

プルトニウム炉心における単位格子内  
熱中性子束分布の測定(I)

1974年6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6月10日

## プルトニウム炉心における単位格子内 熱中性子束分布の測定 (I)

報告者 若林 利男  
飯島 一敬  
八谷 雄喜  
福村 信男  
仁紫 明人

期間 1972年8月 日～1973年9月 日

目的 プルトニウム燃料を装荷した炉心における単位格子内熱中性子束分布の測定をおこない、「ふげん」の核設計に使用されているコードとの比較をおこなう。

### 要旨

0.54 w/o PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> 燃料を装荷した 22.5 cm ピッチ炉心において、冷却材ボイド率を 0 %、30 %、70 %、100 % にした場合の単位格子内の熱中性子束分布を Dy-Al 合金箔を用いた箔放射化法によって求めた。また NOAH-II コードによる計算値との比較もおこなった。

重水中の熱中性子束分布の精度が新しい測定用具を使用したため向上し、また新しく圧力管内側、カランドリア管内側での測定により圧力管、カランドリア管における熱中性子束分布の様子がはっきりし計算との比較もより精密におこなえるようになった。

NOAH-II による計算値との比較では、0 %、30 %、70 % ボイドにおける実験値より 100 % ボイドの実験値がよく一致した。

---

大洗工学センター重水臨界実験室

DCA 実験グループ、宮脇良夫、樋口幸次郎、八谷雄喜、竹下徳人、柴公倫、福村信男、仁紫明人、飯島一敬、村松精、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、管原昇三、成尾一輝、今泉清、石井愛典（実験炉）

10, June, 1974

Measurements of Intra-cell Thermal Neutron  
Flux Distributions for Plutonium Fuel Lattice (I)

Toshio Wakabayashi\*  
Kazuyoshi Iijima\*  
Yuuki Hachiya\*  
Nobuo Fukumura\*  
Akito Nishi\*

Abstract

Intra-cell thermal neutron flux distributions in 0.54 w/o PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> fuel loaded in 22.5 cm pitch lattice have been measured by means of dysprosium foil activation method for coolant void fractions of 0 %, 30 %, 70 % and 100 %. These results are compared with values calculated by NOAH-II code.

Thermal neutron flux distributions in D<sub>2</sub>O moderator region were measured with better accuracy ( $\pm 1.5$  %) with a new experimental technique. Measurements at the inside and outside of a pressure tube and a calandria tube were made with a foil handling technique which had been developed in the present experiment. As a result, the detailed comparison of thermal neutron flux distributions in the pressure and the calandria tube with the calculation could be performed.

The experimental result for coolant void fraction of 100 % agrees with the calculated value better than the results for 0 %, 30 % and 70 %.

---

\* Heavy Water Critical Experiment Section, Oarai Engineering Center, P.N.C.

## 目 次

1	概 要	1
2	実 験 方 法	2
2.1	実 験 体 系	2
2.2	プルトニウム燃料中の測定	3
2.3	燃料中以外の測定	3
3	実 験 結 果	13
3.1	熱中性子束分布	13
3.2	実 験 誤 差	16
3.3	局所ピーキングファクター	28
3.4	損 失 因 子	28
4	検 討	30
5	結 論	37
6	謝 辞	38
	参 考 文 献	38
	付 録 1 0.54 w/o PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub> 燃料物理定数	39
	付 録 2 NOAH-II計算用入力	40

# 1 概 要

プルトニウム燃料装荷炉心における単位格子内の熱中性子束分布の測定をおこなった。測定は Dy-A1 合金箔を用いた箔放射化法によっておこない、炉心の中心チャンネルの単位格子内の燃料中、冷却材中、圧力管とカランドリア管の管壁、重水中の各点での放射化量が求められた。

今回使用したプルトニウム燃料は、プルトニウム富化度 0.54 w/o で、冷却材ボイド率 0%、30%、70%、100% について実験をおこなった。

また、クラスター型燃料の核設計計算コードとして用いられている NOAH-II コードによる計算値との比較も行なった。

# 2 実 験 方 法

## 2.1 実 験 体 系

炉心中央クラスターにおける燃料中、冷却材中、圧力管とカランドリア管壁、重水中に Dy-A1 合金箔 (以後 Dy-A1 箔と略) を配置し、熱出力 300W ( $\sim 10^8$  n/cm<sup>2</sup>·sec) で 30 分間照射した。

実験に用いた炉心構成は Fig. 1 に示したように 22.5 cm ピッチで、0.54 w/o PuO<sub>2</sub> - UO<sub>2</sub> 燃料体 25 体、1.2 w/o UO<sub>2</sub> 燃料体 96 体である。Table 1 に各冷却材ボイド率における臨界水位と冷却材の成分を示す。

Table 1 Experimental condition

Void fraction (%)	Critical level of D <sub>2</sub> O moderator (cm)	Composition of the coolant material (w/o)			
		D <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	B	Air
0	83.8	0	100	0	0
30	86.6	36.82	63.17	0.00921	0
70	92.6	81.91	18.07	0.0215	0
100	103.4	0	0	0	100

## 2.2 プルトニウム燃料中の測定

プルトニウム燃料ペレット内の熱中性子束分布の測定と燃料中以外 (冷却材中、圧力管、カランドリア管、重水中) の分布の測定は別々に照射しておこなった。これはプルトニウム燃

料中の測定の場合、Fig. 2に示したようにCd比を同時に測定するためCd disk, Cd ringを使用している。このため、冷却材中、重水中の熱中性子束分布にひずみをおこすことが考えられるからである。

このように別々に照射をおこなった場合における2つの分布の規格化は、圧力管外壁の同じ場所にはりつけたDy-A1箔（P-1およびP-2）でおこなった。Fig. 3にはDy-A1箔の燃料中における箔配置の断面図を示した。第3リングについては幾何学的に非対称な位置2ヶ所で測定をおこなった。またBare箔（Cdカバーをしないfoil pack）の位置は燃料棒下端より40cmにした。箔はリサーチ・ケミカル社製のDy-A1箔で各仕様はTable 2に示した。

燃料中の熱中性子束分布の測定に用いた箔は14.8mmφで、Fig. 2のようにAl foil（厚さ0.02mm）で包みfoil pack形式<sup>1)</sup>にした。これは、PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>粉末によるDy-A1箔への汚染、又fission productの汚染を防ぐためである。規格化用の箔は7mmφで圧力管外壁にスコッチテープで対称な位置2ヶ所（P-1およびP-2）にはりつけた。

実験用のDy-A1箔入りプルトニウム燃料<sup>2)</sup>は、グローブボックス内での作業の関係上、1mの分割型燃料棒とし、動力炉・核燃料開発事業団東海事業所プルトニウム燃料部で製作した。しかし、DCAにおける燃料棒は2mであるため、照射時には上部に1mの燃料棒を接続し2mの長さにして使用した。

照射された燃料棒はグローブボックス内で被覆管（Zry-2）を切断し、中よりDy-A1箔入りAl packを取り出し、Al pack表面のPuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>粉末による汚染を除去したあとグローブボックス内より取り出した（バックアウト）。次に洗浄用のグローブボックス内に入れAl packよりDy-A1箔を取り出し、超音波洗浄器で洗浄したあとグローブボックス内より取り出し、汚染チェックを行なったあとオープンポート内で測定した。

放射化箔の測定はFig. 4に示した測定回路系によって、半減期139.9分でベータ崩壊する<sup>165</sup>Dyのベータ線をおおのこの試料について4回ずつおこなった。放射化箔はグローブボックス内での作業の関係上、炉停止4時間後から測定された。

Table 2 Specification of Dy-A1 foil sheet

Dimensions	100 × 100 × 0.1mm
Physical property	Dy-A1 alloy
Dy contents	4%
Purity	99.697%
Maker	Research Chemical Inc.

### 2.3 燃料中以外の分布の測定 (3), (4)

燃料中以外の測定は、冷却材中、圧力管壁の内側と外側、カランドリア管壁の内側と外側、重水中である。

冷却材中の測定はセクター箔を用いておこなった。セクター箔は Dy - Al シートから Fig. 5 (a) に示したように切りぬき、照射する場合にはこのセクター箔を Fig. 5 (b) のようにアクリルホルダーで曲らないように固定した。照射したセクター箔は Fig. 5 (a) に示したように冷却材を 7 つの領域に分けて、セクター箔を切断し測定した。

圧力管壁とカランドリア管壁の内側は 7mm $\phi$  の Dy - Al 箔をスコッチテープでナイロン糸にはりつけ Fig. 6 (a) のようにする。これを Fig. 6 (b) のように先端にゴムをつけた棒を用いて圧力管壁とカランドリア管壁にはりつけ、次に上部においてナイロン糸を切り、用具を取り出し Fig. 6 (c) の様な状態にして燃料体を装荷した。圧力管壁とカランドリア管壁の外側は 7mm $\phi$  の Dy - Al 箔をおのおの対称な場所にスコッチテープではりつけた。

重水中の熱中性子束分布の測定は Fig. 7 に示したような Al 製のホルダーを用いて 0° 方向と 45° 方向についておこなった。

以上の燃料中以外の測定点は炉心の下部グリット板より 40 cm の位置で、これは燃料中における Bare 箔の位置と同じである。

Fig. 8 に単位格子内熱中性子束分布の測定におけるすべての箔の配置を示した。放射化量の測定は Fig. 9 に示したようなサンプルチェンジャーを用いて、おのおのの箔について 4 回ずつおこなった。



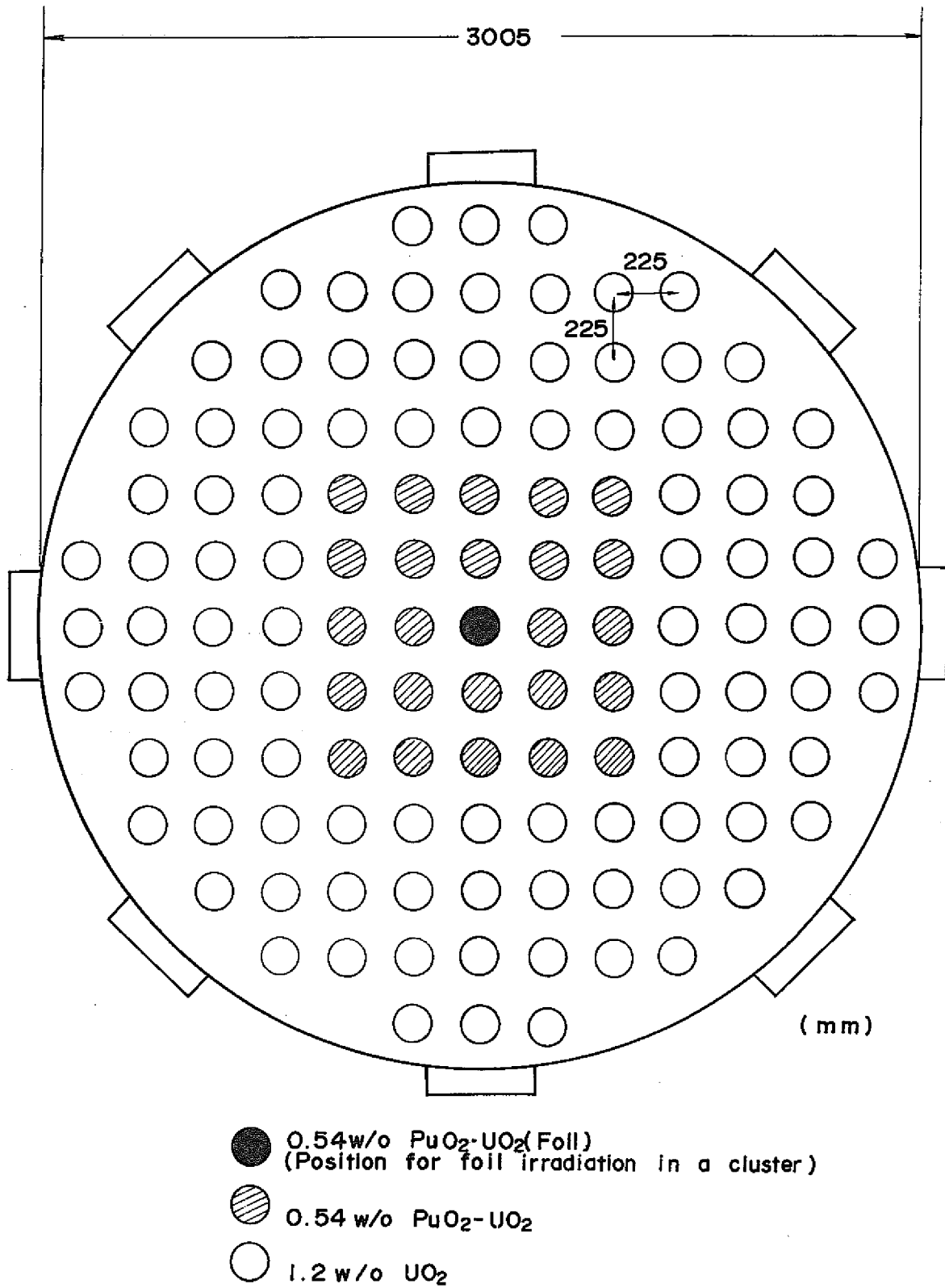


Fig. 1 DCA core configuration

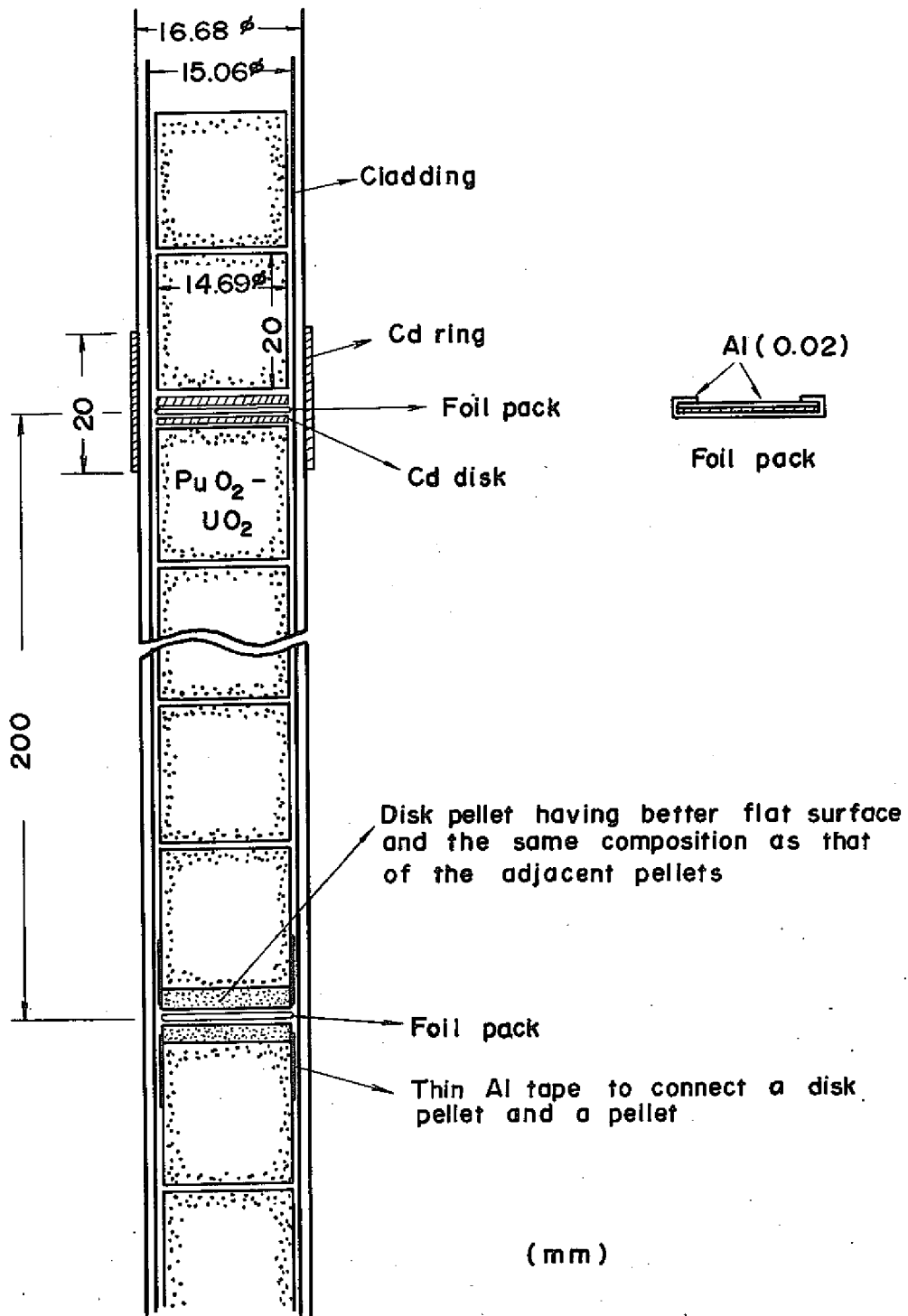


Fig.2 Foil arrangement in 0.54 w/o PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> fuel

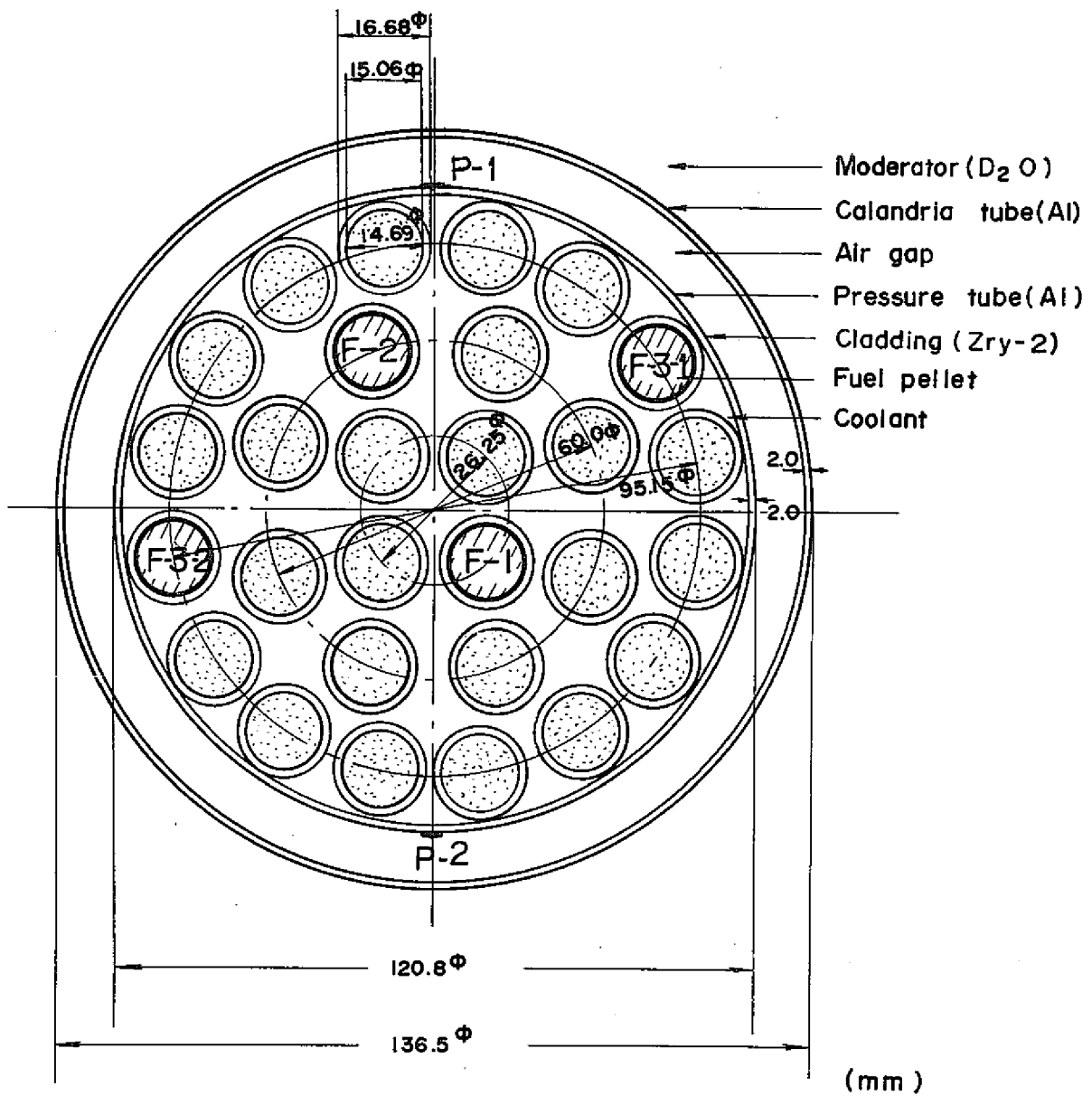


Fig. 3 Cross sectional view of foil positions in 0.54 w/o PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> fuel cluster

$2' \times \frac{1}{8}'' \text{ t CaF}_2(\text{Eu})$   
Scintillator

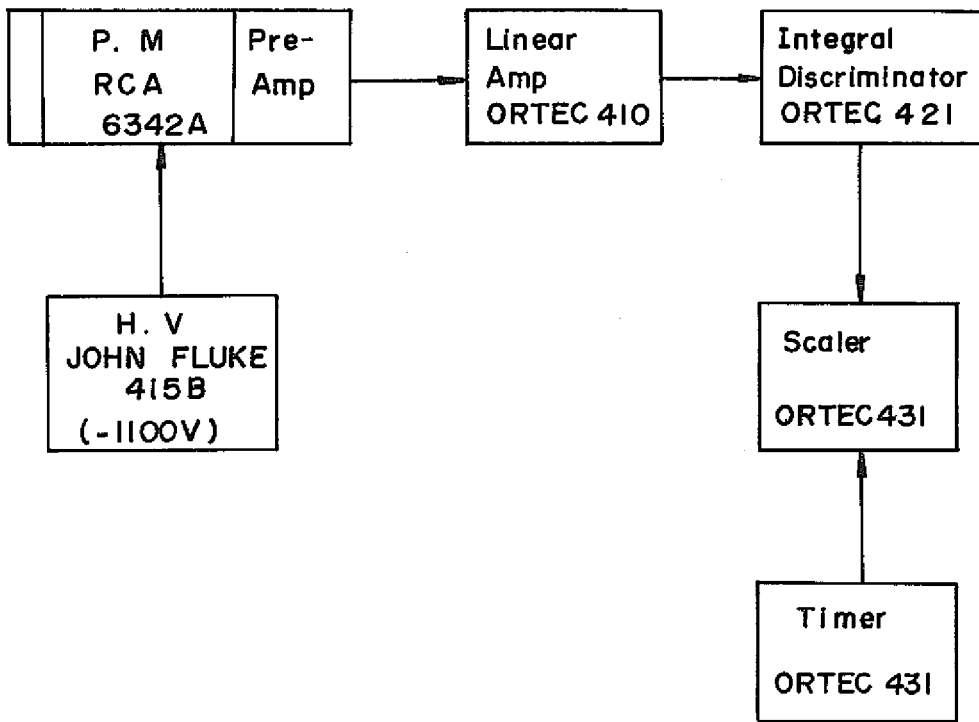


Fig. 4 Block diagram of  $\beta$  - ray measurement system

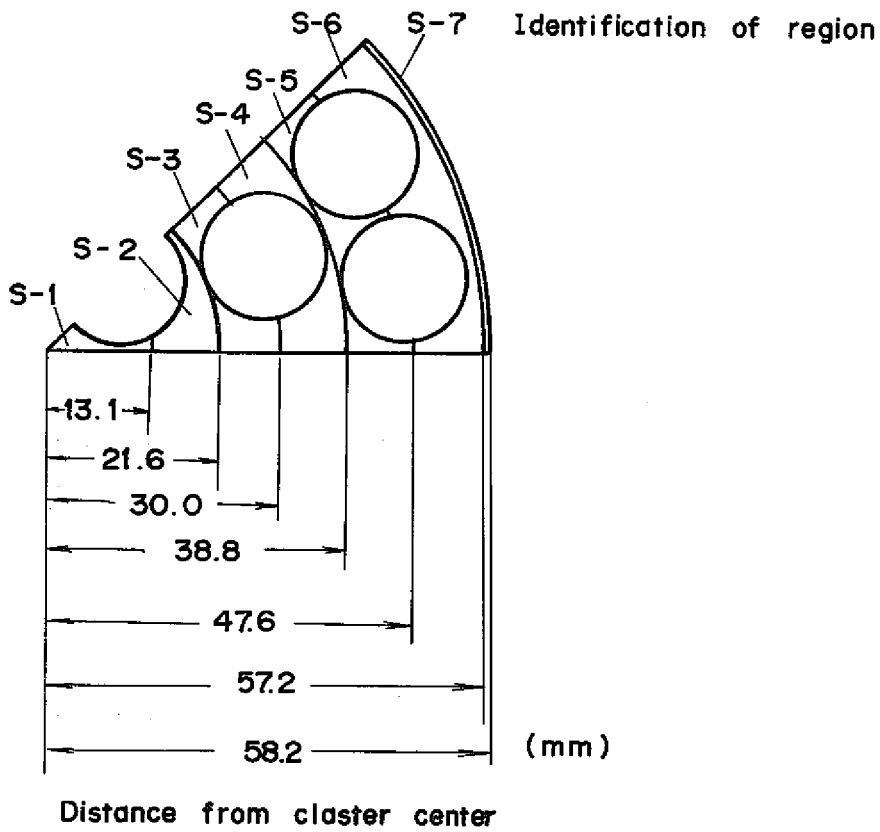


Fig.5 (a) Sector foil for measurement of Dy reaction rate in coolant region

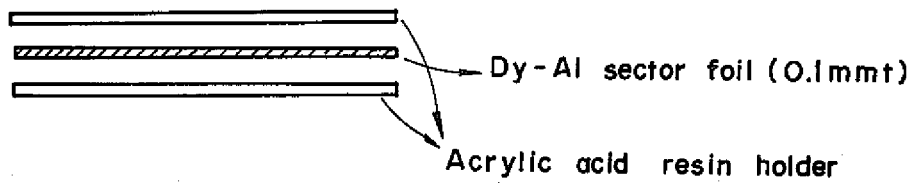


Fig.5(b) Sector foil and its holder arrangement in coolant region

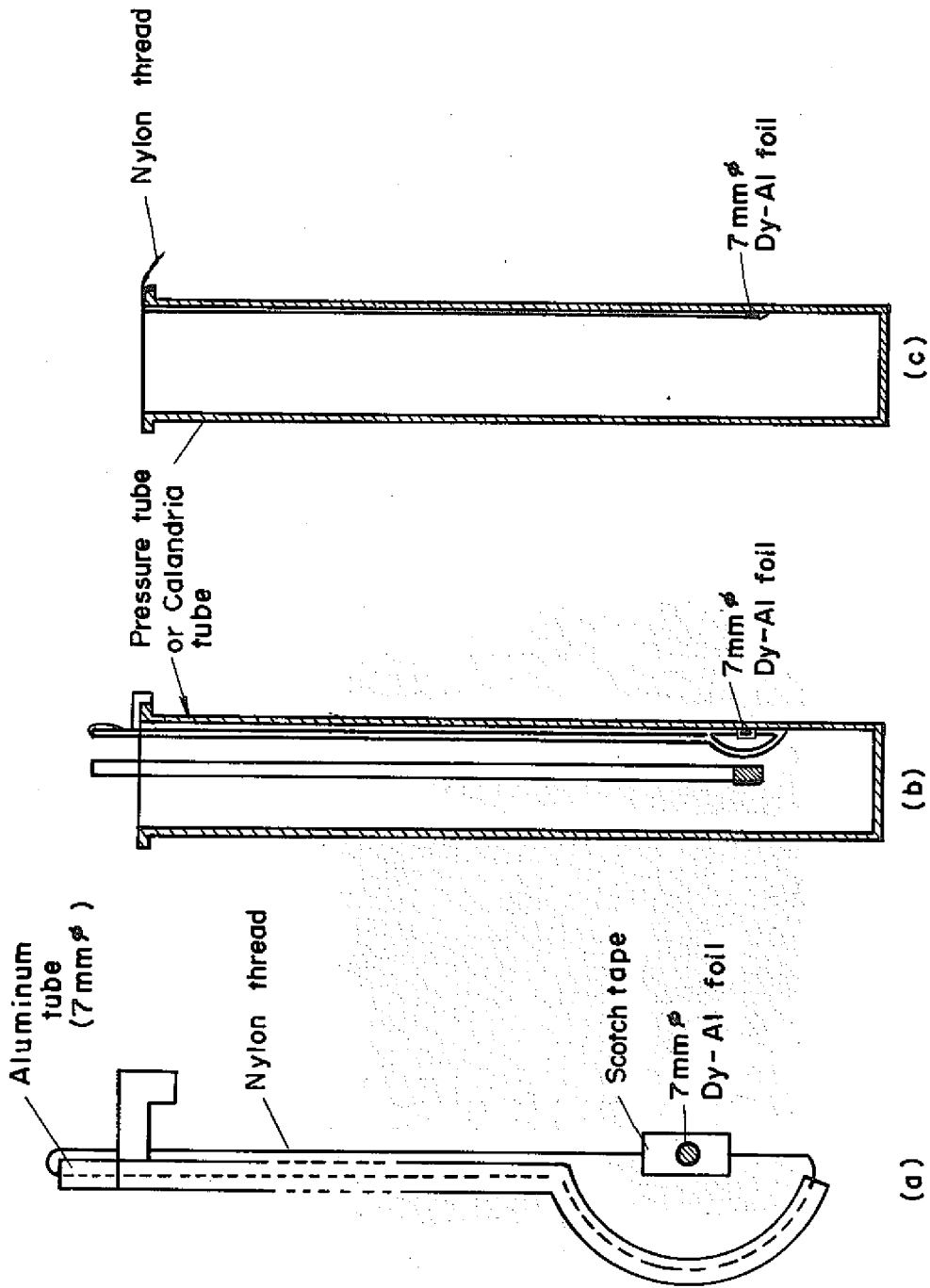
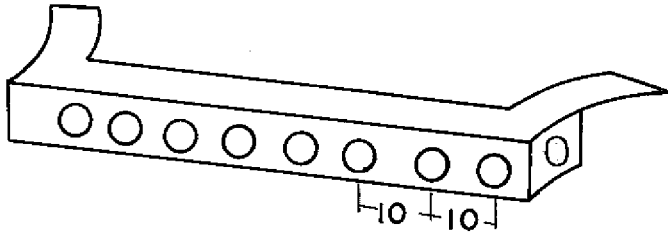


Fig. 6 Experimental technique for measurement at the inside of pressure and calandria tube



(mm)



Fig. 7 Holder for measurement in D<sub>2</sub>O region

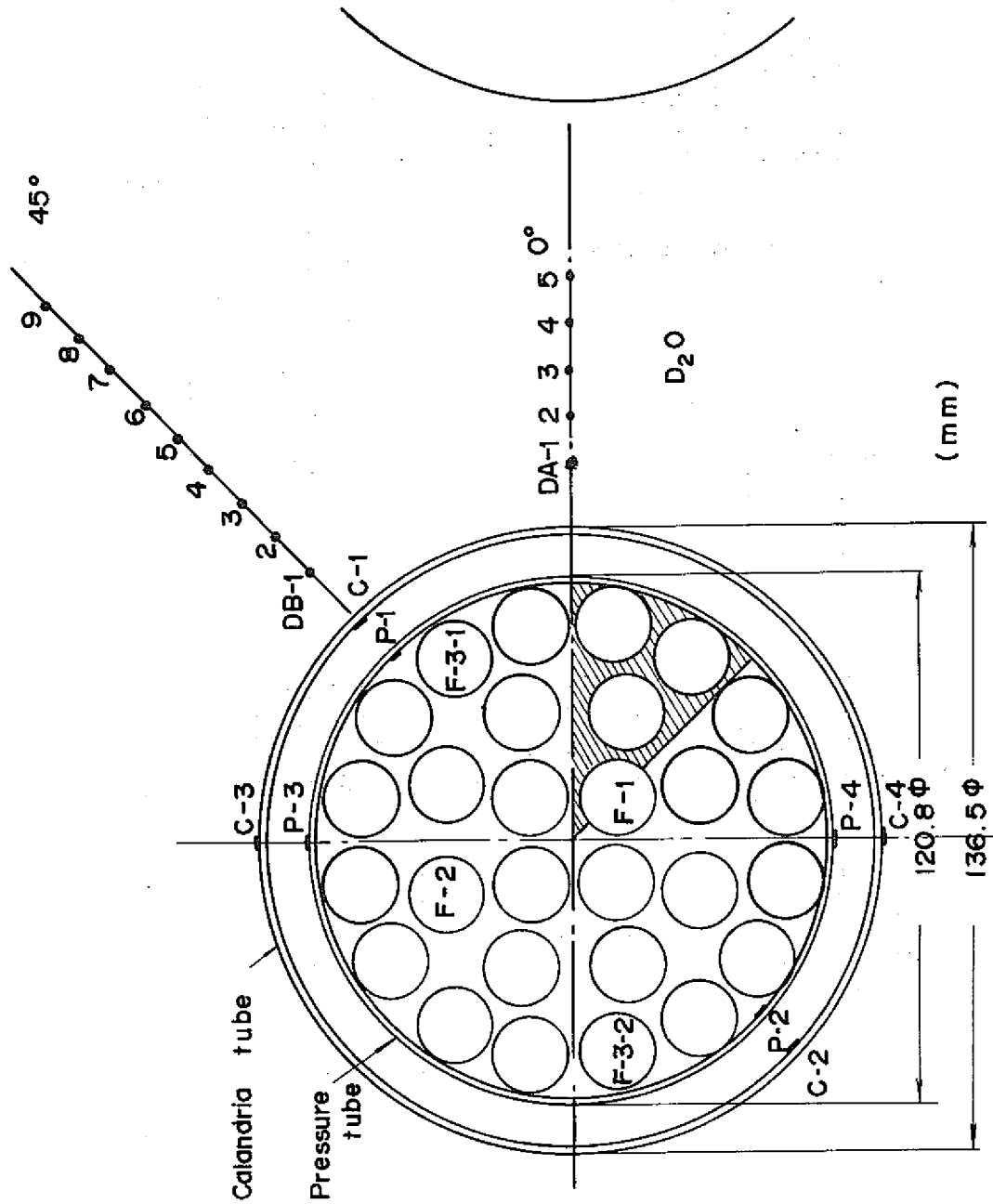


Fig. 8 Foil arrangement in unit cell



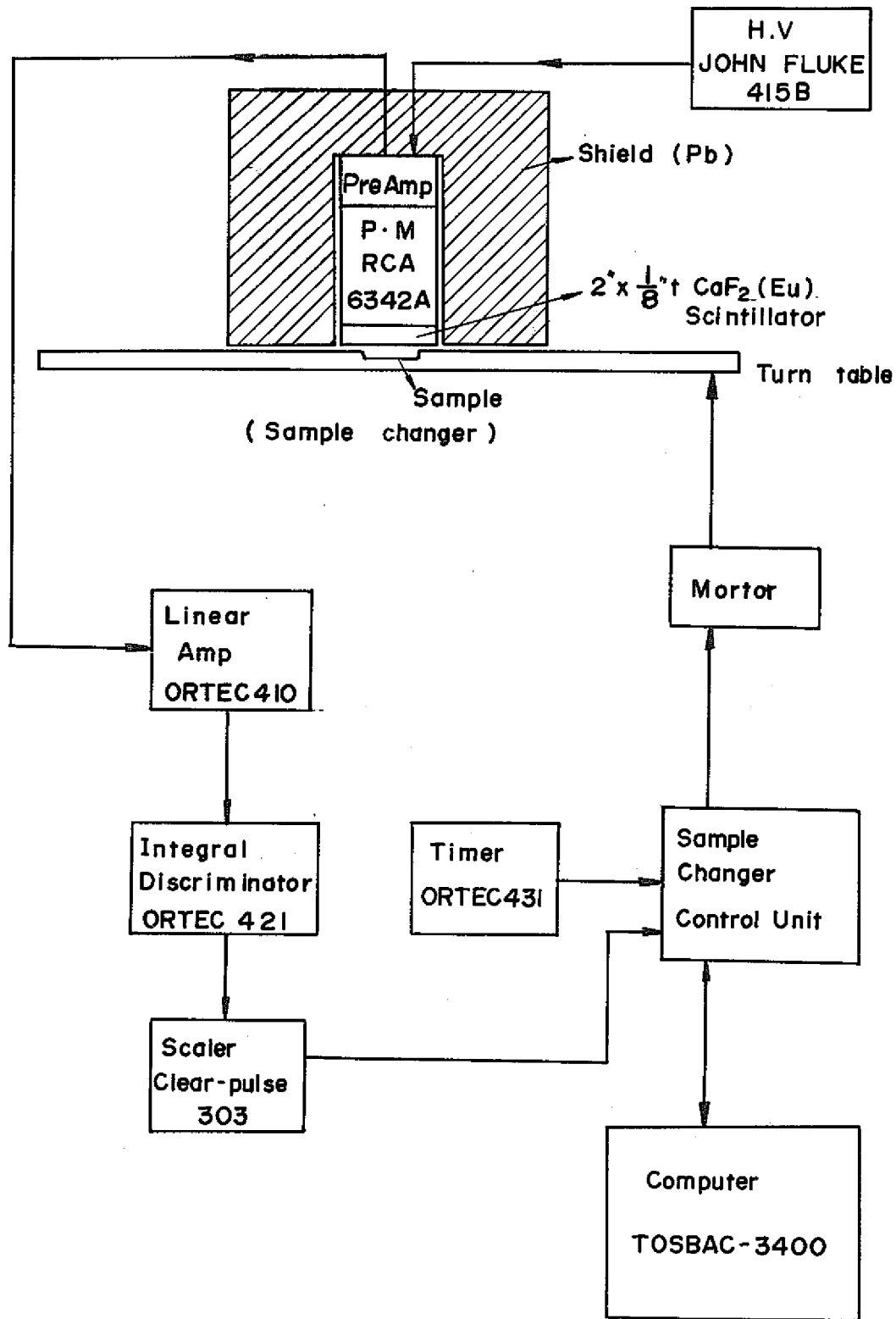


Fig. 9 Block diagram of  $\beta$ -ray measurement system

## 3 実 験 結 果

## 3.1 熱中性子束分布

Fig. 10 に測定されたデータの処理手順のブロックダイアグラムを示す。

計数値は式(1)によってバックグラウンド、不感時間、時間による減衰、箔の検出感度を補正した。

$$A_{\text{bare}} = \frac{\frac{n_0}{1 - \frac{n_0}{t_c} \tau} e^{-n_{\text{Bg}} t_c}}{\frac{1 - e^{-\lambda t_c}}{\lambda}} \frac{e^{\lambda t_s}}{m} \quad (1)$$

ここで  $n_0$  : 計数値

$n_{\text{Bg}}$ : バックグラウンド (cps)

$t_s$  : 計数開始時刻 (経過時間, sec)

$t_c$  : 計数時間

$\lambda$  :  $^{165}\text{Dy}$  の崩壊定数 (sec $^{-1}$ )

( $\lambda_{\text{Dy}} = 0.00008258$ )

$\tau$  : 不感時間

$m$  : 箔の重量

次に式(2)を用いてサブ・カドミ放射化量を求めた。その場合に使用した補正係数を Table 4 に示した。

$$A_{\text{sub-Cd}} = A_{\text{bare}} \cdot \frac{C \cdot R - 1}{C \cdot R} = A_{\text{bare}} \cdot C_{\text{Cd}} \quad (2)$$

ここで  $A_{\text{bare}}$  : Dy 裸箔の放射化量

$C_{\text{Cd}}$  : カドミ補正係数

$C \cdot R$  : Dy のカドミ比

$A_{\text{sub-Cd}}$  : Dy のサブ・カドミ中性子による放射化量

又炉心半径方向のgrossな中性子束分布の補正は式(3)を用いておこなった。

$$A_{\infty}(r) = \frac{A_{\text{sub-Cd}}(r)}{J_0(Br r)} \quad (3)$$

ここで  $r$  : 炉心中央チャンネルの中心からの距離

$A_{\text{sub-Cd}}$  : 測定点  $r$  における sub-Cd 放射化量

$J_0(Br r)$  : 半径方向のgrossな中性子束分布 (ベッセル関数)

この場合、炉心は 0.54 w/o  $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$  と 1.2w/o  $\text{UO}_2$  の 2 領域炉心である。一般には組成の異なる 2 つの領域の境界付近では中性子スペクトルは単純なものになっていない。それは両領域における領域の大きさ、組成、減速材の種類等に大きく依存する。2 領域における中性子スペクトルの平衡な部分ほどの程度の範囲で成立しているかについては報告書「ウラン炉心における単位格子内熱中性子束分布の測定<sup>3)</sup>」において検討がなされている。

それによると 2 つの領域の境界より約 10 cm 離れれば中心領域の中性子スペクトルは 1 % 以内で一定となり、かつその値は 1 領域炉心の場合の値と一致していると結論している。

また実験的な検証としては、報告書「新型転換炉二領域臨界実験、スペクトルインデックスの測定<sup>5)</sup>」にスペクトルインデックス  $r_1$   $\left( \equiv \frac{(A_{\text{In}}^{116\text{m}}/A_{\text{Mn}}^{56}) x}{(A_{\text{In}}^{116\text{m}}/A_{\text{Mn}}^{56}) \text{ col}} \right)$  およ

び  $r_2$   $\left( \equiv \frac{(A_{\text{Lu}}^{177}/A_{\text{Mn}}^{56}) x}{(A_{\text{Lu}}^{177}/A_{\text{Mn}}^{56}) \text{ col}} \right)$  の値が中央領域の一定の範囲内で一定の値になるこ

ことが示されている。即ち 9 ケの unit cell が減速材の大幅に異なる軽水ドライバーに囲まれた場合の格子において、境界（ドライバー）より半ピッチ（11.25 cm）離れた場所の内側では一定のスペクトルインデックスが求められている。

今回、上記 2 つの検証がプルトニウム燃料格子の体系について、どの程度成立するか更に詳細に検討した。NOAH-II の計算により得られた各領域の組定数を使用して、CITATION による 2 次元 4 群拡散計算により中性子スペクトルの一定になる範囲を調べた。その結果、領域の境界より半ピッチ（11.25 cm）離れていれば、中心の  $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$  燃料領域のスペクトルは 1 % 以内で一定となることが認められた。このため  $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$  領域では 1 群拡散近似が成り立つと考えられる。以上のことよりグロスな中性子束分布の補正は 0 次のベッセル関数でおこなった。

次に係数  $B_r$  は次の様にして求めた。

7 mm  $\phi$  の Dy-Al 箔を 3.75 cm 間隔で Al 製ミゾ型ホルダーにはりつけ Fig. 11 に示したように炉心に配置し、炉心全体の中性子束分布を求めた。このようにして測定された分布の一例を Fig. 12 に示した。求めた中性子束分布より  $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$  領域における格子的に対称な点を結ぶと A, B, C, D という 4 つの曲線が求まる。これはそれぞれグロスな中性子束分布を示す。この 4 つの曲線を最小自乗法を用いた fitting によりそれぞれの曲線の係数  $B_r$  を求め、4 つの値を平均してそのポイドにおける  $B_r$  とした。Table 3 に各ポイド率における係数  $B_r$  を示す。

以上のように各補正をおこない圧力管外側で規格化した値を Table 6, 7, 8, 9 に示す。カドミ比の補正は、冷却材中についてはカドミ比の測定データがないため、各リングの燃料中のカ

ドミ比を用い、又重水中でのカドミ比は一定とした。

Fig. 13, 14, 15, 16には各ボイド率における圧力管外側で規格化した単位格子内の熱中性子束分布を示す。クラスター内の分布において白丸は燃料中、黒丸は冷却材中での値を示す。

Table 3 Arguments of Jo function for correcting gross neutron flux distribution

coolant void fraction argument	0 %	30 %	70 %	100 %
B r	0.0194	0.0191	0.0189	0.0186

Table 4

Cd-ratio of Dy-reaction rate in each fuel pin and D<sub>2</sub>O moderator region for the 0.54w/o PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> fuel loaded lattice

	0 %	30 %	70 %	100 %
F - 1	426 ± 1.9	407 ± 1.2	325 ± 1.5	308 ± 0.5
F - 2	548 ± 1.1	516 ± 2.3	367 ± 0.6	360 ± 0.8
F - 3 - 1	742 ± 1.1	681 ± 2.5	519 ± 1.4	415 ± 0.6
F - 3 - 2	722 ± 1.4	667 ± 2.2	527 ± 1.1	448 ± 0.9
D <sub>2</sub> O	110.2 ± 5.0	105.3 ± 4.2	104.2 ± 4.3	86.4 ± 3.0

Correction factor \* to obtain sub-Cd reaction rate from Dy bare reaction rate

	0 %	30%	70%	100%
F - 1	0.977	0.975	0.969	0.968
F - 2	0.982	0.981	0.973	0.972
F - 3 - 1	0.987	0.985	0.981	0.976
F - 3 - 2	0.986	0.985	0.981	0.978
D <sub>2</sub> O	0.991	0.991	0.990	0.988

\* Definition  $\frac{C \cdot R - 1}{C \cdot R}$  C · R ; Cd-ratio

3.2 実験誤差

実験上又はデータ処理上に生じた実験誤差をまとめてTable 5に示した。Alホルダーによる重水中分布の perturbation の誤差は以前に比べて  $\frac{1}{10}$  になっているが、これは測定用具の改良にともなうもので以前の用具に比べて重量、面積で  $\frac{1}{10}$  以下になったためである。又今回は測定点を毎回実測して、その際の位置のずれによる誤差ももとめた。

以上の誤差の評価より、単位格子内の熱中性子束分布に対する誤差は冷却材中で  $\pm 3\%$ 、圧力管カランドリア管の内側では  $\pm 2\%$  であるが、それ以外の燃料中、圧力管とカランドリア管の外側、重水中の分布は  $\pm 1.5\%$  である。

Table 5 Summary of experimental error

Error	Source of error	Magnitude (%)					Remarks
		Fuel	Coolant	C.T,P.T inside	C.T,P.T outside	D <sub>2</sub> O	
Random		± 1	± 1	± 1	± 1	± 1	
Systematic	Counter dead time correction, Decay constant uncertainty	± 0.6	± 0.6	± 0.6	± 0.6	± 0.6	ref (4)
	Counting efficiency Cd ratio correction	± 0.6	± 0.1	± 1.0	± 0.6	± 0.6	
	Thermal neutron flux perturbation by Dy foil	- 0.5	/	- 0.1	- 0.1	- 0.1	
	Thermal neutron flux perturbation by Dy sector foil	/	- 2.5	/	/	/	
	Thermal neutron flux perturbation by Al holder	/	/	/	/	- 0.2	
	Position uncertainty	± 0.3	± 0.3	± 1.0	± 0.3	± 0.3	
Total		± 1.5	± 3.0	± 2.0	± 1.5	± 1.5	

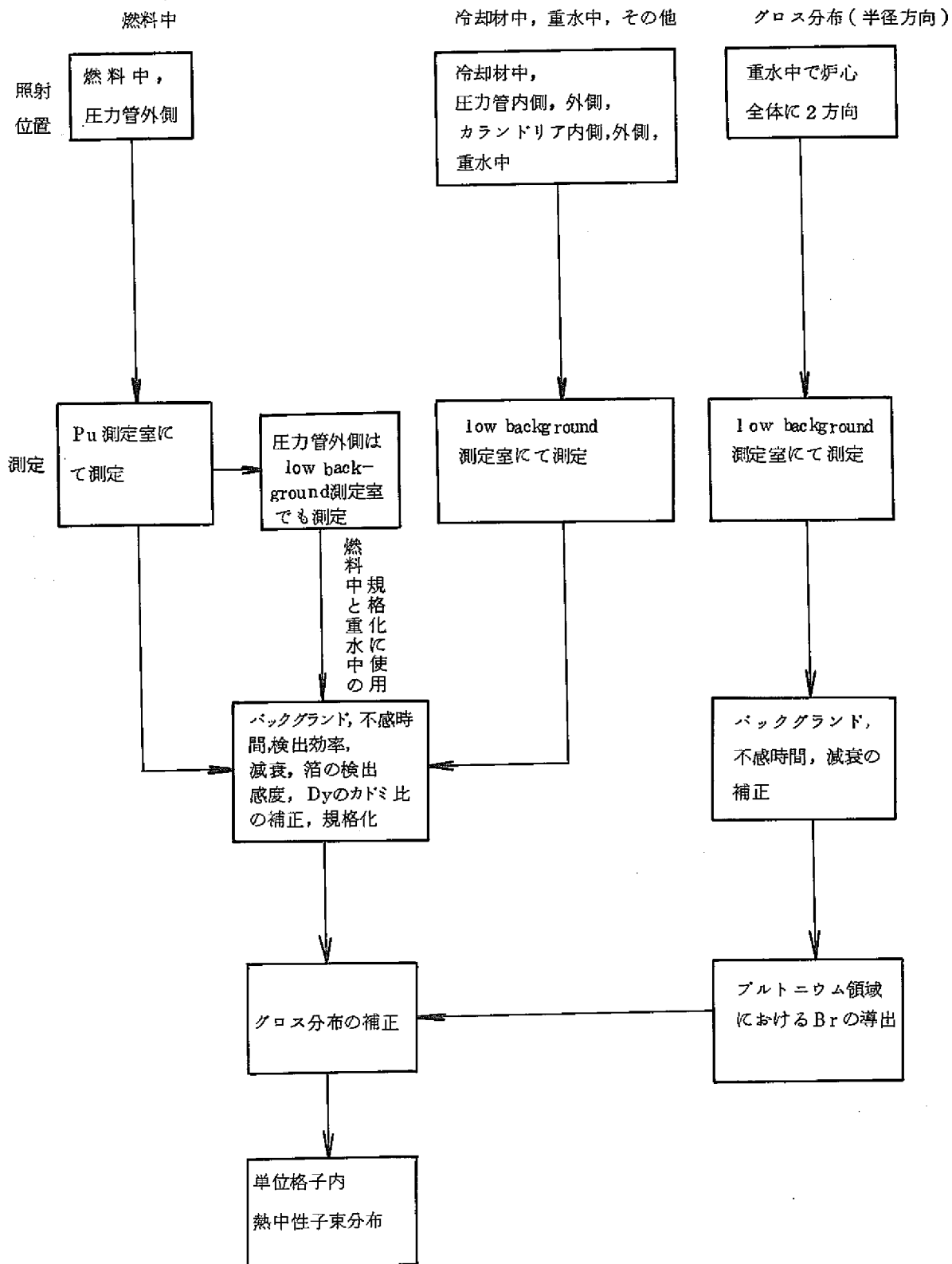


Fig. 10 Data processing procedure for measurement of intra-cell thermal neutron flux distributions

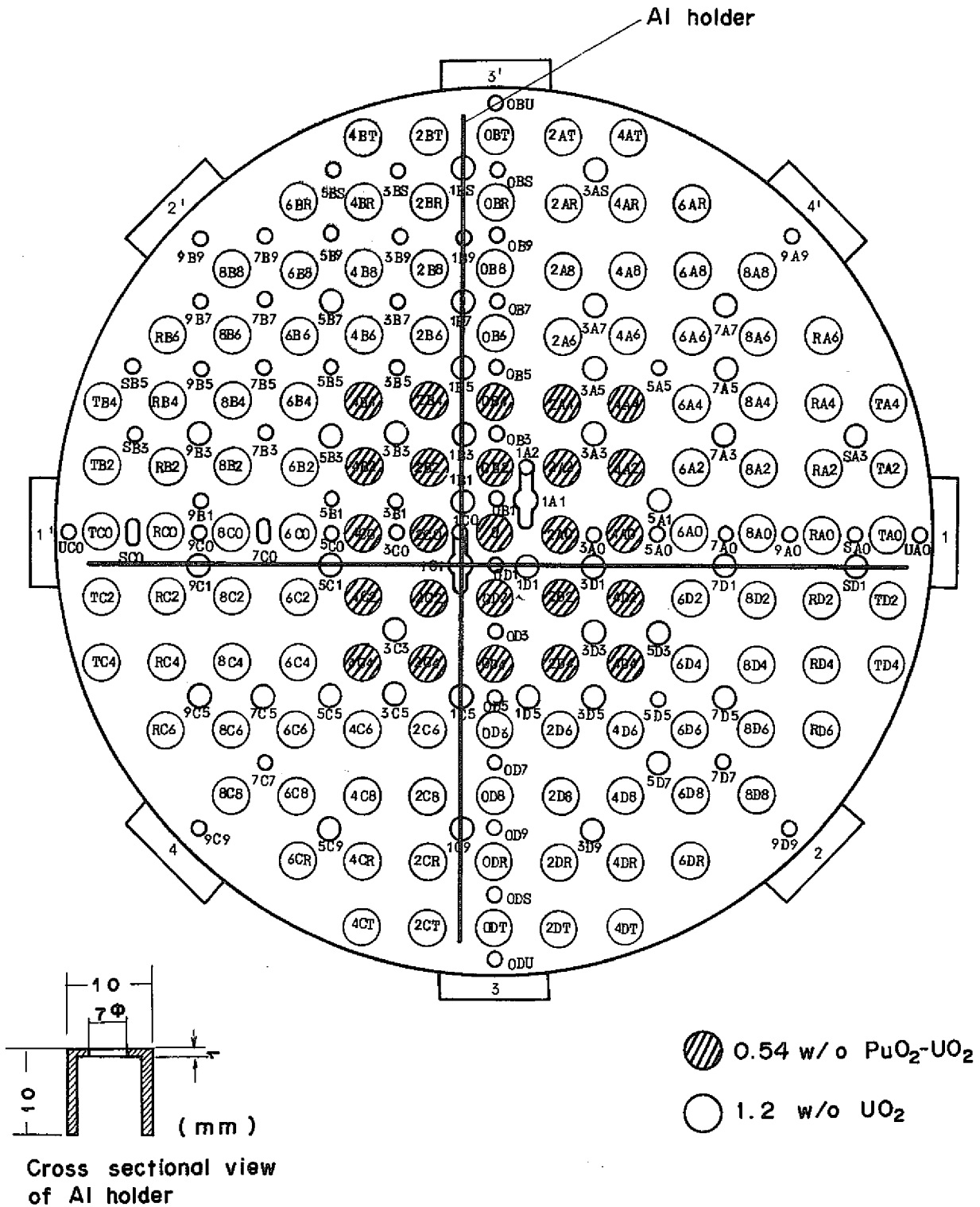


Fig.11 Al holder arrangement for measurement of gross distribution

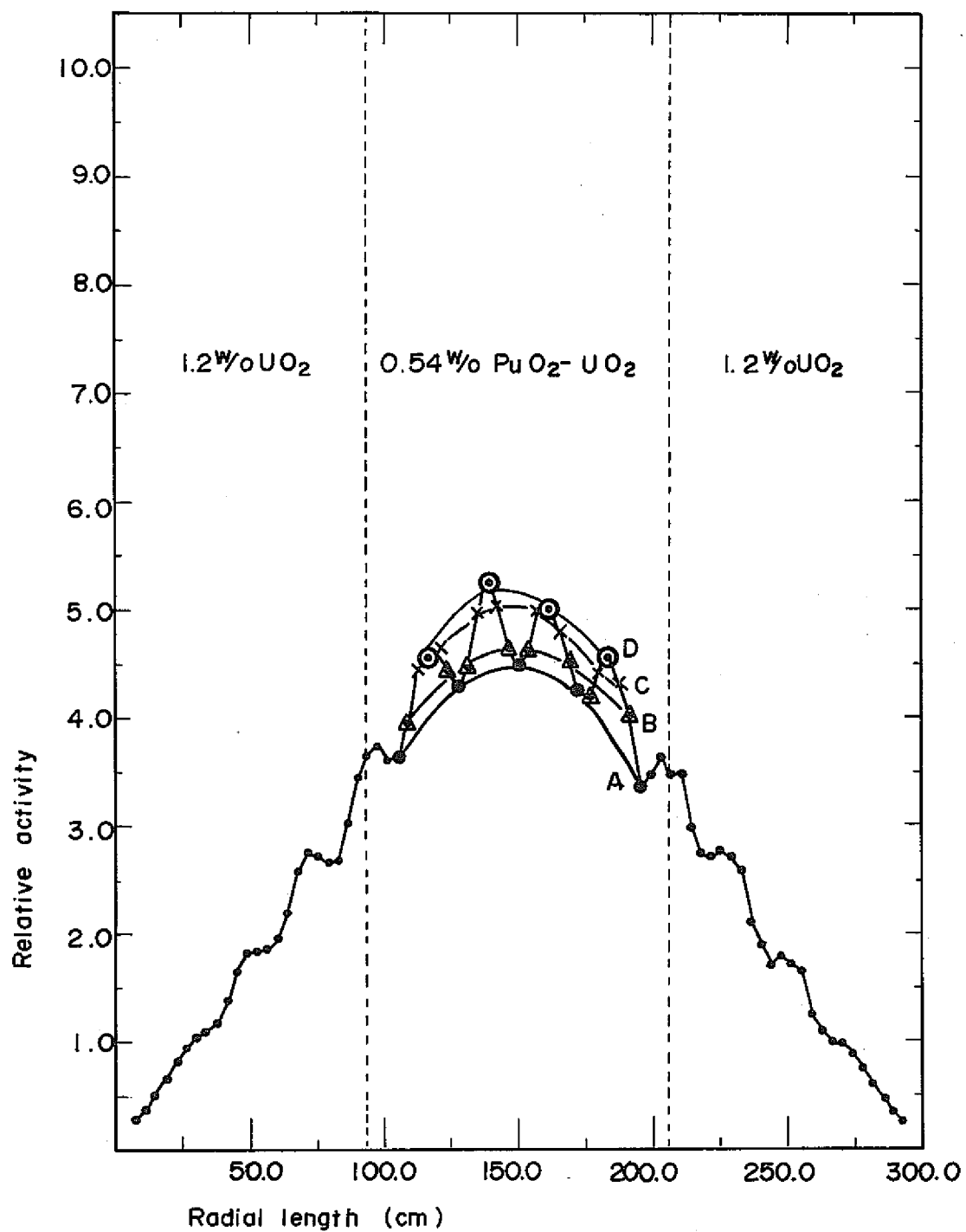


Fig. 12 Gross distribution (0.54 % PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>, 30% VOID)



Table 6 Intra-cell thermal neutron flux distribution  
with Dy-Al foils

22.5 cm lattice pitch, 0.54w/o PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>, 0%Void

Foil position	Dy bare	Error(%)	Cd ratio	C-R-1	Dy sub-Cd	J <sub>o</sub> (Br)	Corrected value	Normali- zed value	
				C-R					
Fuel	F - 1	0.840	0.4	426	0.977	0.821	1.000	0.821	0.278
	F - 2	1.095	0.3	548	0.982	1.075	0.999	1.076	0.364
	F - 3 - 1	1.594	0.4	742	0.987	1.573	0.998	1.576	0.534
	F - 3 - 2	1.573	0.3	722	0.986	1.551	0.998	1.554	0.526
Coolant	S - 1	0.921	0.5		0.977	0.900	1.000	0.900	0.305
	S - 2	1.021	0.3			0.998	1.000	0.998	0.338
	S - 3	1.106	0.6		0.982	1.086	0.999	1.087	0.368
	S - 4	1.339	0.8			1.315	0.998	1.318	0.446
	S - 5	1.457	0.8		0.987	1.438	0.997	1.442	0.488
	S - 6	2.202	0.7			2.173	0.997	2.179	0.738
	S - 7								
Pressure tube	P. T inside	2.912	0.8		0.991	2.886	0.997	2.895	0.980
	P. T outside	2.972	0.5			2.945	0.997	2.954	1.000
Calandria tube	C. T inside	3.001	0.6		0.991	2.974	0.996	2.986	1.011
	C. T outside	3.006	0.8			2.979	0.996	2.991	1.013
D <sub>2</sub> O	0° - 7.8	3.250	0.8		0.991	3.221	0.993	3.244	1.098
	- 8.8	3.336	0.9			3.306	0.992	3.333	1.128
	- 9.8	3.452	0.7			3.421	0.991	3.452	1.169
	- 10.8	3.494	0.5			3.463	0.988	3.505	1.187
	- 11.8	3.550	0.4			3.518	0.986	3.568	1.208
	45° - 7.9	3.258	0.6		0.991	3.229	0.993	3.252	1.101
	- 8.9	3.402	0.3			3.371	0.992	3.398	1.150
	- 9.9	3.560	0.5			3.528	0.991	3.560	1.205
	- 10.9	3.722	0.8			3.689	0.988	3.734	1.264
	- 11.9	3.768	0.6			3.734	0.986	3.787	1.282
	- 12.9	3.790	0.7			3.756	0.984	3.817	1.292
	- 13.9	3.838	0.6			3.803	0.982	3.873	1.311
	- 14.9	3.910	0.4			3.875	0.979	3.958	1.340
	- 15.9	3.906	0.8	110.2		3.871	0.976	3.966	1.342

Table 7 Intra-cell thermal neutron flux distribution  
with Dy-Al foils

22.5cm lattice pitch, 0.54w/oPuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>, 30%void

Foil position		Dy bare	Error (%)	Cd ratio	$\frac{C-R-1}{C-R}$	Dy <sub>sub</sub> -Cd	J <sub>o</sub> (Br)	Corrected value	Normalized value
Fuel	F-1	0.887	0.6	40.7	0.975	0.865	1.000	0.865	0.286
	F-2	1.142	0.4	51.6	0.981	1.120	0.999	1.121	0.371
	F-3-1	1.649	0.3	68.1	0.985	1.624	0.998	1.627	0.539
Coolant	F-3-2	1.666	0.3	66.7	0.985	1.641	0.998	1.644	0.545
	S-1	0.986	0.4		0.975	0.961	1.000	0.961	0.318
	S-2	1.193	0.3			1.163	1.000	1.163	0.385
	S-3	1.346	0.8		0.981	1.320	0.999	1.321	0.438
	S-4	1.570	0.5			1.540	0.999	1.542	0.511
	S-5	1.774	0.6		0.985	1.747	0.997	1.752	0.580
	S-6	2.331	0.4			2.296	0.997	2.303	0.763
	S-7	2.763	0.5			2.722	0.997	2.730	0.904
Pressure tube	P.T inside	2.912	0.3		0.991	2.886	0.997	2.895	0.959
	P.T outside	3.037	0.4			3.010	0.997	3.019	1.000
Calandria tube	C.T inside	3.057	0.4		0.991	3.029	0.996	3.041	1.007
	C.T outside	3.117	0.5			3.089	0.996	3.101	1.027
D <sub>2</sub> O	0° - 8	3.396	0.6		0.991	3.365	0.994	3.385	1.121
	- 9	3.573	0.6			3.541	0.992	3.570	1.183
	- 10	3.743	0.3			3.709	0.991	3.743	1.240
	- 11	3.733	0.4			3.699	0.989	3.740	1.239
	- 12	3.706	0.3			3.673	0.986	3.725	1.234
	45° - 8	3.407	0.6		0.991	3.376	0.994	3.396	1.125
	- 9	3.600	0.7			3.568	0.992	3.597	1.191
	- 10	3.792	0.3			3.758	0.991	3.792	1.256
	- 11	3.895	0.4			3.860	0.989	3.903	1.293
	- 12	4.021	0.3			3.985	0.986	4.042	1.339
	- 13	4.010	0.3			3.974	0.984	4.039	1.338
	- 14	4.124	0.6			4.087	0.982	4.162	1.379
	- 15	4.076	0.8			4.039	0.979	4.126	1.367
	- 16	4.035	0.3	105.3		3.999	0.976	4.097	1.357

Table 8 Intra-cell thermal neutron flux distribution  
with Dy-Al foils

22.5cm lattice Pitch, 0.54w/oPuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>, 70% void

Foil position	Dy bare	Error (%)	Cd ratio	$\frac{C-R-1}{C-R}$	Dy sub-cd	Jo(Br)	Corrected value	Normalized value			
Fuel	F - 1	0.987	0.7	32.5	0.969	0.956	1.000	0.956	0.328		
	F - 2	1.248	0.3	36.7	0.972	1.213	0.999	1.214	0.416		
	F - 3 - 1	1.850	0.6	51.9	0.981	1.815	0.998	1.819	0.624		
	F - 3 - 2	1.912	0.5	52.7	0.981	1.876	0.998	1.880	0.644		
Coolant	S - 1	1.112	0.8		0.969	1.078	1.000	1.078	0.370		
	S - 2	1.132	0.3			1.097	1.000	1.097	0.377		
	S - 3	1.419	0.8		0.972	1.379	0.999	1.380	0.473		
	S - 4	1.628	0.3			1.582	0.999	1.584	0.544		
	S - 5	1.848	0.7		0.981	1.813	0.997	1.818	0.623		
	S - 6	2.541	0.5			2.493	0.997	2.501	0.857		
	S - 7	2.837	0.4			2.783	0.997	2.791	0.957		
Pressure tube	RT inside	2.909	0.7		0.990	2.880	0.997	2.889	0.990		
	R.T. outside	2.937	0.5			2.908	0.997	2.917	1.000		
Calandria tube	C.T inside	3.028	0.7		0.990	2.998	0.996	3.010	1.032		
	C.T outside	3.080	0.6			3.049	0.996	3.061	1.049		
D <sub>2</sub> O	0° - 8	3.430	0.6		0.990	3.396	0.994	3.417	1.171		
	- 9	3.737	0.3			3.700	0.992	3.730	1.279		
	- 10	3.953	0.5			3.913	0.991	3.949	1.354		
	- 11	3.960	0.6			3.920	0.989	3.964	1.359		
	- 12	3.861	0.8			3.822	0.986	3.876	1.329		
	45° - 8	3.608	0.6		0.990	3.572	0.994	3.594	1.232		
	- 9	3.816	0.5			3.778	0.992	3.808	1.305		
	- 10	4.125	0.8			4.084	0.991	4.121	1.413		
	- 11	4.270	0.8			4.227	0.989	4.274	1.465		
	- 12	4.470	0.7			4.425	0.986	4.488	1.539		
	- 13	4.389	0.3			4.345	0.984	4.416	1.514		
	- 14	4.444	0.3			4.489	0.981	4.576	1.569		
	- 15	4.651	0.7			4.604	0.979	4.703	1.612		
	- 16	4.485	0.3			4.440	0.976	4.549	1.559		
						104.2					

Table 9 Intra-cell thermal neutron flux distribution  
with Dy-Al foils

22.5cm lattice pitch, 0.54w/oPuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>, 100% void

Foil position		Dy bare	Error (%)	Cd ratio	$\frac{C-R-1}{C-R}$	Dy sub-Cd	J <sub>o</sub> (Br)	Corrected value	Normalized value
Fuel	F-1	1318	0.5	30.8	0.968	1.276	1.000	1.276	0.480
	F-2	1539	0.3	36.0	0.972	1.496	0.999	1.497	0.563
	F-3-1	1985	0.4	41.5	0.976	1.937	0.998	1.941	0.730
	F-3-2	2089	0.2	44.8	0.978	2.043	0.998	2.047	0.770
Coolant	S-1								
	S-2								
	S-3								
	S-4								
	S-5								
	S-6								
	S-7								
Pressure tube	P.T. inside	2632	0.5		0.988	2600	0.997	2608	0.980
	P.T. outside	2683	0.6			2651	0.997	2659	1.000
Calandria tube	C.T. inside	2728	0.3		0.988	2695	0.997	2704	1.017
	C.T. outside	2813	0.6			2780	0.996	2791	1.050
D <sub>2</sub> O	0°-7.8	3355	0.3		0.988	3315	0.994	3335	1.254
	- 8.8	3714	0.7			3669	0.993	3695	1.390
	- 9.8	3888	0.4			3841	0.991	3876	1.458
	- 10.8	3996	0.7			3948	0.990	3988	1.500
	- 11.8	4044	0.5			3995	0.987	4048	1.522
	- 12.8	3913	0.5			3866	0.985	3925	1.476
	45°-7.9	3425	0.4		0.988	3384	0.994	3406	1.280
	- 8.9	3976	0.7			3928	0.993	3956	1.488
	- 9.9	4325	0.7			4273	0.991	4312	1.622
	- 10.9	4492	0.2			4438	0.989	4487	1.687
	- 11.9	4774	0.5			4717	0.987	4779	1.797
	- 12.9	4895	0.6			4836	0.984	4915	1.848
	- 13.9	5063	0.7			5002	0.982	5094	1.916
	- 14.9	5121	0.5			5060	0.979	5169	1.944
	- 15.9	5035	0.5	86.4		4974	0.976	5096	1.917

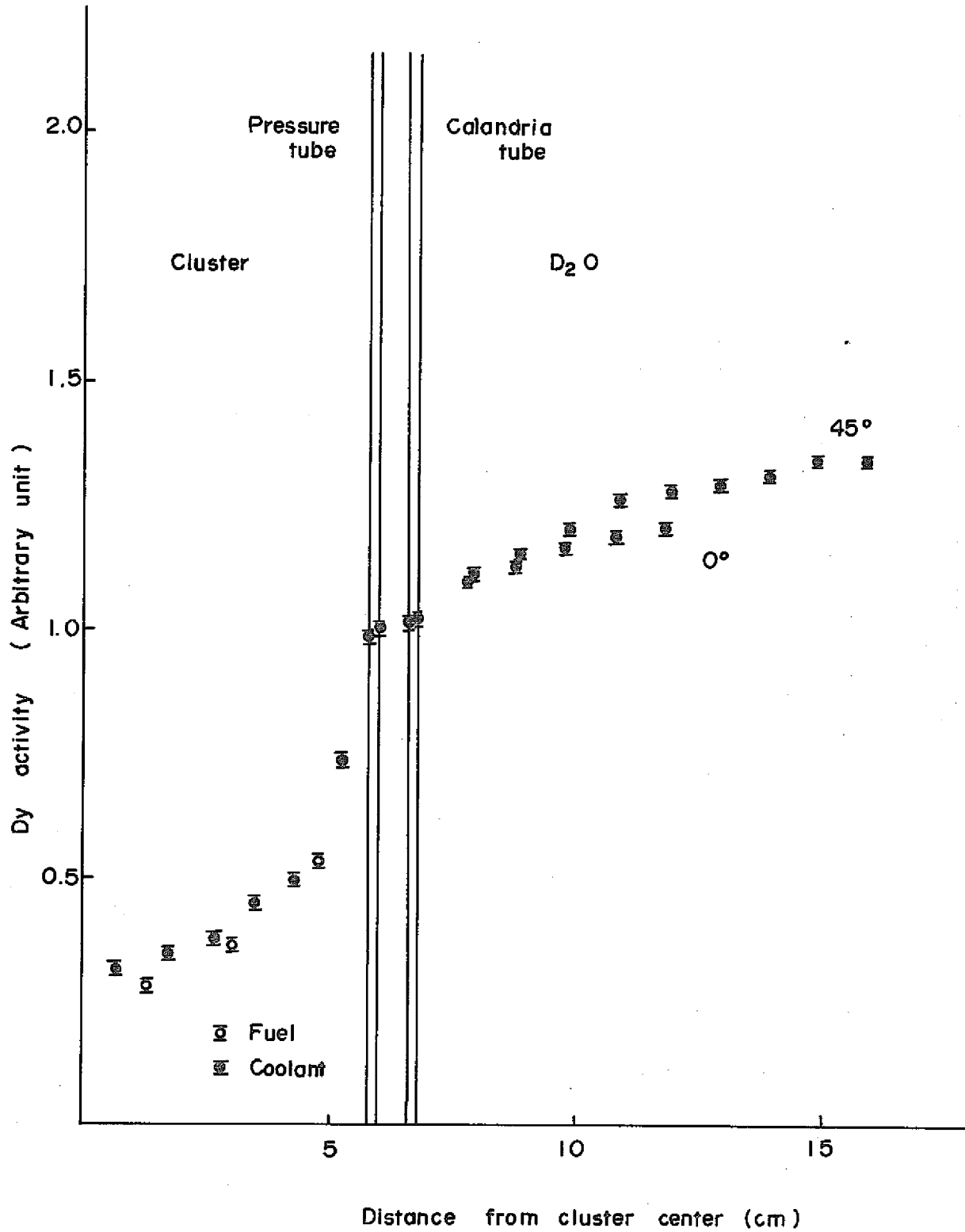


Fig. 13 Intra-cell thermal neutron flux distributions (0.54 w/o PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>, 0% Void)

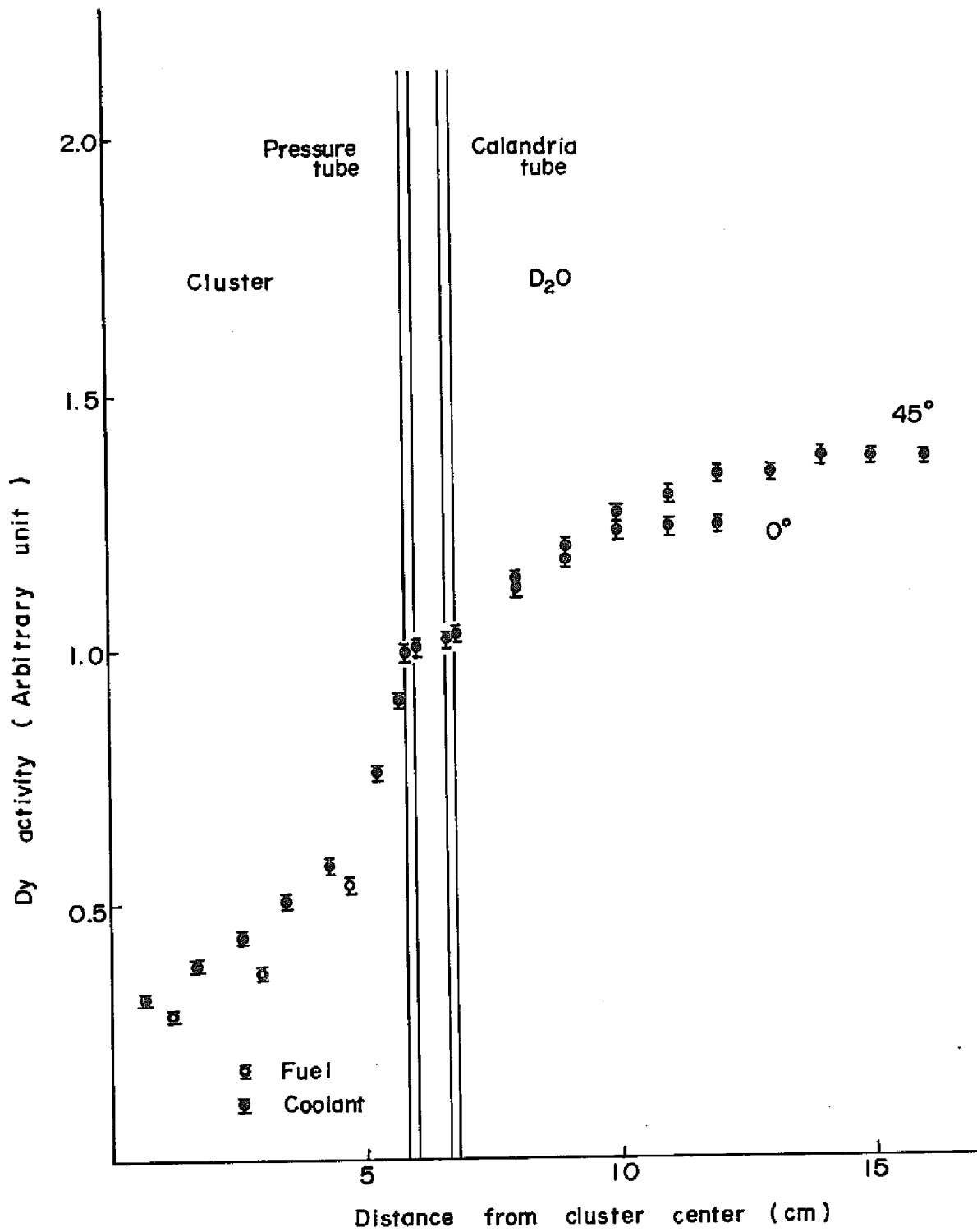


Fig.14 Intra-cell thermal neutron flux distributions  
(0.54w/o PuO<sub>2</sub> - UO<sub>2</sub> , 30% Void )

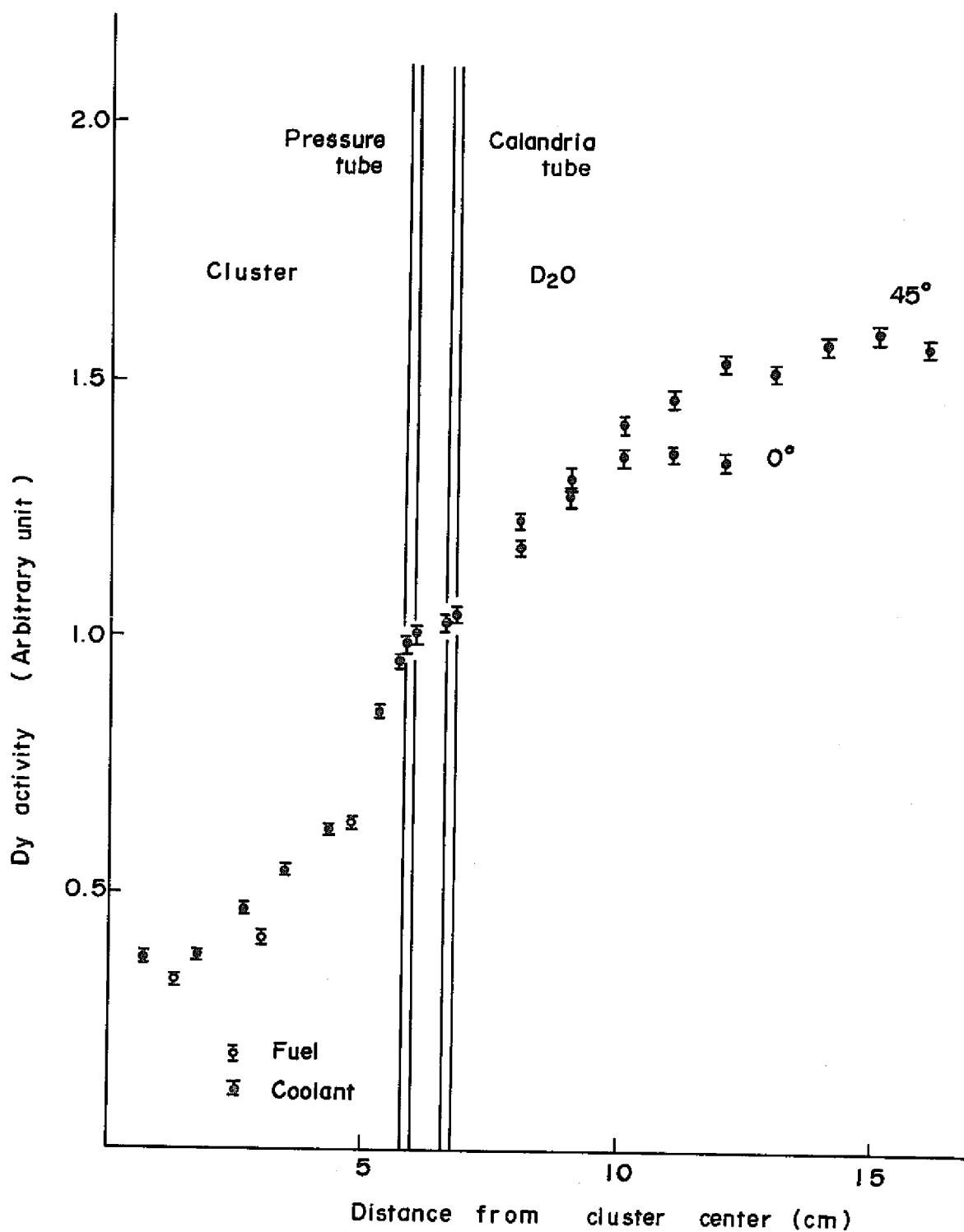


Fig.15 Intra-cell thermal neutron flux distribution  
(0.54w/o PuO<sub>2</sub> - UO<sub>2</sub>, 70% Void)

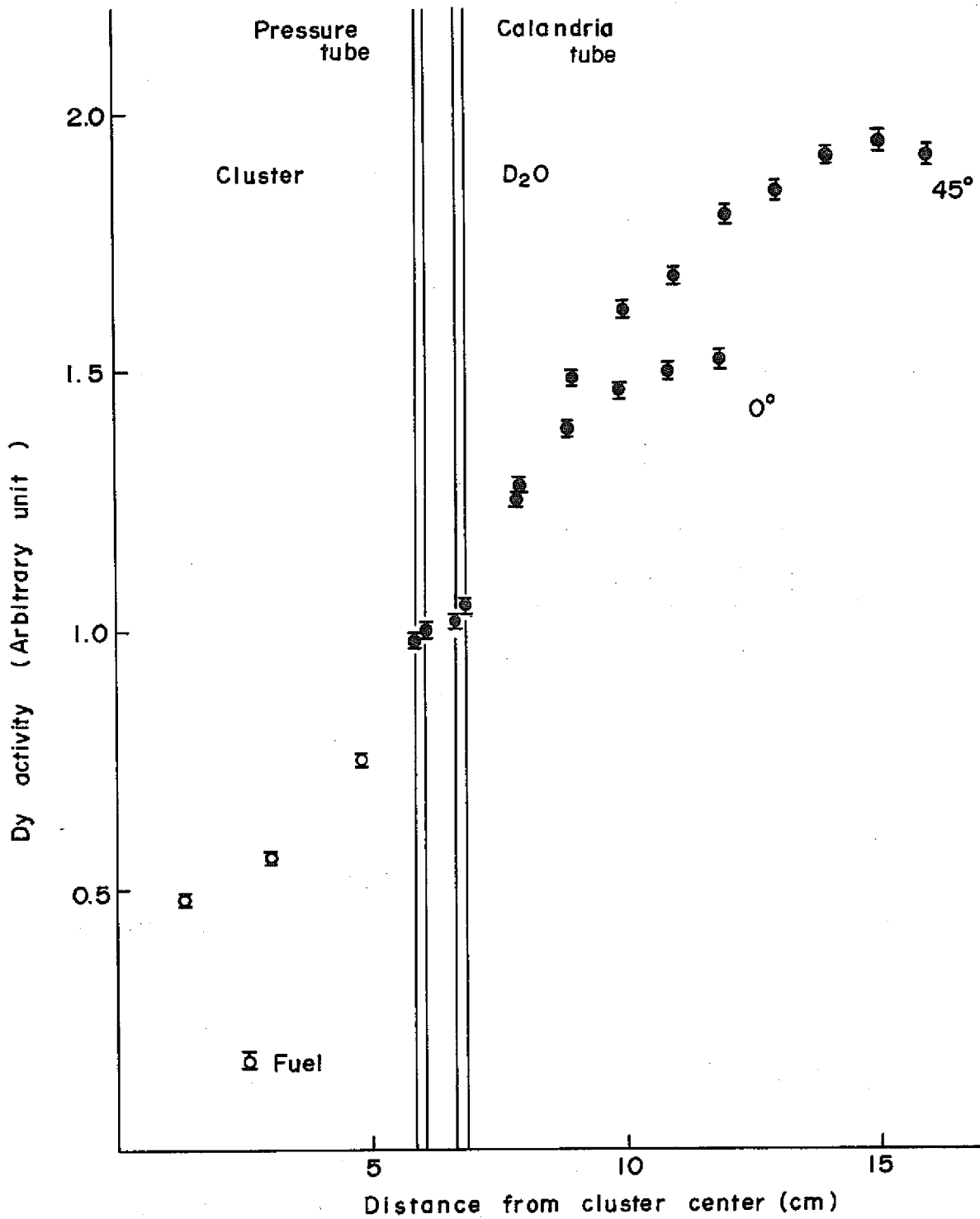


Fig.16 Intra-cell thermal neutron flux distribution (0.54w/o PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>, 100%Void)



### 3.3 局所ピーキングファクター

燃料中で測定された Dy-A1 箔の放射化量より次のように定義される局所ピーキングファクターを求めた。

$$\text{局所ピーキングファクター} = \frac{A_{F-i}}{\bar{A}_{Fuel}}$$

ここで  $A_{F-i}$  : 第 i リングの燃料棒内で測定された Dy の放射化量 ( i = 1, 2, 3 )

$\bar{A}_{Fuel}$  : 各リングの燃料棒内で測定された Dy の放射化量の平均値

Table 10 にこれらの値を示す。

Table 10 Local peaking factor

	0 %	30 %	70 %	100 %
$\frac{A_{F-1}}{\bar{A}_{Fuel}}$	0.633 ±0.013	0.629 ±0.016	0.622 ±0.011	0.728 ±0.016
$\frac{A_{F-2}}{\bar{A}_{Fuel}}$	0.815 ±0.015	0.814 ±0.013	0.789 ±0.028	0.852 ±0.013
$\frac{A_{F-3}}{\bar{A}_{Fuel}}$	1.183 ±0.018	1.187 ±0.021	1.200 ±0.036	1.141 ±0.017

### 3.4 損失因子

損失因子は燃料体中の平均中性子束に対する減速材中の平均中性子束として定義されるが、今回はクラスター内の損失因子 (  $\xi$  ) として、燃料中の Dy-A1 箔による平均放射化量と冷却材中の平均放射化量の比をもちいた。

$$\xi = \frac{\bar{A}_{Coolant}}{\bar{A}_{Fuel}}$$

ここで  $\bar{A}_{Fuel}$  : 燃料中の Dy-A1 箔内の平均放射化量  
 $\bar{A}_{Coolant}$  : 冷却材中の平均放射化量

$\xi$  を求める方法には微分法と積分法の 2 つがあるが、クラスター型燃料の形状が複雑なため積分法を用いた。燃料中の Dy-A1 箔による平均放射化量は 3.1 の燃料中分布の測定結果を用い、冷却材中の平均放射化量は同じく 3.1 のセクター箔による測定結果を用いた。又 Fig. 17 に示すように冷却材の領域を 1, 2, 3 の 3 つに分割し、各領域における損失因子も求めた。Table 11 に各ボイド率における損失因子、領域別の損失因子を示す。

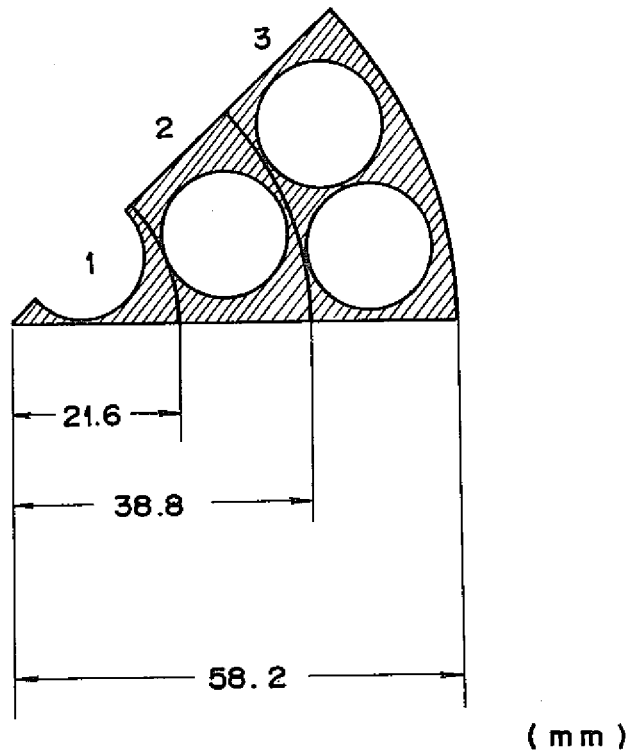


Fig. 17 Ring-wise identification of coolant region

Table 11 Thermal disadvantage factor

		0 %	30 %	70 %
D.F. of coolant		1.181 ±0.071	1.412 ±0.082	1.214 ±0.067
D.F. of coolant in each region	1	1.170 ±0.07	1.311 ±0.066	1.143 ±0.057
	2	1.166 ±0.058	1.404 ±0.063	1.245 ±0.077
	3	1.250 ±0.056	1.474 ±0.083	1.256 ±0.069

## 4 検 討

0.54 w/o  $\text{PuO}_2$ - $\text{UO}_2$  燃料における単位格子内熱中性子束分布の測定結果より次のことが認められた。燃料中、冷却材中の分布(クラスター内)は0%ボイドにおいて一番低下し、30%、70%とボイド率が大きくなるにしたがって上の方に上がってくる。即ち圧力管外周の反応率を1とした場合、クラスター内での反応率は1に近づいてくる。これはクラスター内の水の減少にともなうスペクトルのハード化による吸収の減少、又水自身の吸収の減少のためと思われるが、0%、30%、70%の間ではその差はあまり大きくない。しかし100%ボイドになると他のボイド率と異なり大幅に1に近くなって来る。これは他のボイド率に比べて著しく吸収の割合が小さくなって来るためと考えられる。この原因としては、100%ボイドにおいては冷却材が存在しないため熱化が他のボイド率と比べて十分おこなわれず、このため熱中性子スペクトルが他のボイド率と比べてよりハードになり、熱中性子の吸収が小さくなるためであると考えられる。また冷却材による中性子の吸収がないことも考えられる。この他に100%ボイドにおいてはストリーミングによるもれが考えられるがこれはクラスター内の分布の低下すなわち吸収の増加に相当するが、上記2つの原因に比べて小さいと思われる。

圧力管、カランドリア管、重水中の分布ではボイド率が大きくなるにしたがって、上になってくる。これはセル内の吸収が低下するために重水中の熱中性子束の平均値が増大することによると思われる。

以上 0.54 w/o  $\text{PuO}_2$ - $\text{UO}_2$  燃料における単位格子内熱中性子束分布のボイド率による傾向はウラン燃料体系における分布の傾向と同様である<sup>3)</sup>。次に単位格子内熱中性子束分布について「ふげん」の核設計計算に用いられているNOAH-IIコードによる計算との比較をおこなった。NOAH-IIにおける計算では比較すべき対象となる $D_y$ の反応率分布の計算はできない。このため今回は同じ $1/\nu$ 吸収物質であるMnの反応率分布と比較した。ここで $D_y$ の反応率のかわりにMnの反応率を用いたことによる問題点としては次のことがあげられる。(1)Mnの断面積は $1/\nu$ 法則にしたがうが、 $D_y$ はエネルギーの高い所で $1/\nu$ 法則よりずれている。(2)このため、クラスター中、重水中とスペクトルの異なる場所での断面積は、 $D_y$ とMnとはまた変ってくる。

また計算における $D_y$ 、Mnのカットエネルギーは0.625 eVであるが、実験結果のサブ・カドミの値0.46 eVと若干異なることも比較の上で問題点としてあげられる。

以上のように計算と実験とを比較する上で色々と問題があるが、今回の分布の比較は相対分布でおこなっているため、計算による比較としてMnの相対分布を用いても $D_y$ の反応率分布と大きな差はないとした。

またカットエネルギーの差による影響は「DCA実験データに基づく「ふげん」炉心特性評価

(I) ]<sup>(6)</sup>より小さいことが示されている。

計算値としてMnの反応率を用いた場合の精度、又詳細な計算コードでの比較については次の報告書においておこなう予定である。

これらの計算に用いられた0.54w/o PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料の物理定数を付録1に、NOAH-IIコードへの入力カードのリストを付録2にのせた。

重水中の分布については、実験値は0°方向と45°方向の2つの方向について2次元的に測定された値であるが、計算は単一セルを円筒形として計算しているため、このような計算値はない。しかしウラン燃料についての単位格子内熱中性子束分布の測定の報告書<sup>3)</sup>において27°方向の測定値が計算値と直接比較しうる量であることが示された。

このため、計算値としては0°方向と45°方向の測定値の中間に位置していれば実験値との一致は良いと考えてさしつかえないと思われる。Fig. 18, 19, 20, 21に計算値と実験値の比較を示した。

0%、30%ポイドにおける分布と計算値との比較においては燃料中、重水中ともあまり良い一致が見られないが、70%ポイドでは重水中の一致が良く、100%ポイドでは燃料中、重水中の両方で一致が良いことが認められる。

クラスター内での平均値を比べると0%、30%、70%ポイドにおいては計算値の方が約7%大きく、又100%ポイドにおいては約5%大きくなっている。

重水中の平均値を比べてみると0%、30%ポイドにおいては計算値の方が約5%大きく、70%、100%ポイドでは約3%計算値の方が小さくなっている。

次に局所ピーキングファクターの計算値との比較をおこなう。

ここで求めた局所ピーキングファクターは、実際の熱出力ピーキングファクターではないが、計算値と比較しうる量である。Table 12に実験値と計算値との比較を示した。( )の中がNOAH-IIによる計算値である。

Table 12 Experimental and calculated values of local peaking factor

	0 %	30 %	70 %	100 %
$\frac{A_{F-1}}{\bar{A}_{Fuel}}$	0.633±0.013 (0.715)	0.629±0.016 (0.698)	0.662±0.011 (0.693)	0.728±0.061 (0.744)
$\frac{A_{F-2}}{\bar{A}_{Fuel}}$	0.815±0.015 (0.795)	0.814±0.013 (0.803)	0.789±0.028 (0.821)	0.852±0.013 (0.850)
$\frac{A_{F-3}}{\bar{A}_{Fuel}}$	1.183±0.018 (1.174)	1.187±0.021 (1.174)	1.200±0.036 (1.166)	1.141±0.017 (1.139)

局所ピーキングファクターの実験値は計算値と3%以内で一致することがTable 12より認められた。

損失因子については実験誤差が6%程度あるが、この誤差は冷却材中の分布の測定における誤差(±3%)によるところが大きい。今後、冷却材中での測定精度を向上させることが必要である。損失因子については、今回計算値との比較は示さず次の報告書で検討する。

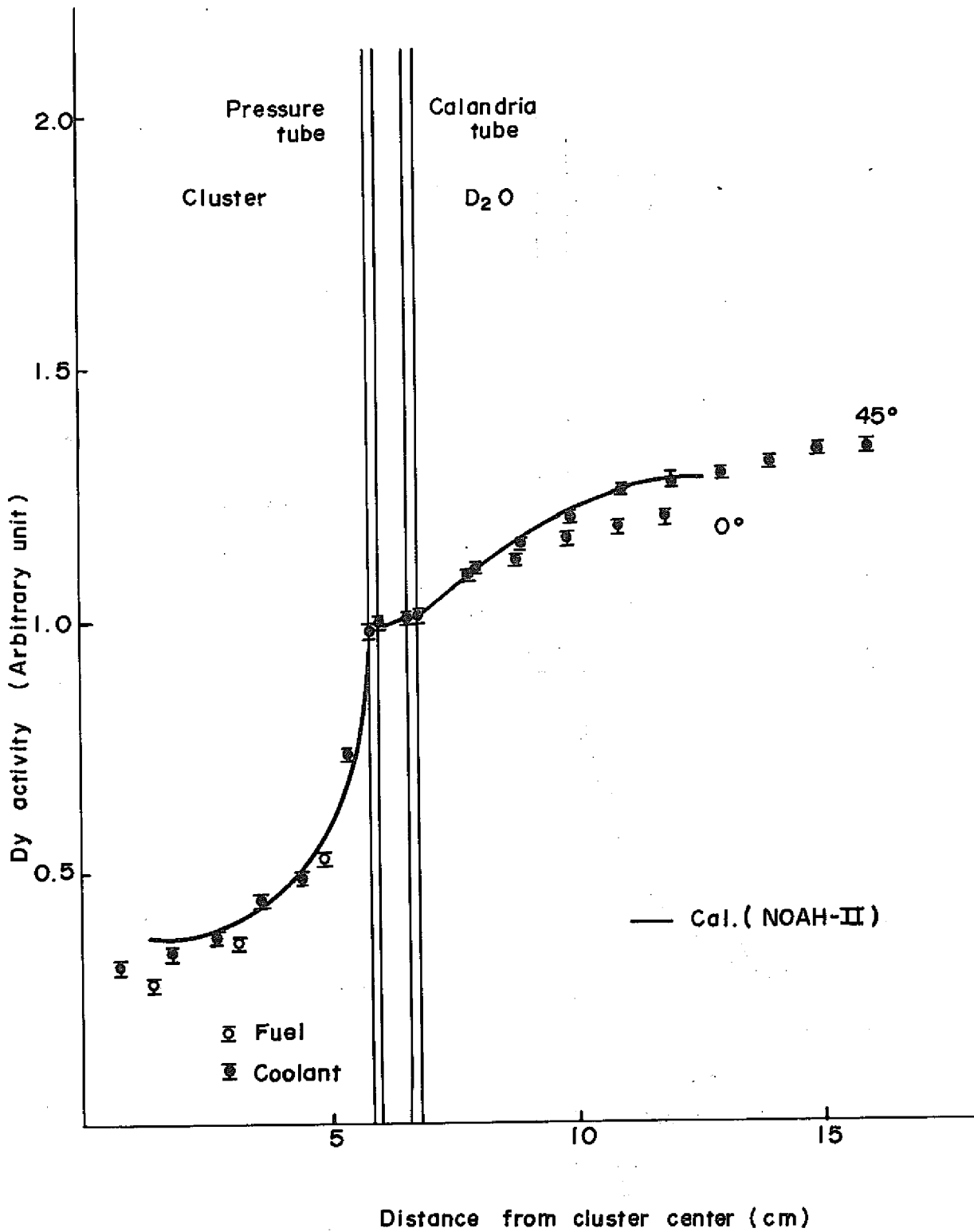


Fig.18 Intra-cell thermal neutron flux distributions  
(0.54 w/o PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>, 0% Void)

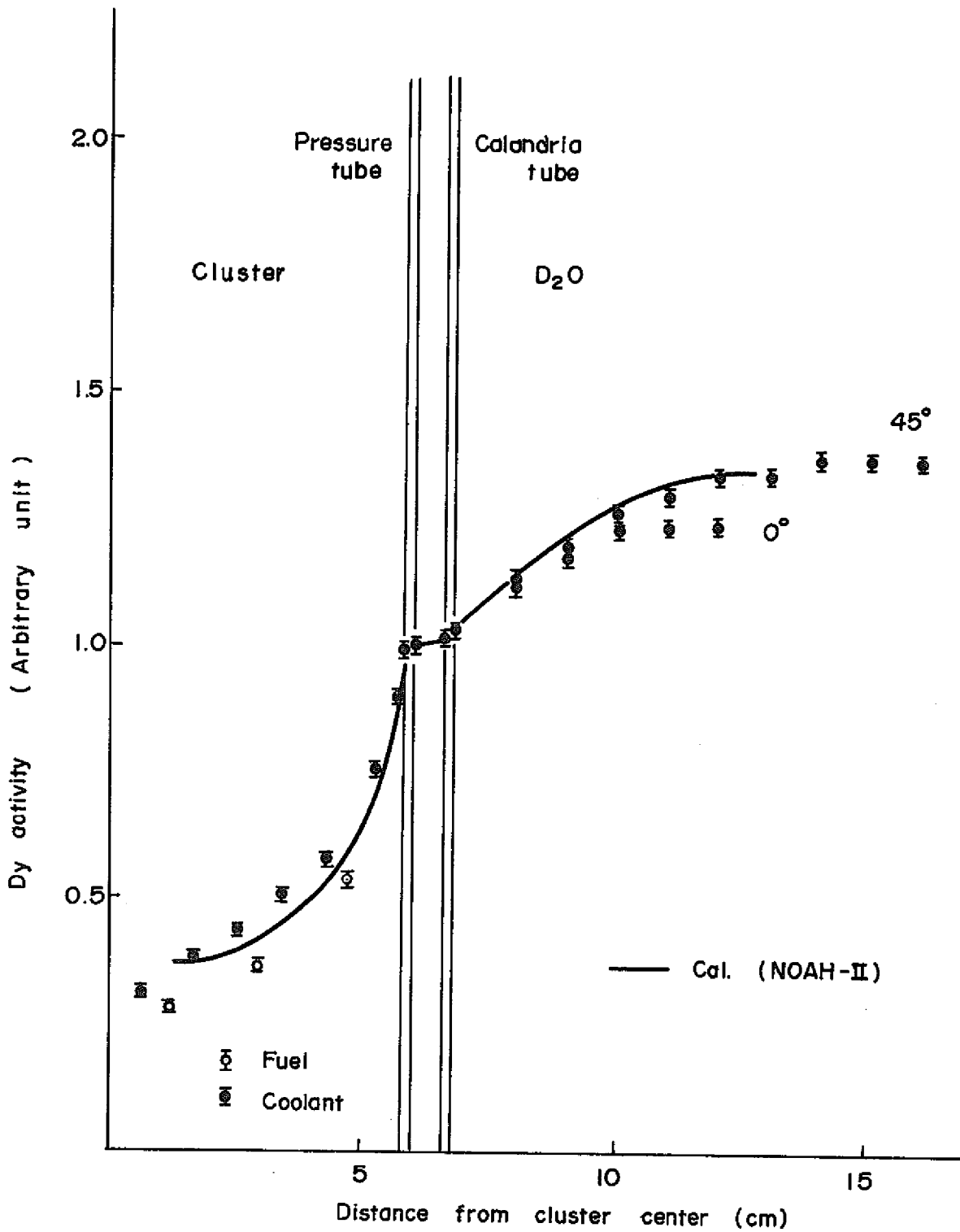


Fig.19 Intra-cell thermal neutron flux distributions  
( 0.54 w/o PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>, 30% Void )

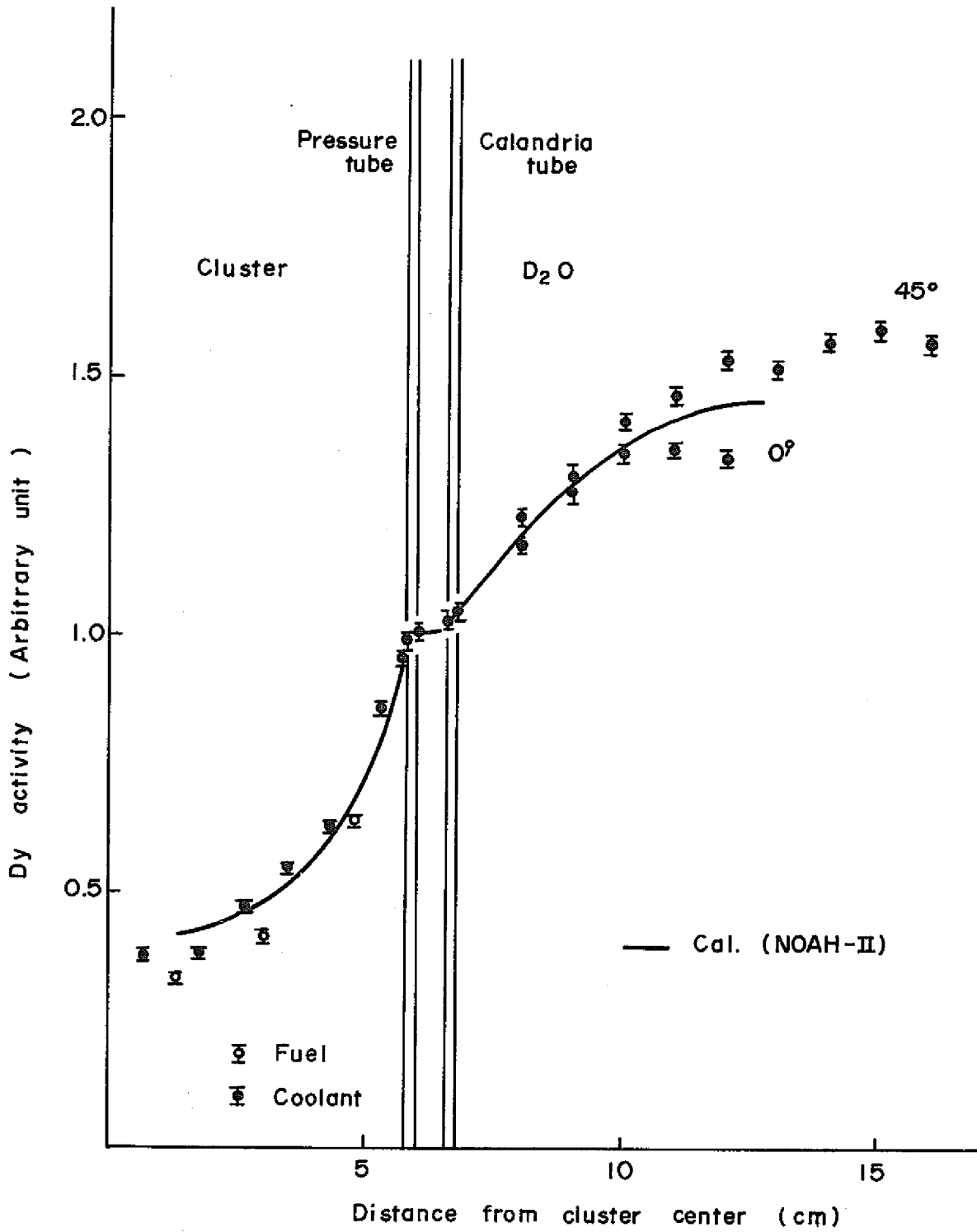


Fig.20 Intra-cell thermal neutron flux distributions  
(0.54 w/o PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> , 70% Void)



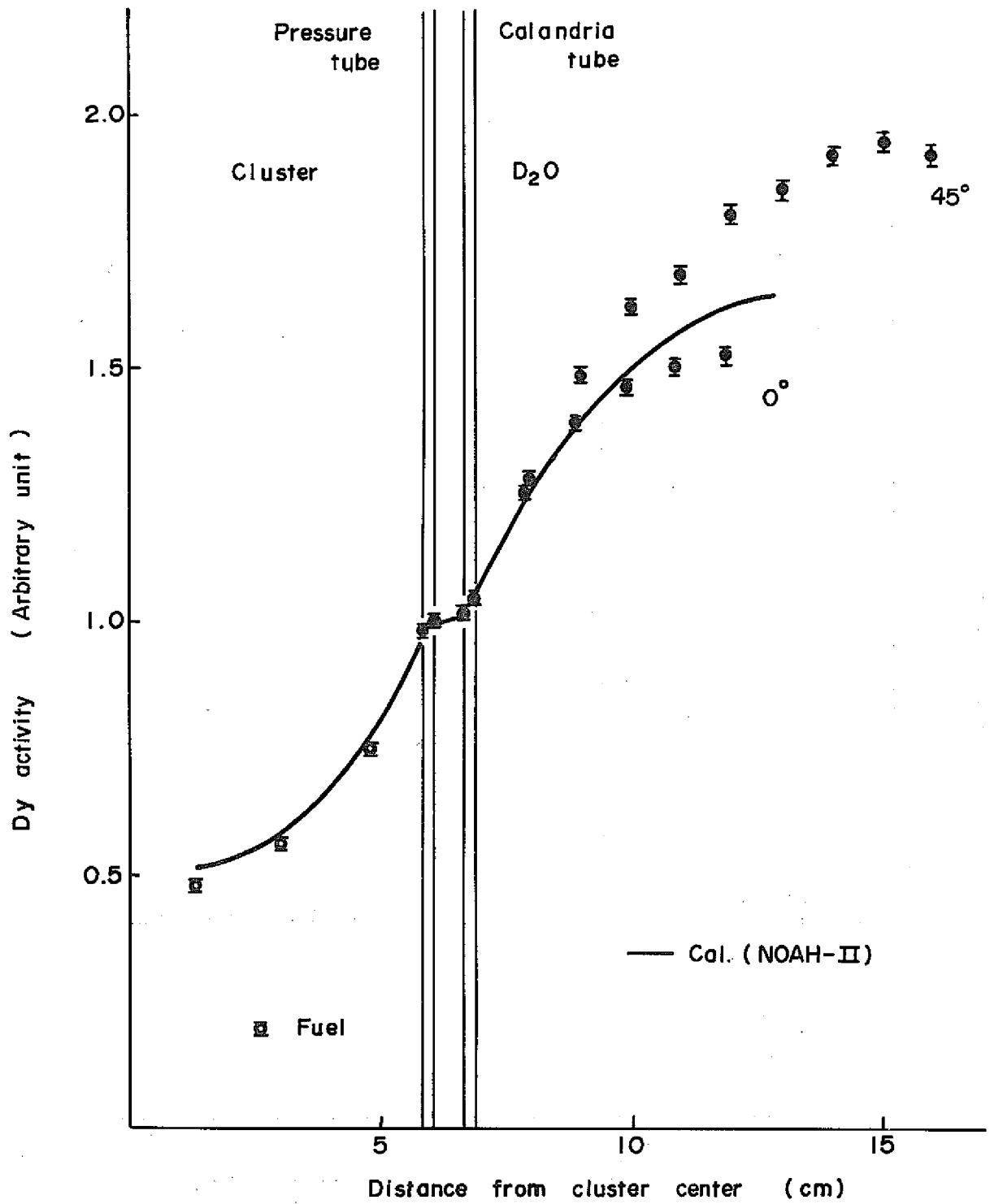


Fig. 21 Intra-cell thermal neutron flux distribution  
(0.54w/o PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>, 100% Void)

## 5 結 論

0.54 w/o  $\text{PuO}_2$ - $\text{UO}_2$  炉心における単位格子内の熱中性子束分布の測定、ならびに NOAH-II による計算結果との比較によって次のことが確認された。

- (1) プルトニウム炉心における単位格子内熱中性子束分布の測定は燃料中、冷却材中においてはウラン炉心における測定と同程度の精度でおこなえた。即ち燃料中で $\pm 2\%$ 、冷却材中で $\pm 3\%$ であった。重水中の分布については新しい A1 ホルダーの使用によって精度が $\pm 2\%$ から $\pm 1.5\%$ に向上し、又新しく圧力管の内側、カランドリア管の内側での測定により、圧力管やカランドリア管における熱中性子束分布の様子がはっきりし、計算との比較もより精密におこなえるようになった。今後この方法の応用により Dy 放射化量に関する多彩な空間分布の精密測定が可能になると思われる。
- (2) NOAH-II による計算値との比較では、0%、30%、70%ボイドの実験値よりは、100%ボイドの方がより相対分布での一致が良い。
- (3) 局所ピーキングファクターは計算値と実験値では3%以内で一致した。これはウラン燃料による場合と同程度の精度であった。
- (4) 損失因子の測定については、精度良く求めるためには、冷却材中での測定精度の向上が必要である。

## 6 謝 辞

本実験に使用した照射箔入り下部燃料の製作にあたっては、動力炉・核燃料開発事業団東海事業所プルトニウム燃料部の安久津部長、川島課長、鈴木係長、横沢班長、肥田野氏、その他大勢の方々に多大な御協力をいただきました。ここに深く感謝いたします。なお、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宮脇良夫室長、坂田肇前室長をはじめ、室員の皆様に深く感謝いたします。

## 参 考 文 献

- (1) Hachiya, Y., et al. : J. At. Energy Soc. Japan,  
9 [11] , 629 (1972)
- (2) Nakamura, Y. , et al. : J. At. Energy Soc. Japan,  
9 [5] , 277 (1972)
- (3) SN 941 73-21  
「ウラン炉心における単位格子内熱中性子束分布の測定」
- (4) SN 943 72-01  
「格子パラメータの測定」  
NO. 2 熱中性子束分布及共鳴捕獲化
- (5) PNC-ATR-0032-3  
「新型転換炉二領域臨界実験報告書—スペクトルインデックスの測定」
- (6) ZJ 302 74-12  
「DCA実験データに基づく“ふげん”炉心特性評価」

付録 1 0.54 w/o PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> 燃料物理定数1. 0.54 w/o PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> (~91%Pu. fissile)Fuel.

## (i) Fuel element.

Region	Inner Dia(cm)	Outer Dia(cm)	Material	Density(g/cm <sup>3</sup> )
Fuel Pellet		1.469±0.007	0.542 ± 0.006 w/o enriched PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	10.171 ± 0.069
Gap	1.469	1.506	Helium	
Fuel Sheath	1.506±0.001	1.668±0.001	Zry-2	6.523

## (ii) Fuel composition. (Measured at Aug. 1971\*)

Isotope	w/o in fuel Pellet	w/o in sheath	Atomic No. density (/cm <sup>3</sup> × 10 <sup>-4</sup> )
Fuel U - 235	0.6214		0.0001620
U - 238	86.7823		0.02233
Pu- 239	0.4304		0.0001103
Pu- 240	0.04115		0.00001050
Pu- 241	0.004359		0.000001108
Pu- 242	0.000303		0.0000000767
O	12120		0.04640
Sheath Zr		98.22	0.04218
Sn		1.48	0.0004897
Fe		0.14	0.00009848
Cr		0.10	0.00007555
Ni		0.06	0.00004013

\* Half-life of <sup>241</sup>Pu : 14.6±0.3 year

付録 2 NOAH-II 計算用入力

INPUT DATA

N	*	*	*	*	*	*	*	*
1	*	NOAH=2	STANDARD CASE	22.5	CM	1.2%	UO2	0% VOID
2		POLYGON(1.00)	0					
3		DIAMET(1.00)	11.28					
4		TEMPER(1.00)	22.0					
5		DIAMET(1.11)	1.48					
6		DENSIT(1.11)	10.33					
7		INGRED(1.11)	3.18,1.0596,20.87,0.367,2.11,9.037					
8		TEMPER(1.11)	22.0					
9		DIAMET(1.12)	1.673					
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					
14		INGRED(1.10)	2.1,11.1901,2.88,8.099					
15		TEMPER(1.10)	22.0					
16		LAYER	2=1					
17		LAYER	3=1					
18		POLYGON(2.00)	0					
19		DIAMET(2.00)	11.68					
20		DENSIT(2.00)	0.99777					
21		INGRED(2.00)	2.1,11.1901,2.88,8.099					
22		TEMPER(2.00)	22.0					
23		RARE REGION(2.00)	*					
24		POLYGON(3.00)	0					
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					
31		DIAMET(4.00)	13.25					
32		AIRGAP(4.00)						
33		POLYGON(5.00)	0					
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					
40		DIAMET(6.00)	25.39					
41		DENSIT(6.00)	1.1078					
42		INGRED(6.00)	3.1,0.05036,38.20,0.223,2.79,9.283					
43		TEMPER(6.00)	22.0					
44		ARRAY TYPE	4,3,1.3125,3.00,4.7575,4.8,16					
45		BUCKLING	0.001134	*				
46		RESONANCE	2,18,20					
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	*	*	*	*	*	*	*	*

INPUT DATA

```

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 22.5LP 0.54% PU02+U02 0% VOID
60  POLYGON(1.00) 0
61  DIAMET(1.00)11.28
62  TEMPER(1.00)22.0
63  DIAMET(1.11)1.469
64  DENSIT(1.11)10.171
65  INGRED(1.11)7.18,0.6214,20,86.7823,21,0.4304,22,0.04115,Y
66      23,0.004359,34,0.000303,2,12.120
67  TEMPER(1.11)22.0
68  DIAMET(1.12)1.668
69  DENSIT(1.12)5.3728
70  INGRED(1.12)5,3,98.22,10,1.48,6,0.14,11,0.10,7,0.06
71  TEMPER(1.12)22.0
72  DENSIT(1.10)0.99777
73  INGRED(1.10)2,1,11.1901,2,88.8099
74  DENSIT(2.00)0.99777
75  INGRED(2.00)2,1,11.1901,2,88.8099
76  BUCKLING 0.0013773
77  BEGIN CALCULATION
78  *NOAH-2 22.5LP 0.54% PU02+U02 30% VOID
79  DENSIT(1.10)1.0359
80  INGRED(1.10)4,1,7.0693,38,7.4055,2,85.5231,29,0.0003158
81  DENSIT(2.00)1.0359
82  INGRED(2.00)4,1,7.0693,38,7.4055,2,85.5231,29,0.0003158
83  BUCKLING 0.001314
84  BEGIN CALCULATION
85  *NOAH-2 22.5LP 0.54% PU02+U02 70% VOID
86  DENSIT(1.10)1.0866
87  INGRED(1.10)4,1,2.0231,38,16.4744,2,81.5001,29,0.000737
88  DENSIT(2.00)1.0866
89  INGRED(2.00)4,1,2.0231,38,16.4744,2,81.5001,29,0.000737
90  BUCKLING 0.0011325
91  BEGIN CALCULATION
92  *NOAH-2 22.5LP 0.54% PU02+U02 100% VOID
93  DENSIT(1.10)0.000001
94  INGRED(1.10)2,1,11.1901,2,88.8099
95  DENSIT(2.00)0.000001
96  INGRED(2.00)2,1,11.1901,2,88.8099
97  BUCKLING 0.000930
98  BEGIN CALCULATION

```