

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

20cm及び28.3cmピッチ格子における実験

1979年11月

プルトニウム炉心における単一格子内熱中性子束分布の測定

20.0cm及び28.3cmピッチ格子における実験

若林 利男*, 仁業 明人*, 金内 信*
北山 一宏*, 竹村 守雄*

プルトニウム燃料棒28本からなる燃料集合体を25本装荷した20.0cm及び28.3cmピッチ格子において、単一格子内熱中性子束分布がDy-Aと合金箱を用いた箔放射法により測定された。使用した燃料は、0.54%²³⁵PuO₂-UO₂ (スタンダードグレード) で、冷却材ボイド率は20.0cmピッチ格子の場合が0%、28.3cmピッチ格子の場合が0%及び100%であった。

熱中性子束の測定誤差は冷却材中では3%、圧力管とカランドリア管の内側では2%、燃料中、圧力管とカランドリア管の外側及び重水中の分布では1.5%であり、22.5cm及び25.0cmの単一格子実験の場合と同じ精度で求まった。今回の実験結果とすでに報告された22.5cmと25.0cmピッチ格子の実験結果より、単一格子内熱中性子束分布について広範囲な格子ピッチ依存性が明らかになった。

核設計計算コードNOAH-IIによる計算値との比較では、燃料領域の熱中性子束は燃料集合体平均で4%~9%計算値が大きい値を示しているが、重水中の熱中性子束分布は2%以内で一致していることが認められた。これに対して、二次元衝突確率法を用いたLAMP-DCAコードの計算値は、燃料中及び重水中で2%以内の誤差で実験値と一致していることが認められた。

*大洗工務センター重水臨界実験室

(DCA実験グループ) 八谷 雄吾, 柴 公倫, 清野 英昭, 樋口幸次郎, 福村 信男, 仁業 明人,
新島 一敏, 相原 永史, 戸村 和二, 若林 利男, 小細 泰樹, 竹村 守雄,
金内 信, 安原 昌雄, 栗田 邦広, 北山 一宏

注1.

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 大洗工務センター
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)

目次

1. 概要	1
2. 実験条件及び実験方法	2
2-1 実験条件	2
2-2 実験方法	2
3. 実験結果及び考察	7
4. 計算値との比較	23
4-1 NOAH-IIコードによる計算値との比較	23
4-2 LAMP-DCAコードによる計算値との比較	23
5. 結論	31
謝辞	32
参考文献	33
付録1. NOAH-IIコード用入力フォーマット	34
付録2. LAMP-DCAコード用入力フォーマット	36
付録3. LAMP-DCAコードで計算した熱中性子スペクトル	38

Nov., 1979

Measurement of Intra-cell Thermal Neutron Flux
Distribution in Plutonium Fuel Lattice

Experiments on 20.0 cm and 28.3 cm Pitch Lattice

Toshio Wakabayashi*, Akito Nishi*,
Makoto Kaneuchi*, Kazuhiro Kitayama*,
and Morio Takemura*

Abstract

Intra-cell thermal neutron flux distributions have been measured in plutonium fuel lattices at 20.0 cm and 28.3 cm pitch by means of dysprosium foil activation method. Enrichment of PuO₂ in PuO₂-UO₂ fuel is 0.54 wt%. The measurements on 28.3 cm pitch lattice were made using air or H₂O as coolant. Those on 20.0 cm pitch lattice were made only using H₂O.

The measurement uncertainty of $\pm 2\%$ in the present experiment is almost the same as that in the previous experiments on plutonium lattices at 22.5 cm and 25.0 cm pitches. The dependence of thermal neutron flux distributions on lattice pitch were made clear by the results of present experiment and previously obtained 22.5 cm and 25.0 cm pitch experiment. The calculations by the code LAMP-DCA agree with the experiment better than those by the code NOAH-II.

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

1. 概要

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、同位体組成比、冷却材ボイド率そして減速材中のポロン添加の有無をパラメータとして測定されてきた。1), 2), 3), 4), 5) として、これからの実験結果を用いた「ふげん」核設計計算コード METHUSELAH-II⁶⁾ 及び詳細計算コード LAMP-DCA⁷⁾ の精度評価により、コード及び設計値の妥当性が検証されてきた。しかし、「ふげん」以降の「実証炉」設計において、マジン最小の限界設計をおこなうためには、「ふげん」型重水炉の構造、配置設計上及び運転特性上の限界点近傍での核特性を実験によって確認し、かつ実験値と設計コードによる計算値の比較よりコードの有効使用範囲を決定しておく必要がある。

今回は格子ピッチの限界点に着目し、DCAを用いた実験によりその特性を調べ、かつコードの精度評価によりコードの有効性について検討することを目的とした。実験は 0.54 wt% (s) PuO₂-UO₂ 燃料 25 体を装荷した炉心について、格子ピッチを 20.0 cm 及び 28.3 cm にした場合についておこなった。これらの格子ピッチを選んだ理由は、20 cm 格子ピッチにおける中性子エネルギーはアンダーモデルの状態にあり、逆に 28.3 cm 格子ピッチではウェルモデルの状態にあり、格子内中性子スペクトルが対照的な格子について中性子挙動の解明、およびコードの精度評価がおこなえらることを考慮している。また、重水炉の構造、配置設計あるいは冷却材ボイド反応度などを考慮すると、「ふげん」型重水炉の格子ピッチは、今回の実験範囲を逸脱したものが選択される可能性がきわめて少ないと考えられるからである。

今回の実験結果は、すでに報告された 22.5 cm 及び 25.0 cm ピッチ格子の実験結果と比較検討されるとともに、NOAH-II (METHUSELAH-II と同等) コードと LAMP-DCA コードの 2 つのコードによる計算結果とも比較検討がなされた。

2. 実験条件及び実験方法

2-1 実験条件

今回の実験は0.54% PuO₂-UO₂ 燃料体を炉心中央に2つの格子ピッチ(20.0 cm及び28.3 cm)で25体装荷したDCA炉心についておこなった。28.3 cm格子ピッチの構成は20.0 cm格子ピッチのグリット板を使用し、一本おきに燃料チャネルを配置しておこなった。正確には $20 \times \sqrt{2} = 28.2843$ cmピッチである。

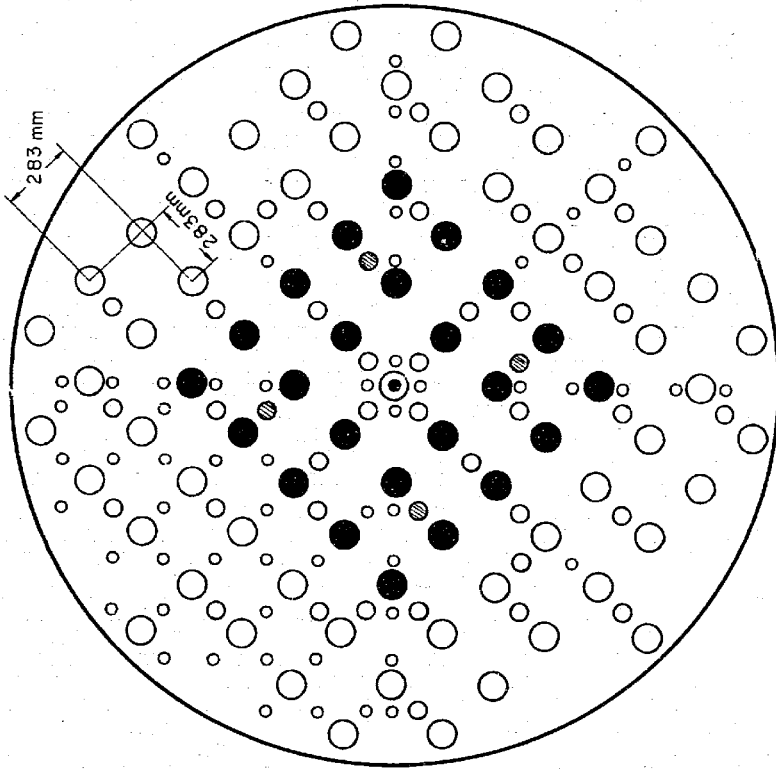
Fig. 1, 2には20.0 cm及び28.3 cmピッチ格子の炉心構成図を示した。冷却材ボイド率は20.0 cmピッチ格子については0%ボイド(軽水)のみ、28.3 cmピッチ格子については0%と100%(空気)ボイドを選んだ。今回の実験における炉心構成、冷却材水位及び極界水位をTable 1に示した。

2-2 実験方法

単位格子内の熱中性子束分布は、Dy-A₂合金箱(Dy含有率4%)を用いた箱放射化法でおこなった。1), 2), 3), 4)燃料中の測定には14.8 mmφのDy箱を用い、燃料以外の圧力管、カランドリヤ管及び重水中の分布の測定には7.0 mmφのDy箱を用いた。また冷却材領域の測定にはFig. 3の斜線部分の形状に切断したセクター箱を用いた。これらDy箱の厚さは0.1 mmであった。単位格子内熱中性子束分布測定における箱の配置をFig. 3に示した。これら箱はDCAにおいて100 Wで30分間照射し、Dyの放射化量はCaF₂(Eu)シチレシオンカウンタで測定した。冷却材の測定に用いたセクター箱は各冷却材領域ごとに切断し、形状の相違による計数効率を考慮して計測した。測定されたDy放射化量はバックグラウンド、不感時間、放射化量の時間による減衰、カドミ比、及び炉心半径方向のグロスな中性子分布の補正をおこなった。

Table 1 Experimental Condition

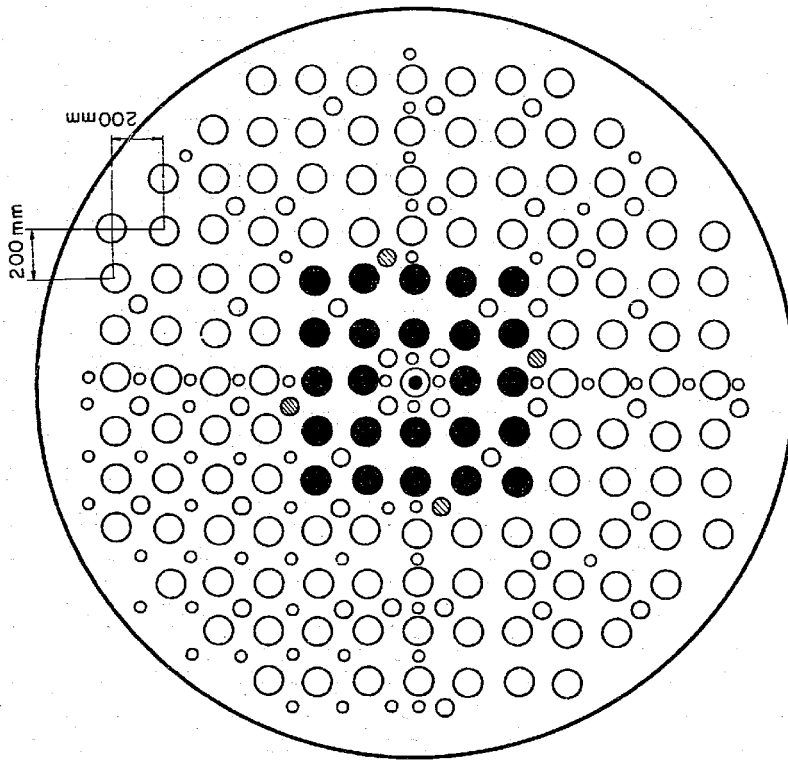
Lattice Pitch (cm)	Fuel Enrichment	Void Fraction (%)	Number of Clusters		Coolant Height (cm)	Critical Height (cm)
			U Clusters	Pu Clusters		
20.0	0.54 wt% PuO ₂ -UO ₂	0	120	25	81.0	80.4
28.3	0.54 wt% PuO ₂ -UO ₂	0	56	25	103.0	103.1
	PuO ₂ -UO ₂	100	56	25	0.0	96.6



(Lattice Pitch 283 mm)

- (Position for irradiation in a Cluster) (0% and 100% Void)
- 0.54 wt % PuO₂-UO₂ Fuel (0% and 100% Void)
- 1.2 wt % UO₂ Fuel (0% and 100% Void)
- ⊘ Safety Rod

Fig. 2 Core Configuration of 28.3 cm Pitch Lattice



(Lattice Pitch 200 mm)

- (Position for irradiation in a cluster) (0% Void)
- 0.54 wt % PuO₂-UO₂ Fuel (0% Void)
- 1.2 wt % UO₂ Fuel (0% Void)
- ⊘ Safety Rod

Fig. 1 Core configuration of 20.0 cm Pitch 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 2に、グロス熱中性子束分布補正のための補正係数BrをTable 3に示してある。これらの補正をおこなった放射化量ならびに圧力管外側で測定した放射化量は規格化した値をTable 4からTable 6に示してある。表の中でF-1,F-2,F-3-1及びF-3-2はFig. 3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-7は冷却材領域測定のために使用したセクター箱の切断層を示し、距離はクラスタ中心から切断層の中間まで表わす。領域の詳細図は前の報告書³⁾に示してある。また、Fig. 4からFig. 8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図示してある。クラスタ内の分布において白丸は燃料中、黒丸は冷却材中の実験値を示す。

実験誤差は今までの実験結果^{1), 2), 3), 4)}と同じく、冷却材中で3%, 圧力管とカランドリア管の内側で2%, 燃料中、圧力管とカランドリア管外側及び重水中の分布では1.5%であった。この結果、今までの実験結果^{1), 2), 3), 4)}との詳細な比較が可能となり、単位格子内熱中性子束分布の広範囲な格子ピッチ依存性について検討ができる様になった。

単位格子内熱中性子束分布の格子ピッチ依存性を検討するため、Fig. 7には20.0cm及び28.3cmピッチ格子の0%ボイドにおける実験結果を示す。また、Fig. 8には22.5cm及び25.0cmピッチ格子の0%ボイドにおける実験結果もあわせて示す。Fig. 9には22.5cm及び28.3cmの100%ボイドの実験結果を示す。これら実験結果の比較よりクラスタ型燃料格子における熱中性子束分布の格子ピッチ依存性について次の点が明らかになった。

(1) 燃料領域における熱中性子束については、格子ピッチが増大するにしたがって、圧力管内の燃料中の熱中性子束低下が大きくなっていく。これはピッチ増大により重水領域の減速効果が大きくなり、よりソフトな熱中性子が燃料中に入り中性子吸収が増大したためである。この点については、格子ピッチの差が大きい今回の20.0cm及び28.3cmの実験結果から、より明白になった。

(2) 重水中の分布については格子ピッチの増大とともに格子の境界での分布が大きくなっていく。これは減速材領域が増大し、熱中性子の生成が増加したためである。

(3) Fig. 8の燃料領域の分布を詳細に見ると、28.3cm、25.0cm及び22.5cmピッチ格子の熱中性子束低下はほぼピッチの変化分に対応して変化している。これに対して20.0cmピッチ格子の場合、22.5cmの場合より大きく離れ、28.3cm~22.5cmの間のピッチの変化分から予想される熱中性子束低下より変化が大きくなっていく。これは20.0cmピッチ格子における熱中性子スペクトルが他の格子ピッチに比べてよりハードになっているためと推察される。この傾向

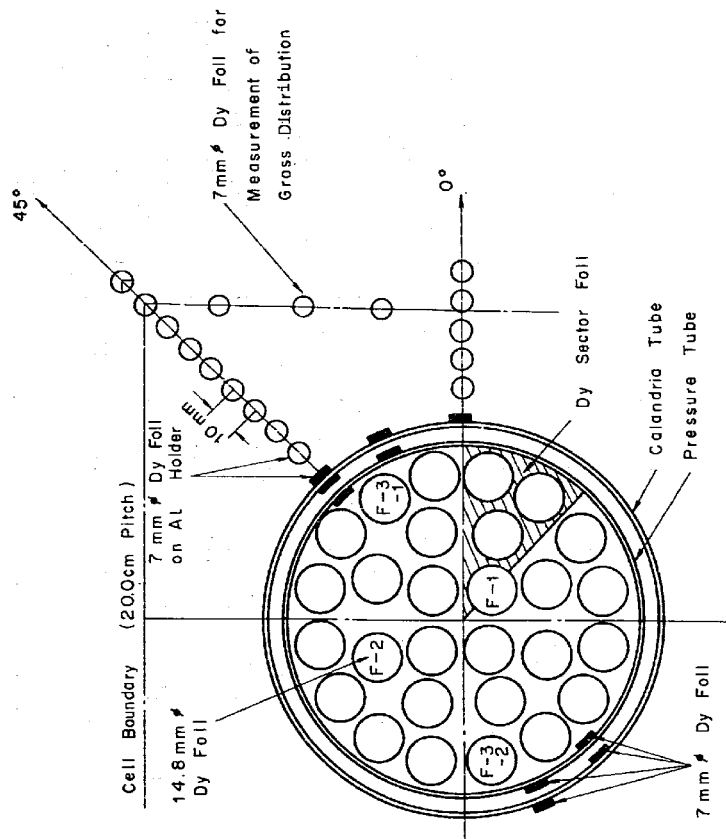


Fig. 3 Arrangement of Dysprosium Foils in Central Unit Cell

はFig. 10に示したLAMP-DCAコードによる各ピッチの熱中性子束分布の計算値でも示されている。

(4) 100多ボイド格子で測定された熱中性子束分布の格子ピッチ依存性がFig. 9に示されているが、これをFig. 11に示したLAMP-DCAコードの計算と比較してみた。Fig. 11からわかるように、燃料領域内についてみると、22.5 cm、25.0 cmまたは28.3 cmの何れのピッチにおいても、計算で求まる100多ボイド格子の燃料中熱中性子束の格子ピッチ依存性は非常に小さい。しかしFig. 9に見られる様に実験ではかなり大きな格子ピッチ依存性が示されている。この不一致の理由については、今後詳細に検討する必要があるが、理由の一つとしては計算における正方形の円筒化近似が考えられる。計算ではこの円筒化近似のために、45°方向の境界（重水中の中心）から燃料に入ってくる熱中性子スペクトルの格子ピッチ依存性を、正確に取り入れられないことが考えられる。

(5) LAMP-DCAコードで計算された重水中の分布は、格子ピッチ依存性の実験値の傾向をよく再現している。

Table 2 Cd-Ratios of Dy Reaction Rate in Fuel Pins and D₂O Moderator Region

Fuel	Lattice Pitch (cm)	Coolant Void Fraction (%)	Region				
			F-1	F-2	F-3-1	F-3-2	D ₂ O
0.54 wt% PuO ₂ -UO ₂	20.0	0	37.7	43.2	57.4	61.7	103.1
			± 1.5	± 1.8	± 2.6	± 2.7	± 4.1
100	28.3	0	48.2	66.6	98.8	97.8	170.7
			± 2.2	± 2.7	± 4.0	± 3.9	± 6.8
			59.1	62.8	85.1	80.1	144.3
			± 2.4	± 2.5	± 3.4	± 3.2	± 5.8

Table 3 Arguments of Jo Function in Correction for Gross Neutron Flux Distribution

Fuel	Lattice Pitch (cm)	Coolant Void Fraction (%)	Argument (Br)
0.54 wt% PuO ₂ -UO ₂	20.0	0	0.0210
		0	0.0191
	28.3	100	0.0221

Table 4 Dysprosium Reaction Rate Distribution

(20.0 cm Lattice Pitch, 0.54 wt% (s) PuO₂-UO₂, 0 % Void)

Foil Position	Distance from Center	Dy Bars	Cd-Ratio (C.R)	C.R-1 C.R	By Sub-Cd	Jo (hr)	Corrected Value	Normalized Value
Fuel	F - 1	1.313	37.7	0.973	0.396	1.000	0.396	0.327
	F - 2	3.0	43.2	0.977	0.498	0.999	0.498	0.411
	F - 3 - 1	4.76	57.4	0.983	0.701	0.998	0.702	0.579
	F - 3 - 2	4.76	61.7	0.984	0.683	0.998	0.684	0.564
Coolant	S - 1	0.66		0.973	0.440	1.000	0.440	0.363
	S - 2	1.79			0.467	1.000	0.467	0.385
	S - 3	2.58		0.977	0.521	0.999	0.522	0.431
	S - 4	3.44			0.592	0.996	0.593	0.489
	S - 5	4.32		0.984	0.628	0.998	0.629	0.519
	S - 6	5.24			0.915	0.997	0.918	0.757
	S - 7	5.77			1.103	0.996	1.107	0.913
Pressure Tube	P.T Inside	5.84		0.990	1.192	0.996	1.197	0.988
	P.T Outside	6.04			1.208	0.996	1.212	1.000
	C.T Inside	6.63		0.990	1.217	0.995	1.223	1.009
Calandria Tube	C.T Inside	6.83			1.224	0.995	1.230	1.015
	C.T Outside	7.8			1.296	0.993	1.305	1.077
	0° - 1	8.8			1.336	0.991	1.348	1.112
D ₂ O	- 2	9.8		0.990	1.360	0.989	1.375	1.134
	- 3	10.8			1.375	0.987	1.393	1.149
	- 4	11.8			1.362	0.985	1.383	1.141
	- 5	12.9			1.287	0.993	1.296	1.069
	45° - 1	7.9			1.353	0.991	1.365	1.126
	- 2	8.9			1.413	0.989	1.429	1.179
	- 3	9.9			1.464	0.987	1.483	1.224
	- 4	10.9		0.990	1.499	0.985	1.522	1.256
	- 5	11.9			1.491	0.982	1.518	1.252
	- 6	12.9			1.488	0.979	1.520	1.254
- 7	13.9			1.505	0.976	1.542	1.272	
- 8	14.9							

Table 5 Dysprosium Reaction Rate Distribution

(28.3 cm Lattice Pitch, 0.54 wt% (s) PuO₂-UO₂, 0 % Void)

Foil Position	Distance from Center	Dy Bars	Cd-Ratio (C.R)	C.R-1 C.R	By Sub-Cd	Jo (hr)	Corrected Value	Normalized Value
Fuel	F - 1	1.313	48.2	0.979	0.424	1.000	0.424	0.235
	F - 2	3.0	56.6	0.985	0.569	0.999	0.570	0.316
	F - 3 - 1	4.76	98.8	0.990	0.924	0.998	0.926	0.514
	F - 3 - 2	4.76	97.8	0.990	0.943	0.998	0.945	0.524
Coolant	S - 1	0.66		0.979	0.463	1.000	0.463	0.257
	S - 2	1.79			0.507	1.000	0.507	0.281
	S - 3	2.58		0.985	0.595	0.999	0.596	0.331
	S - 4	3.44			0.737	0.999	0.738	0.410
	S - 5	4.32		0.990	0.817	0.998	0.819	0.454
	S - 6	5.24			1.294	0.997	1.298	0.720
	S - 7	5.77			1.631	0.997	1.636	0.908
Pressure Tube	P.T Inside	5.84		0.994	1.742	0.997	1.747	0.969
	P.T Outside	6.04			1.797	0.997	1.802	1.000
	C.T Inside	6.63		0.994	1.831	0.996	1.838	1.020
D ₂ O	C.T Inside	6.83			1.864	0.996	1.871	1.038
	C.T Outside	7.8			2.003	0.994	2.015	1.118
	0° - 1	8.8			2.113	0.993	2.128	1.181
	- 2	9.8			2.255	0.991	2.275	1.262
	- 3	10.8		0.994	2.357	0.989	2.383	1.322
	- 4	11.8			2.447	0.987	2.479	1.376
	- 5	12.8			2.431	0.985	2.468	1.370
	- 6	13.8			2.511	0.983	2.554	1.417
- 7	14.8			2.531	0.980	2.583	1.433	

(Continued)

Foil Position	Distance from Center	Dy Bare	Cd-Ratio (C.R)	C.R-1 C.R	Dy Sub-Cd	Jo(Br)	Corrected Value	Normalized Value
45°	-1	7.9	1.963		1.951	0.994	1.963	1.089
	-2	8.9	2.050		2.077	0.993	2.092	1.161
	-3	9.9	2.241		2.228	0.991	2.248	1.248
	-4	10.9	2.391		2.377	0.989	2.403	1.334
	-5	11.9	2.392		2.378	0.987	2.409	1.337
	-6	12.9	2.486		2.471	0.985	2.509	1.392
	-7	13.9	2.519	0.994	2.504	0.983	2.574	1.413
	-8	14.9	2.540		2.525	0.980	2.577	1.430
	-9	15.9	2.693		2.677	0.977	2.740	1.521
	-10	16.9	2.629		2.613	0.974	2.683	1.489
	-11	17.9	2.813		2.796	0.971	2.880	1.598
	-12	18.9	2.699		2.683	0.968	2.772	1.538
	-13	19.9	2.802	170.7	2.785	0.964	2.889	1.603
	-14	20.9	2.694		2.678	0.961	2.787	1.547

Table 6 Dysprosium Reaction Rate Distribution

(28.3 cm Lattice Pitch, 0.54 wt% (s) PuO₂-UO₂, 100 % Void)

Foil Position	Distance from Center	Dy Bare	Cd-Ratio (C.R)	C.R-1 C.R	Dy Sub-Cd	Jo(Br)	Corrected Value	Normalized Value
Fuel	F - 1	1.313	0.460	59.1	0.983	1.000	0.452	0.467
	F - 2	3.0	0.519	62.8	0.984	0.999	0.512	0.529
	F - 3 - 1	4.76	0.712	85.1	0.988	0.703	0.705	0.728
	F - 3 - 2	4.76	0.694	80.1	0.988	0.686	0.688	0.711
Coolant	S - 1	0.66	0.466		0.983	1.000	0.458	0.473
	S - 2	1.79	0.483		0.475	1.000	0.475	0.491
	S - 3	2.58	0.517		0.509	0.999	0.510	0.527
	S - 4	3.44	0.563		0.554	0.998	0.555	0.573
Pressure Tube	S - 5	4.32	0.607		0.600	0.998	0.601	0.621
	S - 6	5.24	0.899		0.888	0.996	0.892	0.921
	S - 7	5.77	0.947		0.936	0.996	0.940	0.971
	P.T Inside	5.84	0.960		0.953	0.996	0.957	0.989
Calandria Tube	P.T Outside	6.04	0.970		0.963	0.995	0.968	1.000
	C.T Inside	6.63	0.986		0.979	0.994	0.985	1.018
	C.T Outside	6.83	1.019		1.012	0.994	1.018	1.052
	0° - 1	7.8	1.157		1.149	0.992	1.158	1.196
D ₂ O	- 2	8.8	1.291		1.282	0.990	1.295	1.338
	- 3	9.8	1.480		1.470	0.988	1.488	1.537
	- 4	10.8	1.562		1.551	0.985	1.575	1.627
	- 5	11.8	1.675	0.993	1.663	0.982	1.693	1.749
	- 6	12.8	1.676		1.664	0.979	1.700	1.756
	- 7	13.8	1.738		1.726	0.976	1.768	1.826
	- 8	14.8	1.746		1.734	0.972	1.784	1.843

(Continued)

Foil Position	Distance from Center	By Bare Cd-Ratio (C.R)	C.R-1 C.R	Dy Sub-Cd	Jo (br)	Corrected Value	Normalized Value
45° - 1	7.9	1.141		1.133	0.992	1.142	1.180
- 2	8.9	1.318		1.309	0.990	1.322	1.366
- 3	9.9	1.480		1.470	0.988	1.488	1.537
- 4	10.9	1.654		1.642	0.985	1.667	1.722
- 5	11.9	1.871		1.859	0.982	1.889	1.945
- 6	12.9	1.809		1.796	0.979	1.835	1.896
- 7	13.9	1.828	0.993	1.815	0.976	1.860	1.921
- 8	14.9	1.882		1.865	0.972	1.923	1.987
- 9	15.9	1.994		1.980	0.968	2.045	2.113
- 10	16.9	1.992		1.978	0.964	2.052	2.120
- 11	17.9	2.115		2.100	0.960	2.188	2.260
- 12	18.9	1.990		1.996	0.955	2.069	2.137
- 13	19.9	2.126	144.3	2.111	0.950	2.222	2.295
- 14	20.9	2.031		2.017	0.945	2.134	2.205

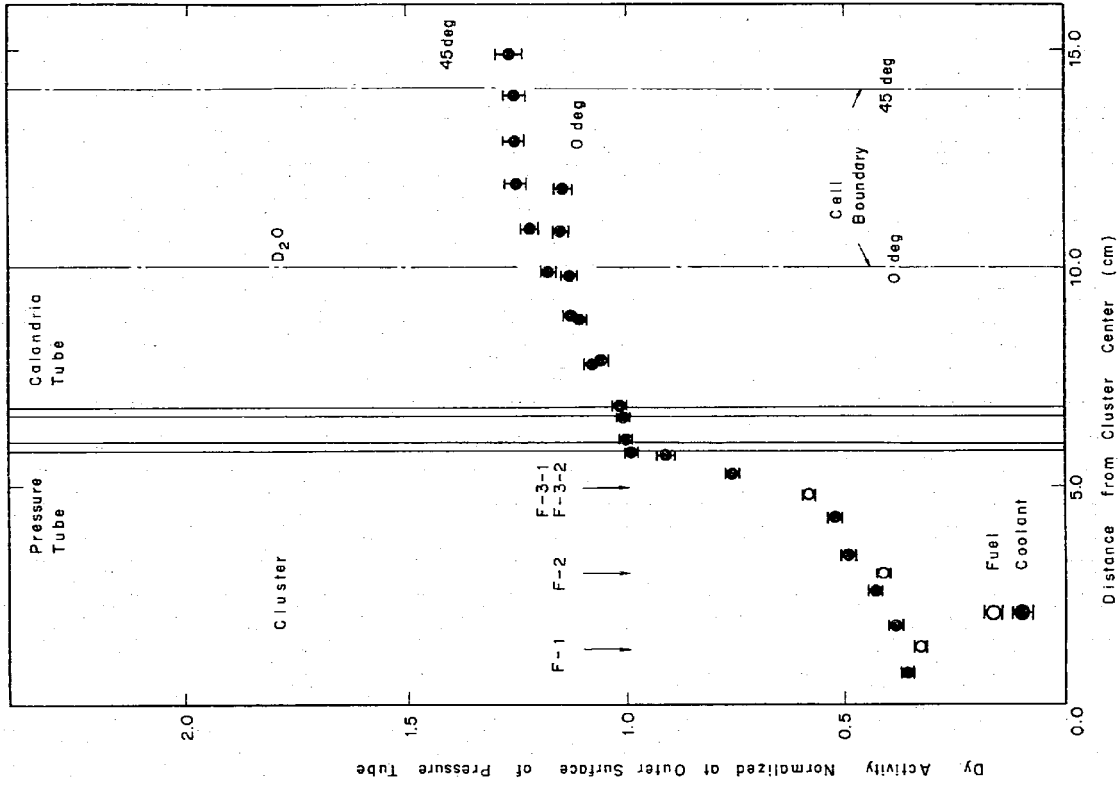


Fig. 4 Dysprosium Reaction Rate Distribution for Coolant Void Fraction of 0 % in 0.54wt % (S) PuO₂-UO₂ Fuel at 20.0 cm Pitch Lattice

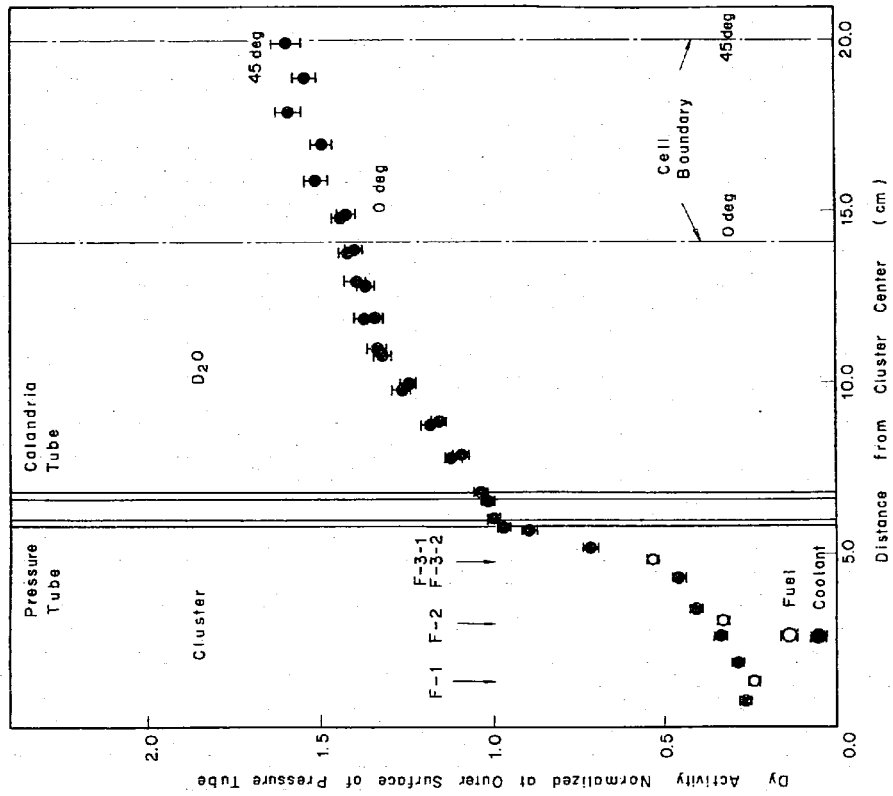


Fig. 5 Dysprosium Reaction Rate Distribution for Coolant Void Fraction of 0 % in 0.54 wt % (S) PuO₂-UO₂ Fuel at 28.3 cm Pitch Lattice

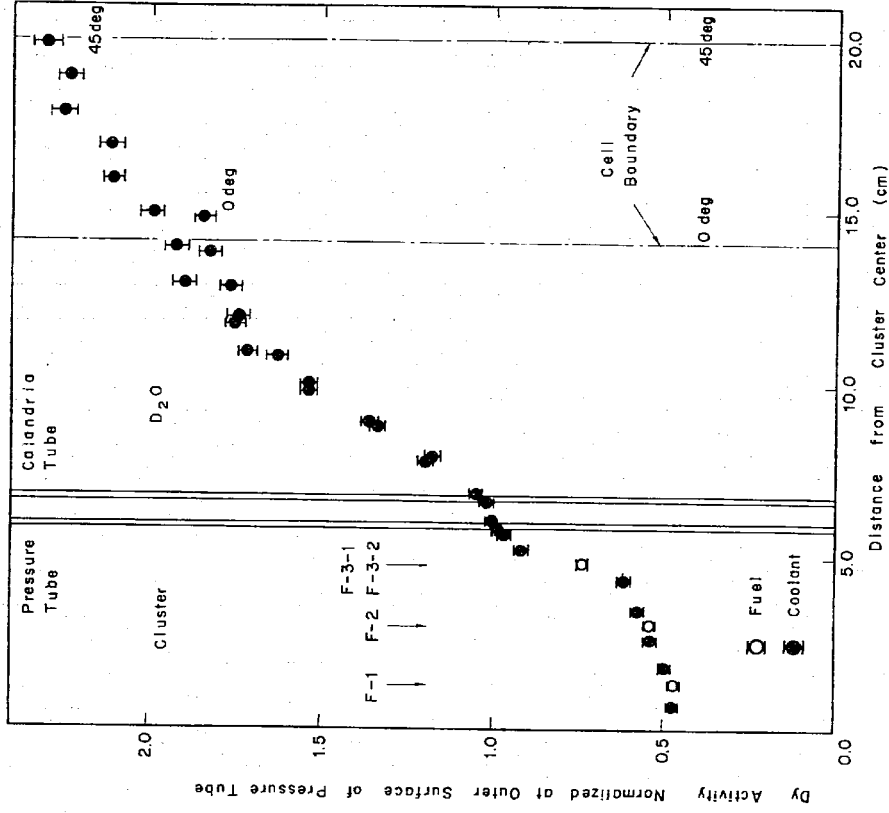


Fig. 6 Dysprosium Reaction Rate Distribution for Coolant Void Fraction of 100 % in 0.54wt%(S) PuO₂-UO₂ Fuel at 28.3 cm Pitch Lattice

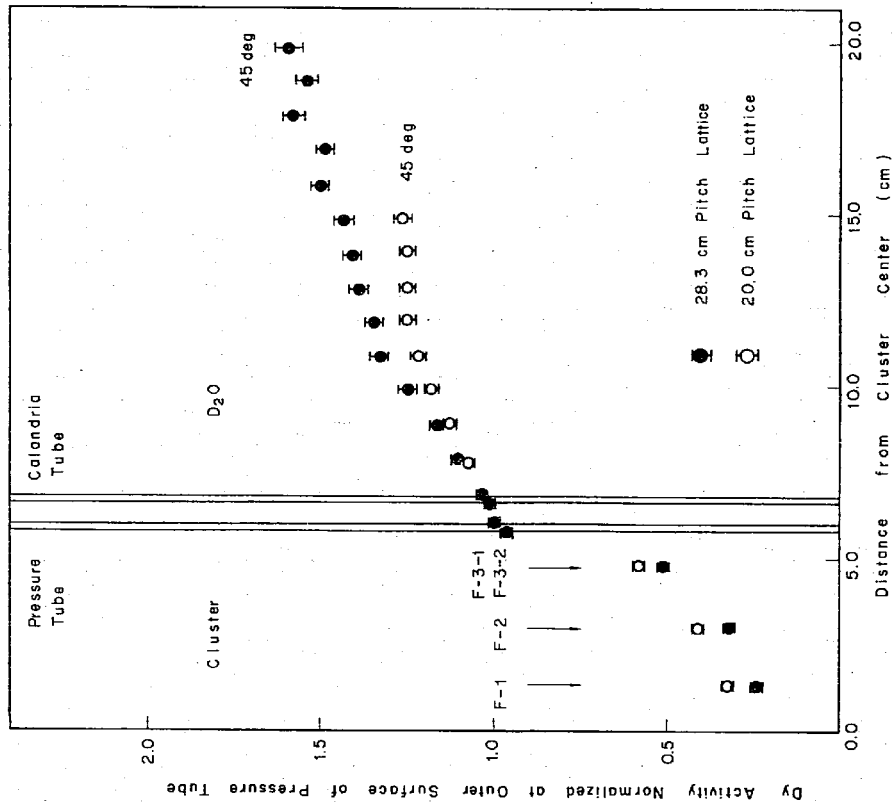


Fig. 7 Comparison of Dysprosium Reaction Rate Distribution for Coolant Void Fraction of 0 % in 0.54wt%(S)PuO₂-UO₂ Fuel between 28.3 cm and 20.0 cm Pitch Lattice

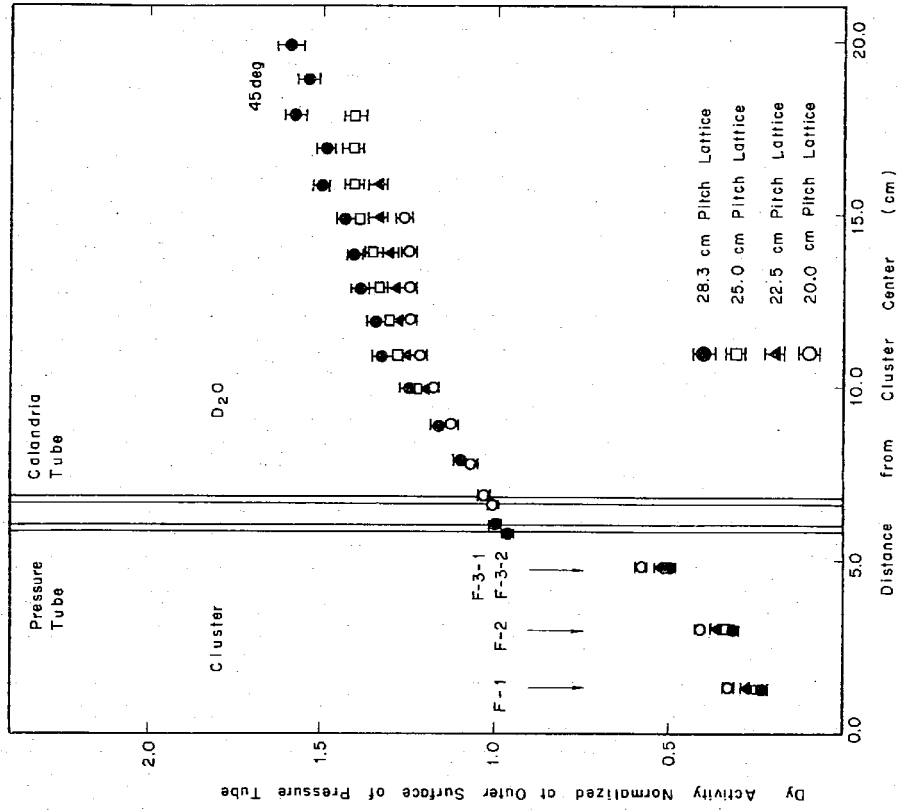


Fig. 8 Dependence of Dysprosium Reaction Rate Distribution for Coolant Void Fraction of 0 % in 0.54wt%(S)PuO₂-UO₂ Fuel on Lattice Pitch

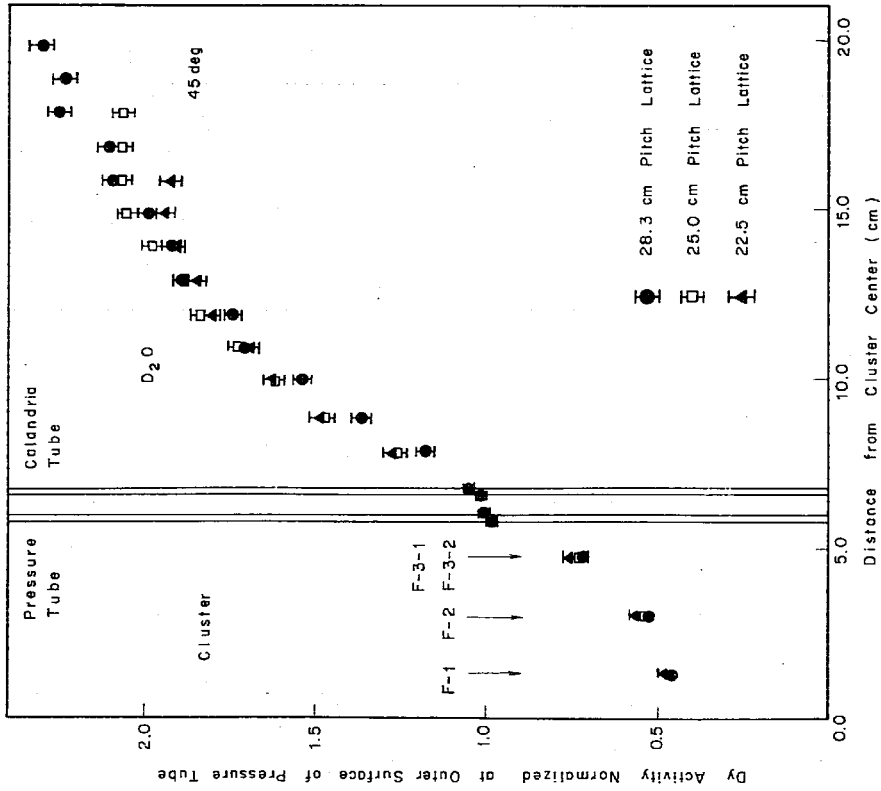


Fig. 9 Dependence of Dysprosium Reaction Rate Distribution for Coolant Void Fraction of 100% in 0.54 wt % (S) PuO₂-UO₂ Fuel on Lattice Pitch

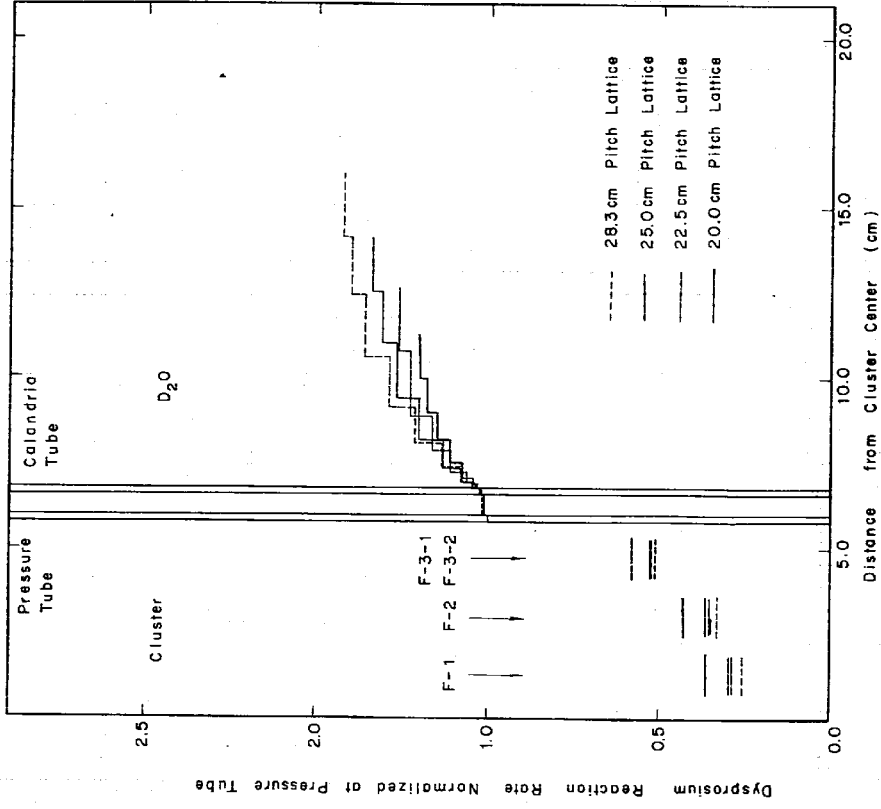


Fig. 10 Dyprosium Reaction Rate Distribution in Unit Lattices of 0.54 wt % (S) PuO₂-UO₂ Fuel calculated by LAMP-DCA Code (Coolant Void Fraction ... 0%)

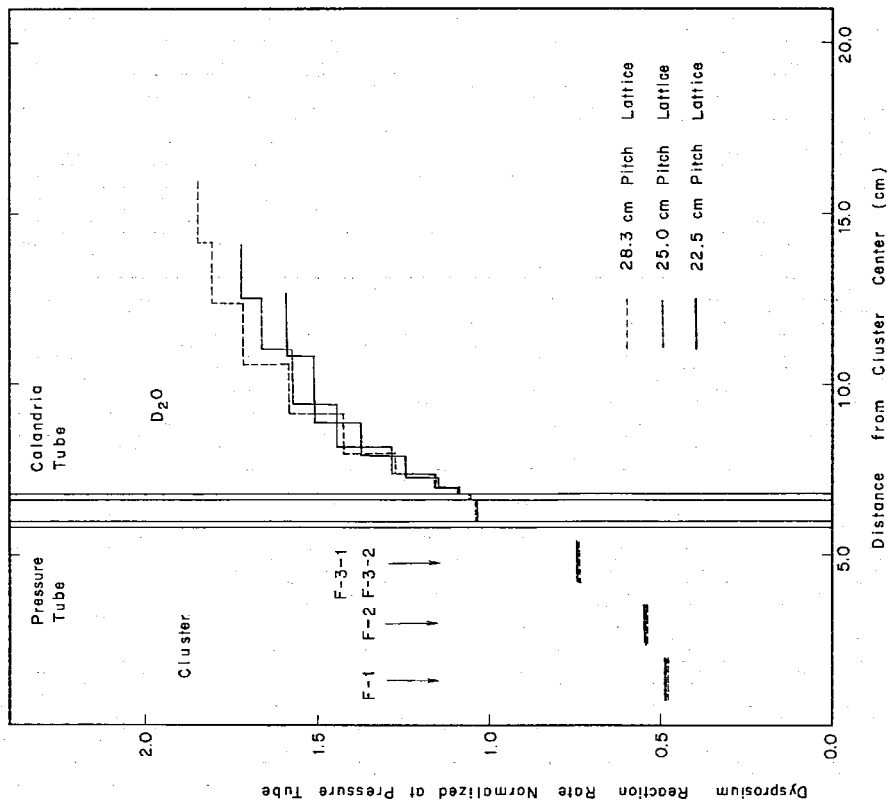


Fig. 11 Dysprosium Reaction Rate Distribution in Unit Lattices of 0.54 wt % (S) PuO₂-UO₂ Fuel Calculated by LAMP-DCA Code (Coolant Void Fraction=100%)

4. 計算値との比較

4-1 NOAH-IIコードによる計算値との比較

NOAH-IIコード⁶⁾による各燃料体系での計算値と今回の実験値との比較をFig. 12からFig. 14に示す。また、付録1にはこの比較のためのNOAH-II計算における入力フォーマットを示す。この図で実線は計算値を表わすが、クラスター内の分布については燃料中の値のみを示す。これからNOAH-IIコードによる計算値との比較から次のことが明らかとなった。

- (1) 20cm 格子ピッチの燃料中における計算値は、第1リングで約24%、第2及び第3リングで約5%実験値より大きい値を示している。また、燃料集合体の平均値で比較すると約7%計算値が大きくなっている。重水中分布については計算値の方がわずかに実験値を上まわっているが、実験誤差の範囲内で一致していると考えて良い。
- (2) 28.3cm 格子ピッチの0%ボイドにおける燃料中の計算値は、第1リングで約16%実験値より大きい値を示しているが、第2及び第3リングについては約3%大きい値を示しているにすぎない。燃料集合体平均で比較すると約4%計算値の方が大きくなっている。しかし重水中分布は実験値と良い一致を示している。
- (3) 28.3cm 格子ピッチの100%ボイドにおける計算値は、第1リングにおいて約4%、第2リングで約7%そして第3リングで約11%実験値大きい値を示している。この実験値からの相違は、0%ボイドの場合と違った傾向を示している。すなわち、20.0cm及び28.3cmの0%ボイドにおいては第1リングにおける相違が大きいのに対して、28.3cmの100%ボイドでは第3リングの相違が大きくなっている。燃料集合体平均で実験値と比較すると、計算値が約9%大きい値を示している。しかし、重水中の分布に関しては実験値と非常に良い一致を示している。

NOAH-IIコードによる計算は、燃料中では全体的に実験値よりも大きい値を示し実験値との相違が大きい。重水中では一致が良いことが今回の比較から結論される。しかし、燃料中での相違を各リングごとに詳細に調べてみると、その傾向はシステマティックでなく、0%ボイドと100%ボイドでは違った傾向を示している。

4-2 LAMP-DCAコードによる計算値との比較

LAMP-DCAコード⁷⁾による計算値と実験値の比較を、各燃料体系についておこなったものをFig. 15からFig. 17に示す。また付録2には今回の比較のためのLAMP-DCA計算における入力フォーマットを示す。LAMP-DCAの計算値と今回の実験値との比較から次のことが認められた。

- (1) 20cm 格子ピッチの燃料中における計算値は、第1リングで約7%、第2リングで約4%

実験値よりも大きい値を示している。これに対して第3リングにおいては1%以内で両者は一致している。したがって、燃料集合体の平均値と比較すると2%以内で一致している。水中の分布については計算値の方が多少大きい値を示しているが、全体的に一致は良い。

(2) 28.3 cm 格子ピッチの0%ボイドにおける燃料中の計算値は、第1リングで5%、第3リングにおいては3%、実験値よりも大きい値を示している。しかし、第3リングにおいては両者は1%以内で一致している。燃料集合体平均値と2%以内で両者は一致している。水中の分布についても全体的に一致は良い。

(3) 28.3 cm 格子ピッチの100%ボイドにおける燃料中の計算値は、第1リングにおいては3%、実験値よりも大きい値を示しているが、第2及び第3リングにおいては2%以内で一致している。燃料集合体の平均値については2%以内で両者は一致している。水中の分布については全体的に見て良く一致している。

今回のLAMP-DCAコードによる計算値の全体的な傾向として次の事が言える。すなわち燃料中については第1リングでの実験値との相違が第2及び第3リングより大きくなくなっている。しかし、燃料集合体平均にすると、第3リングの重みが大きいため、実験値との一致は良くなっている。第1リングの相違については、22.5cm及び25.0cm格子ピッチの実験⁽³⁾⁽⁴⁾と同じ傾向を示しており、LAMP-DCAコードにおける内層の遮蔽効果の取扱いについて詳細な検討が必要である。しかしながら、燃料集合体あるいは水中で平均したLAMP-DCAコードの計算値と実験値とは2%以内で一致しており、広範囲の格子ピッチにわたってLAMP-DCAコードの計算精度は非常に良いと考えられる。

さらに、METHUSELAH-IIコードとLAMP-DCAコードの計算精度については、今回の実験結果との比較から、LAMP-DCAコードの方が優れていることが明らかとなった。付録3にLAMP-DCAコードで計算した熱中性子スペクトルを示す。

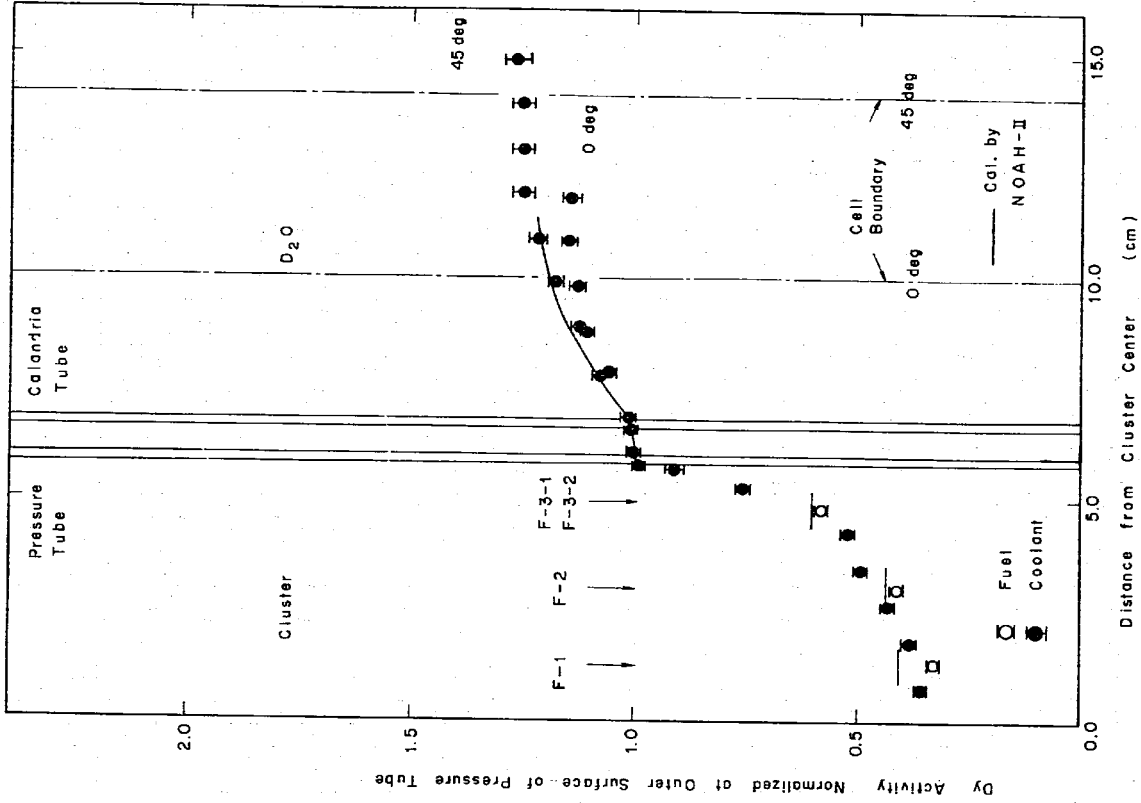


Fig. 12 Dysprosium Reaction Rate Distribution for Coolant Void Fraction of 0 % in 0.54 wt % (S) PuO₂-UO₂ Fuel at 20.0 cm Pitch Lattice

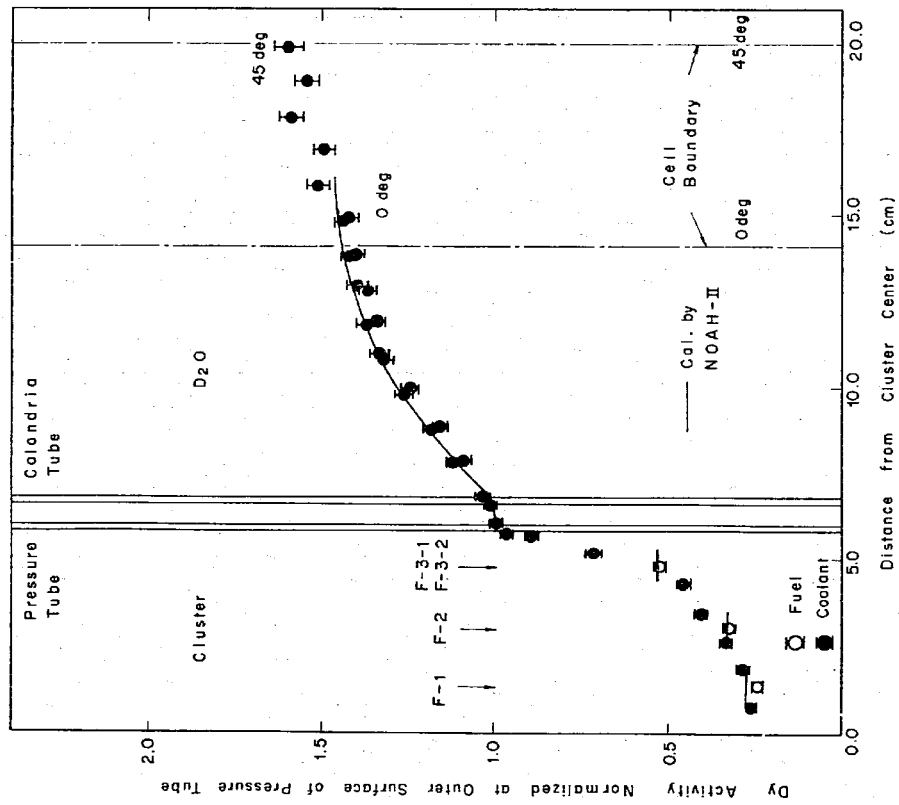


Fig. 13 Dysprosium Reaction Rate Distribution for Coolant Void Fraction of 0% in 0.54 wt%(S) PuO₂-UO₂ Fuel at 28.3 cm Pitch Lattice

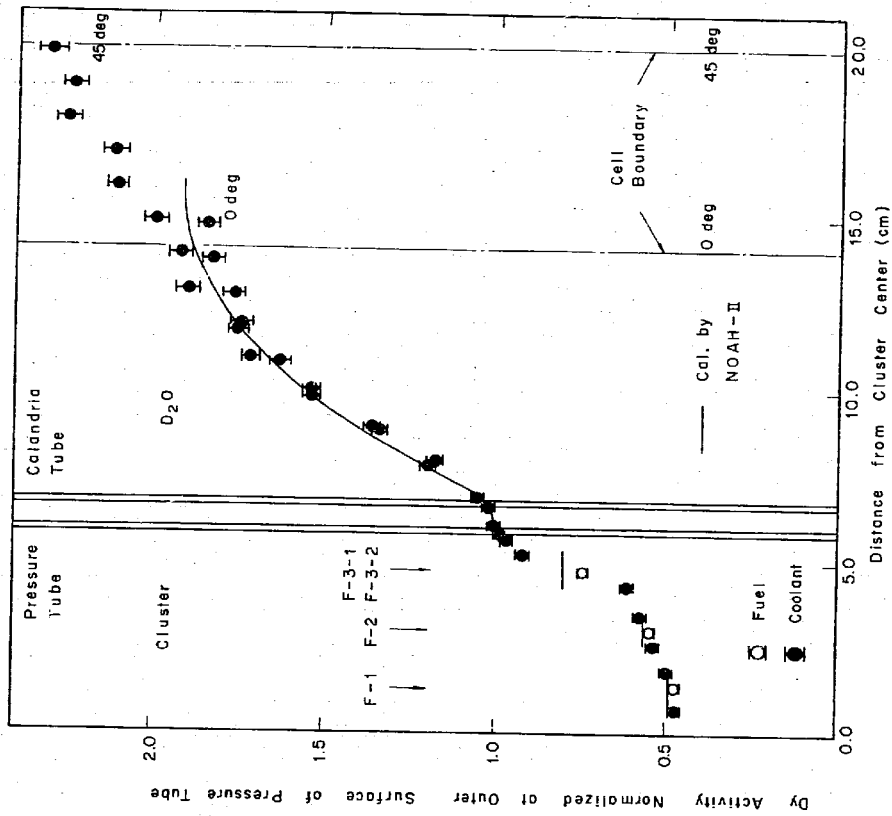


Fig. 14 Dysprosium Reaction Rate Distribution for Coolant Void Fraction of 100% in 0.54 wt%(S) PuO₂-UO₂ Fuel at 28.3 cm Pitch Lattice

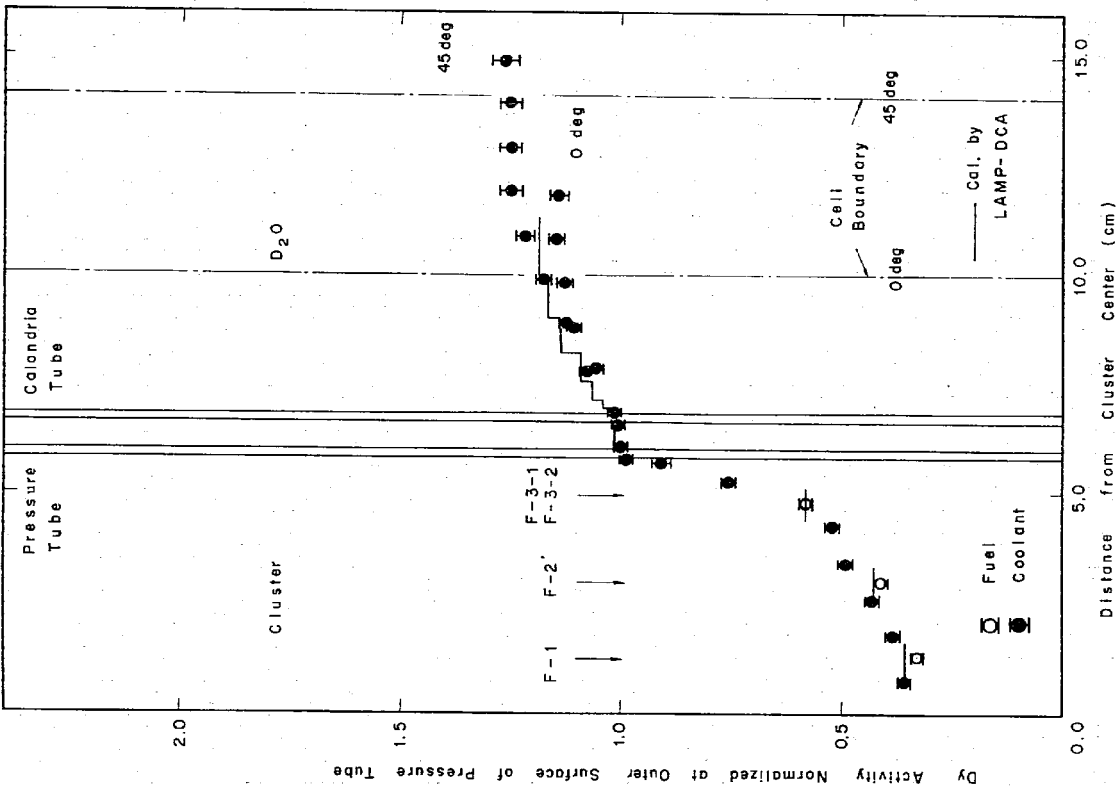


Fig. 15 Dysprosium Reaction Rate Distribution for Coolant Void Fraction of 0% in 0.54 wt%(S) PuO₂-UO₂ Fuel at 20.0 cm Pitch Lattice

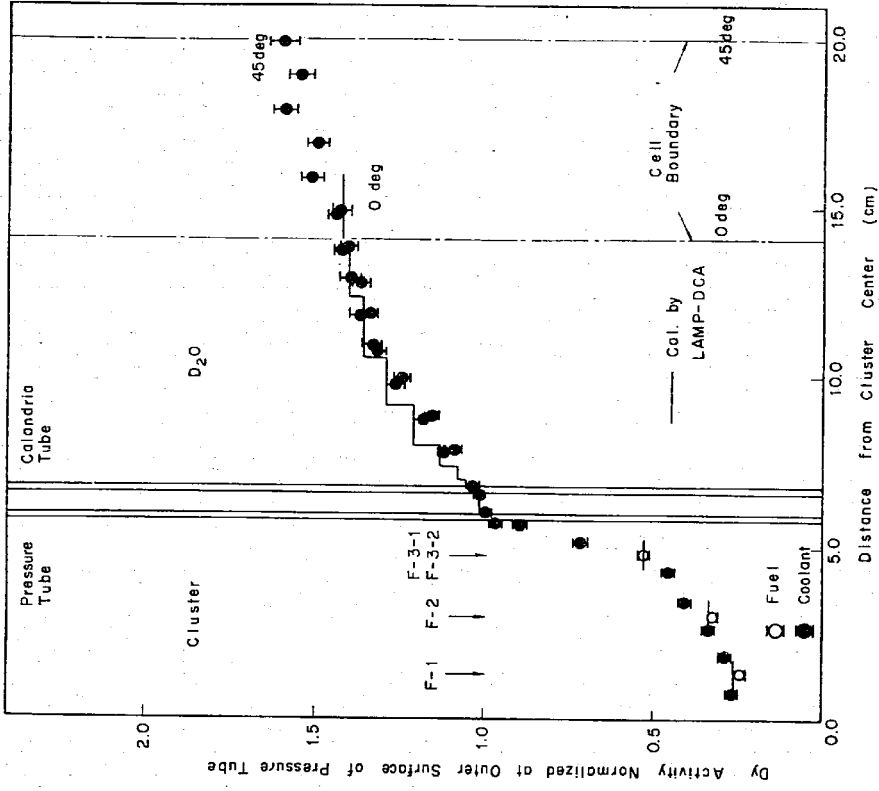


Fig. 16 Dysprosium Reaction Rate Distribution for Coolant Void Fraction of 0% in 0.54 wt%(S) PuO₂-UO₂ Fuel at 28.3 cm Pitch Lattice

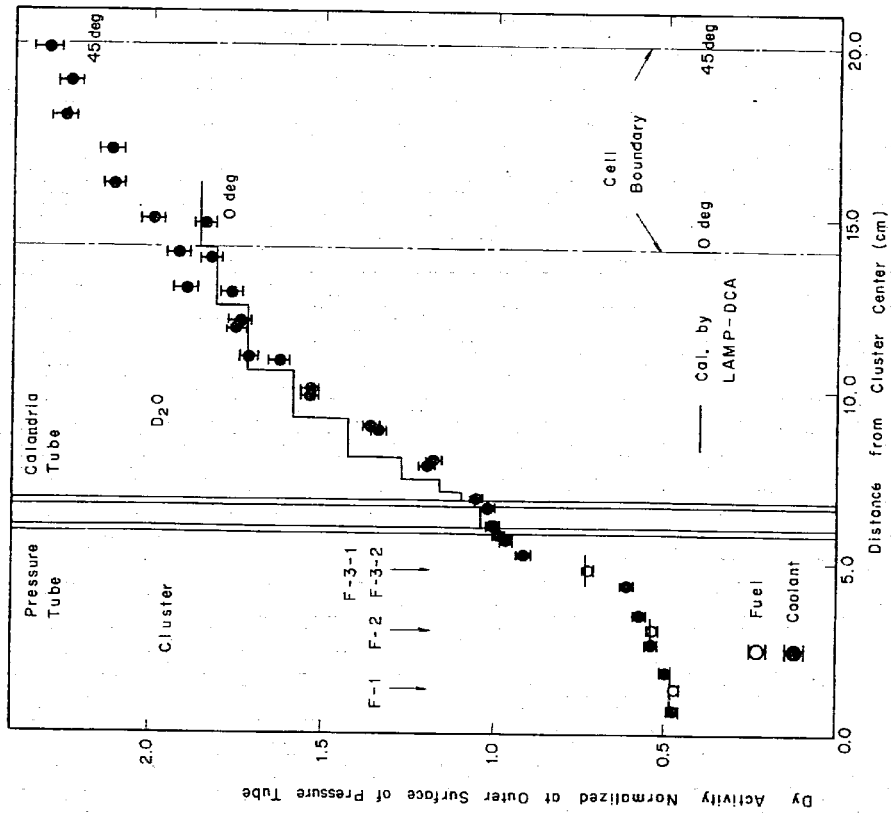


Fig. 17 Dysprosium Reaction Rate Distribution for Coolant Void Fraction of 100% in 0.54 wt % (S) PuO₂-UO₂ Fuel at 28.3 cm Pitch Lattice

5. 結 論

プルトニウム28本燃料集合体を装荷した 20.0 cm 及び 28.3 cm ピッチ格子における単位格子内熱中性子束分布の実験結果、さらに今までおこなわれた 22.5 cm と 25.0 cm の実験結果との比較、ならびに「ふげん」の核設計計算コード NOAH-II 及び詳細計算コード LAMP-DCA の計算値との比較より次の事が明らかになった。

- (1) 20.0 cm 及び 28.3 cm ピッチ格子における単位格子内熱中性子束分布は、今までおこなわれた実験結果の場合と同じ実験精度で求まり、22.5 cm 及び 25.0 cm の実験結果も含めて、広範囲な格子ピッチ依存性について詳細検討ができる様になった。
- (2) 燃料領域における熱中性子束については、格子ピッチが増大するに於いて燃料中の熱中性子束低下は大きくなっていく。これはピッチ増大により重水領域の減速効果が大きくなり、よりソフトな熱中性子が燃料中に入り中子吸収が増大したためである。この点については、格子ピッチの差が大きい今回の 20.0 cm 及び 28.3 cm の実験結果から、より明白になった。
- (3) 重水中の分布については格子ピッチの増大とともに格子の境界での分布が大きくなっていく。これは減速材領域が増大し、熱中性子の生成が増加したためである。
- (4) 核設計計算コード NOAH-II による計算値は、燃料中では全体的に実験値より大きい値を示しその相違は大きい。重水については良い一致が得られた。燃料中については、燃料集合体平均で実験値と比較すると 4%~9% 計算値が過大評価されている。
- (5) 詳細計算コード LAMP-DCA による計算値との比較では、内層の燃料棒における実験値との相違が外層より大きくなっていく。しかし、燃料集合体平均では外層の重みが大きいため 2% 以内の誤差で実験値と一致している。重水中の分布についても 2% 以内の誤差であると評価できる。

以上、今回の実験結果及びすでに報告された 22.5 cm と 25.0 cm の実験結果の検討より、プルトニウム燃料装荷炉心における単位格子内熱中性子束分布について広範囲な格子ピッチ依存性について明らかになった。また、LAMP-DCA コードの計算値は 20.0 cm から 28.3 cm ピッチにまで実験値を精度良く再現しており、広範囲な格子ピッチにわたり十分な精度で使用できることが認められた。

NOAH-II コードの計算値は LAMP-DCA コードの計算値に比較して精度は劣るが設計ペー

謝 辞

今回の実験において、皆月 功、草別幸夫両氏（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。八谷雄吉室長ならびに室員の皆様へ深く感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) 若林 他：SN941 74 - 26
「ア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：SN941 74 - 77
「ア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：ZN941 75 - 112
「ア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 SN941 79 - 119
「ア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) T. Wakabayashi and Y. Hachiya: "Thermal Neutron Behavior in Cluster-Type Plutonium Fuel Lattice", Nucl. Sci Eng., 63, 292 (1977).
- (6) K.C. Kendall et al: AEEW-M736
- (7) 角谷浩孝：N941 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」

付録1. NOAH-IIコード用入力フォーマット

```

INITIATE
*NOAH-2 (20.0LP 5SPU OVOID)
POLYGON(1.00)0
DIAMET(1.00)11.28
TEMPER(1.00)22.0
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 *
TEMPER(1.11)22.0
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
TEMPER(1.12)22.0
DENSIT(1.10)0.99777
INGRED(1.10)3,1,11.1901,2,88.8099,29,0.0
TEMPER(1.10)22.0 *
LAYER 2=1
LAYER 3=1 *
POLYGON(2.00)0
DIAMET(2.00)11.68
DENSIT(2.00)0.99777
INGRED(2.00)3,1,11.1901,2,88.8099,29,0.0 *
TEMPER(2.00)22.0
RARE REGION(2.00) *
POLYGON(3.00)0
DIAMET(3.00)12.08
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
DIAMET(4.00)13.25
AIRGAP(4.00) *
POLYGON(5.00)0
DIAMET(5.00)13.65 *
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
DIAMET(6.00)25.39 *
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 4,3,1.3125,3.00,4.7575,4,8,16 *
BUCKLING 0.00154924 *
    
```

```

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 10,10,10,10,5,5,5,5,20 *
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 CLACULATION *
*NOAH-2 (28.3LP 5SPU OVOID) *
DIAMET(6.00)31.92 *
BUCKLING 0.00114867 *
BEGIN CALCULATION *
*NOAH-2 (28.3LP 5SPU 100VOID) *
DENSIT(1.10)0.000001 *
DENSIT(2.00)0.000001 *
BUCKLING 0.001289521 *
    
```

付録2. LAMP - DCAコード用入力フォーマット

PIXSE
DCA CLUSTER 0.54(S)PU02-U02, 100VOID, 28.284LP (28REGION)

```

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
    
```

```

0.0000105 1.108 -6 7.67 -8 0.000162 0.02233
1 2 0.00008075 0.0000329 0.03458
1 2 0.00008075 0.0000329 0.03458
1 2 3.962 -5 1.067
1 2 3.925 -5 1.057
1.59313 -5 5.36782 -4
1 2 0.00172 0.05788
1 2 3.962 -5 1.067
1-2 0.0003123 0.06613 0.03323
    
```

```

28 1 0 1 1 2 2 1 1 2 2 1 1 2 3 3 3 4 3 5 6 5 7 7 7
2 1 1 2 2 1 1 2 2 1 1 2 3 3 3 4 3 5 6 5 7 7 7
7 7 7 7
0.55 0.55 0.55 0.55 0.55 0.57 0.57
0.57 0.57 0.61 0.61 0.61 0.61 0.61 0.61 0.84
0.55 0.57 0.61 0.61 0.61 0.61 0.61 0.61 0.84
0.84 0.84 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
LAST 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
CLOP 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
DCA CLUSTER 0.54(S)PU02-U02, 100VOID, 28.284LP (28REGION)
28 7 50 0 2 0 0 5 1 8 2 4 1
13 2 3 4 28 2 28 0 50
0 0
    
```

```

FUEL 2 1 2 2 1 1 2 2 1 1 2 3 3 3 4 3 5 6 5 7 7 7 7
FUEL 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
FUEL 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
FUEL 5 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
SHEATH 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
SHEATH 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
SHEATH 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
SHEATH 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
SHEATH 5 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
COOL-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
COOL-1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
COOL-1 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
COOL-1 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
COOL-1 5 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
COOL-2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
COOL-2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
COOL-2 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
COOL-2 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
COOL-2 5 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
P.T. 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
P.T. 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
P.T. 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
P.T. 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
AIR 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
AIR 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
AIR 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
AIR 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
AIR 5 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
MOD. 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
MOD. 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
MOD. 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
MOD. 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
MOD. 5 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
    
```

PNC TN941 79-187

```

2 1 1 1 1 2 2 1 1 2 3 3 3 4 3 5 6 5 7 7 7 7
1 1 2 2 1 1 2 2 1 1 2 3 3 3 4 3 5 6 5 7 7 7 7
3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 13 13
73 73 73 73 73 73 73 73 73 73 73 73 73 73 73 73 73 73 73 73
5.72 5.84 6.04 6.625 6.825
7.004 7.362 8.078 9.152 10.585 12.376
14.167 15.9575 3 0.834 3 10.585 12.376
0.734 0.834 3
1.3125 3.0 4.7575 3
PIJF
DCA CLUSTER 0.54(S)PU02-U02, 100VOID, 28.284LP (28REGION)
28 7 50 2 2 0 1 -1 1 1
50 0 0 7 4 1 1
300-1 5 5 5 1.1.2
1.0 -4 1.0 -3 0.05 1.2 100.0 1.0
2 1 1 2 2 1 1 2 2 1 1 2 3 3 3 4 3 5 6 5 7 7 7 7
7 7 7 7
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
3.2053 -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
01171850
1
    
```

```

1.0 -4
DCA CLUSTER 0.54(S)PU02-U02, 0VOID, 28.284LP (28REGION)
0.58 0.58 0.58 0.58 0.58 0.65 0.65 0.66 0.66 0.66 0.66 1.0 1.0
0.65 0.65 0.66 0.66 0.66 0.66 0.66 0.66 0.66 0.66 0.66 1.0 1.0
0.58 0.65 0.65 0.66 0.66 0.66 0.66 0.66 0.66 0.66 0.66 1.0 1.0
0.86 0.86 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
DCA CLUSTER 0.54(S)PU02-U02, 0VOID, 28.284LP (28REGION)
DCA CLUSTER 0.54(S)PU02-U02, 0VOID, 28.284LP (28REGION)
DCA CLUSTER 0.54(S)PU02-U02, 0VOID, 20.0LP (27REGION)
0.06671
0.06609
27 1 0 1
7 7 7
7.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75
0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75
0.88 0.88 0.88 0.88 0.88 0.88 0.88 0.88 0.88 0.88 0.88 0.88
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
DCA CLUSTER 0.54(S)PU02-U02, 0VOID, 20.0LP (27REGION)
27 7 50 0 2 0 0 5 1 8 2 4 1
12 2 3 4 28 2 27 0 50
7 6.929 7.136 7.551 8.173 9.003 10.04
11.284 3
DCA CLUSTER 0.54(S)PU02-U02, 0VOID, 20.0LP (27REGION)
27 7 50 2 2 0 1 -1 1 1
7 7 7
    
```

付録3. 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 20.0 cm 及び 28.3 cm 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. 6 に示した。Fig. 7~Fig. 10 には 28.3 cm 格子ピッチの 0% と 100% における熱中性子スペクトルを比較するため重ね合わせて示した。また、Fig. 11~Fig. 14 には 20.0 cm と 28.3 cm 格子ピッチの 0% ボイドにおける熱中性子スペクトルを重ね合わせて示し、熱中性子スペクトルの格子ピッチ依存性を明らかにした。これらの図の中で F-1, F-3 は燃料中の第 1, 第 3 リングを、C, T はカランドリア管を、D2O 重水中の領域を示す。また、C は冷却材領域を示すが 1 は中心部の冷却材領域、5 は最外部の冷却材領域を意味する。

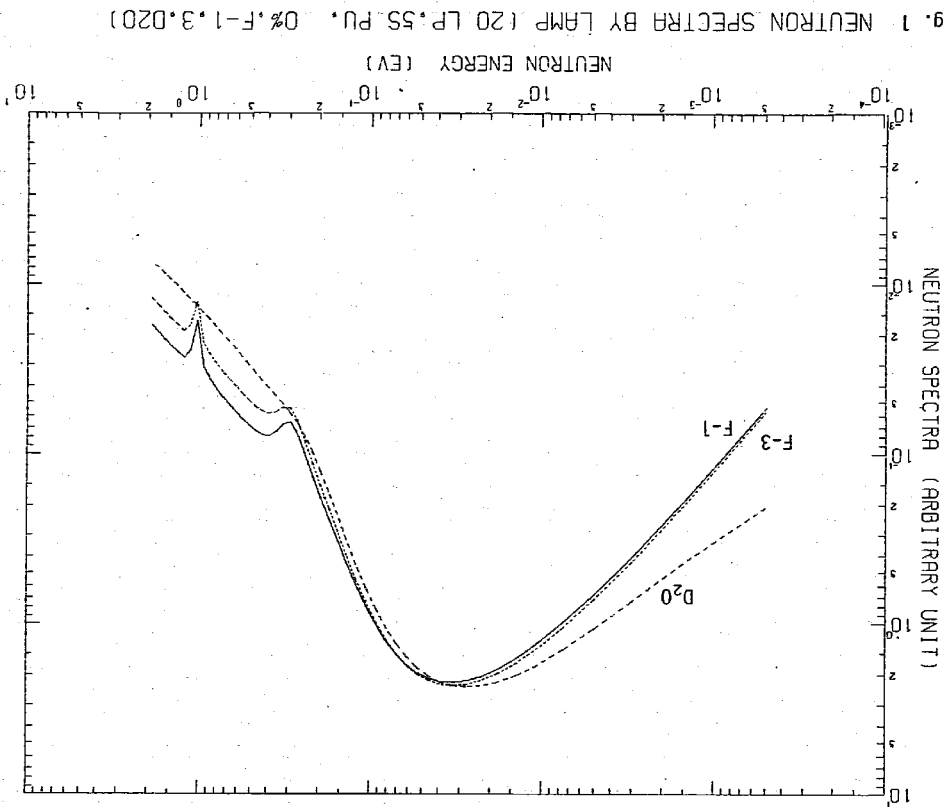


Fig. 1 NEUTRON SPECTRA BY LAMP (20 LP, 55 PU, 0%, F-1, 3, D2O)

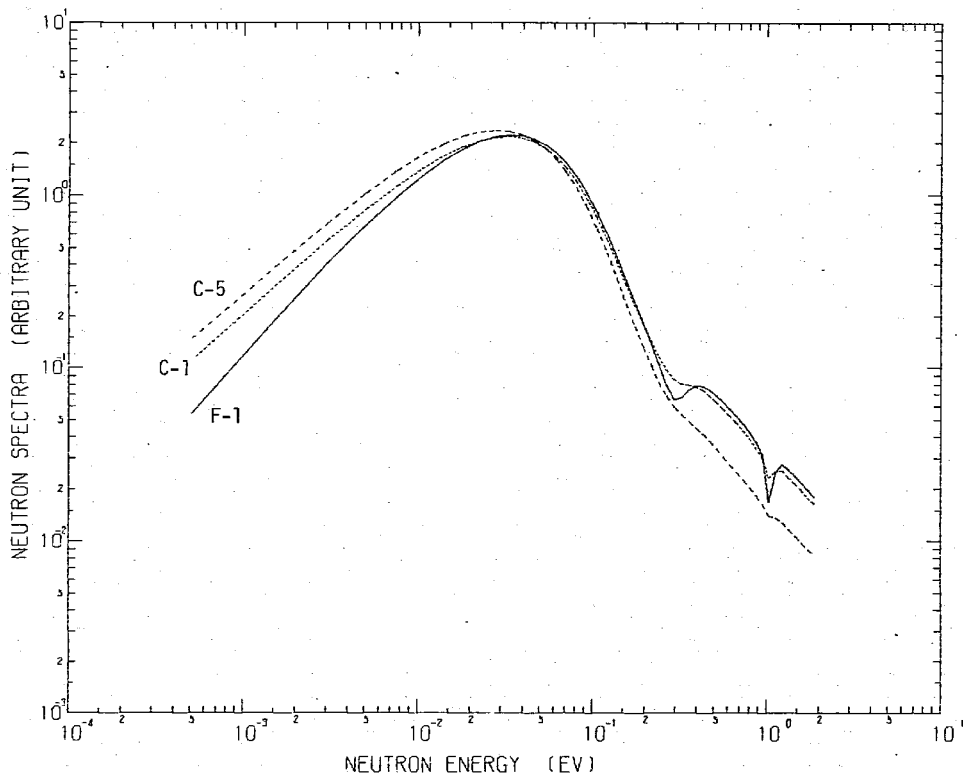


Fig. 2 NEUTRON SPECTRA BY LAMP (20 LP, 5S PU, 0%, F-1, C-1, 5)

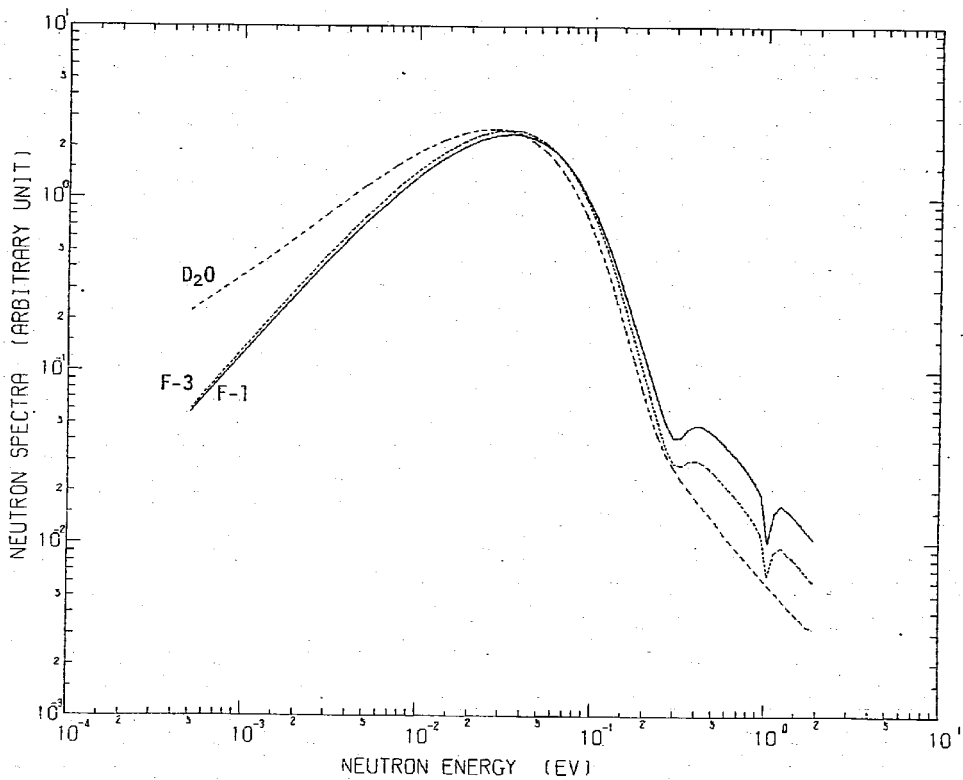


Fig. 3 NEUTRON SPECTRA BY LAMP (28.3 LP, 5S PU, 0%, F-1, 3, D2O)

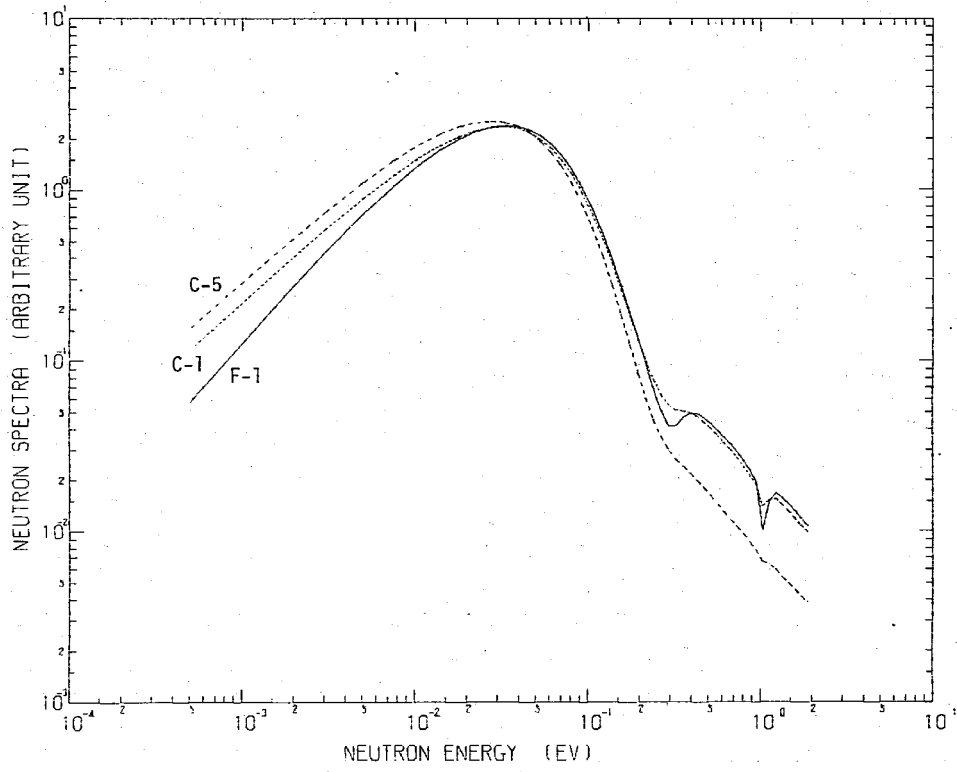


Fig. 4 NEUTRON SPECTRA BY LAMP (28.3 LP, 5S PU, 0%, F-1, C-1, 5)

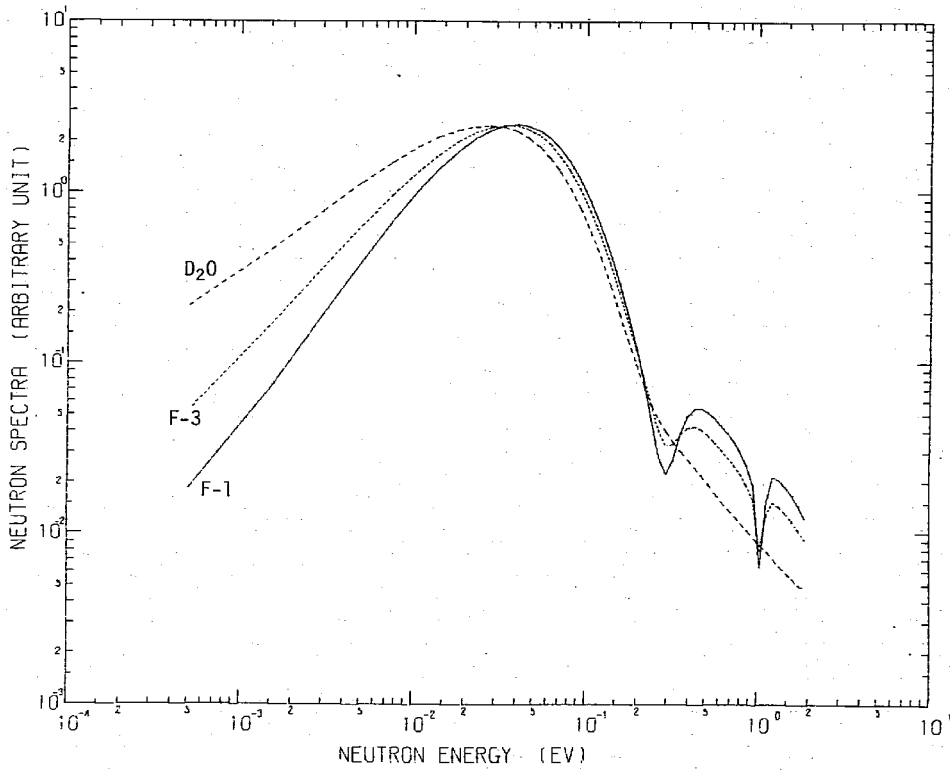


Fig. 5 NEUTRON SPECTRA BY LAMP (28.3 LP, 5S PU, 100%, F-1, 3, D2O)

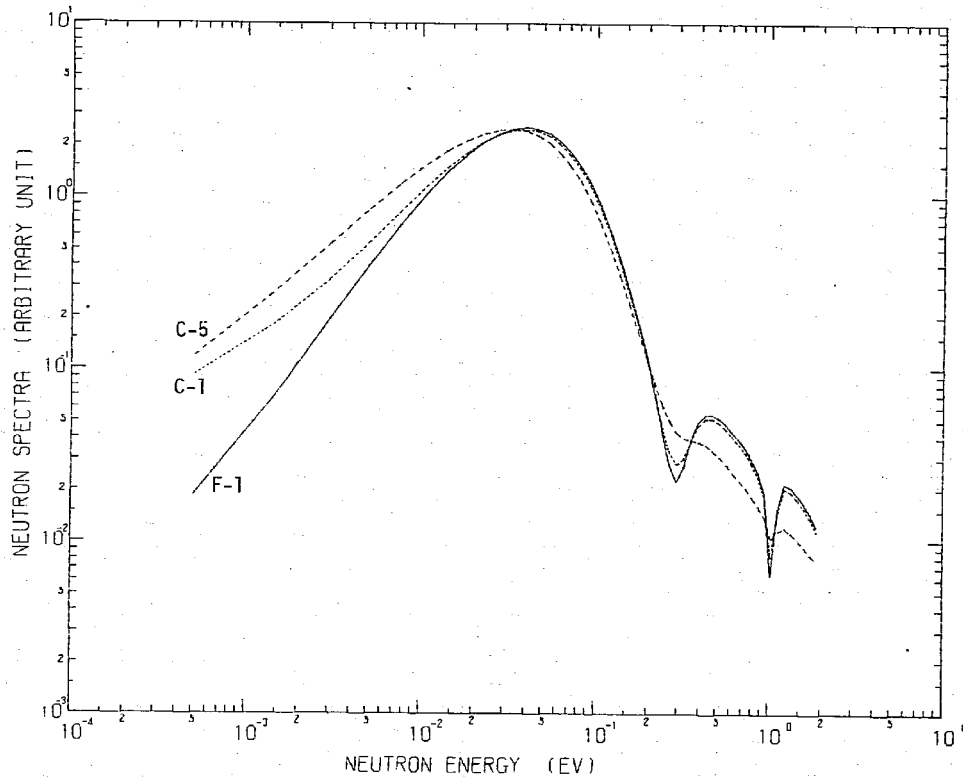


Fig. 6 NEUTRON SPECTRA BY LAMP (28.3 LP.5S PU,100%,F-1,C-1,5)

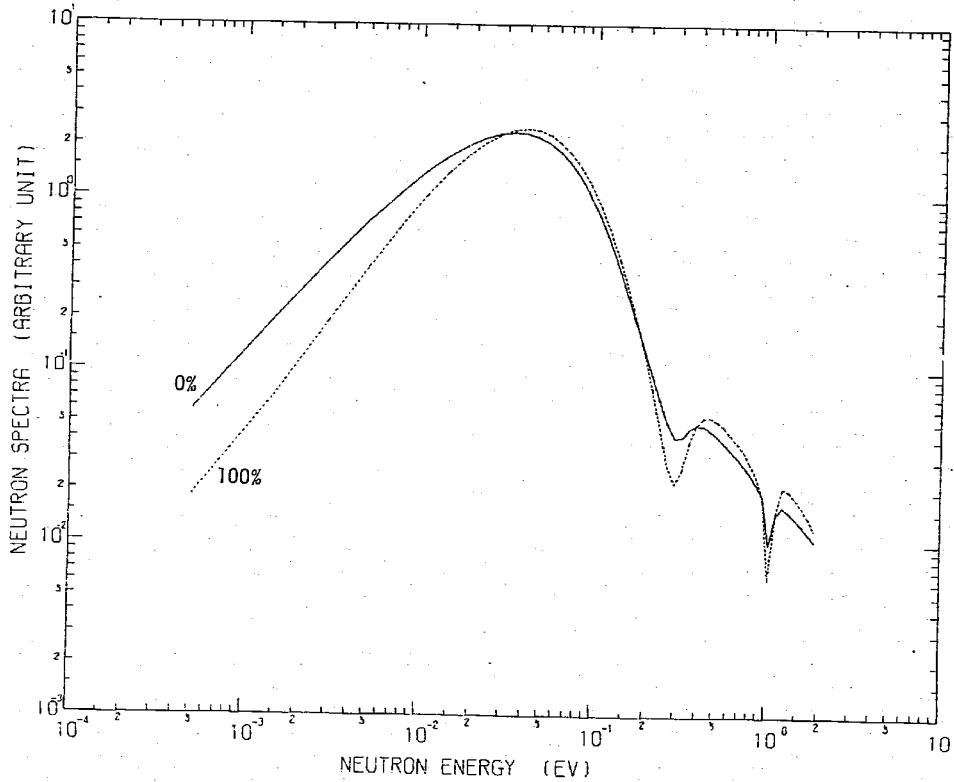


Fig. 7 NEUTRON SPECTRA BY LAMP (28.3 LP.5S PU,0% AND 100%,F-1)

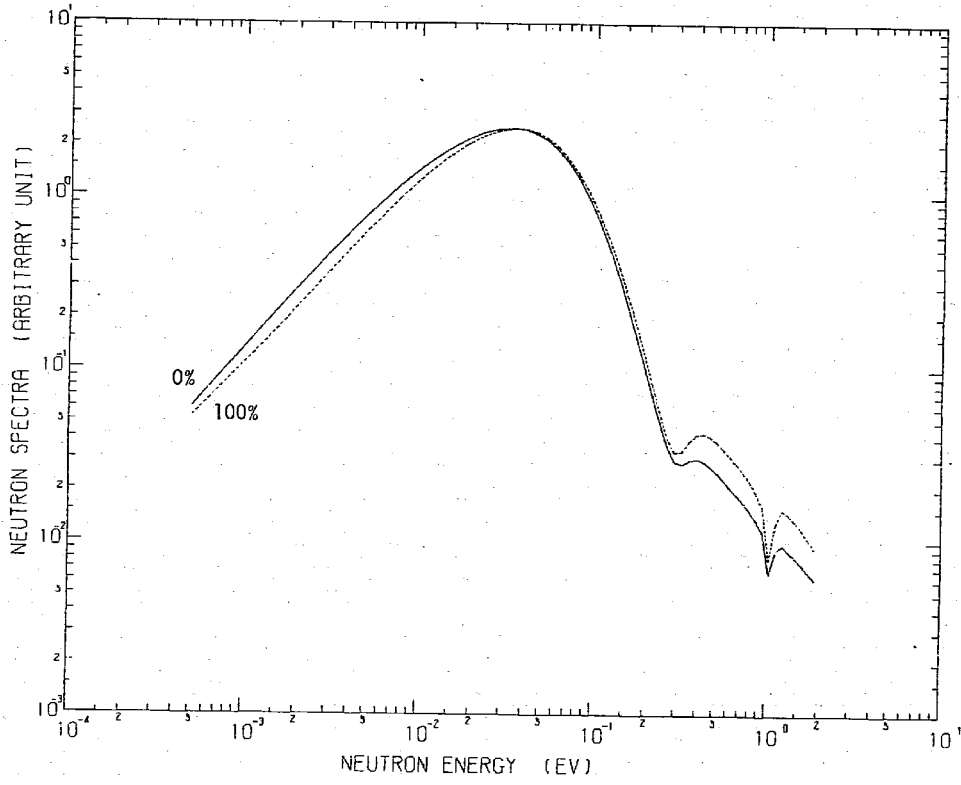


Fig. 8 NEUTRON SPECTRA BY LAMP (28.3 LP, 5S PU, 0% AND 100%, F-3)

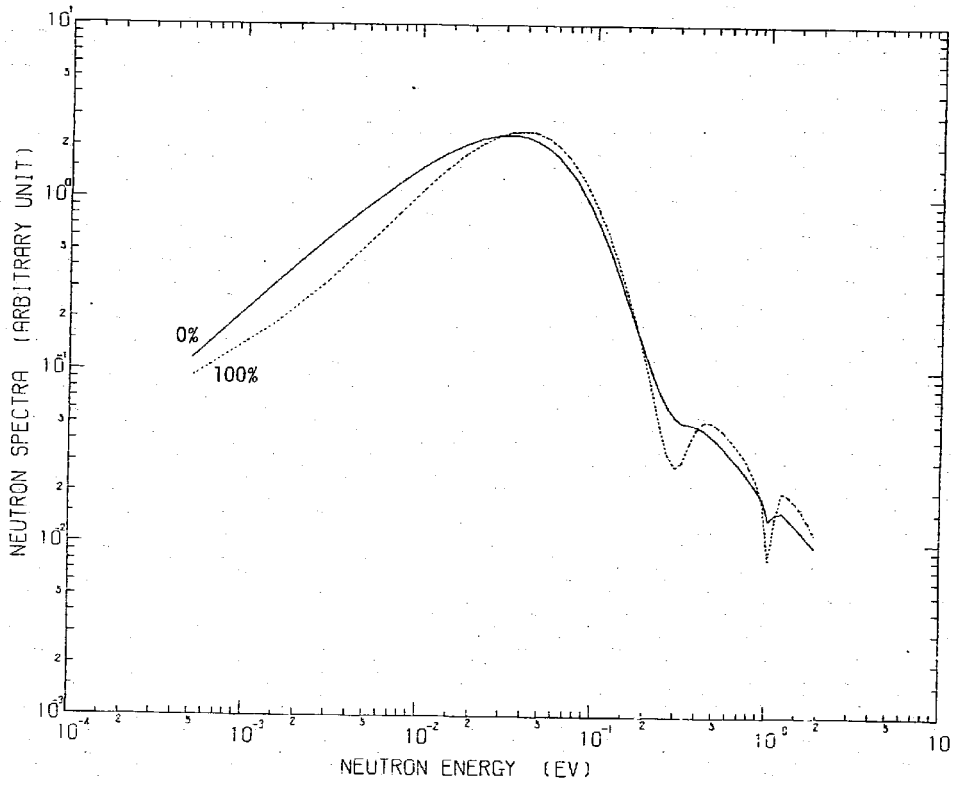


Fig. 9 NEUTRON SPECTRA BY LAMP (28.3 LP, 5S PU, 0% AND 100%, C-1)

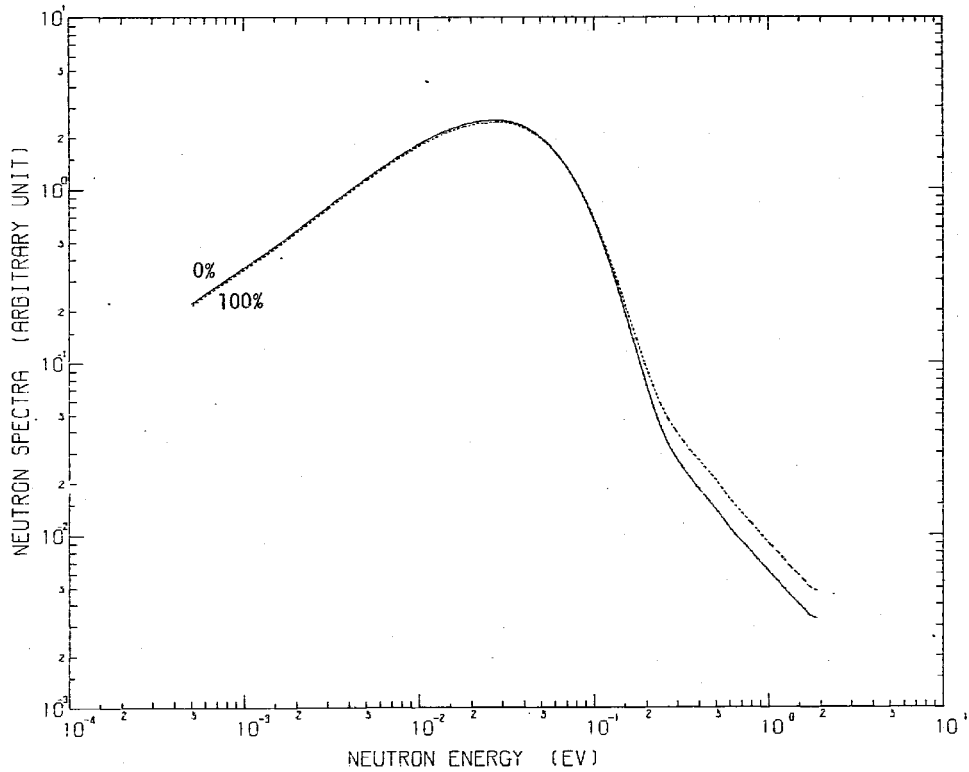


Fig. 10 NEUTRON SPECTRA BY LAMP (28.3 LP, 5S PU, 0% AND 100%, 0.020)

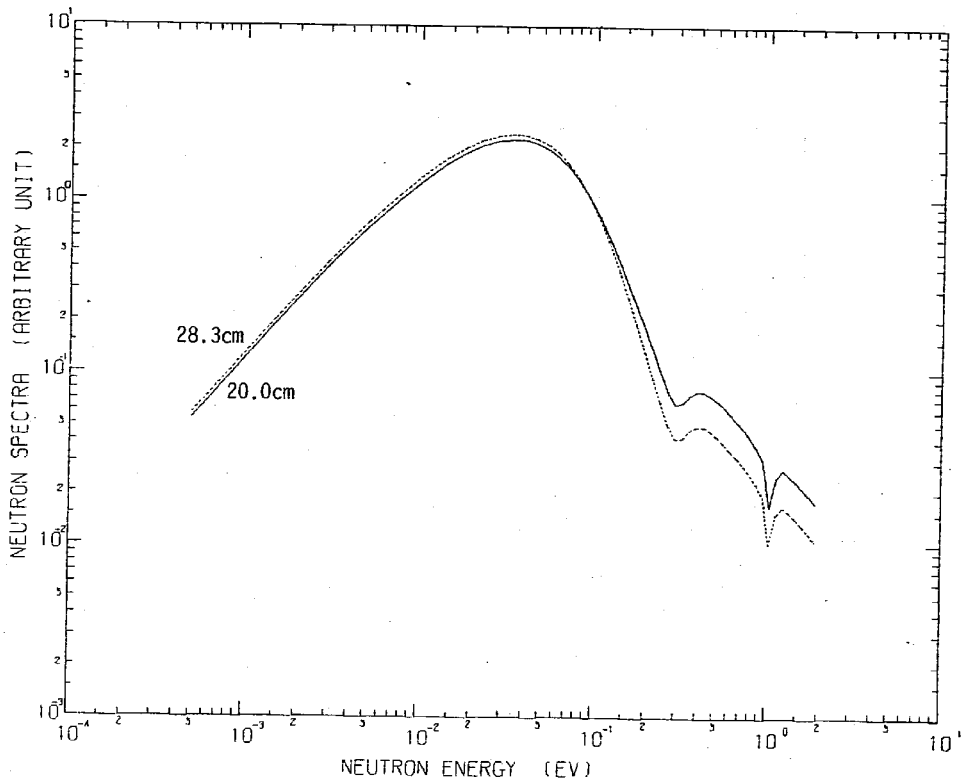


Fig. 11 NEUTRON SPECTRA BY LAMP (20.0 AND 28.3 LP, 5S PU, 0%, F-1)

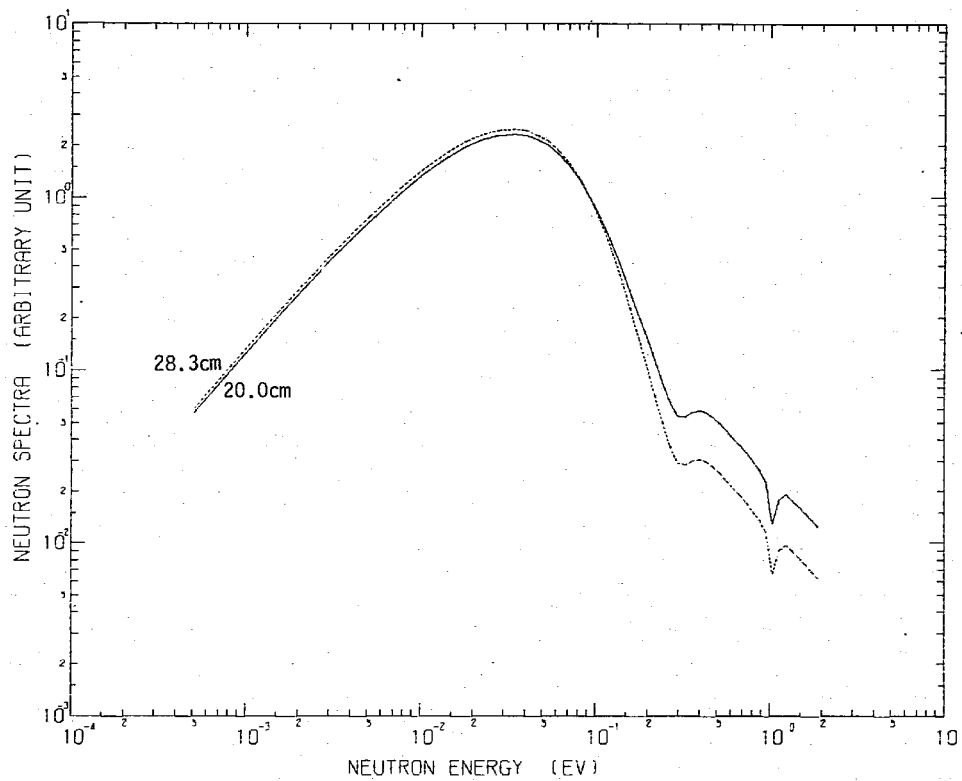


Fig. 12 NEUTRON SPECTRA BY LAMP (20.0 AND 28.3 LP, 5S PU, 0%, F-3)

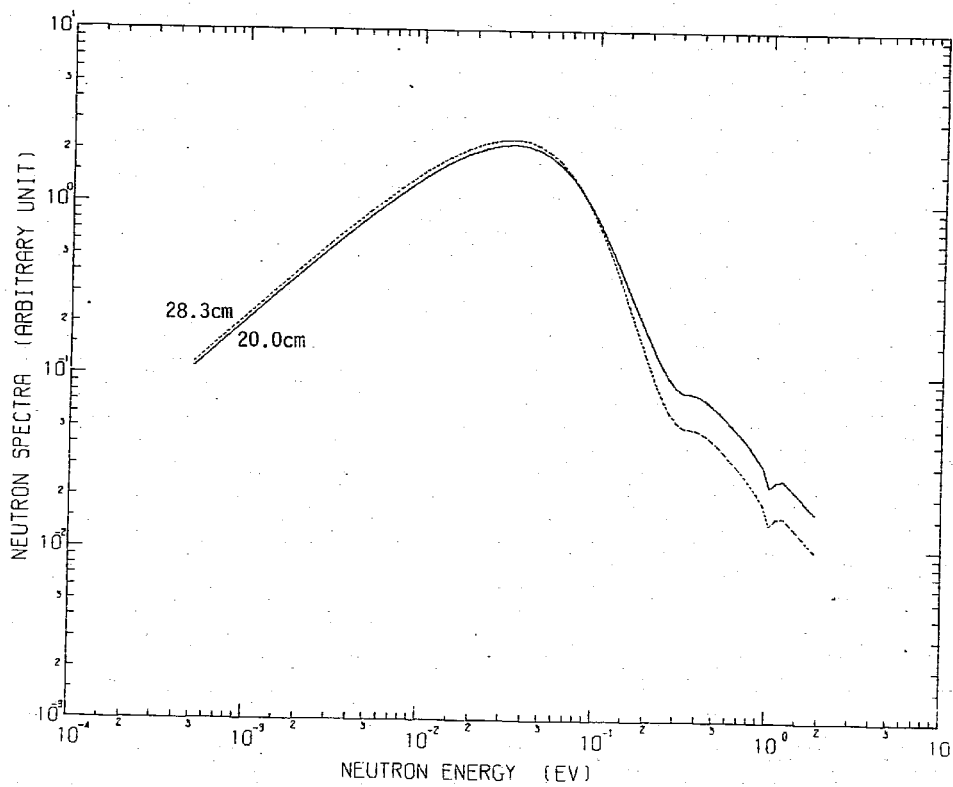


Fig. 13 NEUTRON SPECTRA BY LAMP (20.0 AND 28.3 LP, 5S PU, 0%, C-1)

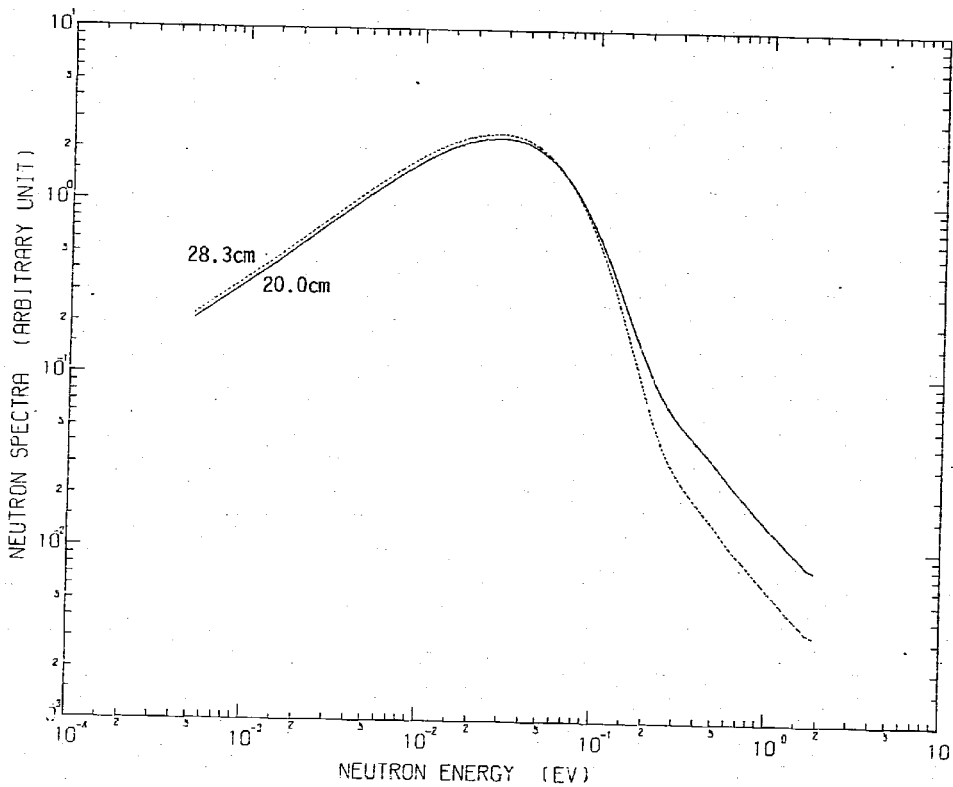


Fig. 14 NEUTRON SPECTRA BY LAMP (20.0 AND 28.3 LP, 5S PU, 0%, D20)