

# 「常陽」MK-I 炉心燃料集合体PPJD1Jの照射後試験

## 燃料要素の破壊試験



1987年3月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
	PNC TN9410 87-197
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

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)

## 「常陽」MK-I 炉心燃料集合体 PRJD1J の照射後試験

## 燃料要素の破壊試験

責任者<sup>※</sup> 山内 勘報告者<sup>※</sup> 三次岳志・滑川卓志・吉川勝則  
小部 昭・桑島幸夫・近藤 優  
薄井啓一・乾 俊彦・立花利道

## 要 旨

「常陽」MK-I 炉心燃料集合体 PRJD1J について燃料要素の破壊試験を実施した。本集合体はブランケット燃料集合体に隣接する位置(5E3)で50MW出力上昇サイクルから75MW第6サイクルまで照射された集合体であり、平均燃焼度(計算値)は約23,600MWD/MTMである。

本試験の目的はブランケット燃料集合体に隣接する位置で照射され、半径方向の燃焼度勾配が大きい集合体の照射挙動を把握することであり、3本ピンを選んで金相試験、被覆管硬さ測定及び燃焼率測定を実施した。

本試験によって得られた主な結果を以下に記す。

- ① 燃料組織は全般に製造時に近い組織を呈しており、被覆管組織にも特異な点は見当らなかった。
- ② 中心ピンの軸方向中心位置での燃焼率測定値は2.94 at % (28,200MWD/MTM)であった。
- ③ 燃焼率の半径方向ピーキングファクターは、JYHISTコードが予想した値より幾分小さな値であったが、これまでに得られている第1列から第4列集合体のピーキングファクターに比べるとかなり大きな値を示した。これは本集合体がブランケット燃料集合体に隣接していたためと考えられる。
- ④ 被覆管硬さの測定値は従来S材について得られている硬さ値の照射温度及び照射量の関係に良く一致していた。

## 目 次

1. まえがき	1
2. 燃料ピン	2
3. 照射条件	2
4. 照射後試験	3
4.1 金相試験	3
4.1.1 試料調製方法	3
4.1.2 試験結果	3
4.2 硬さ測定試験	3
4.2.1 測定方法	3
4.2.2 測定結果	3
4.3 燃焼率測定試験	3
4.3.1 試料調製方法	4
4.3.2 測定結果	4
5. まとめ	5

## 1. ま え が き

「常陽」MK-I 炉心燃料集合体 PPJD 1 J は、炉心方向を C 面と D 面の中間方向として、炉内位置 5E3 で 50MW 出力上昇サイクルから 75MW 第 6 サイクルまで照射された集合体であり、集合体の平均燃焼度は約 23,600MWD/MTM である。

照射後試験の目的は、ブランケット燃料集合体に隣接する位置で照射され半径方向の燃焼度勾配の大きい集合体の照射挙動を把握することである。

照射燃料試験室 (AGS) での試験が終了したので、その結果を報告する。AGS では、燃料ピンの破壊試験を実施した。対象となった燃料ピンは下記の 3 本である。

- (1) 集合体中心位置ピン (No. 7246 pin, S 社製被覆管)
- (2) コーナーピン (低出力ピン) (No. 7201 pin, 同 上 )
- (3) コーナーピン (高出力ピン) (No. 7291 pin, 同 上 )

上記のピンについて、照射後試験として (a) 金相試験 (燃料組織観察及び被覆管組織観察), (b) 被覆管硬さ測定, 及び (c) 燃焼率測定を実施した。

## 2. 燃 料 ピ ン

PPJD1J 集合体中の本照射後試験に供された燃料ピンをFig. 1 に示し、またその仕様をTable 1 に示す。

## 3. 照 射 条 件

本集合体の炉心装荷位置を Fig. 2 に示す。また本集合体において破壊試験を実施した燃料ピンの集合体内装荷位置を Fig. 3 に示す。さらに集合体の照射条件を以下に記す。

- ① 燃焼度 (集合体平均) 23,600MWD/MTM
- ② 照射サイクル 50MW 出力上昇第1サイクル～75MW 第6サイクル
- ③ 集合体ピークフルエンス ( $E \geq 0.1 \text{ MeV}$ )  $3.72 \times 10^{22} \text{ nvt}$
- ④ 線出力 (集合体平均) 135.9W/cm
- ⑤ 照射位置  $5E3$  (Fig. 2 を参照)

試験に供した各燃料ピンの燃焼度分布、中性子照射量分布、温度分布及び線出力分布について燃材部 MK-I 照射情報検索システムの出力結果を Fig. 4 ～ Fig. 9 に示す。

## 4. 照射後試験

### 4.1 金相試験

#### 4.1.1 試料調製方法

金相試験工程を Fig. 10 に示す。また金相試験の実施内容を Table 2 に示す。

#### 4.1.2 試験結果

7246 ピン(代表ピン)の燃料カラム軸方向中央部の金相写真を Photo 1～4 に示す。これらの金相写真より以下の結果が得られた。

(1) 燃料組織は、外周部(計算温度 約 603°C)と中心部(計算温度 約 1007°C)で結晶粒径に若干であるが差が認められたが全般に製造時に近い組織を示していた。燃料ペレット外径及び被覆管内径、外径を測定した結果を Table 3 に示す。ペレット径、被覆管内径、外径とも製造時とあまり変化はなく、また FCCI の発生も認められなかった。

#### (2) 被覆管組織観察

炭化物析出状況は、粒界に析出しているのが認められたが、内・外表面とも析出量にほとんど変化がなく被覆管組織に異常は認められなかった(Photo 4 参照)。

### 4.2 被覆管硬さ測定試験

#### 4.2.1 測定方法

測定は、L-2 セル内設置の遠隔操作型微小硬さ計(マイクロ・ビッカーズ法)を用いて7246 ピンから採取した1試料について実施した。Table 4 に測定条件及び打痕位置を示す。

#### 4.2.2 測定結果

7246 ピンの燃料中心付近の被覆管硬さ値は、Table 5 及び Table 6 に示すとおり Hv(0.5) 314 であった。この値は、照射前の値より硬さ値で Hv(0.5) 48、変化率で 18(%) 高い(照射硬化している)値である。Fig. 11 に 7246 ピンの軸方向においての硬さ値と照射温度及び照射量の関係を示す。

今回得られた硬さ値は、Fig. 12 に示す現在までに得られた S 材についての硬さ値と照射温度及び照射量の関係と良く一致している。

### 4.3 燃焼率測定試験

$^{148}\text{Nd}$  を指標核種とした同位体希釈法により、集合体中心ピン、高出力コーナーピン及び低

出力コーナーピン（ブランケット集合体に隣接）について軸方向中心位置における燃焼率の集合体内径方向分布を求めた。

#### 4.3.1 試料調製方法

試料の採取位置を Fig. 13 に、また試料調製の方法及び手順を Fig. 14 に示す。

#### 4.3.2 測定結果

今回得られた測定データと JYHIST コードによる計算値をまとめた結果を Table 7 に示す。燃焼率計算で使用した  $^{148}\text{Nd}$ ,  $^{146}\text{Nd}$  及び  $^{145}\text{Nd}$  の実効核分裂収率の計算例（試料 No. 724623）を Table 8 に示す。今回の同位体希釈分析計算に使用したスパイク液の濃度及び組成のデータ（質量分析値）を Table 9 に示す。また質量分析から得られた同位体組成及び同位体希釈分析から得られた各同位体原子数、さらにこれらのデータを基にして得られた燃焼率等の計算結果を Table 10 から Table 12 に示す。

次に、集合体内径方向における燃焼率分布を JYHIST コードによる計算値及び照射燃料集合体試験室（FMS）での  $\gamma$ -スキャン測定結果と比較して、46 ピンの値を 1 として規格化し比較した結果を Fig. 15 に示す。

以上の結果から以下のことを確認した。

- ① PPJD 1 J 炉心燃料集合体の中心ピンの燃料軸方向中心位置（試料 No. 724623）での燃焼率は、2.94 atom % (28,200 MWD/MTM) であった。
- ② 燃焼率の実測値と JYHIST コード計算値を比較すると、01 ピン、46 ピンの実測値が、JYHIST コード計算値より 0.7 % (46 ピン) ~ 3.3 % (01 ピン) 大きい。逆に、91 ピンは 2.7 % 小さい。(Table 7 参照)
- ③ 燃焼率の集合体内径方向分布については、実測値と  $\gamma$ -スキャン及び JYHIST 計算値の比較では、JYHIST コード計算値よりも実測値及び  $\gamma$ -スキャンの方がより緩やかな勾配になっており、形状は山形分布を示している。この挙動は、同じくブランケット燃料に隣接する集合体である PPJX 17 (装荷位置 5F3) とも共通している。また、集合体径方向分布から得られたピーキングファクターは Table 13 に示すようにこれまでに測定した他の第 5 列集合体とほぼ同じ値であり、第 4 列までの集合体よりかなり大きな値を示したが、JYHIST コードによる計算値よりは幾分小さい値を示した。これは、第 5 列集合体がブランケット燃料集合体に隣接するためと考えられる。



## 5. ま と め

「常陽」MK-I 炉心燃料集合体 PPJD 1 J はブランケット燃料集合体に隣接して照射された集合体である。本試験では、ブランケット燃料に隣接する燃料の照射挙動を把握するため、金相試験、被覆管硬さ測定及び燃焼率測定を実施した。主な結果を以下に示す。

- ① 燃料組織は全般に製造時に近い組織を呈しており、被覆管組織にも特異な点は見当たらなかった。
- ② 被覆管の硬さは照射により増大していたが、この硬さ値は従来 S 材について得られている硬さ値と照射温度及び照射量の関係で見ると、特異性は認められない。
- ③ 本集合体中心ピンの軸方向中心位置での燃焼率測定値は 2.94 at % (28,200 MWD/MTM) であった。
- ④ 燃焼率の半径方向ピーキングファクターはこれまでに得られている第 1 列から第 4 列集合体のピーキングファクターに比べてかなり大きな値を示したが、JYHIST コードが予想した値よりは幾分小さな値であった。これは本集合体 (第 5 列) がブランケット燃料集合体に隣接していたためと考えられる。

Table 1 Fuel pin fabrication parameters

S/A name	PPJD 1J	Pin No	No. 7201 No. 7246 No. 7291
Fuel			
Fuel form	Flat end solid pellet		
Pellet diameter (mm)	5.4		
Pellet density (% T.D.)	93.5		
Fuel composition	17.7 w/o PuO <sub>2</sub> - UO <sub>2</sub>		
U-235 enrichment (%)	23		
Pu isotopic composition (%)	Pu 239/240/241/242 76.6/19.0/3.7/0.7		
O/M ratio	1.98 ~ 2.0		
Cladding			
Type and work	SUS 316, 10% cold work		
Outer/inner diameter (mm)	6.3 / 5.6		
Lot identification	No. 7201 : S017 No. 7246 : S018 No. 7291 : S017		
Fuel pin			
Pin length (mm)	1910		
Pin outer diameter (mm)	6.3		
Fuel column length (mm)	600		
Plenum length (mm)	408		
Blanket length (mm)	{ 上部400 下部400		
Fuel/cladding dia.gap (mm)	0.2		
Pin spacing & support	Wrapping wire		

Table - 2 Metallographic examination in AGF

	as polished		as etched	
	仕 様	目 的	仕 様	目 的
燃料 / 被覆管 共 通	× 200 部分写真	被覆管肉厚 ギャップ観察	/	/
燃 料	× 10.5 全面写真 × 75 全面写真 × 100 部分写真 × 400 部分写真	燃料全体組織観察 ポイド分布測定 ポイド分布測定	× 10.5 全面写真 × 75 全面写真 × 100 部分写真 × 400 部分写真	燃料全体組織観察 } 詳細燃料組織観察
被 覆 管	× 200 ~ 750 部分写真	FCCI	× 200 部分写真 × 400 部分写真 × 750 部分写真	位置の同定 結晶粒測定 炭化物観察

Table 3 Pellet and cladding diameters measured from ceramography

Section No.	Pellet Outer (mm)	Clad. Inner (mm)	Clad. Outer (mm)	Linear Heat Rate (w/cm)	Burnup (MWD/MTM)
724622	5.464	5.604	6.307	150	28,098
製造時 ノミナル値	5.4 ± 0.05	5.6 ± 0.025	6.3 ± 0.03		

Table 4 Measurement condition and indentation position

1) Measurement Condition

試験名	測定方法	圧子荷重(g)	保持時間(秒)
定常硬さ測定		500	30

2) Indentation Position

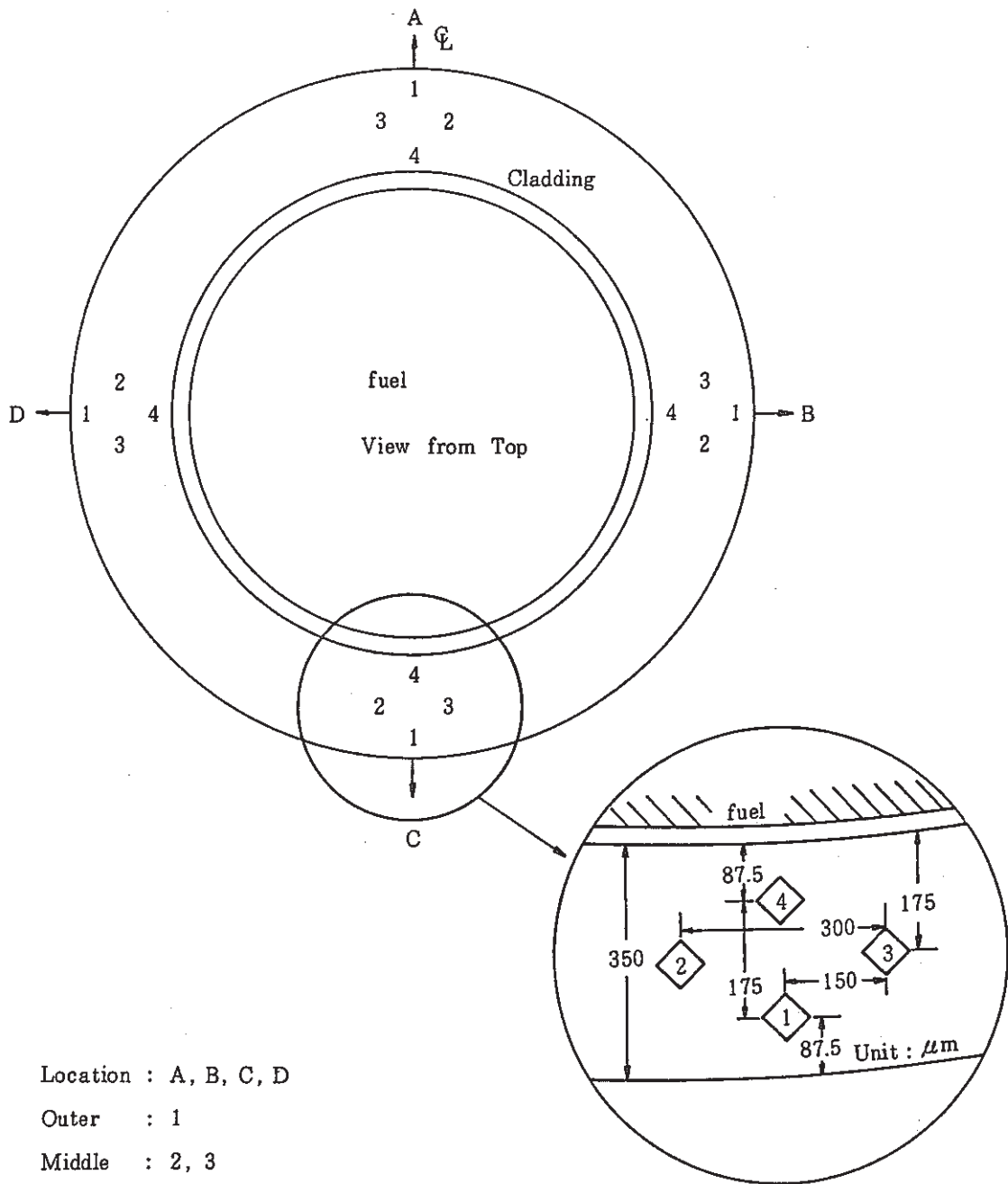


Table 5 Summary of cladding microhardness measurement of JOYO MK-I PPJDIJ No 7246 pin

Specimen No	724622
D.F.C.B (mm)	269.7
Hardness Hv (0.5)	314
$\Delta$ Hv Hv (0.5)	48
$\Delta$ Hv Rate (%)	18
clad. midwall temp. ( $^{\circ}$ C)	445
fluence ( $\times 10^{22}$ n/cm $^2$ )	3.15

Cladding Lot No : S018

Unirrad. hardness : HV 266

 $\Delta$ Hv = Hardness - Unirrad. hardness $\Delta$ Hv Rate =  $\Delta$ Hv / Hardness  $\times$  100

Table 6 Cladding microhardness of JOYO MK-I PPJDIJ No 7246 pin

S/A NAME	PPJDIJ	PIN No.	7246		
SPECIMEN No.	724622				
D.F.C.B.	269.7 (mm)	D.F.P.B.	731.7 (mm)		
LOCATION	OUTER	MIDDLE		INNER	AVERAGE
	1	2	3	4	
A	315	318	315	320	317
B	315	315	307	315	313
C	307	307	315	307	309
D	324	324	318	303	317
RING AVERAGE	315	316	314	311	314

Table 7 Summary of burnup measurement by Nd-method for PPJDLJ

Pin No.	Sample No.	Distance from core fuel bottom <sup>1)</sup> (mm)	Pu content <sup>2)</sup> (atom %)	Burnup (atom %)	
				Calculated <sup>3)</sup>	Measured <sup>4)</sup>
7201	720122	269.6 ~ 274.7	17.258	2.42	2.50
7246	724623	270.0 ~ 275.1	17.279	2.92	2.94
7291	729122	269.7 ~ 274.9	17.230	3.42	3.33

1) Distance from Pin bottom-462 (mm)

2)  $\text{Pu}/(\text{Pu} + \text{U}) \times 100$

3) Calculated by JYHIST code

4) Measured by  $^{148}\text{Nd}$  monitor method

Table 8 Calculation of effective fission yield for 724623 sample

Nuclide	Composition (Atom Fraction)	Fission Cross Section [ barn ]	Nd-148		Nd-146		Nd-145	
			Fission Yield [ % ]	Fractional Fission Yield	Fission Yield [ % ]	Fractional Fission Yield	Fission Yield [ % ]	Fractional Fission Yield
U 233	nd	- <sup>1)</sup>	1.14 <sup>2)</sup>	-	3.20 <sup>2)</sup>	-	4.10 <sup>2)</sup>	-
U 234	0.001087	- <sup>1)</sup>	1.44 <sup>2)</sup>	-	3.08 <sup>2)</sup>	-	4.00 <sup>2)</sup>	-
U 235	0.180083	1.78E+00 <sup>1)</sup>	1.68 <sup>3)</sup>	0.876	2.94 <sup>3)</sup>	1.533	3.75 <sup>4)</sup>	1.961
U 236	0.005157	1.34E-01 <sup>1)</sup>	1.81 <sup>2)</sup>	0.002	3.06 <sup>2)</sup>	0.003	3.77 <sup>2)</sup>	0.004
U 238	0.640885	5.02E-02 <sup>1)</sup>	2.08 <sup>3)</sup>	0.126	3.40 <sup>3)</sup>	0.205	3.50 <sup>2)</sup>	0.212
Pu238	0.000220	- <sup>1)</sup>	1.76 <sup>2)</sup>	-	2.79 <sup>2)</sup>	-	3.24 <sup>2)</sup>	-
Pu239	0.132106	1.76E+00 <sup>1)</sup>	1.65 <sup>3)</sup>	0.821	2.46 <sup>3)</sup>	0.926	3.01 <sup>3)</sup>	1.133
Pu240	0.036118	4.65E-01 <sup>1)</sup>	1.84 <sup>2)</sup>	0.050	2.83 <sup>2)</sup>	0.077	3.34 <sup>2)</sup>	0.091
Pu241	0.003278	2.36E+00 <sup>1)</sup>	1.94 <sup>2)</sup>	0.024	3.01 <sup>2)</sup>	0.038	3.52 <sup>2)</sup>	0.044
Pu242	0.001086	3.50E-01 <sup>1)</sup>	2.04 <sup>2)</sup>	0.001	3.10 <sup>2)</sup>	0.002	3.70 <sup>2)</sup>	0.002
Effective Fission Yield [ % ]			1.70		2.79		3.45	

Note; nd=not detected

Fractional Fission Yield=(AF)(CS)(FY)/SUM(AF)(CS)

AF:atom fraction of U and Pu(PIE data) CS:fission cross

FY:fission yield

Effective Fission yield=SUM(Fractional Fission yield)

1)SMART code

2)TRG-2143-R

3)ICP-1050-1

4)AERE-R-8753



Table 9 Composition of spike solution and natural Neodymium

スパイク液中の原子数 (atoms/ml)	U 233	$4.3914 \times 10^{18}$	S 3 ※
	Pu 242	$7.9674 \times 10^{17}$	A 242
	Nd 150	$7.1740 \times 10^{15}$	A 50
天然ネオジムの同位体比	Nd 142 / Nd 150	4.824980	C 42 / 50
	Nd 145 / Nd 150	1.472180	C 45 / 50
	Nd 146 / Nd 150	3.050830	C 46 / 50
	Nd 148 / Nd 150	1.021325	C 48 / 50
ネオジムスパイクの 同位体比	Nd 142 / Nd 150	0.008937	S 42 / 50
	Nd 145 / Nd 150	0.004336	S 45 / 50
	Nd 146 / Nd 150	0.009122	S 46 / 50
	Nd 148 / Nd 150	0.007046	S 48 / 50
ウランスパイクの 同位体比	U 234 / U 233	0.014108	S 43
	U 235 / U 233	0.000401	S 53
	U 238 / U 233	0.006410	S 83
プルトニウムスパイクの 同位体比	Pu 239 / Pu 242	0.001309	S 92
	Pu 240 / Pu 242	0.013696	S 02
	Pu 241 / Pu 242	0.000859	S 12

※ 計算コードで使用する記号

Table 10 Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD1J, 720122 sample

S/A NO.(FAB) ; PPJD1J	PIN NO.(PIE) ; 7201
SAMPLE NO. ; 720122	SAMPLE POSITION ; 269.6~274.7 (mm)*

VOLUME RATIO OF SPIKE SOLUTION TO SAMPLE SOLUTION ; 0.500

ISOTOPIC RATIO OF U,Pu,Nd IN (a)SAMPLE AND (b)SAMPLE-SPIKE MIXTURE ;

[ U233/238]	[ U234/238]	[ U235/238]	[ U236/238]		
nd	0.001666	0.283000	0.007993	-(a)	
0.041034	0.002140	0.282745	0.007989	-(b)	
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]		
0.001634	0.273390	0.024905	0.008020	-(a)	
0.001634	0.273845	0.024941	0.044151	-(b)	
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]
0.000336	6.112163	5.495208	4.134801	3.332807	2.018071
nd	5.117753	4.600343	3.457888	2.785894	1.685412

ISOTOPIC COMPOSITION OF U,Pu,Nd IN SAMPLE (atom%) ;

[ U233]	[ U234]	[ U235]	[ U236]	[ U238]		
nd	0.1289	21.8929	0.6183	77.3599		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.1249	76.4551	20.9021	1.9041	0.6138		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
0.0015	27.6651	24.8726	18.7151	15.0851	9.1343	4.5262

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 17.258 / 17.357

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 2.5072E+21

	[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample) ;	1.0947E+18	1.8212E+18	2.2671E+18
EFFECTIVE FISSION YIELD ;	1.70E-02	2.79E-02	3.45E-02
NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**;	6.4392E+19	6.5275E+19	6.5714E+19
BURNUP (atom%)# ;	2.50	2.54	2.55
SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)## ;	24100	24400	24600

NOTE ; nd=not detected

\* Distance from core fuel bottom

\*\* FISSIONS=NUMBER OF Nd/EFFECTIVE FISSION YIELD

# BURNUP=100\*FISSIONS/(TOTAL HEAVY ELEMENT+FISSIONS)

## 1.04 atom% BU=10000 MWD/MTM BU

Table 11 Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJDLJ, 724623 sample

S/R NO.(FAB) ; PPJD1J	PIN NO.(PIE) ; 7246
SAMPLE NO. ; 724623	SAMPLE POSITION ; 270.0~275.1 (mm)*

VOLUME RATIO OF SPIKE SOLUTION TO SAMPLE SOLUTION ; 0.500

ISOTOPIIC RATIO OF U,Pu,Nd IN (a)SAMPLE AND (b)SAMPLE-SPIKE MIXTURE ;

[ U233/238]	[ U234/238]	[ U235/238]	[ U236/238]		
nd	0.001696	0.280991	0.008047	-(a)	
0.040747	0.002166	0.281403	0.008053	-(b)	
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]		
0.001667	0.273400	0.024811	0.008073	-(a)	
0.001667	0.273822	0.024823	0.043945	-(b)	
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]
nd	5.922617	5.316570	4.029461	3.259178	1.986443
nd	5.096565	4.575314	3.464384	2.803573	1.706638

ISOTOPIIC COMPOSITION OF U,Pu,Nd IN SAMPLE (atom%) ;

[ U233]	[ U234]	[ U235]	[ U236]	[ U238]		
nd	0.1314	21.7699	0.6234	77.4753		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.1275	76.4555	20.9029	1.8969	0.6172		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
nd	27.5288	24.7118	18.7292	15.1489	9.2331	4.6481

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 17.279 / 17.377

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 2.5218E+21

NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample)	;	[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
		1.2975E+18	2.1515E+18	2.6522E+18
EFFECTIVE FISSION YIELD	;	1.70E-02	2.79E-02	3.45E-02
NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**	;	7.6321E+19	7.7114E+19	7.6876E+19
BURNUP (atom%)#	;	2.94	2.97	2.96
SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##	;	28200	28500	28400

NOTE ; nd=not detected

- \* Distance from core fuel bottom
- \*\* FISSIONS=NUMBER OF Nd/EFFECTIVE FISSION YIELD
- # BURNUP=100\*FISSIONS/(TOTAL HEAVY ELEMENT+FISSIONS)
- ## 1.04 atom% BU=10000 MWD/MTM BU

Table 12 Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD1J, 729122 sample

S/A NO.(FAB) ; PPJD1J	PIN NO.(PIE) ; 7291
SAMPLE NO. ; 729122	SAMPLE POSITION ; 269.7*274.9 (mm)*

VOLUME RATIO OF SPIKE SOLUTION TO SAMPLE SOLUTION ; 0.500

ISOTOPIC RATIO OF U,Pu,Nd IN (a)SAMPLE AND (b)SAMPLE-SPIKE MIXTURE ;

[ U233/238]	[ U234/238]	[ U235/238]	[ U236/238]		
nd	0.001690	0.277468	0.008641	-(a)	
0.039026	0.002162	0.278223	0.008660	-(b)	
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]		
0.001534	0.275506	0.025028	0.008193	-(a)	
0.001534	0.275953	0.025051	0.042807	-(b)	
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]
0.000934	5.882202	5.281211	4.006655	3.246881	1.979747
nd	5.179256	4.649775	3.525069	2.857152	1.739837
					-(a)
					-(b)

ISOTOPIC COMPOSITION OF U,Pu,Nd IN SAMPLE (atom%) ;

[ U233]	[ U234]	[ U235]	[ U236]	[ U238]		
nd	0.1312	21.5459	0.6710	77.6519		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.1171	76.3207	21.0268	1.9102	0.6253		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
0.0044	27.4900	24.6813	18.7248	15.1740	9.2522	4.6734

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 17.230 / 17.327

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 2.6255E+21

	[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
<u>NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample)</u>	1.5365E+18	2.5534E+18	3.1458E+18
<u>EFFECTIVE FISSION YIELD</u>	1.70E-02	2.79E-02	3.45E-02
<u>NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**</u>	9.0382E+19	9.1520E+19	9.1184E+19
<u>BURNUP (atom%)#</u>	3.33	3.37	3.36
<u>SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##</u>	32000	32400	32300

NOTE ; nd=not detected

\* Distance from core fuel bottom

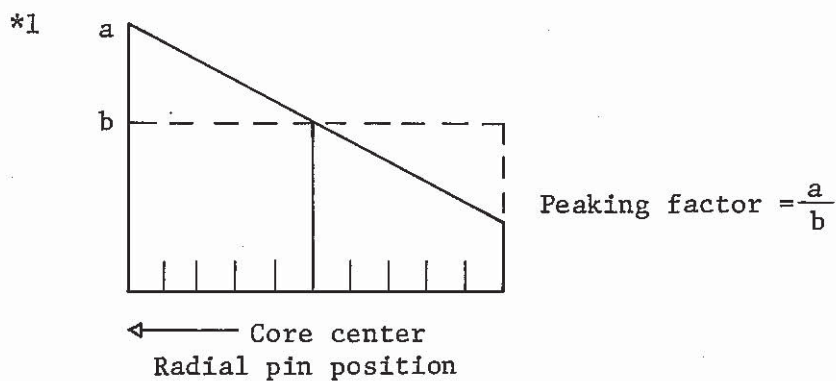
\*\* FISSIONS=NUMBER OF Nd/EFFECTIVE FISSION YIELD

# BURNUP=100\*FISSIONS/(TOTAL HEAVY ELEMENT+FISSIONS)

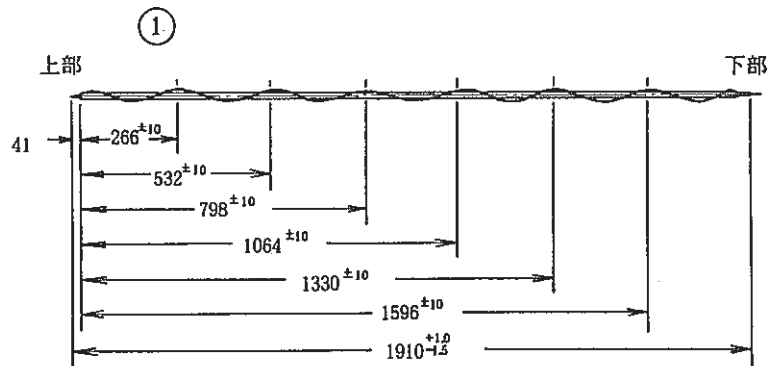
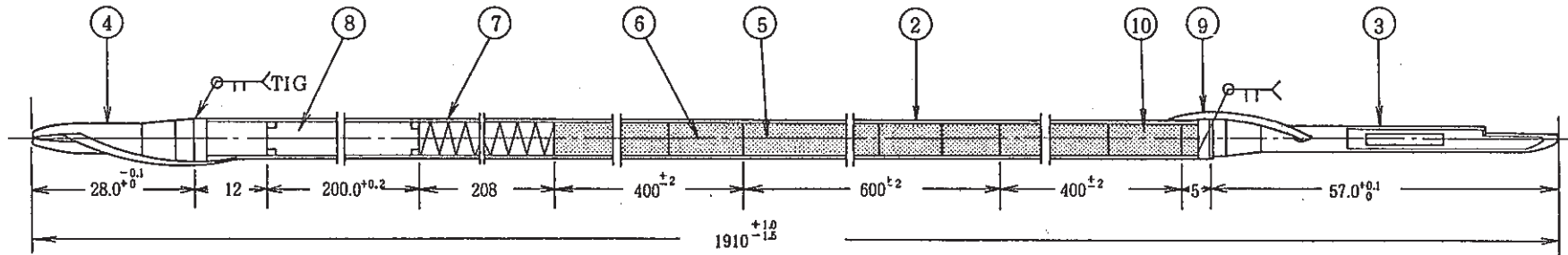
## 1.04 atom% BU=10000 MWD/MTM BU

Table 13 Mismatch between measured and calculated radial peaking factor

Row	Radial Peaking Factor *1		Error (%) Meas. vs Cal.	S/A	
	Calculated	Measured			
1	1.0352	1.0313	- 0.4	PPJX15	
	1.0421	1.0346	- 0.7	PPJX14	
	1.0432	1.0183	- 2.4	PPJDOB	
	1.0341	1.0239	- 1.0	PPJD39	
2	S*2	1.0604	1.0508	- 0.9	PPJX08
		1.0768	1.0626	- 1.3	PPJDOM
	R*2	1.1089	1.0544	- 4.9	PPJX09
		1.1022	1.0537	- 4.4	PPJD2L
3	1.073	1.074	+ 0.1	PPJD2S	
4	1.090	1.102	+ 1.1	PPJD2Y	
5	1.1810	1.1561	- 2.1	PPJD1A	
	1.1884	1.1465	- 3.5	PPJX17	
	1.1712	1.1420	- 2.6	PPJD1J	



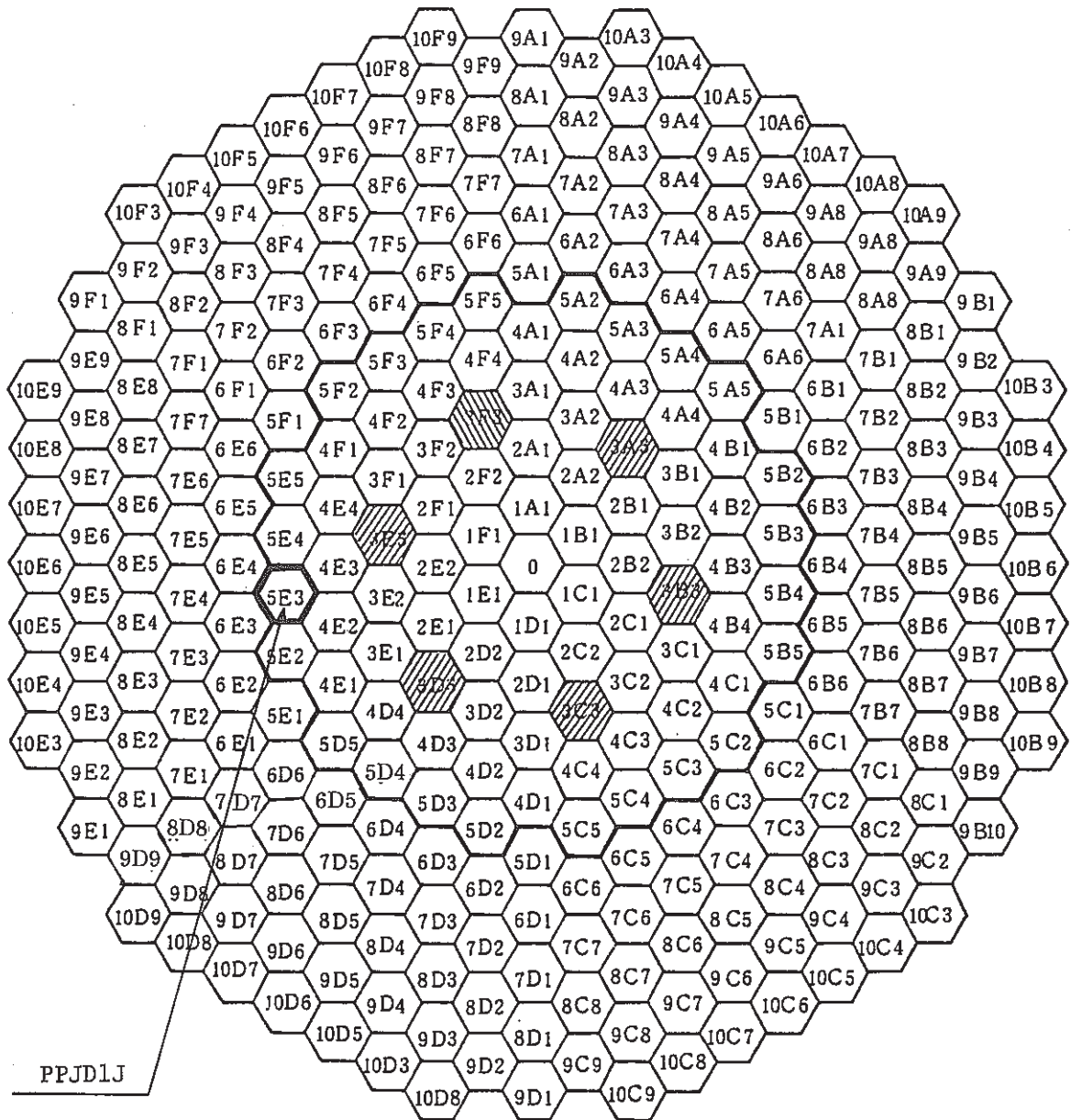
\*2 S : Adjacent to Safety Rod  
R : Adjacent to Regulating Rod



10	JOYO-100-1103 M	下部軸方向ブランケット用ペレット	UO <sub>2</sub>	33	
9	JOYO-100-1201 M	ラッピングワイヤ	SUS316	1	
8	JOYO-100-1205 M	プレナムスリーブ	SUS316	1	
7	JOYO-100-1204 M	スプリング	SUS 631 H= W P C	1	
6	JOYO-100-1101 M	上部軸方向ブランケット用ペレット	UO <sub>2</sub>	33	
5	JOYO-100-1102 M	ペレット (炉心)	PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	60	
4	JOYO-100-1203 M	上部端栓	SUS316	1	
3	JOYO-100-1210 M	下部端栓	SUS316	1	
2	JOYO-100-1208 M	被覆管	SUS316	1	
1		ワイヤラッピング図			
品番	図番	品名	材質	個数	備考

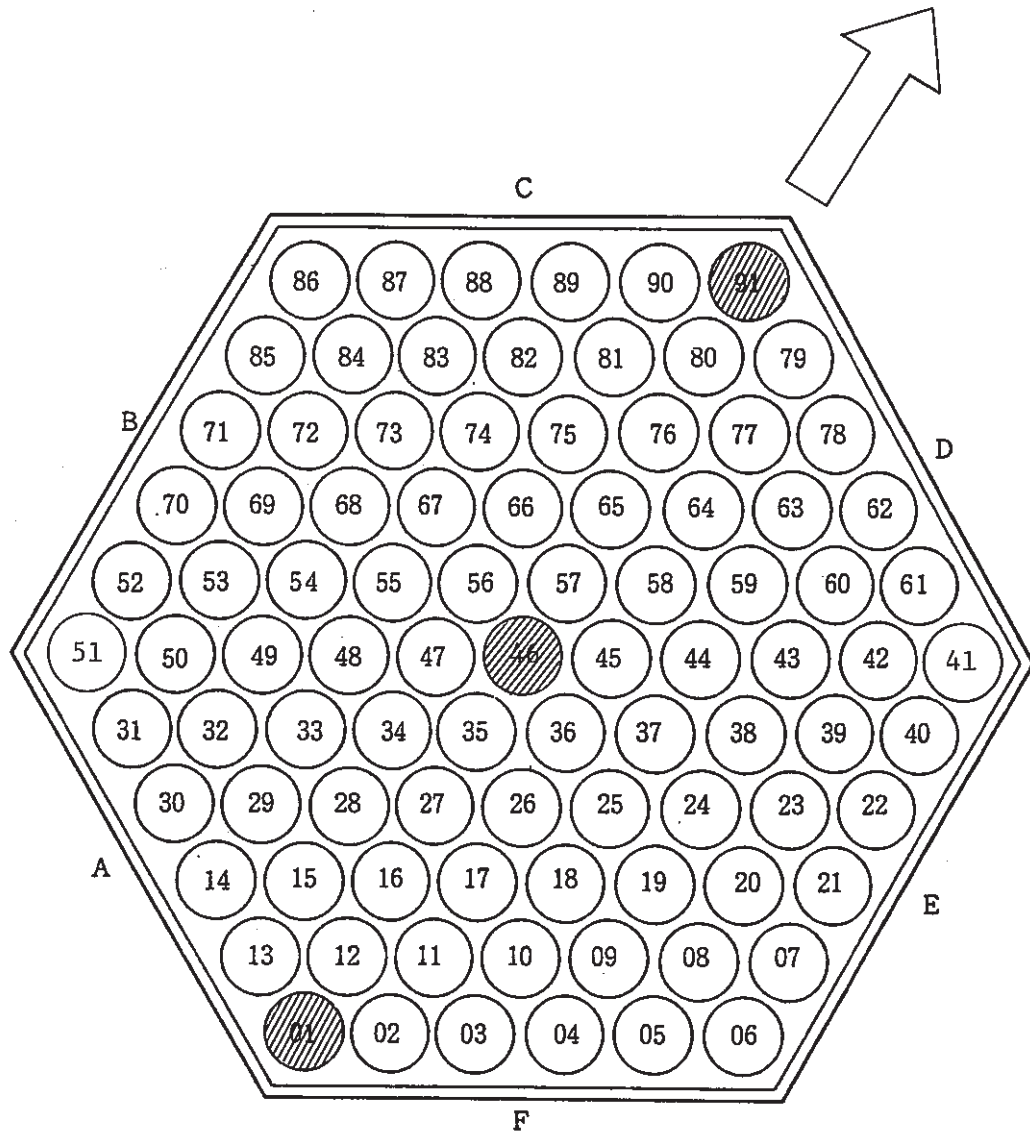
Fig. 1 Schematic drawing of fuel pin

炉内照射位置



注)  : 制御棒

Fig. 2 Irradiation position of PPJD1J subassembly in JOYO MK-I core



注) ← : 炉心方向  
 ● : 試験対象ピン

Fig. 3 Fuel pin position in PPJDIJ subassembly



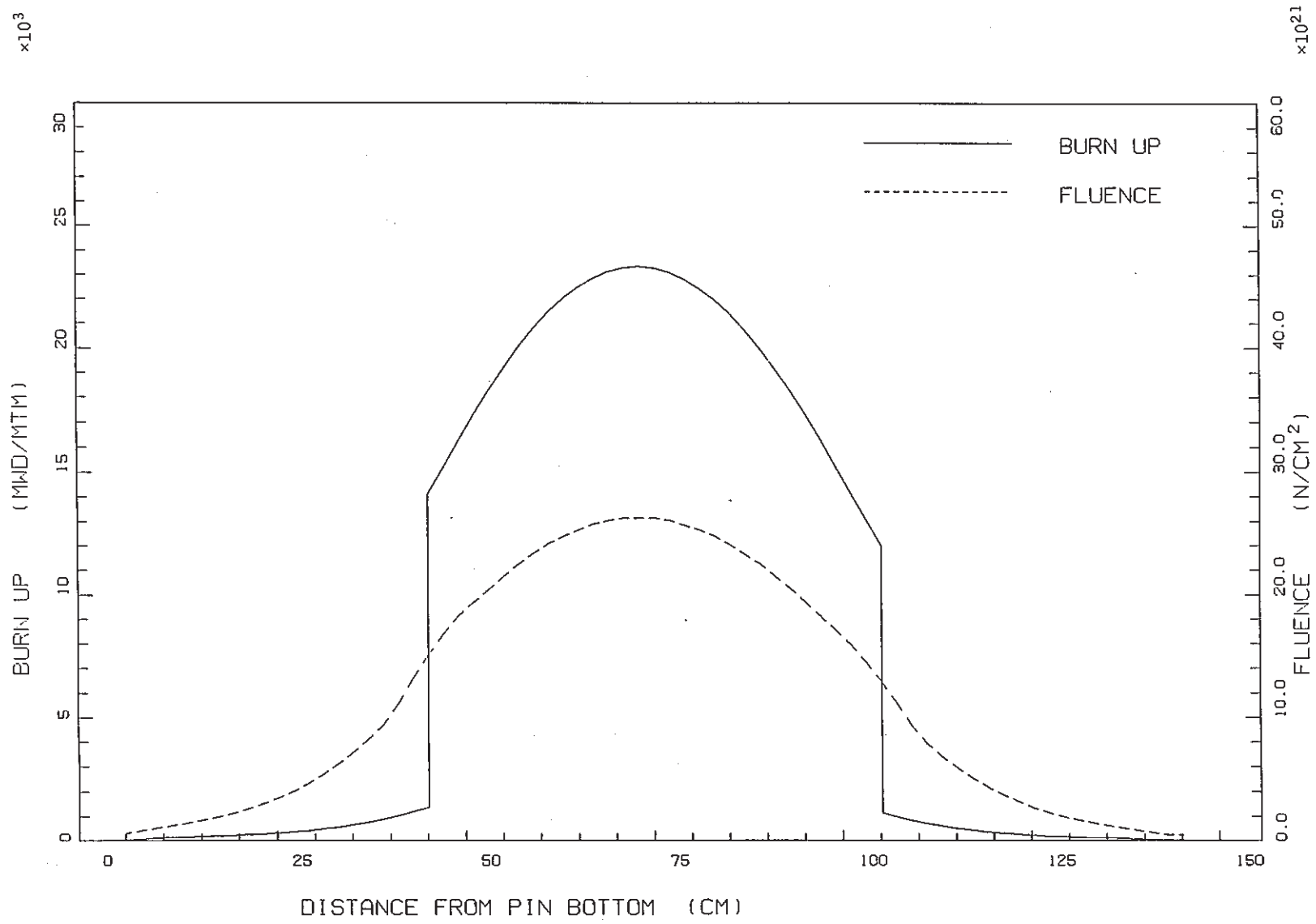


Fig. 4 Burnup and Fluence distribution (7201 pin)

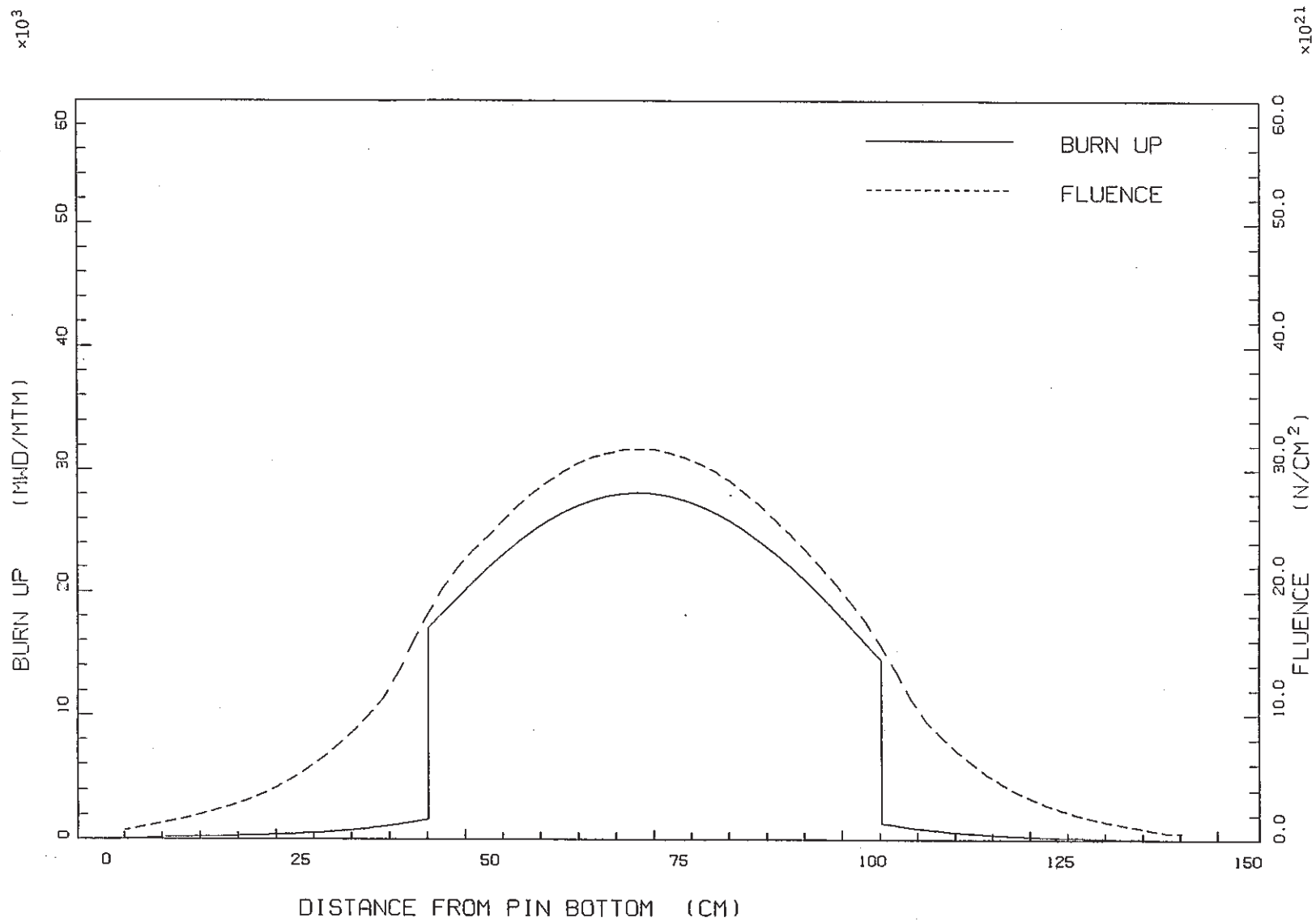


Fig. 5 Burnup and Fluence distribution (7246 pin)

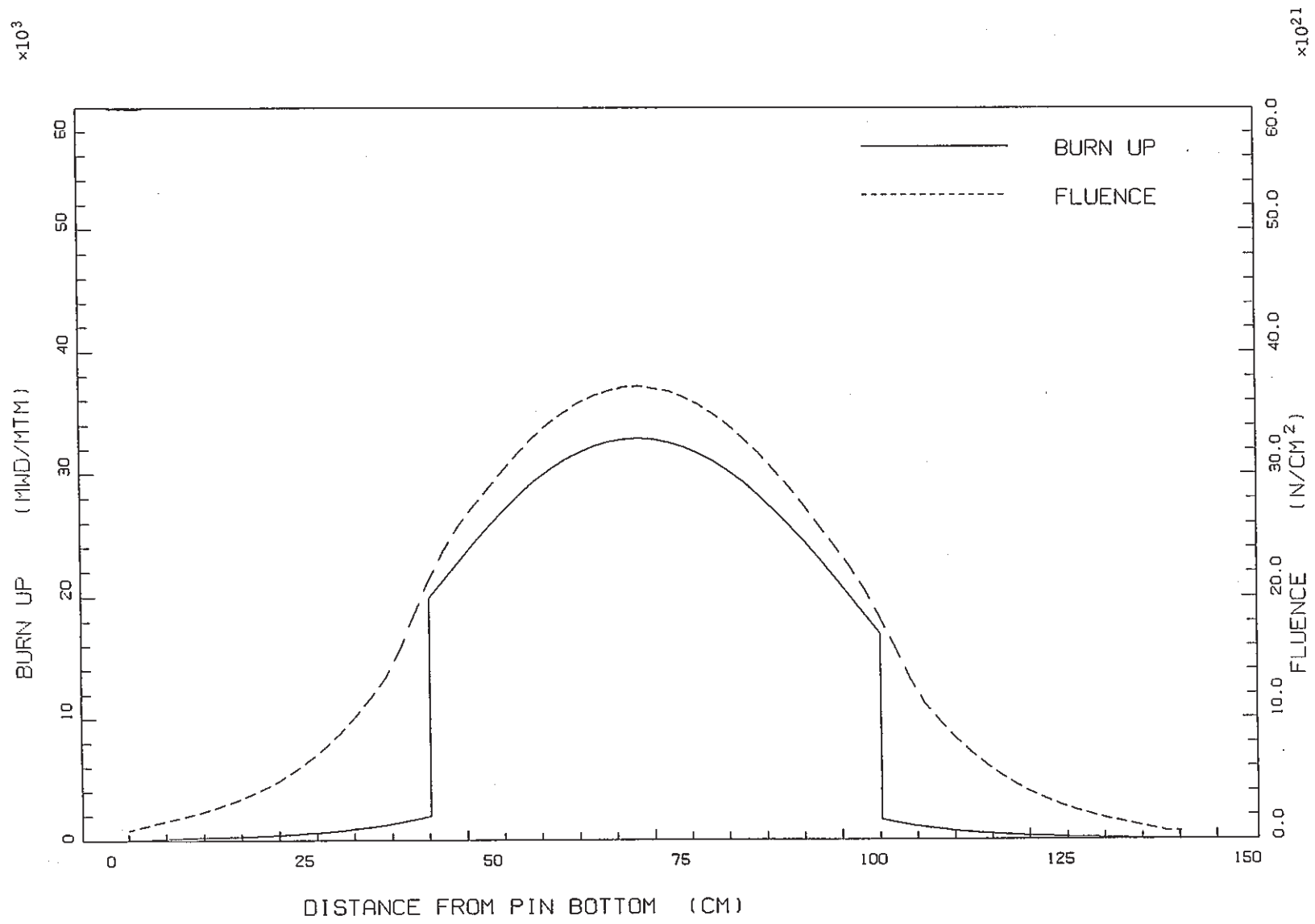


Fig. 6 Burnup and Fluence distribution (7291 pin)

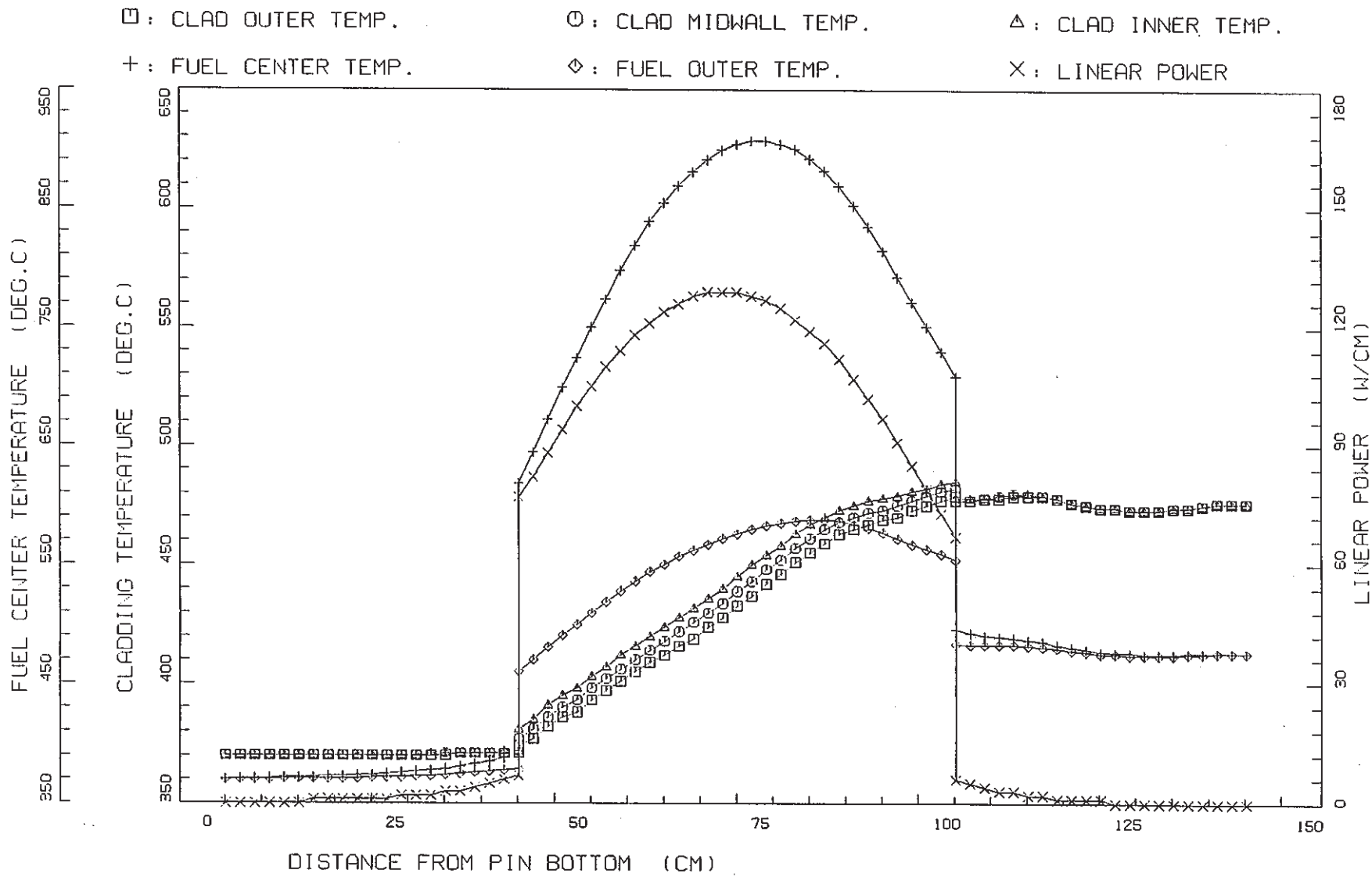


Fig. 7 Temperature and Linear Power distribution (7201 pin)

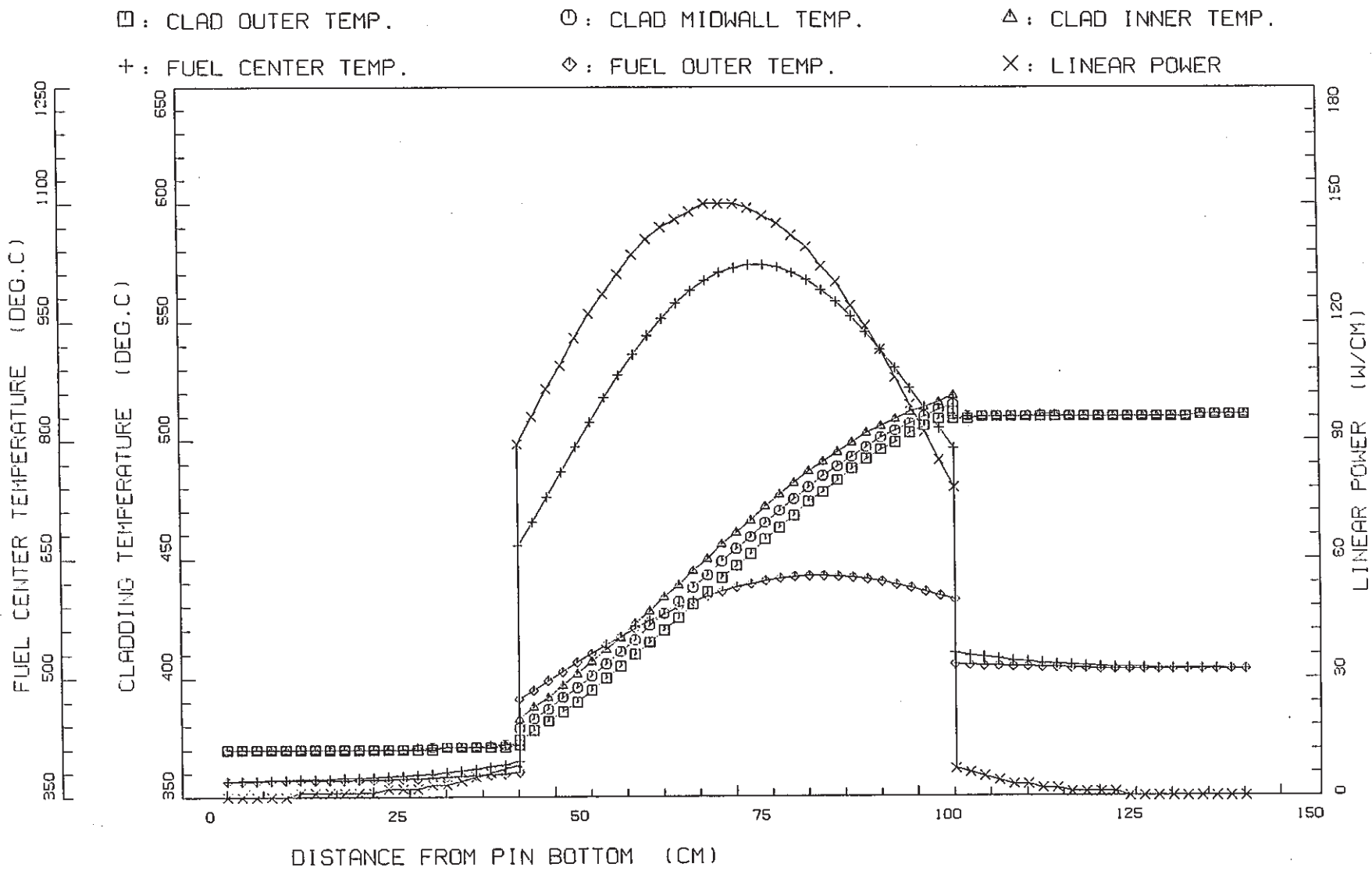


Fig. 8 Temperature and Linear Power distribution (7246 pin)

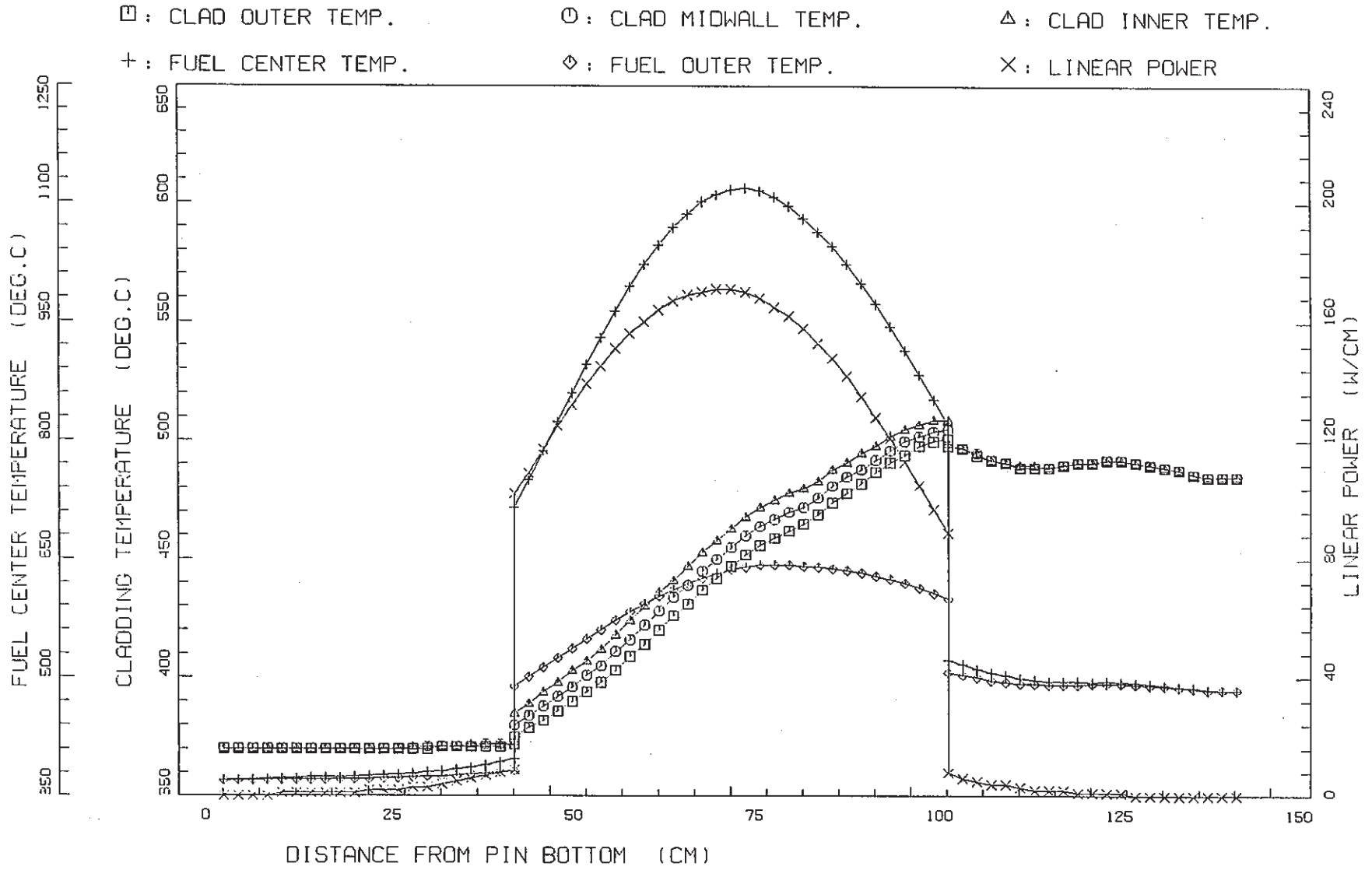


Fig. 9 Temperature and Linear Power distribution (7291 pin)

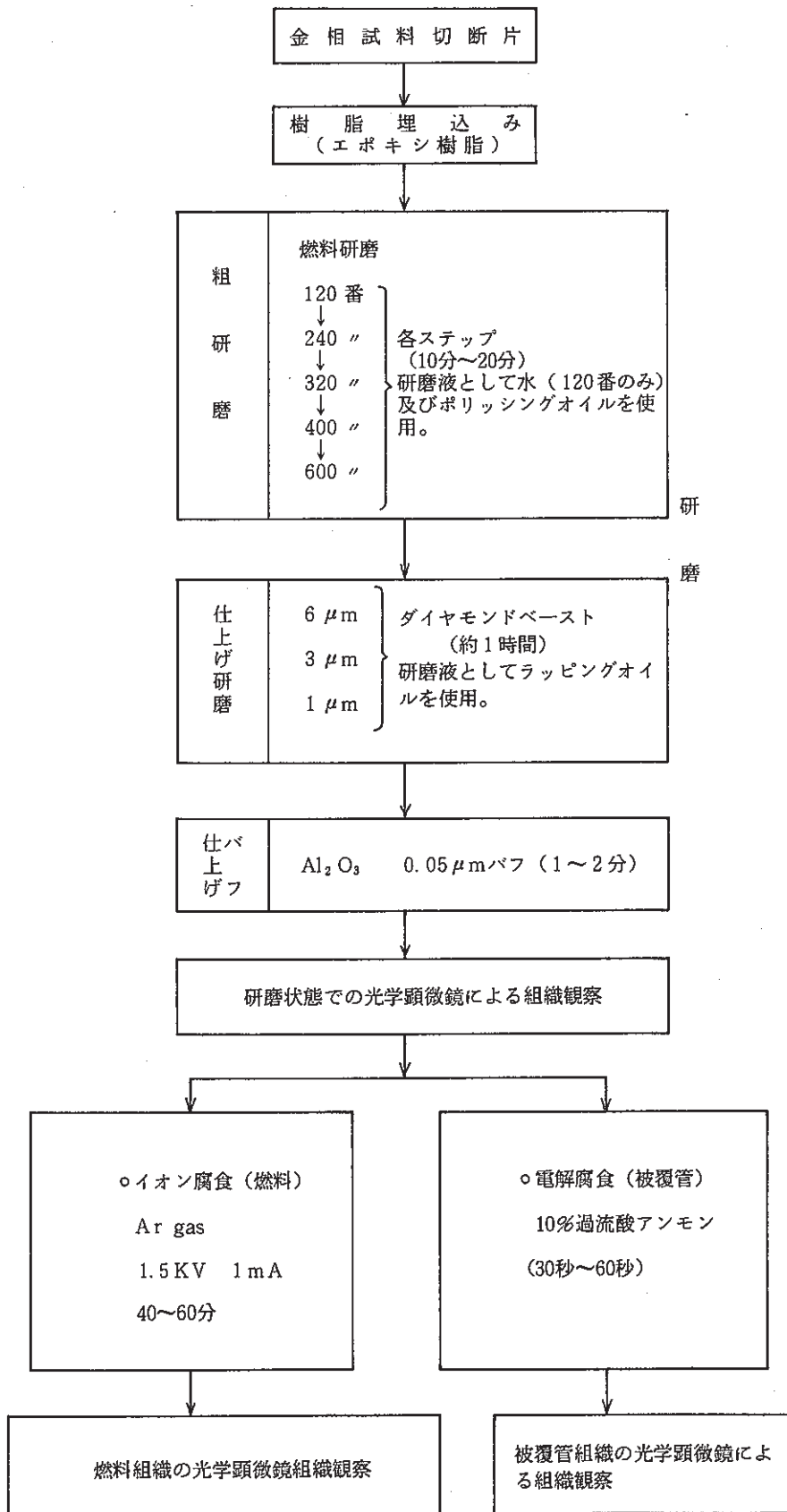


Fig. 10 Flow diagram of metallographic examination in AGS

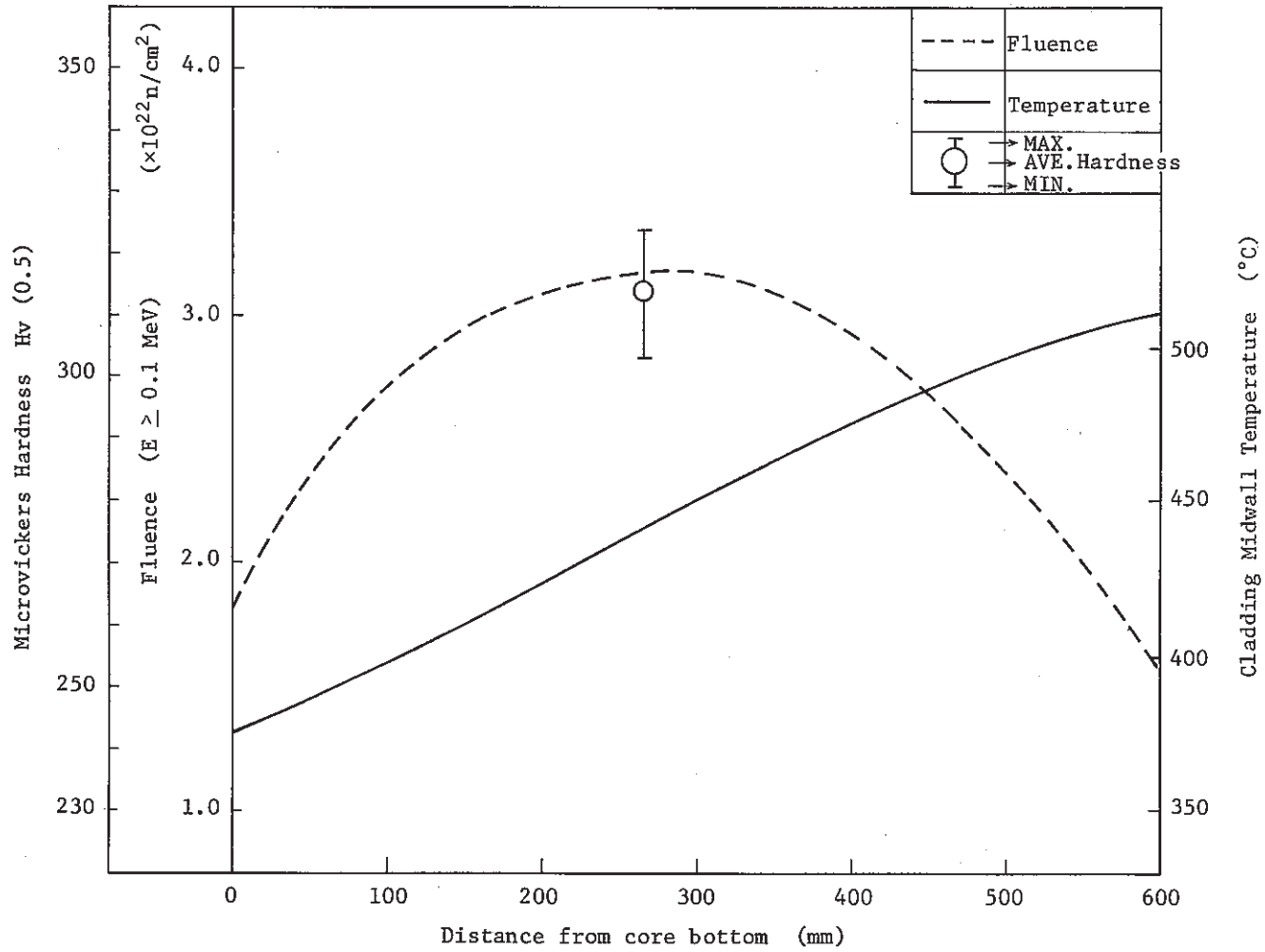


Fig. 11 Relation between hardness, clad. temperature and fluence at various position for JOYO MK-I PPJDLJ 7264 pin



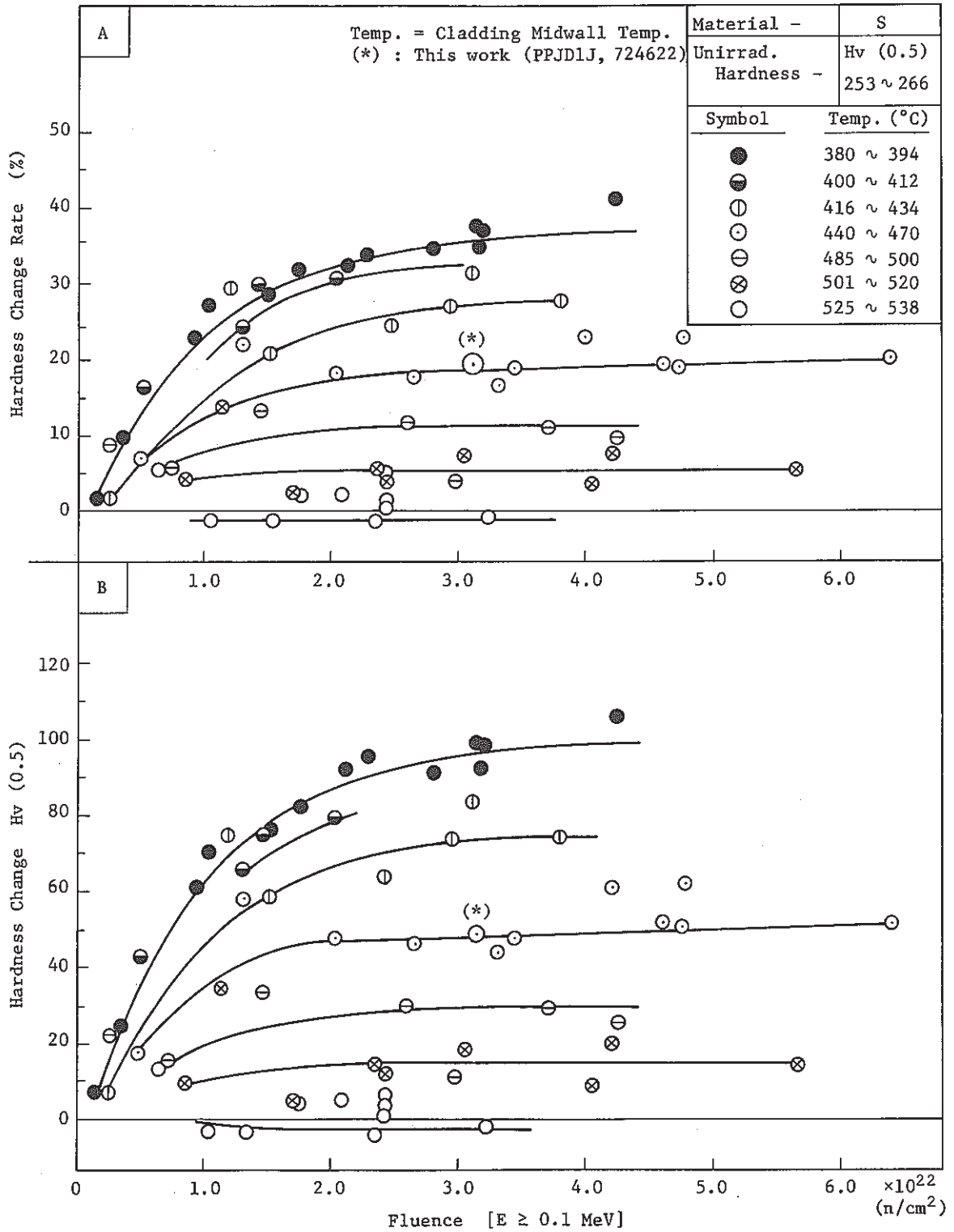


Fig. 12 Relation between hardness, clad. temperature and fluence for JOYO MK-I S/A (Material S)

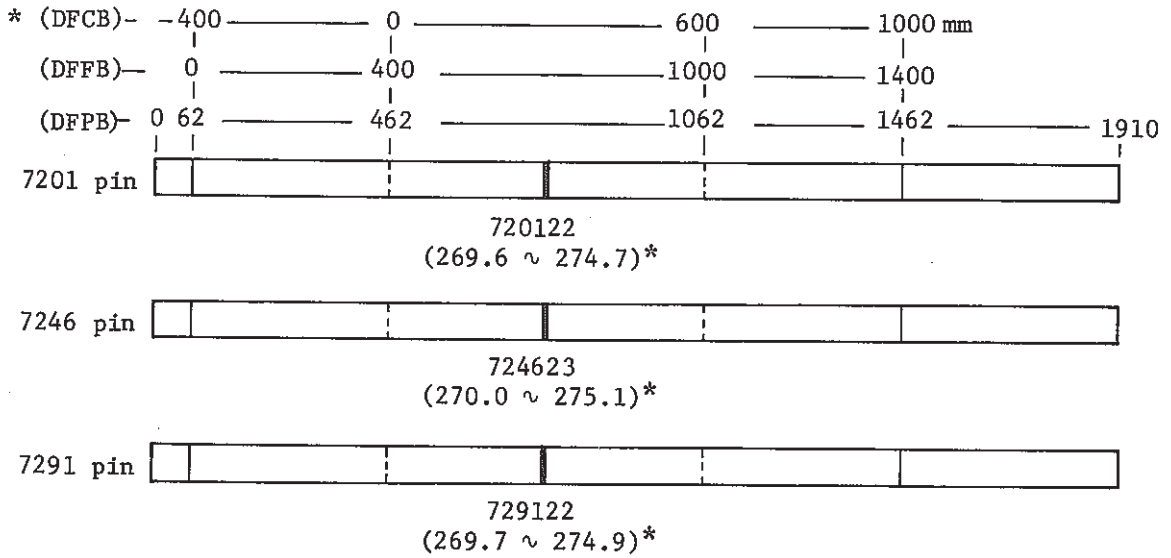
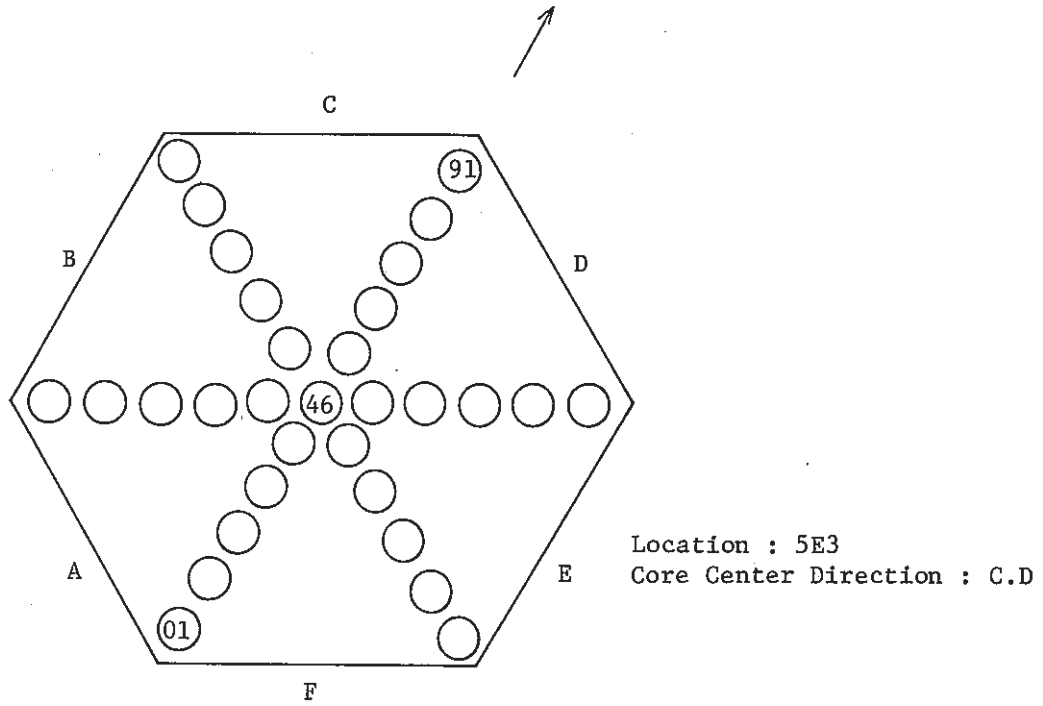


Fig. 13 Cutting diagram of PPJDLJ S/A fuel pins for burnup measurement

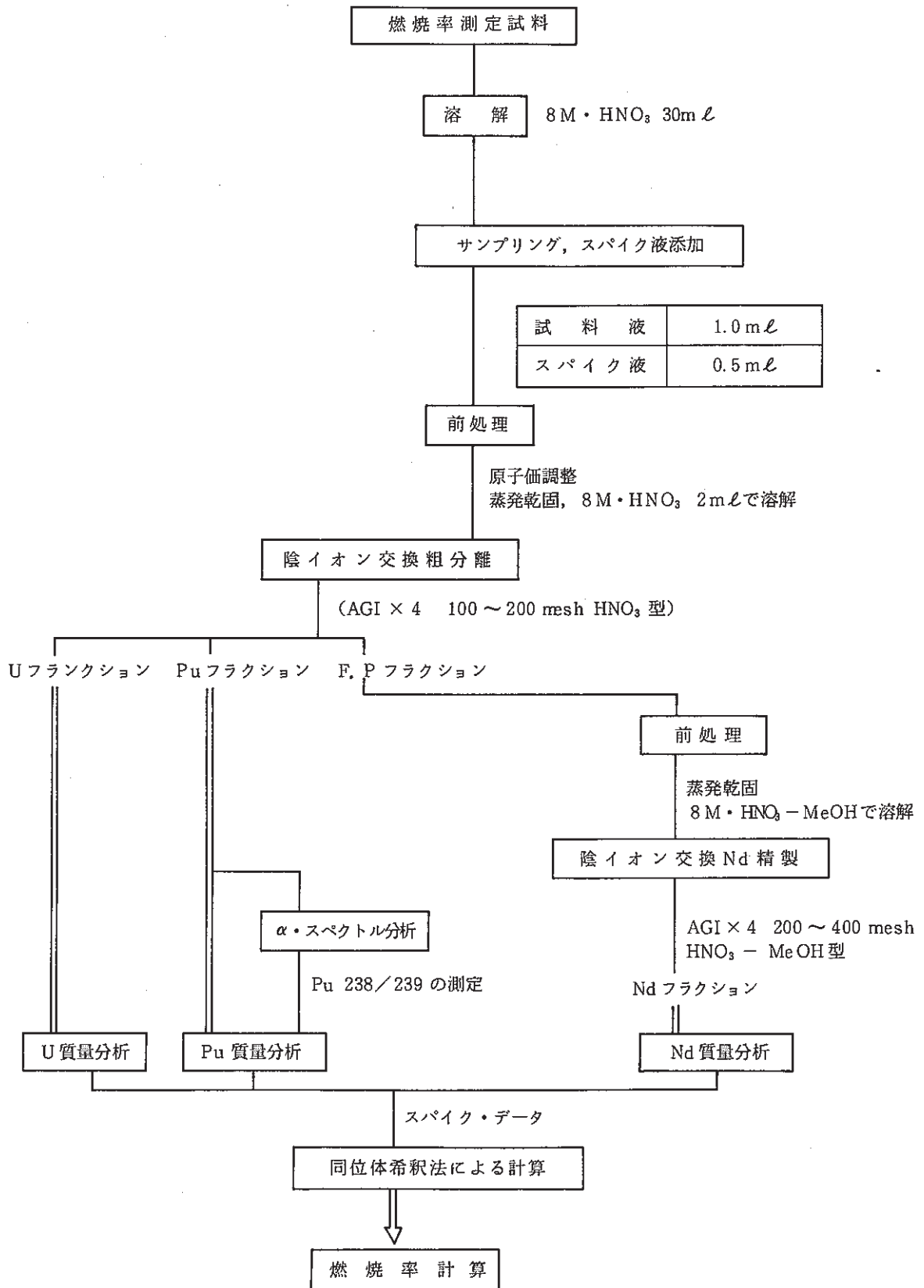


Fig. 14 Specimen preparation process for burnup measurement in AGS

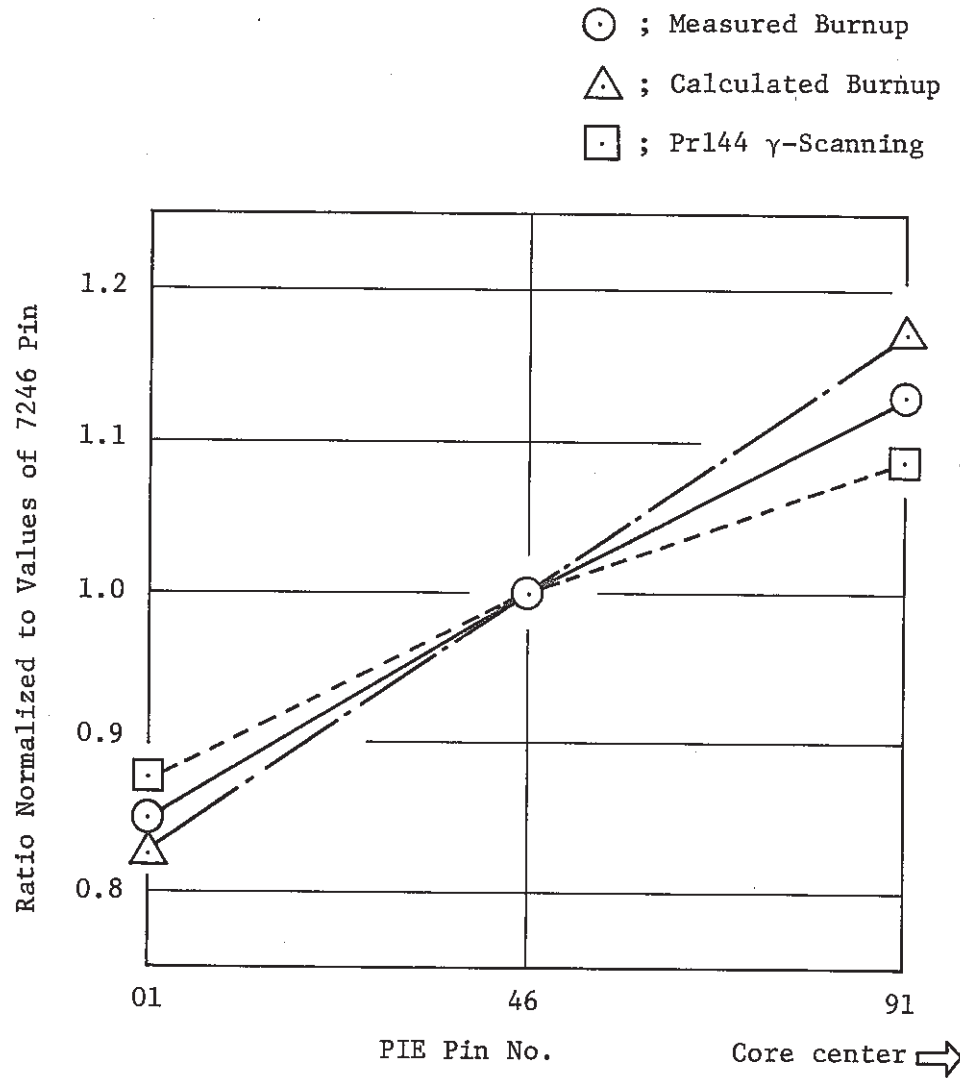
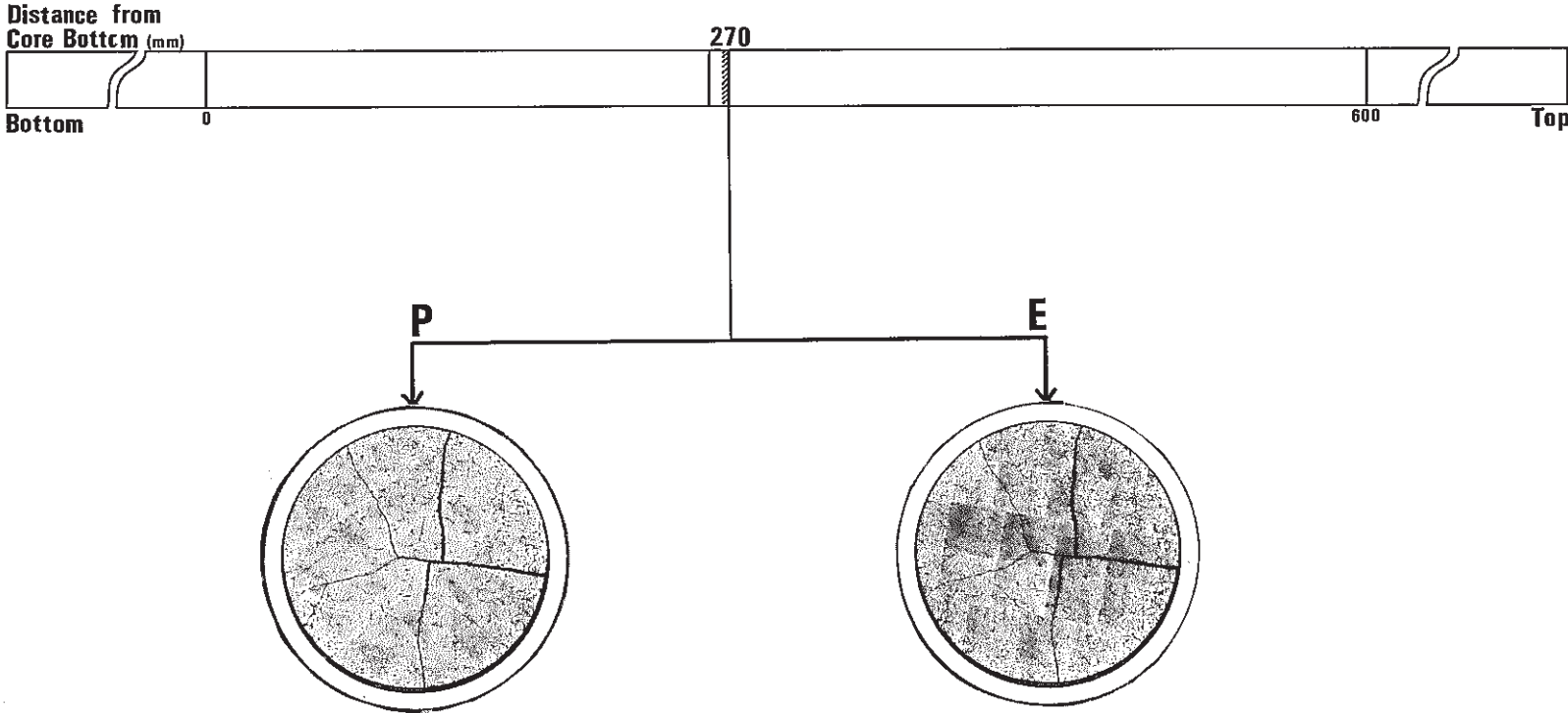


Fig. 15 Burnup radial distribution of PPJD1J

S/A No.	JOYO-PPJD1J
Pin No.	7246
S/A Peak Burn up	32900MWD/MTM

As polished  
etched

PNC-TN9410 87-197



**724622**

Photo 1 Macrography of JOYO-PPJD1J core fuel (7246 pin)

S/A Name	<b>JOYO-PPJD1J</b>	
Pin No.	<b>7246</b>	
Section No.	<b>724622</b>	
Distance from bottom of pin		<b>732mm</b>
Distance from bottom of fuel column		<b>270mm</b>

As polished

1mm

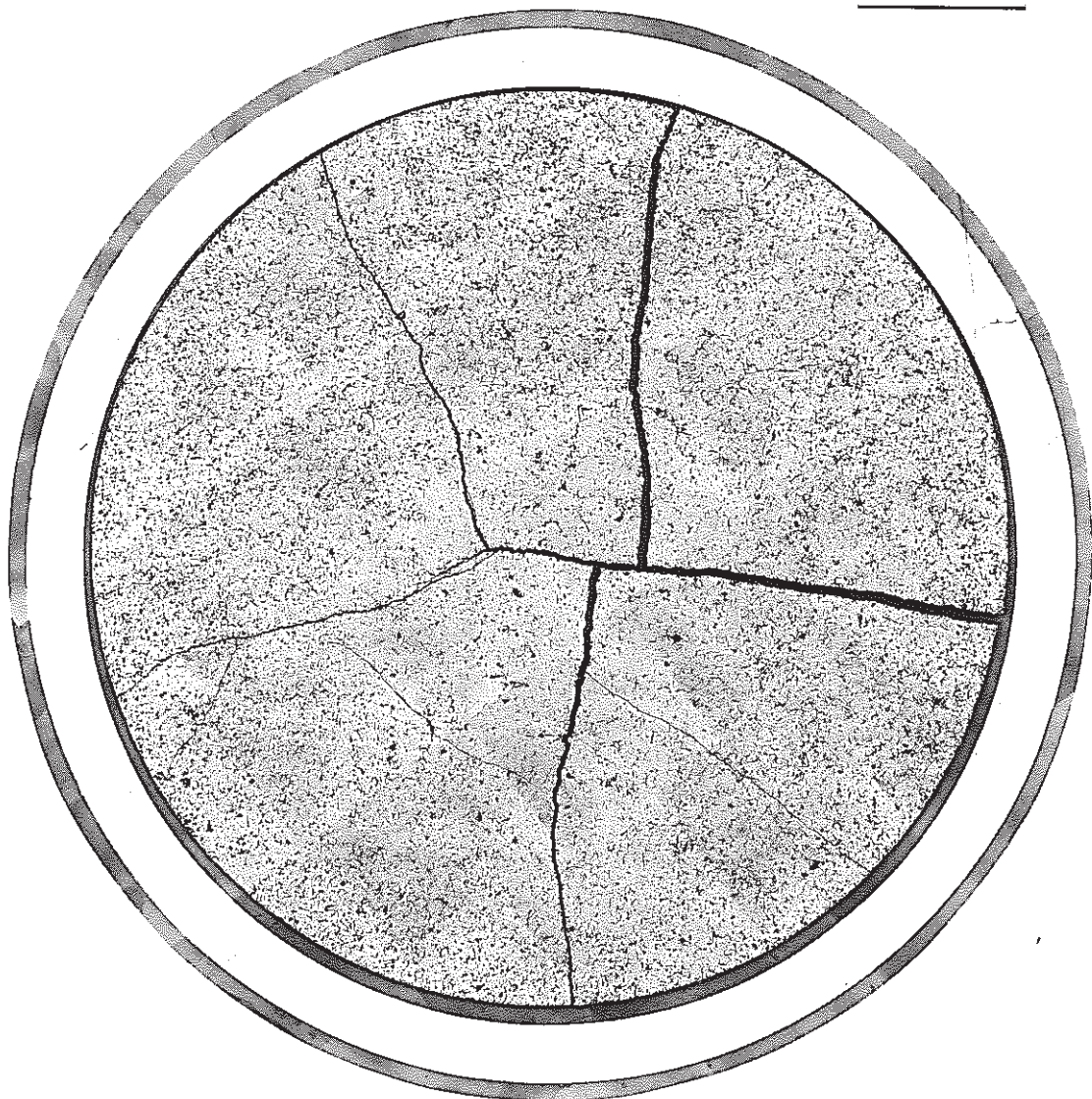
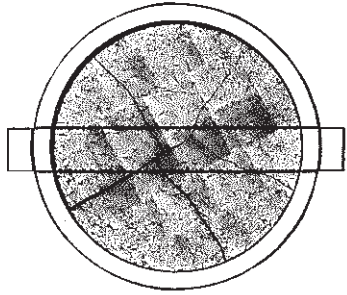


Photo 2 Postirradiation ceramography of JOYO-PPJD1J core fuel (Sample 724622)



S/A Name	<b>JOYO-PPJD1J</b>	
Pin No.	<b>7246</b>	
Section No.	<b>724622</b>	
Distance from bottom of pin		<b>732mm</b>
Distance from bottom of core column		<b>270mm</b>

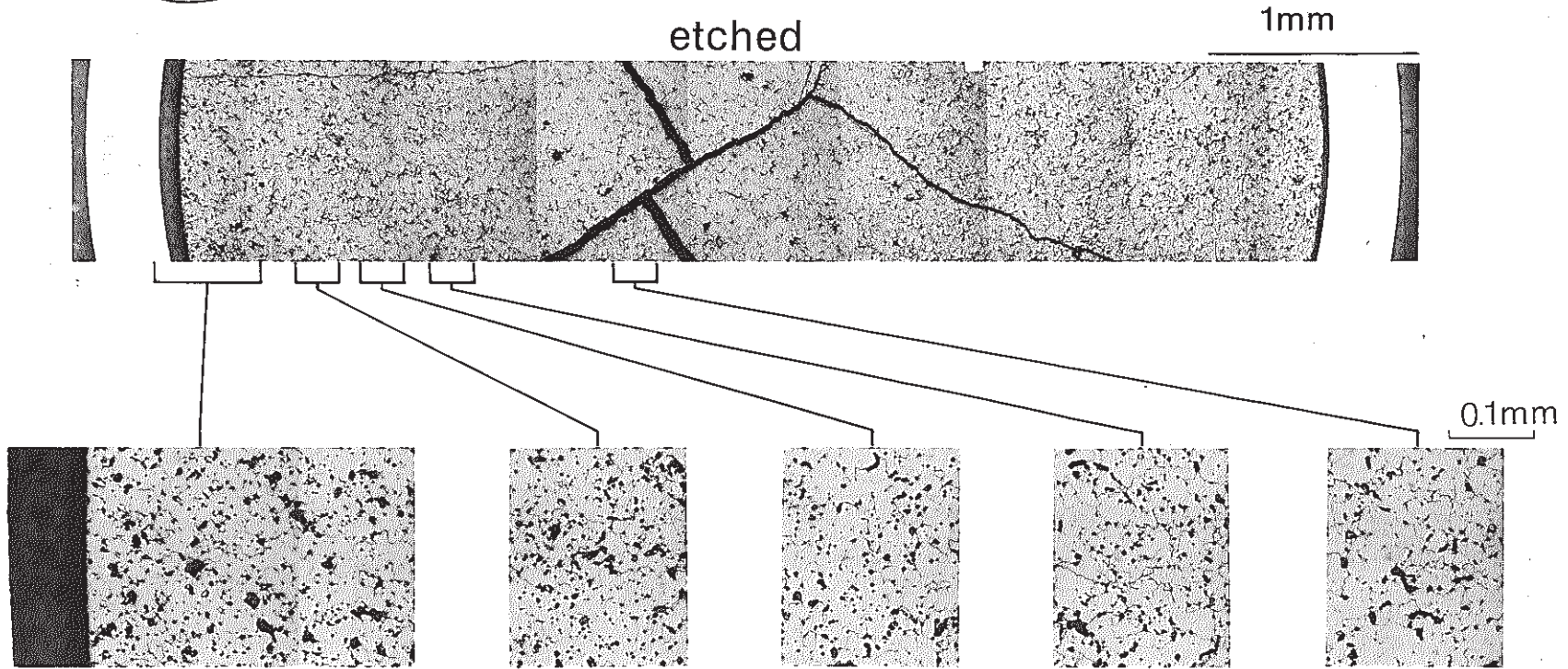


Photo 3 Postirradiation ceramography of JOYO-PPJD1J core fuel (Sample 724622, E)

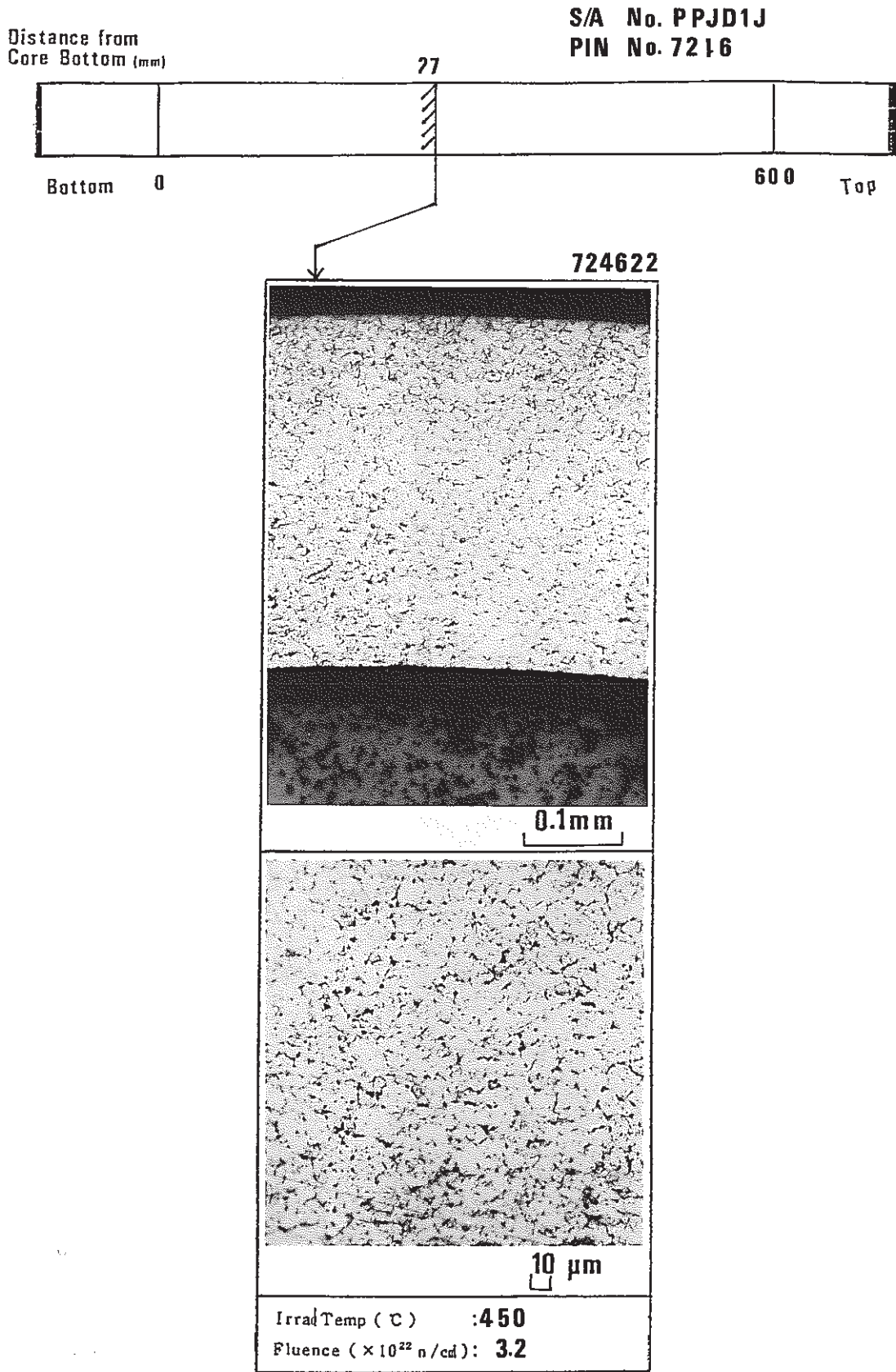


Photo 4 Optical microstructures of the cladding (7246 pin, etched material S)