

「常陽」MK-I 炉心燃料集合体  
(PPJD2S,PPJD2Y) の照射後試験  
燃料要素の破壊試験



1987年2月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
	PNC TN9410 87-196
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  
(PPJD2S, PPJD2Y) 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\* 三次岳志, 滑川卓志, 小部 昭  
桑島幸夫, 吉川勝則, 近藤 優  
薄井啓二, 立花利道

要 旨

高速実験炉「常陽」MK-I 炉心集合体 PPJD2S (平均燃焼度 35,000 MWD/MTM) 及び PPJD2Y (同 30,400 MWD/MTM) の照射後試験 (破壊試験) を実施した。

両集合体は炉心径方向での照射挙動の把握を目的として照射後試験に供された, 炉心位置 (000) から最外列ブランケット部 (8D1) まで直列に装荷されていた一連の集合体のうちの 2 体である。PPJD2S は炉心位置 (2D1) で, PPJD2Y は同じく (3D1) で 50 MW 出力上昇サイクルから 75 MW 第 6 サイクルまで照射されたものである。

本試験では両集合体からそれぞれ 3 本のピンを選択し, 金相試験 (燃料組織観察) 及び燃焼率測定を行った。得られた結果を以下に記す。

- (1) 両集合体とも中心ピンの軸方向中央部ではガスバブル領域, 高密度化領域, 不変化領域の 3 領域が観察され, PPJD2S では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) FCCI は観察されなかった。
- (3) 両集合体中心ピンの軸方向中央位置における燃焼率測定値は PPJD2S で 4.62 atm% (44,400 MWD/MTM), PPJD2Y では 4.01 atm% (38,500 MWD/MTM) であった。
- (4) 燃焼率の軸方向及び集合体内径方向分布プロファイルは JYHIST コードによる計算値とほぼ一致した。

---

\* 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 .....	3
4. 照射後試験 .....	4
4.1 金相試験 .....	4
4.1.1 試料調製 .....	4
4.1.2 試験結果 .....	4
4.2 燃料率測定試験 .....	4
4.2.1 試料調製 .....	5
4.2.2 測定結果 .....	5
5. ま と め .....	6

## List of Tables

Table 1	Fuel pin fabrication parameters for PPJD2S subassembly .....	8
Table 2	Fuel pin fabrication parameters for PPJD2Y subassembly .....	9
Table 3	Irradiation conditions .....	10
Table 4	Metallographic examination specification .....	11
Table 5	Summary data from ceramography .....	12
Table 6	Summary of burnup measurement by Nd-method for PPJD2Y and PPJD2S .....	13
Table 7	Calculation of effective fission yield for 754683 sample .....	14
Table 8	Composition of spike solution and natural Neodyum for PPJD2Y .....	15
Table 9	Composition of spike solution and natural Neodyum for PPJD2S .....	16
Table 10	Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD2Y 760122 sample .....	17
Table 11	Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD2Y 764622 sample .....	18
Table 12	Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD2Y 764642 sample .....	19
Table 13	Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD2Y 764662 sample .....	20
Table 14	Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD2Y 764683 sample .....	21
Table 15	Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD2Y 7646A2 sample .....	22
Table 16	Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD2Y 769122 sample .....	23

Table 17	Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD2S 750122 sample .....	2 4
Table 18	Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD2S 754622 sample .....	2 5
Table 19	Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD2S 754642 sample .....	2 6
Table 20	Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD2S 754622 sample .....	2 7
Table 21	Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD2S 754683 sample .....	2 8
Table 22	Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD2S 7546C2 sample .....	2 9
Table 23	Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD2S 759122 sample .....	3 0

## List of Figures

Fig. 1	Schematic drawing of fuel pin .....	3 1
Fig. 2	Irradiation position of PPJD2Y and PPJD2S sub- assemblies in "JOYO" MK-I core .....	3 2
Fig. 3	Fuel pin position in PPJD2S subassembly .....	3 3
Fig. 4	Fuel pin position in PPJD2Y subassembly .....	3 4
Fig. 5	Burnup and fluence distribution (7501 pin) ....	3 5
Fig. 6	Burnup and fluence distribution (7546 pin) ....	3 6
Fig. 7	Burnup and fluence distribution (7591 pin) ....	3 7
Fig. 8	Temperature and linear power distribution (7501 pin) .....	3 8
Fig. 9	Temperature and linear power distribution (7546 pin) .....	3 9
Fig. 10	Temperature and linear power distribution (7591 pin) .....	4 0
Fig. 11	Burnup and fluence distribution (7601 pin) ....	4 1
Fig. 12	Burnup and fluence distribution (7646 pin) ....	4 2
Fig. 13	Burnup and fluence distribution (7691 pin) ....	4 3
Fig. 14	Temperature and linear power distribution (7601 pin) .....	4 4
Fig. 15	Temperature and linear power distribution (7646 pin) .....	4 5
Fig. 16	Temperature and linear power distribution (7691 pin) .....	4 6
Fig. 17	Flow diagram of metallographic examination in AGS .....	4 7
Fig. 18	Restructured region ( $D/D_0$ ) as a function of S/A location .....	4 8
Fig. 19	Restructured region ( $D/D_0$ ) as a function of linear heat rate .....	4 9

Fig. 20 Restructured region ( $D/D_0$ ) as a function of burnup ..... 4 9

Fig. 21 Sectional diagram of PPJD2Y S/A fuel pin for burnup measurement ..... 5 0

Fig. 22 Sectional diagram of PPJD2S S/A fuel pin for burnup measurement ..... 5 1

Fig. 23 Specimen preparation process for burnup measurement in AGS ..... 5 2

Fig. 24 Burnup axial distribution of PPJD2Y (7646 pin) . 5 3

Fig. 25 Burnup axial distribution of PPJD2Y (7646 pin, Blanket) ..... 5 4

Fig. 26 Burnup axial distribution of PPJD2S (7546 pin, Blanket) ..... 5 5

Fig. 27 Burnup radial distribution of PPJD2Y ..... 5 6

Fig. 28 Burnup radial distribution of PPJD2S ..... 5 7

Fig. 29 Burnup radial distribution of subassembly located 3D1 position in "JOYO" MK-I core ..... 5 8



List of Photographs

Photo. 1 Macrographs of "JOYO" PPJD2S core fuel  
(7546 pin) ..... 59

Photo. 2 Macrographs of "JOYO" PPJD2Y core fuel  
(7646 pin) ..... 60

Photo. 3 Ceramograph of "JOYO" PPJD2S core fuel  
(754682 sample, as polished) ..... 61

Photo. 4 Ceramograph of "JOYO" PPJD2S core fuel  
(754682 sample, etched) ..... 62

Photo. 5 Ceramograph of "JOYO" PPJD2Y core fuel  
(764682 sample, as polished) ..... 63

Photo. 6 Ceramograph of "JOYO" PPJD2Y core fuel  
(764682 sample, etched) ..... 64

## 1. ま え が き

「常陽」MK-I 炉心燃料集合体 PPJD2S, PPJD2Y は、炉心方向をそれぞれ D 面方向及び F 面方向として、炉内位置 2D1 と 3D1 で 50 MW 出力上昇サイクルから 75 MW 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それぞれ約 35,000 MWD/MTM と約 30,400 MWD/MTM である。

照射後試験の目的は、いずれの集合体においても炉心核設計確認のため炉心半径方向に中心から最外列ブランケットまで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、PPJD2S と PPJD2Y についてそれぞれ下記の 3 本である。

### 1) PPJD2S の対象ピンについて

- (1) 集合体中心位置ピン (No.7546 pin, K 社製被覆管)
- (2) コーナーピン (低出力ピン) (No.7501 pin, K 社製被覆管)
- (3) コーナーピン (高出力ピン) (No.7591 pin, K 社製被覆管)

### 2) PPJD2Y の対象ピンについて

- (1) 集合体中心位置ピン (No.7646 pin, S 社製被覆管)
- (2) コーナーピン (低出力ピン) (No.7691 pin, K 社製被覆管)
- (3) コーナーピン (高出力ピン) (No.7601 pin, K 社製被覆管)

対象となったピンについて、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

PPJD2SとPPJD2Y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及び2に示す。

### 3. 照 射 条 件

これら集合体の炉心装荷位置をFig.2に示す。また、これら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, 4に示す。さらにこれら集合体の照射条件をTable 3に示す。なお、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実験結果をFig.5～Fig.16に示す。

## 4. 照射後試験

### 4.1 金相試験

#### 4.1.1 試料調製

金相試験工程をFig.17に示す。また、金相試験の実施内容をTable 4に示す。

#### 4.1.2 試験結果

PPJD2Sの7546ピン(代表ピン)及びPPJD2Yの7646ピン(代表ピン)における燃料カラム軸方向中央部付近の代表的な金相写真をPhoto 1～6に示す。これらの金相写真より以下の結果が得られた。

##### (1) 燃料組織観察

7546ピン及び7646ピンの燃料カラム軸方向中央部付近の燃料組織は、断面中央部よりガスバブル領域、高密度化領域、そして最外周部に不変化領域の3領域が順次存在しているのが観察された。(Photo 3, 5参照)各ピン共、半径方向及び周方向のクラックが入っており7546ピンではガスバブル領域内でクラックヒーリングが認められた。また核分裂生成物と見られる微細な白色析出物がガスバブル領域から高密度化領域にかけて分布しているのが各ピンに観察された。残留ギャップ寸法(直径ギャップ寸法)は、7546ピン—約49 $\mu\text{m}$ 、7646ピン—約77 $\mu\text{m}$ と製造時のギャップ寸法(200 $\mu\text{m}$ )に対して閉じていた。

7546ピン及び7646ピンの中央部付近の輪切試料について画像解析を行った結果をTable 5に示す。

##### (2) FCCIの観察

燃料—被覆管化学的相互作用(FCCI)は、各ピンに観察されず健全であった。

##### (3) 炉心半径方向の燃料組織変化

「常陽」MK-I炉心燃料で、現在までに得られているPPJX13(炉心中心000)、PPJX12(装荷位置1D1)、PPJD25(4D1)の燃料組織結果に、今回のPPJD2S(2D1)、PPJD2Y(3D1)の結果とを合せて、各組織変化領域径(相対値 $D/D_0$ 、但し $D_0$ は燃料ペレット外径)の装荷位置方向、線出力及び燃焼度依存性をFig.18～Fig.20に示した。

以上より、炉心中心から炉心半径方向の1D1、2D1、3D1、4D1に装荷された各集合体における代表ピンの燃料組織変化は、炉心に近づく程組織変化領域径が増大しており線出力及び燃焼度依存性と同様の傾向を示している。

### 4.2 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、集合体代表ピンについて燃焼率の軸方向分布を、

また高出力コーナースピン及び低出力コーナースピン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。

#### 4.2.1 試料調製

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

#### 4.2.2 測定結果

今回得られた測定データと J Y H I S T コードによる計算値をまとめた結果を Table 6 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. 754683)を Table 7 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 8 及び 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 23 に示す。

次に燃料ピン(代表ピン)の軸方向における燃焼率分布を J Y H I S T 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最大値で規格化したものを Fig.2 4 から Fig.2 6 に示す。同様に集合体内径方向における燃焼率分布を Fig. 2 7 及び Fig.2 8 に示す。また D 1 列におけるコア燃料部の炉心半径方向燃焼率分布を比較したものを Fig.2 9 に示す。

以上の結果から以下のことを確認した。

1. 各燃料集合体の中心ピンの燃料軸方向中心位置での燃焼率は, P P J D 2 Y ( Table 6 Sample No.764683)で 4.01 atom%(38,500MWD/MTM), P P J D 2 S ( Table 6 Sample No.754683)で 4.62 atom%(44,400MWD/MTM)であった。
2. 燃焼率の実測値と J Y H I S T コード計算値を比較すると( Table 6 )コア燃料部では実測値の方が, J Y H I S T コード計算値より大きかった。差は, P P J D 2 Y で 5~9%, P P J D 2 S で 6~11%であった( Table 6 参照)。またブランケット燃料部では J Y H I S T コード計算値の方が実測値より大きい。差は, P P J D 2 Y で 19~46%, P P J D 2 S で 11~50%であった( Table 6 参照)。ブランケット燃料部で差が大きいのは, J Y H I S T コード計算値に中性子捕獲反応等による  $\gamma$  発熱分が含まれているためであり,  $\gamma$  発熱を補正した後は測定値とほぼ一致している。
3. 燃焼率の軸方向分布について, コア燃料部での実測値と J Y H I S T コード計算値と比較すると P P J D 2 Y では燃料カラム上端における実測値がいく分高いが, 他は良く一致している。( Fig.2 4 参照)またブランケット燃料部での比較では, 両集合体とも実測値が J Y H I S T コード計算値に対して低くなっている。しかし, J Y H I S T コード計算値から  $\gamma$  発熱等を差引いた補正後の比較では, 実測値と計算値がほぼ一致している。( Fig.2 5, 2 6 参照)

4. 燃焼率の集合体内径方向分布について実測値とJYHISTコード計算値と比較すると、両者はほぼ一致している。(Fig.27, 28) また燃焼率分布の集合体内径方向ピーキング・ファクターは、PPJD2Y実測値1.10, 計算値1.09, PPJD2Sで実測値1.07, 計算値1.07であり、それぞれ良く一致している。
5. D1列におけるコア燃料中央部の炉心半径方向分布を見ると第2列(PPJD2S), 第3列(PPJD2Y)装荷位置においても第1列装荷位置で見られた山形分布を予想したが、実際は裾野形分布であった。(Fig.29参照)

## 5. ま と め

「常陽」MK-I 炉心集合体 PPJD2S 及び PPJD2Y は、「常陽」MK-I 炉心の半径方向で特徴的な照射挙動を把握することを目的として照射後試験に供された 9 集合体のうちの 2 体である。これら 9 集合体は炉心(000)から最外列(8D1)まで直線的に隣接して装荷されていた集合体であり、ほぼ同一の照射サイクルを経ている。PPJD2S 及び PPJD2Y はそれぞれ 2D1, 3D1 で照射されたものであり両集合体からそれぞれ 3 本のピンを選んで試験を実施した。その結果、

### I. 燃料組織について

- 1) 両集合体とも中心ピンの軸方向中央部ではガスバブル領域、高密度化領域、不変化領域の 3 領域が観察され、PPJD2S では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) FCCI は観察されなかった。

### II. 燃料率について

- 1) 両集合体中心ピンの軸方向中央位置における燃焼率実測値は PPJD2S で 4.62 atm% (4.4,400MWD/MTM)、PPJD2Y では 4.01 atm% (38,500MWD/MTM) であった。
- 2) 実測値を JYHIST コードによる計算値と比較すると、コア燃料部では実測値が計算値より 5~11% 高く、ブランケット燃料では実測値と計算値(但し  $\gamma$  発熱補正後)とほぼ一致していた。また軸方向及び集合体径方向での燃焼率分布プロファイルは実測値と計算値とでほぼ一致していた。



Table 1 Fuel pin fabrication parameters for PPJD2S subassembly

S/A name	PPJD2S	Pin no	No. 7501 No. 7546 No. 7591				
Fuel							
Fuel form	Flat end solid pellet						
Pellet diameter (mm)	5.4						
Pellet density (%T.D)	93.5						
Fuel composition	17.7w/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	SUS316, 10% cold work						
Outer/inner diameter (mm)	6.3/5.6						
Lot identification	No. 7501 : K012 No. 7546 : K008 No. 7591 : K013						
Fuel pin							
Pin length (mm)	1910						
Pin outer diameter	6.3						
Fuel column length (mm)	600						
Plenum length (mm)	408						
Blanket length (mm)	<table style="border: none;"> <tr> <td style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">{</td> <td style="padding-left: 5px;">上部 400</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">{</td> <td style="padding-left: 5px;">下部 400</td> </tr> </table>			{	上部 400	{	下部 400
{	上部 400						
{	下部 400						
Fuel/cladding dia. gap (mm)	0.2						
Pin spacing & support	Wrapping wire						

Table 2 Fuel pin fabrication parameters for PPJD2Y subassembly

S/A name	PPJD2Y	Pin no	No. 7601 No. 7646 No. 7691				
Fuel							
Fuel form	Flat end solid pellet						
Pellet diameter (mm)	5.4						
Pellet density (%T.D)	93.5						
Fuel composition	17.7w/o PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>						
U-235 enrichment (%)	2.3						
Pu isotopic composition (%)	Pu 239/240/241/242 7.66/19.0/3.7/0.7						
O/M ratio	1.98~2.0						
Cladding							
Type and work	SUS316. 10% cold work						
Outer/inner diameter (mm)	6.3/5.6						
Lot identification	No. 7601 : K011 No. 7646 : S023 No. 7691 : K013						
Fuel pin							
Pin length (mm)	1910						
Pin outer diameter (mm)	6.3						
Fuel column length (mm)	600						
Plenum length (mm)	408						
Blanket length (mm)	<table style="display: inline-table; border: none;"> <tr> <td style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">{</td> <td style="padding-left: 5px;">上部 400</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">}</td> <td style="padding-left: 5px;">下部 400</td> </tr> </table>			{	上部 400	}	下部 400
{	上部 400						
}	下部 400						
Fuel/cladding dia. gap (mm)	0.2						
Pin spacing & support	Wrapping wire						

Table 3 Irradiation conditions

照射条件 \ 集合体名	PPJD2S	PPJD2Y
燃 焼 度 ( 集合体平均 )	35,000MWD/MTM	30,400MWD/MTM
照 射 サ イ ク ル	50MW出力上昇第1サイクル～75MW第6サイクル	
集合体ピークフル ルエンス ( $E \geq 0.1 \text{ MeV}$ )	$5.80 \times 10^{22}$	$4.95 \times 10^{22}$
線 出 力 ( 集合体平均 )	199.7W/cm	173.0W/cm
照 射 位 置	2D1	3D1

Table 4 Metallographic examination specification

	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 × 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		

Table 5 Summary data from ceramographs

(PPJD2S, PPJD2Y)

Pin No.	Section No.	Distance from Core Bottom (mm)	Central Void	Restructured Region Dia. (mm)				Residual Diametral Gap Size ( $\mu\text{m}$ )	Pellet Outer Dia. (mm)	Clad Dia. (mm)		Linear Heat Rate (W/cm)	Burnup ( $\frac{\text{MWD}}{\text{MTM}}$ )	Fuel Center Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )
				Columnar Region	Gas Bubble Region	Densified Region	Dark Ring Region			Outer	Inner			
7546	754682	269			2,832	4,211		49	5,583	6,320	5,632	239	41974	1,463
7646	764682	268			2,508	4,110		77	5,547	6,315	5,624	207	36508	1,286

Table 6 Summary of burnup measurement by Nd-method for PPJD2Y and PPJD2S

S / A No.	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>
PPJD2Y	7601	760122	269.9~275.4	17.242	4.13	4.45
	7646	764622	-101.0~-95.4	0.739	0.139(0.113)※	0.095
		764642	-19.6~-14.2	0.883	0.258(0.209)※	0.216
		764662	21.3~26.7	17.229	2.48	2.71
		764683	268.7~274.2	17.005	3.80	4.01
		7646A2	575.9~581.0	17.193	2.17	2.36
	7691	769122	269.8~275.2	17.194	3.45	3.63
PPJD2S	7501	750122	269.9~275.0	17.042	4.04	4.32
	7546	754622	-350.1~-347.6	0.315	0.027(0.016)※	0.018
		754642	-100.7~-95.2	0.835	0.161(0.132)※	0.115
		754662	-20.5~-15.1	1.000	0.304(0.249)※	0.259
		754683	268.9~274.2	17.088	4.37	4.62
		7546C2	944.7~950.1	0.163	0.010(0.006)※	0.009
	7591	759122	269.7~275.0	17.117	4.68	5.01

(1) Distance from Pin bottom-462 (mm)

※  $\gamma$ -heating corrected(2)  $\text{Pu}/(\text{Pu}+\text{U})\times 100$ 

(3) Calculated by JYHIST code

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

Table 7 Calculation of effective fission yield for 754683 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	0.000956	- <sup>1)</sup>	1.44 <sup>2)</sup>	-	3.08 <sup>2)</sup>	-	4.00 <sup>2)</sup>	-
U 235	0.173381	1.65E+00 <sup>1)</sup>	1.68 <sup>3)</sup>	0.833	2.94 <sup>3)</sup>	1.458	3.76 <sup>4)</sup>	1.864
U 236	0.006691	1.53E-01 <sup>1)</sup>	1.81 <sup>2)</sup>	0.003	3.06 <sup>2)</sup>	0.006	3.77 <sup>2)</sup>	0.007
U 238	0.647886	6.69E-02 <sup>1)</sup>	2.00 <sup>3)</sup>	0.156	3.40 <sup>3)</sup>	0.255	3.50 <sup>2)</sup>	0.252
Pu238	0.000221	- <sup>1)</sup>	1.76 <sup>2)</sup>	-	2.79 <sup>2)</sup>	-	3.24 <sup>2)</sup>	-
Pu239	0.129292	1.70E+00 <sup>1)</sup>	1.65 <sup>3)</sup>	0.629	2.46 <sup>3)</sup>	0.937	3.01 <sup>3)</sup>	1.147
Pu240	0.036733	5.09E-01 <sup>1)</sup>	1.84 <sup>2)</sup>	0.060	2.83 <sup>2)</sup>	0.092	3.34 <sup>2)</sup>	0.108
Pu241	0.003496	2.19E+00 <sup>1)</sup>	1.94 <sup>2)</sup>	0.026	3.01 <sup>2)</sup>	0.040	3.52 <sup>2)</sup>	0.047
Pu242	0.001134	4.01E-01 <sup>1)</sup>	2.04 <sup>2)</sup>	0.002	3.10 <sup>2)</sup>	0.003	3.70 <sup>2)</sup>	0.003
Effective Fission Yield [ % ]			1.71		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 8 Composition of spike solution and natural Neodyum for PPJD2Y

スパイク液中の原子数 (atoms/ml)	U 233	$4.3914 \times 10^{18}$	S3 ※
	Pu 242	$7.9674 \times 10^{17}$	A242
	Nd 150	$7.1740 \times 10^{15}$	A50
天然ネオジムの同位体比	Nd142/Nd150	4.824980	C42/50
	Nd145/Nd150	1.472180	C45/50
	Nd146/Nd150	3.050830	C46/50
	Nd148/Nd150	1.021325	C48/50
ネオジムスパイクの 同位体比	Nd142/Nd150	0.008937	S42/50
	Nd145/Nd150	0.004336	S45/50
	Nd146/Nd150	0.009122	S46/50
	Nd148/Nd150	0.007046	S48/50
ウランスパイクの 同位体比	U 234/U 233	0.014108	S43
	U 235/U 233	0.000401	S53
	U 238/U 233	0.006410	S83
プルトニウムスパイクの 同位体比	Pu239/Pu242	0.001309	S92
	Pu240/Pu242	0.013696	S02
	Pu241/Pu242	0.000859	S12

※ 計算コードで使用している記号



Table 9 Composition of spike solution and natural Neodymium for PPJD2Y

スパイク液中の原子数 (atoms/ml)	U 233	$2.7764 \times 10^{18}$	S3 ※
	Pu242	$5.0316 \times 10^{17}$	A242
	Nd150	$4.9362 \times 10^{15}$	A50
天然ネオジムの同位体比	Nd142/Nd150	4824980	C42/50
	Nd145/Nd150	1472180	C45/50
	Nd146/Nd150	3050830	C46/50
	Nd148/Nd150	1021325	C48/50
ネオジムスパイクの 同位体比	Nd142/Nd150	0.017568	S42/50
	Nd145/Nd150	0.006446	S45/50
	Nd146/Nd150	0.014612	S46/50
	Nd148/Nd150	0.008769	S48/50
ウランスパイクの 同位体比	U 234/U 233	0.011521	S43
	U 235/U 233	0.000425	S53
	U 238/U 233	0.006425	S83
プルトニウムスパイクの 同位体比	Pu239/Pu242	0.001066	S92
	Pu240/Pu242	0.013671	S02
	Pu241/Pu242	0.000601	S12

※ 計算コードで使用している記号

Table 10 Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD2Y 760122 sample

S/A NO.(FAB) ; PPJD2Y	PIN NO.(PIE) ; 7601
SAMPLE NO. ; 760122	SAMPLE POSITION ; 269.9~275.4 (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	0.001460	0.268513	0.010261	-(a)	
0.036635	0.001891	0.269463	0.010264	-(b)	
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]		
0.001764	0.280732	0.026478	0.008549	-(a)	
0.001764	0.281245	0.026516	0.041387	-(b)	
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]
0.009659	5.874795	5.261207	3.970282	3.224763	1.962888
0.007342	5.346094	4.810173	3.622216	2.940976	1.792969
					-(a)
					-(b)

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

[ U233]	[ U234]	[ U235]	[ U236]	[ U238]		
nd	0.1140	20.9737	0.8015	78.1107		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.1339	75.9000	21.3076	2.0097	0.6489		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
0.0453	27.5765	24.6963	18.6367	15.1372	9.2139	4.6940

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 17.242 / 17.341

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 2.7800E+21

	[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
<u>NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample) ;</u>	2.2126E+18	3.5790E+18	4.4235E+18
<u>EFFECTIVE FISSION YIELD ;</u>	1.71E-02	2.79E-02	3.44E-02
<u>NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**;</u>	1.2939E+20	1.2828E+20	1.2859E+20
<u>BURNUP (atom%)#</u>	4.45	4.41	4.42
<u>SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##</u>	42800	42400	42500

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 PPJD2Y 764622 sample

S/R NO.(FAB) ; PPJD2Y	PIN NO.(PIE) ; 7646
SAMPLE NO. ; 764622	SAMPLE POSITION ; -101.0~95.4 (mm)*

VOLUME RATIO OF SPIKE SOLUTION TO SAMPLE SOLUTION ; 0.250

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

[ U233/238]	[ U234/238]	[ U235/238]	[ U236/238]		
nd	0.000012	0.001933	0.000075	-(a)	
0.012119	0.000153	0.001946	0.000066	-(b)	
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]		
0.000068	0.010746	0.000078	0.000023	-(a)	
0.000068	0.014773	0.000275	0.297876	-(b)	
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]
0.053990	4.065486	3.911918	3.155624	2.826997	1.710402
0.015208	1.438783	1.384199	1.118829	1.005998	0.609200
					-(a)
					-(b)

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

[ U233]	[ U234]	[ U235]	[ U236]	[ U238]		
nd	0.0012	0.1929	0.0075	99.7984		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.0067	98.9203	1.0630	0.0077	0.0023		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
0.3228	24.3087	23.3905	18.8684	16.9034	10.2270	5.9793

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 0.739 / 0.742

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 2.7432E+21

<u>NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample)</u>		[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
	;	5.0093E+16	8.2792E+16	9.2511E+16
<u>EFFECTIVE FISSION YIELD</u>		1.93E-02	3.11E-02	3.39E-02
	;			
<u>NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**</u>		2.5955E+18	2.6621E+18	2.7289E+18
	;			
<u>BURNUP (atom%)#</u>		0.095	0.097	0.099
	;			
<u>SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##</u>		844	866	887
	;			

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 12 Result of isotope analysis and burnup calculation for  
PPJD2Y 764642 sample

S/A NO.(FAB) ; PPJD2Y	PIN NO.(PIE) ; 7646
SAMPLE NO. ; 764642	SAMPLE POSITION ; -19.6~14.2 (mm)*

VOLUME RATIO OF SPIKE SOLUTION TO SAMPLE SOLUTION ; 0.250

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

[ U233/238]	[ U234/238]	[ U235/238]	[ U236/238]			
nd	0.000012	0.001936	0.000080	-(a)		
0.011583	0.000144	0.001924	0.000070	-(b)		
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]			
0.000136	0.010514	0.000069	0.000004	-(a)		
0.000136	0.013843	0.000249	0.237863	-(b)		
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]	
0.010249	3.830983	3.699367	3.047296	2.755024	1.682517	
0.004731	2.180684	2.108500	1.736108	1.569738	0.959924	
						-(a)
						-(b)

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

[ U233]	[ U234]	[ U235]	[ U236]	[ U238]		
nd	0.0012	0.1932	0.0080	99.7976		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.0135	98.9391	1.0403	0.0068	0.0004		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
0.0640	23.9056	23.0843	19.0154	17.1916	10.4990	6.2401

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 0.883 / 0.887

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 2.8744E+21

	[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
<u>NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample)</u>	1.1924E+17	1.9515E+17	2.1625E+17
<u>EFFECTIVE FISSION YIELD</u>	1.92E-02	3.08E-02	3.37E-02
<u>NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**;</u>	6.2106E+18	6.3362E+18	6.4170E+18
<u>BURNUP (atom%)#</u>	0.216	0.220	0.223
<u>SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##</u>	1930	1960	1990

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 13 Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD2Y 764662 sample

S/A NO.(FAB) ; PPJD2Y	PIN NO.(PIE) ; 7646
SAMPLE NO. ; 764662	SAMPLE POSITION ; 21.3~26.7 (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	0.001485	0.280261	0.008178	-(a)	
0.049296	0.002045	0.280822	0.008191	-(b)	
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]		
0.001788	0.268954	0.025467	0.007928	-(a)	
0.001788	0.269635	0.025479	0.051380	-(b)	
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]
0.004390	5.992615	5.378893	4.069990	3.290273	1.995085
0.006309	4.923029	4.411283	3.342482	2.702638	1.639793
					-(a)
					-(b)

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

[ U233]	[ U234]	[ U235]	[ U236]	[ U238]		
nd	0.1151	21.7269	0.6340	77.5239		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.1371	76.6791	20.6231	1.9528	0.6079		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
0.0202	27.5760	24.7519	18.7287	15.1407	9.1807	4.6017

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 17.229 / 17.329

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 2.0818E+21

<u>NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample)</u>	;	[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
		9.8664E+17	1.6213E+18	2.0104E+18
<u>EFFECTIVE FISSION YIELD</u>	;	1.70E-02	2.79E-02	3.44E-02
<u>NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**</u>	;	5.8037E+19	5.8110E+19	5.8442E+19
<u>BURNUP (atom%)#</u>	;	2.71	2.72	2.73
<u>SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##</u>	;	26100	26100	26300

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 14 Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD2Y 764683 sample

S/A NO.(FAB) ; PPJD2Y	PIN NO.(PIE) ; 7646
SAMPLE NO. ; 764683	SAMPLE POSITION ; 268.7~274.2 (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	0.001491	0.272150	0.009775	-(a)	
0.039549	0.001952	0.271289	0.009746	-(b)	
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]		
0.001859	0.274075	0.025940	0.008201	-(a)	
0.001859	0.274531	0.025917	0.043957	-(b)	
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]
nd	5.842580	5.241123	3.978013	3.236633	1.970088
0.007596	5.234213	4.695579	3.565817	2.901093	1.766053

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

[ U233]	[ U234]	[ U235]	[ U236]	[ U238]		
nd	0.1162	21.2051	0.7616	77.9171		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.1419	76.3315	20.9206	1.9800	0.6260		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
nd	27.4707	24.6427	18.7038	15.2180	9.2630	4.7018

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 17.005 / 17.103

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 2.5749E+21

<u>NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample)</u>	;	[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
		1.8380E+18	2.9998E+18	3.7279E+18
<u>EFFECTIVE FISSION YIELD</u>	;	1.71E-02	2.79E-02	3.44E-02
<u>NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**</u>	;	1.0749E+20	1.0752E+20	1.0837E+20
<u>BURNUP (atom%)#</u>	;	4.01	4.01	4.04
<u>SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##</u>	;	38500	38500	38800

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 16 Result of isotope analysis and burnup calculation for  
PPJD2Y 769122 sample

S/R NO.(FAB) ; PPJD2Y	PIN NO.(PIE) ; 7691
SAMPLE NO. ; 769122	SAMPLE POSITION ; 269.8~275.2 (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	0.001493	0.274553	0.009276	-(a)		
0.032866	0.001861	0.274786	0.009271	-(b)		
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]			
0.001935	0.276766	0.026910	0.008385	-(a)		
0.001935	0.277103	0.026920	0.037747	-(b)		
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]	
0.005062	5.860768	5.239960	3.993053	3.241066	1.975847	-(a)
0.008633	5.287715	4.730173	3.604560	2.927255	1.786333	-(b)

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

[ U233]	[ U234]	[ U235]	[ U236]	[ U238]		
nd	0.1162	21.3606	0.7217	77.8015		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.1473	76.1037	21.0629	2.0480	0.6381		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
0.0237	27.4950	24.5826	18.7329	15.2050	9.2694	4.6914

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 17.194 / 17.294

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 3.1103E+21

<u>NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample)</u>		[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
	;	2.0011E+18	3.2391E+18	3.9966E+18
<u>EFFECTIVE FISSION YIELD</u>				
	;	1.71E-02	2.79E-02	3.44E-02
<u>NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**</u>				
	;	1.1702E+20	1.1610E+20	1.1618E+20
<u>BURNUP (atom%)#</u>				
	;	3.63	3.60	3.60
<u>SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##</u>				
	;	34900	34600	34600

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 17 Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD2S 750122 sample

S/A NO.(FAB) ; PPJD2S	PIN NO.(PIE) ; 7501
SAMPLE NO. ; 750122	SAMPLE POSITION ; 269.9~275.0 (mm)*

VOLUME RATIO OF SPIKE SOLUTION TO SAMPLE SOLUTION ; 1.000

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

[ U233/238]	[ U234/238]	[ U235/238]	[ U236/238]		
nd	0.001486	0.269242	0.010430	-(a)	
0.045525	0.002008	0.267677	0.010351	-(b)	
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]		
0.001853	0.282624	0.026867	0.008683	-(a)	
0.001853	0.283135	0.026890	0.050074	-(b)	
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]
0.000918	5.864924	5.276886	3.990491	3.249356	1.975867
0.010874	5.159973	4.647091	3.522820	2.865673	1.741850

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

[ U233]	[ U234]	[ U235]	[ U236]	[ U238]		
nd	0.1160	21.0155	0.8141	78.0544		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.1404	75.7560	21.4105	2.0353	0.6578		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
0.0043	27.4595	24.7063	18.6834	15.2135	9.2510	4.6820

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 17.042 / 17.140

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 2.8247E+21

NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample)	;	[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
		2.1793E+18	3.5717E+18	4.4799E+18
EFFECTIVE FISSION YIELD	;	1.71E-02	2.79E-02	3.44E-02
NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**	;	1.2745E+20	1.2802E+20	1.3023E+20
BURNUP (atom%)#	;	4.32	4.34	4.41
SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##	;	41500	41700	42400

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 18 Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD2S 754622 sample

S/A NO.(FAB) ; PPJD2S	PIN NO.(PIE) ; 7546
SAMPLE NO. ; 754622	SAMPLE POSITION ; -350.1 <sup>v</sup> -347.6 (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	0.000018	0.001972	0.000043	-(a)	
0.036112	0.000440	0.002025	0.000046	-(b)	
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]		
0.000067	0.016288	0.000376	nd	-(a)	
0.000067	0.037144	0.001566	2.098568	-(b)	
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]
0.422742	4.597255	4.621759	3.355952	3.104064	1.755053
0.030706	0.140679	0.148076	0.102682	0.101872	0.058712
					-(a)
					-(b)

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

[ U233]	[ U234]	[ U235]	[ U236]	[ U238]	
nd	0.0018	0.1968	0.0043	99.7971	
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]	
0.0066	98.3544	1.6020	0.0370	nd	
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]
2.2419	24.3798	24.5097	17.7970	16.4612	9.3073
					[Nd150]
					5.3031

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 0.315 / 0.316

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 1.1590E+21

NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample)		[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
	;	3.6063E+15	6.0232E+15	7.0344E+15
EFFECTIVE FISSION YIELD		1.78E-02	2.87E-02	3.38E-02
	;			
NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**		2.0260E+17	2.0987E+17	2.0812E+17
	;			
BURNUP (atom%)#		0.018	0.018	0.018
	;	-----	-----	-----
SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##		156	162	160
	;			

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 19 Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD2S 754642 sample

S/A NO.(FAB) ; PPJD2S	PIN NO.(PIE) ; 7546
SAMPLE NO. ; 754642	SAMPLE POSITION ; -100.7~95.2 (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	0.000017	0.001906	0.000063	-(a)	
0.014574	0.000183	0.001924	0.000078	-(b)	
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]		
0.000052	0.011848	0.000010	nd	-(a)	
0.000052	0.016127	0.000271	0.316547	-(b)	
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]
0.019976	4.065526	3.891191	3.146654	2.817910	1.715865
0.020978	1.362844	1.318379	1.058345	0.957058	0.581161
					-(a)
					-(b)

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

[ U233]	[ U234]	[ U235]	[ U236]	[ U238]		
nd	0.0017	0.1902	0.0063	99.8018		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.0051	98.8230	1.1709	0.0010	nd		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
0.1199	24.4071	23.3605	18.8907	16.9171	10.3011	6.0034

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 0.835 / 0.839

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 2.8871E+21

NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample)		[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
		6.3890E+16	1.0501E+17	1.1709E+17
EFFECTIVE FISSION YIELD		1.93E-02	3.10E-02	3.38E-02
NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)##		3.3104E+18	3.3873E+18	3.4643E+18
BURNUP (atom%)#		0.115	0.117	0.120
SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##		1020	1050	1070

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 2 2 Result of isotope analysis and burnup calculation for  
PPJD2S 7546C2 sample

S/A NO.(FAB) ; PPJD2S	PIN NO.(PIE) ; 7546
SAMPLE NO. ; 7546C2	SAMPLE POSITION ; 944.7~950.1 (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	0.000020	0.002037	0.000047			-(a)
0.014677	0.000186	0.002030	0.000031			-(b)
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]			
0.000010	0.003163	0.000006	nd			-(a)
0.000010	0.025318	0.001069	1.627619			-(b)
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]	
0.191946	4.497960	4.384162	3.403830	3.021564	1.780992	-(a)
0.034553	0.170248	0.180692	0.127829	0.126834	0.072278	-(b)

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

[ U233]	[ U234]	[ U235]	[ U236]	[ U238]		
nd	0.0020	0.2033	0.0047	99.7900		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.0010	99.6831	0.3153	0.0006	nd		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
1.0500	24.6053	23.9828	18.6201	16.5289	9.7426	5.4703

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 0.163 / 0.164

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 2.8478E+21

<u>NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample)</u>	;	[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
		4.6200E+15	7.8152E+15	8.9377E+15
<u>EFFECTIVE FISSION YIELD</u>	;	1.89E-02	3.09E-02	3.48E-02
<u>NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**</u>	;	2.4445E+17	2.5292E+17	2.5683E+17
<u>BURNUP (atom%)#</u>	;	0.009	0.009	0.009
<u>SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##</u>	;	77	79	81

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 23 Result of isotope analysis and burnup calculation for PPJD2S 759122 sample

S/A NO.(FAB) ; PPJD2S	PIN NO.(PIE) ; 7591
SAMPLE NO. ; 759122	SAMPLE POSITION ; 269.7~275.0 (mm)*

VOLUME RATIO OF SPIKE SOLUTION TO SAMPLE SOLUTION ; 1.000

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

[ U233/238]	[ U234/238]	[ U235/238]	[ U236/238]		
nd	0.001700	0.266513	0.010892	-(a)	
0.048593	0.002244	0.266491	0.010837	-(b)	
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]		
0.001975	0.278149	0.024856	0.008142	-(a)	
0.001975	0.278650	0.024856	0.051928	-(b)	
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]
nd	5.826283	5.214709	3.953120	3.215493	1.967295
0.011887	5.162208	4.654813	3.524977	2.874263	1.752605
					-(a)
					-(b)

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

[ U233]	[ U234]	[ U235]	[ U236]	[ U238]		
nd	0.1329	20.8359	0.8515	78.1797		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.1504	76.1544	21.1823	1.8929	0.6200		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
nd	27.5124	24.6245	18.6671	15.1840	9.2898	4.7221

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 17.117 / 17.213

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 2.6445E+21

<u>NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample)</u>		[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
	;	2.3852E+18	3.9857E+18	4.8652E+18
<u>EFFECTIVE FISSION YIELD</u>				
	;	1.71E-02	2.79E-02	3.44E-02
<u>NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**</u>				
	;	1.3949E+20	1.4286E+20	1.4143E+20
<u>BURNUP (atom%)#</u>				
	;	5.01	5.13	5.08
<u>SPECIFIC BURNUP (MWD/MTM)##</u>				
	;	48200	49300	48800

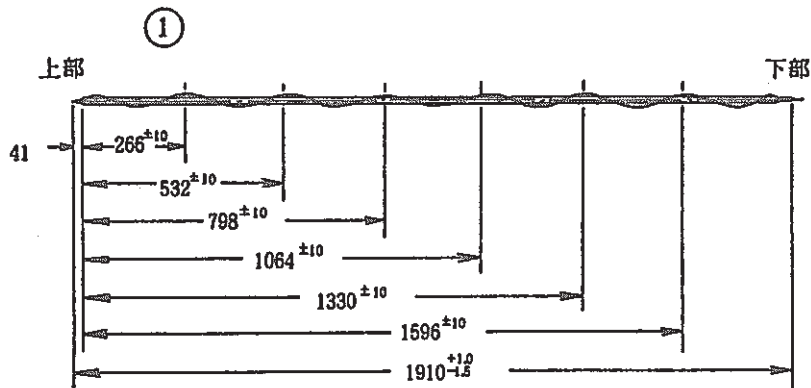
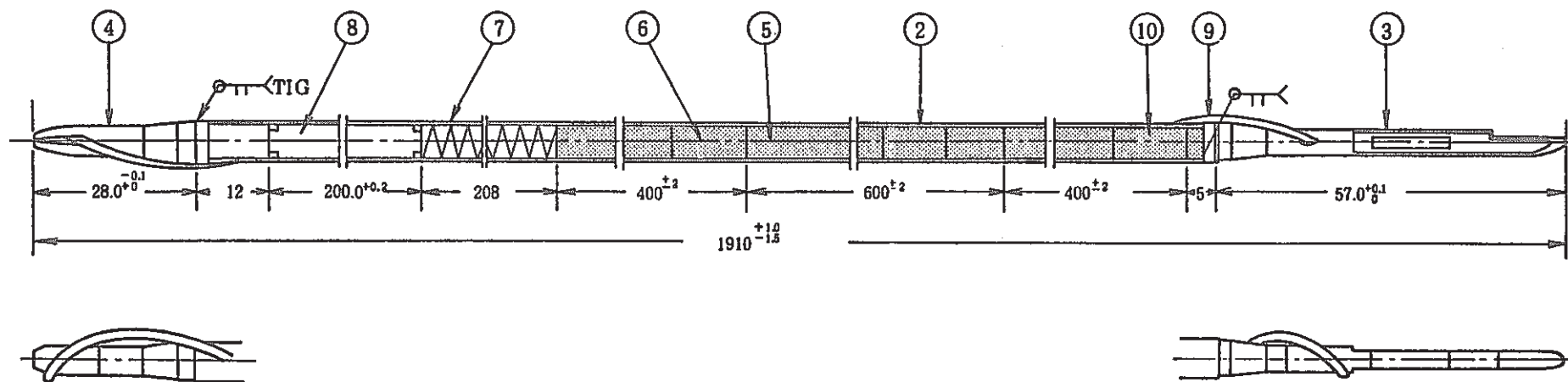
NOTE ; nd=not detected

\* 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



10	JOYO-100-1103M	下部軸方向ブランケット用ペレット	UO <sub>2</sub>	33	
9	JOYO-100-1201M	ラッピングワイヤ	SUS316	1	
8	JOYO-100-1205M	プレナムスリーブ	SUS316	1	
7	JOYO-100-1204M	スプリング	SUS631 H=WP C	1	
6	JOYO-100-1201M	上部軸方向ブランケット用ペレット	UO <sub>2</sub>	33	
5	JOYO-100-1102M	ペレット(炉心)	PuO <sub>2</sub> UO <sub>2</sub>	60	
4	JOYO-100-1203M	上部端栓	SUS316	1	
3	JOYO-100-1210M	下部端栓	SUS316	1	
2	JOYO-100-1208M	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

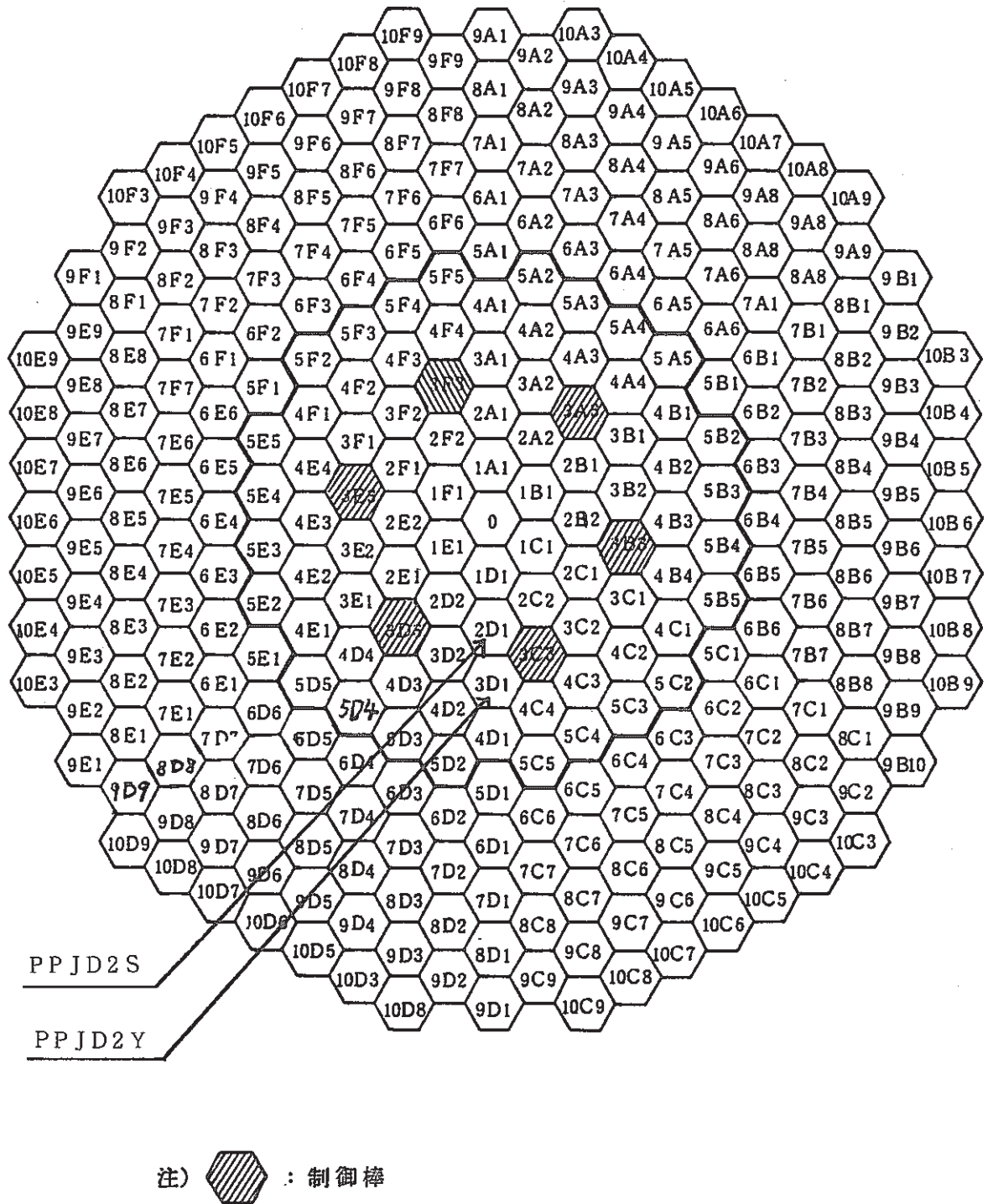
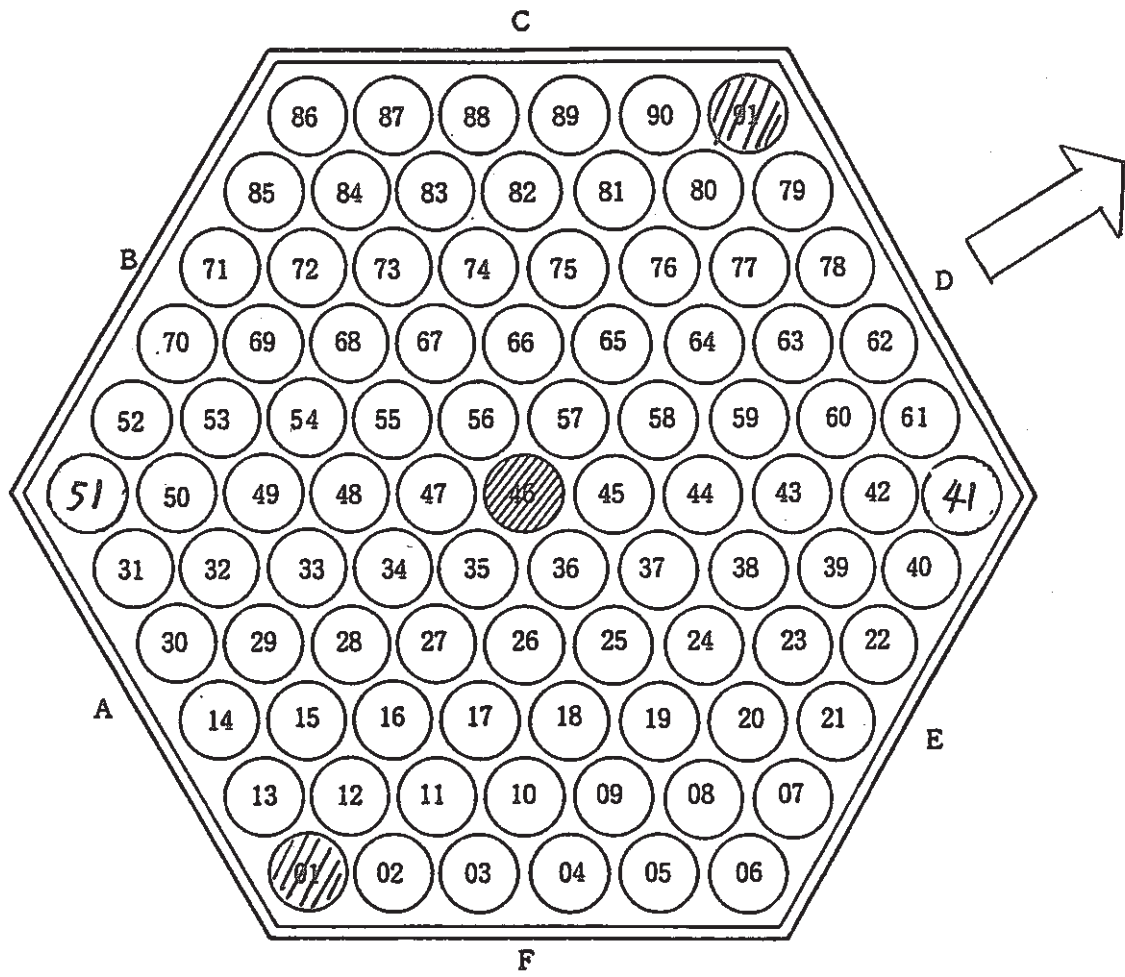


Fig. 2 Irradiation position of PPJD2Y and PPJD2S subassemblies in "JOYO" MK-I core



注) ← : 炉心方向

● : 試験対象ピン

Fig. 3 Fuel pin position in PPJD2S subassembly

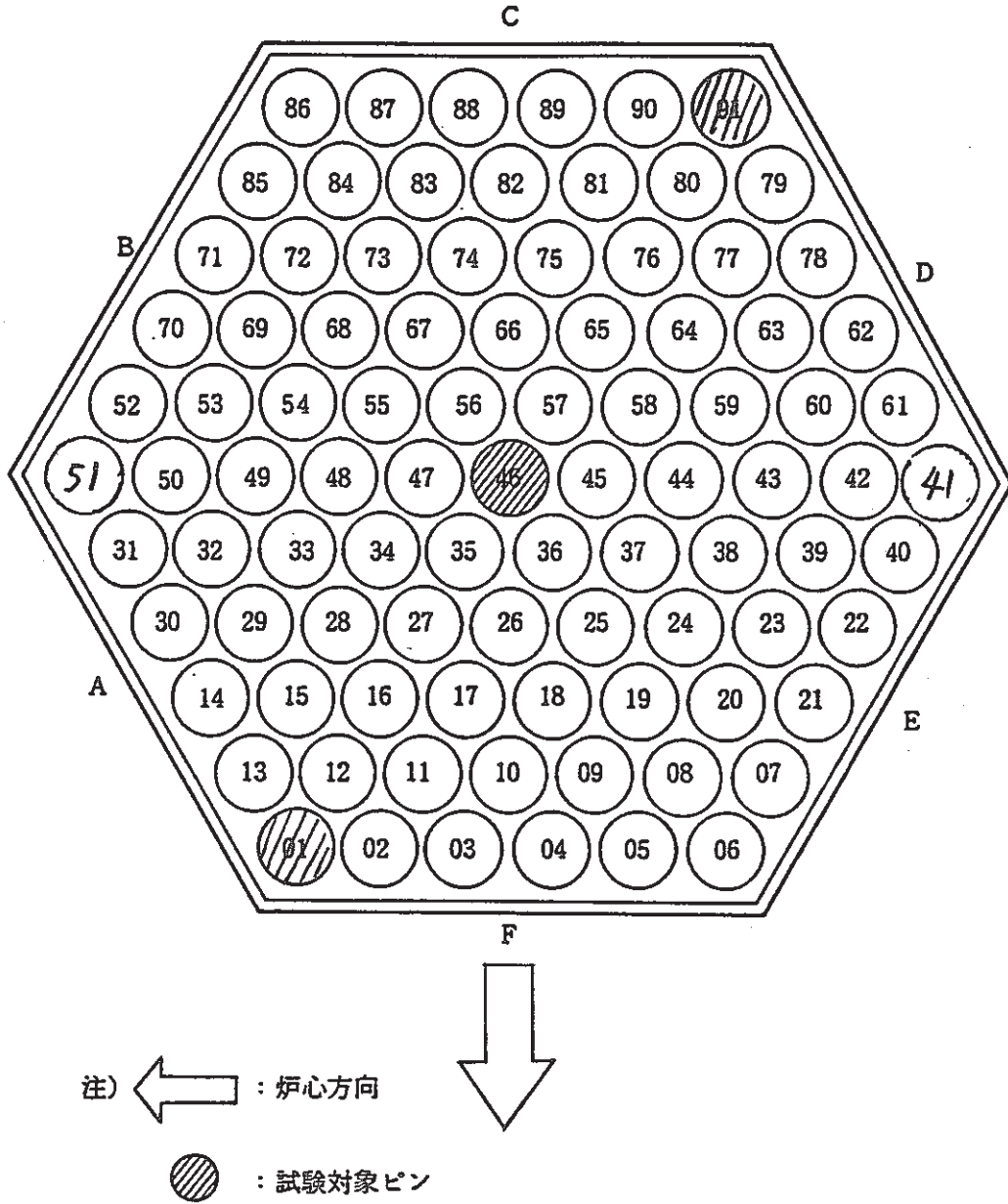


Fig. 4 Fuel pin position in PPJD2Y subassembly

$\times 10^3$

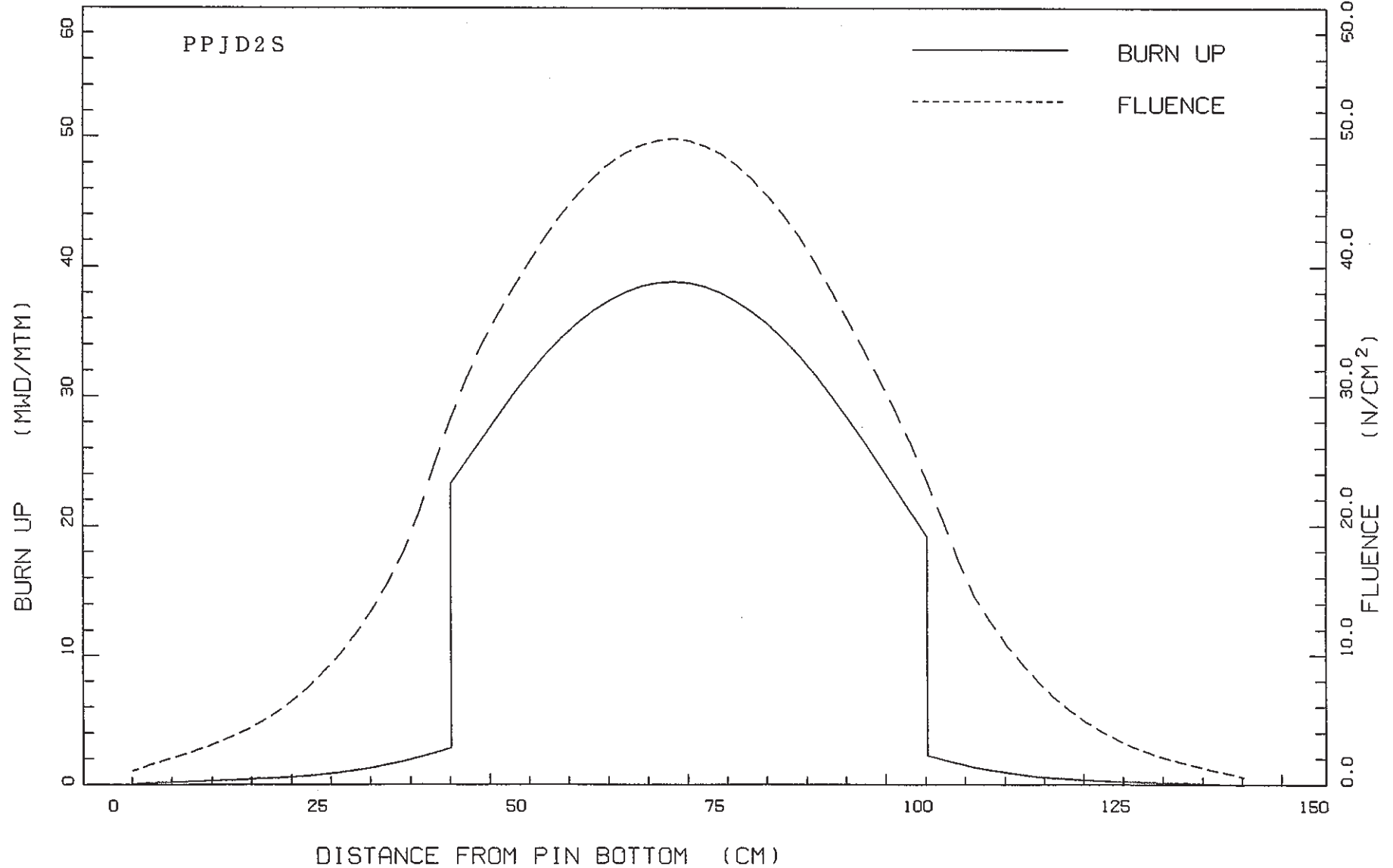


Fig. 5 Burnup and fluence distribution(7501pin)

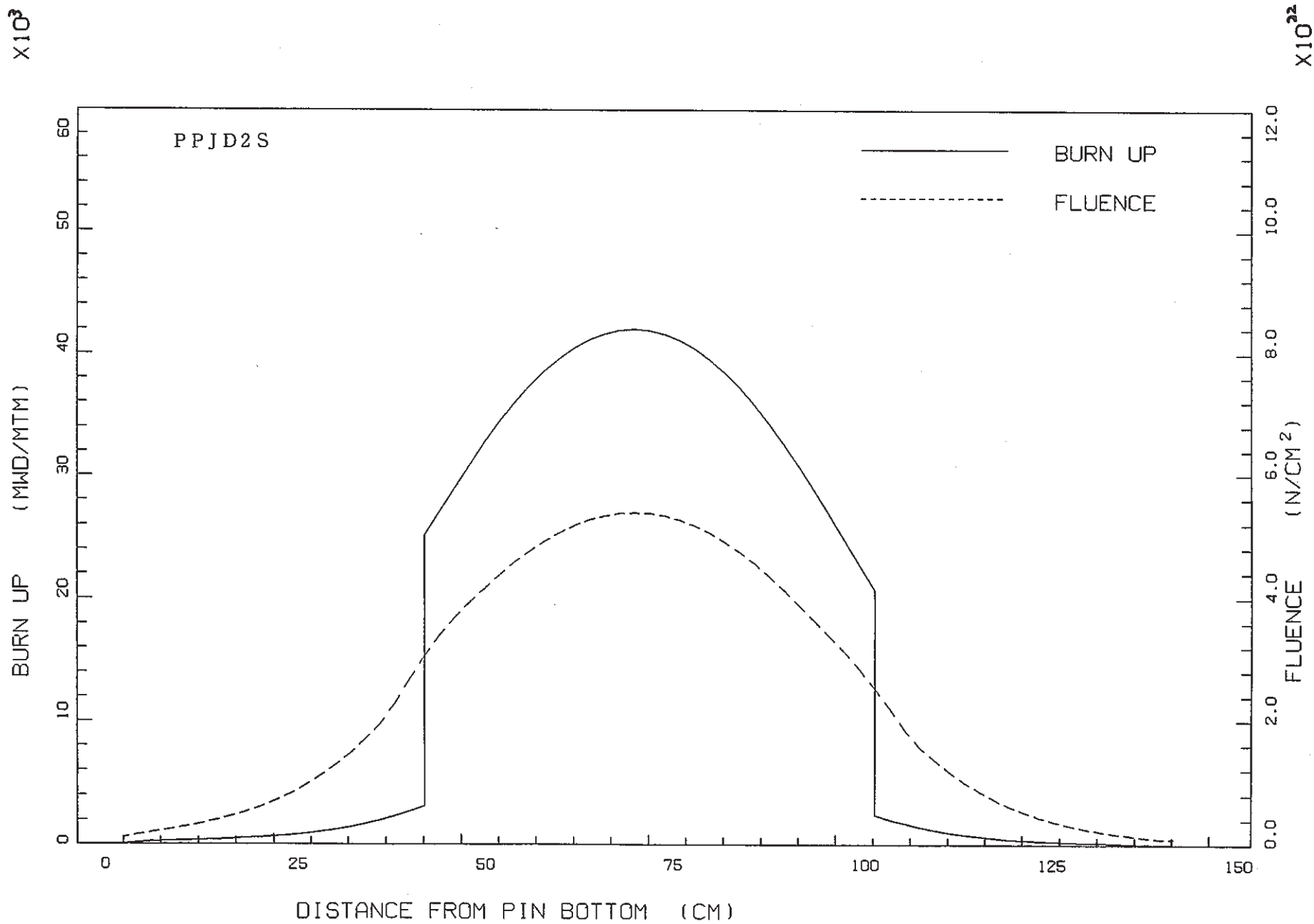


Fig. 6 Burnup and fluence distribution(7546pin)

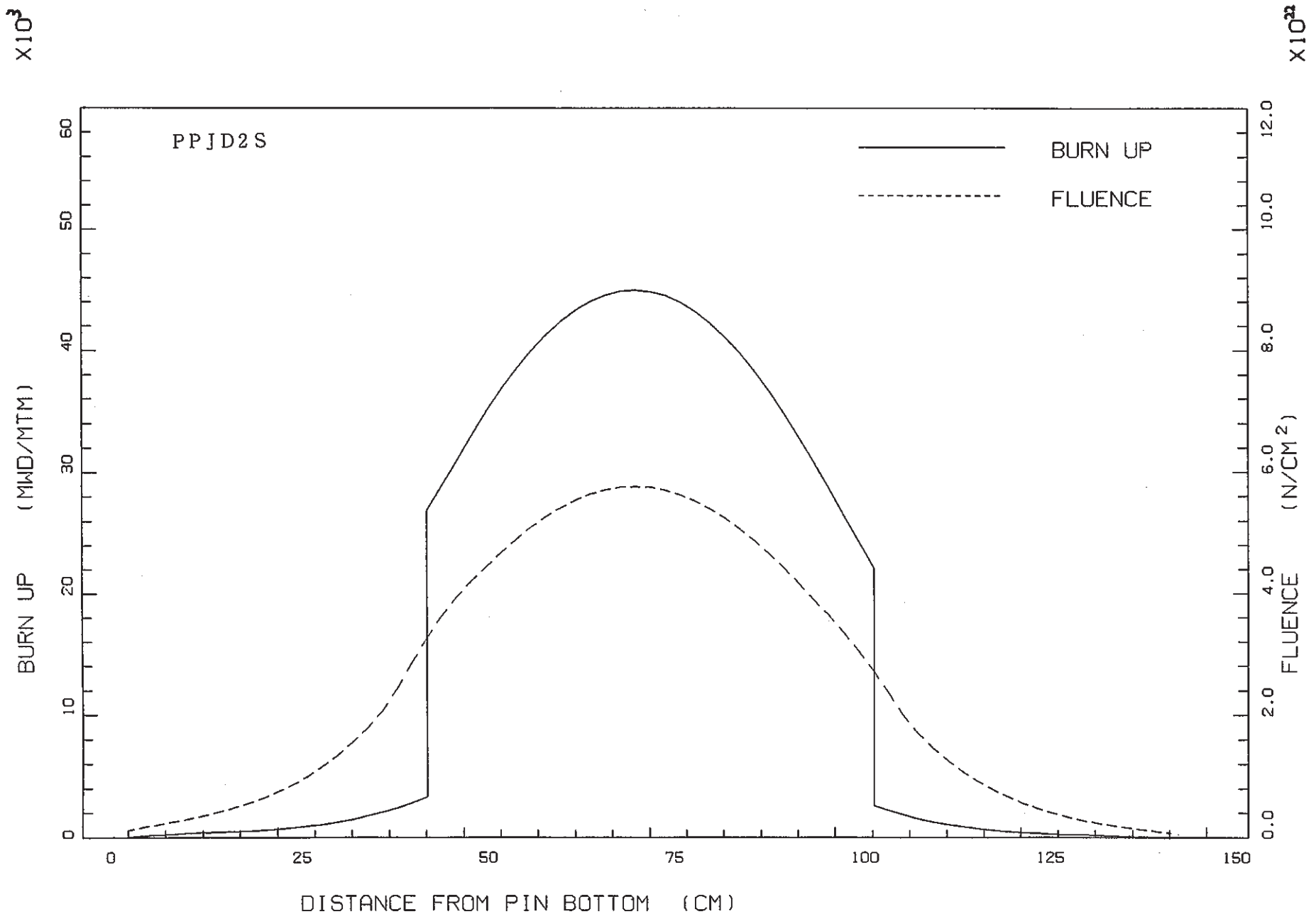


Fig. 7 Burnup and fluence distribution(7591pin)

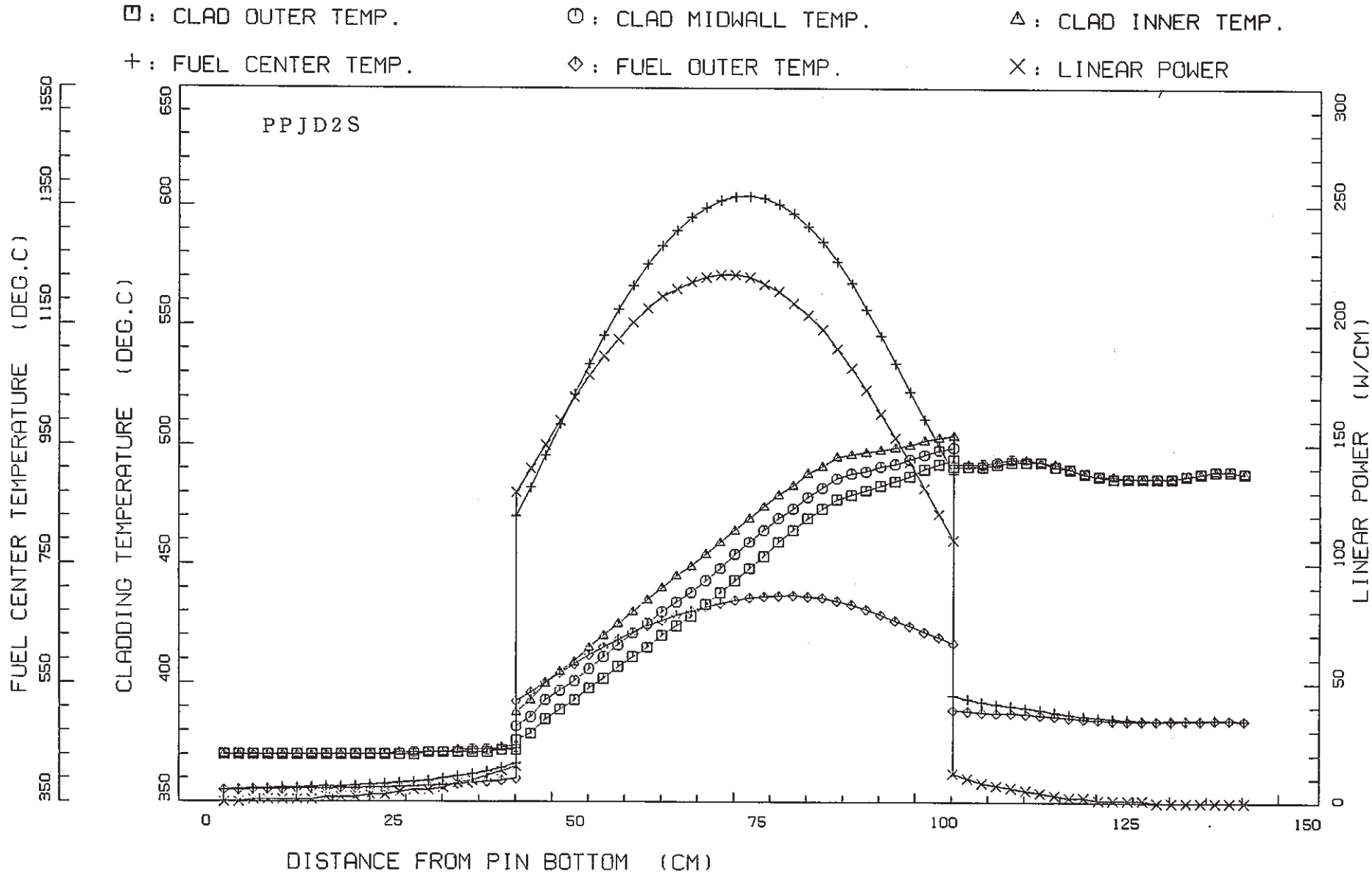


Fig. 8 Temperature and linear power distribution(7501pin)

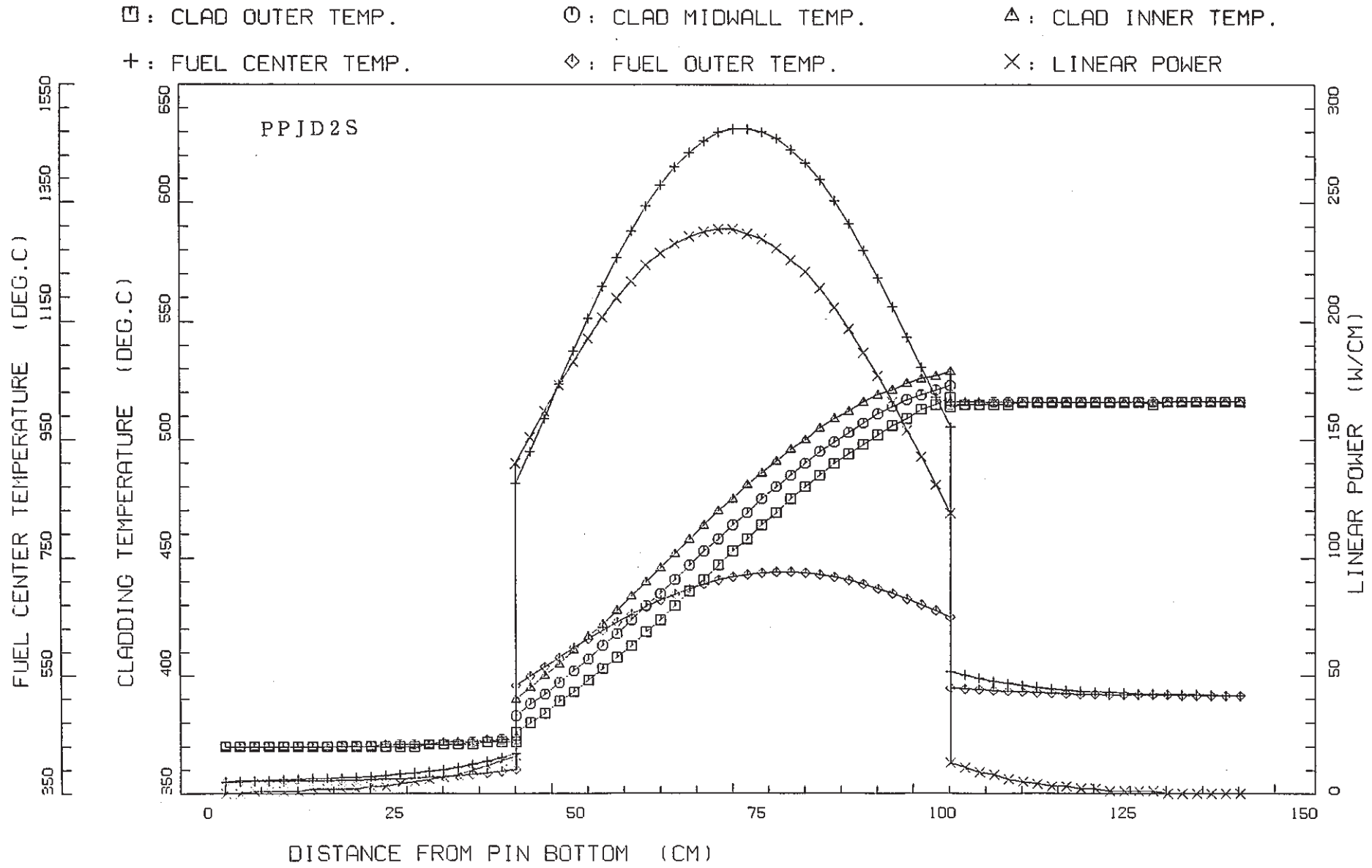


Fig.9 Temperature and linear power distribution(7546pin)



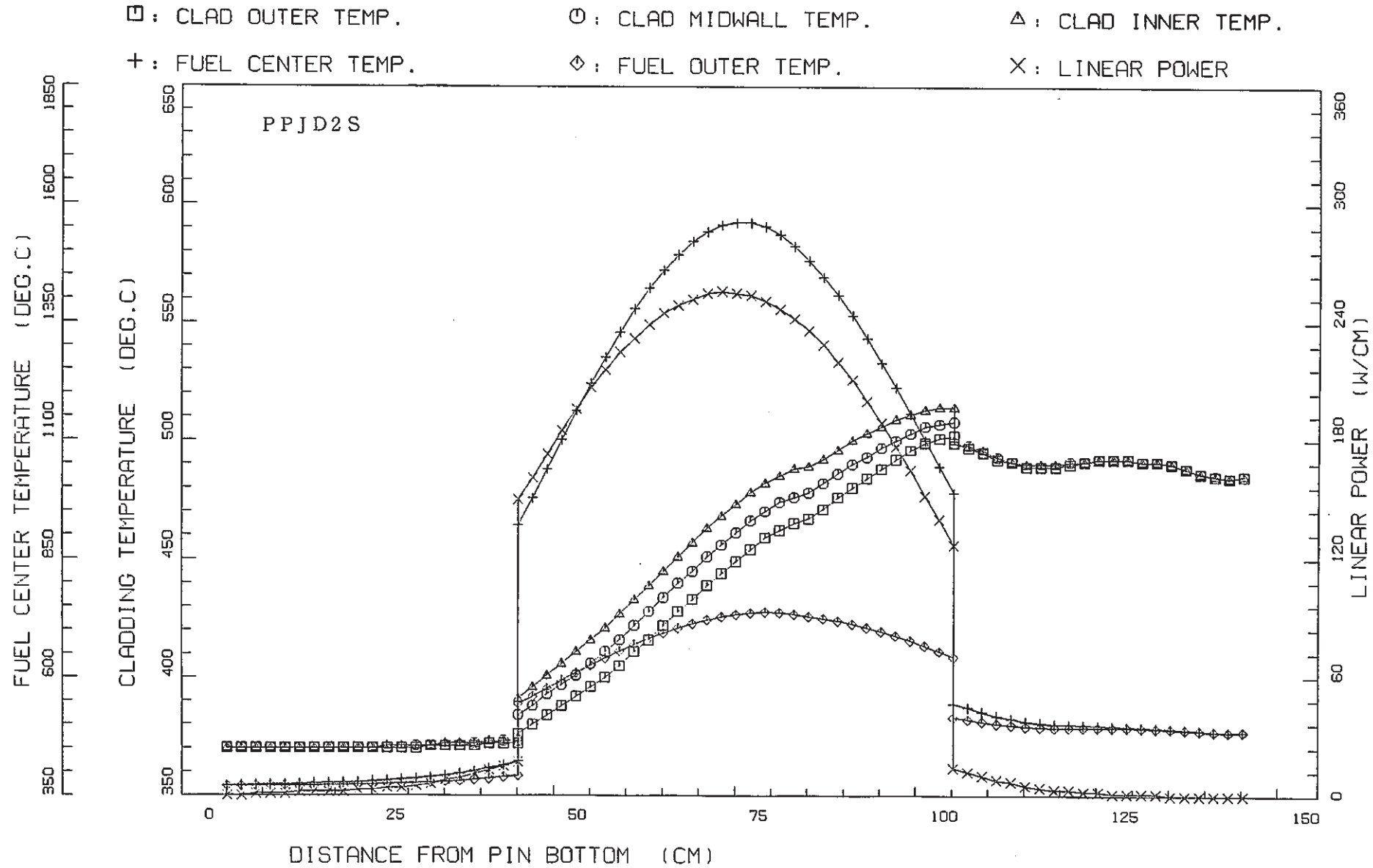
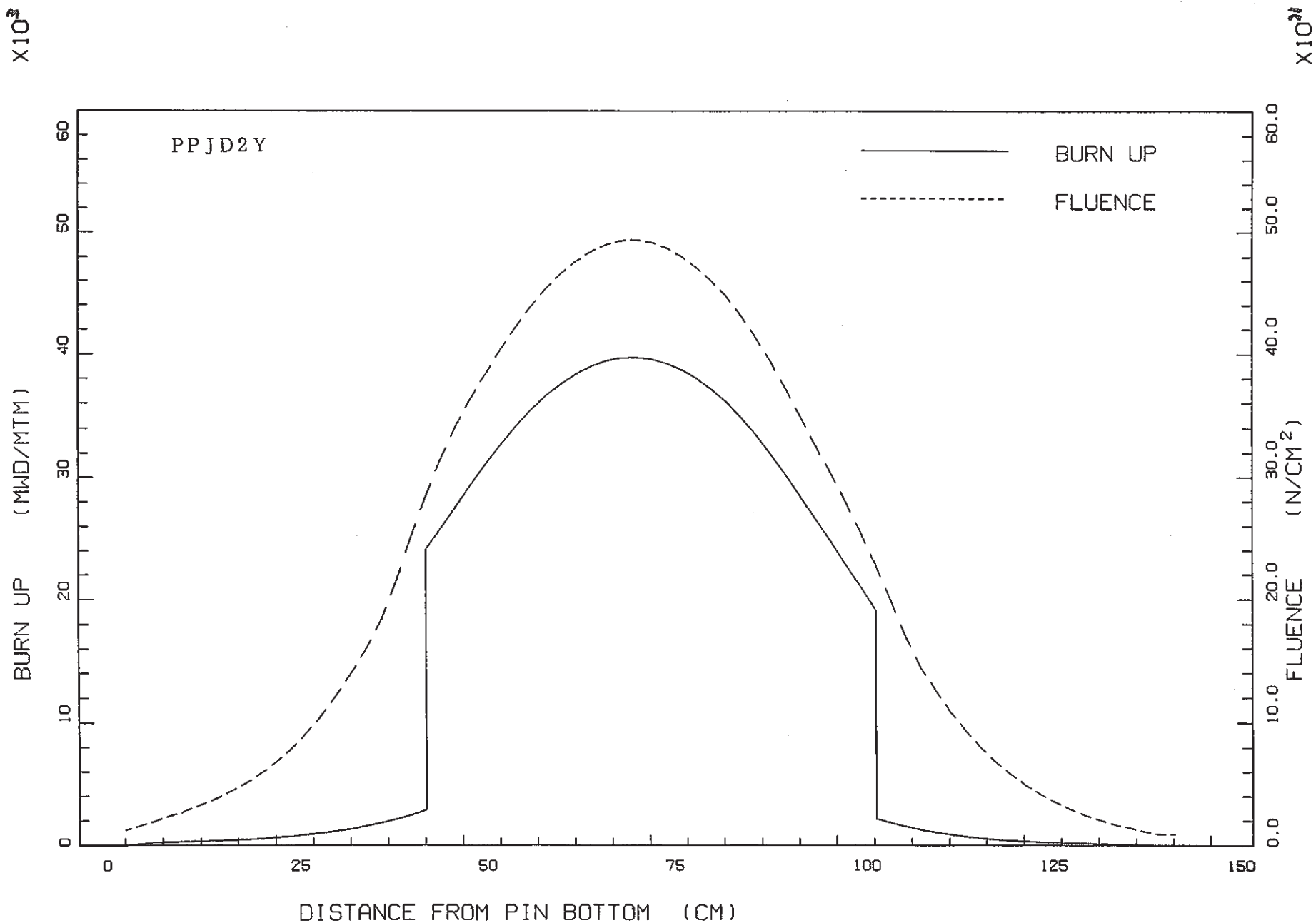


Fig.10 Temperature and linear power distribution(7591pin)



DISTANCE FROM PIN BOTTOM (CM)

Fig.11 Burnup and fluence distribution(7601pin)

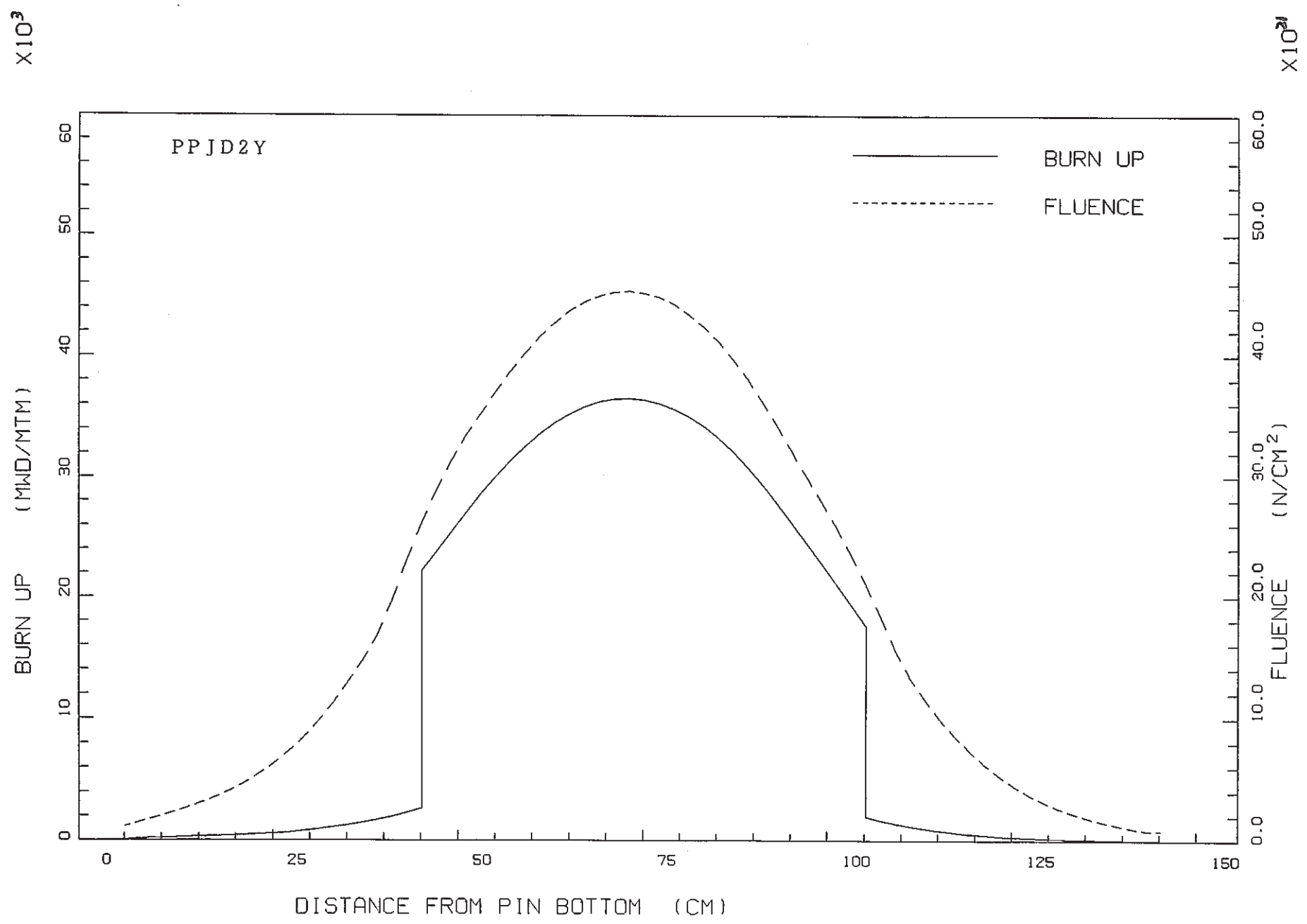


Fig.12 Burnup and fluence distribution(7646 pin)

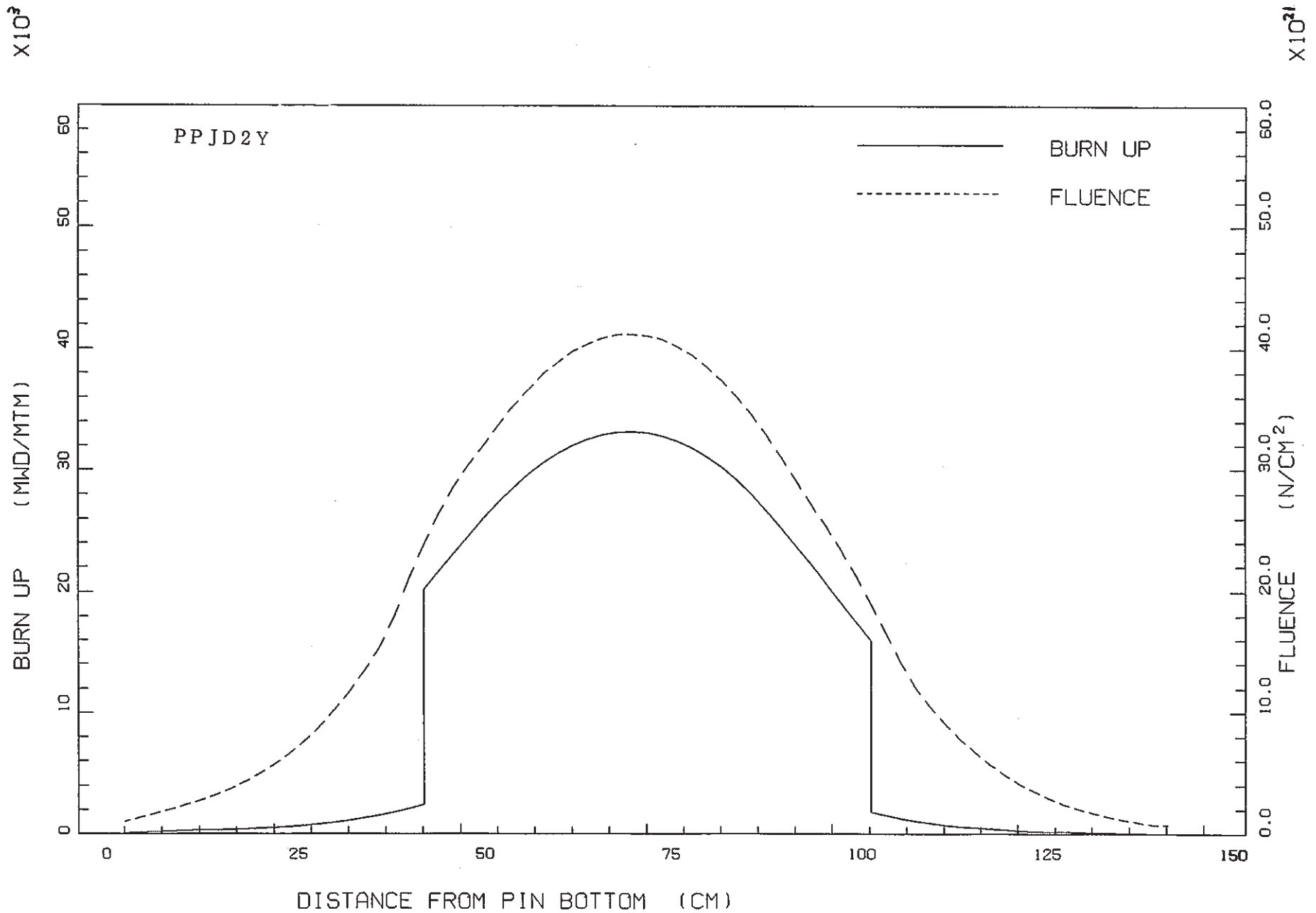


Fig. 13 Burnup and fluence distribution(7691pin)

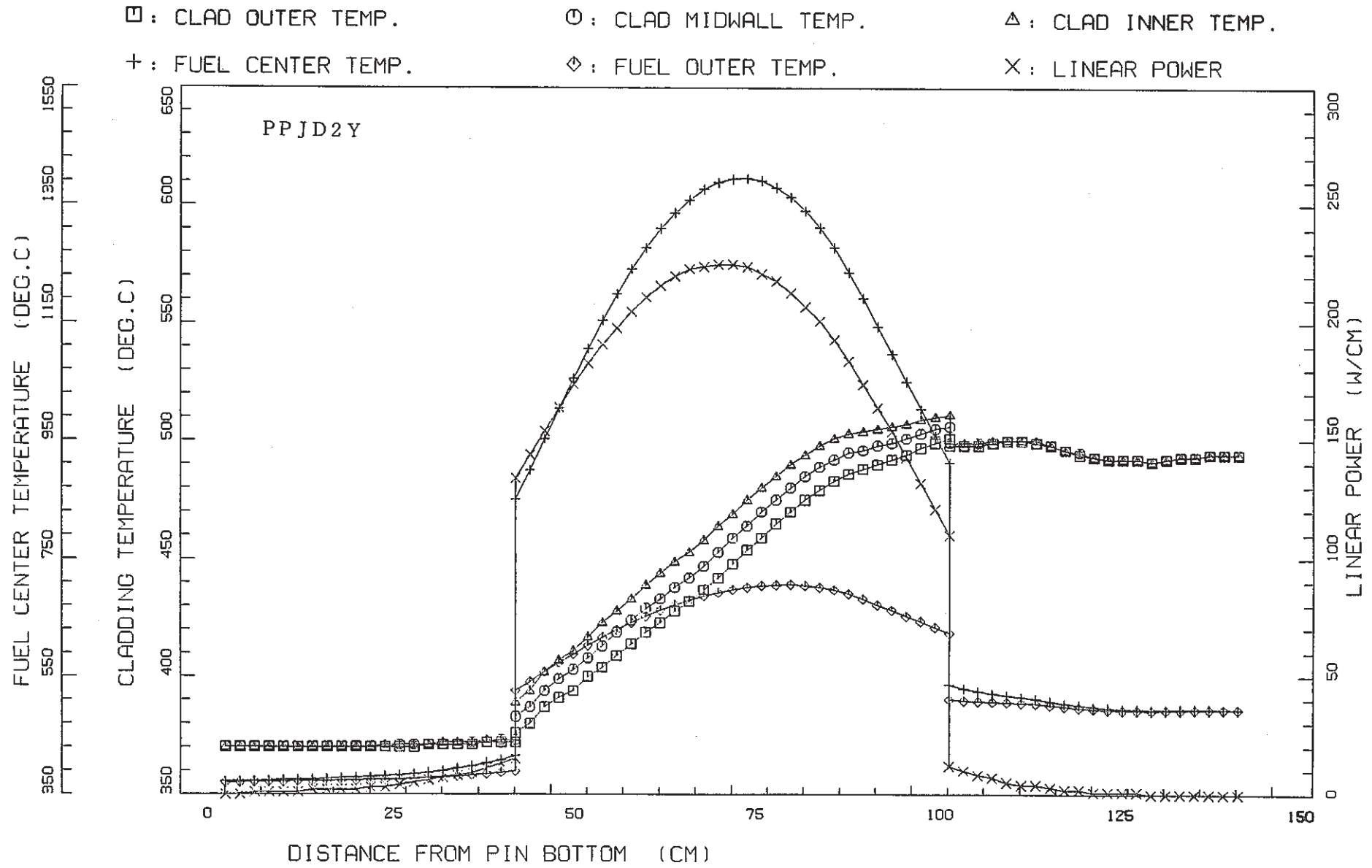


Fig.14 Temperature and linear power distribution(7601pin)

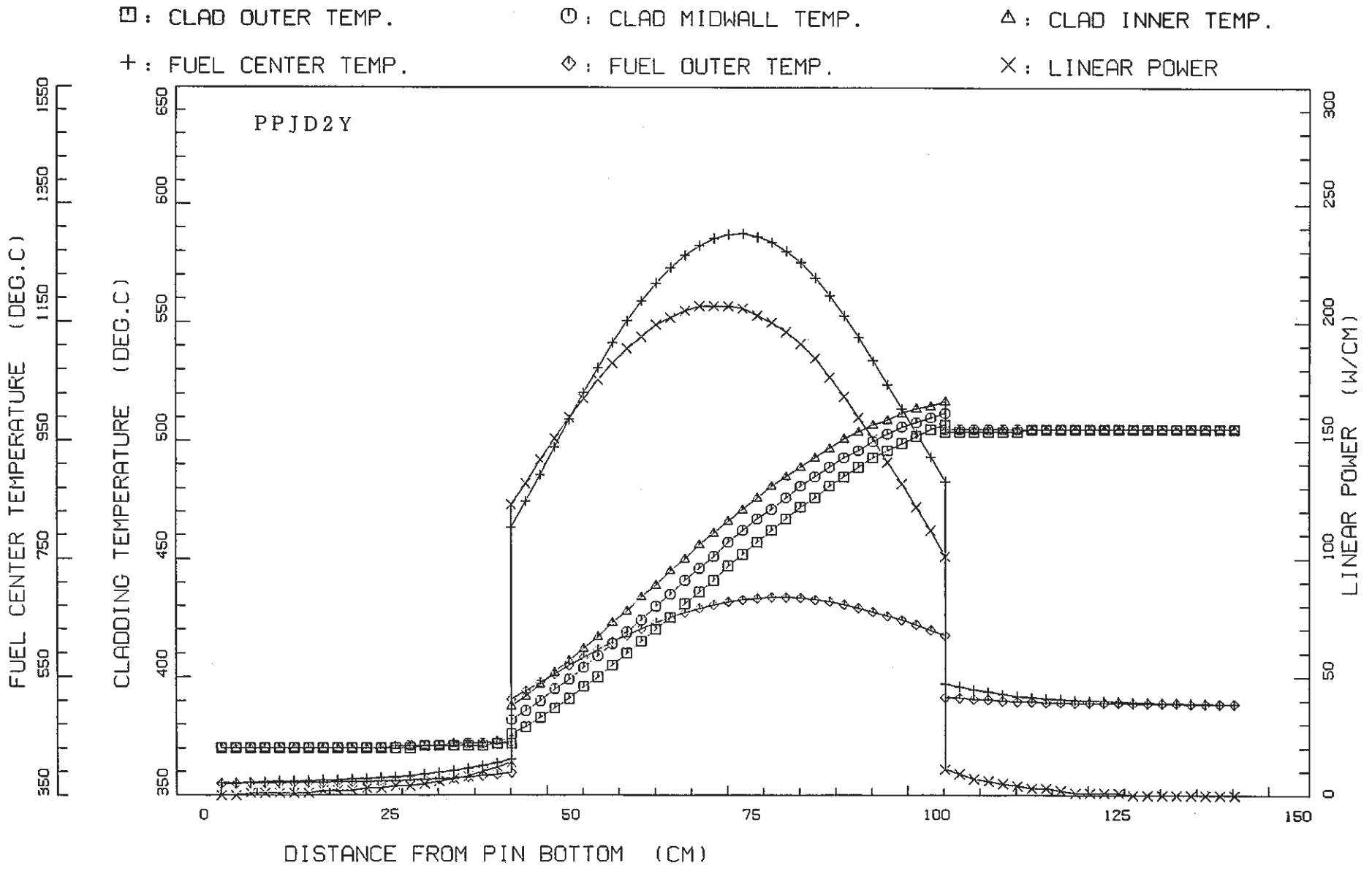


Fig. 15 Temperature and linear power distribution(7646pin)

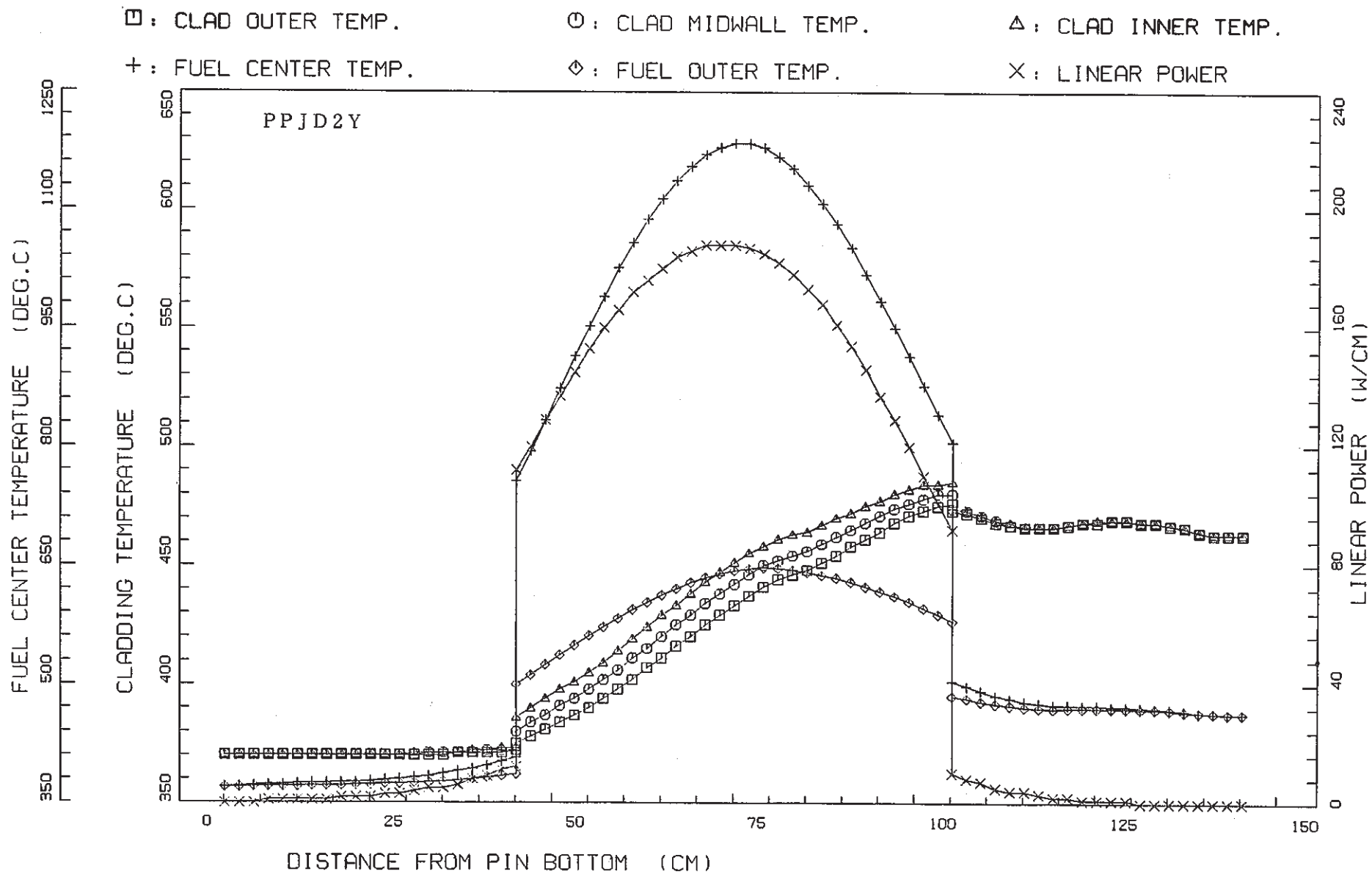


Fig.16 Temperature and linear power distribution(7691pin)

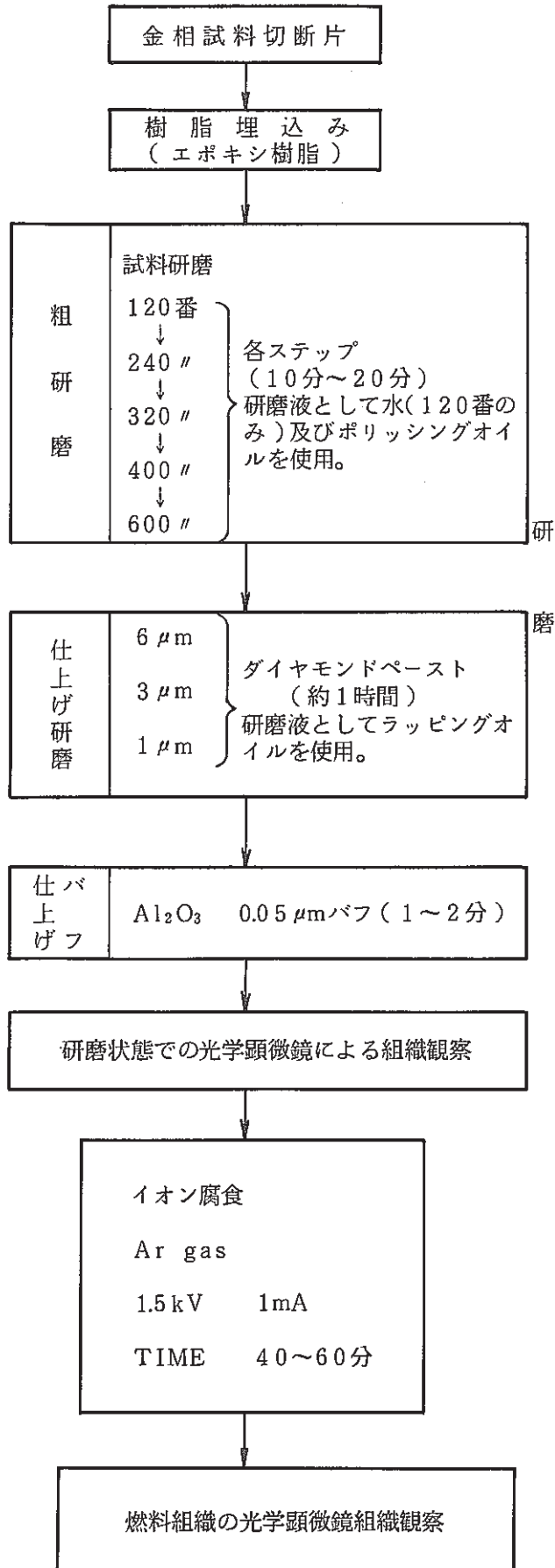


Fig.17 Flow diagram of metallographic examination in AGS



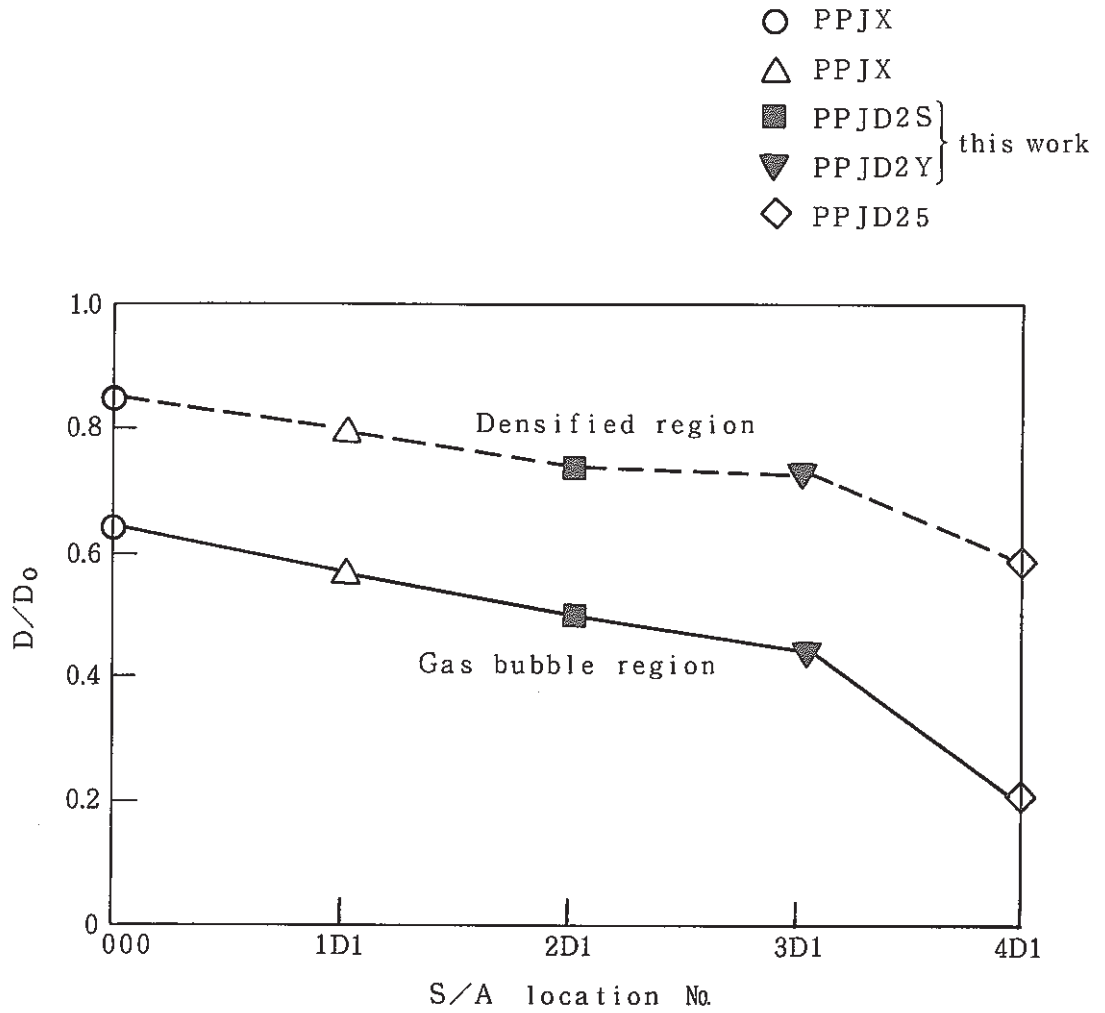


Fig. 18 Restructured region ( $D/D_0$ ) as a function of S/A location

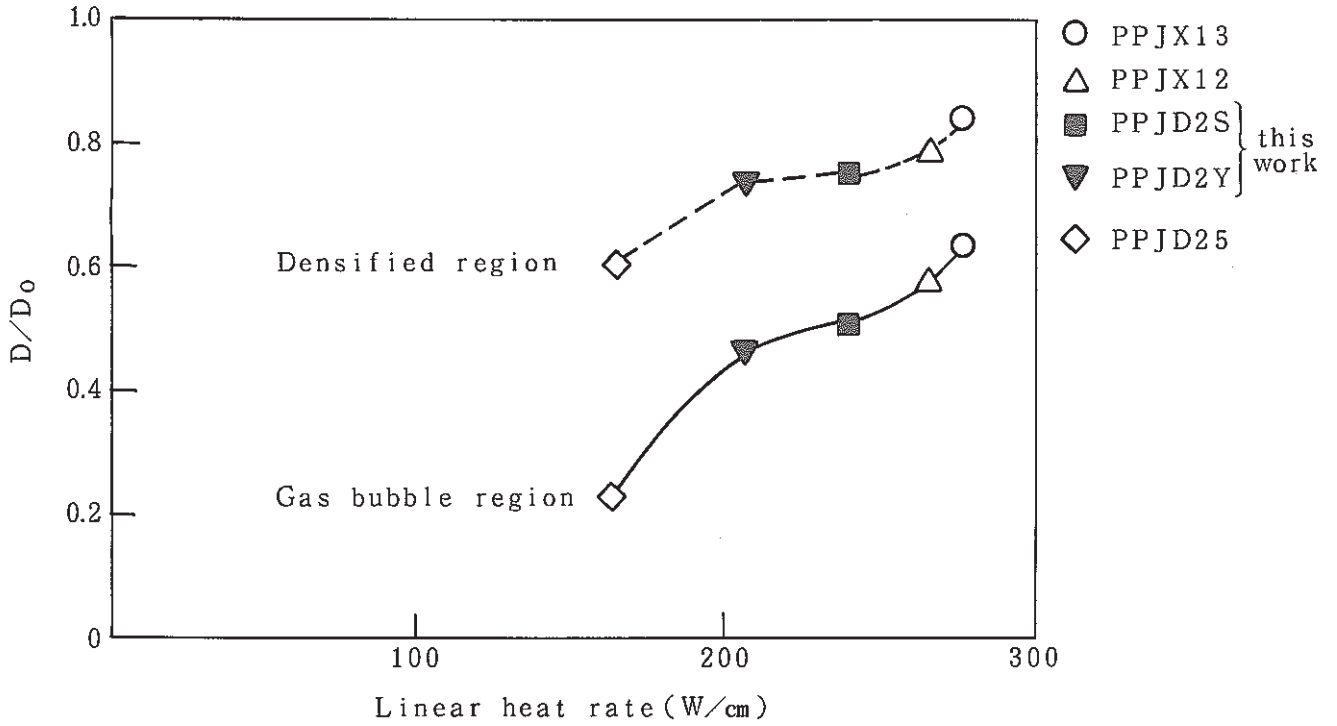


Fig. 19 Restructured region ( $D/D_0$ ) as a function of linear heat rate

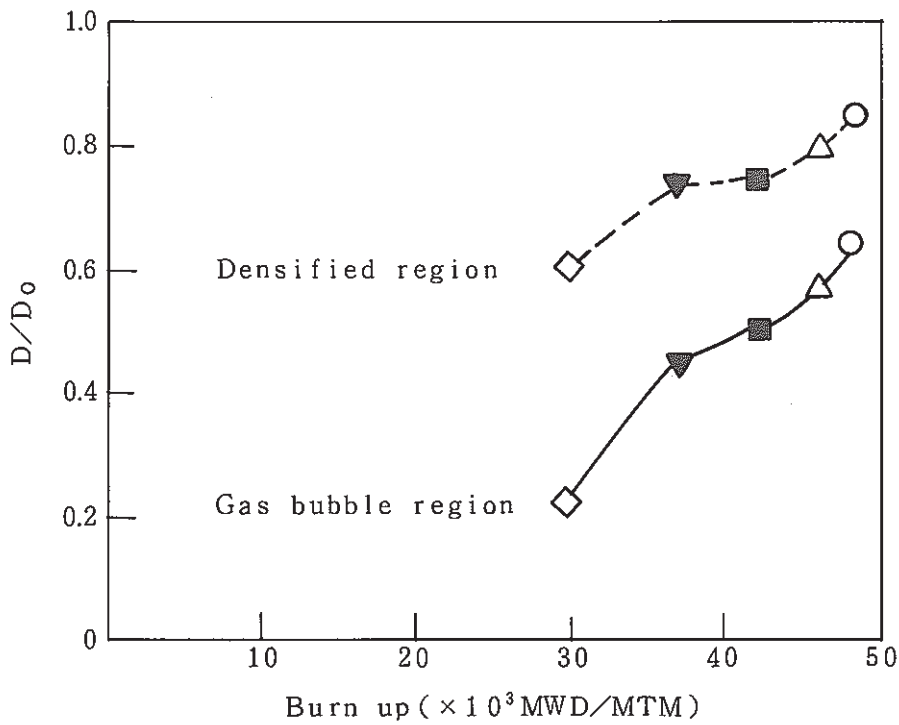


Fig. 20 Restructured region ( $D/D_0$ ) as a function of burnup

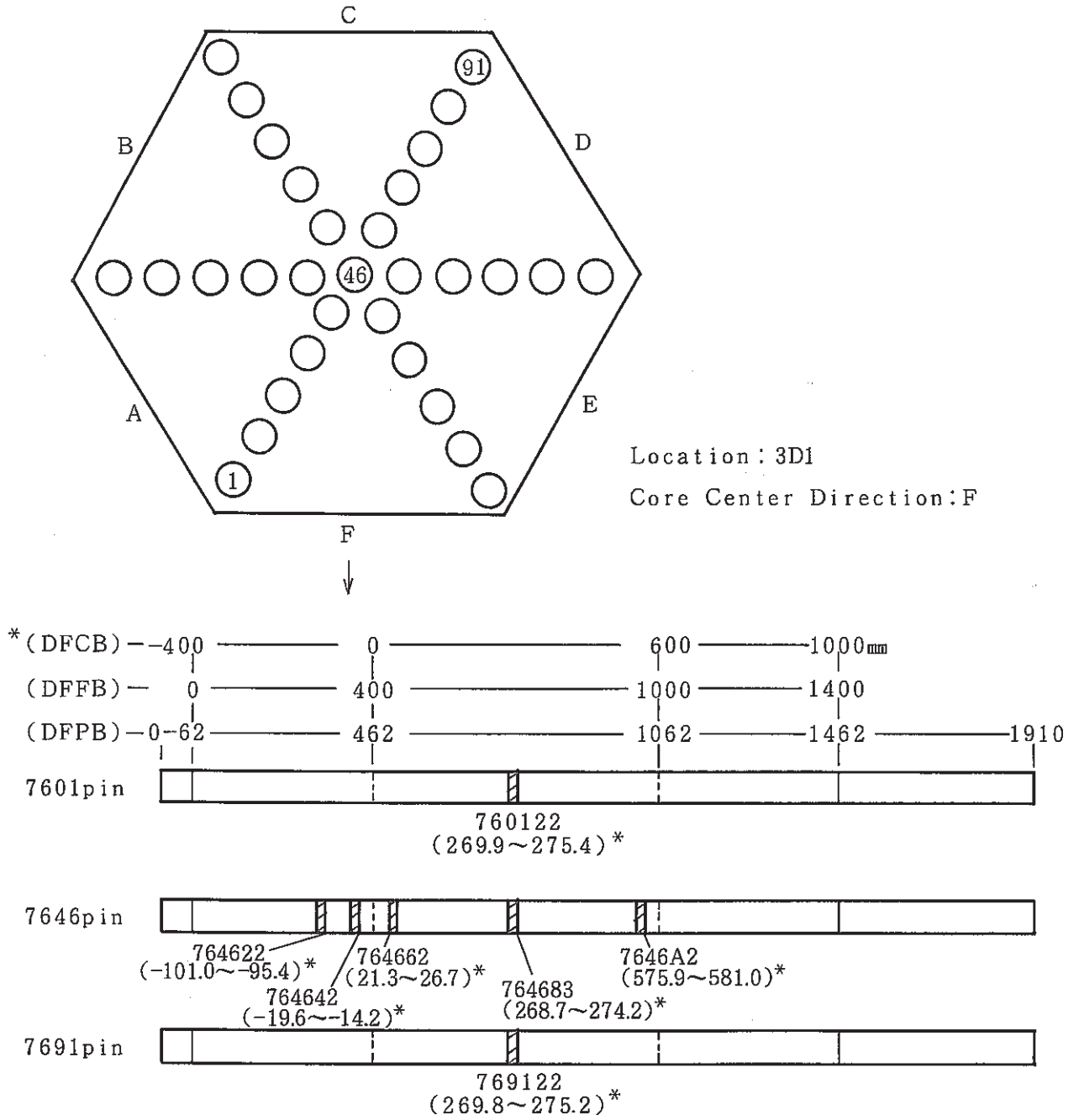


Fig. 21 Sectional diagram of PPJD2Y S/A fuel pin for burnup measurement

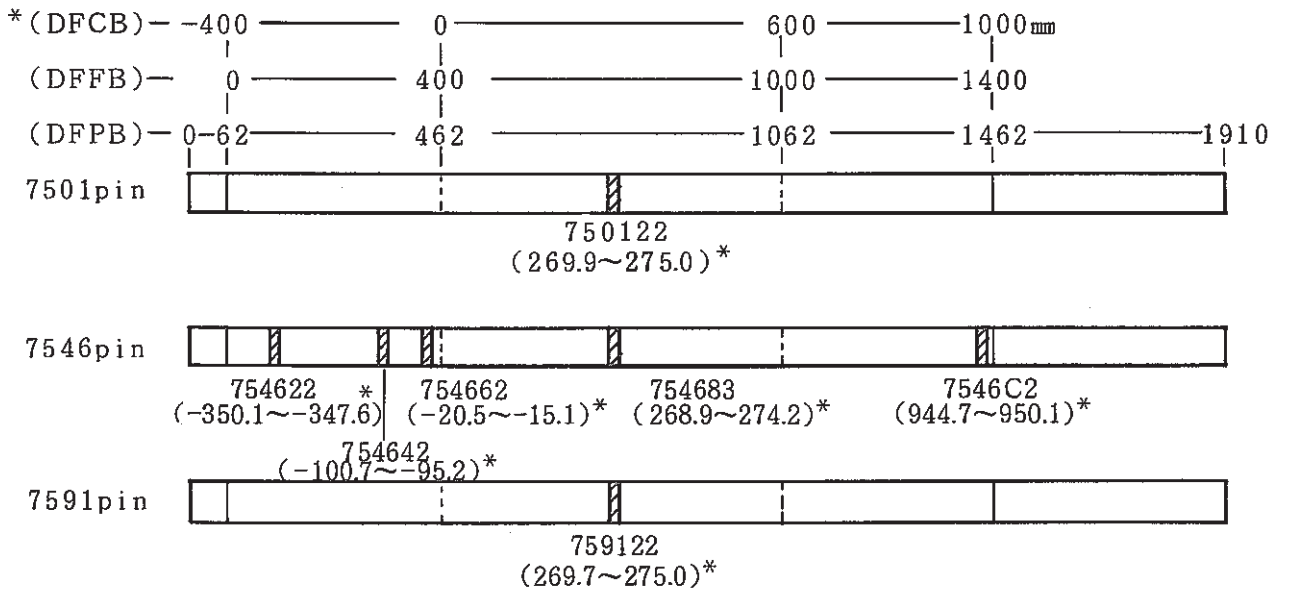
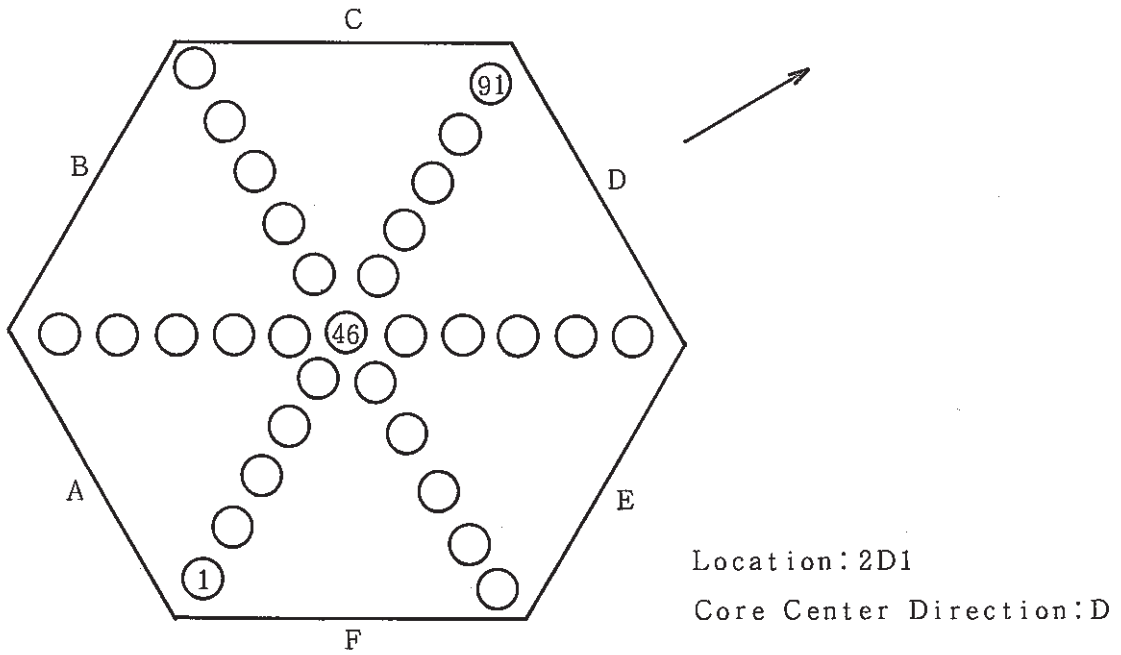


Fig. 22 Sectional diagram of PPJD2S S/A fuel pin for burnup measurement

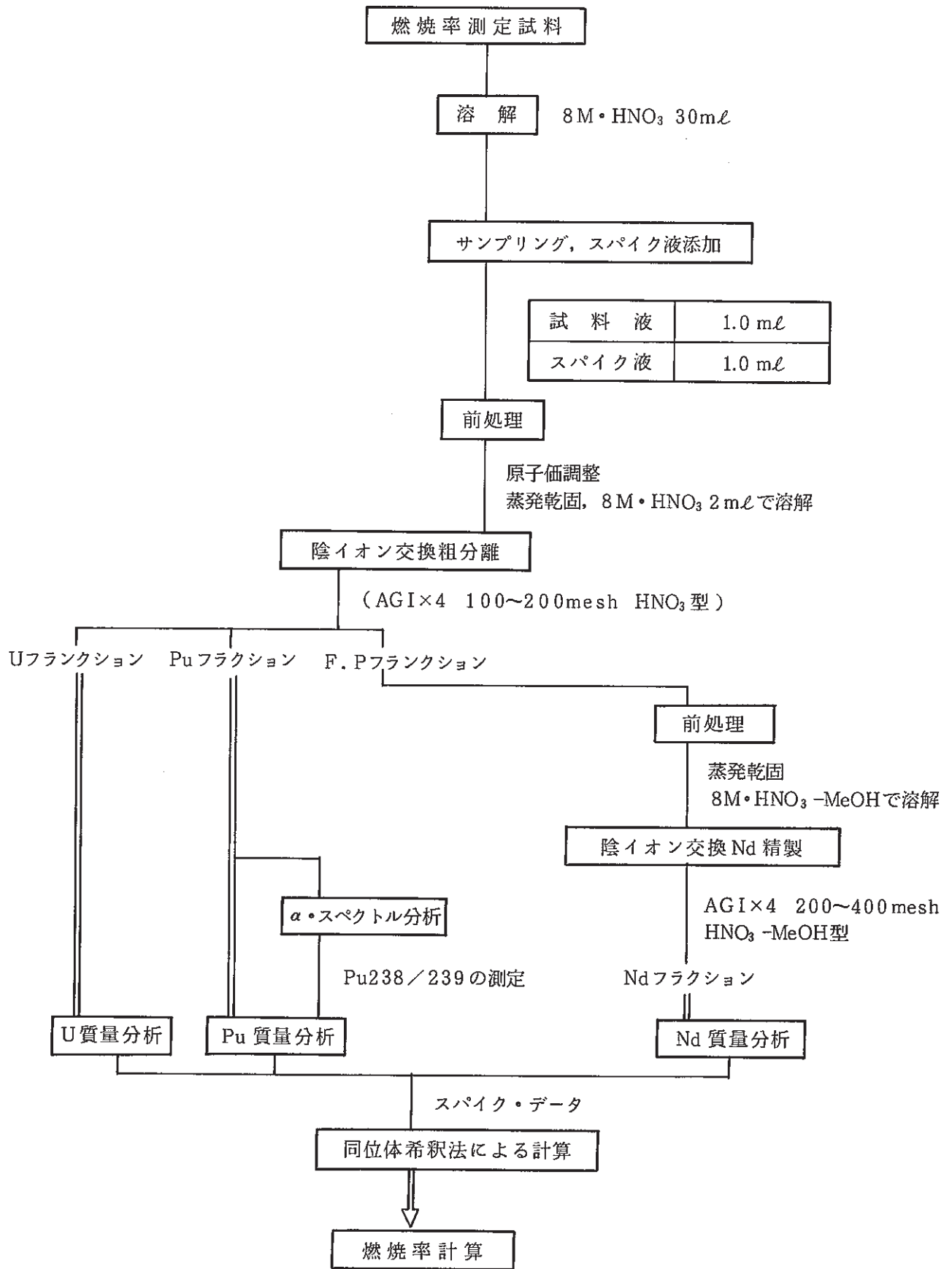


Fig. 23 Specimen preparation process for burnup measurement in AGS

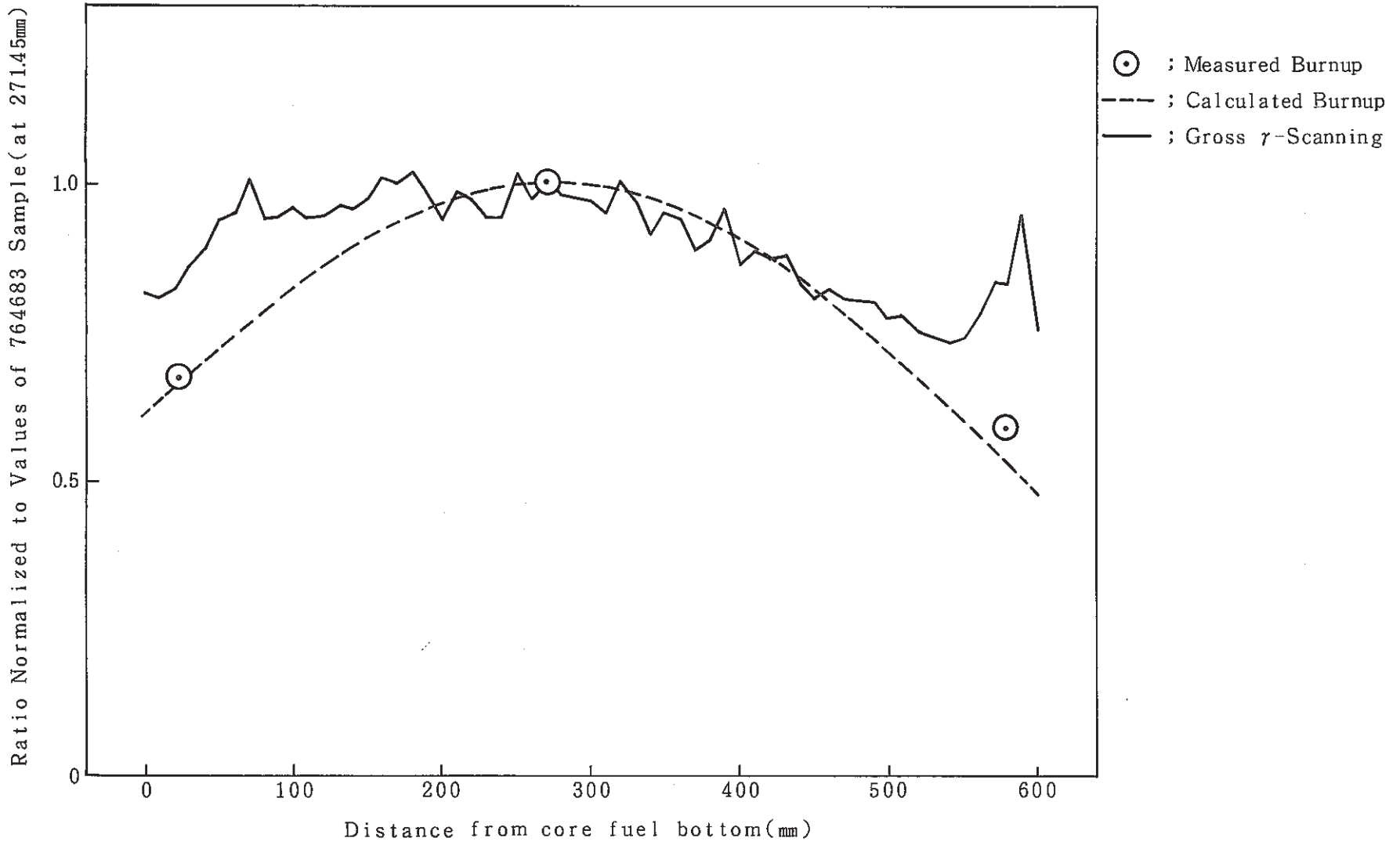


Fig. 24 Burnup axial distribution of PPJD2Y(7646pin)

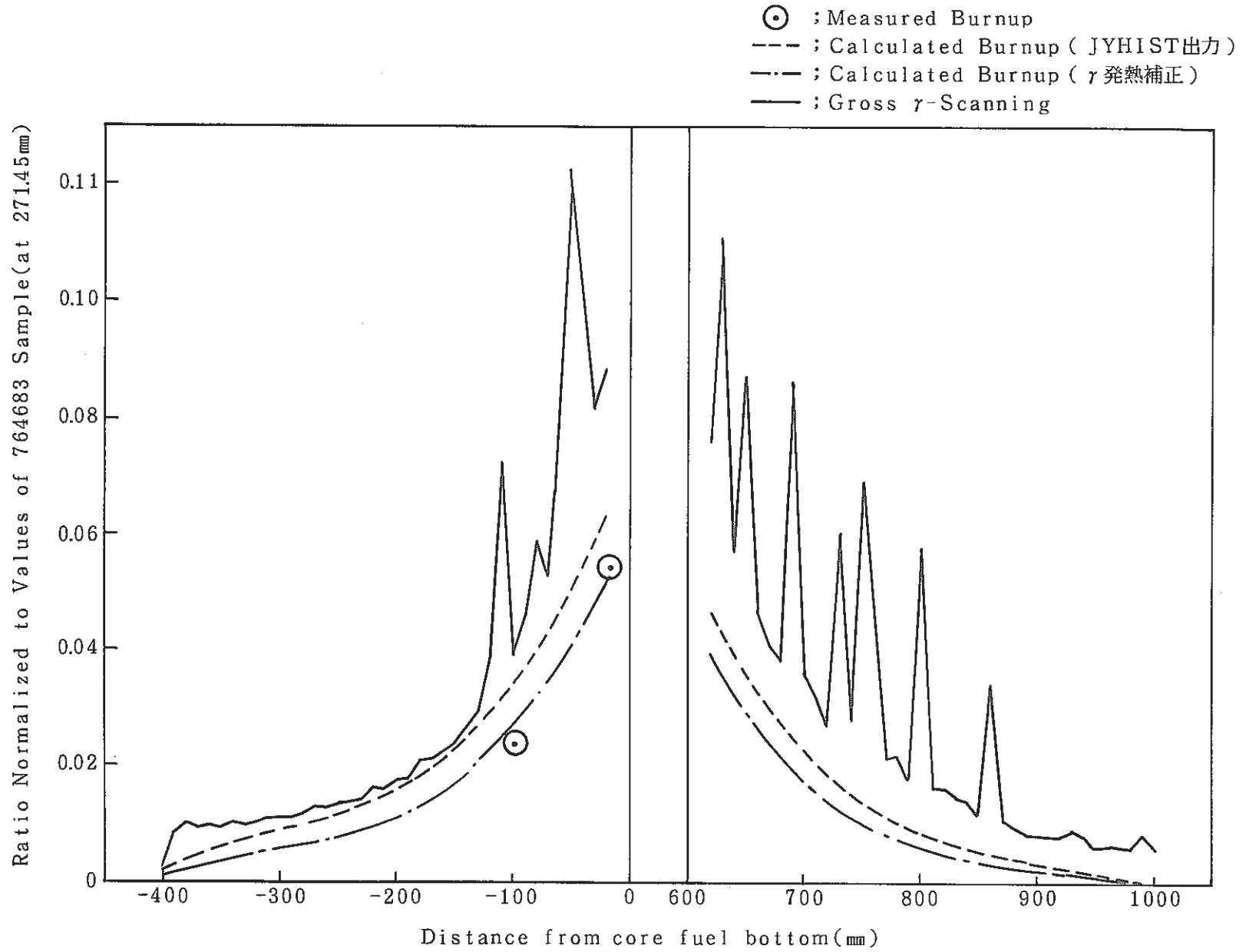


Fig. 25 Burnup axial distribution of PPJD2Y(7646 pin, Blanket)

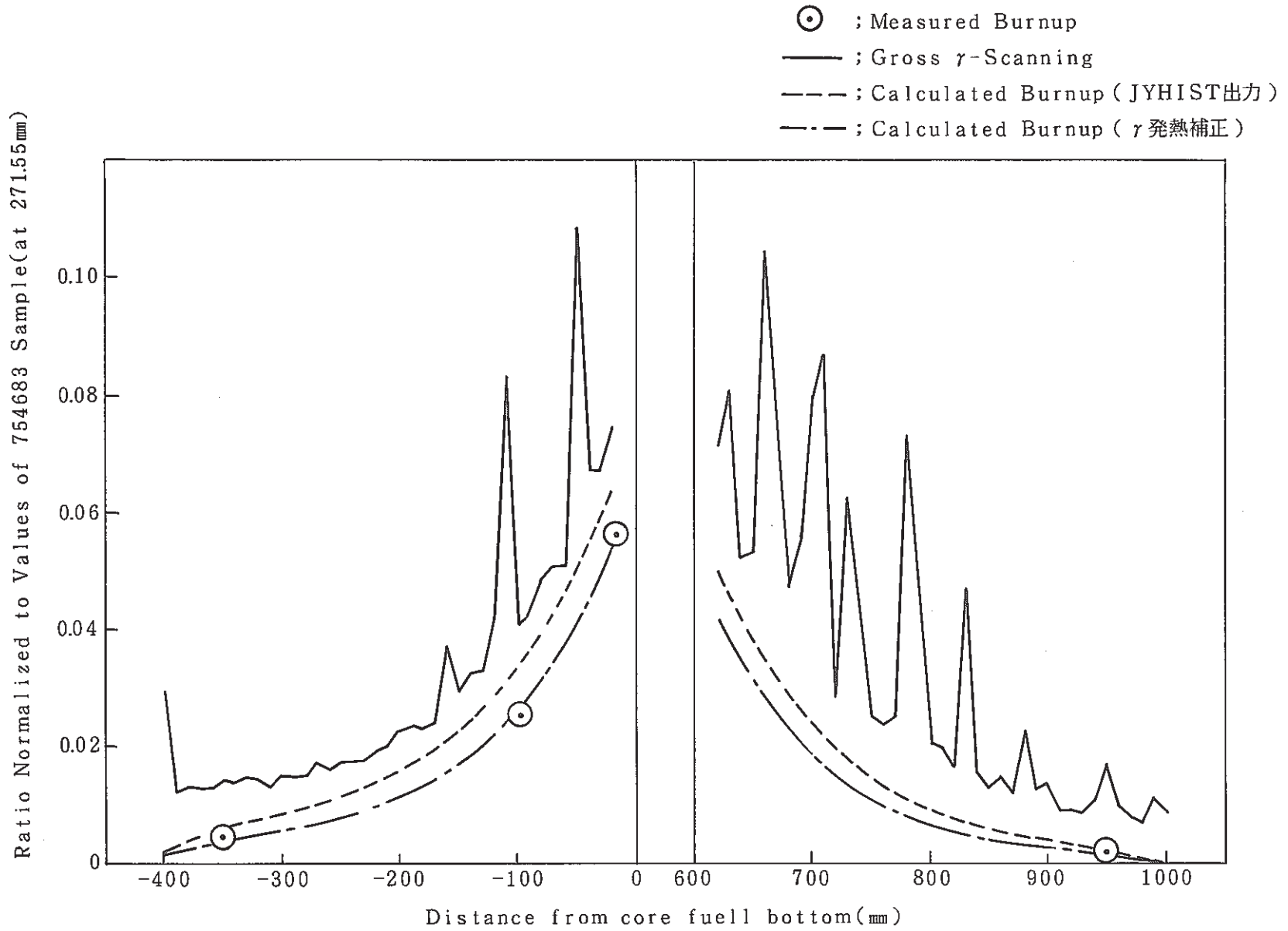


Fig. 26 Burnup axial distribution of PPJD2S(7546pin, Blanket)



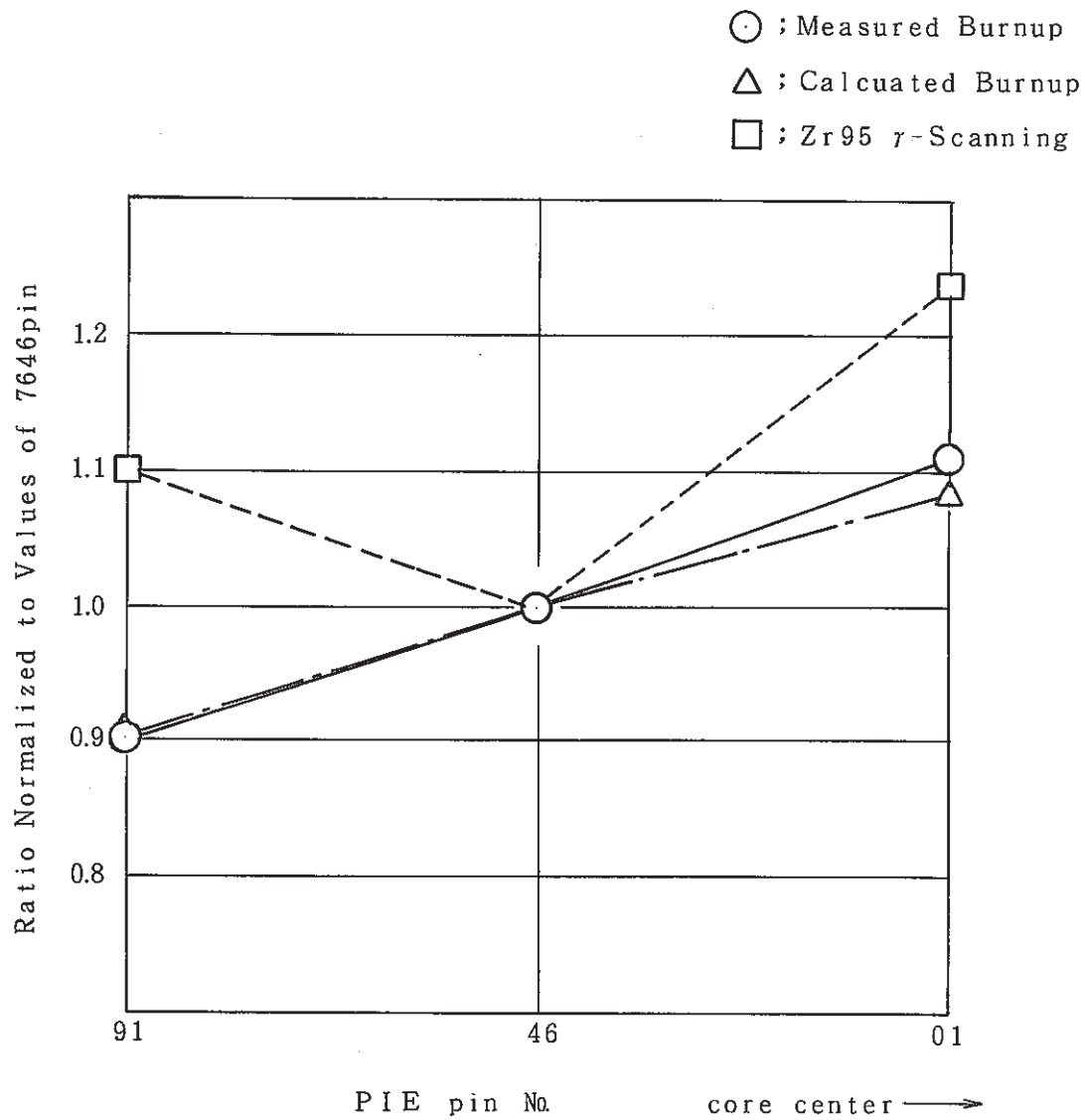


Fig. 27 Burnup radial distribution of PPJD2Y

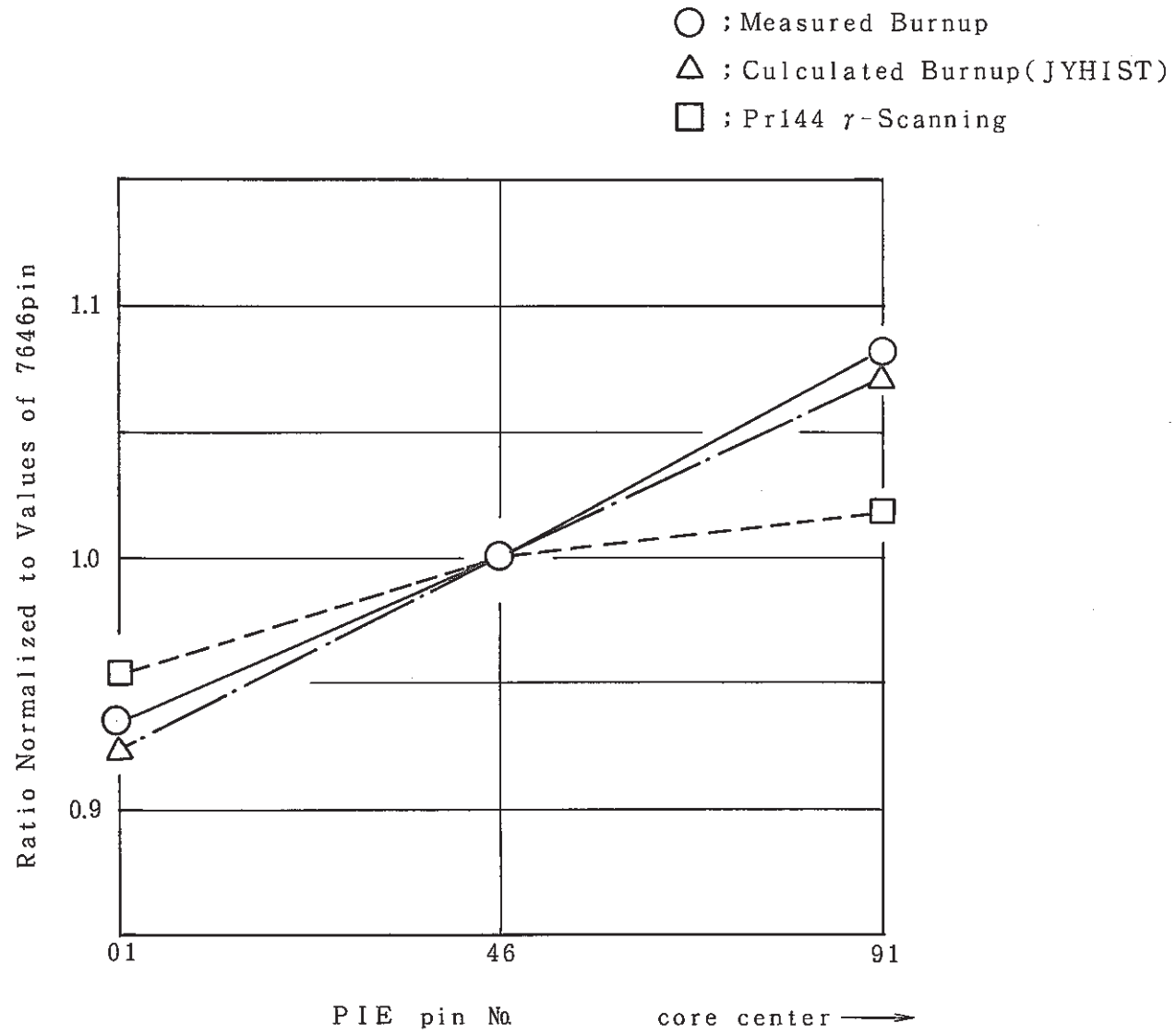


Fig. 28 Burnup radial distribution of PPJD2S

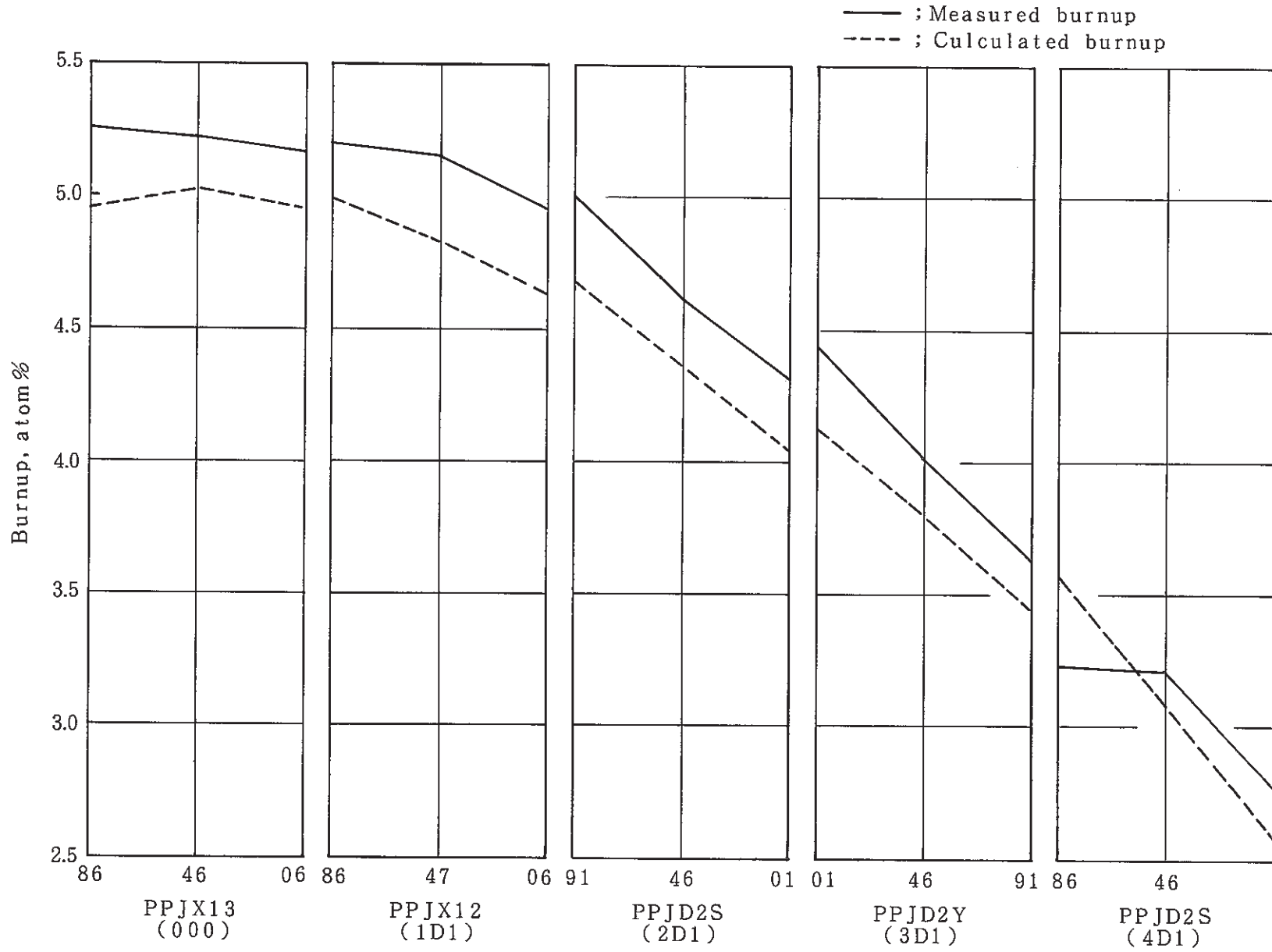
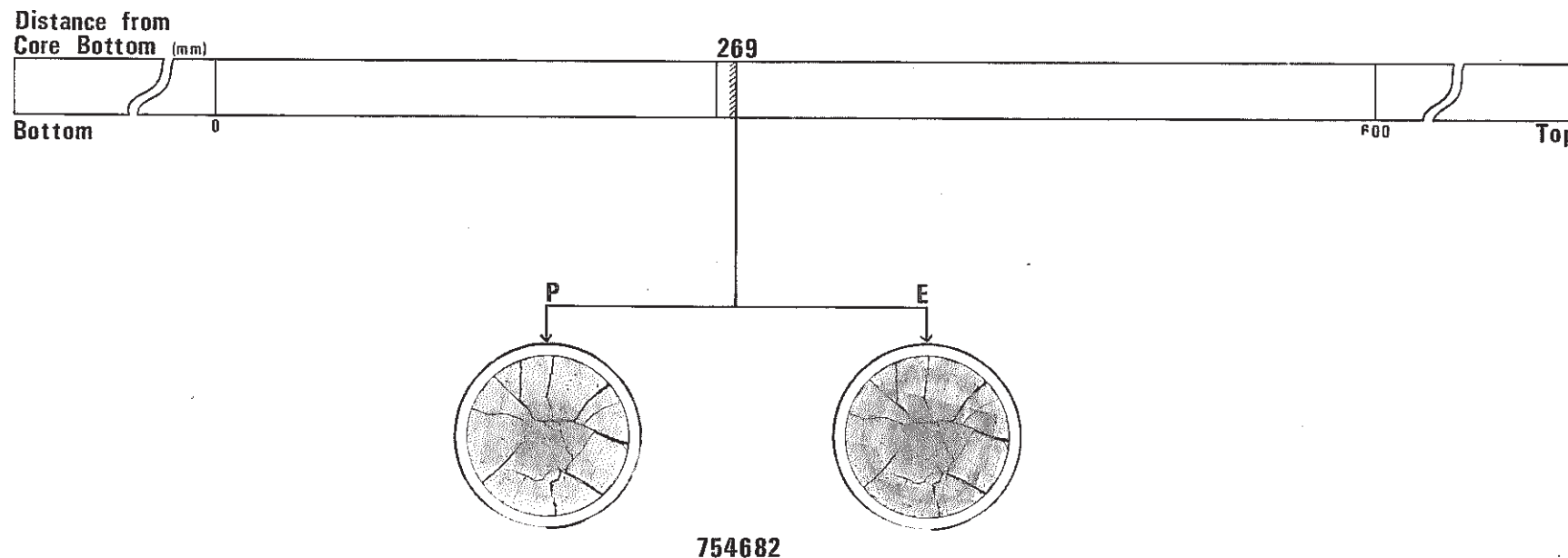


Fig. 29 Burnup radial distribution of subassembly located iD1 position in "JOYO" MK-I core

S/A No.	JOYO-PPJD2S
Pin No.	7546
S/A Peak Burn up	45100MWD/MTM

As polished  
etched

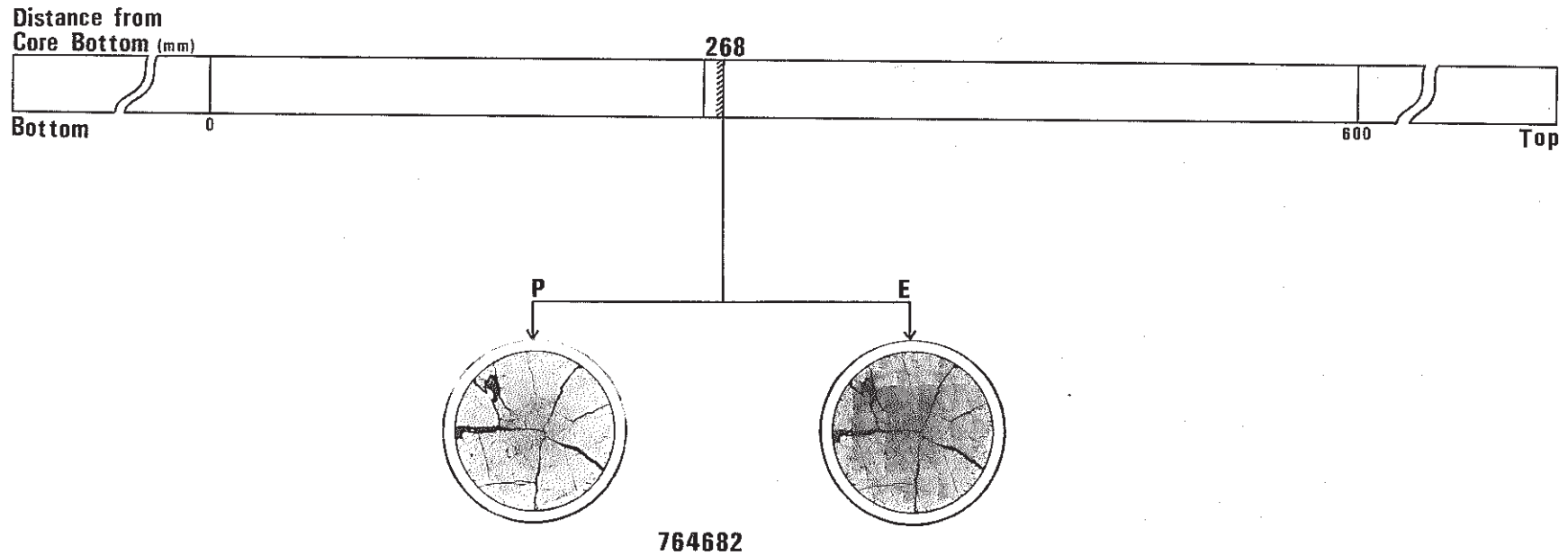


# MACROGRAPHY OF JOYO MK-1 CORE FUEL

Photo 1 Macrographs of "JOYO" PPJD2S core fuel (7546pin)

S/A No.	JOYO-PPJD2Y
Pin No.	7646
S/A Peak Burn up	39800MWD/MTM

As polished  
etched



# MACROGRAPHY OF JOYO MK-1 CORE FUEL

Photo 2 Macrographs of "JOYO" PPJD2Y core fuel (7646 pin)

S/A Name	JOYO-PPJD2S	
Pin No.	7546	
Section No.	754682	
Distance from bottom of pin		731mm
Distance from bottom of core column		269mm

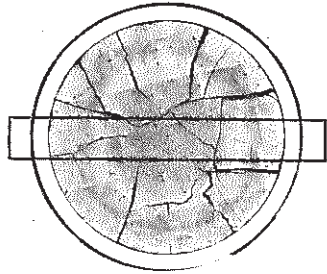
As polished

1mm



# POSTIRRADIATION CERAMOGRAPHY OF JOYO MK-1 CORE FUEL

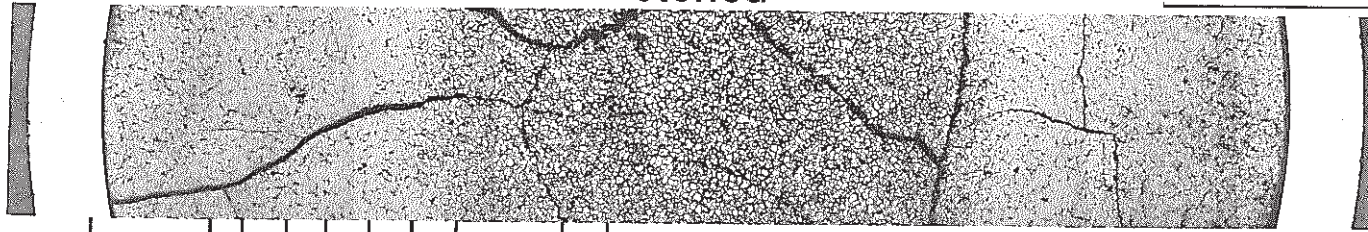
Photo 3 Ceramograph of "JOYO" PPJD2S core fuel  
(754682 sample, as polished)



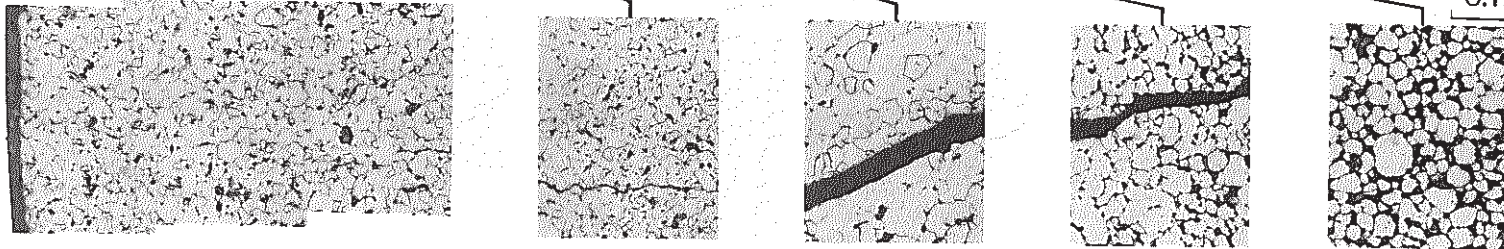
S/A Name	<b>JOYO-PPJD2S</b>	
Pin No.	<b>7546</b>	
Section No.	<b>754682</b>	
Distance from bottom of pin		<b>731mm</b>
Distance from bottom of core column		<b>269mm</b>

etched

1mm



0.1mm



# POSTIRRADIATION CERAMOGRAPHY OF JOYO MK-1 CORE FUEL

Photo 4 Ceramograph of "JOYO" PPJD2S core fuel(754682 sample, etched)

S/A Name	JOYO-PPJD2Y	
Pin No.	7646	
Section No.	764682	
Distance from bottom of pin		730mm
Distance from bottom of core column		268mm

As polished

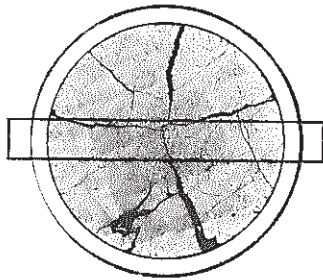
1mm



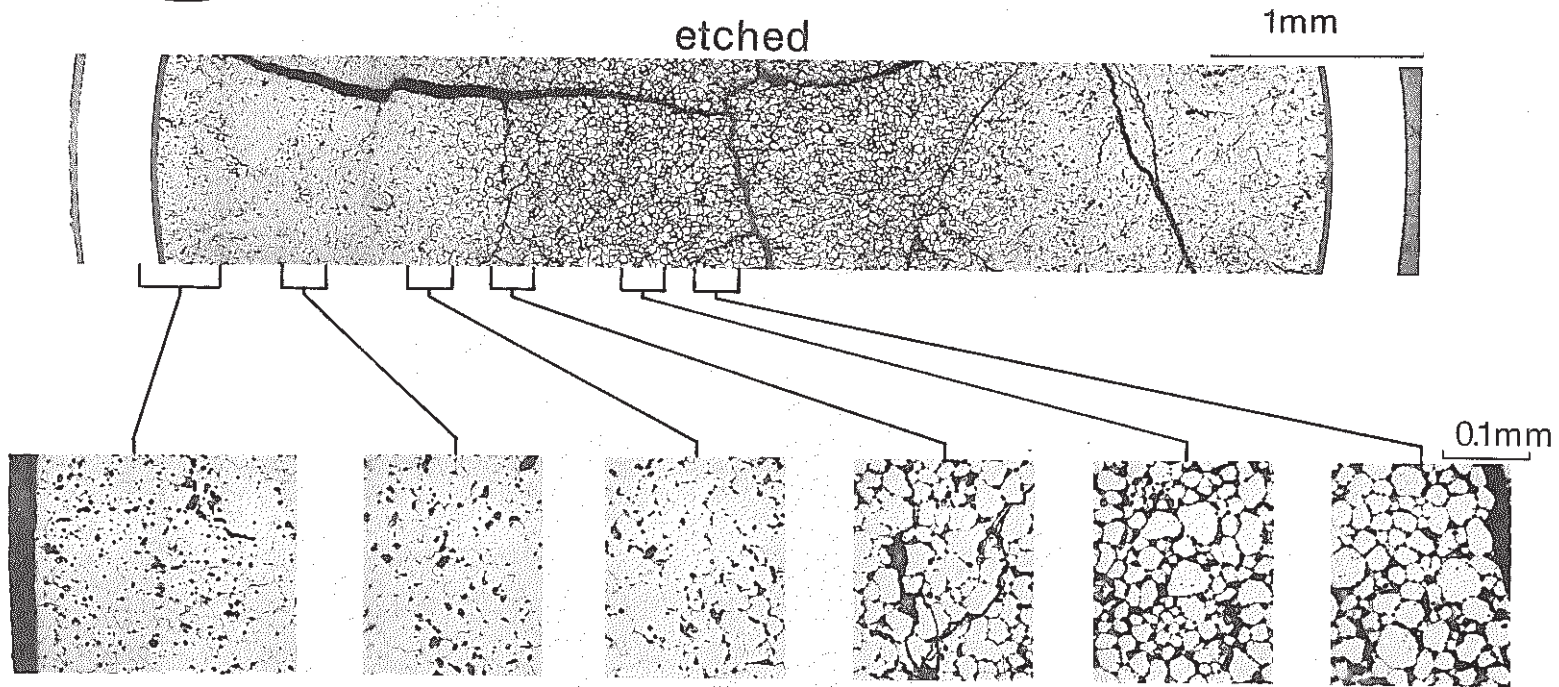
# POSTIRRADIATION CERAMOGRAPHY OF JOYO MK-1 CORE FUEL

Photo 5 Ceramograph of "JOYO" PPJD2Y core fuel  
(764682 sample, as polished)





S/A Name	JOYO - PPJD2Y	
Pin No.	7646	
Section No.	764682	
Distance from bottom of pin	730mm	
Distance from bottom of core column	268mm	



- 64 -

# POSTIRRADIATION CERAMOGRAPHY OF JOYO MK-1 CORE FUEL

Photo 6 Cermograph of "JOYO" PPJD2Y core fuel(764682 sample, etched)