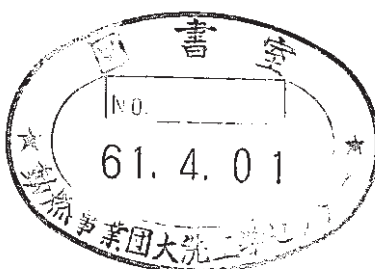


# 「常陽」MK-II炉心燃料集合体 (PFD029) の照射後試験(1)

## 集合体及び燃料要素の非破壊試験



1986年2月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
	PNC TN9410 86-140
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-II炉心燃料集合体(PFD029)の照射後試験(1)

## 集合体及び燃料要素の非破壊試験

実施責任者 田地 弘勝\*

報告者 浅賀 健男\* 長谷川正泰\* 平沢 久夫\*  
榎戸 裕二\*

### 要 旨

「常陽」MK-II炉心燃料集合体「PFD029」照射後試験を実施した。本集合体はMK-II炉出力100MWの出力上昇から定格第6サイクルの間照射したものであり、初装荷炉心燃料中最高の燃焼度を有するものである。照射後試験の目的は炉心燃料集合体及び燃料要素の構造体としての健全性を確認すること及びMK-II運転における集合体及び燃料要素の照射挙動を把握することである。

なお本集合体の燃焼度は集合体平均で43,700MWD/MTMである。

本試験の結果は下記の通りである。

- (1) 集合体及び燃料ピンには損傷は全くなく、変形、変色等も認められず、炉内挙動は正常であり、炉心燃料集合体の構造体としての設計及び製作の妥当性が確認された。
- (2) MK-IIにおける最高燃焼度炉心燃料集合体及び燃料要素の照射挙動を確認し次のような結果を得た。
  - ① ラップ管対面間寸法変化率はMK-Iの場合に比べて大きい。これは冷却材内外圧差の増加、照射温度の上昇等の照射環境の変化による照射クリープ歪の増加がその一因と考えられる。
  - ② 被覆管外径は製造時から全く増加していない。これは冷間加工度をMK-Iの10%から20%へ変更したことにより、被覆管の耐スエリング性が向上したことによると考えられる。
  - ③ F. P. ガス放出挙動(ピン内圧、ガス放出率)はMK-Iと同様の挙動を示した。また設計値を十分下回ることが確認された。
  - ④ 被覆管表面に隣接ピンのワイヤとの干渉による接触跡は一部に見られるが、燃焼の初期から使用末期までその発生量、長さ、巾ともわずかであり、深さもなくMK-II炉心燃料集合体の設計(ピンバンドルのポロシティ/リング比、ワイヤピッチ)の妥当性が確認された。

---

\* 大洗工学センター燃料材料開発部照射燃料集合体試験室(FMS)

## 目 次

1. まえがき .....	1
2. MK-II 炉心燃料集合体の概略 .....	2
3. 照射条件 .....	3
3.1 炉内照射位置 .....	3
3.2 集合体照射条件 .....	3
3.3 ピン照射条件 .....	3
4. 試験結果 .....	4
4.1 試料の取扱い .....	4
4.2 集合体試験 .....	4
4.2.1 外観検査 .....	4
4.2.2 ナトリウム洗浄 .....	4
4.2.3 寸法測定 .....	4
4.2.4 X線ラジオグラフィ .....	5
4.2.5 ラップ管ガンマスキャン .....	5
4.3 ピン試験 .....	6
4.3.1 外観検査 .....	6
4.3.2 X線ラジオグラフィ .....	6
4.3.3 重量測定 .....	6
4.3.4 詳細外観検査 .....	6
4.3.5 寸法測定 .....	7
4.3.6 ガンマスキャン .....	7
4.3.7 パンクチャテスト .....	8
5. 結果の検討 .....	9
5.1 集合体及び燃料要素の健全性評価 .....	9
5.1.1 構造体の健全性 .....	9
5.1.2 燃料ピンの健全性 .....	9
5.2 照射挙動評価 .....	10
5.2.1 ラップ管対面間寸法変化 .....	10
5.2.2 燃料ピン外形形状変化 .....	10
5.2.3 燃料ペレットスタック長変化 .....	11
5.2.4 ピン内圧変化及び F. P. ガス放出率 .....	12



6. ま と め .....	13
7. 参 考 文 献 .....	14

## List of Tables

Table I	Differences in Specifications of Core Fuel Subassembly between MK-I and MK-II .....	15
Table II	Subassembly Irradiation Conditions .....	16
Table III	Pin Parts List .....	17
Table IV	Pin Outer Diameter and Total Length Changes .....	25
Table V	Results of Plenum Gas Analysis .....	26

## List of Figures

Fig. 1	In-Reactor Location of the Subassembly .....	27
Fig. 2	Axial Profile of Burnup of a Center Pin .....	28
Fig. 3	Axial Profile of Linear Heat Rate of a Center Pin .....	29
Fig. 4	Axial Profile of Fuel Temperature of a Center Pin .....	30
Fig. 5	Axial Profile of Fluence and Cladding Temperature of a Center Pin .....	31
Fig. 6	Pins Selected for the Examination .....	32
Fig. 7	Pin Loading Diagram .....	33
Fig. 8	Wrapper Tube Face to Face Distance (A - D Face) .....	34
Fig. 9	Wrapper Tube Face to Face Distance (B - E Face) .....	35
Fig. 10	Wrapper Tube Face to Face Distance (C - F Face) .....	36
Fig. 11	Bowing Vector of the Subassembly .....	37
Fig. 12	Subassembly Surface Temperature at PIE .....	38
Fig. 13	Radial Distribution of Gamma Ray Intensity in the Wrapper Tube ( $^{58}\text{Co}$ , 0.811 MeV) .....	39
Fig. 14	Fuel Stack Length Changes by Pellet Lot No. ....	40
Fig. 15	Pin Weight Changes .....	41
Fig. 16	Axial Profile of a Fuel Pin Outer Diameter .....	42
Fig. 17	Bowing Vectors of Pins .....	43
Fig. 18	Axial Distribution of Gamma-ray Intensity of a Center Pin .....	44
Fig. 19	Radial Distribution of Gamma-ray Intensity in the Sub-assembly ( $^{95}\text{Zr}$ , 0.725MeV).....	45

Fig. 20	$\gamma$ -ray Emission Tomographs of Radionuclides in a Center Pin (Pin No. 9164) .....	46
Fig. 21	Plenum Gas Pressure as a Function of Pin Average Burnup .	47
Fig. 22	Wrapper Tube Face to Face Distance Changes as a Function of the Subassembly Maximum Fluence .....	48
Fig. 23	Wrapper Tube Face to Face Distance Change and 1/3 Swelling Rate at Axial Core Center .....	49
Fig. 24	Axial Distribution of Coolant Pressure Inside of the Wrapper Tube .....	50
Fig. 25	Pin Outer Diameter Changes of MK-I and MK-II Core Fuel Pins as a Function of Subassembly Maximum Fluence .....	51
Fig. 26	Pin Maximum Bowing as a Function of Subassembly Average Fluence .....	52
Fig. 27	Relationship of Porosity / Ring and Wire Pitch on Wear Mark .....	53
Fig. 28	Fuel Stack Length Change of MK-I and MK-II Core Fuel as a Function of Subassembly Average Burnup .....	54
Fig. 29	Plenum Gas Pressure of MK-I and MK-II Core Fuel Pins as a Function of Subassembly Average Burnup .....	55
Fig. 30	Fission Gas Release Rate of MK-I and MK-II Core Fuel Pins as a Function of Subassembly Average Burnup .....	56
Fig. 31	Comparison between Design Value and Measured Value of F.P. Gas Release Rate .....	57

## List of Photographs

Photo. 1	Surface Condition of the Subassembly after Sodium Removal .....	59
Photo. 2	X-ray Radiography of the Subassembly .....	61
Photo. 3	Condition of Fuel Pin Bundle Observed at each Stage of Disassembling .....	63
Photo. 4	Construction Condition inside of the Subassembly Observed by X-ray Radiography .....	65
Photo. 5	Detail Observation of the Gap between the Upper Insulator Pellet and the Core Fuel Stack .....	67
Photo. 6	Contact Mark on a Fuel Pin .....	68

## 1. ま え が き

高速実験炉「常陽」MK-II 照射炉心で照射される炉心燃料集合体の照射後試験は燃焼度をパラメータとして初装荷最大燃焼度 50,000 MWD/MTM まで集合体及び燃料要素の構造体としての健全性及び照射挙動を評価するためのものである。<sup>1)</sup> 今回の炉心燃料集合体「PFD 029」は、MK-II 炉心出力 100 MW の出力上昇から定格出力第 6 サイクルの間照射され、集合体平均燃焼度は 43,700 MWD/MTM と、初装荷炉心燃料中の最高燃焼度を有するものである。

初装荷燃料集合体はこれまで低燃焼度～中燃焼度まで計 4 体が照射後試験に供されており本照射後試験により、燃焼度約 50,000 MWD/MTM までの MK-II 炉心燃料集合体及び燃料要素の設計の妥当性確認、照射挙動に関するデータ取得を行い、「もんじゅ」以降の炉心設計へのデータベースの蓄積、拡充を図ることとしている。<sup>2)～5)</sup>

## 2. MK-II 炉心燃料集合体の概略

MK-II 炉心燃料集合体は127本の燃料ピンを稠密配置で組み、六角形状のラッパー管内に装荷されたもので、ラッパー管上部のハンドリングヘッド部、下方の冷却材導入用エントランスノズル部の主要構造部材から構成されており、集合体の外形形状は基本的にはMK-Iの炉心燃料集合体とほぼ同一である。

燃料ピンは、ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料ペレットを燃料ピン軸方向に長さ550mmに渡り装填し、その上下に長さ12mmの劣化ウランペレット1個を配置させている。MK-Iの場合と異なり、上下部ブランケット燃料ペレットは無く、上部はその分ステンレス鋼製反射体で上部遮蔽体を作っているが、下部にはなくMK-Iの下部ブランケット燃料相当の長さだけ、ピン全長が短くなっている。

燃料被覆管は外径5.5mm $\phi$ 、内径4.8mm $\phi$ 、燃料/ペレット間直径ギャップは公称200 $\mu$ mである。ワイヤの巻きつけ数は同じであるが、ワイヤピッチは209mmでMK-Iよりもかなり小さくなっている。また、バンドル内のポロシティ/リング比は約0.127mmでこれもMK-Iでのポロシティ/リング比0.175mmより小さく、ウェアマークのおこりにくいものとされている。炉心燃料集合体の仕様をMK-I燃料と比較してTable Iに示す。

### 3. 照射条件

#### 3.1 炉内照射位置

照射最終サイクル(100 MW定格出力第6サイクル)における炉内照射位置を Fig 1 に示す。

#### 3.2 集合体照射条件

100 MW出力上昇サイクルから定格出力第6サイクルの間炉内装荷位置 3 E 2 にて照射された。集合体平均燃焼度は 43,700 MWD/MTM, 線出力最大 314 W/cm, 被覆管最高温度約 602 °C である。照射条件を Table II <sup>6)</sup> に示す。

#### 3.3 ピン照射条件

「常陽」炉心要素照射評価システム(ESPRIT-J CODE)による集合体中心ピンの照射条件を Fig. 2 ~ 5 に示す。

## 4. 試験結果

### 4.1 試料の取扱

本集合体は炉サイトでナトリウム洗浄されてキャスク渡りで照射燃料集合体試験施設(FMF)に搬入され、集合体試験として、ナトリウム洗浄、外観検査、寸法測定、X線ラジオグラフィを実施したのち、集合体を解体した。

ラップ管については、ガンマスキャン用試料採取及び部内他室での破壊試験用試料採取を行った。

ピンについては、Fig. 6 に示す内容で試験を実施した。試験後、部内他室での破壊試験用試料の採取のため切断を実施した。集合体内のピン配列及びピン製造時データを Fig. 7 及び Table III に示す。

また、燃料ピン12本を高レベル放射性物質研究施設(CPF)で実施する高速炉燃料再処理試験の供試体として保管している。

### 4.2 集合体試験

#### 4.2.1 外観検査

外観写真を Photo. 1 に示す。

##### (1) 形状変化

目視観察上は、外形形状に変化は認められない。

##### (2) 表面状況

ラップ管表面に浅い縦方向の傷が認められるが健全性には何ら影響のないものである。上部及び中間パッドにも若干の擦り傷が認められるがメッキのはく離、パッドの変形等の異常は認められない。

#### 4.2.2 ナトリウム洗浄

本集合体は炉サイトで洗浄済のため湿り窒素ガスによるスチーム洗浄は実施せず、純水循環洗浄を2回実施した。洗浄廃液のpH値は、6.5とほぼ中性であり、ナトリウム洗浄が、良好であることを示した。洗浄により除去されたナトリウム量は、9.5gであった。また、廃液中には、FP核種及び燃料からの $\alpha$ 放出核種は認められず、燃料ピンが健全であることが推定される。

#### 4.2.3 寸法測定

集合体の対面間寸法、曲り、全長及び表面温度を測定し、照射前後での変化の有無を確認し



た。

(1) 対面間寸法

照射後の軸方向対面間寸法測定結果を照射前測定結果とともに Fig. 8～10 に示す。A-D, B-E, C-F 各 3 対面全てにおいて炉心中心近傍で対面間寸法の増加が認められた。増加量は最大約 400  $\mu\text{m}$  (変化率にして約 0.5%) であり、前回受入れた「PFD 018」と同程度のふくれである。

炉心位置に近い中間パッド部の寸法増加は最大約 140  $\mu\text{m}$  であるが、外観検査の結果では、これによる隣接集合体パッドとの干渉による悪影響は認められない。

(2) 曲り

照射後の曲り量は上部パッド部において 2 mm (曲り方向 338°) であるが、同位置の照射前曲りは 1.8 mm (曲り方向 349°) であり、照射による曲り量の増加はほとんどないと言ってよい。Fig. 11 に中間パッド、上部パッド位置での測定結果を示す。

(3) 全長

照射前の全長 (平均) 2971.2 mm に対し照射後 2970.6 mm であり、その差 -0.6 mm は有意差 ( $\pm 1.0$  mm) を越えておらず、照射前後で全長に有意な変化はない。

(4) 表面温度

寸法測定装置の測定部に装着した接触式温度計を用いて実施した。

集合体表面温度は、炉心中心付近より上部パッドにおいて、エントランスノズル付近に対し、約 14  $^{\circ}\text{C}$  の上昇が認められた。測定結果を Fig. 12 に示す。

#### 4.2.4 X線ラジオグラフィ

集合体内部への異物の混入、バンドル配列の乱れ、ねじれ等は観察されなかった。

X線写真を Photo. 2 に示す。

#### 4.2.5 ラップ管ガンマスキャン

炉心燃料集合体の炉心中心方位を求めるため、炉心中心高さ付近に位置するラップ管の放射化核種の周方向の強度分布測定を実施した。測定結果を Fig. 13 に示す。

放射化核種のうち、中性子エネルギーの実効しきい値が高い  $^{58}\text{Co}$  及び  $^{54}\text{Mn}$  に着目すると最大強度を示す方向は F 面のやや MAX KEY 寄りとなる。実験炉部推定の炉心中心方向は MAX KEY からやや E 面側に寄った方向であり 30° 程度の差がある。実験炉部推定炉心方向は炉頂部写真からも正しいものと判断されることから、ずれが生じた原因として本集合体の D 面に隣接して制御棒が装荷されておりこれによる影響があるものと思われる。以降のピン選択試験ではこのずれを考慮し、E-F 面コーナーを横切る対角線から対象ピンを選択した。

### 4.3 ピン試験結果

#### 4.3.1 外観検査

ピン外観をピンバンドル状態で観察した。観察結果を Photo. 3 に示す。

まず、ピン表面のナトリウム洗浄状態は良好であった。また、ピン表面には変色、付着物は認められず、全体として清浄な表面状態を呈していた。

一方、ほぼ全ピンにわたって被覆管表面に隣接ピンのワイヤとの干渉による接触跡が観察されたが、寸法的に小さく、接触跡の数、巾に関して先行の炉心燃料集合体 4 体の場合と同様であった。

ラッパ管を引き抜いた状態で外周ピンに多少の曲りが認められたが、ラッピングワイヤのゆるみは認められなかった。

#### 4.3.2 X線ラジオグラフィ

全数の X 線写真を実施した結果、全ピンにスプリングのへたりが認められた以外、ピン内部の配列の異常及び異物の混入等の特異な状態は認められない。但し、9163 及び 9186 ピンにおいて上部インシュレータペレットと炉心ペレットの境界部に約 1 mm のギャップがあり、この部分にペレットの欠けのような異物が認められた。この 2 ピンについて 0°、90° の 2 方向から再度 X 線撮影を実施した結果 9186 ピンの炉心ペレットに欠けが認められた。9186 ピンについてはギャップ近傍を試料採取し技術解析室 (AES) で破壊試験を実施することとした。

ピン X 線ラジオグラフィの代表例として中心列の X 線写真を Photo. 4 に、また 9163、9186 ピンの詳細 X 線写真を Photo. 5 に示す。

また、照射前後の燃料スタック長を比較した場合、照射前に比べ概ね増加していた。スタック長の変化量は全体で -0.8 mm ~ +2.8 mm の範囲にあり平均で約 1.0 mm の増加量である。ペレット製造ロット毎ではロット No. FM 2040 で平均 +1.6 mm、FM 2044 で平均 +1.1 mm、FM 2046 で平均 +0.7 mm の増加であった。スタック長測定結果を Fig. 14 に示す。

#### 4.3.3 重量測定

91A8 ピンで有意差 ( $\pm 0.7$  g) を越える 1.4 g の重量減少が認められた。その他のピンについては、照射前後の重量差に有意な重量変化は認められなかった。91A8 ピンについてはパンクチャ試験を実施し、その健全性を確認することとした。

照射前後の重量変化を Fig. 15 に示す。

上部端栓 No. 確認の結果、装荷位置と端栓 No. の対応は全て製造記録と一致していた。

#### 4.3.4 詳細外観検査

対象燃料ピン 5 本のうち 2 本をワイヤが付いた状態で観察し、残りをワイヤを取り除いた状

態で燃料ピンの被覆管と隣接するワイヤとの干渉による接触跡の観察を実施した。

被覆管上の接触跡については、数、巾とも小さく、深さもほとんどない。

最大と思われる接触跡の長さ、巾について測定した結果を下表、及び Photo.6 に示す。

	ピン No.	長さ(mm)	幅(mm)
被 覆 管	9161	1.2	0.9
ラッピングワイヤ	9161	0.2	0.3

#### 4.3.5 寸法測定

対象ピンは、直径及び全長測定 10 本、曲り測定 13 本をワイヤを取り除いた状態で実施した。

##### (1) 全 長

照射前後で有意な変化 ( $\pm 1.0$  mm) は認められない。ピン全長の照射前後の変化量を Table IV に示す。

##### (2) 直径測定

被覆管にはふくれ等の有意な変化は認められない。炉心中心位置近傍における外径の照射前後の変化量を Table IV に示す。軸方向外径プロファイルの代表例として 9170 ピンの測定結果を Fig.16 に示す。9162, 9164, 9165 ピンについては照射前データが取得されていないため照射前後の比較ができなかった。

##### (3) 曲り測定

最大曲りは 9125 ピンの 23 mm であった。曲り方向は集合体外周方向に曲っており従来と同様の傾向である。測定結果を Fig.17 に示す。

#### 4.3.6 ガンマスキャン

##### (1) 軸方向スキャン

燃料ピン 7 本について実施し、そのうち集合体中心ピンについての軸方向 FP 核種及び放射化核種の計数率分布を測定した結果を Fig.18 に示す。各核種ともスムーズな連続カーブを描き、ピン内部構成及び燃焼特性に異常のないことを示している。(  $^{95}\text{Zr}$  は原子炉最終サイクルの出力分布を示し、また  $^{106}\text{Rh}$  は Pu の軸方向核分裂率分布に近い分布を示している。)  $^{137}\text{Cs}$  については軸方向への顕著な移動は認められない。

また軸方向ピーキング係数は 1.14 ~ 1.16 であり「MAGI」による計算結果<sup>6)</sup> 1.164 とほぼ一致する。

##### (2) $\gamma$ 線スペクトロメトリー

集合体の径方向ピーキング係数及び燃焼度分布等を集合体のコーナーピン 6 本と



と中心ピン1本の計7本について軸方向定点 $\gamma$ 線スペクトル測定を実施し計数率の相互比較をした。その結果、径方向分布に特異なピークは認められず、集合体内で均一な燃焼分布を示したことがわかった。炉心軸方向中心位置での測定結果をFig. 19に示す。

径方向ピーキング係数は $^{95}\text{Zr}$ 、 $^{106}\text{Rh}$ について各々1.08、1.07の値が得られているが、「MAGI」による計算結果<sup>6)</sup>1.098を若干下回っている。

### (3) 燃料ピン径方向スキャン

中心ピンの燃料部中心位置について横断面FP核種分布測定結果をFig. 20に示す。

$^{137}\text{Cs}$ はこれまでの炉心燃料の場合と同様ペレット外周及びペレット-被覆管間のギャップに移動蓄積していることが認められる。 $^{95}\text{Zr}$ 、 $^{106}\text{Rh}$ は燃料ペレット内にほぼ均一に分布しており、先行の「PFD 001」で認められた中心空孔を示すペレット中心付近での計数率の落ち込みが認められないことから、線出力の低い本集合体では中心空孔は生じていないか、あってもその径は小さいものと思われる。

## 4.3.7 パンクチャテスト

燃料ピン12本のプレナムガス圧測定を行い、うち4本についてガス分析測定を実施した。測定結果をTable Vに示す。

### (1) プレナムガス圧

プレナムガス圧は、3,530～4,330 Torr (0°C)の範囲であった。測定結果をピン平均燃焼度で整理してFig. 21に示す。ピン重量測定で有意な重量変化があった91A8ピンは妥当なガス圧を示しており破損が生じていないことが確認された。

### (2) ガス分析

ガス成分比(モル比)はピン平均で、 $\text{Kr} : \text{Xe} : \text{He} = 6.9 : 69.9 : 23.2$ であった。

### (3) ガス放出率

ガス放出率は、38.1～49.4%の範囲であった。燃料ピン1本当りのFPガス生成量( $\text{Kr} + \text{Xe}$ )は次式より求めた。

$$\text{FPガス生成量} (\text{cm}^3 \cdot \text{std}) = 19.7 \times \text{Bu.}^{7)}$$

$$\text{Bu} : \text{S/A 燃焼度} (\text{atom} \%)$$

## 5. 結果の検討

### 5.1 集合体及び燃料要素の健全性評価

集合体及び燃料ピンに異常な変形、変色等は全く認められず、炉内では設計通りの熱的及び流動特性を本集合体は有していたものと推定される。照射後試験で確認された集合体及び燃料ピンの健全性について、下記にまとめる。

#### 5.1.1 集合体の健全性

集合体に関しては、ラッパ管、パッド部に多少擦り傷はあるものの、変形、破損等は認められず、また内部状況の観察でもバンドル配列の乱れ、燃料ピン支持構造の異常は生じていないことが確認された。寸法変化のうち曲りについては照射前後でほとんど変化が認められないものの、ラッパ管炉心中心付近で対面間寸法の最大 400  $\mu\text{m}$  の増加、中間パッド部で最大 140  $\mu\text{m}$  の増加が認められた。ラッパ管の対面間寸法増加量については、中間パッドの高さを十分下回っており燃料装脱荷時に隣接集合体との干渉が生じる恐れはない。また中間パッド部の寸法増加については、隣接集合体パッド部との接触圧を増加させる要因となるが、パッド部の外観には特に異常は認められず、また炉心からの脱荷も問題なく行われており、この程度の寸法変化は集合体の健全性に影響を与えるようなものではないと判断される。

#### 5.1.2 燃料ピンの健全性

ナトリウム洗浄廃液分析結果でFP核種及び $\alpha$ 線放出核種が検出されなかったこと、ピン重量測定では1本のピン(91A8ピン)について異常データが認められたがパンクチャテストによる内圧測定では破損を示すようなデータが得られていないことから、ピンの健全性が確認された。91A8ピンのピン重量測定データ異常については、その原因は不明である。

燃料ピンの内部構成についてもX線ラジオグラフィの結果、一部ペレットの微小な欠けが認められた以外、その内部配列に異常は認められずペレット等が正常に装荷されていることを確認した。

燃料ピンの軸方向の燃焼については、 $\gamma$ スキャン結果より燃料出力分布の指標核種 $^{106}\text{Rh}$ 、 $^{95}\text{Zr}$ 等は炉心燃料部の軸方向に連続的なサインカーブを描き、炉内では中性子束分布通りに燃焼していたことが確認された。また集合体径方向の燃焼分布についても $\gamma$ スキャン結果より算出したピーキング係数は約1.08であり、径方向の燃焼分布勾配は平坦で特異なピークも認められない。

これらのことから、燃料ピンは炉内で健全な状態であったことが確認できた。

## 5.2 照射挙動評価

初装荷最高燃焼度集合体の照射挙動について、これまでに照射後試験に供された低・中燃焼度炉心燃料集合体4体の照射挙動データとの比較も含めて評価した。結果を以下に示す。

### 5.2.1 ラップ管対面間寸法変化

Fig. 22 に炉心中心位置における MK-I 及び MK-II 炉心燃料集合体ラップ管の対面間寸法変化量を集合体最大中性子照射量で整理して示す。図より中性子照射量  $3.0 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$  までは増加量は小さく MK-I と MK-II に大きな差はないが  $5.0 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$  を越える照射量から明らかな寸法増加を示し、また MK-II の増加量が MK-I のそれを上回ることがわかる。ラップ管の対面間寸法増加については、材料のスエリング歪と冷却材内外圧差を主要な応力源とする照射クリープによる歪の和として表わされることが MK-I 炉心燃料集合体の照射挙動解析結果よりわかっている。Fig. 23 は MK-I, MK-II のラップ管対面間変化率と MK-I の  $1/3$  スエリング率の照射量依存性を示すものであり、寸法変化率と  $1/3$  スエリング率との差が照射クリープ歪の寄与分を示す。MK-I についてはスエリング歪と照射クリープ歪が同程度であることが読み取れる。MK-II についてはラップ管材のスエリング測定データがまだ得られていないので照射クリープ歪の程度を正確には評価できないが、ラップ管材料として耐スエリング性の良好な 20% C. W. SUS 316 相当鋼を使用しており、寸法増加へのスエリング歪の寄与は MK-I よりも小さいか大きくても MK-I 並みと考えられる。従って MK-II ラップ管における対面間寸法増加には照射クリープ歪の寄与が大きいのではないかと考えられる。照射クリープ歪が大きい要因としては、材料自体の照射クリープ特性、照射温度、冷却材内外圧差が挙げられる。このうち冷却材内外圧差<sup>8)</sup>については Fig. 24 に示すように MK-II 集合体での内圧が MK-I 集合体のそれを上回っており第3列の軸方向中心位置で MK-II は MK-I の約 3.7 倍の圧力増となる。照射クリープ歪が応力の関数で表せることを考えると、この内外圧差の上昇が照射クリープ歪に影響を与えたことは十分に考えられる。照射温度については運転中の炉心中心付近のラップ管温度は MK-I で  $410 \sim 420^\circ\text{C}$ 、MK-II で  $430 \sim 440^\circ\text{C}$  であり  $20^\circ\text{C}$  程度の温度差では両者の照射クリープ歪の違いは小さいものと思われる。材料自体の照射クリープ特性は非破壊試験結果からは評価できない。また照射クリープ歪を正確に把握するには材料のスエリング歪を測定する必要があるので、詳細な原因究明はこれらのデータが取得された後実施する必要がある。

### 5.2.2 ピン外形形状変化

#### ① 被覆管外径

Fig. 25 に被覆管外径変化率の中性子照射量依存性を MK-I 炉心燃料ピンと比較して示す。MK-I 炉心燃料ピンが使用末期で若干の増加傾向を示すのに対して、MK-II 炉心燃



料ピンは全く外径寸法に変化が生じておらず冷間加工度を増加させて耐スエリング性向上を図った効果が認められた。国産 20 % C. W. SUS 316 相当鋼のスエリング特性は 50 年度試作「もんじゅ」被覆管のフランス・フェニックス炉での照射試験の結果、 $1.3 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2$  までスエリングを生じないことが確認されており、<sup>9)</sup>これと同等またはそれ以上の耐スエリング特性が期待される MK-II 炉心燃料ピン被覆管では、設計使用期間末期 ( $7 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ ) ではまだスエリングの潜伏期間内にあるものと考えられる。MK-II 炉心燃料被覆管の設計使用末期の最大膨張量は約 3% と評価されており、<sup>10)</sup>実測値はこれを十分下回っている。

#### ② 残留湾曲量

Fig. 26 にピン残留湾曲量の照射量依存性を示す。ピン残留湾曲量は照射の進展に伴い、MK-I 同様漸増するが、高照射量側では MK-I よりも量的に小さくなる。これは MK-I のピン全長 1910 mm に比べ MK-II が 1533 mm と短尺であることが関与していると思われる。

#### ③ ラッピングワイヤのスエリング挙動

MK-I 炉心燃料ピンにおいては照射の進展に伴いラッピングワイヤのゆるみ現象が認められた。この原因についてはラッピングワイヤと被覆管のスエリング測定の結果、溶体化処理材を使用するラッピングワイヤのスエリングが 10% 冷間加工材を使用する被覆管のそれよりも大きいことによるスエリング差によって生じることが判明した。従って MK-II 炉心燃料ピンでは被覆管、ワイヤ共 20% 冷間加工材を採用しスエリング差を生じさせないような設計になっている。燃料ピン外観検査では、Photo. 3 に示すように最高燃焼度燃料ピンについてもラッピングワイヤのゆるみ現象は認められておらず、設計の妥当性が証明された。

#### ④ 被覆管表面状況

MK-I 炉心燃料ピンでは流力振動に起因すると思われる被覆管と隣接ピン・ラッピングワイヤとの相互作用により被覆管に“ウエアマーク”が発生した。この原因としては Fig. 27 に示すようにラッピングワイヤピッチ、ポロシティ/リング比の 2 つの製造仕様がウエアマーク発生に密接に関連することが MK-I 末期に製造・照射された改造型炉心燃料集合体の照射後試験の結果確認されている。<sup>11)</sup>従って MK-II ではラッピングワイヤピッチを MK-I の 266 mm から 209 mm に、またバンドルのタイトさを示すポロシティ/リング比を MK-I の 0.175 mm から 0.127 mm とよりタイトに製造するように設計変更している。被覆管表面の詳細外観検査では Photo. 6 に代表されるように、低燃焼度から高燃焼度燃料ピンまで単なる接触によって生じた浅い接触跡は認められるものの、MK-I で認められたウエアマーク状の表面傷は一切認められず Fig. 27 に示すウエアマーク発生マップの妥当性が確認された。

### 5.2.3 スタック長変化

Fig. 28 に燃料スタック長変化量 (集合体毎平均値) の燃焼度依存性を MK-I 炉心燃料と比

較して示す。MK-II炉心燃料は、MK-I炉心燃料が低燃焼度での燃焼スタック長変化がほとんど認められないのに比べ明らかに燃きしめる傾向を示す。MK-II炉心燃料の燃きしめり挙動については現在調査中であるが、ペレット製造条件（焼結条件、ペレット密度）、線出力密度が影響しているものと推定される。

またMK-II炉心燃料のスタック長変化では一部の集合体（「PFD001」、「PFD018」）においてペレット製造ロットによるスタック長変化量の違いが認められたが、「PFD029」については、ペレット製造ロットによるスタック長変化の顕著な差は認められなかった。このスタック長変化におけるペレットロット依存性についても現在調査中であるが、製造ロット間で焼結条件、ペレット密度、結晶粒径、O/M比等に著しい差は認められないことから、気孔率や気孔径分布等ミクロな部分での違いがロット間の挙動差として表われているのではないかと推定される。

#### 5.2.4 ピン内圧変化及びピン内ガス放出率

Fig. 29 にピン内圧の燃焼度依存性をMK-I炉心燃料と比較して示す。MK-II炉心燃料のピン内圧は燃焼度の進展とともに単調に増加する傾向を示している。MK-Iと比べ同一燃焼度で低いガス内圧を示すが、これはピン1本当りの核分裂性物質重量がMK-Iよりも小さいこと、及び燃料温度がMK-Iよりも高温になるのでプレナム容積をMK-I並みにとっているためと推定される。MK-II炉心燃料ピン設計使用期間末期の運転時の内圧は $50 \text{ kg/cm}^2$ と評価されているが、<sup>10)</sup>今回測定されたガス圧の最大値 $4330 \text{ Torr (at } 0^\circ\text{C)}$ は運転中（プレナム温度 $600^\circ\text{C}$ ）に換算すると約 $19 \text{ kg/cm}^2$ であり設計値を十分下回る。

Fig. 30 にF. P. ガス放出率の燃焼度依存性をMK-I炉心燃料と比較して示す。MK-II炉心燃料はMK-I炉心燃料に比べピン線出力が大きく燃料温度が高温になりMK-Iより高い放出率を示すものと予想されたが、測定結果はほぼMK-Iと同様の放出挙動を示していると言える。Fig. 31 はMK-II炉心燃料のF. P. ガス放出率を設計値<sup>10)</sup>と比較したものであるが全燃焼度領域で実測値が設計値を下回っており設計が妥当であったことが確認された。



## 6. ま と め

「常陽」MK-II照射炉心で100MW出力上昇から定格第6サイクルの間照射された炉心燃料集合体「PFD029」の照射後試験を実施した。本集合体は初装荷炉心燃料集合体中、最高の燃焼度（集合体平均：43,700 MWD/MTM）を有する集合体であり、本集合体の照射後試験によって燃焼度をパラメータとして初装荷炉心燃料集合体の健全性確認、照射挙動データの取得を目的とする第1次モニタリング計画は終了する。

本試験の結果は下記の通りである。

- (1) 集合体及び燃料ピンには損傷は全くなく、変形、変色等も認められず炉内挙動は正常であり、炉心燃料集合体の構造体としての設計及び製作の妥当性が確認された。
- (2) MK-IIにおける初装荷最高燃焼度炉心燃料集合体及び燃料要素の照射挙動を確認し、次のような結果を得た。
  - ① ラップ管対面間寸法変化率はMK-Iの場合に比べ大きい。これは冷却材内外圧差の増加、照射温度の上昇等の照射環境の変化による照射クリープ歪の増加がその一因と考えられる。
  - ② 被覆管外径は製造時から全く増加していないことから、20%冷間加工SUS316相当鋼被覆管の耐スエリング特性は良好であると判断される。
  - ③ F.P.ガス放出挙動（ピン内圧、ガス放出率）はほぼMK-Iと同様な挙動を示し、また設計値を十分下回ることが確認された。
  - ④ 被覆管表面に隣接ピンのワイヤとの干渉による接触跡は一部に認められるが、燃焼の初期から使用末期までその発生量、長さ、巾ともわずかであり、深さもなくMK-II炉心燃料集合体の設計（ピンバンドルのポロシティ/リング比、ラッピングワイヤピッチ）の妥当性が確認された。

## 7. 参 考 文 献

- 1) 鹿倉他：「常陽」MK-II 炉心構成要素照射後試験基本計画  
PNC N 908 83 - 01, 1983年7月
- 2) 田地他：「常陽」MK-II 炉心燃料集合体 (PFD010) の照射後試験 (I)  
PNC I 941 84 - 03, 1984年11月
- 3) 田地他：「常陽」MK-II 炉心燃料集合体 (PFD003) の照射後試験 (I)  
PNC I 941 85 - 10, 1985年5月
- 4) 田地他：「常陽」MK-II 炉心燃料集合体 (PFD001) の照射後試験 (I)  
印刷中
- 5) 田地他：「常陽」MK-II 炉心燃料集合体 (PFD018) の照射後試験 (I)  
印刷中
- 6) 実験炉部：「常陽」照射試験サイクル報 (第6サイクル)  
PNC SN 936 84 - 05, 1985年3月
- 7) 燃材部部内資料：MK-II 燃料FP ガス放出率の暫定的算出  
AES テクニカルメモ 83 (AES) 66
- 8) 実験炉部部内資料：MK-II 炉心燃料集合体ラッパ管内圧  
技術課メモ 59 - JY支 - 13
- 9) 野村他：Phenix - P 2 の照射後試験 (I)  
PNC SN 941 83 - 78, 1983年6月
- 10) 大洗工学センター：原子炉設置変更許可申請書 (高速実験炉設置変更 その9)  
1983年9月
- 11) FBR開発本部：高速実験炉「常陽」炉心燃料被覆管のウェアマークに関する R & D 成果 (II)  
と計画  
PNC SN 241 82 - 19, 1982年9月

Table I Differences in Specifications of Core Fuel Subassembly between MK-I and MK-II

項 目	MK-II	MK-I	単 位	備 考
燃料集合体				
全 長	2970	2970	mm	
燃料ピン配列ピッチ	6.47	7.6	mm	
燃料ピン本数	127	91	本	
全重量	約57	約60	kg	
ラッパー管				
全 長	1786	2160	mm	
外側対面間距離	78.5	78.5	mm	
内側対面間距離	74.7	74.7	mm	
厚 さ	1.9	1.9	mm	* 1 冷間加工 20 %
材 質	SUS 316 * 1	SUS 316 * 2		* 2 冷間加工 10 %
燃料ピン				
全 長	1533	1910	mm	
炉心燃料部				
燃料組成	$\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$	$\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$		
プルトニウム富化度	30	17.7	重量%	
ウラン235濃縮度	12.0	23	重量%	
プルトニウム組成比 (Pu 239 + Pu 241 / Pu)	> 74.9	> 80.3	重量%	
炉心部長さ	550	600	mm	
ペレット				
直 径	4.63	5.4	mm	
長 さ	9	10	mm	
密 度	93	94	% TD	
インシュレータペレット				
燃料組成	劣化 $\text{UO}_2$			
ペレット部長さ	12		mm	
ペレット				
直 径	4.6		mm	
長 さ	12		mm	
密 度	94		% TD	
上部反射体				
直 径	4.5		mm	
長 さ	100 × 3		mm	
材 質	SUS 316			冷間加工 20 %
被覆管				
長 さ	1439	1825	mm	
外 径	5.5	6.3	mm	
内 径	4.8	5.6	mm	
肉 厚	0.35	0.35	mm	* 3 冷間加工 20 %
材 質	SUS 316 * 3	SUS 316 * 4		* 4 冷間加工 10 %
スパーサワイヤー				
ワイヤ径	0.9	1.2	mm	
ラッピングピッチ	209	266	mm	
材 質	SUS 316 * 5	SUS 316 * 6		* 5 冷間加工 20 %
プレナム容積	9.3	8.79	CC	* 6 溶体化処理
エントランスノズル全長	1120	750	mm	
ハンドリングヘッド全長	114	114	mm	

Table II Subassembly Irradiation Conditions

集合体番号 PFD 029

サ イ ク ル			0	1	2	3	4	5	6	
装 荷 位 置			3 E 2							
燃 焼 度	ポイント最大		MWD/T	5,200	13,200	21,400	29,200	36,600	44,300	51,900
	集合体平均		MWD/T	4,400	11,000	17,800	24,400	30,700	37,300	43,700
積算中性子照射量	En ≥ 0.1 MeV	ポイント最大	× 10 <sup>20</sup> n/cm <sup>2</sup>	64.6	165	270	372	470	568	671
		集合体平均	× 10 <sup>20</sup> n/cm <sup>2</sup>	53.1	135	220	304	386	465	550
	Total	ポイント最大	× 10 <sup>20</sup> n/cm <sup>2</sup>	92.2	236	386	532	674	813	961
		集合体平均	× 10 <sup>20</sup> n/cm <sup>2</sup>	76.7	195	318	440	558	674	796
線 出 力	B O C	ポイント最大	W/cm	312	314	305	301	295	293	286
		集合体平均	W/cm	241	236	231	232	228	226	221
	E O C	ポイント最大	W/cm	310	310	300	297	291	289	283
		集合体平均	W/cm	241	237	232	233	228	226	221
被覆管最高温度	B O C		°C	602	593	591	593	591	592	585
	E O C		°C	602	594	592	594	592	593	587
燃料最高温度	B O C		°C	1,927	1,927	1,887	1,879	1,849	1,844	1,812
	E O C		°C	1,921	1,914	1,873	1,860	1,831	1,825	1,793
集合体出口温度	B O C		°C	544	535	534	535	534	534	529
	E O C		°C	544	536	534	535	534	534	529
ピーキング係数	B O C	径方向	—	1.086	1.097	1.097	1.095	1.095	1.098	1.100
		軸方向	—	1.192	1.211	1.203	1.185	1.181	1.180	1.179
	E O C	径方向	—	1.085	1.095	1.095	1.094	1.093	1.097	1.098
		軸方向	—	1.189	1.194	1.184	1.169	1.166	1.165	1.164
冷却材流量	B O C		kg/sec	7.6	7.8	7.7	7.8	7.7	7.7	7.7
	E O C		kg/sec	7.6	7.8	7.7	7.8	7.7	7.7	7.7
備 考										

Table III Pin Parts List

\*\*\*\*\*  
 \* FUEL PIN PARTS LIST (1/2) \*  
 \*\*\*\*\*

S/A NO = PFD029

LOCATION	PIN NO	U.F.P NO	CLADDING TUBE		WRAPPING WIRE		U.E.P	L.E.P	ROD FOR (LOW.) LOT NO	END PLUG (UPP.) LOT NO	PLEN. SLEEVE ASSEMBLY LOT NO	SLEEVE LOT NO	DISK LOT NO
			LOT NO	PROD. NO	LOT NO	LEEL NO							
001	03346	03301	K005	K02094	T002	T00078	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
002	03345	03300	K005	K02102	T002	T00078	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
003	03344	03299	K005	K02088	T002	T00078	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
004	03343	03298	K005	K02166	T002	T00078	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
005	03342	03297	K005	K02103	T002	T00078	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
006	03341	03296	K005	K02178	T002	T00078	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
007	03340	03295	K005	K02096	T002	T00078	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
008	03339	03294	K005	K02089	T002	T00078	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
009	03338	03293	K005	K02171	T002	T00078	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
010	03337	03292	K005	K02090	T002	T00078	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
011	03336	03291	K005	K02105	T002	T00078	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
012	03335	03290	K005	K02106	T002	T00078	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
013	03334	03289	K005	K02085	T002	T00078	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
014	03333	03288	K005	K02101	T002	T00078	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
015	03332	03287	K005	K02087	T002	T00078	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
016	03330	03286	K008	K04099	T002	T00078	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
017	03329	03285	K008	K04102	T002	T00078	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
018	03328	03284	K008	K04101	T002	T00078	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
019	03327	03283	K008	K04100	T002	T00078	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
020	03326	03282	K008	K04080	T002	T00078	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
021	03841	03791	K008	K04066	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
022	03840	03790	K008	K04072	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
023	03839	03789	K008	K04067	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
024	03838	03788	K008	K04073	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
025	03837	03787	K008	K04068	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
026	03836	03786	K008	K04071	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
027	03835	03785	K008	K04065	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
028	03833	03784	K008	K04053	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
029	03832	03783	K008	K04063	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
030	03831	03782	K008	K04055	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
031	03830	03781	K008	K04052	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
032	03829	03780	K008	K04060	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
033	03828	03779	K008	K04061	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
034	03827	03778	K008	K04056	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
035	03826	03777	K008	K04057	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001



Table III Continued

\*\*\*\*\*  
 \* FUEL PIN PARTS LIST (1/2) \*  
 \*\*\*\*\*

S/A NO = PFD029

LOCATION	PIN NO	U.E.P NO	CLADDING TUBE		WRAPPING WIRE		U.E.P	L.E.P	POD FOR END PLUG		PLEN. SLEEVE ASSEMBLY	SLEEVE LOT NO	DISK LOT NO
			LOT NO	PROD. NO	LOT NO	LEEL NO			LOT NO	LOT NO			
036	03825	03776	K008	K04058	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
037	03824	03775	K008	K04036	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
038	03823	03774	K008	K04043	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
039	03822	03773	K008	K04046	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
040	03821	03772	K008	K04038	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
041	03820	03771	K008	K04035	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
042	03819	03770	K008	K04031	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
043	03817	03769	K008	K04021	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
044	03816	03768	K007	K03918	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
045	03865	03817	K005	K01962	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
046	03864	03816	K005	K01942	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
047	03863	03815	K005	K01954	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
048	03862	03814	K005	K01963	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
049	03861	03813	K005	K01952	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
050	03860	03812	K005	K01953	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
051	03859	03811	K005	K01960	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
052	03858	03810	K005	K01951	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
053	03857	03809	K005	K01943	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
054	03856	03808	K005	K01935	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
055	03854	03806	K005	K01929	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
056	03853	03805	K005	K01938	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
057	03852	03804	K005	K01941	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
058	03851	03803	K005	K01940	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
059	03849	03801	K005	K01928	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
060	03848	03800	K005	K01939	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
061	03847	03799	K005	K01925	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
062	03846	03798	K005	K01931	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
063	03845	03797	K005	K01926	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
064	03844	03796	K005	K01936	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
065	03843	03795	K005	K01933	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
066	03842	03794	K008	K04070	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
067	03890	03841	K005	K02100	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
068	03889	03840	K005	K02099	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
069	03888	03839	K005	K02098	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
070	03887	03838	K005	K02097	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001

Table III Continued

S/A NO = PFD029

\*\*\*\*\*  
 \* FUEL PIN PARTS LIST (1/2) \*  
 \*\*\*\*\*

LOCATION	PIN NO	U.E.P NO	CLADDING TUBE		WRAPPING WIRE		U.E.P LOT NO	L.E.P LOT NO	ROD FOR (LOW.) LOT NO	END PLUG (UPP.) LOT NO	PLEN. SLEEVE ASSEMBLY LOT NO	SLEEVE LOT NO	DISK LOT NO
			LOT NO	PROD. NO	LOT NO	LEFL NO							
071	03886	03837	K005	K02095	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
072	03885	03836	K005	K02093	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
073	03884	03835	K005	K02092	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
074	03883	03834	K005	K02091	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
075	03882	03833	K005	K02066	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
076	03881	03832	K005	K02069	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
077	03880	03831	K005	K02063	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
078	03879	03830	K005	K02073	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
079	03878	03829	K005	K02071	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
080	03877	03828	K005	K02064	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
081	03876	03827	K005	K02065	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
082	03875	03826	K005	K02067	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
083	03874	03825	K005	K02070	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
084	03873	03824	K005	K02082	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
085	03872	03823	K005	K02072	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
086	03871	03822	K005	K02084	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
087	03870	03821	K005	K02083	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
088	03869	03820	K005	K02081	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
089	03867	03819	K005	K02074	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
090	03866	03818	K005	K01959	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
091	03916	03846	K007	K03476	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
092	03915	03845	K005	K02001	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
093	03914	03844	K005	K02007	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
094	03912	03843	K005	K02006	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
095	03911	03842	K005	K02013	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
096	03910	03878	K005	K02005	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
097	03909	03877	K005	K02012	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
098	03908	03876	K005	K02014	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
099	03907	03875	K005	K02004	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
100	03906	03874	K005	K02008	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
101	03905	03873	K005	K02011	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
102	03904	03872	K005	K02016	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
103	03903	03871	K005	K02009	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
104	03902	03870	K005	K02000	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
105	03901	03869	K005	K01996	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001

Table III Continued

S/A NO = PFD029

\*\*\*\*\*  
 \* FUEL PIN PARTS LIST (1/2) \*  
 \*\*\*\*\*

LOCATION	PIN NO	U.E.P NO	CLADDING TUBE		WRAPPING WIRE		U.E.P LOT NO	L.E.P LOT NO	ROD FOR END PLUG (LOW.) (UPP.)		PLEN. SLEEVE ASSEMBLY LOT NO	SLEEVE LOT NO	DISK LOT NO
			LOT NO	PROD. NO	LOT NO	LEEL NO			LOT NO	LOT NO			
106	03900	03868	K005	K01993	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
107	03899	03867	K005	K01995	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
108	03898	03866	K005	K01971	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
109	03897	03865	K005	K01997	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
110	03896	03864	K005	K01988	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
111	03895	03863	K005	K01983	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
112	03894	03862	K005	K01984	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
113	03893	03861	K005	K01998	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
114	03892	03860	K005	K01994	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
115	03940	03903	K007	K03564	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
116	03939	03902	K007	K03523	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
117	03938	03901	K007	K03504	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
118	03937	03900	K007	K03513	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
119	03936	03899	K007	K03454	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
120	03935	03898	K007	K03483	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
121	03934	03897	K007	K03481	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
122	03933	03896	K007	K03485	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
123	03932	03895	K007	K03497	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
124	03931	03894	K007	K03487	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
125	03929	03892	K007	K03495	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
126	03928	03891	K007	K03492	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001
127	03927	03890	K007	K03473	T002	T00068	C008	C008	K002	K002	F001	F001	F001



Table III Continued

S/A NO = PFD029

\*\*\*\*\*  
 \* FUEL PIN PARTS LIST (2/2) \*  
 \*\*\*\*\*

LOCATION	PIN NO	SPRING LOT NO	UPPER REFLECTOR LOT NO	INSULATOR PELLET LOT NO	-- CORE PELLETT --		-- FUO2 POWDER --		-- PUO2 POWDER --	
					(1) LOT NO	(2) LOT NO	(1) LOT NO	(2) LOT NO	(1) LOT NO	(2) LOT NO
001	03346	F001	T001	F001	FM2040		FU0402	FU0403	FP0506	FP0507
002	03345	F001	T001	F001	FM2040		FU0402	FU0403	FP0506	FP0507
003	03344	F001	T001	F001	FM2040		FU0402	FU0403	FP0506	FP0507
004	03343	F001	T001	F001	FM2040		FU0402	FU0403	FP0506	FP0507
005	03342	F001	T001	F001	FM2040		FU0402	FU0403	FP0506	FP0507
006	03341	F001	T001	F001	FM2040		FU0402	FU0403	FP0506	FP0507
007	03340	F001	T001	F001	FM2040		FU0402	FU0403	FP0506	FP0507
008	03339	F001	T001	F001	FM2040		FU0402	FU0403	FP0506	FP0507
009	03338	F001	T001	F001	FM2040		FU0402	FU0403	FP0506	FP0507
010	03337	F001	T001	F001	FM2040		FU0402	FU0403	FP0506	FP0507
011	03336	F001	T001	F001	FM2040		FU0402	FU0403	FP0506	FP0507
012	03335	F001	T001	F001	FM2040		FU0402	FU0403	FP0506	FP0507
013	03334	F001	T001	F001	FM2040		FU0402	FU0403	FP0506	FP0507
014	03333	F001	T001	F001	FM2040		FU0402	FU0403	FP0506	FP0507
015	03332	F001	T001	F001	FM2040		FU0402	FU0403	FP0506	FP0507
016	03330	F001	T001	F001	FM2040		FU0402	FU0403	FP0506	FP0507
017	03329	F001	T001	F001	FM2040		FU0402	FU0403	FP0506	FP0507
018	03328	F001	T001	F001	FM2040		FU0402	FU0403	FP0506	FP0507
019	03327	F001	T001	F001	FM2040		FU0402	FU0403	FP0506	FP0507
020	03326	F001	T001	F001	FM2040		FU0402	FU0403	FP0506	FP0507
021	03841	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
022	03840	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
023	03839	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
024	03838	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
025	03837	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
026	03836	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
027	03835	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
028	03833	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
029	03832	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
030	03831	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
031	03830	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
032	03829	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
033	03828	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
034	03827	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
035	03826	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	

Table III Continued

S/A NO = PFD029

PNC-TN9410 86-140

\*\*\*\*\*  
 \* FUEL PIN PARTS LIST (2/2) \*  
 \*\*\*\*\*

LOCATION	PIN NO	SPRING	UPPER	INSULATOR	-- CORE PELLETT --		-- FU02 POWDER --		-- PU02 POWDER --	
		LOT NO	REFLECTOR LOT NO	PELLET LOT NO	(1) LOT NO	(2) LOT NO	(1) LOT NO	(2) LOT NO	(1) LOT NO	(2) LOT NO
036	03825	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
037	03824	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
038	03823	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
039	03822	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
040	03821	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
041	03820	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
042	03819	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
043	03817	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
044	03816	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
045	03865	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
046	03864	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
047	03863	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
048	03862	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
049	03861	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
050	03860	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
051	03859	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
052	03858	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
053	03857	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
054	03856	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
055	03854	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
056	03853	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
057	03852	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
058	03851	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
059	03849	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
060	03848	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
061	03847	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
062	03846	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
063	03845	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
064	03844	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
065	03843	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
066	03842	F001	T001	F001	FM2044		FU0409	FU0410	FP0509	
067	03890	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
068	03889	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
069	03888	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
070	03887	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511

Table III Continued

S/A NO = PFD029

\*\*\*\*\*  
 \* FUEL PIN PARTS LIST (2/2) \*  
 \*\*\*\*\*

LOCATION	PIN NO	SPRING LOT NO	UPPER REFLECTOR LOT NO	INSULATOR PELLET LOT NO	-- CORE PELLETT --		-- EUO2 POWDER --		-- PUO2 POWDER --	
					(1) LOT NO	(2) LOT NO	(1) LOT NO	(2) LOT NO	(1) LOT NO	(2) LOT NO
071	03886	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
072	03885	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
073	03884	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
074	03883	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
075	03882	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
076	03881	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
077	03880	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
078	03879	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
079	03878	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
080	03877	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
081	03876	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
082	03875	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
083	03874	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
084	03873	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
085	03872	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
086	03871	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
087	03870	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
088	03869	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
089	03867	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
090	03866	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
091	03916	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
092	03915	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
093	03914	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
094	03912	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
095	03911	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
096	03910	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
097	03909	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
098	03908	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
099	03907	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
100	03906	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
101	03905	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
102	03904	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
103	03903	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
104	03902	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
105	03901	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511



Table III Continued

S/A NO = PFD029

PNC-119410 86-140

\*\*\*\*\*  
 \* FUEL PIN PARTS LIST (2/2) \*  
 \*\*\*\*\*

LOCATION	PIN NO	SPRING	UPPER REFLECTOR	INSULATOR	-- CORE PELLETT --		-- EUO2 POWDER --		-- PUO2 POWDER --	
		LOT NO	LOT NO	LOT NO	(1) LOT NO	(2) LOT NO	(1) LOT NO	(2) LOT NO	(1) LOT NO	(2) LOT NO
106	03900	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
107	03899	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
108	03898	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
109	03897	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
110	03896	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
111	03895	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
112	03894	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
113	03893	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
114	03892	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
115	03940	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
116	03939	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
117	03938	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
118	03937	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
119	03936	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
120	03935	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
121	03934	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
122	03933	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
123	03932	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
124	03931	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
125	03929	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
126	03928	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511
127	03927	F001	T001	F001	FM2046		FU0413	FU0414	FP0510	FP0511

Table IV Pin Outer Diameter and Total Length Changes

PIE No	Lot No	Diameter (mm) * 1			Length (mm) * 2		
	CLAD.	PIE	Fab	PIE - Fab	PIE	Fab	PIE - Fab
9151	K 005	5.488	5.494	-0.006	1533.4	1533.4	0.0
9158	K 005	5.489	5.493	-0.004	1532.8	1533.1	-0.3
9160	K 005	5.494	5.494	0.000	1532.8	1533.0	-0.2
9162	K 005	5.490	-----	-----	1533.2	1533.0	0.2
9164	K 005	5.488	-----	-----	1532.2	1533.2	0.0
9165	K 005	5.488	-----	-----	1532.9	1533.0	-0.1
9166	K 008	5.493	5.503	-0.010	1533.3	1533.3	0.0
9168	K 005	5.494	5.493	0.001	1533.4	1533.3	0.1
9170	K 005	5.497	5.493	0.004	1533.3	1533.3	0.0
9176	K 005	5.496	5.497	-0.001	1533.1	1533.0	0.1

\*1 PIE の値は、軸方向炉心中心、軸方向炉心中心+10mm 及び軸方向炉心中心-10mm の3点についての直角2方向6点の平均とした。

尚、Fab の値は、PIE と角度及び軸方向位置について一致するデータがないため近傍のデータを採用した。

\*2 PIE 全長は、被覆管の上端から下端までの長さを測定し、その値に上部及び下部端栓の図面上の寸法を加え算出する。(表の値は、2方向の平均)

Table V Results of Plenum Gas Analysis

ピン No.	ピン内容積 (CC)	ピン内ガス圧 (Torr-STP)	ピン内ガス量 (CC-STP)	ガス分析結果			Xe/Kr比	放出率 %
				Kr%	Xe%	He + $\alpha$ %		
9151	10.86	4031	57.63	-	-	-	-	-
9152	10.78	3956	56.09	-	-	-	-	-
9158	10.78	4289	60.81	6.94	71.1	22.0	10.2	48.3
9160	10.83	4330	61.68	7.00	71.7	21.3	10.2	49.4
9162	10.87	4128	59.05	-	-	-	-	-
9164	10.79	3963	56.25	6.87	69.7	23.4	10.1	43.9
9165	10.87	3894	55.72	-	-	-	-	-
9170	10.93	3530	50.78	6.60	67.0	26.4	10.2	38.1
9176	10.91	3983	57.18	-	-	-	-	-
9177	10.98	3944	56.96	-	-	-	-	-
9186	10.81	4104	58.38	-	-	-	-	-
91A8	10.94	3920	56.45	-	-	-	-	-

炉内照射位置

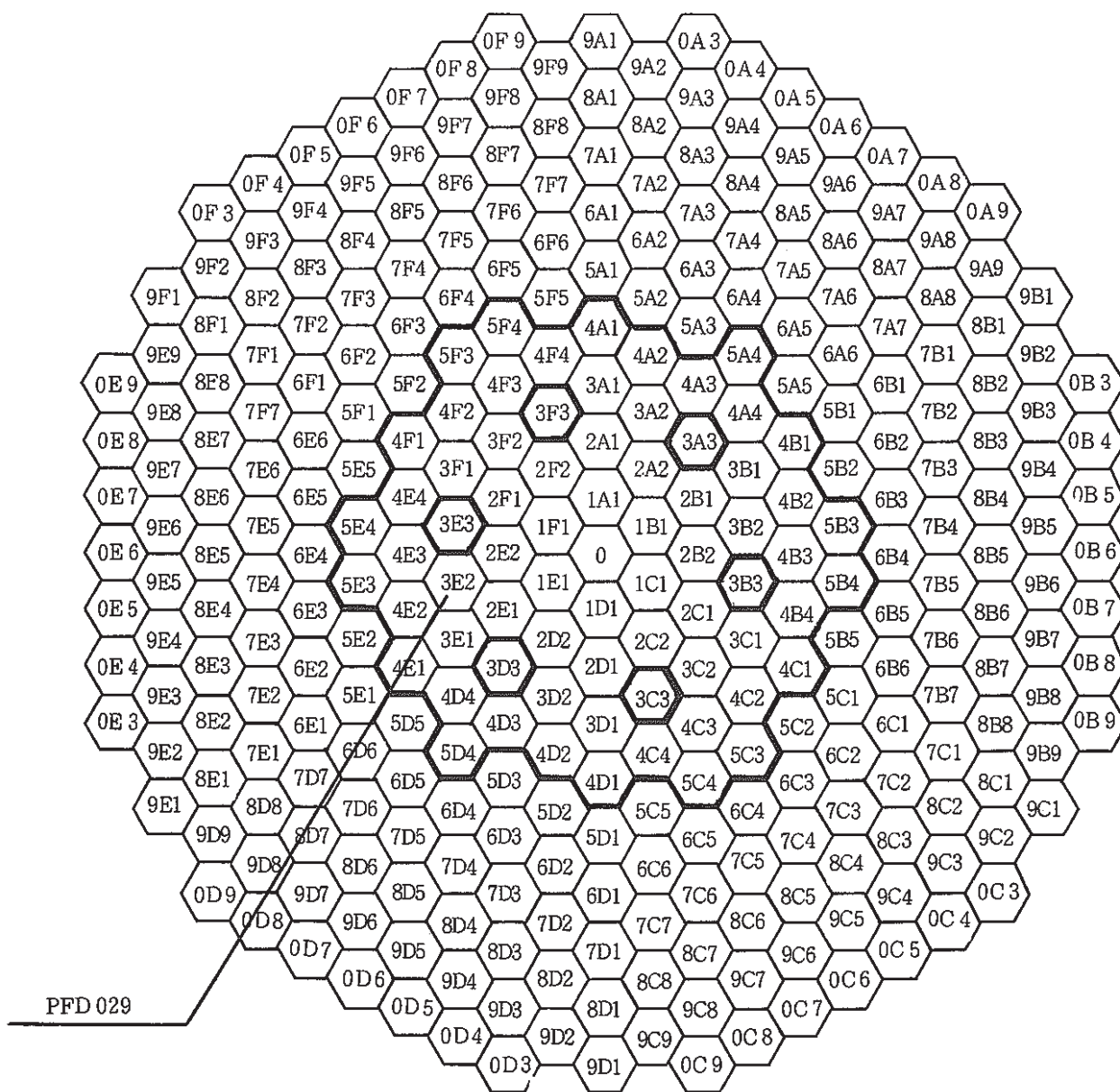


Fig.1 In-Reactor Location of the Subassembly

S/A FAB NO. : PFD029

PIN NO. : 64

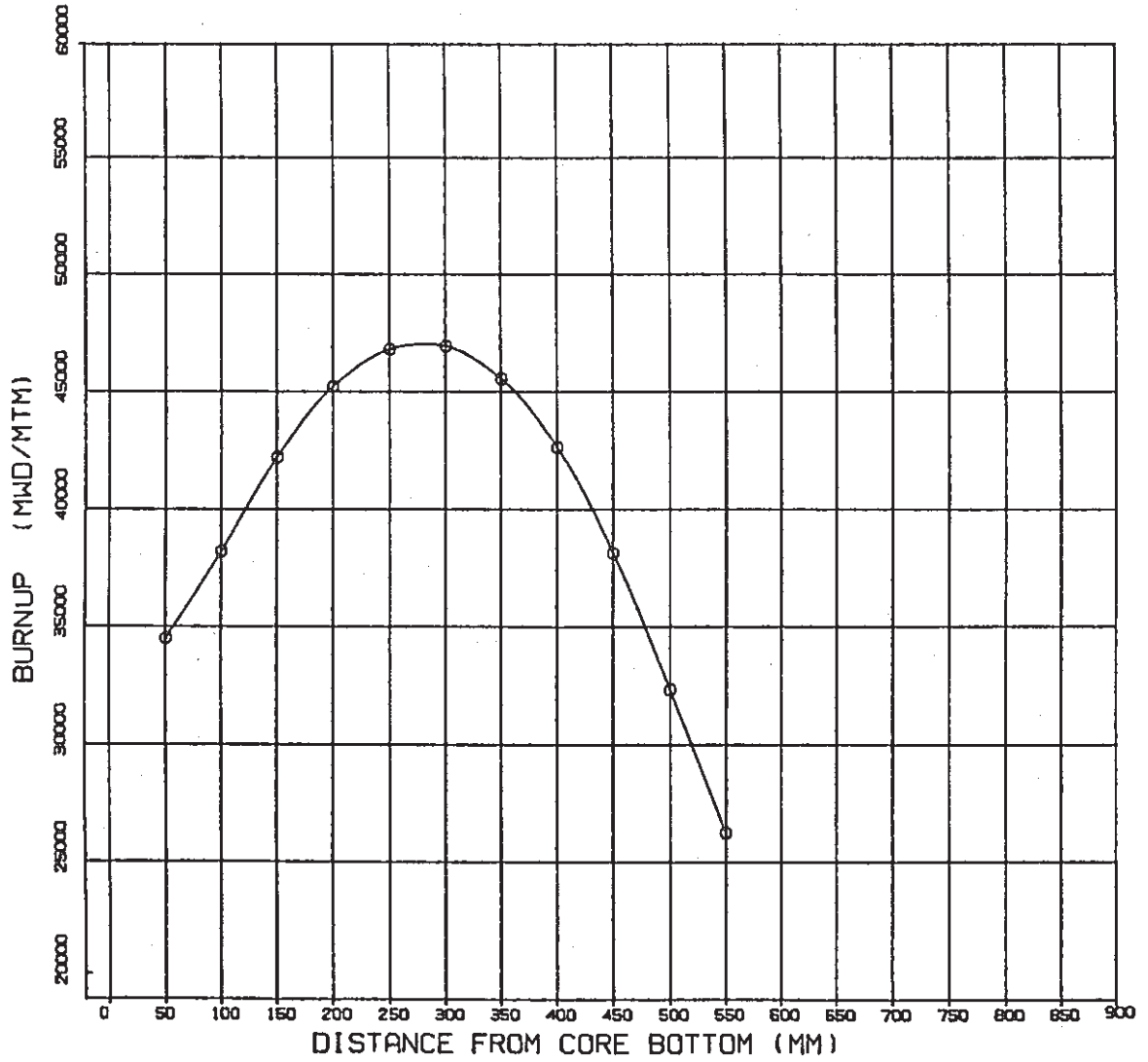


Fig. 2 Axial Profile of Burnup of a Center Pin



S/A FAB NO. : PF0029

PIN NO. : 64

MAX  $\odot$  EOL  $\Delta$

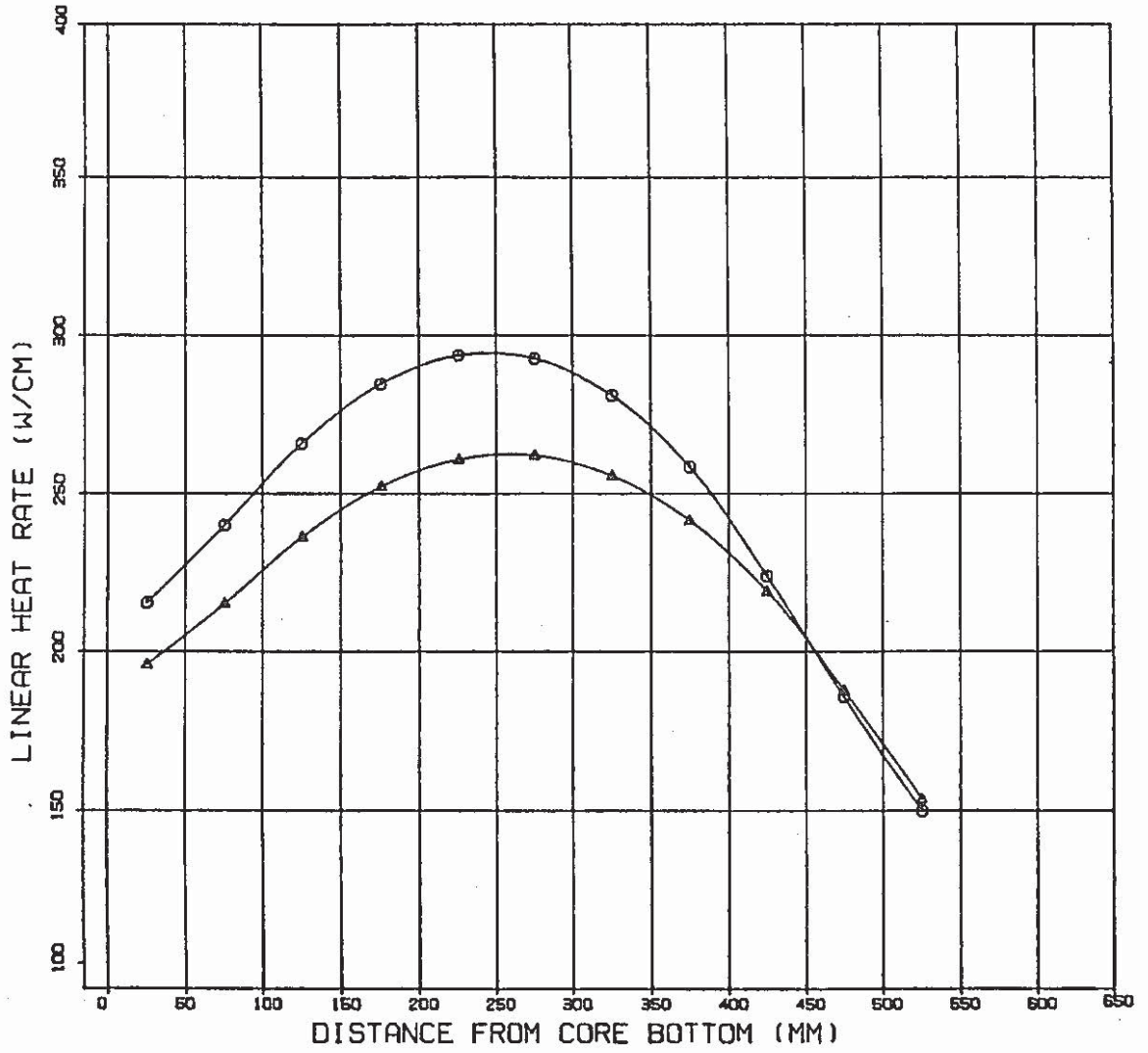


Fig. 3 Axial Profile of linear Heat Rate of a Center Pin

S/A FAB NO. : PFD029

PIN NO. : 64

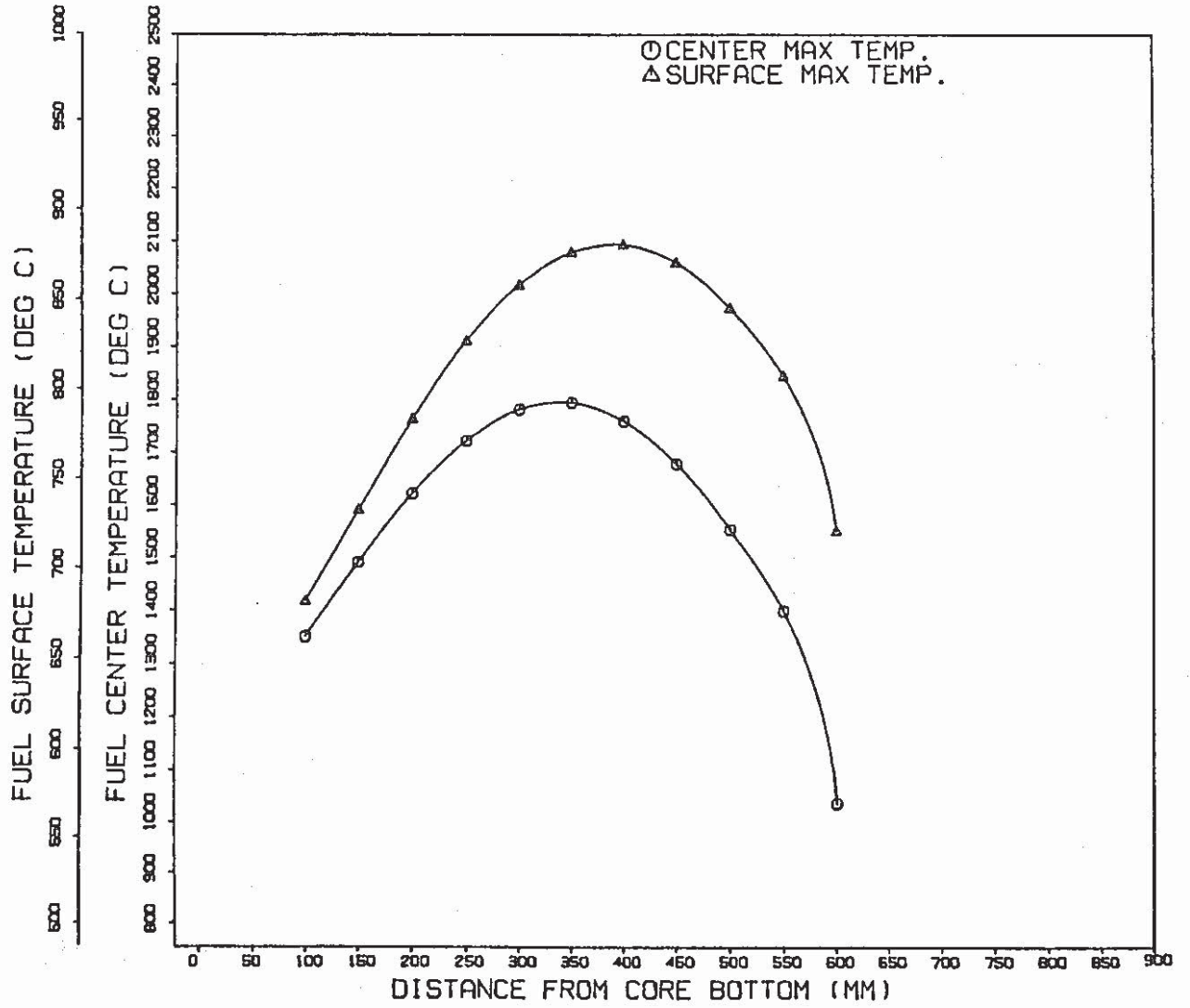


Fig. 4 Axial Profile of Fuel Temperature of a Center Pin

S/A FAB NO. : PF0029

PIN NO. : 64

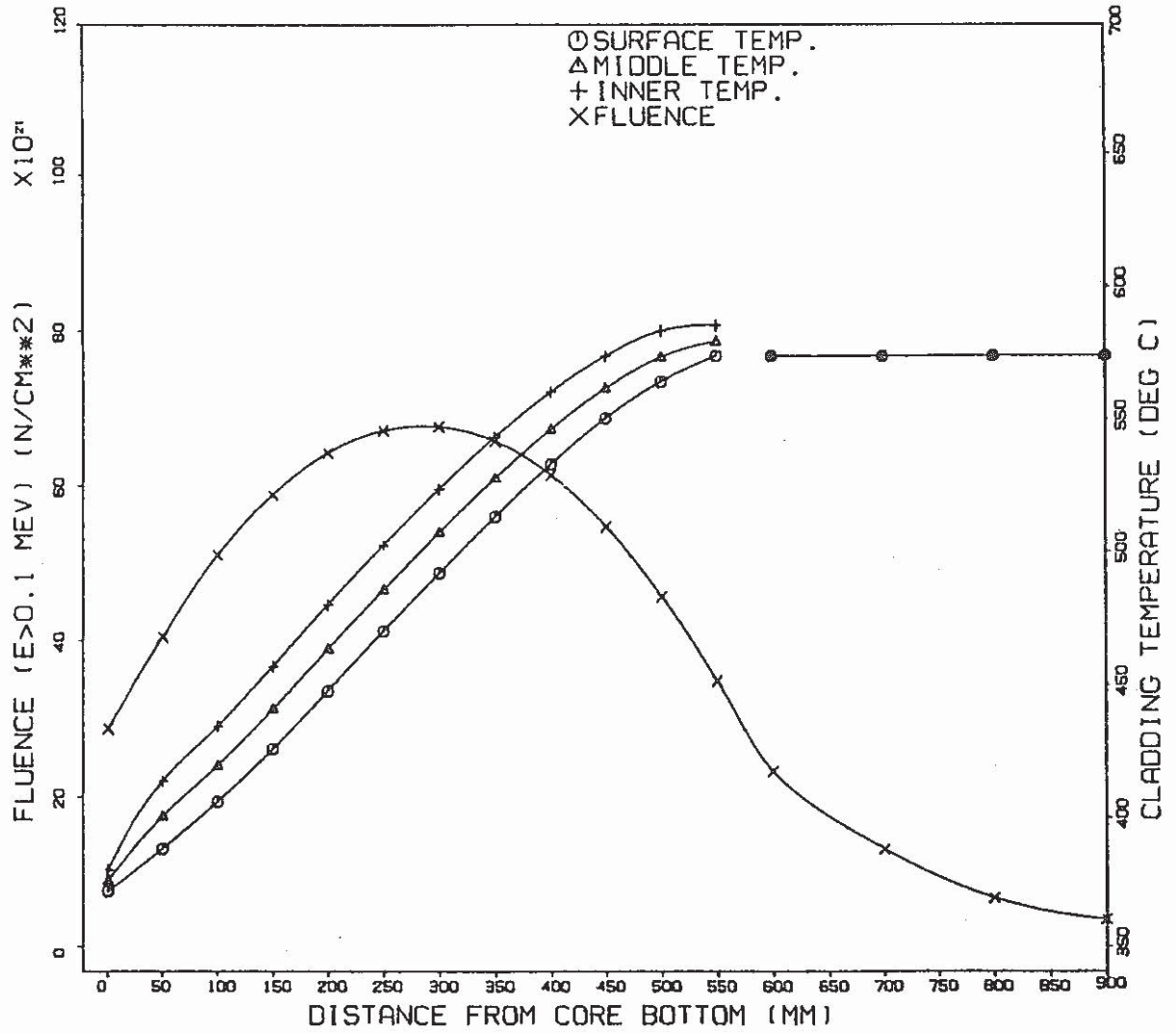
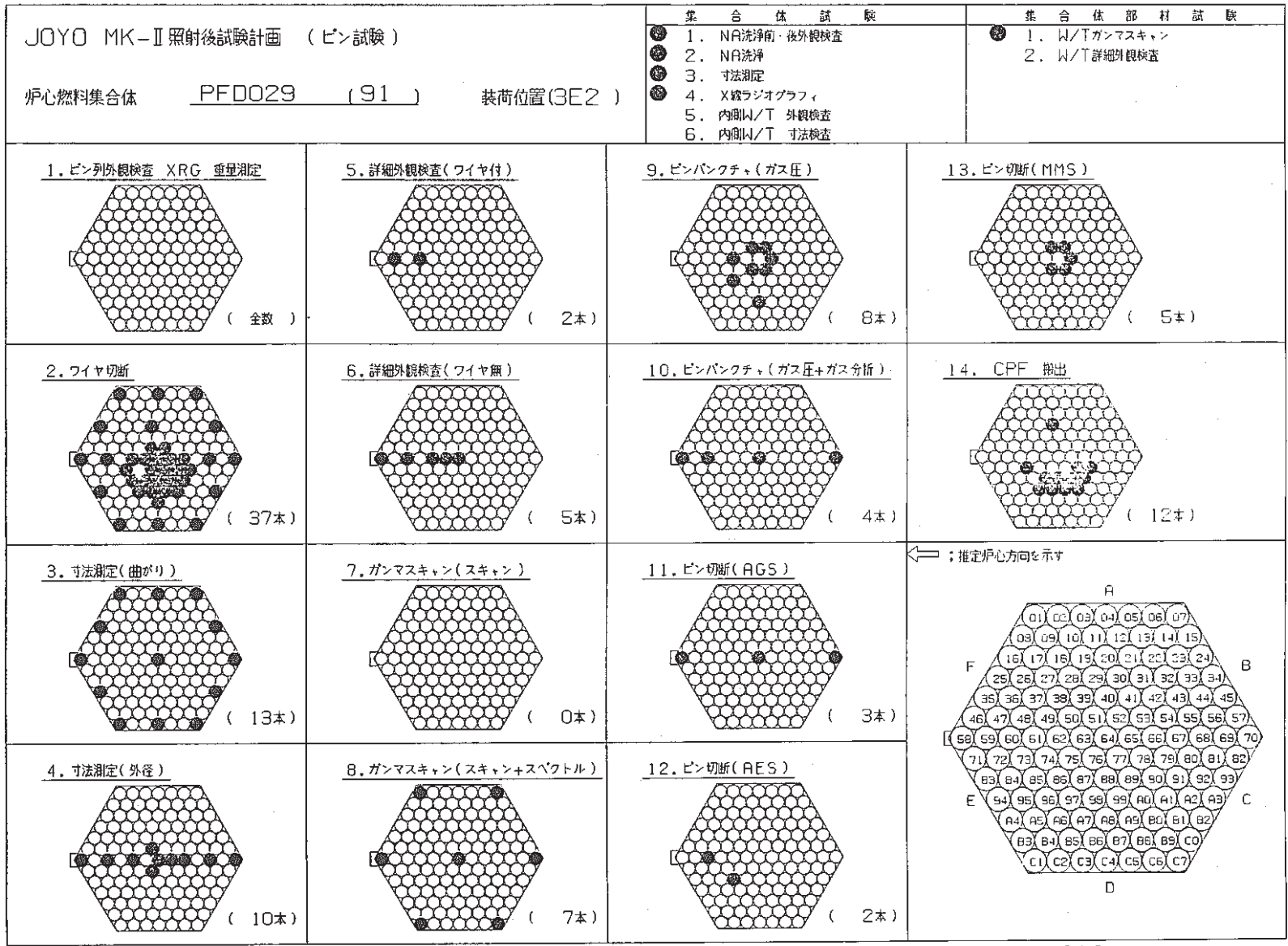


Fig. 5 Axial Profile of Fluence and Cladding Temperature of a Center Pin



● : 試験対象

Fig. 6 Pin Selected for the Examination

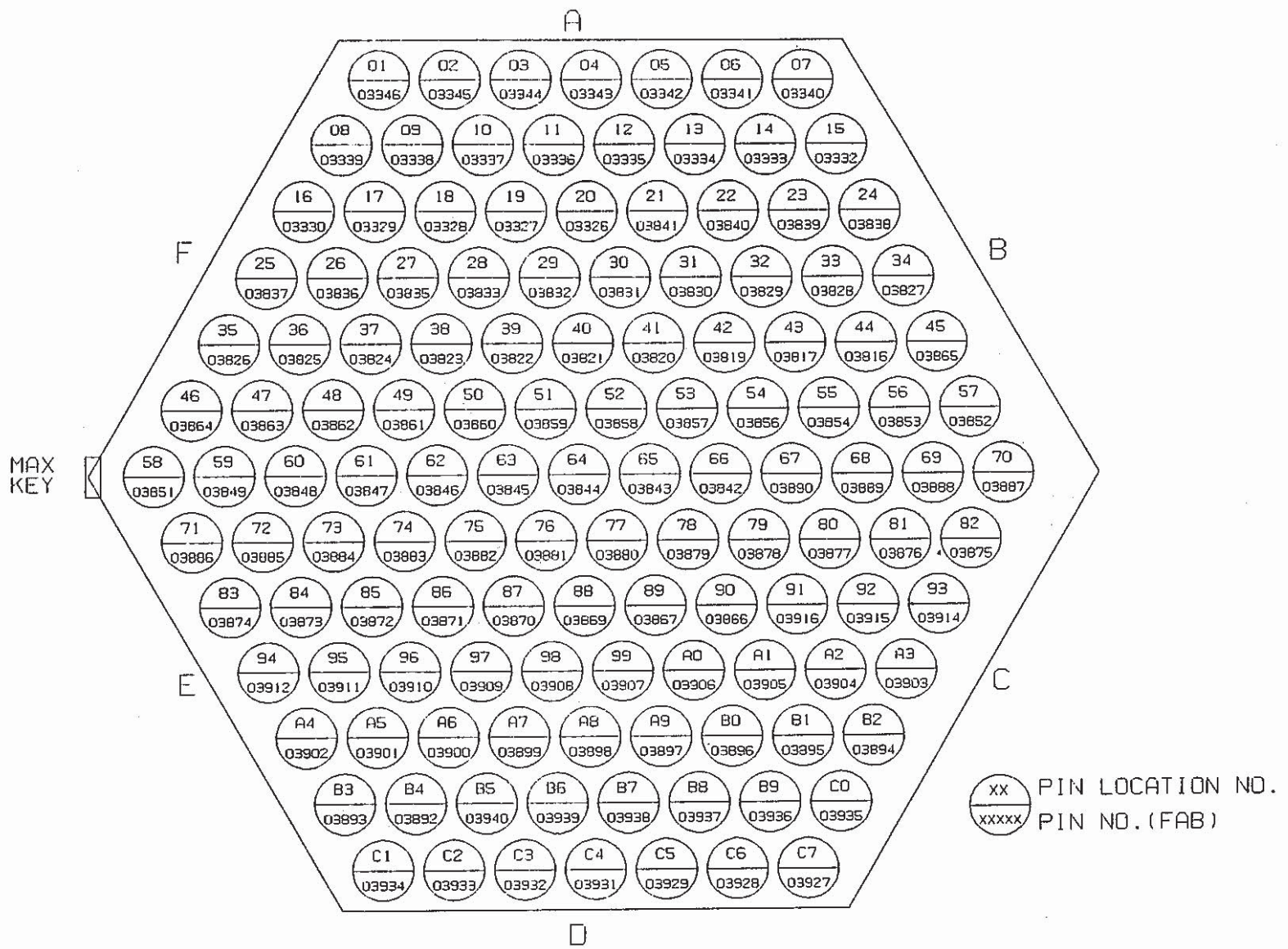


Fig. 7 Pin Loading Diagram



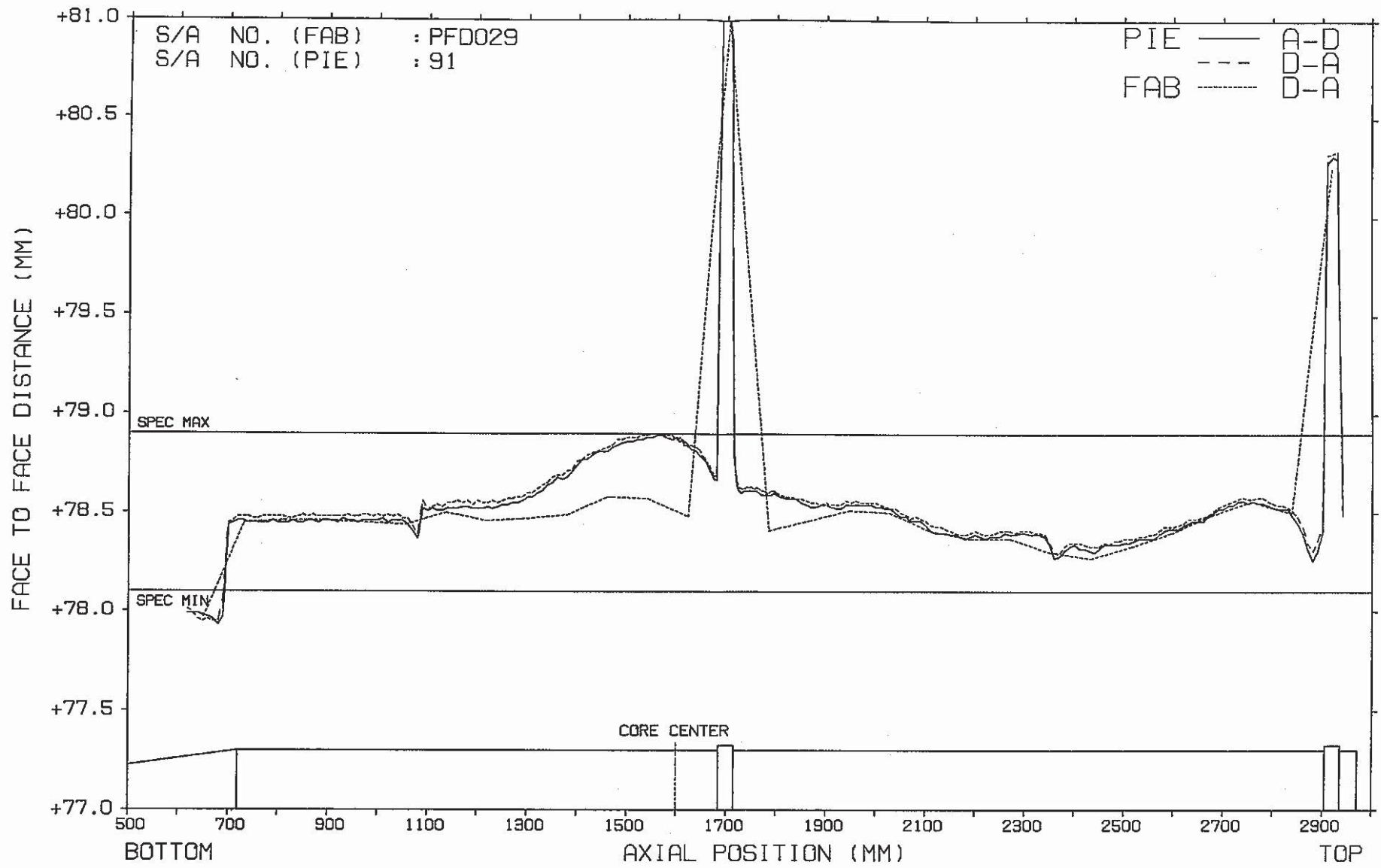


Fig. 8 Wrapper Tube Face to Face Distance (A-D Face)

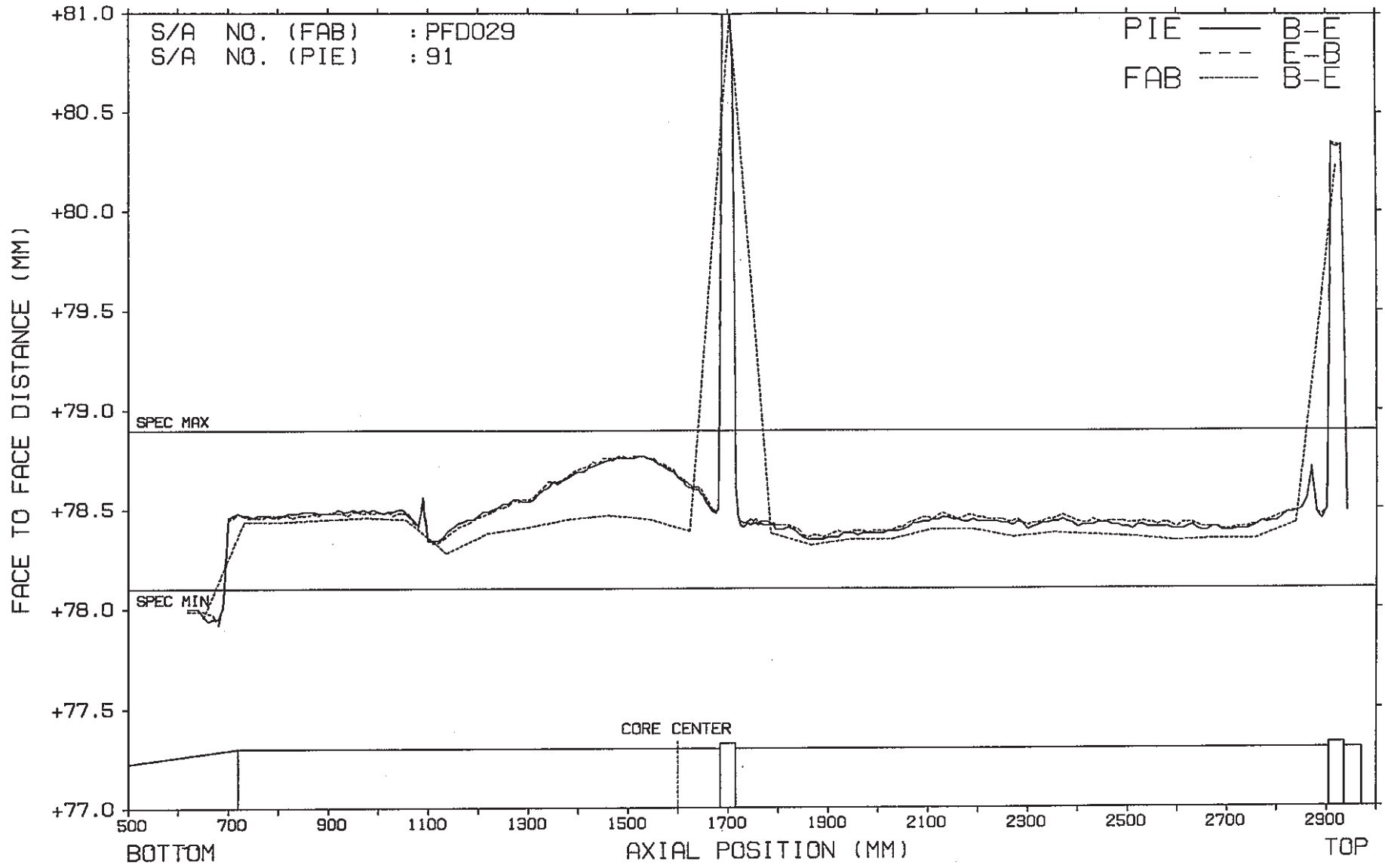
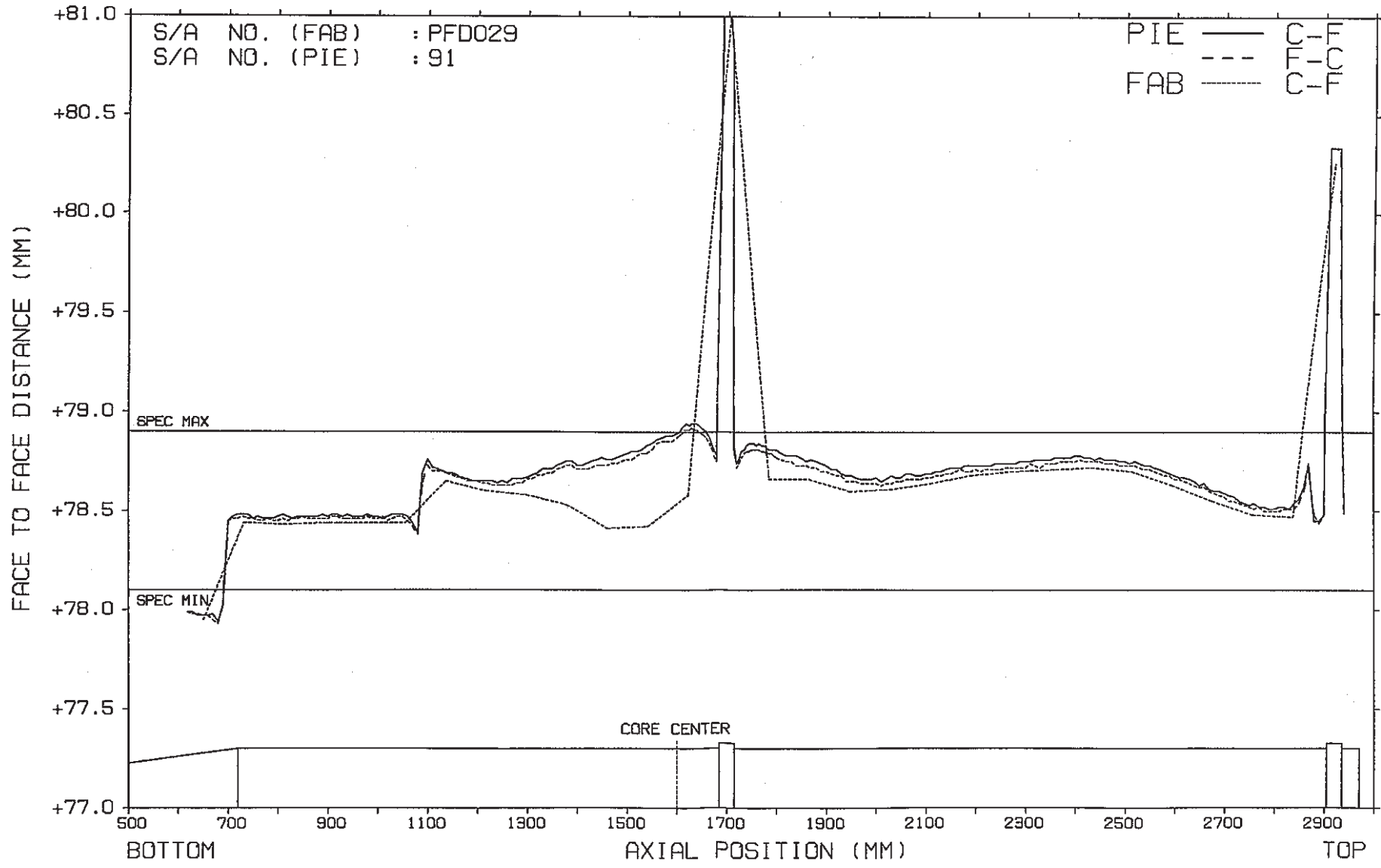


Fig. 9 Wrapper Tube Face to Face Distance (B-E Face)

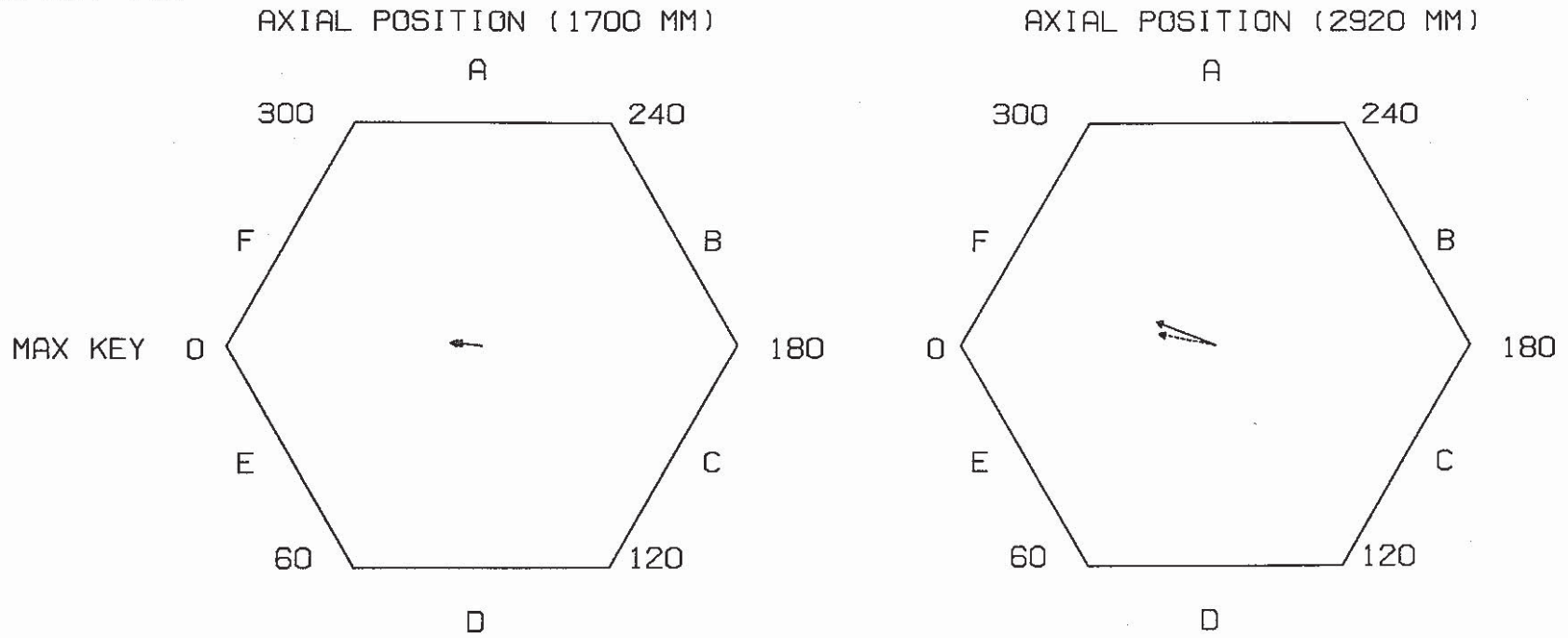


PNC-TN9410 86-140

Fig. 10 Wrapper Tube Face to Face Distance (C-F Face)

S/A FAB NO. : PFD029  
 PIE NO. : 91

VIEW FROM TOP



AXIAL POSITION	1700 (MM) (AT MIDDLE PAD)		2920 (MM) (AT UPPER PAD)	
	BOWING (MM)	DIRECTION (DEG)	BOWING (MM)	DIRECTION (DEG)
IRRAD.	0.8	352	2.0	338
UNIRRAD.	0.9	354	1.8	349

IRRAD.  $\longrightarrow$   
 UNIRRAD.  $\dashrightarrow$   
 BOWING SCALE  $\left\langle \longleftrightarrow \right\rangle$  2.0 MM

Fig. 11 Bowing Vector of the Subassembly

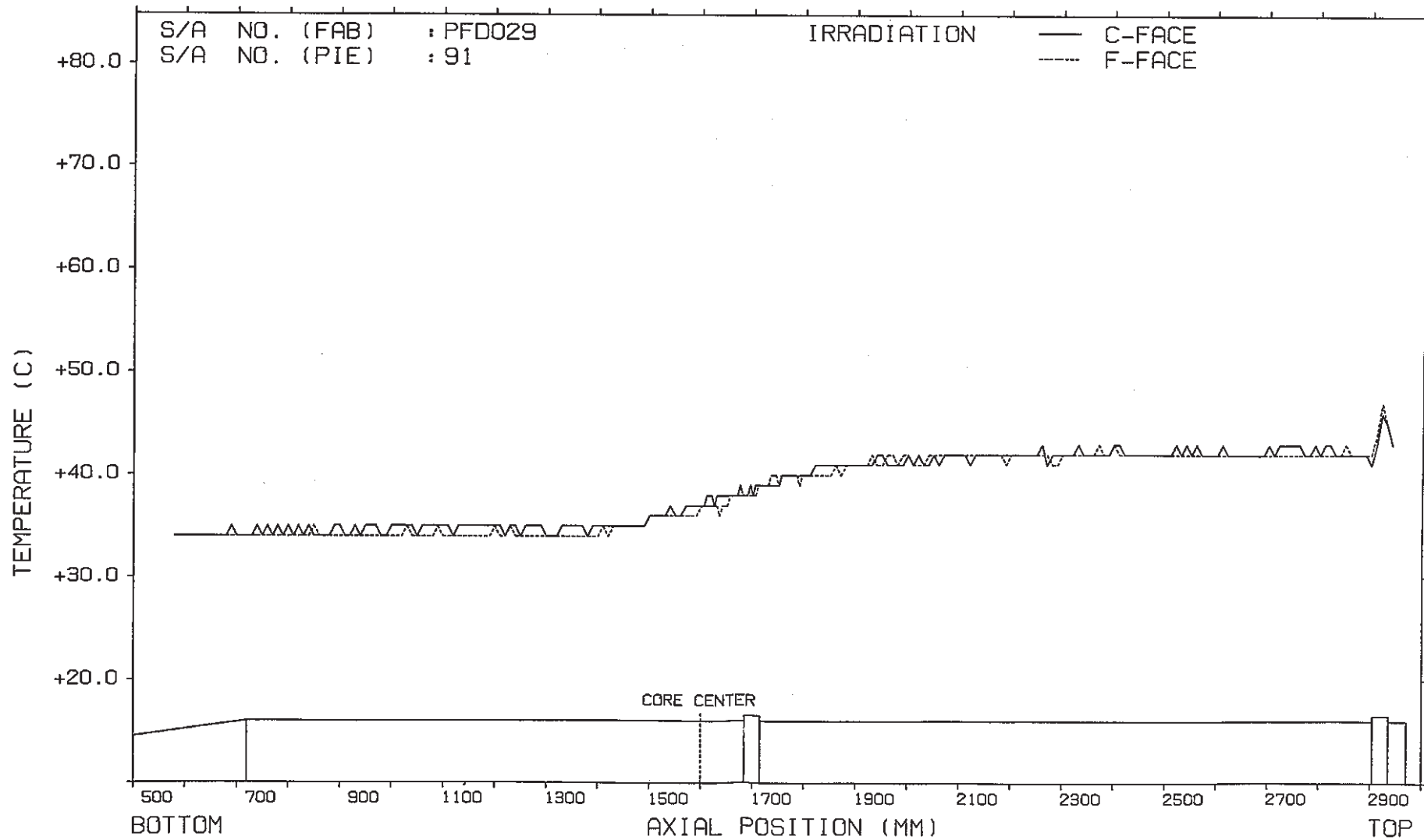


Fig. 12 Subassembly Surface Temperature at PIE



PNC-TN9410 86-140

S/A NO. (FAB) : PFD029  
S/A NO. (PIE) : 91WH3  
AXIAL POS. (MM) : 1504.50  
COOLING TM (DAYS) : 10  
COLL. WIDTH(MM) : 0.90  
OP NO. : 5322-5322

ANGLE OF MAX RATE (DEG) : 339.32  
MAX COUNT RATE (CPS) : 551.63  
AVERAGE COUNT RATE(CPS) : 496.84  
PEAKING FACTOR : 1.110

CORRECTED

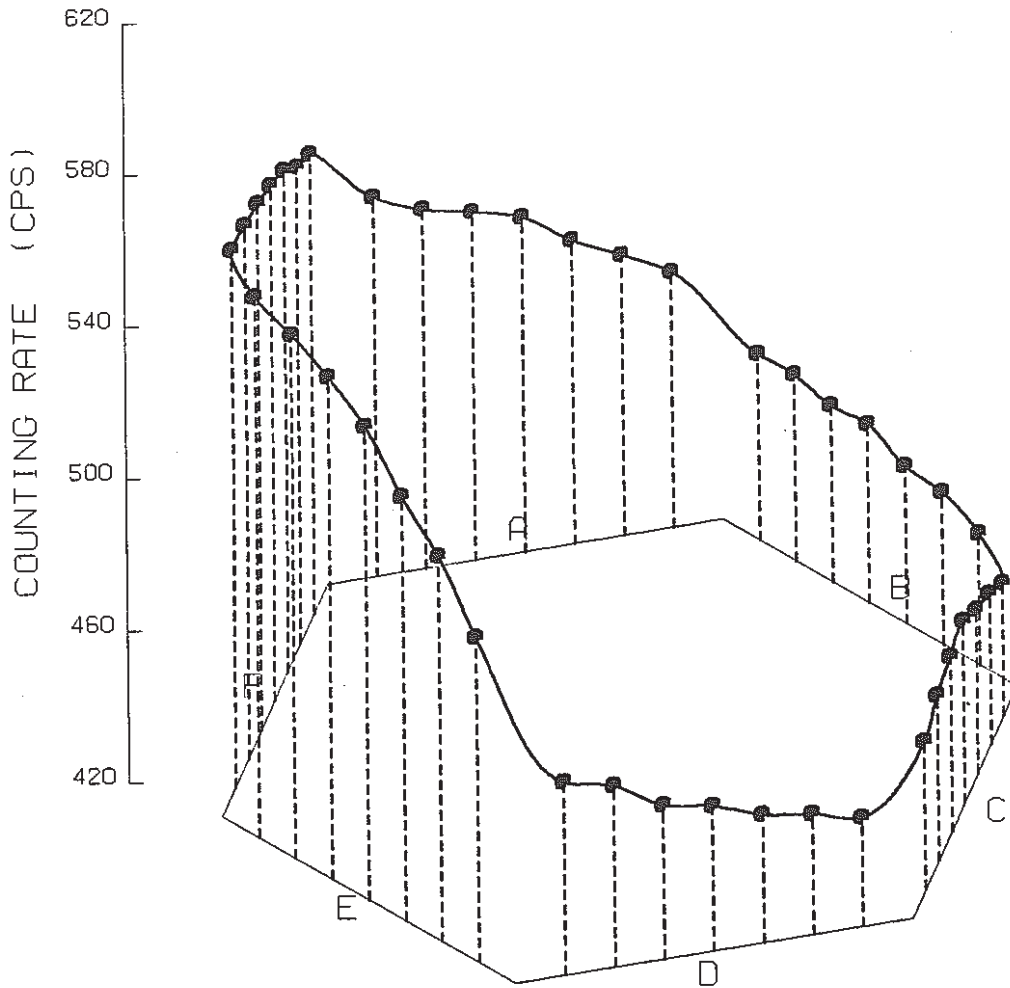
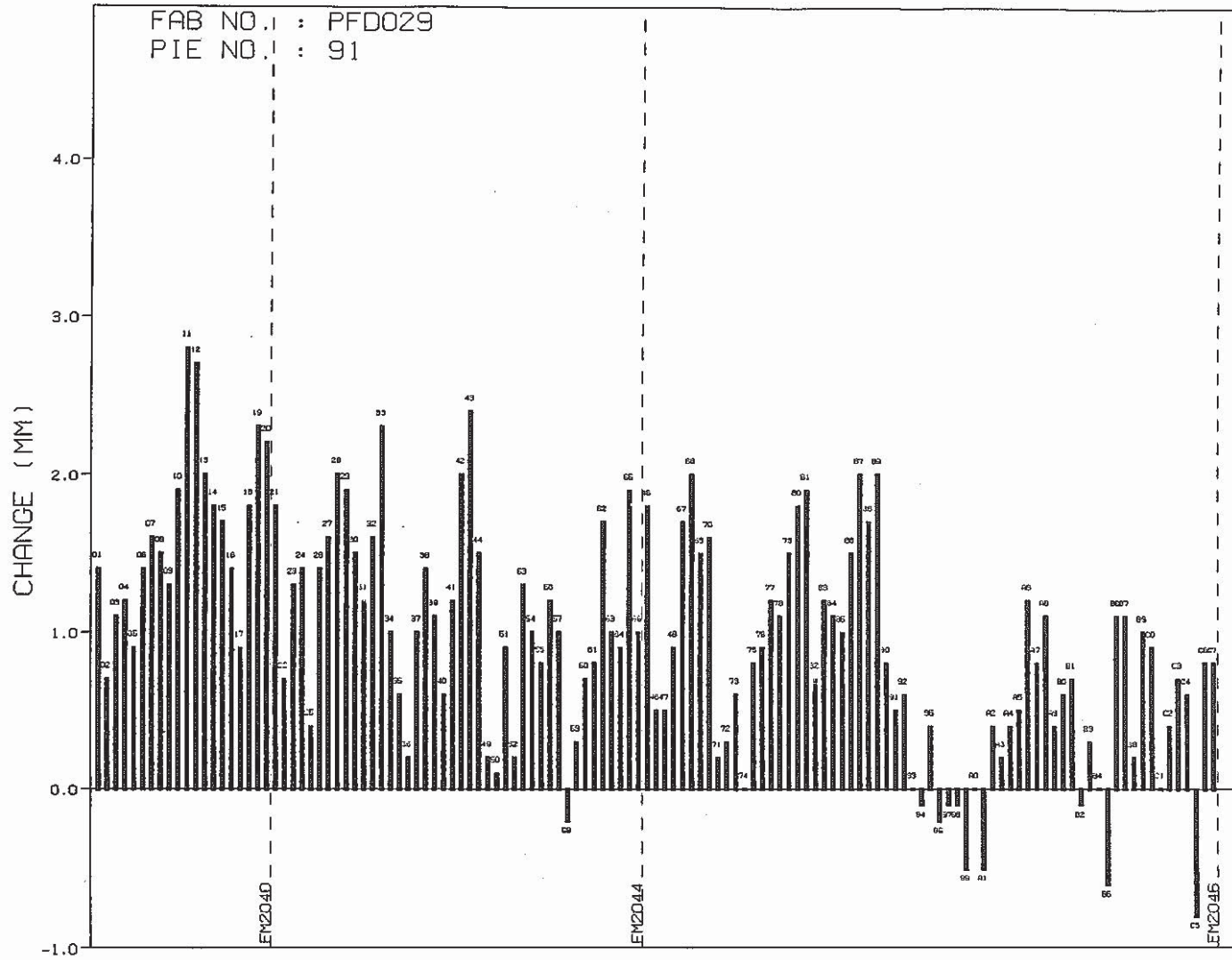


Fig. 13 Radial Distribution of Gamma Ray Intensity in the Wrapper Tube  
( $^{58}\text{Co}$  0.811 MEV)



CORE PELET LOT NO.	NO. OF DATA	AVE.	MAX.	MIN.
FM2040	20	1.6	2.8	0.7
FM2044	42	1.1	2.4	-0.2
FM2046	65	0.7	2.0	-0.8

Fig. 14 Fuel Stack Length Changes By Pellet Lot No.

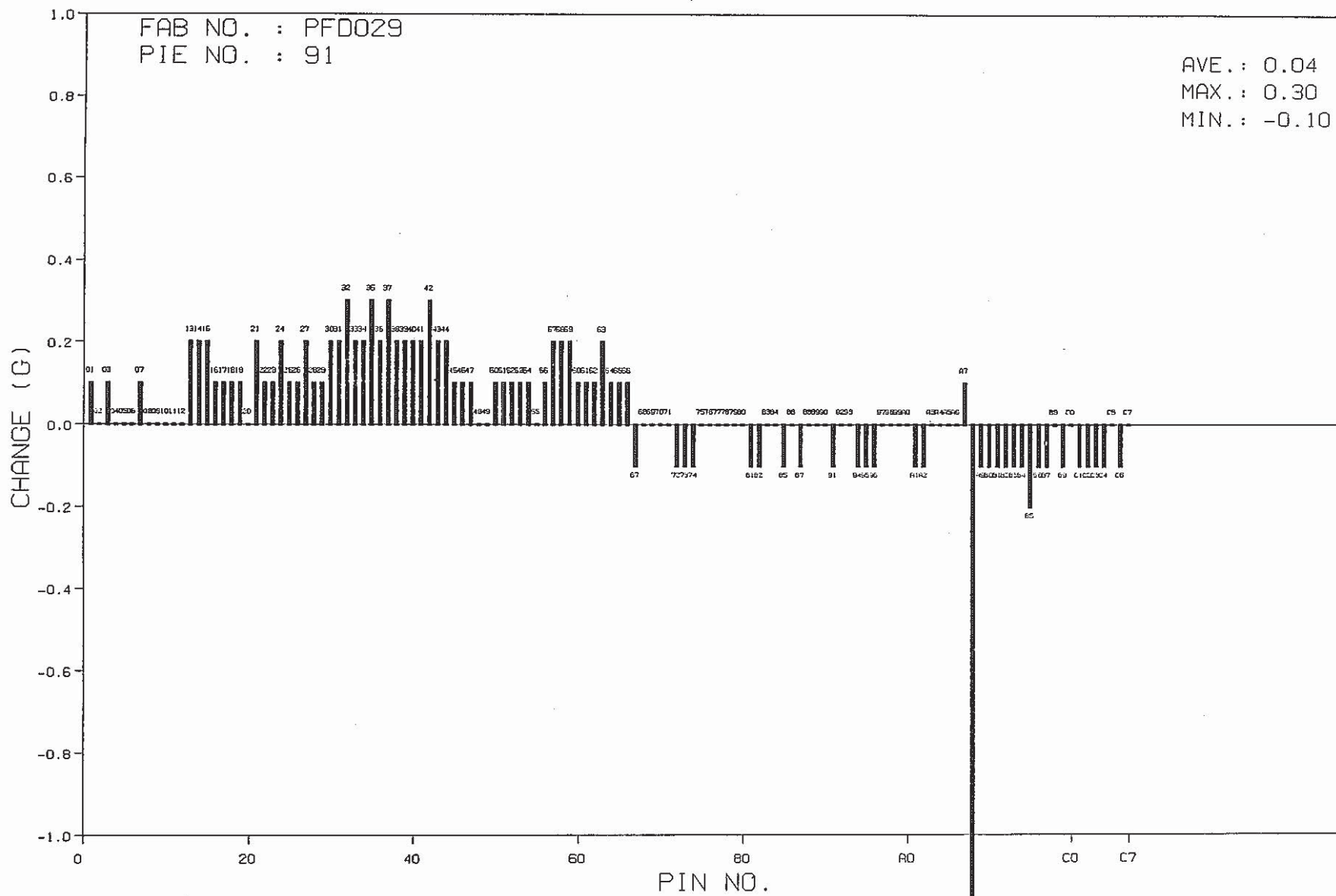


Fig. 15 Pin Weight Changes

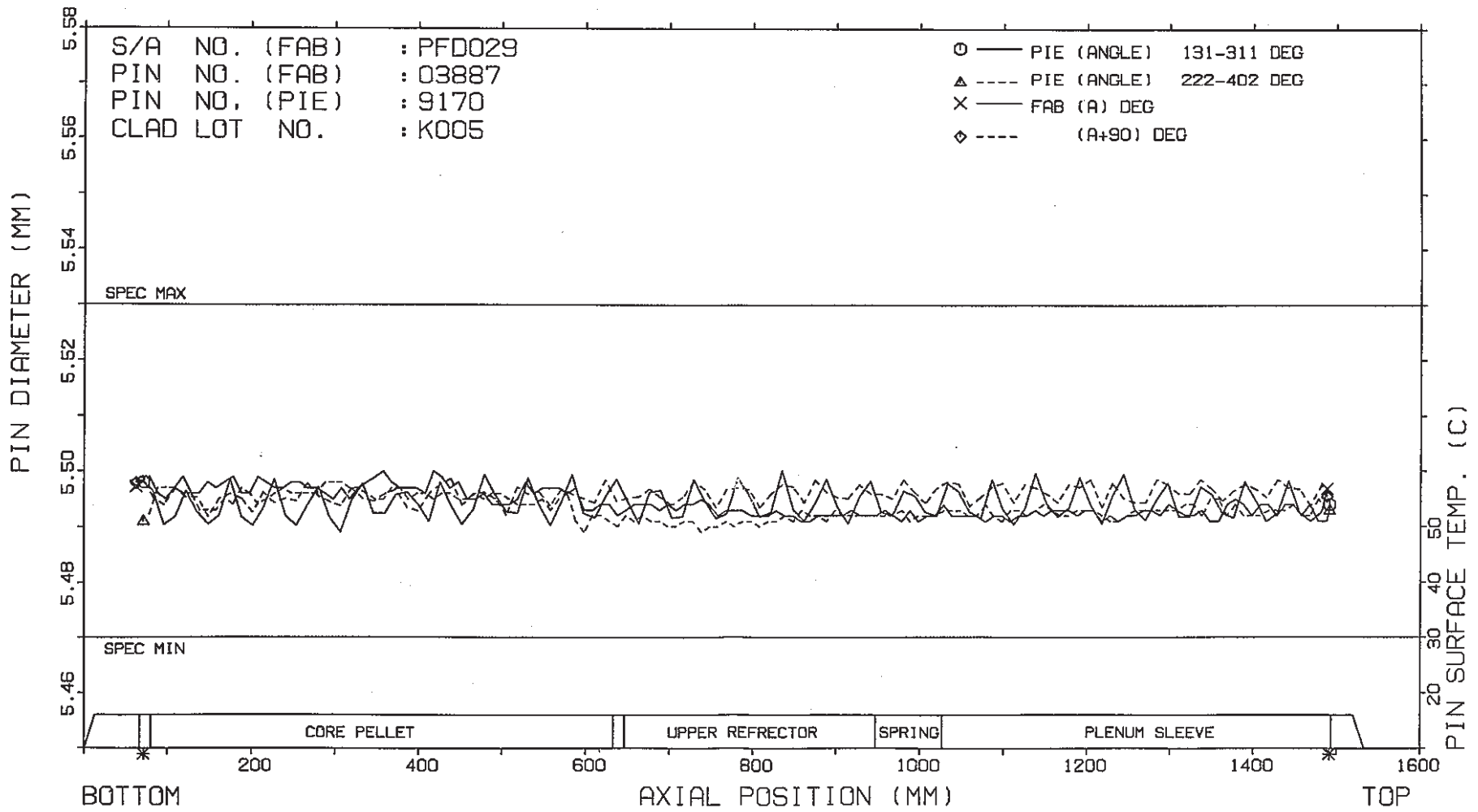


Fig. 16 Axial Profile of a Fuel Pin Outer Diameter

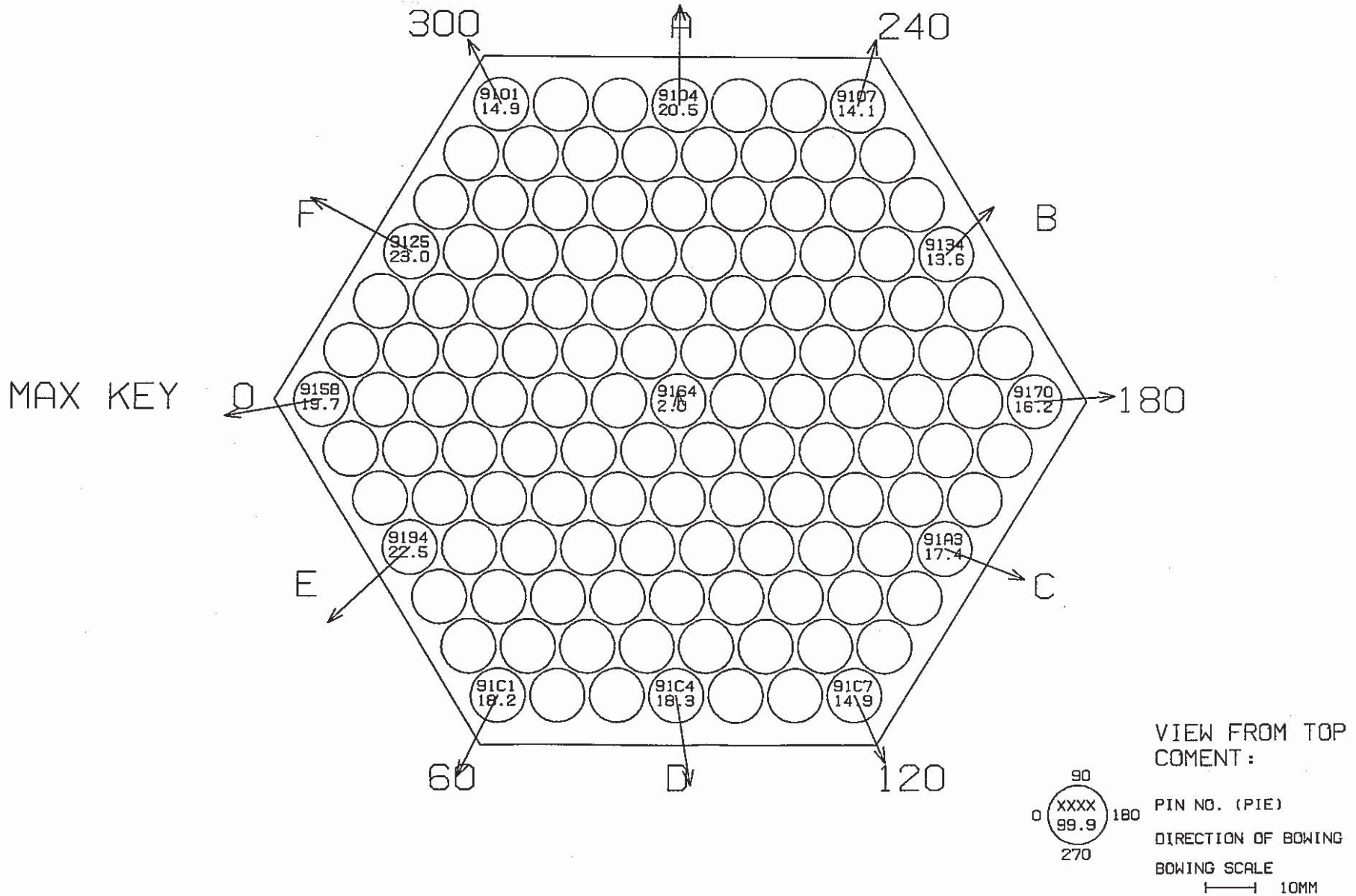


Fig. 17 Bowing Vectors of Pins

MAX KEY

VIEW FROM TOP  
COMENT:



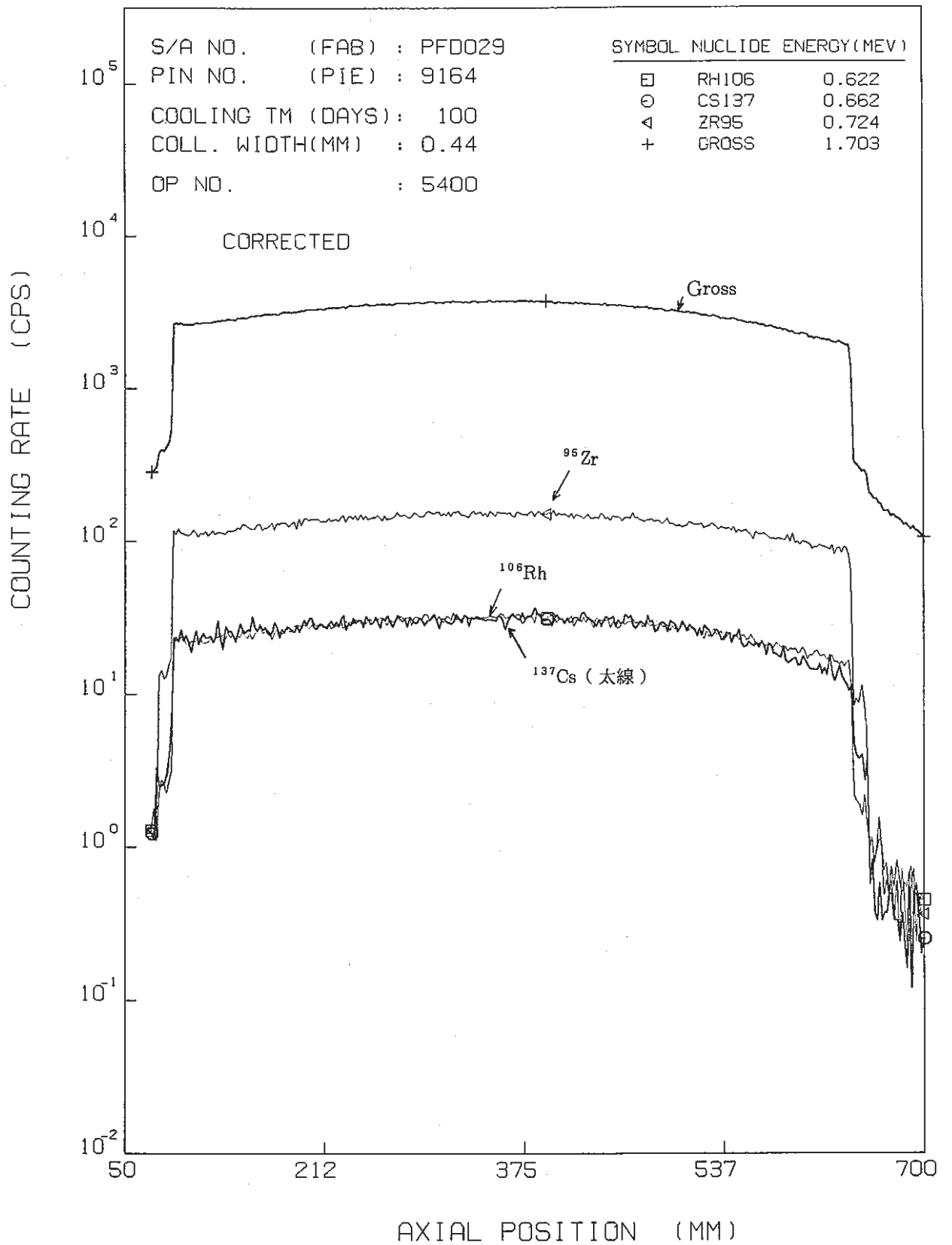


Fig. 18 Axial Distribution of Gamma Ray Intensity of a Center Pin

S/A NO. (FAB) : PFD029  
 S/A NO. (PIE) : 91  
 AXIAL POS. (MM) : 338.00  
 COOLING TM (DAYS) : 100  
 COLL. WIDTH(MM) : 0.44  
 OP NO. : 5361-5403

ANGLE OF MAX RATE (DEG) : 356.58  
 MAX COUNT RATE (CPS) : 165.39  
 AVERAGE COUNT RATE(CPS) : 152.95  
 PEAKING FACTOR : 1.081

CORRECTED

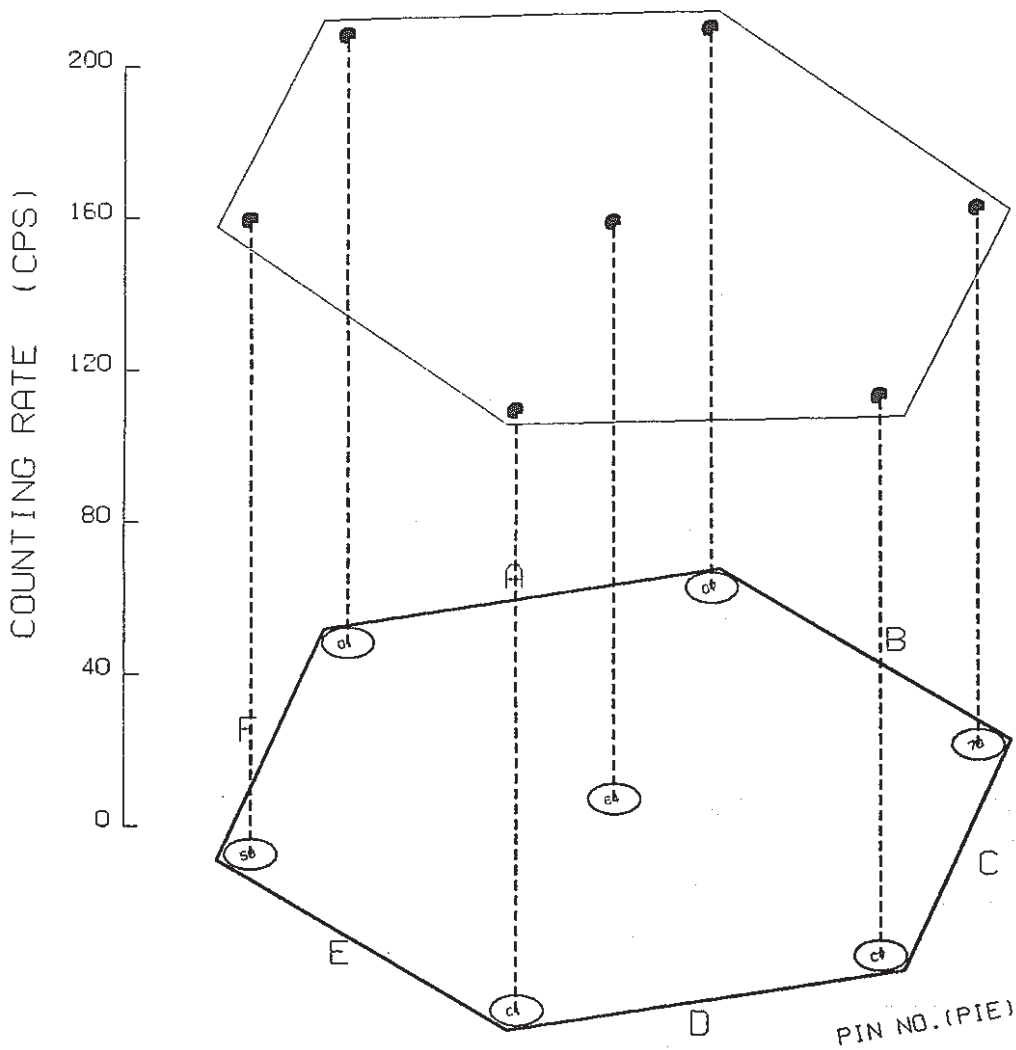


Fig. 19 Radial Distribution of Gamma Ray Intensity in the Subassembly  
 (  $^{96}\text{Zr}$  0.725 MEV )



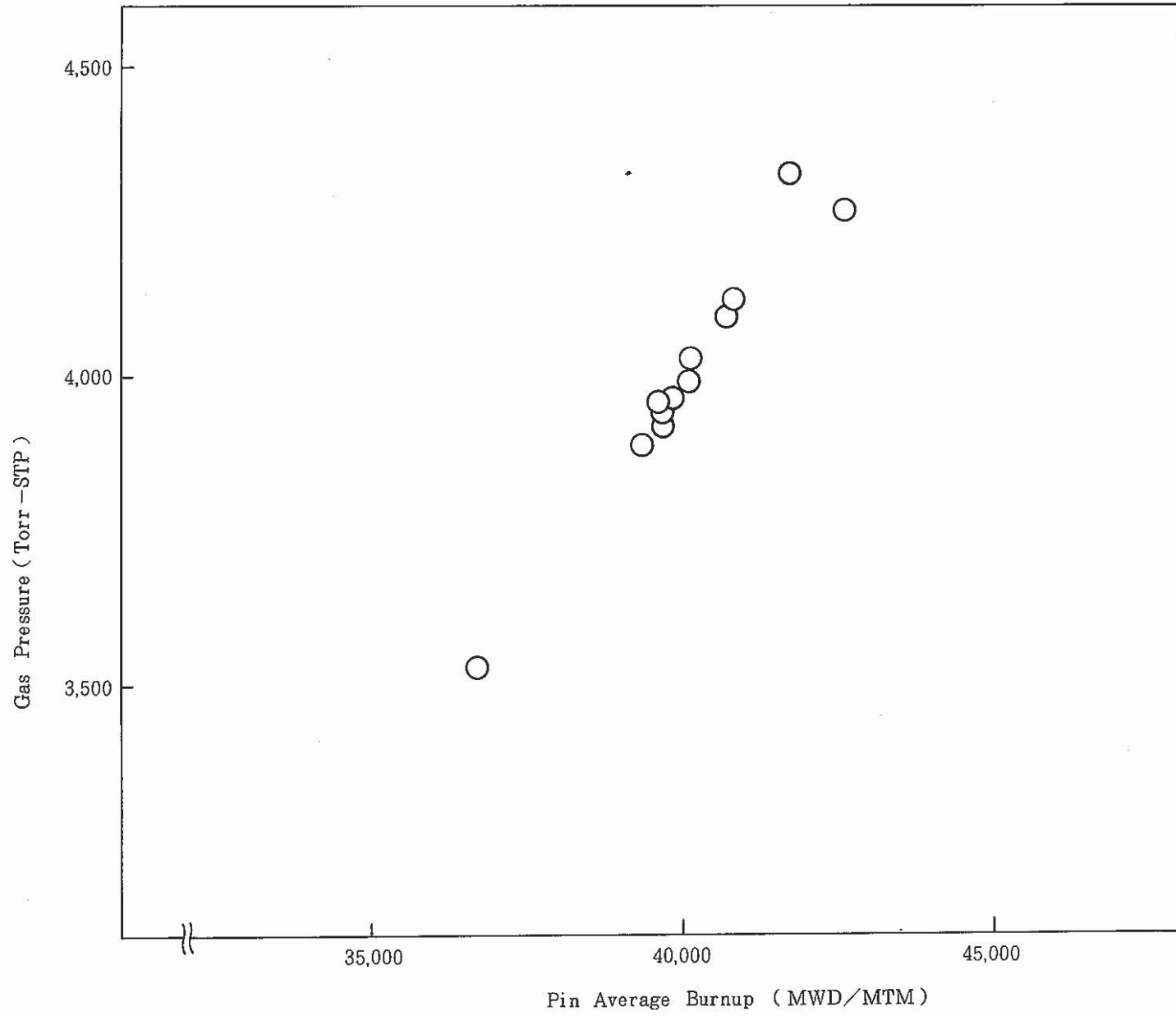


Fig. 21 Plenum Gas Pressure as a Function of Pin Average Burnup





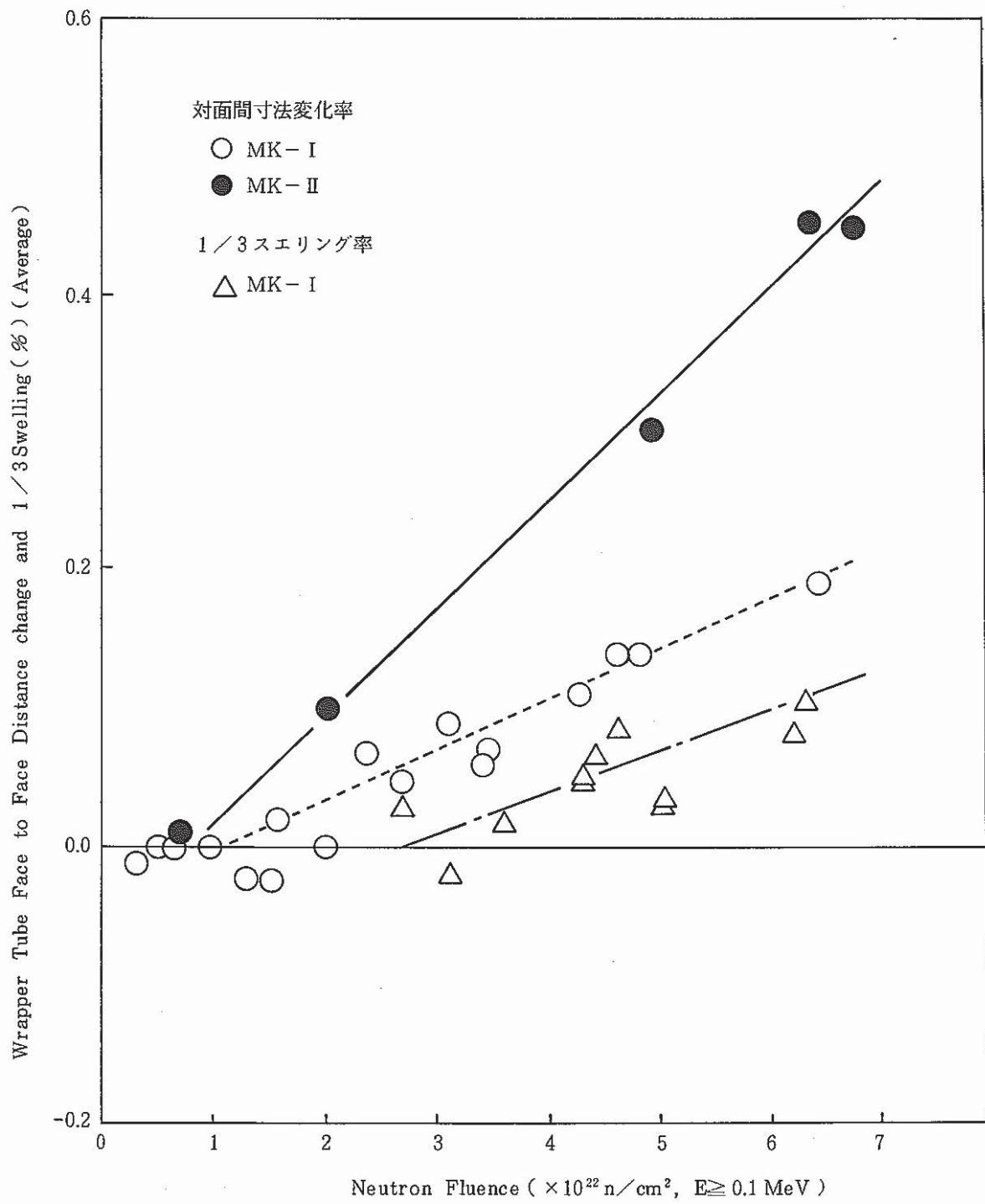


Fig. 23 Wrapper Tube Face to Face Distance Change and 1/3 Swelling Rate at Axial Core Center

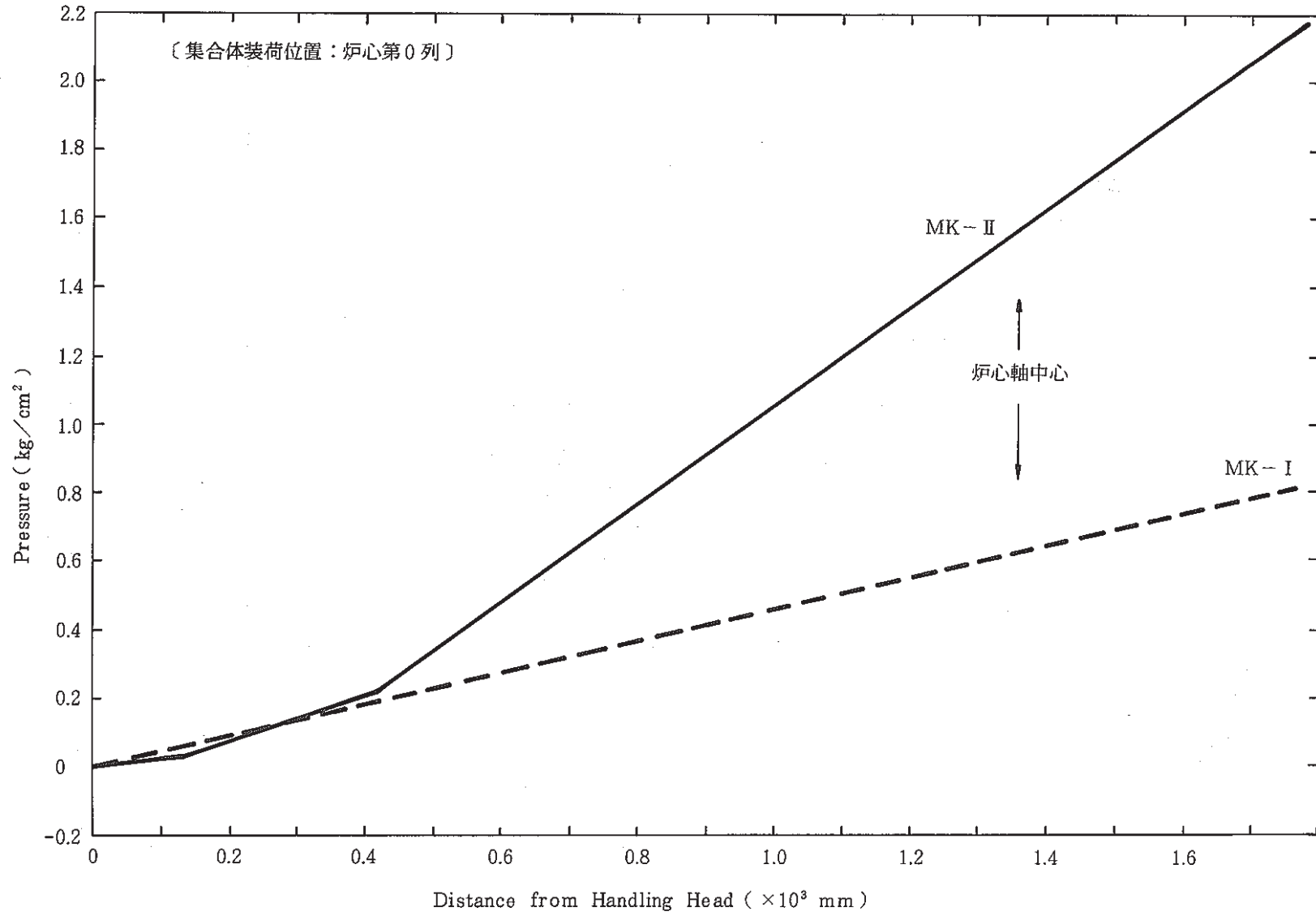


Fig. 24 Axial Distribution of Coolant Pressure in the inside of Wrapper Tube

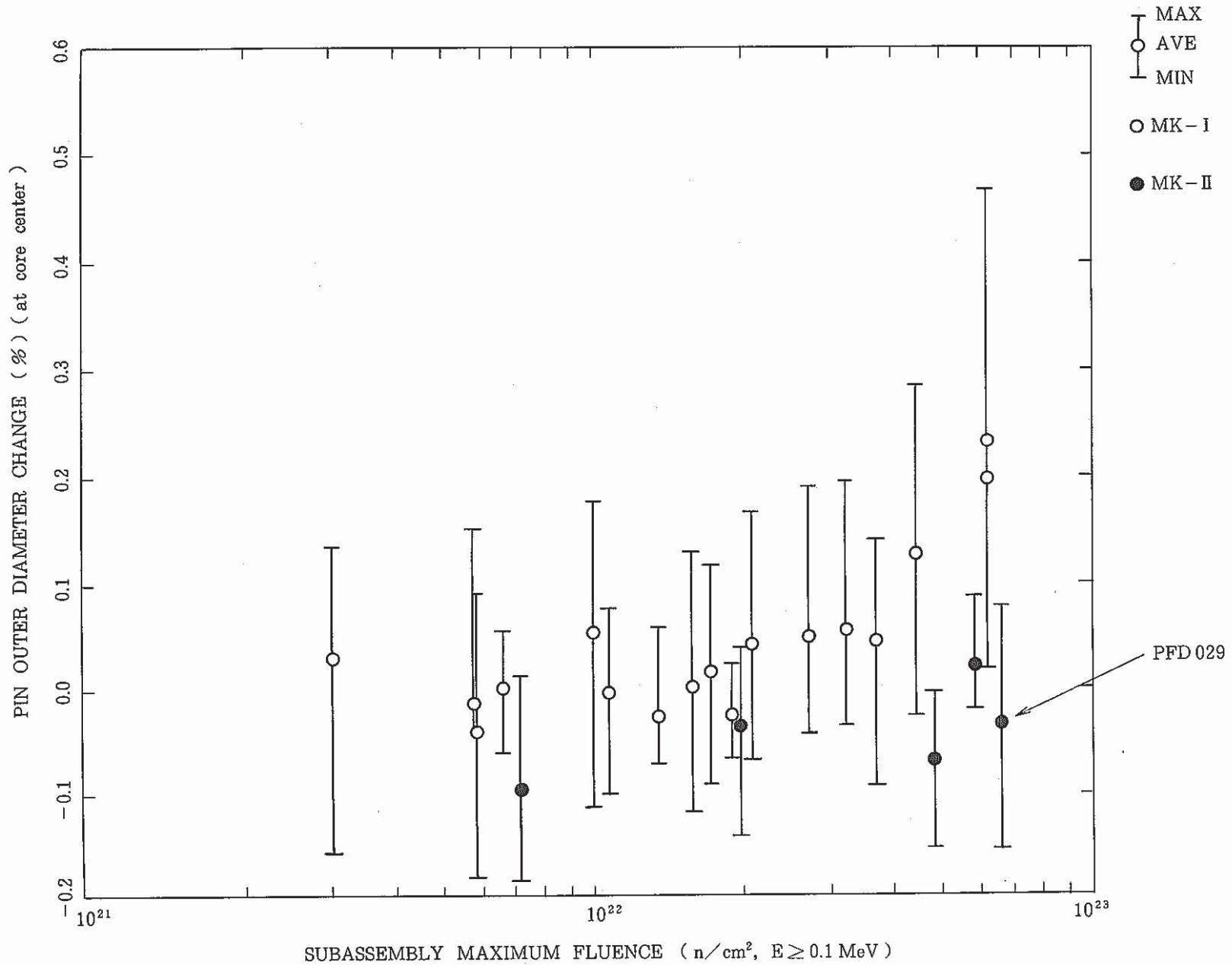


Fig. 25 Pin Outer Diameter Changes of MK-I and MK-II core Fuel Pin as a Function of Subassembly Maximum Fluence

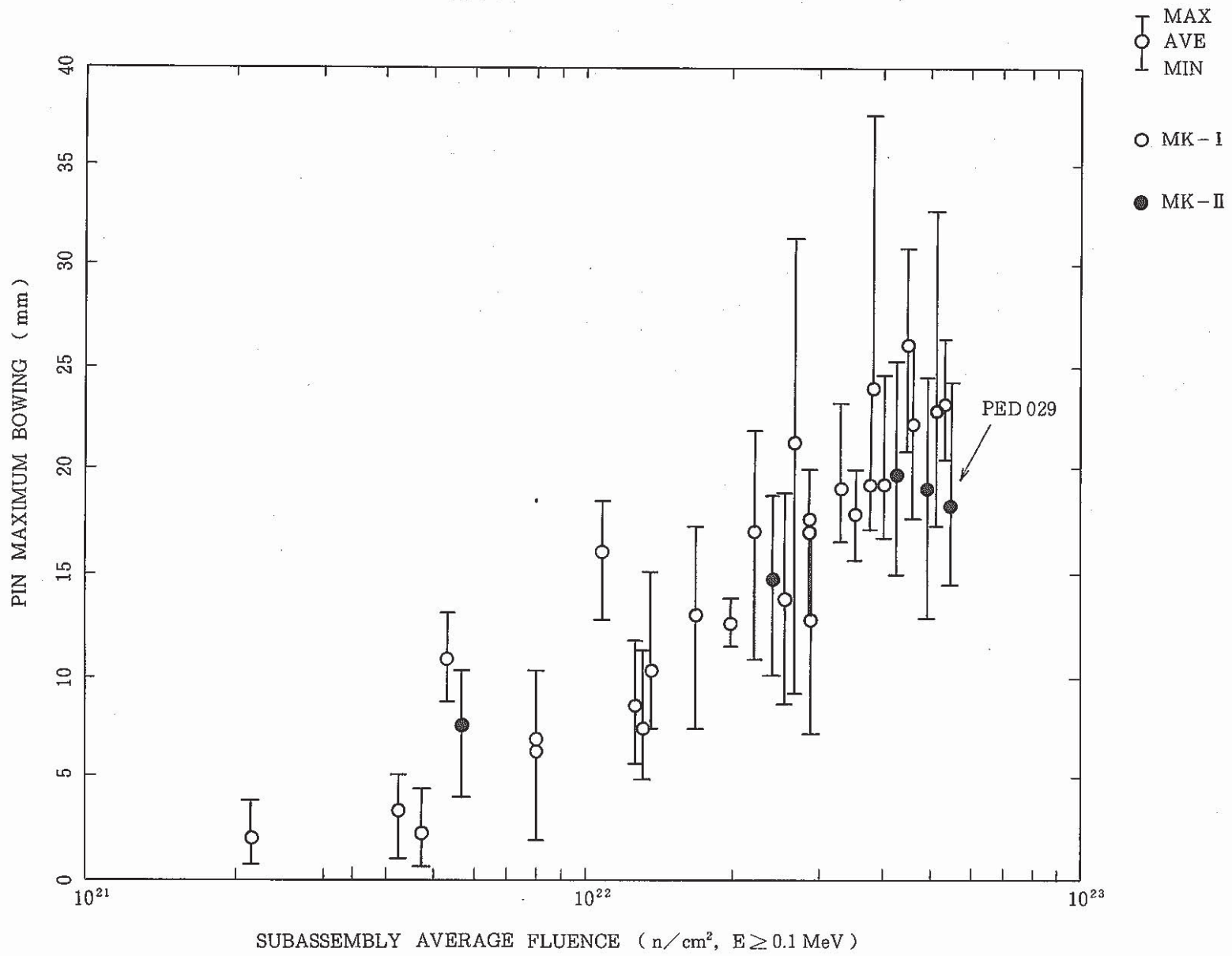


Fig.26 Pin Maximum Bowing as a Function of Subassembly Average Fluence

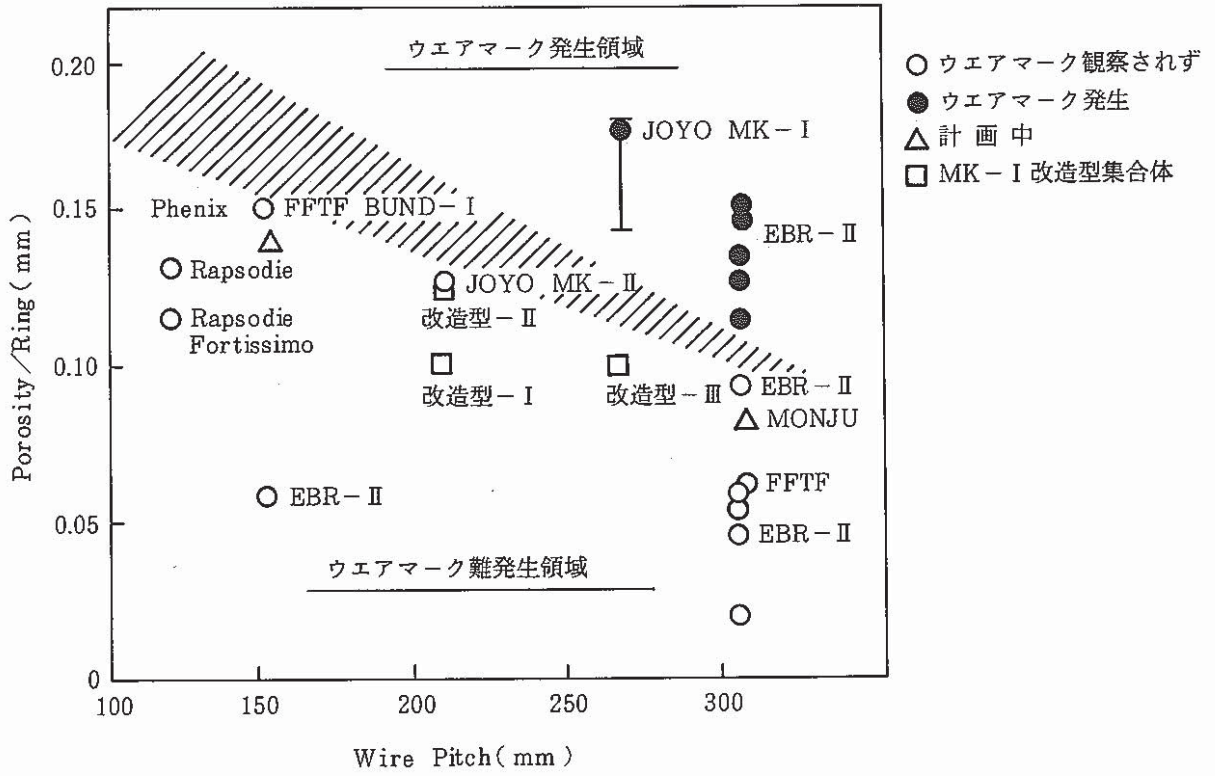


Fig. 27 Relationship of Porosity/Ring and Wire Pitch on Wear Mark



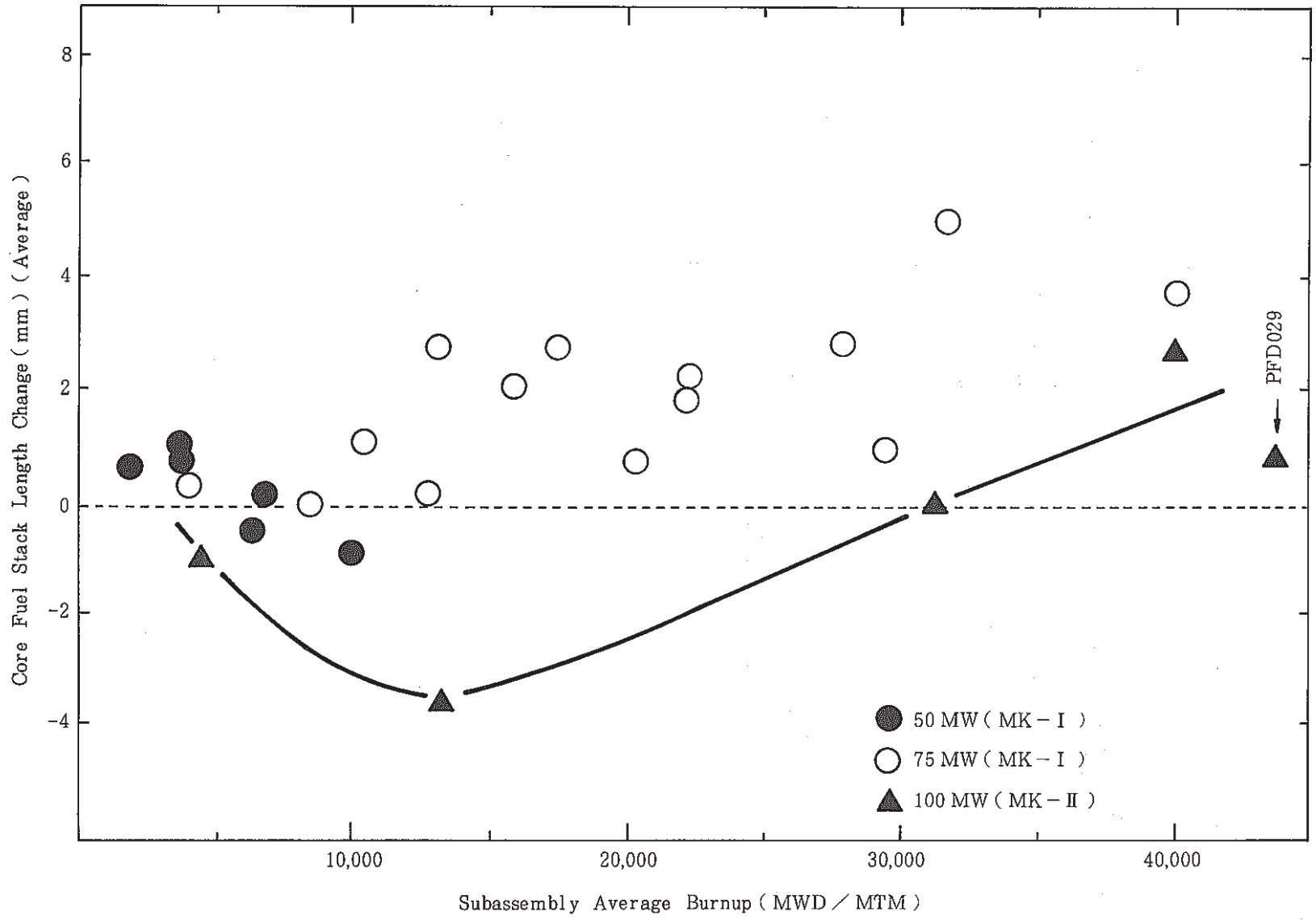


Fig. 28 Fuel Stack Length Change of MK-I and MK-II Core Fuel as a Function of Subassembly Average Burnup

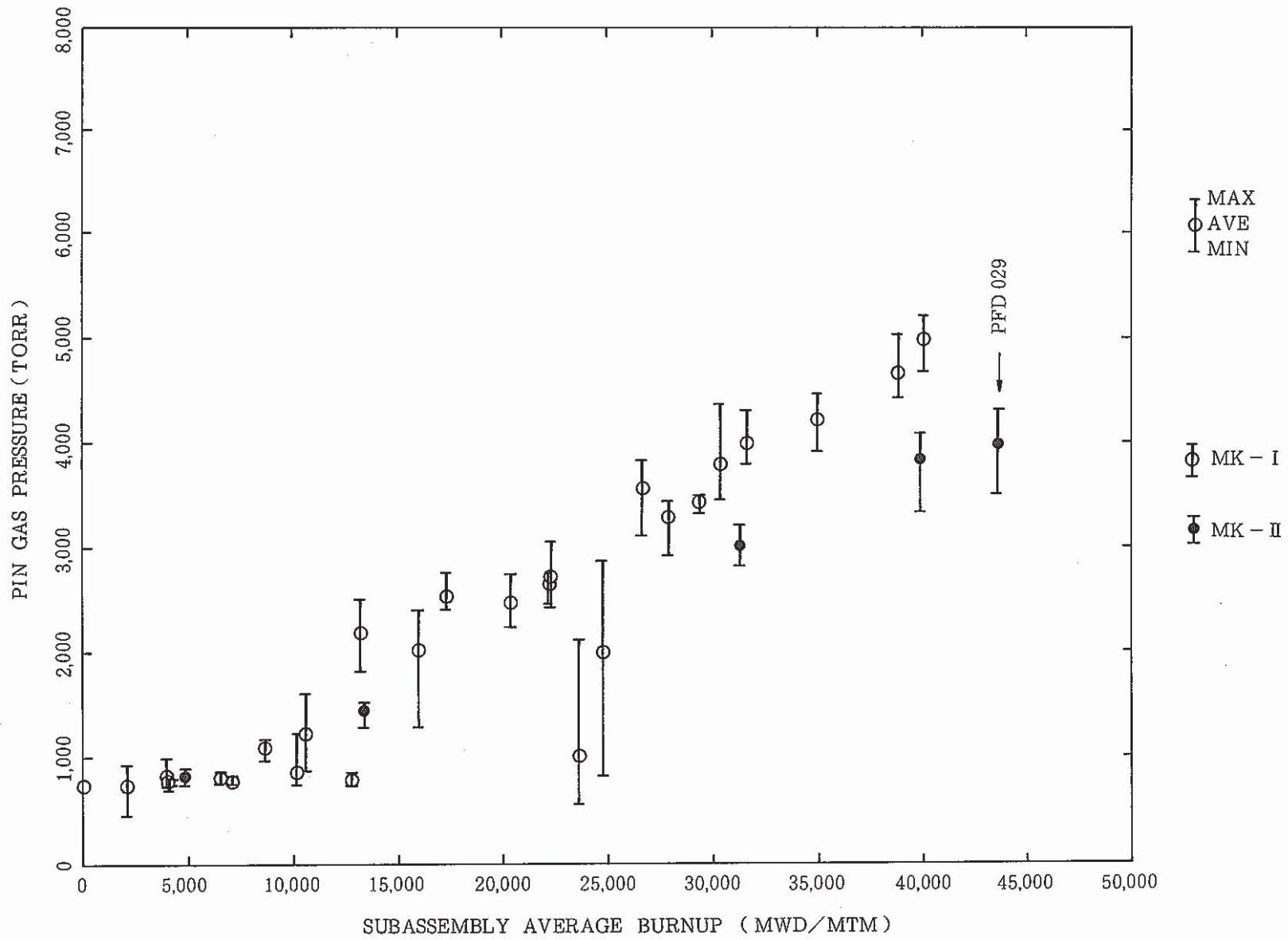


Fig. 29 Plenum Gas Pressure of MK-I and MK-II Core Fuel Pins as a Function of Subassembly Average Burnup

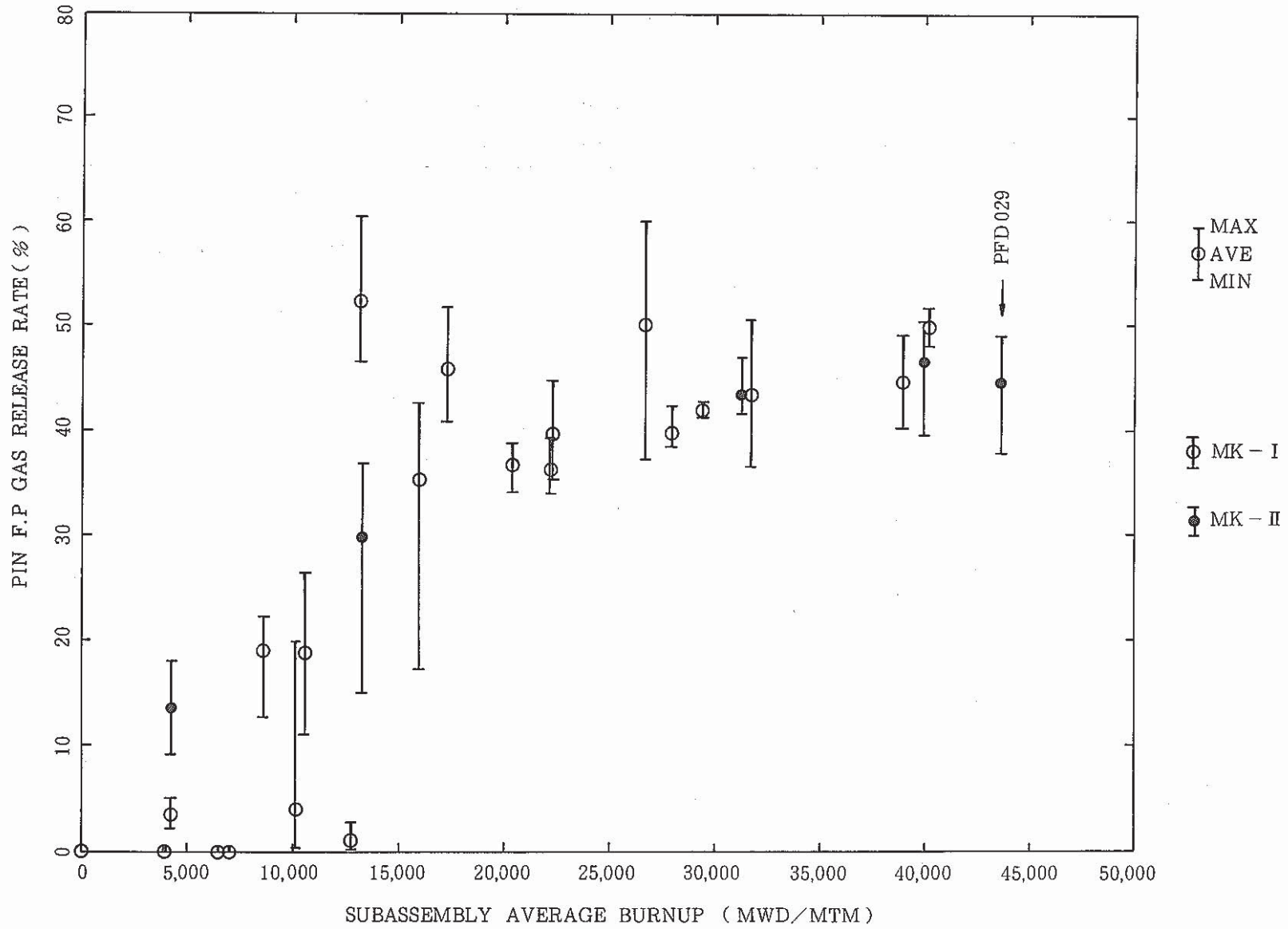


Fig. 30 Fission Gas Release Rate of MK-I and MK-II Core Fuel Pins as a Function of Subassembly Average Burnup

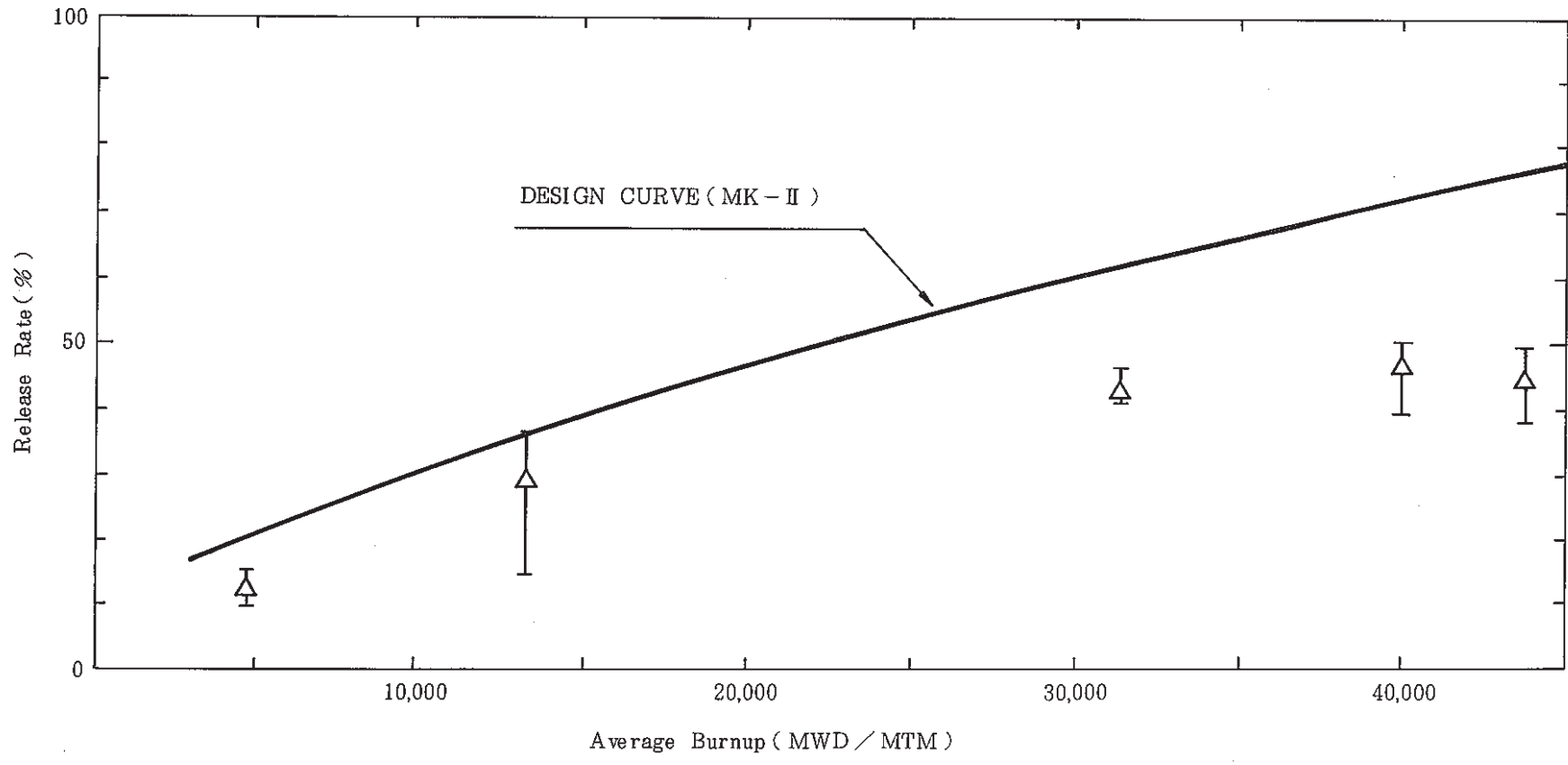
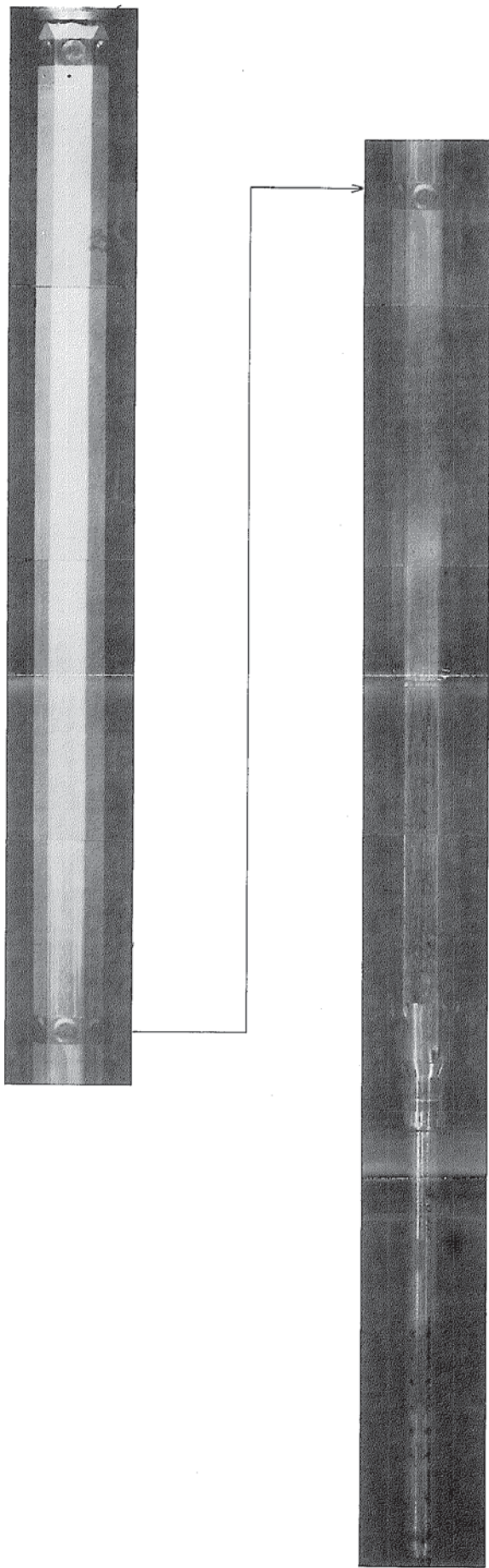


Fig. 31 Comparison between Designed and Measured Values of F.P. Gas Release Rate

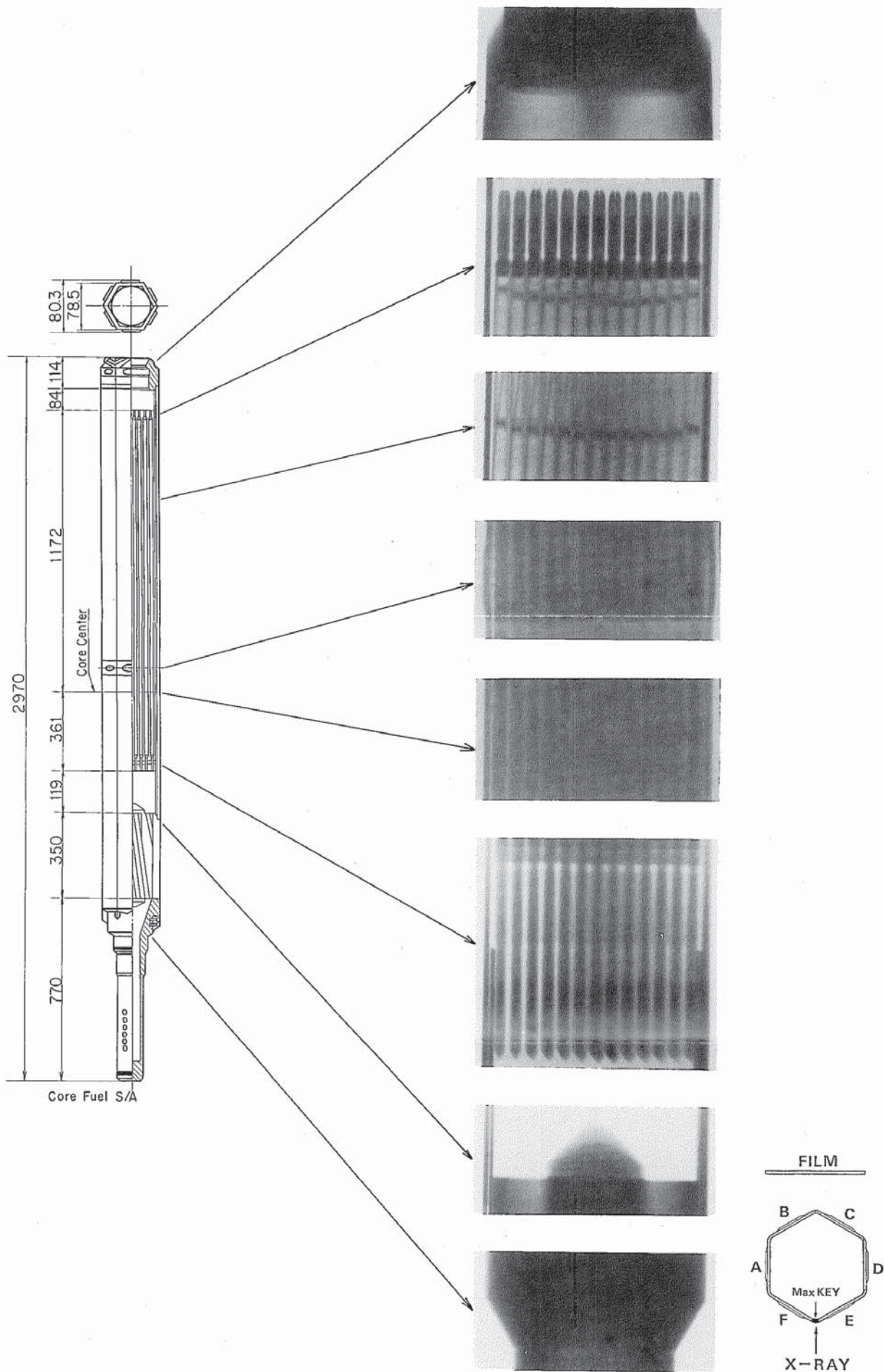


(after)

FACE **F**

**F851010**

Photo. 1 Surface Condition of the Subassembly after Sodium Removal

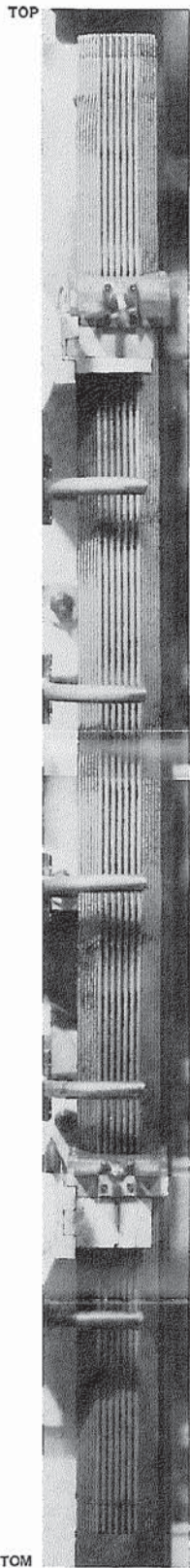
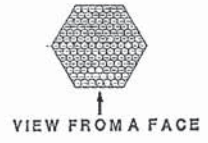


- 61 ~ 62 -

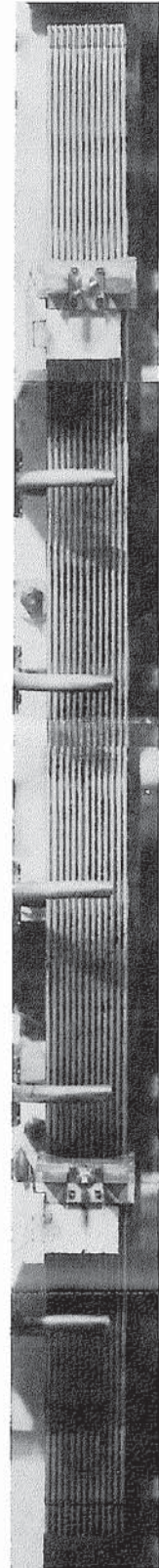
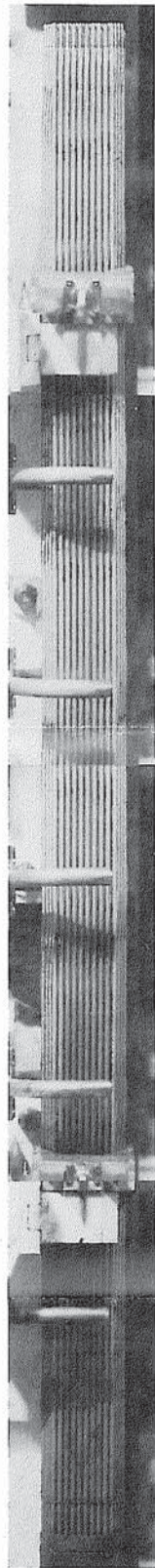
# F862001

Photo. 2 X-ray Radiography of the Subassembly



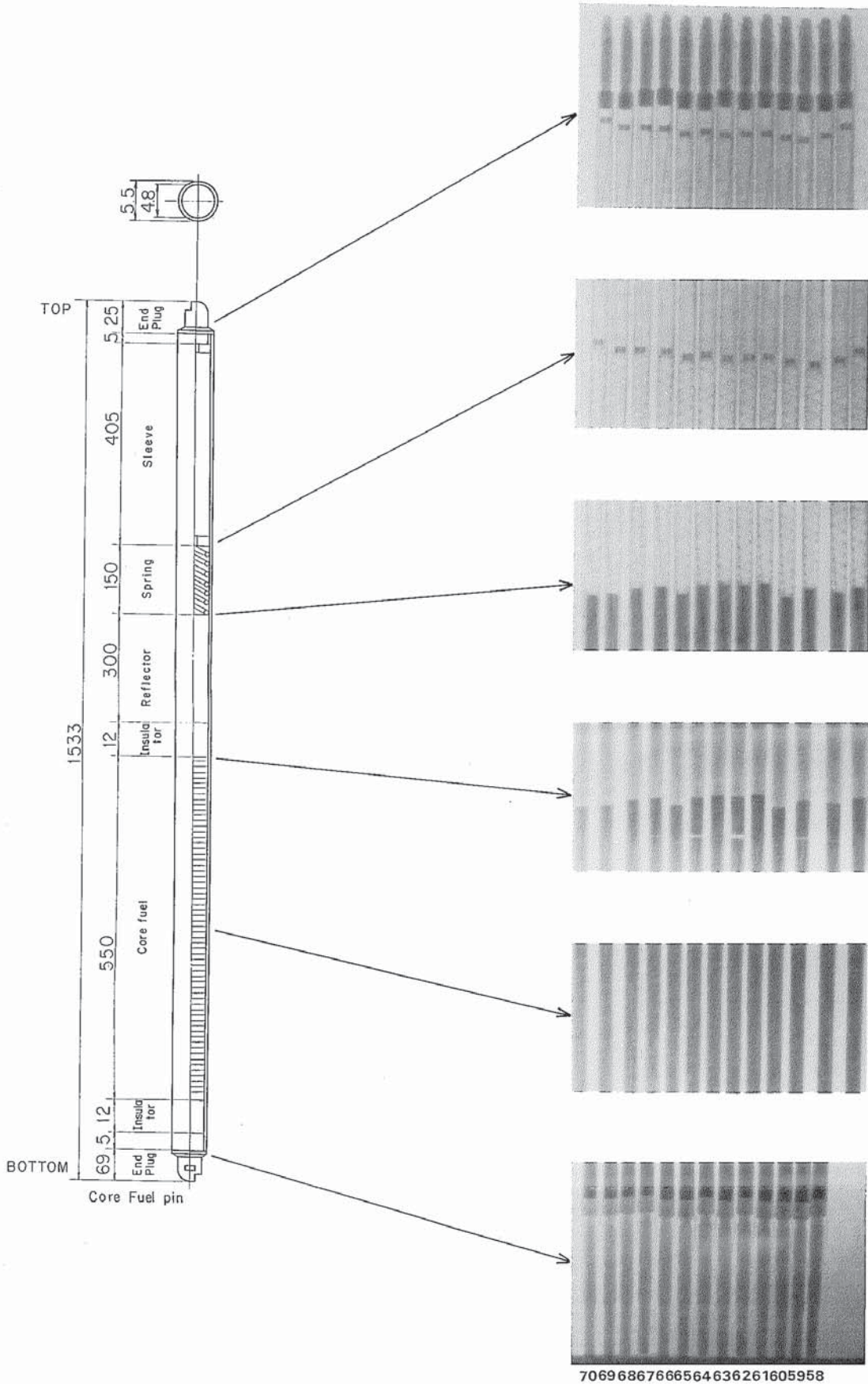


Row 1



F853006

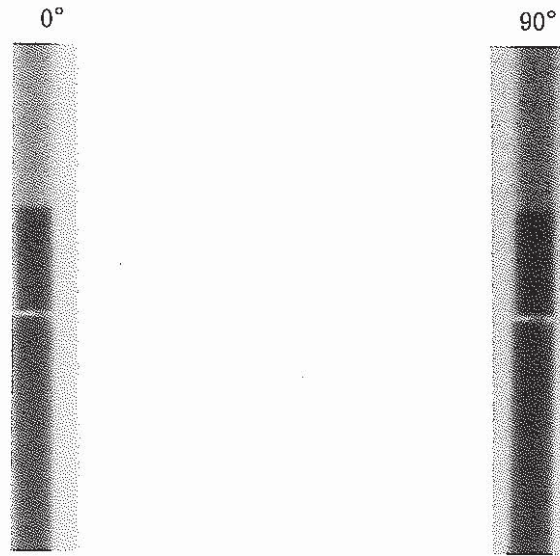
Photo. 3 Condition of Fuel Pin Bundle Observed at each Stage of Disassembling



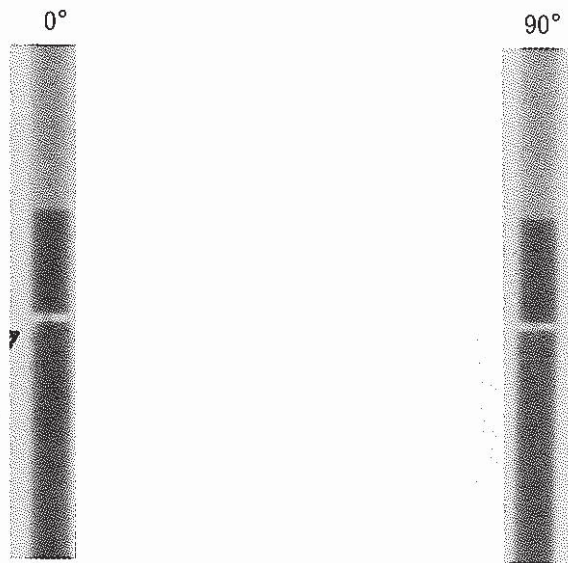
- 65-66 -

F854005

Photo. 4 Construction Condition inside of the Subassembly Observed by X-ray Radiography



Pin No. 9163



Pin No. 9186

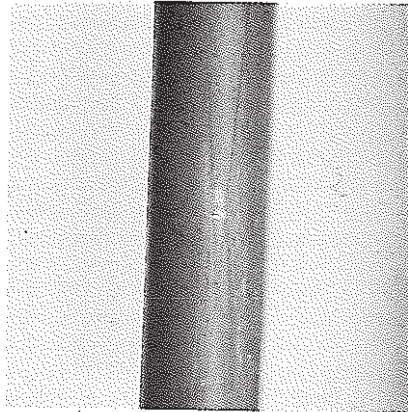
Photo 5 Detail Observation of the Gap between the Upper Insulator Pellet and the Core Fuel Stack



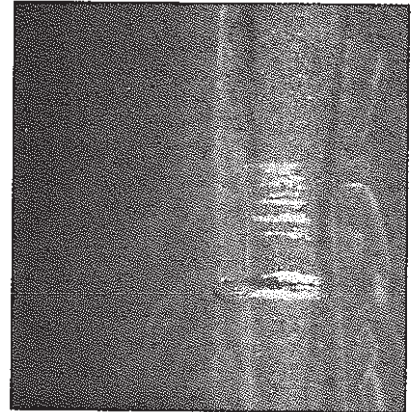
被覆管

Pin No.9161

倍率×3



倍率×15



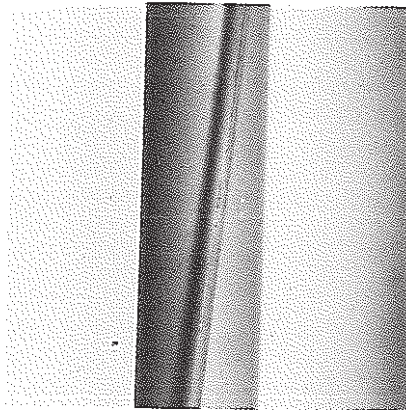
Z軸位置 271

φ軸位置 180

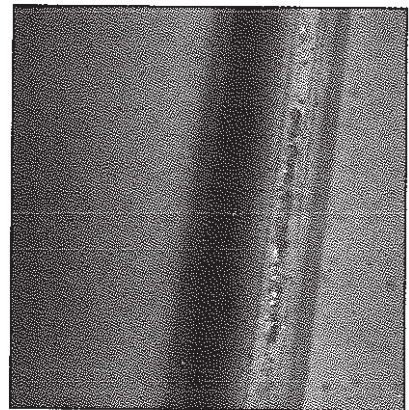
ワイヤ

Pin No.9161

倍率×3



倍率×15



Z軸位置 825

φ軸位置 67

Photo 6 Contact Mark on a Fuel Pin