

# 「常陽」MK-II 炉心燃料集合体(PFD010)の照射後試験(2)

燃料ピンの破壊試験



1986年 2 月

技術資料コード	
開示区分	レポート No.
	PNC TN9410 86-142
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)

1986年2月

## 「常陽」MK-II炉心燃料集合体(PFD010)の照射後試験(2)

## —燃料ピンの破壊試験—

実施責任者\* 山内 勲

報告者\* 滑川卓志, 小部 昭, 桑島幸夫

三次岳志, 富永 功, 乾 俊彦

## 要 旨

「常陽」MK-II炉心燃料集合体PFD010は、100MW出力上昇試験中に照射された集合体であり、平均燃焼度は4,600MWD/MTMである。炉心燃料集合体の照射初期における照射挙動を把握するために、集合体から3本の燃料ピンを選択して、破壊試験（金相試験、被覆管硬さ測定試験及び燃焼率測定試験）を実施し、以下の結果が得られた。

- 1) 集合体中心位置ピンの燃料カラム中央部において、ペレット径方向で中心から順番にガスバブル領域、高密度化領域、不変化領域が観察されたが、柱状晶領域及び中心空孔は観察されなかった。またこのガスバブル領域内でクラックヒーリングが認められた。
- 2) 燃料-被覆管の残留ギャップ寸法は、出力分布に対応して変化しており、最大出力部で製造時の約60%まで減少していた。
- 3) 最高温部の燃料カラム上端部の被覆管組織で、結晶粒界に多くの析出物が認められ、特に内面側では顕著であった。また、FCCIは観察されなかった。
- 4) 測定試料の照射範囲〔中性子照射量  $0.3 \sim 0.7 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ ,  $E \geq 0.1 \text{ MeV}$  被覆管肉厚中心温度  $379 \sim 574^\circ\text{C}$ 〕で、被覆管の硬さとして最大約20%の硬化が認められた。
- 5) 集合体中心位置ピンの燃料カラム中央部において、燃焼率は0.602 atom% (5,060 MWD/MTM)であり、軸方向での燃焼率分布のプロフィールはMK-I炉心に比べて中央部付近の偏平化が目立つ形になっていた。

---

\*大洗工学センター 燃料材料開発部 照射燃料試験室

## 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 被覆管硬さ測定試験 .....	4
4.2.1 測定方法 .....	4
4.2.2 測定結果 .....	4
4.3 燃焼率測定試験 .....	5
4.3.1 試料調製方法 .....	5
4.3.2 測定結果 .....	5
5. 結 論 .....	6



## 1. ま え が き

「常陽」MK-II炉心燃料集合体 PFD 010は、炉内位置2B1で100MW出力上昇サイクル期間中に照射された集合体であり、集合体の平均燃焼度は約4600MWD/MTMである。

本集合体は、MK-II炉心燃料集合体のうちで最初に照射後試験に供されたものである。

照射後試験の目的は、1)MK-II炉心の核特性の把握、及び2)照射初期における燃料の熱的特性の把握である。

照射燃料試験室(AGS)で、燃料ピンの破壊試験を実施し、試験が終了したのでその結果を報告する。

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.6364 pin, K社製被覆管)
- (2)高出力コーナーピン(No.63C1 pin, " )
- (3)低出力コーナーピン(No.6307 pin, " )

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

PFD010 集合体中の本照射後試験に供された燃料ピンを Fig. 2-1 に示し、またその仕様を Table 2-1 に示す。

## 3. 照 射 条 件

本集合体の炉心装荷位置を Fig. 3-1 に示す。又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. 3-2 に示す。さらに集合体の照射条件を以下に記する。

- ① 燃焼度 ( 集合体平均, MAGIコード計算値 ) 4600 MWD/MTM  
( ペレット最大, MAGIコード計算値 ) 5900 MWD/MTM
- ② 照射サイクル 100 MW出力上昇サイクル
- ③ 集合体ピークフルエンス (  $E \geq 0.1$  MEV )  $1.04 \times 10^{22}$  nvt
- ④ ピーク線出力 ( MAGIコード計算値 ) 344 W/cm
- ⑤ 照射位置 2B1

試験に供した各燃料ピンの燃焼度分布, 線出力分布, 温度分布及び中性子照射量分布について燃材部MK-II照射情報検索システムの出力結果を Fig. 3-3 ~ Fig. 3-11 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. 4-1-1 に示す。また金相試験の実施内容を Table 4-1-1 に示す。

#### 4.1.2 試験結果

Photo 1～2 に、6364 ピンの断面マクロ写真を示す。また各試料断面の×86, ×100, ×400 の as Polished 及び etched 状態における顕微鏡写真を Photo 3～30 に示す。また、Table 4-1-2 に同試料の切断位置及び照射履歴を示す。

##### (1) 燃料組織

試料 No. 636423, No. 636442, No. 636473, No. 6364A3 については、燃料中央部にガスバブル領域その外側に高密度化領域及び最外周部に不変化領域が存在する。No. 636473 (D.F.C.B.\* 250mm, 316W/cm) のガスバブル領域において結晶粒の径方向への伸長が観察されるが、柱状晶までには成長しておらず中心空孔も見られない。No. 6364C3 (D.F.C.B. 535mm, 162W/cm) は、結晶粒成長及びボイド移動等に顕著な変化が認められずペレット組織は、全般に製造時に近い様相を呈している。以上の結果を Table 4-1-2 に示す。

また燃料ペレットの各組織領域径 (R) と燃料外径 (R<sub>o</sub>) との比 (R/R<sub>o</sub>) のピン軸方向依存及び線出力依存を Fig. 4-1-2～Fig. 4-1-4 に示す。また、比較のため MK-I の最高線出力集合体である PPJX13 の値を図中に併記する。各領域径は炉心中心部近辺で大きくなる傾向にあり、また線出力の増大により各領域径が増加する傾向がみられる。

##### (2) クラックの観察

試料 No. 636442 (D.F.C.B. 125mm, 283W/cm), No. 636473 (D.F.C.B. 250mm, 316W/cm), No. 6364A3 (D.F.C.B. 435mm, 246W/cm) には、半径方向及び周方向クラックが入っておりガスバブル領域内においてクラックヒーリングが認められる。

No. 636423 (D.F.C.B. 25mm, 226W/cm) 及び No. 6364C3 (D.F.C.B. 535mm, 162W/cm) は、半径方向クラックが観察されるがクラックヒーリングは認められない。

##### (3) ギャップ寸法の観察

各試料位置でのギャップ寸法 (直径ギャップの平均値) の測定値を Table 4-1-2 に

\* D.F.C.B : Distance from Core Bottom, 炉心下端からの距離

示す。また、残留ギャップ寸法 ( $r$ ) と製造時のギャップ寸法 ( $r_0$ ) との比  $r/r_0$  の線出力依存性を Fig. 4-1-5 に示す。線出力の増大によりギャップ寸法は減少する傾向がみられ最大出力部 (試料 No. 636473) では、直径方向で  $104 \mu\text{m}$  (製造時の約 60%) と減少している。

#### (4) FCCI の観察

燃料-被覆管の化学的相互作用 (FCCI) は、各試料に観察されず健全であった。

#### (5) 被覆管の組織観察

電解腐食後の組織写真を Photo 31 に示す。

軸方向上端部の試料 No. 6364C3, No. 6364C4 は、結晶粒界に多く炭化物が析出しており、また特に被覆管内表面側に析出が多く観察された。他の試料は、マトリックス中に炭化物が散在しており内面及び外面側とも析出量の変化は見られない。また結晶粒径の測定結果を Table. 4-1-4 に示すが各試料共に ASTM-9.0 であった。

## 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・ビッカース法) により実施した。Table 4-2-1 に測定条件及び横割試料の測定位置を示す。縦割試料の測定位置は Table 4-2-5 ~ 4-2-7 に結果とともに示す。

### 4.2.2 測定結果

ピン軸方向硬さ値は、Table 4-2-2 及び Fig. 4-2-1 に示すように燃料下端より  $125(\text{mm})$  の位置に硬さのピーク (照射前より  $47 (\text{Hv } 500)$  高い) があり、燃料上端では、照射前と同じ程度の硬さ値を示している。

次に、Table 4-2-3 ~ 4-2-7 に示す各測定点の硬さ値では、被覆管の内側の方が外側に比較して高い傾向が見られる。

また、Fig 4-2-2 の A, B に照射前の硬さ値 [ $270 (\text{Hv } 500)$ ] を基準とした時の照射後の硬さ値変化量及び変化率を照射量をパラメータとして示す。この図より、照射温度  $500(^\circ\text{C})$  以下の試料には、照射前より硬さ値で  $30 \sim 50 (\text{Hv } 500)$ 、変化率として  $10 \sim 20 (\%)$  の硬化が認められる。しかし、硬さ値変化と照射量の関係については、パラメータとしての照射量範囲が  $0.3 \sim 0.7 \times 10^{22} (\text{n/cm}^2, F \geq 0.1 \text{ Mev})$  と狭いため明確には得られない。

次に、Fig. 4-2-3 に示す照射温度をパラメータにした場合の硬さ値変化から、照射量  $0.3 \sim 0.7 \times 10^{22} (\text{n/cm}^2)$  における硬さ値変化は、照射温度が高くなるにつれ硬さ値変化 (硬化量) が小さくなっており、 $550(^\circ\text{C})$  以上では照射前と同程度の硬さとなっていることが分かる。

### 4.3 燃焼率測定試験

$^{148}\text{Nd}$ を指標核種として同位体希釈分析により、燃料ピン軸方向の燃焼率分布及び集合体内径方向分布を求めた。

#### 4.3.1 試料調整方法

試料の採取位置をFig.4-3-1に、また試料調製の方法及び手順をFig.4-3-2に示す。

#### 4.3.2 測定結果

得られた測定データをまとめた結果をTable 4-3-1に示す。atom%-MWD/MTMの換算係数は燃料組成分析値とMAGIコードに使用されている核分裂断面積及び核分裂放出エネルギー値から各試料ごとに算出した。Table 4-3-2には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等のデータを示す。またTable 4-3-3に今回の測定で使用した $^{148}\text{Nd}$ ,  $^{146}\text{Nd}$ , 及び $^{145}\text{Nd}$ の実効核分裂収率の計算例を示した。

Table 4-3-4からTable 4-3-10には各試料ごとに、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を示す。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まとめて示す。

次にこのようにして求められた燃焼率の軸方向分布プロファイルをMAGI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たものをFig.4-3-3に示す。同様に集合体の半径方向の燃焼率分布について、 $\gamma$ 線強度と計算値を比較したものをFig.4-3-4に示す。

以上の結果以下のことを確認した。

1. PFD010燃料集合体の中心ピンの燃料軸方向中心位置(試料No.636474)での燃焼率は0.602 atom%(5,060 MWD/MTM)であった。
2. 燃焼率の軸方向分布については、 $\gamma$ スキャンとMAGIコードによる計算値が比較的一致しているのに対し、質量分析による今回の測定値は燃料カラムの下端から約 $\frac{1}{4}$ 及び $\frac{3}{4}$ の位置がいく分高く、かまぼこ状のプロファイルを示しており、MK-I炉心に比べて中央部付近での偏平化が目立つ形になっている。
3. 集合体の径方向の燃焼率分布は、 $^{95}\text{Zr}$ による $\gamma$ 線強度の分布とよく一致している。



## 5. 結 論

「常陽」MK-II炉心燃料集合体の照射初期に於ける照射挙動を把握するため、PFD010炉心燃料集合体から3本の燃料ピンを選択して破壊試験を実施した。試験より以下のことが確認された。

### 1) 金相試験結果

金相試験結果は、集合体中心位置ピン(6364ピン)1本のみを対象に実施した。

- ① 燃料カラム中央部および下端部付近の燃料組織は、ペレット径方向に中心から外側に向って順番に、ガスバブル領域、高密度化領域および不度化領域が観察された。このうち燃料カラム中央部では、ガスバブル領域で結晶粒の径方向への伸長が見られたが、柱状晶および中心空孔はいずれの試料にも観察されなかった。また燃料カラム上端部の燃料組織は、ほぼ製造時に近い様相を示していた。
- ② 燃料カラム上端部及び下端部を除いた中央部付近の燃料ペレットガスバブル領域内で、クラックヒーリングが認められた。
- ③ 燃料-被覆管の残留ギャップ寸法は、出力分布に対応して変化しており、最大出力部で最小値の104 $\mu\text{m}$ (製造時ギャップの約60%)であった。
- ④ 最高温度部の燃料カラム上端部の被覆管組織観察で、結晶粒界に多くの炭化物が析出しており、特に内面側に析出物が多く観察された。その他の位置では、析出物の量的変化は見られなかった。
- ⑤ FCCIは、いずれの金相写真からも観察されなかった。

### 2) 被覆管硬さ測定試験結果

測定試料の中性子照射量範囲( $E \geq 0.1 \text{ MeV}$ で、 $0.3 \sim 0.7 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ )では未照射材の硬さ値に対して、照射温度500 $^{\circ}\text{C}$ 以下の試料では最大で約20%の硬化が認められたが、照射温度が高くなるにつれて硬化量が減少し、550 $^{\circ}\text{C}$ 以上では未照射と同様かそれ以下になっている。

### 3) 燃焼率測定結果

- ① 集合体中心ピンの燃料カラム中央位置での燃焼率は0.602 atom%(5,060MWD/MTM)であった。
- ② 燃焼率の軸方向分布は、燃料カラム下端から約 $\frac{1}{4}$ 及び $\frac{3}{4}$ の位置で実測値が計算値よりいく分高めの値を示しており、MK-I炉心に比べて中央部付近の偏平化が目立つ形になっている。

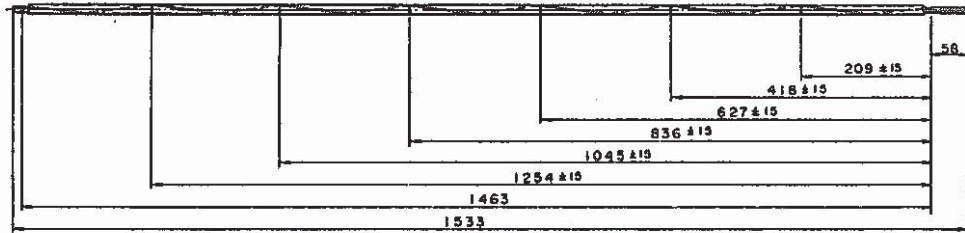
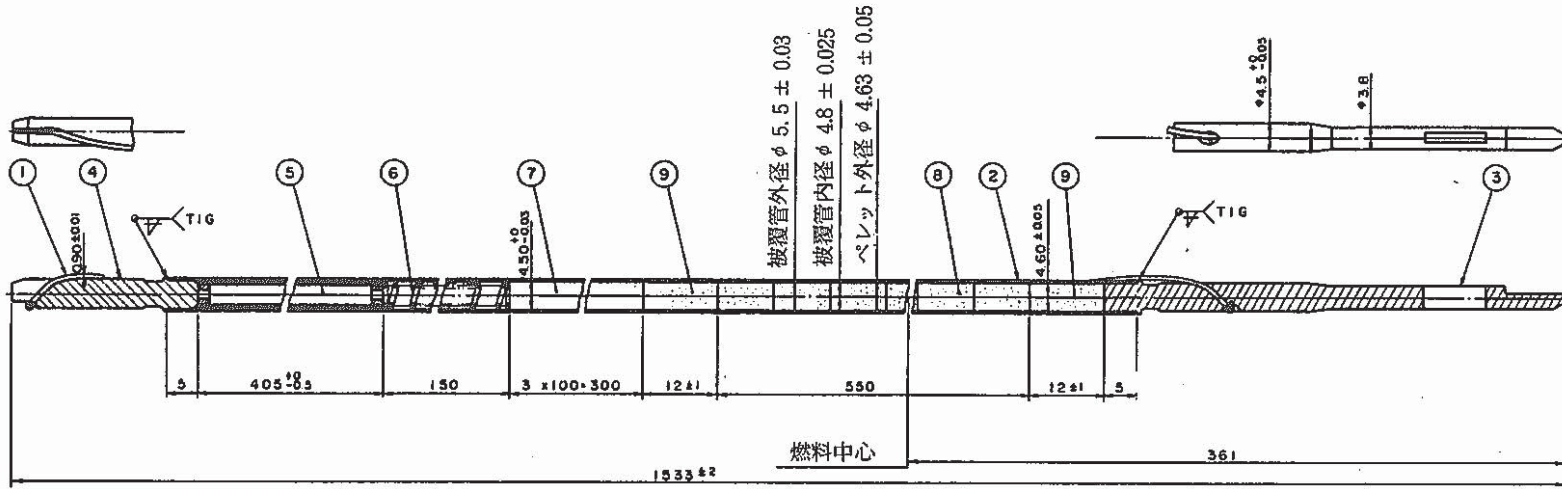
デ - タ 集 1

Table	2-1	Fuel pin fabrication parameters
Fig.	2-1	Schematic drawing of fuel pin
Fig.	3-1	Irradiation position of PFD010 subassembly in JOYO MK-II core
Fig.	3-2	Fuel pin position in PFD010 subassembly
Fig.	3-3	Burnup distribution
Fig.	3-5	
Fig.	3-6	Linear heat rate distribution
Fig.	3-8	
Fig.	3-9	Cladding temperature and fluence distribution
	3-11	

Table 2-1 Fuel pin fabrication parameters

S/A name	PFD010	Pin no	No.6364 No.63C1 No.6307
Fuel			
Fuel form	Flat end solid pellet		
Pellet diameter (mm)	4.63		
Pellet density (% T.D)	93 $\pm$ 2.0		
Fuel composition	30 W/O PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>		
U - 235 enrichment (%)	12.0 $\pm$ 0.3		
Pu isotopic composition (%)	Pu 239/240/241/242 75.6/20.9/2.7/0.7		
O/M ratio	1.97 $\pm$ 0.02 0.03		
Cladding			
Type and work	SUS 316, 20% cold work		
Outer/inner diameter(mm)	5.5/4.8		
Lot identification	No.6364 : K002 No.63C1 : K003 No.6307 : K003		
Fuel pin			
Pin length (mm)	1533		
Pin outer diameter (mm)	5.5		
Fuel column length (mm)	550 $\pm$ 5		
Plenum length (mm)	150		
Insulator pellet length(mm)	{ upper 12 bottom 12		
Fuel/cladding dia.gap(mm)	0.17		
Pin spacing & support	Wrapping wire		



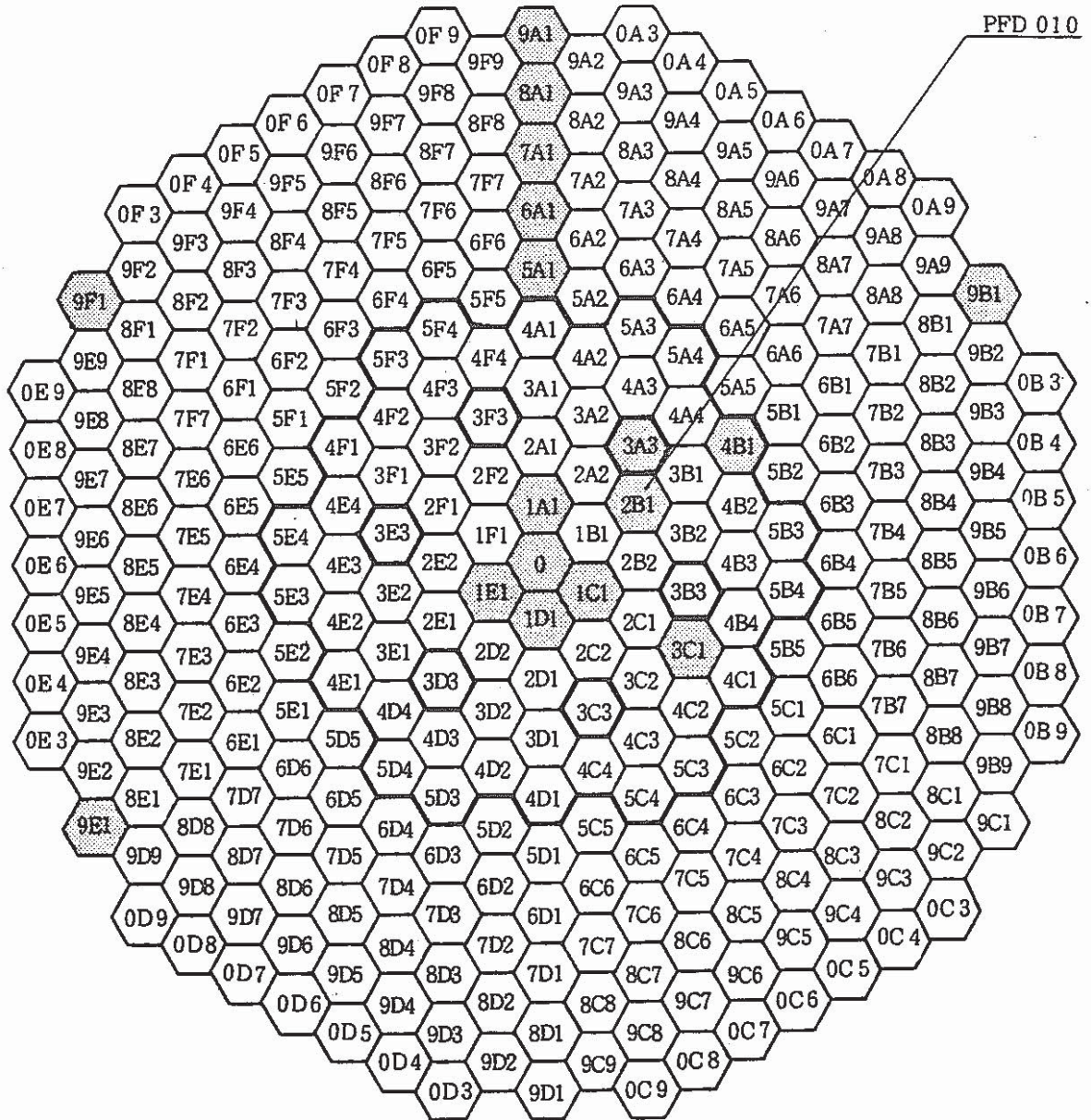


ワイヤラッピング全体図 ( 1/5 )

9	インシュレータペレット	劣化 UO <sub>2</sub>	2	
8	炉心ペレット	PuO <sub>2</sub> UO <sub>2</sub>		
7	上部反射体	SUS 316 担当	3	
6	プレナムスプリング	SUS 304WPB	1	
5	押え板付プレナムスリーブ	SUS 316	1	
4	上部端栓	SUS 316	1	
3	下部端栓	SUS 316	1	
2	被覆管	SUS 316 担当	1	
1	ラッピングワイヤ	SUS 316 担当	1	
品番	品名	材質	個数	備考
名称	炉心燃料集合体燃料要素			

Fig. 2-1 Schematic drawing of Fuel Pin

炉内照射位置



100 MW0 サイクル

Fig. 3-1 Irradiation position of PFD010 subassembly in JOYO MK-II core

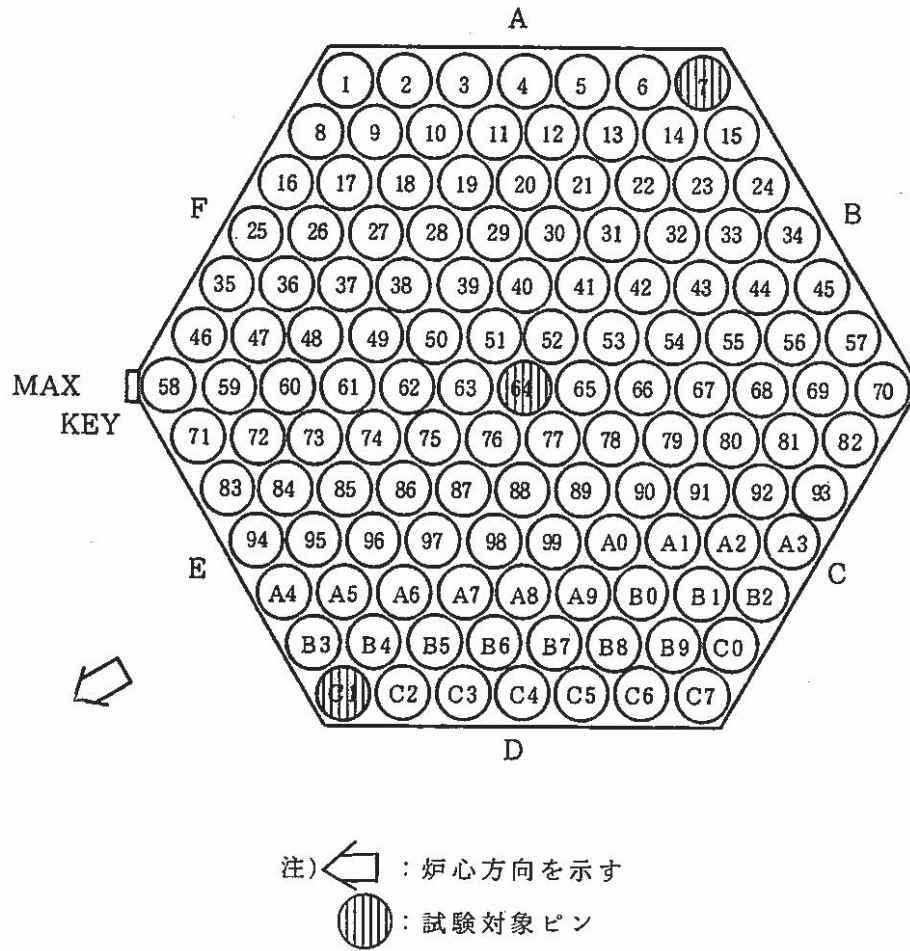


Fig. 3-2 Fuel pin positions in PFD010 subassembly

S/A FAB NO. : PFD010      PIN NO. : 64

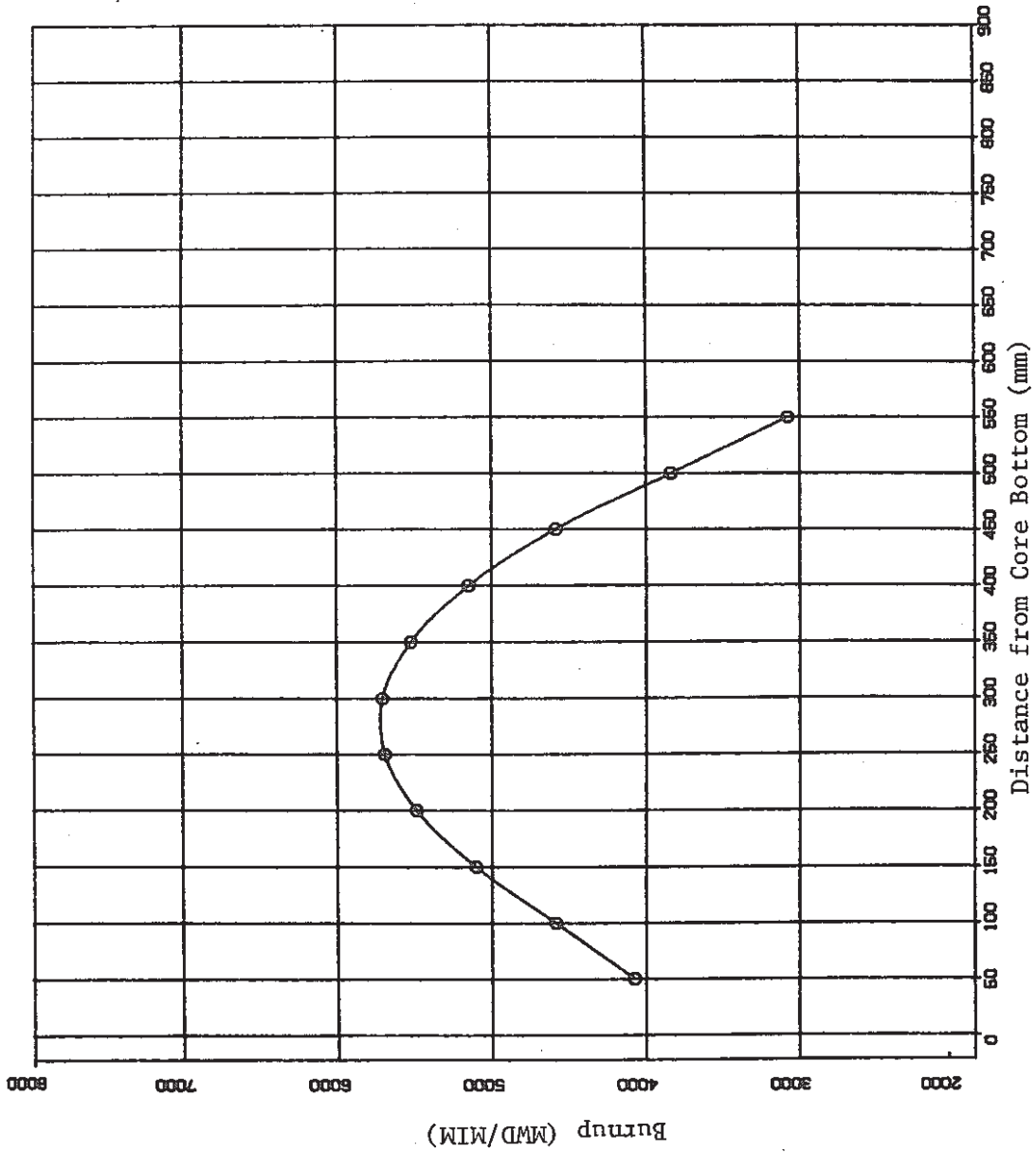


Fig. 3-3 Burnup distribution

S/A FAB NO. : PFD010 PIN NO. : C1

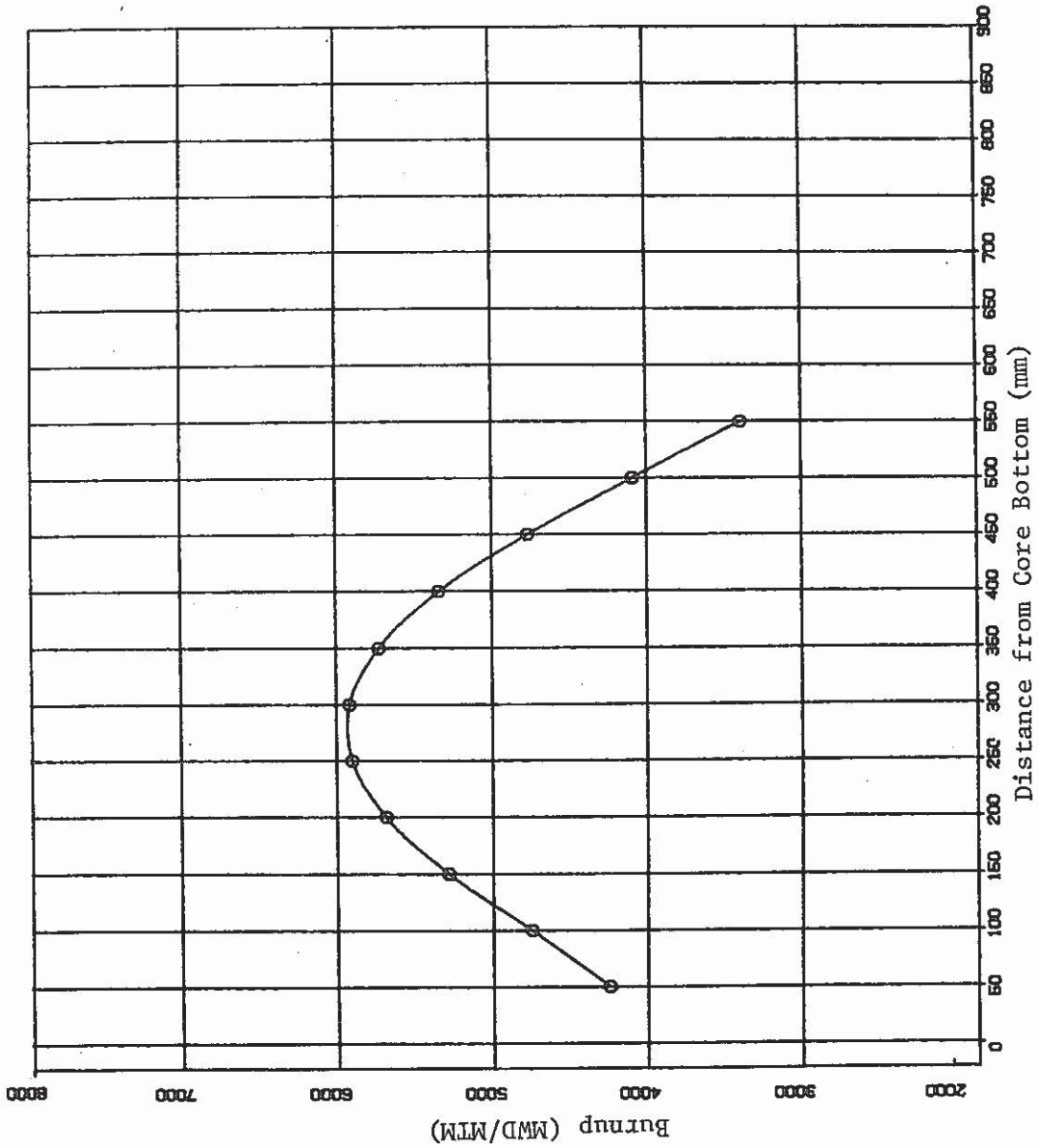


Fig. 3-4 Burnup distribution



S/A FAB NO. : PF0010 PIN NO. : 07

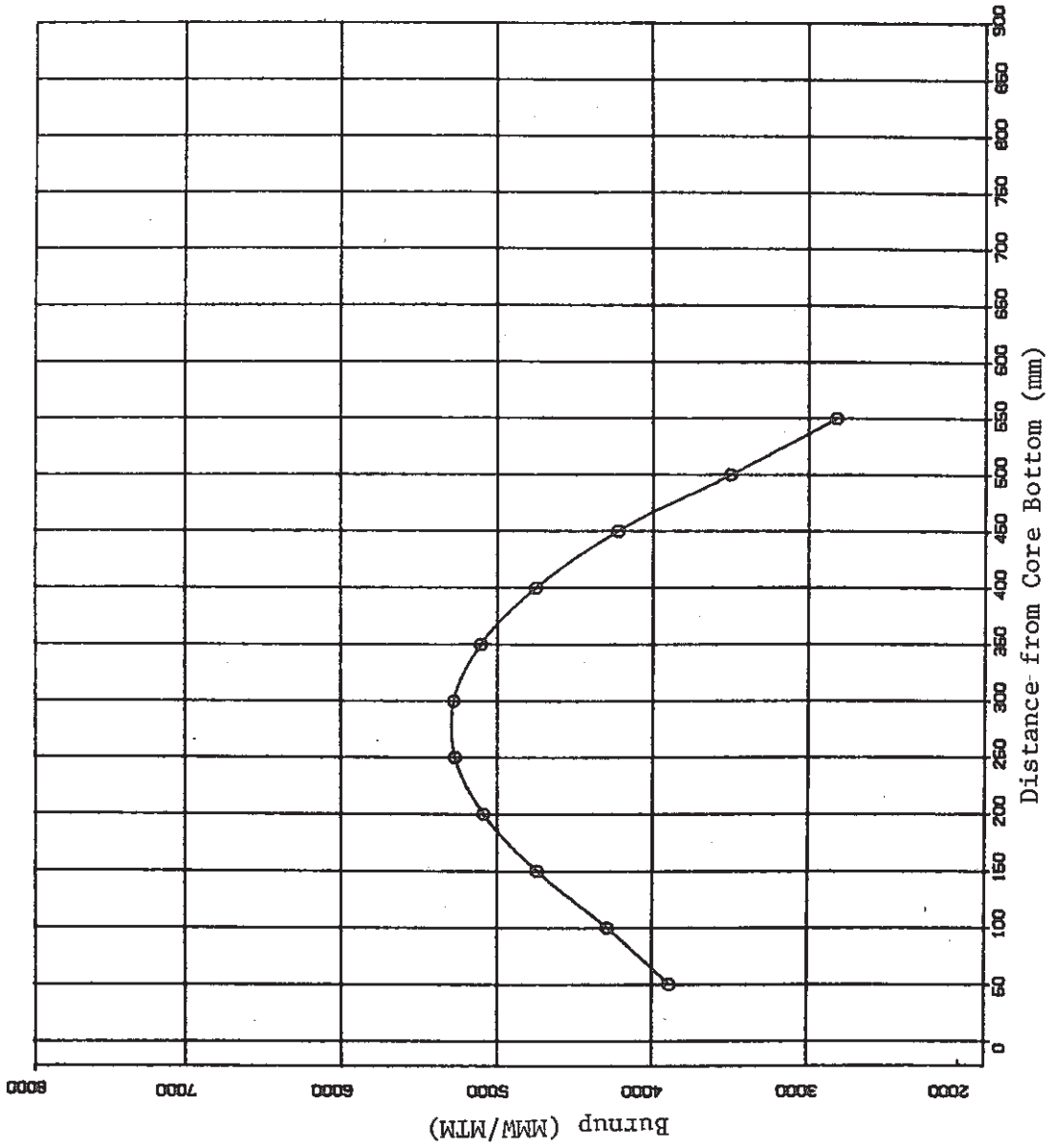


Fig. 3-5 Burnup distribution

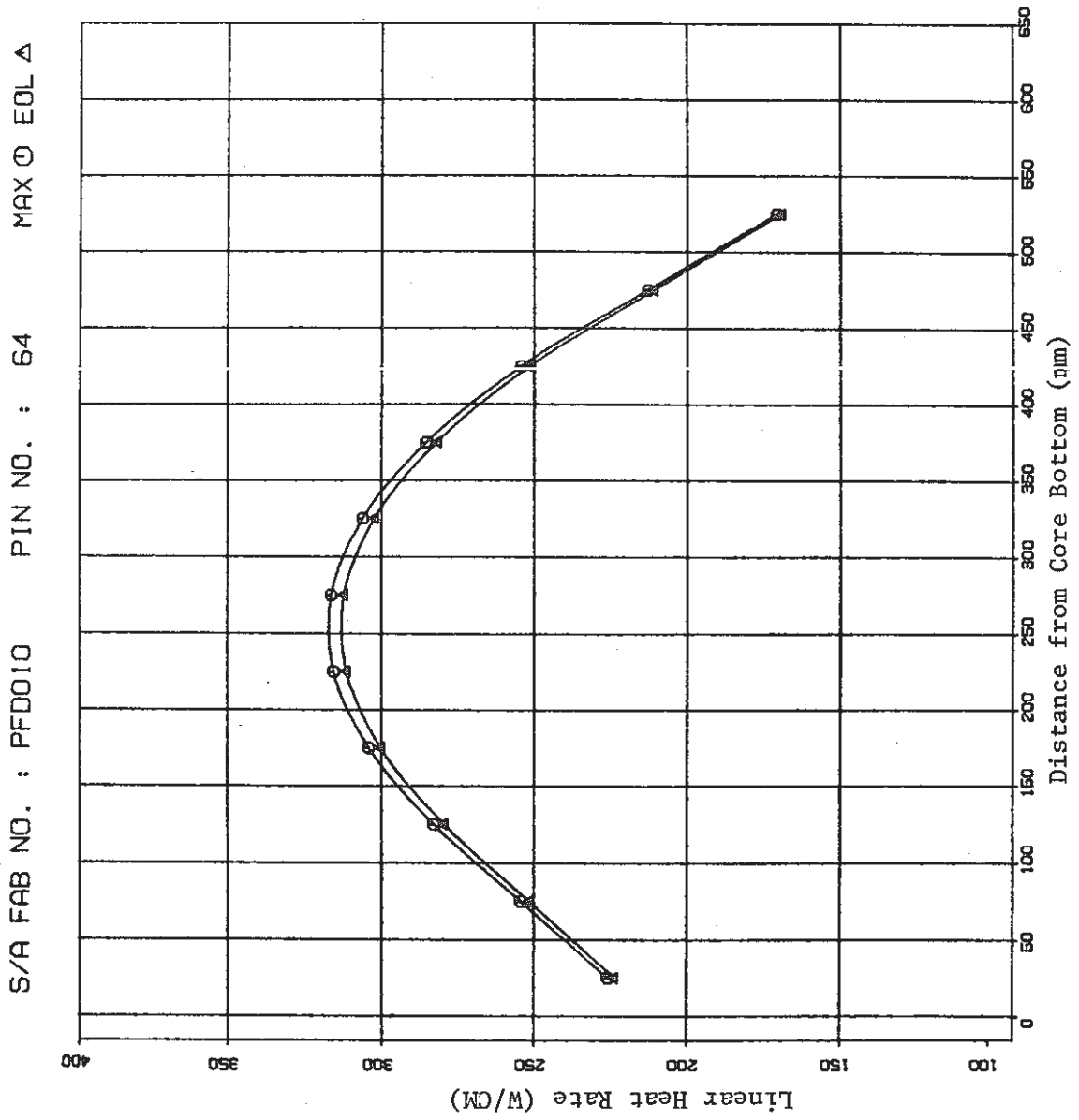


Fig. 3-6 Linear heat rate distribution

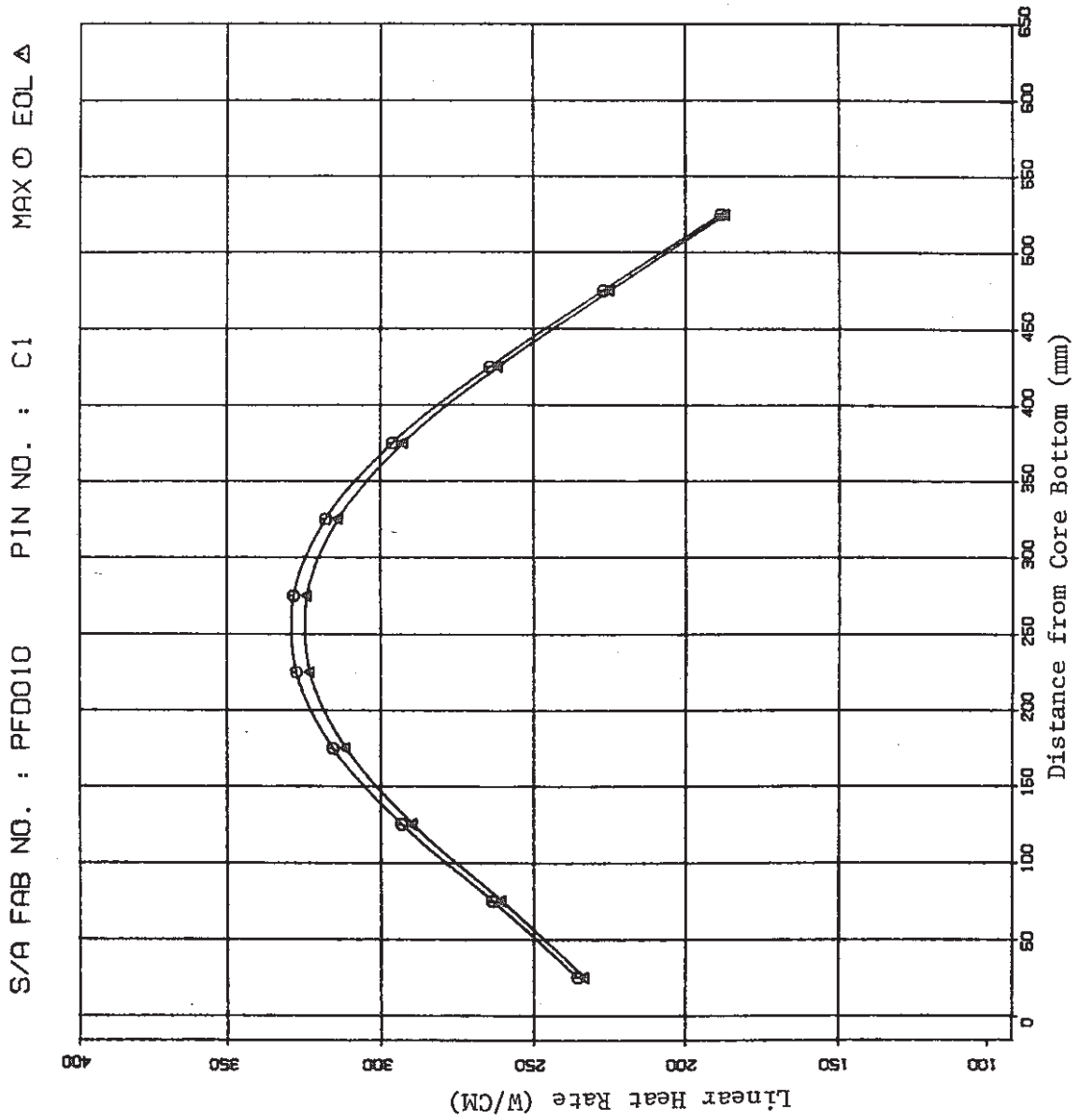


Fig. 3-7 Linear heat rate distribution



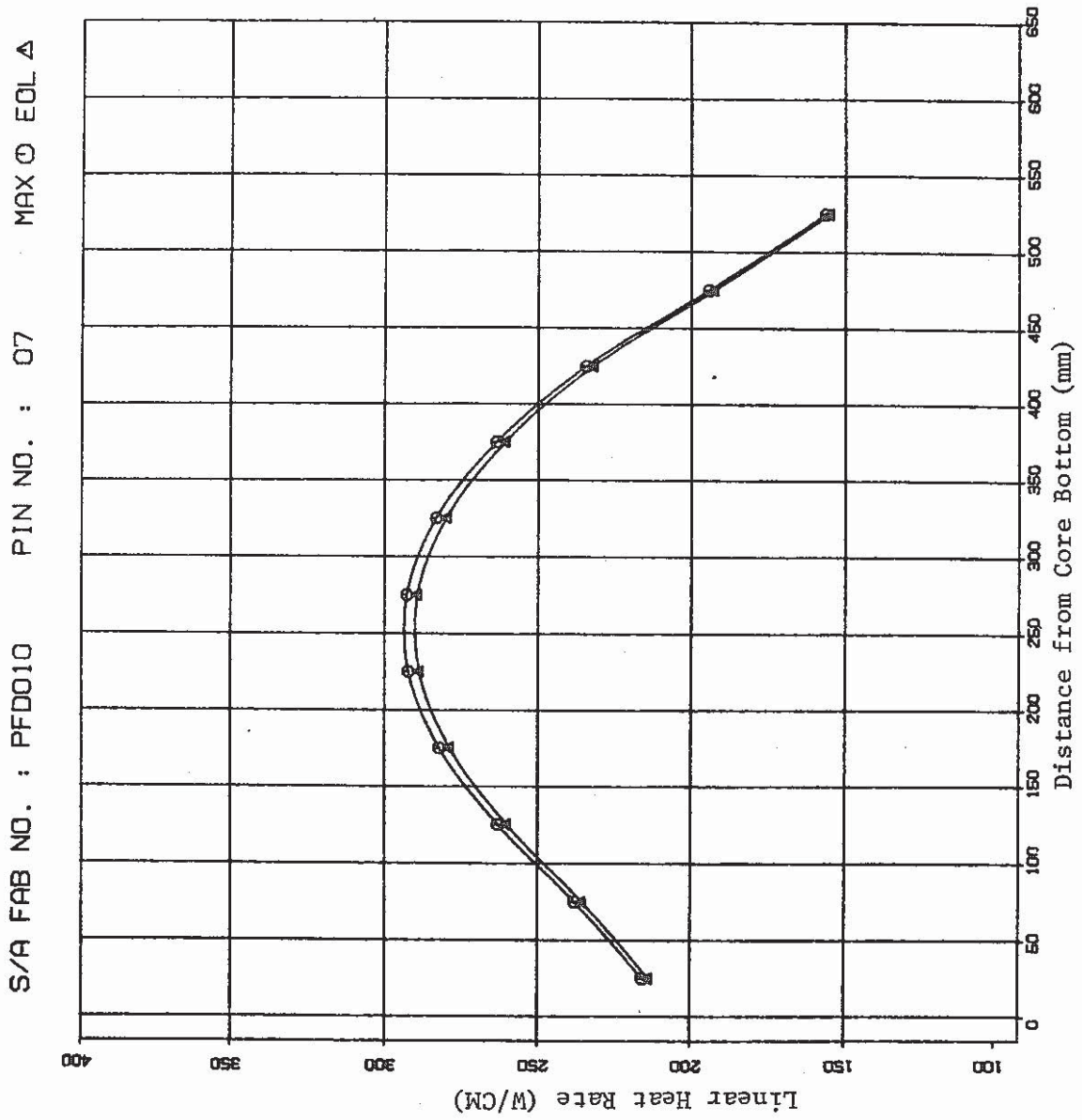


Fig. 3-8 Linear heat rate distribution

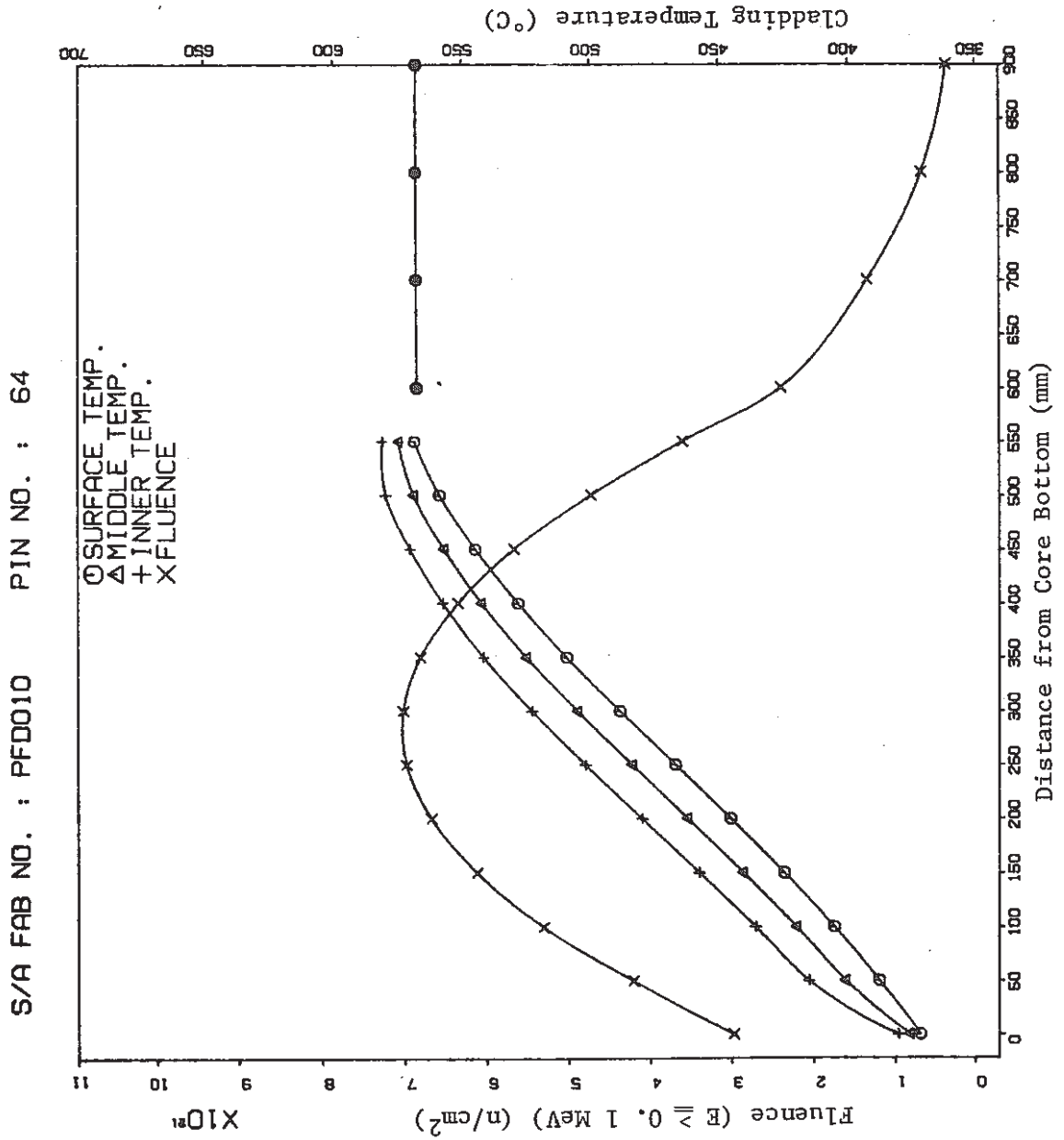


Fig. 3-9 Cladding temperature and fluence distribution

S/A FAB NO. : PF0010 PIN NO. : C1

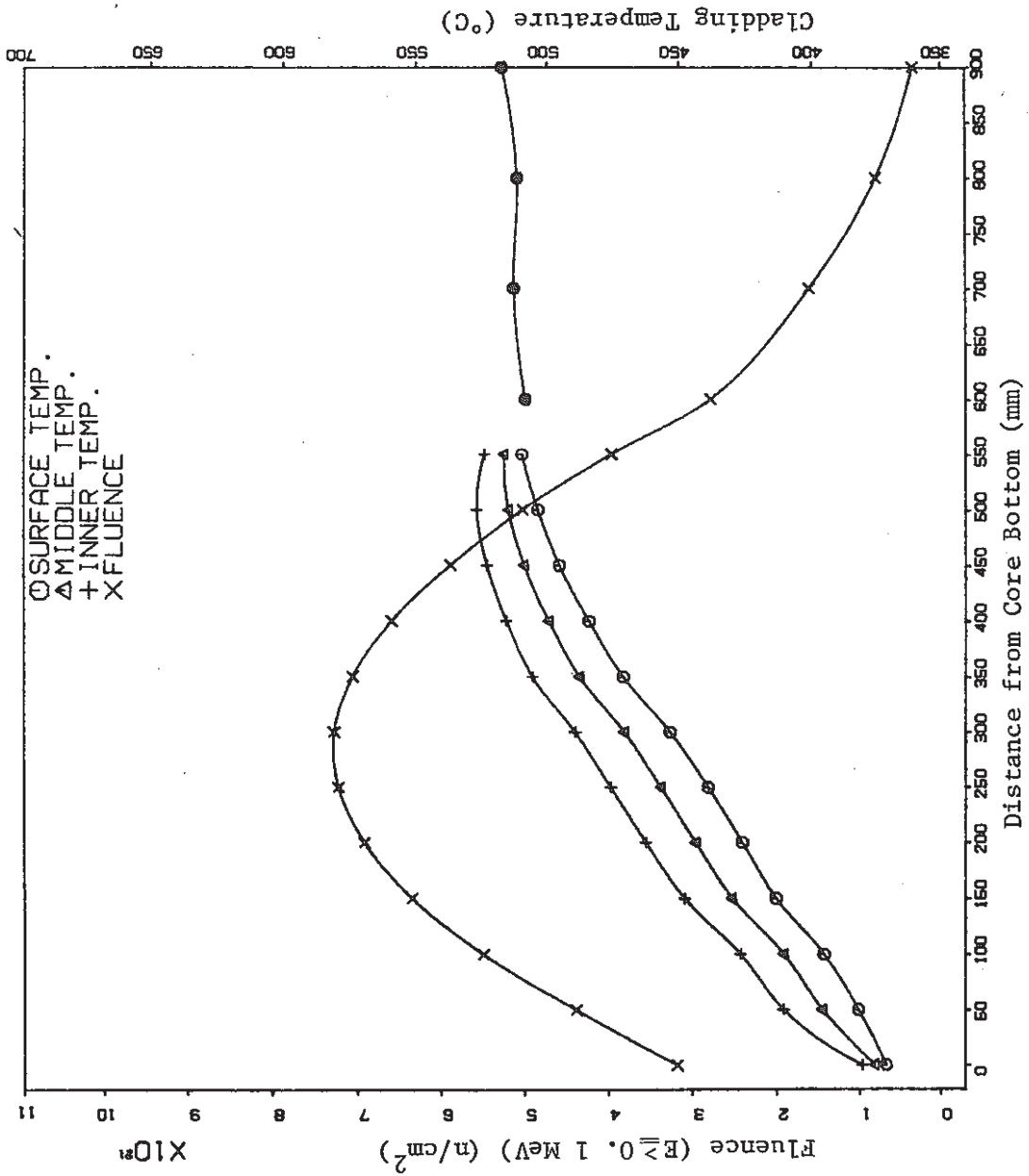


Fig. 3-10 Cladding temperature and fluence distribution

S/A FAB NO. : PF0010 PIN NO. : 07

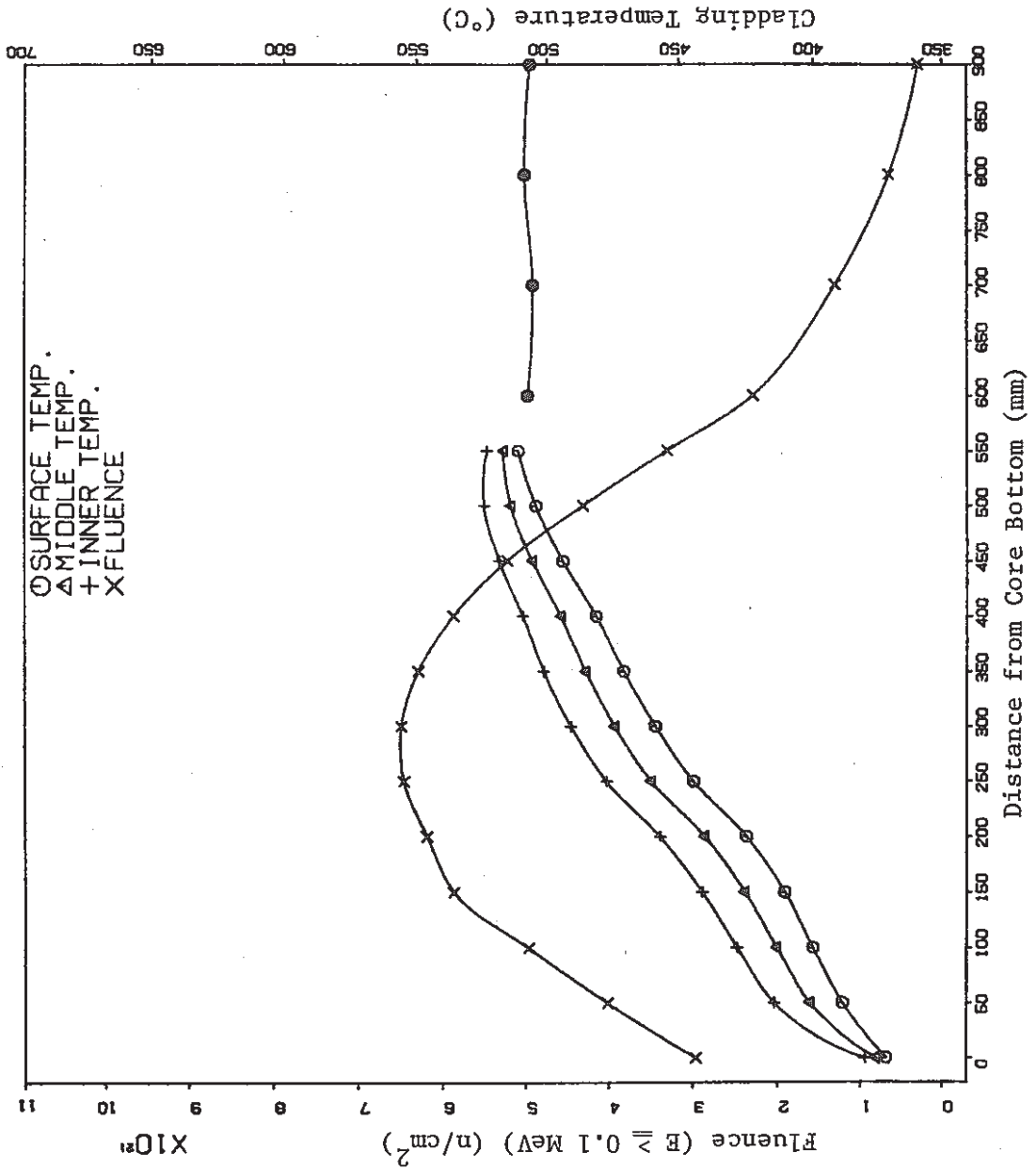


Fig. 3-11 Cladding Temperature and Fluence distribution

## データ集2. 金相試験

Table 4-1-1	Metallographic examination in AGS
Table 4-1-2	Irradiation condition
Table 4-1-3	Summary data from ceramography
Table 4-1-4	Grain size of cladding
Fig. 4-1-1	Flow diagram of metallographic examination in AGS
Fig. 4-1-2	Axial profile of the restructured region (R/Ro)
Fig. 4-1-3	Gas bubble region (R/Ro) as a function of linear heat rate
Fig. 4-1-4	Densified region (R/Ro) as a function of linear heat rate
Fig. 4-1-5	Residual gap size (R/Ro) as a function of linear heat rate
Photo 1 ~ 2	Macrography of JOYO MK-II core fuel pin
Photo 3 ~ 30	Ceramography of JOYO MK-II core fuel pin
Photo 31	Optical micrographs of fuel cladding

Table 4-1-1 Metallographic examination in AGS

	As Polished		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 × 86 全面写真 × 100 部分写真 × 400 部分写真	燃料全体組織観察 ボイド分布測定 ボイド分布測定	× 10.5 全面写真 × 86 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	0 × 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 4-1-2 Irradiation Condition

S/A Name	Section No.	D.F.C.B. (mm)	Liner Heat Rate (W/cm)	Fuel Temp. (°C)		Burnup (MWD/MTM)	Cladding Temp. (°C)			Fluence $E \geq 0.1\text{MeV}$ ( $\times 10^{22}\text{n/cm}^2$ )
				Surface	Center		Surface	Middle	Inner	
PFD010	636422	-5 ~ 15 (+5)	212			3557	374	379	384	0.309
	636423	25	226			3787	380	389	398	0.359
	636442	125	283	727	1491	4843	415	431	447	0.571
	636472	220 ~ 240 (230)	316	835	1775	5608	459	475	494	0.685
	63473	250	316	853	1820	5690	467	484	502	0.697
	6364A3	435	246	896	1790	475P	540	553	566	0.586
	6364C3	535	162	834	1506	3303	556	573	581	0.393
	6364C4	535 ~ 555 (545)	154	826	1472	2500	568	574	581	0.370

Table 4-1-3 Summary data from cermography

S/A No. PFD010

Pin No.	Section No.	Distance from core bottom (mm)	Restructured Region (Dia. mm)				Residual Diametral Gap Size (mm)	Outer Dia. (mm)	
			Central Void	Columnar Region	Gas bubble Region	Densified Region			Dark Ring
6364	636423	25			2.0	3.0		156	4.7
	636442	125			2.3	3.2		105	4.7
	636473	250			2.8	3.5		104	4.7
	6364A3	435			2.3	3.4		128	4.7
	6364C3	535						186	4.6



Table 4-1-4 Grain Size of Cladding

Pin No.	Section No.	Distance from Core Bottom	Diameter of Average Grain ( $\mu\text{m}$ )	ASTM Micro Grain size Number
6364	636442	125	16	9.0
	636473	250	16	9.0
	6364A3	435	16	9.0
	6364C3	535	16	9.0
	6364C4	535 ~ 555	16	9.0

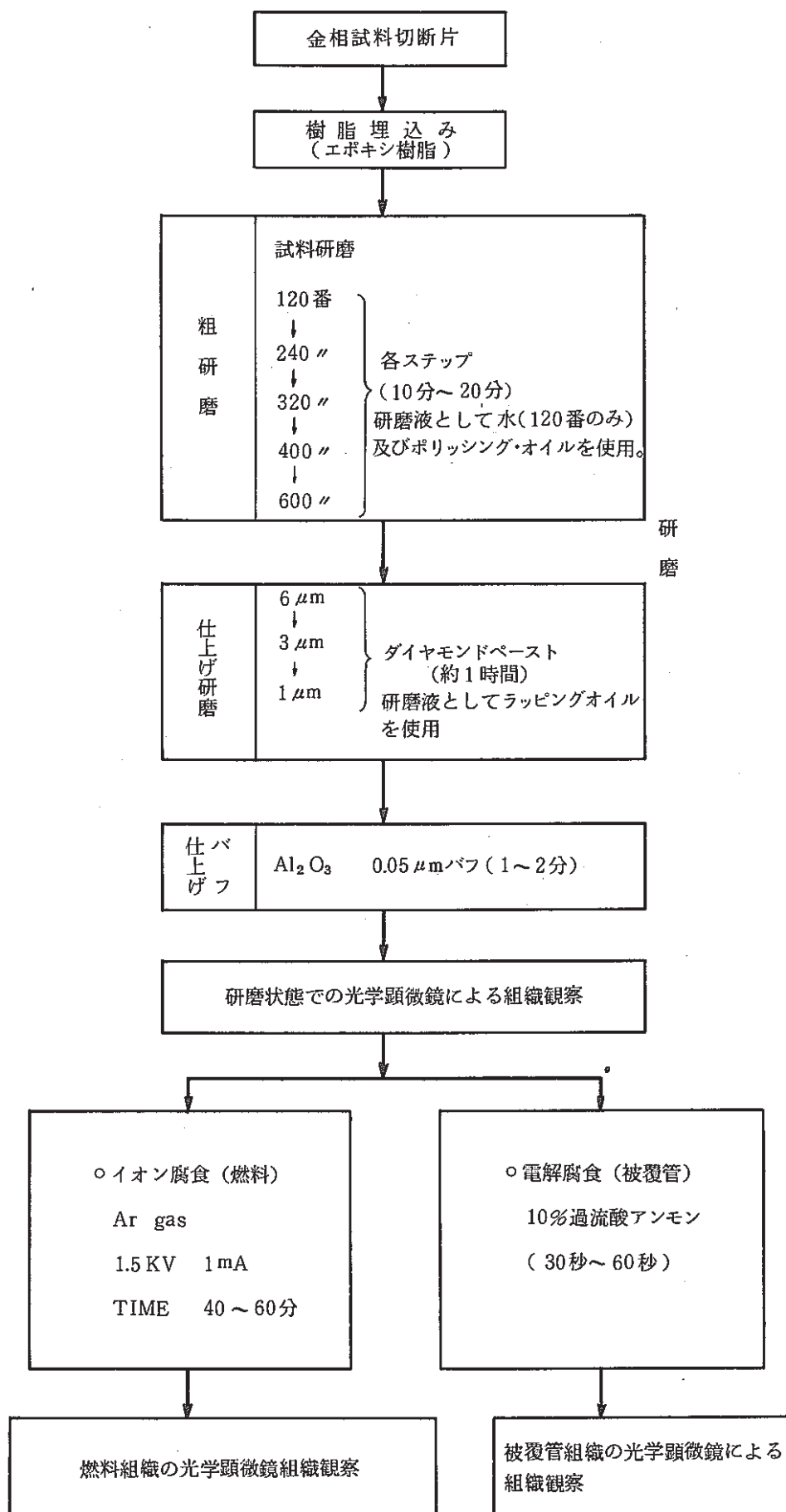


Fig. 4-1-1 Flow diagram of metallographic examination in AGS

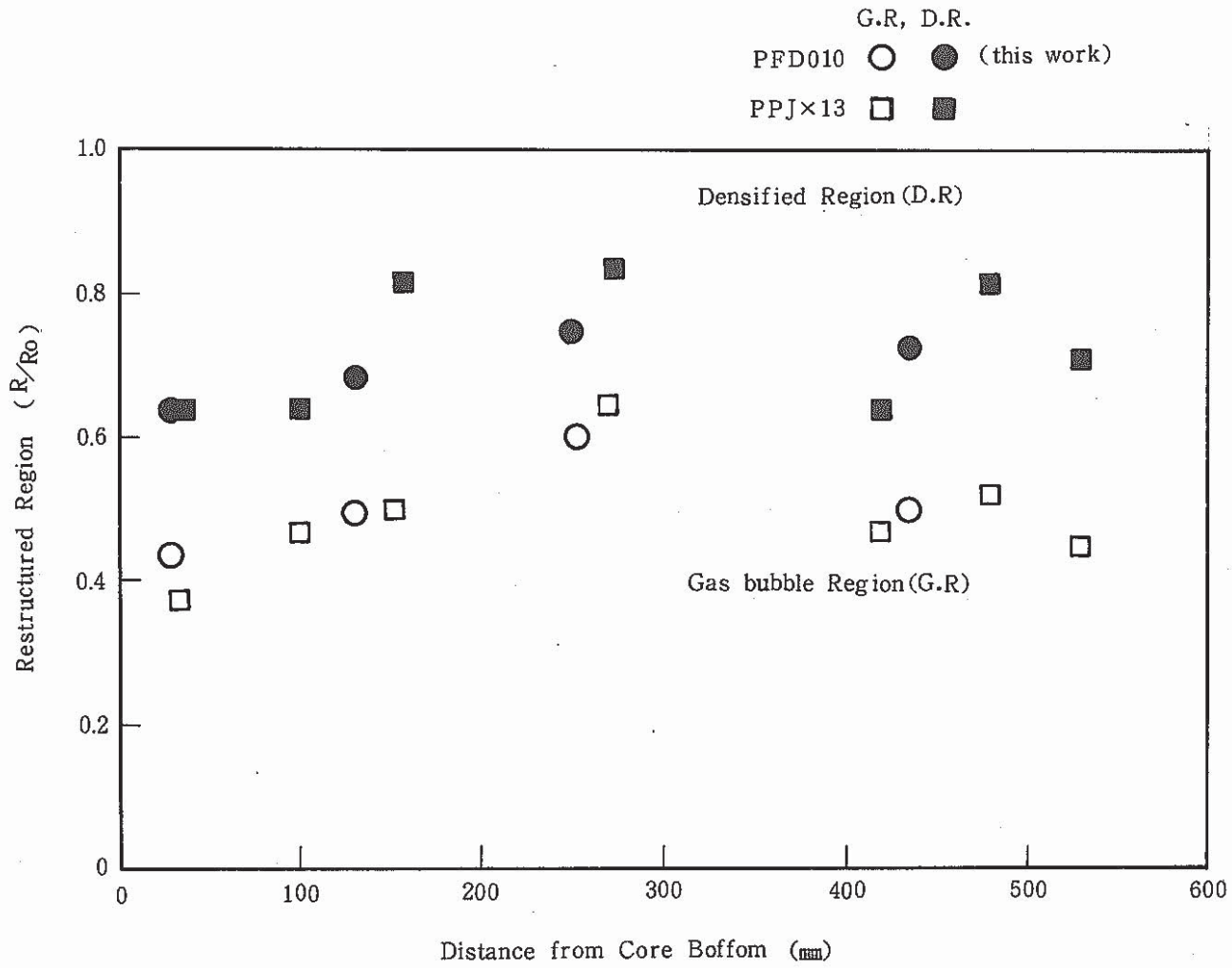


Fig. 4-1-2 Axial Profile of the Restructured Region ( $R/R_o$ )

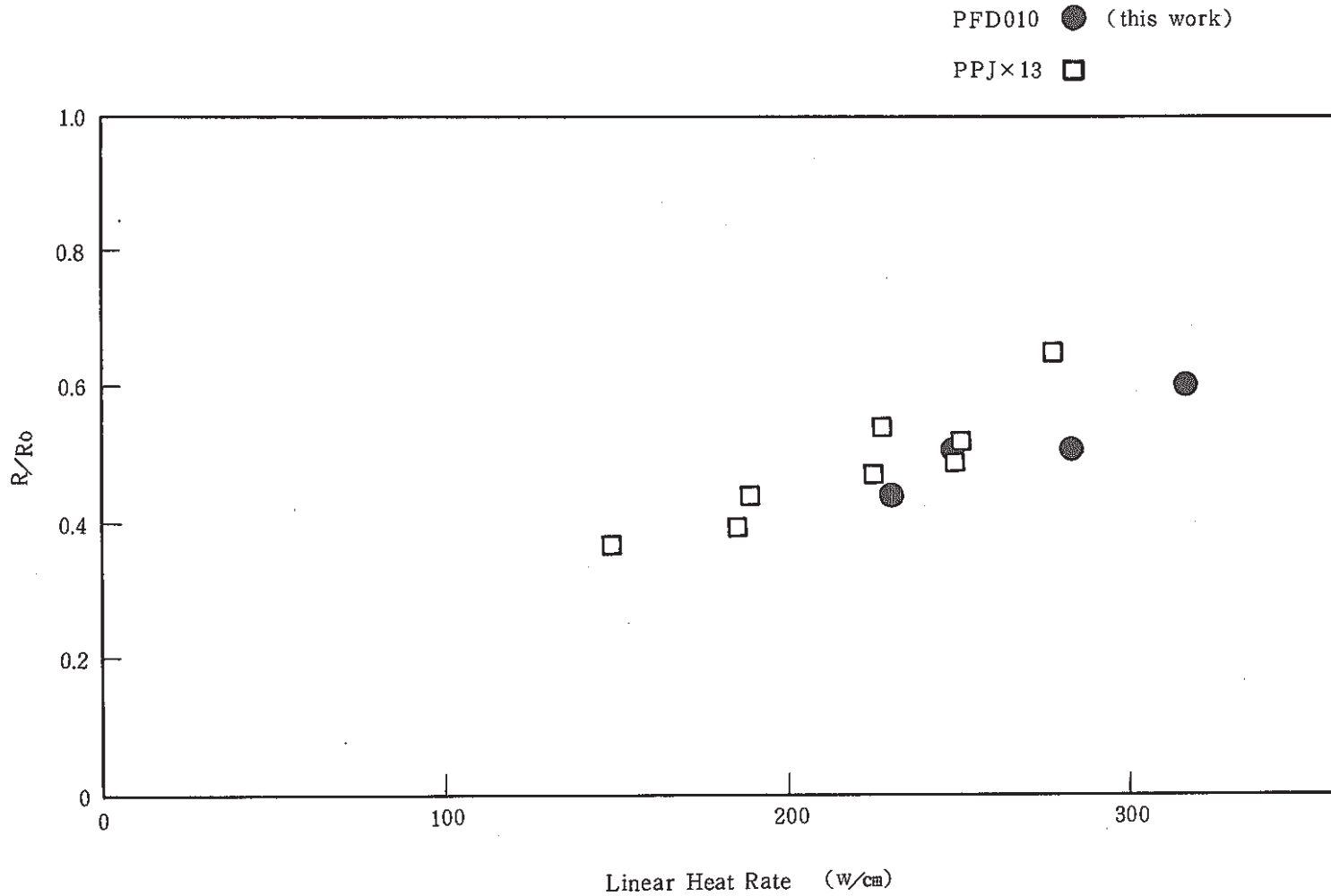


Fig. 4-1-3 Gas bubble region ( $R/R_0$ ) as a function of Linear Heat Rate

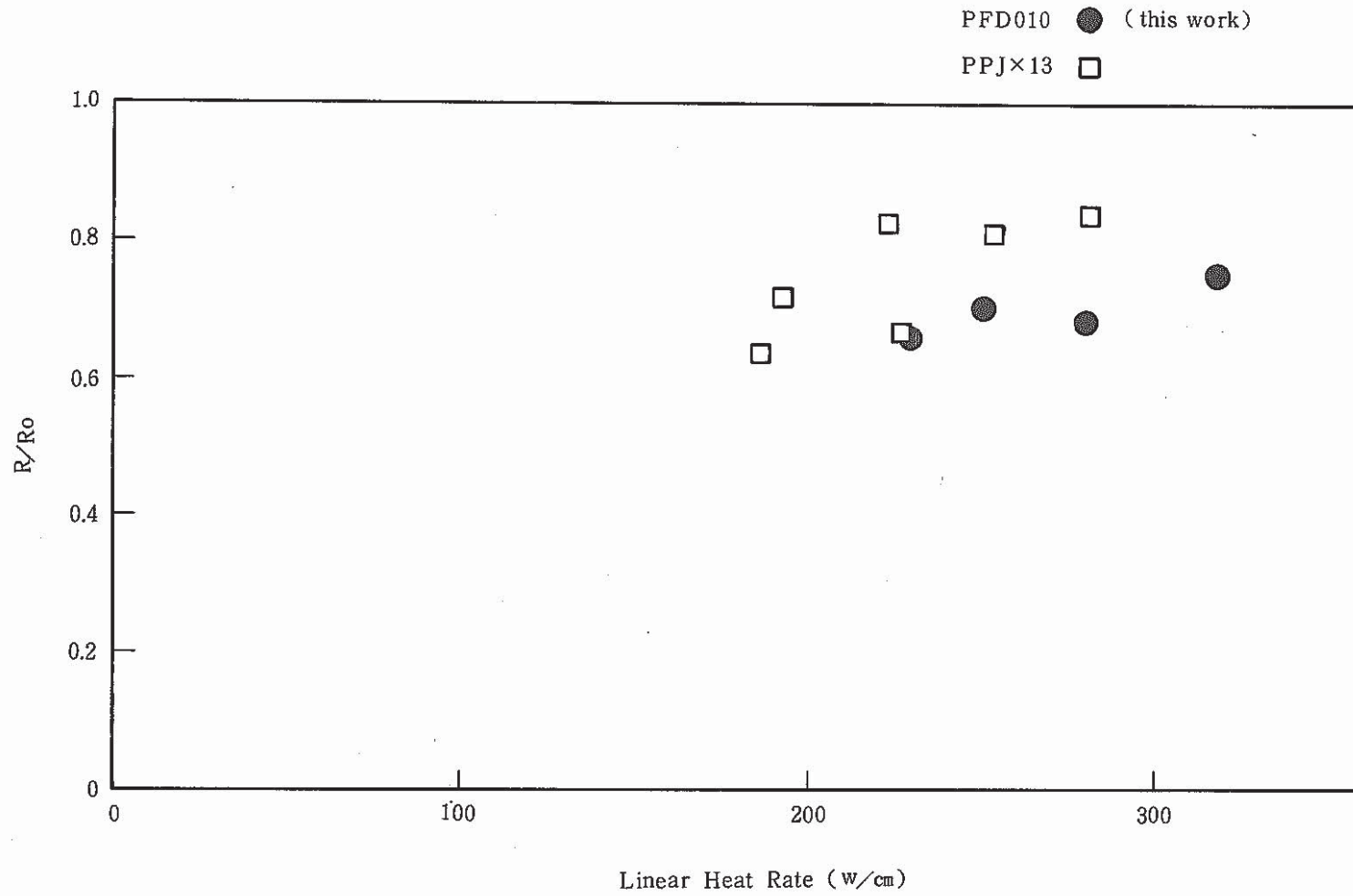


Fig. 4-1-4 Densified region (R/Ro) as a function of Linear Heat Rate

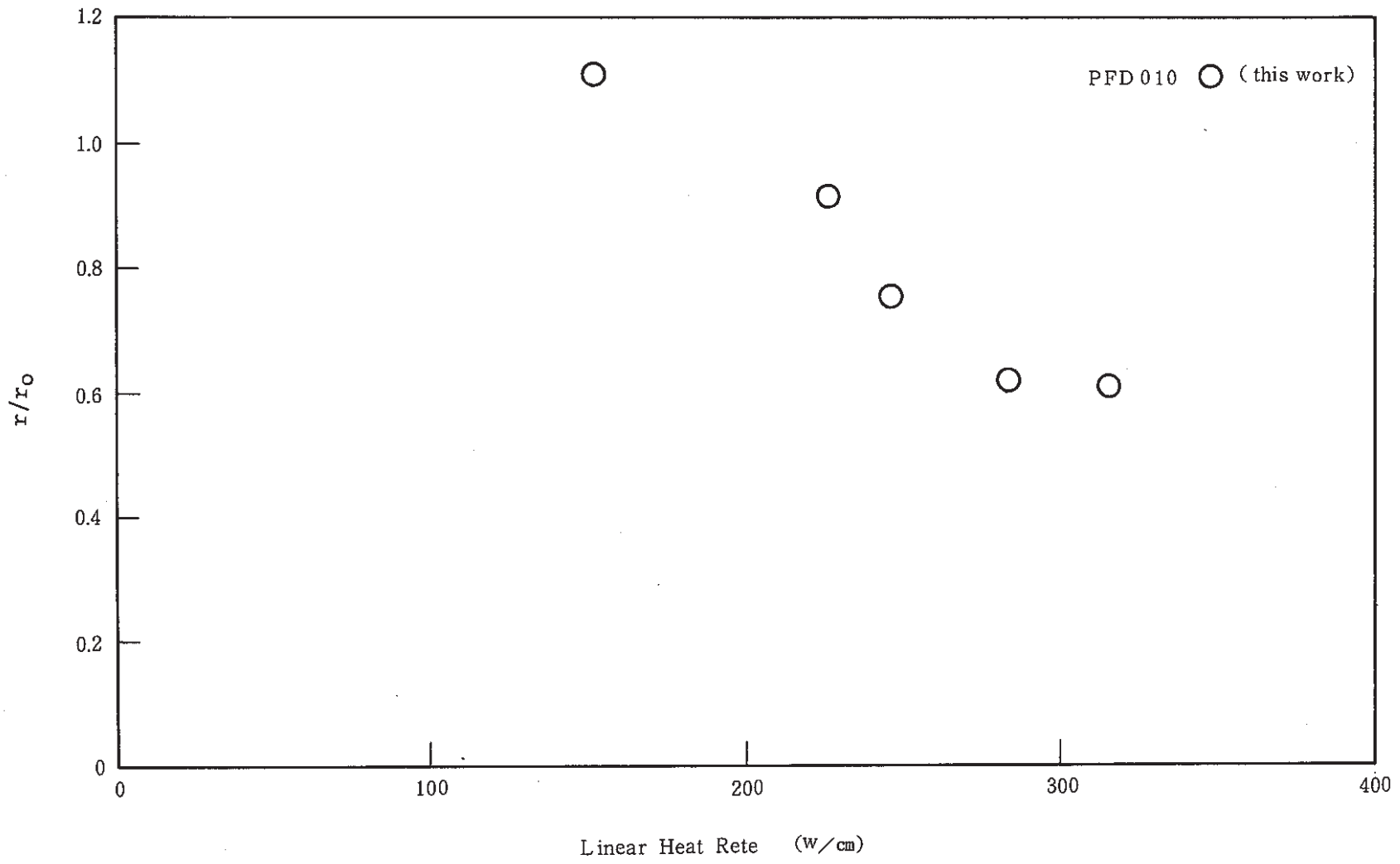


Fig. 4-1-5 Residual gap size (r/ro) as a function of Linear Heat Rate

S/A No.	<b>JOYO - PFD010</b>
Pin No.	<b>6364</b>
S/A Peak Burn up	<b>24100MWD/MTM</b>

As polished

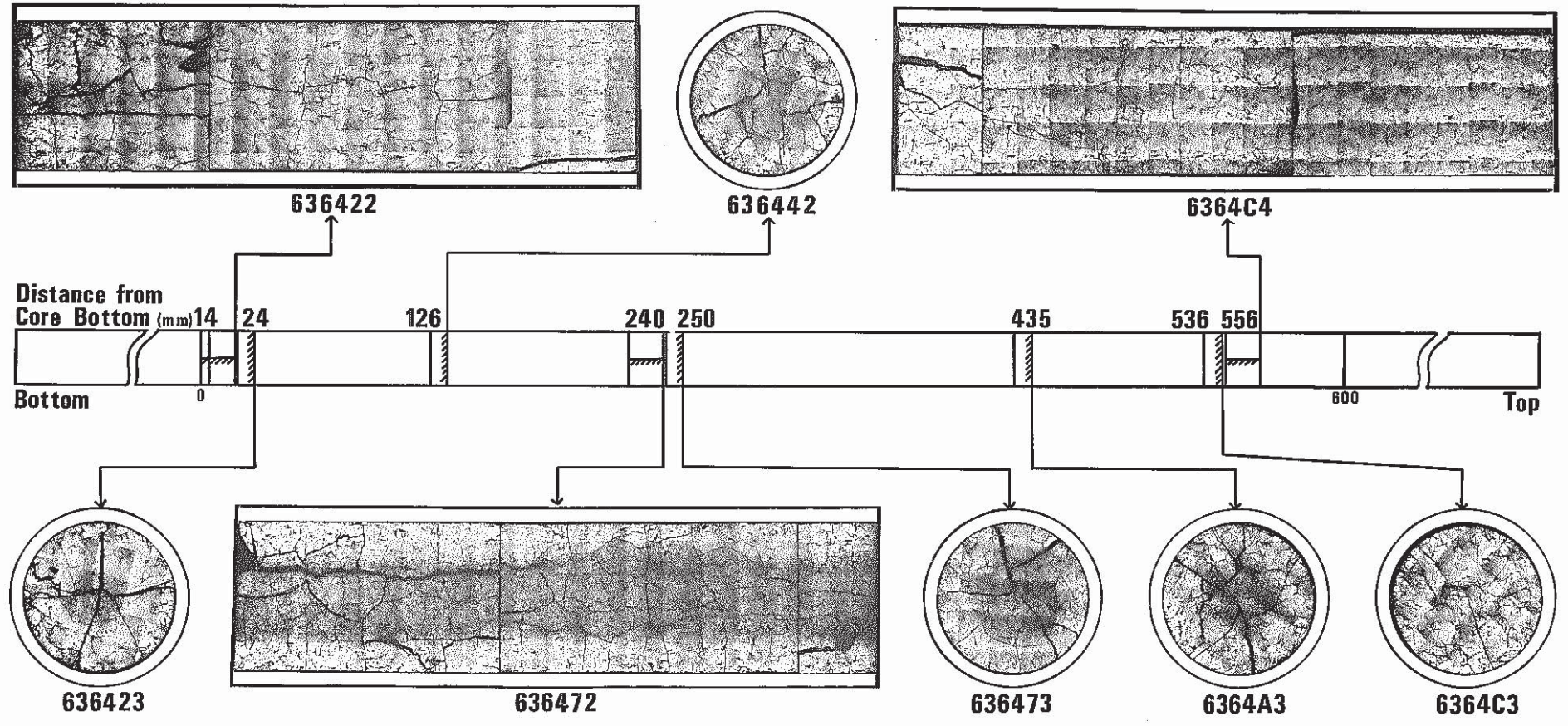


Photo 1 Macrography of JOYO MK-II core fuel pin (6364 pin, as polished)



S/A No.	<b>JOYO - PFD010</b>
Pin No.	<b>6364</b>
S/A Peak Burn up	<b>24100MWD/MTM</b>

etched

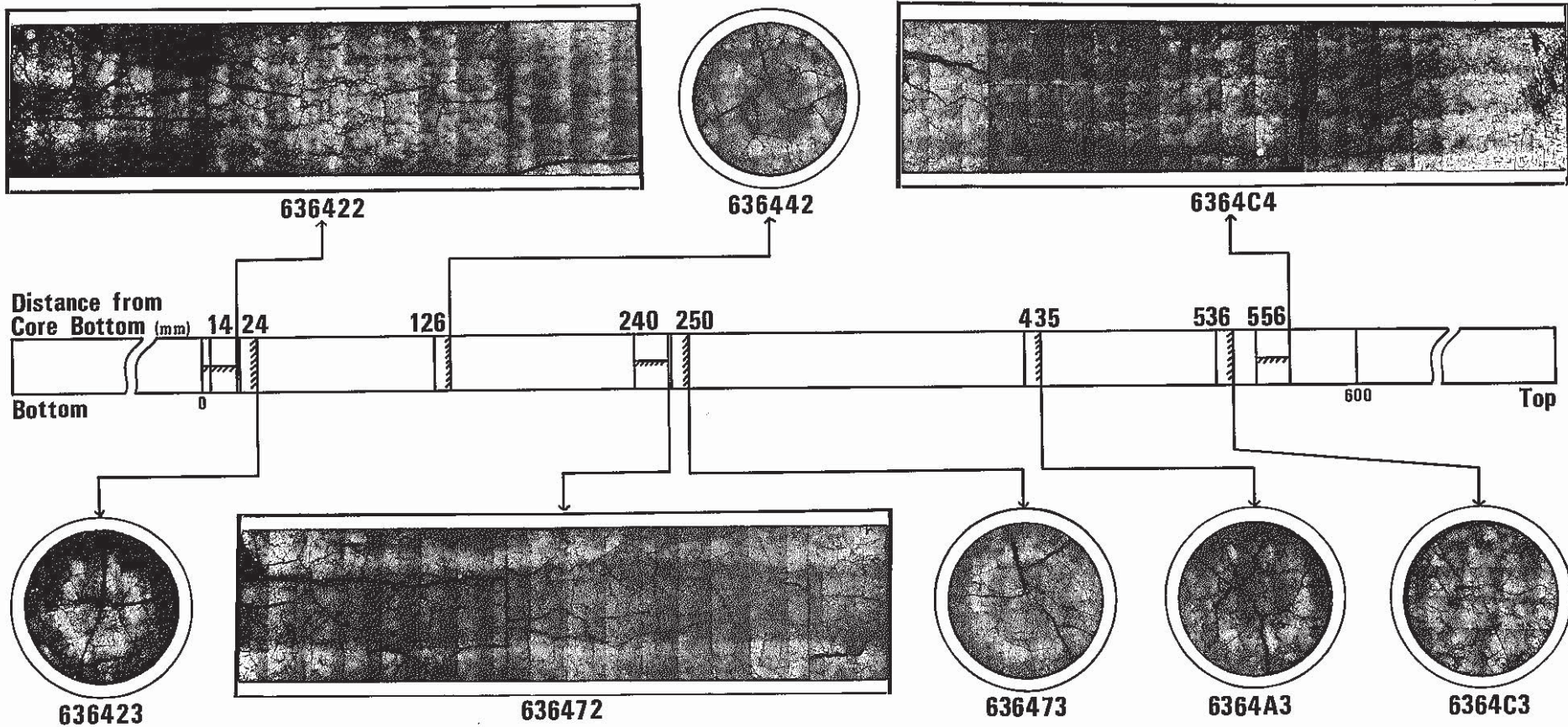


Photo 2 Macrography of JOYO MK-II core fuel pin (6364 pin, etched)



S/A Name	<b>JOYO-PFD010</b>	
Pin No.	<b>6364</b>	
Section No.	<b>636423</b>	
Distance from bottom of pin		<b>110mm</b>
Distance from bottom of fuel column		<b>24mm</b>

As polished

1mm



Photo 3 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (636423 sample, as polished)



S/A Name	<b>JOYO- PFD010</b>	
Pin No.	<b>6364</b>	
Section No.	<b>636423</b>	
Distance from bottom of pin		<b>110mm</b>
Distance from bottom of fuel column		<b>24mm</b>

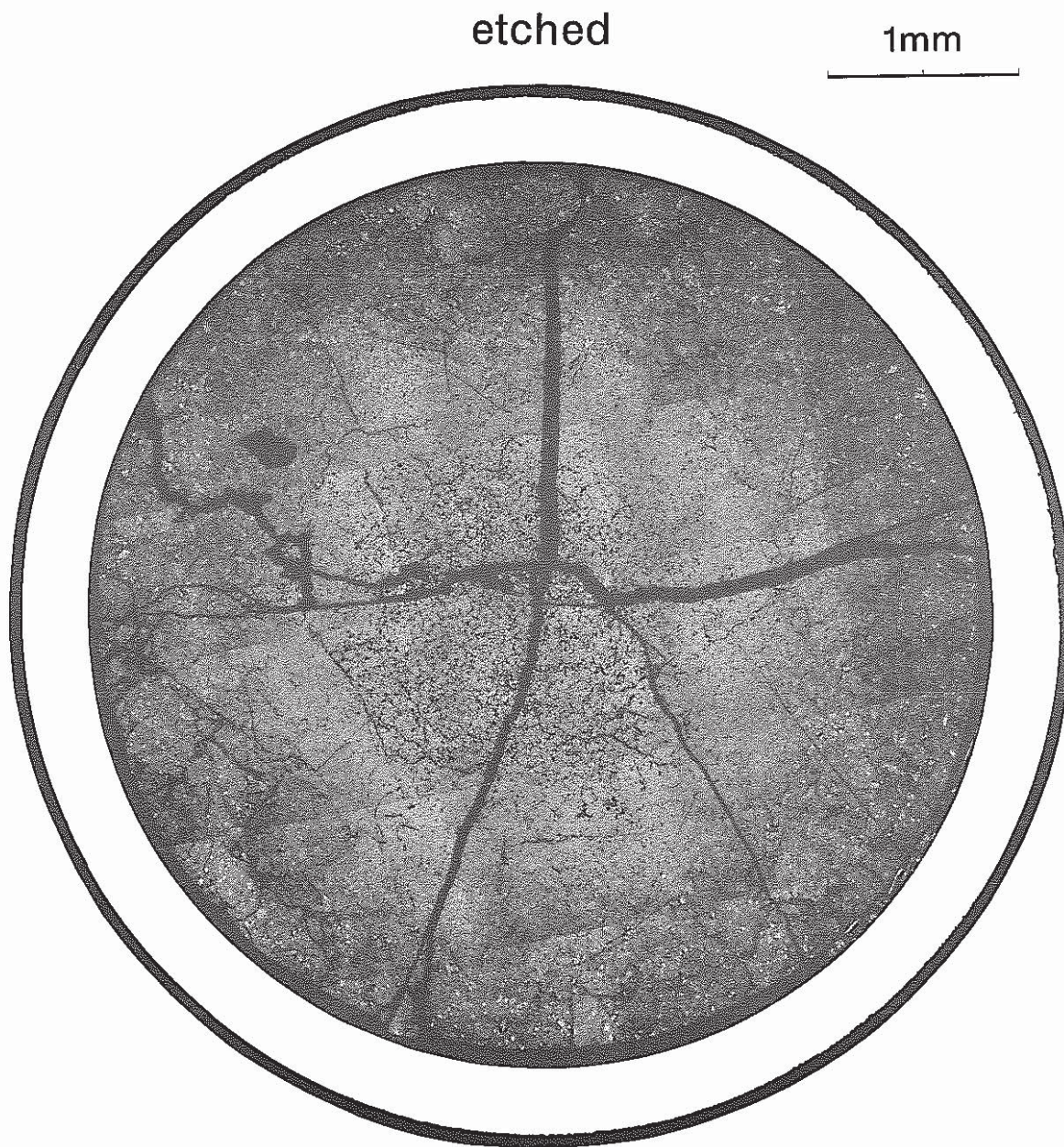
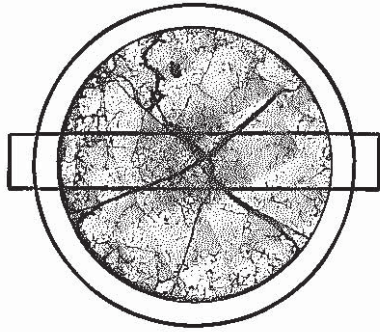


Photo 4 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (636423 sample, etched)





S/A Name	<b>JOYO - PFD010</b>	
Pin No.	<b>6364</b>	
Section No.	<b>636423</b>	
Distance from bottom of pin		<b>110mm</b>
Distance from bottom of fuel column		<b>24mm</b>

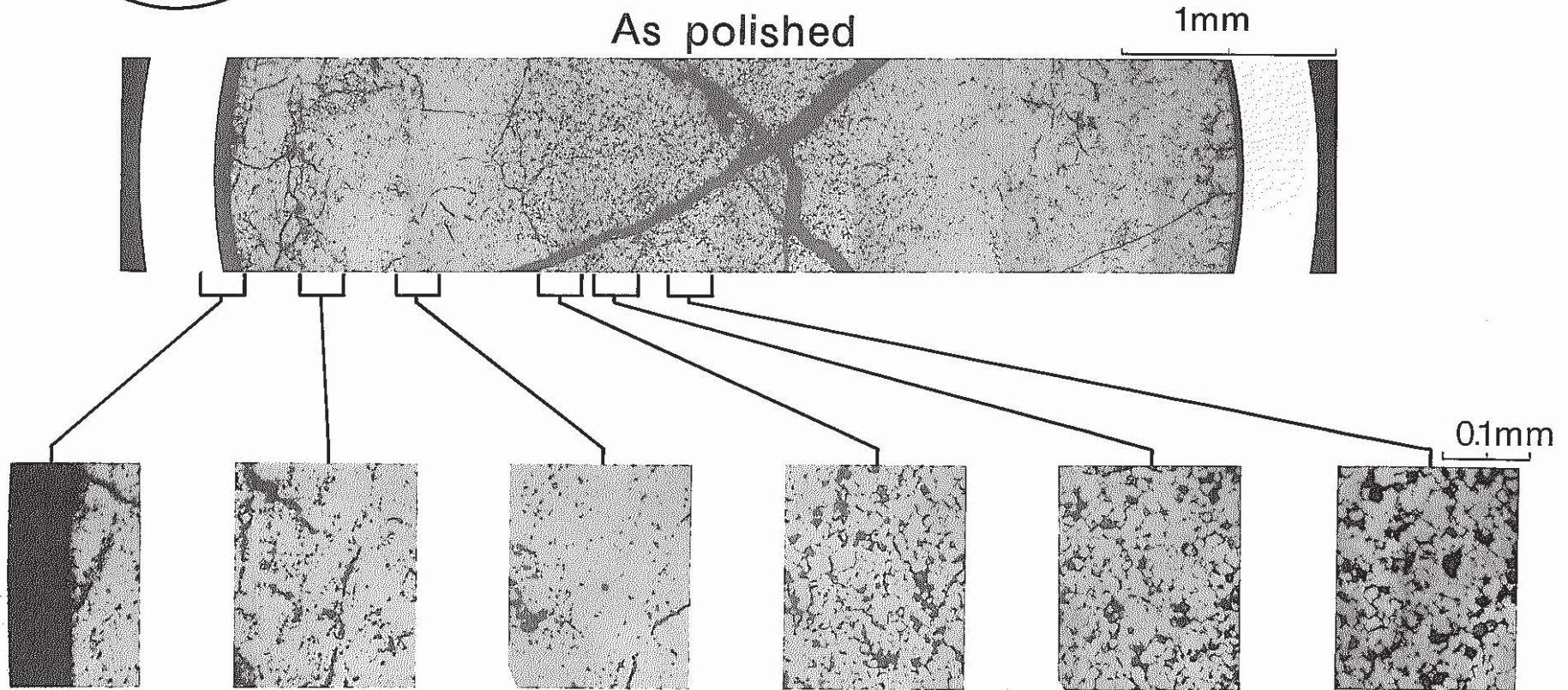
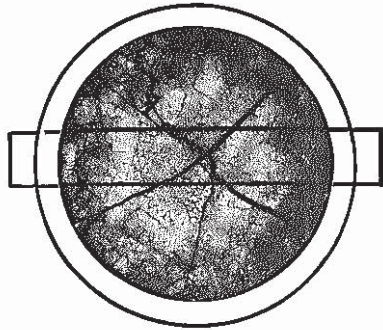


Photo 5 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (636423 sample, as polished)





S/A Name	<b>JOYO - PFD010</b>	
Pin No.	<b>6364</b>	
Section No.	<b>636423</b>	
Distance from bottom of pin		<b>110mm</b>
Distance from bottom of fuel column		<b>24mm</b>

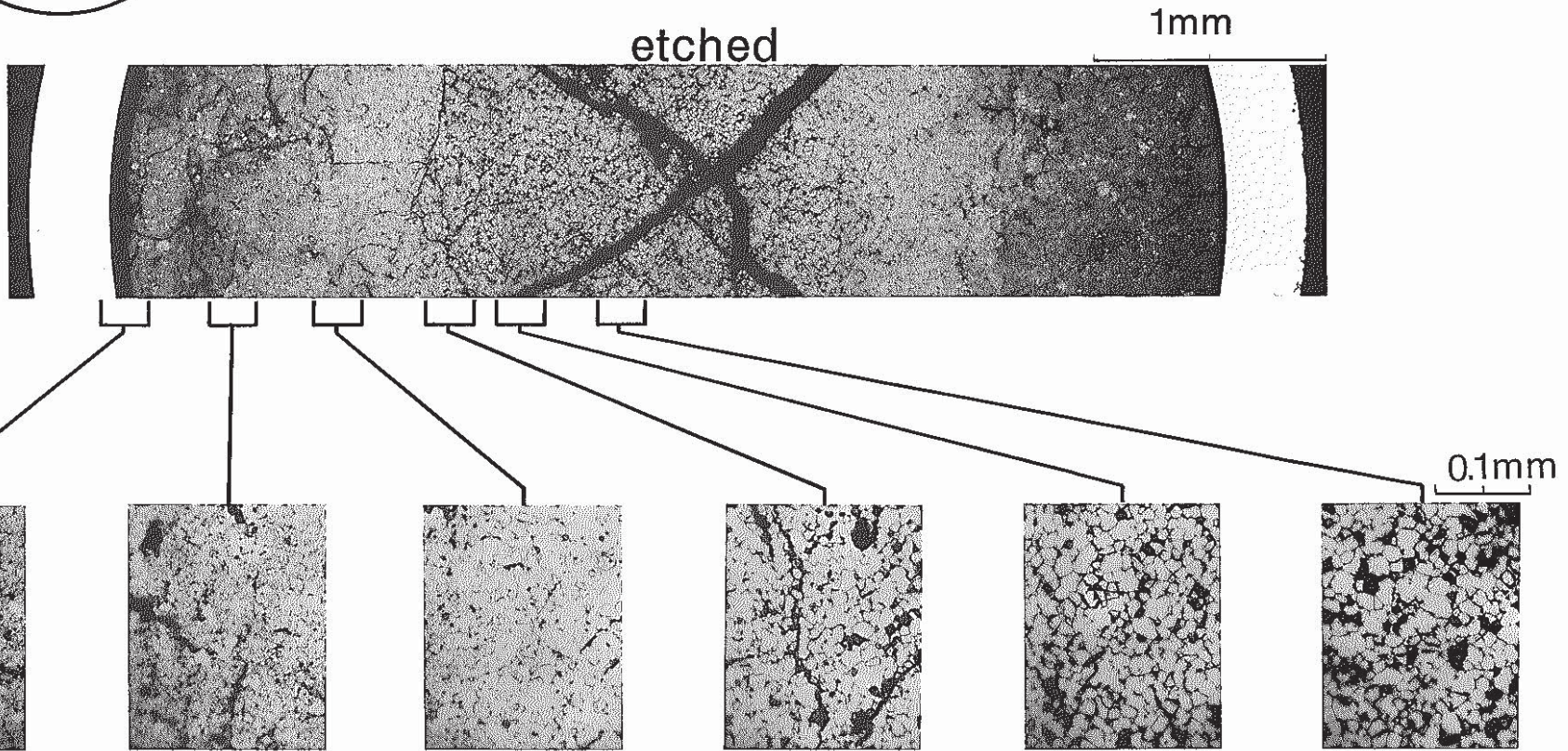


Photo 6 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (636423 sample, etched)



S/A Name	<b>JOYO-PFD010</b>	
Pin No.	<b>6364</b>	
Section No.	<b>636442</b>	
Distance from bottom of pin		<b>212mm</b>
Distance from bottom of fuel column		<b>126mm</b>

As polished

1mm

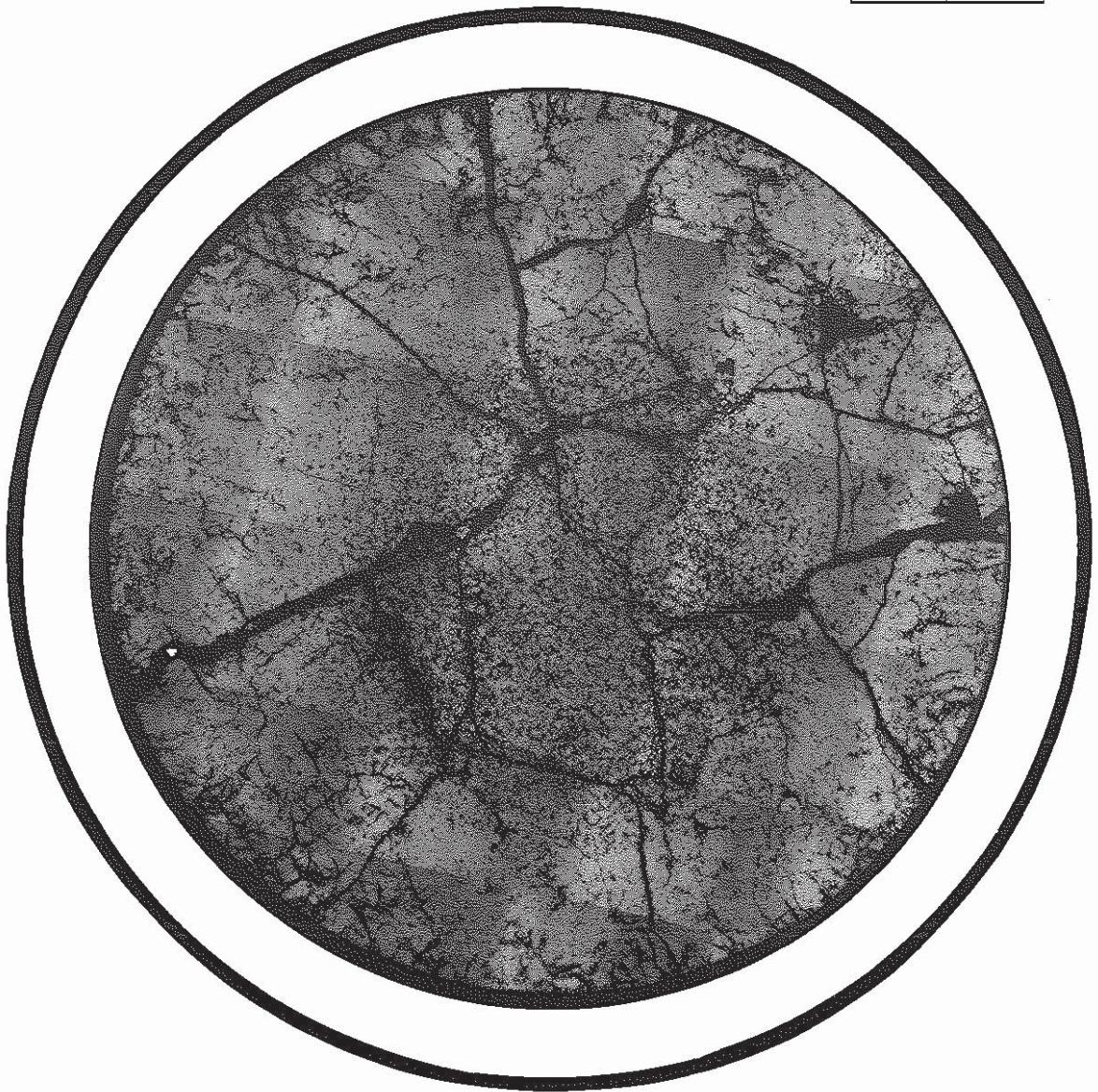


Photo 7 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (636442 sample, as polished)



S/A Name	<b>JOYO-PFD010</b>	
Pin No.	<b>6364</b>	
Section No.	<b>636442</b>	
Distance from bottom of pin		212mm
Distance from bottom of fuel column		126mm

etched

1mm

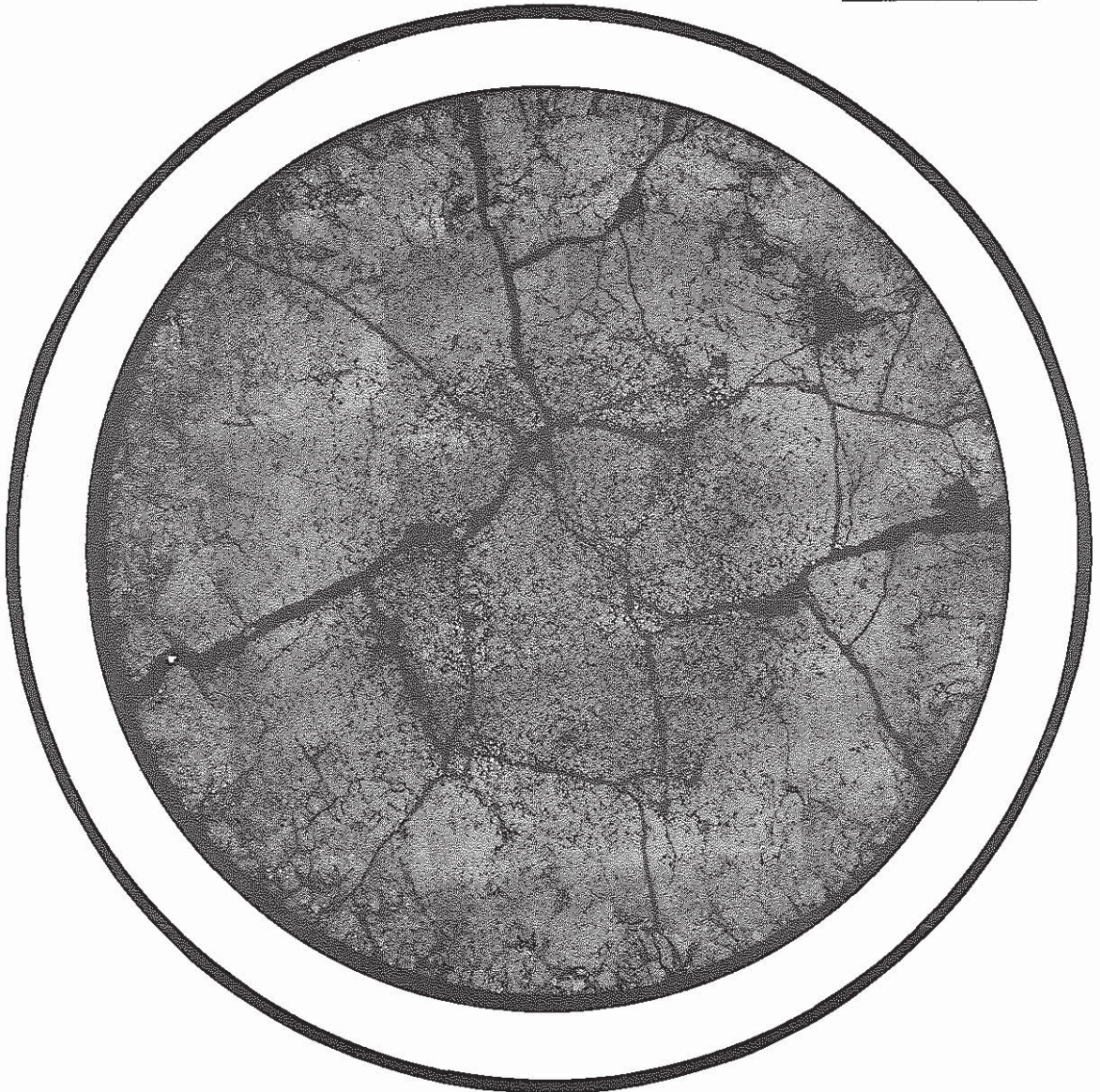
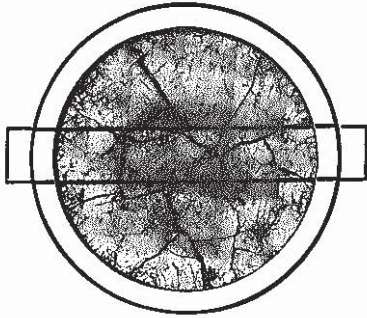


Photo 8 Ceromography of JOYO MK-II core fuel (636442 sample, etched)





S/A Name	<b>JOYO-PFD010</b>	
Pin No.	<b>6364</b>	
Section No.	<b>636442</b>	
Distance from bottom of pin		<b>212mm</b>
Distance from bottom of fuel column		<b>126mm</b>

As polished

1mm

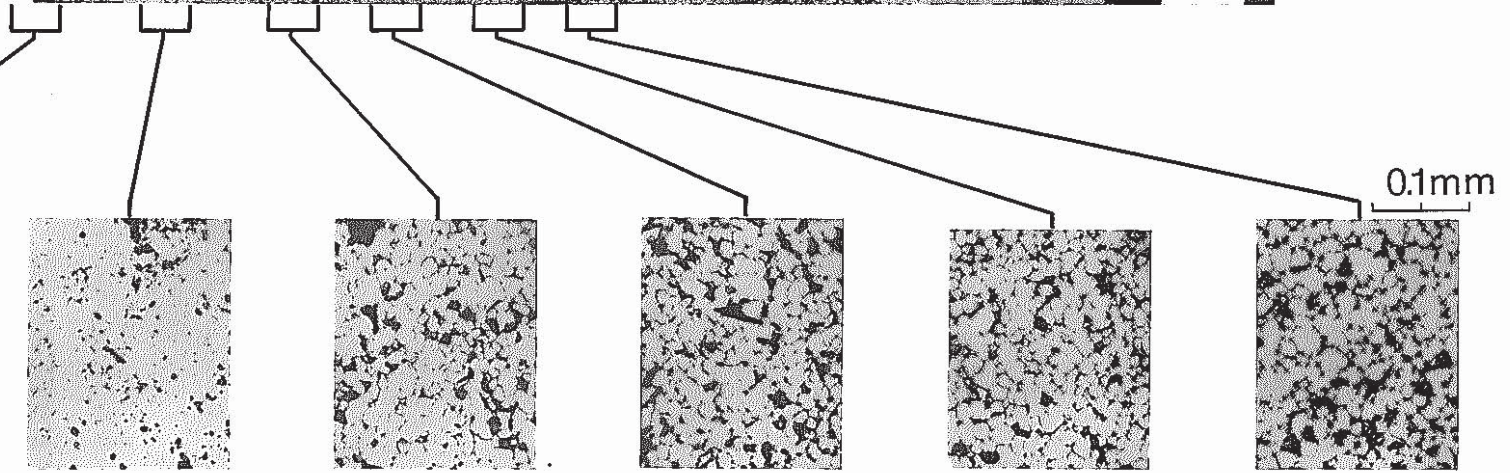
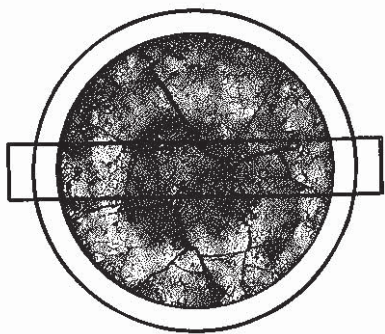
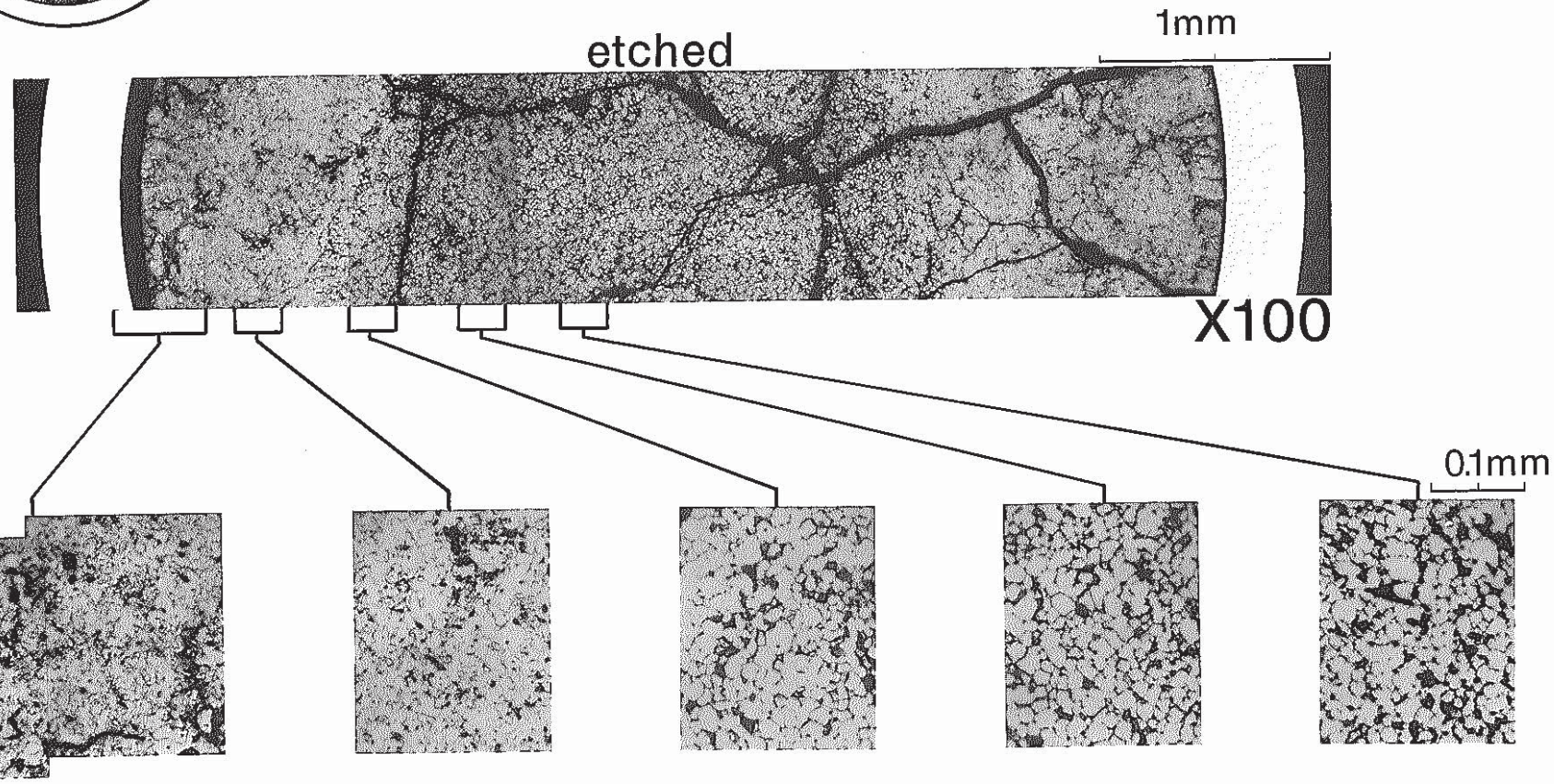


Photo 9 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (636442 sample, as polished)





S/A Name	<b>JOYO-PFD010</b>	
Pin No.	<b>6364</b>	
Section No.	<b>636442</b>	
Distance from bottom of pin		<b>212mm</b>
Distance from bottom of fuel column		<b>126mm</b>



--40--

Photo 10 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (636442 sample, etched)



S/A Name	JOYO-PFD010	
Pin No.	6364	
Section No.	636472	
Distance from bottom of pin		326mm
Distance from bottom of fuel column		240mm

As polished

1mm

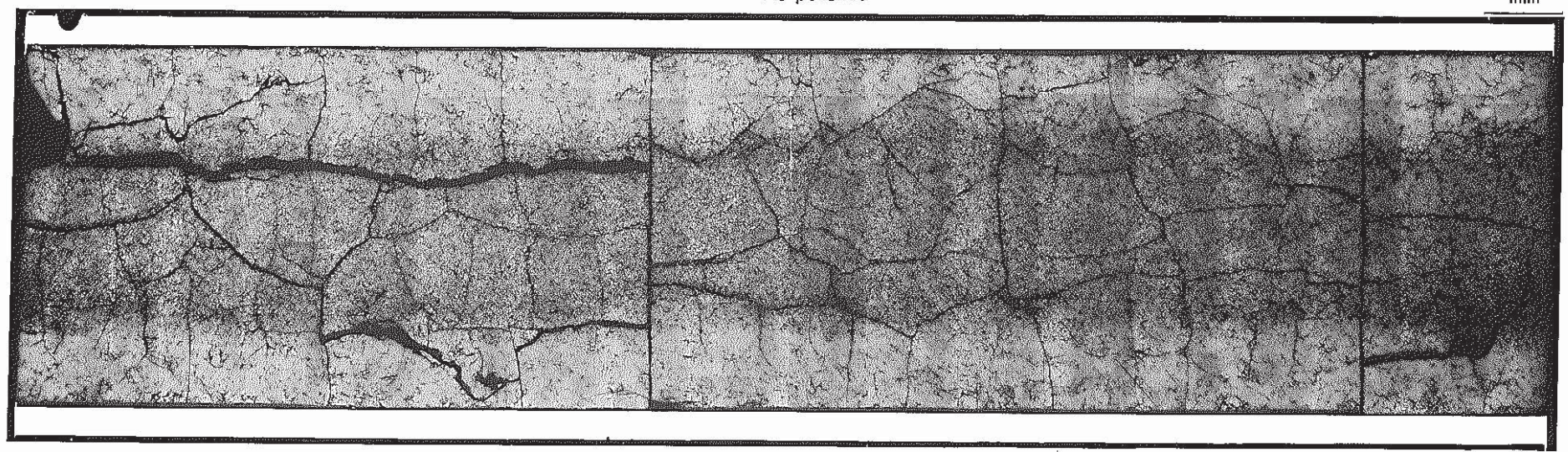


Photo 11 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (636472 sample, as polished)



S/A Name	JOYO - PFD010	
Pin No.	6364	
Section No.	636472	
Distance from bottom of pin		326mm
Distance from bottom of fuel column		240mm

etched

1mm

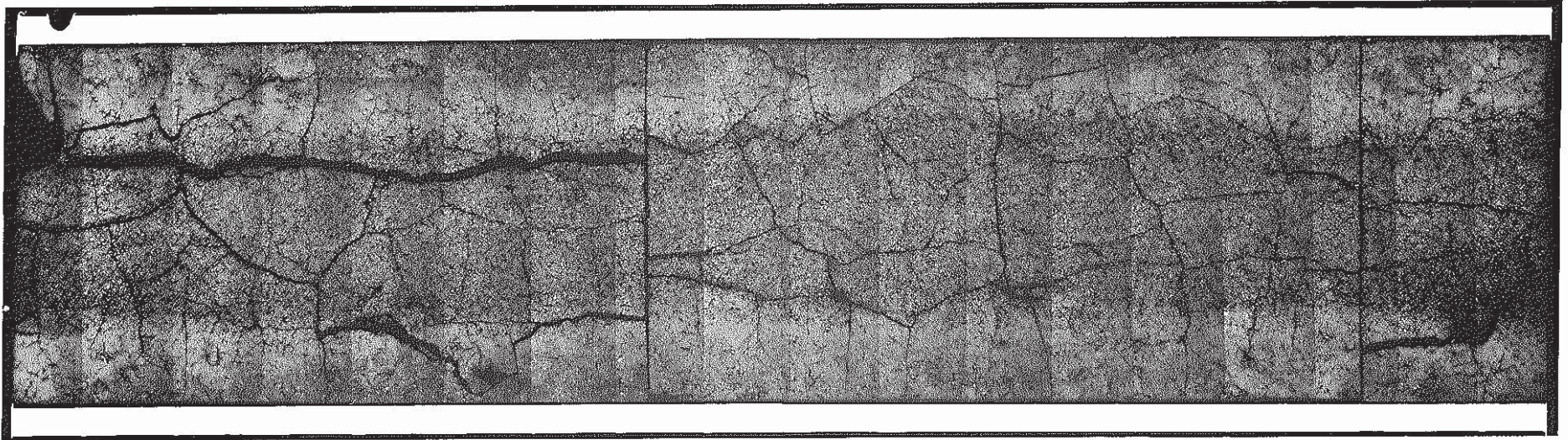


Photo 12 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (636472 sample, etched)

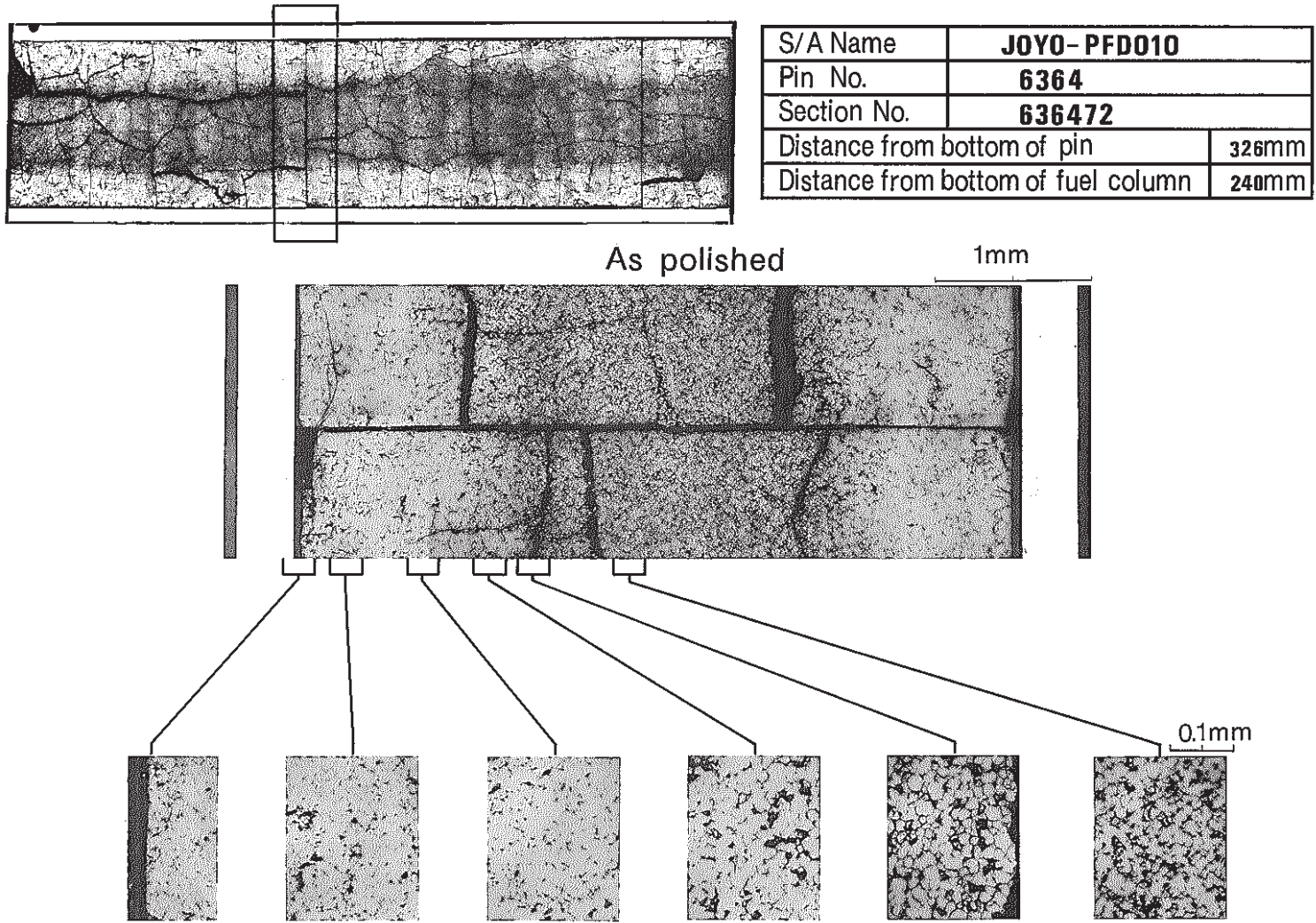


Photo 13 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (636472 sample, as polished)



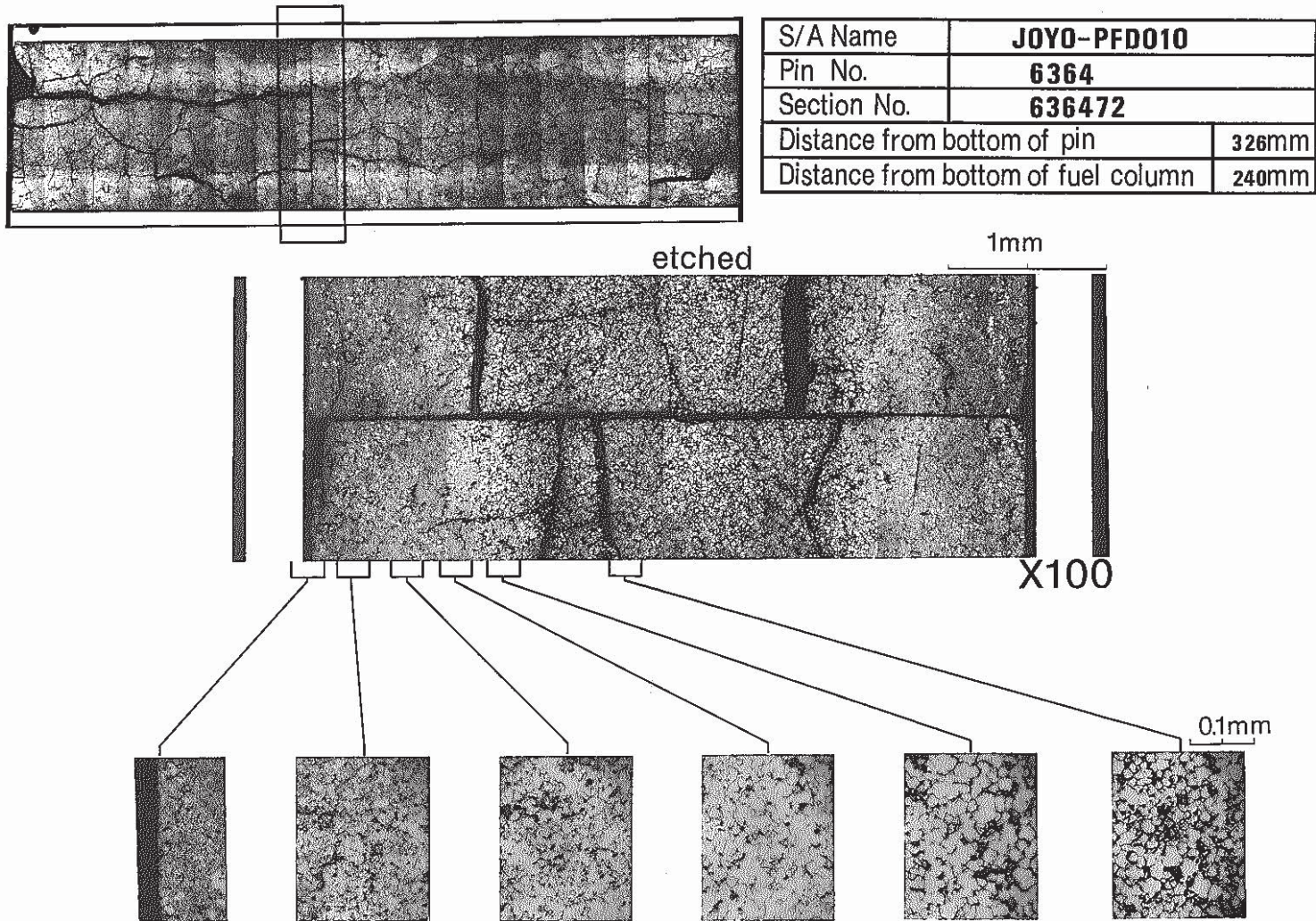


Photo 14 Ceramo-graphy of JOYO MK-II core fuel (636472 sample, etched)



S/A Name	<b>JOYO - PFD010</b>	
Pin No.	<b>6364</b>	
Section No.	<b>636473</b>	
Distance from bottom of pin		<b>336mm</b>
Distance from bottom of fuel column		<b>250mm</b>

As polished

1mm

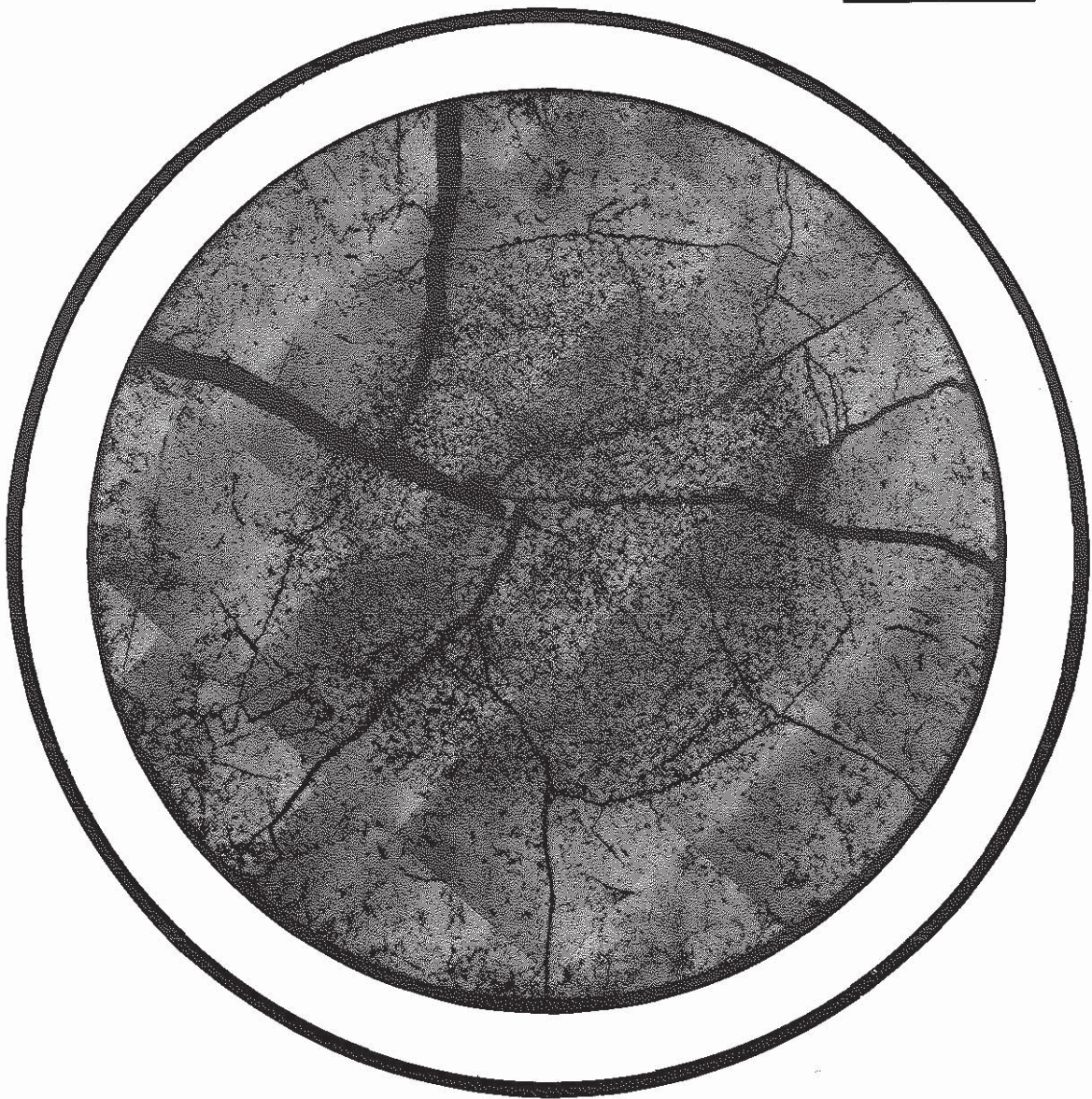


Photo 15 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (636473 sample, as polished)



S/A Name	<b>JOYO-PFD010</b>	
Pin No.	<b>6364</b>	
Section No.	<b>636473</b>	
Distance from bottom of pin		<b>336mm</b>
Distance from bottom of fuel column		<b>250mm</b>

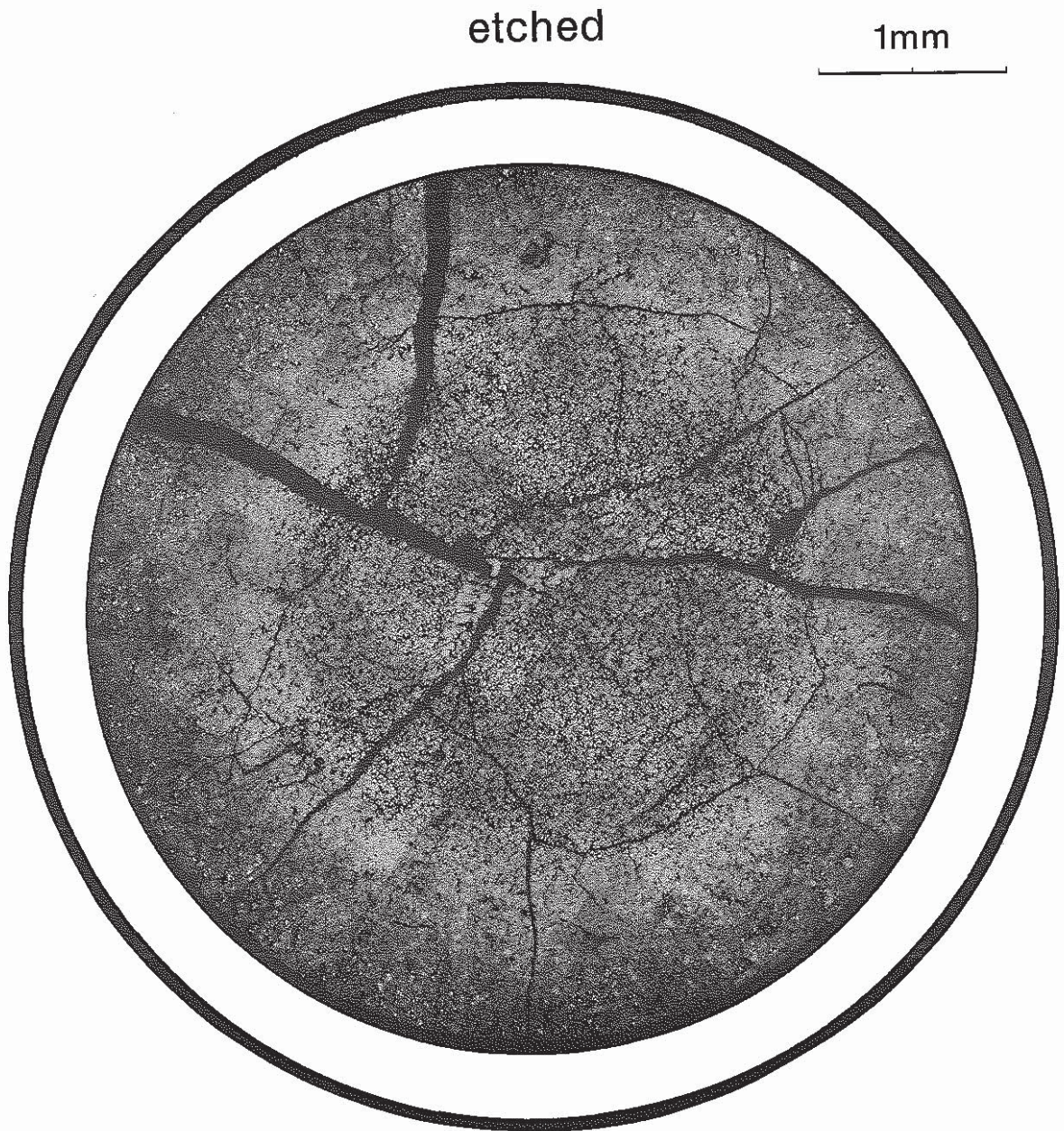
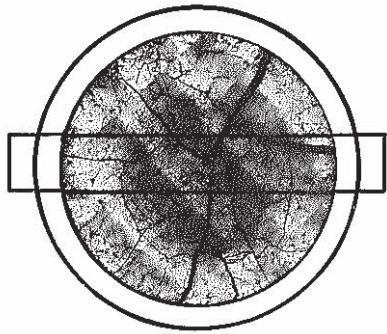


Photo 16 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (636473 sample, etched)

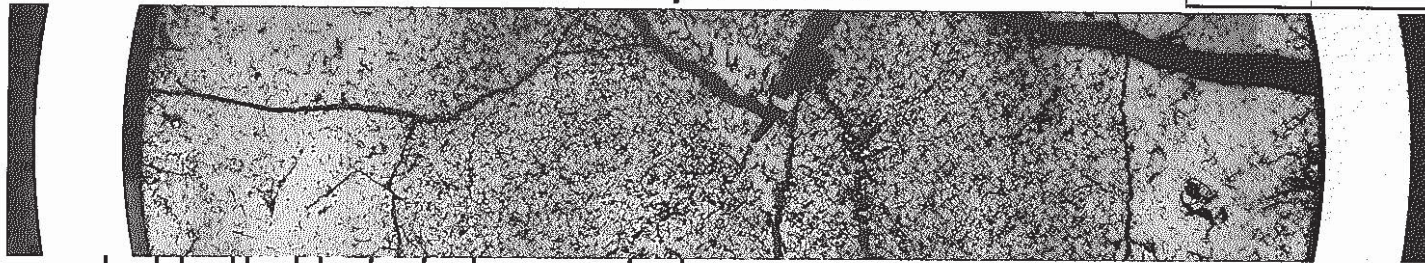




S/A Name	<b>JOYO - PFD010</b>	
Pin No.	<b>6364</b>	
Section No.	<b>636473</b>	
Distance from bottom of pin		<b>336mm</b>
Distance from bottom of fuel column		<b>250mm</b>

As polished

1mm



0.1mm

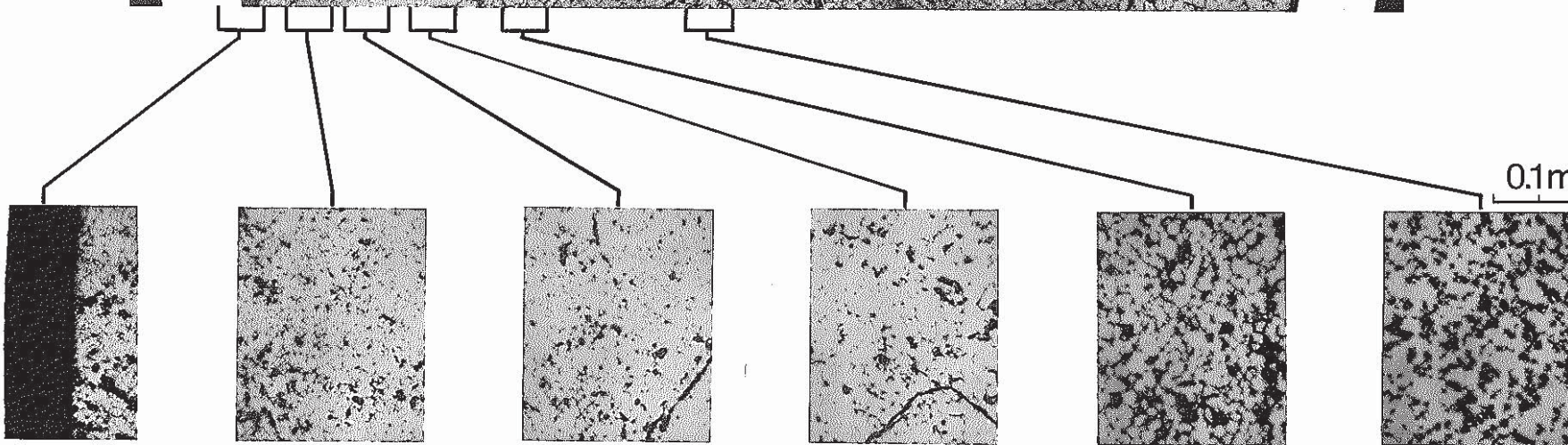
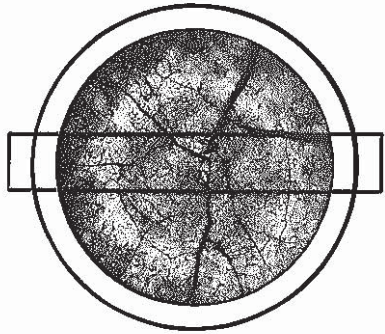


Photo 17 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (636473 sample, as polished)





S/A Name	<b>JOYO - PFD010</b>	
Pin No.	<b>6364</b>	
Section No.	<b>636473</b>	
Distance from bottom of pin	<b>336mm</b>	
Distance from bottom of fuel column	<b>250mm</b>	

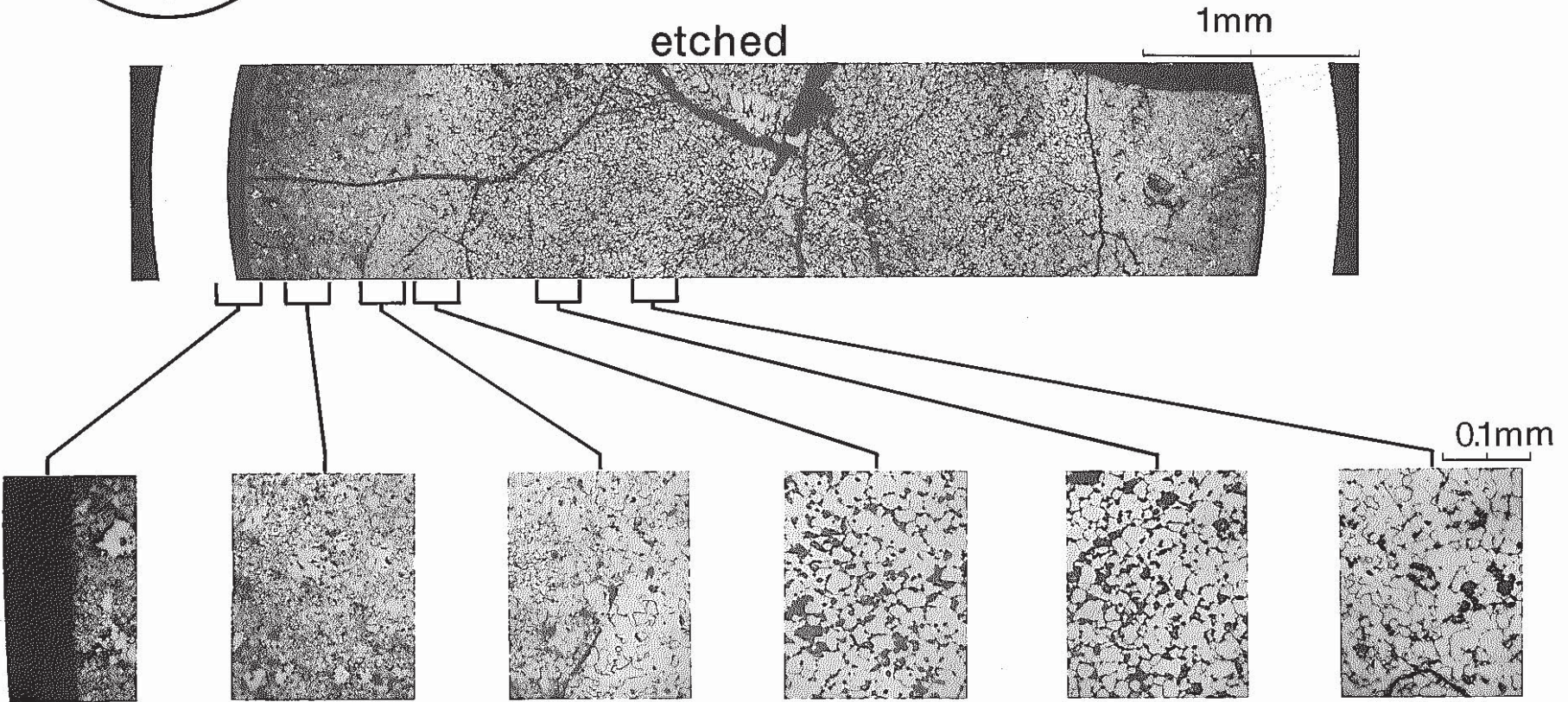


Photo 18 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (636473 sample, etched)



S/A Name	<b>JOYO-PFD010</b>	
Pin No.	<b>6364</b>	
Section No.	<b>6364A3</b>	
Distance from bottom of pin		<b>521mm</b>
Distance from bottom of fuel column		<b>435mm</b>

As polished

1mm

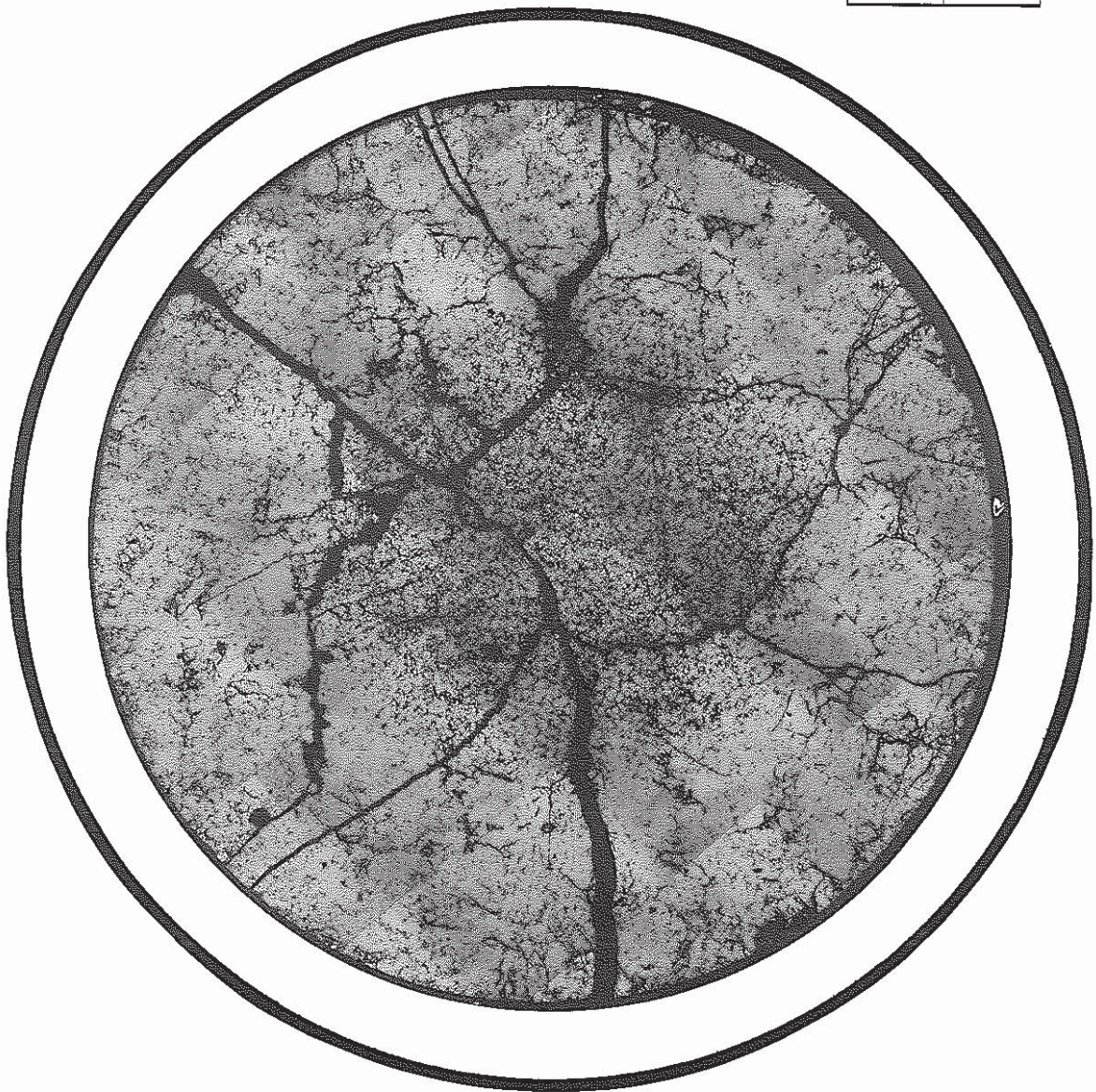


Photo 19 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (6364A3 sample, as polished)



S/A Name	<b>JOYO-PFD010</b>	
Pin No.	<b>6364</b>	
Section No.	<b>6364A3</b>	
Distance from bottom of pin		521mm
Distance from bottom of fuel column		435mm

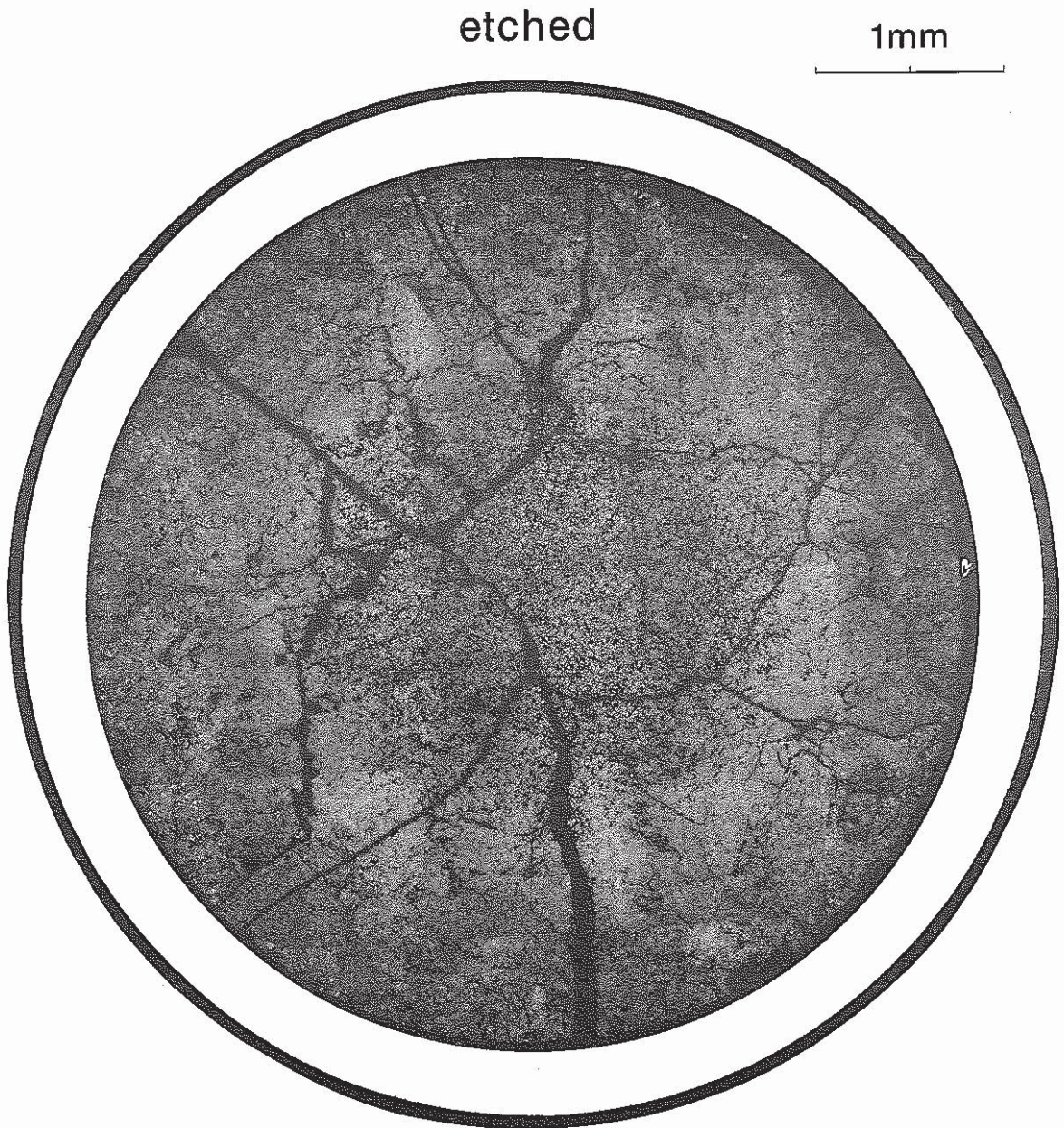
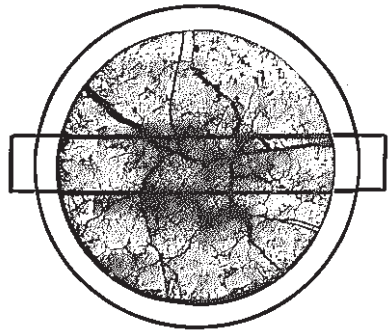


Photo 20 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (6364A3 sample, etched)





S/A Name	<b>JOYO-PFD010</b>	
Pin No.	<b>6364</b>	
Section No.	<b>6364A3</b>	
Distance from bottom of pin		<b>521mm</b>
Distance from bottom of fuel column		<b>435mm</b>

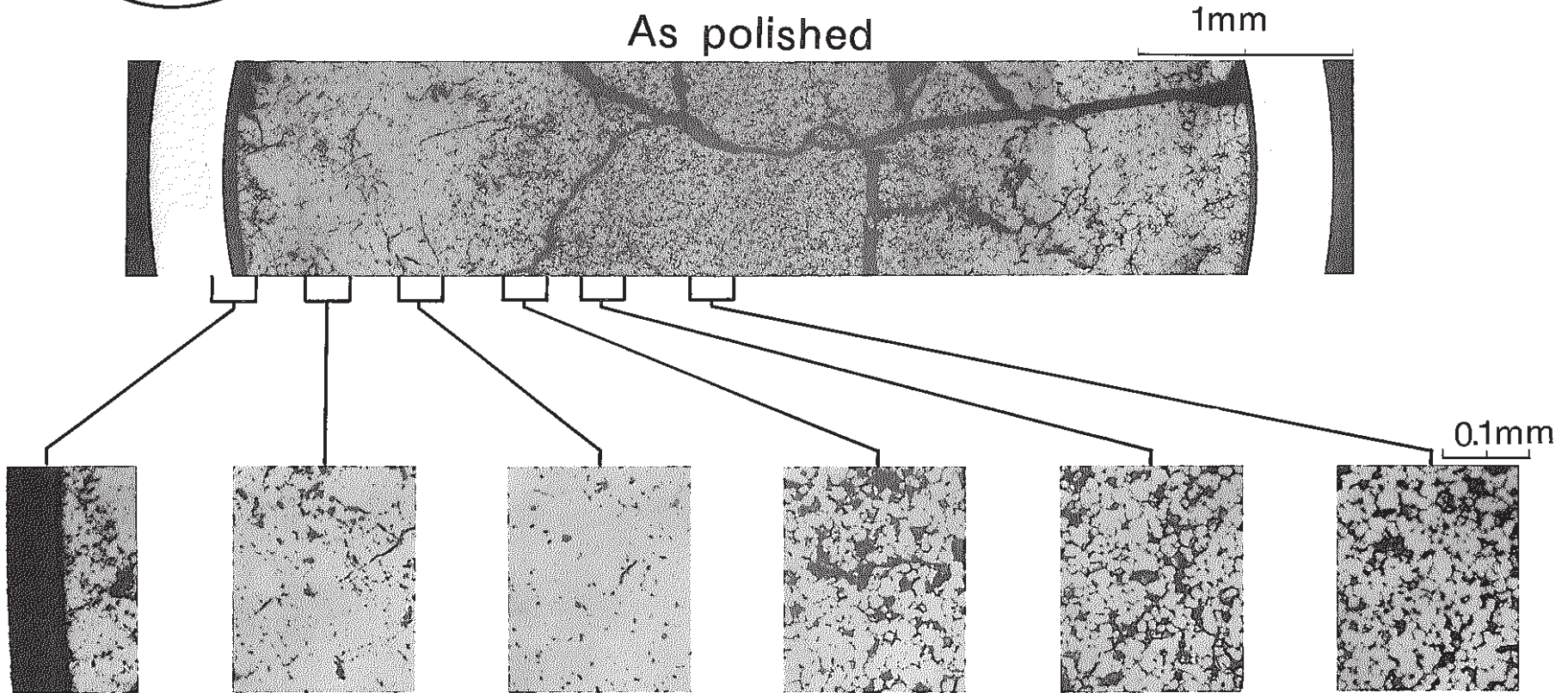
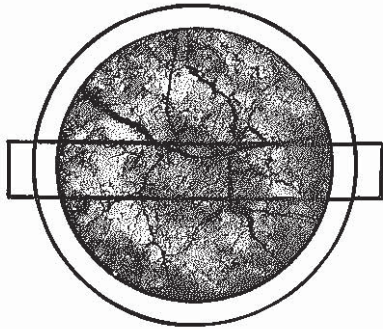


Photo 21 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (6364A3 sample, as polished)





S/A Name	<b>JOYO - PFD010</b>	
Pin No.	<b>6364</b>	
Section No.	<b>6364A3</b>	
Distance from bottom of pin		<b>521mm</b>
Distance from bottom of fuel column		<b>435mm</b>

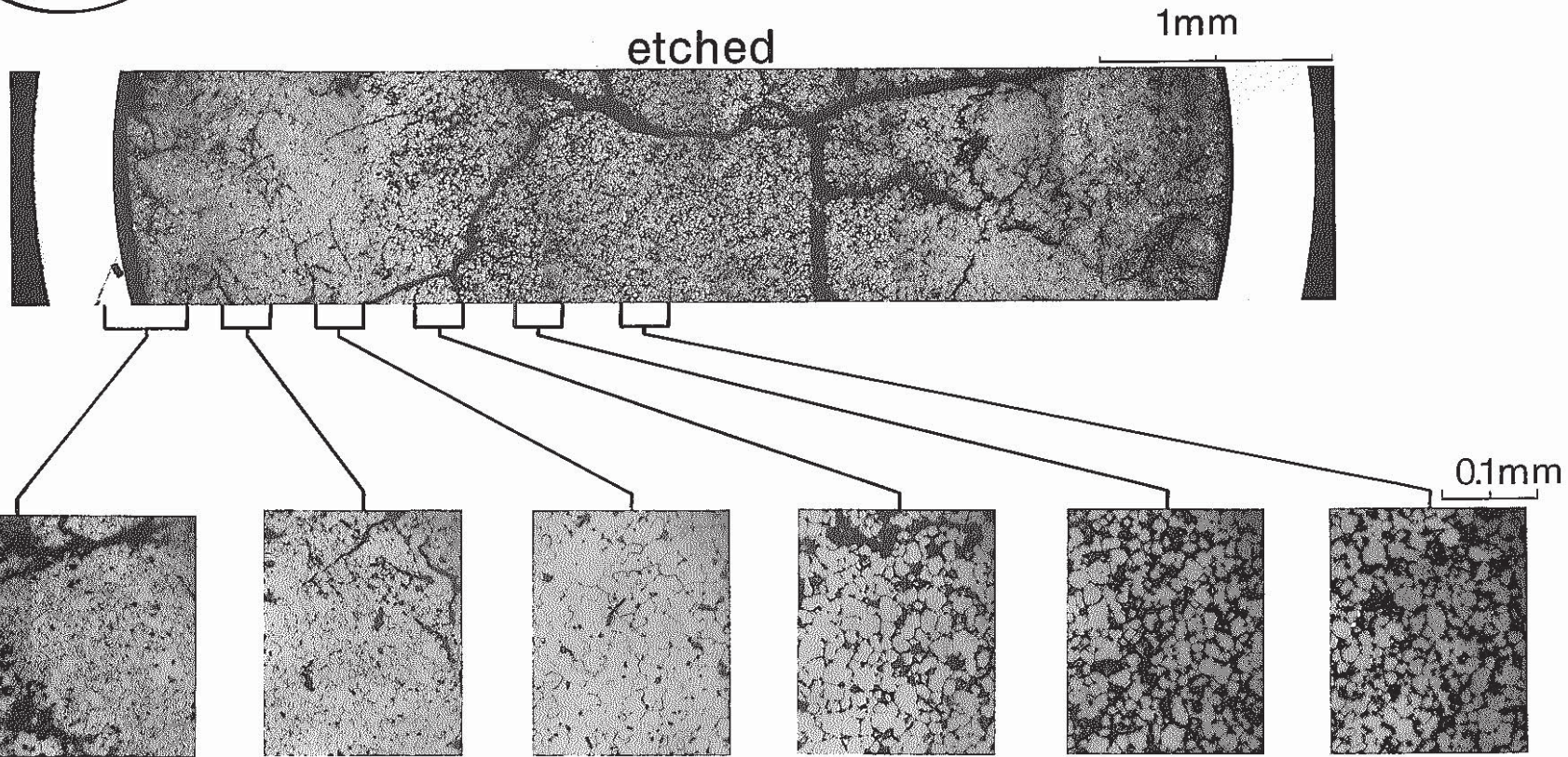


Photo 22 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (6364A3 sample, etched)



S/A Name	<b>JOYO - PFD010</b>	
Pin No.	<b>6364</b>	
Section No.	<b>6364C3</b>	
Distance from bottom of pin		<b>622mm</b>
Distance from bottom of fuel column		<b>536mm</b>

As polished

1mm



Photo 23 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (6364C3 sample, as polished)



S/A Name	<b>JOYO-PFD010</b>	
Pin No.	<b>6364</b>	
Section No.	<b>6364C3</b>	
Distance from bottom of pin		<b>622mm</b>
Distance from bottom of fuel column		<b>536mm</b>

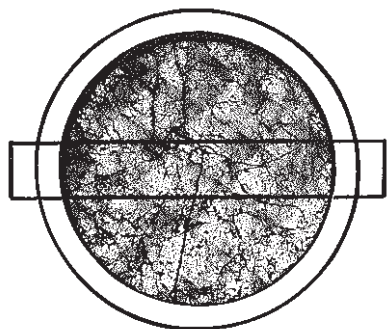
etched

1mm



Photo 24 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (6364C3 sample, etched)





S/A Name	<b>JOYO - PFD010</b>	
Pin No.	<b>6364</b>	
Section No.	<b>6364C3</b>	
Distance from bottom of pin		<b>622mm</b>
Distance from bottom of fuel column		<b>536mm</b>

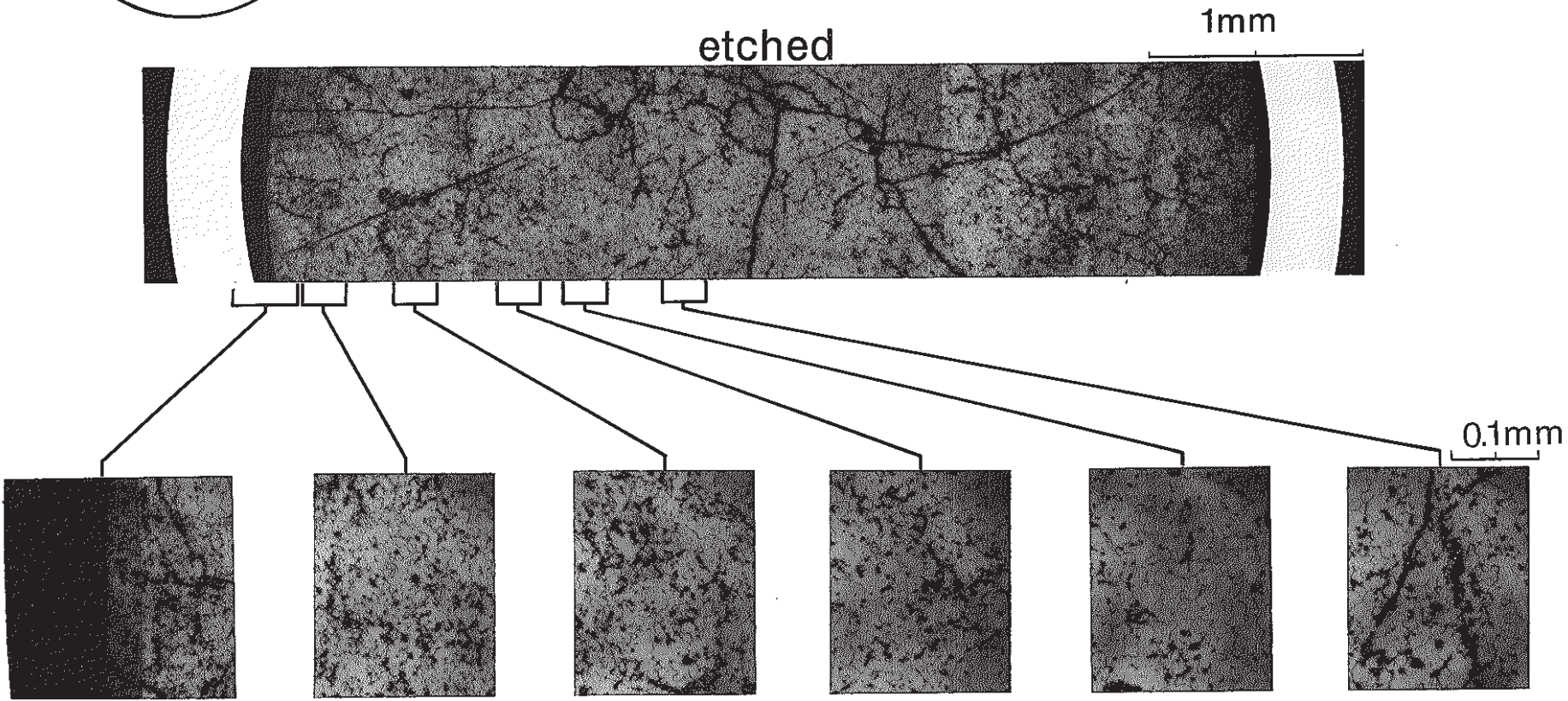
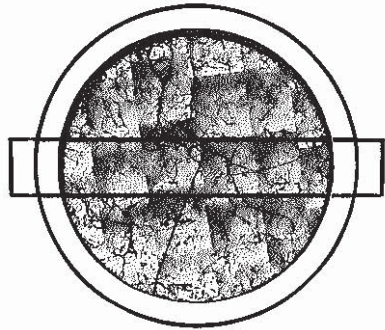


Photo 25 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (6364C3 sample, etched)

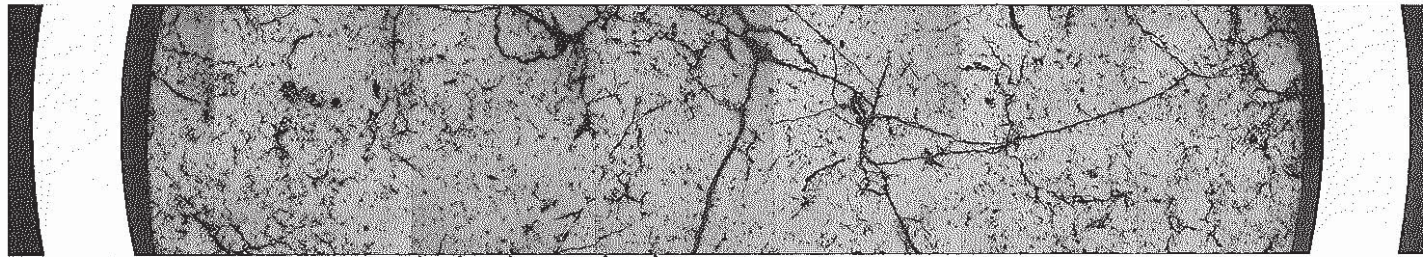




S/A Name	<b>JOYO - PFD010</b>	
Pin No.	<b>6364</b>	
Section No.	<b>6364C3</b>	
Distance from bottom of pin		<b>622mm</b>
Distance from bottom of fuel column		<b>536mm</b>

As polished

1mm



0.1mm

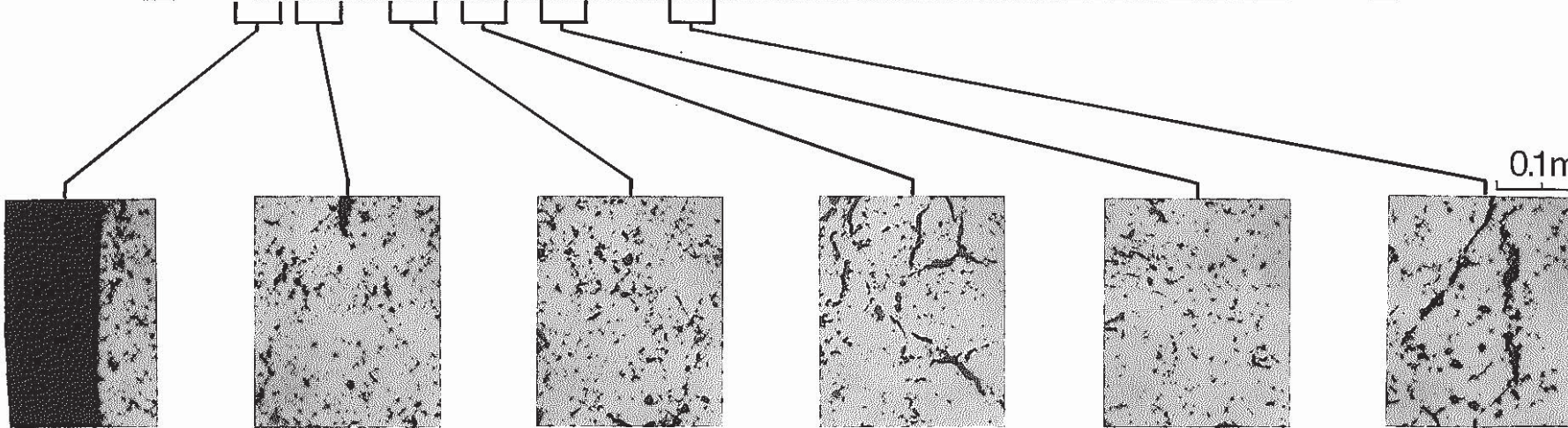


Photo 26 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (6364C3 sample, as polished)



S/A Name	JOYO-PFD010	
Pin No.	6364	
Section No.	6364C4	
Distance from bottom of pin		642mm
Distance from bottom of fuel column		556mm

As polished

1mm

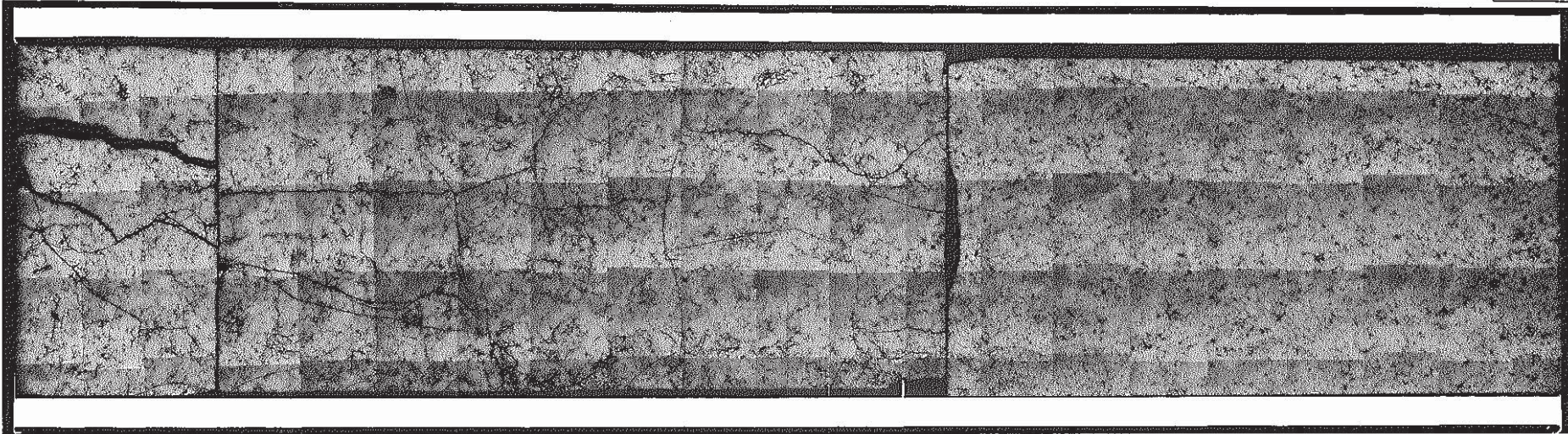


Photo 27 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (6364C4 sample, as polished)



S/A Name	JOYO-PFD010	
Pin No.	6364	
Section No.	6364C4	
Distance from bottom of pin		542mm
Distance from bottom of fuel column		556mm

etched

1mm

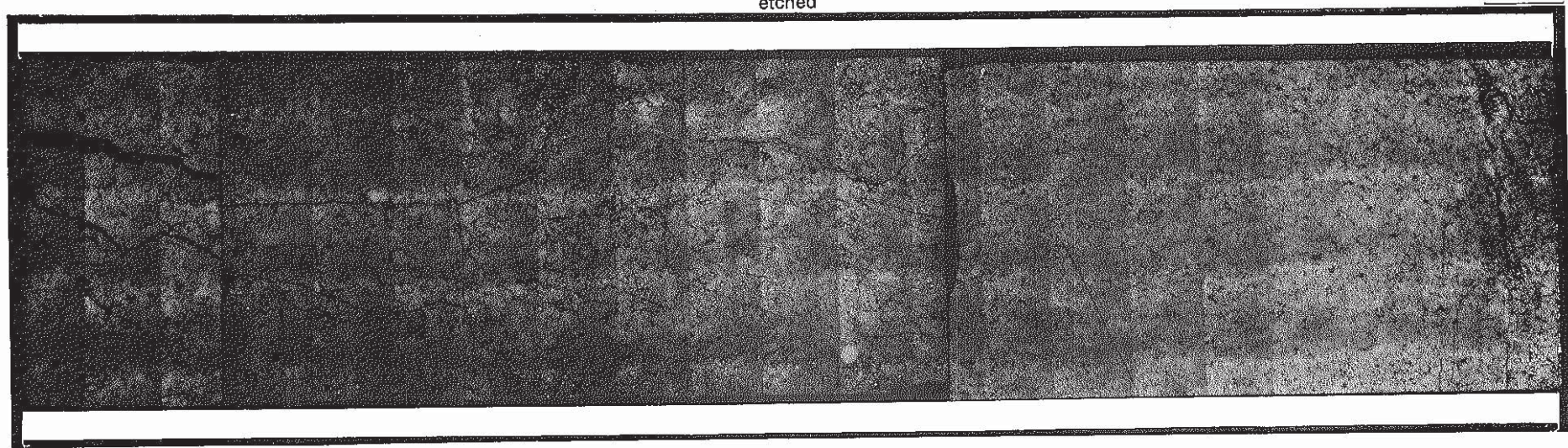


Photo 28 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (6364C4, etched)

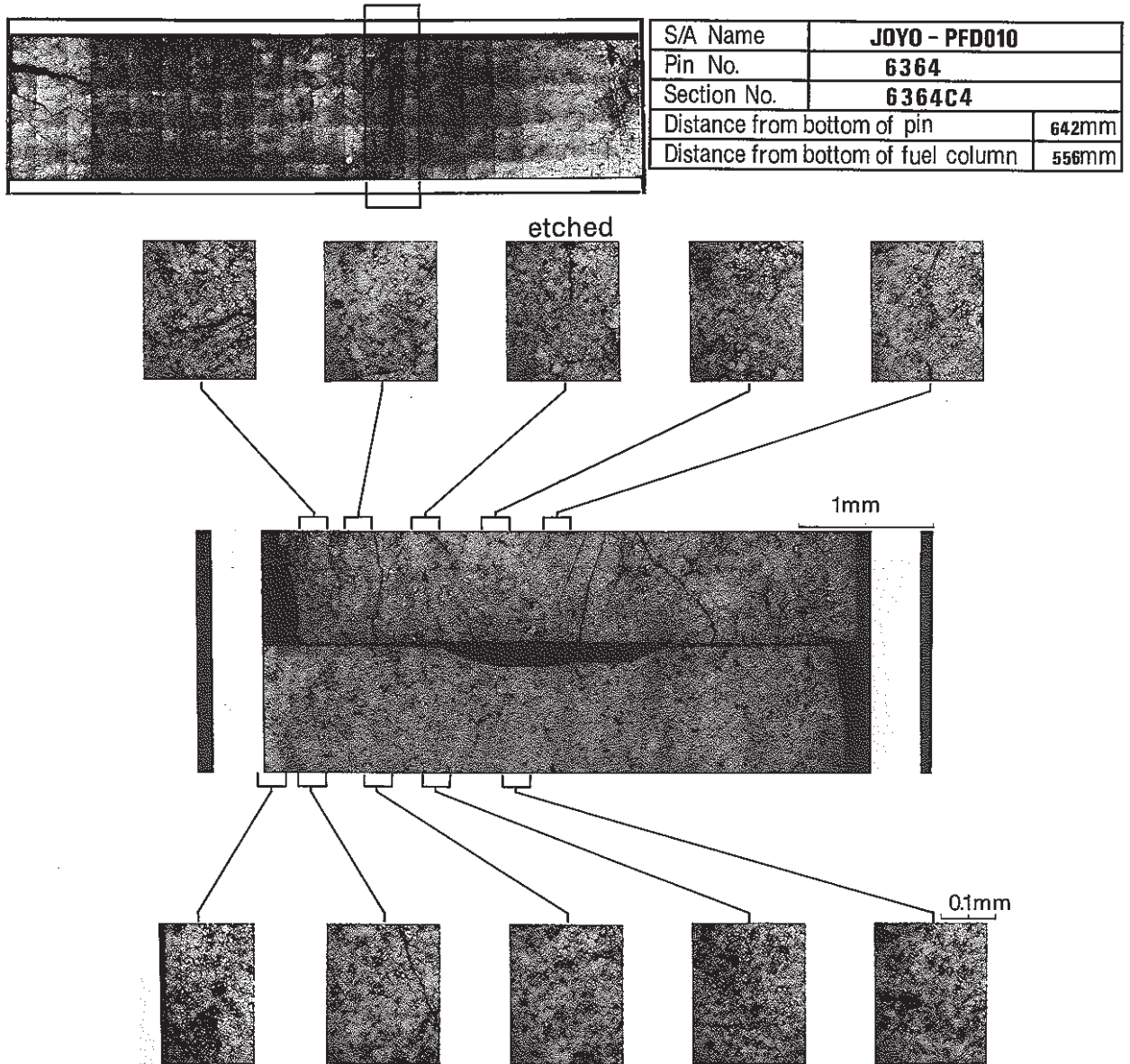


Photo 29 Ceromography of JOYO MK-II core fuel (6364C4 sample, etched)



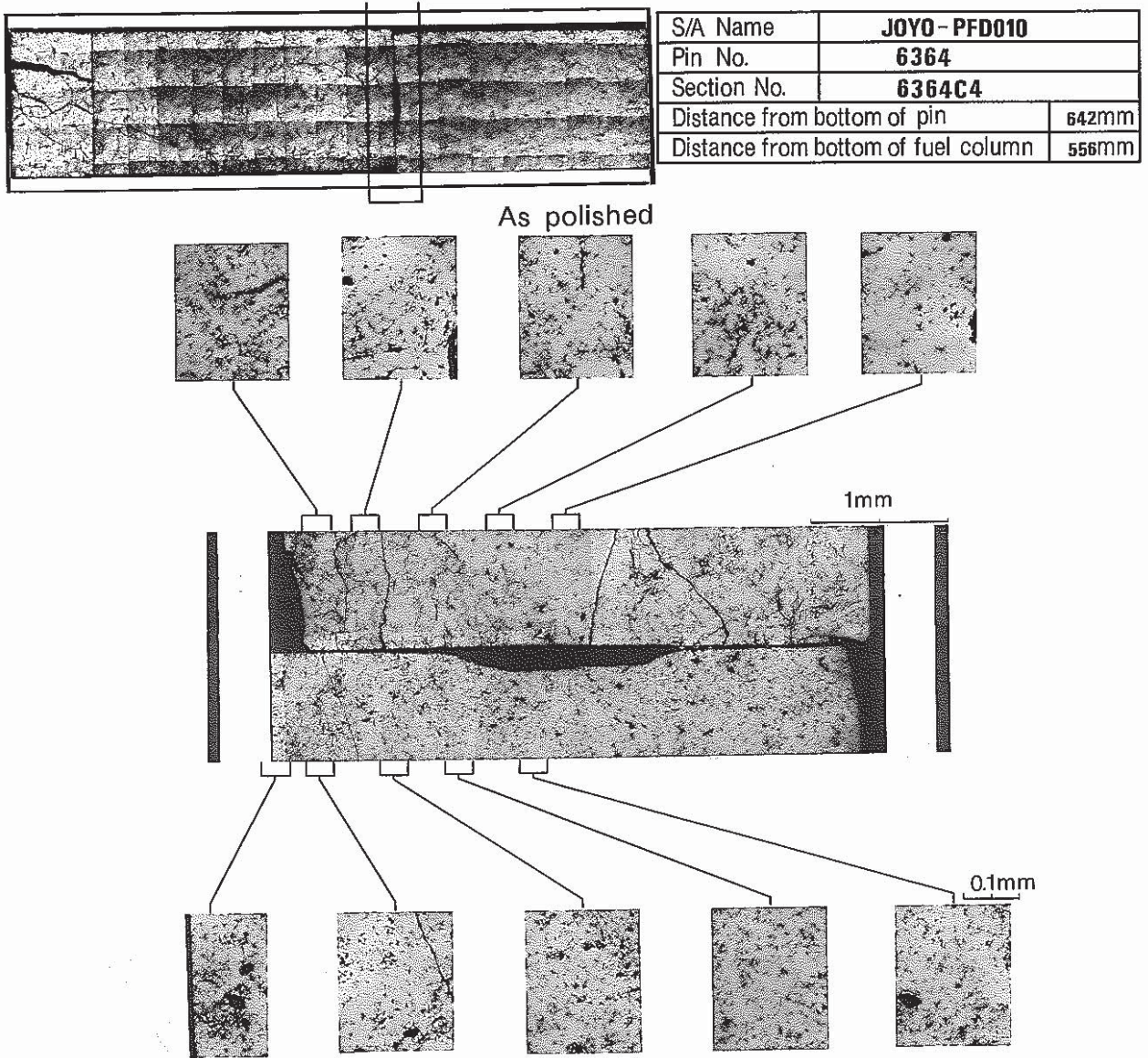


Photo 30 Ceramography of JOYO MK-II core fuel (6364C4 sample, as polished)



S/A No. JOYO-PFD010  
Pin No. 6364

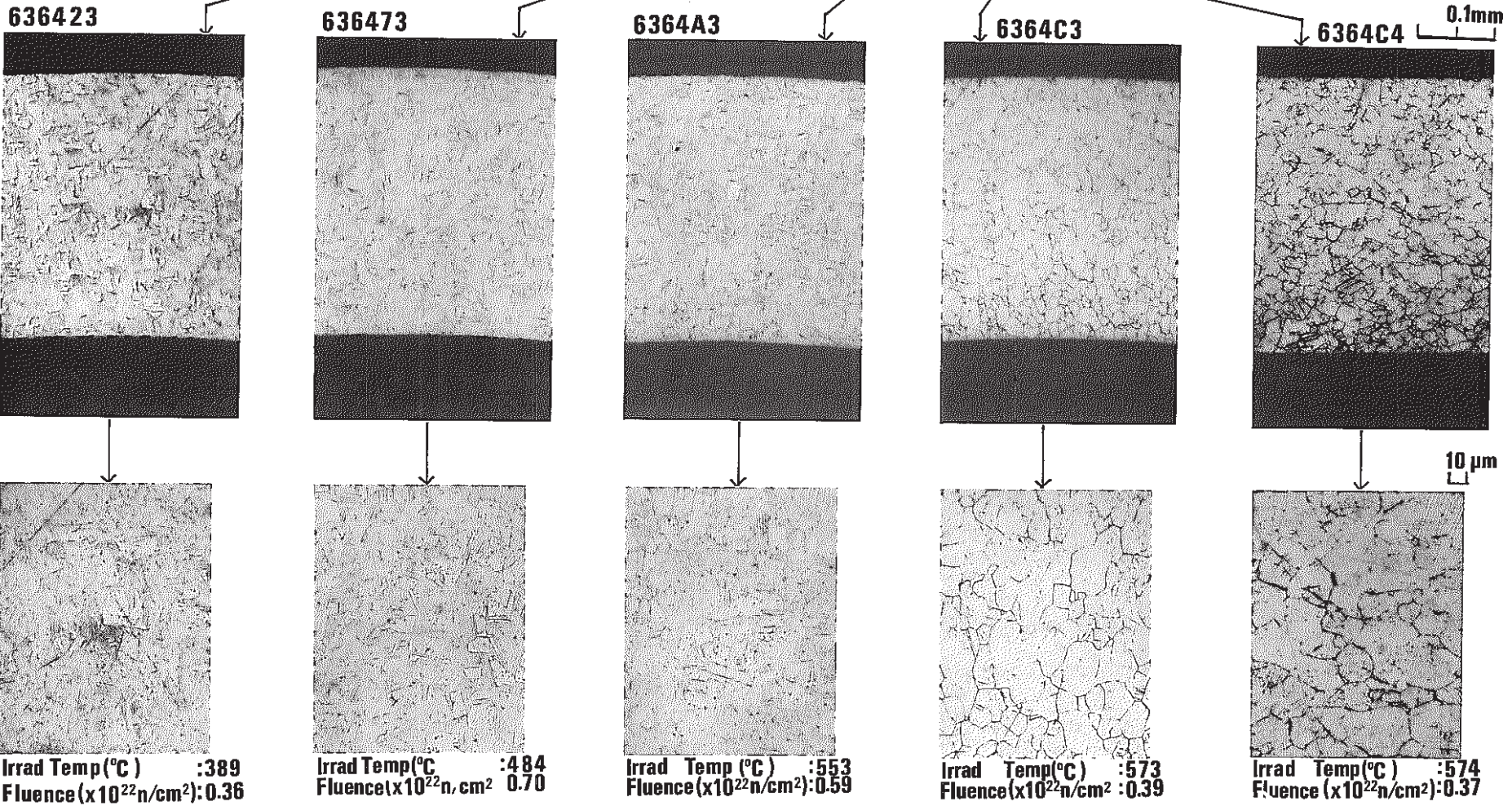
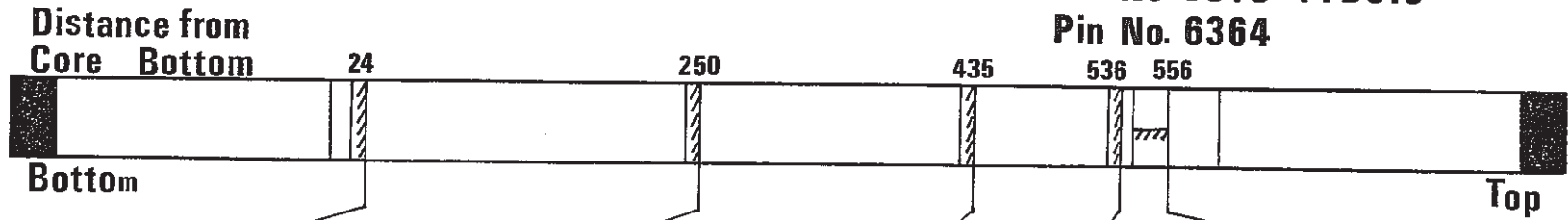


Photo Optical micrographs of fuel cladding (No. 6364 PIN)

Photo 31 Optical micrographs of fuel cladding (No.6364pin)

#### 4. 被覆管硬さ測定試験

Table	4-2-1	Measurement condition and indentation position
Table	4-2-2	Microhardness results of JOYO MK-II PFD010 fuel cladding
Table	4-2-3	Microhardness of JOYO MK-II PFD010 fuel cladding
Table	4-2-7	
Fig.	4-2-1	Relation between hardness and temperature for JOYO MK-II fuel pin
Fig.	4-2-2	Relation between hardness and fluence for JOYO MK-II fuel pin
Fig.	4-2-3	Relation between hardness and temperature for JOYO MK-II fuel pin

Table 4-2-1 Measurement condition and indentation position

1) Measurement Condition

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

2) Indentation Position

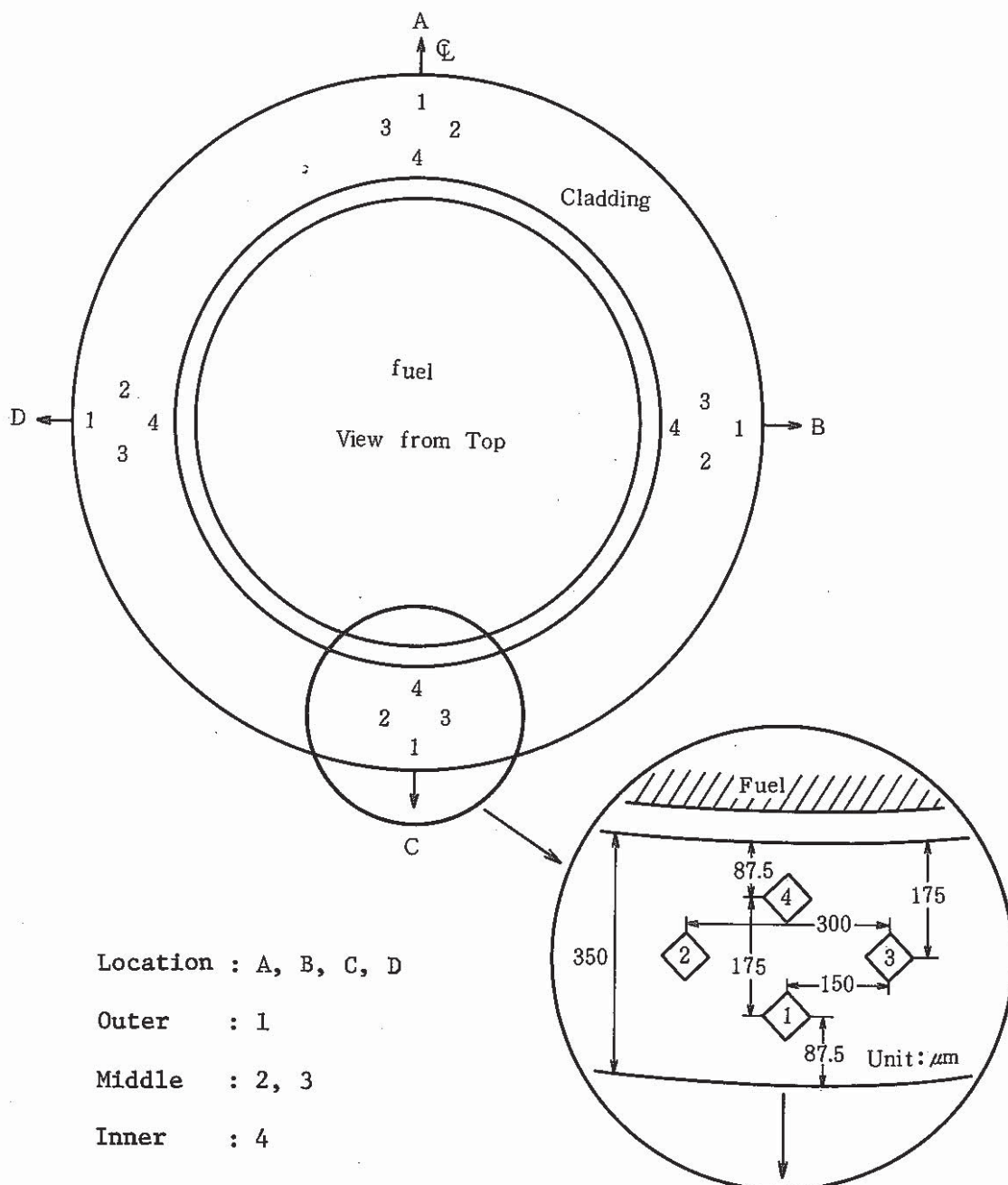




Table 4-2-2 Microhardness results of JOYO MK-II PFD010 fuel cladding

Pin No	6364		Lot No.	K002	(Unirrad. Hardness 270 (Hv500))				
Specimen No	636422	636423	636442	636472	636473	6364A3	6364C3	6364C4	
D.F.C.B. (mm)	-5.0~15.0	25.0	125.0	220.0~240.0	250.0	435.0	535.0	535.0~555.0	
Hardness (Hv500)	302	303	317	312	299	274	267	269	
$\Delta$ Hv (Hv500)	32	33	47	42	29	4	-3	-1	
(*1) $\Delta$ Hv/Hv (%)	11.9	12.2	17.4	15.6	10.7	1.5	-1.1	-0.4	
(*2)	Clad. Midwall Temp. (°C)	379	389	431	475	484	553	573	574
	Fluence ( $\times 10^{22}$ n/cm <sup>2</sup> )	0.309	0.359	0.571	0.685	0.697	0.586	0.393	0.370

(\*1): Hv = Unirrad. Hardness       $\Delta$ Hv: Hardness - Unirrad. Hardness

(\*2): Fluence ( $E \geq 0.1$  MeV)

: 縦割資料の照射条件は試料軸方向中心位置の値  
冷間加工度 = 20 (%)

Table 4-2-3 Microhardness of JOYO MK-II PFD010 fuel cladding (No.6364pin-(1))

S/A Name	PFD010		Pin No.	6364	
Specimen No.	636423				
D. F. C. B.	25.0 (mm)		D.F.P.B.	111.0 (mm)	
Location	Outer	Middle		Inner	Average
	1	2	3	4	
A	303	309	301	301	304
B	298	303	315	296	303
C	296	307	307	301	303
D	293	309	298	298	300
Ring Average	298	307	305	299	303

Unit: Hv500

S/A Name	PFD010		Pin No.	6364	
Specimen No.	636442				
D. F. C. B.	125.0 (mm)		D.F.P.B.	211.0 (mm)	
Location	Outer	Middle		Inner	Average
	1	2	3	4	
A	315	307	320	333	319
B	315	307	312	324	315
C	318	315	309	318	315
D	318	330	324	309	320
Ring Average	317	315	316	321	317

Unit: Hv500

S/A Name	PFD010		Pin No.	6364	
Specimen No.	636473				
D. F. C. B.	250.0 (mm)		D.F.P.B.	336.0 (mm)	
Location	Outer	Middle		Inner	Average
	1	2	3	4	
A	301	301	301	301	301
B	301	296	293	309	300
C	296	293	287	312	297
D	296	298	296	293	296
Ring Average	299	297	294	304	299

Unit: Hv500

Table 4-2-4 Microhardness of JOYO MK-II PFD010 fuel cladding (No.6364Pin -(1))

S/A Name	PFD010		Pin No.	6364	
Specimen No.	6364A3				
D. F. C. B.	435.0 (mm)		D.F.P.B.	521.0 (mm)	
Location	Outer	Middle		Inner	Average
	1	2	3	4	
A	271	280	268	276	274
B	271	273	280	278	276
C	262	268	276	266	268
D	276	278	278	276	277
Ring Average	270	275	276	274	274

Unit: Hv500

S/A Name	PFD010		Pin No.	6364	
Specimen No.	6364C3				
D. F. C. B.	535 (mm)		D.F.P.B.	621.0 (mm)	
Location	Outer	Middle		Inner	Average
	1	2	3	4	
A	264	262	273	271	268
B	258	262	268	273	265
C	264	264	262	273	266
D	266	268	259	273	267
Ring Average	263	264	266	273	267

Unit: Hv500



Table 4-2-5 Microhardness of JOYO MK-II PFD010 fuel cladding (No.6364Pin-(2))

S/A Name	PFD010	Pin No.	6364	Specimen No.	636422
D.F.C.B.	-5.0 ~ 15.0	D.F.P.B.	81.0 ~ 101.0		
Location	Outer	Middle			
	1	2	3	4	
A	312	298	301	303	304
B	301	298	298	301	300
C	298	293	303	309	301
D	301	307	307	309	306
E	298	307	298	298	300
F	301	301	301	301	301
G	296	307	315	301	305
H	307	312	303	312	309
I	307	296	298	303	301
J	307	312	303	296	305
K	291	307	307	296	300
L	298	307	303	291	300
M	298	296	287	291	293
N	296	298	301	303	300
Ring Average	301	303	302	301	302

Unit: Hv500

Table 4-2-6 Microhardness of JOYO MK-II PFD010 fuel cladding (No.6364Pin-(3))

S/A Name	PFD010	Pin No.	6364	Specimen No.	636472
D.F.C.B. 220.0~240.0		D.F.P.B. 306.0~326.0			

Location	Outer	Middle		Inner	Average
	1	2	3	4	
A	320	307	320	307	314
B	324	315	307	307	313
C	318	318	315	298	312
D	309	315	303	309	309
E	293	307	307	315	306
F	315	320	318	309	316
G	324	309	315	309	314
H	307	307	315	312	310
I	309	312	309	301	308
J	312	312	312	307	311
K	330	309	309	312	315
L	315	318	317	307	315
Ring Average	315	312	312	308	312

Unit: Hv500

Table 4-2-7 Microhardness of JOYO MK-II PFD010 fuel cladding (No.6364Pin-(4))

S/A Name	PFD010	Pin No.	6364	Specimen No.	6364C4
D.F.C.B. 535.0 ~ 555.0		D.F.P.B. 621.0 ~ 641.0			
Location	Outer	Middle		Inner	Average
	1	2	3	4	
A	273	271	262	264	268
B	266	276	271	264	269
C	271	273	278	266	272
D	264	266	271	266	267
E	271	276	271	262	270
F	271	264	258	264	264
G	271	278	264	276	272
H	273	266	276	268	271
I	273	268	273	262	269
J	271	264	276	268	269
K	273	271	276	273	273
L	273	266	264	264	267
Ring Average	271	270	270	266	269

Unit: Hv500



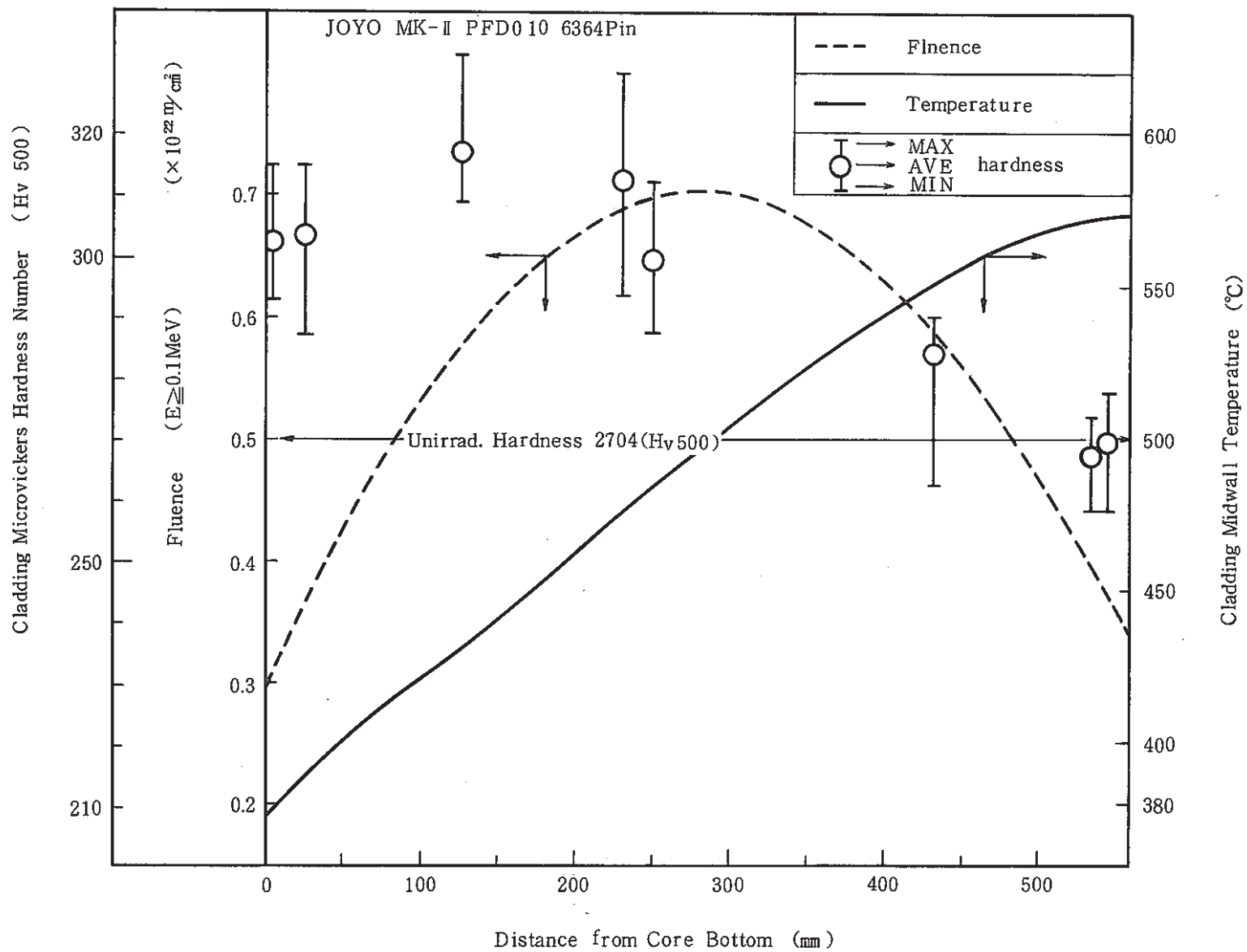


Fig. 4-2-1 Relation between hardness, clad temperature and fluence at various position for JOYO MK-II fuel pin (PFD010, 6364)

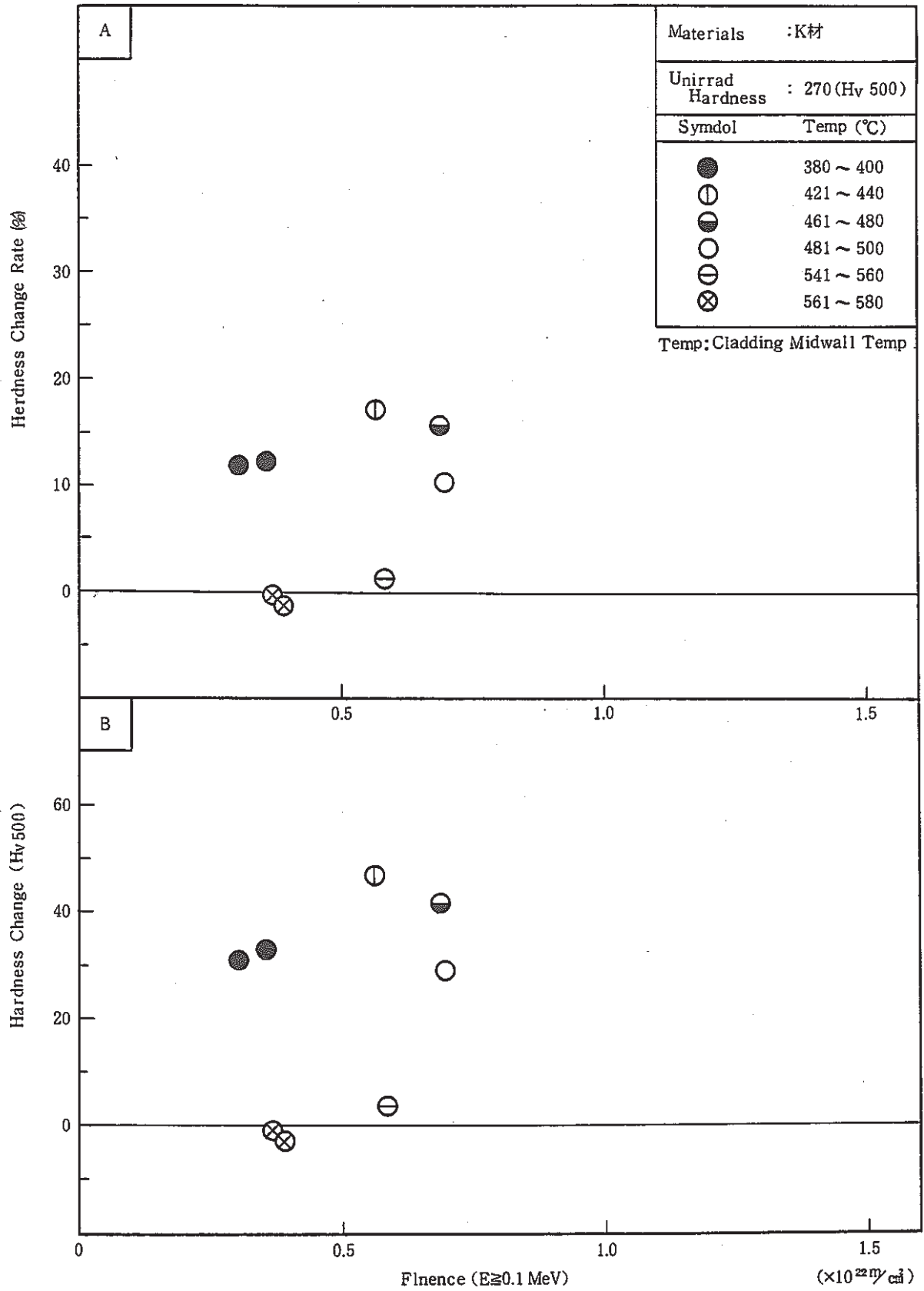


Fig. 4-2-2 Relation between hardness and fluence for JOYO MK-II fuel pin (PFD010, 6364)

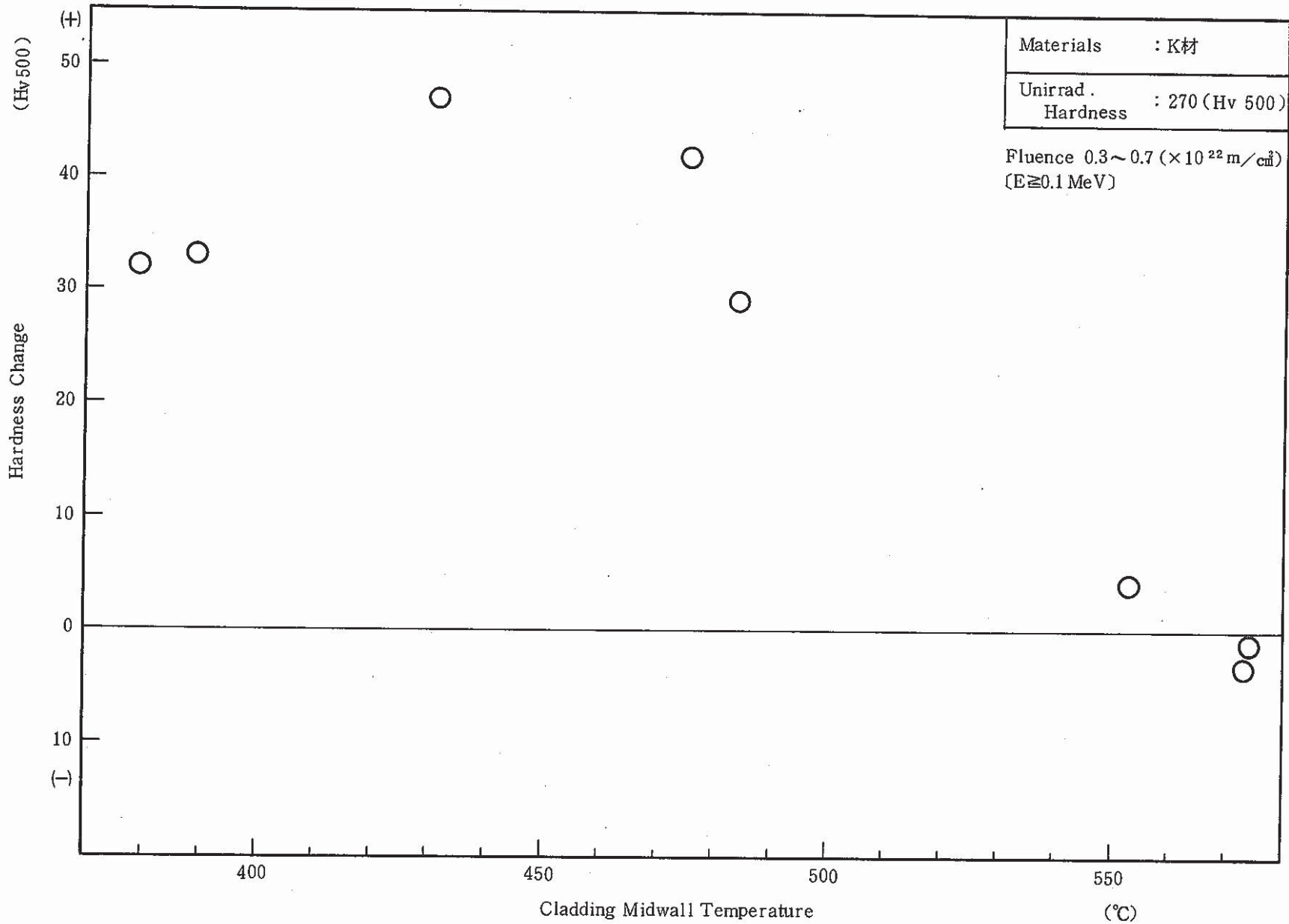


Fig. 4-2-3 Relation between hardness and temperature for JOYO MK-II fuel pin (PFD010, 6364)



## 5. 燃燒率測定試験

Table 4-3-1	Summary of burnup measurement by Nd-method for PFD010
Table 4-3-2	Composition of spike solution and natural Neodymium
Table 4-3-3	Calculation of effective fission yield for PFD010
Table 4-3-4 2 4-3-10	Results of isotope analysis and burnup calculation for PFD010
Fig. 4-3-1	Cutting diagram of PFD010
Fig. 4-3-2	Specimen treatment process for burnup measurement in AGS
Fig. 4-3-3	Burnup axial distribution of PFD010
Fig. 4-3-4	Burnup radial distribution of PFD010

Table 4-3-1 Summary of Burnup Measurement by Nd-method for PFD010

Pin No.	Sample No.	Distance from <sup>1)</sup> core fuel bottom (mm)	Burnup <sup>2)</sup>	
			<sup>148</sup> Nd monitor atom %	MWD/MTM <sup>3)</sup>
6307	630722	250.0 ~ 255.0	0.555	4670
63C1	63C122	250.0 ~ 255.0	0.619	5200
6364	636424	24.7 ~ 29.6	0.427	3590
	636443	125.9 ~ 130.6	0.579	4860
	636474	250.2 ~ 255.0	0.602	5060
	6364A2	420.7 ~ 425.2	0.454	3820
	6364C2	520.5 ~ 530.0	0.307	2580

1) Distance from fuel bottom + 12 mm  
Distance from pin bottom + 86 mm

2) Burnup = atom percent fissions

$$= \frac{P/FY}{H + P/FY} \times 100$$

P = atom concentration of fission product burnup  
monitor

FY = effective fission yield value

H = atom concentration of heavy nuclides

3) atom% - MWD/MTM換算係数は、燃料組成分析値とMAGIコードに使用されている核分裂反応断面積及び核分裂放出エネルギー値から各試料ごとに算出した。

Table 4-3-2 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 2 4 2
	Nd 150	$7.1740 \times 10^{15}$	A 5 0
天然ネオジムの 同位体化	Nd 142 / Nd 150	4.824980	C 4 2 / 5 0
	Nd 145 / Nd 150	1.472180	C 4 5 / 5 0
	Nd 146 / Nd 150	3.050830	C 4 6 / 5 0
	Nd 148 / Nd 150	1.021325	C 4 8 / 5 0
ネオジムスパイク の同位体化	Nd 142 / Nd 150	0.008937	S 4 2 / 5 0
	Nd 145 / Nd 150	0.004336	S 4 5 / 5 0
	Nd 146 / Nd 150	0.009122	S 4 6 / 5 0
	Nd 148 / Nd 150	0.007046	S 4 8 / 5 0
ウランスパイク の同位体化	U 234 / U 233	0.014108	S 4 3
	U 235 / U 233	0.000401	S 5 3
	U 238 / U 233	0.006410	S 8 3
プルトニウムスパイク の同位体化	Pu 239 / Pu 242	0.001309	S 9 2
	Pu 240 / Pu 242	0.013696	S 0 2
	Pu 241 / Pu 242	0.000859	S 1 2

\*計算コードで使用している記号



Table 4-3-3 Calculation of effective fission yield for PFD010(636474 sample)

- (example) -

Nuclide	Composition (Atom Fraction) (AF)	Fission Cross Section (CS) b	Nd-148		Nd-146		Nd-145	
			Fission Yield (FY) %	Fractional Fission Yield	Fission Yield (FY) %	Fractional Fission Yield	Fission Yield (FY) %	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	0.000723	- <sup>1)</sup>	1.44 <sup>2)</sup>	-	3.08 <sup>2)</sup>	-	4.00 <sup>2)</sup>	-
U -235	0.086525	1.65E+00 <sup>1)</sup>	1.68 <sup>3)</sup>	0.355	2.94 <sup>3)</sup>	0.691	3.78 <sup>4)</sup>	0.884
U -236	0.000359	1.66E-01 <sup>1)</sup>	1.81 <sup>2)</sup>	0.000	3.06 <sup>2)</sup>	0.000	3.77 <sup>2)</sup>	0.000
U -238	0.629959	7.61E-02 <sup>1)</sup>	2.08 <sup>3)</sup>	0.164	3.40 <sup>3)</sup>	0.258	3.50 <sup>2)</sup>	0.276
Pu-238	0.000355	- <sup>1)</sup>	1.78 <sup>2)</sup>	-	2.79 <sup>2)</sup>	-	3.24 <sup>2)</sup>	-
Pu-239	0.213705	1.73E+00 <sup>1)</sup>	1.65 <sup>3)</sup>	1.000	2.46 <sup>3)</sup>	1.491	3.01 <sup>3)</sup>	1.825
Pu-240	0.058900	5.34E-01 <sup>1)</sup>	1.84 <sup>2)</sup>	0.085	2.88 <sup>2)</sup>	0.146	3.34 <sup>2)</sup>	0.173
Pu-241	0.007560	2.14E+00 <sup>1)</sup>	1.94 <sup>2)</sup>	0.052	3.01 <sup>2)</sup>	0.080	3.52 <sup>2)</sup>	0.094
Pu-242	0.001914	4.39E-01 <sup>1)</sup>	2.04 <sup>2)</sup>	0.003	3.10 <sup>2)</sup>	0.004	3.70 <sup>2)</sup>	0.005
Effective Fission Yield %			1.71		2.68		3.26	

Note; nd = not detected

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

Effective FY=SUM(Fractional FY)

1)MAGI code

2)TRG-2143-R

3)ICP-1050-1

4)AERE-R-8753

Table 4-3-4 Result of isotope analysis and burnup calculation for PFD010 (630722 sample)

S/A NO.(FAB) ; PFD010	PIN NO.(PIE) ; 6307
SAMPLE NO. ; 630722	SAMPLE POSITION ; 250.0~255.0 (mm)*

VOLUME RATIO OF SPIKE SOLUTION TO SAMPLE SOLUTION ; 0.800

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

[ U233/238]	[ U234/238]	[ U235/238]	[ U236/238]		
nd	0.001135	0.137474	0.000571	-(a)	
0.144081	0.002807	0.137457	0.000585	-(b)	
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]		
0.001659	0.275352	0.035392	0.008952	-(a)	
0.001659	0.276389	0.035416	0.008922	-(b)	
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]
nd	4.949220	3.531719	3.421712	2.799226	1.798191
0.006477	1.303240	0.935540	0.903384	0.743306	0.477993
					-(a)
					-(b)

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

[ U233]	[ U234]	[ U235]	[ U236]	[ U238]		
nd	0.0996	12.0678	0.0501	87.7824		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.1256	75.6799	20.8386	2.6785	0.6775		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
nd	28.2811	20.1812	19.5526	15.9955	10.2753	5.7143

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 28.042 / 28.162

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 1.1570E+21

	[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
<u>NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample) ;</u>	1.1045E+17	1.7213E+17	2.1033E+17
<u>EFFECTIVE FISSION YIELD ;</u>	1.71E-02	2.68E-02	3.26E-02
<u>NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**;</u>	6.4589E+18	6.4227E+18	6.4517E+18
<u>BURNUP (atom%)#</u>	0.555	0.552	0.555
<u>SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##</u>	4670	4640	4660

NOTE ; nd = not detected

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





Table 4-3-6 Result of isotope analysis and burnup calculation for PFD010  
(636424 sample)

S/A NO.(FAB) ; PFD010	PIN NO.(PIE) ; 6364
SAMPLE NO. ; 636424	SAMPLE POSITION ; 24.7~29.6 (mm)*

VOLUME RATIO OF SPIKE SOLUTION TO SAMPLE SOLUTION ; 0.800

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

[ U233/238]	[ U234/238]	[ U235/238]	[ U236/238]		
nd	0.001144	0.138292	0.000520	-(a)	
0.163830	0.002993	0.137317	0.000498	-(b)	
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]		
0.001639	0.275032	0.035368	0.008939	-(a)	
0.001639	0.275842	0.035324	0.097026	-(b)	
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]
0.012254	4.951275	3.551626	3.425892	2.803354	1.801421
0.009442	0.964552	0.697086	0.668234	0.551122	0.354136
					-(a)
					-(b)

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

[ U233]	[ U234]	[ U235]	[ U236]	[ U238]		
nd	0.1004	12.1313	0.0456	87.7227		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.1241	75.7015	20.8203	2.6774	0.6767		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
0.0698	28.2191	20.2420	19.5254	15.9773	10.2670	5.6994

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 28.129 / 28.249

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 1.0193E+21

<u>NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample)</u>	;	[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
		7.4281E+16	1.1585E+17	1.4186E+17
<u>EFFECTIVE FISSION YIELD</u>	;	1.70E-02	2.68E-02	3.26E-02
<u>NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**</u>	;	4.3695E+18	4.3229E+18	4.3515E+18
<u>BURNUP (atom%)#</u>	;	0.427	0.422	0.425
<u>SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##</u>	;	3590	3550	3570

NOTE ; nd = not detected

\* Distance from core fuel bottom

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

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

## 1.19 atom% B.U=10000 MWD/MTM B.U







Table 4-3-9 Result of isotope analysis and burnup calculation for PFD010 (6364A2 sample)

S/A NO.<FAB> ; PFD010	PIN NO.<PIE> ; 6364
SAMPLE NO. ; 6364A2	SAMPLE POSITION ; 420.7~425.2 (mm)*

VOLUME RATIO OF SPIKE SOLUTION TO SAMPLE SOLUTION ; 0.800

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

[ U233/238]	[ U234/238]	[ U235/238]	[ U236/238]		
nd	0.001143	0.138198	0.000483	-(a)	
0.161523	0.002998	0.137638	0.000493	-(b)	
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]		
0.001622	0.274578	0.035324	0.008916	-(a)	
0.001622	0.276382	0.035493	0.086837	-(b)	
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]
nd	4.904062	3.506971	3.401615	2.782897	1.792595
0.007831	1.046375	0.751770	0.726455	0.599505	0.386579
					-(a)
					-(b)

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

[ U233]	[ U234]	[ U235]	[ U236]	[ U238]		
nd	0.1003	12.1245	0.0424	87.7328		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.1228	75.7323	20.7944	2.6752	0.6752		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
nd	28.2035	20.1688	19.5628	16.0046	10.3093	5.7510

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 30.366 / 30.492

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 1.0670E+21

<u>NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample)</u>	;	[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
		8.3284E+16	1.2945E+17	1.5806E+17
<u>EFFECTIVE FISSION YIELD</u>	;	1.71E-02	2.67E-02	3.24E-02
<u>NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**</u>	;	4.8704E+18	4.8482E+18	4.8794E+18
<u>BURNUP (atom%)#</u>	;	0.454	0.452	0.455
<u>SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##</u>	;	3820	3800	3820

NOTE ; nd = not detected

\* Distance from core fuel bottom

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

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

## 1.19 atom% B.U=10000 MWD/MTM B.U



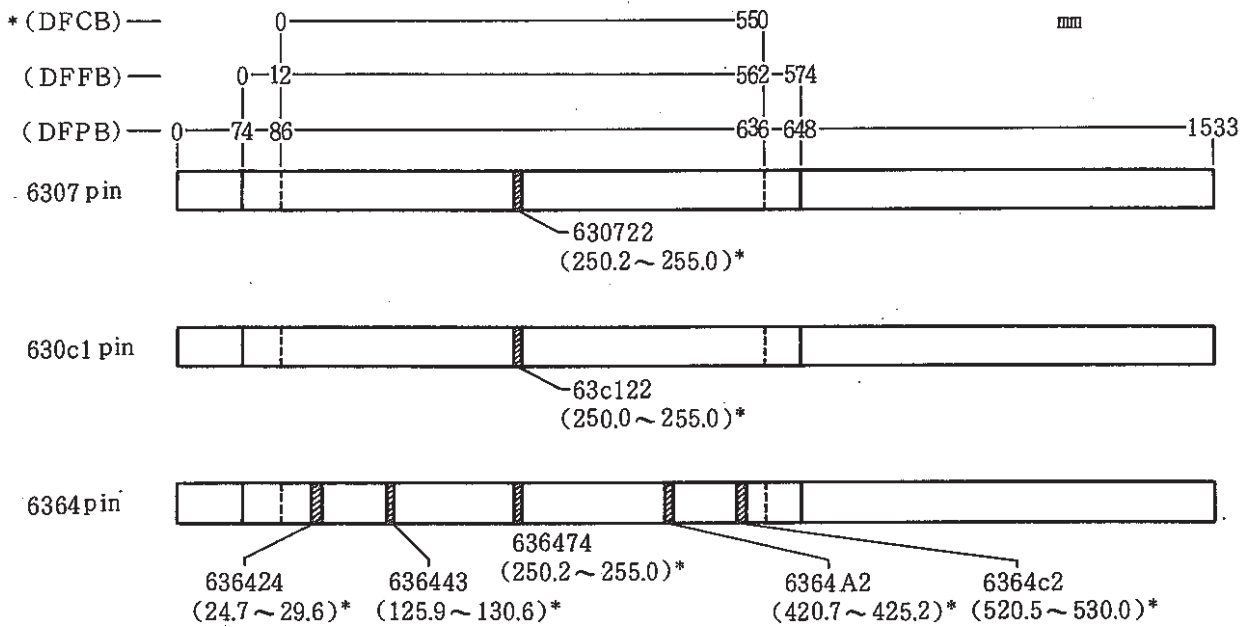
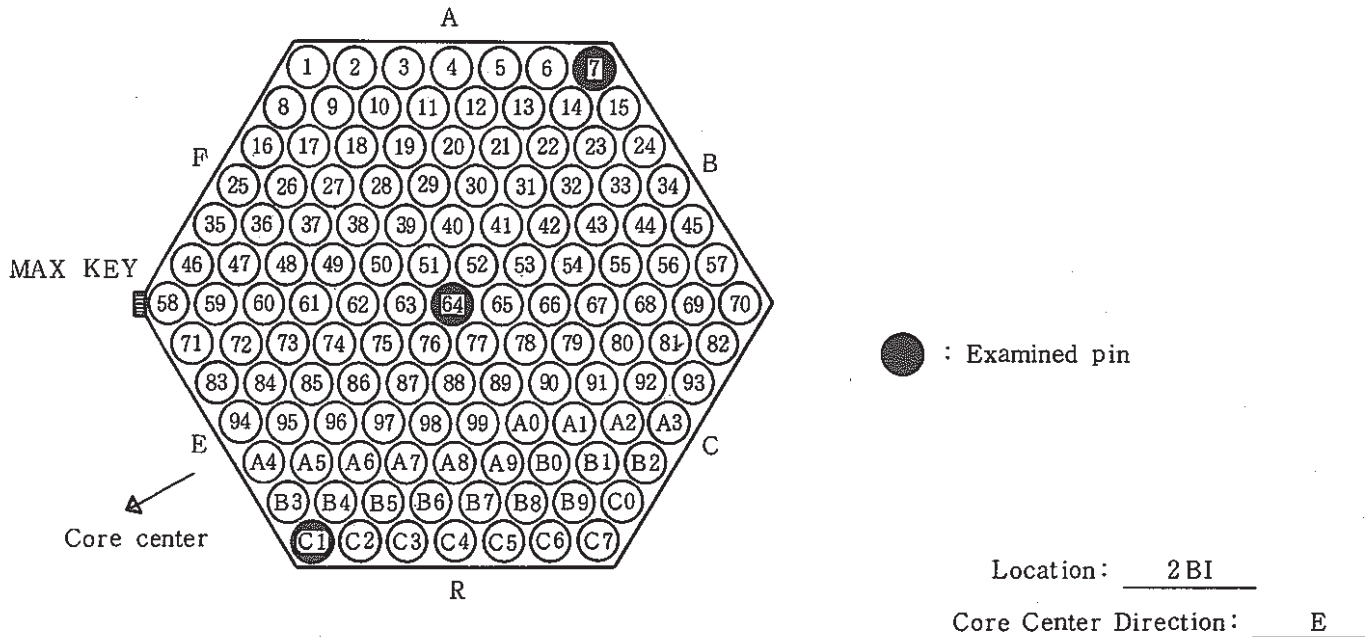


Fig. 4-3-1 Cutting Diagram of PFD010



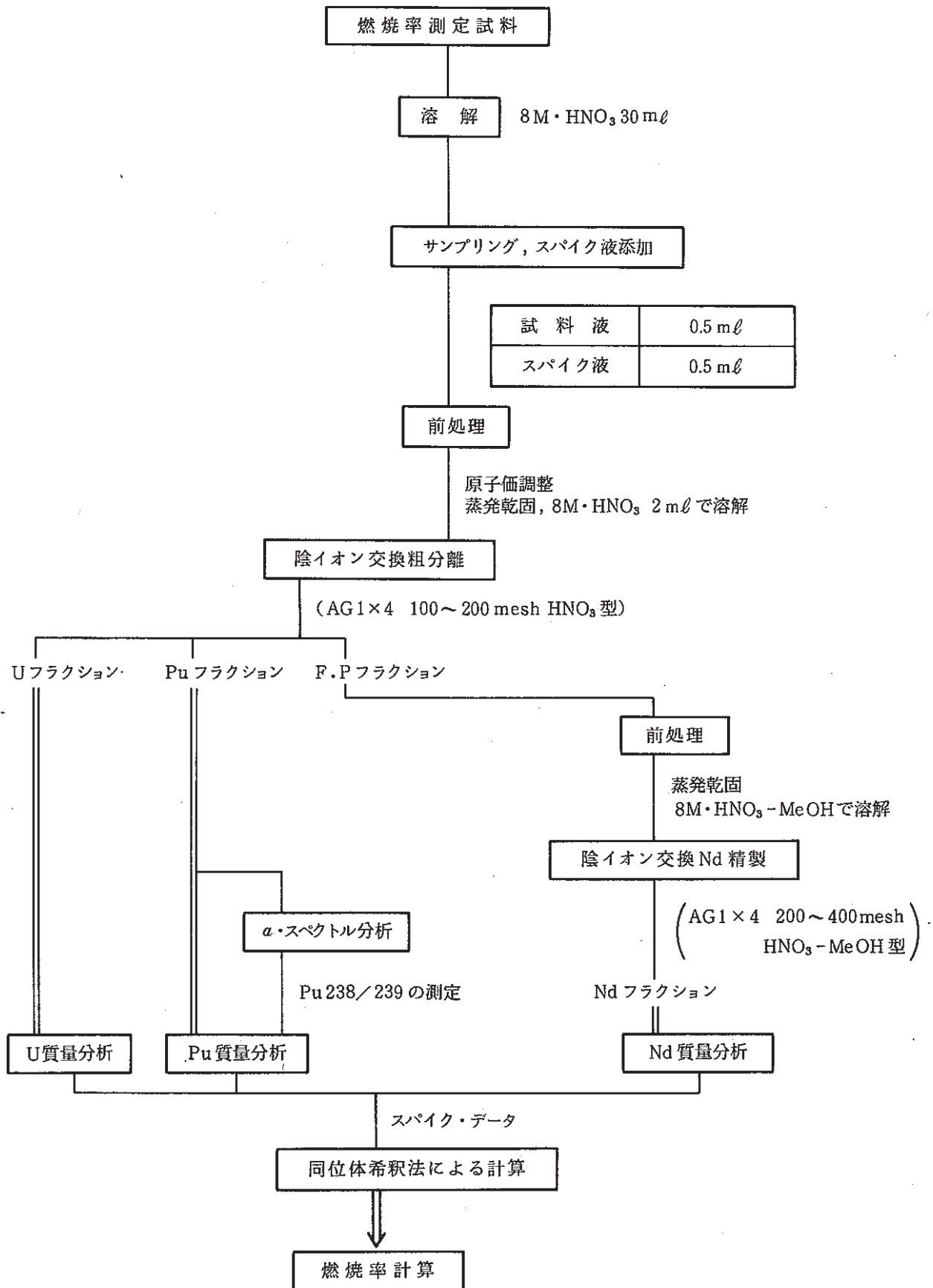


Fig. 4-3-2 Specimen treatment process for burnup measurement in AGS

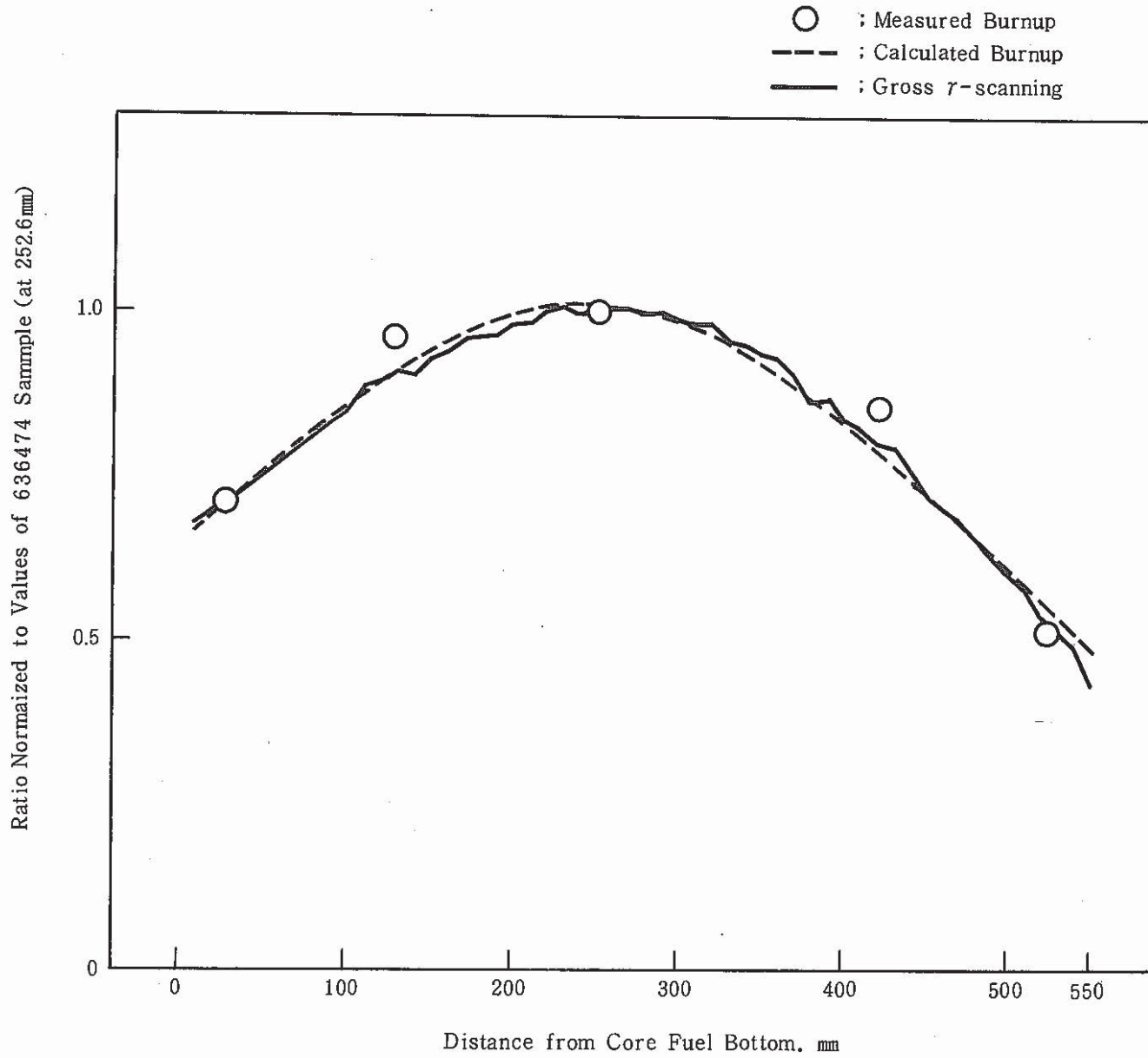


Fig. 4-3-3 Burnup axial distribution of PFD010 (6364 Pin)

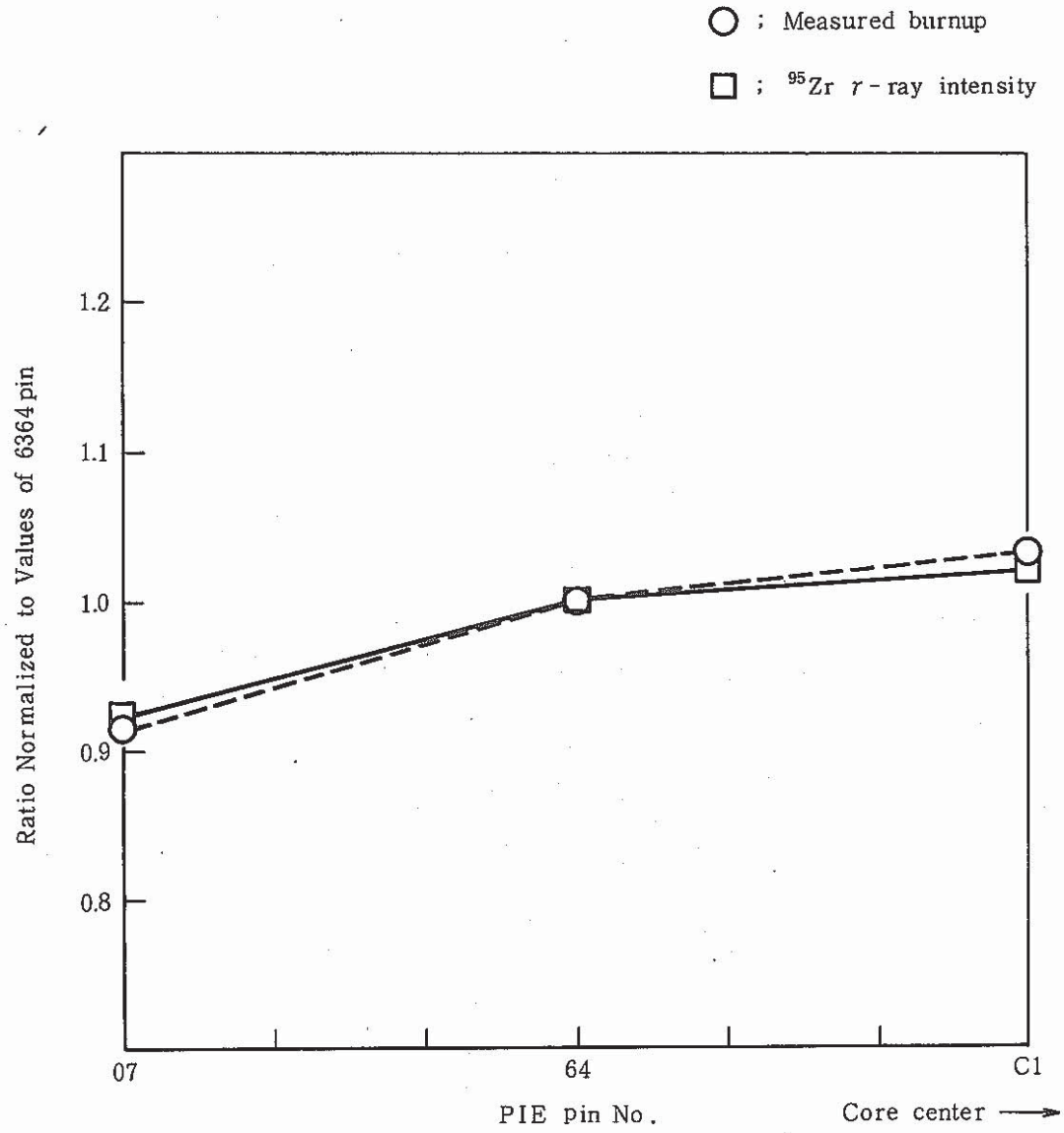


Fig. 4-3-4 Burnup radial distribution of PFD010