

# 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

多数本クラスターにおける実験

1983年4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ください。

〒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

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

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

## 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

多数本クラスターにおける実験

若林利男\* 福村信男\* 仁紫明人\*\*  
竹村守雄\*\*\* 戸村和二\* 北山一宏\*

### 要 旨

プルトニウム燃料棒 36 本及び 54 本からなる燃料集合体が 9 体装荷された 25 cm ピッチ格子炉心において、単位格子内熱中性子束分布を Dy-A $\ell$  合金箔を用いた箔放射化法により測定した。使用した燃料は、36 本クラスターの場合は 0.54 wt % PuO<sub>2</sub> - UO<sub>2</sub>、54 本クラスターの場合は、0.79 wt % PuO<sub>2</sub> - UO<sub>2</sub> で、重水臨界実験装置 (DCA) の中央部 9 チャンネルにこれらクラスターを装荷して実験を行った。ドライバー燃料として中央部 9 チャンネルの周囲に 1.2 % 濃縮ウラン 28 本クラスターを 88 体装荷した。圧力管内の冷却材ボイド率は 0 % 及び 100 % であった。

熱中性子束分布の測定誤差は、冷却材中で 3 %、燃料中、圧力管カランドリア管及び重水中で 1.5 % であり、今までの 28 本クラスターの単位格子実験の場合と同じ精度で求めた。今回の実験により、36 本及び 54 本等多数本クラスターにおける単位格子内熱中性子束の挙動が明らかになった。

今回の実験結果は、3つの計算コード (METHUSELAH-II, WIMS-D, LAMP-DCA) の計算値と比較した。燃料クラスター内平均中性子束の計算値は、METHUSELAH-II の場合には 7 %、WIMS-D の場合には 6 %、LAMP-DCA の場合には 5 % 以内の誤差で実験値と一致することが認められた。

---

\* 大洗工学センター重水臨界実験室

\*\* 現 げん発電所技術課

\*\*\* 現 川崎重工業株式会社

Measurements of Intra-cell Thermal Neutron Flux Distributions  
in Plutonium Fuel Lattices

Experiments of Multi-rod Fuel Clusters

Toshio Wakabayashi\*, Nobuo Fukumura\*,  
Akito Nishi\*\*, Morio Takemura\*\*\*,  
Katsuzi Tomura\* and Kazuhiro Kitayama\*

Abstract

Intra-cell thermal neutron flux distributions have been measured in 36-rod and 54-rod plutonium fuel clusters by mean of dysprosium foil activation method. Enrichments of PuO<sub>2</sub> in PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> fuels used are 0.54 wt% for 36-rod cluster and 0.79 wt% for 54-rod cluster. In the central region of the Deuterium Critical Assembly, nine 36-rod or 54-rod fuel clusters were loaded and the surrounding region was occupied with 1.2 wt% UO<sub>2</sub> fuel clusters arranged in square lattice arrays of 25.0 cm pitch. The measurements were made using air or light water as coolant in the pressure tube.

The measurement uncertainty in the present experiment was  $\pm 2\%$  which was almost the same as that in the previous experiments on plutonium lattices. The dependence of thermal neutron distributions on the number of plutonium fuel rods in the cluster were made clear by the results of present experiments. The present experimental results were compared with three calculation code : the METHUSELAH-II code, the WIMS-D code and the LAMP-DCA code system. The results relevant to averaged thermal neutron flux in the fuel cluster of the METHUSELAH-II code agreed with

---

\* Heavy Water Critical Experiment Section, O-arai Engineering Center, PNC.

\*\* Present Address : Technical Section, Fugen Nuclear Power Station, PNC.

\*\*\* Present Address : Kawasaki Heavy Industries Ltd.

the experimental results to within 7 %. The results calculated by the WIMS-D agreed with the experimental results within 6 %. On the other hand, the calculated values by the LAMP-DCA were in good agreement with the experimental results within 5 %.

## 目 次

1.	概 要 .....	1
2.	実験条件及び実験方法 .....	2
3.	実験結果及び考察 .....	13
4.	計算値との比較 .....	23
	(1) METHUSELAH-II コードによる計算値との比較 .....	23
	(2) WIMS-D コードによる計算値との比較 .....	23
	(3) LAMP-DCA コードによる計算値との比較 .....	24
5.	結 論 .....	29
	謝 辞 .....	30
	参考文献 .....	31
	付録1 METHUSELAH-II コード用入力フォーマット .....	32
	付録2 WIMS-D コード用入力フォーマット .....	36
	付録3 LAMP-DCA コード用入力フォーマット .....	44
	付録4 LAMP-DCA コードで計算した熱中性子スペクトル .....	49

## 1. 概 要

「ふげん」用 28 本クラスターのプルトニウム燃料格子における単位格子内熱中性子束分布は、格子ピッチ、プルトニウム燃料富化度、同位体組成化、冷却材ボイド率そして減速材中のボロン添加の有無をパラメータとして測定した。<sup>1)~6)</sup> そして、これらの実験結果を用いて「ふげん」核設計計算コード METHUSELAH-II<sup>7)</sup> 及び詳細計算コード LAMP-DCA<sup>8)</sup> の計算精度評価を行い、コード及び設計値の妥当性を検証してきた。

新型転換炉実証炉では、経済性向上の観点からチャンネル出力を増加させるため、36 本クラスターを採用することになっている。実証炉核設計においては、基本的には今までの 28 本クラスターの実験で確立されたコードを用いることができると考えられるが、「ふげん」の場合と燃料本数が異なる点や、燃料富化度が大幅に異なる点等に関しては、実験により計算精度検証を行う必要がある。

このため、今回は単位格子内熱中性子束分布の燃料本数依存性に着目し、実証炉と同じ 36 本クラスターと更に本数の多い 54 本クラスターを用いて実験を行い、その特性の解明と計算精度評価を行うことを目的とした。

計算精度評価のためのコードとしては、「ふげん」の核設計で用いた METHUSELAH-II、実証炉核設計で METHUSELAH-II と併用して用いられる WIMS-D<sup>9)</sup> 及び詳細解析コード LAMP-DCA を用いた。

## 2. 実験条件及び実験方法

実験は 36 本クラスターと 54 本クラスターについて行った。Table 1 に格子条件を Table 2 に燃料条件を示す。36 本クラスター及び 54 本クラスターの断面図をそれぞれ Fig. 1 及び Fig. 2 に示す。これらのクラスターは Fig. 3 に示した様に重水臨界実験装置 (DCA) の中央部に 9 体装荷し、単位格子内熱中性子束分布の測定は中心クラスター 1 体で行った。冷却材ボイド率は 0 %ボイド (軽水) と 100 %ボイド (空気) の 2 つを選んだ。今回の実験における炉心構成、冷却材水位及び臨界水位を Table 3 に示す。

単位格子内熱中性子束分布の測定は、Dy-A1 合金箔 (Dy 含有量 4 %) を用いた箔放射化法で行った。<sup>1)~6)</sup> 燃料中の測定には 36 本クラスターの場合は直径 14.8 mm, 厚さ 0.1 mm の箔をまた、54 本クラスターの場合は 10.5 mm  $\phi$ , 厚さ 0.1 mm の箔を用い、燃料中以外 (圧力管、カランドリア管内外壁及び重水中) の分布の測定には直径 7.0 mm, 厚さ 0.1 mm の箔を用い、また冷却材中の測定には厚さ 0.1 mm のセクター箔を使用した。単位格子内熱中性子束分布測定における箔の配置を Fig. 4 及び Fig. 5 に示す。また、Fig. 6 及び Fig. 7 にはセクター箔の切断面を示す。燃料棒中に装着した箔は、照射後 DCA の Pu 燃料取扱い室において取り出し、CaF<sub>2</sub> (Eu) シンチレーションカウンターで <sup>165</sup>Dy (半減期 139.9 分) からの  $\beta$  線を測定した。燃料棒中以外に装着した放射箔についても同様に CaF<sub>2</sub> (Eu) シンチレーションカウンターを用いて測定した。測定された放射化量はバックグラウンドおよび不感時間、放射化量の時間による減衰、箔の検出感度、カドミ比、炉心半径方向のグロスな中性子束分布等の補正をおこなった。



Table 1 Lattice Dimensions and Compositions

		36-rod Cluster	54-rod Cluster	28-rod Cluster
Cluster	No. of Fuel Pin (Radius of Each layer) mm			
	1st	6 (18.25)	12 (28.5)	4 (13.13)
	2nd	12 (36.25)	18 (42.55)	8 (30.00)
	3rd	18 (53.90)	24 (57.00)	16 (47.58)
	Inner Support Tube			
	i.d. (mm)			
	o.d. (mm)			
Material				
Fuel	0.54wt%PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	0.79wt%PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	1.2wt%UO <sub>2</sub>	
Standard Fuel				
Meat Length (mm)	2000	2000	2000	
Pressure Tube	i.d. (mm)	130.3		116.8
	o.d. (mm)	136.3		121.0
	Material	Aluminum		Aluminum
Calandria Tube	i.d. (mm)	146.5		132.5
	o.d. (mm)	153.5		136.5
	Material	Aluminum		Aluminum
Moderator	Material		D <sub>2</sub> O	
	Purity (mol%)		99.46	
Core Tank	i.d. (mm)		3005	
	o.d. (mm)		3025	
	Height (mm)		3500	
	Material		Aluminum	
Lattice Pitch (mm)			250	
Upper and Lower Grid Plate Material			Aluminum	
Temperature (°C)			20	

Table 2 Specification of Fuel

		0.54wt%PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	0.79wt%PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	1.2wt%UO <sub>2</sub>
Fuel Pellet	Density (g/cm )	10.17	10.511	10.36
	Diameter (mm)	14.69	10.50	14.80
	Enrichment (wt%)	1.201( <sup>235</sup> U+Pu <sub>f</sub> )	1.491( <sup>235</sup> U+Pu <sub>f</sub> )	1.203( <sup>235</sup> U)
	Composition (wt%)			
	<sup>235</sup> U	0.6214	0.61631	1.057
	<sup>238</sup> U	86.782	86.18794	86.793
	<sup>238</sup> Pu	0.000102	0.0010493	-
	<sup>239</sup> Pu	0.4304	0.66108	-
	<sup>240</sup> Pu	0.04115	0.17673	-
<sup>241</sup> Pu	0.004359	0.030081	-	
<sup>242</sup> Pu	0.000303	0.005509	-	
	0	12.12	12.31230	12.150
Cladding	Cladding Material	Zry-2	Zry-2	Aluminum
	Composition (wt%)			
	Zr	98.22	98.02	-
	Sn	1.48	1.54	-
	Fe	0.14	0.16	-
	Cr	0.10	0.10	-
	Ni	0.06	0.05	-
	O	-	0.13	-
	Al	-	-	96.98
	Mg	-	-	2.60
	Cladding Density(wt%)	6.523	6.523	2.674
Cladding i.d. (mm)	15.06	10.79	15.03	
Cladding o.d. (mm)	16.68	12.50	16.73	
Gap Material	Helium	Helium	Helium	
Remarks	Analysis Date of Fuel Composition	23 August 1971	28 February 1976	

Table 3 Experimental Condition

Pu Cluster Type	Fuel Enrichment	Void Fraction (%)	Number of Clusters		Coolant Height (cm)	Critical Height (cm)
			U(28-rod) Clusters	Pu Clusters		
36-rod Cluster	0.54 wt% PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	0	88	9	100.0	100.3
		100	88	9	0.0	104.6
54-rod Cluster	0.79 wt% PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	0	88	9	93.0	92.0
		100	88	9	0.0	102.4

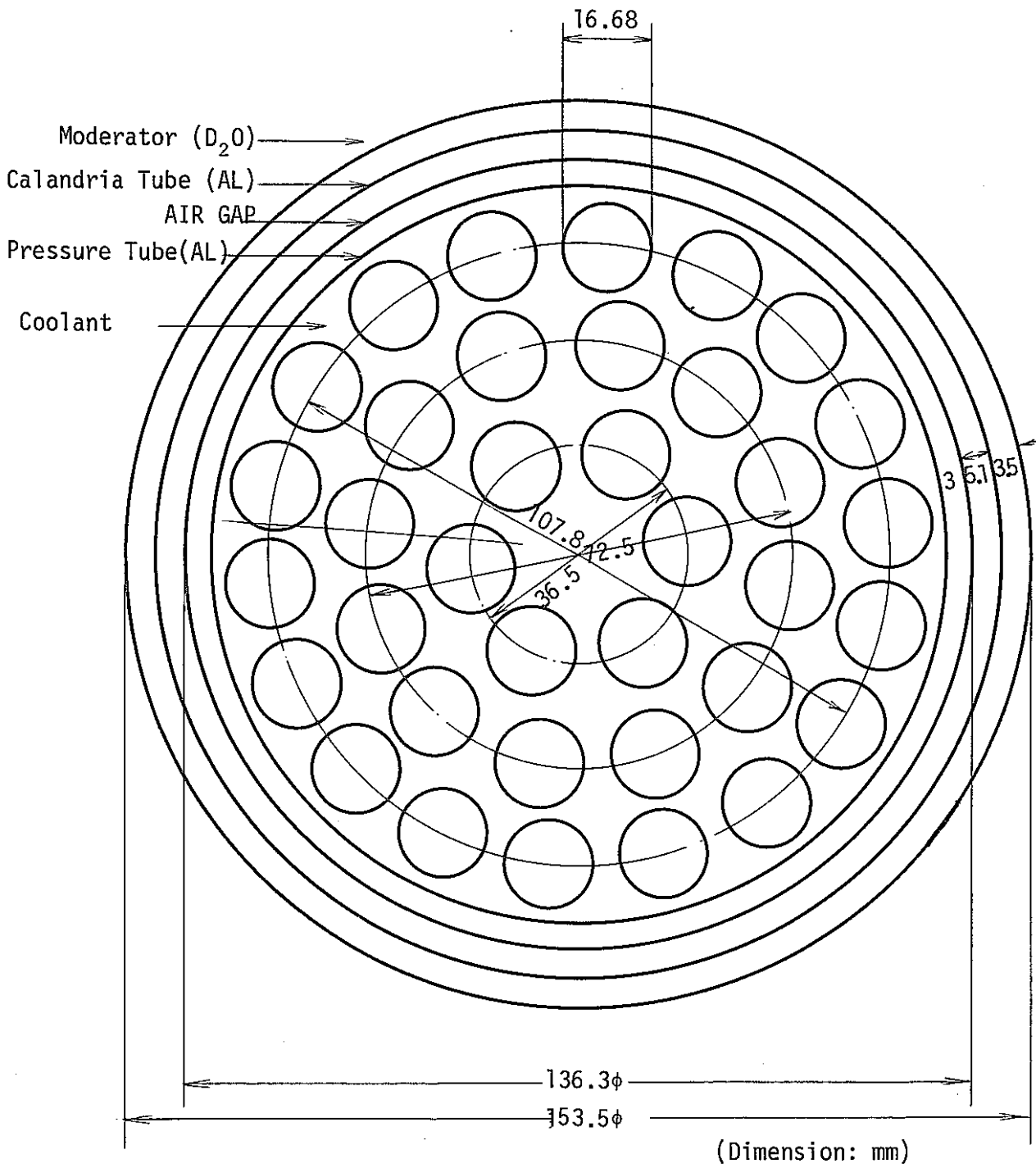


Fig. 1 Cross-sectional View of 36-rod Fuel Cluster

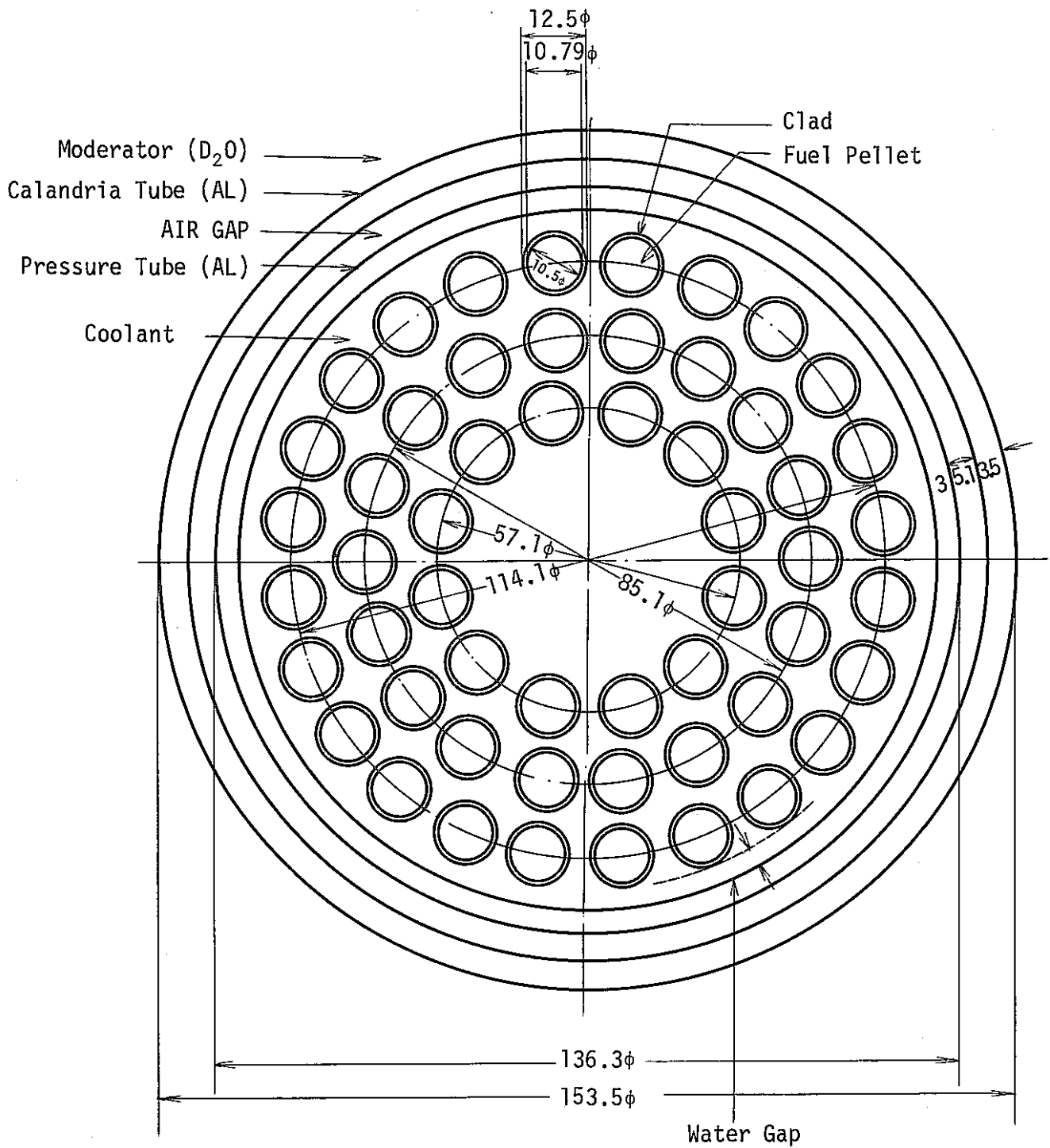


Fig. 2 Cross-sectional View of 54-rod Fuel Cluster

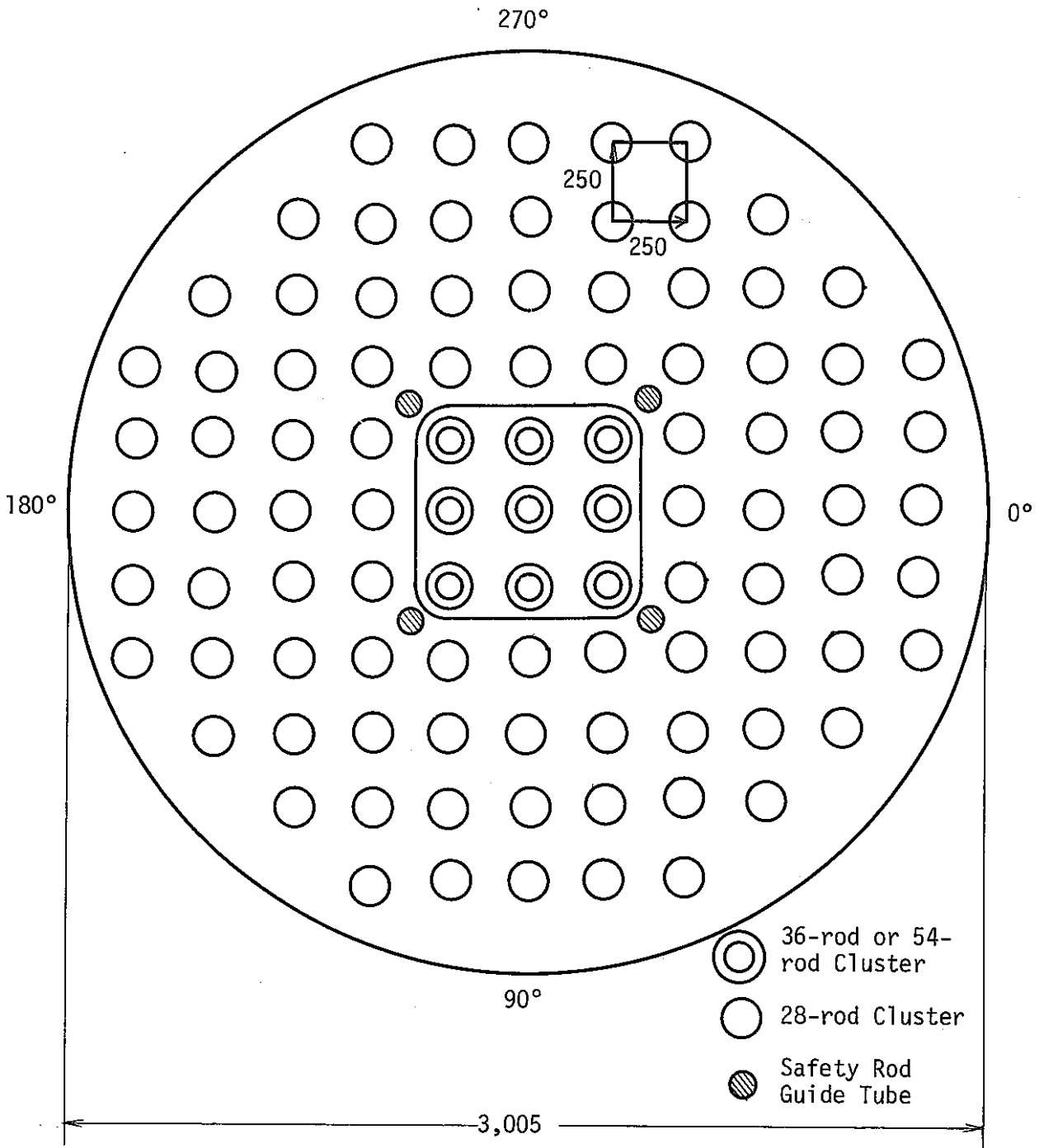


Fig. 3 Channel Number in DCA Core (25.0 cm Lattice Pitch)

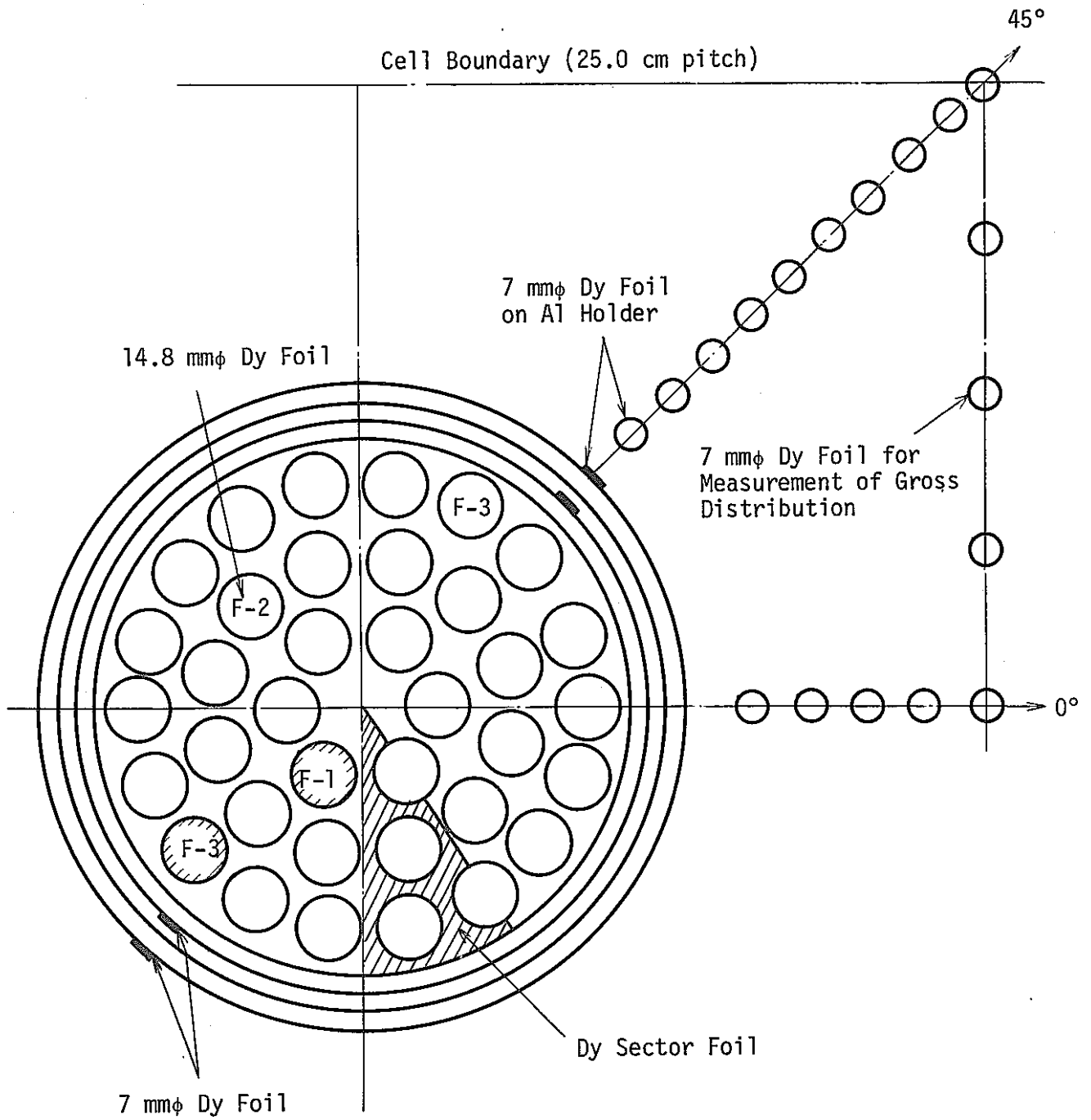


Fig. 4 Arrangement of Dysprosium Foils in Central Unit Cell (36-rod Cluster)

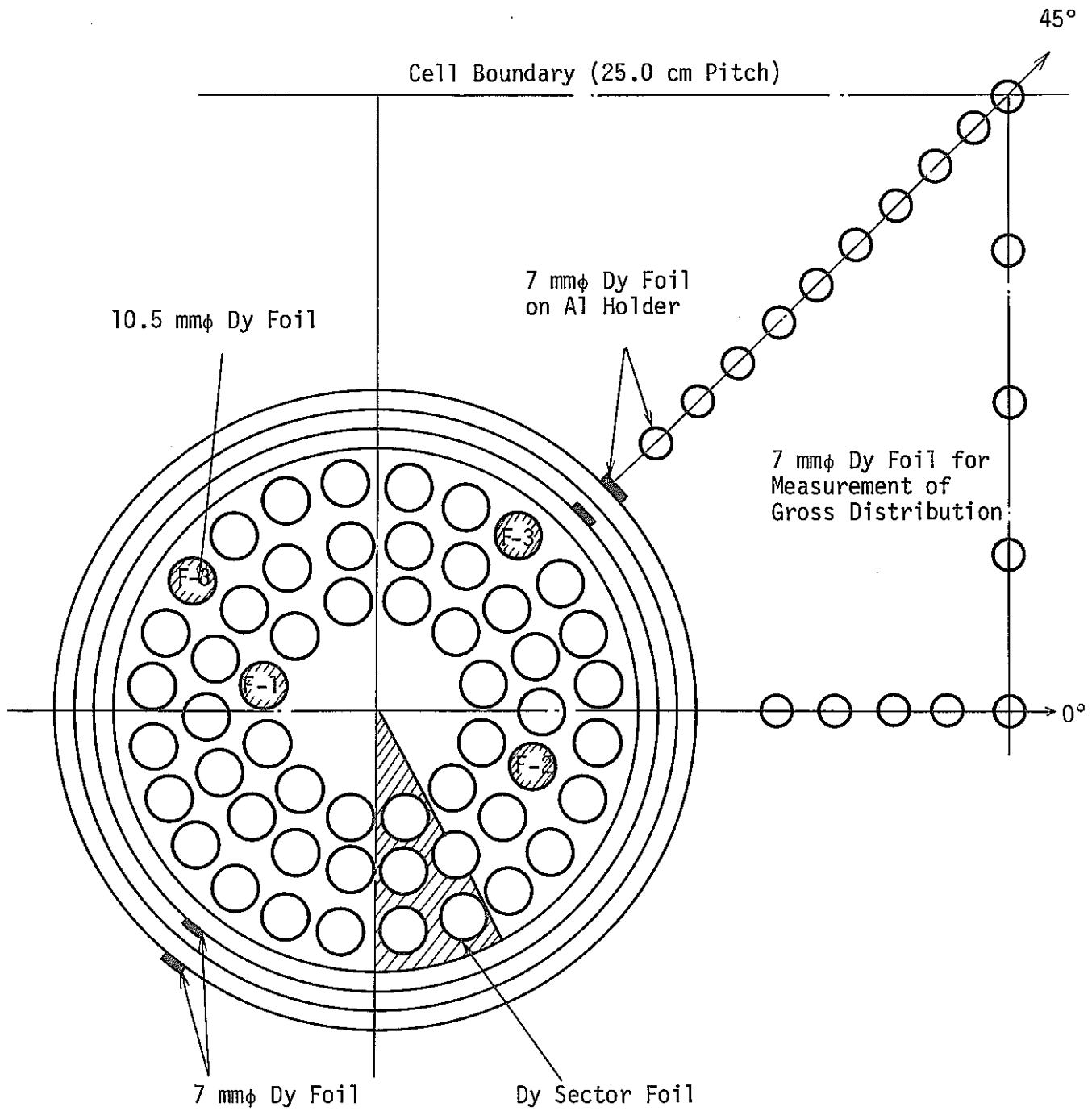


Fig. 5 Arrangement of Dysprosium Foils in Central Unit Cell (54-rod Cluster)



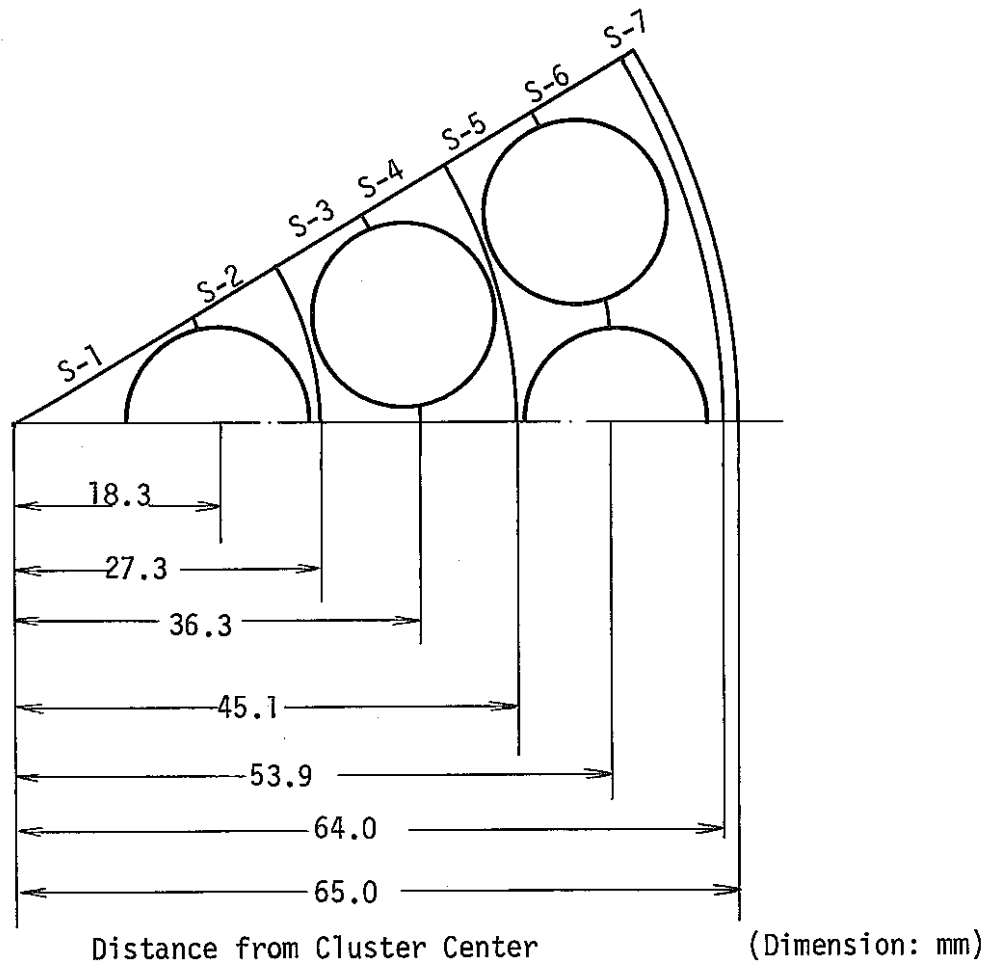


Fig. 6 Sector Foil for Measurement of Dy Reaction Rate in Coolant Region of 36-rod Cluster Lattice

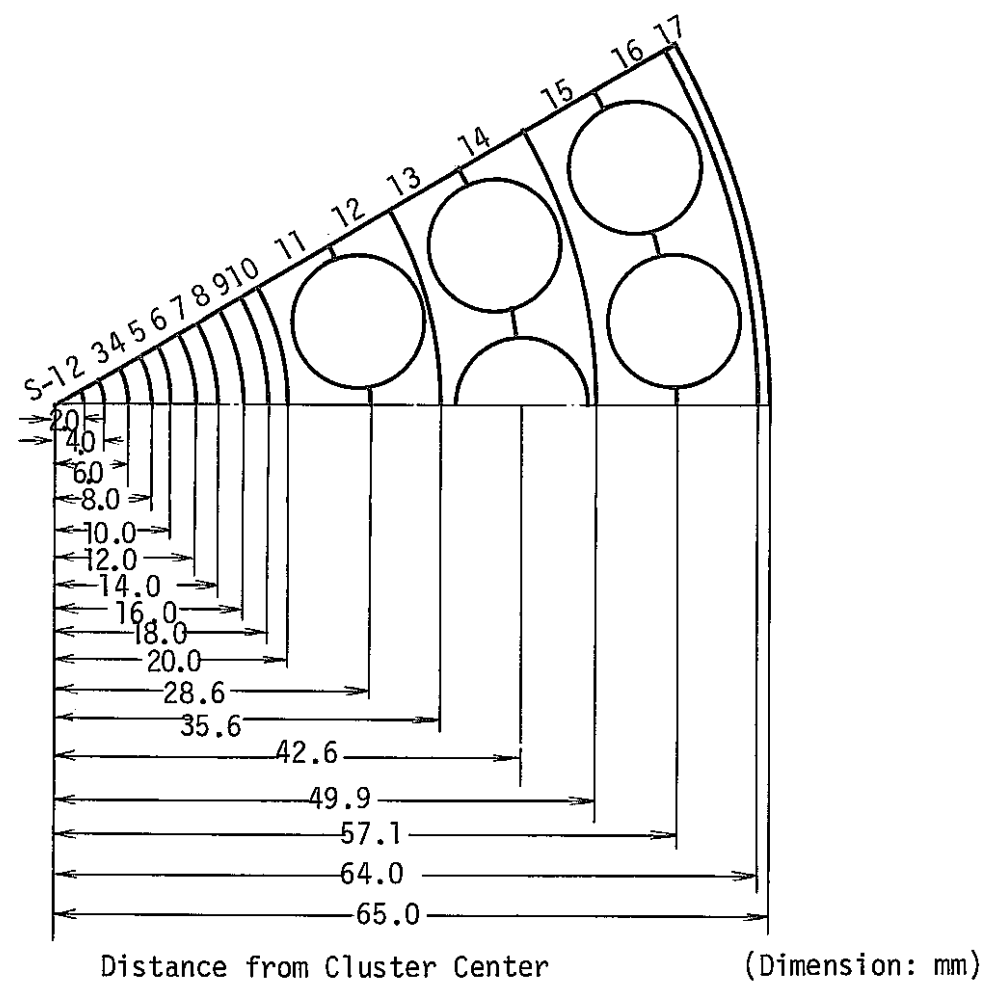


Fig. 7 Sector Foil for Measurement of Dy Reaction Rate in Coolant Region of 54-rod Cluster Lattice

### 3. 実験結果及び考察

単位格子内熱中性子束分布を求めるために必要な補正である各燃料体系のカドミ比をTable 4に、グロス中性子束分布補正のための補正係数 $B_r$ をTable 5に示す。これらの補正を行った放射化量ならびに圧力管外側の放射化量で規格化した値をTable 6からTable 9に示す。表の中でF-1, F-2, F-3及びF-3'はFig. 4及びFig. 5の測定点に対応し、燃料中の第1リング(内層), 第2リング(中間層)及び第3リング(外層)での測定値を表わす。また, S-1~S-17は冷却材領域測定のために使用したセクター箔の切断面を, 距離はクラスター中心から切断面の中間までを表わす。Fig. 8からFig. 11には圧力管外側で規格化した単位格子内熱中性子束分布を示す。クラスター内分布において黒丸は燃料中, 白丸は冷却材中の実験値を示す。

実験誤差は今までのプルトニウム燃料格子の実験結果を同じく, 冷却材中で3%, 燃料中, 圧力管, カランドリア管及び重水中で1.5%であった。

36本クラスターの0%ボイドにおける燃料中の熱中性子束は, 軽水が重水中から流れ込んで来る熱中性子を妨げているため(軽水の熱中性子遮蔽効果), 100%ボイドにおける燃料中の熱中性子束に比べて, より大きく低下している。しかし, 第1リングの燃料中では, クラスター中心部の軽水が散乱物質として働き, 第1リング燃料棒近傍の熱中性子束を増大させているため, 熱中性子束の低下はそれほど顕著になっていない。0%ボイドにおける重水中の熱中性子束分布は, 圧力管内の軽水による熱中性子反射効果により, カランドリア管近傍の熱中性子束が多くなり, 100%ボイドにおける重水中熱中性子束分布より平坦化している。

54本クラスターの0%ボイドにおいては, クラスター中心部の軽水が36本クラスターより多いため, Fig. 10に示した様に第1リング燃料棒近傍での散乱効果による熱中性子が36本クラスターより多くなっている。このため, 第1リング燃料中の熱中性子束は, 第2リング燃料中性子束より大きくなっている。54本クラスターの100%ボイドでは, 中心部軽水の散乱効果による第1リング燃料棒近傍の熱中性子束の増大がないため, 36本クラスターの場合と同じ傾向を示している。重水中の熱中性子束分布は36本クラスターの場合とほぼ同じ傾向を示している。

Table 4 Cd-Ratios of Dy Reaction Rate in Fuel Pins and D<sub>2</sub>O Moderator Region

Cluster Type	Coolant Void Fraction (%)	Region				
		F-1	F-2	F-3-1	F-3-2	D <sub>2</sub> O
36-rod Cluster (0.54wt%PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub> )	0	36.9 ±1.5	43.5 ±1.7	65.0 ±2.6	64.8 ±2.6	105.3 ±4.2
	100	24.1 ±1.0	29.6 ±1.2	42.2 ±1.7	42.6 ±1.7	83.0 ±3.3
54-rod Cluster (0.79wt%PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub> )	0	52.4 ±2.1	52.2 ±2.1	66.5 ±2.7	69.0 ±2.8	108.2 ±4.3
	100	31.7 ±1.3	34.3 ±1.4	40.4 ±1.6	40.7 ±1.6	84.6 ±3.4

Table 5 Arguments of Jo Function in Correction for Gross Neutron Flux Distribution

Cluster Type	Coolant Void Fraction (%)	Argument (Br)
36-rod Cluster (0.54wt%PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub> )	0	0.0187
	100	0.0164
54-rod Cluster (0.79wt%PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub> )	0	0.0195
	100	0.0168

Table 6 Dysprosium Reaction Rate Distribution in 36-rod Cluster Fuel Lattice  
(Lattice Pitch: 25 cm, Fuel: 0.54wt%PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>, Void: 0%)

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	1.83	0.290	36.9	0.973	0.282	1.000	0.282	0.261
	F-2	3.63	0.350	43.5	0.977	0.342	0.999	0.342	0.316
	F-3	5.39	0.582	65.0	0.985	0.573	0.997	0.547	0.531
	F-3'	5.39	0.582	64.8	0.985	0.573	0.997	0.574	0.531
Coolant	S-1	0.92	0.319		0.973	0.310	1.000	0.310	0.289
	S-2	2.28	0.326			0.317	1.000	0.317	0.293
	S-3	3.18	0.331		0.977	0.323	0.999	0.323	0.299
	S-4	4.08	0.420			0.430	0.999	0.430	0.397
	S-5	4.95	0.481		0.985	0.474	0.998	0.475	0.439
	S-6	5.9	0.719			0.708	0.997	0.710	0.656
	S-7	6.45	0.819			0.807	0.996	0.810	0.749
Pressure tube	P.T inside				0.985				
	P.T outside	6.82	1.094			1.078	0.996	1.082	1.000
Calandria tube	C.T inside				0.991				
	C.T outside	7.68	1.100			1.091	0.995	1.097	1.014
D <sub>2</sub> O	0°-1	8.7	1.151		0.991	1.141	0.993	1.149	1.062
	-2	9.7	1.207			1.196	0.992	1.206	1.115
	-3	10.7	1.295			1.283	0.990	1.296	1.198
	-4	11.7	1.373			1.361	0.988	1.378	1.274
	-5	12.7	1.388			1.376	0.986	1.396	1.290
	45°-1	8.7	1.159		0.991	1.149	0.993	1.157	1.069
	-2	9.7	1.211			1.200	0.992	1.210	1.118
	-3	10.7	1.296			1.284	0.990	1.297	1.199
	-4	11.7	1.378			1.366	0.988	1.383	1.278
	-5	12.7	1.438			1.425	0.986	1.445	1.336
	-6	13.7	1.505			1.491	0.984	1.515	1.400
	-7	14.7	1.525			1.511	0.981	1.540	1.423
	-8	15.7	1.546			1.532	0.979	1.565	1.446
	-9	16.7	1.580			1.566	0.976	1.605	1.483
	17.7	1.585	105.3	1.571	0.973	1.615	1.493		

Table 7 Dysprosium Reaction Rate Distribution in 36-rod Cluster Fuel Lattice  
(Lattice Pitch: 25 cm, Fuel: 0.54wt%PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>, Void: 100%)

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	1.83	0.154	24.1	0.959	0.148	1.000	0.148	0.425
	F-2	3.63	0.185	29.6	0.966	0.179	0.999	0.179	0.514
	F-3	5.39	0.262	42.2	0.976	0.256	0.998	0.257	0.739
	F-3'	5.39	0.268	42.6	0.977	0.262	0.998	0.263	0.756
Coolant	S-1	0.92	0.143		0.959	0.137	1.000	0.137	0.394
	S-2	2.28	0.150			0.144	1.000	0.144	0.414
	S-3	3.18	0.154		0.966	0.149	0.999	0.149	0.428
	S-4	4.08	0.196			0.189	0.999	0.189	0.543
	S-5	4.95	0.209		0.977	0.204	0.998	0.204	0.586
	S-6	6.0	0.323			0.316	0.998	0.317	0.911
	S-7								
Pressure tube	P.T inside				0.977				
	P.T outside	6.82	0.355			0.437	0.997	0.348	1.000
Calandria tube	C.T inside				0.988				
	C.T outside	7.68	0.369			0.365	0.996	0.367	1.055
D <sub>2</sub> O	0°-1	8.7	0.423		0.988	0.418	0.995	0.420	1.207
	-2	9.7	0.467			0.461	0.994	0.464	1.333
	-3	10.7	0.515			0.509	0.992	0.513	1.474
	-4	11.7	0.533			0.527	0.991	0.532	1.529
	-5	12.7	0.546			0.539	0.989	0.545	1.566
	45°-1	8.7	0.401		0.988	0.396	0.995	0.398	1.144
	-2	9.7	0.495			0.489	0.994	0.492	1.414
	-3	10.7	0.544			0.537	0.992	0.541	1.555
	-4	11.7	0.588			0.581	0.991	0.586	1.684
	-5	12.7	0.632			0.624	0.989	0.631	1.813
	-6	13.7	0.648			0.640	0.987	0.648	1.862
	-7	14.7	0.679			0.671	0.986	0.681	1.957
	-8	15.7	0.686			0.678	0.983	0.690	1.983
	-9	16.7	0.711			0.702	0.981	0.716	2.058
-10	17.7	0.700	83.0	0.692		0.979	0.707	2.032	

Table 8 Dysprosium Reaction Rate Distribution in 54-rod Cluster Fuel Lattice  
(Lattice Pitch: 25 cm, Fuel: 0.79wt%PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>, Void: 0%)

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	2.86	0.780	52.4	0.981	0.765	0.999	0.766	0.429
	F-2	4.26	0.768	52.2	0.981	0.753	0.998	0.755	0.423
	F-3	5.71	1.112	66.5	0.985	1.095	0.997	1.098	0.615
	F-3'	5.71	1.133	69.0	0.986	1.117	0.997	1.120	0.627
Coolant	S-1	0.1	2.228	108.2	0.981	2.186	1.000	2.186	1.224
	S-2	0.3	2.162			2.121	1.000	2.121	1.188
	S-3	0.5	2.088			2.048	1.000	2.048	1.147
	S-4	0.7	2.050			2.011	1.000	2.011	1.126
	S-5	0.9	1.951			1.914	1.000	1.914	1.072
	S-6	1.1	1.815			1.781	1.000	1.781	0.997
	S-7	1.3	1.751			1.718	1.000	1.718	0.962
	S-8	1.5	1.587			1.557	1.000	1.557	0.872
	S-9	1.7	1.446			1.419	1.000	1.419	0.795
	S-10	1.9	1.273			1.249	1.000	1.249	0.699
	S-11	2.43	1.002		0.983	0.999	0.984	0.551	
	S-12	3.21	0.865		0.849	0.999	0.850	0.476	
	S-13	3.91	0.839		0.823	0.999	0.824	0.461	
	S-14	4.63	0.978		0.959	0.998	0.961	0.538	
	S-15	5.35	1.131		1.115	0.997	1.118	0.626	
	S-16	6.06	1.553		1.531	0.997	1.536	0.860	
	S-17	6.45	1.790		1.765	0.996	1.772	0.992	
Pressure tube	P.T inside								
	P.T outside	6.82	1.804			1.779	0.996	1.786	1.000
Calandria tube	C.T inside				0.991				
	C.T outside	7.68	1.836			1.819	0.994	1.830	1.025
D <sub>2</sub> O	0°-1	8.7	1.879	108.2	0.991	1.862	0.993	1.875	1.050
	-2	9.7	2.023			2.005	0.991	2.023	1.133
	-3	10.7	2.157			2.138	0.989	2.162	1.211
	-4	11.7	2.279			2.258	0.987	2.288	1.281
	-5	12.7	2.365			2.344	0.985	2.376	1.330
	45°-1	8.7	1.861			1.844	0.993	1.857	1.040
	-2	9.7	2.004		1.986	0.991	2.004	1.122	
	-3	10.7	2.172		2.152	0.989	2.176	1.218	
	-4	11.7	2.272		2.252	0.987	2.282	1.278	
	-5	12.7	2.382		2.361	0.985	2.397	1.342	
	-6	13.7	2.501		2.478	0.982	2.523	1.413	
	-7	14.7	2.613		2.589	0.980	2.642	1.479	
	-8	15.7	2.594		2.571	0.977	2.632	1.474	
	-9	16.7	2.616		2.592	0.973	2.664	1.492	
	-10	17.7	2.625		2.601	0.970	2.681	1.501	

Table 9 Dysprosium Reaction Rate Distribution in 54-rod Cluster Fuel Lattice  
(Lattice Pitch: 25 cm, Fuel: 0.79wt%PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>, Void: 100%)

Foil position		Distance from center (cm)	Dy bare	Cd ratio	C.R-i	Dy sub-Cd	Jo(Br)	Corrected value	Normalized value
					C.R				
Fuel	F-1	2.86	0.236	31.7	0.968	0.228	0.999	0.228	0.500
	F-2	4.26	0.270	34.3	0.971	0.262	0.999	0.262	0.575
	F-3	5.71	0.364	40.4	0.975	0.355	0.998	0.356	0.781
	F-3'	5.71	0.368	40.7	0.975	0.359	0.998	0.360	0.789
Coolant	S-1	0.1	0.250			0.242	1.000	0.242	0.531
	S-2	0.3	0.239			0.231	1.000	0.231	0.507
	S-3	0.5	0.251			0.243	1.000	0.243	0.533
	S-4	0.7	0.239			0.231	1.000	0.231	0.507
	S-5	0.9	0.247			0.239	1.000	0.239	0.524
	S-6	1.1	0.248		0.968	0.240	1.000	0.240	0.526
	S-7	1.3	0.239			0.231	1.000	0.231	0.507
	S-8	1.5	0.241			0.233	1.000	0.233	0.511
	S-9	1.7	0.231			0.224	1.000	0.224	0.491
	S-10	1.9	0.226			0.219	1.000	0.219	0.480
	S-11	2.43	0.226		0.968	0.219	1.000	0.219	0.480
	S-12	3.21	0.240			0.232	0.999	0.232	0.509
	S-13	3.91	0.245		0.971	0.238	0.999	0.238	0.522
	S-14	4.63	0.297			0.288	0.998	0.289	0.634
	S-15	5.35	0.315			0.307	0.998	0.308	0.675
	S-16	6.06	0.437		0.975	0.426	0.997	0.427	0.936
	S-17	6.45	0.454			0.443	0.997	0.431	0.945
Pressure tube	P.T inside								
	P.T outside	6.82	0.467		0.975	0.455	0.997	0.456	1.000
Calandria tube	C.T inside								
	C.T outside	7.68	0.491		0.988	0.485	0.996	0.487	1.068
D <sub>2</sub> O	0°-1	8.7	0.549			0.542	0.995	0.545	1.195
	-2	9.7	0.644			0.636	0.993	0.640	1.404
	-3	10.7	0.712		0.9-8	0.703	0.992	0.709	1.555
	-4	11.7	0.753			0.744	0.990	0.752	1.649
	-5	12.7	0.757			0.748	0.989	0.756	1.658
	45°-1	8.7	0.538			0.532	0.995	0.535	1.173
	-2	9.7	0.648			0.640	0.993	0.645	1.414
	-3	10.7	0.734			0.725	0.992	0.731	1.603
	-4	11.7	0.801			0.791	0.990	0.799	1.732
	-5	12.7	0.835		0.988	0.825	0.989	0.834	1.829
	-6	13.7	0.856			0.846	0.987	0.857	1.879
	-7	14.7	0.924			0.913	0.985	0.927	2.033
	-8	15.7	0.923			0.912	0.983	0.928	2.035
	-9	16.7	0.935			0.924	0.980	0.943	2.068
-10	17.7	0.945	84.6		0.933	0.978	0.954	2.092	



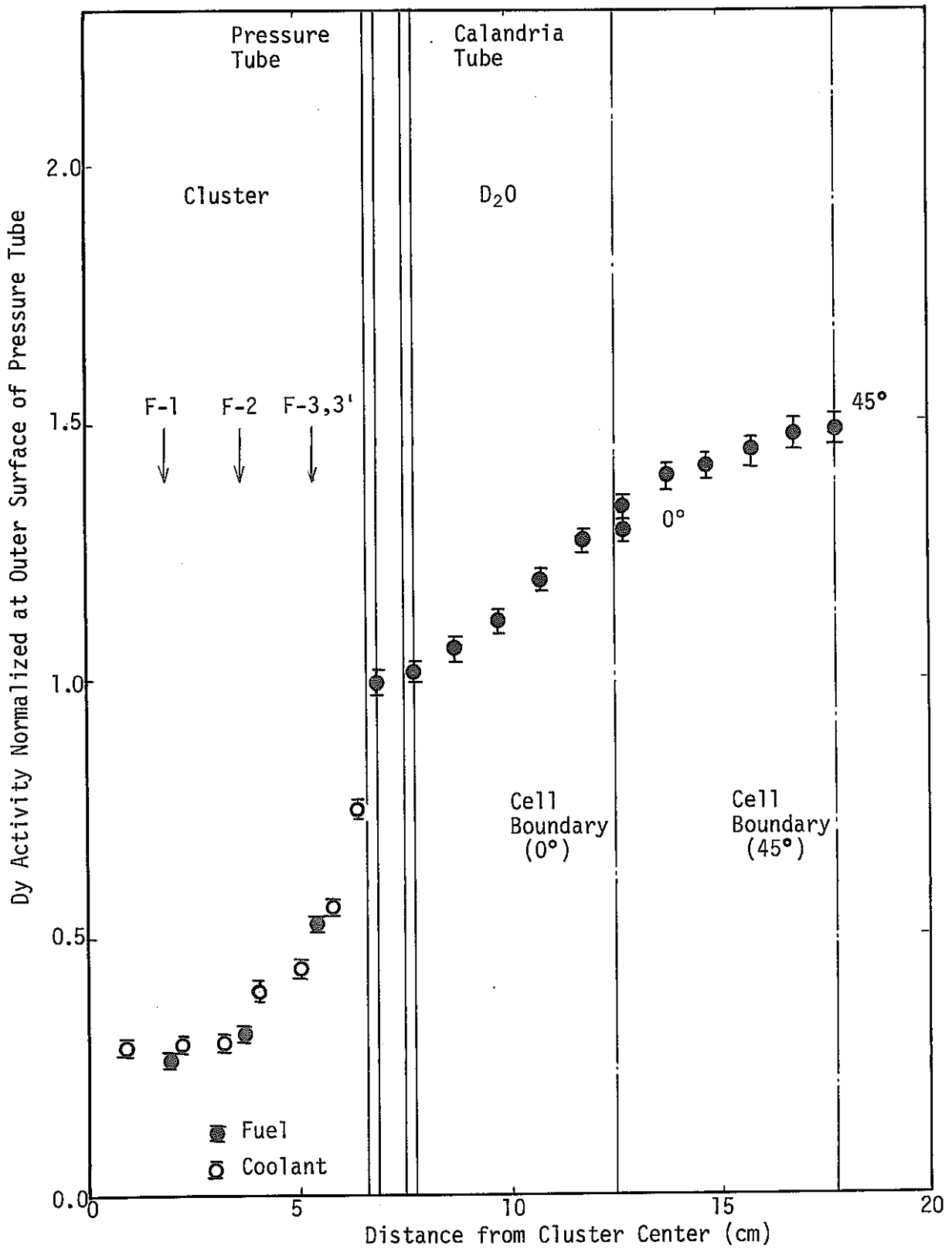


Fig. 8 Dysprosium Reaction Rate Distribution for Coolant Void Fraction of 0% in 0.54wt%(S)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> Fuel at 25.0 cm Pitch Lattice (36-rod Cluster)

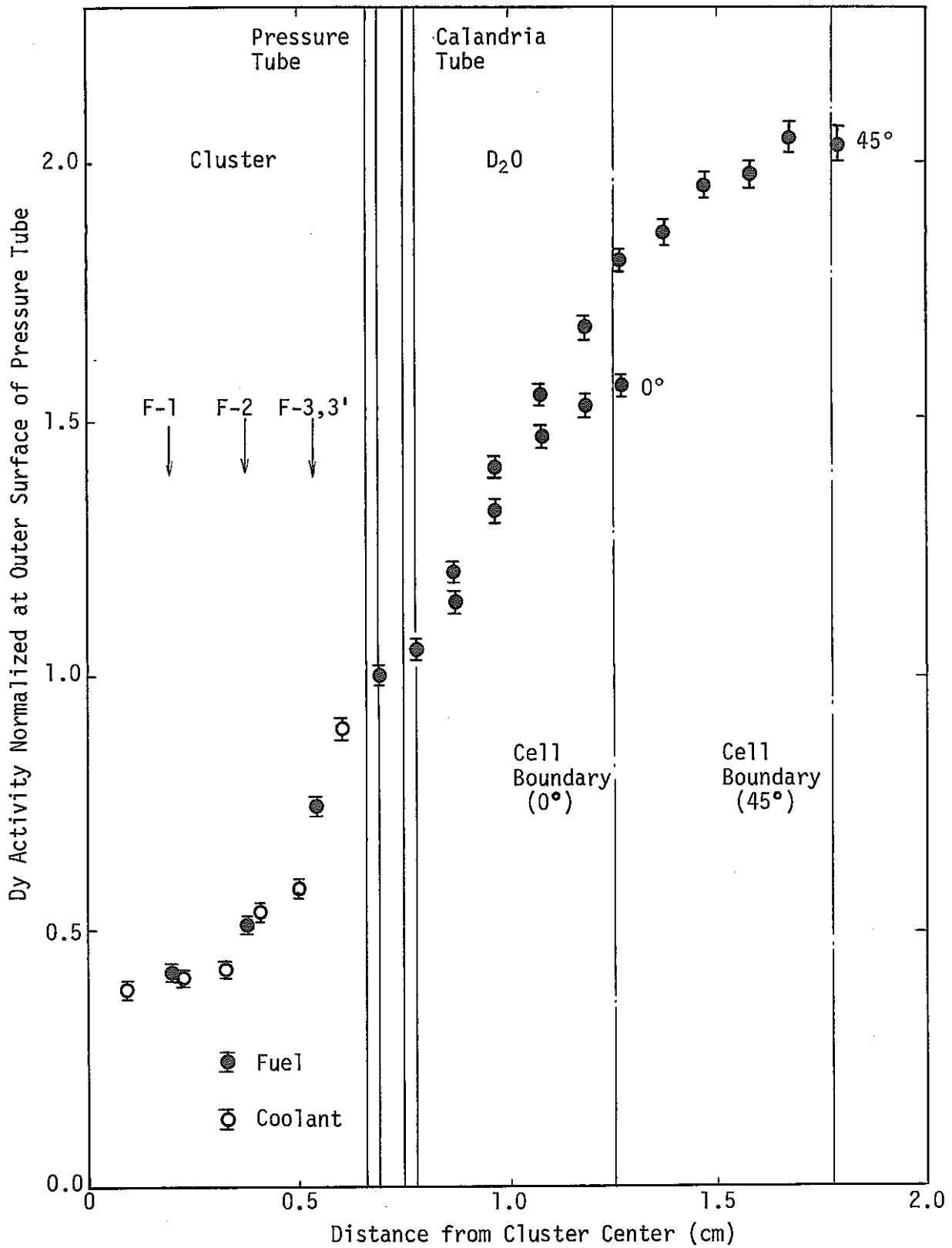


Fig. 9 Dysprosium Reaction Rate Distribution for Coolant Void Fraction of 100% in 0.54wt%(S)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> Fuel at 25.0 cm Pitch Lattice (36-rod Cluster)

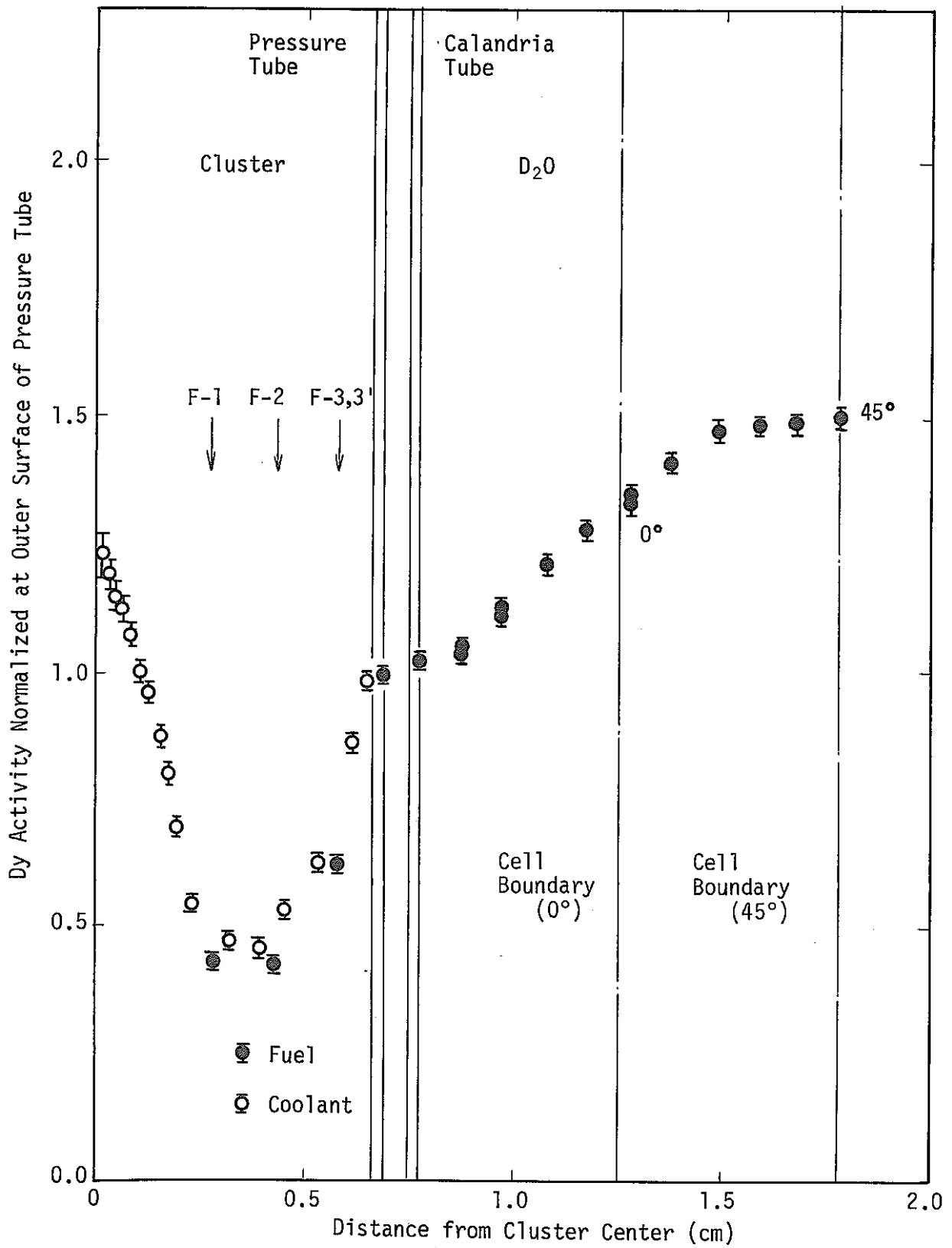


Fig. 10 Dysprosium Reaction Rate Distribution for Coolant Void Fraction of 0% in 0.79wt%PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> Fuel at 25.0 cm Pitch Lattice (54-rod Cluster)

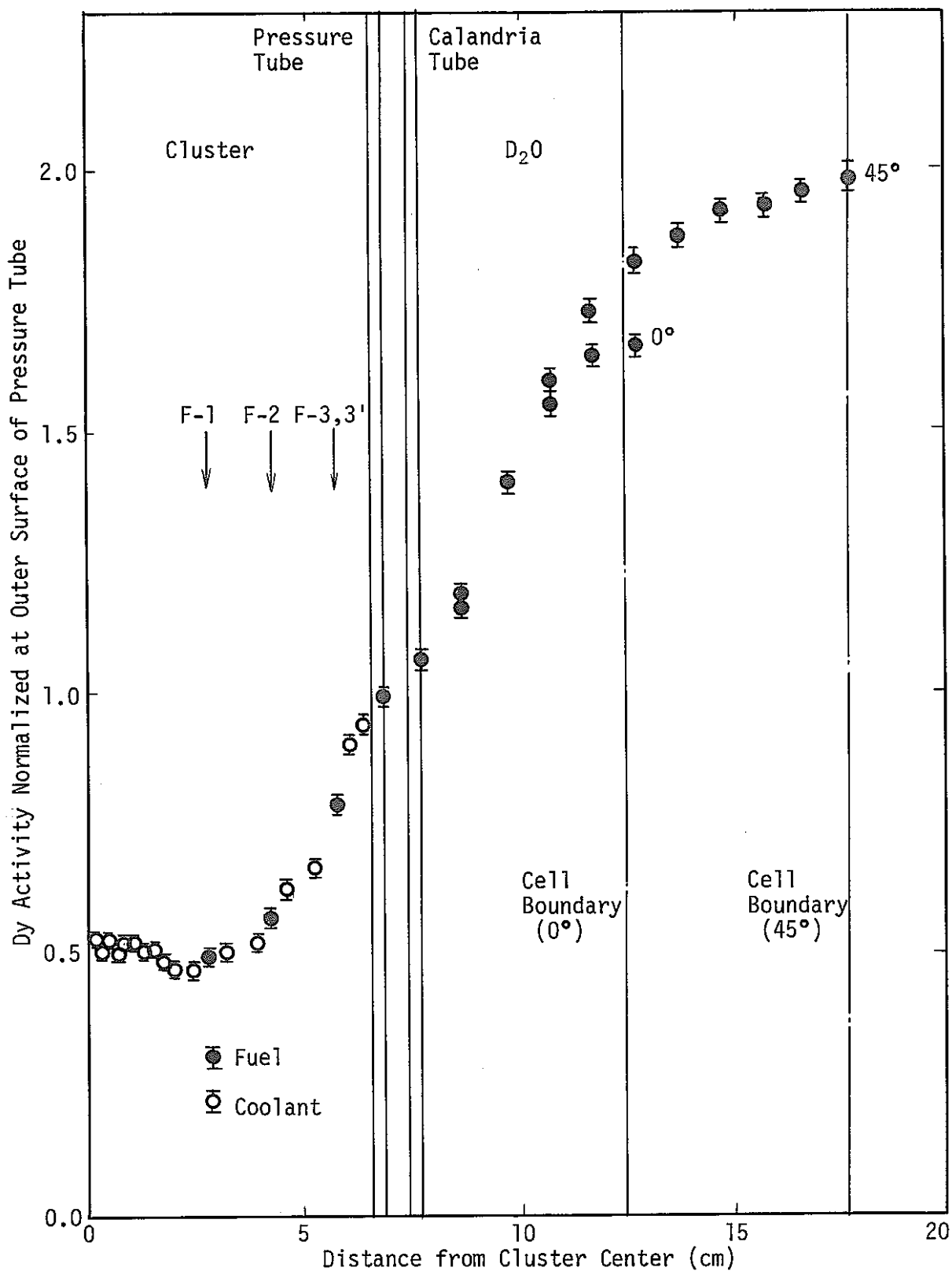


Fig. 11 Dysprosium Reaction Rate Distribution for Coolant Void Fraction of 100% in 0.79wt%PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> Fuel at 25.0 cm Pitch Lattice (54-rod Cluster)

## 4. 計算値との比較

今回の実験結果は、METHUSELAH-IIコード、WIMS-Dコード及びLAMP-DCAコードの3つのコードによる計算結果と比較した。Fig. 12からFig. 15に実験値と3つのコードによる計算値の比較を示す。

### (1) METHUSELAH-IIコードによる計算値との比較

36本クラスタの0%ボイド及び100%ボイドにおいては、各リングの燃料中の熱中性子束の計算値は、実験値より大きい値を示している。54本クラスタの0%ボイドにおける燃料中の熱中性子束の計算値は、第1リング及び第2リングで実験値と良く一致しているが、第3リングでは計算値の方が実験値より小さい値を示している。また、54本クラスタの100%ボイドにおいては、燃料中の計算値は第1リングを除いて、実験値より大きい値を示している。燃料クラスタ内平均熱中性子束の計算値は、36本クラスタ0%ボイドでは6.0%、100%ボイドでは6.8%、実験値より大きい値を示している。また、54本クラスタの0%ボイドにおける燃料クラスタ内平均熱中性子束の計算値は、4.5%実験値より小さい値を示しているが、100%ボイドでは5.1%大きい値を示している。

重水中の熱中性子束分布は、36本クラスタ及び54本クラスタの各ボイド率において、圧力管及びカランドリア管近傍で計算値の方が実験値より大きくなっているが、全体的に見ると計算値と実験値は良く一致している。

付録1にMETHUSELAH-IIコードの入力フォーマットを示す。

### (2) WIMS-Dコードによる計算値との比較

36本クラスタの0%ボイド及び100%ボイドにおける燃料中の熱中性子束の計算値は、第1リング及び第2リングで実験値と良く一致しているが、第3リングでは計算値の方が実験値より小さい値を示している。また、54本クラスタ0%ボイド及び100%ボイドでは、各リングの燃料中の熱中性子束の計算値は実験値と良く一致している。燃料クラスタ内平均熱中性子束の計算値は、36本クラスタ0%ボイドでは4.8%、100%ボイドでは5.5%、実験値より小さい値を示している。また、54本クラスタの0%及び100%ボイドでは、両方の場合とも計算値の方が実験値より1.5%大きい値を示している。

重水中の熱中性子束分布は、METHUSELAH-IIの場合と同様に、圧力管及びカランドリア管近傍で計算値の方が実験値より大きくなっているが、全体的に見ると計算値と実験値は良く一致している。

付録2にWIMS-Dコードの入力フォーマットを示す。

### (3) LAMP-DCAコードによる計算値との比較

36本クラスターの0%ボイドにおける燃料中の熱中性子束の計算値は、第3リングでは実験値と良く一致しているが、第1リング及び第2リングでは計算値の方が実験値より若干大きい値を示している。

36本クラスターの100%ボイドでは、各リングとも計算値と実験値は良い一致を示している。

54本クラスターの0%ボイドにおける燃料中の熱中性子束の計算値は、第1及び第3リングで実験値より若干小さい値を示しているが、概収良い一致を示している。また、100%ボイドでは、第1及び第2リングで計算値と実験値は良い一致を示しているが、第3リングでは計算値の方が実験値より小さい値を示している。

燃料クラスター内平均熱中性子束の計算値は、36本クラスター0%ボイドでは4.5%大きい値を示しているが、100%ボイドでは非常によく一致している(0.3%以内)。54本クラスターの0%ボイド及び100%ボイドにおける燃料クラスター内平均熱中性子束の計算値は、実験値よりそれぞれ4.7%、4.0%小さい値を示している。

重水中の熱中性子束分布は、METHUSELAH-II及びWIMS-Dの場合と同様の傾向を示しているが、これら2つのコードよりLAMP-DCAコードによる計算値の方が実験値と良く一致している。

付録3にLAMP-DCAコードの入力フォーマットを示す。また、付録4にはLAMP-DCAコードで計算した熱中性子スペクトルを示す。

今回の多数本クラスターの単位格子内熱中性子束分布測定結果を基にした計算精度評価結果をまとめると、燃料クラスター内平均熱中性子束に関しては、METHUSELAH-IIコードでは5%~7%、WIMS-Dコードでは2%~6%、LAMP-DCAコードでは1%~5%の計算誤差となる。

これより、多数本プルトニウム燃料クラスターの熱中性子束分布の各コードによる計算値は、28本クラスターの場合と同程度の精度で求めることができ、実証炉核設計に十分適用できることが明らかとなった。

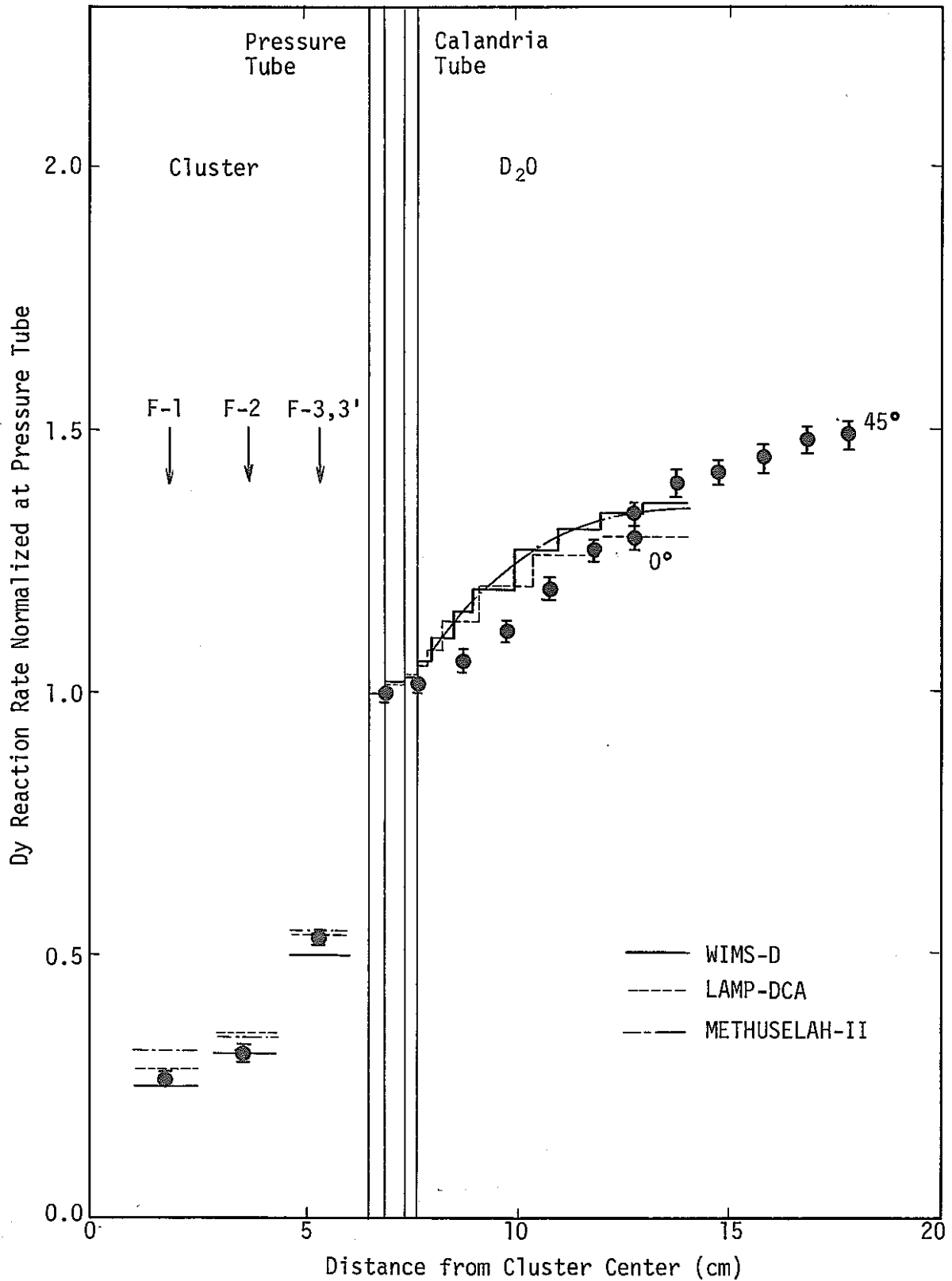


Fig. 12 Dysprosium Reaction Rate Distribution for Coolant Void Fraction of 0% in 0.54wt%(S)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> Fuel at 25.0 cm Pitch Lattice (36-rod Cluster)

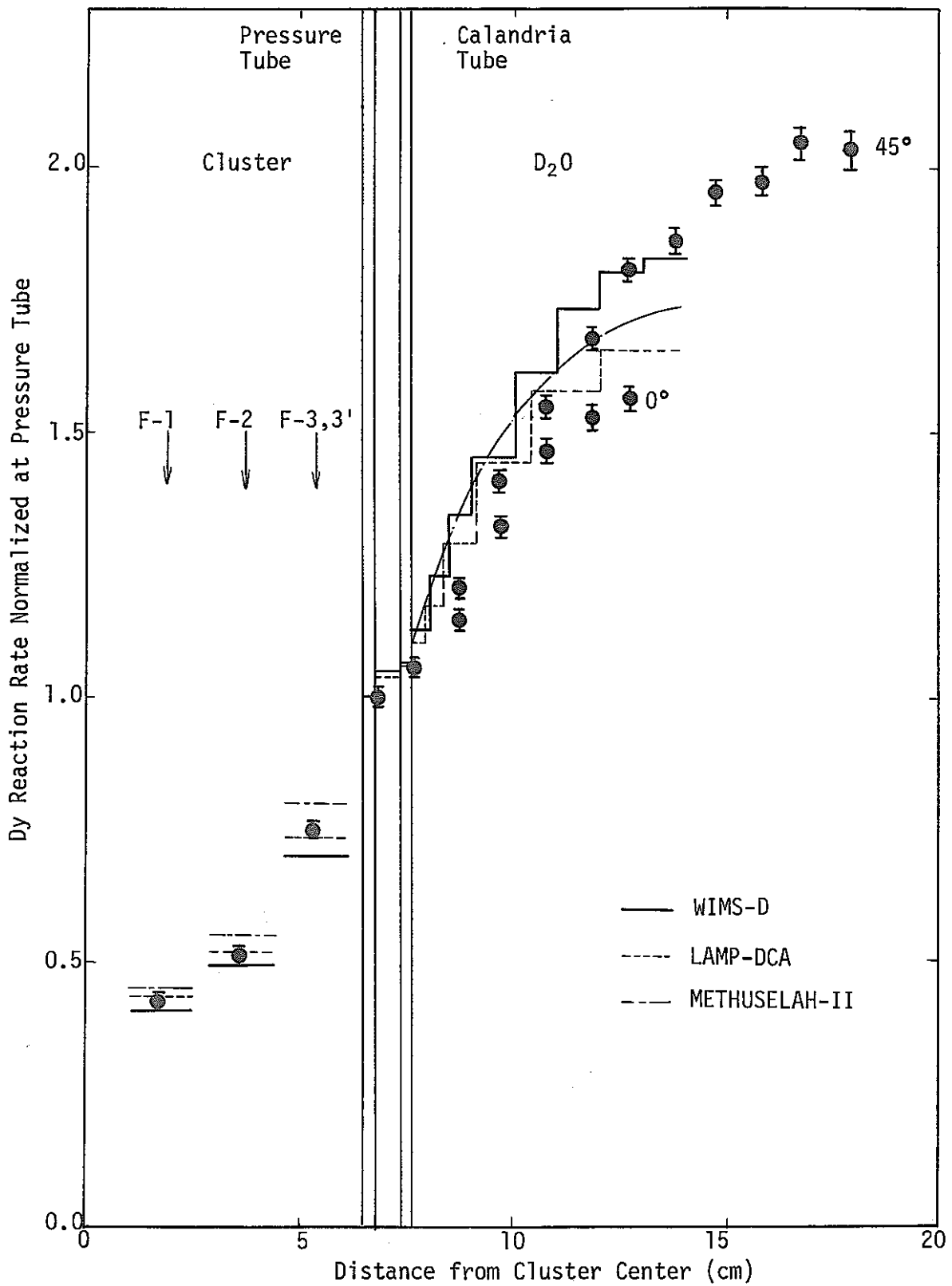


Fig. 13 Dysprosium Reaction Rate Distribution for Coolant Void Fraction of 100% in 0.54wt%(S)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> Fuel at 25.0 cm Pitch Lattice (36-rod Cluster)



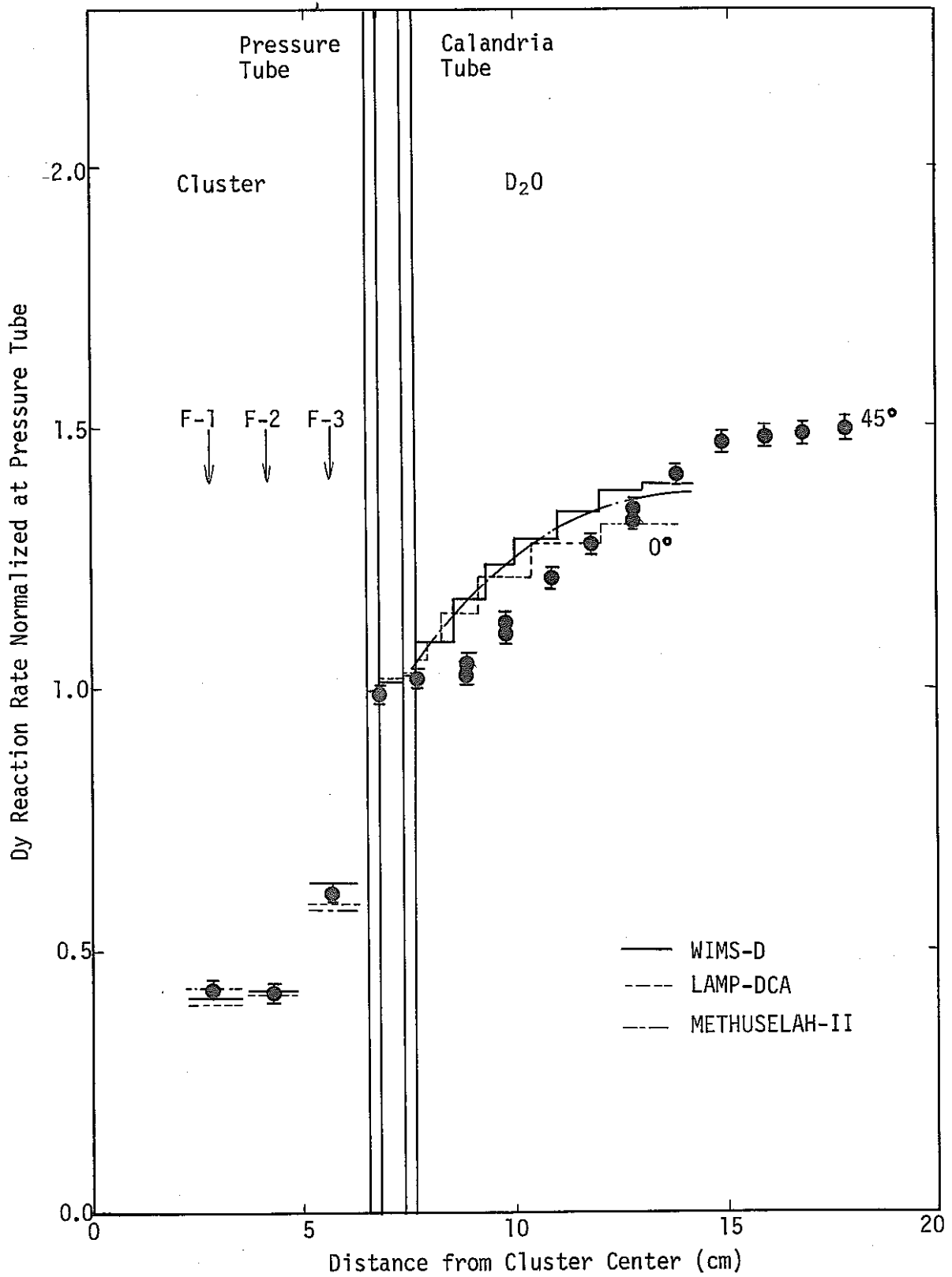


Fig. 14 Dysprosium Reaction Rate Distribution for Coolant Void Fraction of 0% in 0.79wt%(R)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> Fuel at 25.0 cm Pitch Lattice (54-rod Cluster)

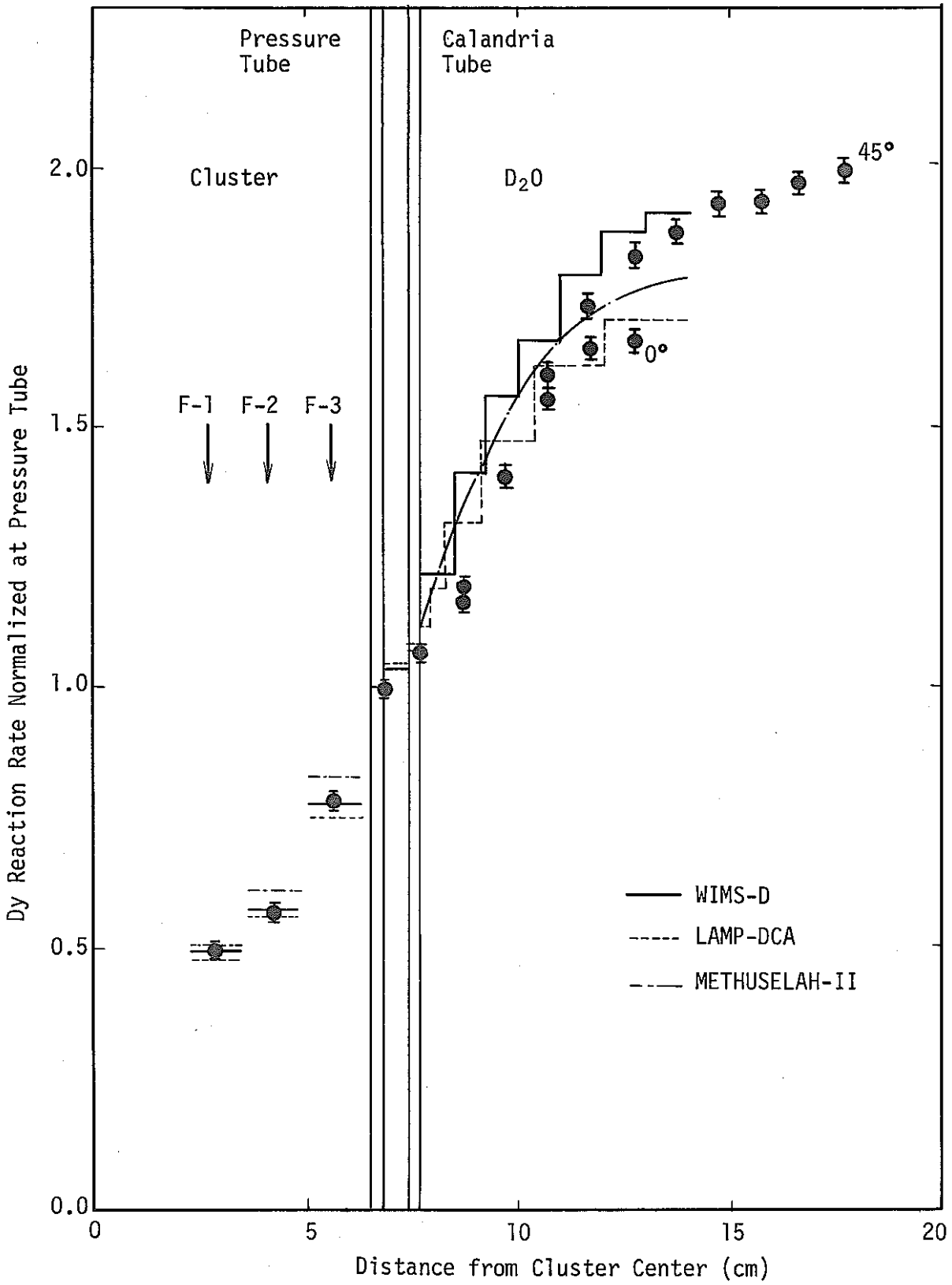


Fig. 15 Dysprosium Reaction Rate Distribution for Coolant Void Fraction of 100% in 0.79wt%(R)PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> Fuel at 25.0 cm Pitch Lattice (54-rod Cluster)

## 5. 結 論

プルトニウム燃料棒 36 本及び 54 本からなる燃料集合体を装荷した炉心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 METHUSELAH-II コード，WIMS-D コード及び LAMP-DCA コードによる計算値との比較から次の事が明らかになった。

- (1) 36 本及び 54 本クラスターにおける実験誤差は，28 本クラスターの場合と同じく，燃料中で 1.5%，冷却材中で 3%，圧力管，カランドリア管及び重水中で 1.5%であった。このことから，燃料本数が増加した場合においても十分精度良く熱中性子束分布が求めることができる。
- (2) 36 本及び 54 本クラスターの燃料領域の熱中性子束は，0%ボイドにおいては軽水の熱中性子遮蔽効果により，100%ボイドにおける熱中性子束より大きく低下する。この傾向は 28 本クラスターの場合と同じである。
- (3) 0%ボイドにおける 36 本及び 54 本クラスター中心部の軽水は，中性子散乱物質として働くため第 1 リング（内層）燃料棒近傍の熱中性子束を増大させている。この傾向は中心部軽水の多い 54 本クラスターで顕著に現われている。
- (4) 燃料クラスター内熱中性子束分布計算誤差は，METHUSELAH-II コードの場合 5%～7%，WIMS-D コードの場合 2%～6%，LAMP-DCA コードの場合 1%～5%となる。これより，多数本プルトニウムクラスターの熱中性子束分布の計算は，28 本クラスターの場合とほぼ同程度の精度で求めることができ，実証炉核設計に十分適用できる。

## 謝 辞

今回の実験において、金内信、柴田邦広両氏（現三菱重工）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。また、新型転換炉の開発及び研究の一貫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、八谷雄喜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) 若林 他：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)」
- (2) 若林 他：SN 941 74 - 77  
「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)」
- (3) 若林 他：ZN 941 75 - 112  
「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, 22.5 cm 格子ピッチのまとめ」
- (4) 若林 他：PNC SN 941 79 - 119  
「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, 25.0 cm 格子における実験」
- (5) 若林 他：SN 941 79 - 187  
「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, 20 cm 及び 28.3 cm 格子ピッチにおける実験」
- (6) T. Wakabayashi and Y. Hachiya: "Thermal Neutron Behavior in Cluster-Type Plutonium Fuel Lattice", Nucl. Sci. Eng., 63, 292 (1977).
- (7) K.C. Kendall, et al.: AEEW-M756.
- (8) 角谷浩 : N 941 76 - 113  
「LAMP-DCA 衝突確率法にもとづく一般化格子解析コードシステム」
- (9) J.R. Askew, et al.: "A General Description of the Lattice Code WIMS", J. Br. Nucl. Soc., 5, 564 (1966).

付録1 METHUSELAH-IIコード用入力フォーマット

```

INITIATE
*      36-ROD CIUSTER(25.OLP,1.2UO2 OVOID OBORON GAP=2MM )
POLYGON(1.00)0                                * FUEL1
DIAMET(1.00)12.63                             *
TEMPER(1.00)22.0                              *
DIAMET(1.11)1.48                              * PELLET
DENSIT(1.11)10.33                             *
INGRED(1.11)4,18,1.0596,20,87.0367,2,11.9037,62,0.0000 *
TEMPER(1.11)22.0                              *
DIAMET(1.12)1.673                             * SHEATH
DENSIT(1.12)2.3725 *
INGRED(1.12)1,9,100.0                         *
TEMPER(1.12)22.0                              *
DENSIT(1.10)0.99777                           * COCLANT
INGRED(1.10)3,1,11.1901,2,88.8099,29,0.000000000 *
TEMPER(1.10)22.0                              *
LAYER 2=1                                     *
LAYER 3=1                                     *
POLYGON(2.00)0                                * W.G
DIAMET(2.00)13.03                             *
DENSIT(2.00)0.99777                           *
INGRED(2.00)3,1,11.1901,2,88.8099,29,0.000000000 *
TEMPER(2.00)22.0                              *
RARE REGION(2.00) *
POLYGON(3.00)0                                * P.T
DIAMET(3.00)13.63                             *
DENSIT(3.00)2.674                             *
INGRED(3.00)1,9,100.0                         *
TEMPER(3.00)22.0                              *
RARE REGION(3.00) *
POLYGON(4.00)0                                * AIR.G
DIAMET(4.00)14.65                             *
DIAMET(4.00)14.65                             *
AIRGAP(4.00) *
POLYGON(5.00)0                                * C.T
DIAMET(5.00)15.35                             *
DENSIT(5.00)2.674                             *
INGRED(5.00)1,9,100.0                         *
TEMPER(5.00)22.0                              *
RARE REGION(5.00) *
POLYGON(6.00)0                                * MOD
DIAMET(6.00)28.2095                           *
DENSIT(6.00)1.1045                             *
INGRED(6.00)4,1,0.05036,38,20.0223,2,79.9283,29,0.00000000 *
TEMPER(6.00)22.0                              *
ARRAY TYPE 4,3,1.825,3.625,5.390,6,12,18 *
BUCKLING 0.000990203                          *
RESONANCE 6,18,20,21,22,23,34                *
FIVE GROUP *
DG LAYER 1,0,2                                *

```

SPECTRUM 4,2,1.00,2.00 \*  
 SPECTRUM 5,4,3.00,4.00,5.00,6.00 \*  
 EPSILON 0.0001 \*  
 GEOMETRY 10,10,10,5,5,5,5,20 \*  
 RECORD 36,2,20,0.58830,4,20,1.45646,5,20,0.53940,20,18,2.43,\$  
 20,21,2.87099,20,23,2.96899,108,2,1.0004,108,3,0.98434,\$  
 108,5,0.99258,108,11,2.42680,108,12,2.88799,108,13,3.10404 \*  
 FINAL OUTPUT 1,171,171 \*  
 ITERATE 5 \*  
 BEGIN CALCULATION \*  
 \*NOAH-2 (25.0LP 5SPU OVOID) CASE-2  
 DIAMET(1.11)1.469 \*  
 DENSIT(1.11)10.171 \*  
 INGRED(1.11)7,18,0.6214,20,86.7823,21,0.4304,22,0.04115\$  
 23,0.004359,34,0.000303,2,12.120 \*  
 DIAMET(1.12)1.668 \*  
 DENSIT(1.12)6.523 \*  
 INGRED(1.12)5,3,98.22,10,1.48,6,0.14,11,0.10,7,0.06 \*  
 DENSIT(1.10)0.99777 \*  
 INGRED(1.10)3,1,11.1901,2,88.8099,29,0.0 \*  
 DENSIT(2.00)0.99777 \*  
 INGRED(2.00)3,1,11.1901,2,88.8099,29,0.0 \*  
 BUCKLING 0.00129269 \*  
 BEGIN CALCULATION \*  
 \*NOAH-2 (25.0LP 5SPU 100VOID) CASE-3 \*  
 DENSIT(1.10)0.000001 \*  
 DENSIT(2.00)0.000001 \*  
 BUCKLING 0.000953089 \*  
 BEGIN CALCULATION \*

INITIATE

```

* NOAH-2 54-ROD CIUSTER(25.0LP,1.2UO2 OVOID OBORON GAP=2MM )
POLYGON(1.00)0 * FUEL 1
DIAMET(1.00)12.63 *
TEMPER(1.00)22.0 *
DIAMET(1.11)1.05 * PELLET
DENSIT(1.11)10.33 *
INGRED(1.11)4,18,1.0596,20,87.0367,2,11,9037,62,0.0000 *
TEMPER(1.11)22.0
DIAMET(1.12)1.25 * SHEATH
DENSIT(1.12)2.3725 *
INGRED(1.12)1,9,100.0 *
TEMPER(1.12)22.0 *
DENSIT(1.10)0.99777 * COOLANT
INGRED(1.10)3,1,11.1901,2,88.8099,29,0.000000000 *
TEMPER(1.10)22.0 *
LAYER 2=1 *
LAYER 3=1 *
POLYGON(2.00)0 * W.G
DIAMET(2.00)13.03 *
DENSIT(2.00)0.99777 *
INGRED(2.00)3,1,11.1901,2,88.8099,29,0.000000000 *
TEMPER(2.00)22.0 *
RARE REGION(2.00) *
POLYGON(3.00)0 * P.T
DIAMET(3.00)13.63 *
DENSIT(3.00)2.674 *
INGRED(3.00)1,9,100.0 *
TEMPER(3.00)22.0 *
RARE REGION(3.00) *
POLYGON(4.00)0 * AIR.G
DIAMET(4.00)14.65 *
AIRGAP(4.00) *
POLYGON(5.00)0 * C.I
DIAMET(5.00)15.35 *
DENSIT(5.00)2.674 *
INGRED(5.00)1,9,100.0 *
TEMPER(5.00)22.0 *
RARE REGION(5.00) *
POLYGON(6.00)0 * MOD
DIAMET(6.00)28.2095 *
DENSIT(6.00)1.1045 *
INGRED(6.00)4,1,0.05036,38,20.0223,2,79.9283,29,0.000000000 *
TEMPER(6.00)22.0 *
ARRAY TYPE 4,3,2.855,4.255,5.705,12,18,24 *
BUCKLING 0.000870088 *
RESONANCE 6,18,20,21,22,23,34 *
FIVE GROUP *
DG LAYER 1,0,2 *
SPECTRUM 4,2,1.00,2.00 *
SPECTRUM 5,4,3.00,4.00,5.00,6.00 *
ESPILON 0.0001 *
GEOMETRY 10,10,10,5,5,5,5,20 *
RECORD 36,2,20,0.58830,4,20,1.45646,5,20,0.53940,20,18,2.43,$
20,21,2.87099,20,23,2.96899,108,2,1.0004,108,3,0.98434,$
108,5,0.99258,108,11,2.42680,108,12,2.88799,108,13,3.10404

```



```
FINAL OUTPUT 1,171,171          *
ITERATE 5 *
BEGIN CALCULATION                *
*NOAH-2 (25.0LP 7RPU OVOID) CASE-2
DIAMET(1.11)1.05                 *
DENSIT(1.11)10.51                *
INGRED(1.11)7,2,12.32236,18,0.6163,20,86.18605,21,0.66251,22,0.17711$
                23,0.03015,34,0.00552          *
DIAMET(1.12)1.25                 *
DENSIT(1.12)5.6475                *
INGRED(1.12)5,3,98.15,10,1.54,6,0.16,11,0.1,7,0.05          *
DENSIT(1.10)0.99777              *
INGRED(1.10)3,1,11.1901,2,88.8099,29,0.0          *
DENSIT(2.00)0.99777              *
INGRED(2.00)3,1,11.1901,2,88.8099,29,0.0          *
BUCKLING 0.00162341              *
BEGIN CALCULATION                *
*NOAH-2 (25.0LP 7RPU 100VOID) CASE-3          *
DENSIT(1.10)0.000001             *
DENSIT(2.00)0.000001             *
BUCKLING 0.000973977             *
BEGIN CALCULATION                *
```

付録2 WIMS-Dコード用入力フォーマット

	94	69	27	14	13	15	35
CELL	7	1	1				
SEQUENCE	4						
NMESH	36						
NREGION	30		3				
NMATERIAL	14	3					
NGROUPS	18		7				
NRODS	36	-12	45	10	3	2	1
NREACT	11						
PREOUT							

\* DCA 36P CLUSTER 0.54PU LP=25.0CM

\* 0 VOID

\* 0 VOID

INITIATE

ANNULUS	1	0.4000	1
ANNULUS	2	0.60000	1
ANNULUS	3	0.80000	1
ANNULUS	4	1.51173	2
ANNULUS	5	1.95241	2
ANNULUS	6	2.39308	2
ANNULUS	7	2.83376	2
ANNULUS	8	3.17583	3
ANNULUS	9	3.51780	3
ANNULUS	10	3.85996	3
ANNULUS	11	4.20203	3
ANNULUS	12	4.5441	3
ANNULUS	13	4.82565	4
ANNULUS	14	5.10721	4
ANNULUS	15	5.38877	4
ANNULUS	16	5.67033	4
ANNULUS	17	5.95188	4
ANNULUS	18	6.23344	4
ANNULUS	19	6.51500	4
ANNULUS	20	6.81500	5
ANNULUS	21	7.32500	6
ANNULUS	22	7.67500	7
ANNULUS	23	8.00000	8
ANNULUS	24	8.50000	8
ANNULUS	25	9.00000	8
ANNULUS	26	10.00000	8
ANNULUS	27	11.00000	8
ANNULUS	28	12.00000	8
ANNULUS	29	13.00000	8
ANNULUS	30	14.10450	8
ARRAY	1	1 6	1.825 0.5235987
ARRAY	2	1 12	3.625 0.2617993
ARRAY	3	1 18	5.390 0.1745329
RODSUB	1	1 0.7345	9



	94	69	27	14	13	15	35
CELL		7	1	1			
SEQUENCE		4					
NMESH		36					
NREGION		30	3				
NMATERIAL		14	3				
NGROUPS		18	7				
NRODS		36	-12	45	10	3	2
NREACT		11					
PREOUT							

\* DCA 36P CLUSTER 0.54PU LP=25.0CM

\* 100 VOID

\* 100 VOID

INITIATE

ANNULUS	1		0.4000	1				
ANNULUS	2		0.60000	1				
ANNULUS	3		0.80000	1				
ANNULUS	4		1.51173	2				
ANNULUS	5		1.95241	2				
ANNULUS	6		2.39308	2				
ANNULUS	7		2.83376	2				
ANNULUS	8		3.17583	3				
ANNULUS	9		3.51780	3				
ANNULUS	10		3.85996	3				
ANNULUS	11		4.20203	3				
ANNULUS	12		4.5441	3				
ANNULUS	13		4.82565	4				
ANNULUS	14		5.10721	4				
ANNULUS	15		5.38877	4				
ANNULUS	16		5.67033	4				
ANNULUS	17		5.95188	4				
ANNULUS	18		6.23344	4				
ANNULUS	19		6.51500	4				
ANNULUS	20		6.81500	5				
ANNULUS	21		7.32500	6				
ANNULUS	22		7.67500	7				
ANNULUS	23		8.00000	8				
ANNULUS	24		8.50000	8				
ANNULUS	25		9.00000	8				
ANNULUS	26		10.00000	8				
ANNULUS	27		11.00000	8				
ANNULUS	28		12.00000	8				
ANNULUS	29		13.00000	8				
ANNULUS	30		14.10450	8				
ARRAY	1	1	6	1.825	0.5235987			
ARRAY	2	1	12	3.625	0.2617993			
ARRAY	3	1	18	5.390	0.1745329			
RODSUB	1	1	0.7345	9				
RODSUB	1	2	0.834	12				
RODSUB	2	1	0.7345	10				
RODSUB	2	2	0.834	13				
RODSUB	3	1	0.7345	11				
RODSUB	3	2	0.834	14				
MATERIAL	1	0.001205	295.0	3	16	23.5204	14	76.4796
MATERIAL	2	0.001205	295.0	3	16	23.5204	14	76.4796

MATERIAL	3	0.001205	295.0	3	16	23.5204	14	76.4796										
MATERIAL	4	0.001205	295.0	3	16	23.5204	14	76.4796										
MATERIAL	5	2.674	295.0	3	27	97.764												
MATERIAL	6	0.001205	295.0	4	16	23.5204	14	76.4796										
MATERIAL	7	2.674	295.0	4	27	97.764												
MATERIAL	8	1.1045	295.0	4	2001	0.05036	4002	20.0223	16	79.9283								
MATERIAL	9	10.17	295.0	1	235.4	0.6214	2238.4	86.782	3239.1	0.4304	₩							
		242	0.000303		1240	0.04115	241.	0.004359	16	12.12								
MATERIAL	10	10.17	295.0	1	235.4	0.6214	2238.4	86.782	3239.1	0.4304	₩							
		242	0.000303		1240	0.04115	241.	0.004359	16	12.12								
MATERIAL	11	10.17	295.0	1	235.4	0.6214	2238.4	86.782	3239.1	0.4304	₩							
		242	0.000303		1240	0.04115	241.	0.004359	16	12.12								
MATERIAL	12	5.3728	295.0	2	91	98.15	56	0.16	52	0.1	58	0.05	₩					
	11	1.077E-4	207	1.54														
MATERIAL	13	5.3728	295.0	2	91	98.15	56	0.16	52	0.1	58	0.05	₩					
	11	1.077E-4	207	1.54														
MATERIAL	14	5.3728	295.0	2	91	98.15	56	0.16	52	0.1	58	0.05	₩					
	11	1.077E-4	207	1.54														
BELL	1.114																	
FEWGROUPS	2	5	10	15	23	24	26	27	36	39	45	48	53	56	60	63	66	69
NPIJAN	25																	
MESH	1	1	1	1	3	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1
BUCKLING	0.000243				0.0007272													
BEGINC																		

	94	69	27	14	13	15	35
CELL	7	0	1				
SEQUENCE	4						
NMESH	40						
NGROUPS	9	5					
NREGION	34	3					
NMATERIAL	16						
NRODS	54	-12	45	12	3	2	1
NREACT	15						
PREOUT							

INIT IATE

* DCA	54	PIN	CLUSTER	25.0	CM	PITCH
ANNULUS	1		0.540		12	
ANNULUS	2		0.625		13	
ANNULUS	3		0.675		14	
ANNULUS	4		1.015		15	
ANNULUS	5		1.355		15	
ANNULUS	6		1.695		15	
ANNULUS	7		1.995		16	
ANNULUS	8		2.307		1	
ANNULUS	9		2.619		1	
ANNULUS	10		2.931		1	
ANNULUS	11		3.243		1	
ANNULUS	12		3.555		1	
ANNULUS	13		3.840		2	
ANNULUS	14		4.1250		2	
ANNULUS	15		4.4100		2	
ANNULUS	16		4.6950		2	
ANNULUS	17		4.9800		2	
ANNULUS	18		5.1993		3	
ANNULUS	19		5.4186		3	
ANNULUS	20		5.6379		3	
ANNULUS	21		5.8571		3	
ANNULUS	22		6.0764		3	
ANNULUS	23		6.2957		3	
ANNULUS	24		6.5150		3	
ANNULUS	25		6.8150		4	* PT
ANNULUS	25		6.8150		4	* PT
ANNULUS	26		7.3250		5	* AIR GAP
ANNULUS	26		7.3250		5	* AIR GAP
ANNULUS	27		7.675		6	* CT
ANNULUS	27		7.675		6	* CT
ANNULUS	28		8.500		7	
ANNULUS	29		9.300		7	
ANNULUS	30		10.000		7	
ANNULUS	31		11.000		7	
ANNULUS	32		12.000		7	
ANNULUS	33		13.050		7	
ANNULUS	34		14.104737		7	
ARRAY	1	1	12	2.855		0.2617993
ARRAY	2	1	18	4.255		0.1745329
ARRAY	3	1	24	5.705		0.1308996
RODSUB	1	1	0.525		8	
RODSUB	1	2	0.625		11	
RODSUB	2	1	0.525		9	



	94	69	27	14	13	15	35
CELL	7	0	1				
SEQUENCE	4						
NMESH	40						
NGROUPS	9	5					
NREGION	34	3					
NMATERIAL	16						
NRODS	54	-12	45	12	3	2	1
NREACT	15						
PREOUT							

INITIATE

* DCA	54	PIN	CLUSTER	25.0	CM	PITCH	100	VOID
ANNULUS	1		0.540			12		
ANNULUS	2		0.625			13		
ANNULUS	3		0.675			14		
ANNULUS	4		1.015			15		
ANNULUS	5		1.355			15		
ANNULUS	6		1.695			15		
ANNULUS	7		1.995			16		
ANNULUS	8		2.307			1		
ANNULUS	9		2.619			1		
ANNULUS	10		2.931			1		
ANNULUS	11		3.243			1		
ANNULUS	12		3.555			1		
ANNULUS	13		3.840			2		
ANNULUS	14		4.1250			2		
ANNULUS	15		4.4100			2		
ANNULUS	16		4.6950			2		
ANNULUS	17		4.9800			2		
ANNULUS	18		5.1993			3		
ANNULUS	19		5.4186			3		
ANNULUS	20		5.6379			3		
ANNULUS	21		5.0571			3		
ANNULUS	22		6.0764			3		
ANNULUS	23		6.2957			3		
ANNULUS	24		6.5150			3		
ANNULUS	25		6.8150			4		* PT
ANNULUS	25		6.8150			4		* PT
ANNULUS	26		7.3250			5		* AIR GAP
ANNULUS	26		7.3250			5		* AIR GAP
ANNULUS	27		7.675			6		* CT
ANNULUS	27		7.675			6		* CT
ANNULUS	28		8.500			7		
ANNULUS	29		9.300			7		
ANNULUS	30		10.000			7		
ANNULUS	31		11.000			7		
ANNULUS	32		12.000			7		
ANNULUS	33		13.050			7		
ANNULUS	34		14.104737			7		
ARRAY	1	1	12	2.855			0.2617993	
ARRAY	2	1	18	4.255			0.1745329	
ARRAY	3	1	24	5.705			0.1308996	
RODSUB	1	1	0.525			8		
RODSUB	1	2	0.625			11		
RODSUB	2	1	0.525			9		







PNC-TN941 83-49

0.67	0.67	0.71	0.71	0.71	0.71
0.89	0.89	0.89	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0			
LAST					
CLUP					
DCA 36PINS 25.0LP (5S-PU) 100VOID					
27	6 50	0 1	0 0	4 1	8 2
12	2 3	12 36	2 27	0 0	70
0	0 0.523599				
	6	12	183		
	2	1	1	2	2
	1	2	2	1	1
1 6	3	4	5	41 6	63
	0.0	0.6	6.4	6.515	6.815
	7.675	7.882	8.297	9.127	10.371
					7.325
					13.01

14.104743  
 0.0 0.7345 0.834 3  
 1.825 3.625 5.39 3  
 2.0943952 5-1.0471983  
 1.832596211-0.5235993  
 2.094395217-0.3490663

PIJF

DCA 36PINS 25.0LP (5S-PU) 100VOID  
 27 6 50 3 1 0 1 -1 1 1  
 50 0 0 7 4 1 1  
 1  
 300 1 5 5 5 1 1.05  
 0.0001 0.0001 0.05 1.2 100.0 1.0  
 2 1 1 2 2 1 1 2 2 1 1 2 3 3 3 3 3 3 4 5 4 6 6 6  
 6 6 6  
 1.0 -4 2.5 -4 1.01 -3 2.28 -3 4.05 -3 6.32 -3  
 9.11 -3 1.24 -2 1.619 -2 2.049 -2 2.53 -2 3.061 -2  
 3.64 -2 4.276 -2 4.959 -2 5.692 -2 6.517 -2 7.485 -2  
 8.612 -2 9.919 -2 1.1398 -1 1.3011 -1 1.474 -1 1.6594 -1  
 1.8581 -1 2.0713 -1 2.3005 -1 2.5464 -1 2.8114 -1 3.097 -1  
 3.4053 -1 3.7384 -1 4.0988 -1 4.489 -1 4.912 -1 5.371 -1  
 5.8693 -1 6.4107 -1 6.9992 -1 7.6393 -1 8.3357 -1 9.0936 -1  
 9.9184 -1 1.08163 1.17935 1.28572 1.40148 1.52743  
 1.66444 1.81344 1.97541  
 011314171850

1

0.0001

EOR

DCA 36PINS 25.0LP (5S-PU) OVOID  
 0.06671 0.03335  
 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75  
 0.75 0.75 0.78 0.78 0.78 0.78  
 0.75 0.75 0.78 0.78 0.78 0.78  
 0.88 0.88 0.88 1.0 1.0 1.0  
 DCA 36PINS 25.0LP (5S-PU) OVOID  
 DCA 36PINS 25.0LP (5S-PU) OVOID

PIXSE

DCA 54PINS 25.0LP (7R-PU) 100VOID

2  
 50 0 -1 7 7 -1 -1 -24 1 0 0  
 1.0 -4 2.5 -4 1.01 -3 2.28 -3 4.05 -3 6.32 -3  
 9.11 -3 1.24 -2 1.619 -2 2.049 -2 2.53 -2 3.061 -2  
 3.64 -2 4.276 -2 4.959 -2 5.692 -2 6.517 -2 7.485 -2  
 8.612 -2 9.919 -2 1.1398 -1 1.3011 -1 1.474 -1 1.6594 -1  
 1.8581 -1 2.0713 -1 2.3005 -1 2.5464 -1 2.8114 -1 3.097 -1  
 3.4053 -1 3.7384 -1 4.0988 -1 4.489 -1 4.912 -1 5.371 -1  
 5.8693 -1 6.4107 -1 6.9992 -1 7.6393 -1 8.3357 -1 9.0936 -1  
 9.9184 -1 1.08163 1.17935 1.28572 1.40148 1.52743  
 1.66444 1.81344 1.97541

1 2 FUEL

4.67004 -5 7.91665 -6 1.44342 -6 1.65970 -4 2.29136 -2 4.87434 -2  
 1.75421 -4

1 2 SHEATH

9.74435 -5 2.89572 -5 3.64879 -2 6.54103 -5

1 2 COOLANT  
 3.962 -5 1.067 -5

1 2 PT CT

1.78794 -3 5.77234 -2

1 2 AIR  
 3.962 -5 1.067 -5

1 -2 D20  
 3.323 -4 0.06613 0.03323

28 1 0 1  
 2 1 1 2 2 1 1 2 2 1 1 2 3 3 3 3 3 3 3 4 5 4 6 6  
 6 6 6 6

0.67 0.67 0.67 0.67 0.67 0.67  
 0.67 0.67 0.71 0.71 0.71 0.71  
 0.67 0.67 0.67 0.71 0.71 0.71  
 0.71 0.89 0.89 0.89 1.0 1.0  
 1.0 1.0 1.0 1.0

LAST

CLUP

DCA 54PINS 25.0LP (7R-PU) 100VOID

28 6 50 0 1 0 0 4 1 8 2 4 0 0 1



## 付録4 LAMP-DCAコードで計算した熱中性子スペクトル

LAMP-DCAコードで計算した36本コネクタ及び54本クラスターの25cm格子ピッチにおける各領域の熱中性子スペクトルをFig. 1～Fig. 8に示した。これらの図の中でF-1, F-3は燃料中の第1, 第3リングの熱中性子スペクトルをそれぞれ示し, D<sub>2</sub>Oは重水領域の熱中性子スペクトルを示す。

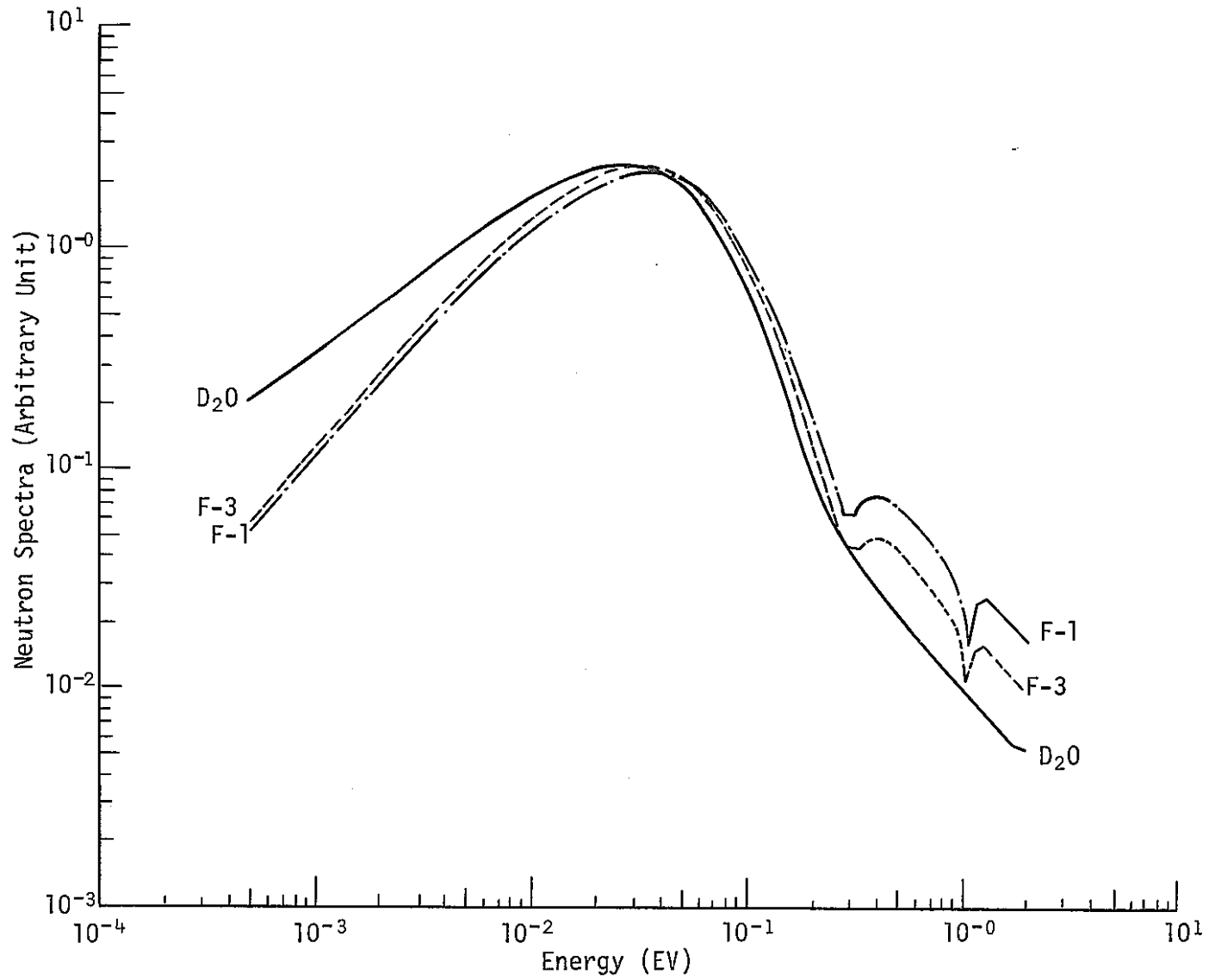


Fig. 1 Thermal Neutron Spectra Calculated by LAMP  
(36-rod Cluster, 0.53wt%PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> Fuel, 0% Void)



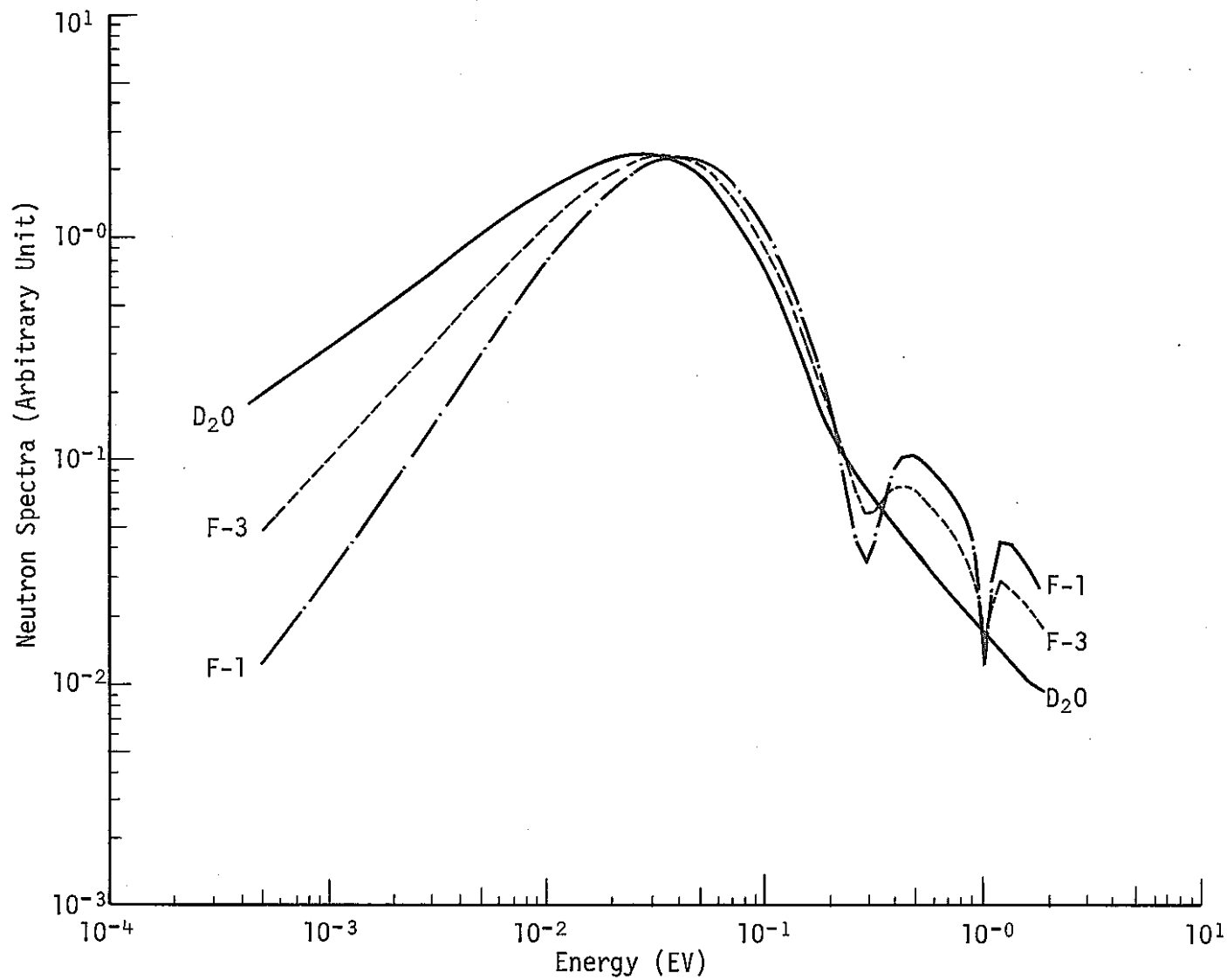


Fig. 2 Thermal Neutron Spectra Calculated by LAMP  
(36-rod Cluster, 0.54wt%PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>, 100% Void)

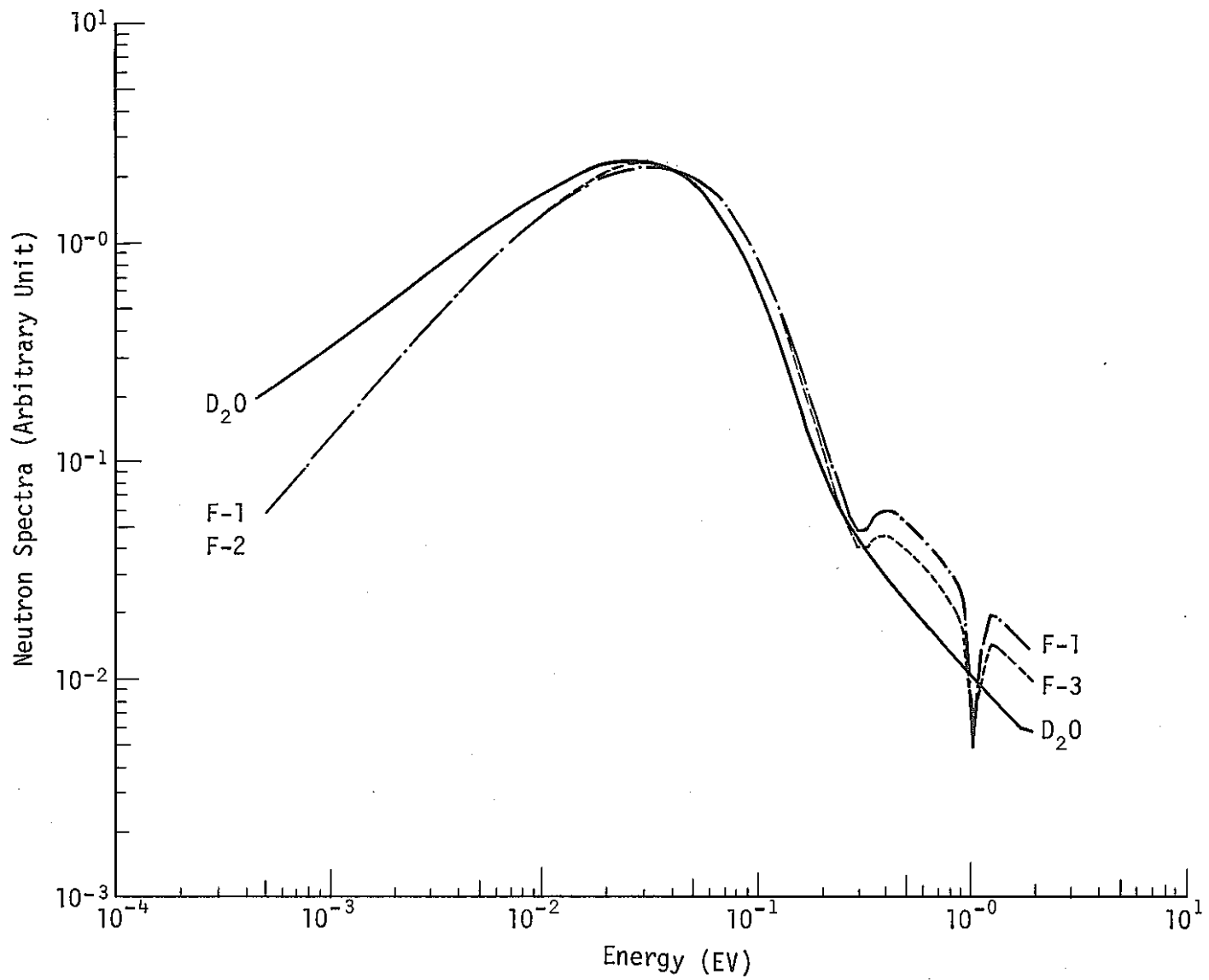


Fig. 3 Thermal Neutron Spectra Calculated by LAMP  
(54-rod Cluster, 0.79wt%PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>, 0% Void)

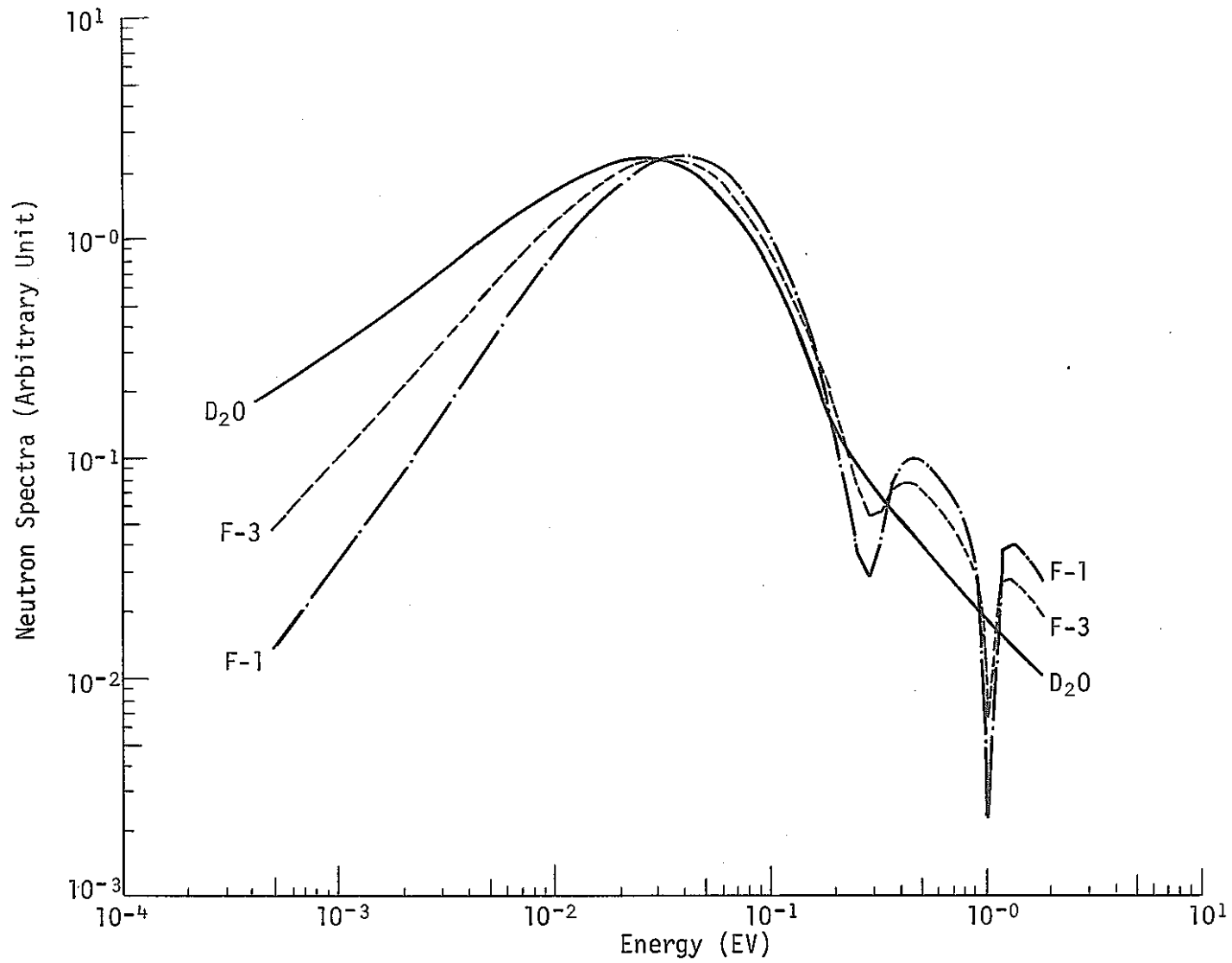


Fig. 4 Thermal Neutron Spec-ra Calculated by LAMP  
(54-rod Cluster, 0.79wt%PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>, 100% Void)

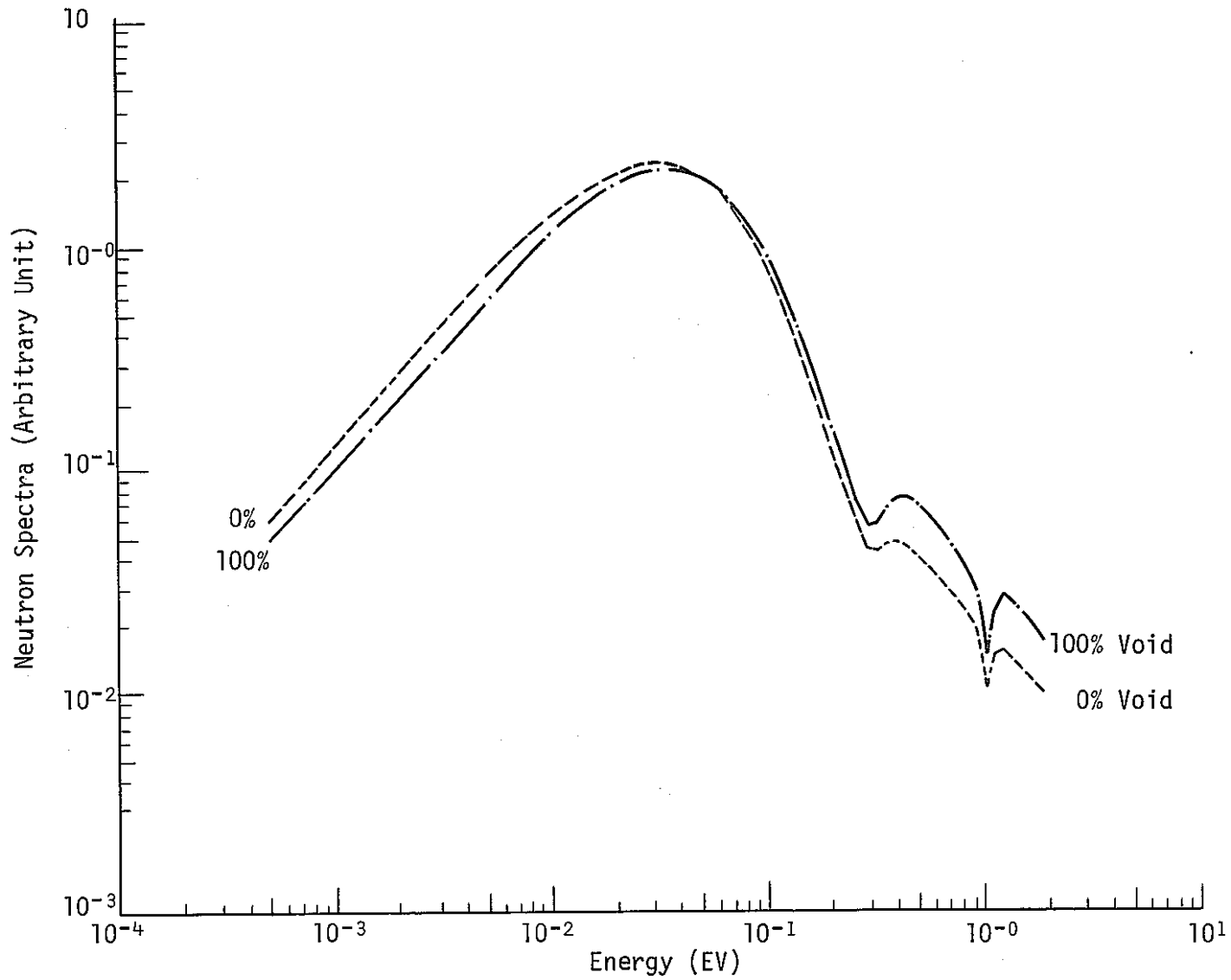


Fig. 5 Thermal Neutron Spectra Calculated by LAMP  
(36-rod Cluster, 0.54wt%PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>, 0 and 100% Void, 3rd Layer)

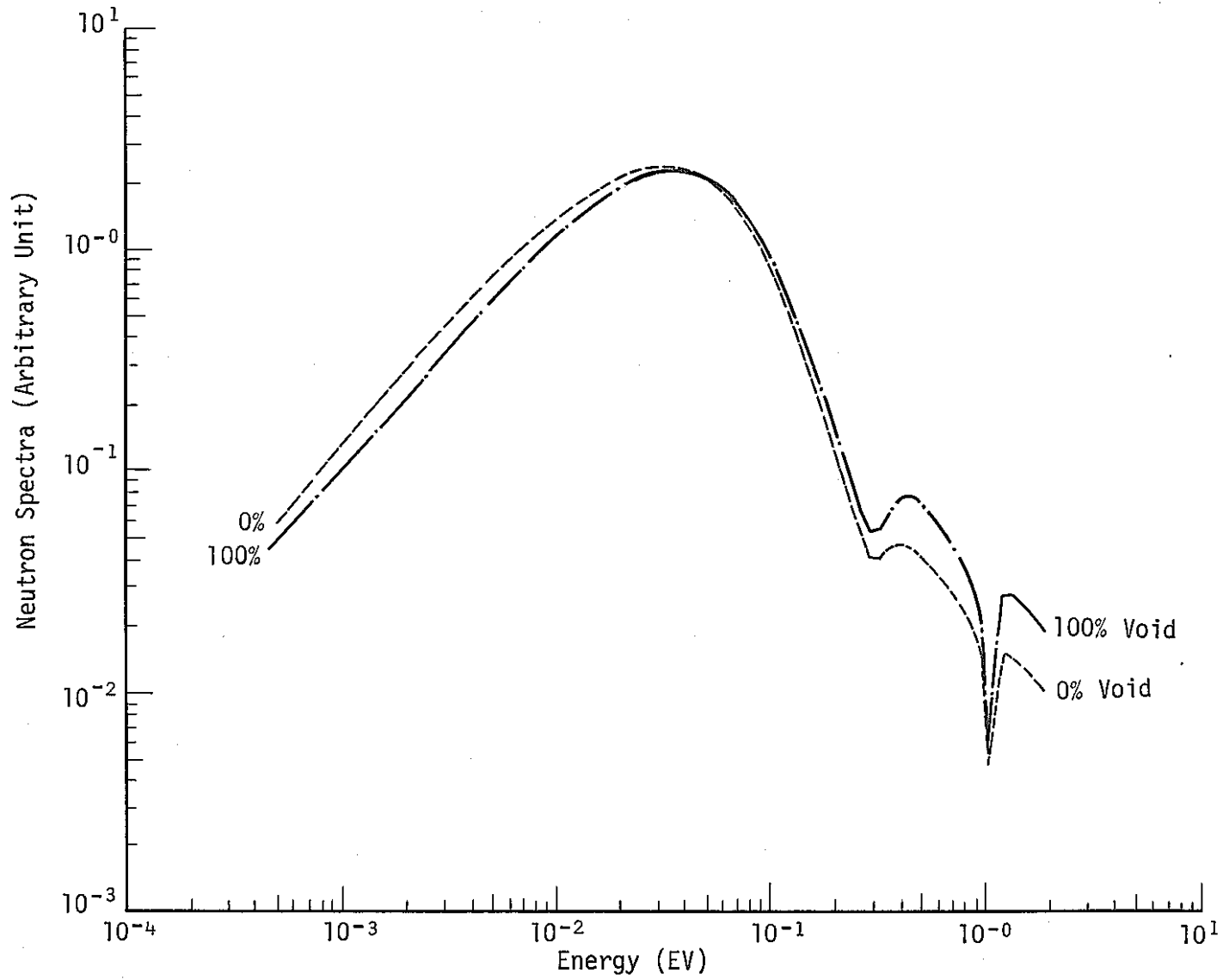


Fig. 6 Thermal Neutron Spectra Calculated by LAMP  
(54-rod Cluster, 0.79wt%PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>, 0 and 100% Void, 3rd Layer)

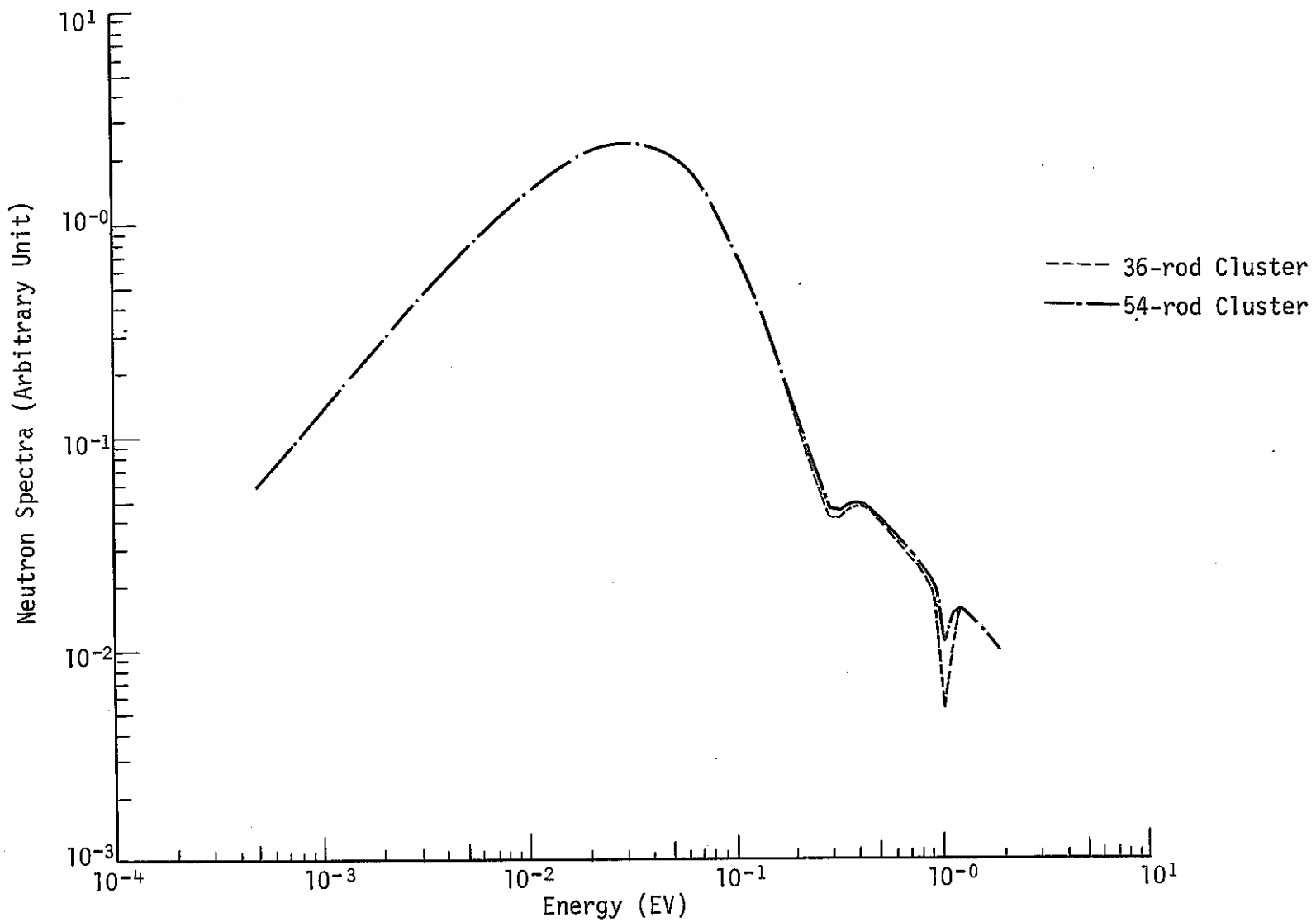


Fig. 7 Thermal Neutron Spectra Calculated by LAMP  
(36-rod and 54-rod Clusters, 0% Void, 3rd Layer)

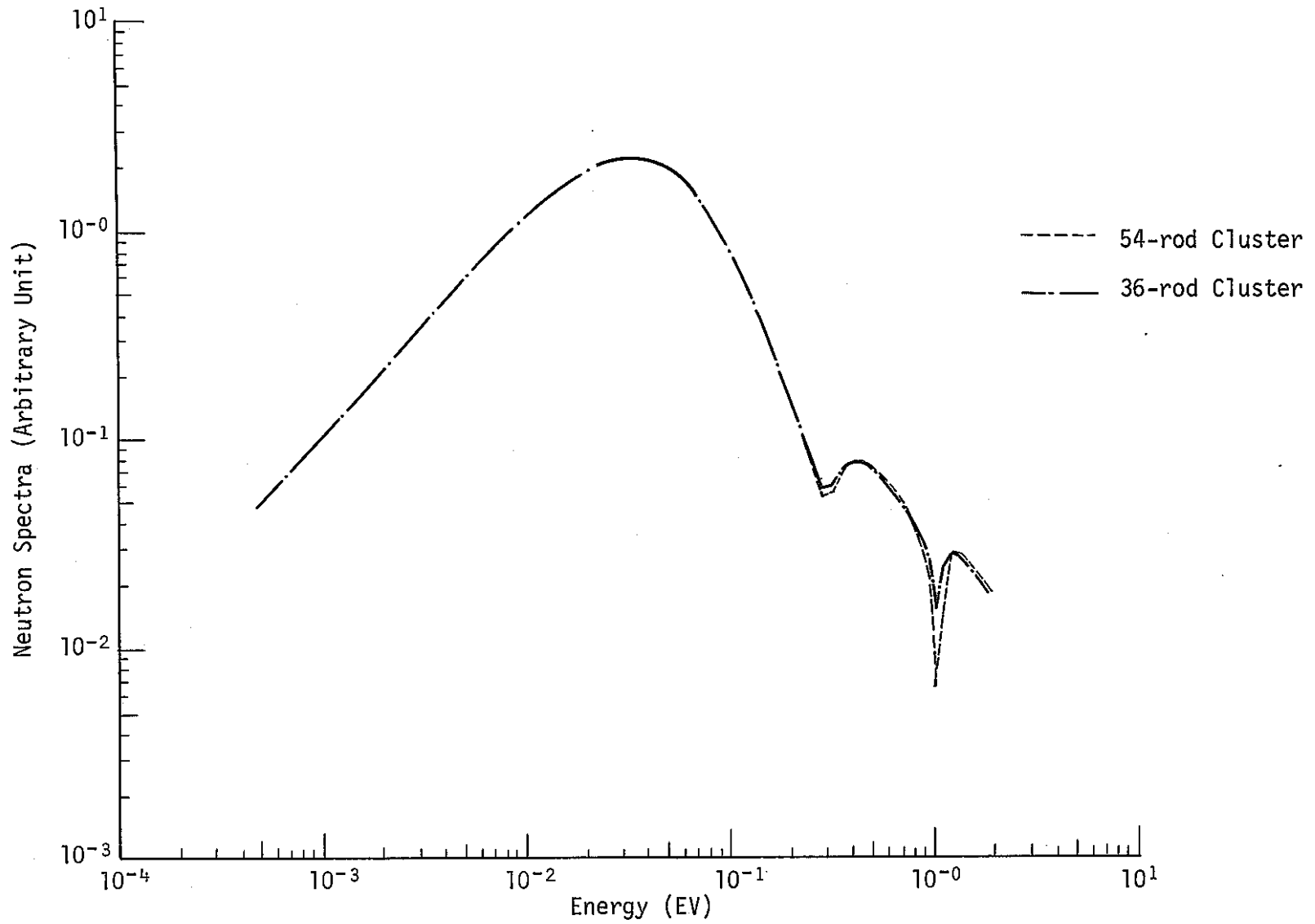


Fig. 8 Thermal Neutron Spectra Calculated by LAMP  
(36-rod and 54-rod Clusters, 100% Void, 3rd Layer)