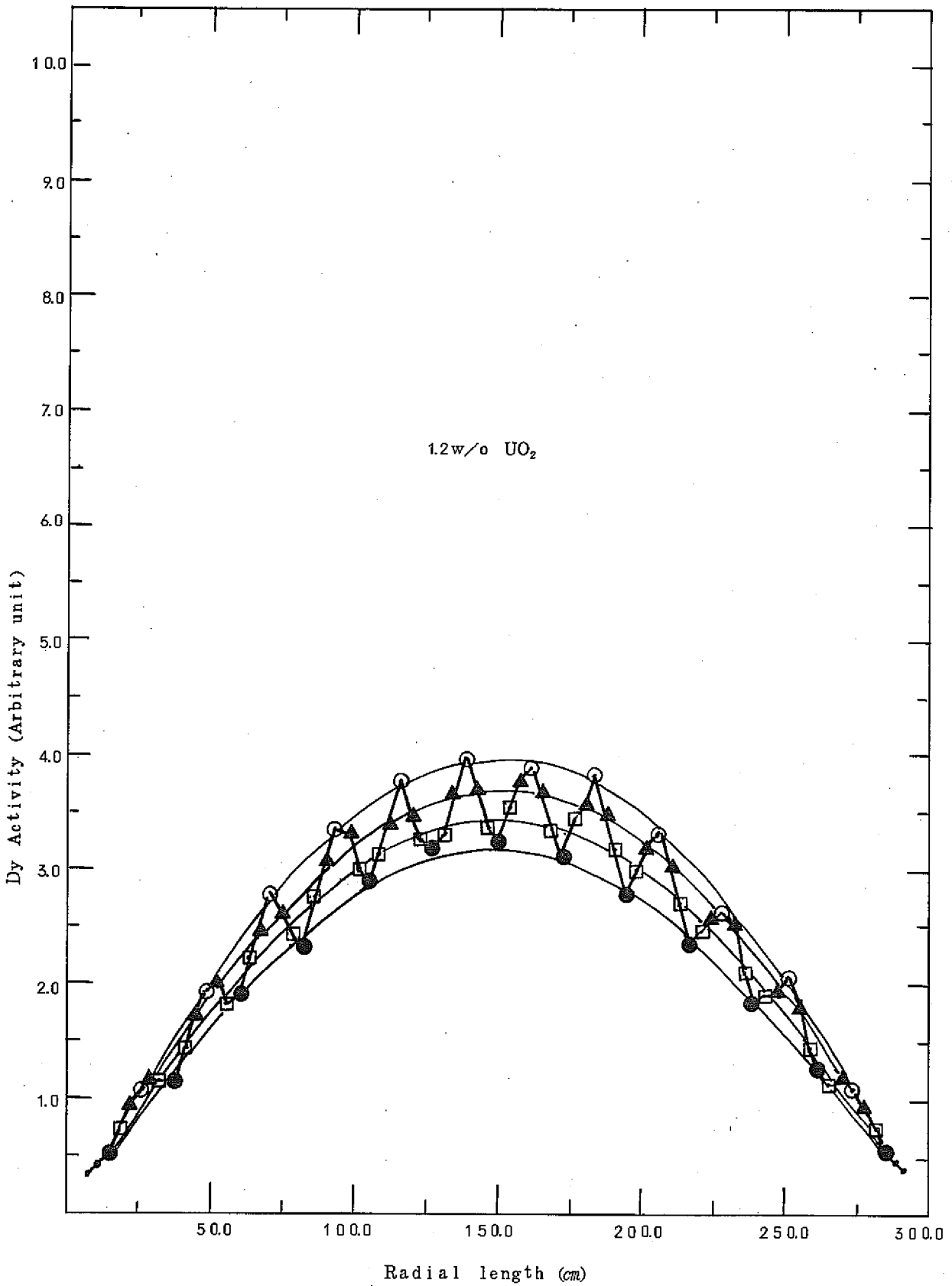


Fig. 48 Radial flux distribution
(1.2w/o UO₂, 121 clusters, 100% void)

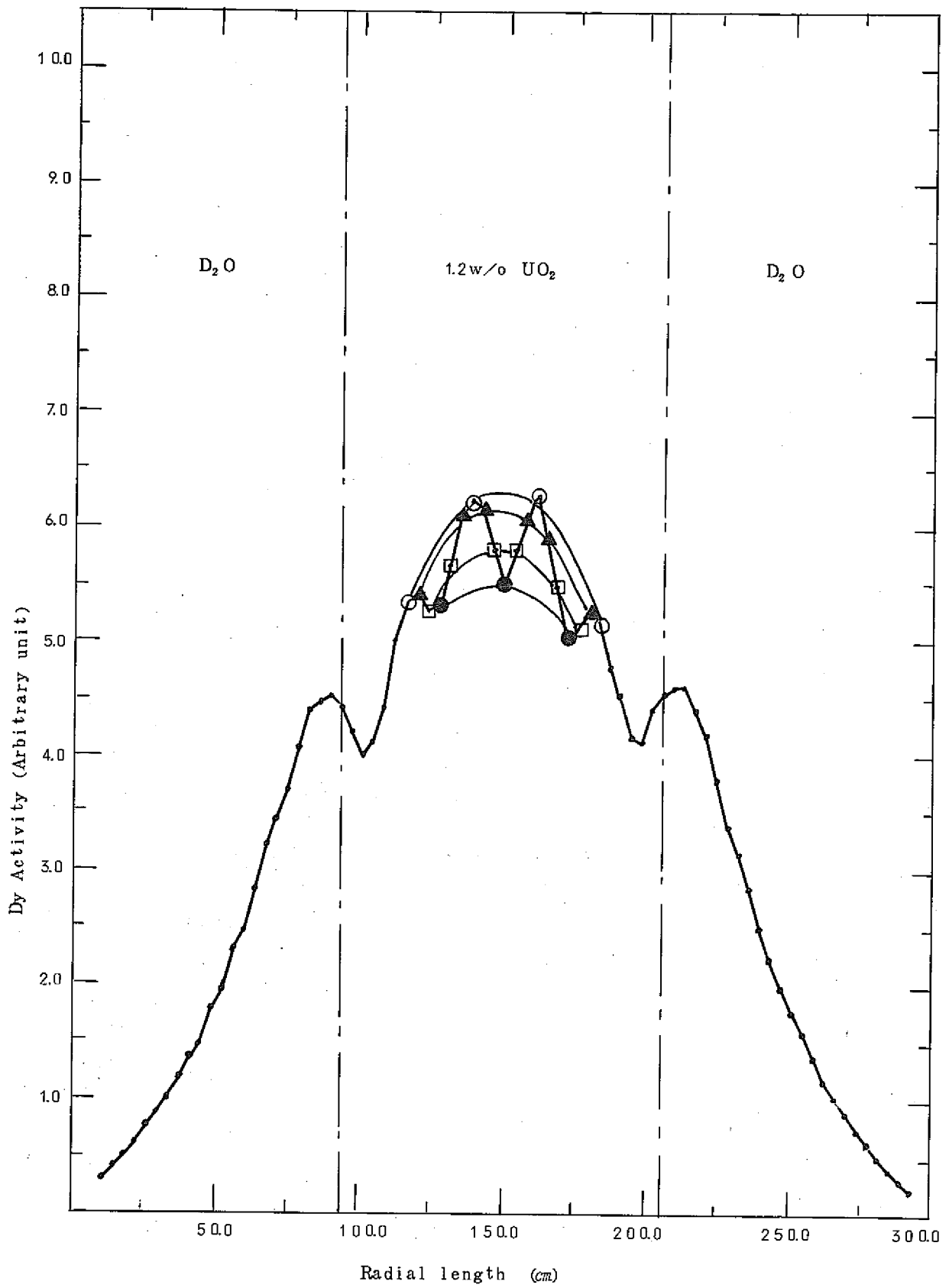


Fig. 49 Radial flux distribution
(1.2w/o UO₂, 25clusters, 0% void)

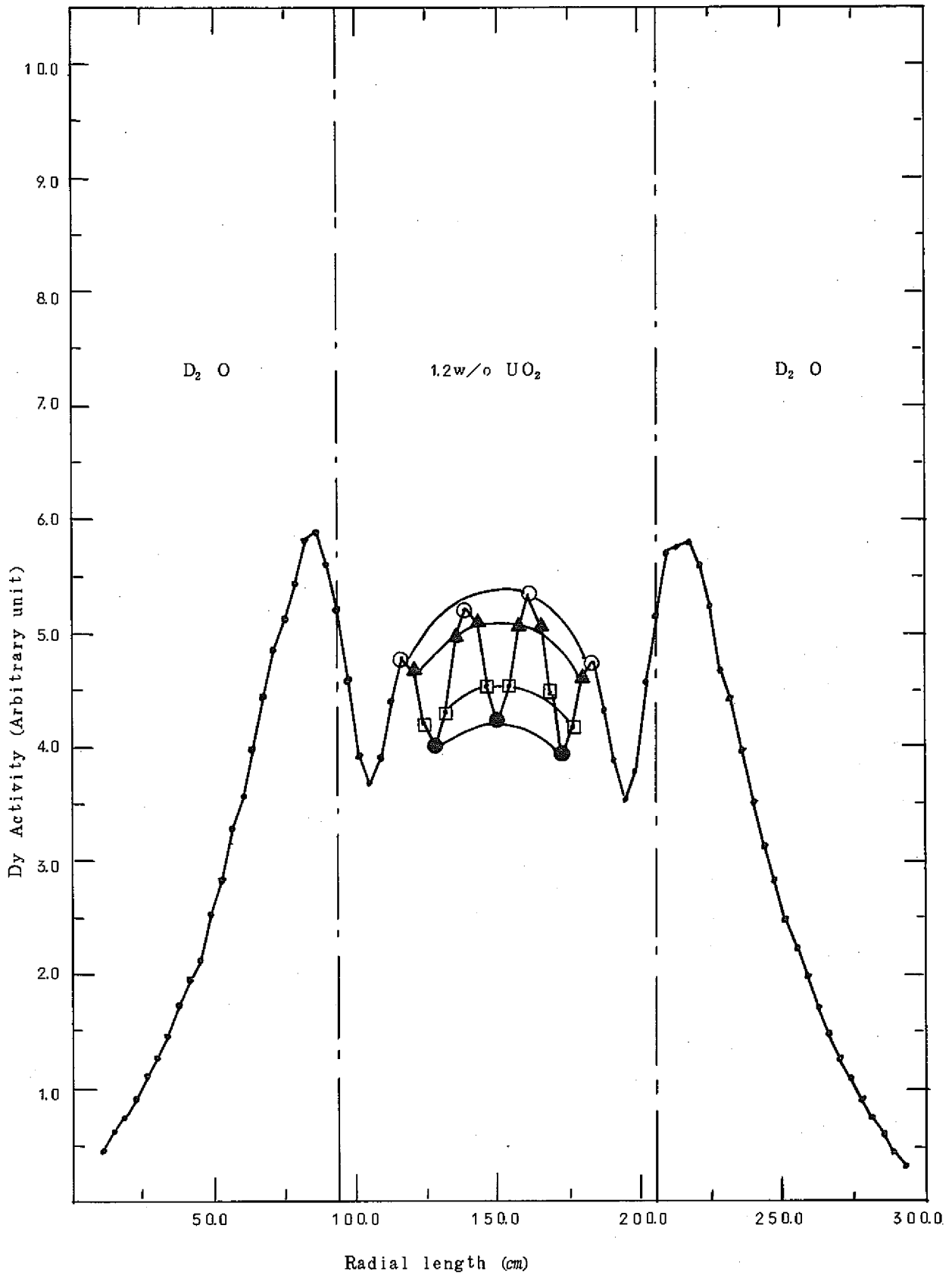


Fig. 50 Radial flux distribution
(1.2w/o UO₂, 25 clusters, 100% void)

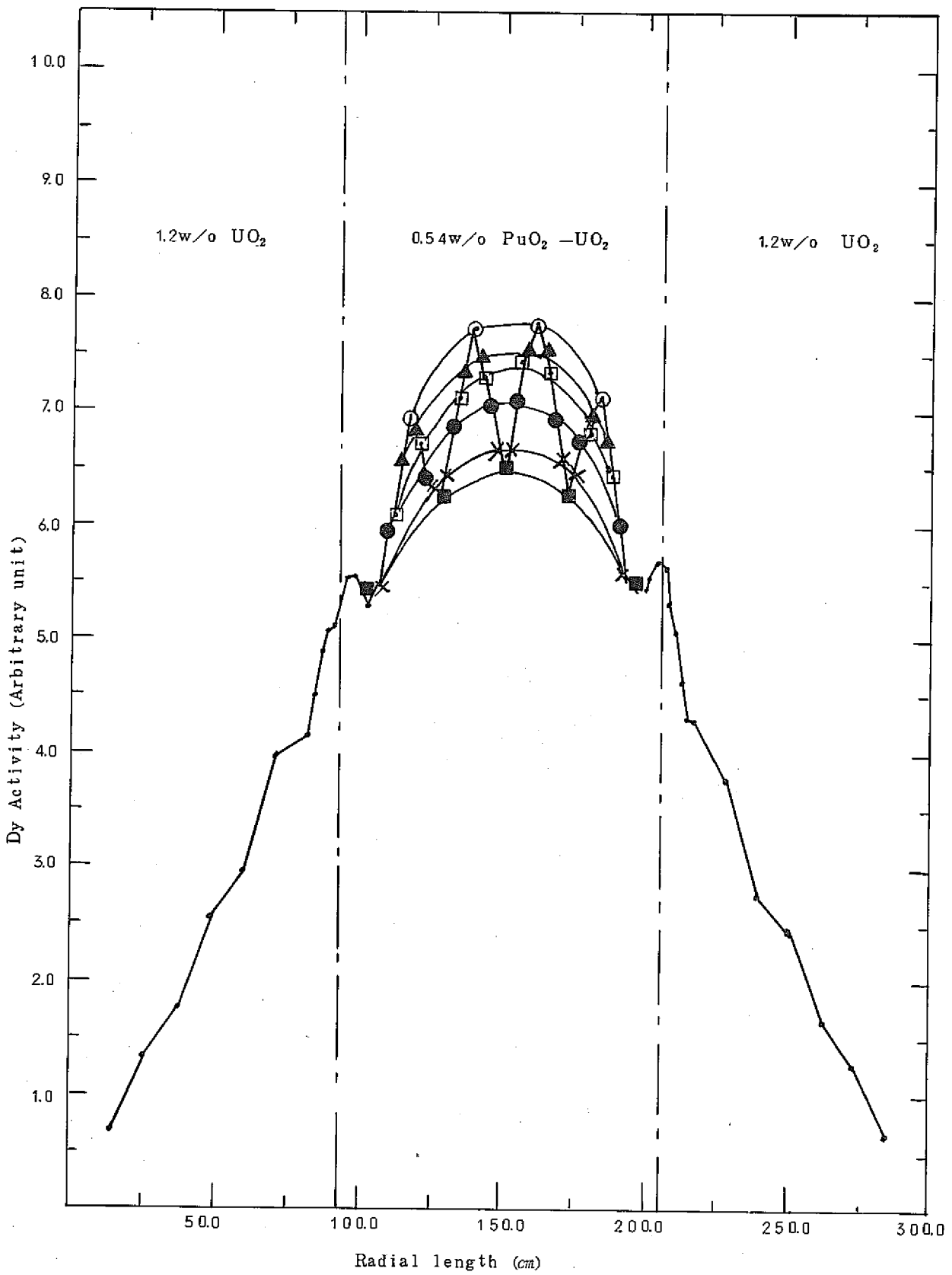


Fig. 51 Radial flux distribution
(0.54w/o PuO₂-UO₂, 25 clusters, 0% void)

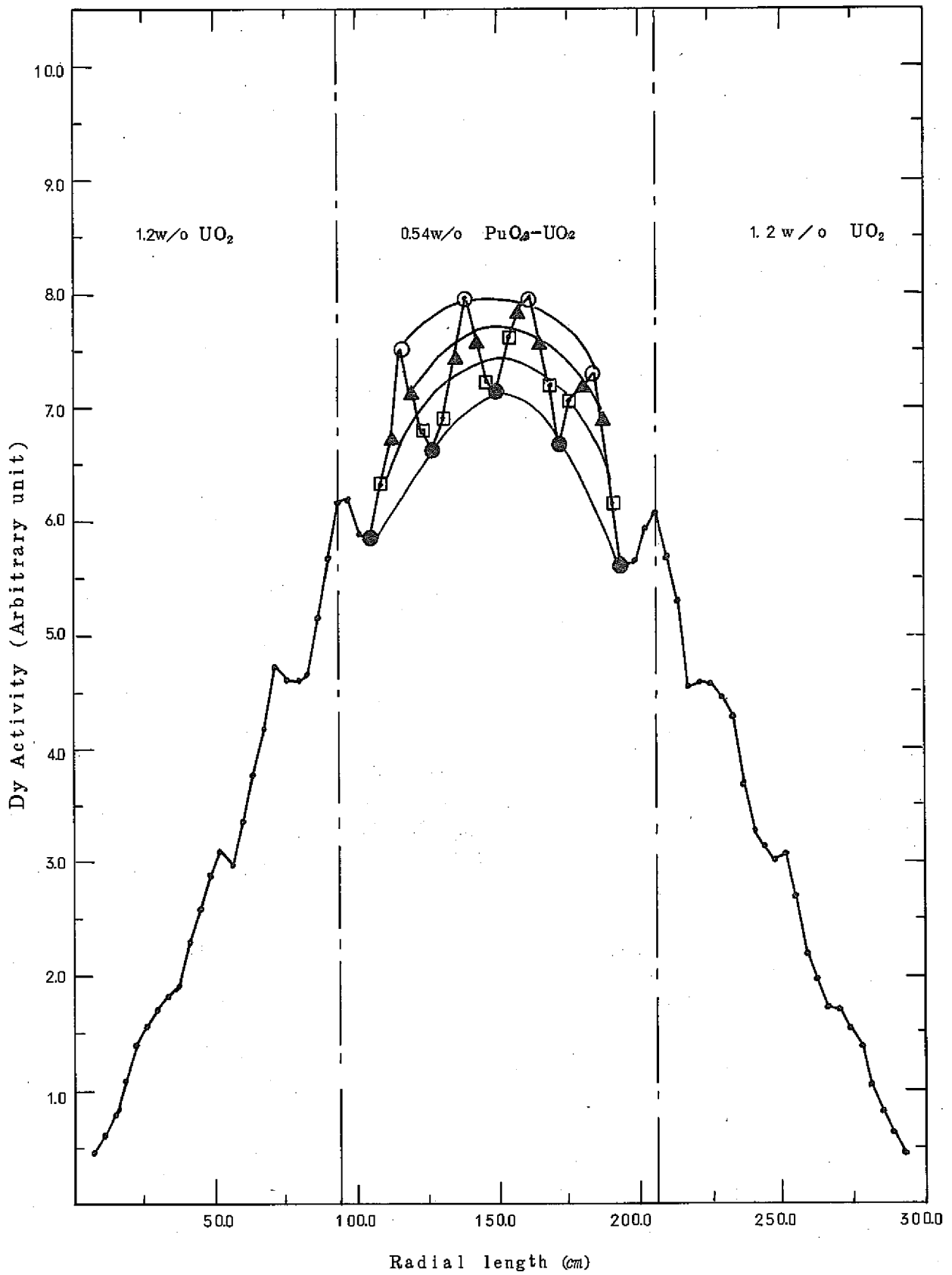


Fig. 52 Radial flux distribution
 (0.54w/o PuO₂-UO₂, 25 clusters, 30% void)

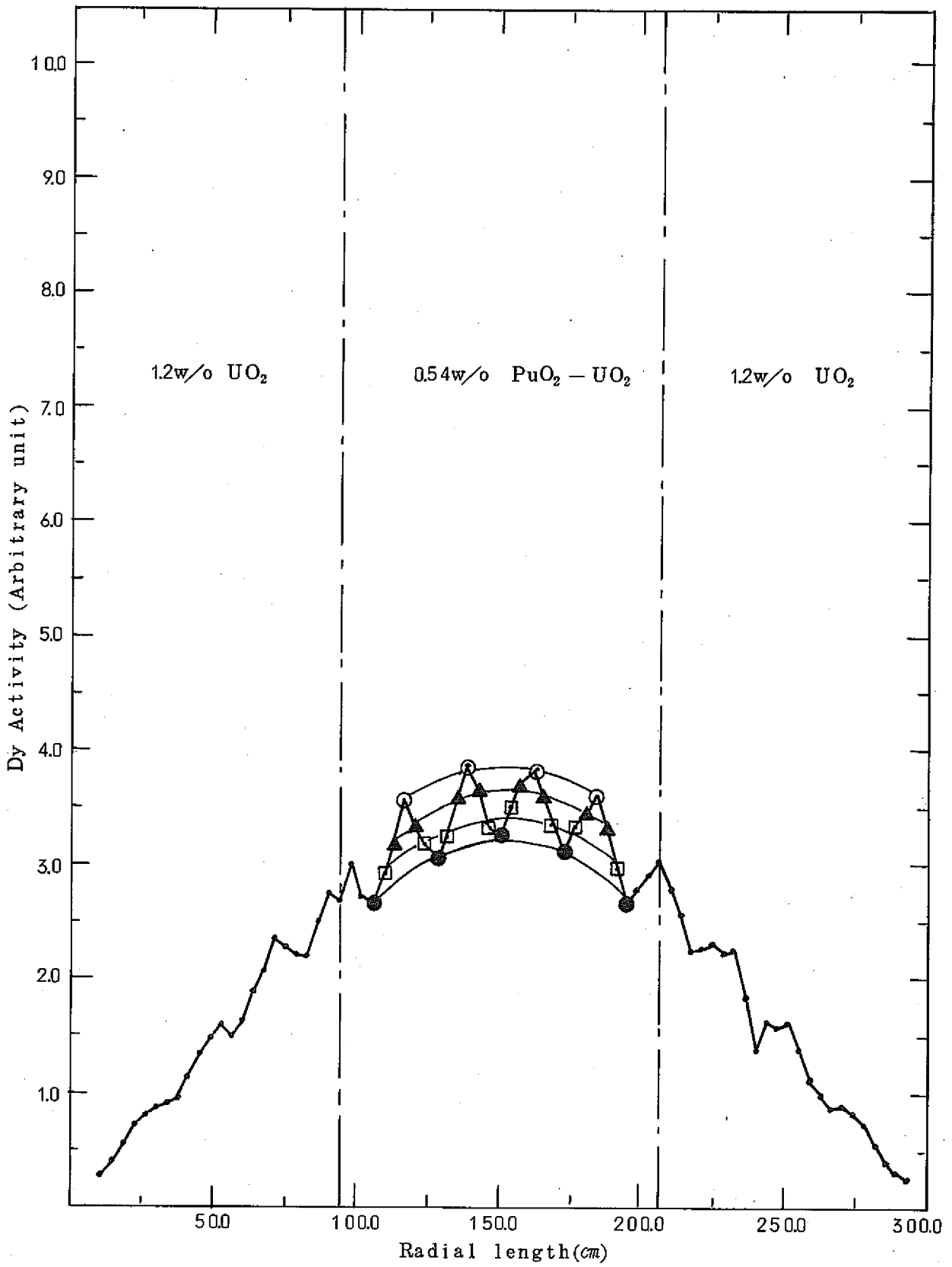


Fig. 53 Radial flux distribution
 (0.54w/o PuO₂-UO₂, 25 clusters, 70% void)

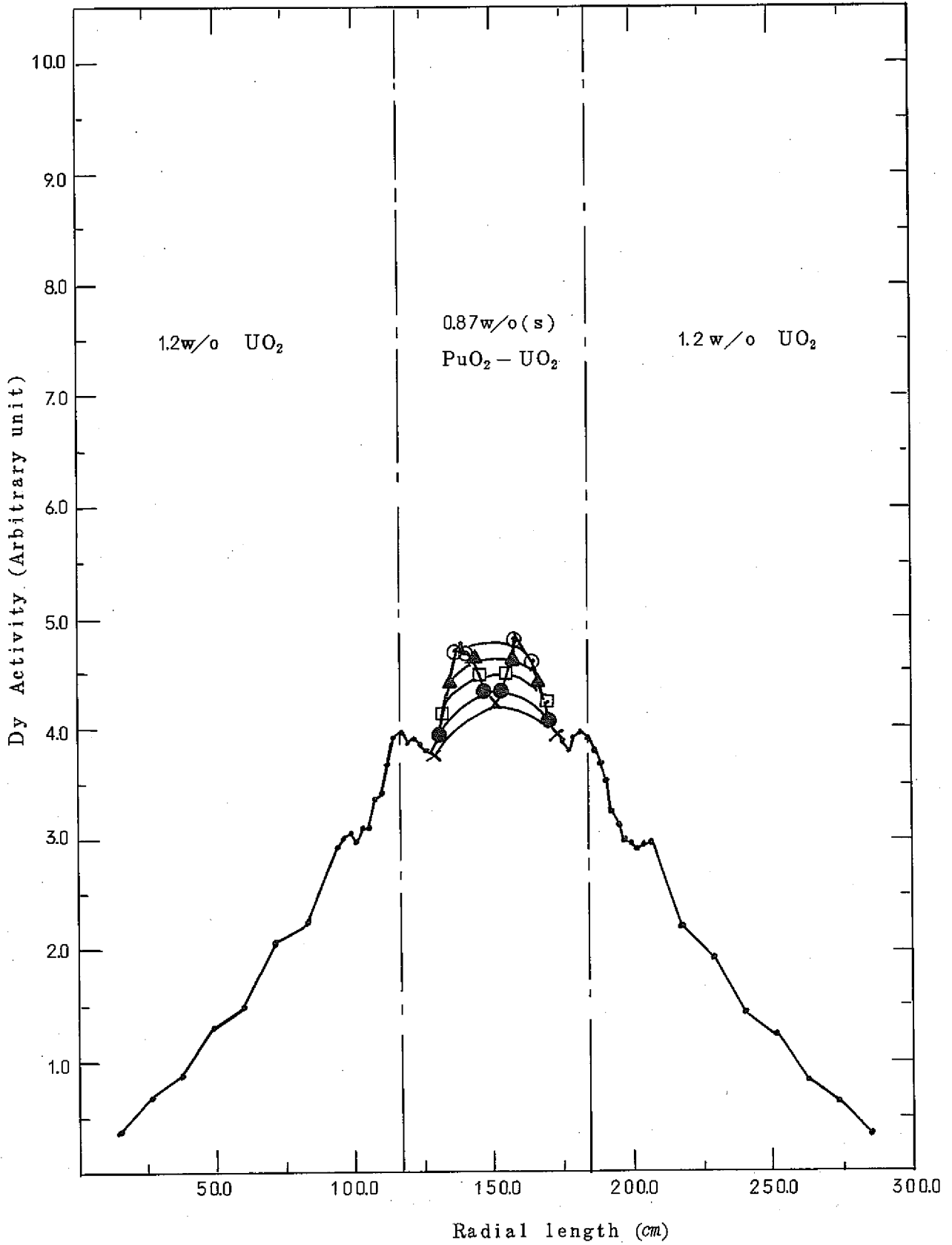


Fig. 54 Radial flux distribution
(0.87w/o(s) PuO₂-UO₂, 9 clusters, 0% void)

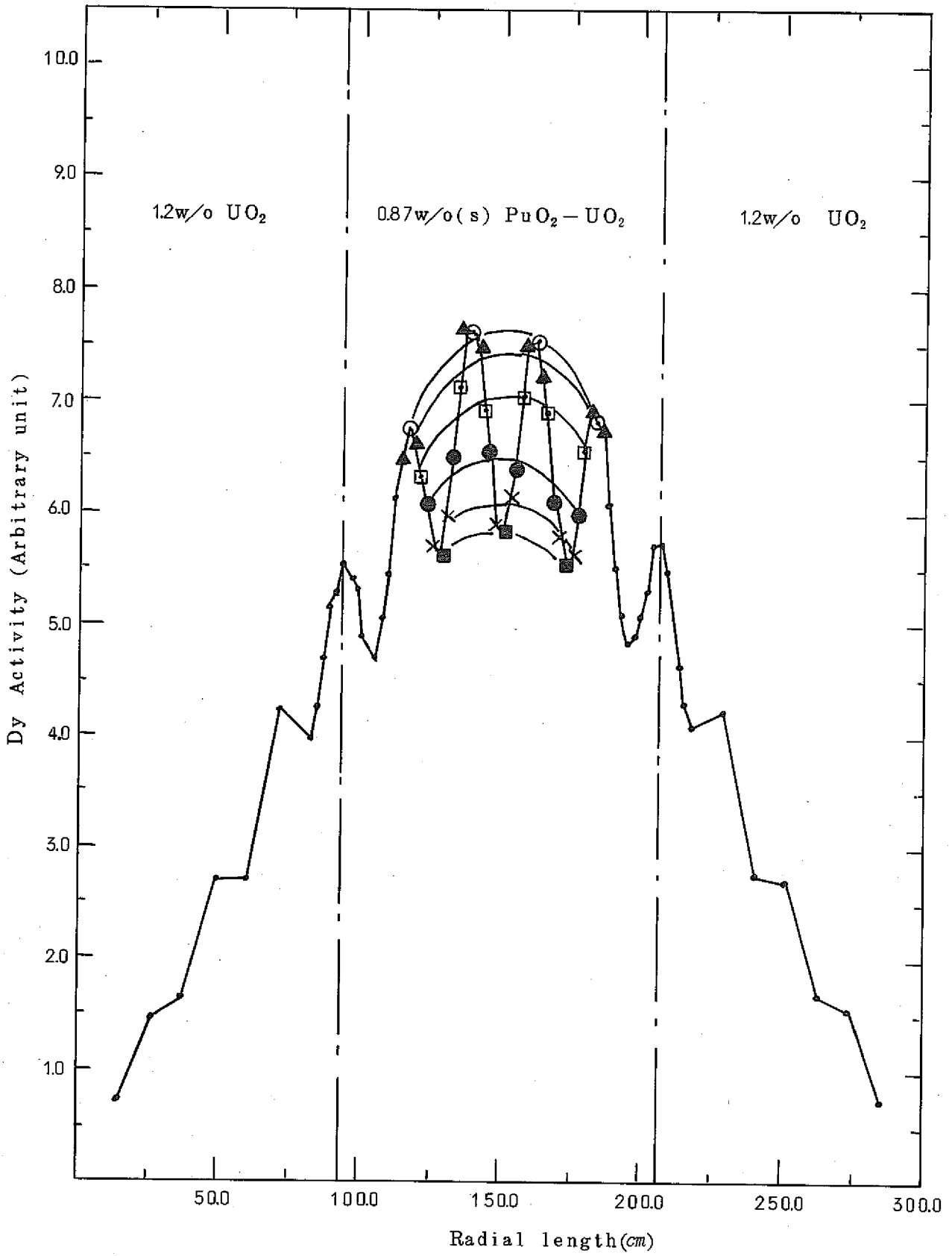


Fig. 55 Radial flux distribution
(0.87w/o(s) PuO₂-UO₂, 25 clusters, 100% void)

Table 6 Radial bucklings for various fitting regions

(1) 1.2 w/o UO₂ (121 clusters)

Fitting region (cm)	Radial buckling (10^{-4}cm^{-2})		Constant region by FOG (cm)	Recommended value (10^{-4}cm^{-2})
	0 %	100 %		
1429	2.51 ± 0.05	2.43 ± 0.06	148.6 (0%) 144.2 (100%)	0% 2.47 ± 0.04 100% 2.36 ± 0.04
1392	2.48 ± 0.04	2.36 ± 0.04		
1355	2.47 ± 0.04	2.36 ± 0.04		
1317	2.47 ± 0.04	2.36 ± 0.04		

(2) 1.2 w/o UO₂ (25 clusters)

Fitting region (cm)	Radial buckling (10^{-4}cm^{-2})		Constant region by FOG (cm)	Recommended value (10^{-4}cm^{-2})
	0 %	100 %		
4125	6.02 ± 0.16		32.25 (0%) 24.25% (100%)	0% 6.25 ± 0.17 100% 4.60 ± 0.13
375	6.30 ± 0.15			
3375	6.29 ± 0.14	4.14 ± 0.09		
300	6.20 ± 0.19	4.38 ± 0.11		
2625		4.75 ± 0.11		
225		4.45 ± 0.15		

Table 6 Radial bucklings for various fitting regions

(3) 0.54% PuO₂-UO₂ (25 clusters)

Fitting region (cm)	Radial buckling (10 ⁴ cm ⁻²)		Constant region by FOG (cm)	Recommended value (10 ⁴ cm ⁻²)
	30 %	70 %		
45	3.66 ± 0.09	3.58 ± 0.08	4325 (30%) 4143 (70%)	30%
41.25	3.69 ± 0.08	3.54 ± 0.09		3.67 ± 0.08
37.5	3.65 ± 0.08	3.57 ± 0.07		70% 3.56 ± 0.08

(4) 0.54% PuO₂ -UO₂ (25 clusters)

Fitting region (cm)	Radial buckling (10 ⁴ cm ⁻²)	Constant region by FOG (cm)	Recommended value (10 ⁴ cm ⁻²)
	0 %		
45	3.54 ± 0.07	4445	0 % 3.74 ± 0.06
42.75	3.79 ± 0.06		
40.5	3.74 ± 0.06		
38.25	3.73 ± 0.06		

Table 6 Radial bucklings for various fitting regions

(5) 0.87 w/o (S) PuO₂-UO₂ (9 clusters)

Fitting region(cm)	Radial buckling($10^{-4}cm^{-2}$)	Constant region by FOG (cm)	Recommended value($10^{-4}cm^{-2}$)
	0 %		
22.5	7.57 ± 0.13	18.25	0 % 8.19 ± 0.17
20.25	8.11 ± 0.16		
18.0	8.27 ± 0.17		

(6) 0.87 w/o (S) PuO₂-UO₂ (25 clusters)

Fitting region(cm)	Radial buckling($10^{-4}cm^{-2}$)	Constant region by FOG (cm)	Recommended value ($10^{-4}cm^{-2}$)
	100 %		
33.75	3.33 ± 0.08	29.25	100 % 3.66 ± 0.07
31.5	3.26 ± 0.09		
29.25	3.65 ± 0.07		
27.0	3.66 ± 0.07		

6.2 軸方向のバックリングの導出

測定された ^{64}Cu の放射化量は、バックグラウンド、不感時間、時間による放射化量の減衰等の補正をおこなったあと、コサイン関数でフィッティングして外挿距離が求められた。この外挿距離 (2δ) を用い式 (6-2) より軸方向のバックリングが求められた。

$$B_{\frac{z}{2}} = \left(\frac{\pi}{H + 2\delta} \right)^2 \quad (\text{cm}^{-2}) \quad (6-2)$$

H : 臨界水位

2δ : 外挿距離

Fig.56 ~ Fig.60 に軸方向の Cu の放射化量と、フィッティング曲線のグラフの例を示した。又 Table 7 にフィッティングにより求めた軸方向バックリングの値を示した。

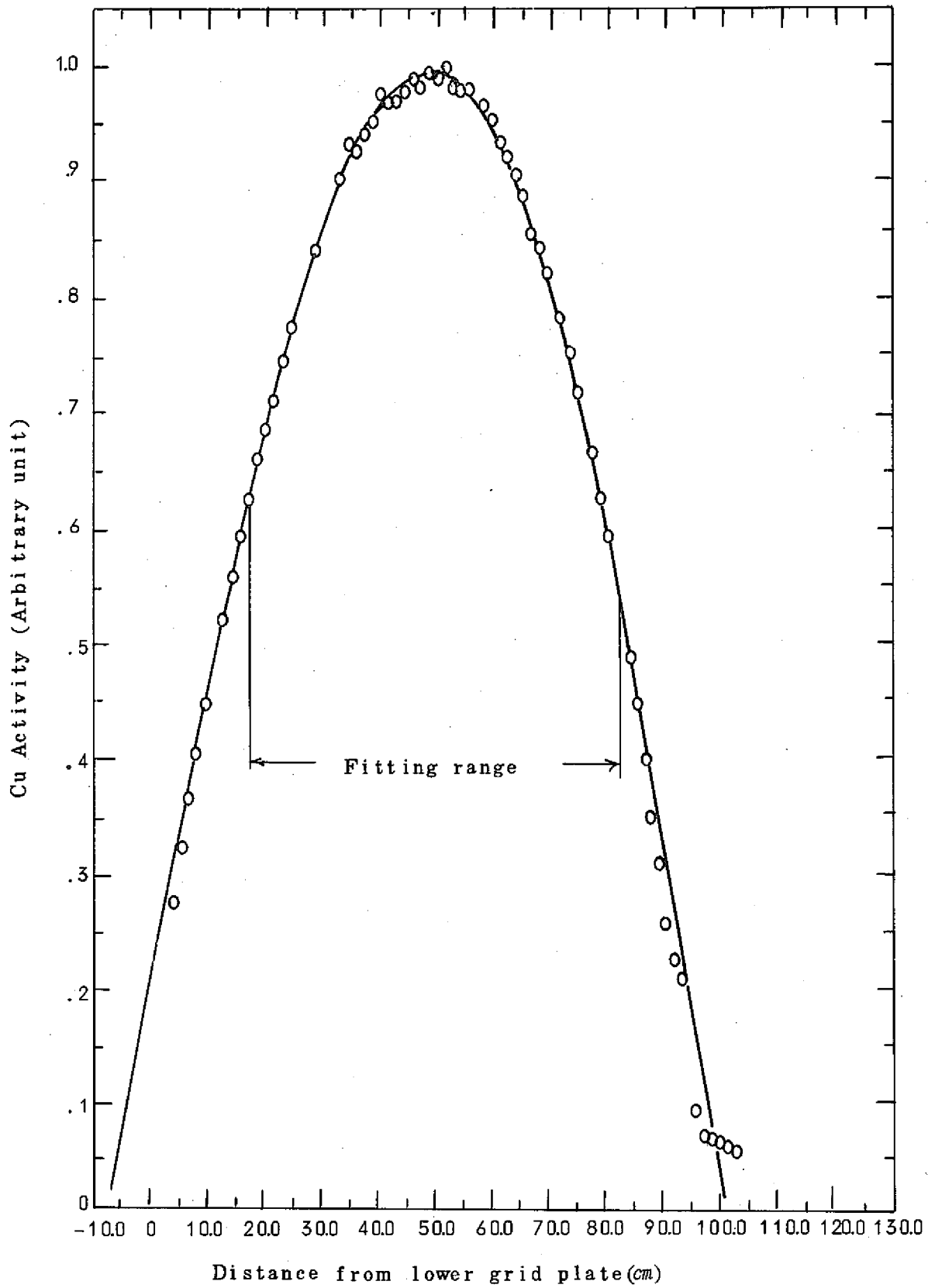


Fig. 56 Axial flux distribution
(1.2w/o UO₂, 121 clusters, 0% void)

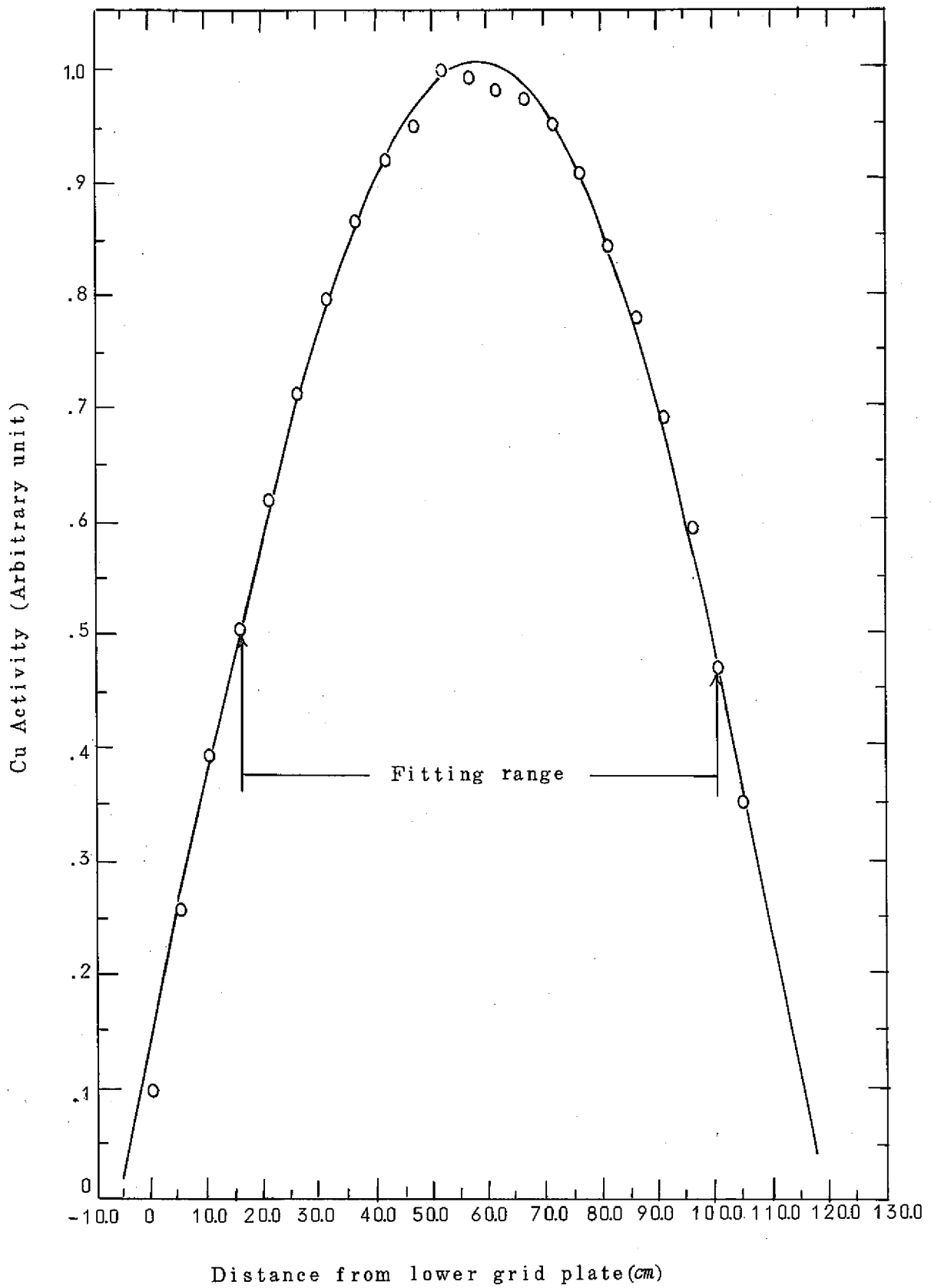


Fig. 57 Axial flux distribution
(1.2w/o UO₂, 121 clusters, 100% void)

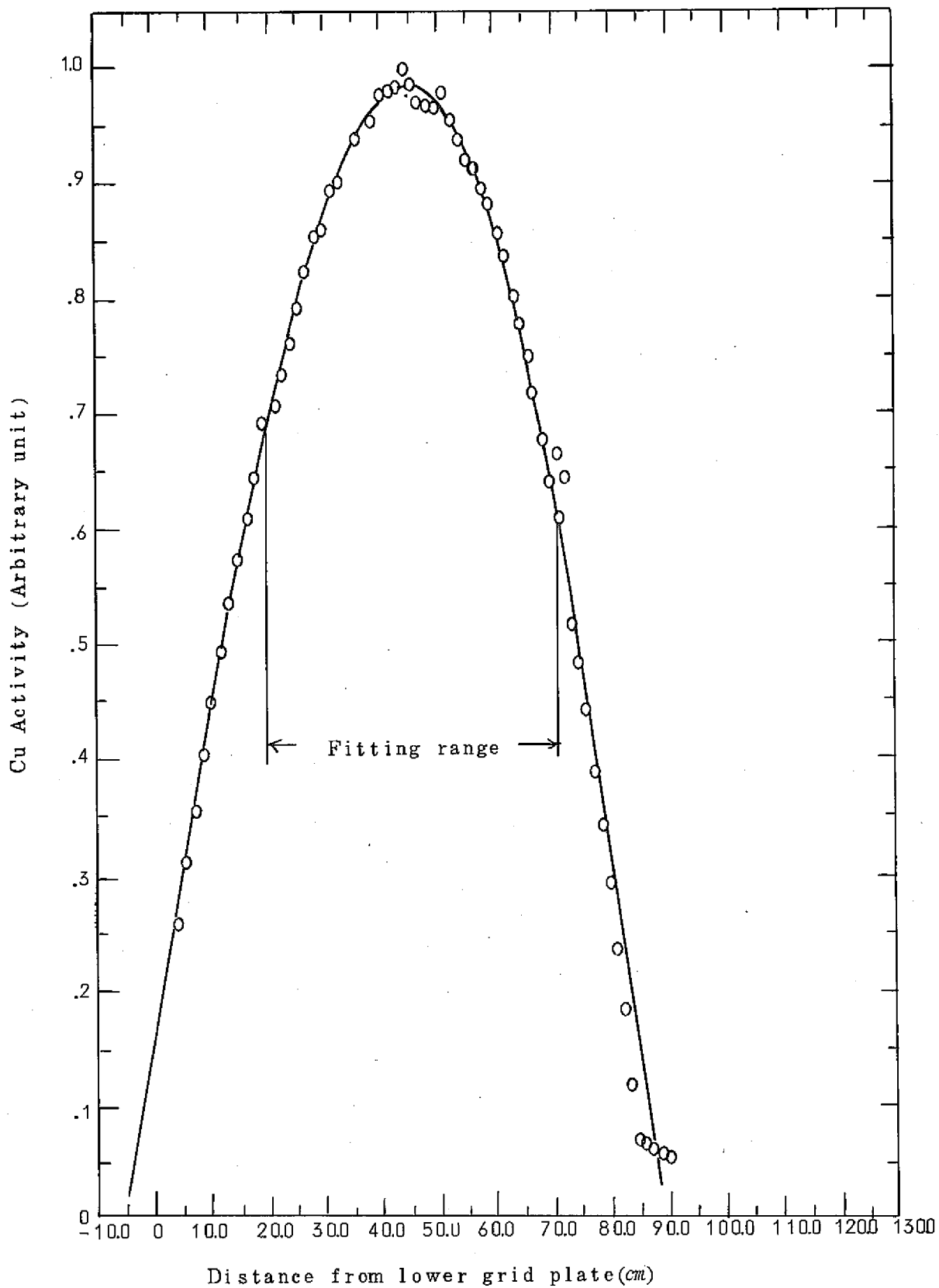


Fig. 58 Axial flux distribution
(0.54 w/o PuO₂-UO₂, 25 cluster, 0% void)

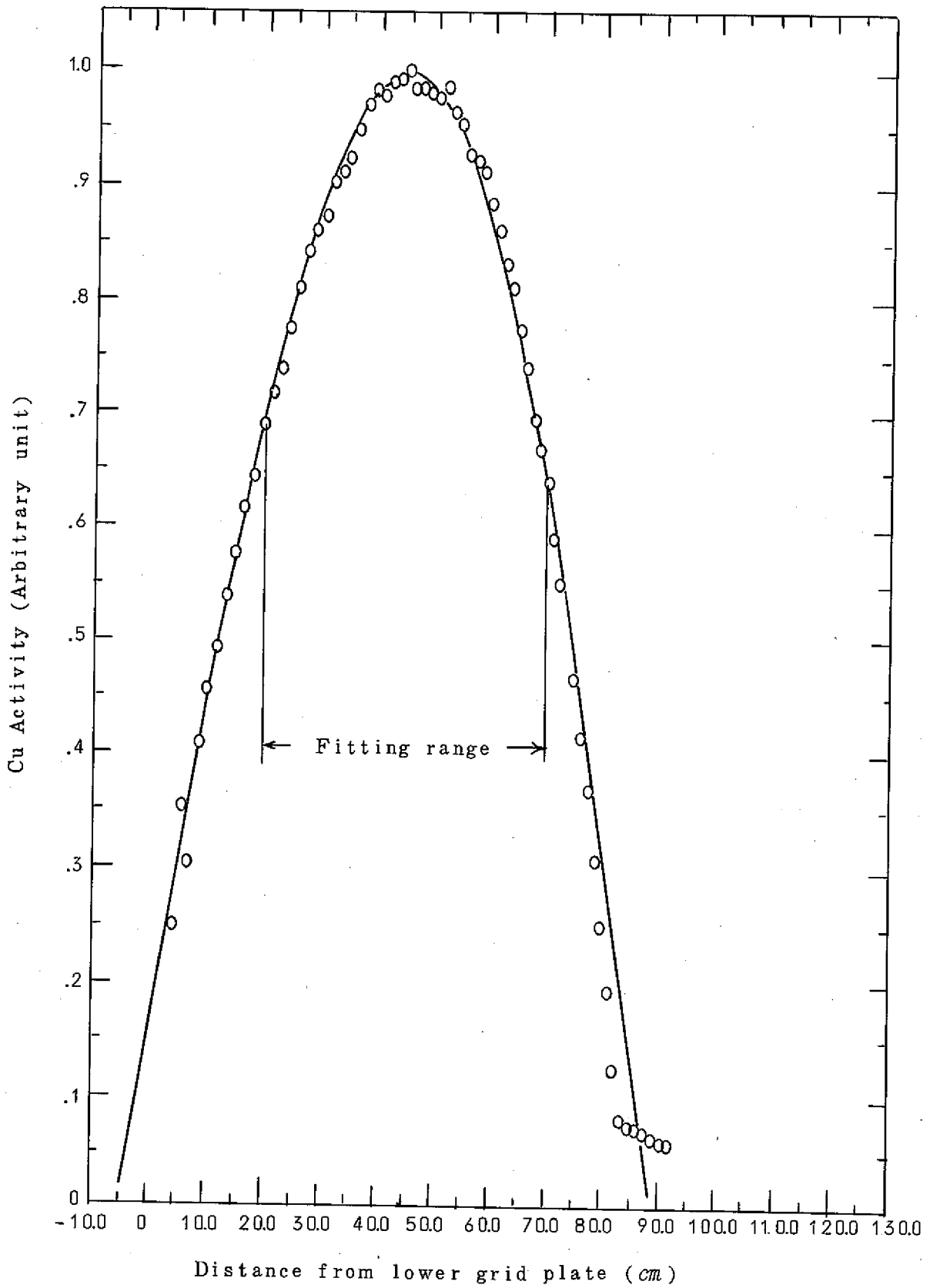


Fig. 59 Axial flux distribution
(0.87w/o(s) PuO₂-UO₂, 25 clusters, 0%)

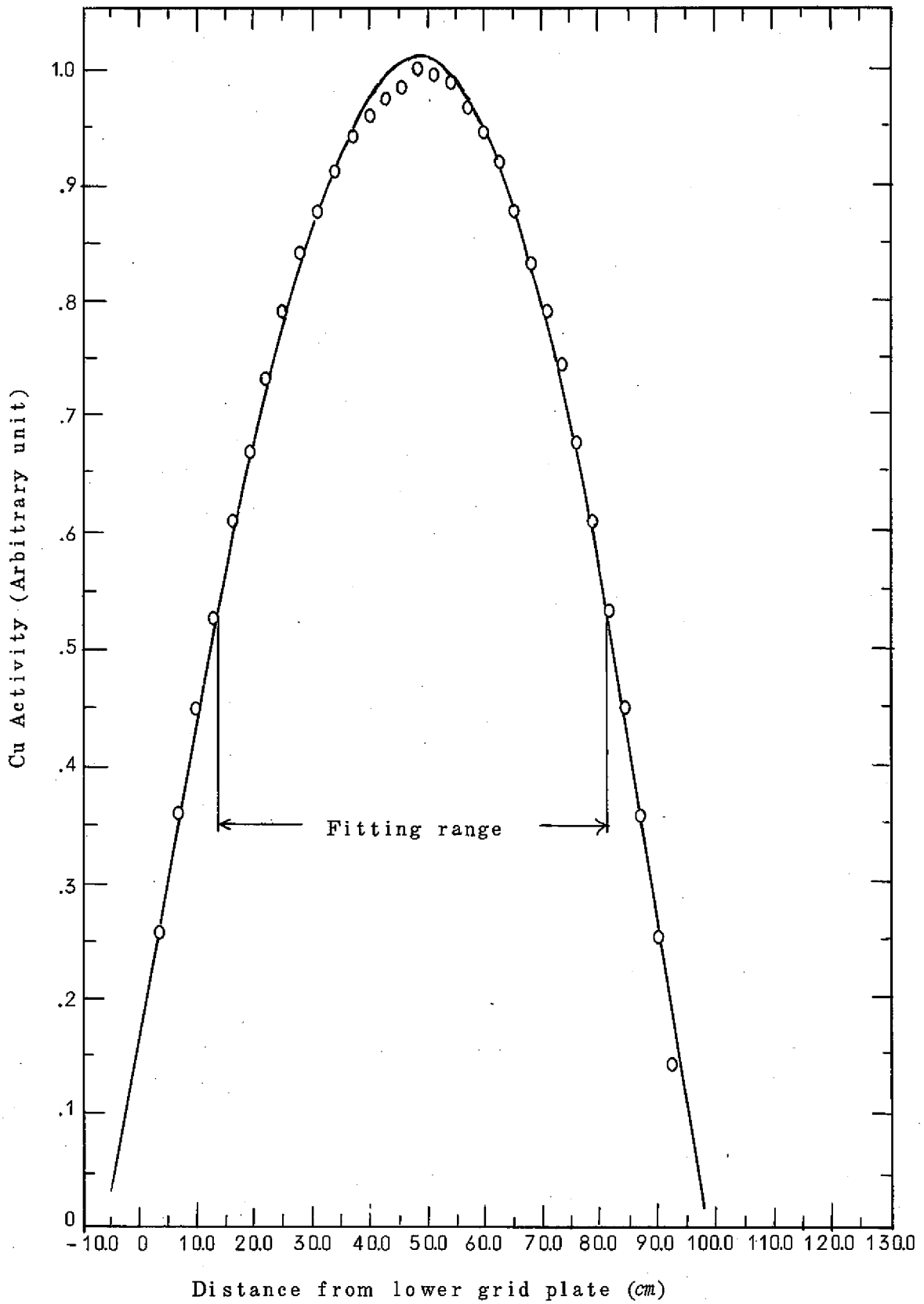


Fig. 60 Axial flux distribution
(0.87 w/o (s) $\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$, 25 clusters, 100% void)

Table 7 Axial bucklings for various core configuration

Fuel enrichment	Void fraction (%)	Number of clusters		Critical height (cm)	Extrapolation length (cm)	Axial buckling ($\times 10^{-4} \text{ cm}^{-2}$)	Remarks (Core number)
		U	Pu				
1.2w/o UO ₂	0	1 2 1		9 6.2	1 0.2 0 ± 2.6	8.7 2 ± 0.2 2	1
	1 0 0	1 2 1		1 1 2.7 8	1 1.3 ± 1.9	6.4 1 ± 0.1	2
	0	2 5		1 3 7.8 4	1 0.0 ± 2.6	4.5 2 ± 0.0 8	3
	1 0 0	2 5		1 4 5.7 7	1 0.0 ± 3.0	4.0 7 ± 0.0 8	4
0.54w/o PuO ₂ - UO ₂	0	2 5	9 6	8 5.0 5	9 6.7 ± 1.0	1 1.0 ± 0.1 2	5
	3 0	2 5	9 6	8 6.6 2	1 0.5 8 ± 1.1	1 0.4 5 ± 0.1 2	6
	7 0	2 5	9 6	9 2.8 8	1 1.6 ± 1.2	9 0.4 ± 0.1 0	7
0.87w/o (s) PuO ₂ - UO ₂	0	9	1 1 2	8 3.3 0	1 0.5 8 ± 1.1	1 1.2 0 ± 0.1 3	8
	1 0 0	2 5	9 6	9 3.7 3	1 0.3 7 ± 1.3	9 1.1 ± 0.1 1	9

6.3 材料バックリングの導出

6.1, 6.2 で得られた半径方向のバックリング, 軸方向のバックリングより材料バックリングを求めると Table 8 のようになる。

$$Bm^2 = Br^2 + Bz^2$$

Table 8 Material bucklings by fitting method

Fuel enrichment	Void fraction (%)	Number of clusters		Radial buckling ($10^{-4} cm^{-2}$)	Axial buckling ($10^{-4} cm^{-2}$)	Material buckling ($10^{-4} cm^{-2}$)	Remarks (core number)
		U	Pu				
1.2w/o UO ₂	0	121		2.47 ±0.04	8.72 ±0.22	11.19 ±0.39	1
	100	121		2.36 ±0.04	6.41 ±0.1	8.77 ±0.20	2
	0	25		6.25 ±0.17	4.52 ±0.08	10.77 ±0.35	3
	100	25		4.60 ±0.13	4.07 ±0.08	8.67 ±0.30	4
0.54w/o PuO ₂ - UO ₂	0	25	96	3.74 ±0.06	11.0 ±0.12	14.74 ±0.29	5
	30	25	96	3.67 ±0.08	10.45 ±0.12	14.12 ±0.35	6
	70	25	96	3.56 ±0.08	9.04 ±0.10	12.60 ±0.35	7
0.87w/o(s) PuO ₂ - UO ₂	0	9	112	6.98 ±0.14	11.20 ±0.13	18.18 ±0.42	8
	100	25	96	3.66 ±0.07	9.11 ±0.11	12.77 ±0.29	9

第 7 章 検 討

7.1 半径方向のバックリング

本研究で用いた方法より求めた半径方向バックリングの誤差は±2%~±3%以内である。これは、1つの関数でフィッティングした場合の誤差±10%~±15%に比べて非常に良いことが認められる。これはフィッティングする点が4倍~6倍に増加したことが第1の原因であると思われる。

7.2 軸方向のバックリング

軸方向のバックリングはCuワイヤーで測定したが、測定誤差については±1%以内で求めた。又軸方向の測定と半径方向の測定で試料がCuワイヤー、Dy-A ℓ 合金箔と別々の種類を使用したか、この点については、共に1/V吸収体であり熱中性子束測定には十分であると思われる。コサイン関数を用いてフィッティングする場合フィッティング範囲をどの程度にするかはバックリング導出の精度に依存する。これは、DCAの軸方向の炉心構成を簡単に考えてもFig.61のように多重層になっており、有効炉心上部、下部の物質の影響を考慮してフィッティング範囲を決めなければならないためである。又臨界水位が低い場合外挿距離の少しのちがいでバックリングに大きく影響することも考慮しなければならない。今回は、フィッティング範囲を決めるにあたってこれら多重層を考慮した多重層臨界計算⁽⁵⁾を参考にして両端より約15cmカットした範囲でフィッティングをおこなった。これらフィッティングにより求めたバックリングの誤差は約±3%であった。

7.3 材料バックリング

半径方向のバックリングと軸方向のバックリングを加えたものが材料バックリングとなる。この加え合わせた中性子束測定法による材料バックリング導出にもなり誤差は全体で±3%~±4%であった。この方法による導出誤差としては妥当なものと思われる。

7.4 材料バックリングの計算値、置換法での値と比較

各体系について求めた材料バックリングとMETHUSELAH-IIによる計算値、ならびに1.2%^WUO₂については置換法による実験値⁽⁴⁾をTable 9に示した。

計算値はMETHUSELAH-IIコードにより、臨界バックリングサーチをおこない、 $k_{eff}=1$ となるバックリングでもって計算値とした。

計算値、実験値の比較については次の様に分けて考えてみる。

- (1) 121体クラスターの標準炉心における計算値、実験値、置換法における実験値の比較。
これは1.2%^WUO₂の0%、100%ポイドでおこなった。
- (2) 同じ1.2%^WUO₂の0%、100%ポイドにおける実験であるが、燃料体が25体で周囲を重水反射体でかこんだ、非常に極端な場合(2領域)について比較する。(1)でもとめた同

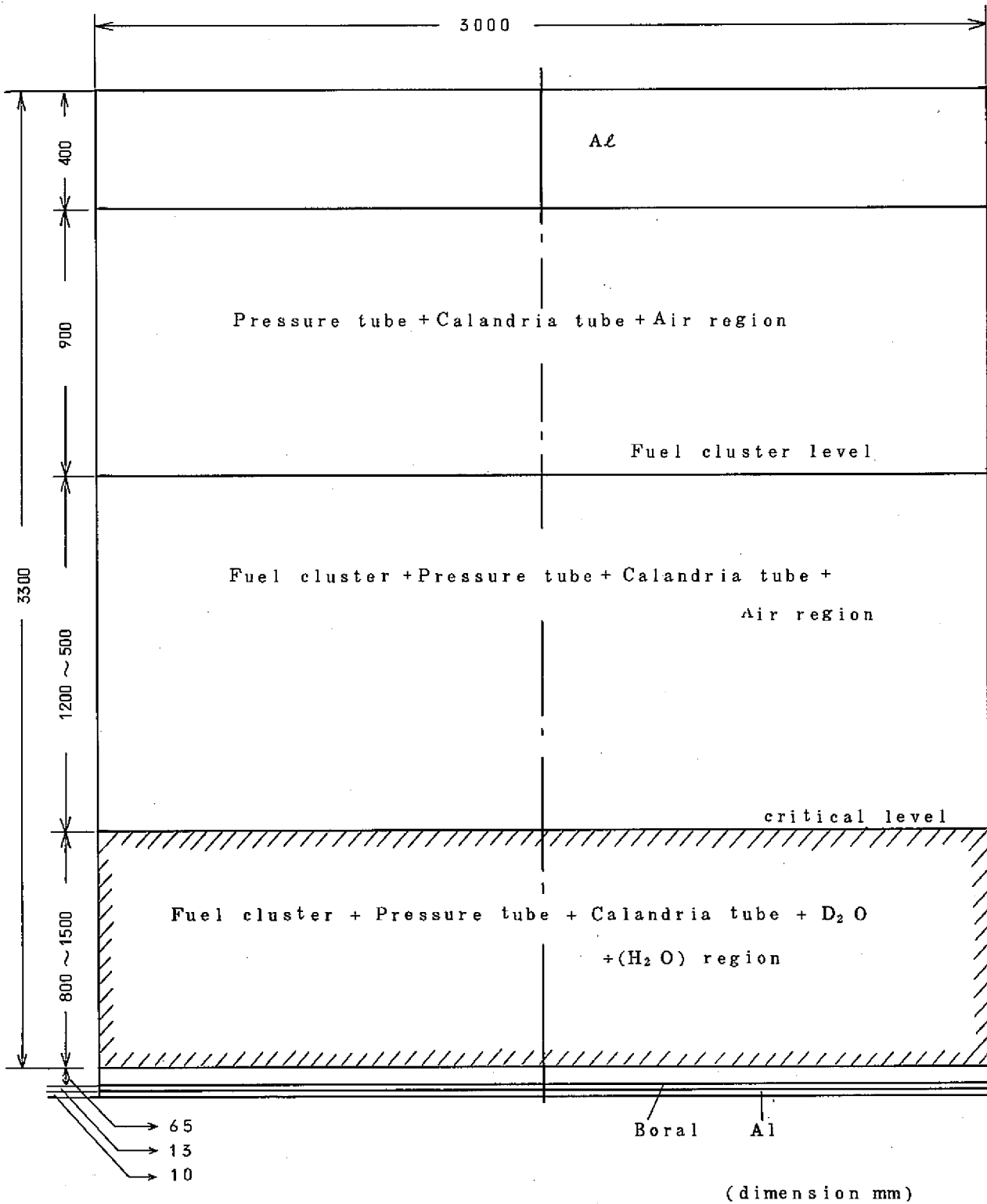


Fig. 61 Axial geometry of DCA

Table 9 Material bucklings by fitting method, substitution method and calculation

	1.2% UO ₂				0.54% PuO ₂ -UO ₂				0.87% (s) PuO ₂ -UO ₂				Remarks
	0 %	100 %	0 %	100 %	0 %	30 %	70 %	100 %	0 %	30 %	70 %	100 %	
Number U of Clusters Pu	121	121	25	25	96 25	96 25	96 25	96 25	112 9	96 25	96 25	100 %	dimension ($\times 10^{-4} \text{ cm}^2$)
Fitting function	Jo	Jo	cosine	cosine	cosine	cosine	cosine	cosine	cosine	cosine	cosine	cosine	
Radial buckling	2.47 ± 0.04	2.36 ± 0.04	6.25 ± 0.17	4.60 ± 0.13	3.74 ± 0.06	3.67 ± 0.08	3.56 ± 0.08	4.60 ± 0.13	8.19 ± 0.17	3.66 ± 0.07	3.66 ± 0.07	3.66 ± 0.07	
Axial buckling	8.72 ± 0.22	6.41 ± 0.1	4.52 ± 0.08	4.07 ± 0.08	1.10 ± 0.12	1.045 ± 0.12	2.04 ± 0.10	4.07 ± 0.08	1.120 ± 0.13	2.11 ± 0.11	2.11 ± 0.11	2.11 ± 0.11	
Material buckling	1.1.19 ± 0.27	8.77 ± 0.20	1.0.77 ± 0.35	8.67 ± 0.30	1.4.74 ± 0.29	1.4.12 ± 0.35	1.2.60 ± 0.32	8.67 ± 0.30	1.2.39 ± 0.46	1.2.77 ± 0.29	1.2.77 ± 0.29	1.2.77 ± 0.29	
Exp. by Sub.method	1.1.60 ± 0.27	8.77 ± 0.18	1.1.6 ± 0.27	8.77 ± 0.18				8.77 ± 0.18					
Cal. by METH II	1.1.3.6	2.25	1.1.3.6	2.25	1.4.7.3	1.4.2.1	1.2.6.1	2.25	1.2.6.1	1.2.6.1	1.2.6.1	1.2.8.7	
keff	1.000001	1.000001	1.000001	1.000000	1.000001	0.999927	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	

じ $1.2\text{W}\% \text{UO}_2$ 0%, 100%ボイドでのバックリングの値が変化するかどうかを調べ、この方法の使用可能な範囲を考える。

- (3) (2)の極端な炉心でなく実際の材料バックリングを求めようとする炉心(2領域の中心領域)について考える。これは25体中心炉心と9体中心炉心について考慮し、計算値だけと比較する。

以上3つについて検討し、本研究で用いた方法の確立と有用性について考察する。

(1)について

$1.2\text{W}\% \text{UO}_2$ の121体炉心の0%ボイドにおける置換法との比較では両方の誤差の範囲内では一致するが、3.7%ほどフィッティング法の値は低くでている。置換法による121体の値といっても、今回の121体での値と同じ方法での値である。すなわち、軸方向と半径方向の分布より求めている。このため、当然のことながら両方の値は一致しなければならない。この不一致3.7%のほとんどは今回の測定による軸方向バックリングと置換法での軸方向バックリングの差からでている。これはフィッティング法自身に問題があるのではなく、2つの実験におけるデータ処理の問題であり、本来一致すべきものであると思われる。

計算値との比較では1.5%以内で一致している。これに対して100%ボイドにおいては置換法による値とはほとんど一致したが、計算値との比較では5.5%ほど低くなっている。この差は実験誤差以上のものである。

121体炉心における実験値の置換法の値との比較では、フィッティング法の値はほぼ妥当なものといえる。又計算値との比較では0%では一致は良いが100%ボイドでは一致は悪くなっている。これは、100%ボイドにおいて置換法の値と実験値とが一致していることから考えて、METHUSELAH-IIコードの $1.2\text{W}\% \text{UO}_2$ 100%ボイドにおける計算に問題があるのではないかと思われる。

以上121体炉心でフィッティング法を用いての材料バックリングの導出は、十分おこなえることが示された。

(2)について

(1)より、1領域について十分にフィッティング法で材料バックリングを求めることができることが示されたが、次に2領域について十分にフィッティング法が適用できるかを考えた。この場合にまず非常に極端な場合($1.2\text{W}\% \text{UO}_2$ 25体クラスターの周囲を重水反射体でかこんだもの、Fig. 7 参照)についてこの方法を使用し適用範囲を考えた。このような炉心における熱中性子束分布の実験値はFig. 49, 50に示した。0%ボイドにおいては重水領域で中性子束は大きく盛り上がり、100%ボイドでは中心領域の中性子束よりも重水領域の方が大きく盛り上がった極端に反射体の影響の強い炉心になっている。このような炉心において求めた実験値と置換法による値とを比較すると実験値が0%で7.7%, 100%で1.2%,

低くなっている。計算値との比較では実験値が0%で5.5%，100%ポイドで6.7%低くなっている。又1.2% UO_2 121体炉心で求めた0%，100%ポイドにおける実験値と比較すると，0%ポイドで4%，100%ポイドで1.2%低くなっている。これら相違の原因，特に1.2% UO_2 121体の実験値との相違についてFig.62より考えてみる。

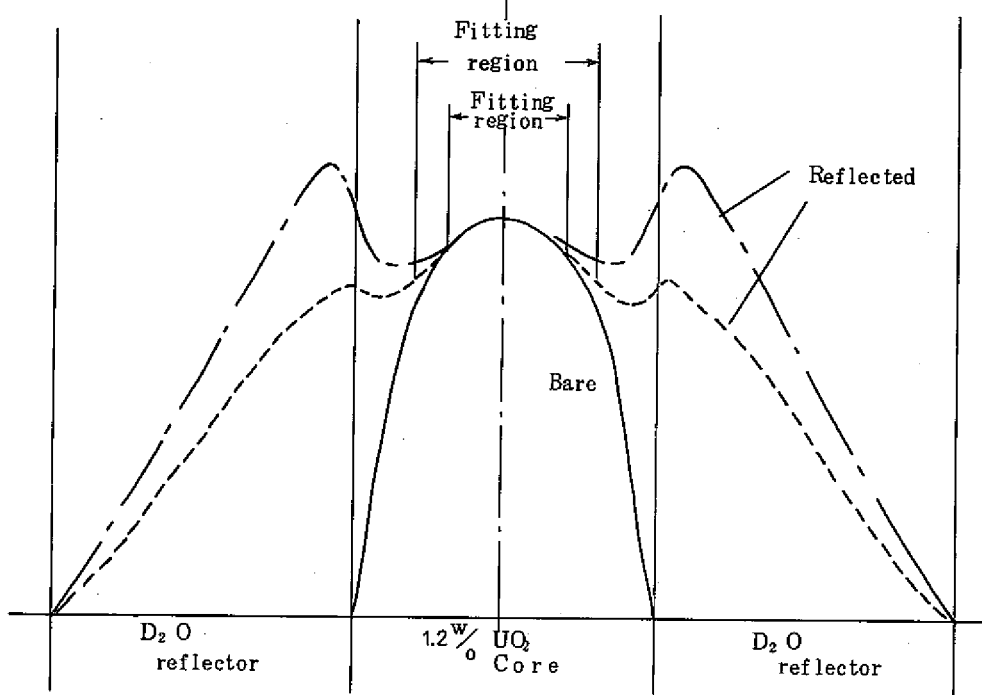


Fig. 6.2 Approximate thermal neutron flux distributions in bare and D_2O reflected reactors.

1.2% UO_2 の裸の炉心に重水の反射体がつくと図に示されたように，重水領域で熱中性子束がもり上がり，裸の炉心における熱中性子束分布を表わさなくなる。しかし，反射体の影響が中心までおよばない場合，中心のある領域についてはまだ裸の炉心に対応する熱中性子束分布を示し裸の炉心固有のバックリングを求めることができる。今回の実験では前もってこの領域については，第4章のFOGによる計算でスペクトル平衡の場所を求めており，これを用いてフィッティング領域を決めてバックリングを求めた。

しかし，25体炉心における実験値は121体炉心での値に比べて小さくなっている。この原因としては，フィッティング領域を広くとり，反射体の影響を含んだ領域でフィッティングをしたことが考えられる。

すなわち，領域の計算又は領域の取り方にあまりがあり広く取ると，中性子束分布は境界に近くなるほどバックリングは小さくなる傾向になる。

しかし，今回の実験ではフィッティング範囲をこれ以上狭くするとこんどはフィッティング点が少なくなり実験精度上問題となる。これらの点を考慮すると1.2% UO_2 25体で重水反射体付炉心ではフィッティング法によりバックリングを求めることは少しむずかしいように思

える。フィッティング法の使用限界を示していると考えられる。

(3)について

(2)においてフィッティング法の使用できる限界について考え、あまり大きな反射体をつける
と使用不可能であることが示された。

次に、プルトニウム燃料のような、使用燃料体数が少なく、周囲に $1.2\% \text{UO}_2$ 燃料体がド
ライバー燃料として使用されているような二領域炉心について、中心領域のプルトニウム燃
料の材料バックリングを求めた。実験値は $0.54\% \text{PuO}_2 - \text{UO}_2$ 燃料の0%, 30%, 70%
ポイドについて、プルトニウムの富化度を変えた $0.87\% \text{(S)PuO}_2 - \text{UO}_2$ 燃料の0%, 100%
について求めた。又、燃料体数も $0.87\% \text{(S)PuO}_2 - \text{UO}_2$ の0%については9体、残りの
ものについては25体でおこなった。このように燃料の富化度を変え、燃料体数を変え、フ
ィッティング法の有用性を計算値との比較より考える。

これら5つの体系におけるMETHUSELAH-IIの計算値との相違はTable 9を見てわかる
ように $\pm 2\%$ 以内であり、実験誤差の範囲内で一致している。

このことは、ドライバー燃料が変わらず、中心のプルトニウム燃料の富化度が変わった場
合でも、又燃料体数が9体でも25体でもフィッティング法により材料バックリングを求める
ことは可能であることが示された。

以上、3段階にわたってフィッティング法による材料バックリングの導出をおこなってきた
がこれらをまとめると次の様になる。

- (イ) 121体一様炉心においてはフィッティング法による材料バックリングの導出は十分に精
度よくおこなえることが置換法による実験値、METHUSELAH-IIによる計算値との比
較より確認された。
- (ロ) 二領域炉心における中心領域の材料バックリングは非常に大きい反射体のついた場合に
ついては不可能であるが、中心領域とドライバー領域の物質の定数が近い場合には、燃料
体9体までの炉心においてフィッティング法により材料バックリングを求めることができ
ることが確認された。
- (ハ) (イ), (ロ)よりクラスター型炉心におけるフィッティング法による材料バックリング導出の確立
がなされ、その有用性が確認された。

7.5 今後の問題点

フィッティング法による材料バックリングの導出の有用性はみとめられたが、その中にもいく
つかの問題点があげられる。それらをあげると次のようになる。

- (イ) 本研究におけるフィッティング法の応用は正方格子型炉心にかぎられ、三角格子、六角格子
の炉心には応用できない。
- (ロ) 二領域炉心の中心領域の材料バックリングの導出における最少燃料体数は正方配列で9体

であり、それ以下の体数においてこの方法による材料バックリングの導出はできない。

- (イ) 9体燃料の場合特にドライバー領域の燃料は燃料の種類、富化度を十分注意して選ばなければならない。
- (ロ) 半径方向の熱中性子束分布の測定で今回はDy箔を用いたが、軸方向のCuワイヤーと同じく、Cu箔で測定をおこなっても同様の結果を得られると思われる。このため、同一種類の試料での半径方向、軸方向の熱中性子束分布の測定の方が、補正等が統一的におこなえ良いと思われる。今後Cu箔による半径方向熱中性子束分布の測定も考慮すべきと思われる。
- (ハ) 軸方向の熱中性子束分布の測定において外挿距離の求め方(フィッティング範囲の決め方)が問題であることが7.2で示された。これはDCA炉心の軸方向の構成の複雑さ、臨果水位の低さが影響しており、今後これらを考慮して測定をおこなえばより精度よく軸方向バックリングが求まるとと思われる。

以上、フィッティング法の問題点をあげたが、(イ)、(ロ)、(ハ)についてはフィッティング法の限界を、又(イ)、(ロ)については、今後のフィッティング法による材料バックリングの導出の改良点を示している。

第 8 章 結 論

クラスター型炉心における材料バックリングを求める方法として中性子束分布測定法に注目し、その方法の確立と、有用性について考察してきたがその結果、次のことが示された。

- (1) 本研究で使用したフィッティング法により各種体系での材料バックリングを求めた結果、フィッティング法による材料バックリングの導出は十分精度よくおこなえることが示された。
- (2) 又、2領域炉心の中心領域での材料バックリングが十分精度よく求まることが示され、フィッティング法の有用性が認められた。特に燃料体数が少なく、その種類の燃料体だけで臨界にできない場合、今までは置換法によるのみ材料バックリングの測定が可能であった。しかし、材料バックリングを測定しようとする燃料体を中心におき、周囲を物質定数の近い燃料をドライバー燃料体として配置し、今回のフィッティング法を使用すれば十分中心領域の材料バックリングを測定することが可能であることが認められた。
- (3) 2領域炉心における中心領域の材料バックリングを求める場合、簡単な炉心計算によって前もってスペクトル平衡な領域を求め、フィッティング範囲を決めておくことが必要である。
- (4) 本研究において、ドライバー燃料体を注意して選べば中心領域の燃料体が最少9体までの材料バックリングの測定で可能であることが確認された。

謝 辞

新型転換炉の開発および研究の一環としてこの研究を進めるにあたり、強力な御支援をいただきました官脇良夫室長、坂田肇前室長はじめ室員の皆様に深く感謝いたします。

また、実験ならびに実験の解析にあたり、有益なコメントをいただきました仁紫明人氏に深く感謝いたします。

参 考 文 献

1. K. Serdula, Nucl. Sci. & Eng, vol. 26 (1966)
[Determination of radial buckling in reflected systems]
2. D. C. Leslie, A. E. E Winfrith October, 1963
[The calculation of leakage and of flux distributions in systems with superimposed buckling]
3. T. Auerbach, Nucl. Sci. & Eng. vol. 46, (1971)
[Neutron flux in cell of finite square lattices]
4. 広田, 柴, 村松, 坂田, SN941 73-13
[ウラン炉心における材料バックリングの測定]
5. 八谷, 私信

付録1 グロス分布測定データ

ERROR(DIS)はDISTANCEのERROR, ERROR(ACT)はACTIVITYのERRORを表わす。

GROSS DISTRIBUTION (1.2 % UO2 0 % VOID 121 CLUSTERS)				
N	DISTANCE (CM)	ACTIVITY (RELATIVE)	ERROR (DIS)	ERROR (ACT)
1	7.50	0.4730	0.	0.0012
2	11.20	0.6506	0.	0.0007
3	15.00	0.8636	0.	0.0017
4	18.70	1.0993	0.	0.0189
5	22.50	1.3339	0.	0.0180
6	26.20	1.5935	0.	0.0099
7	30.00	1.7439	0.	0.0093
8	33.70	1.8459	0.	0.0126
9	37.50	1.9767	0.	0.0106
10	41.20	2.2558	0.	0.0064
11	45.00	2.5313	0.	0.0107
12	48.70	2.8767	0.	0.0269
13	52.50	2.9235	0.	0.0016
14	56.20	3.0263	0.	0.0064
15	60.00	2.9993	0.	0.0230
16	63.70	3.4363	0.	0.0012
17	67.50	3.8998	0.	0.0121
18	71.20	4.0297	0.	0.0194
19	75.00	3.9536	0.	0.0224
20	79.70	3.9542	0.	0.0220
21	82.50	4.1183	0.	0.0202
22	86.20	4.4110	0.	0.0148
23	90.00	4.7884	0.	0.0038
24	93.70	5.0720	0.	0.0040
25	97.50	5.1000	0.	0.0030
26	101.20	4.9509	0.	0.0140
27	105.00	4.9533	0.	0.0002
28	108.70	5.0880	0.	0.0041
29	112.50	5.5635	0.	0.0009
30	116.20	5.8140	0.	0.0127
31	120.00	5.7690	0.	0.0275
32	123.70	5.4180	0.	0.0053
33	127.50	5.4185	0.	0.0150
34	131.20	5.5625	0.	0.0023
35	135.00	5.9520	0.	0.0160
36	138.70	6.0365	0.	0.0050
37	142.50	6.0260	0.	0.0279
38	146.20	5.7235	0.	0.0021
39	150.00	5.4805	0.	0.0042
40	153.70	5.5270	0.	0.0255
41	157.50	5.9245	0.	0.0213
42	161.20	6.1715	0.	0.0001
43	165.00	5.9220	0.	0.0082
44	168.70	5.6480	0.	0.0168
45	172.50	5.3095	0.	0.0316
46	176.20	5.4525	0.	0.0116
47	180.00	5.7980	0.	0.0009
48	183.70	5.7630	0.	0.0025
49	187.50	5.4100	0.	0.0168
50	191.20	5.1045	0.	0.0219

GROSS DISTRIBUTION (1.2 % UO2 0 % VOID 121 CLUSTERS)				
N	DISTANCE (CM)	ACTIVITY (RELATIVE)	ERROR (DIS)	ERROR (ACT)
51	195.00	4.7583	0.	0.0002
52	198.70	4.7659	0.	0.0126
53	202.50	4.9976	0.	0.0211
54	206.20	4.9101	0.	0.0367
55	210.00	4.6767	0.	0.0020
56	213.70	4.2765	0.	0.0190
57	217.50	3.9902	0.	0.0317
58	221.20	4.0105	0.	0.0003
59	225.00	3.9692	0.	0.0360
50	228.70	3.8796	0.	0.0110
51	232.50	3.7583	0.	0.0122
52	236.20	3.3695	0.	0.0029
63	240.00	3.0039	0.	0.0007
64	243.70	2.8939	0.	0.0037
55	247.50	2.8570	0.	0.0081
56	251.20	2.8308	0.	0.0043
67	255.00	2.6170	0.	0.0168
58	258.70	2.2710	0.	0.0036
59	262.50	1.9704	0.	0.0152
70	266.20	1.8045	0.	0.0103
71	270.00	1.6509	0.	0.0089
72	273.70	1.5532	0.	0.0026
73	277.50	1.3641	0.	0.0041
74	281.20	1.0623	0.	0.0073
75	285.00	0.7955	0.	0.0011
76	288.70	0.6021	0.	0.0052
77	292.50	0.4304	0.	0.0077

GROSS DISTRIBUTION (1.2 % UO2 100 % VOID 121 CLUSTERS)				
N	DISTANCE (CM)	ACTIVITY (RELATIVE)	ERROR (DIS)	ERROR (ACT)
1	7.50	0.3384	0.	0.0000
2	11.25	0.4201	0.	0.0005
3	15.00	0.5347	0.	0.0025
4	18.75	0.7130	0.	0.0002
5	22.50	0.9542	0.	0.0030
6	26.25	1.0860	0.	0.0027
7	30.00	1.1620	0.	0.0012
8	33.75	1.1710	0.	0.0100
9	37.50	1.1710	0.	0.0068
10	41.25	1.4620	0.	0.0074
11	45.00	1.7130	0.	0.0011
12	48.75	1.9280	0.	0.0100
13	52.50	2.0270	0.	0.0046
14	56.25	1.8240	0.	0.0072
15	60.00	1.9270	0.	0.0040
16	63.75	2.2390	0.	0.0003
17	67.50	2.4570	0.	0.0009
18	71.25	2.7960	0.	0.0067
19	75.00	2.6180	0.	0.0042
20	78.75	2.4390	0.	0.0163
21	82.50	2.3440	0.	0.0006
22	86.25	2.7780	0.	0.0112
23	90.00	3.0830	0.	0.0107
24	93.75	3.3570	0.	0.0020
25	97.50	3.3310	0.	0.0017
26	101.25	2.9850	0.	0.0105
27	105.00	2.9080	0.	0.0041
28	108.75	3.1200	0.	0.0036
29	112.50	3.3920	0.	0.0074
30	116.25	3.7700	0.	0.0089
31	120.00	3.4420	0.	0.0055
32	123.75	3.2570	0.	0.0048
33	127.50	3.2340	0.	0.0177
34	131.25	3.2630	0.	0.0055
35	135.00	3.6540	0.	0.0075
36	138.75	3.9580	0.	0.0318
37	142.50	3.6890	0.	0.0011
38	146.25	3.3490	0.	0.0065
39	150.00	3.2800	0.	0.0005
40	153.75	3.5380	0.	0.0010
41	157.50	3.7780	0.	0.0087
42	161.25	3.8860	0.	0.0106
43	165.00	3.6610	0.	0.0087
44	168.75	3.3390	0.	0.0099
45	172.50	3.1210	0.	0.0125
46	176.25	3.4460	0.	0.0105
47	180.00	3.5510	0.	0.0021
48	183.75	3.8250	0.	0.0075
49	187.50	3.4660	0.	0.0073
50	191.25	3.1470	0.	0.0084

GROSS DISTRIBUTION (1.2 % UO2 100 % VOID 121 CLUSTERS)				
N	DISTANCE (CM)	ACTIVITY (RELATIVE)	ERROR (DIS)	ERROR (ACT)
51	195.00	2.8070	0.	0.0075
52	198.75	2.9920	0.	0.0087
53	202.50	3.1990	0.	0.0007
54	206.25	3.3020	0.	0.0026
55	210.00	3.0160	0.	0.0016
56	213.75	2.7140	0.	0.0168
57	217.50	2.3810	0.	0.0020
58	221.25	2.4860	0.	0.0022
59	225.00	2.5770	0.	0.0018
60	228.75	2.6180	0.	0.0036
61	232.50	2.5350	0.	0.0111
62	236.25	2.0960	0.	0.0112
63	240.00	1.8630	0.	0.0004
64	243.75	1.9010	0.	0.0077
65	247.50	1.9410	0.	0.0071
66	251.25	2.0640	0.	0.0079
67	255.00	1.8000	0.	0.0003
68	258.75	1.4310	0.	0.0031
69	262.50	1.2710	0.	0.0093
70	266.25	1.1380	0.	0.0020
71	270.00	1.1780	0.	0.0042
72	273.75	1.1010	0.	0.0068
73	277.50	0.9388	0.	0.0049
74	281.25	0.7311	0.	0.0019
75	285.00	0.5439	0.	0.0015
76	288.75	0.4550	0.	0.0035
77	292.50	0.3743	0.	0.0005

GROSS DISTRIBUTION (1.2 % UO2 0 % VOID 25 CLUSTERS)				
N	DISTANCE (CM)	ACTIVITY (RELATIVE)	ERROR (DIS)	ERROR (ACT)
1	7.50	0.2107	0.	0.0023
2	11.25	0.3055	0.	0.0034
3	15.00	0.4053	0.	0.0045
4	18.75	0.5008	0.	0.0055
5	22.50	0.6241	0.	0.0069
6	26.25	0.7572	0.	0.0083
7	30.00	0.8819	0.	0.0097
8	33.75	1.0218	0.	0.0112
9	37.50	1.1758	0.	0.0129
10	41.25	1.3707	0.	0.0151
11	45.00	1.4947	0.	0.0164
12	48.75	1.7693	0.	0.0195
13	52.50	1.9496	0.	0.0214
14	56.25	2.3020	0.	0.0253
15	60.00	2.4730	0.	0.0272
16	63.75	2.8200	0.	0.0310
17	67.50	3.2280	0.	0.0355
18	71.25	3.4490	0.	0.0379
19	75.00	3.6930	0.	0.0406
20	78.75	4.0530	0.	0.0446
21	82.50	4.3960	0.	0.0484
22	86.25	4.4660	0.	0.0491
23	90.00	4.5210	0.	0.0497
24	93.75	4.4250	0.	0.0487
25	97.50	4.2210	0.	0.0464
26	101.25	4.0010	0.	0.0440
27	105.00	4.1210	0.	0.0453
28	108.75	4.4200	0.	0.0486
29	112.50	4.9950	0.	0.0549
30	116.25	5.3380	0.	0.0587
31	120.00	5.4060	0.	0.0595
32	123.75	5.2490	0.	0.0577
33	127.50	5.3110	0.	0.0584
34	131.25	5.6610	0.	0.0623
35	135.00	6.1240	0.	0.0674
36	138.75	6.1810	0.	0.0680
37	142.50	6.1730	0.	0.0679
38	146.25	5.7980	0.	0.0638
39	150.00	5.5060	0.	0.0606
40	153.75	5.8070	0.	0.0639
41	157.50	6.0690	0.	0.0668
42	161.25	6.2760	0.	0.0690
43	165.00	5.9080	0.	0.0650
44	168.75	5.4770	0.	0.0602
45	172.50	5.0630	0.	0.0557
46	176.25	5.1080	0.	0.0562
47	180.00	5.2420	0.	0.0577
48	183.75	5.1530	0.	0.0567
49	187.50	4.7830	0.	0.0526
50	191.25	4.5140	0.	0.0497

GROSS DISTRIBUTION (1.2 % UO2 0 % VOID 25 CLUSTERS)				
N	DISTANCE (CM)	ACTIVITY (RELATIVE)	ERROR (DIS)	ERROR (ACT)
51	195.00	4.1650	0.	0.0458
52	198.75	4.1290	0.	0.0454
53	202.50	4.4090	0.	0.0485
54	206.25	4.5600	0.	0.0502
55	210.00	4.5990	0.	0.0506
56	213.75	4.6020	0.	0.0506
57	217.50	4.4010	0.	0.0484
58	221.25	4.1950	0.	0.0461
59	225.00	3.7950	0.	0.0417
50	228.75	3.3900	0.	0.0373
51	232.50	3.1410	0.	0.0346
52	236.25	2.8020	0.	0.0308
53	240.00	2.5010	0.	0.0275
54	243.75	2.2360	0.	0.0246
55	247.50	1.9799	0.	0.0218
56	251.25	1.7757	0.	0.0195
57	255.00	1.5919	0.	0.0175
58	258.75	1.3765	0.	0.0151
59	262.50	1.1757	0.	0.0129
70	266.25	1.0165	0.	0.0112
71	270.00	0.8863	0.	0.0097
72	273.75	0.7541	0.	0.0083
73	277.50	0.6323	0.	0.0070
74	281.25	0.5129	0.	0.0056
75	285.00	0.4124	0.	0.0045
76	288.75	0.3134	0.	0.0034
77	292.50	0.2172	0.	0.0024

GROSS DISTRIBUTION (1.2 % UO2 100 % VOID 25 CLUSTERS)				
N	DISTANCE (CM)	ACTIVITY (RELATIVE)	ERROR (DIS)	ERROR (ACT)
1	7.50	0.3241	0.	0.0036
2	11.25	0.4565	0.	0.0050
3	15.00	0.6150	0.	0.0068
4	18.75	0.7447	0.	0.0082
5	22.50	0.9048	0.	0.0100
6	26.25	1.1064	0.	0.0122
7	30.00	1.2757	0.	0.0140
8	33.75	1.4670	0.	0.0161
9	37.50	1.7326	0.	0.0191
10	41.25	1.9515	0.	0.0215
11	45.00	2.1187	0.	0.0233
12	48.75	2.5227	0.	0.0277
13	52.50	2.8105	0.	0.0309
14	56.25	3.2730	0.	0.0360
15	60.00	3.5580	0.	0.0391
16	63.75	3.9795	0.	0.0438
17	67.50	4.4430	0.	0.0489
18	71.25	4.8540	0.	0.0534
19	75.00	5.1105	0.	0.0562
20	78.75	5.4315	0.	0.0597
21	82.50	5.8185	0.	0.0640
22	86.25	5.8815	0.	0.0647
23	90.00	5.6085	0.	0.0617
24	93.75	5.1975	0.	0.0572
25	97.50	4.5810	0.	0.0504
26	101.25	3.9300	0.	0.0432
27	105.00	3.6780	0.	0.0405
28	108.75	3.8940	0.	0.0428
29	112.50	4.4085	0.	0.0485
30	116.25	4.7670	0.	0.0524
31	120.00	4.7055	0.	0.0518
32	123.75	4.1955	0.	0.0462
33	127.50	4.0050	0.	0.0441
34	131.25	4.2900	0.	0.0472
35	135.00	4.9785	0.	0.0548
36	138.75	5.1960	0.	0.0572
37	142.50	5.1135	0.	0.0562
38	146.25	4.5435	0.	0.0500
39	150.00	4.2270	0.	0.0465
40	153.75	4.5285	0.	0.0498
41	157.50	5.0670	0.	0.0557
42	161.25	5.3520	0.	0.0589
43	165.00	5.0850	0.	0.0559
44	168.75	4.4925	0.	0.0494
45	172.50	3.9420	0.	0.0434
46	176.25	4.1610	0.	0.0458
47	180.00	4.6215	0.	0.0508
48	183.75	4.7265	0.	0.0520
49	187.50	4.3335	0.	0.0477
50	191.25	3.8820	0.	0.0427

GROSS DISTRIBUTION (1.2 % UO2 100 % VOID 25 CLUSTERS)				
N	DISTANCE (CM)	ACTIVITY (RELATIVE)	ERROR (DIS)	ERROR (ACT)
51	195.00	3.5250	0.	0.0388
52	198.75	3.8010	0.	0.0418
53	202.50	4.5750	0.	0.0503
54	206.25	5.1525	0.	0.0567
55	210.00	5.6820	0.	0.0625
56	213.75	5.7615	0.	0.0634
57	217.50	5.7915	0.	0.0637
58	221.25	5.5995	0.	0.0616
59	225.00	5.2110	0.	0.0573
60	228.75	4.6680	0.	0.0513
61	232.50	4.3785	0.	0.0482
62	236.25	3.9585	0.	0.0435
63	240.00	3.5175	0.	0.0387
64	243.75	3.1260	0.	0.0344
65	247.50	2.8228	0.	0.0311
66	251.25	2.4798	0.	0.0273
67	255.00	2.2384	0.	0.0246
68	258.75	1.9933	0.	0.0219
69	262.50	1.7109	0.	0.0188
70	266.25	1.4853	0.	0.0163
71	270.00	1.2649	0.	0.0139
72	273.75	1.0993	0.	0.0121
73	277.50	0.8958	0.	0.0099
74	281.25	0.7395	0.	0.0081
75	285.00	0.6013	0.	0.0066
76	288.75	0.4481	0.	0.0049
77	292.50	0.3223	0.	0.0035

GROSS DISTRIBUTION (0.54 % PU02-U02 0 % VOID)				
N	DISTANCE (CM)	ACTIVITY (RELATIVE)	ERROR (DIS)	ERROR (ACT)
1	15.00	0.6957	0.	0.0086
2	26.25	1.3458	0.	0.0157
3	37.50	1.7614	0.	0.0051
4	48.75	2.5495	0.	0.0004
5	60.00	2.9644	0.	0.0117
6	71.25	3.9667	0.	0.0121
7	82.50	4.1553	0.	0.0039
8	84.75	4.4983	0.	0.0105
9	87.00	4.8930	0.	0.0467
10	89.25	5.0376	0.	0.0239
11	91.50	5.1342	0.	0.0075
12	93.75	5.4762	0.	0.0089
13	96.00	5.5441	0.	0.0221
14	98.25	5.5467	0.	0.0164
15	100.50	5.4000	0.	0.0362
16	102.75	5.3104	0.	0.0183
17	105.00	5.4357	0.	0.0032
18	107.25	5.4508	0.	0.0046
19	109.50	5.9829	0.	0.0046
20	111.75	6.0871	0.	0.0096
21	114.00	6.5626	0.	0.0025
22	116.25	6.9294	0.	0.0023
23	118.50	6.8328	0.	0.0130
24	120.75	6.7456	0.	0.0225
25	123.00	6.4500	0.	0.0156
26	125.25	6.3517	0.	0.0017
27	127.50	6.2698	0.	0.0098
28	129.75	6.4315	0.	0.0492
29	132.00	6.8590	0.	0.0275
30	134.25	7.1127	0.	0.0155
31	136.50	7.3500	0.	0.0246
32	138.75	7.7295	0.	0.0092
33	141.00	7.4700	0.	0.0215
34	143.25	7.3008	0.	0.0201
35	145.50	7.0510	0.	0.0057
36	147.75	6.6480	0.	0.0142
37	150.00	6.4992	0.	0.0101
38	152.25	6.6511	0.	0.0027
39	154.50	7.0765	0.	0.0021
40	156.75	7.4800	0.	0.0304
41	159.00	7.5472	0.	0.0312
42	161.25	7.7593	0.	0.0000
43	163.50	7.5312	0.	0.0047
44	165.75	7.3282	0.	0.0058
45	168.00	6.9159	0.	0.0241
46	170.25	6.5991	0.	0.0058
47	172.50	6.2700	0.	0.0740
48	174.75	6.4500	0.	0.0236
49	177.00	6.7557	0.	0.0385
50	179.25	6.8076	0.	0.0411

GROSS DISTRIBUTION (0.54 % PUO2-UO2 30 % VOID)				
N	DISTANCE (CM)	ACTIVITY (RELATIVE)	ERROR (DIS)	ERROR (ACT)
1	7.50	0.4484	0.	0.0052
2	11.25	0.6012	0.	0.0057
3	15.00	0.7957	0.	0.0065
4	18.75	1.0960	0.	0.0078
5	22.50	1.3990	0.	0.0080
6	26.25	1.5690	0.	0.0006
7	30.00	1.7100	0.	0.0053
8	33.75	1.8300	0.	0.0015
9	37.50	1.9290	0.	0.0069
10	41.25	2.2960	0.	0.0168
11	45.00	2.5980	0.	0.0266
12	48.75	2.8860	0.	0.0065
13	52.50	3.1020	0.	0.0021
14	56.25	2.9830	0.	0.0010
15	60.00	3.3640	0.	0.0005
16	63.75	3.7650	0.	0.0101
17	67.50	4.1870	0.	0.0049
18	71.25	4.7080	0.	0.0053
19	75.00	4.6170	0.	0.0151
20	79.75	4.5980	0.	0.0180
21	82.50	4.6440	0.	0.0223
22	86.25	5.1400	0.	0.0088
23	90.00	5.6710	0.	0.0176
24	93.75	6.1580	0.	0.0186
25	97.50	6.1900	0.	0.0039
26	101.25	5.9020	0.	0.0123
27	105.00	5.8450	0.	0.0139
28	108.75	6.3250	0.	0.0413
29	112.50	6.6910	0.	0.0014
30	116.25	7.5030	0.	0.0582
31	120.00	7.1000	0.	0.0054
32	123.75	6.7950	0.	0.0177
33	127.50	6.6330	0.	0.0067
34	131.25	6.8910	0.	0.0428
35	135.00	7.4260	0.	0.0178
36	138.75	7.9620	0.	0.0064
37	142.50	7.5890	0.	0.0010
38	146.25	7.2090	0.	0.0072
39	150.00	7.1690	0.	0.0176
40	153.75	7.6220	0.	0.0111
41	157.50	7.8480	0.	0.0083
42	161.25	7.9440	0.	0.0196
43	165.00	7.5750	0.	0.0105
44	168.75	7.1910	0.	0.0163
45	172.50	6.6660	0.	0.0019
46	176.25	7.1010	0.	0.0313
47	180.00	7.1950	0.	0.0154
48	183.75	7.2900	0.	0.0408
49	187.50	6.9000	0.	0.0289
50	191.25	6.1500	0.	0.0064

GROSS DISTRIBUTION (0.54 % PU02=U02 70 % VOID)				
N	DISTANCE (CM)	ACTIVITY (RELATIVE)	ERROR (DIS)	ERROR (ACT)
1	7.50	0.2321	0.	0.0042
2	11.25	0.2987	0.	0.0042
3	15.00	0.4039	0.	0.0067
4	18.75	0.5542	0.	0.0041
5	22.50	0.7171	0.	0.0091
6	26.25	0.8047	0.	0.0008
7	30.00	0.8659	0.	0.0092
8	33.75	0.9056	0.	0.0012
9	37.50	0.9487	0.	0.0194
10	41.25	1.1450	0.	0.0052
11	45.00	1.3360	0.	0.0002
12	48.75	1.4740	0.	0.0051
13	52.50	1.5930	0.	0.0138
14	56.25	1.4960	0.	0.0029
15	60.00	1.6250	0.	0.0011
16	63.75	1.8820	0.	0.0049
17	67.50	2.0620	0.	0.0093
18	71.25	2.3520	0.	0.0015
19	75.00	2.2780	0.	0.0063
20	78.75	2.2070	0.	0.0303
21	82.50	2.1970	0.	0.0120
22	86.25	2.4910	0.	0.0201
23	90.00	2.7310	0.	0.0158
24	93.75	2.6820	0.	0.0268
25	97.50	2.9930	0.	0.0070
26	101.25	2.7210	0.	0.0128
27	105.00	2.6530	0.	0.0104
28	108.75	2.9000	0.	0.0191
29	112.50	3.1410	0.	0.0024
30	116.25	3.5670	0.	0.0281
31	120.00	3.3280	0.	0.0007
32	123.75	3.1860	0.	0.0077
33	127.50	3.0670	0.	0.0084
34	131.25	3.2400	0.	0.0056
35	135.00	3.5750	0.	0.0114
36	138.75	3.8570	0.	0.0006
37	142.50	3.6420	0.	0.0079
38	146.25	3.3320	0.	0.0083
39	150.00	3.2760	0.	0.0014
40	153.75	3.5070	0.	0.0074
41	157.50	3.7050	0.	0.0184
42	161.25	3.7920	0.	0.0195
43	165.00	3.5950	0.	0.0109
44	168.75	3.3480	0.	0.0029
45	172.50	3.1240	0.	0.0264
46	176.25	3.3740	0.	0.0055
47	180.00	3.4520	0.	0.0135
48	183.75	3.5910	0.	0.0105
49	187.50	3.3140	0.	0.0049
50	191.25	2.9720	0.	0.0010

GROSS DISTRIBUTION (0.87 % PU02-U02 0 % VOID)				
N	DISTANCE (CM)	ACTIVITY (RELATIVE)	ERROR (DIS)	ERROR (ACT)
1	15.00	0.3531	0.	0.0030
2	26.25	0.6608	0.	0.0031
3	37.50	0.8577	0.	0.0081
4	48.75	1.2836	0.	0.0010
5	60.00	1.4863	0.	0.0057
6	71.25	2.0318	0.	0.0081
7	82.50	2.2199	0.	0.0029
8	93.75	2.9051	0.	0.0165
9	96.00	2.9987	0.	0.0029
10	98.25	3.0306	0.	0.0035
11	100.50	2.9731	0.	0.0074
12	102.75	3.0847	0.	0.0070
13	105.00	3.1022	0.	0.0007
14	107.25	3.3388	0.	0.0073
15	109.50	3.4063	0.	0.0011
16	111.75	3.6556	0.	0.0054
17	114.00	3.9020	0.	0.0207
18	116.25	3.9550	0.	0.0095
19	118.50	3.8556	0.	0.0144
20	120.75	3.8815	0.	0.0205
21	123.00	3.8490	0.	0.0031
22	125.25	3.7857	0.	0.0026
23	127.50	3.7664	0.	0.0097
24	129.75	3.9227	0.	0.0169
25	132.00	4.1522	0.	0.0109
26	134.25	4.4007	0.	0.0043
27	136.50	4.6913	0.	0.0087
28	138.75	4.7513	0.	0.0004
29	141.00	4.6643	0.	0.0128
30	143.25	4.6417	0.	0.0081
31	145.50	4.4597	0.	0.0087
32	147.75	4.3264	0.	0.0020
33	150.00	4.2411	0.	0.0229
34	152.25	4.3427	0.	0.0011
35	154.50	4.4975	0.	0.0234
36	156.75	4.6017	0.	0.0100
37	159.00	4.7915	0.	0.0015
38	161.25	4.7899	0.	0.0086
39	163.50	4.5923	0.	0.0003
40	165.75	4.4176	0.	0.0091
41	168.00	4.2277	0.	0.0026
42	170.25	4.0984	0.	0.0048
43	172.50	3.9578	0.	0.0007
44	174.75	3.8689	0.	0.0043
45	177.00	3.7892	0.	0.0086
46	179.25	3.9043	0.	0.0000
47	181.50	3.9495	0.	0.0123
48	183.75	3.9166	0.	0.0035
49	186.00	3.7867	0.	0.0128
50	188.25	3.6770	0.	0.0085

GROSS DISTRIBUTION (0.87 % PU02-U02 100 % VOID)				
N	DISTANCE (CM)	ACTIVITY (RELATIVE)	ERROR (DIS)	ERROR (ACT)
1	15.00	0.7254	0.	0.0103
2	26.25	1.4643	0.	0.0290
3	37.50	1.6498	0.	0.0075
4	48.75	2.6978	0.	0.0142
5	60.00	2.7170	0.	0.0187
6	71.25	4.2364	0.	0.0117
7	82.50	3.9841	0.	0.0198
8	84.75	4.2644	0.	0.0068
9	87.00	4.6943	0.	0.0248
10	89.25	5.1472	0.	0.0018
11	91.50	5.2908	0.	0.0104
12	93.75	5.5340	0.	0.0155
13	96.00	5.4141	0.	0.0080
14	98.25	5.3078	0.	0.0200
15	100.50	4.8784	0.	0.0122
16	102.75	4.7431	0.	0.0209
17	105.00	4.7327	0.	0.0450
18	107.25	5.0339	0.	0.0421
19	109.50	5.4548	0.	0.0176
20	111.75	6.1235	0.	0.0094
21	114.00	6.4867	0.	0.0253
22	116.25	6.7389	0.	0.0223
23	118.50	6.5982	0.	0.0154
24	120.75	6.3178	0.	0.0445
25	123.00	6.0842	0.	0.0019
26	125.25	5.6731	0.	0.0337
27	127.50	5.6410	0.	0.0188
28	129.75	5.7791	0.	0.0059
29	132.00	6.0921	0.	0.0500
30	134.25	6.8821	0.	0.0226
31	136.50	7.0220	0.	0.0344
32	138.75	7.6056	0.	0.0046
33	141.00	7.5088	0.	0.0424
34	143.25	7.0233	0.	0.0226
35	145.50	6.3913	0.	0.0244
36	147.75	6.1438	0.	0.0040
37	150.00	5.8717	0.	0.0070
38	152.25	6.1438	0.	0.0221
39	154.50	6.3913	0.	0.0196
40	156.75	7.0233	0.	0.0116
41	159.00	7.5088	0.	0.0407
42	161.25	7.5097	0.	0.0309
43	163.50	7.2200	0.	0.0179
44	165.75	6.8821	0.	0.0454
45	168.00	6.0921	0.	0.0261
46	170.25	5.7791	0.	0.0001
47	172.50	5.5613	0.	0.0018
48	174.75	5.5943	0.	0.0049
49	177.00	5.9683	0.	0.0126
50	179.25	6.5643	0.	0.0076

GROSS DISTRIBUTION (0.87 % PU02-U02 100 % VOID)

N	DISTANCE (CM)	ACTIVITY (RELATIVE)	ERROR (DIS)	ERROR (ACT)
51	181.50	6.8974	0.	0.0131
52	183.75	6.8125	0.	0.0236
53	186.00	6.7223	0.	0.0242
54	188.25	6.0759	0.	0.0236
55	190.50	5.5198	0.	0.0197
56	192.75	5.0887	0.	0.0494
57	195.00	4.8396	0.	0.0041
58	197.25	4.8822	0.	0.0067
59	199.50	5.0757	0.	0.0254
60	201.75	5.3020	0.	0.0185
61	204.00	5.6966	0.	0.0088
62	206.25	5.7231	0.	0.0190
63	208.50	5.4695	0.	0.0074
64	210.75	5.0557	0.	0.0067
65	213.00	4.6280	0.	0.0209
66	215.25	4.2896	0.	0.0092
67	217.50	4.0866	0.	0.0189
68	228.75	4.2240	0.	0.0182
69	240.00	2.7654	0.	0.0352
70	251.25	2.6998	0.	0.0654
71	262.50	1.6927	0.	0.0096
72	273.75	1.5637	0.	0.0048
73	285.00	0.7527	0.	0.0093

付録 2 燃料の物理定数

(1) 1.2 w/o Enriched UO₂ Fuel

	Inner dia (cm)	Outer dia (cm)	Material	Density (g/cm ³)
Fuel pellet	—	1.480	1.203w/o enriched UO ₂	10.36
Gap	1.480	1.503	Helium	—
Fuel sheath	1.503	1.673	Aluminum alloy	2.674

Composition	w/o in fuel pellet	w/o in sheath	Atomic No. density (10 ²⁴ /cm ³)
pellet ²³⁵ U	1.057		0.0002806
²³⁸ U	86.793		0.02275
O	12.150		0.04738
Sheath Al		9.698	0.05788
Mg		2.60	0.00172

(2) 0.54 w/o Enriched PuO₂ Fuel (Standard Grade)

	Inner dia (cm)	Outer dia (cm)	Material	Density (g/cm)
Fuel pellet	—	1.469	0.542w/o enriched PuO ₂ -UO ₂	10.17
Gap	1.469	1.506	Helium	—
Fuel sheath	1.506	1.668	Zry-2	6.523

Composition		w/o in Pu	w/o in fuel pellet	w/o in sheath	Atomic % density (10 ²⁴ /cm)
Pellet	²³⁵ U		0.6214		0.0001620
	²³⁸ U		86.782		0.02233
	²³⁸ Pu	0.021	0.000102		0.000000026
	²³⁹ Pu	90.360	0.4304		0.0001103
	²⁴⁰ Pu	8.640	0.04115		0.00001050
	²⁴¹ Pu	0.915	0.004359		0.000001108
	²⁴² Pu	0.064	0.000303		0.0000000767
	O		12.12		0.04640
Sheath	Zr			98.22	0.04218
	Sn			1.48	0.0004897
	Fe			0.14	0.0000985
	Cr			0.10	0.0000756
	Ni			0.06	0.0000401

Date of Analysis ; 25 August 1971

(3) 0.87 w/o Enriched PuO₂ Fuel (Standard Grade)

	Inner dia (cm)	Outer dia (cm)	Material	Density (g/cm ³)
Fuel pellet	—	1.472	0.862 w/o enriched PuO ₂ -UO ₂	10.17
Gap	1.472	1.506	Helium	—
Fuel sheath	1.506	1.668	Zry-2	6.523

Composition		w/o in Pu	w/o in fuel pellet	w/o in sheath	Atomic % density (10 ²⁴ /cm ³)
Pellet	²³⁵ U		0.6194		0.0001615
	²³⁸ U		86.503		0.02226
	²³⁸ Pu	0.019	0.000145		0.000000037
	²³⁹ Pu	90.314	0.6849		0.0001755
	²⁴⁰ Pu	8.682	0.06584		0.00001680
	²⁴¹ Pu	0.918	0.006960		0.000001769
	²⁴² Pu	0.067	0.000510		0.0000001291
	O		12.12		0.04641
Sheath	Zr			98.22	0.04218
	Sn			1.48	0.0004897
	Fe			0.14	0.0000985
	Cr			0.10	0.0000756
	Ni			0.06	0.0000401

Date of Analysis ; 23 August 1971

付録3 METHUSELAH-II計算用入力

N	*	*	*	*	*	*	*
1	*	NOAH-2 STANDARD CASE	22.5 CM	1.2% UC2	0% VOID		
2		POLYGON(1.00)0					* FUEL1
3		DIAMET(1.00)11.28					*
4		TEMPER(1.00)22.0					*
5		DIAMET(1.11)1.48					* PELLET
6		DENSIT(1.11)10.36					*
7		INGRED(1.11)3,18,1.057,20,86.793,2,12,150				*	
8		TEMPER(1.11)22.0					*
9		DIAMET(1.12)1.673					* SHEATH
10		DENSIT(1.12)2.3725 *					
11		INGRED(1.12)1,9,100.0					*
12		TEMPER(1.12)22.0					*
13		DENSIT(1.10)0.99777					* COOLANT
14		INGRED(1.10)2,1,11.1901,2,88.8099					*
15		TEMPER(1.10)22.0					*
16		LAYER 2=1					*
17		LAYER 3=1					*
18		POLYGON(2.00)0					* W.G
19		DIAMET(2.00)11.68					*
20		DENSIT(2.00)0.99777					*
21		INGRED(2.00)2,1,11.1901,2,88.8099					*
22		TEMPER(2.00)22.0					*
23		RARE REGION(2.00) *					
24		POLYGON(3.00)0					* P.T
25		DIAMET(3.00)12.08					*
26		DENSIT(3.00)2.674					*
27		INGRED(3.00)1,9,100.0					*
28		TEMPER(3.00)22.0					*
29		RARE REGION(3.00) *					
30		POLYGON(4.00)0					* AIR.G
31		DIAMET(4.00)13.25					*
32		AIRGAP(4.00)					*
33		POLYGON(5.00)0					* C.T
34		DIAMET(5.00)13.65					*
35		DENSIT(5.00)2.674					*
36		INGRED(5.00)1,9,100.0					*
37		TEMPER(5.00)22.0					*
38		RARE REGION(5.00) *					
39		POLYGON(6.00)0					* MOD
40		DIAMET(6.00)25.39					*
41		DENSIT(6.00)1.1078					*
42		INGRED(6.00)3,1,0.05036,38,20.0223,2,79.9283					*
43		TEMPER(6.00)22.0					*
44		ARRAY TYPE 4,3,1,3125,3.00,4.7575,4,8,16					*
45		BUCKLING 0.001135925 *					
46		RESONANCE 6,18,20,21,22,23,34					*
47		FIVE GROUP					*
48		DG LAYER 1,0,2					*
49		SPECTRUM 4,2,1.00,2.00					*
50		SPECTRUM 5,4,3.00,4.00,5.00,6.00					*
N	*	*	*	*	*	*	*

```

N      *      *      *      *      *      *      *      *
51  EPSILON 0.0001
52  GEOMETRY 10,10,10,5,5,5,5,20
53  RECORD 36,2,20,0.58830,4,20,1.45646,5,20,0.53940,20,18,2.43,Y
54      20,21,2.87099,20,23,2.96899,108,2,1.0004,108,3,0.98434,Y
55      108,5,0.99258,108,11,2.42680,108,12,2.88799,108,13,3.10404*
56  FINAL OUTPUT 3,64,69,94,96,171,171
57  ITERATE 5 *
58  BEGIN CALCULATION
59  *NOAH-2 22.5 CM 1.2% UO2 100% VOID
60  INGRED(1.10)2,1,11.1901,2,88.8099 *
61  DENSIT(1.10)0.000455
62  INGRED(2.00)2,1,11.1901,2,88.8099
63  DENSIT(2.00)0.000455
64  BUCKLING 0.0009250183*
65  BEGIN CALCULATION *
66  *NOAH-2 22.5LP 0.54% PUO2+UO2 0% VOID
67  POLYGON(1.00)0
68  DIAMET(1.00)11.28
69  TEMPER(1.00)22.0
70  DIAMET(1.11)1.469
71  DENSIT(1.11)10.171
72  INGRED(1.11)7,18,0.6214,20,86.7823,21,0.4304,22,0.04115,Y
73      23,0.004359,34,0.000303,2,12.120
74  TEMPER(1.11)22.0
75  DIAMET(1.12)1.668
76  DENSIT(1.12)5.3728
77  INGRED(1.12)5,3,98.22,10,1.48,6,0.14,11,0.10,7,0.06
78  TEMPER(1.12)22.0
79  DENSIT(1.10)0.99777
80  INGRED(1.10)2,1,11.1901,2,88.8099 *
81  DENSIT(2.00)0.99777
82  INGRED(2.00)2,1,11.1901,2,88.8099
83  BUCKLING 0.001473183*
84  BEGIN CALCULATION *
85  *NOAH-2 22.5LP 0.54% PUO2+UO2 30% VOID
86  DENSIT(1.10)1.0359
87  INGRED(1.10)4,1,7.0693,38,7.4055,2,85.5231,29,0.0003158
88  DENSIT(2.00)1.0359
89  INGRED(2.00)4,1,7.0693,38,7.4055,2,85.5231,29,0.0003158
90  BUCKLING 0.001421
91  BEGIN CALCULATION *
92  *NOAH-2 22.5LP 0.54% PUO2+UO2 70% VOID
93  DENSIT(1.10)1.0866
94  INGRED(1.10)4,1,2.0231,38,16.4744,2,81.5001,29,0.000737
95  DENSIT(2.00)1.0866
96  INGRED(2.00)4,1,2.0231,38,16.4744,2,81.5001,29,0.000737
97  BUCKLING 0.0012610
98  BEGIN CALCULATION *
99  *NOAH-2 22.5LP 0.54% PUO2+UO2 100% VOID
100  INGRED(1.10)2,1,11.1901,2,88.8099 *
N      *      *      *      *      *      *      *      *

```

N	*	*	*	*	*	*	*
101	DENSIT(1.10)	0.000455					*
102	INGRED(2.00)	2,1,11.1901,2,88.8099					*
103	DENSIT(2.00)	0.000455					*
104	BUCKLING	0.001063377*					
105	BEGIN CALCULATION	*					
106	*NOAH-2	22.5LP 0.87% PU02+U02	STANDAPD GRADE	0 % VOID			
107	POLYGON(1.00)	0					*FUFLI
108	DIAMET(1.00)	11.28					*
109	TEMPER(1.00)	22.0					*
110	DIAMET(1.11)	1.472					*PELLFT
111	DENSIT(1.11)	10.17					*
112	INGRED(1.11)	7,18,0.6194,20,86.5031,21,0.6849,22,0.06584,Y					*
113		23,0.006960,34,0.000510,2,12.119					*
114	TEMPER(1.11)	22.0					*
115	DIAMET(1.12)	1.668					*
116	DENSIT(1.12)	5.3477					*
117	INGRED(1.12)	5,3,98.22,10,1.48,6,0.14,11,0.10,7,0.06					*
118	TEMPER(1.12)	22.0					*
119	DENSIT(1.10)	0.99777	*				
120	INGRED(1.10)	2,1,11.1901,2,88.8099		*			
121	DENSIT(2.00)	0.99777	*				
122	INGRED(2.00)	2,1,11.1901,2,88.8099					*
123	BUCKLING	0.001918991*					
124	BEGIN CALCULATION	*					
125	*NOAH-2	22.5LP 0.87% PU02+U02	STANDARD GRADE	100 % VOID			
126	DENSIT(1.10)	0.000455					*
127	INGRED(1.10)	2,1,11.1901,2,88.8099		*			
128	DENSIT(2.00)	0.000455					*
129	INGRED(2.00)	2,1,11.1901,2,88.8099					*
130	BUCKLING	0.001286842*					
131	BEGIN CALCULATION	*					