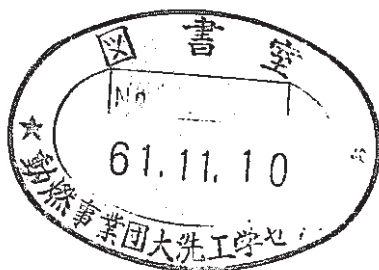


「常陽」MK-I 炉心燃料集合体 (PPJD18) の照射後試験

—— 燃料要素の破壊試験 ——



~~1986年8月~~

技術資料コード	
開示区分	レポート No.
	PNC TN9410 86-145
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 (PPJD 18) の照射後試験

—— 燃料要素の破壊試験 ——

実施責任者*	山内 勘		
報告者*	滑川 卓志,	小部 昭,	桑島 幸夫,
	三次 岳志,	吉川 勝則,	近藤 優,
	薄井 啓二,	立花 利道	

要 旨

「常陽」MK-I 炉心燃料集合体 PPJD18 は、制御棒に隣接して照射された集合体であり、集合体平均燃焼度の計算値は 26,700 MWD/MTM である。燃料の照射挙動に及ぼす制御棒隣接効果を把握するため、炉心方向列の 3 本の燃料ピンを選んで照射後試験を実施した。金相試験及び燃焼率測定試験から以下のことを確認した。

- (1) 燃料ペレットの組織変化は、燃料カラム軸方向中央部においては、高出力コーナーピン（制御棒最隣接ピン）、中央ピン及び低出力コーナーピンの 3 本全てに観察された。炉心燃料カラム軸方向上端部では、高出力コーナーピンと低出力コーナーピンでは組織変化が観察されたものの、中央ピンでは組織変化が認められない。また高出力コーナーピン及び低出力コーナーピンの上端部にはガスバブル領域が認められており、実際の燃料温度が計算値（最高 1228℃）より 300℃ほど高かったものと推定される。これらの不整合の原因は本照射後試験結果からは説明できない。
- (2) FCCI は、中央ピンの燃料カラム軸方向中央部においてのみ観察された。最大 24 μm の全面腐食であった。
- (3) 燃焼率の実測値は、JYHISTコード計算値より約 10% 高い値（中央ピン軸方向中央部比較）を示した。
- (4) 燃焼率のピン軸方向分布については、実測値、JYHISTコード計算値及び γ スキャン分布ともほぼ一致している。
- (5) 集合体径方向の燃焼率分布では、コア燃料軸方向中央部及び下端部では実測値の変化率の方が計算値より約 3% 大きい、上端部では逆に 3% 小さく、制御棒の隣接効果により上端部の燃焼が抑制されていることがわかった。

* 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
4.1.3 考 察	3
4.2 燃焼率測定試験	4
4.2.1 試料調製方法	4
4.2.2 試験結果	4
5. 結 論	5
6. 参 考 文 献	6

1. ま え が き

「常陽」MK-I 炉心燃料集合体 PPJD 18 は、炉心方向をD面とE面の中間方向として、炉内位置 4 D 3 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 26,700MWD / MTMである。

照射後試験の目的は、炉心中心方向と制御棒方向に着目し、燃料の照射挙動を把握すること、すなわち制御棒に隣接することにより、燃焼度等にどのような影響が出るかを確認することである。

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. 6846 pin, S 社製被覆管)
- (2) コーナーピン (低出力ピン) (No. 6851 pin, 同上)
- (3) コーナーピン (高出力ピン) (No. 6841 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(b)燃焼率測定を実施した。

2. 燃 料 ピ ン

PPJD 18 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。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. 3-2 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） 26,700 MWD/MTM
- ② 照射サイクル 50 MW出力上昇第1サイクル～75 MW第6サイクル
- ③ 集合体ピークフルエンス ($E \geq 0.1 \text{ Mev}$) $4.4 \times 10^{22} \text{ nvt}$
- ④ 線出力（集合体平均） 154 W/cm
- ⑤ 照射位置 4 D 3（Fig. 3-1 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. 3-3～Fig. 3-8 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 1～19 に Na.6841 ピン、Na.6846 ピン、Na.6851 ピンの代表的な金相写真を示す。これらの金相写真より以下(1)～(4)の結果が得られた。(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

Na.6841 ピンの燃料組織は、燃料カラム中央部及び上端部付近とも、燃料ペレットの中心部はガスバブル領域その外側に高密度化領域そして最外周部に不変化領域の 3 領域が存在している。ガスバブル領域に微細 ($1\ \mu\text{m}$ 以下) な核分裂生成物と見られる白色析出物が分布している。Na.6846 ピンにおいては燃料カラム中央部でガスバブル領域、高密度化領域、黒色リング領域そして不変化領域の 4 領域が存在しているが、上端部において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燃料組織は全般に製造時に近い様子を呈している。Na.6851 ピンは、Na.6846 ピンの燃料カラム中央位置付近の燃料組織と同様で 4 領域から成る。

以上の結果を Table 4-1-3 に示す。

(2) クラックの観察

Na.6846 ピン及び Na.6851 ピンには貫通及び半径方向クラックが数本入っており、Na.6851 ピンの高密度化領域では周方向クラックが観察される。2 本のピンとも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。Na.6841 ピン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 (直径ギャップ寸法は各試料とも減少しており Na.6851 ピンの燃料カラム中央位置で直径方向 $70\ \mu\text{m}$ と製造時のギャップ寸法 ($200\ \mu\text{m}$) に対して最大で 35% までギャップが減少している。

(4) FCCI の観察

燃料-被覆管の化学的相互作用 (FCCI) は、Na.6841 ピンの燃料カラム中央位置に観察され、その形態は全面腐食で最大腐食量は $24\ \mu\text{m}$ であった。その位置の写真を Photo 19 に示す。

4.1.3 考察

燃料カラム中央部においては、3 本のピン全部に燃料組織変化がみられ、組織変化領域の大きさは、ほぼ同程度であった。燃料カラム上端部においては、Na.6841 ピン (高出力コーナーピン) と Na.6851 ピン (低出力コーナーピン) の燃料に組織変化が見られたが、Na.6846 (中央ピン) の燃料は製造時組織の様相を呈しており、この部分の燃料温度が低かったものと推察される。

また、高出力コーナーピン、低出力コーナーピンの上端部には、ガスバブル領域 (推定温度約 $1500\ ^\circ\text{C}$)¹⁾

が認められており、この2本のピンは、燃料温度が計算値（Table 4-1-2参照）より約300℃ほど高かったと推定される。残留ギャップ寸法の比較（Table 4-1-3参照）をしたところ中央ピン上端部の残留ギャップは、低出力コーナピンよりかなり大きい値を示しており、ギャップ熱伝達率の差によりこれらの燃料温度の不整合の原因を説明することはできない。

4.2 燃焼率測定試験

^{148}Nd を指標核種とした同位体希釈分析により、集合体中央ピン及び制御棒隣接コーナピンについて燃焼率の軸方向分布を求めた。なお「常陽」MK-I炉心装荷列第4列の集合体の燃焼率測定は初めてのものである。

4.2.1 試料調製方法

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

4.2.2 試験結果

得られた燃焼率測定結果をまとめてTable 4-2-1に示す。Table 4-2-2に同位体希釈分析計算に使用したスパイク液の濃度及び各スパイク元素の同位体組成等のデータを示す。また今回の測定で使用した ^{148}Nd 、 ^{146}Nd 及び ^{145}Nd の実効核分裂収率の計算例（684143 試料について）をTable 4-2-3に示した。

Table 4-2-4からTable 4-2-11には質量分析から得た試料の同位体組成、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結果を各試料ごとに示す。

以上のようにして得られた各試料の燃焼率をJYHISTコードによる計算値と共にTable 4-2-12に示す。また同様に燃焼率の軸方向分布をJYHISTコードによる予測値及び照射燃料集合体試験室での r スキャン測定結果と共にFig. 4-2-3からFig. 4-2-5に示す。次に燃焼度の集合体径方向分布をJYHISTコードによる計算値と共にFig. 4-2-6に示す。Fig 4-2-6は、燃焼率の径方向分布を46ピンの値を1として規格化して表わしたものである。またこれらのデータから得られる径方向ピーキングファクターを、今までの得られた他の集合体のデータと合わせてTable 4-2-12に示した。

以上の結果から次のことが言える。

燃焼率の軸方向分布（Fig 4-2-3～5）については質量分析による測定値とJYHISTコードによる予測値とでは良い一致を示した。 r スキャンによる測定値もピン下端部で多少異なるものの全体的にはほぼ一致している。これらの図からは制御棒に隣接していることによる影響を読み取ることはできない。

Fig. 4-2-6はコア燃料部の上端部、中心部及び下端部での燃焼率の径方向分布を示している。Fig. 4-2-6によると41ピン即ち制御棒隣接ピンの燃焼率は中心ピンの燃焼率より高い。これは41ピンが高出力コーナピン（炉心中心に近いピン）であるためである。また全体的に測定値は予測値よりも大きい。

（Table 4-2-1）。しかしその割合はFig 4-2-6に示すように中心部及び下部では予測値よりも測定値が約3%大きいのに対し上部では逆に約3%小さい。これは制御棒の影響で制御棒隣接ピン（41ピン）の上部は中心部や下端部に比べ燃焼が抑制されたためと考えられる。またTable 4-2-12に示したようにこのPPJD 18のピーキングファクターは燃料カラム中央位置と比較すると他集合体²⁾と異なり測定値が予測値より大きい。これはJYHISTコードに径方向ピーキングファクターを提供している「常陽」運転監視コードが、制御棒隣接効果を的確にシュミレートできなかったためと考えられる。

5. 結 論

「常陽」MK-I 炉心燃料集合体 PPJD18 は、制御棒に隣接して照射された集合体であり、燃料の照射挙動に及ぼす制御棒隣接効果を把握するため、炉心方向列の 3 本の燃料ピンを選んで照射後試験を実施した。試験の結果、以下のことを確認した。

1) 金相試験結果

- ① 燃料カラム中央部においては、3 本のピンの全部の燃料に組織変化が見られた。燃料カラム上端部においては、高出力コーナピンと低出力コーナピンでは燃料の組織変化が観察されたものの、中央ピンの燃料組織は製造時の様相を呈していた。また高出力コーナピン及び低出力コーナピンの上端部にはガスバブル領域が認められており、実際の燃料温度が計算値（最高1228℃）よりも約 300℃高かったものと推定される。これらの燃料組織変化の不整合の原因については、今回の照射後試験結果からは説明できなかった。
- ② FCCI は、中央ピンの燃料カラム中央部においてのみ全面腐食タイプで最大24μm観察された。

2) 燃焼率測定結果

- ① 燃焼率の軸方向分布は、中央ピン及び高出力コーナピン（制御棒隣接ピン）において、質量分析による測定値と JYHIST コードによる予測値は良い一致を示した。また、 γ スキャンのプロフィールもピン下端部で多少異なるが全体的にはほぼ一致していた。
- ② 集合体径方向の燃焼率の分布は、コア燃料の中央部及び下端部では、実測値の変化率の方が計算値より約 3%大きい、上端部では逆に 3%小さかった。これは、制御棒隣接効果により高出力コーナピンの上端部の燃焼が抑制されたためと考えられる。
- ③ 燃焼率の絶対値については、実測値の方が JYHIST コード計算値より約 10%高い値（中央ピン軸方向中央部比較）であった。

6. 参 考 文 献

- 1) SN941 82-119 : 国産燃料ピンの照射挙動評価
- 2) SN941 84-05 : 高速実験炉「常陽」炉心燃料集合体の照射後試験結果概要 (第3報)

データー集

1. 燃料ピン仕様と照射条件

Table 2-1 Fuel pin fabrication parameters

Fig. 2-1 Schematic drawing of fuel pin

Fig. 3-1 Irradiation position of PPJD18 subassembly in JOYO MK-I core

Fig. 3-2 Fuel pin position in PPJD 18 subassembly

Fig. 3-3 Burnup and fluence distribution (6841 pin)

Fig. 3-4 " (6846 pin)

Fig. 3-5 " (6851 pin)

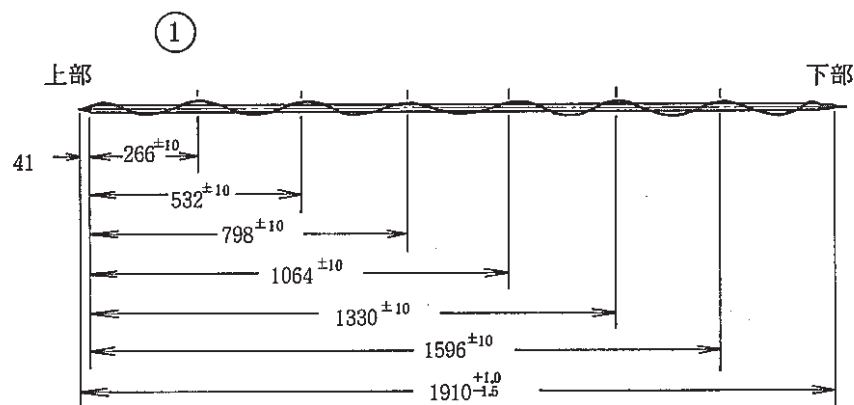
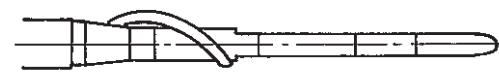
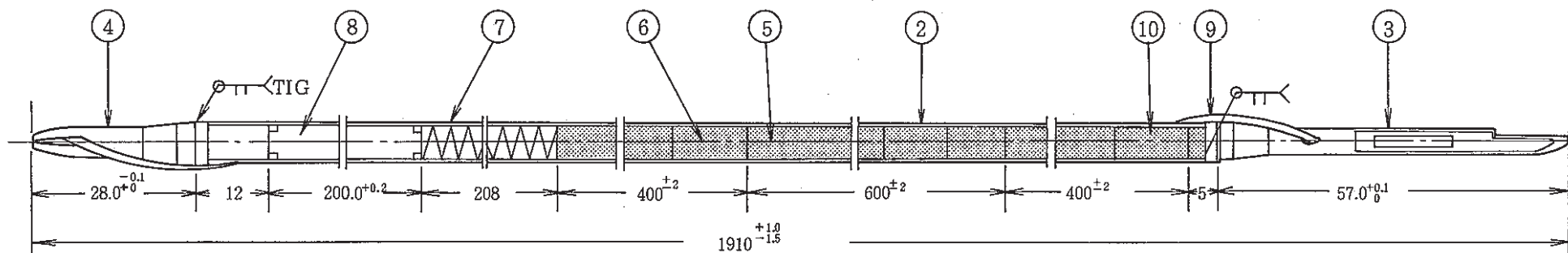
Fig. 3-6 Temperature and linear power distribution (6841 pin)

Fig. 3-7 " (6846 pin)

Fig. 3-8 " (6851 pin)

Table 2-1 Fuel pin fabrication parameters

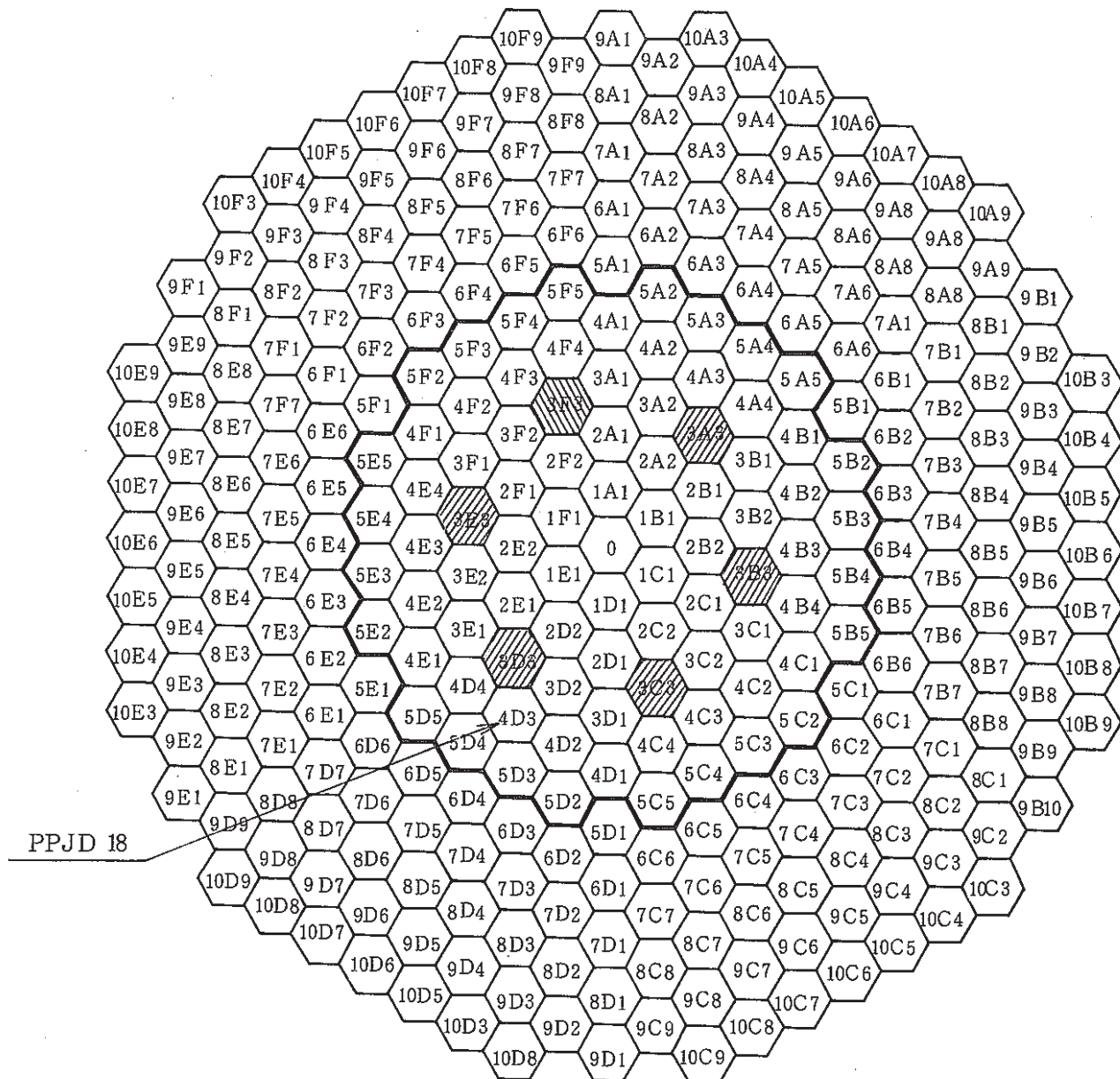
S / A name	PPJD 18	Pin no	No. 6841 No. 6846 No. 6851
Fuel			
Fuel form	Flat end solid pellet		
Pellet diameter (mm)	5.4		
Pellet density (% T.D)	93.5		
Fuel composition	17.7 w/o PuO ₂ -UO ₂		
U-235 enrichment (%)	23		
Pu isotopic composition (%)	Pu 239 / 240 / 241 / 242 76.6 / 19.0 / 3.7 / 0.7		
O/M 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.6841 No.6846 } : S015 No.6851 }		
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		



10	JOYO-100-1103 M	下部軸方向ブランケット用ベレット	UO ₂	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ベレット	UO ₂	33	
5	JOYO-100-1102 M	ベレット (炉心)	PuO ₂ -UO ₂	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.2-1 Schematic drawing of fuel pin

炉内照射位置



注)  : 制御棒

Fig.3-1 Irradiation position of PPJD18 subassembly in JOYO
MK-I core

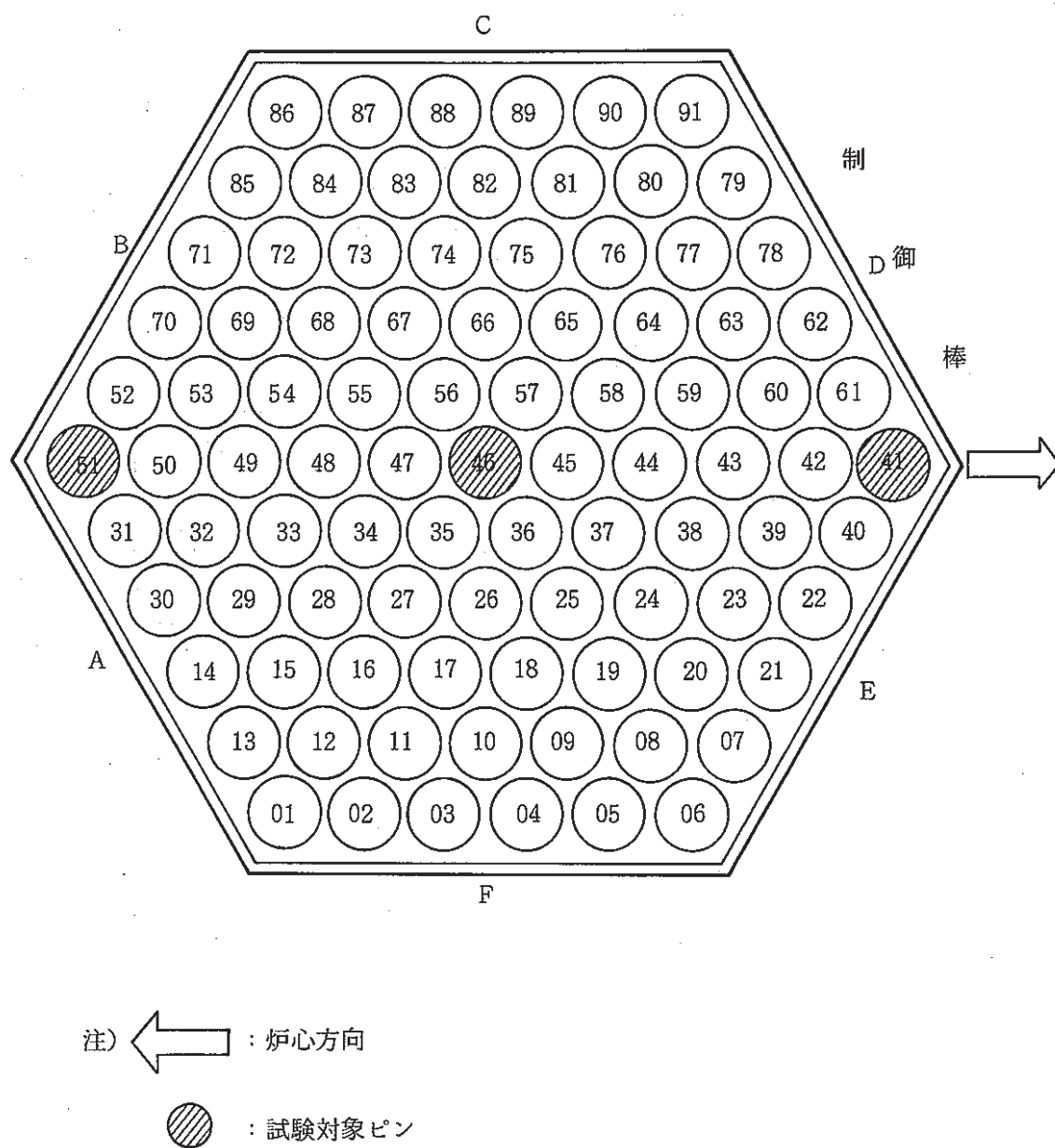


Fig.3-2 Fuel pin position in PPJD18 subassembly

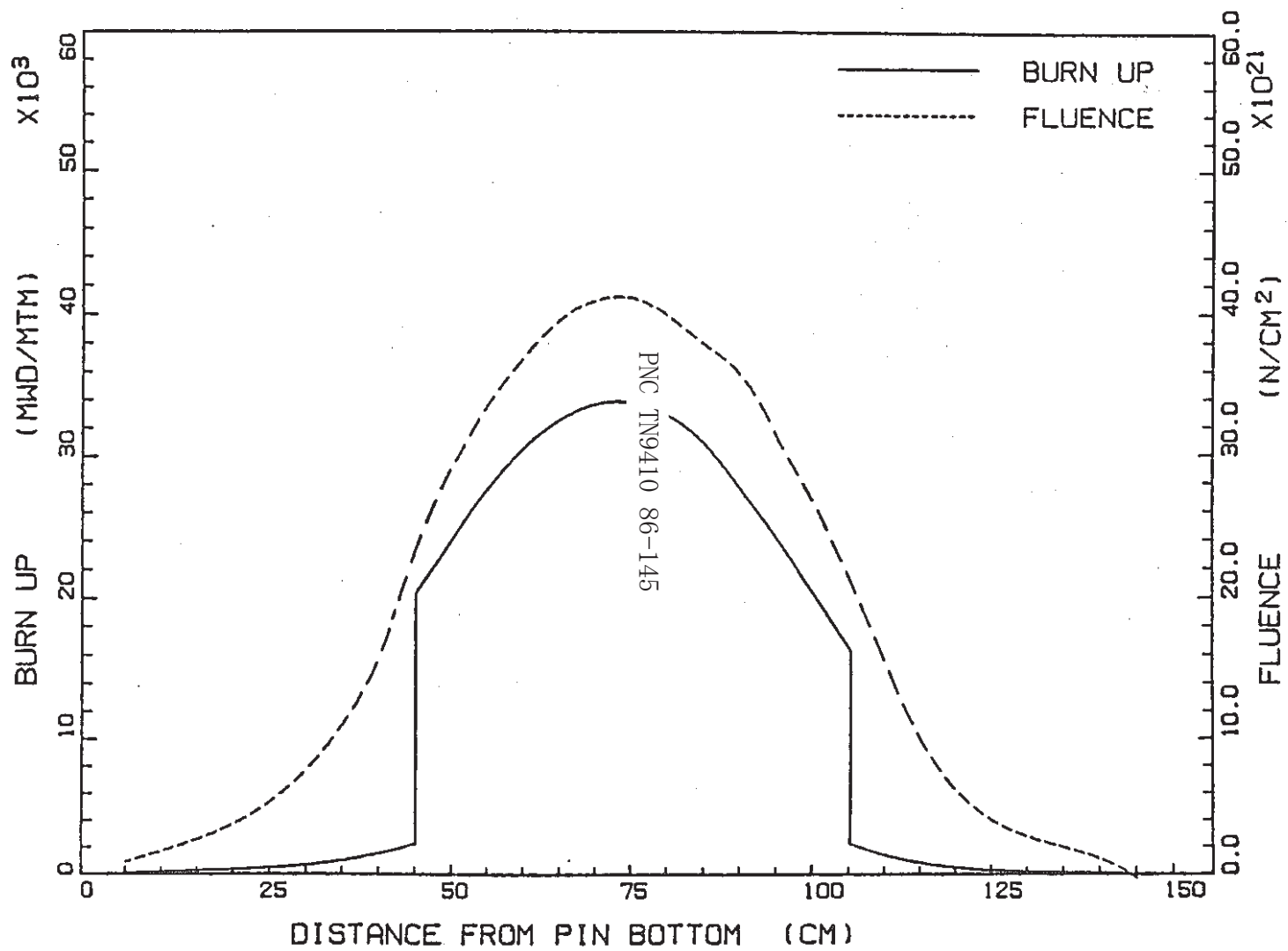


Fig. 3-3 Burnup and Fluence distribution (6841 pin)

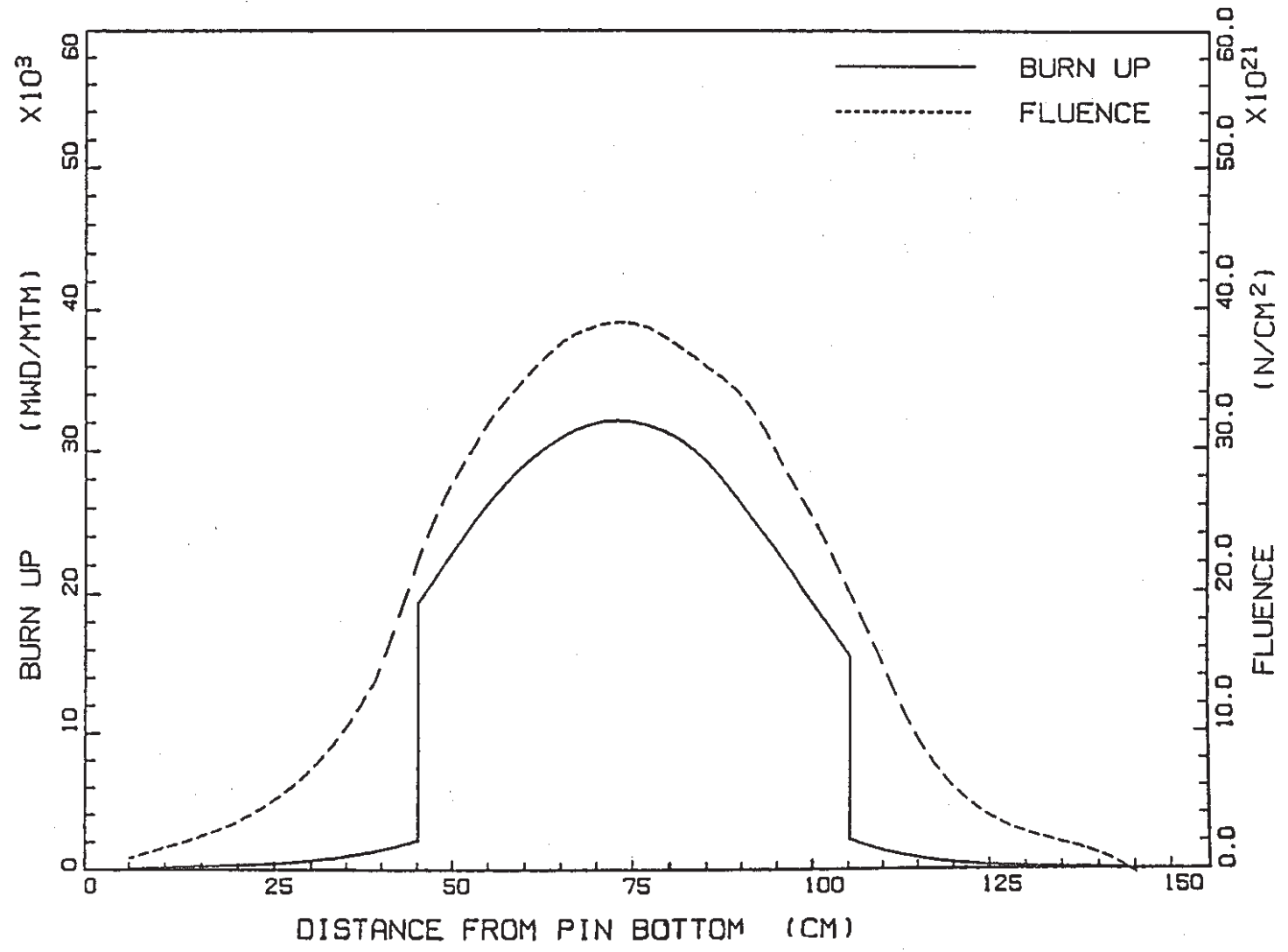


Fig. 3-4 Burnup and Fluence distribution (6846 pin)

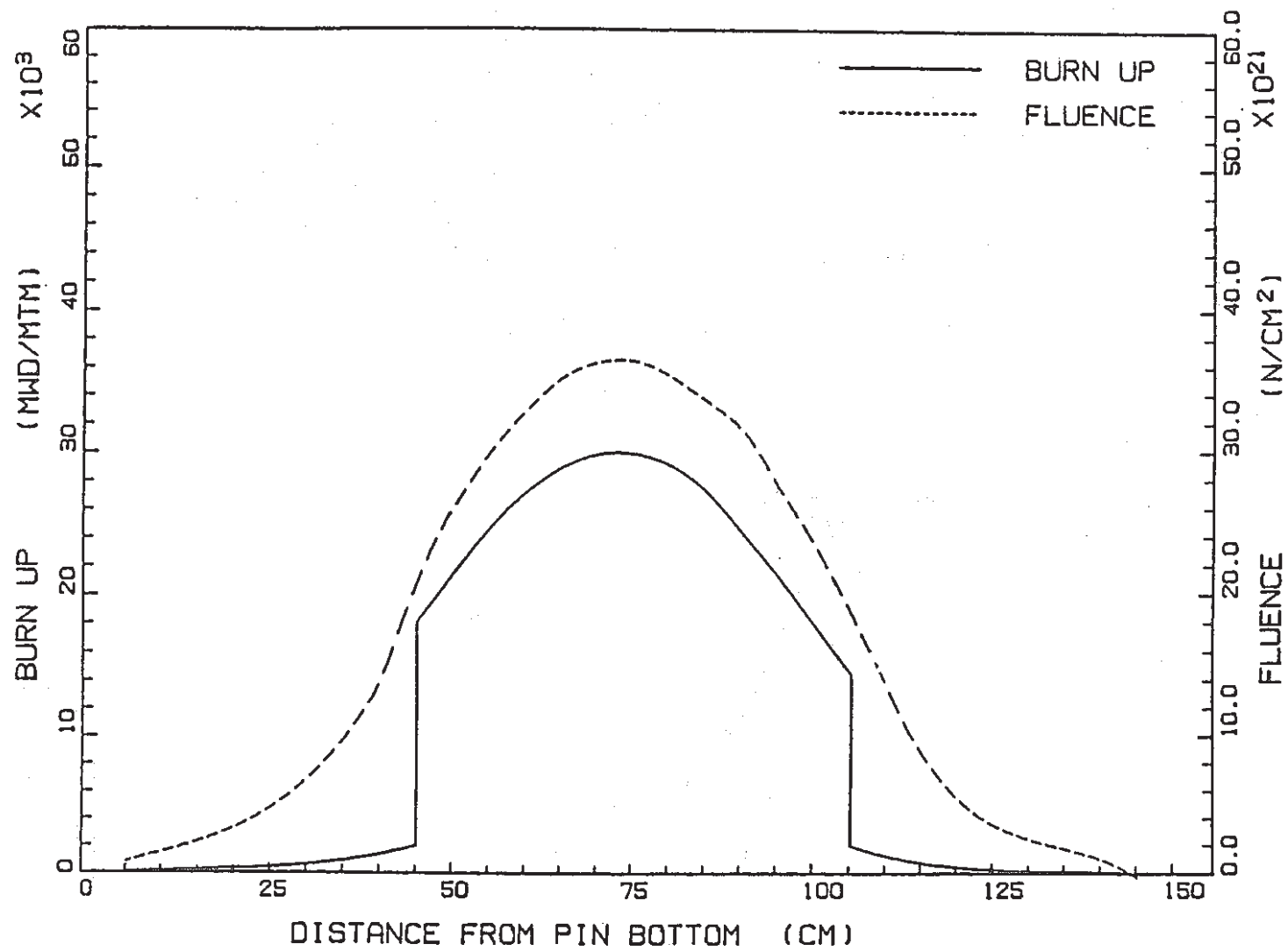


Fig. 3-5 Burnup and Fluence distribution (6851 pin)

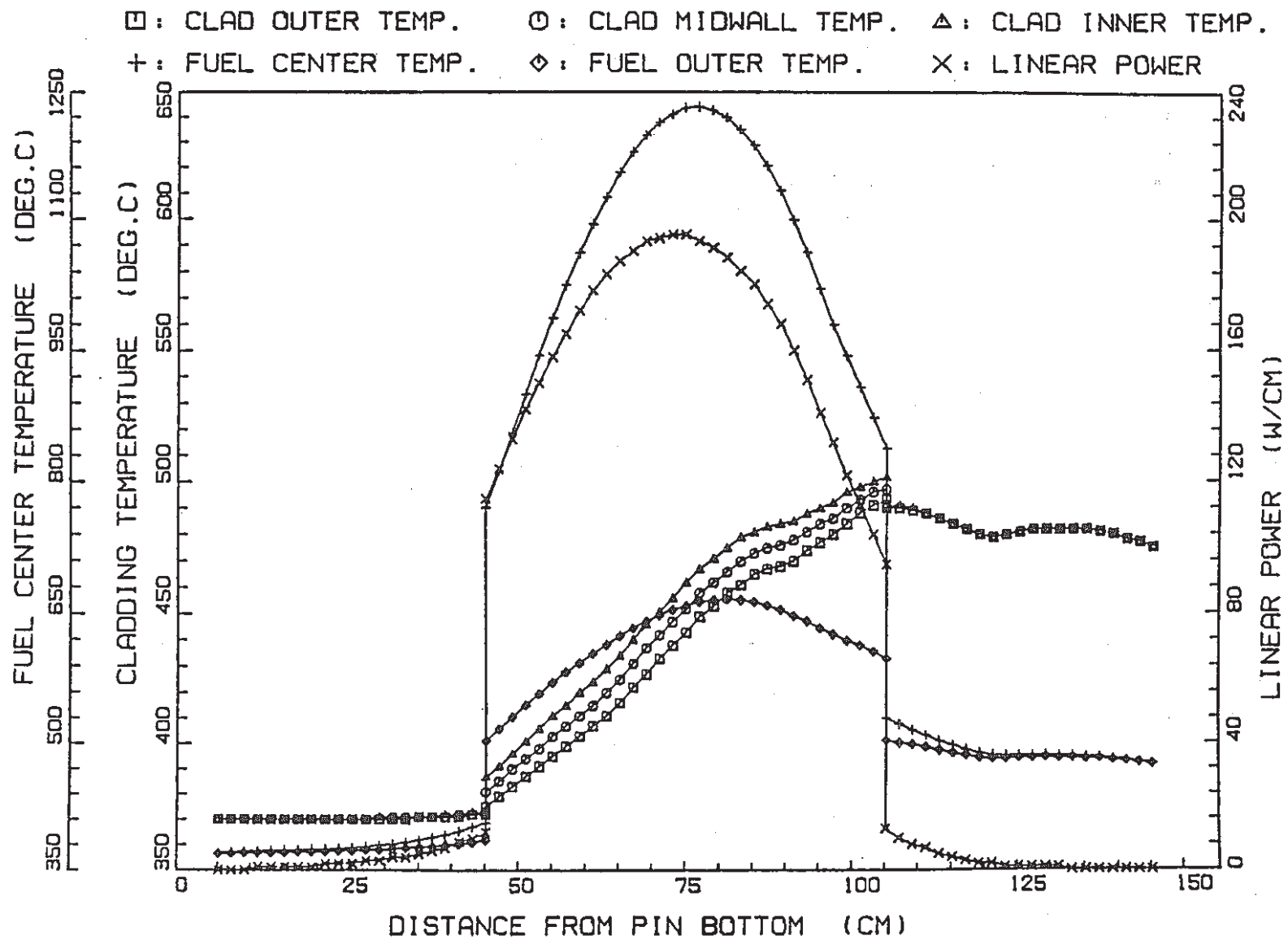


Fig.3-6 Temperature and Linear Power distribution (6841 pin)

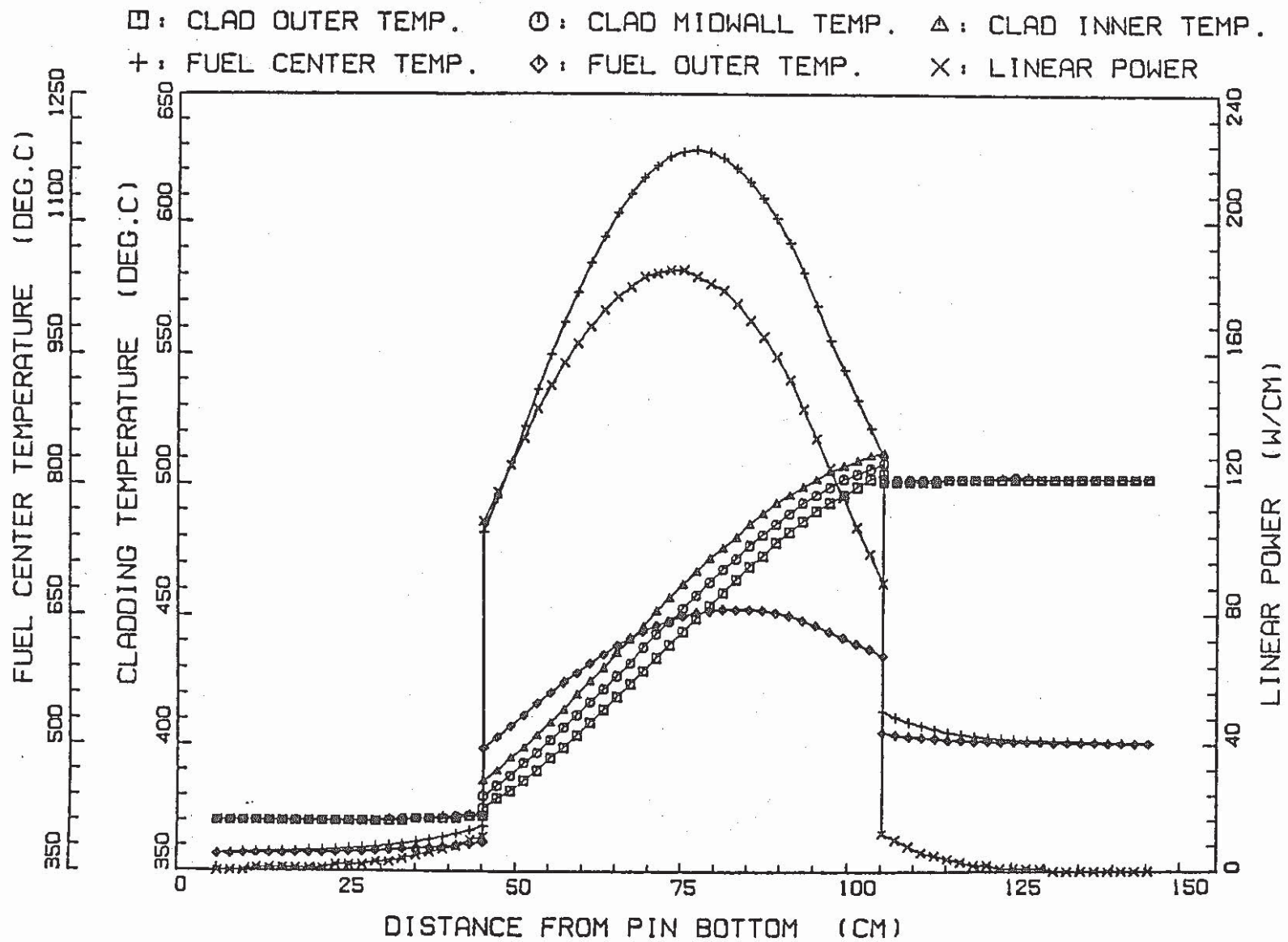


Fig. 3-7 Temperature and Linear Power distribution (6846 pin)

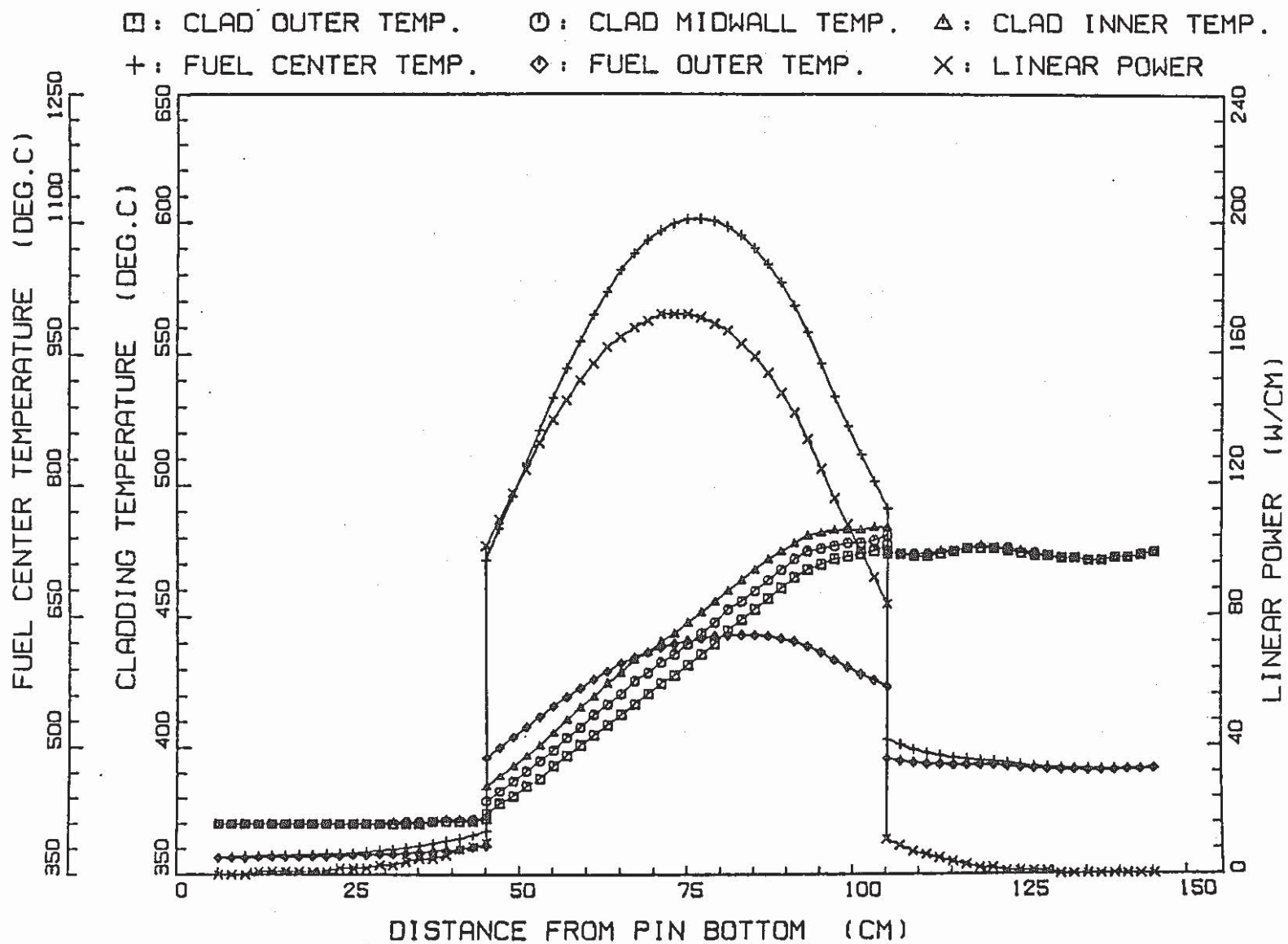


Fig.3-8 Temperature and Linear Power distribution (6851 pin)

デ ー タ ー 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

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

Photo 1	Macrography of JOYO MK-I core fuel (6841 pin, as polished)
Photo 2	" (6841 pin, etched)
Photo 3	" (6846 pin, as polished)
Photo 4	" (6846 pin, etched)
Photo 5	" (6851 pin, as polished)
Photo 6	" (6851 pin, etched)
Photo 7	Postirradiation ceramography of JOYO MK-I core fuel (684142 sample, as polished)
Photo 8	" (684142 sample, etched)
Photo 9	" (684142 sample, as polished)
Photo 10	" (684142 sample, etched)
Photo 11	" (684642 sample, as polished)
Photo 12	" (684642 sample, etched)
Photo 13	" (684642 sample, as polished)
Photo 14	" (684642 sample, etched)
Photo 15	" (685122 sample, as polished)
Photo 16	" (685122 sample, etched)
Photo 17	" (685122 sample, as polished)
Photo 18	" (685122 sample, etched)
Photo 19	" (684163 sample, as polished)

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	被覆管内厚 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		

Table 4-1-2 Irradiation Condition

S/A name	Section No.	*1 D.F.C.B. (mm)	Inler Heat Rate (W/cm)	Fuel Temp. (°C)		Burnup (MWD/ MTM)	Cladding Temp. (°C)			Fluence $E \geq 0.1 \text{ Mev}$ ($\times 10^{23} \text{ h/cm}^2$)
				Surface	Center		Surface	Middle	Inner	
PPJD 18	684142	270	195	658	1228	33822	440	450	459	0.41
	684163	589	99	603	855	17129	492	497	501	0.22
	684642	270	185	648	1178	32104	442	451	460	0.39
	684663	590	95	608	848	16259	503	507	511	0.21
	685122	270	172	622	1101	29997	431	438	446	0.36
	685142	590	88	575	789	15192	476	480	484	0.20

*1 D.F.C.B. = Distance from Core Bottom

Table 4-1-3 Summary data from ceramography

S / A No PPJD 18

Pin No	Section No	Distance from core bottom (mm)	Restructured Region (Dia. mm)					Residual Diametral Gap Size (μ m)	Outer Dia (mm)
			Central Void	Columnar Region	Gas bubble Region	Densified Region	Dark Ring		
6841	684142	270			3.1	4.2	—	170	5.5
	684163	589			3.0	4.2	—	190	5.4
6846	684642	270			3.1	4.2	4.8	80	5.5
	684663	590			—	—	—	180	5.4
6851	685122	270			3.0	4.2	4.6	70	5.5
	685142	590			2.3	4.0	4.4	100	5.5

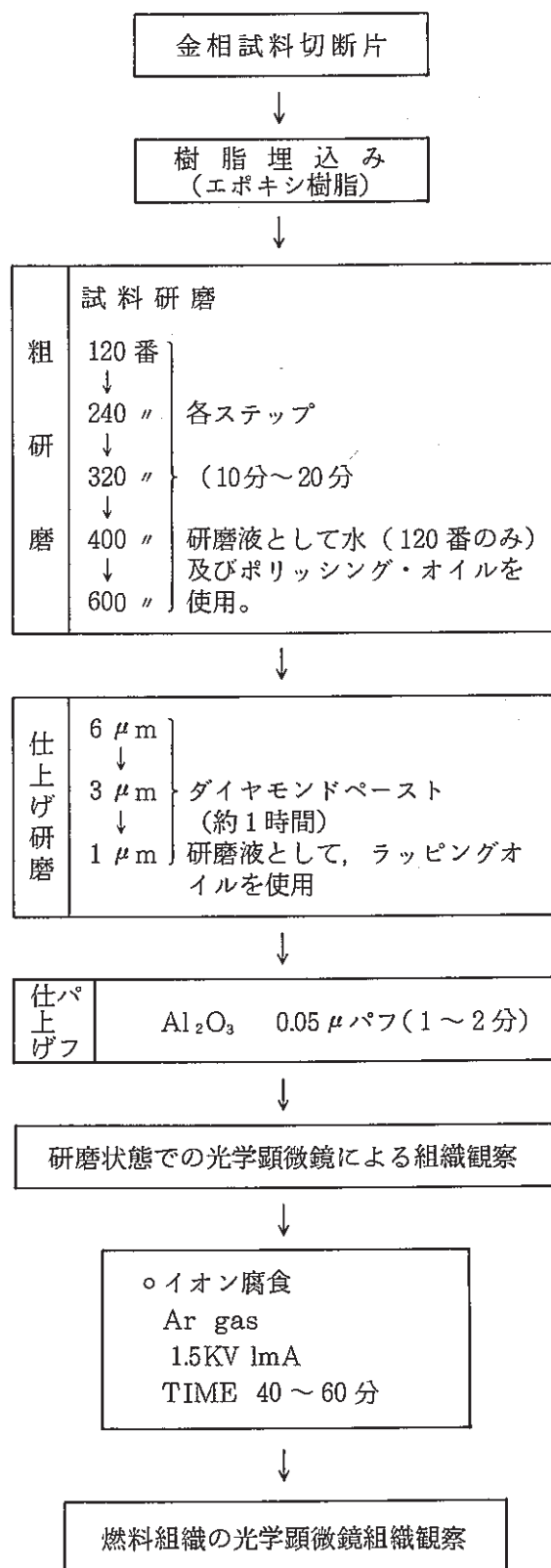


Fig. 4-1-1 Flow diagram of metallurgical examination in AGS

S/A No	JOYO-PPJD18
Pin No	6841
S/A Peak Burn up	35950 MWD/MTM

As polished

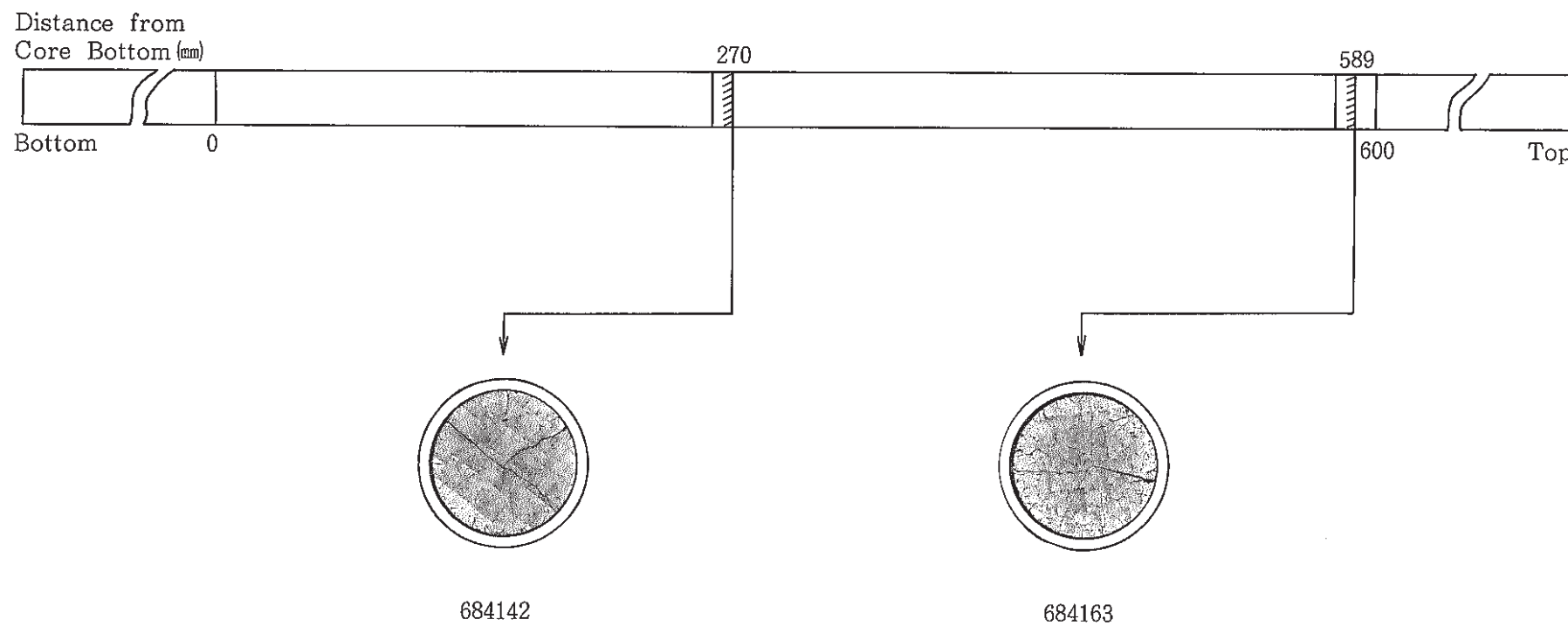


Photo 1 Macrography of JOYO MK-I core fuel (6841 pin, as polished)

S/A No.	JOYO-PPJD18
Pin No.	6841
S/A Peak Burn up	35950MWD/MTM

etched

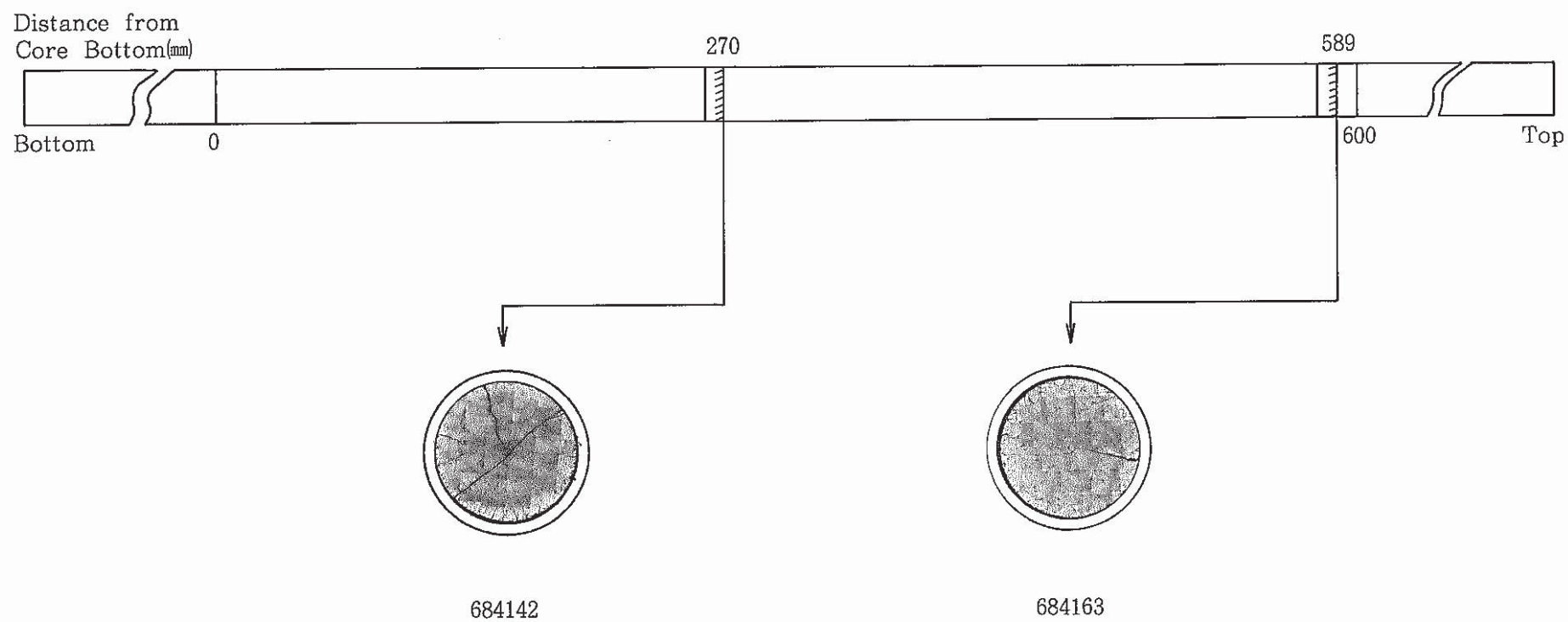


Photo 2 Macrography of JOYO MK-I core fuel (6841 pin, etched)

S/A No	JOYO-PPJD18
Pin No	6846
S/A Peak Burn up	35950 MWD / MTM

As polished

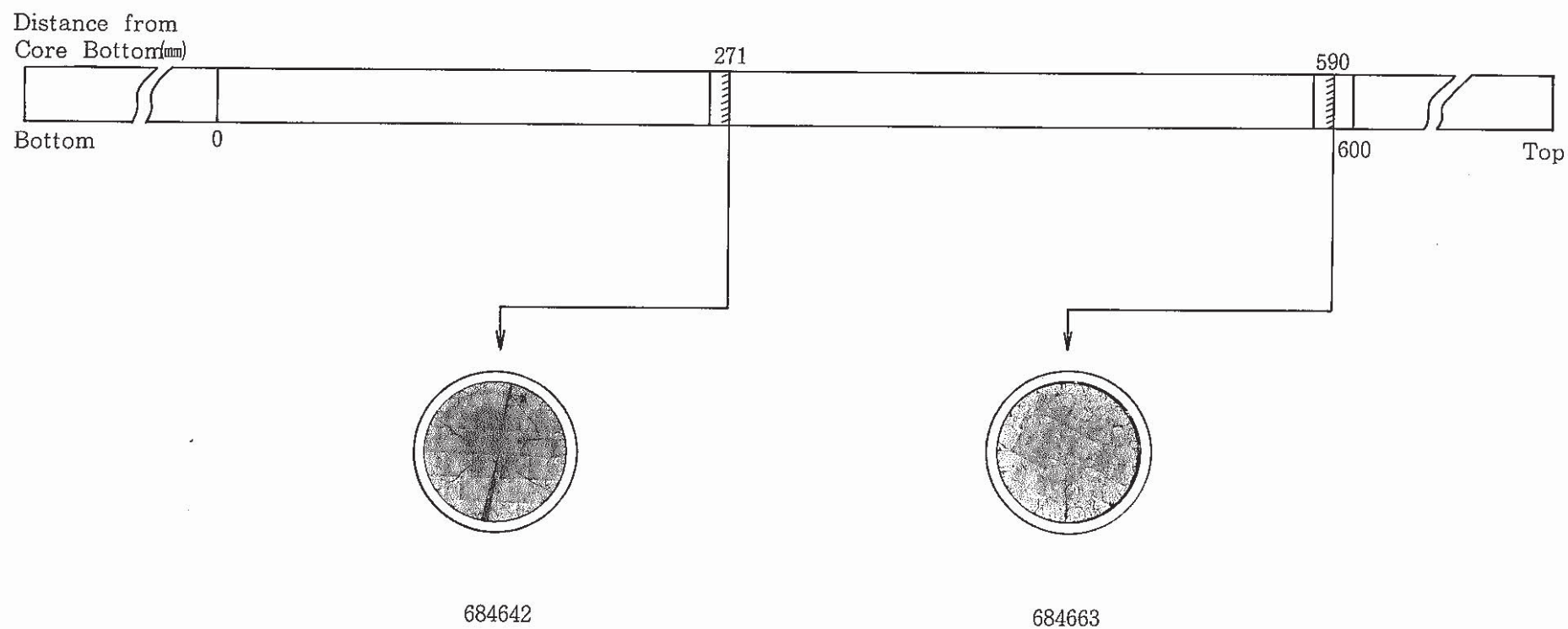


Photo 3 Macrography of JOYO MK-I core fuel (6846 pin, as polished)

S/A No	JOYO-PPJD18
Pin No	6846
S/A Peak Burn up	35950 MWD / MTM

etched

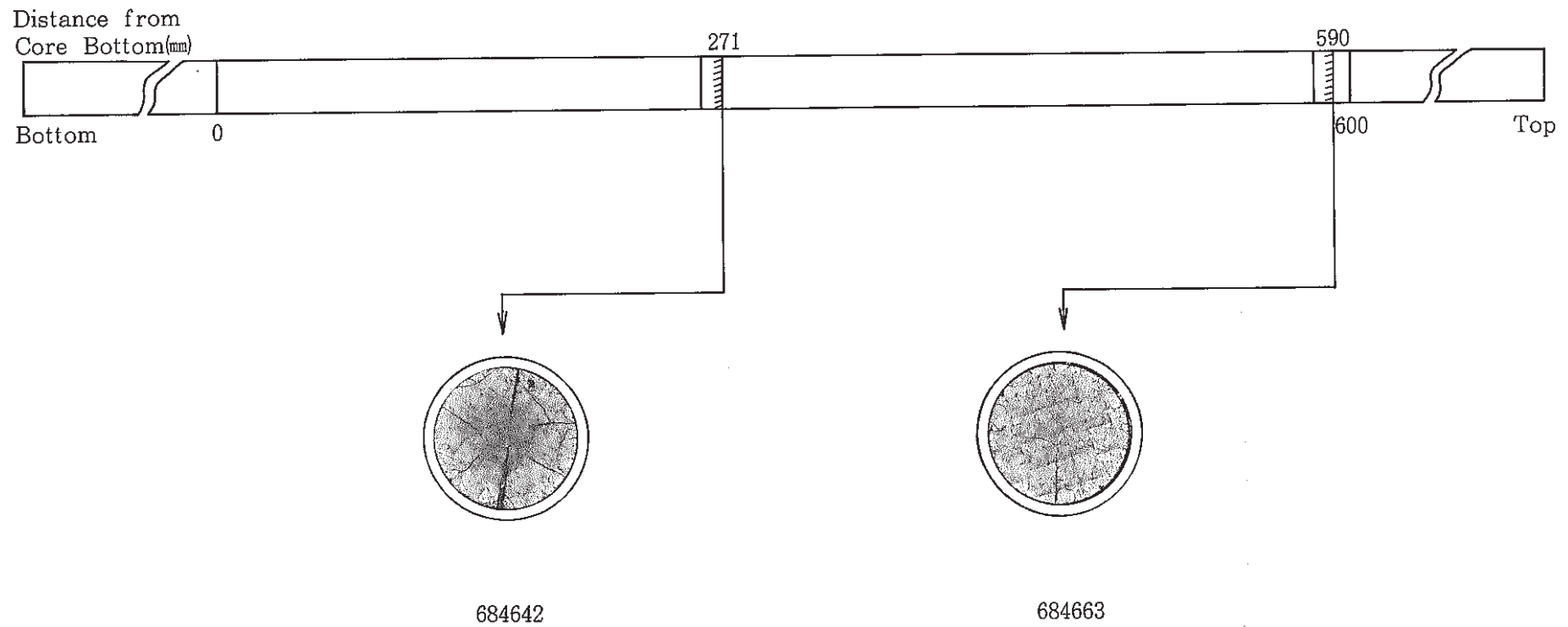


Photo 4 Macrography of JOYO MK-I core fuel (6846 pin, etched)

S/A No.	JOYO-PPJD18
Pin No.	6851
S/A Peak Burn up	35950 MWD / MTM

As polished

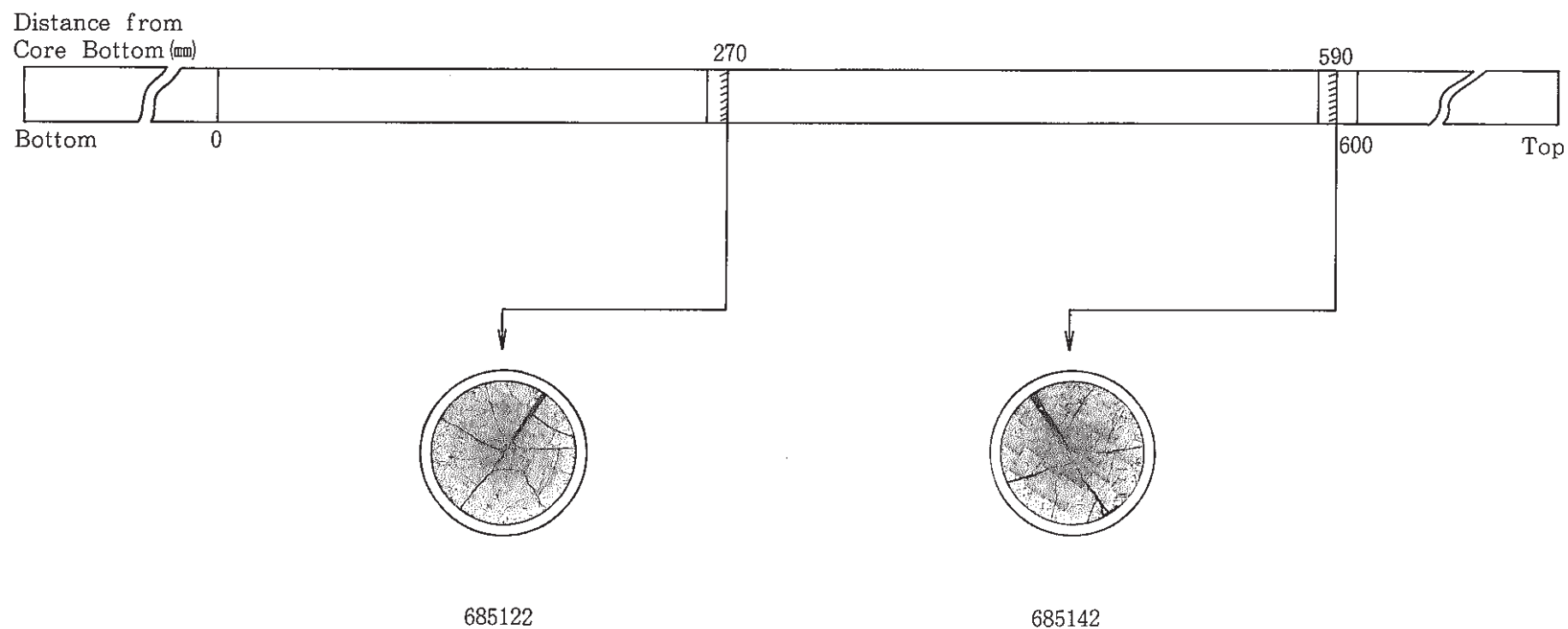


Photo 5 Macrography of JOYO MK-I core fuel (6851pin, as polished)

S/A No.	JOYO-PPJD 18
Pin No.	6851
S/A Peak Burn up	35950MWD/MTM

etched

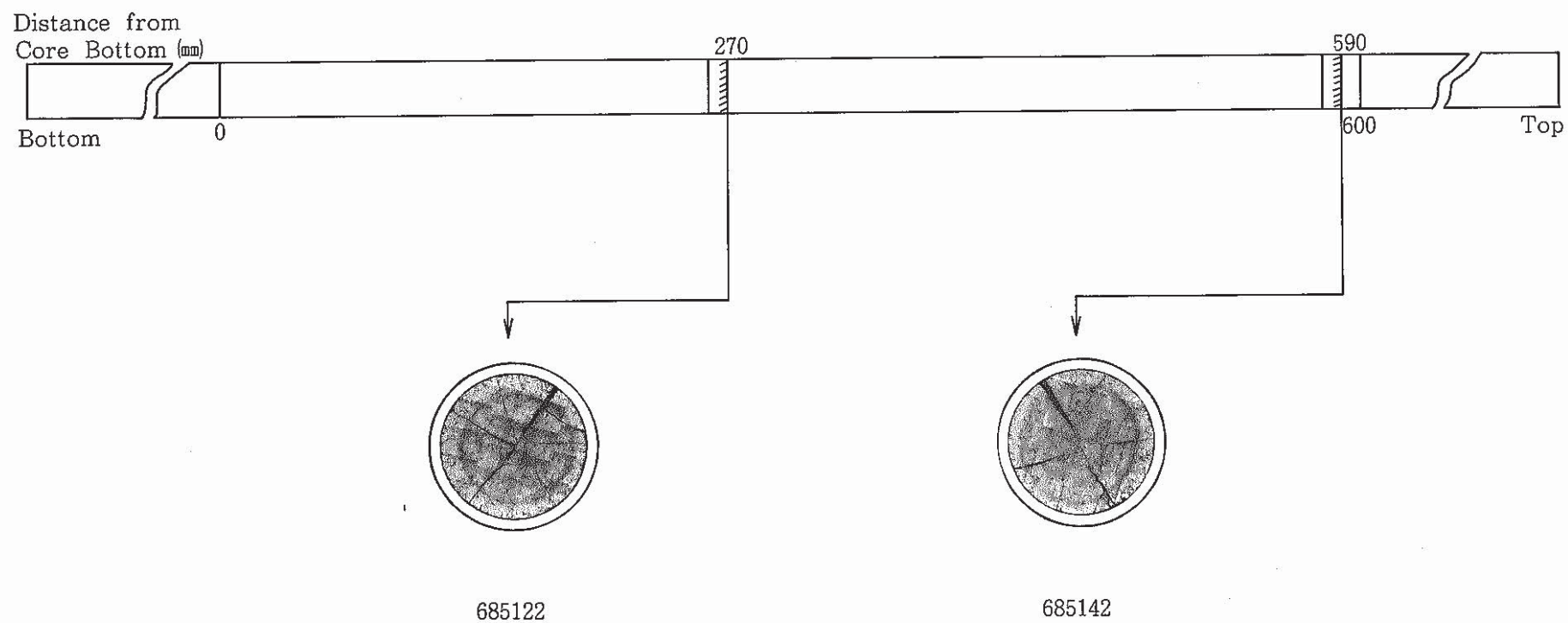


Photo 6 Macrography of JOYO MK-I core fuel (6851 pin, etched)

S/A Name	JOYO—PPJD18	
Pin No.	6841	
Section No.	684142	
Distance from bottom of pin		732 mm
Distance from bottom of fuel column		270 mm

As polished

1 mm

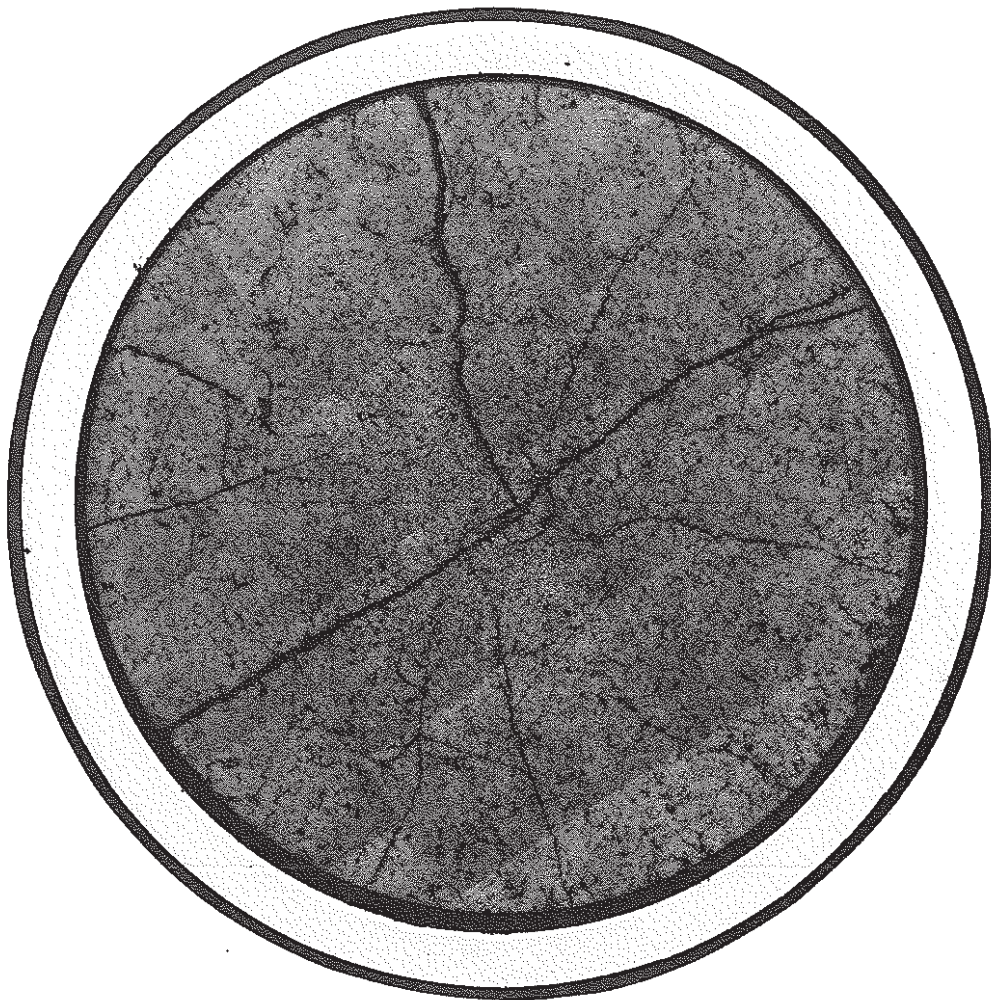


Photo 7 Postirradiatio ceramography of JOYO MK—I core fuel (684142 sample, as polished)

S/A Name	JOYO—PPJD18	
Pin No.	6841	
Section No.	684142	
Distance from bottom of pin		732 mm
Distance from bottom of fuel column		270 mm

etched

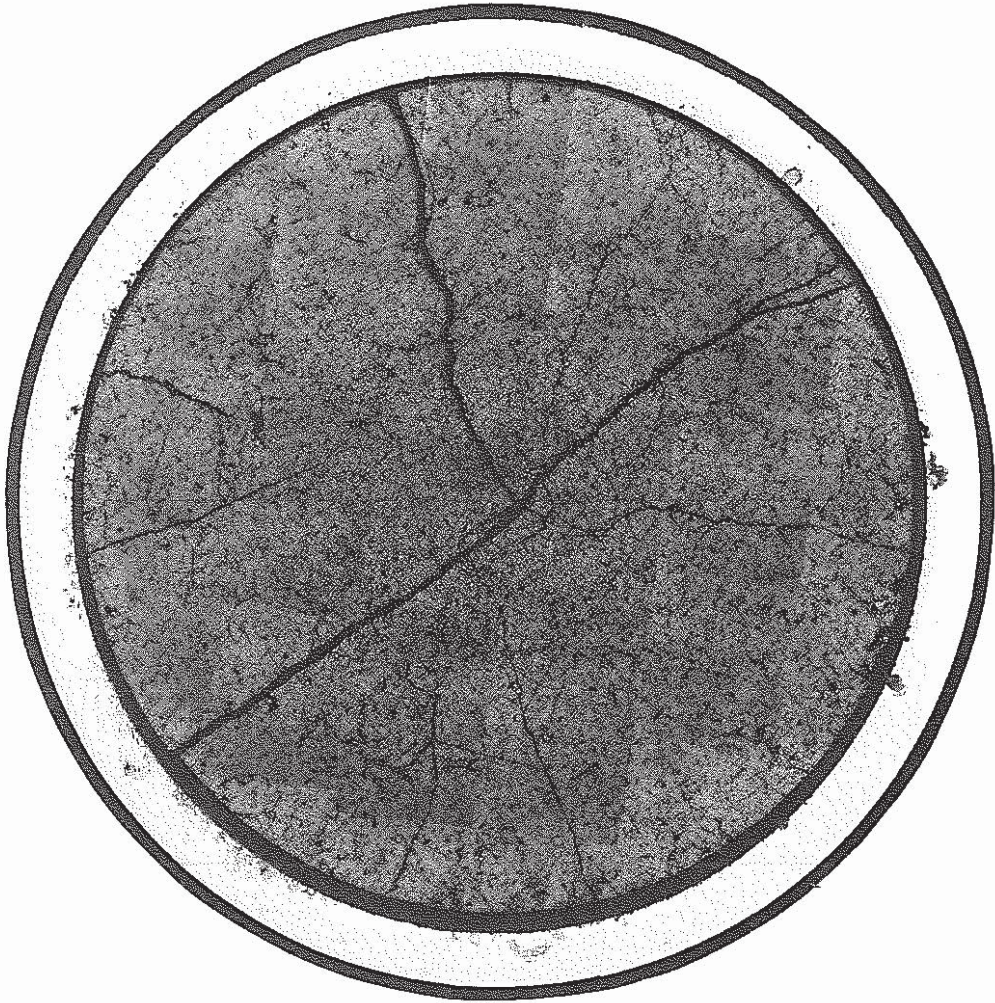
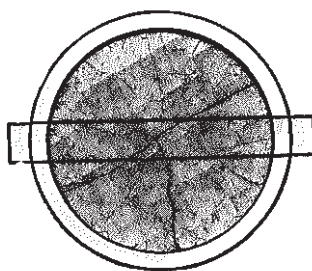


Photo 8 Postirradiatio ceramography of JOYO MK-I core fuel (684142 sample, etched)



S/A Name	JOYO-PPJD18	
Pin No.	6841	
Section No.	684142	
Distance from bottom of pin		732 mm
Distance from bottom of fuel column		270 mm

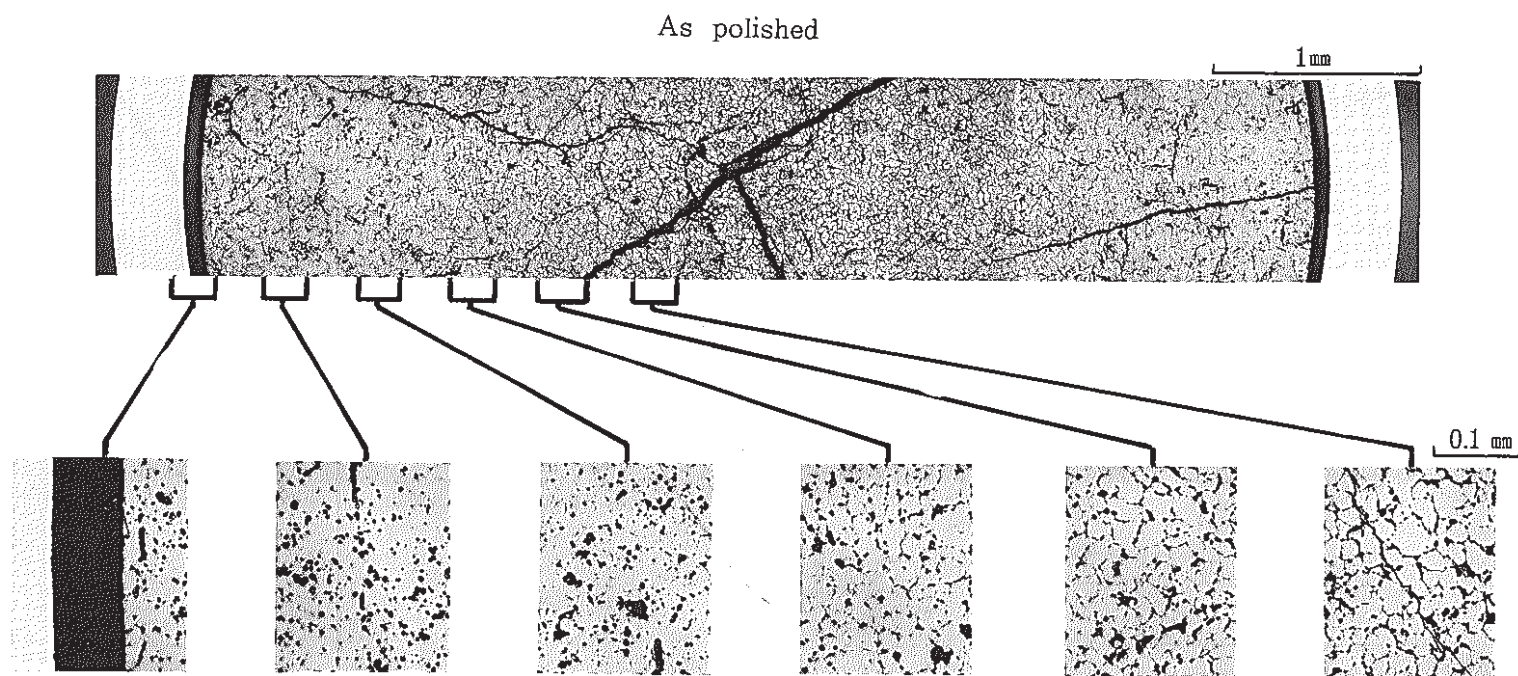
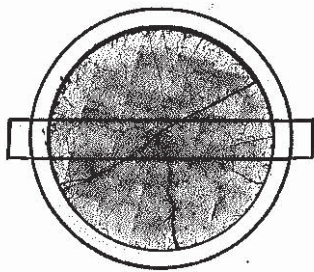


Photo 9 Postirradiation ceramography of JOYO MK-I core fuel (684142 sample, as polished)



S/A Name	JOYO-PPJD 18	
Pin No.	6841	
Section No.	684142	
Distance from bottom of pin		732 mm
Distance from bottom of fuel column		270 mm

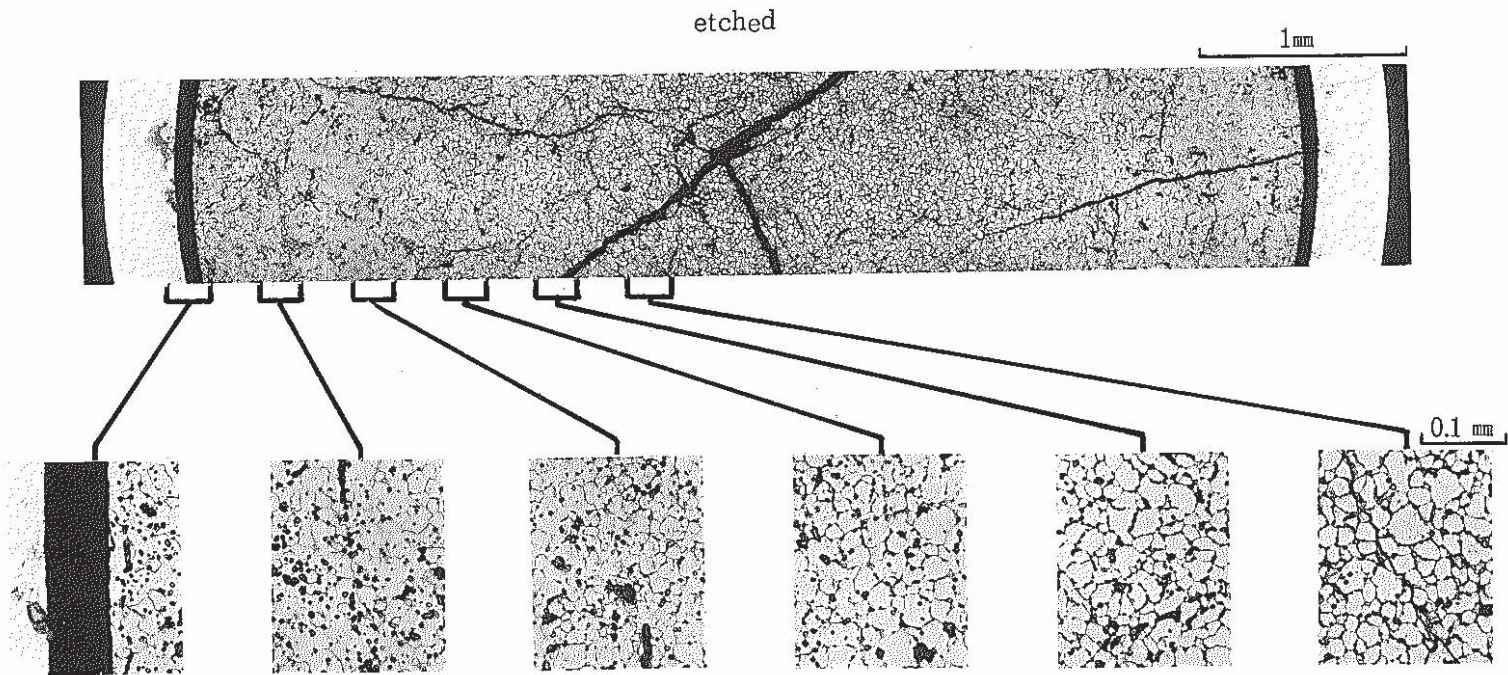


Photo 10 Postirradiatio ceramography of JOYO MK-I core fuel (684142 sample, etched)

S/A Name	JOYO—PPJD18	
Pin No	6846	
Section No	684642	
Distance from bottom of pin		733 mm
Distance from bottom of fuel column		271 mm

As polished

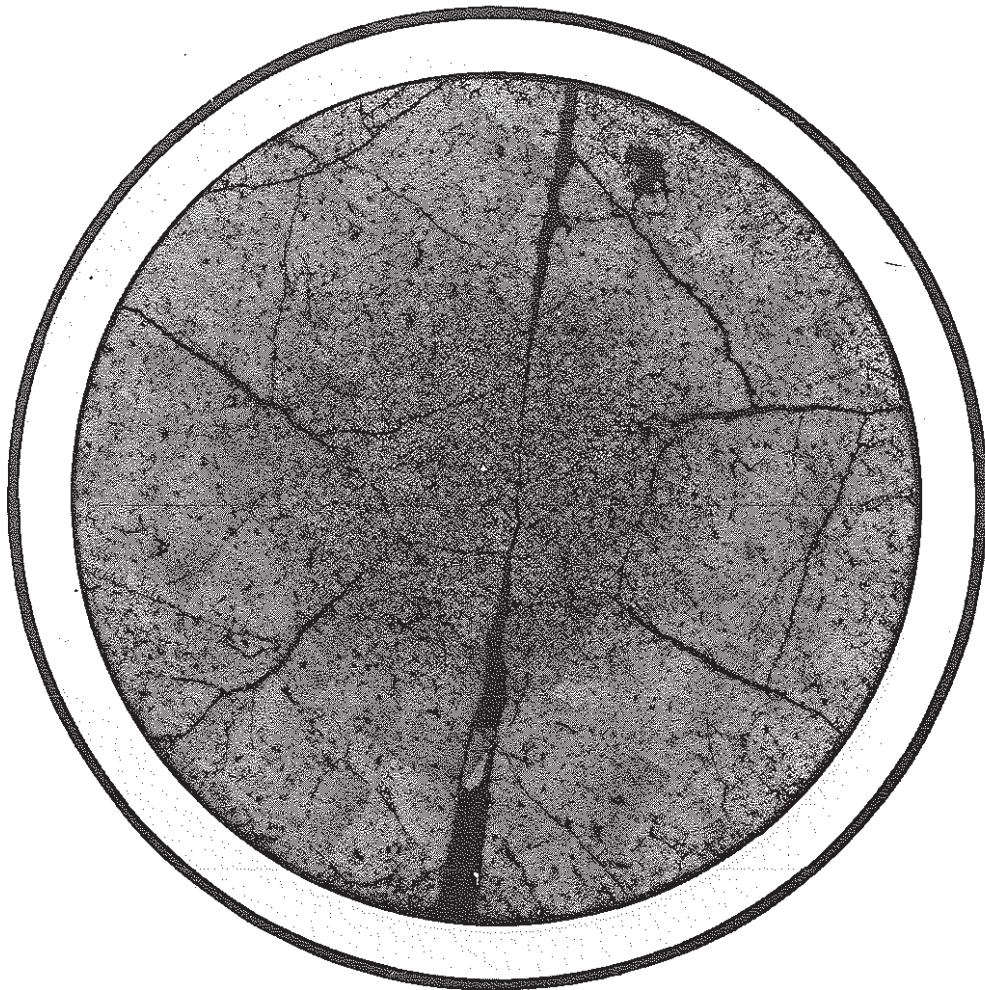
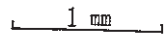


Photo 11 Postirradiation ceramography of JOYO MK-I core fuel (684642 sample, as polished)

S/A Name	JOYO-PPJD18	
Pin No.	6846	
Section No.	684642	
Distance from bottom of pin		733 mm
Distance from bottom of fuel column		271 mm

etched

1 mm

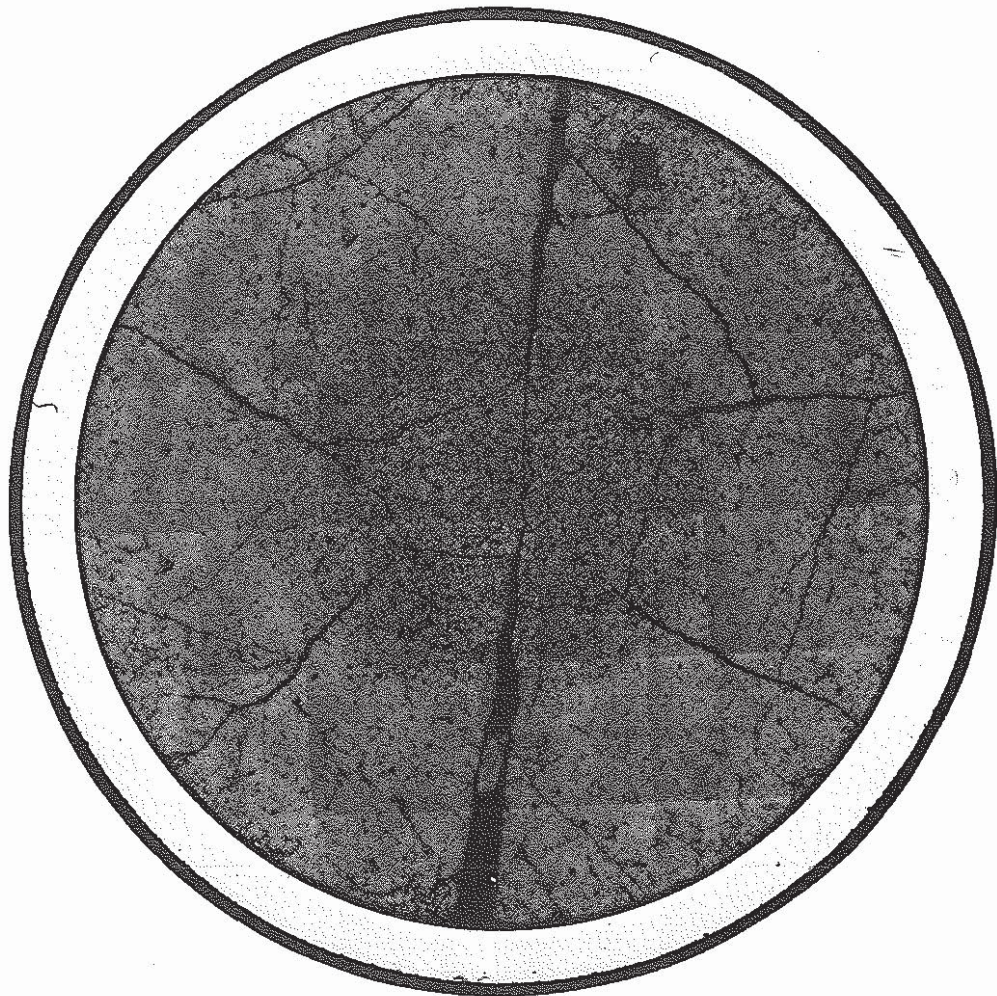
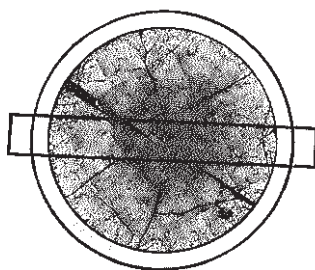


Photo 12 Postirradiation ceramography of JOYO MK-I core fuel (684642 sample, etched)



S/A Name	JOYO-PPJD18	
Pin No.	6846	
Section No.	684642	
Distance from bottom of pin		733 mm
Distance from bottom of fuel column		271 mm

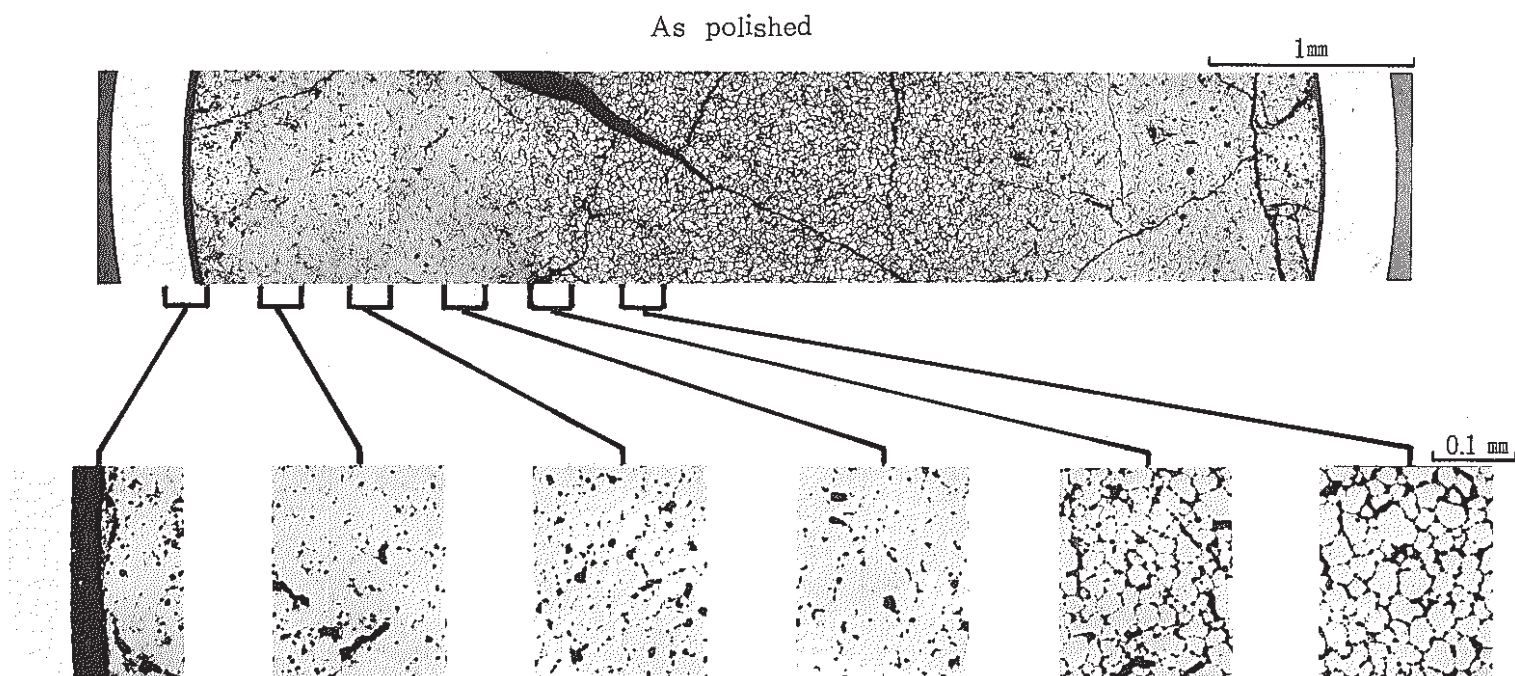
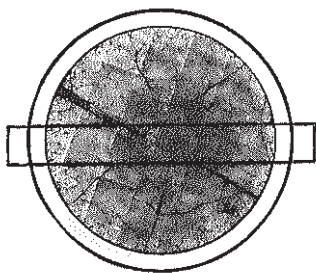


Photo 13 Postirradiation ceramography of JOYO MK-I core fuel (684642 sample, as polished)



S/A Name	JOYO-PPJD18	
Pin No.	6846	
Section No.	684642	
Distance from bottom of pin		733 mm
Distance from bottom of fuel column		271 mm

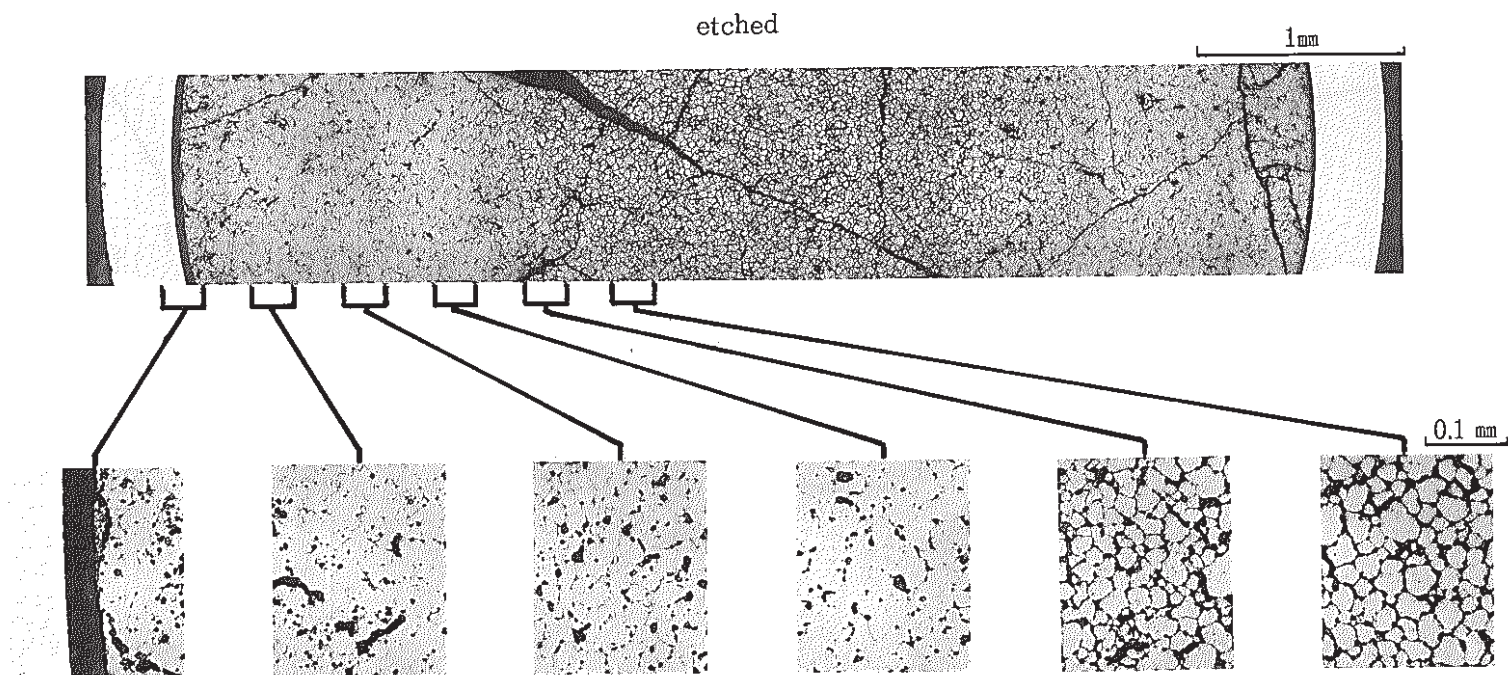


Photo 14 Postirradiation ceramography of JOYO MK-I core fuel (684642 sample, etched)

S/A Name	JOYO-PPJD18	
Pin No.	6851	
Section No.	685122	
Distance from bottom of pin		732 mm
Distance from bottom of fuel column		270 mm

As polished

1mm

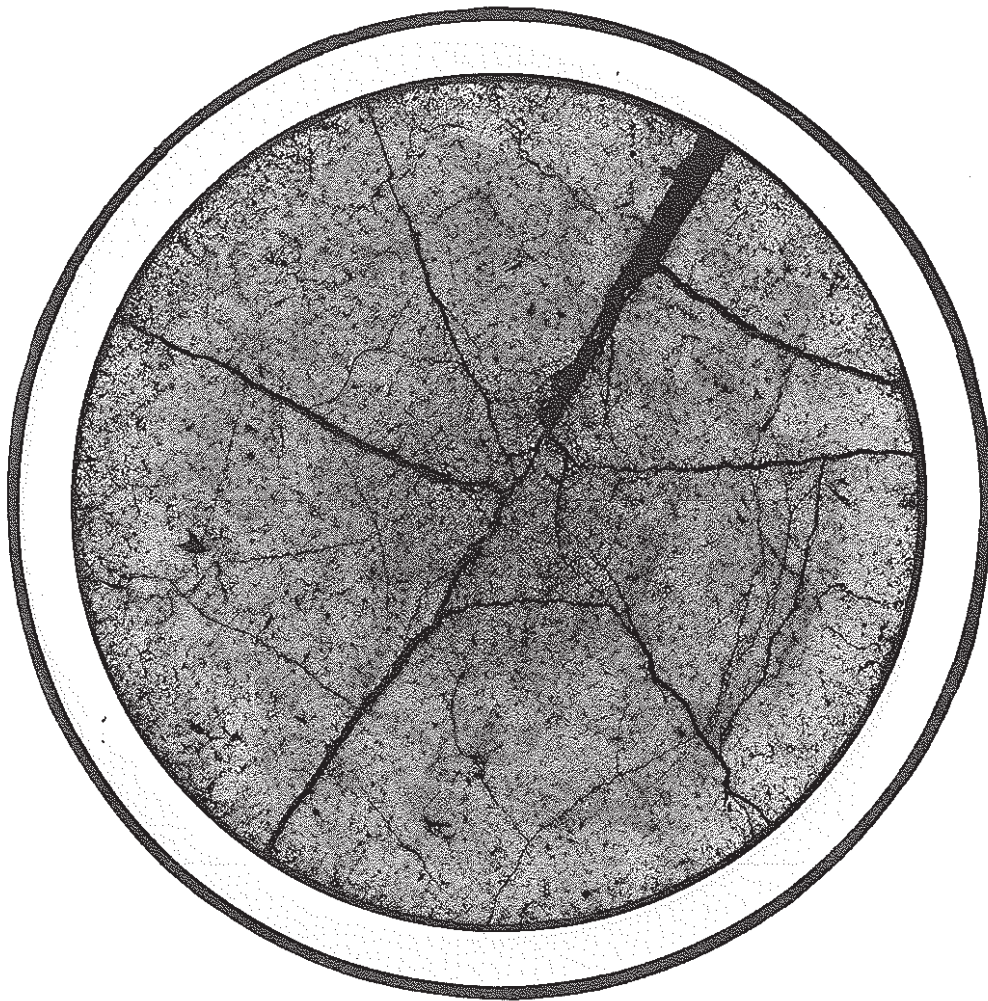


Photo 15 Postirradiation ceramography of JOYO MK-I core fuel (68512 sample, as polished)

S/A Name	JOYO-PPJD18	
Pin No.	6851	
Section No.	685122	
Distance from bottom of pin		732 mm
Distance from bottom of fuel column		270 mm

etched

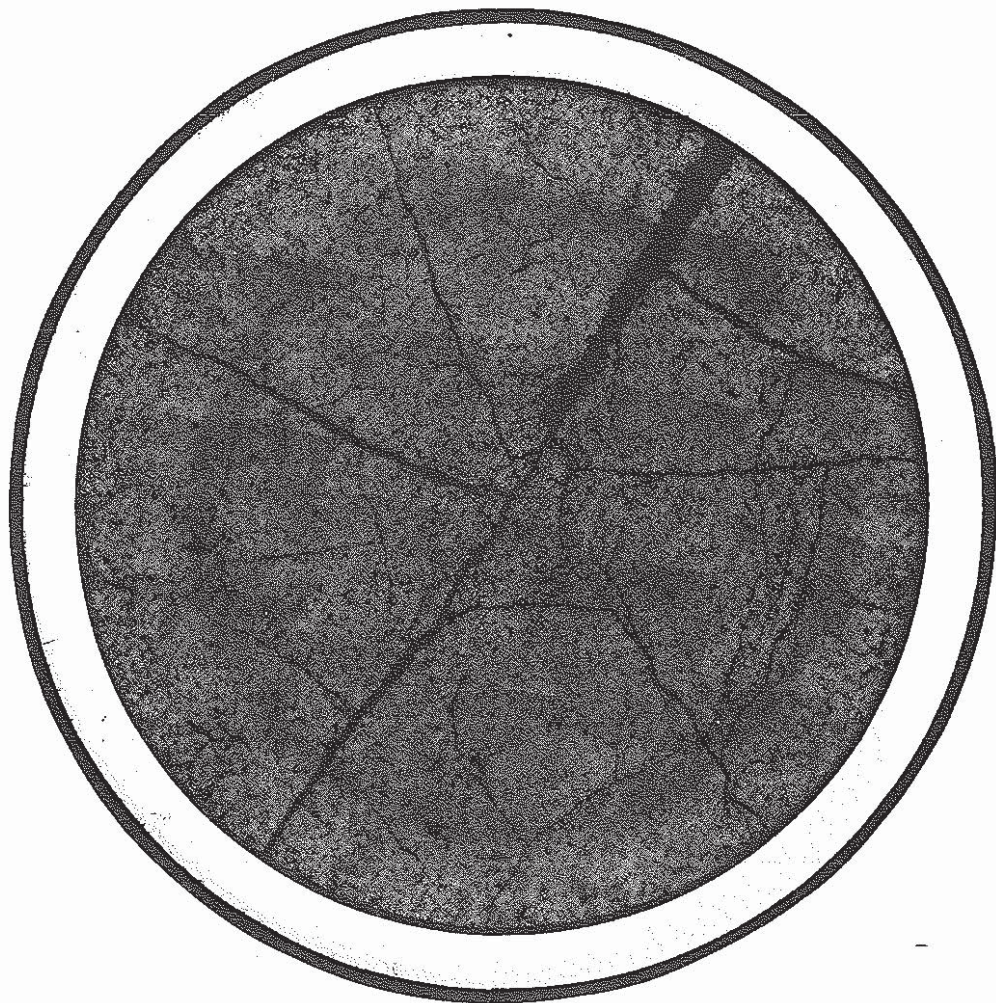
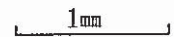
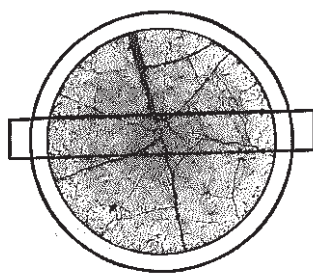


Photo 16 Postirradiatio ceramography of JOYO MK-I core fuel (68512 sample, etched)



S/A Name	JOYO-PPJD18	
Pin No.	6851	
Section No.	685122	
Distance from bottom of pin		732 mm
Distance from bottom of fuel column		270 mm

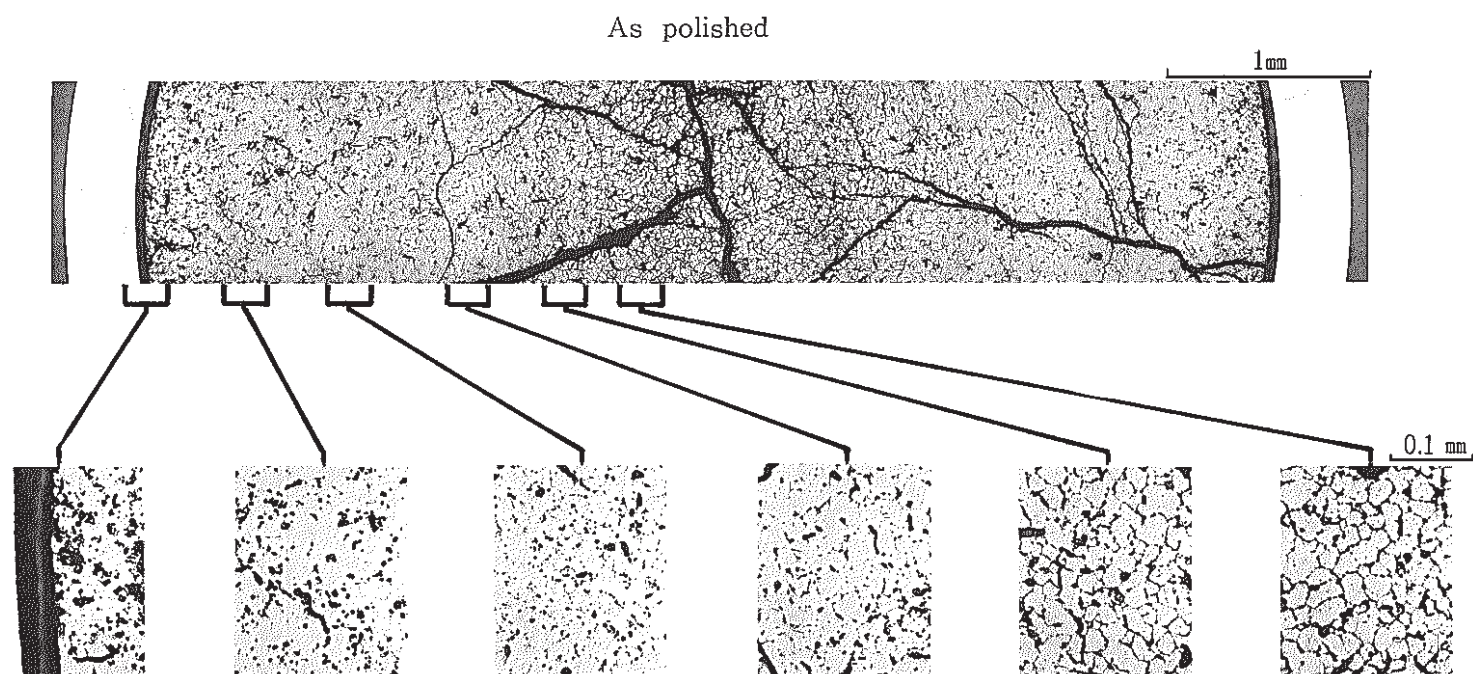
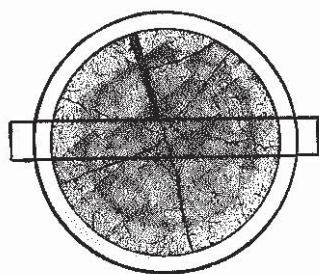


Photo 17 Postirradiation ceramography of JOYO MK-I core fuel (68512 sample, as polished)



S/A Name	JOYO-PPJD18	
Pin No	6851	
Section No	685122	
Distance from bottom of pin	732 mm	
Distance from bottom of fuel column	270 mm	

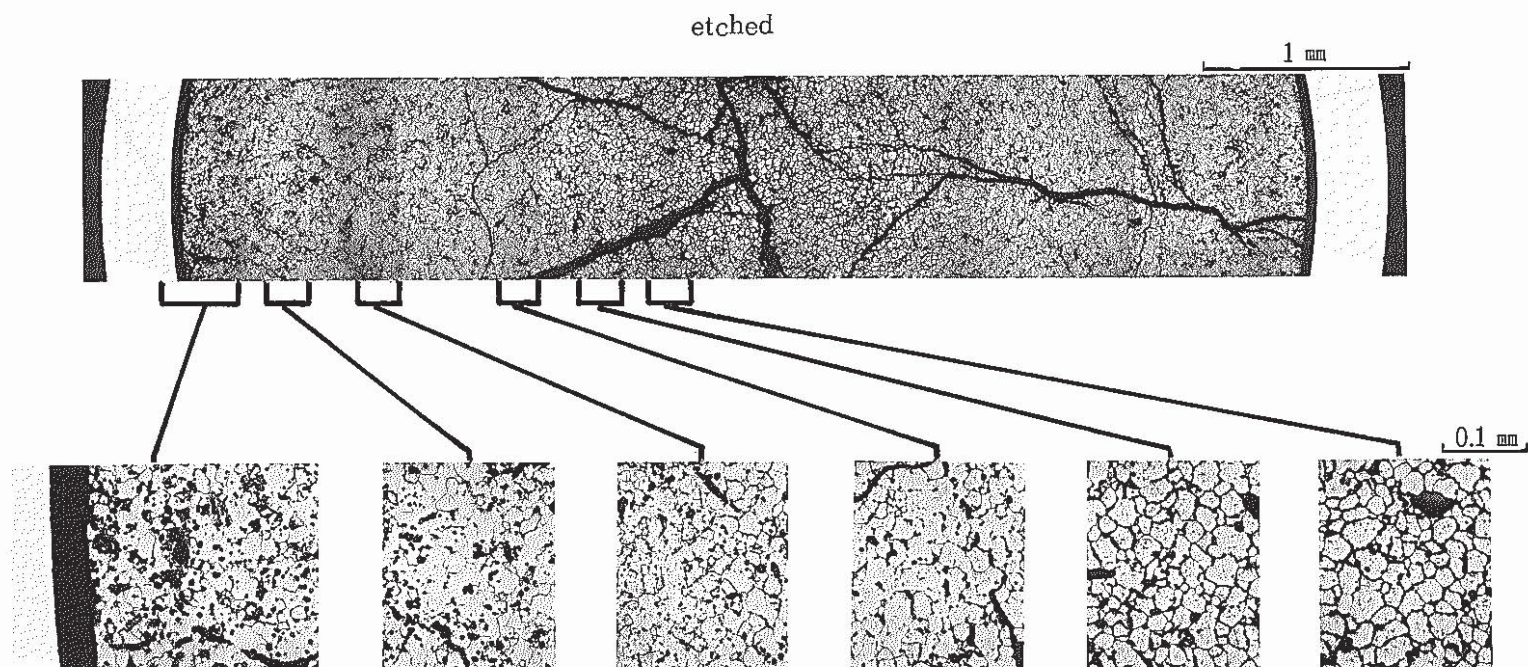
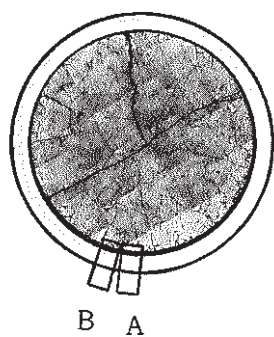


Photo 18 Postirradiatio ceramography of JOYO MK-I core fuel (68512 sample, etched)



S/A Name	JOYO-PPJD18	
Pin No	6841	
Section No	684142	
Distance from bottom of pin		732 mm
Distance from bottom of fuel column		270 mm

As polished

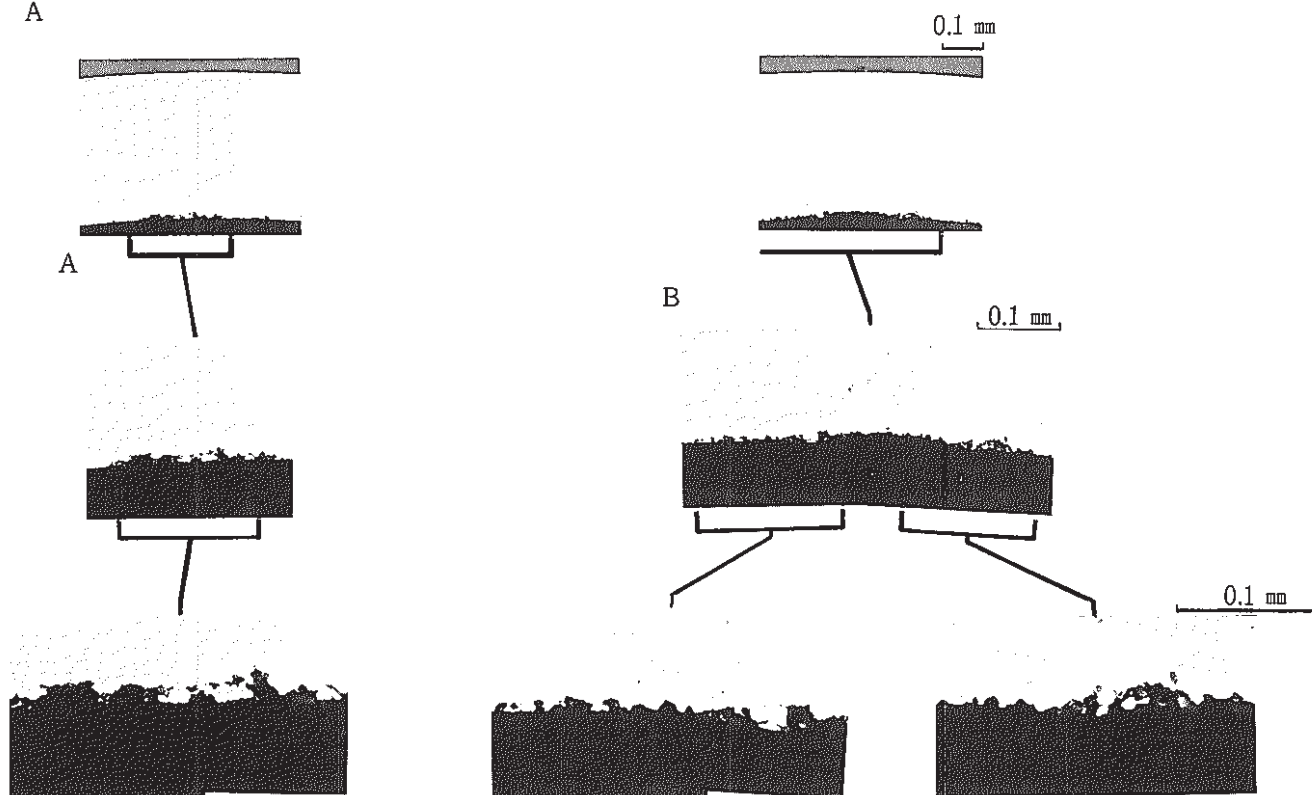


Photo 19 Postirradiation metallography of JOYO MK-I cladding (684163 sample, as polished)

データー集

3. 燃 焼 率 測 定

Table 4-2-1	Summary of burnup measurement by Nd-method	
Table 4-2-2	Composition of spike solution and natural neodymium	
Table 4-2-3	Calculation of effective fission yield for 684143 (example)	
Table 4-2-4	Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD18 684122 sample	
Table 4-2-5	"	for PPJD18 684143 sample
Table 4-2-6	"	for PPJD18 684162 sample
Table 4-2-7	"	for PPJD18 684182 sample
Table 4-2-8	"	for PPJD18 684142 sample
Table 4-2-9	"	for PPJD18 684622 sample
Table 4-2-10	"	for PPJD18 684643 sample
Table 4-2-11	"	for PPJD18 684662 sample
Table 4-2-12	Mismatch between measured and calculated radial peaking factor	
Fig. 4-2-1	Sampling position of PPJD18 fuel pins for burnup measurement	
Fig. 4-2-2	Process for burnup measurement in AGS	
Fig. 4-2-3	PPJD18 (6846 pin) burnup axial distribution	
Fig. 4-2-4	PPJD18 (6841pin) burnup axial distribution	
Fig. 4-2-5	PPJD18 (6841pin) burnup axial distribution (Blanket)	
Fig. 4-2-6	Bunup radial distribution in PPJD18 subassembly	

Table 4-2-1 Summary of burnup measurement by Nd - method

Pin No.	Sample No	Distance from core fuel bottom ¹⁾ (mm)	Pu content ²⁾ (atom %)	Burnup (atom%)	
				Calculated ³⁾	Measured ⁴⁾
6841	684122	19.7 ~ 24.4	17.392	2.32	2.72
	684143	270.0 ~ 274.8	17.220	3.52	3.98
	684162	574.9 ~ 579.6	17.212	1.88	1.98
	684182	617.0 ~ 622.4	1.195	0.196	0.149
	6841A2	694.7 ~ 699.5	0.474	0.089	0.064
6846	684622	199.6 ~ 24.4	17.284	2.18	2.49
	684643	270.8 ~ 275.4	17.251	3.34	3.66
	684662	574.7 ~ 579.6	17.270	1.79	1.95

1) Distance from core fuel bottom- 462

2) $Pu / (Pu + U) \times 100$

3) Calculated by JYHIST code

4) Measured by ¹⁴⁸Nd monitor methode

Table 4-2-2 Composition of spike solution and natural neodymium

スパイク液中の原子数 (atoms/ml)	U 233	4.3914×10^{18}
	Pu 242	7.9674×10^{17}
	Nd 150	7.1740×10^{15}
天然ネオジムの同位体比	Nd142/Nd 150	4.824980
	Nd145/Nd 150	1.472180
	Nd146/Nd 150	3.050830
	Nd148/Nd 150	1.021325
ネオジムスパイクの同位体比	Nd142/Nd 150	0.008937
	Nd145/Nd 150	0.004336
	Nd 146/Nd 150	0.009122
	Nd148/Nd 150	0.007046
ウランスパイクの同位体比	U 234/U 233	0.014108
	U 235/U 233	0.000401
	U 238/U 233	0.006410
プルトニウムスパイクの同位体比	Pu239/Pu242	0.001309
	Pu240/Pu242	0.013696
	Pu241/Pu242	0.000859

Table 4-2-3 Calculation of effective fission yield for 684143 (example)

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	- ¹⁾	1.14 ²⁾	-	3.20 ²⁾	-	4.10 ²⁾	-
U 234	0.001085	- ¹⁾	1.44 ²⁾	-	3.08 ²⁾	-	4.00 ²⁾	-
U 235	0.175502	1.71E+00 ¹⁾	1.68 ³⁾	0.848	2.94 ³⁾	1.484	3.76 ⁴⁾	1.898
U 236	0.006298	1.45E-01 ¹⁾	1.81 ²⁾	0.003	3.06 ²⁾	0.005	3.77 ²⁾	0.006
U 238	0.644810	6.36E-02 ¹⁾	2.08 ³⁾	0.144	3.40 ³⁾	0.235	3.50 ²⁾	0.241
Pu238	0.000263	- ¹⁾	1.76 ²⁾	-	2.79 ²⁾	-	3.24 ²⁾	-
Pu239	0.131531	1.73E+00 ¹⁾	1.65 ³⁾	0.630	2.46 ³⁾	0.839	3.01 ³⁾	1.149
Pu240	0.036015	4.90E-01 ¹⁾	1.84 ²⁾	0.055	2.83 ²⁾	0.084	3.34 ²⁾	0.099
Pu241	0.003351	2.25E+00 ¹⁾	1.94 ²⁾	0.025	3.01 ²⁾	0.038	3.52 ²⁾	0.045
Pu242	0.001044	3.02E-01 ¹⁾	2.04 ²⁾	0.001	3.10 ²⁾	0.002	3.70 ²⁾	0.002
Effective Fission Yield [%]			1.70		2.79		3.44	

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 4-2-4 Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD18
684122 sample

S/A NO.(FAB) ; PPJD18	PIN NO.(PIE) ; 6841
SAMPLE NO. ; 684122	SAMPLE POSITION ; 19.7~24.4 (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	0.001674	0.280829	0.008304	-(a)	
0.049370	0.002238	0.281150	0.008296	-(b)	
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]		
0.001831	0.269773	0.025133	0.007722	-(a)	
0.001831	0.270018	0.025122	0.050728	-(b)	
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]
0.008374	6.075757	5.422363	4.114399	3.320426	2.010786
0.008347	4.988192	4.451437	3.377605	2.728693	1.652241
					-(a)
					-(b)

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

[U233]	[U234]	[U235]	[U236]	[U238]		
nd	0.1297	21.7561	0.6433	77.4709		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.1404	76.6601	20.6808	1.9267	0.5920		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
0.0381	27.6773	24.7009	18.7426	15.1258	9.1599	4.5554

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 17.392 / 17.490

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 2.0842E+21

		[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample)	;	9.9194E+17	1.6396E+18	2.0256E+18
EFFECTIVE FISSION YIELD	;	1.70E-02	2.79E-02	3.44E-02
NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**;		5.8349E+19	5.8767E+19	5.8884E+19
BURNUP (atom%)#	;	2.72	2.74	2.75
SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##	;	26200	26400	26400

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 4-2-5 Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD18
684143 sample

S/A NO.(FAB) ; PPJD18	PIN NO.(PIE) ; 6841
SAMPLE NO. ; 684143	SAMPLE POSITION ; 270.0~274.8 (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	0.001683	0.272134	0.009766	-(a)		
0.041983	0.002181	0.272456	0.009799	-(b)		
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]			
0.002001	0.273812	0.025479	0.007941	-(a)		
0.002001	0.274338	0.025520	0.045296	-(b)		
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]	
0.003314	5.874599	5.232564	3.997372	3.243810	1.978089	-(a)
0.009727	5.227241	4.661162	3.557879	2.890645	1.759692	-(b)

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

[U233]	[U234]	[U235]	[U236]	[U238]		
nd	0.1311	21.2011	0.7608	77.9069		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.1528	76.3806	20.9139	1.9461	0.6065		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
0.0155	27.5418	24.5318	18.7408	15.2079	9.2739	4.6883

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 17.220 / 17.317

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 2.4322E+21

	[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample) ;	1.7155E+18	2.8445E+18	3.4996E+18
EFFECTIVE FISSION YIELD ;	1.70E-02	2.79E-02	3.44E-02
NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**;	1.0091E+20	1.0195E+20	1.0173E+20
BURNUP (atom%)#	3.98	4.02	4.01
SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##	38300	38700	38600

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 4-2-6 Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD18
684162 sample

S/A NO.(FAB) ; PPJD18	PIN NO.(PIE) ; 6841
SAMPLE NO. ; 684162	SAMPLE POSITION ; 574.9~579.6 (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	0.001704	0.288484	0.006196	-(a)	
0.044794	0.002210	0.288698	0.006199	-(b)	
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]		
0.001537	0.262066	0.024202	0.007469	-(a)	
0.001537	0.262498	0.024245	0.046534	-(b)	
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]
0.005323	5.924978	5.262920	4.035341	3.250314	1.986843
0.005935	4.688171	4.162002	3.187148	2.565730	1.567042
					-(a)
					-(b)

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

[U233]	[U234]	[U235]	[U236]	[U238]		
nd	0.1314	22.2530	0.4779	77.1376		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.1187	77.2037	20.2325	1.8685	0.5766		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
0.0248	27.6020	24.5178	18.7990	15.1419	9.2559	4.6586

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 17.212 / 17.310

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 2.3021E+21

		[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
<u>NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample)</u>	;	7.9401E+17	1.3049E+18	1.6287E+18
<u>EFFECTIVE FISSION YIELD</u>	;	1.71E-02	2.79E-02	3.44E-02
<u>NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**;</u>		4.6433E+19	4.6771E+19	4.7346E+19
<u>BURNUP (atom%)#</u>	;	1.98	1.99	2.02
<u>SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##</u>	;	19000	19100	19400

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 4-2-7 Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD18
684182 sample

S/R NO.(FAB) ; PPJD18	PIN NO.(PIE) ; 6841
SAMPLE NO. ; 684182	SAMPLE POSITION ; 617.0~622.4 (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	0.000011	0.001960	0.000063	-(a)	
0.028032	0.000333	0.001982	0.000050	-(b)	
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]		
0.000109	0.006832	0.000105	0.000079	-(a)	
0.000109	0.156928	0.014125	0.422458	-(b)	
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]
nd	3.771509	3.654209	3.037986	2.745909	1.676766
0.014465	1.042810	1.019393	0.842763	0.768011	0.469945
					-(a)
					-(b)

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

[U233]	[U234]	[U235]	[U236]	[U238]		
nd	0.0011	0.1956	0.0063	99.7970		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.0108	99.2925	0.6784	0.0104	0.0078		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
nd	23.7405	23.0022	19.1232	17.2847	10.5547	6.2947

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 1.195 / 1.200

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 2.3827E+21

NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample)		[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
	;	6.9020E+16	1.1259E+17	1.2465E+17
EFFECTIVE FISSION YIELD				
	;	1.94E-02	3.11E-02	3.36E-02
NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**				
	;	3.5578E+18	3.6203E+18	3.7097E+18
BURNUP (atom%)#				
	;	0.149	0.152	0.155
SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##				
	;	1330	1350	1390

NOTE ; nd=not detected

* Distance from core fuel bottom

** FISSIONS=NUMBER OF Nd/EFFECTIVE FISSION YIELD

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

1.12 atom% BU=10000 MWD/MTM BU

Table 4-2-8 Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD18
6841A2 sample

S/A NO.(FAB) ; PPJD18	PIN NO.(PIE) ; 6841
SAMPLE NO. ; 6841A2	SAMPLE POSITION ; 694.7~699.5 (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	0.000016	0.001990	0.000063	-(a)		
0.027956	0.000334	0.002034	0.000038	-(b)		
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]			
0.000046	0.006041	0.000211	0.000036	-(a)		
0.000046	0.022703	0.000989	1.067408	-(b)		
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]	
nd	3.914978	3.783082	3.111550	2.794182	1.698813	-(a)
0.060848	0.603556	0.609807	0.478495	0.451928	0.267440	-(b)

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

[U233]	[U234]	[U235]	[U236]	[U238]		
nd	0.0016	0.1986	0.0063	99.7935		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.0046	99.3706	0.6003	0.0210	0.0036		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
nd	24.0144	23.2054	19.0862	17.1395	10.4205	6.1340

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 0.474 / 0.476

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 2.3719E+21

		[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
<u>NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample)</u>	;	3.1992E+16	5.2465E+16	5.8637E+16
<u>EFFECTIVE FISSION YIELD</u>	;	2.00E-02	3.24E-02	3.45E-02
<u>NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**;</u>		1.5996E+18	1.6193E+18	1.6996E+18
<u>BURNUP (atom%)#</u>	;	0.067	0.068	0.072
<u>SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##</u>	;	602	609	639

NOTE ; nd=not detected

* Distance from core fuel bottom

** FISSIONS=NUMBER OF Nd/EFFECTIVE FISSION YIELD

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

1.12 atom% BU=10000 MWD/MTM BU

Table 4-2-9 Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD18
684622 sample

S/A NO.(FAB) ; PPJD18	PIN NO.(PIE) ; 6846
SAMPLE NO. ; 684622	SAMPLE POSITION ; 19.6~24.4 (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	0.001704	0.282882	0.007645	-(a)	
0.046747	0.002235	0.283557	0.007566	-(b)	
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]		
0.001756	0.267024	0.024789	0.007666	-(a)	
0.001756	0.267820	0.025102	0.048548	-(b)	
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]
nd	6.016975	5.359937	4.083163	3.293631	2.001237
0.007444	4.917661	4.382041	3.336047	2.692440	1.634130
					-(a)
					-(b)

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

[U233]	[U234]	[U235]	[U236]	[U238]		
nd	0.1319	21.8910	0.5916	77.3855		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.1349	76.8501	20.5208	1.9050	0.5891		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
nd	27.6580	24.6378	18.7689	15.1397	9.1990	4.5967

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 17.284 / 17.382

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 2.2007E+21

		[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
<u>NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample)</u>	;	9.5684E+17	1.5805E+18	1.9667E+18
<u>EFFECTIVE FISSION YIELD</u>	;	1.70E-02	2.79E-02	3.44E-02
<u>NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**</u>	;	5.6285E+19	5.6650E+19	5.7171E+19
<u>BURNUP (atom%)#</u>	;	2.49	2.51	2.53
<u>SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##</u>	;	24000	24100	24300

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 4-2-10 Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD18
684643 sample

S/A NO.(FAB) ; PPJD18	PIN NO.(PIE) ; 6846
SAMPLE NO. ; 684643	SAMPLE POSITION ; 270.8~275.4 (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	0.001701	0.275234	0.009027	-(a)		
0.043213	0.002195	0.275825	0.009028	-(b)		
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]			
0.001615	0.271415	0.025263	0.007878	-(a)		
0.001615	0.271930	0.025220	0.046084	-(b)		
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]	
0.006037	5.850373	5.212261	3.990547	3.238143	1.973116	-(a)
0.008730	5.132216	4.571803	3.498643	2.840545	1.733024	-(b)

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

[U233]	[U234]	[U235]	[U236]	[U238]		
nd	0.1323	21.4030	0.7020	77.7628		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.1236	76.5597	20.7794	1.9341	0.6031		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
0.0284	27.5047	24.5047	18.7610	15.2237	9.2763	4.7014

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 17.251 / 17.348

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 2.3682E+21

		[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
<u>NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample)</u>	;	1.5279E+18	2.4778E+18	3.0560E+18
<u>EFFECTIVE FISSION YIELD</u>	;	1.70E-02	2.79E-02	3.44E-02
<u>NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**</u>	;	8.9876E+19	8.8811E+19	8.8838E+19
<u>BURNUP (atom%)#</u>	;	3.66	3.61	3.62
<u>SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##</u>	;	35200	34800	34800

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 4-2-11 Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD18
684662 sample

S/A NO.(FAB) ; PPJD18	PIN NO.(PIE) ; 6846
SAMPLE NO. ; 684662	SAMPLE POSITION ; 574.7~579.6 (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	0.001719	0.287611	0.006228	-(a)	
0.043517	0.002206	0.288641	0.006245	-(b)	
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]		
0.001385	0.262248	0.024248	0.007488	-(a)	
0.001385	0.262600	0.024234	0.045314	-(b)	
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]
0.002548	5.954354	5.290094	4.050883	3.261083	1.990112
0.005888	4.711088	4.186038	3.201976	2.578561	1.573387
					-(a)
					-(b)

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

[U233]	[U234]	[U235]	[U236]	[U238]		
nd	0.1327	22.1998	0.4807	77.1868		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.1069	77.1981	20.2450	1.8719	0.5781		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
0.0118	27.6316	24.5491	18.7984	15.1333	9.2353	4.6406

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 17.270 / 17.367

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 2.3698E+21

		[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample)	;	8.0529E+17	1.3200E+18	1.6434E+18
EFFECTIVE FISSION YIELD	;	1.71E-02	2.79E-02	3.44E-02
NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**;		4.7093E+19	4.7311E+19	4.7774E+19
BURNUP (atom%)#	;	1.95	1.96	1.98
SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##	;	18700	18800	19000

NOTE ; nd=not detected

* Distance from core fuel bottom

** FISSIONS=NUMBER OF Nd/EFFECTIVE FISSION YIELD

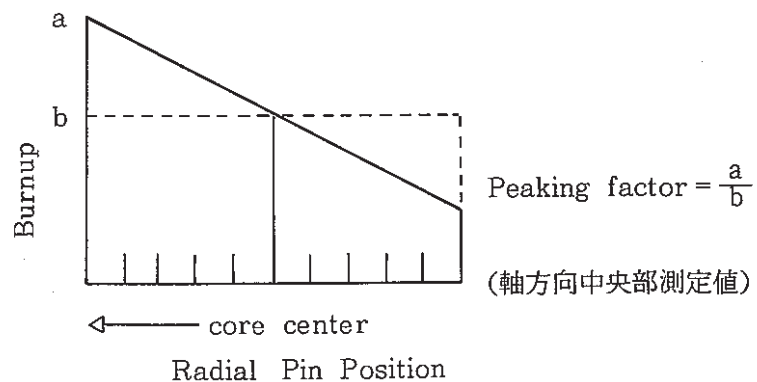
BURNUP=100*FISSIONS/(TOTAL HEAVY ELEMENT+FISSIONS)

1.04 atom% BU=10000 MWD/MTM BU

Table 4-2-12 Mismatch between measured and calculated radial peaking factor

Row		Radial Peaking Factor * ¹		Error (%)	S/A
		Calculated	Measured	Meass.vs Cal.	
1		1.0352	1.0313	− 0.4	PPJX 15
		1.0421	1.0346	− 0.7	PPJX 14
		1.0432	1.0183	− 2.4	PPJDOB
		1.0341	1.0239	− 1.0	PPJD 39
2	S * ²	1.0604	1.0508	− 0.9	PPJX 08
		1.0768	1.0626	− 1.3	PPJD 0M
	R * ²	1.1089	1.0544	− 4.9	PPJX 09
		1.1022	1.0537	− 4.4	PPJD 2L
3		—	—	—	
4 R	Center	1.053	1.087	+ 3.2	PPJD 18
	Top	1.050	1.015	− 3.3	
	Bottom	1.064	1.092	+ 2.6	
5		1.1810	1.1561	− 2.1	PPJD 1A
		1.1884	1.1465	− 3.5	PPJX 17

*1



*2 S ; adjacent to Safety Rod

R ; adjacent to Regulating Rod

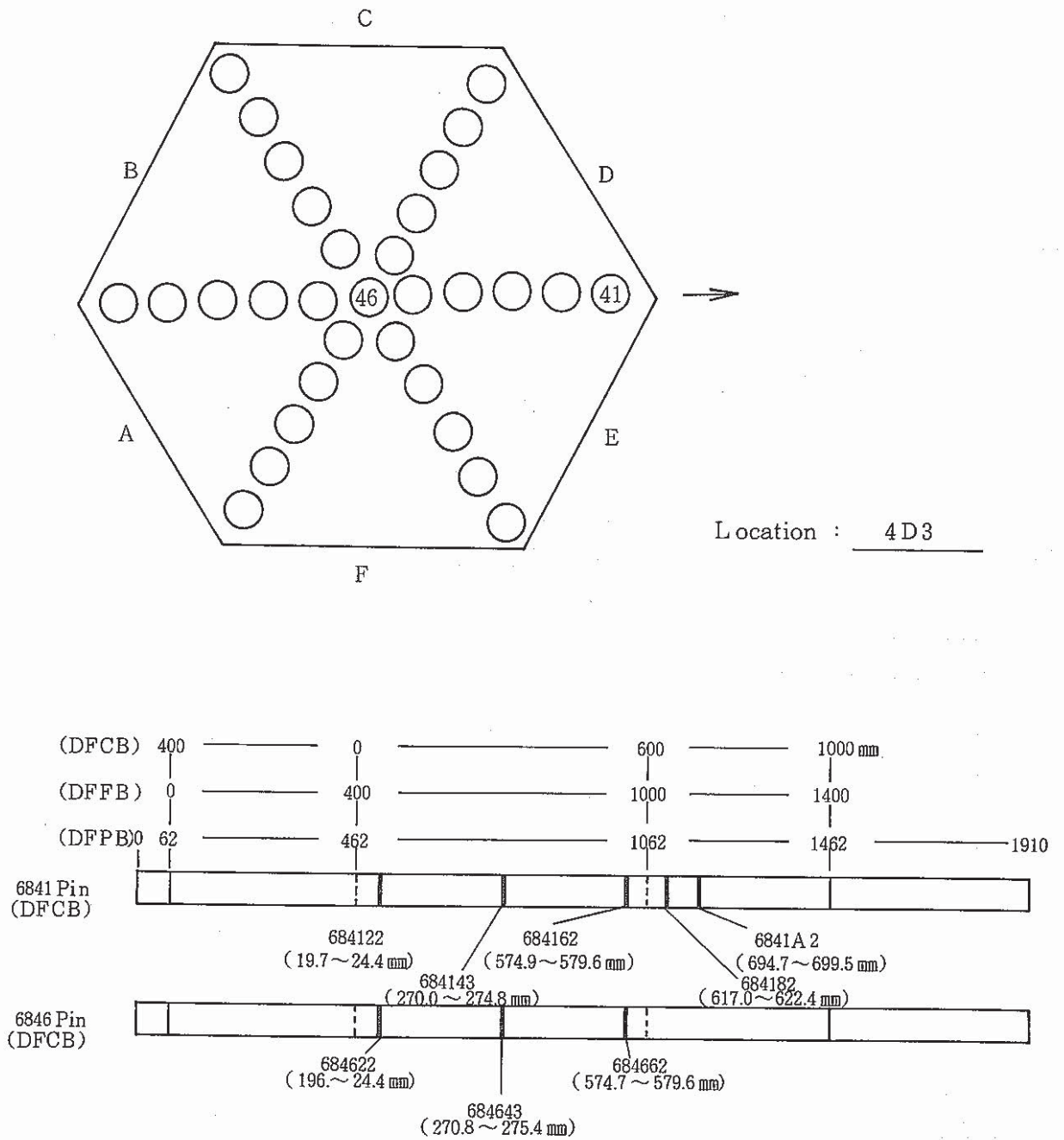


Fig.4-2-1 Sampling position of PPJD18 fuel pins for burnup measurement

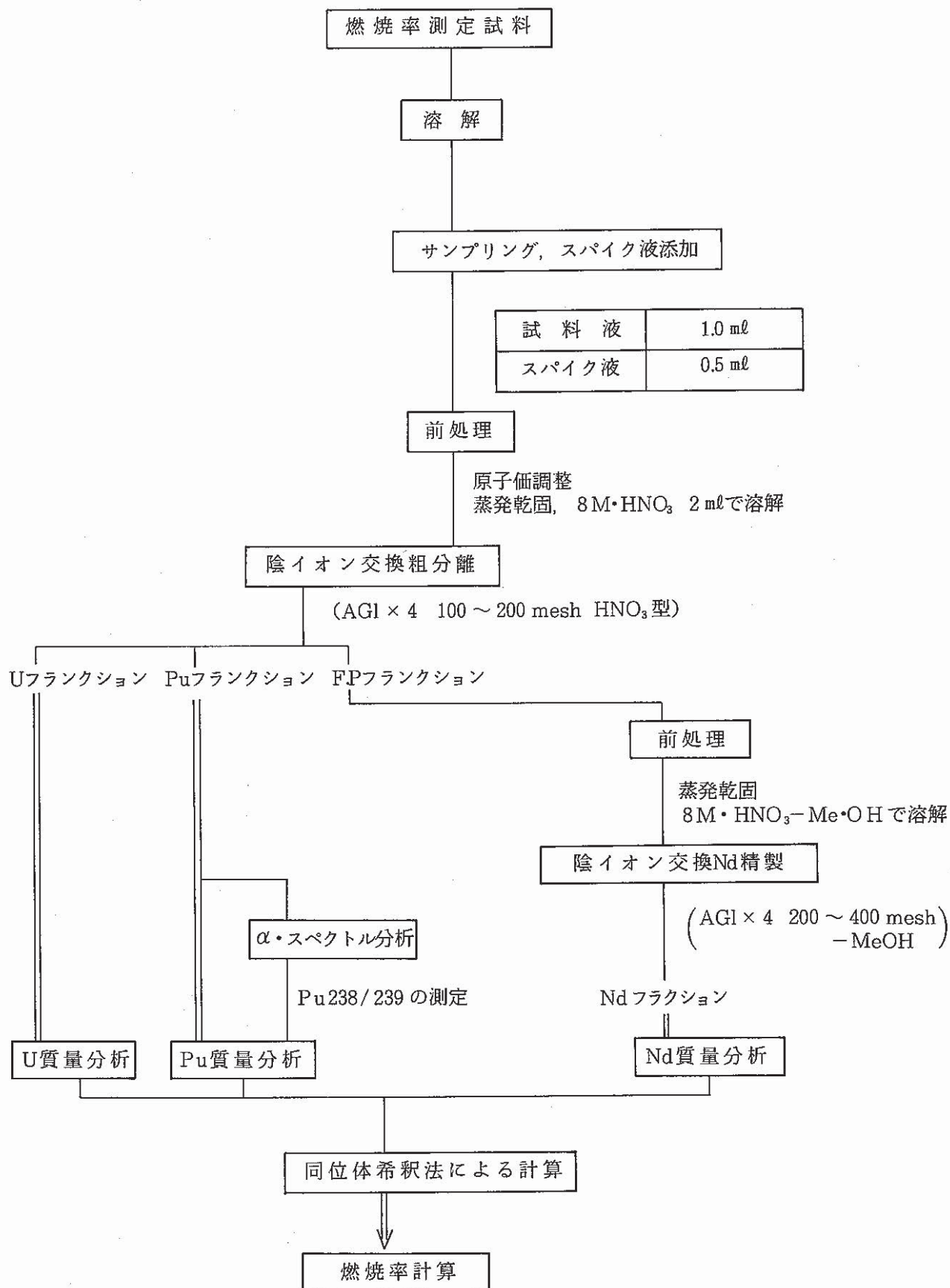


Fig.4-2-2 Process for burnup measurement in AGS

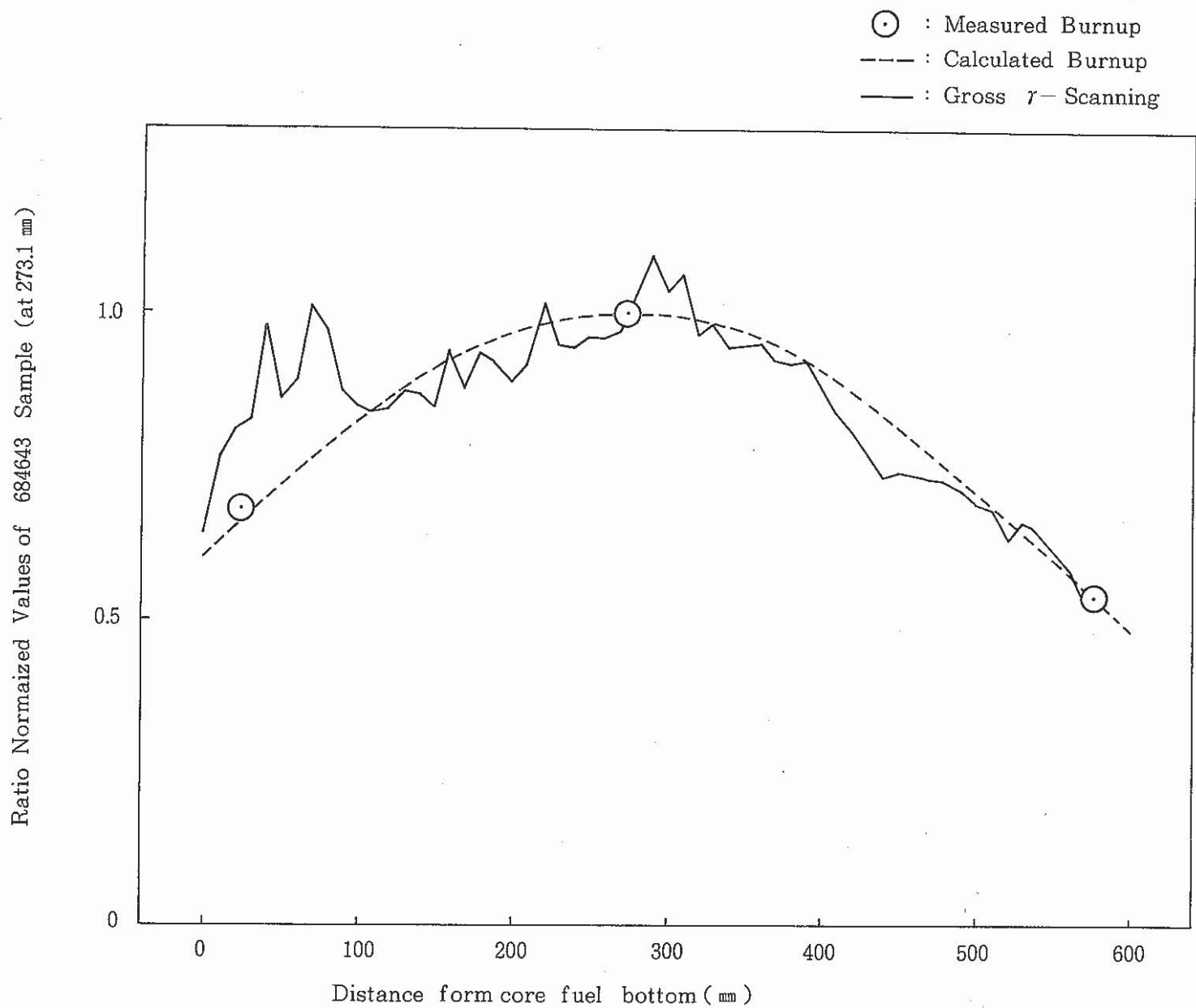


Fig.4-2-3 PPJD18 (6846 Pin) burnup axial distridution

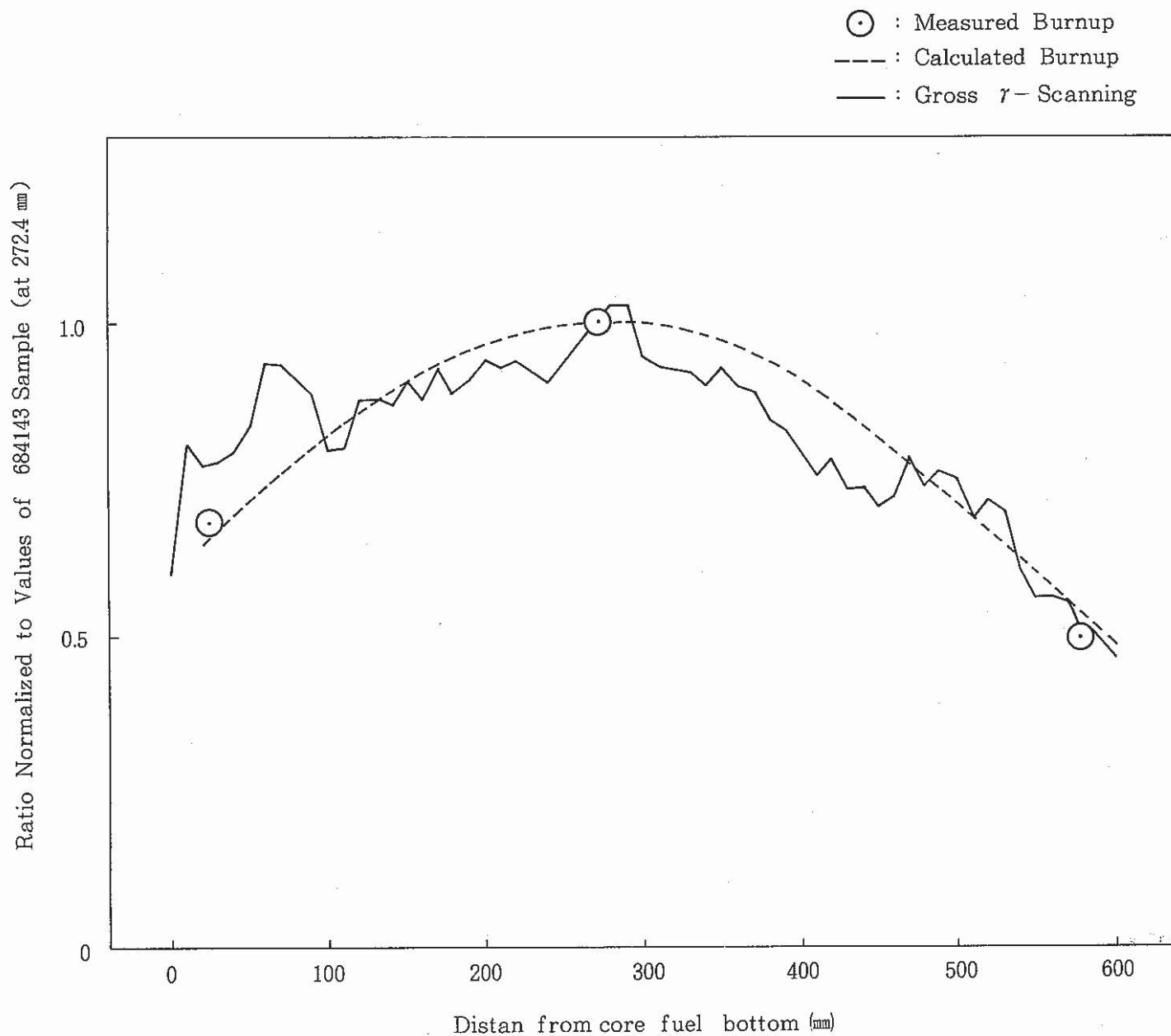


Fig.4-2-4 PPJD18 (6841 Pin) Burnup axial distribution

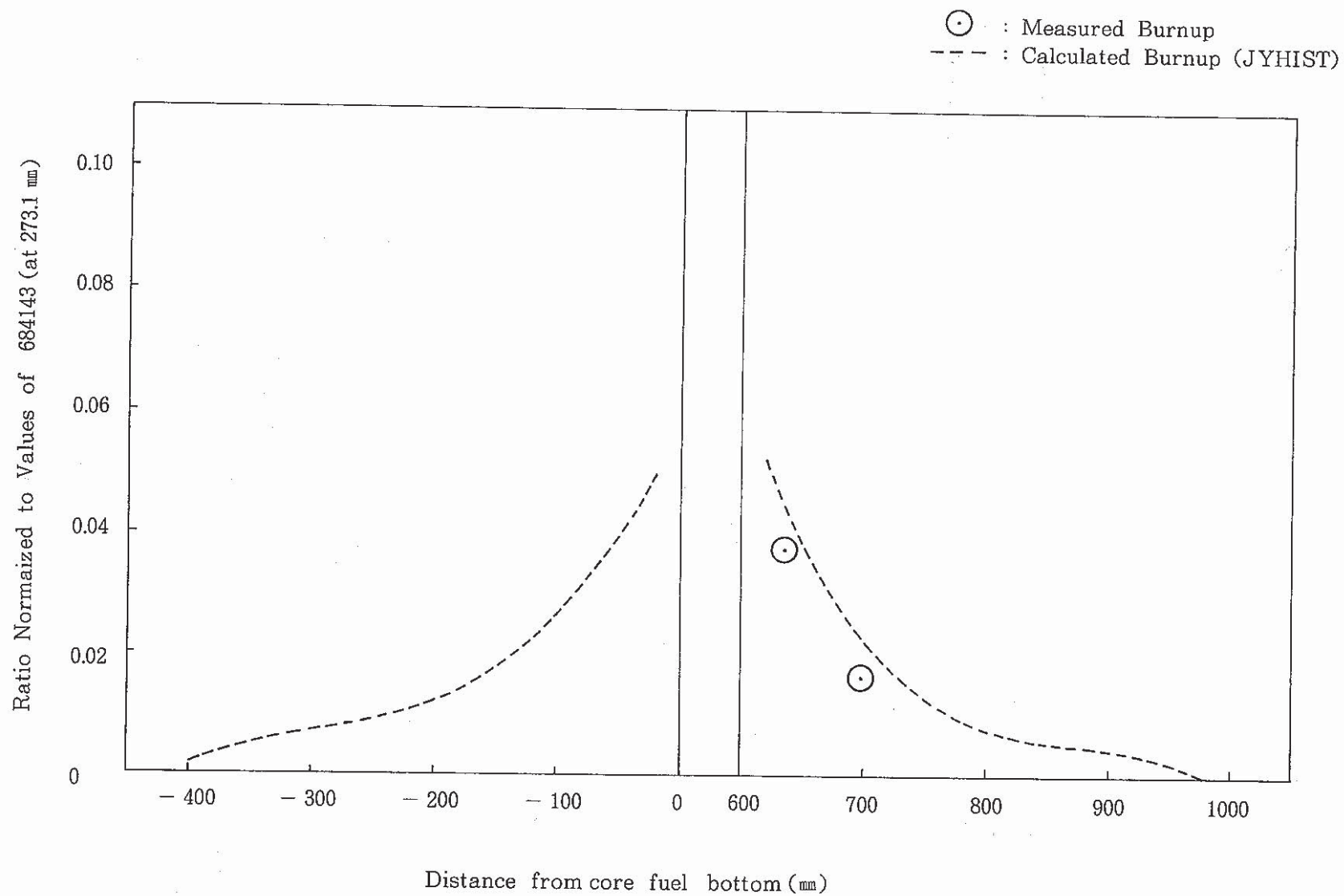


Fig.4-2-5 PPJD18 (6841 Pin) Burnup axial distribution (Blanket)

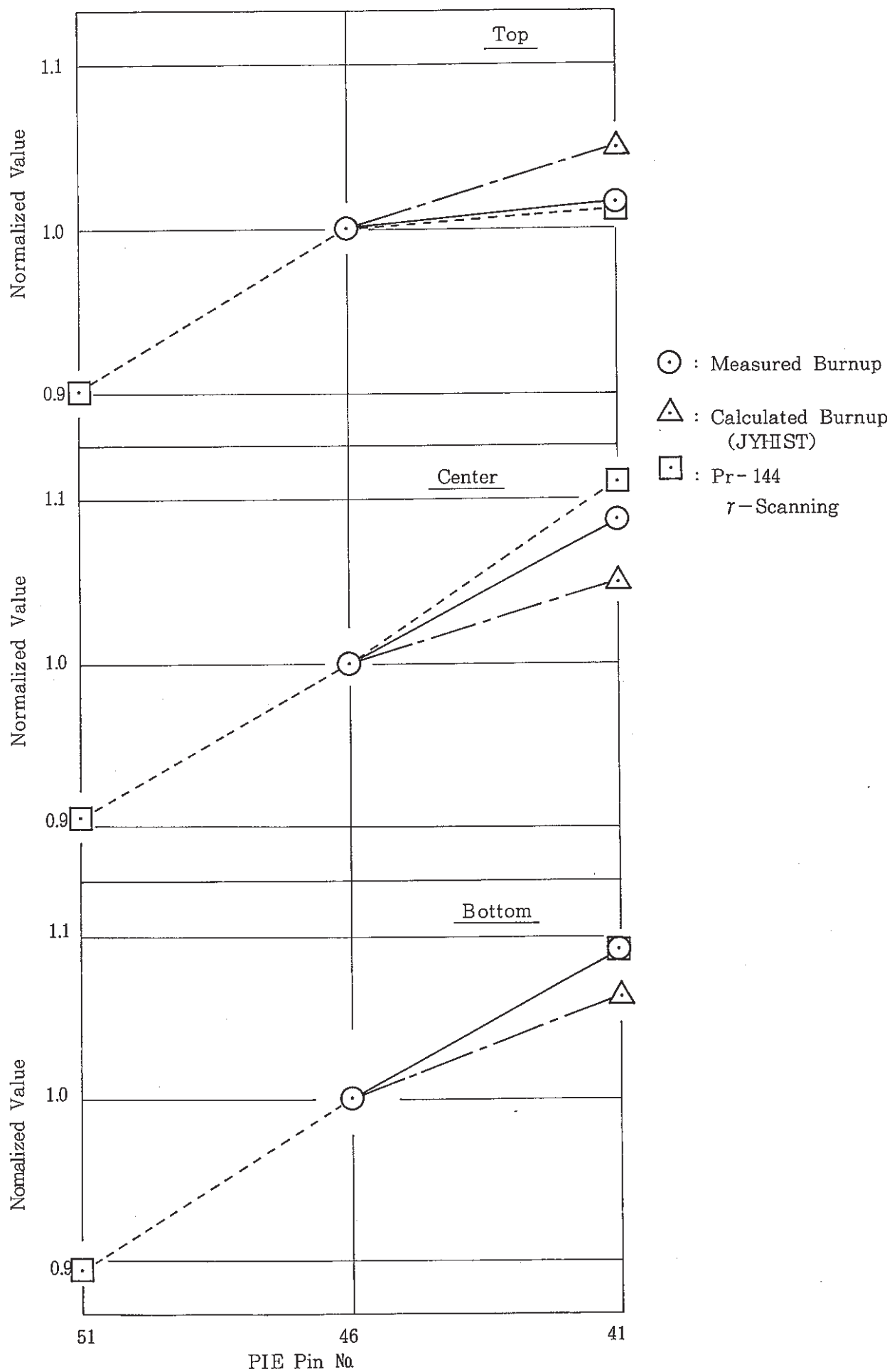


Fig.4-2-6 Burnup radial distribution in PPJD18 subassembly