

# 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(II)

1974年11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11月22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 (Ⅱ)

報告者 若 林 利 男\*  
福 村 信 男\*  
仁 紫 明 人\*  
八 谷 雄 喜\*

期 間 1974年4月～1974年6月

目 的 0.87% PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> (スタンダードグレード) 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、0.54% PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料における実験結果、ならびに核計算コードによる計算値との比較をおこなう。

要 旨

0.87% PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> (スタンダードグレード) 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%、100%にした場合の単位格子内熱中性子束分布を Dy-Al 合金箔を用いた箔放射化法によって求めた。また前回おこなわれた 0.54% PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料における実験結果、ならびに NOAH-II コードによる計算値との比較もおこなった。

今回の実験結果は、前回の 0.54% PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> 燃料における実験結果とほぼ同じ程度の実験精度で求まり、プルトニウム燃料炉心における単位格子内熱中性子束分布の測定方法が確立した。

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

\* 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、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、小線泰樹、磯村和利、菅原昇三、市原泉、成尾一暉、今泉清、村松精 (現ATR本社)

22, Nov., 1974

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

Toshio Wakabayashi

Nobuo Fukumura

Akito Nishi

Yuuki Hachiya

Abstract

Intra-cell thermal neutron flux distributions in 0.87 w/o  $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$  fuel (standard grade) loaded in 22.5 cm pitch lattice have been measured by means of dysprosium foil activation method for coolant void fractions of 0 % and 100 %. The results are compared with the results in 0.54 w/o  $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$  fuel and the values calculated by NOAH-II code.

Accuracy of the present experiments is found almost the same as that of 0.54 w/o  $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$  fuel experiments. Therefore, it can be considered that the experimental method specially developed for measurement of intra-cell thermal neutron flux distributions on plutonium fuel has been established.

The experimental result for coolant void fraction of 0 % agrees with the calculated value better than that for 100 %.

---

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

## 目 次

1. 概 要	1
2. 実験体系	1
3. 実験方法	4
4. 実験結果	4
5. 検 討	9
5.1 一群理論よりの考察	9
(1) ボイド率の変化による熱中性子束分布	14
(2) 富化度の変化による熱中性子束分布	18
5.2 NOAH-IIによる計算値との比較	21
5.3 NOAH-IIによる計算値と実験値の相違の考察	26
6. 結 論	37
7. 謝 辞	38
参考文献	38
付録1. プルトニウム燃料の物理定数	39
付録2. NOAH-II計算用入力	41

## 1. 概 要

0.87% PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> (スタンダードグレード, 以後 s とする) 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。

実験は冷却材ボイド率 0%, 100% についておこない, 測定方法は前回の報告書<sup>1)</sup> で述べた方法と同じ方法でおこなった。又 NOAH-II コードによる計算値との比較も同様におこなった。

前回の報告書における 0.54% PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> 燃料炉心の冷却材ボイド率 0%, 100% の値との比較もあわせておこなった。

## 2. 実験体系

本実験における炉心構成は, 冷却材ボイド率 0%, 100% とで異なり, ボイド率 0% ではプルトニウム燃料 9 体, ウラン燃料 112 体であり, ボイド率 100% ではプルトニウム燃料 25 体ウラン燃料 96 体であった。Table 1 に臨界水位等を示し, Fig.1, 2 には炉心構成図を示した。

Table 1 Experimental condition

Coolant void fraction	Number of clusters		Critical level of D <sub>2</sub> O moderator (cm)
	0.87% (s) PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	1.2% UO <sub>2</sub>	
0%	9	112	83.5
100%	25	96	93.8

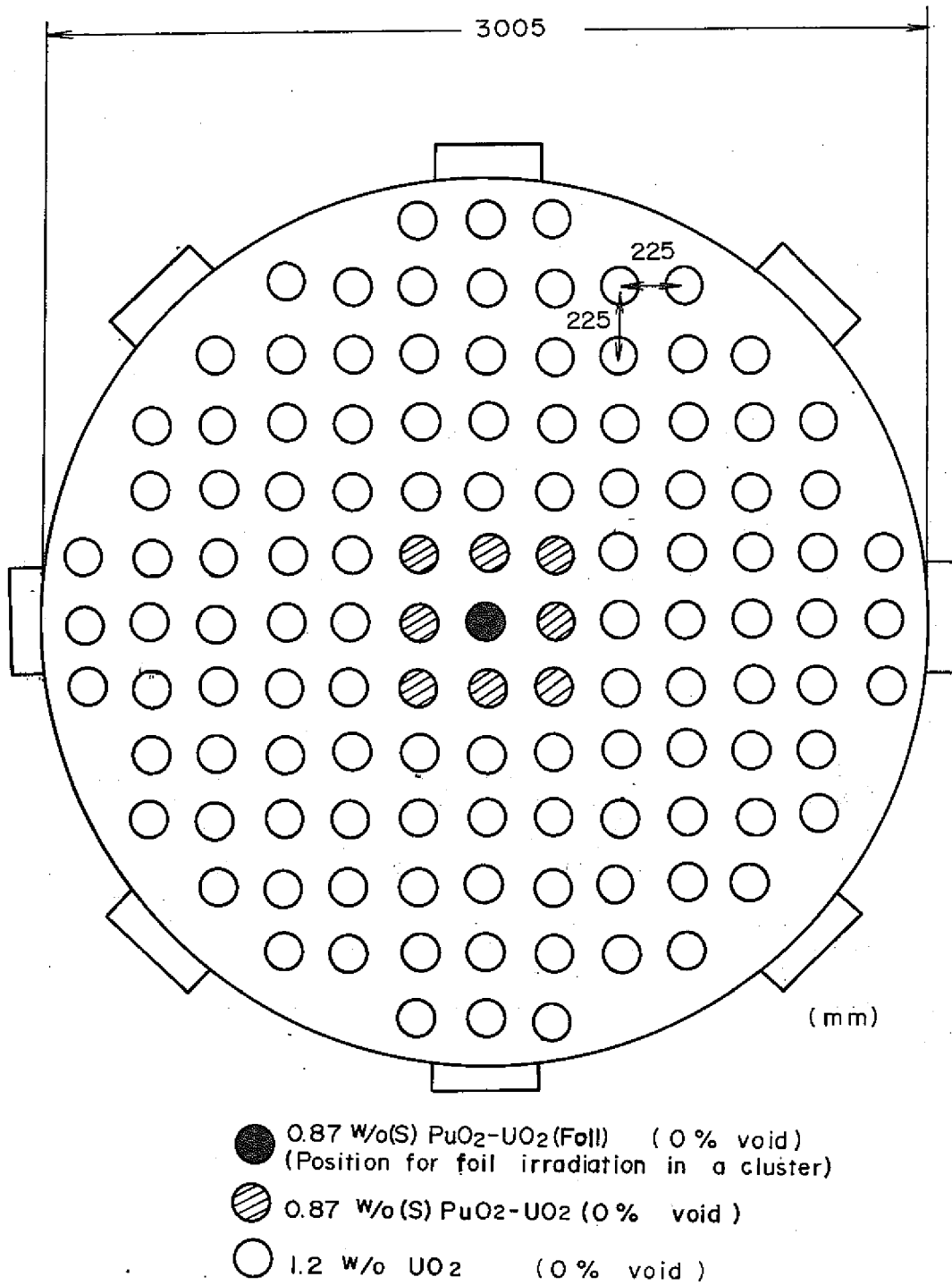


Fig. 1 DCA core configuration

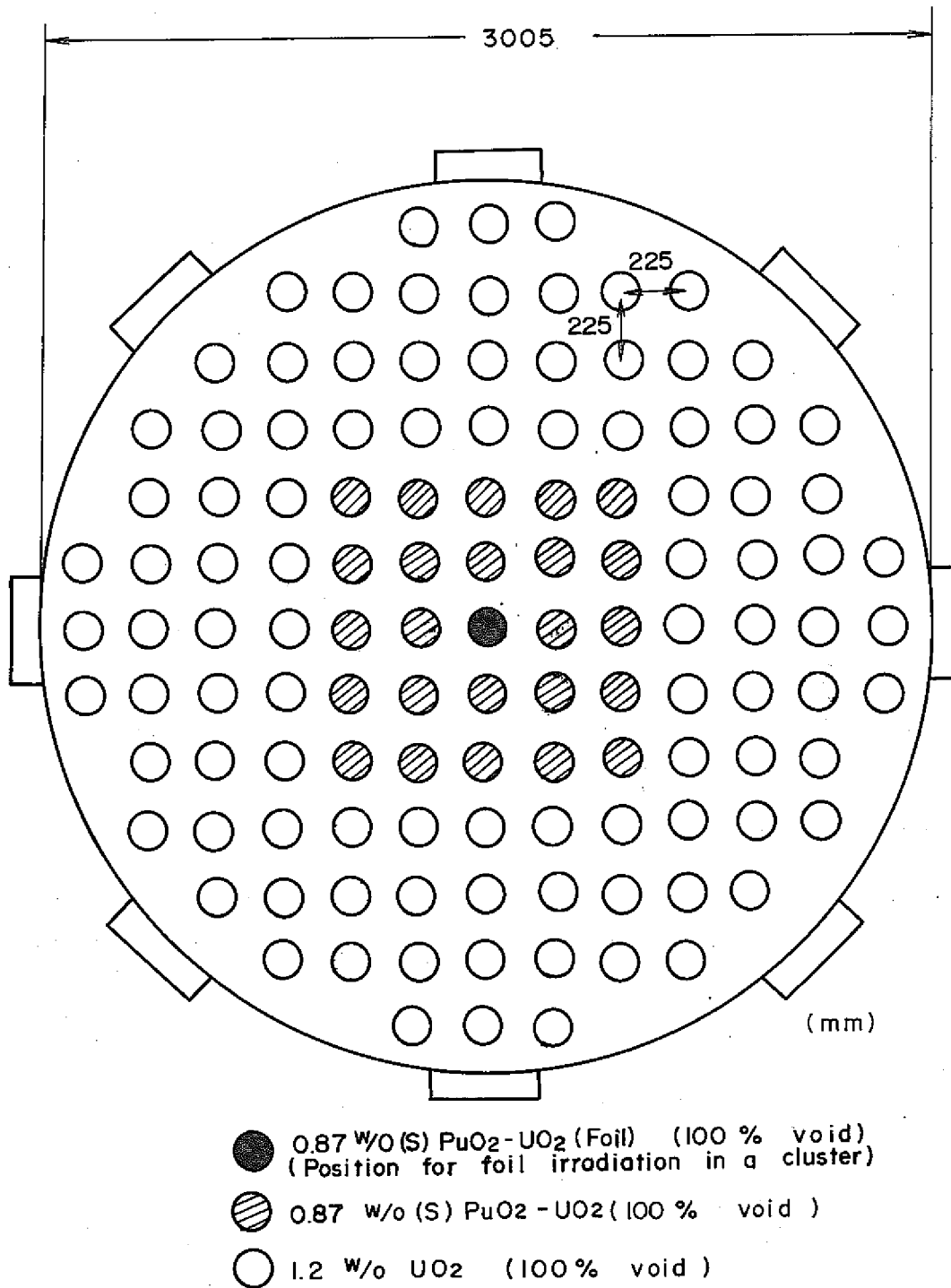


Fig. 2 DCA core configuration. (2)



### 3. 実験方法

実験方法は前回の報告書で述べた方法と同じで、Dy-Al合金箔を用い、燃料中と燃料中以外とに分けて100W ( $\sim 10^8$  n/cm<sup>2</sup>·sec) で30分照射した。照射後、CaF<sub>2</sub>(Eu)シンチレーションカウンターで<sup>165</sup>Dyのベータ線を測定した。

### 4. 実験結果

測定された放射化量はバックグラウンド、不感時間、冷却、測定時間による減衰、箔の検出感度、カドミ比の補正、炉心半径方向のグロスな中性子束分布の補正がなされた。Table 2に本実験におけるカドミ比、Table 3にグロスな中性子束分布の補正のための補正係数Brを示した。

以上のような各補正された値、ならびに圧力管外側で規格化した値をTable 4, 5に示した。又Fig. 3, 4には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した。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実験値を示す。

実験上又はデータ処理上に生じた実験誤差は前回の報告書で示された値と同じで、冷却材中で±3%、圧力管とカランドリア管の内側で±2%、それ以外の燃料中、圧力管とカランドリア管の外側、重水中の分布では±1.5%であった。

Table 2 Cd-ratio of Dy-reaction rate in each fuel pin and D<sub>2</sub>O moderator region for the 0.87% (s) PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> fuel loaded lattice

Position	Coolant void fraction	
	0%	100%
F-1	32.0±0.8	25.6±0.7
F-2	40.4±0.6	28.1±0.6
F-3-1	60.3±1.8	36.9±1.7
F-3-2	58.6±1.5	37.8±1.9
D <sub>2</sub> O	104.0±3.0	78.2±2.3

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

Argument	Coolant void fraction	
	0%	100%
Br	0.0286	0.0191

Table 4 Intra-cell thermal neutron flux distribution  
with Dy-Al foils

22.5cm lattice pitch, 0.87w/o (s) PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> 0% Void

Foil position		Distance from center (cm)	Dy bare	Cd ratio	C.R-1	Dy sub-Cd	Jo(Br)	Corrected value	Normalized value
					C.R				
Fuel	F-1	1.313	0.602	32.0	0.969	0.583	1.000	0.583	0.243
	F-2	3.0	0.812	40.4	0.975	0.792	0.998	0.794	0.331
	F-3-1	4.758	1.283	60.3	0.983	1.261	0.996	1.266	0.528
	F-3-2	4.758	1.250	58.6	0.983	1.229	0.996	1.234	0.515
Coolant	S-1	0.66	0.630		0.969	0.610	1.000	0.610	0.254
	S-2	1.78	0.737			0.714	0.999	0.715	0.298
	S-3	2.58	0.785		0.975	0.765	0.999	0.766	0.319
	S-4	3.44	0.980			0.956	0.998	0.958	0.399
	S-5	4.32	1.074		0.983	1.056	0.995	1.061	0.442
	S-6	5.24	1.763			1.733	0.994	1.743	0.727
	S-7	5.77	2.203			2.166	0.994	2.179	0.909
Pressure tube	P.T inside	5.840	2.384		0.990	2.360	0.994	2.374	0.990
	P.T outside	6.040	2.408			2.384	0.994	2.398	1.000
Calandria tube	C.T inside	6.625	2.482		0.990	2.457	0.992	2.477	1.033
	C.T outside	6.825	2.502			2.477	0.992	2.497	1.041
D <sub>2</sub> O	0°-1	7.8	2.658		0.990	2.631	0.989	2.660	1.109
	-2	8.8	2.839			2.811	0.986	2.851	1.189
	-3	9.8	2.918			2.889	0.983	2.939	1.226
	-4	10.8	2.991			2.961	0.980	3.021	1.260
	-5	11.8	2.973			2.943	0.976	3.015	1.257
	45°-1	7.9	2.729		0.990	2.702	0.989	2.732	1.139
	-2	8.9	2.970			2.940	0.986	2.982	1.244
	-3	9.9	3.066			3.035	0.983	3.087	1.287
	-4	10.9	3.228			3.196	0.979	3.265	1.362
	-5	11.9	3.313			3.280	0.975	3.364	1.402
	-6	12.9	3.336			3.303	0.971	3.402	1.418
	-7	13.9	3.341			3.308	0.966	3.424	1.428
	-8	14.9	3.339			3.306	0.962	3.437	1.433
-9	15.9	3.265	10.40	3.232		0.956	3.381	1.410	

Table 5 Intra-cell thermal neutron flux distribution  
with Dy-Al foils

22.5cm lattice pitch, 0.87% (s) PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> 100% Void

Foil position		Distance from center (cm)	Dy bare	Cd ratio	C.R-1	Dy sub-Cd	Jo(Br)	Corrected value	Normalized value
					C.R				
Fuel	F-1	1.313	0.775	25.6	0.961	0.745	1.000	0.745	0.390
	F-2	3.0	0.868	28.1	0.964	0.837	0.999	0.838	0.439
	F-3-1	4.758	1.256	36.9	0.973	1.222	0.998	1.224	0.641
	F-3-2	4.758	1.288	37.8	0.974	1.255	0.998	1.258	0.659
Coolant	S-1	0.66	0.826		0.961	0.794	1.000	0.794	0.416
	S-2	1.74	0.836			0.803	1.000	0.803	0.420
	S-3	2.58	0.890		0.964	0.858	0.999	0.859	0.450
	S-4	3.44	1.002			0.966	0.999	0.967	0.506
	S-5	4.32	1.135			1.105	0.997	1.108	0.580
	S-6	5.24	1.780		0.974	1.734	0.997	1.739	0.910
	S-7	5.77	1.844			1.796	0.997	1.801	0.943
Pressure tube	P.T inside	5.840	1.900		0.987	1.875	0.997	1.880	0.984
	P.T outside	6.040	1.929			1.904	0.997	1.910	1.000
Calandria tube	C.T inside	6.625	1.980		0.987	1.954	0.996	1.962	1.027
	C.T outside	6.825	2.015			1.989	0.996	1.997	1.046
D <sub>2</sub> O	0°-1	7.8	2.458		0.987	2.426	0.994	2.441	1.278
	-2	8.8	2.752			2.716	0.993	2.735	1.433
	-3	9.8	2.906			2.868	0.991	2.874	1.515
	-4	10.8	2.980			2.941	0.989	2.974	1.558
	-5	11.8	2.945			2.907	0.987	2.945	1.543
	45°-1	7.9	2.553		0.987	2.520	0.994	2.535	1.327
	-2	8.9	2.935			2.897	0.992	2.920	1.528
	-3	9.9	3.208			3.166	0.991	3.195	1.673
	-4	10.9	3.358			3.314	0.989	3.351	1.756
	-5	11.9	3.523			3.477	0.986	3.526	1.845
	-6	12.9	3.686			3.638	0.984	3.697	1.936
	-7	13.9	3.738			3.689	0.982	3.757	1.968
	-8	14.9	3.790			3.741	0.979	3.821	2.001
	-9	15.9	3.812			3.762	0.976	3.854	2.019
						78.2			

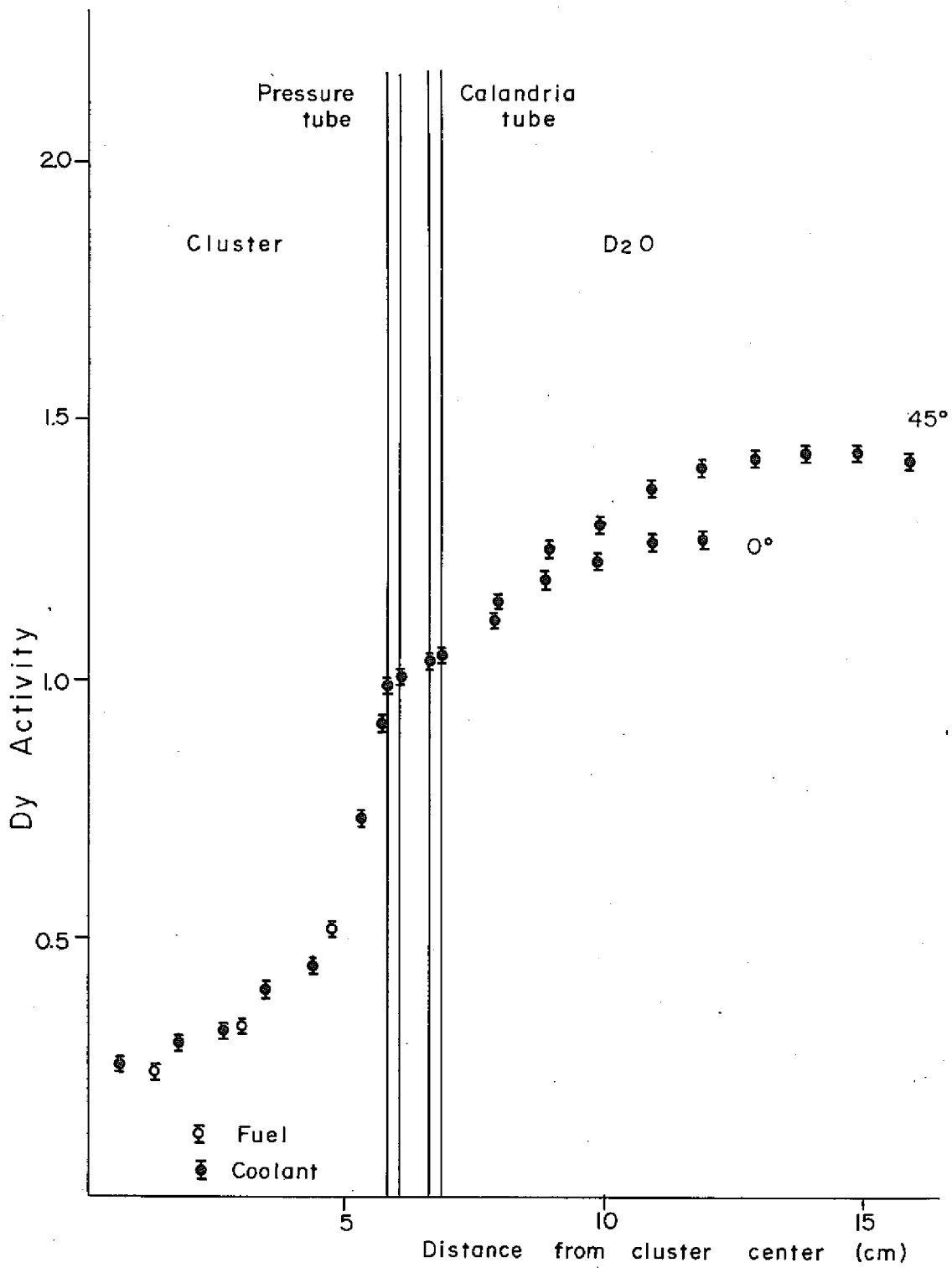


Fig.3 Intra - cell thermal neutron flux distributions ( 0.87 W/o(S) PuO<sub>2</sub> - UO<sub>2</sub> , 0% void )

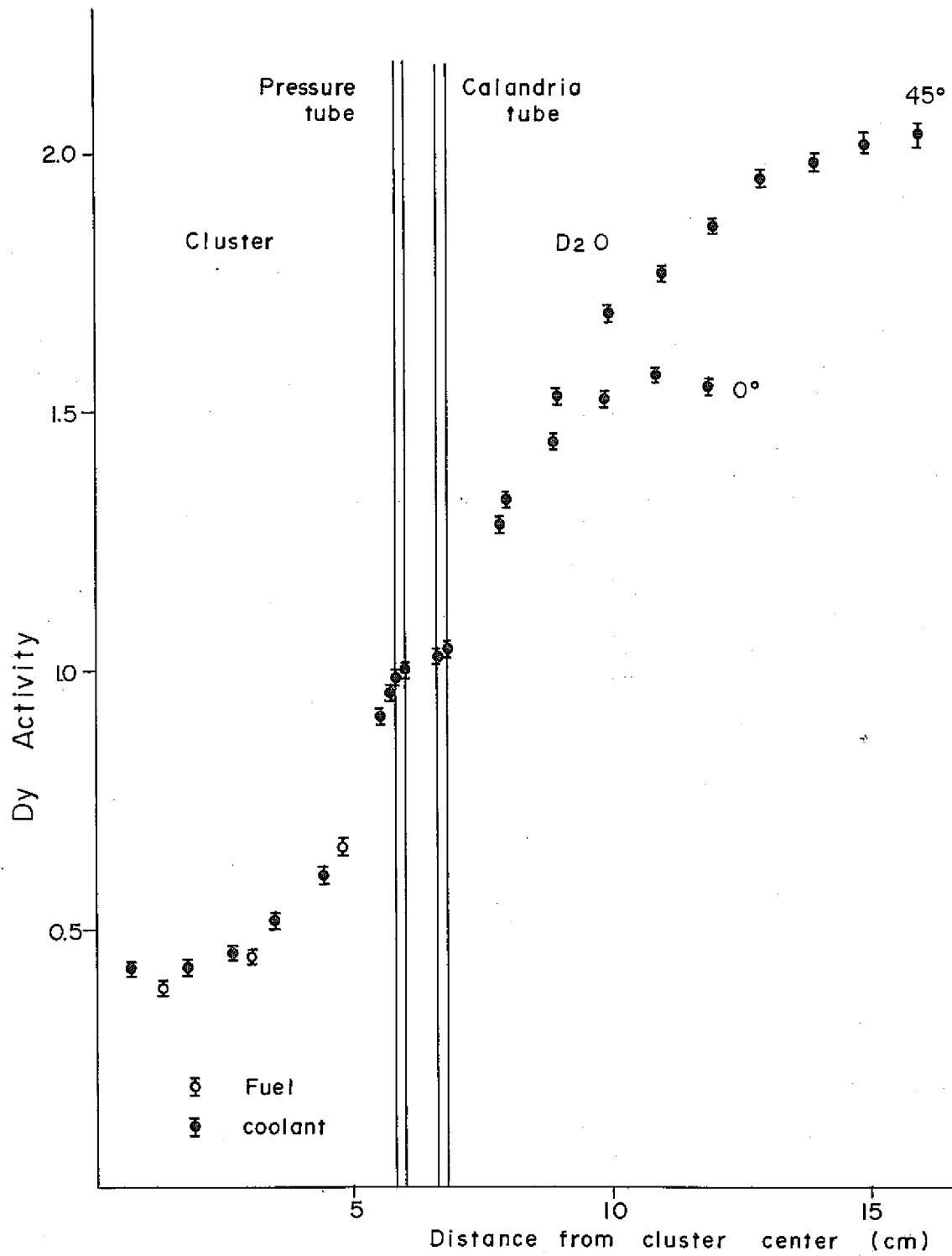


Fig. 4 Intra - cell thermal neutron flux distributions (0.87 w/o (S) PuO<sub>2</sub> - UO<sub>2</sub> , 100% void )

## 5. 検 討

前回のプルトニウム燃料 (0.54W% PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>) の単位格子内熱中性子束分布の測定にひきつづき、プルトニウムの富化度を変えた (0.87W% (s) PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>) 場合の単位格子内熱中性子束分布の測定をおこなった。今回の実験においては次の事が認められた。

- (イ) 富化度を変えた場合でも十分な精度で測定をおこなうことができた。
- (ロ) Fig.5 に 0% ボイドと 100% ボイドの実験結果を合わせて示したが、これより圧力管外側の熱中性子束を 1 に規格化した場合、クラスター中における熱中性子束は 0% ボイドの方が 100% ボイドより小さく、又重水中における熱中性子束は 100% ボイドの方が 0% ボイドより大きくなっている。この傾向は Fig.6 に示したように 0.54W% PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> の実験結果と同様の傾向である。

(ハ) プルトニウムの富化度を変えたことによる熱中性子束分布に対する影響については Fig. 7, 8 に示した。Fig.7 の 0% ボイドについてみるとクラスター中における熱中性子束分布は富化度が大きくなると小さくなり、重水中の熱中性子束分布は富化度が大きくなると大きくなっている。100% ボイドについても富化度が大きくなると、クラスター中、重水中とも 0% ボイドと同様の傾向がみられる。しかし、クラスター中については富化度が増えたことによる熱中性子束分布の低下は 100% ボイドの方が 0% ボイドより大きくなっていることが認められた。

以上、実験で認められた(ロ)、(ハ)について、その現象を調べるため、5.1 で一群拡散理論により考察した。5.2 では核計算コードとして用いられている NOAH-II による計算値との比較をおこなった。又、5.3 で NOAH-II の実験値との相違の原因について論じた。

### 5.1 一群理論よりの考察

(ロ)、(ハ)について一群拡散方程式を用い、複雑な単位格子を Fig.9 のような簡単な単位格子としてその現象を考えてみる。燃料体中の熱中性子拡散方程式は次の様に表わされる。

$$D_0 \nabla^2 \phi_0 - \Sigma_{a0} \phi_0 = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで

- $\phi_0$  : 燃料体中の熱中性子束
- $D_0$  : 燃料体中の拡散係数
- $\Sigma_{a0}$  : 燃料体中の吸収断面積

減速材 (重水) 中に対する熱中性子拡散方程式は次の様に表わされる。

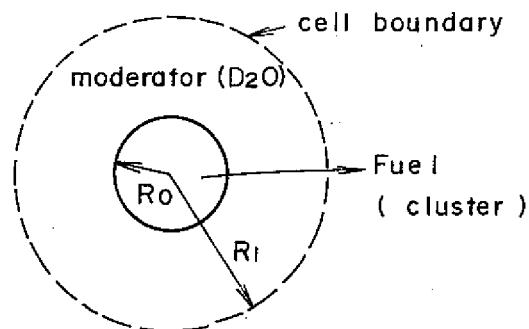


Fig.9 unit cell

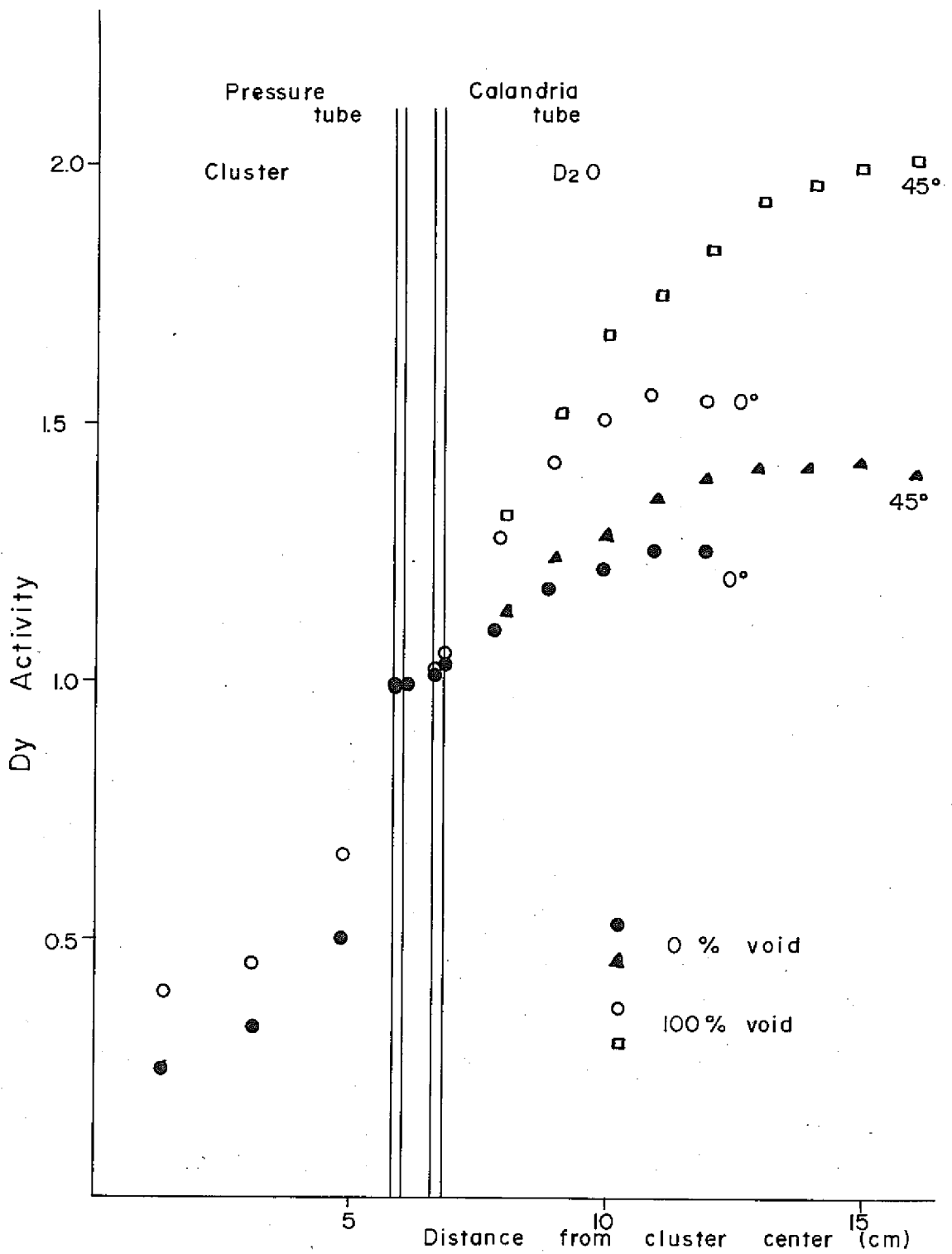


Fig. 5 Intra-cell thermal neutron flux distributions ( $0.87^{W/o(S)}PuO_2-UO_2$ , 0% and 100% void)

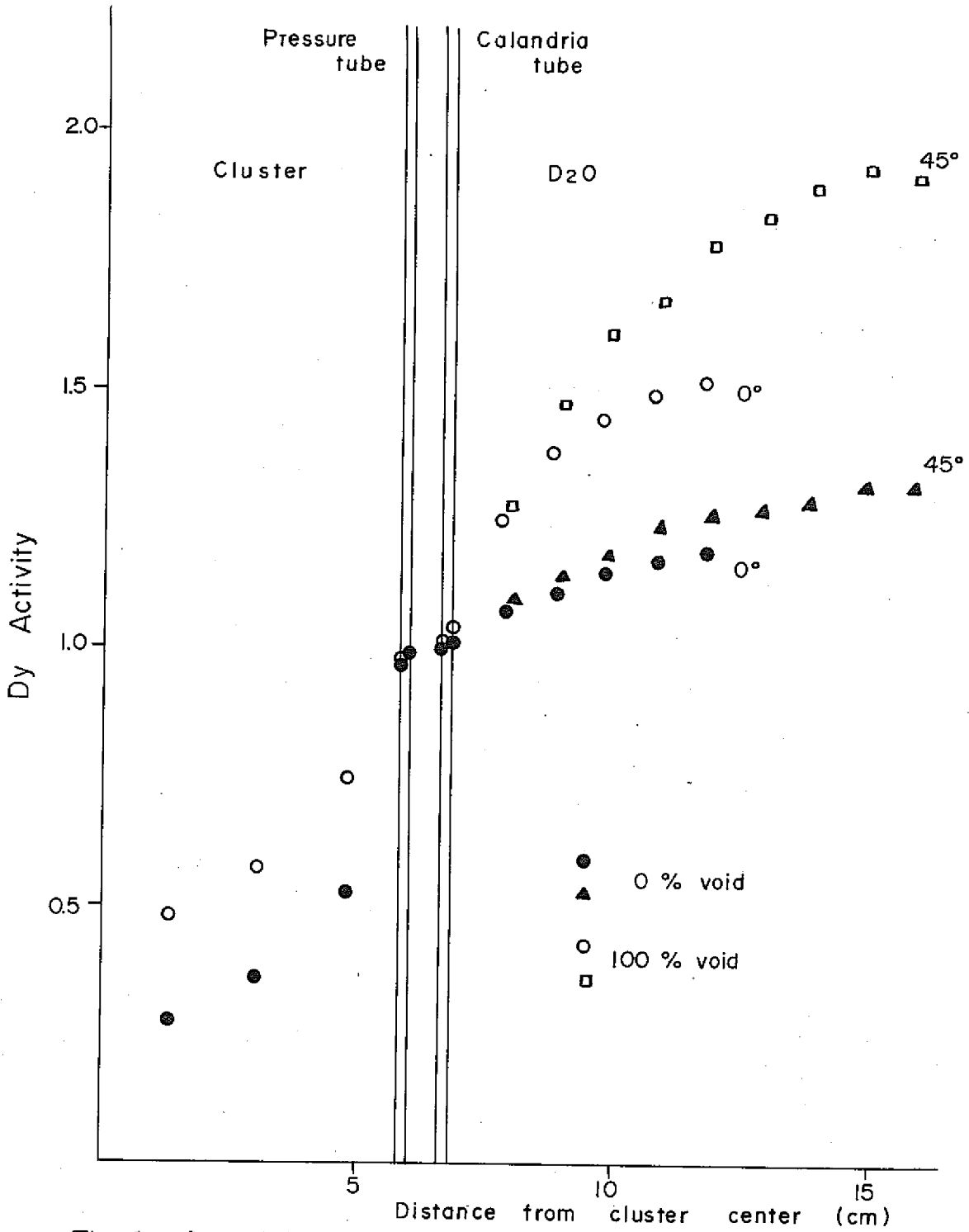


Fig. 6 Intra-cell thermal neutron flux distributions (0.54 W% PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>, 0% and 100% void)



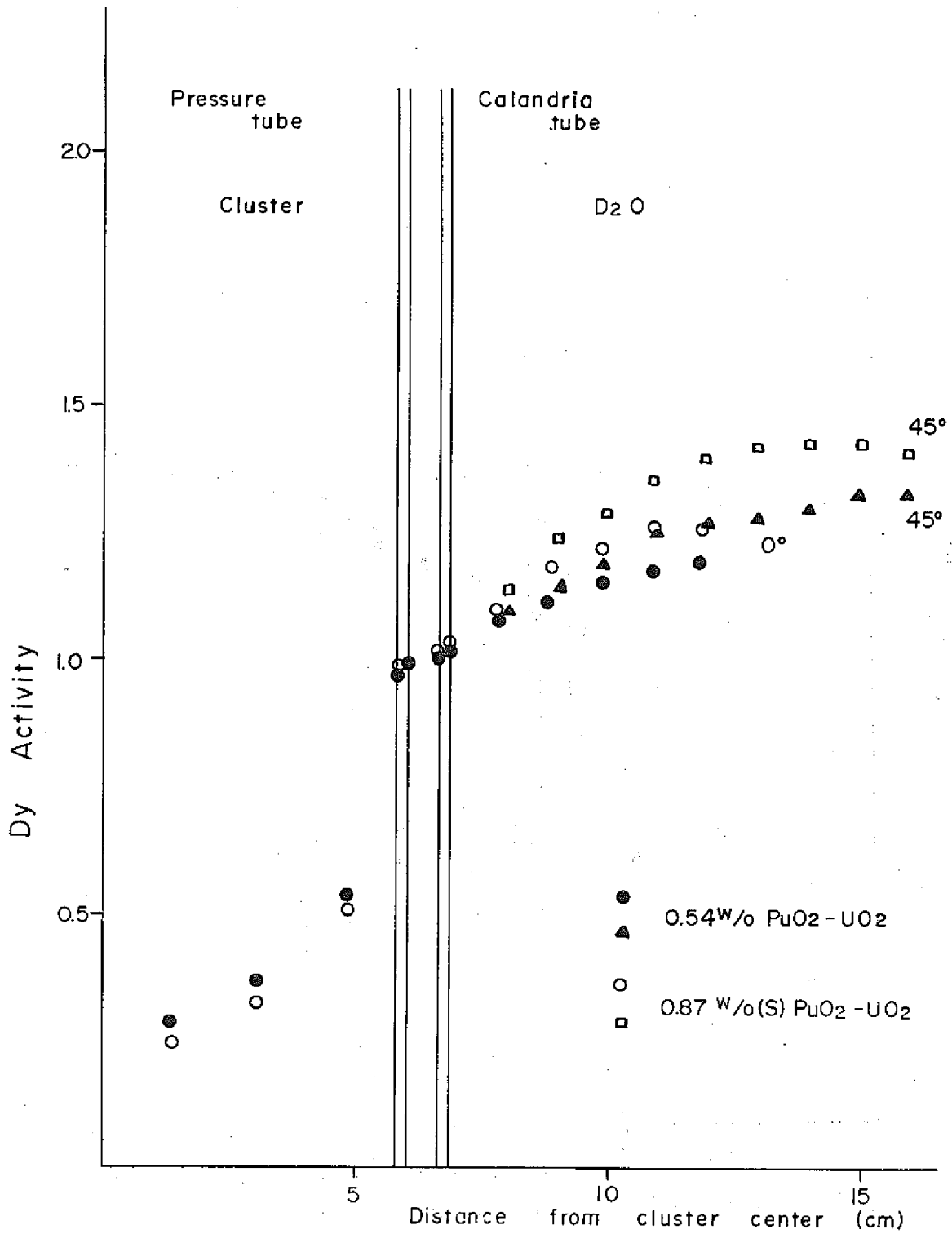


Fig.7 Intra - cell thermal neutron flux distributions (0.54W/o PuO<sub>2</sub>-UO and 0.87 W/o(S)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>, 0 % void )

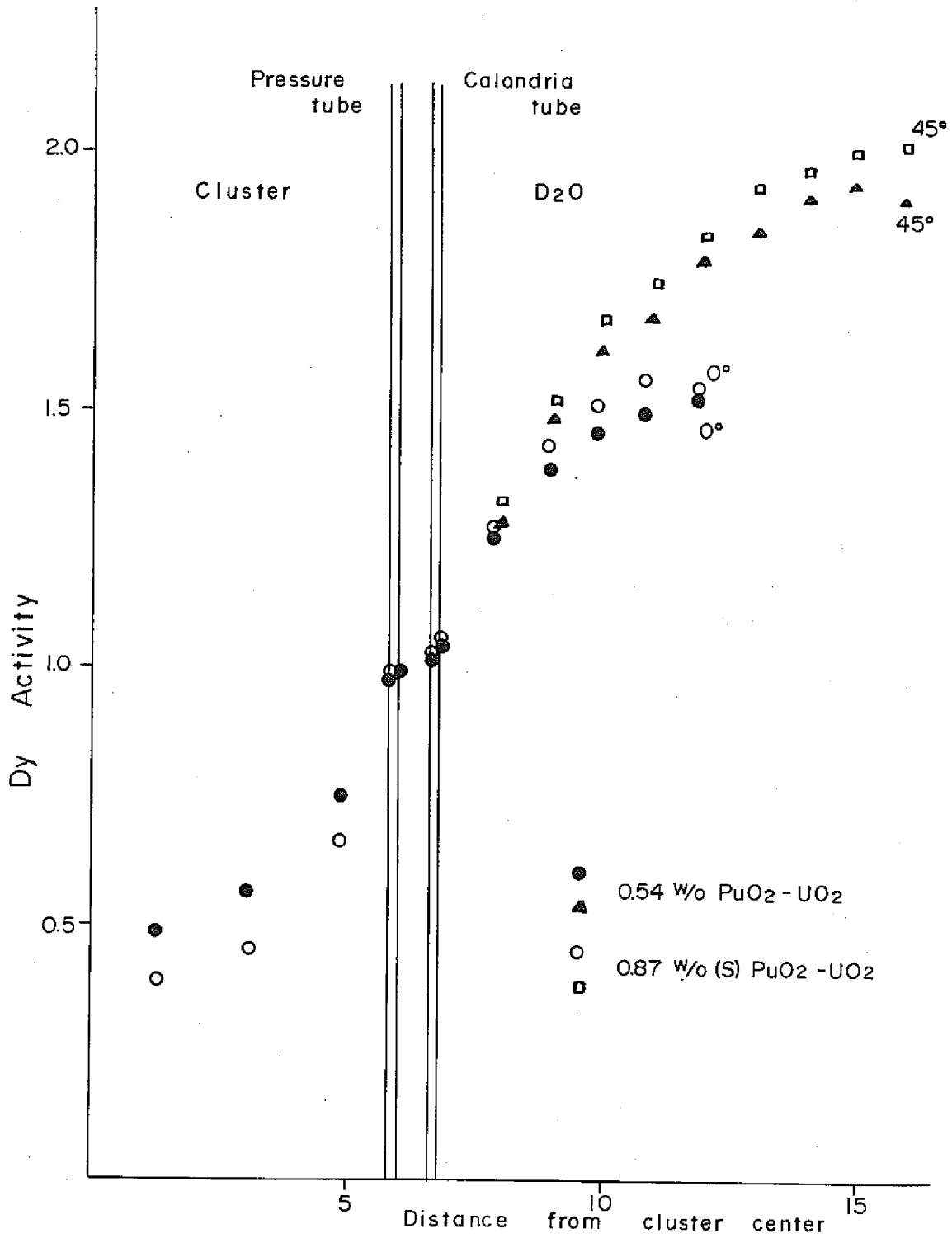


Fig.8 Intra-cell thermal neutron flux distributions ( 0.54 W/o PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> and 0.87 W/o (S) PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>, 100 % void)

$$D_1 \nabla^2 \phi_1 - \Sigma_{a1} \phi_1 + q = 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$\phi_1$  : 減速材中の熱中性子束

$D_1$  : 減速材中の拡散係数

$\Sigma_{a1}$  : 減速材中の吸収断面積

$q$  : 減速材中で毎秒  $1 \text{ cm}^3$  当り熱中性子の発生数

また Fig. 9 で  $R_0$  は燃料体の半径,  $R_1$  は単位格子の境界を表わす。

式(1), (2)を境界条件を用いて解くと次の様になる。

燃料体中の熱中性子束

$$\phi_0 = A I_0 (\kappa_0 r) \quad \dots\dots\dots (3)$$

減速材中の熱中性子束

$$\phi_1 = \frac{q}{\Sigma_{a1}} \left\{ 1 + B [I_0 (\kappa_1 r) K_1 (\kappa_1 R_1) + K_0 (\kappa_1 r) I_1 (\kappa_1 R_1)] \right\} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで

$$\kappa_0 = \sqrt{\frac{\Sigma_{a0}}{D_0}} = \sqrt{3 \Sigma_{a0} \Sigma_{tr0}} = \sqrt{3 \Sigma_{a0} (\Sigma_{s0} + \Sigma_{a0})} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\kappa_1 = \sqrt{\frac{\Sigma_{a1}}{D_1}} = \sqrt{3 \Sigma_{a1} \Sigma_{tr1}} = \sqrt{3 \Sigma_{a1} (\Sigma_{s1} + \Sigma_{a1})} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$A = \frac{q}{\Sigma_{a1}} \frac{1}{\left\{ I_0 (\kappa_0 R_0) - \frac{D_0 \kappa_0 I_1 (\kappa_0 R_0) [I_0 (\kappa_1 R_0) K_1 (\kappa_1 R_1) + K_0 (\kappa_1 R_0) I_1 (\kappa_1 R_1)]}{D_1 \kappa_1 [I_1 (\kappa_1 R_0) K_1 (\kappa_1 R_1) - K_1 (\kappa_1 R_0) I_1 (\kappa_1 R_1)]} \right\}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$B = \frac{1}{\left\{ \frac{D_1 \kappa_1 I_0 (\kappa_0 R_0)}{D_0 \kappa_0 I_1 (\kappa_0 R_0)} [I_1 (\kappa_1 R_0) K_1 (\kappa_1 R_1) - K_1 (\kappa_1 R_0) I_1 (\kappa_1 R_1)] - [I_0 (\kappa_1 R_0) K_1 (\kappa_1 R_1) + K_0 (\kappa_1 R_0) I_1 (\kappa_1 R_1)] \right\}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$\Sigma_{tr0}$  : 燃料体中の輸送断面積

$\Sigma_{tr1}$  : 減速材中の輸送断面積

(1) ボイド率の変化による熱中性子束分布

今, 燃料体を  $0.87\text{w}\%$  (s)  $\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$  とし, 冷却材のボイド率を  $0\%$  (軽水) と,  $100\%$  (空気) の場合について計算してみる。Table 6 に各定数  $\kappa_0, \kappa_1, A, B$  の値を示した。

Table 6 の値を式(3), (4)に代入すると  $0\%$  ボイドにおける燃料体中, 減速材中の熱中性子束は次の式で表わされる。

Table 6 Constants for one-group calculation and results

	0%	100%
$R_0$	6.0 cm	6.0 cm
$R_1$	12.0 cm	12.0 cm
$\bar{\Sigma}_{a0}$	$0.209 \text{ cm}^{-1}$	$0.189 \text{ cm}^{-1}$
$\bar{\Sigma}_{s0}$	$1.927 \text{ cm}^{-1}$	$0.181 \text{ cm}^{-1}$
$\bar{\Sigma}_{tr0} = \bar{\Sigma}_{a0} + \bar{\Sigma}_{s0}$	$2.136 \text{ cm}^{-1}$	$0.370 \text{ cm}^{-1}$
$\kappa_0$	$1.157 \text{ cm}^{-1}$	$0.458 \text{ cm}^{-1}$
$\bar{\Sigma}_{a1}$	$0.000033 \text{ cm}^{-1}$	$0.000033 \text{ cm}^{-1}$
$\bar{\Sigma}_{s1}$	$0.449 \text{ cm}^{-1}$	$0.449 \text{ cm}^{-1}$
$\bar{\Sigma}_{tr1} = \bar{\Sigma}_{a1} + \bar{\Sigma}_{s1}$	$0.449 \text{ cm}^{-1}$	$0.449 \text{ cm}^{-1}$
$\kappa_1$	$0.00667 \text{ cm}^{-1}$	$0.00667 \text{ cm}^{-1}$
A	0.336	6.931
$K_1(\kappa_1 R_1)$	12.373	12.373
$I_1(\kappa_1 R_1)$	0.04	0.04
B	-0.07978	-0.07985
q	$1/\text{cm}^3 \cdot \text{sec}$	$1/\text{cm}^3 \cdot \text{sec}$
$q/\bar{\Sigma}_{a1}$	$0.303 \times 10^5 / \text{cm}^2 \cdot \text{sec}$	$0.303 \times 10^5 / \text{cm}^2 \cdot \text{sec}$

燃料体中  $\phi_0(r) = 0.336 I_0(1.157r)$  ..... (9)

減速材中  $\phi_1(r) = 0.303 \times 10^5 \{ 1 - 0.07978 [ 12.373 K_1(0.00667r) + 0.04 K_0(0.00667r) ] \}$  ... (10)

同様に代入して100%ボイドにおいては次の様になる。

燃料体中  $\phi_0(r) = 6.931 I_0(0.457r)$  ..... (11)

減速材中  $\phi_1(r) = 0.303 \times 10^5 \{ 1 - 0.07985 [ 12.373 K_1(0.00667r) + 0.04 K_0(0.00667r) ] \}$  ... (12)

Fig.10 に、式(9)、(10)、(11)、(12)で計算された0%ボイド、100%ボイドにおける熱中性子束分布を示す。燃料体の境界を1に規格化している。

Fig.10 より認められることは Fig.5 の実験値と数値は一致しないが、0%、100%における傾向は同じである。すなわち、燃料体中での熱中性子束は0%ボイドの方が100%ボイドより小さく、又重水中では100%ボイドの方が0%ボイドより大きくなっている。

このようになる原因を燃料体、減速材とに分けて考えてみる。燃料体中での熱中性子束は式(9)、(11)で表わされるが、燃料体の境界で規格化すると熱中性子束分布は  $I_0$  関数内の係数  $\kappa_0$  で決まってくる。すなわち  $\kappa_0$  の値が大きくなると熱中性子束は下がり、 $\kappa_0$  が小さい

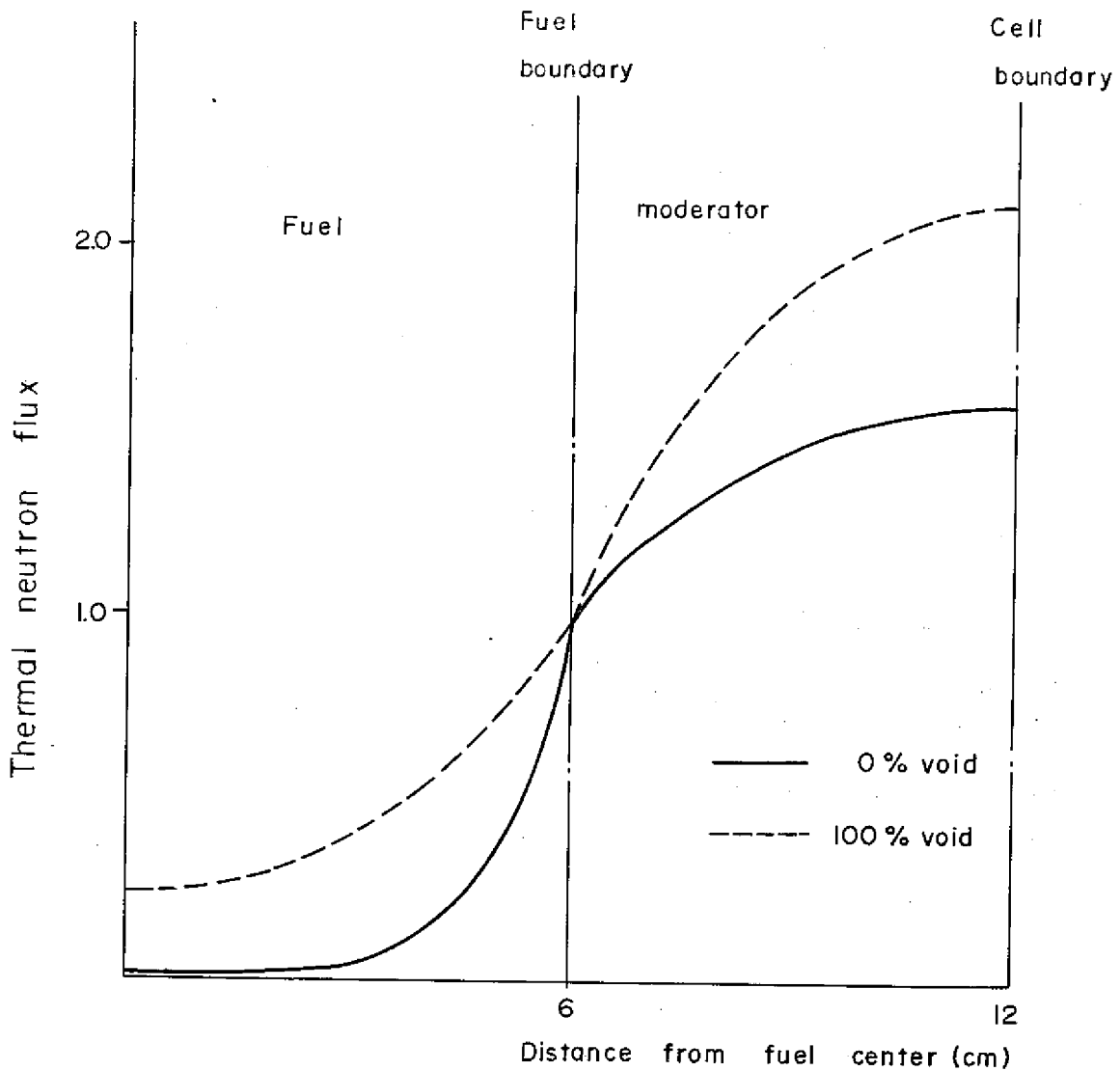


Fig.10 Thermal neutron flux in unit cell calculated by one-group diffusion equation

と上がってくる。

$\kappa_0$  の値は式(5)で  $\kappa_0 = \sqrt{3 \Sigma_{a0} (\Sigma_{s0} + \Sigma_{a0})}$  と表わされるが、ここでの  $\Sigma_{a0}$ 、 $\Sigma_{s0}$  は 0% ボイドの場合は 0.87% (s)  $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$  燃料と水、100% ボイドの場合は 0.87% (s)  $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$  燃料と空気の混合物の  $\Sigma_{a0}$ 、 $\Sigma_{s0}$  と簡単に考えられる。この混合物中の  $\bar{\Sigma}_{a0}$ 、 $\bar{\Sigma}_{s0}$ 、 $\kappa_0$  各成分別に考えてみると Table 7 のようになる。

これより次のことが認められる。

- (イ)  $\bar{\Sigma}_{a0}$  に関しては 0% ( $\bar{\Sigma}_{a0} = 0.209$ )、100% ( $\bar{\Sigma}_{a0} = 0.189$ )ともあまり変わらない。このことは、吸収は燃料によることが大きく、水が入ったことによる水の吸収は小さいことを表わしている。 $\kappa_0$  に対して  $\bar{\Sigma}_{a0}$  はあまり大きな貢献を示していない。

Table 7 Constant for one-group calculation

	0%	100%
$\Sigma_{a0}(\text{Fuel})$	0.401 $\text{cm}^{-1}$	0.401 $\text{cm}^{-1}$
$\Sigma_{a0}(\text{H}_2\text{O})$	0.0221 $\text{cm}^{-1}$	
$\Sigma_{a0}(\text{Air})$		0.00001 $\text{cm}^{-1}$
$\bar{\Sigma}_{a0} \approx \frac{1}{2}(\Sigma_{a0}(\text{F}) + \Sigma_{a0}(\text{H}_2\text{O}))$	0.209 $\text{cm}^{-1}$	
$\bar{\Sigma}_{a0} \approx \frac{1}{2}(\Sigma_{a0}(\text{F}) + \Sigma_{a0}(\text{Air}))$		0.189 $\text{cm}^{-1}$
$\Sigma_{s0}(\text{Fuel})$	0.360 $\text{cm}^{-1}$	0.360 $\text{cm}^{-1}$
$\Sigma_{s0}(\text{H}_2\text{O})$	3.44 $\text{cm}^{-1}$	
$\Sigma_{s0}(\text{Air})$		0.00157 $\text{cm}^{-1}$
$\bar{\Sigma}_{s0} \approx \frac{1}{2}(\Sigma_{s0}(\text{F}) + \Sigma_{s0}(\text{H}_2\text{O}))$	1.927 $\text{cm}^{-1}$	
$\bar{\Sigma}_{s0} \approx \frac{1}{2}(\Sigma_{s0}(\text{F}) + \Sigma_{s0}(\text{Air}))$		0.181 $\text{cm}^{-1}$
$\kappa_0$	1.157 $\text{cm}^{-1}$	0.458 $\text{cm}^{-1}$

(ロ)  $\bar{\Sigma}_{s0}$  に関しては 0% ( $\bar{\Sigma}_{s0} = 1.927$ ), 100% ( $\bar{\Sigma}_{s0} = 0.181$ ) とで大きく変っている。これは水の  $\Sigma_{s0}$  が燃料の  $\Sigma_{s0}$  より大きく、空気の  $\Sigma_{s0}$  よりも大きいためである。水が入ったことによる  $\Sigma_{s0}$  の増大は  $\kappa_0$  に大きく貢献していることを示している。

以上のことより 0% ボイドが 100% ボイドに比べて熱中性子束が低下する原因の主なものは水が入ったことによる  $\bar{\Sigma}_{s0}$  の増大であることが認められた。

次に減速材中の熱中性子束分布について考えてみる。減速材中の熱中性子束は式(10), (11) で表わされるが、0% ボイド, 100% ボイドとボイド率に変わったことによる式の上での変化は式(8)で表わされる係数 B だけである。残りの係数は燃料体に関係ない重水の定数である。このことは、発生した熱中性子が距離とともにどのように減衰していくかその割合を係数 B が示している。

又、式(8)に示されるように係数 B の中で変化する項は分母の第 1 項だけである。式(8)を(5), (6)を用いて書き直すと次の様になる。

$$B = \frac{1}{\left\{ C [I_1(\kappa_1 R_0) K_1(\kappa_1 R_1) - K_1(\kappa_1 R_0) I_1(\kappa_1 R_1)] - [I_0(\kappa_1 R_0) K_1(\kappa_1 R_1) + K_0(\kappa_1 R_0) I_1(\kappa_1 R_1)] \right\}} \quad (13)$$

ここで

$$C = \frac{\sqrt{\Sigma_{a1}/\Sigma_{tr1}} I_0(\kappa_0 R_0)}{\sqrt{\Sigma_{a0}/\Sigma_{tr0}} I_1(\kappa_0 R_0)} \quad (14)$$

式(13)においてボイド率の変化にともなって変わるものは式(14)のC項である。C項について0%, 100%における各定数を代入して変化の状態を調べてみると、

0%ボイド

$$C_0 = \frac{\sqrt{\frac{0.000033}{0.449 + 0.000033}}}{\sqrt{\frac{0.209}{1.927 + 0.209}}} \times \frac{159.8}{147.8} = \frac{8.173 \times 10^{-3}}{0.313} \times 1.081 = 0.0282$$

100%ボイド

$$C_{100} = \frac{\sqrt{\frac{0.000033}{0.449 + 0.000033}}}{\sqrt{\frac{0.189}{0.181 + 0.189}}} \times \frac{3.983}{3.144} = \frac{8.173 \times 10^{-3}}{0.511} \times 1.267 = 0.0203$$

となる。これよりC項の値を大きく変化させているのは、 $\frac{\bar{\Sigma}_{a0}}{\bar{\Sigma}_{tr0}}$ であることが認められた。すなわち燃料中の $\frac{\bar{\Sigma}_{a0}}{\bar{\Sigma}_{tr0}}$ が小さければCの値は大きくなりBの値は小さくなる。又逆に $\frac{\bar{\Sigma}_{a0}}{\bar{\Sigma}_{tr0}}$ が大きくなればCの値は小さくなり、Bの値は大きくなる。

## (2) 富化度の変化による熱中性子束分布

燃料の富化度が増加したことによる熱中性子束分布の変化については、(1)の場合と同様に燃料体中、減速材中に分けて考えることができる。

燃料体中の熱中性子束は式(8)で表わされ、分布は $\kappa_0$ に依存することが前に示されたが、富化度の変化が $\kappa_0$ にどのように影響するか、燃料を0.54% PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>と0.87% (s) PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> 2つの富化度の異なるものについて考えてみる。Table 8に2つの富化度の燃料における各定数を示した。又Fig. 11に0.54% PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>と0.87% (s) PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> 2つの富化度における0%, 100%ボイドの熱中性子束分布を示した。

Fig. 11より0%, 100%両ボイドとも、燃料体中の熱中性子束は0.87% 富化の方が0.54% 富化より低くなっていることを示している。これは富化度が小さくなると燃料体中の $\bar{\Sigma}_{s0}$ ,  $\bar{\Sigma}_{a0}$ が小さくなり、 $\kappa_0$ が小さくなったためである。又各富化度の燃料体の0%ボイドどおし、100%ボイドどうしを比較すると、100%ボイドの方が2つの分布間の差は大きくなっている。これはTable 8の $\kappa_0$ を見てわかるように0%ボイドでは $\kappa_0$ の値はあまり大きく変化していないが、100%ボイドでは大きく変化していることによる。この原因は、富化度が変わると燃料の $\bar{\Sigma}_{s0}$ ,  $\bar{\Sigma}_{a0}$ が変化するが、0%ボイドにおいて $\kappa_0$ に大きく貢献しているのは水の $\bar{\Sigma}_{s0}$ であるため、0%ボイドでは燃料の $\bar{\Sigma}_{s0}$ ,  $\bar{\Sigma}_{a0}$ の変化はあまり $\kappa_0$ にきかないため $\kappa_0$ の値はあまり変化しないと思われる。100%ボイドで $\kappa_0$ が大きく変化しているのは水がないため、燃料の $\bar{\Sigma}_{a0}$ ,  $\bar{\Sigma}_{s0}$ の変化が $\kappa_0$ に直接に貢献し、 $\kappa_0$ を大きく変化させるためであると思われる。

Table 8 Constant for one-group calculation

	0%		100%	
	0.54 w/o PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	0.87 w/o (s) PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	0.54 w/o PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	0.87 w/o (s) PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>
$\Sigma_{a0}(\text{Fuel})$	0.291	0.401	0.291	0.401
$\Sigma_{a0}(\text{H}_2\text{O})$	0.0221	0.0221		
$\Sigma_{a0}(\text{Air})$			0.00001	0.00001
$\bar{\Sigma}_{a0}(\text{F+H}_2\text{O})$	0.159	0.209		
$\bar{\Sigma}_{a0}(\text{F+Air})$			0.130	0.189
$\Sigma_{s0}(\text{Fuel})$	0.314	0.360	0.314	0.360
$\Sigma_{s0}(\text{H}_2\text{O})$	3.44	3.44		
$\Sigma_{s0}(\text{Air})$			0.00157	0.00157
$\bar{\Sigma}_{s0}(\text{F+H}_2\text{O})$	1.899	1.927		
$\bar{\Sigma}_{s0}(\text{F+Air})$			0.148	0.181
$\kappa_0$	0.990	1.157	0.329	0.458

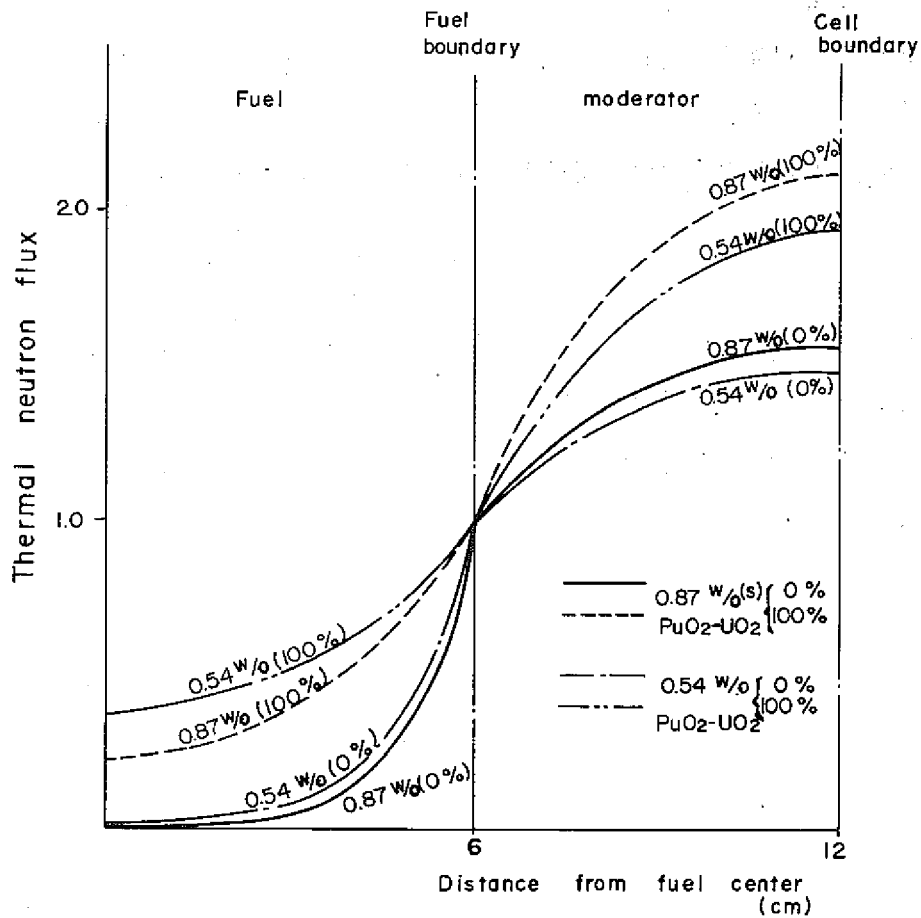


Fig.11 Thermal neutron flux in unit cell calculated by one-group diffusion equation



以上のような燃料体中における傾向は Fig. 7. 8 の実験値と同様の傾向を示している。

減速材中の熱中性子束分布についても(1)と同様に考えることができる。減速材中の熱中性子束は式(8)の係数 B だけに依存し、B は主に  $\frac{\bar{\Sigma}_{a0}}{\bar{\Sigma}_{tr0}}$  に依存することが示されている。富化度、ポイド率のちがいによる B, C,  $\frac{\bar{\Sigma}_{a0}}{\bar{\Sigma}_{tr0}}$  について Table 9 に示した。

Table 9 Constants for one-group calculation and results

	0%		100%	
	0.54% PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	0.87% (s)PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	0.54% PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	0.87% (s)PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>
$\frac{\bar{\Sigma}_{a0}}{\bar{\Sigma}_{tr0}}$	0.0692	0.0891	0.298	0.338
C	0.0341	0.0296	0.0206	0.0178
B	-0.07976	-0.07978	-0.07983	-0.07985

Table 9 より係数 B の富化度の相違による変化は 0%、100%ポイドとではほぼ同じ割合で変化しその変化量も小さいことが認められた。このことは Fig. 11 の減速材中での熱中性子束分布の変化の割合に影響し、0%、100%とも富化度による変化の割合はほぼ同じであることを示している。

Fig. 7. 8 に示した実験値は減速材中においても以上のような傾向を示している。

簡単な一群理論を用いて、ポイド率による熱中性子束分布の変化、富化度による熱中性子束分布の変化、富化度による熱中性子束分布の変化について調べたが、このような簡単な計算においても、変化の傾向が十分に説明できることが示された。

## 5.2 NOAH-IIによる計算値との比較

NOAH-IIコードによる計算値は0.87W/o(s)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料だけでなく、0.54W/oPuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料についても求め、2つの富化度における実験値と比較をおこなった。付録1に0.87W/oPuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>(s)燃料と0.54W/oPuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料の物理定数を示し、又付録2にはNOAH-II計算のための入力を示した。

前回の報告書でも述べたようにNOAH-IIによる反応率計算においてDyの反応率の計算はなされない。このため今回も計算値としてはDyの反応率のかわりにNOAH-IIで計算ができ、かつ $\frac{1}{V}$ 吸収物質であるMnの反応率を用いた。

NOAH-IIによる各燃料体系における計算値と実験値との比較をFig.12, 13, 14, 15に示した。

Fig.12は0.87W/o(s)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料の0%ボイド、

Fig.13は0.87W/o(s)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料の100%ボイド、

Fig.14は0.54W/oPuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料の0%ボイド、

Fig.15は0.54W/oPuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料の100%ボイドの計算値と実験値の比較である。

以上4つの燃料体系の計算値と実験値の比較より次のことが認められた。

- (イ) 0.87W/o(s)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料の0%ボイドにおいては、燃料中の第1リング付近の一致は悪く、第2、第3リングになると、第1リングより一致は良くなっている。減速材中では計算値は0°方向実験値と45°方向実験値のほぼ中間に位置し、一致は良いと思われる。又、Fig.14の富化度が低い0.54W/oPuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料0%ボイドの分布と比較すると、燃料中、減速材中とも0.87W/o(s)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料0%ボイドの方が一致は良いと思われる。
- (ロ) 0.87W/o(s)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料の100%ボイドにおいては、燃料中の第1、第2、第3リングとも一致はあまり良くなく、減速材中では一致は良いと思われる。これに対して0.54W/oPuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料についてはFig.15より燃料中、減速材中とも一致は良いと思われる。
- このようにNOAH-IIによる計算値と実験値の比較においてシステムマテックな傾向は見られない。このことはNOAH-IIコードによる計算結果は、ある程度の幅をもって使用しなければならないことを示していると思われる。

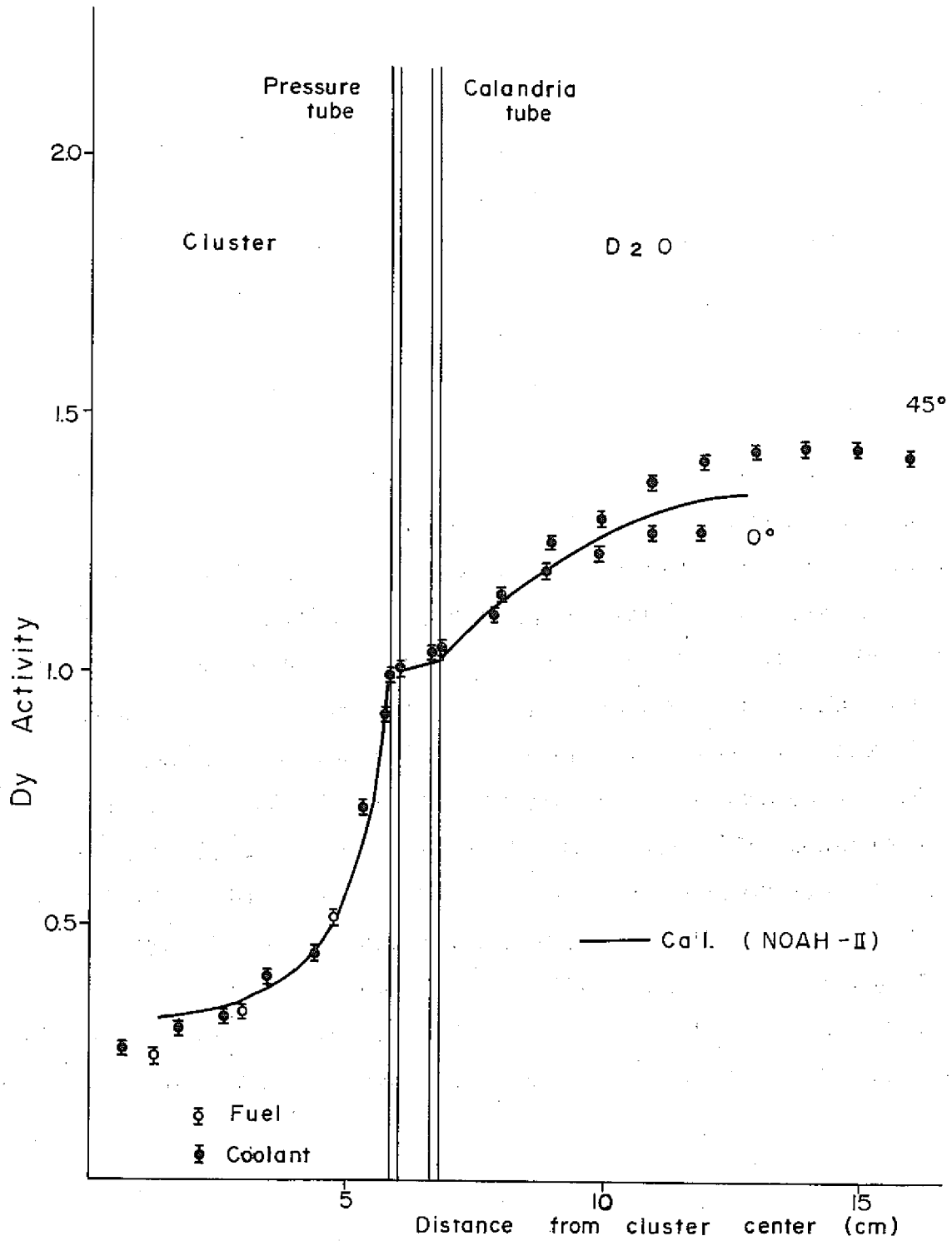


Fig.12 Intra - cell thermal neutron flux distributions ( 0.87 W% (S) PuO<sub>2</sub> - UO<sub>2</sub> , 0% void )

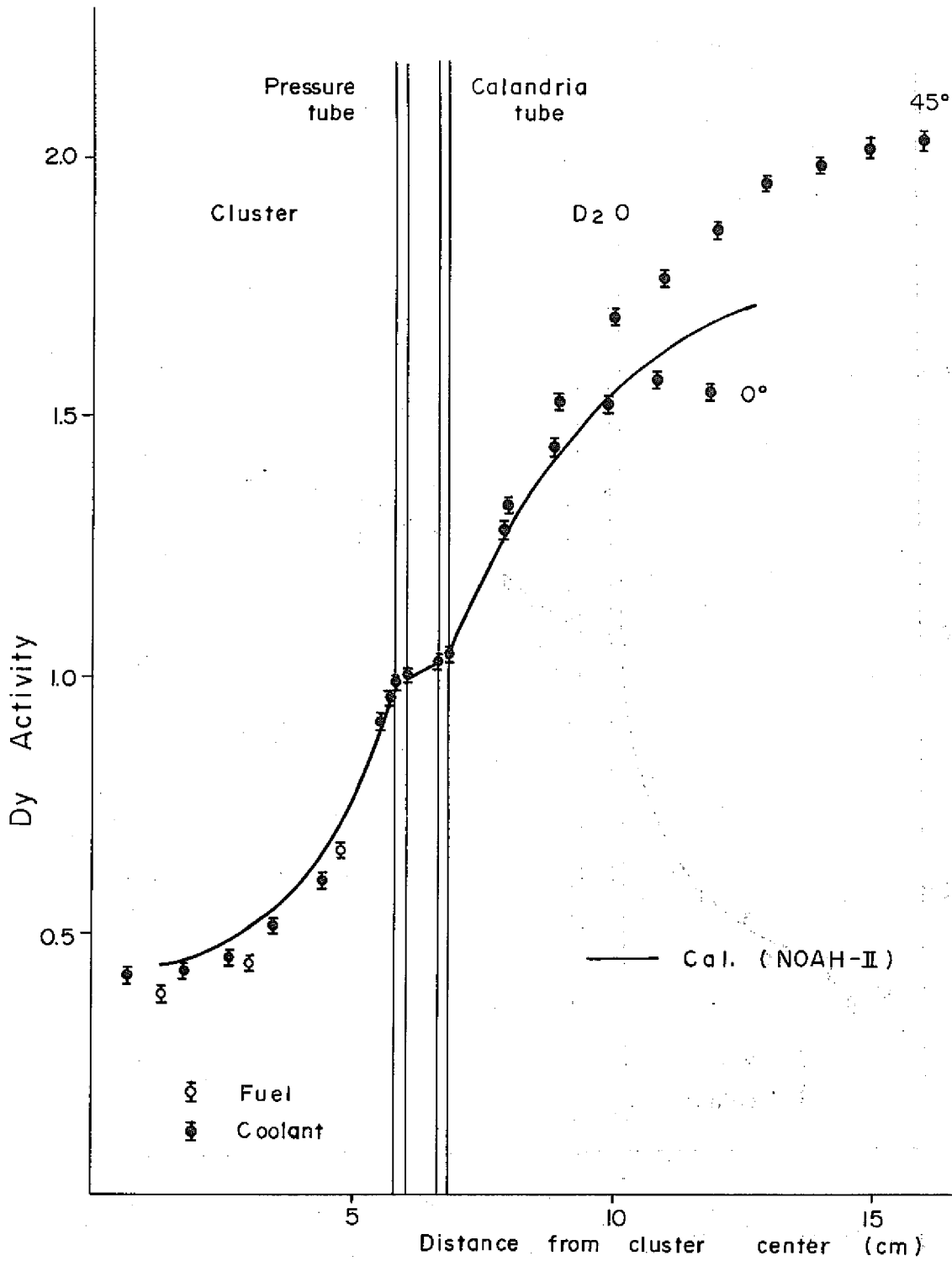


Fig. 13 Intra - cell thermal neutron flux distributions (0.87 W<sub>0</sub>(S) PuO<sub>2</sub>UO<sub>2</sub>, 100 % void)

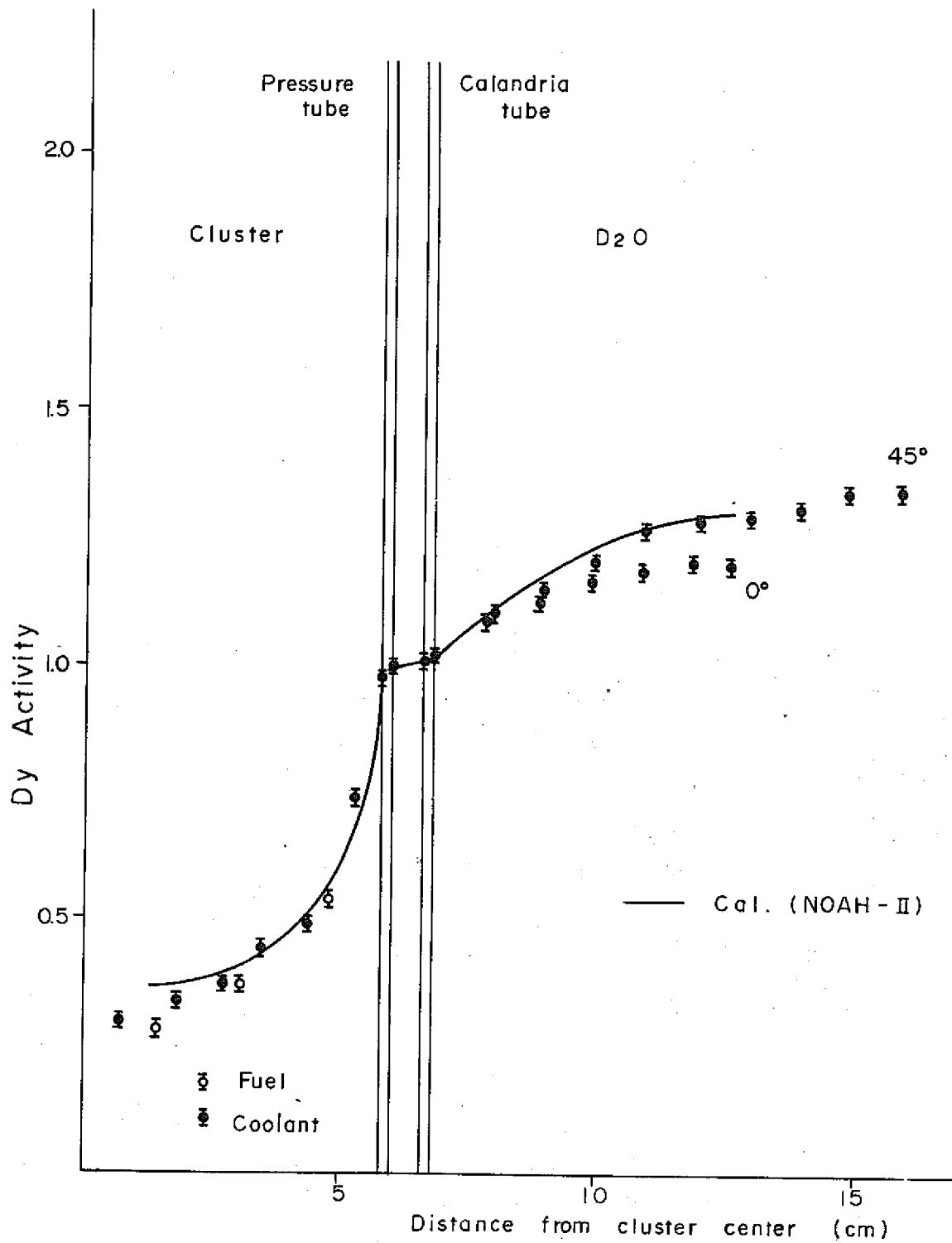


Fig.14 Intra - cell thermal neutron flux distributions (0.54 w/o PuO<sub>2</sub> - UC<sub>2</sub>, 0 % void)

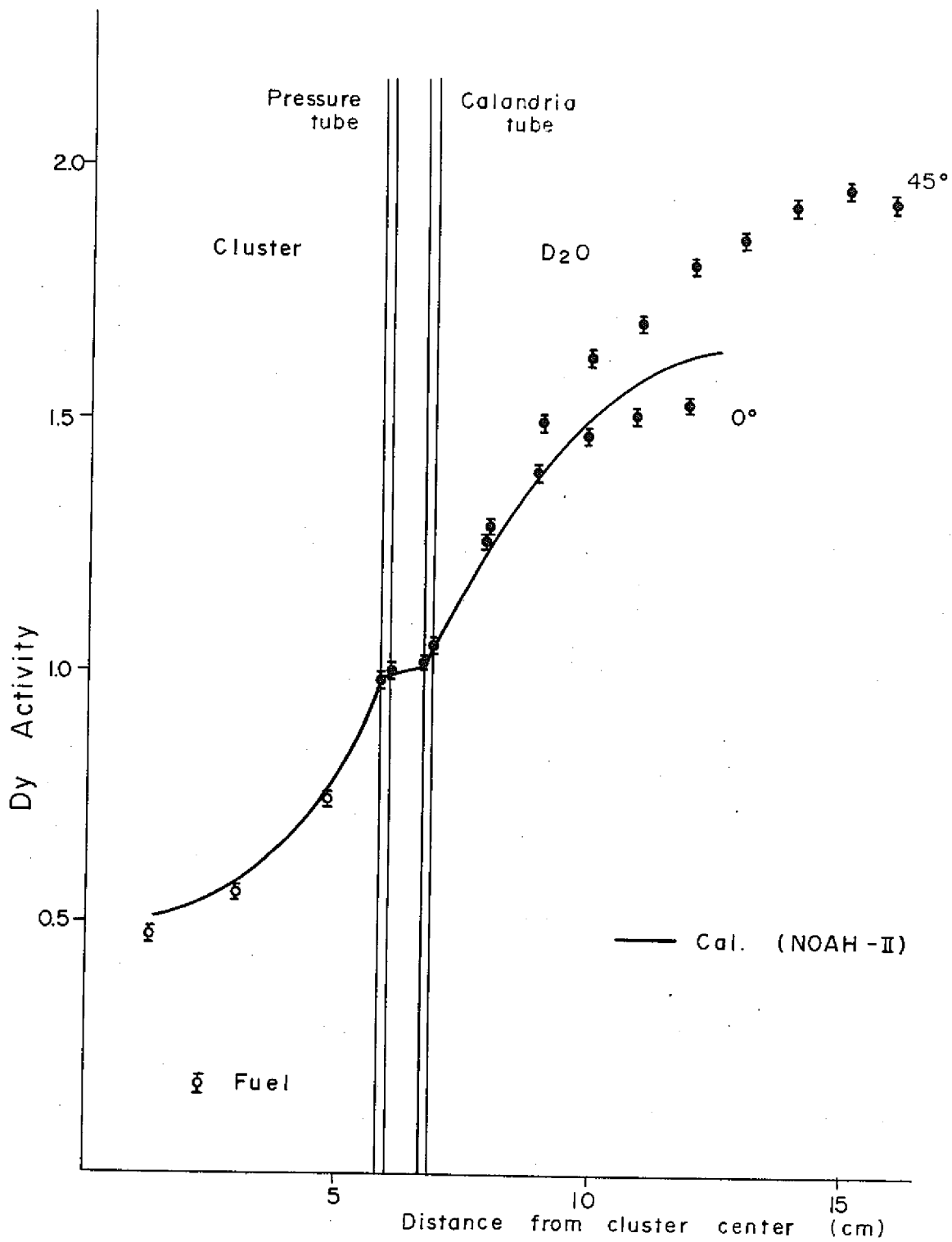


Fig.15 Intra - cell thermal neutron flux distributions (0.54 w/o PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> , 100% void)

### 5.3 NOAH-IIによる計算値と実験値の相違の考察

5.2においてNOAH-IIによる計算値と実験値について相違があることが認められたが、これについて考察する。

5.1の一群理論において、燃料中の熱中性子束は $I_0$ 関数で表わされることが示されたが、今、この $I_0$ 関数を用いて実験値と計算値とをフィットさせ、 $I_0$ 関数でこれらの値が表わされるかどうかを調べた。フィットは圧力管外側と燃料の第3リングとでおこない、その結果をFig.16, 17, 18, 19に示した。Fig.16, 17は0.54%PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>と0.87%(s)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>の0%ボイドについて、Fig.18, 19は同じく100%ボイドについて示した。これらの結果より次のことが認められた。

(イ) 0.54%PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>と0.87%(s)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>の両方の0%ボイドにおいては、NOAH-IIによる計算値の $I_0$ 関数フィット値と実験値の $I_0$ 関数フィット値はほとんど同じであった。これは第3リングでの計算値と実験値がほとんど一致していることによる。

また、計算値、実験値とも両 $I_0$ 関数のフィット値との第1リング付近におけるずれは非常に大きくなっていることが示された。

(ロ) 100%ボイドにおいては、計算値、実験値の $I_0$ 関数フィット値に差がみられ(グラフでAに相当する分)、その差は0.87%(s)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>の方が大きいことが示された。また計算値でのフィット値は上の方に実験値では下の方になることが示された。

以上の傾向について、100%ボイドでまず考えてみる。計算値と実験値で $I_0$ 関数フィット値が異なることは前の5.1でも述べたように $I_0$ 関数の係数 $k_0$ が異なることである。NOAH-IIの計算値と計算値の $I_0$ 関数フィット値を比べると第1リング付近で計算値とフィット値のずれが表われている(グラフでBに相当する部分)。これらの100%ボイドにおける傾向の分析より次のことが考えられる。

(イ) NOAH-IIの熱中性子束分布計算は単純な $I_0$ 関数の計算ではなく $I_0$ 関数に何か補正項のようなもの(グラフでBに相当する分)をつけた計算をおこなっていると考えられる。

(ロ) しかし、NOAH-IIの計算で $I_0$ 関数に相当する部分の計算は実験値との不一致が示すとおり十分うまくやっていないのではないかと考えられる。

(ハ) 実験値の $I_0$ 関数フィット値は、実験値より下の方になっている。これは実験値が単純な $I_0$ 関数では表わせない何か補正項をつけない形であると考えられる。

(ニ) (イ)、(ロ)、(ハ)より実験値の $I_0$ 関数フィット値にNOAH-IIによる補正項を加えれば実験値と一致するのではないかと思われる。すなわちNOAH-IIの計算で $k_0$ に相当する部分を実験値に合うように決めてやればNOAH-IIの計算値は実験値と一致するのではないかと思われる。

次に0%ボイドにおける傾向より次のことが考えられる。

- (イ) 0%ポイドにおいて  $I_0$  関数フィット値が同じであるということは  $\kappa_0$  の値がほぼ同じであることを示している。
- (ロ) これは水による影響であると思われる。すなわち 5.1 でも述べたように 0%ポイドにおいて  $\kappa_0$  を左右しているのは水の  $\Sigma_{s0}$  であり, NOAH-II による計算値も, 実験値も  $I_0$  関数に相当する成分は, 100%のように差が顕著に表われず同じようになったものと思われる。このため NOAH-II における補正項の部分がどの程度あるかははっきりわからない。
- (ハ) しかし, 補正項の部分は大きく 0%ポイドにおいて寄与していることがグラフよりもよみとれる。

以上 NOAH-II と実験値の相違の原因についていろいろ考察してきたが, 実際には NOAH-II の何をどの程度変えれば  $\kappa_0$  の変化を模擬できるかを考えてみる。 $\kappa_0$  は式(5)で表わされる。

$$\kappa_0 = \sqrt{3 \Sigma_{a0} (\Sigma_{s0} + \Sigma_{a0})}$$

今, 計算値の  $I_0$  関数のフィット値の  $\kappa_{01}$  と実験値の  $I_0$  関数のフィット値の  $\kappa_{02}$  との比を求めると次のようになる。

$$\frac{\kappa_{02}}{\kappa_{01}} = \frac{\sqrt{3 \Sigma_{a02} (\Sigma_{s02} + \Sigma_{a02})}}{\sqrt{3 \Sigma_{a01} (\Sigma_{s01} + \Sigma_{a01})}} = \sqrt{\frac{\Sigma_{a02} (\Sigma_{s02} + \Sigma_{a02})}{\Sigma_{a01} (\Sigma_{s01} + \Sigma_{a01})}} \dots \dots \dots (15)$$

ここで荷号 1, 2 は計算値, 実験値を示す。

これより  $\Sigma_s, \Sigma_a$  が変わるように NOAH-II の定数を変えてやれば良いと思われる。

0.54%PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> と 0.87%(s)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> の 100%ポイドにおける計算値, 実験値の  $I_0$  関数フィットの  $\kappa_0$  の比を求めると次のようになる。

0.54%PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>

$$\frac{\kappa_{02}}{\kappa_{01}} = \frac{0.340}{0.305} = 1.11$$

0.87%(s)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>

$$\frac{\kappa_{02}}{\kappa_{01}} = \frac{0.440}{0.390} = 1.13$$

この2つの  $\kappa_0$  の比の平均値を求めると 1.12 となり(15)式は次のようになる。

$$1.12 = \sqrt{\frac{\Sigma_{a02} (\Sigma_{s02} + \Sigma_{a02})}{\Sigma_{a01} (\Sigma_{s01} + \Sigma_{a01})}} \dots \dots \dots (16)$$

(16)式を変形すると次のようになる。

$$1.2544 \Sigma_{a01} \Sigma_{s01} + 1.2544 \Sigma_{a01}^2 = \Sigma_{a02} \Sigma_{s02} + \Sigma_{a02}^2$$



これより計算のための  $\Sigma_{a01}^2$ ,  $\Sigma_{a01} \Sigma_{s01}$  は実験値に合わせるためには,  $1.2544 \Sigma_{a01}^2$ ,  $1.2544 \Sigma_{a01} \Sigma_{s01}$  の値を用いなければならないことを示している。ここで 100% ボイドにおける  $\Sigma_{a0}$  と  $\Sigma_{s0}$  は 5.1 の Table 6 よりほぼ同じであることが示されている。これを目やすにして, 100% ボイドにおける  $\Sigma_{a0}$  と  $\Sigma_{s0}$  を同じとすると NOAH-II で燃中性子束分布を計算する場合は  $1.12 \Sigma_{a0}$ ,  $1.12 \Sigma_{s0}$  となるような定数を入力すべきであると思われる。

以上の考察をもとに NOAH-II の計算で  $1.12 \Sigma_{a0}$ ,  $1.12 \Sigma_{s0}$  になるような定数を用いて計算してみた。実際の NOAH-II の計算では断面積を変えないで燃料中の密度を 1.12 倍にして計算をおこなった。Fig. 20, 21, 22, 23 に計算結果を示した。Fig. 20, 21, 22, 23 において二点鎖線が修正 NOAH-II 計算の結果である。これより次のことが示された。

- (イ) Fig. 20, 21 より 0.54% PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> と 0.87% (s)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> の 100% ボイドにおける計算値は実験値の誤差範囲内であり, 非常によく一致した。
- (ロ) Fig. 22, 23 より両富化度の 0% ボイドにおいては第 2, 第 3 リングについては非常に良く一致したが, 第 1 リングについては計算値が上の方に来ている。このことは 0% ボイドにおいて計算値, 実験値の  $I_0$  関数フィットの  $k_0$  の差は顕著に表われなかったけれど第 2, 第 3 リングについては 100% ボイドにおける  $\Sigma_{a0}$ ,  $\Sigma_{s0}$  の修正を用いても良いことを示している。第 1 リングについては, 0% ボイドにおける燃料以外の水の影響がこのような結果を示しているのではないかと思われる。これより 0% ボイドの計算においては燃料の  $\Sigma_{a0}$ ,  $\Sigma_{s0}$  の修正だけでなく, 水の  $\Sigma_{a0}$ ,  $\Sigma_{s0}$  の修正もふくめて考えなければならないのではないかと思われる。
- (ハ) また, 燃料以外の分布は修正計算前とほぼ同じ分布を示した。今後, 0% ボイドについては, 検討を続けていくつもりである。又 100% ボイドにおいて  $k_0$  を合わせるため  $\Sigma_{a0}$ ,  $\Sigma_{s0}$  ともに 1.12 倍だけし, 今回は一応密度で  $\Sigma_{a0}$ ,  $\Sigma_{s0}$  の増加を模擬したが, NOAH-II 計算の計算モデル, 定数等のうちどれを根本的に修正すればよいか指摘できる段階にいたっていない。この点について検討を続ける必要があると思われる。

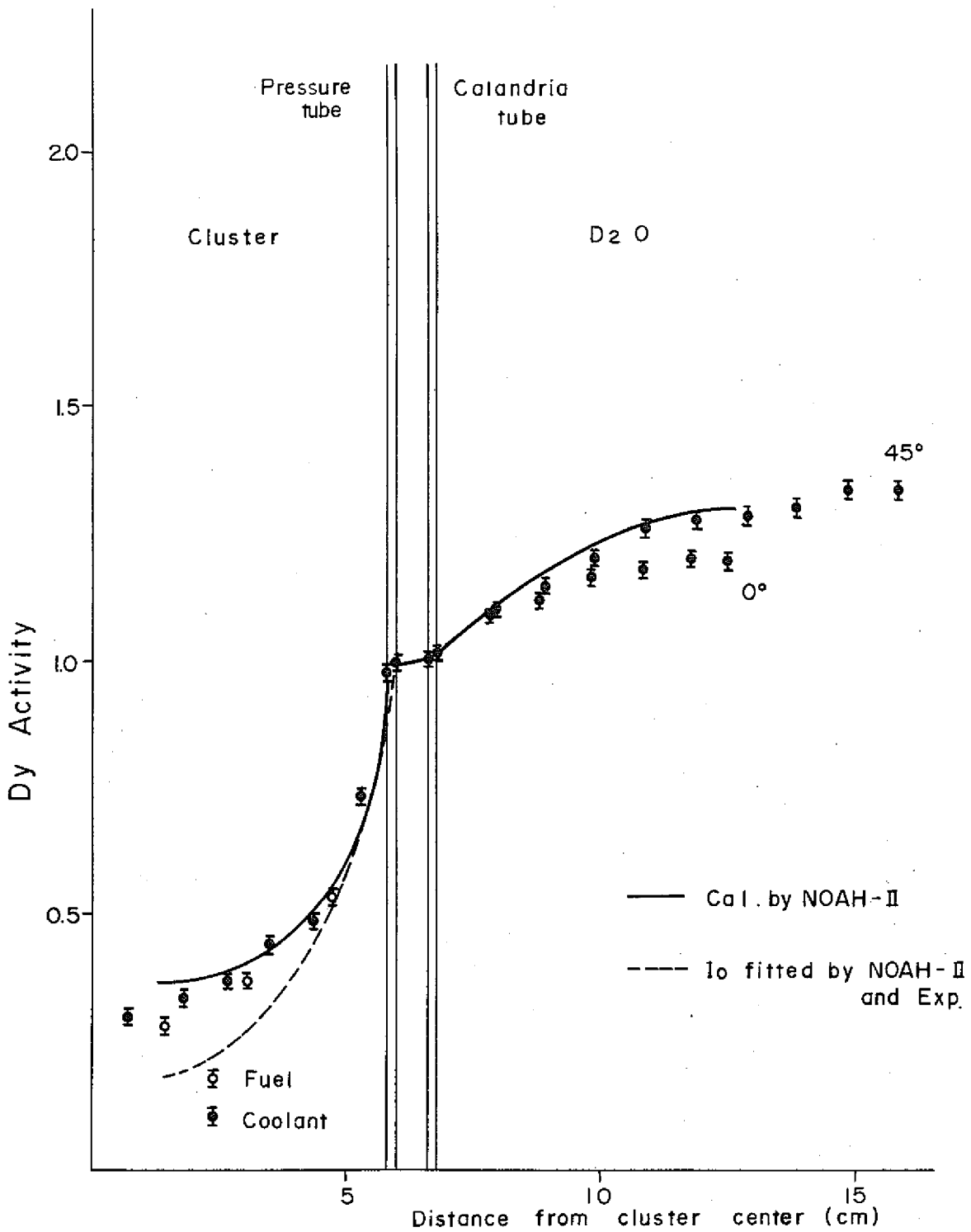


Fig.16 Intra-cell thermal neutron flux distributions (0.54 w/o PuO<sub>2</sub> - UO<sub>2</sub> , 0% void)

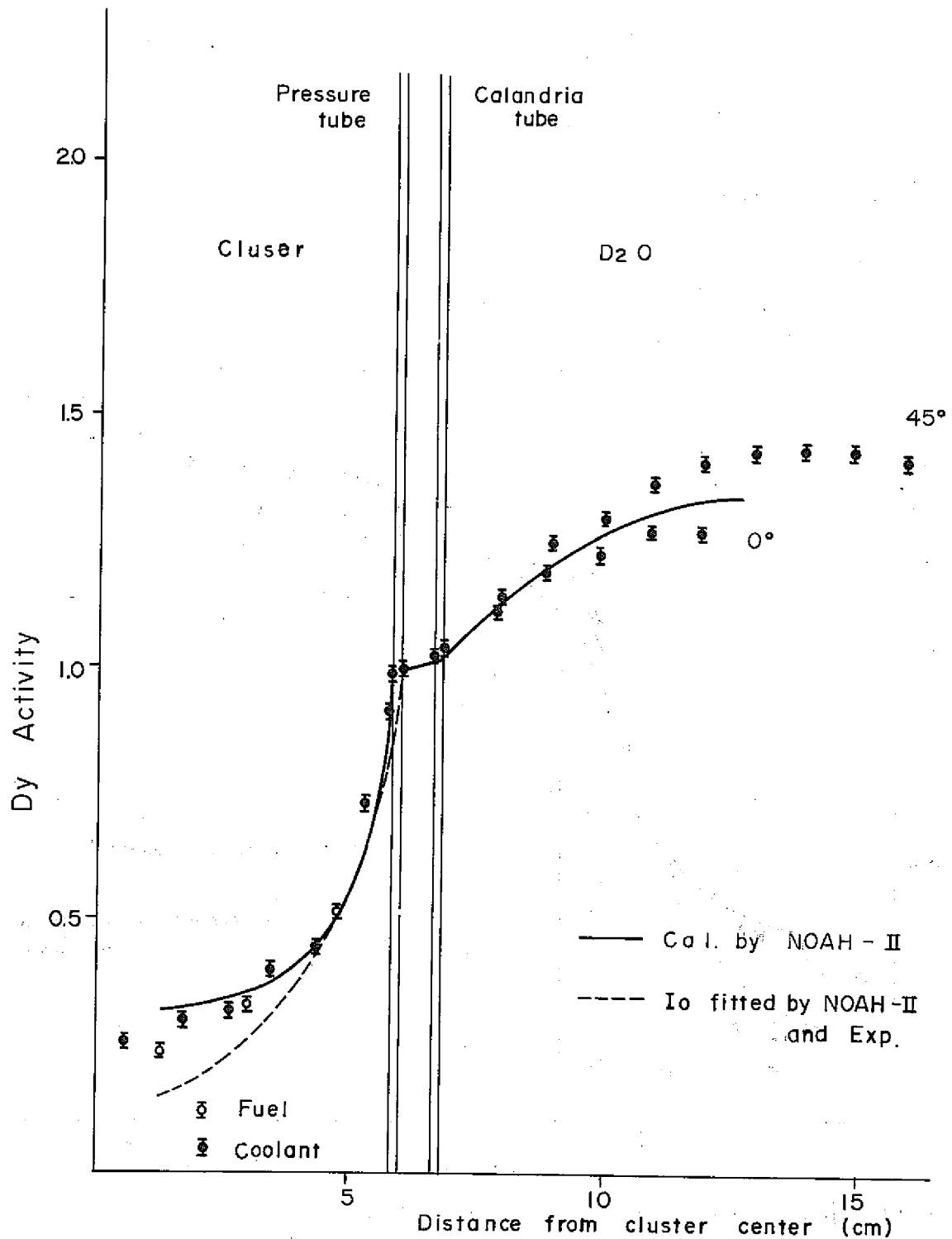


Fig.17 Intra - cell thermal neutron flux distributions (0.87 w/o (S) PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> , 0 % void)

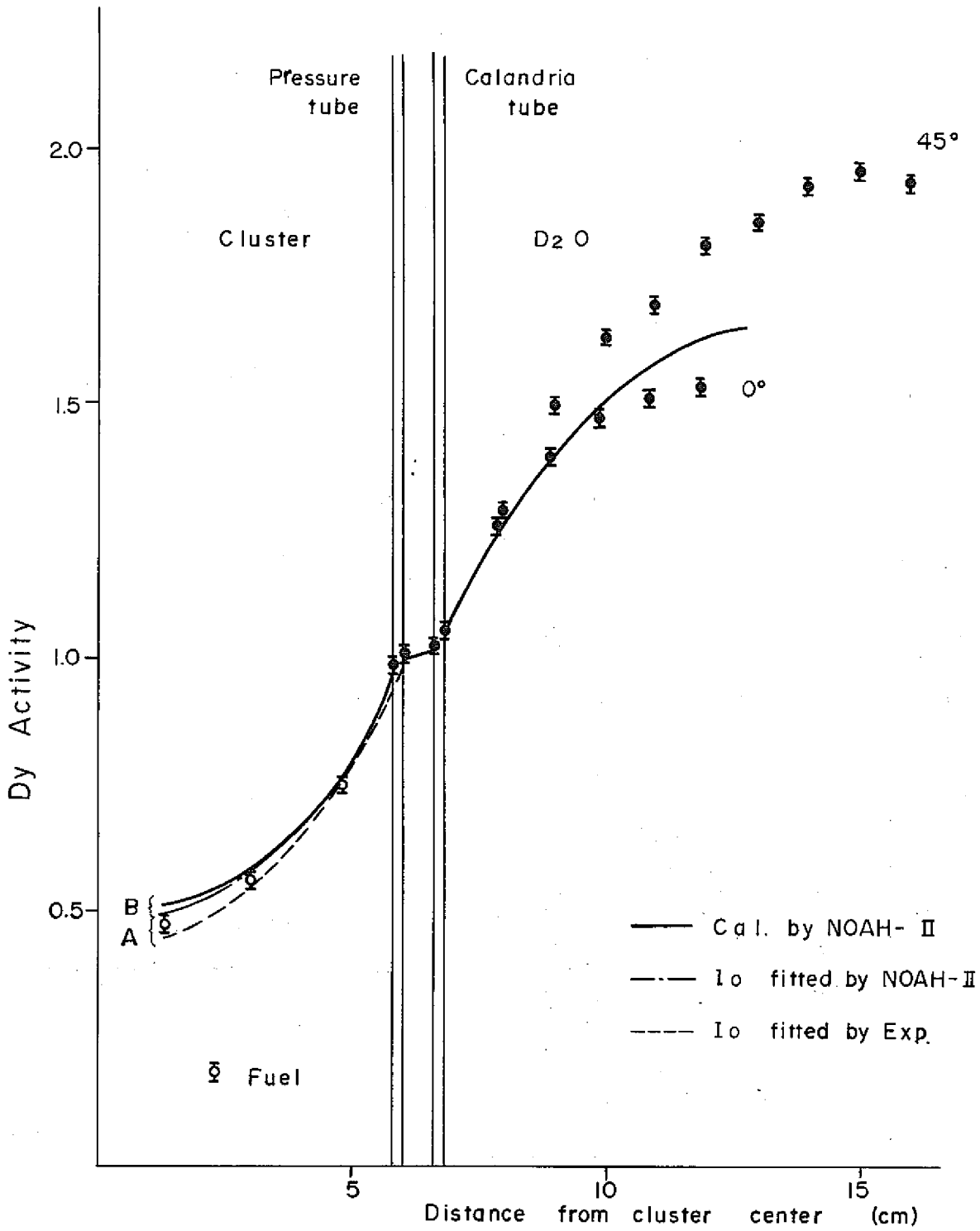


Fig. 18 Intra - cell thermal neutron flux distributions (0.54 W% P O<sub>2</sub>- UO<sub>2</sub> , 100% void )

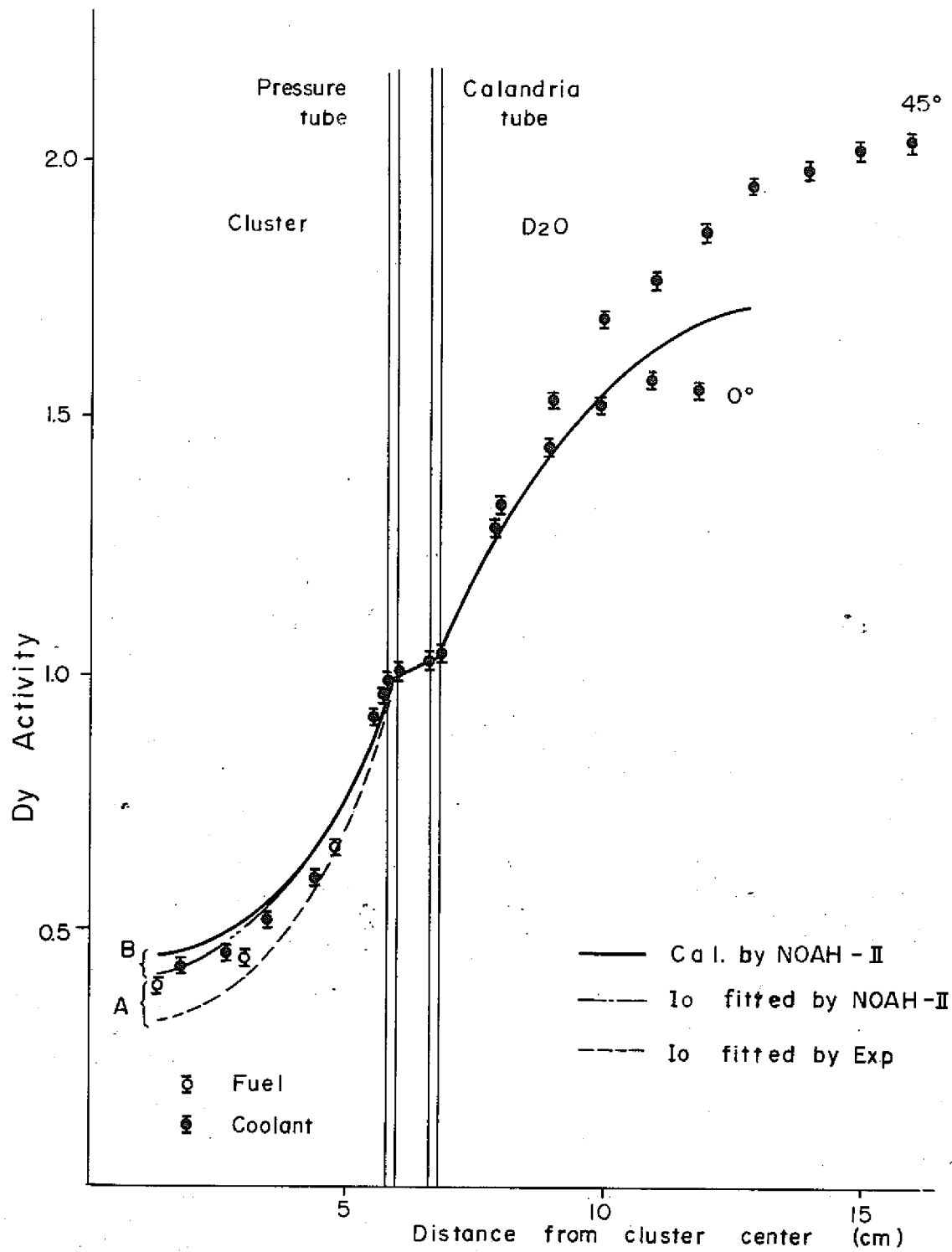


Fig. 19 Intra-cell thermal neutron flux distributions (0.87 W<sub>0</sub>(S) PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>, 100% void)

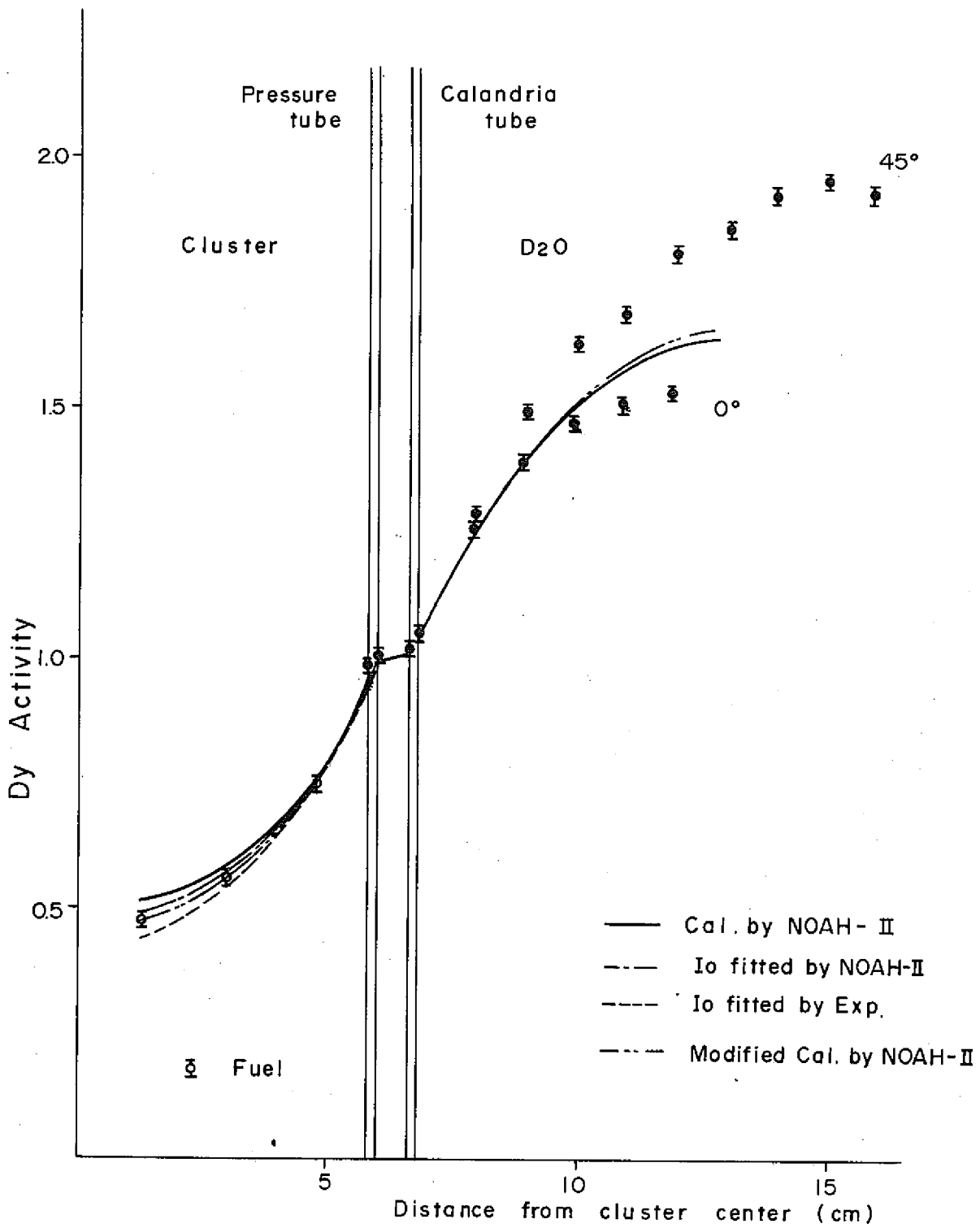


Fig.20 Intra - cell thermal neutron flux distributions (0.54 w/o PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> , 100 % void)

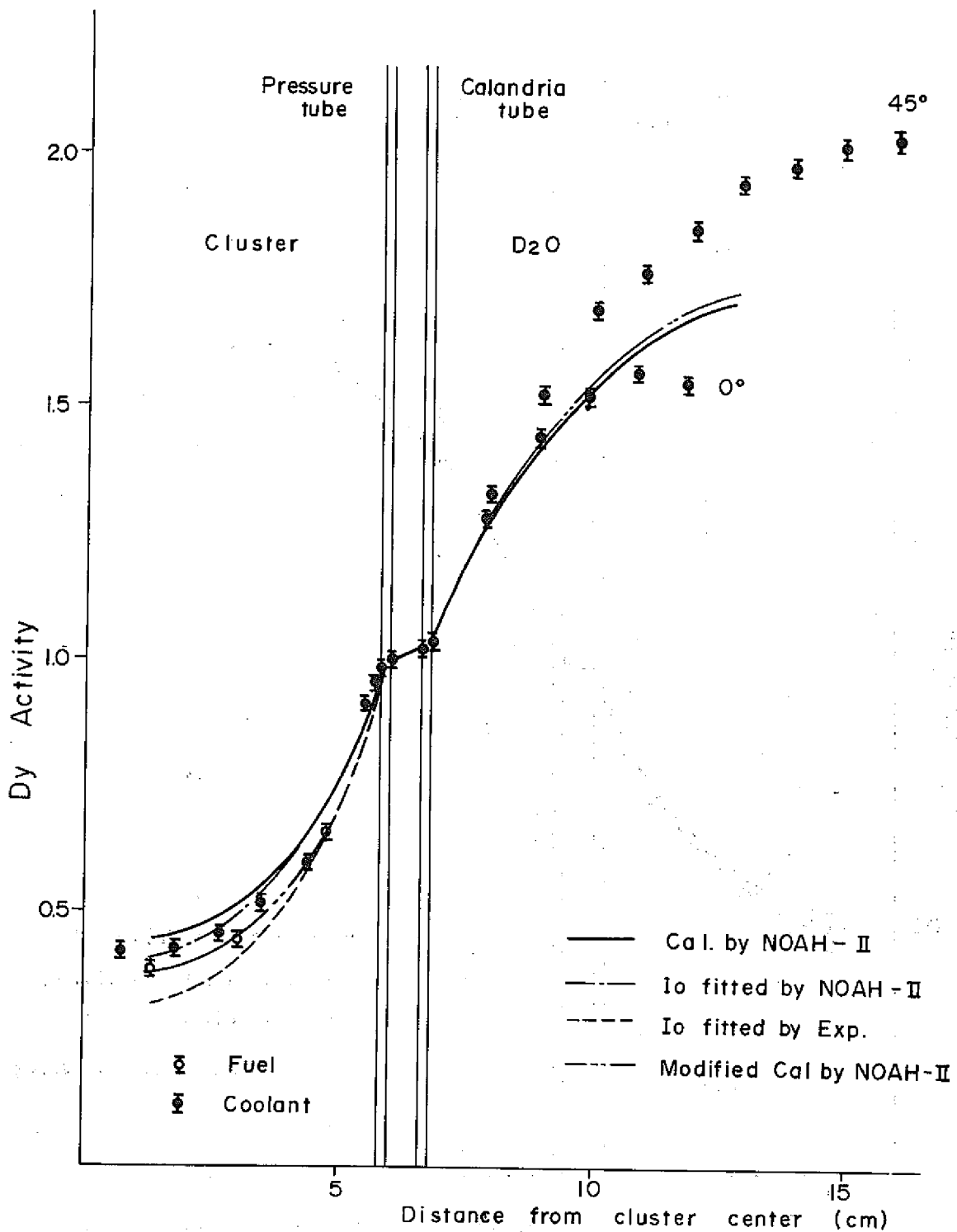


Fig. 21 Intra - cell thermal neutron flux distributions (0.87 w/o (S) PuO<sub>2</sub> -UO<sub>2</sub>, 100 % void)

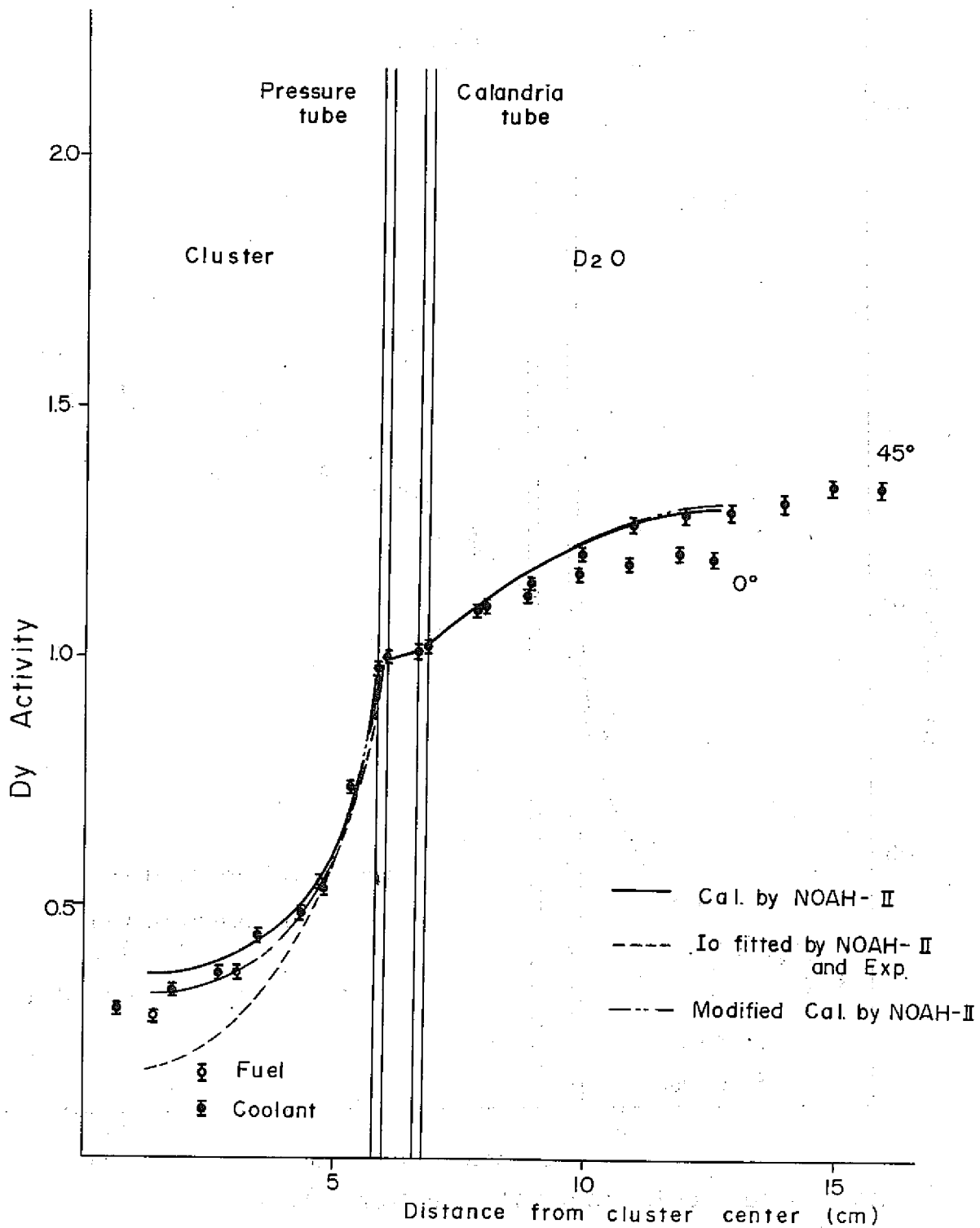


Fig.22 Intra - cell thermal neutron flux distributions (0.54 W/o PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> , 0% void )



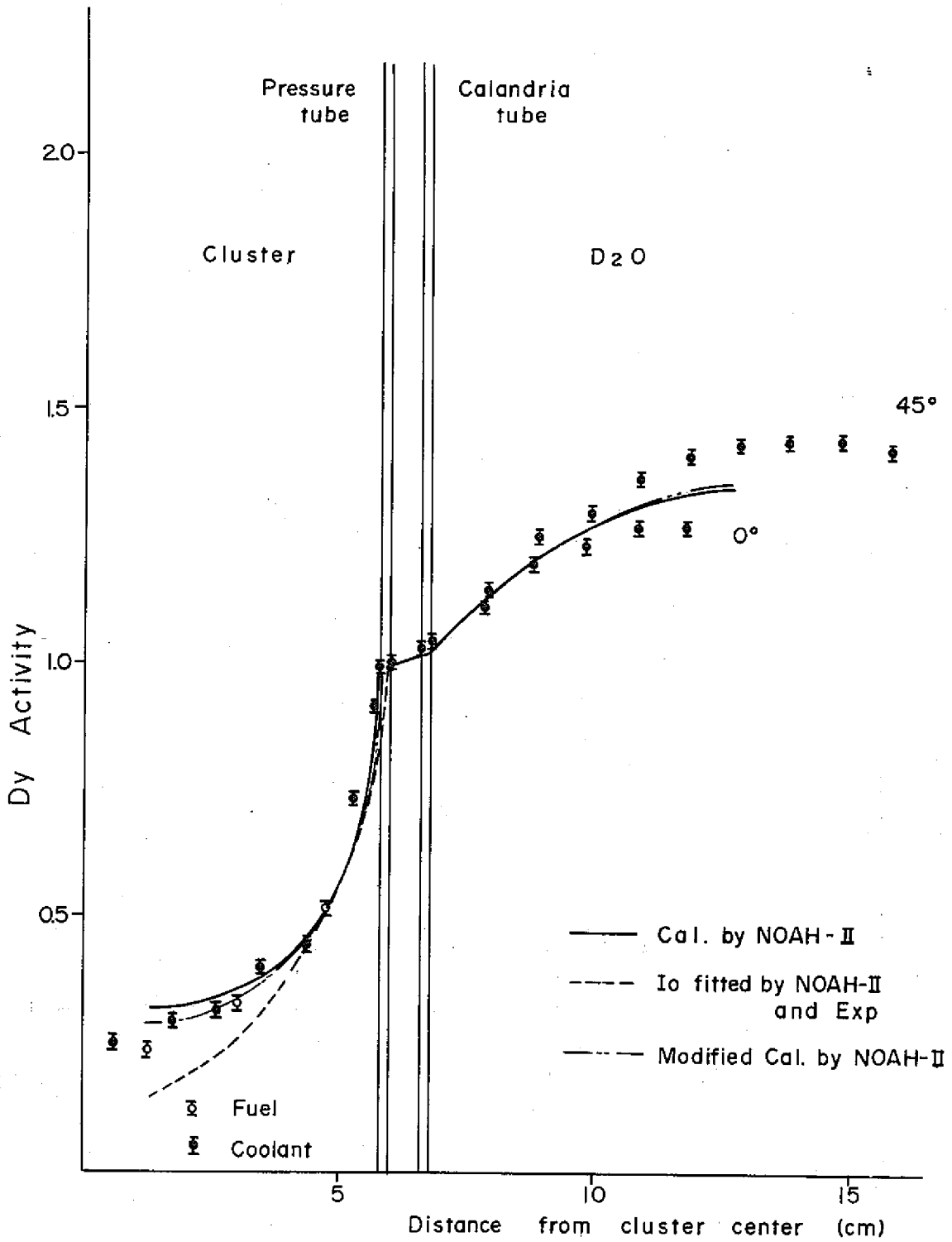


Fig. 23 Intra - cell thermal neutron flux distributions (0.87 W/o(S) PuO<sub>2</sub> - UO<sub>2</sub>, 0% Void)

## 6. 結 論

0.87W% (s)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> 燃料における単位格子内熱中性子束分布の実験結果，ならびに前回の 0.54W%PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> 燃料における実験結果との比較，NOAH-IIによる計算値との比較より次のことが認められた。

- (イ) 0.87W% (s)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> 燃料における単位格子内熱中性子束分布の実験結果は，0.54W% PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料の実験結果とほぼ同程度の実験精度で求まり，これより，プルトニウム燃料炉心における単位格子内熱中性子束分布の測定方法が確立した。
- (ロ) 0.87W% (s)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> 燃料の実験結果と 0.54W% PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> 燃料の実験結果との比較より，0%，100%ボイドについて次のことが示された。圧力管の外側で規格化した場合，燃料中の熱中性子束分布は 0.87W% (s)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> 燃料の方が 0.54W%PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> 燃料より低くなることが認められ，減速材中の熱中性子束分布については 0.87W% (s)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> 燃料の方が 0.54W% PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> 燃料より高くなることが認められた。
- (ハ) 簡単な一群拡散理論により，ボイド率，プルトニウムの富化度の変化が熱中性子束分布に与える変化を調べた。その結果，一群理論でも，実験値の傾向を十分に示していることが認められた。また燃料体中の分布を主に決めているものは燃料体中の  $\bar{\Sigma}_{tr}$  であり，減速材中の分布を主に決めているものは燃料体中の  $\bar{\Sigma}_a / \bar{\Sigma}_{tr}$  であることが認められた。
- (ニ) NOAH-IIコードによる計算値との比較においては 0.87W%(s)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料の0%ボイドの熱中性子束分布の方が 100%ボイドより一致は良く，これは 0.54W%PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> 燃料の実験結果と逆の傾向であることが認められた。
- このことはNOAH-IIコードの計算結果については熱中性子束分布の方からいえば，ある程度の幅をもった計算値を考慮しなければならないと思われる。
- (ホ) NOAH-IIコードを用いた PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料の計算において，燃料中の  $\Sigma_a$ ， $\Sigma_s$  の値を，12%大きくすれば実験値と非常に良い一致を見ることが判明した。今後，NOAH-IIコードの計算のずれを具体的に検討する1つの手がかりが得られたと思われる。

## 7. 謝 辞

本実験に使用した照射管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，ならびに室員の皆様に深く感謝いたします。

### 参考文献

1) SN 941 74-26

「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)」

## 付録 1. プルトニウム燃料物理定数

0.87 W<sub>0</sub> Enriched PuO<sub>2</sub> - UO<sub>2</sub> Fuel (Standard Grade)

	Inner dia (cm)	Outer dia (cm)	Material	Density (g/cm <sup>3</sup> )
Fuel pellet	-	1.472	0.862W <sub>0</sub> enriched PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	10.17
Gap	1.472	1.506	Helium	-
Fuel sheath	1.506	1.668	Zry-2	6.523

Composition		w <sub>0</sub> in Pu	w <sub>0</sub> in fuel pellet	w <sub>0</sub> in sheath	Atomic No. density (10 <sup>24</sup> /cm <sup>3</sup> )
Pellet	<sup>235</sup> U		0.6194		0.0001615
	<sup>238</sup> U		86.503		0.02226
	<sup>238</sup> Pu	0.019	0.000145		0.000000037
	<sup>239</sup> Pu	90.314	0.6849		0.0001755
	<sup>240</sup> Pu	8.682	0.06584		0.00001680
	<sup>241</sup> Pu	0.918	0.006960		0.000001769
	<sup>242</sup> 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

0.54 W/o Enriched PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> Fuel (Standard Grade)

	Inner dia (cm)	Outer dia (cm)	Material	Density (g/cm <sup>3</sup> )
Fuel pellet	—	1.469	0.542 W/o enriched PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	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 No. density (10 <sup>24</sup> /cm <sup>3</sup> )
Pellet	<sup>235</sup> U		0.6214		0.0001620
	<sup>238</sup> U		86.782		0.02233
	<sup>238</sup> Pu	0.021	0.000102		0.000000026
	<sup>239</sup> Pu	90.360	0.4304		0.0001103
	<sup>240</sup> Pu	8.640	0.04115		0.00001050
	<sup>241</sup> Pu	0.915	0.004359		0.000001108
	<sup>242</sup> 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 ; 23 August 1971

付録2. NOAH-II計算用入力

INPUT DATA FOR NOAH-2 CALCULATION							
N	*	*	*	*	*	*	*
1	*NOAH-2	22.5LP	0.87%	PUO2+UO2	STANDARD GRADE	0 %	VOID
2	POLYGON(1.00)	0					*FUEL1
3	DIAMET(1.00)	11.28					*
4	TEMPER(1.00)	22.0					*
5	DIAMET(1.11)	1.472					*PELLET
6	DENSIT(1.11)	10.17					*
7	INGRED(1.11)	7.18,0.6194,20.86.5031,21.0.6849,22.0.06584,Y					*
8		23.0.006960,34.0.000510,2.12.119					*
9	TEMPER(1.11)	22.0					*
10	DIAMET(1.12)	1.668					*
11	DENSIT(1.12)	5.3477					*
12	INGRED(1.12)	5.3,98.22,10,1.48,6,0.14,11,0.10,7,0.06					*
13	TEMPER(1.12)	22.0					*
14	DENSIT(1.10)	0.99777		*			
15	INGRED(1.10)	2,1,11.1901,2,88.8099			*		
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	0.001918991*					*
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	*	*	*	*	*	*	*

INPUT DATA FOR NOAH-2 CALCULATION

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 0.87% PU02+U02 STANDARD GRADE	100 % VOID				
60	DENSIT(1.10)	0.000455					*
61	INGRED(1.10)	2,1,11.1901,2,88.8099		*			
62	DENSIT(2.00)	0.000455					*
63	INGRED(2.00)	2,1,11.1901,2,88.8099					*
64	BUCKLING	0.001286842*					
65	BEGIN CALCULATION		*				
66	*NOAH-2	22.5LP 0.54% PU02+U02	0% VOID				
67	POLYGON(1.00)	0					*FUEL1
68	DIAMET(1.00)	11.28					*
69	TEMPER(1.00)	22.0					*
70	DIAMET(1.11)	1.469					*PELLET
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% PU02+U02	100% VOID				
86	INGRED(1.10)	2,1,11.1901,2,88.8099		*			
87	DENSIT(1.10)	0.000455					*
88	INGRED(2.00)	2,1,11.1901,2,88.8099					*
89	DENSIT(2.00)	0.000455					*
90	BUCKLING	0.001063377*					
91	BEGIN CALCULATION		*				