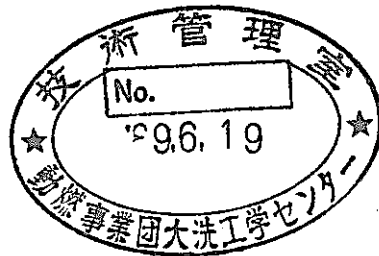


# 「常陽」MK-II炉心燃料集合体(PFD210)の照射後試験

—集合体及び燃料要素の非破壊試験—



1989年3月

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 (PFD210) の照射後試験

## — 集合体及び燃料要素の非破壊試験 —

実施責任者 松島英哉\*

報告者 永峯剛\* 平澤久夫\*

## 要 旨

「常陽」MK-II 炉心燃料集合体「PFD210」は、第8サイクルから第14サイクルの間照射され、集合体平均燃焼度は39,900 MWD/tで第二次取替用の最初の供試体である。

「常陽」定期検査受検のためのデータ取得を目的に試験を行い、以下の結果を得た。

- (1) 集合体及び燃料ピンに損傷はなく、異常な変形変色は認められない。
- (2) 被覆管表面に擦り痕は認められず、接触跡はMK-II初装荷炉心燃料ピンと同程度の微細なものであった。
- (3) ラップ間対面間距離変化は、照射量が同程度の炉心燃料集合体と比べ小さく、特にF-C面の中間パッド部近傍では他の対面と異なり減少していた。
- (4) 燃料スタック長変化率( $\Delta L/L$ )は約1.4%で、同程度の燃焼度の炉心燃料ピンと比べ2倍以上の伸び率を示している。
- (5) FPガス放出率は約30%で、同程度の燃焼度の炉心燃料ピンと比べ低めであった。

---

\* 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第二次取替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. 照射後試験計画	4
4.1 集合体試験	4
4.2 集合体部材試験	4
4.3 燃料ピン試験	4
4.4 その他	5
5. 試 験	6
5.1 試料の取扱い	6
5.2 集合体試験結果	6
5.2.1 外観検査	6
5.2.2 寸法測定	6
5.2.3 X線ラジオグラフィ	7
5.3 集合体部材試験結果	7
5.3.1 中間パッド部詳細外観検査	7
5.3.2 ラッパ管ガンマスキャン	7
5.4 燃料ピン試験結果	8
5.4.1 外観検査	8
5.4.2 X線ラジオグラフィ	8
5.4.3 重量測定	8
5.4.4 詳細外観検査	9
5.4.5 寸法測定	9
5.4.6 ガンマスキャン	9
5.4.7 パンクチャテスト	10
6. 結果の検討	11
6.1 集合体及び燃料ピンの健全性	11
6.1.1 集合体の健全性	11
6.1.2 燃料ピンの健全性	11

6.2 照射挙動評価 .....	11
6.2.1 集合体外形状変化 .....	11
6.2.2 燃料ピン外形形状変化 .....	12
6.2.3 燃料ピンスタック長変化 .....	13
6.2.4 ピン内圧及びガス組成 .....	13
6.2.5 FPガス放出率 .....	13
7. まとめ .....	15
8. 参考文献 .....	16

## List of Tables

Table I	Difference in Specifications of the Core Fuel Pellet .....	17
Table II	Difference in Specifications of the Fuel Cladding .....	18
Table III	Subassembly Irradiation Conditions .....	19
Table IV	Pin Parts List .....	20
Table V	Results of Neutron Fluence by Gamma-Spectroscopy .....	24
Table VI	Pin Diameter and Total Length Changes .....	25
Table VII	Results of FP Gas Volume in the Fuel Pins by Gamma-Spectroscopy ( $^{85}\text{Kr}$ ) .....	26
Table VIII	Results of FP Gas Analysis .....	27
Table IX	Results of FP Gas Mass Analysis (Pin No. C258) .....	27
Table X	Face to Face Distance Changes at Middle Pad and Direction to the Core Center .....	28
Table XI	Coolant and Cladding Temperature Calculated by ESPRIT-J Code .....	29

## List of Figures

Fig. 1	In Reactor Location of the Subassembly (PFD210) .....	30
Fig. 2	Axial Profile of Burnup of a Center Pin .....	31
Fig. 3	Axial Profile of Linear Heat Rate of a Center Pin .....	32
Fig. 4	Axial Profile of Fuel Temperature of a Center Pin .....	33
Fig. 5	Axial Profile of Fluence and Cladding Temperature of a Center Pin .....	34
Fig. 6	Pins Selected for the Examination .....	35
Fig. 7	Flow Diagram of Postirradiation Examination on MK-II Core Fuel Subassembly (PFD210) .....	36
Fig. 8	Face to Face Distance of Wrapper Tube of Subassembly (A-D Face) .....	37
Fig. 9	Face to Face Distance of Wrapper Tube of Subassembly (B-E Face) .....	38
Fig. 10	Face to Face Distance of Wrapper Tube of Subassembly (C-F Face) .....	39
Fig. 11	Bowing Vector of Subassembly .....	40
Fig. 12	Subassembly Surface Temperature at PIE .....	41
Fig. 13	Radial Distribution of Gamma-Ray Intensity of the Wrapper Tube ( $^{54}\text{Mn}$ , 0.835 MeV) .....	42
Fig. 14	Axial Profile of a Fuel Pin Outer Diameter ....	43
Fig. 15	Bowing Vectors of Fuel Pins .....	44
Fig. 16	Axial Distribution of Gamma-Ray Intensity of a Center Pin .....	45
Fig. 17	$\gamma$ -ray Emission Tomographs of Radionuclides in a Center Pin .....	46
Fig. 18	FP Gas Volume in the Fuel Pins by Gamma-Spectroscopy .....	47
Fig. 19	Wrapper Tube Face to Face Distance Changes as a Function of the Subassembly Maximum Fluence ...	48
Fig. 20	Middle Pad Face to Face Changes as a Function of the Subassembly Maximum Fluence .....	49
Fig. 21	Subassembly Bowing as a Function of the Average Fluence .....	50

Fig. 22 Direction of Subassembly Bowing and In Reactor  
Location .....51

Fig. 23 Pin Outer Diameter Changes of MK-II Core Fuel  
Pin as a Function of the Subassembly Maximum  
Fluence .....52

Fig. 24 Pin Maximum Bowing of MK-II Core Fuel Pin as a  
Function of the Subassembly Average Fluence ..53

Fig. 25 Fuel Stack Length Change of MK-II Core Fuel Pin  
as a Function of the Subassembly Average Burnup.54

Fig. 26 Plenum Gas Pressure of MK-II Core Fuel Pins as  
a Function of the Subassembly Average Burnup ...55

Fig. 27 Xe/Kr Ratio of Tested Pin in the Subassembly ..56

Fig. 28 Fission Gas Release Rate of MK-II Core Fuel  
Pins as a Function of the Subassembly Average  
Burnup .....57



List of Photographs

Photo. 1 Surface View of the Subassembly .....58  
Photo. 2 X-ray Radiographs of the Subassembly .....59  
Photo. 3 Surface View of the Middle Pad .....60  
Photo. 4 View of Fuel Pin Bundle Observed at each  
Stage of Disassembling .....61  
Photo. 5 Construction Condition inside of the Sub-  
assembly Observed by X-ray Radiography .....62  
Photo. 6 X-Ray Radiographs of Chipped Pellets .....63  
Photo. 7 Contact Mark on a Fuel Pin .....64  
Photo. 8 Black Attachment on the Fuel Pin .....65

## 1. ま え が き

「常陽」MK-II 炉心燃料集合体は、現在まで10体が照射後試験に供され、集合体平均燃焼度約50,000 MWD/t までの健全性が確認されており、燃焼度をパラメータとした照射挙動データが蓄積されてきた。<sup>1)~8)</sup>

今回の炉心燃料集合体「PFD210」は、MK-II 定格出力運転第8サイクルから第14サイクルの間、炉内装荷位置4C4で照射され、集合体平均燃焼度39,900 MWD/t、最大線出力261 W/cmで、経済性の向上を目的に製造仕様の変更した二次取替用炉心燃料集合体として初めて照射後試験を行うものである。照射後試験は、第7回定期検査受検のためのデータ取得を目的に実施した。

## 2. MK-II 二次取替炉心燃料集合体の概略

集合体の外形形状は、MK-I の炉心燃料集合体及びMK-II 初装荷炉心燃料集合体並びにMK-II 一次取替炉心燃料集合体とはほぼ同一である。

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長さ 550 mm に渡り充填し、その上下に長さ 12 mm 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、上部ブランケットに相当する部分にはステンレス鋼製反射体で上部遮蔽体を作っているが、下部ブランケットに相当する部分はなくその分ピン全長が短い。MK-II 初装荷及び一次取替燃料との比較では、原料  $\text{PuO}_2$  粉末として高比率 ( $\text{Pu}/\text{U}=20/1$ ) 混合直接脱硝粉を使用 (一次取替後半も含む) しており経済性向上のため不純物含有割合の緩和等製造仕様が異<sup>9)</sup>っている。

燃料被覆管は、外径 5.5 mm  $\phi$ 、内径 4.8 mm  $\phi$  であり、ペレット～被覆管直径ギャップは公称 170  $\mu\text{m}$  である。

MK-II 二次取替炉心燃料集合体の仕様を<sup>10)</sup> MK-I 及びMK-II 初装荷並びにMK-II 一次取替と比較して Table I (炉心燃料ペレット) 及び Table II (被覆管) に示す。

### 3. 照射条件

#### 3.1 炉内照射位置

本集合体「PFD210」は、100MW定格出力運転第8サイクルから第14サイクルまで炉内装荷位置4C4で照射された。装荷位置4C4はFig. 1に示すとおり、炉心最外列に位置し、制御棒と炉心燃料集合体3体及び内側反射体2体と接している。「PFD210」装荷期間中の隣接集合体の交換は、制御棒及び炉心燃料集合体各1体、(但し制御棒下部案内管はMK-Iから継続使用)反射体2体(内1体は5C4におけるSM1R-5照射)が行われている。

#### 3.2 集合体照射条件

集合体平均燃焼度は39,900MWD/t、線出力は最大261W/cm、被覆管最高温度は約590<sup>11)</sup>℃である。照射条件をTable III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コード)による集合体中心ピンの照射条件<sup>12)</sup>をFig. 2~5に示す。

## 4. 照射後試験計画

「常陽」MK-II炉心構成要素第2期照射後試験基本計画(改訂版)<sup>13)</sup>に基づき非破壊試験を実施した。試験項目と着目点は以下のとおりである。

### 4.1 集合体試験

#### 1) 外観検査

表面状況及び外形形状変化

#### 2) X線ラジオグラフィー

内部状況のみだれ及び異物混入の有無

#### 3) 寸法測定

寸法形状(全長, 対面間距離, 曲り)の変化

#### 4) 解体

バンドル形状変化によるラッパ管引抜き力

### 4.2 集合体部材試験

#### 1) 中間パッド部詳細外観検査

隣接集合体との接触による圧跡の有無

#### 2) ラッパ管ガンマスキャン

ガンマ線強度分布

中性子照射量の評価

### 4.3 燃料ピン試験

#### 1) 外観検査

傷, 変色, 付着物等の有無及びピンバンドル状態の変化

#### 2) X線ラジオグラフィー

ペレット間ギャップ, 中心空孔等内部状況の変化

内部構成要素の長さ変化

#### 3) 重量測定

重量変化の有無

#### 4) 詳細外観検査

接触跡の状況

表面状況(傷, 変色, 付着物等)の変化

(5) 寸法測定

寸法形状(外径, 全長, 曲り)の変化

6) ガンマスキャン

F P, 放射化核種の軸方向及び径方向分布

非破壊によるF Pガス量

7) ピンパンクチャテスト

ピン内プレナム部に放出されたF Pガス量及びF Pガス成分

4.4 その他

1) 缶内水分析( $\alpha$ 核種, F P核種)

燃料破損の有無

## 5. 試 験

### 5.1 試料の取扱い

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)に搬入された。FMSでは、集合体試験として外観検査、寸法測定、X線ラジオグラフィーを実施したのち、ラップ管を引抜き集合体を解体した。ラップ管の最大引抜き荷重は10kgfであった。

ラップ管については、中間パッド部及び炉心中心部を切り出し、詳細外観検査、ガンマスキャンを実施した。

ピンについては、Fig.6に示す内容で試験を実施した。また、本集合体のピンを用いて再装荷計画の事前モックアップの一環としてピンの除染試験及びFPガスの同位体絶対量測定技術開発のためにピンパンクチャテストを行った。照射後試験のフローをFig.7に示す。

ピン製造時のデータをTable IVに示す。

キャスク搬入時の缶内水(集合体冷却水)分析結果、FP核種及び $\alpha$ 放出核種の濃度は、測定検出限界以下であった。

### 5.2 集合体試験結果

#### 5.2.1 外観検査

外観写真をPhoto.1に示す。

##### (1) 形状変化

外形形状の変化は観察されなかった。

##### (2) 表面状況

各面の中間パッドから下端までは黒く変色しており、C面(炉心方向反対の内側反射体隣接面)の中間パッド約150mm上から上部パッドまでの間に平行に3本浅いすり傷が観察された。

上部パッド部表面に、周方向の浅いすり傷と、中間パッド部には、黒変色が多く観察された。

その他には、特異な傷、変色、付着物等は認められなかった。

#### 5.2.2 寸法測定

##### (1) 全 長

照射前の全長(3面平均)2970.6mmに対して照射後(6面平均)2969.7mmであり、その差-0.9mmは測定の有意な変化 $\pm 1.0$ mm以内であった。

##### (2) 対面間距離

照射後の対面間距離測定結果を照射前測定結果とともにFig.8~10に示す。A-D、及びB-E面においては、炉心中心近傍で対面間距離の増加が認められた。最大増加

量は、A-D面で $300\mu\text{m}$ (変化率 $4D/D$ にして約0.4%)であった。しかし、C-F面のパッド部では減少が確認された。減少量は、約 $500\mu\text{m}$ (変化率 $4D/D$ にして約0.6%)であった。このため、C-F面パッド部に隣接集合体と接触した圧跡の有無を確認するため詳細な観察を行うことにした。

### (3) 曲 り

照射後の曲り量は上部パッド部において $6.8\text{mm}$ (曲り方向 $140$ 度)であり、同位置の照射前の曲り量は $0.9\text{mm}$ (曲り方向 $50$ 度)である。したがって照射前後の曲りをベクトル合成すると、照射により $6.9\text{mm}$ (曲り方向 $148$ 度)の曲りが発生したことになる。この曲りは、照射後試験を実施したMK-II炉心燃料集合体の中で最大である。中間パッド部での照射による曲り量は $0.8\text{mm}$ (曲り方向 $150$ 度)と小さく、中間パッド部から上部パッド部にかけて大きく曲っている。Fig. 11に中間パッド、上部パッド位置での曲り測定結果を示す。

### (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、エントランスノズルから常温窒素ガスを導入(流量 $64\text{Nm}^3/\text{hr}$ )、冷却しながら測定した。

炉心中心付近より上部パッドにかけての表面温度は、エントランスノズル付近よりも約 $12^\circ\text{C}$ 高かった。測定結果をFig. 12に示す。この温度上昇により対面間距離は、 $0.011\text{mm}$ 増加(線膨張係数 $12 \times 10^{-6}\text{cm}/^\circ\text{C}$ )するが、対面間距離測定の有差 $\pm 0.1\text{mm}$ 内であり、対面間距離測定結果に影響はない。

## 5.2.3 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。

## 5.3 集合体部材試験結果

### 5.3.1 中間パッド部詳細外観検査

本試験は、中間パッド部の対面間距離の変化で、C-F面が減少していたため、隣接集合体との接触による圧跡の有無を確認することを目的に実施した。(5.2.2(2)項参照)

各面のパッド部の拡大写真をPhoto. 3に示す。観察の結果、全てのパッドに変色は見られるものの、変形、欠け、メッキの剥離等は認められない。C、F面には、すり傷が多く見られるが、その他は他の面と特に異なる点は認められなかった。

### 5.3.2 ラップ管ガンマスキャン

測定は、ラップ管の中性子照射量を算出し、ESPRIT-J計算結果との比較検討を目的に実



施した。

放射化核種である $^{54}\text{Mn}$ の $\gamma$ 線計数率径方向分布をFig. 13に示す。生成量が多く半減期の長い $^{58}\text{Co}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ を指標核種とした中性子照射量の算出結果をTable-Vに示す。

$^{58}\text{Co}$ を指標核種として算出した各面の照射量は、ESPRIT-Jコード計算結果と比べA面を除き全体的に小さく、特にC面では約17%小さい。 $^{54}\text{Mn}$ を指標核種とした各面の結果は、ESPRIT-Jコード結果と比べ約1/2以下で、その中でもB、C面は小さい傾向にある。これは、指標核種の生成核反応が、それぞれ $^{58}\text{Ni}(n, p)^{58}\text{Co}$ 、 $^{54}\text{Fe}(n, p)^{54}\text{Mn}$ と、速中性子による核反応(有効しきい値、 $^{58}\text{Co}$ : 2.8 MeV,  $^{54}\text{Mn}$ : 3.3 MeV)であるため、計算に使用した核反応断面積(25群の中性子エネルギースペクトルから1群に縮約して得た値)が計算結果に大きく影響しているのと、B、C面が小さい傾向にあるのは、いずれも隣接集合体が内側反射体であることによるものと考えられる。

#### 5.4 燃料ピン試験結果

##### 5.4.1 外観検査

ラップ管引抜後のピンバンドル状態及びピン列の状態を全ピンについて観察した。

ピンバンドルに大きなふくれ、ピン配列の乱れは認められなかった。観察結果をPhoto. 4に示す。

C294、C295の2本のピン表面に黒色付着物が観察された。ほぼ全ピンの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。

外周ピンに若干の曲りが観察されたが、ラッピングワイヤのゆるみは認められなかった。

##### 5.4.2 X線ラジオグラフィ

全ピンのX線写真を撮影観察した結果、全てのピンにスプリングのへたりと、C299ピン及びC2A1ピンにペレットのかけが認められた。しかし、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かった。代表例として、中心列のX線写真をPhoto. 5に、ペレットの欠け部のX線写真をPhoto. 6に示す。

スタック長(上下部インシュレータペレットと炉心ペレットの境界部位置から求めた寸法)の変化量は、平均7.6mmの増加であり、燃料製造ロットによる差異は認められない。

##### 5.4.3 重量測定

全ピンの照射前後の重量変化は、 $-0.1\text{ g} \sim -0.4\text{ g}$ の範囲にあり、有意な変化 $\pm 0.7\text{ g}$ を超えるものは認められなかった。

上部端栓No.は照射前データと一致した。

#### 5.4.4 詳細外観検査

被覆管表面の接触跡を観察するためにワイヤを取り除いた状態で5本のピンについて行った。外観検査で認められたC295ピンの黒色付着物を観察した。

##### (1) 接触跡の観察

被覆管表面の最大と思われる接触跡は、C258ピンに認められた長さ1.2mm、巾0.6mmのものであった。これをPhoto.7に示す。

##### (2) 黒色付着物の観察

C295ピンの黒色付着物をPhoto.8に示す。付着位置はピン下端より1359mm、角度62°である。この位置は、集合体の解体時に治具を取付ける位置であり、付着物は、布等で容易にふき取れることから、照射後試験での取扱時についてのもと考えられる。

#### 5.4.5 寸法測定

##### (1) 全長測定

照射前後で有意な変化±1.0mmを超えるものは認められない。ピン全長の照射前後の変化量をTable VIに示す。

##### (2) 外径測定

被覆管にふくれ等の有意な変化±0.01mmを超えるものは認められない。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 VIに示す。軸方向外径プロファイルの代表例としてC264ピンの測定結果をFig.14に示す。

##### (3) 曲り測定

最大曲りはC258ピン(炉心方向コーナーピン)の17.0mmであった。曲りは、バンドルの中央が集合体の外側に広がる方向であった。測定結果をFig.15に示す。

#### 5.4.6 ガンマスキャン

##### (1) 軸方向FP分布

集合体中心ピンについて軸方向スキャンを実施した。FP核種及び放射化核種の $\gamma$ 線計数率分布をFig.16に示す。FP核種は連続的に分布しており、低温度側に移動しやすい性質の核種 $^{137}\text{Cs}$ の軸方向への顕著な移動は認められない。

$^{106}\text{Rh}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ , Gross- $\gamma$ による軸方向ピーキング係数は、1.17, 1.15, 1.16であり、炉心特性総合評価システム(MAGI)による計算結果の1.150(14サイクルEOC)<sup>11)</sup>とはほぼ一致している。

##### (2) 燃料ピン径方向FP分布(トモグラフィ)

集合体中心ピンの燃料部中央位置(軸位置338mm)についての横断面FP核種分布測定結果をFig.17に示す。

$^{137}\text{Cs}$ はこれまでの炉心燃料の場合と同様にペレット外周部に移動分布しているのが認められる。 $^{95}\text{Zr}$ の分布では、ペレット全域においてほぼ一定であり、中心空孔は生じていないものと推定される。

### (3) 非破壊FPガス量測定

ガス量測定は、燃料ピン内に放出されるXe, Kr等のFPガス量を放射性FPガスから放出される $\gamma$ 線の計測により定量化するものである。

燃料ピンガスプレナム部に蓄積した放射性FPガスのうち、半減期が長く、 $\gamma$ 線を放出する $^{85}\text{Kr}$ を指標核種として行う。FPガス量は $\gamma$ 線スペクトル分析から $^{85}\text{Kr}$ を定量し、これを基に算出するものであり、Fig. 18に本測定法の概要を示す。

試験対象ピンは、この後にパンクチャテストを予定している燃料ピン3本を用いた。

測定の結果、すべての燃料ピンのガスプレナム部に $^{85}\text{Kr}$ の存在が認められ、平均ピン内ガス量は、33.6 cc-STP(内圧として2400 Torr 0℃)が得られた。測定結果をTable VIIに示す。この結果は、パンクチャテスト結果である平均ピン内ガス量46.2 cc STP(5.4.7項参照)と比較すると誤差はあるものの、本測定法が燃料ピンの健全性を評価する方法として有効であることを確認した。

## 5.4.7 パンクチャテスト

燃料ピン3本についてプレナムガス圧測定及びガス分析を実施した。測定結果をTable VIIIに示す。

### (1) プレナムガス圧

プレナムガス圧は、3132～3415 Torr(0℃)の範囲であった。

### (2) ガス分析

ガスクロマトグラフィーによる元素分析の結果、ガス成分比(モル比)は平均で、Kr:Xe:He = 6.4:62.4:31.2であった。ガス質量分析装置を用いたFPガスの同位体分析の結果をTable IXに示す。

### (3) ガス放出率

ガス放出率は、3.17～3.26%の範囲であった。各燃料ピンのFPガス生成量(Kr+Xe)は、FPガス生成率19.937 cc-STP/Pin a/oBUを使用し、燃焼度は、ESPRIT-Jコードの炉心燃料部の平均燃焼度<sup>12)</sup>で算出した。

## 6. 結果の検討

### 6.1 集合体及び燃料ピンの健全性

#### 6.1.1 集合体の健全性

ラップ管表面及びパッド部に多少すり傷、変色が観察されたが、変形破損等は認められず外観は良好であった。寸法変化では、対面間距離に若干の増加と曲りが認められた。

対面間距離増加量は、中間パッド部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。炉心からの脱荷も最大引抜実荷重 8.3 kgf で問題なく行われており、集合体は健全であったと判断される。

ピンバンドルでは、外周燃料ピンが集合体の外側方向にわずかに曲っているのが観察されたが、バンドル配列の乱れ、ピン支持部の異常、ワイヤのゆるみ等は認められず、バンドルとしても健全であったことが確認された。

#### 6.1.2 燃料ピンの健全性

集合体搬入時の缶内水分析結果で F P 核種及び  $\alpha$  放出核種が検出されなかったこと、及びピン重量測定では有意な重量変化のなかったことから、被覆管の健全性が確認された。

燃料ピンの内部構成は、X線ラジオグラフィー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、燃料ペレット等が正常に装荷されていることを確認した。燃料ピンの外径変化も認められなかった。

燃料ピンの軸方向の燃焼分布については、ガンマスキャンの結果から燃料の出力分布を示す  $^{106}\text{Rh}$ 、 $^{95}\text{Zr}$  は、炉心燃料部の軸方向に連続的なカーブを描いていることが確認された。

これらのことから燃料ピンは健全な状態であったことが確認された。

### 6.2 照射挙動評価

#### 6.2.1 集合体外形状変化

##### (1) 対面間距離変化

Fig. 19 に炉心中心位置における MK-II 炉心燃料集合体のラップ管対面間距離変化率と集合体ポイント最大フルエンスの関係を示す。中性子照射量の増加とともに対面間距離変化率が大きくなっているが、本集合体のそれは、同程度の照射量の集合体と比べ小さな結果として得られている。これは、本集合体の装荷位置が第 4 列であり、照射クリープの主要因である冷却材内外圧差が中心列の  $1.6 \text{ kg/cm}^2$  に比べ  $1.0 \text{ kg/cm}^2$  と小さく、照射クリープ歪が小さかったものと考えられる。

本集合体の各対面間距離は、特に F-C 面中間パッド部近傍で他の対面と異なり減少していたため、中間パッド部の各対面間距離変化率について検討した。中間パッド部の各対

面間距離(3面)の平均変化率( $\sum_{i=1}^3 \Delta D_{(i)} / 3$ )及び各対面間距離変化率の差( $\Delta D_{\max} - \Delta D_{\min}$ )と集合体ポイント最大フルエンスの関係を Fig. 20 に示す。初装荷集合体の平均変化率は、中性子照射量の増加とともに大きくなっている。しかし、一次及び二次取替集合体のそれは照射量が大きい割に小さく、変化率の差は大きめであり、特に本集合体の場合大きい。これは、初装荷集合体の中間パッド各対面間距離がほぼ均等に増加しているのに対して、一次、二次取替集合体の中間パッドは必しも均等でなく、変形が大きいことを示している。中間パッド対面間距離の変化は、スエリングと照射クリープによるものと考えられるが、Table X に示すように集合体炉心方向と各対面間距離変化率との相関は認められず照射量の差で説明することはできない。しかし隣接集合体の中間パッド部対面間距離の変化によっては各対面への接触荷重が異なり、その結果各対面の照射クリープ歪に差が生ずることが考えられる。

## (2) 曲 り

Fig. 21 に集合体上部パッド部における照射による曲り量と集合体平均フルエンスの関係を示す。中性子照射量の増加とともに曲りが大きくなる傾向があり、特に本集合体の曲りは大きい。Fig. 22 にMK-II炉心構成集合体(特燃を含む)の曲り方向と炉内装荷位置の関係を示す。制御棒隣接集合体の曲り方向は制御棒を中心に放射状に曲る傾向が一部の集合体を除き認められる。

集合体の曲りは、ラッパ管各面の照射クリープ、スエリング、熱膨張の差等によって発生するものと考えられる。本集合体の中間パッドF-C面(制御棒隣接面)には先に述べたように大きな接触荷重が加わっていたと推定され、その結果照射クリープ歪により大きな曲りが発生したと考えられる。

## 6.2.2 燃料ピン外形形状変化

### (1) 被覆管外径変化

Fig. 23 に被覆管外径変化率と集合体最大フルエンスの関係を示す。本燃料ピンの炉心中心部平均外径変化率は、0.06%と有意差(±0.18%)内で外径変化は認められないものの同程度の照射量の炉心燃料ピンと比べ大きめである。これは、照射前データとして直径測定値の最大値と最小値の平均値を使用したため、照射前後の同一測定点での比較が出来なかったためである。

### (2) 曲 り

Fig. 24 にピンの曲り量と集合体平均フルエンスの関係を示す。中性子照射量の増加とともに曲りが大きくなる傾向にある。本燃料ピンの結果は「PFD036」と同様に同程度の照射を受けた「PFD001」, 「PFD018」と比べ曲り量が小さい。これは、集合体装荷位置が第4列であり、ラッパ管内の冷却材温度差はほぼ同じであるものの、被覆管内

の同一軸方向位置における温度差が小さいことによるものと考えられる。Table XI に各集合体の冷却材及び被覆管温度分布を示す。

### 6.2.3 燃料ピンスタック長変化

Fig. 25 に燃料スタック長の変化率(集合体ごとの平均値)と集合体平均燃焼度の関係を示す。スタック長変化は低燃焼度で一時的に減少し、さらに燃焼が進むと増加する傾向が見られる。本燃料ピンは、同程度の燃焼度の「PFD036」,「PFD018」と比べ2倍以上の伸び率を示している。これは、ペレット間ギャップの増加によりスタック長がみかけ上伸びているようになっていることによる。

本集合体の燃料ペレット製造には、高比率( $Pu/U=20/1$ )混合直接脱硝粉を使用して<sup>14)</sup>いる。混合直接脱硝粉を使用した燃料製造では、燃料密度、O/M比のコントロールが難しく、微粉末、ペレットのかけ、 $PuO_2$  スポット、ペレット表面の微小突起の発生等が報告されている。特にペレット表面の微小突起の発生は、被覆管内面との接触状況に影響し、炉の運転によって熱膨張し伸びたスタックが炉が停止しても戻りにくく、その結果みかけ上スタックが伸びているとも考えられる。

### 6.2.4 ピン内圧及びガス組成

Fig. 26 にピン内圧と集合体平均燃焼度の関係を示す。ピン内圧は燃焼度とともに増加していく傾向を示している。MK-II 炉心燃料ピンの最高燃焼度約75,000 MWD/t における<sup>16)</sup>ピン内圧は約75 kg/cm<sup>2</sup>と評価されている。本集合体で測定されたピン内圧の最大値3415 Torr(0℃)は運転中(約600℃)に換算すると約15 kg/cm<sup>2</sup>である。

本集合体で測定されたピンのガス組成でXe/Kr比は9.70~9.91とPu, Uの核分裂率及び核分裂収率から算出した値9.95と比べ全体的に小さめでかつ同一集合体内でありながら炉心方向配置ピンの方が大きくなる傾向がある。(Fig. 27 参照)これは、<sup>235</sup>Uと<sup>239</sup>PuによるXeの核分裂収率の比(Xe/Kr)はそれぞれ5.64, 13.6でありXeの生成は<sup>239</sup>Puの核分裂により多く生成する。したがって、<sup>239</sup>Puの核分裂率が計算より小さい傾向を示しており、さらに炉心方向反対側は、中性子スペクトルが相対的に軟化し<sup>239</sup>Puの核分裂率が小さくなるものと考えられる。

### 6.2.5 FPガス放出率

Fig. 28 にFPガス放出率と集合体平均燃焼度の関係を示す。FPガス放出率は燃焼度の増加とともに上昇し、燃焼度約30,000 MWD/t 以上でガス放出率約50%でほぼ一定となる。

本燃料ピンのFPガス放出率は、同程度の燃焼度の「PFD018」と比べて低い。これは、

本燃料集合体平均線出力が $195\text{W}/\text{cm}(\text{BOC})$ で「PFD018」の $255\text{W}/\text{cm}(\text{BOC})$ より低く燃料中心温度も低いことと、燃料ペレットに高比率混合直接脱硝粉を使用していることによるものと考えられる。

## 7. ま と め

炉心燃料集合体「PFD210」の照射後試験結果は下記のとおりである。

- (1) 集合体及び燃料ピンに大きな損傷はなく、異常な変形、変色等も認められず炉内で正常に照射された。
- (2) 被覆管表面に擦り痕は認められず、最大と思われる接触跡は長さ1.2mm、巾0.6mmでMK-II初装荷炉心燃料ピンと同程度の微細なものであった。
- (3) MK-II第二次取替用炉心燃料集合体及び燃料ピンの照射挙動を確認し、次のような結果を得た。
  - ① ラップ間対面間距離変化は照射量が同程度のMK-II炉心燃料集合体と比べ小さく、中間パッドを含む近傍のプロファイルは各対面で異なっている。これは冷却材内外圧差が小さく、隣接集合体との中間パッド接触荷重分布の違い等によって照射クリープ歪の寄与が異なるものと考えられる。
  - ② 燃料スタック長変化率は約1.4%で、同程度の燃焼度のMK-II炉心燃料ピンと比べ2倍以上の伸び率を示している。これは燃料ペレットに高比率混合直接脱硝粉を使用していることが原因の1つとして考えられる。今後製造パラメータ等を詳細に調査するとともに照射後試験データを拡充し挙動を解明する必要がある。
  - ③ FPガス放出率は約30%で、同程度の燃焼度のMK-II炉心燃料ピンと比べ低い。これは、線出力が比較的低いことと、燃料ペレットに高比率混合直接脱硝粉を使用していることによるものと考えられる。



## 8. 参 考 文 献

- 1) 沖元他：「常陽」MK-II炉心燃料集合体(PFD010)の照射後試験(1)  
PNC I941 84-03, 1984年11月
- 2) 沖元他：「常陽」MK-II炉心燃料集合体(PFD003)の照射後試験(1)  
PNC I941 85-10, 1985年5月
- 3) 小高他：「常陽」MK-II炉心燃料集合体(PFD001)の照射後試験(1)  
PNC I9410 86-007, 1986年2月
- 4) 永峯他：「常陽」MK-II炉心燃料集合体(PFD018)の照射後試験  
PNC I9410 86-003, 1986年1月
- 5) 浅賀他：「常陽」MK-II炉心燃料集合体(PFD029)の照射後試験(1)  
PNC I9410 86-010, 1986年2月
- 6) 小泉他：「常陽」MK-II炉心燃料集合体(PFD105)の照射後試験(1)  
PNC I9410 87-001, 1987年1月
- 7) 川上(幸)他：「常陽」MK-II炉心燃料集合体(PFD036)の照射後試験(1)  
PNC I9410 87-006, 1987年2月
- 8) 長谷川他：「常陽」MK-II炉心燃料集合体(PFD115)の照射後試験  
印刷予定
- 9) 東海事業所：「常陽」MK-II二次取替用炉心燃料集合体の製造<燃料ペレット編>  
印刷予定
- 10) 実験炉部：初装荷燃料, 1次, 2次取替燃料の相違点  
照射後試験関連データ支給票 61-JY支-12
- 11) 実験炉部：「常陽」照射試験サイクル報(第14サイクル)  
PNC 9360 88-001 1988年3月
- 12) 実験炉部：PFD210の照射前・照射中データ  
照射後試験関連データ支給票 63-JY支-6
- 13) 燃材部：「常陽」MK-II炉心構成要素第2期照射後試験基本計画(改訂版)  
PNC I9080 88-001, 1988年3月
- 14) 東海事業所：「常陽」MK-II一次取替用炉心燃料集合体の製造<燃料ペレット編>  
PNC ZN843 85-04 1985年7月
- 15) 実験炉部：MK-II炉心燃料集合体ラッパ管内圧  
照射後試験関連データ支給票 59-JY支-13
- 16) 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10まで)  
昭和61年1月29日変更その10まで

Table I Difference in Specifications of the Core Fuel Pellet

	MK-I	M K - II						
		初 装 荷	一 次 取 替		二 次 取 替		三 次 取 替	
$\text{PuO}_2 / (\text{PuO}_2 + \text{UO}_2)$ (wt%)	17.7±1.0	29±1	同 左	同 左	同 左	同 左	—	
Pu 同位体組成 ( $^{239}\text{Pu} + ^{241}\text{Pu}$ ) (wt%)	80.3±1.0	78.2±1	77.8±1	75±2	"	"	"	
核分裂性Pu 富化度 $\frac{^{239}\text{Pu} + ^{241}\text{Pu}}{(\text{U} + \text{Pu})}$ (wt%)	—	—	—	—	—	—	20.5±0.7	
$^{235}\text{U}$ 濃縮度 (wt%)	23±0.3	12.0±0.3	同 左	12.5±1	13.4±1	同 左	18.0±0.8	
O/M比	1.98±0.02	1.97±0.03	"	同 左	同 左	"	同 左	
蒸発性不純物 (水分以外) ( $\mu\text{l}/\text{gMOX}$ )	≤ 100	同 左	"	≤ 150	"	"	"	
水 分 (ppm)	≤ 10	≤ 30	"	同 左	"	"	"	
不 純 物 (ppm)	Al	≤ 500	同 左	"	"	"	≤ 700	"
	B	≤ 20	"	"	"	"	同 左	"
	C	≤ 150	"	"	≤ 300	"	"	"
	Ca	≤ 80	"	"	同 左	"	"	"
	Cd	≤ 20	"	"	"	"	"	"
	Cl	≤ 25	"	"	"	"	"	"
	Cr	≤ 500	"	"	"	"	"	"
	F	≤ 25	"	"	"	"	"	"
	Mg	≤ 25	"	"	≤ 150	"	"	"
	N	≤ 200	"	"	同 左	"	"	"
	Fe	≤ 800	"	"	≤ 1600	"	"	"
	Ni	≤ 500	"	"	同 左	"	"	"
	V	≤ 500	"	"	"	"	"	"
	Cu Zn Si	≤ 700	"	"	"	"	≤ 1400	"
	Ag Mn Mo Pb Sn	≤ 200	"	"	≤ 400	"	同 左	"
	Total	≤ 3000	"	"	≤ 4000	"	"	"



PFD210

Table II Difference in Specification of the Fuel Cladding


		MK-I	MK-II					
			初 装 荷	一 次 取 替		二 次 取 替		三 次 取 替
冷 間 加 工 度 (%)		12	20	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左
化 学 成 分 (wt%)	C	0.01~0.08	0.035~0.064	"	"	0.035~0.080	"	"
	Si	≤0.75	同 左	"	"	≤1.00	"	"
	Mn	0.50~2.00	"	"	"	≤2.00	"	"
	P	≤0.03	0.015~0.035 (0.025目標)	"	"	≤0.040	"	"
	S	≤0.03	≤0.010	"	"	同 左	"	"
	Ni	11.00~14.00	13.00~14.00	"	"	"	"	"
	Cr	16.00~18.00	16.00~18.00	"	"	"	"	"
	Mo	2.00~3.00	同 左	"	"	"	"	"
	Co	≤0.10	"	"	"	"	"	"
	B	≤0.001	0.0005 ~0.0030 (0.0015目標)	"	"	<0.0100	"	"
	N	≤0.035	≤0.010	"	"	同 左	"	"
	Cu	-	≤0.02	"	"	"	"	"
	Ti	-	≤0.10	"	"	"	"	"
	V	-	≤0.20	"	"	"	"	"
	Nb+Ta	-	≤0.050	"	"	≤0.10	"	"
As	-	≤0.030	"	"	"	"	"	
AL	-	≤0.050	"	"	"	"	"	
備 考		 PFD210						

Table III Subassembly Irradiation Conditions

サ イ ク ル			8	9	10	11	12	13	14	
装 荷 位 置			4C4							
燃 焼 度	ポイント最大		MWd/t	6600	12700	19100	25500	31400	38900	46700
	集合体平均		MWd/t	5600	10900	16400	21800	26800	33200	39900
中 性 子 照 射 量	En $\geq$ 0.1Mev	ポイント最大	$\times 10^{20}$ n/cm <sup>2</sup>	74.1	145	219	296	368	462	560
		集合体平均	$\times 10^{20}$ n/cm <sup>2</sup>	61.6	121	182	245	305	382	463
	Total	ポイント最大	$\times 10^{20}$ n/cm <sup>2</sup>	112	219	330	445	552	692	840
		集合体平均	$\times 10^{20}$ n/cm <sup>2</sup>	94.3	184	289	374	464	580	704
線 出 力	B O C	ポイント最大	W/cm	261	257	252	253	245	239	226
		集合体平均	W/cm	195	193	188	188	181	177	172
	E O C	ポイント最大	W/cm	259	255	249	251	243	237	224
		集合体平均	W/cm	197	194	190	189	182	179	174
被覆管最高温度	B O C		℃	587	584	578	580	566	563	558
	E O C		℃	590	586	581	583	568	565	560
燃料最高温度	B O C		℃	1699	1679	1650	1657	1611	1588	1519
	E O C		℃	1686	1665	1637	1648	1607	1580	1506
集合体出口温度	B O C		℃	527	524	520	522	517	514	511
	E O C		℃	528	525	521	523	518	516	512
ピーキング係数	B O C	径 方 向	-	1.142	1.144	1.145	1.145	1.146	1.145	1.142
		軸 方 向	-	1.170	1.166	1.167	1.176	1.182	1.181	1.172
	E O C	径 方 向	-	1.141	1.143	1.144	1.145	1.146	1.144	1.141
		軸 方 向	-	1.151	1.148	1.147	1.156	1.162	1.162	1.150
冷却材流量	B O C		kg/sec	6.97	7.01	7.03	6.95	6.92	6.89	6.88
	E O C		kg/sec	6.97	7.01	7.03	6.95	6.92	6.89	6.88
備 考										

Table W Pin Parts List

POSITION	PIN NO.	CLAD NO.	PELLET LOT NO.		STACK WEIGHT	WIRE REEL NO.	LOWER E.P.	UPPER E.P.	SPRING LOT NO.	SLEEVE LOT NO.	UPPER REFLECTOR	PIN WEIGHT	
			CORE	INSULATOR			LOT NO.	LOT NO.					
1	21014	S15585	FM2-208	F002	96.14	T00055	C018	21012	C018	F003	F003	T005	226.9
2	21013	S15584	FM2-208	F002	96.55	T00055	C018	21011	C018	F003	F003	T005	227.6
3	21012	S15583	FM2-208	F002	94.94	T00055	C018	21010	C018	F003	F003	T005	225.5
4	21011	S15582	FM2-208	F002	95.13	T00055	C018	21009	C018	F003	F003	T005	226.0
5	21058	S15605	FM2-208	F002	96.14	T00055	C018	21056	C018	F003	F003	T005	227.1
6	21057	S15604	FM2-208	F002	95.87	T00055	C018	21055	C018	F003	F003	T005	226.6
7	21056	K15550	FM2-208	F002	96.25	T00055	C018	21054	C018	F003	F003	T005	227.4
8	21055	K15549	FM2-208	F002	96.47	T00055	C018	21053	C018	F003	F003	T005	227.3
9	21054	K15548	FM2-208	F002	96.97	T00055	C018	21052	C018	F003	F003	T005	227.8
10	21053	K15547	FM2-208	F002	96.20	T00055	C018	21051	C018	F003	F003	T005	227.1
11	21052	K15546	FM2-208	F002	96.71	T00055	C018	21050	C018	F003	F003	T005	227.4
12	21051	K15545	FM2-208	F002	95.72	T00055	C018	21049	C018	F003	F003	T005	226.7
13	21050	K15544	FM2-208	F002	96.04	T00055	C018	21048	C018	F003	F003	T005	227.0
14	21049	K15543	FM2-208	F002	95.93	T00055	C018	21047	C018	F003	F003	T005	227.0
15	21048	K15542	FM2-208	F002	95.20	T00055	C018	21046	C018	F003	F003	T005	227.1
16	21047	K15540	FM2-208	F002	95.32	T00055	C018	21045	C018	F003	F003	T005	227.5
17	21046	K15539	FM2-208	F002	95.73	T00055	C018	21044	C018	F003	F003	T005	227.2
18	21045	K15538	FM2-208	F002	95.35	T00055	C018	21043	C018	F003	F003	T005	226.6
19	21044	K15537	FM2-208	F002	96.31	T00055	C018	21042	C018	F003	F003	T005	227.2
20	21043	K15536	FM2-208	F002	96.09	T00055	C018	21041	C018	F003	F003	T005	226.3
21	21042	K15535	FM2-208	F002	95.09	T00055	C018	21040	C018	F003	F003	T005	227.1
22	21041	K15534	FM2-208	F002	95.97	T00055	C018	21039	C018	F003	F003	T005	227.4
23	21040	K15532	FM2-208	F002	95.24	T00055	C018	21038	C018	F003	F003	T005	226.7
24	21039	K15533	FM2-208	F002	95.79	T00055	C018	21037	C018	F003	F003	T005	227.0
25	21038	K15531	FM2-208	F002	95.99	T00055	C018	21036	C018	F003	F003	T005	227.5
26	21037	K15530	FM2-208	F002	96.22	T00055	C018	21035	C018	F003	F003	T005	227.4
27	21036	K15529	FM2-208	F002	95.29	T00055	C018	21034	C018	F003	F003	T005	225.9
28	21035	K15528	FM2-208	F002	96.72	T00055	C018	21033	C018	F003	F003	T005	228.1
29	21082	S15629	FM2-209	F002	95.79	T00055	C018	21080	C018	F003	F003	T005	226.5
30	21081	S15628	FM2-209	F002	95.89	T00055	C018	21079	C018	F003	F003	T005	226.7
31	21080	S15627	FM2-209	F002	95.67	T00055	C018	21078	C018	F003	F003	T005	226.3
32	21079	S15626	FM2-209	F002	95.60	T00055	C018	21077	C018	F003	F003	T005	226.2
33	21078	S15625	FM2-209	F002	95.96	T00055	C018	21076	C018	F003	F003	T005	227.3
34	21077	S15624	FM2-209	F002	96.21	T00055	C018	21075	C018	F003	F003	T005	226.9
35	21076	S15623	FM2-209	F002	95.98	T00055	C018	21074	C018	F003	F003	T005	226.8

F42-209 2

Table N Pin Parts List (Continued)

POSITION	PIN NO.	CLAD NO.	PELLET LOT NO.		STACK WEIGHT	WIRE REEL NO.	LOWER E.P. LOT NO.		UPPER E.P. LOT NO.		SPRING LOT NO.	SLEEVE LOT NO.	UPPER REFLECTOR	PIN WEIGHT
			CORE	INSULATOR			NO.	LOT NO.	NO.	LOT NO.				
36	21075	S15622	FM2-209	F002	95.35	T00055	C018	21073	C018	F003	F003	T005	226.7	
37	21074	S15621	FM2-209	F002	96.40	T00055	C018	21072	C018	F003	F003	T005	227.0	
38	21073	S15620	FM2-209	F002	95.96	T00055	C018	21071	C018	F003	F003	T005	226.7	
39	21072	S15619	FM2-209	F002	96.07	T00055	C018	21070	C018	F003	F003	T005	227.1	
40	21071	S15618	FM2-209	F002	96.14	T00055	C018	21069	C018	F003	F003	T005	226.7	
41	21070	S15617	FM2-209	F002	95.92	T00055	C018	21068	C018	F003	F003	T005	226.4	
42	21069	S15616	FM2-209	F002	96.00	T00055	C018	21067	C018	F003	F003	T005	226.8	
43	21068	S15615	FM2-209	F002	96.38	T00055	C018	21066	C018	F003	F003	T005	226.9	
44	21067	S15614	FM2-209	F002	95.73	T00055	C018	21065	C018	F003	F003	T005	226.4	
45	21066	S15613	FM2-209	F002	95.79	T00055	C018	21064	C018	F003	F003	T005	226.5	
46	21065	S15612	FM2-209	F002	96.37	T00055	C018	21063	C018	F003	F003	T005	227.0	
47	21064	S15611	FM2-209	F002	96.20	T00055	C018	21062	C018	F003	F003	T005	227.3	
48	21063	S15610	FM2-209	F002	95.96	T00055	C018	21061	C018	F003	F003	T005	226.7	
49	21062	S15609	FM2-209	F002	96.02	T00055	C018	21060	C018	F003	F003	T005	226.6	
50	21061	S15608	FM2-209	F002	96.17	T00055	C018	21059	C018	F003	F003	T005	227.4	
51	21060	S15607	FM2-209	F002	95.81	T00055	C018	21058	C018	F003	F003	T005	226.5	
52	21059	S15606	FM2-209	F002	96.15	T00055	C018	21057	C018	F003	F003	T005	227.3	
53	21106	S15653	FM2-209	F002	96.13	T00055	C018	21104	C018	F003	F003	T005	227.0	
54	21105	S15652	FM2-209	F002	95.76	T00055	C018	21103	C018	F003	F003	T005	226.5	
55	21104	S15651	FM2-209	F002	95.68	T00055	C018	21102	C018	F003	F003	T005	226.5	
56	21103	S15650	FM2-209	F002	95.45	T00055	C018	21101	C018	F003	F003	T005	226.3	
57	21102	S15649	FM2-209	F002	95.53	T00055	C018	21100	C018	F003	F003	T005	226.4	
58	21101	S15648	FM2-209	F002	95.52	T00055	C018	21099	C018	F003	F003	T005	226.3	
59	21100	S15647	FM2-209	F002	95.42	T00055	C018	21098	C018	F003	F003	T005	226.2	
60	21099	S15646	FM2-209 FM2-208 1	F002	95.72	T00055	C018	21097	C018	F003	F003	T005	226.3	
61	21098	S15645	FM2-209 FM2-208 1	F002	95.54	T00055	C018	21096	C018	F003	F003	T005	226.1	
62	21097	S15644	FM2-209	F002	95.23	T00055	C018	21095	C018	F003	F003	T005	226.4	
63	21096	S15643	FM2-209	F002	95.72	T00055	C018	21094	C018	F003	F003	T005	226.5	
64	21095	S15642	FM2-209	F002	95.67	T00055	C018	21093	C018	F003	F003	T005	226.6	
65	21094	S15641	FM2-209	F002	95.63	T00055	C018	21092	C018	F003	F003	T005	226.3	
66	21093	S15640	FM2-209	F002	95.47	T00055	C018	21091	C018	F003	F003	T005	226.0	
67	21092	S15639	FM2-209	F002	95.45	T00055	C018	21090	C018	F003	F003	T005	226.1	
68	21091	S15638	FM2-209	F002	95.53	T00055	C018	21089	C018	F003	F003	T005	226.4	
69	21090	S15637	FM2-209	F002	95.57	T00055	C018	21088	C018	F003	F003	T005	226.3	
70	21089	S15636	FM2-209	F002	95.51	T00055	C018	21087	C018	F003	F003	T005	226.1	

Table IV Pin Parts List (Continued)

POSITION	PIN NO.	CLAD NO.	PELLET LOT NO.		STACK WEIGHT	WIRE REEL NO.	LOWER E.P.	UPPER E.P.		SPRING LOT NO.	SLEEVE LOT NO.	UPPER REFLECTOR	PIN WEIGHT	
							LOT NO.	NO.	LOT NO.					
			CORE	INSULATOR										
71	21088	S15635	FM2-209	FM2-208 2	F002	95.70	T00055	C018	21086	C018	F003	F003	T005	226.3
72	21087	S15634	FM2-209		F002	95.13	T00055	C018	21085	C018	F003	F003	T005	226.8
73	21086	S15633	FM2-209		F002	95.68	T00055	C018	21084	C018	F003	F003	T005	226.6
74	21085	S15632	FM2-209		F002	95.99	T00055	C018	21083	C018	F003	F003	T005	227.0
75	21084	S15631	FM2-209		F002	95.76	T00055	C018	21082	C018	F003	F003	T005	226.3
76	21083	S15630	FM2-209		F002	95.73	T00055	C018	21081	C018	F003	F003	T005	226.4
77	21130	S15677	FM2-209		F002	96.19	T00055	C018	21128	C018	F003	F003	T005	227.5
78	21129	S15676	FM2-209		F002	95.94	T00055	C018	21127	C018	F003	F003	T005	226.9
79	21128	S15675	FM2-209		F002	95.91	T00055	C018	21126	C018	F003	F003	T005	226.9
80	21127	S15674	FM2-209		F002	96.10	T00055	C018	21125	C018	F003	F003	T005	227.1
81	21126	S15673	FM2-209		F002	95.86	T00055	C018	21124	C018	F003	F003	T005	226.8
82	21125	S15672	FM2-209		F002	95.86	T00055	C018	21123	C018	F003	F003	T005	226.8
83	21124	S15671	FM2-209		F002	95.78	T00055	C018	21122	C018	F003	F003	T005	226.6
84	21123	S15670	FM2-209		F002	94.58	T00055	C018	21121	C018	F003	F003	T005	225.6
85	21122	S15669	FM2-209		F002	94.37	T00055	C018	21120	C018	F003	F003	T005	225.2
86	21121	S15668	FM2-209		F002	94.71	T00055	C018	21119	C018	F003	F003	T005	225.6
87	21120	S15667	FM2-209		F002	94.96	T00055	C018	21118	C018	F003	F003	T005	225.9
88	21119	S15666	FM2-209		F002	94.83	T00055	C018	21117	C018	F003	F003	T005	225.7
89	21118	S15665	FM2-209		F002	94.77	T00055	C018	21116	C018	F003	F003	T005	225.7
90	21117	S15664	FM2-209		F002	94.55	T00055	C018	21115	C018	F003	F003	T005	225.5
91	21116	S15663	FM2-209		F002	94.54	T00055	C018	21114	C018	F003	F003	T005	225.5
92	21115	S15662	FM2-209		F002	94.56	T00055	C018	21113	C018	F003	F003	T005	225.2
93	21114	S15661	FM2-209		F002	94.51	T00055	C018	21112	C018	F003	F003	T005	225.6
94	21113	S15660	FM2-209		F002	95.21	T00055	C018	21111	C018	F003	F003	T005	226.1
95	21112	S15659	FM2-209		F002	95.22	T00055	C018	21110	C018	F003	F003	T005	226.3
96	21111	S15658	FM2-209		F002	95.55	T00055	C018	21109	C018	F003	F003	T005	226.5
97	21110	S15657	FM2-209		F002	95.21	T00055	C018	21108	C018	F003	F003	T005	225.7
98	21109	S15656	FM2-209		F002	95.20	T00055	C018	21107	C018	F003	F003	T005	226.0
99	21108	S15655	FM2-209		F002	95.75	T00055	C018	21106	C018	F003	F003	T005	226.5
100	21107	S15654	FM2-209		F002	96.03	T00055	C018	21105	C018	F003	F003	T005	226.4
101	21154	S15701	FM2-209		F002	95.89	T00055	C018	21152	C018	F003	F003	T005	227.0
102	21153	S15700	FM2-209		F002	95.43	T00055	C018	21151	C018	F003	F003	T005	226.4
103	21152	S15699	FM2-209		F002	95.12	T00055	C018	21150	C018	F003	F003	T005	226.2
104	21151	S15698	FM2-209		F002	95.82	T00055	C018	21149	C018	F003	F003	T005	226.9
105	21150	S15697	FM2-209	FM2-208 1	F002	95.59	T00055	C018	21148	C018	F003	F003	T005	226.9

Table W Pin Parts List (Continued)

POSITION	PIN NO.	CLAD NO.	PELLET LOT NO.		STACK WEIGHT	WIPE REEL NO.	LOWER E.P.	UPPER E.P.	SPRING LOT NO.	SLFEVE	UPPER REFLECTOR	PIN WEIGHT		
			CORE	INSULATOR			LOT NO.	LOT NO.		LOT NO.	LOT NO.			
105	21149	S15696	FM2-209	FM2-208 1	F002	95.43	T00055	C018	21147	C018	F003	F003	T005	226.4
107	21148	S15695	FM2-209	FM2-208 1	F002	95.99	T00055	C018	21146	C018	F003	F003	T005	226.7
108	21147	S15694	FM2-209		F002	95.59	T00055	C018	21145	C018	F003	F003	T005	226.9
109	21146	S15693	FM2-209	FM2-208 1	F002	95.79	T00055	C018	21144	C018	F003	F003	T005	227.0
110	21145	S15692	FM2-209		F002	95.59	T00055	C018	21143	C018	F003	F003	T005	226.4
111	21144	S15691	FM2-209		F002	95.78	T00055	C018	21142	C018	F003	F003	T005	226.7
112	21143	S15690	FM2-209		F002	95.52	T00055	C018	21141	C018	F003	F003	T005	226.5
113	21142	S15689	FM2-209		F002	95.47	T00055	C018	21140	C018	F003	F003	T005	226.7
114	21141	S15688	FM2-209		F002	95.55	T00055	C018	21139	C018	F003	F003	T005	226.4
115	21140	S15687	FM2-209		F002	95.34	T00055	C018	21138	C018	F003	F003	T005	226.3
116	21139	S15686	FM2-209		F002	95.41	T00055	C018	21137	C018	F003	F003	T005	226.1
117	21138	S15685	FM2-209		F002	95.88	T00055	C018	21136	C018	F003	F003	T005	226.6
118	21137	S15684	FM2-209		F002	95.73	T00055	C018	21135	C018	F003	F003	T005	226.9
119	21136	S15683	FM2-209		F002	95.59	T00055	C018	21134	C018	F003	F003	T005	226.8
120	21135	S15682	FM2-209		F002	95.72	T00055	C018	21133	C018	F003	F003	T005	227.1
121	21134	S15681	FM2-209		F002	95.79	T00055	C018	21132	C018	F003	F003	T005	226.6
122	21133	S15680	FM2-209		F002	95.95	T00055	C018	21131	C018	F003	F003	T005	227.0
123	21132	S15679	FM2-209		F002	95.60	T00055	C018	21130	C018	F003	F003	T005	226.5
124	21131	S15678	FM2-209		F002	96.02	T00055	C018	21129	C018	F003	F003	T005	226.8
125	21178	K15556	FM2-209		F002	95.90	T00055	C018	21176	C018	F003	F003	T005	226.8
126	21177	K15555	FM2-209		F002	96.03	T00055	C018	21175	C018	F003	F003	T005	227.2
127	21176	S15723	FM2-209	FM2-208 1	F002	95.79	T00055	C018	21174	C018	F003	F003	T005	227.2



Table V Results of Neutron Fluence by Gamma-Spectroscopy  
( Measured by Wrapper Tube )

ラッパ管面	指標核種	γ線計数率 (C.P.S)	生成量	中性子照射量算出結果		ESPRIT-Jコード計算結果	
				E≥0.1MeV	Total	E≥0.1MeV	Total
A	<sup>58</sup> Co	423.7	2.62×10 <sup>18</sup>	5.8×10 <sup>22</sup>	8.5×10 <sup>22</sup>	5.743×10 <sup>22</sup>	8.643×10 <sup>22</sup>
	<sup>54</sup> Mn	156.0	8.11×10 <sup>17</sup>	2.9×10 <sup>22</sup>	4.3×10 <sup>22</sup>		
B	<sup>58</sup> Co	318.1	1.97×10 <sup>18</sup>	4.4×10 <sup>22</sup>	6.4×10 <sup>22</sup>	4.922×10 <sup>22</sup>	7.407×10 <sup>22</sup>
	<sup>54</sup> Mn	115.5	6.01×10 <sup>17</sup>	2.2×10 <sup>22</sup>	3.2×10 <sup>22</sup>		
C	<sup>58</sup> Co	285.9	1.77×10 <sup>18</sup>	3.9×10 <sup>22</sup>	5.8×10 <sup>22</sup>	4.677×10 <sup>22</sup>	7.039×10 <sup>22</sup>
	<sup>54</sup> Mn	104.7	5.45×10 <sup>17</sup>	2.0×10 <sup>22</sup>	2.9×10 <sup>22</sup>		
D	<sup>58</sup> Co	364.7	2.26×10 <sup>18</sup>	5.0×10 <sup>22</sup>	7.4×10 <sup>22</sup>	5.237×10 <sup>22</sup>	7.881×10 <sup>22</sup>
	<sup>54</sup> Mn	135.3	7.04×10 <sup>17</sup>	2.5×10 <sup>22</sup>	3.7×10 <sup>22</sup>		
E	<sup>58</sup> Co	436.3	2.70×10 <sup>18</sup>	6.0×10 <sup>22</sup>	8.8×10 <sup>22</sup>	6.044×10 <sup>22</sup>	9.096×10 <sup>22</sup>
	<sup>54</sup> Mn	162.2	8.44×10 <sup>17</sup>	3.0×10 <sup>22</sup>	4.5×10 <sup>22</sup>		
F	<sup>58</sup> Co	424.6	2.63×10 <sup>18</sup>	5.9×10 <sup>22</sup>	8.6×10 <sup>22</sup>	6.306×10 <sup>22</sup>	9.490×10 <sup>22</sup>
	<sup>54</sup> Mn	155.8	8.10×10 <sup>17</sup>	2.9×10 <sup>22</sup>	4.3×10 <sup>22</sup>		

$$\text{生成量} = \frac{\gamma \text{線計数率}}{\eta \times \lambda \times p \times \Phi}$$

- η (検出効率) = 2.03×10<sup>-8</sup> cm<sup>-2</sup> ( <sup>54</sup>Mn )  
2.06×10<sup>-8</sup> cm<sup>-2</sup> ( <sup>58</sup>Co )
- λ (崩壊定数) = 2.57×10<sup>-8</sup> sec<sup>-1</sup> ( <sup>54</sup>Mn )  
1.14×10<sup>-7</sup> sec<sup>-1</sup> ( <sup>58</sup>Co )
- p (γ線放出比) = 100% ( <sup>54</sup>Mn )  
99% ( <sup>58</sup>Co )

$$\Phi \text{ (照射履歴補正因子)} = M^{(K)} / \sum_{K=1}^n \alpha^{(K)}$$

- M<sup>(K)</sup> : Kサイクル終了後の存在量
- α<sup>(K)</sup> : Kサイクル中に生成する量
- Φ ( <sup>54</sup>Mn ) = 0.368
- Φ ( <sup>58</sup>Co ) = 0.0693

$$\text{中性子照射量} = \frac{\text{生成量}}{N_0 \sigma}$$

- N<sub>0</sub> (親核種の原子数) = 6.30×10<sup>20</sup> 個 ( <sup>54</sup>Fe )  
1.43×10<sup>21</sup> 個 ( <sup>58</sup>Ni )
- σ (核反応断面積)
- <sup>54</sup>Fe (n, p) <sup>54</sup>Mn = 3.01×10<sup>-26</sup> cm<sup>2</sup> (Total)  
4.40×10<sup>-26</sup> cm<sup>2</sup> (E≥0.1MeV)
- <sup>58</sup>Ni (n, p) <sup>58</sup>Co = 2.15×10<sup>-26</sup> cm<sup>2</sup> (Total)  
3.14×10<sup>-26</sup> cm<sup>2</sup> (E≥0.1MeV)

Table VI Pin Diameter and Total Length Changes

ピン No.	被覆管 ロット No.	外 径 (mm)			長 さ (mm)		
		照 射 後*1	照 射 前*2	照射後-照射前	照 射 後	照 射 前*3	照射後-照射前
C252	S571	5.498	5.492	0.006	1532.3	1533.0	-0.7
C263	S571	5.499	5.495	0.004	1532.1	1533.0	-0.9
C264	S571	5.499	5.495	0.004	1532.5	1532.8	-0.3
C265	S571	5.499	5.498	0.001	1532.5	1532.9	-0.4
C276	S571	5.496	5.494	0.002	1532.3	1532.9	-0.6

\*1) コアセンター位置平均値

\*2) 照射後試験関連データ支給票(63-JY支-6)による最大最小値の平均値

\*3) 照射後試験関連データ支給票(63-JY支-28)

Table VII Results of FP Gas Volume in the Fuel Pins by Gamma - Spectroscopy ( $^{85}\text{Kr}$ )

ピン No.	Kr-85 測定結果			Total Kr (cc)	Xe + Kr (放出FPガス) (cc)	FP+He (ピン内ガス量) (cc)	ピン内 圧力 (Torr)
	カウント数 ( $2 \times 10^4$ sec)	ピン1mm当りの Ci数	ピン全体のCi数				
C258	468	$3.62 \times 10^{-4}$	0.229	2.06	22.6	33.3	2400
C260	528	$4.09 \times 10^{-4}$	0.258	2.32	25.4	36.1	2600
C264	426	$3.30 \times 10^{-4}$	0.209	1.88	20.6	31.3	2200

$\gamma$ 線検出効率  $\eta$  :  $4.06 \times 10^{-7}$  (mm)

ピン内容積/測定部容積 :  $10.74 / 0.017 = 632(-)$

Total Kr/ $^{85}\text{Kr}$  : 13.4(-)

Xe/Kr : 9.95(-)

1 Ci当りの $^{85}\text{Kr}$ 容積 : 0.670 (cc/Ci)

Table VIII Results of FP 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 (-)	ガス放出率 (%)
				Kr (%)	Xe (%)	He+α(%)		
C258	10.6	3415	47.6	6.41	63.5	30.1	9.91	32.3
C260	10.6	3380	47.2	6.40	62.6	31.0	9.78	32.6
C264	(10.6)*1	(3132)*1	43.7	6.30	61.1	32.6	9.70	31.7

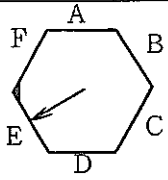
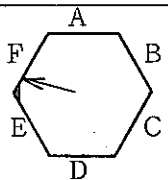
\*1 C264ピンは溶封失敗

Table K Results of FP Gas Mass Analysis (Pin No.C258)

元素	ガス質量分析結果										
Xe	質量数	124	126	128	129	130	131	132	133	134	136
	存在率(%)	0.00	0.00	0.03	0.00	0.09	15.3	22.8	0.03	32.7	29.1
Kr	質量数	78	79	80	82	83	84	85	86		
	存在率(%)	0.00	0.30	0.00	0.63	16.3	28.0	6.56	48.3		

Table X Face to Face Distance Changes at Middle Pad and Direction to the Core Center

[%]

集 合 体	炉心方向	中間パッド対面間距離変化率		
		A-D面	F-C面	E-B面
PFD105		-0.15	0.26	0.02
PFD115	———— *1	-0.03	0.12	-0.05
PFD210		0.36	-0.69	0.23

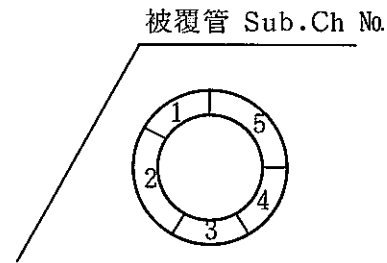
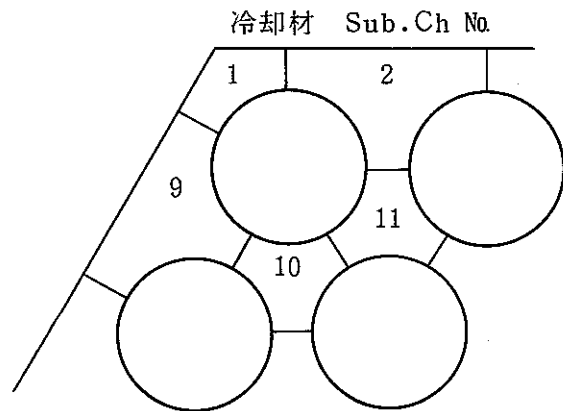
\*1 装荷位置000  
( 炉内中心位置 )

Table XI Coolant and Cladding Temperature by Calculated by ESPRIT-J Code

軸方向ノード7 [°C]

集 合 体		冷 却 材 温 度				被 覆 管 外 側 温 度			被 覆 管 内 側 温 度			*2 被覆管温度差
集合体名	装荷位置	Sub.Ch 1	Sub.Ch 10	Sub.Ch 11	*1 温度差	Sub.Ch 1	Sub.Ch 3	Sub.Ch 4	Sub.Ch 1	Sub.Ch 3	Sub.Ch 4	
PFD210	4C4	465	478	481	15	470	489	490	499	517	518	48
PFD001	000	456	469	472	15	473	493	493	512	532	532	59
PFD018	2F1	464	478	482	16	463	482	482	496	514	515	52

- 29 -



$$*1 \frac{\text{Sub.Ch}(10+11)}{2} - \text{Sub.Ch}1$$

\*2 被覆管内側Max - 外側Min

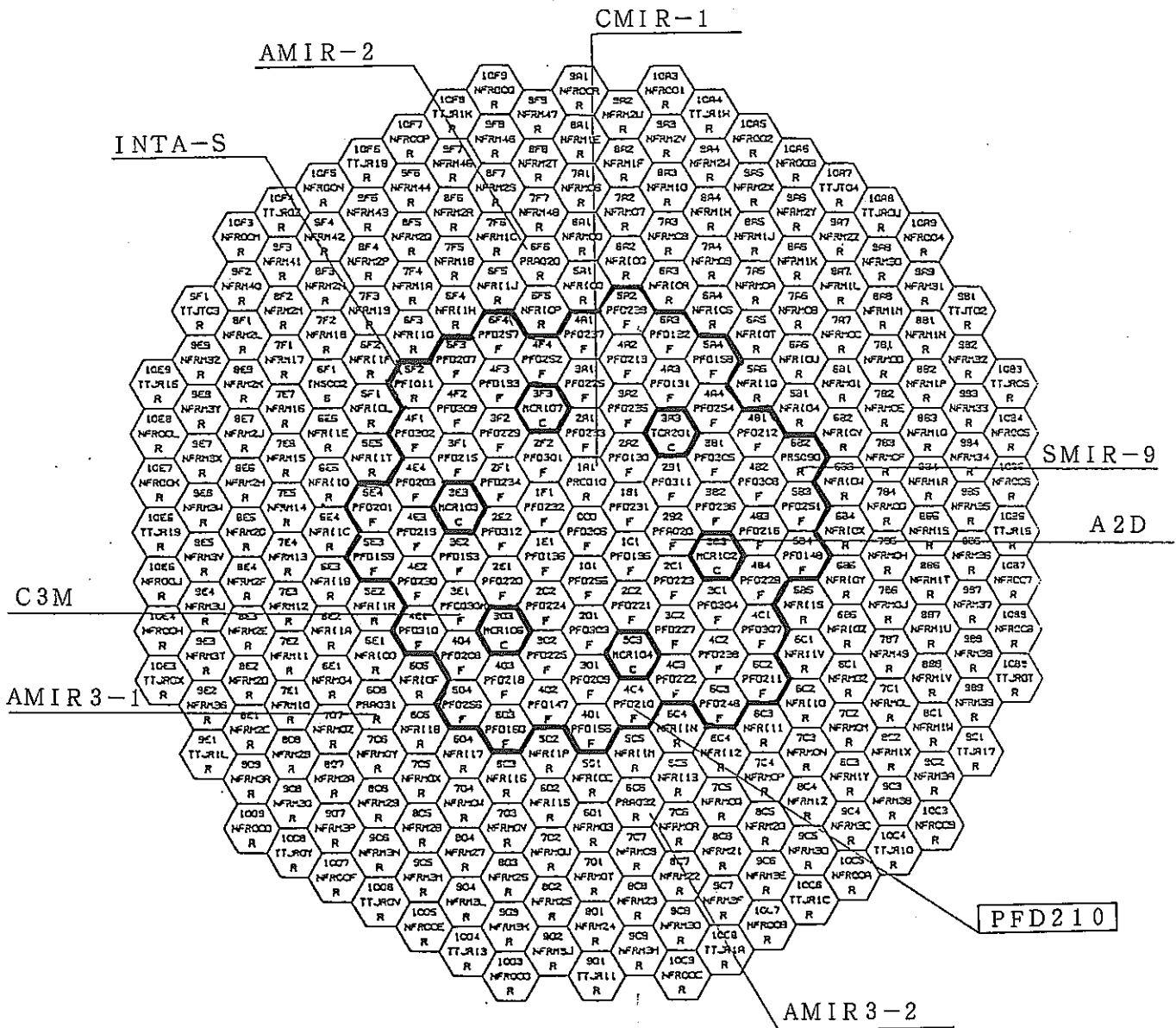


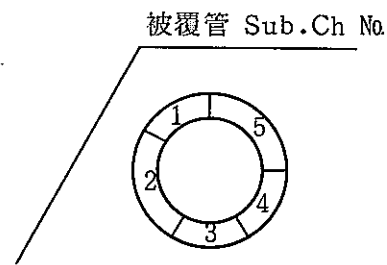
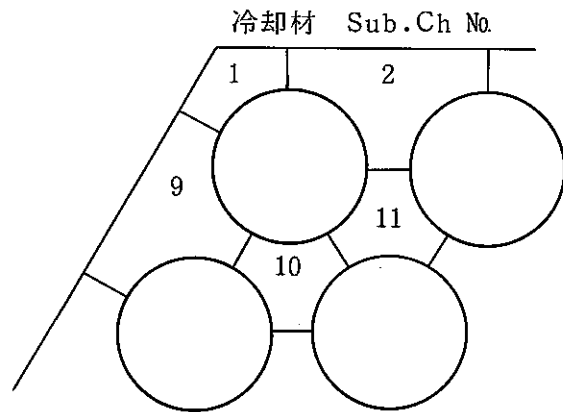
Fig. 1 In Reactor Location of the Subassembly (PFD210)

Table XI Coolant and Cladding Temperature by Calculated by ESPRIT-J Code

軸方向ノード7 [℃]

集 合 体		冷 却 材 温 度				被 覆 管 外 側 温 度			被 覆 管 内 側 温 度			*2 被覆管温度差
集合体名	装荷位置	Sub.Ch 1	Sub.Ch 10	Sub.Ch 11	*1 温度差	Sub.Ch 1	Sub.Ch 3	Sub.Ch 4	Sub.Ch 1	Sub.Ch 3	Sub.Ch 4	
PFD210	4C4	465	478	481	15	470	489	490	499	517	518	48
PFD001	000	456	469	472	15	473	493	493	512	532	532	59
PFD018	2F1	464	478	482	16	463	482	482	496	514	515	52

- 29 -



$$*1 \frac{\text{Sub.Ch}(10+11)}{2} - \text{Sub.Ch}1$$

\*2 被覆管内側Max - 外側Min



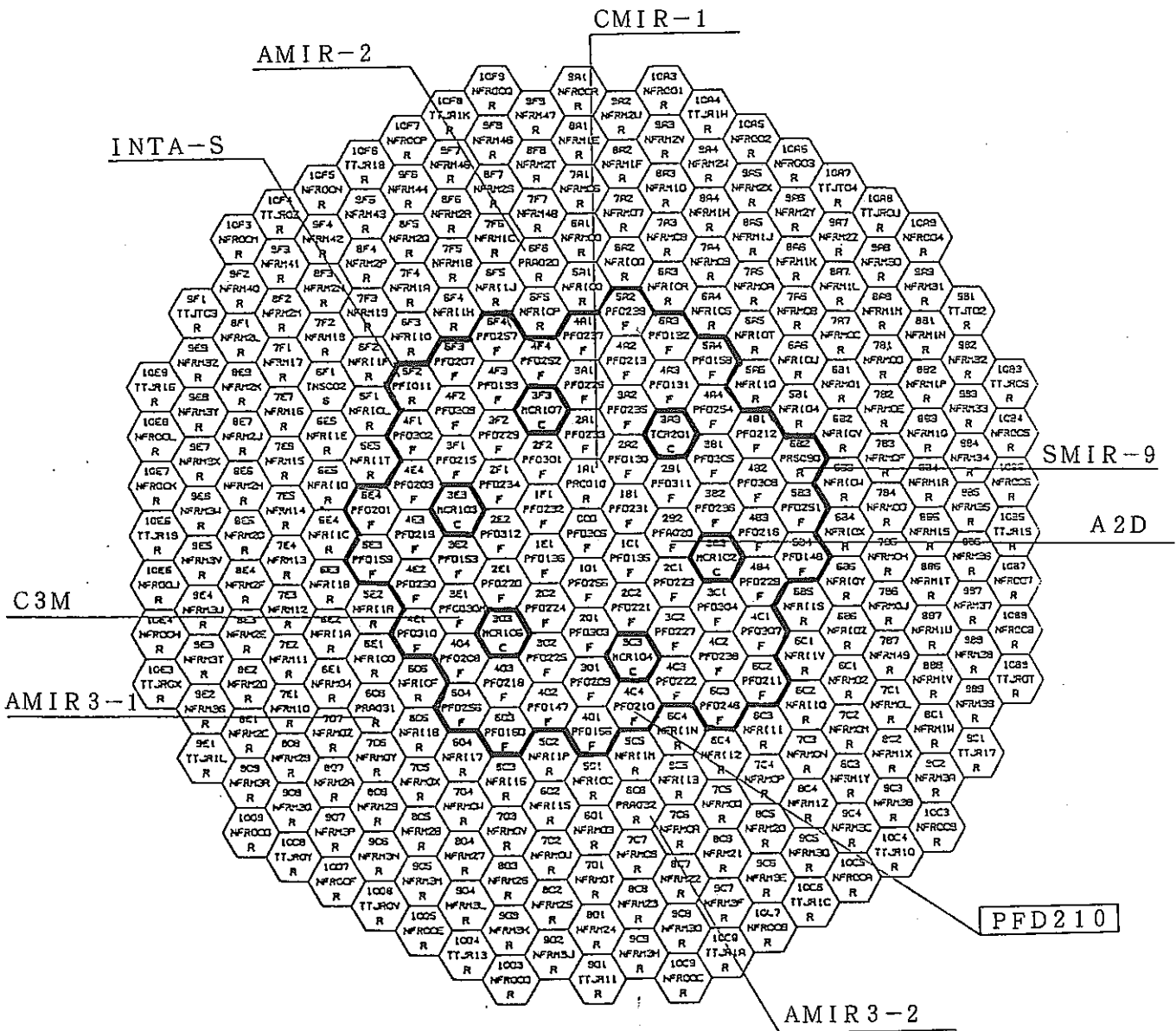


Fig. 1 In Reactor Location of the Subassembly (PFD210)

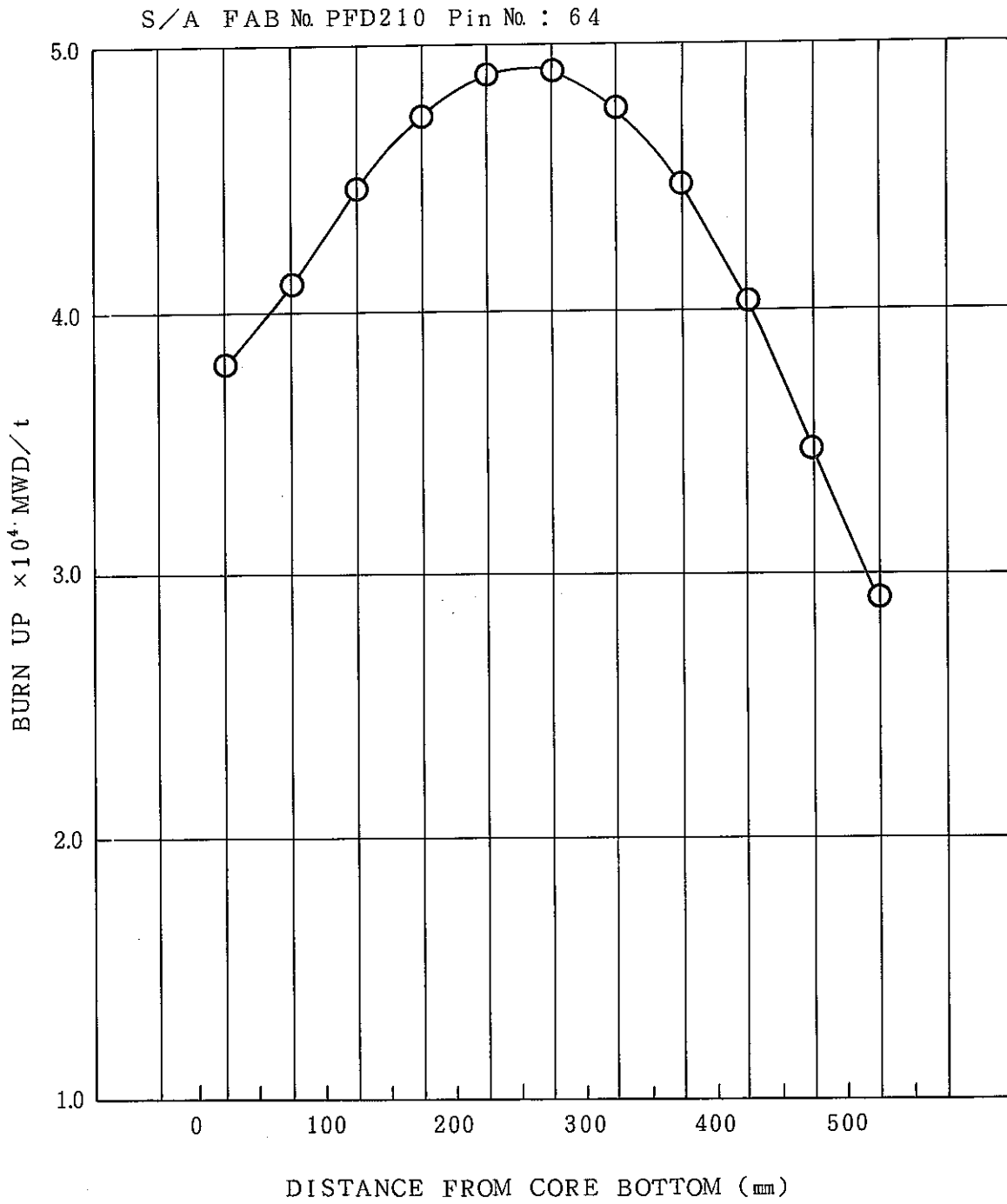


Fig. 2 Axial Profile of Burnup of a Center Pin

S/A FAB No. PFD210 Pin No. 64

○ MAX

△ EOL

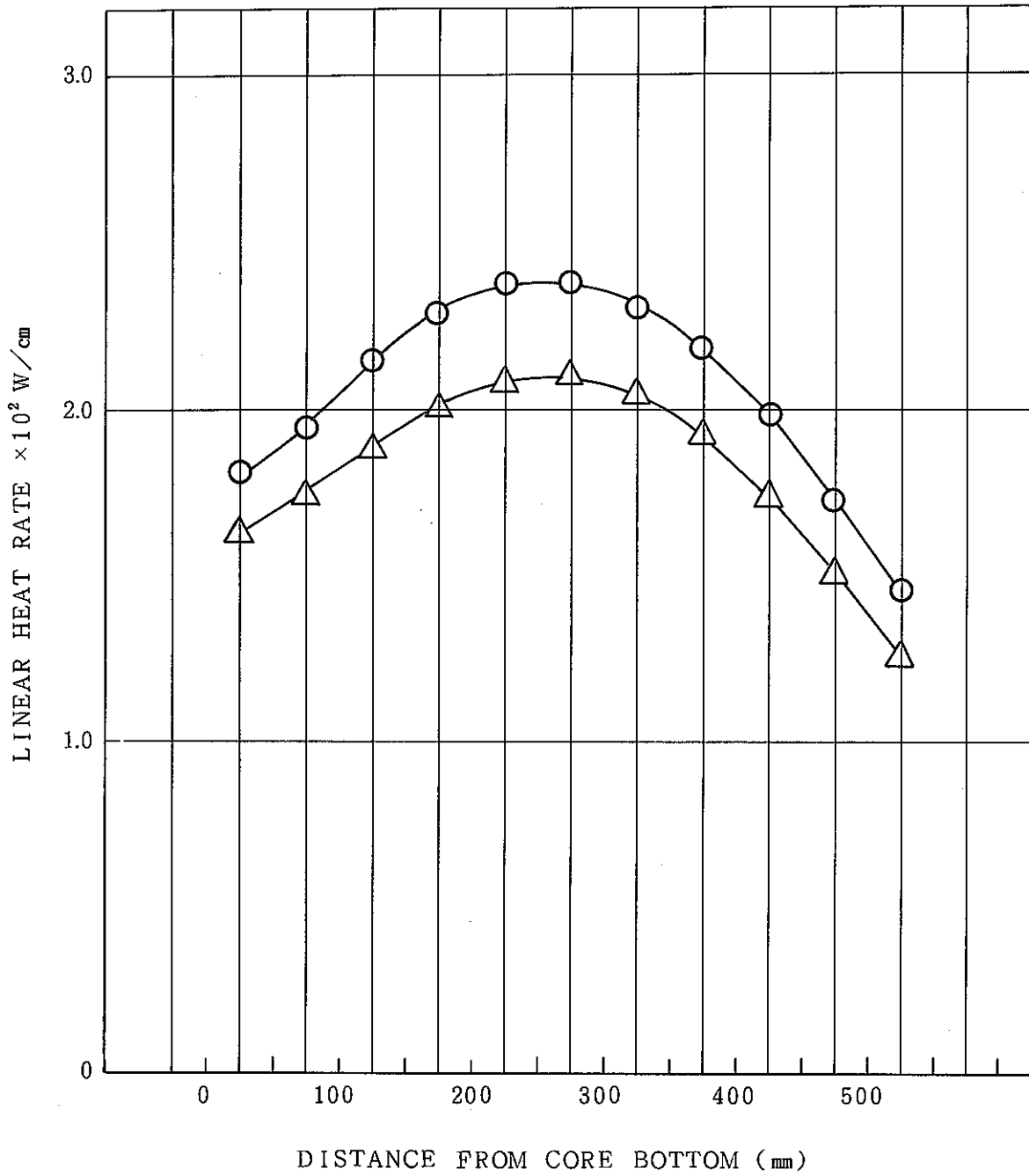


Fig. 3 Axial Profile of Linear Heat Rate of a Center Pin

S/A FAB No. PFD210

Pin No. 64

△ CENTER MAX TEMP.

○ SURFACE MAX TEMP.

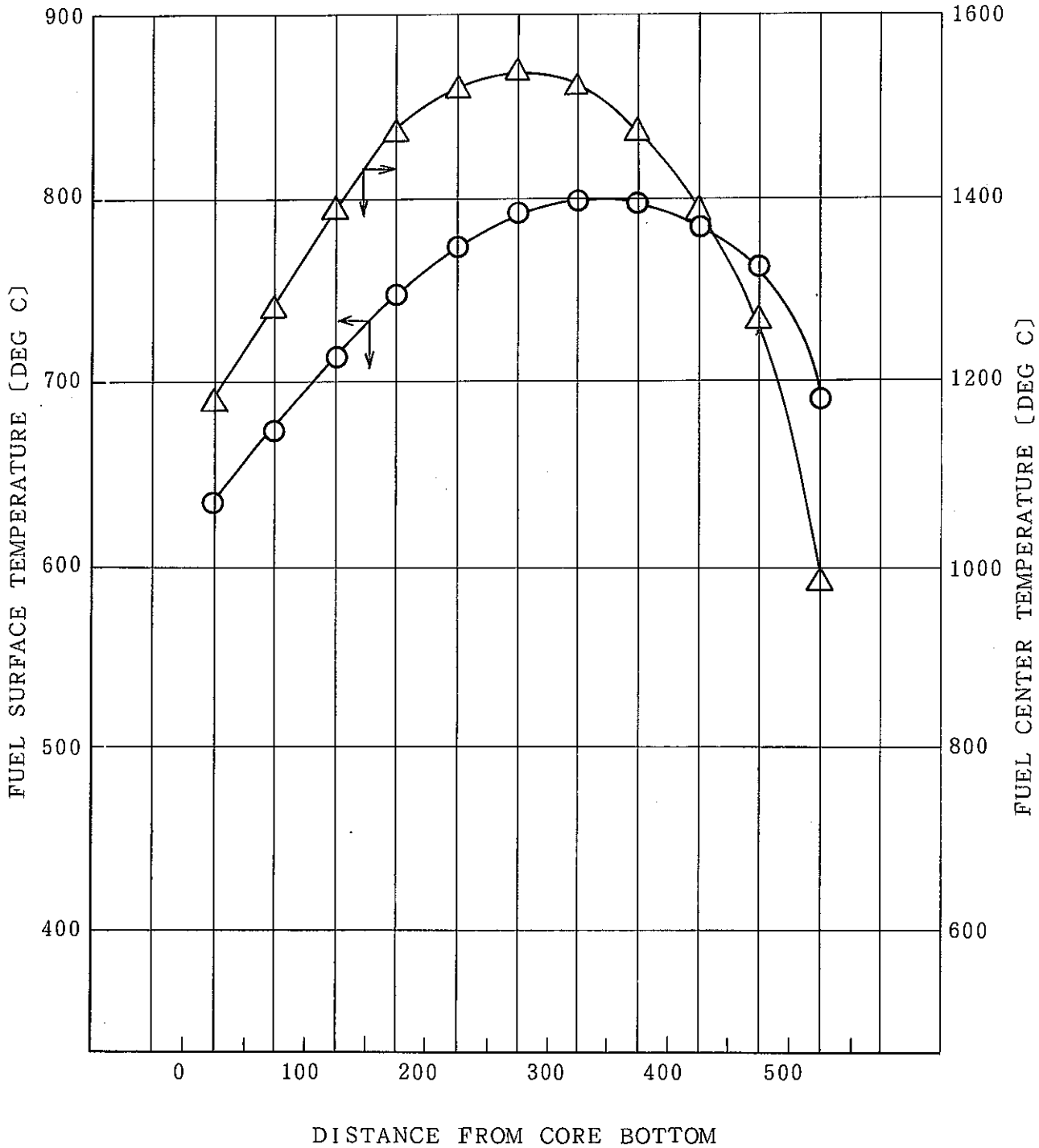


Fig.4 Axial Profile of Fuel Temperature of a Center Pin

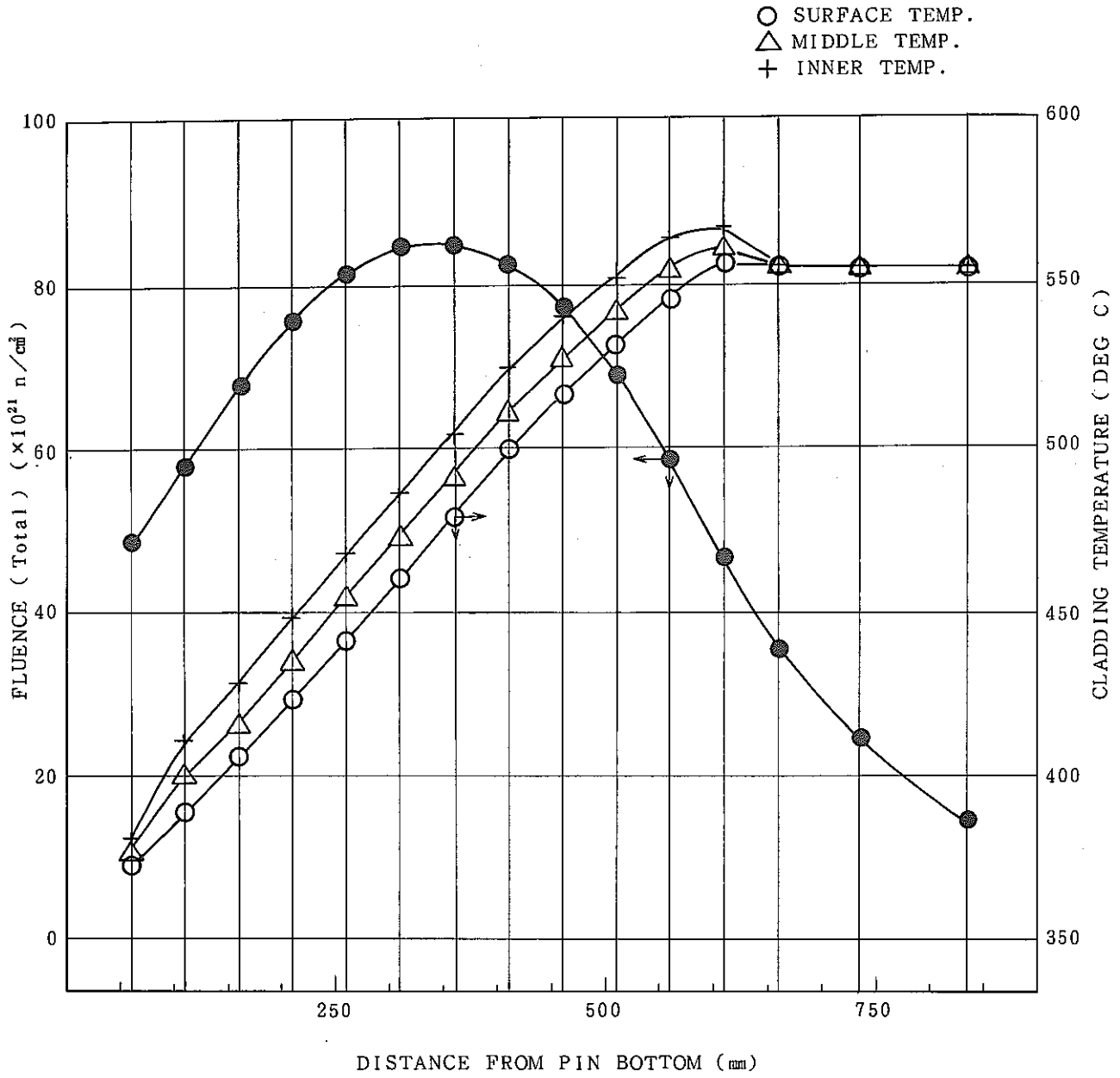


Fig. 5 Axial Profile of Fluence and Cladding Temperature of a Center Pin

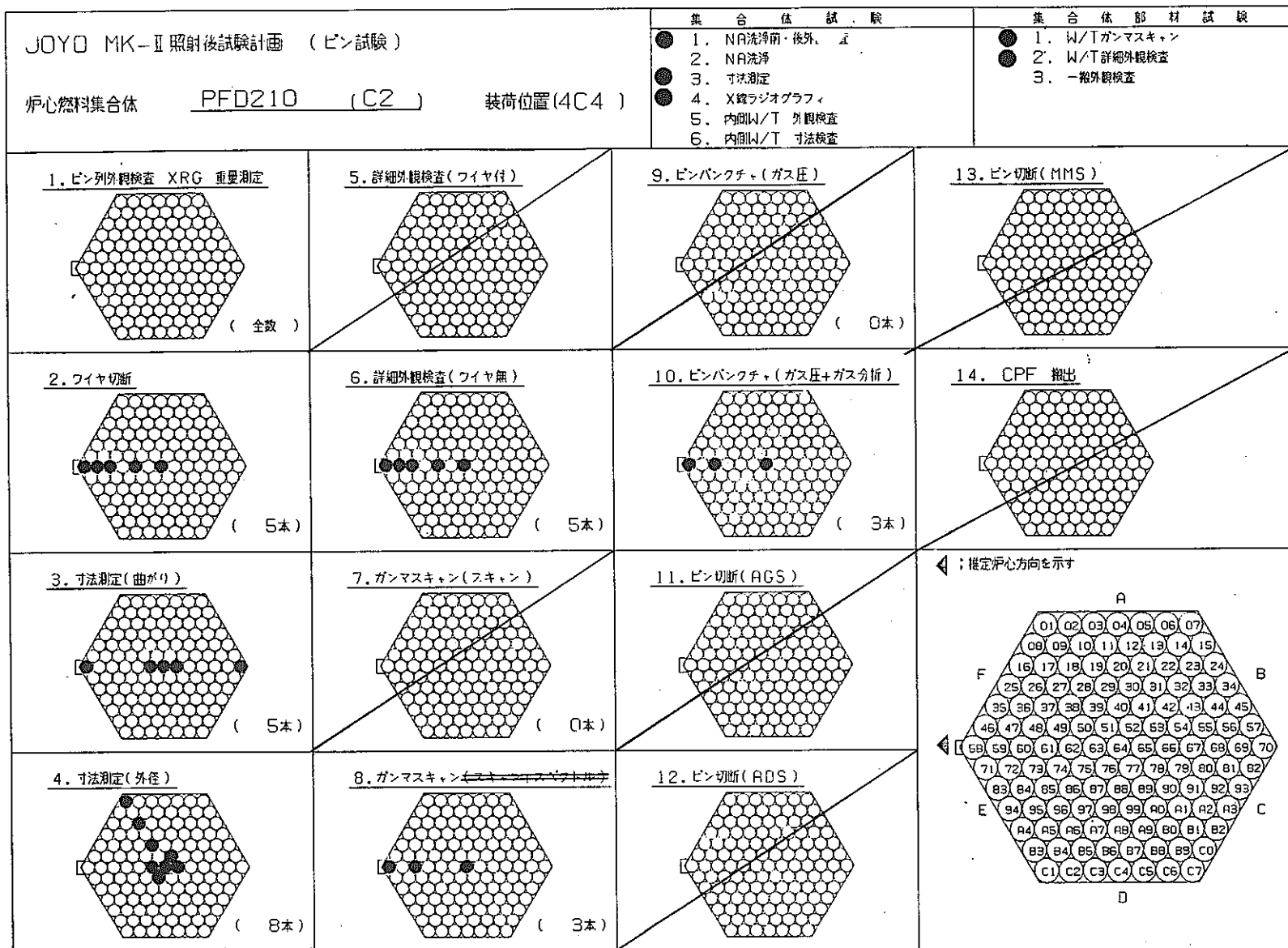


Fig.6 Pins Selected for the Examination

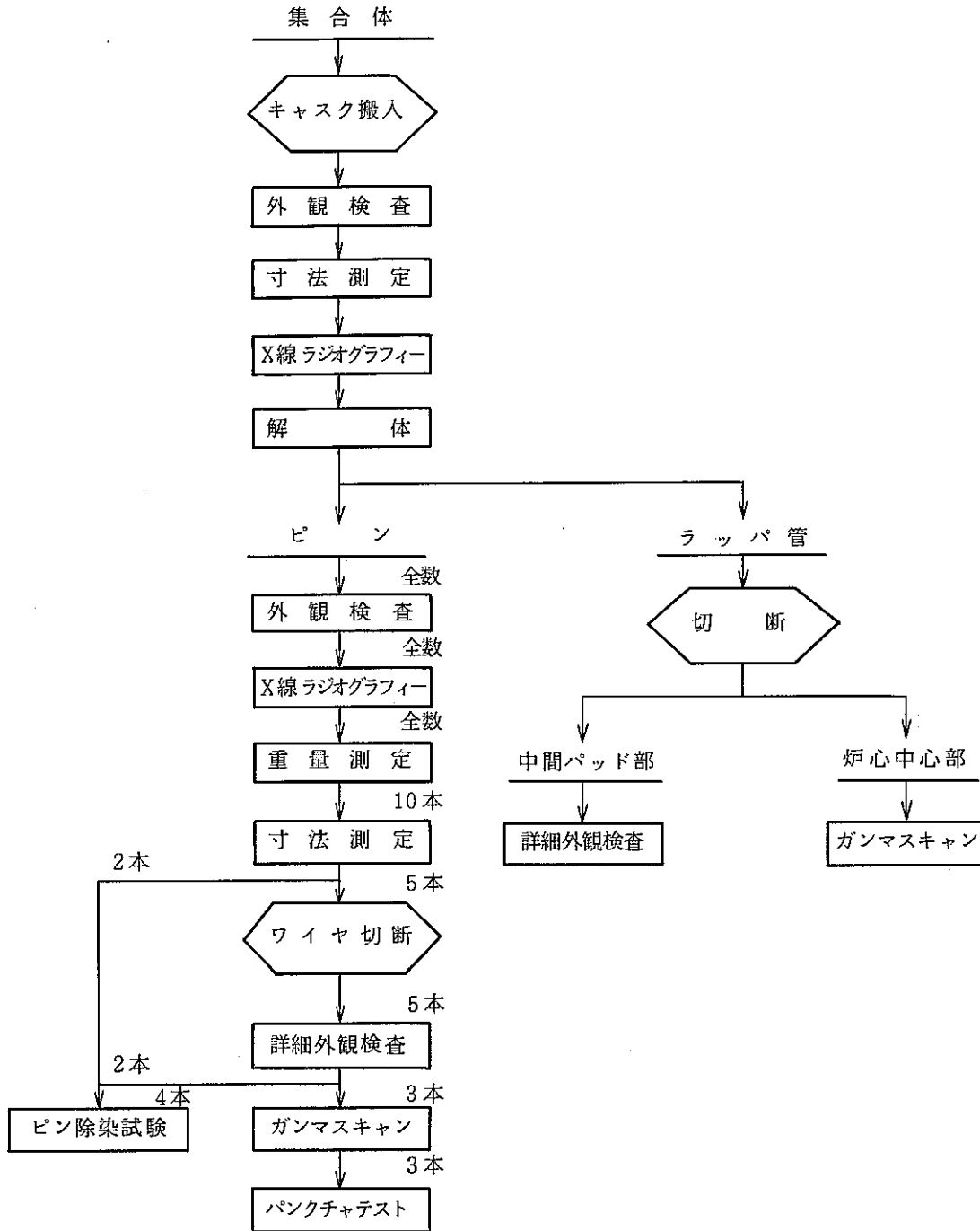


Fig. 7 Flow Diagram of Postirradiation Examination of MK-II Core Fuel Subassembly (PFD210)

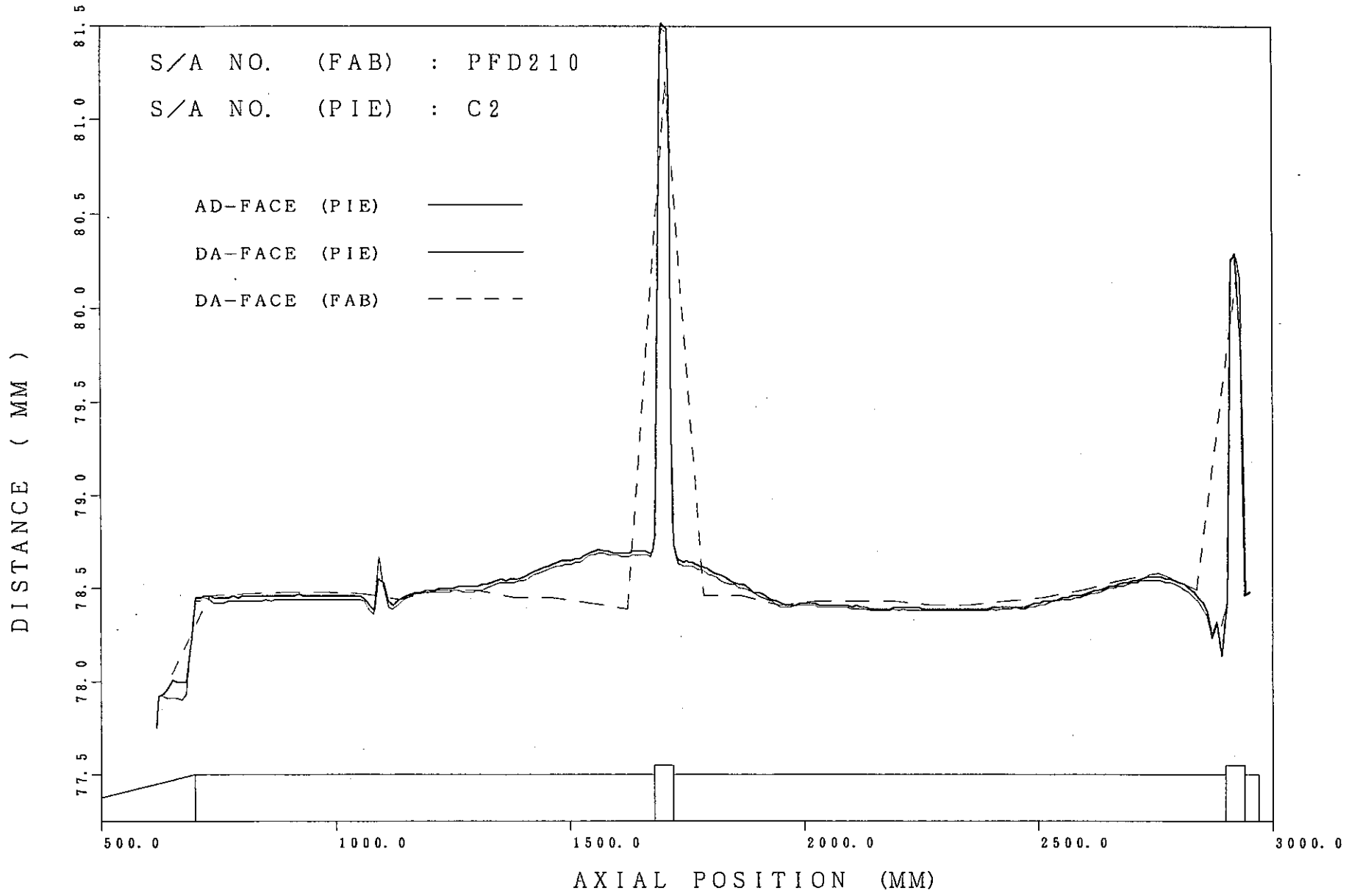


Fig. 8 Face to Face Distance of Wrapper Tube of Subassembly (A-D Face)



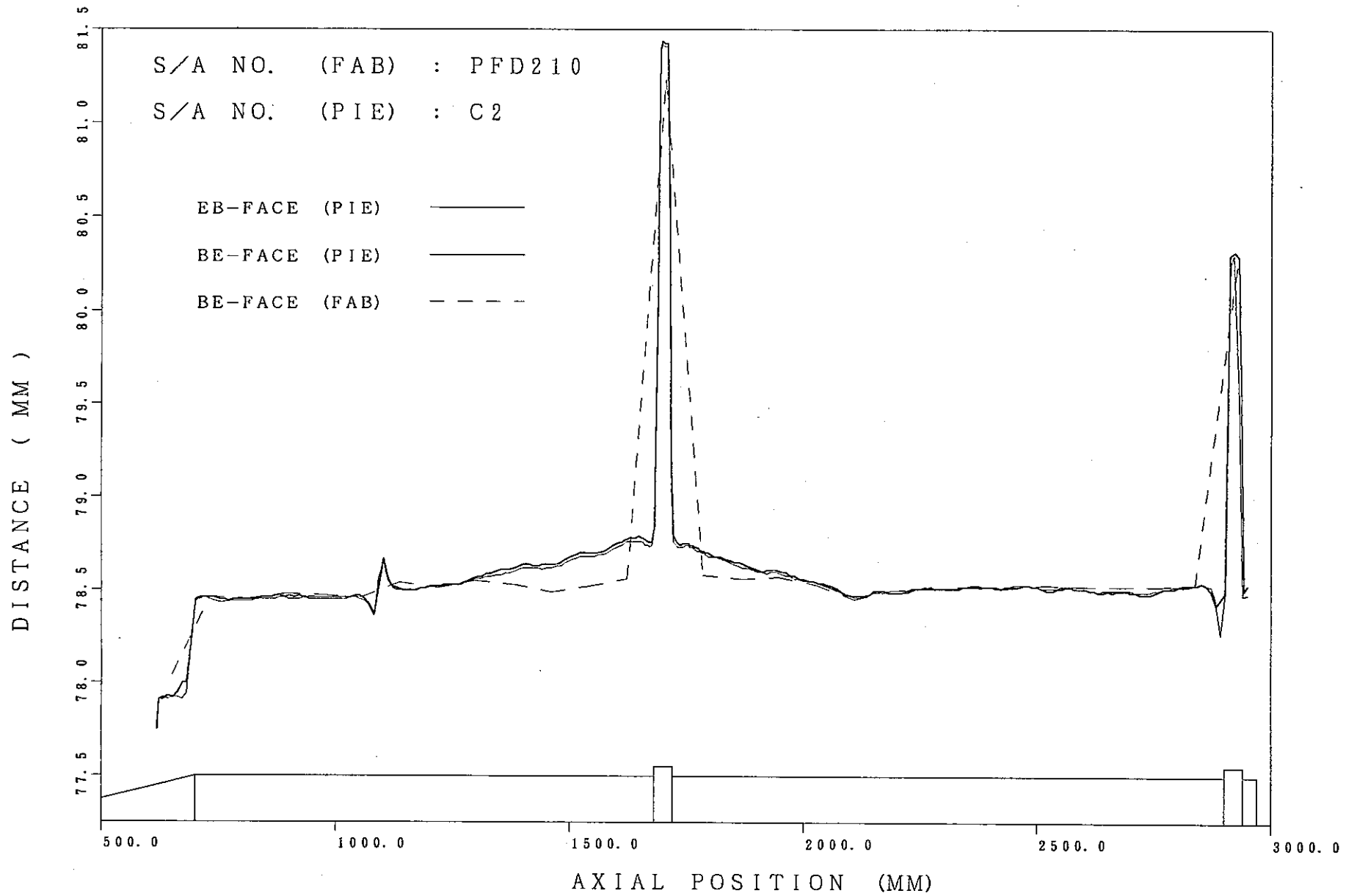


Fig. 9 Face to Face Distance of Wrapper Tube of Subassembly ( B-E Face )

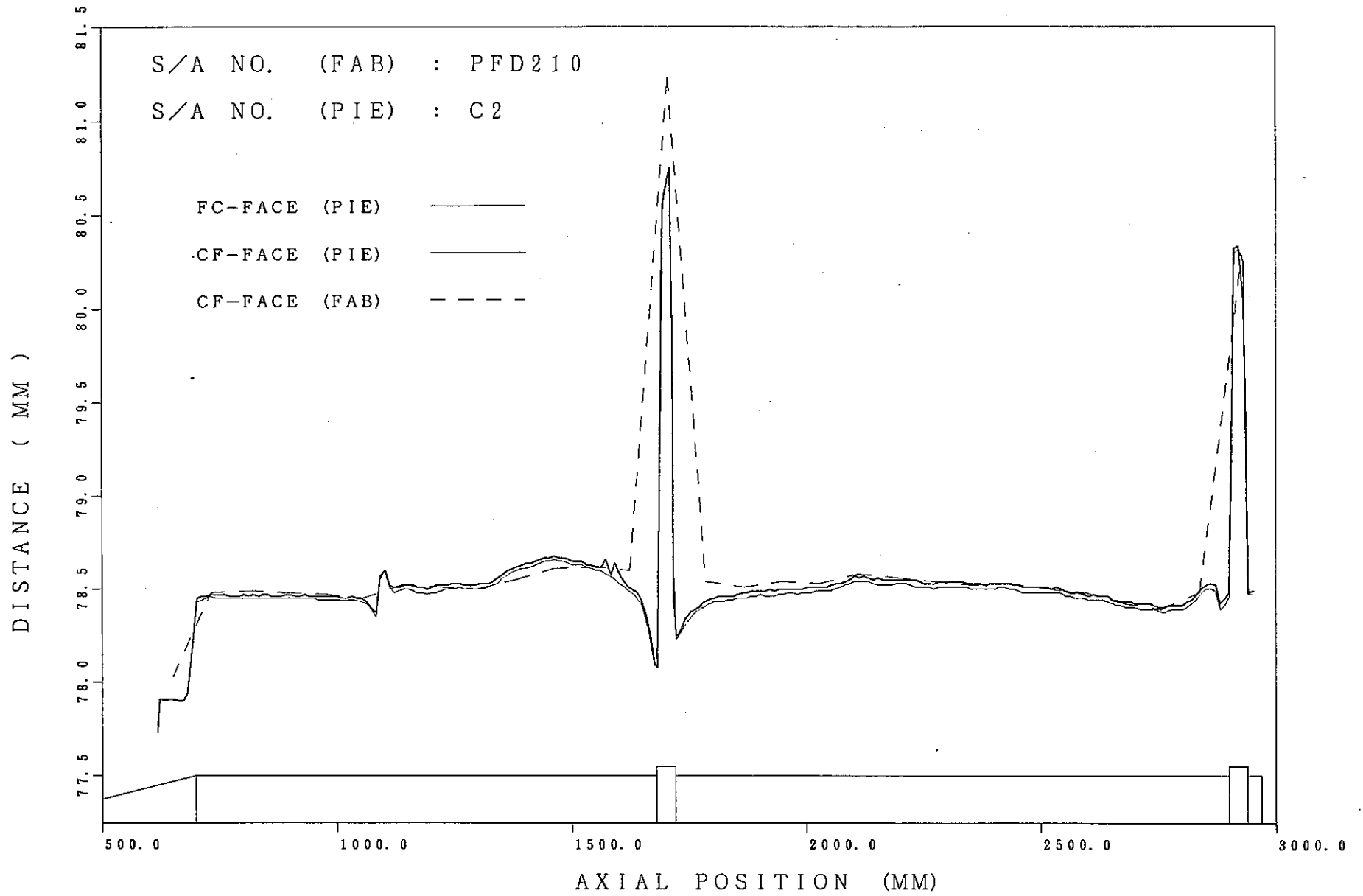
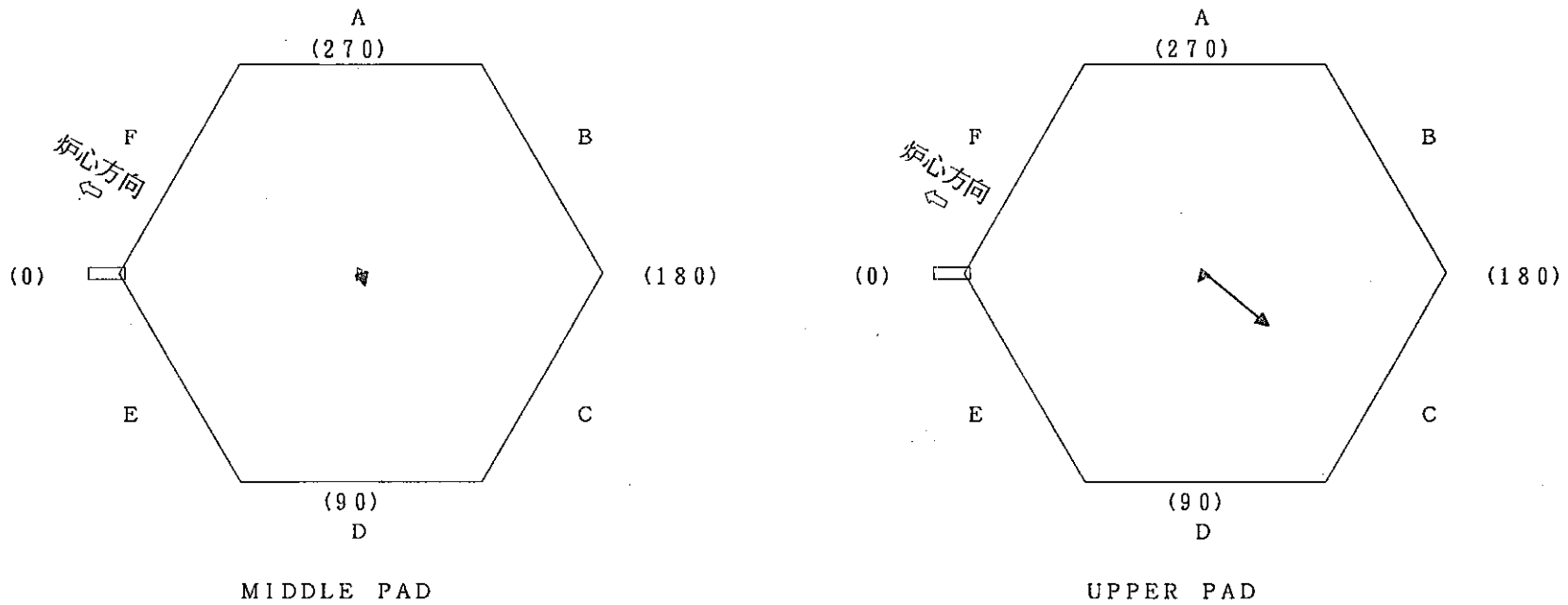


Fig.10 Face to Face Distance of Wrapper Tube of Subassembly (C-F Face)



POSITION	MIDDLE PAD	UPPER PAD
PIE DATA	1.0 (MM) 109 (DEG)	6.8 (MM) 140 (DEG)
FAB DATA	0.7 (MM) 60 (DEG)	0.9 (MM) 50 (DEG)
PIE - FAB	0.8 (MM) 150 (DEG)	6.9 (MM) 148 (DEG)




 PIE  
 FAB  
 BOWING SCALE · 5.0 (MM)   
 VIEW FROM TOP

Fig.11 Bowing Vector of Subassembly

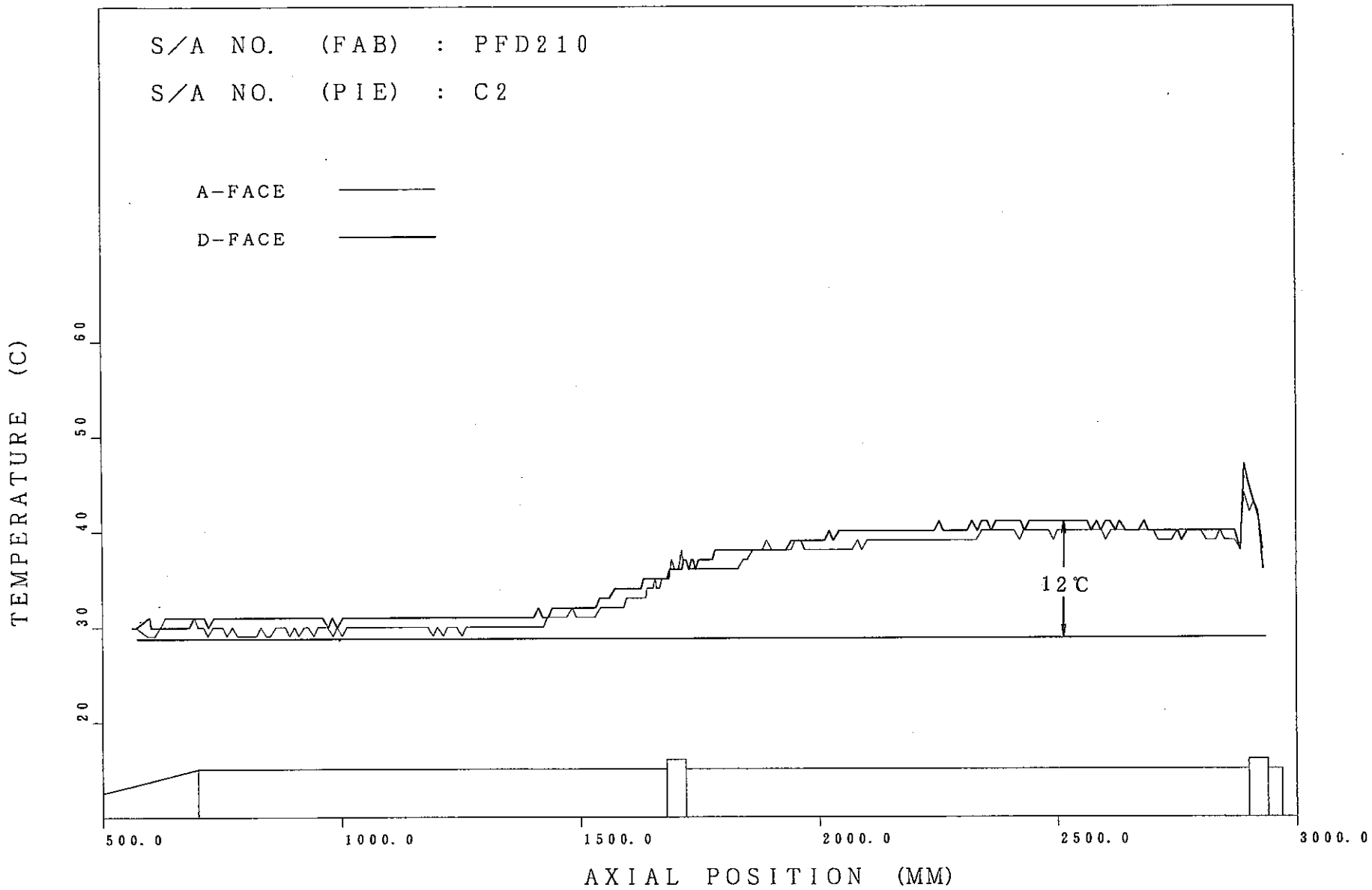


Fig.12 Subassembly Surface Temperature at PIE

S/A NO. (FAB) :	PFD210	ANGLE OF MAX RATE (DEG):	345.30
S/A NO. (PIE) :	C2WH3	MAX COUNT RATE (CPS):	169.73
AXIAL POS. (MM) :	1600.00	AVERAGE COUNT RATE(CPS):	137.22
COOLING TM (DAYS):	100	PEAKING FACTER	: 1.236
COLL. WIDTH(MM) :	0.90		
OP NO. :	6555-6555		

CORRECTED

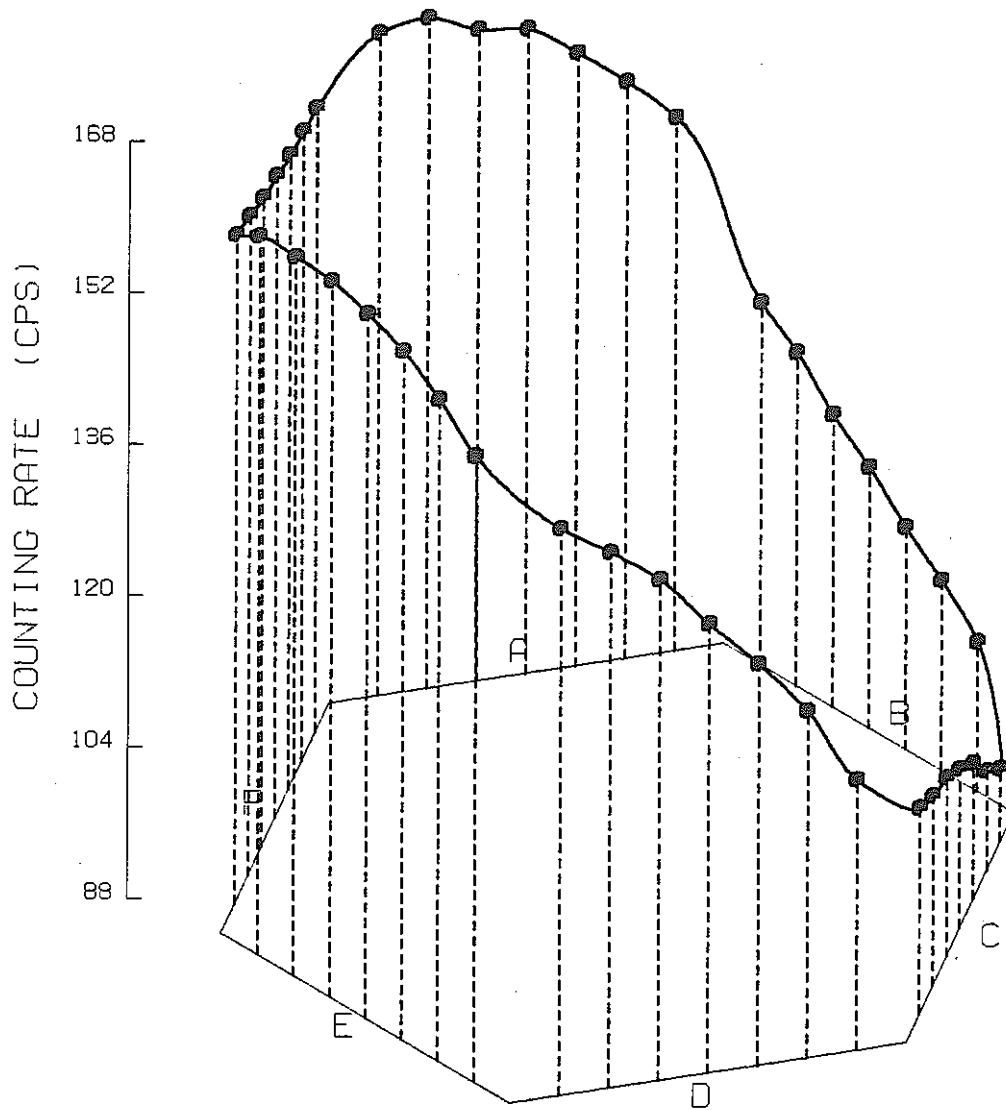


Fig. 13 Radial Distribution of Gamma-Ray Intensity of the Wrapper Tube ( $^{54}\text{Mn}$ , 0.835MeV)

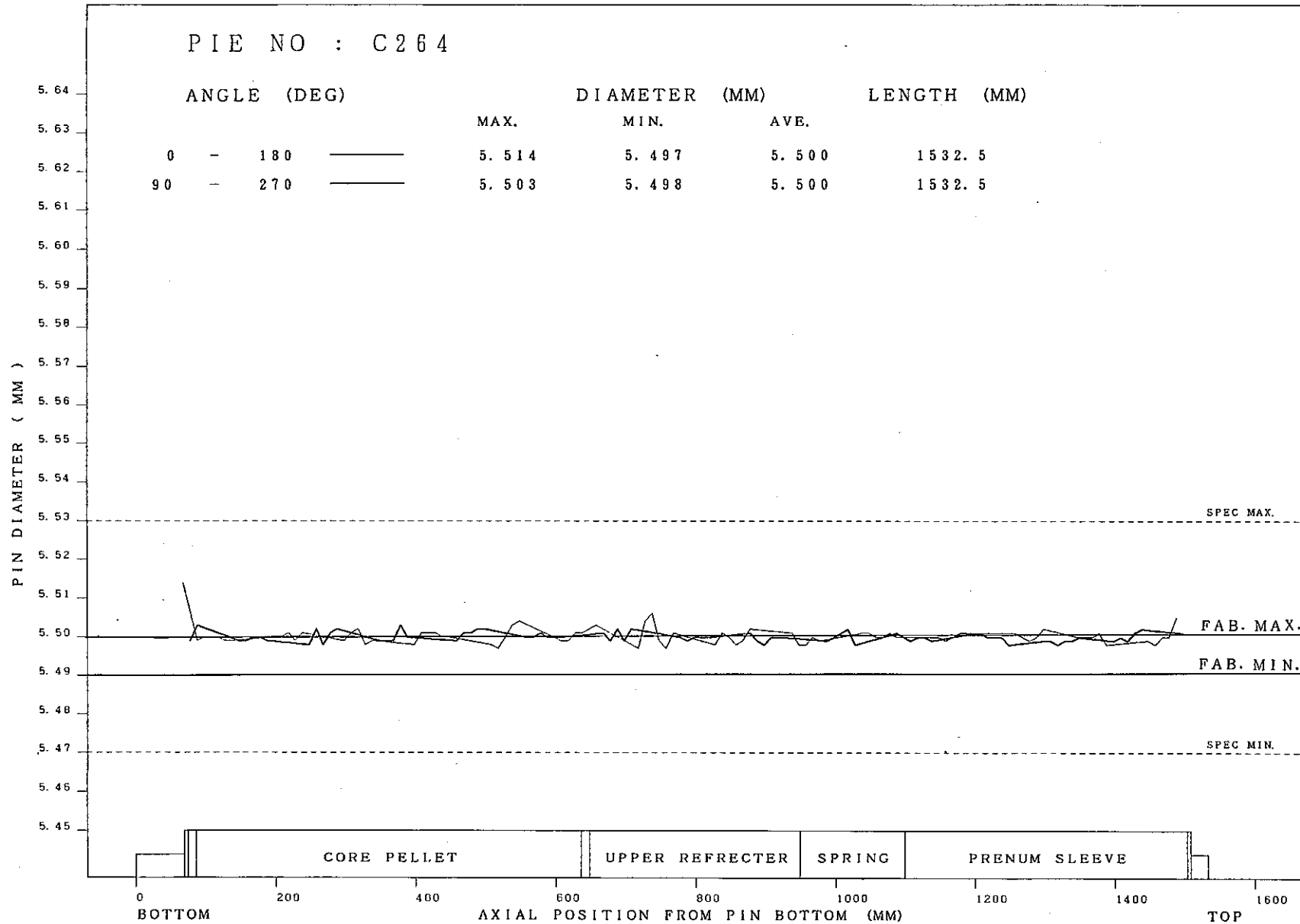
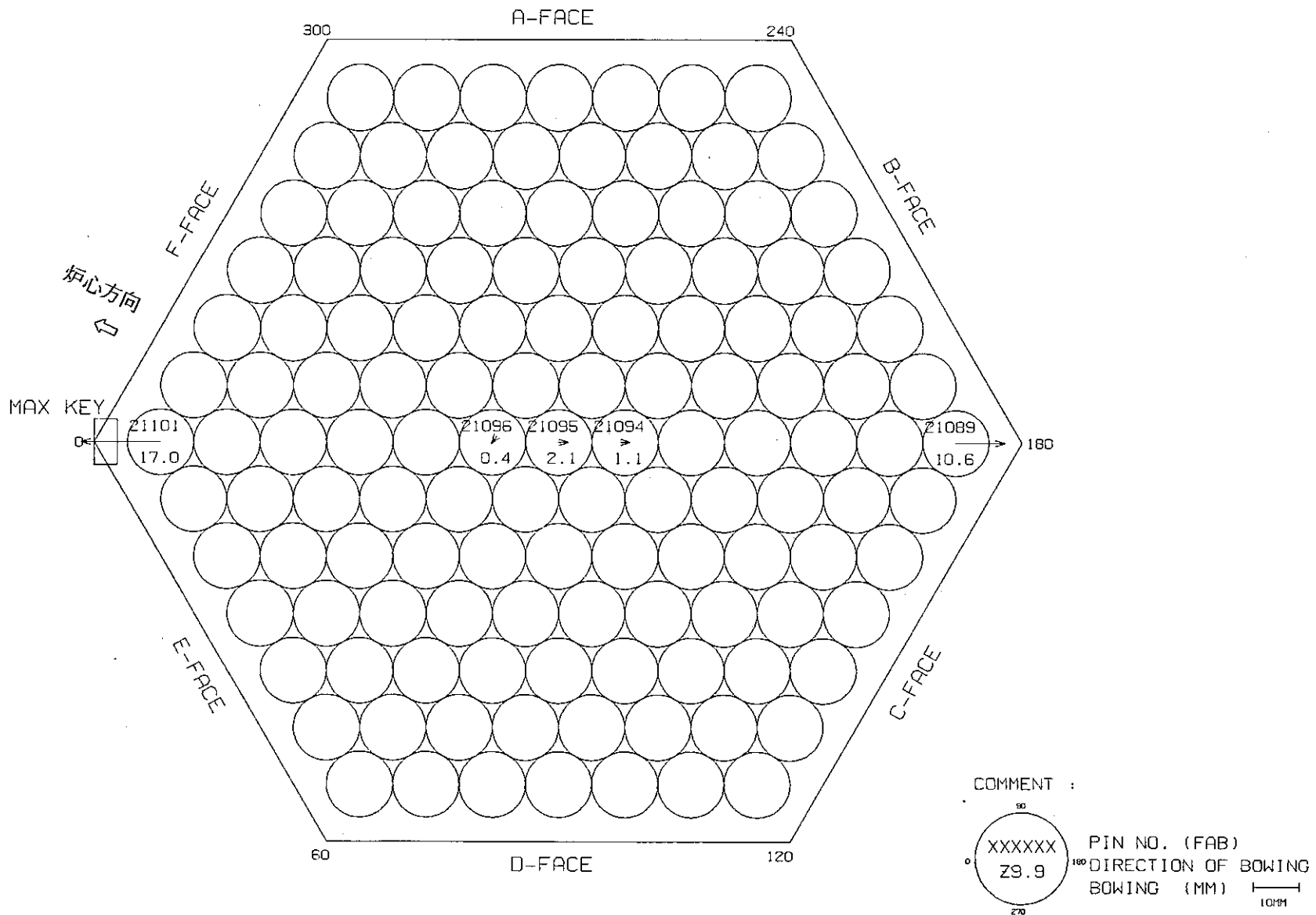


Fig.14 Axial Profile of a Fuel Pin Outer Diameter



VIEW FROM TOP

Fig. 15 Bowing Vectors of Fuel Pins

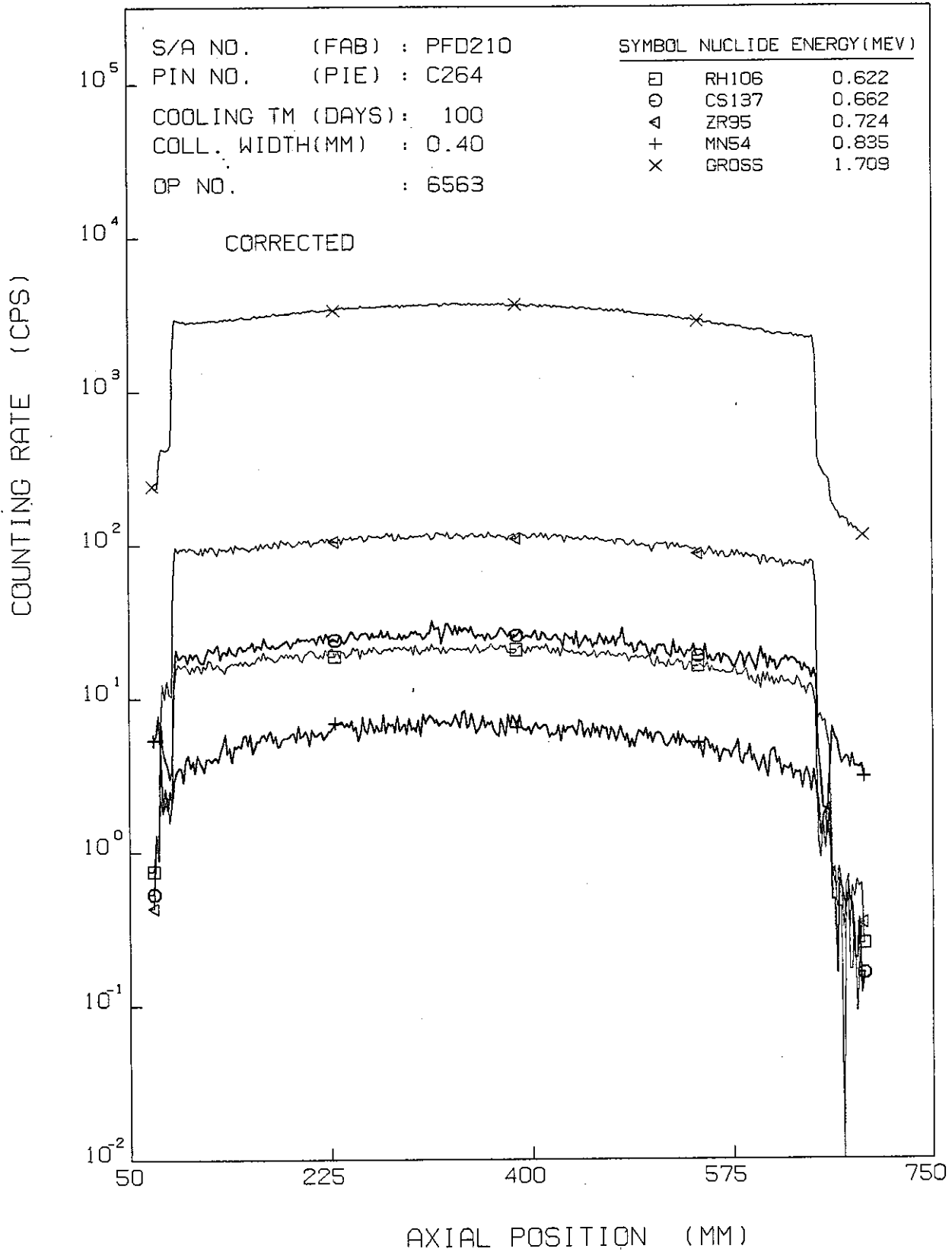


Fig. 16 Axial Distribution of Gamma-Ray Intensity of a Center Pin





- 47 -

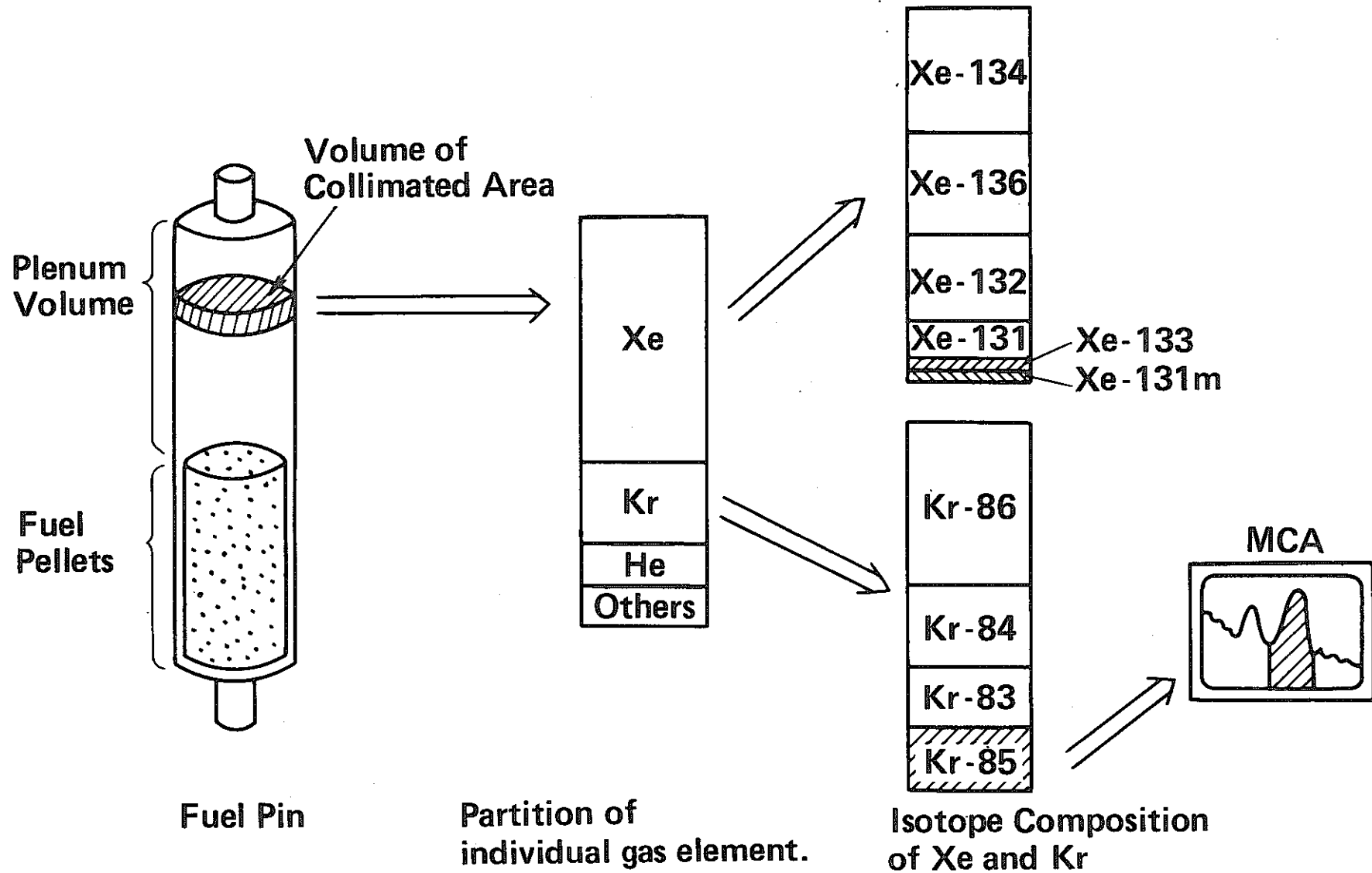


Fig. 18 FP Gas Volume in the Fuel Pins by Gamma-Spectroscopy

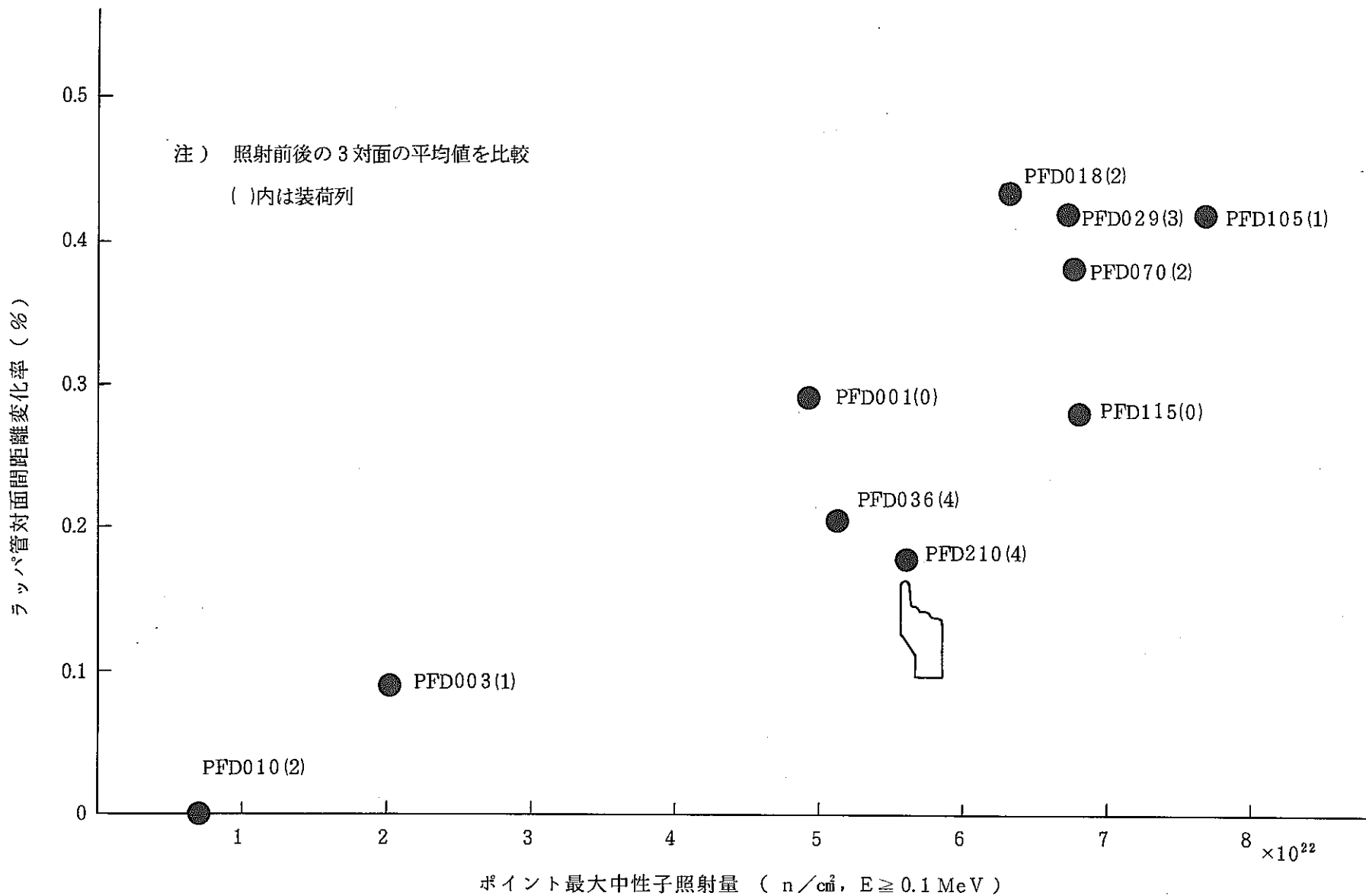


Fig. 19 Wrapper Tube Face to Face Distance Changes as a Function of the Subassembly Maximum Fluence

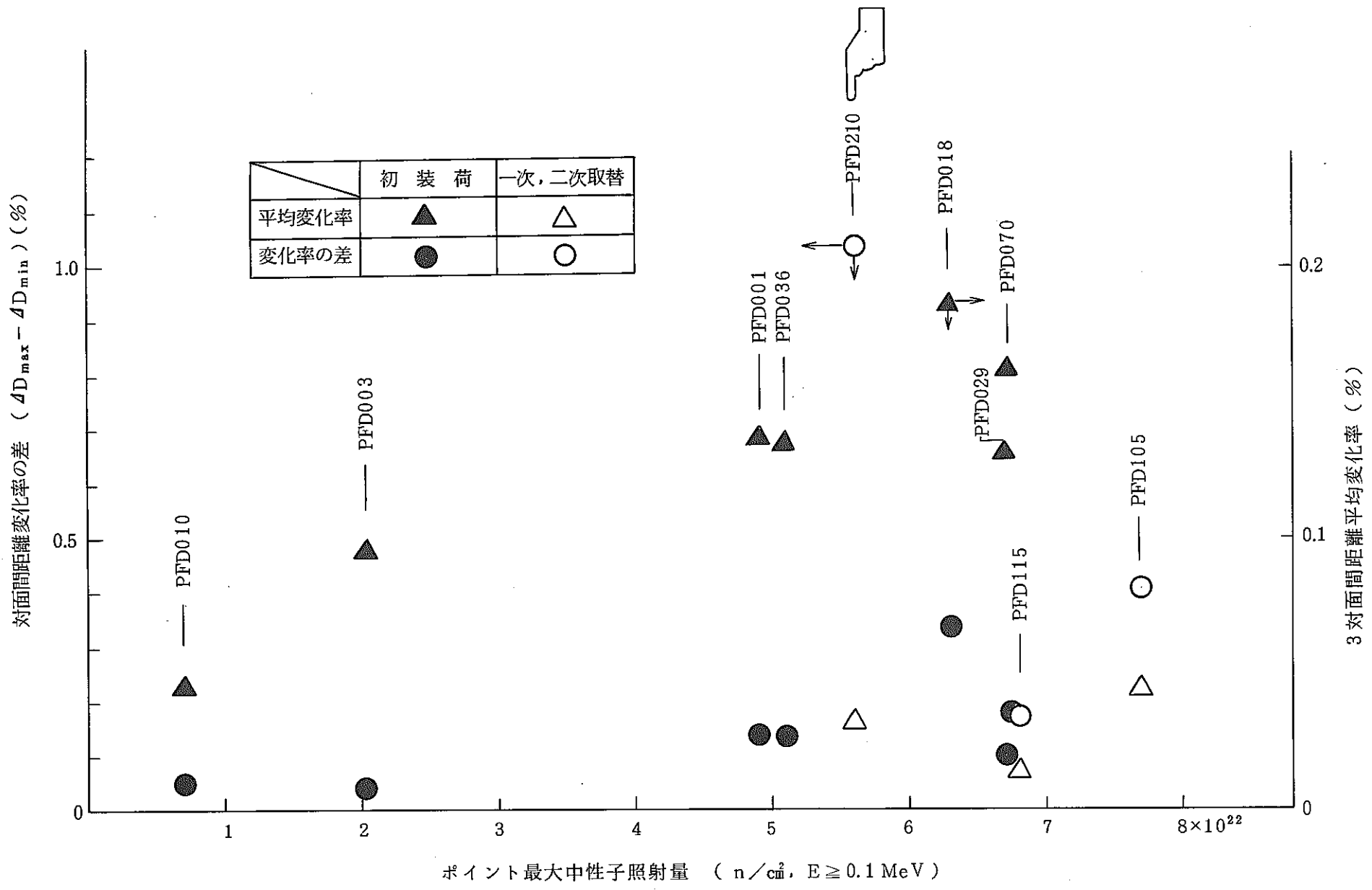


Fig. 20 Middle Pad Face to Face Changes as a Function of the Subassembly Maximum Fluence

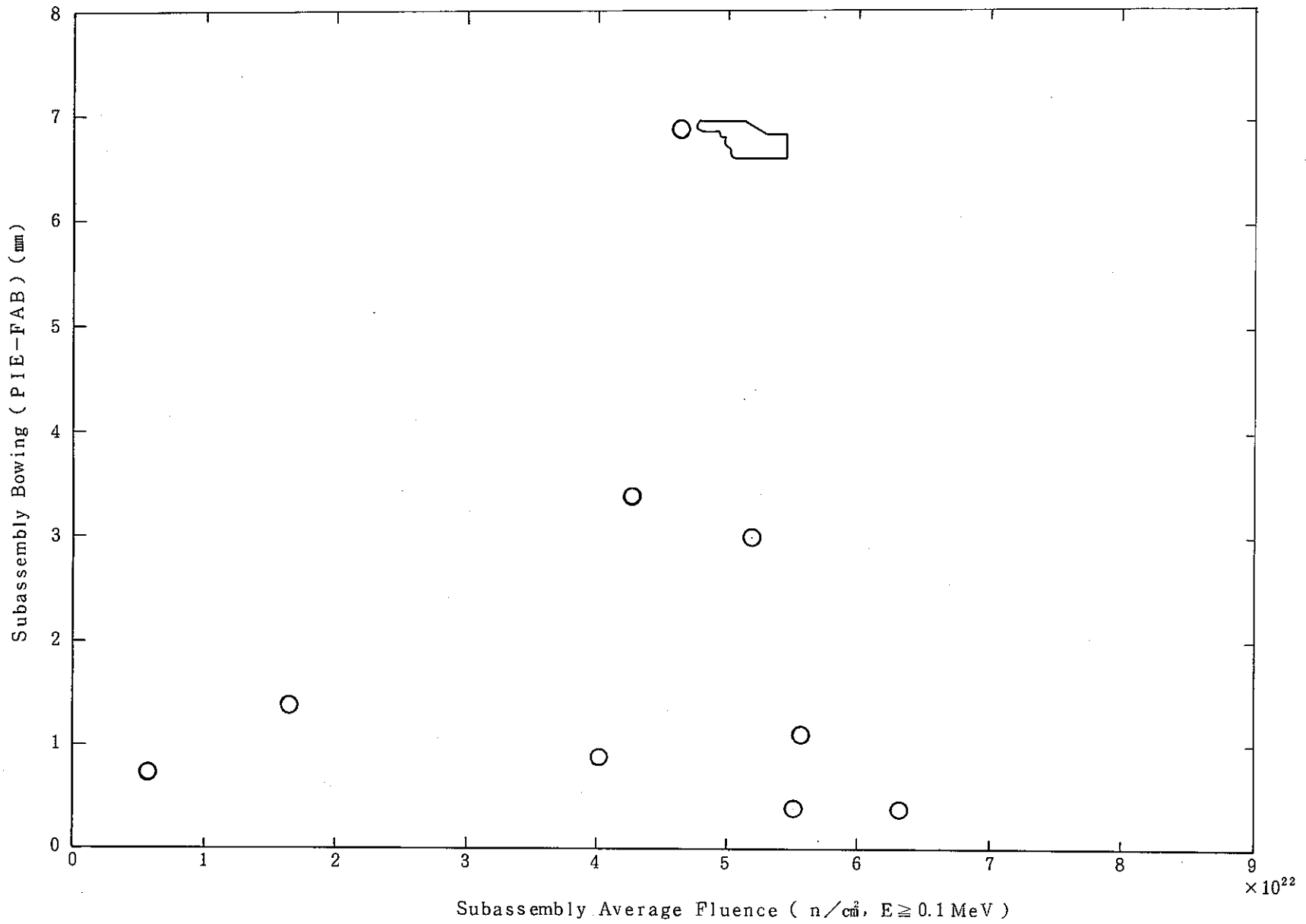


Fig. 21 Subassembly Bowing as a Function of Average Fluence

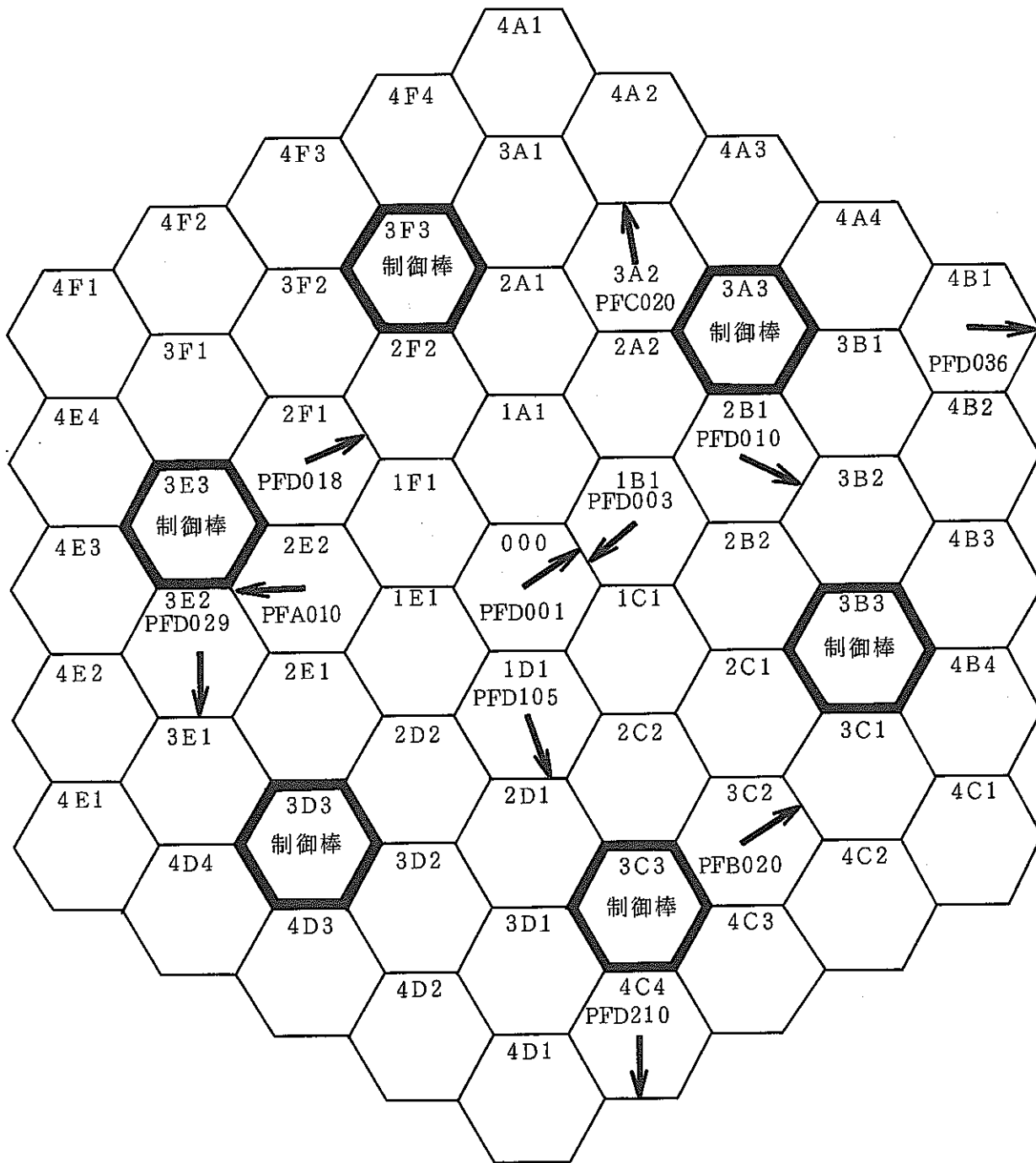


Fig. 22 Direction of Subassembly Bowing and In Reactor Location

-52-

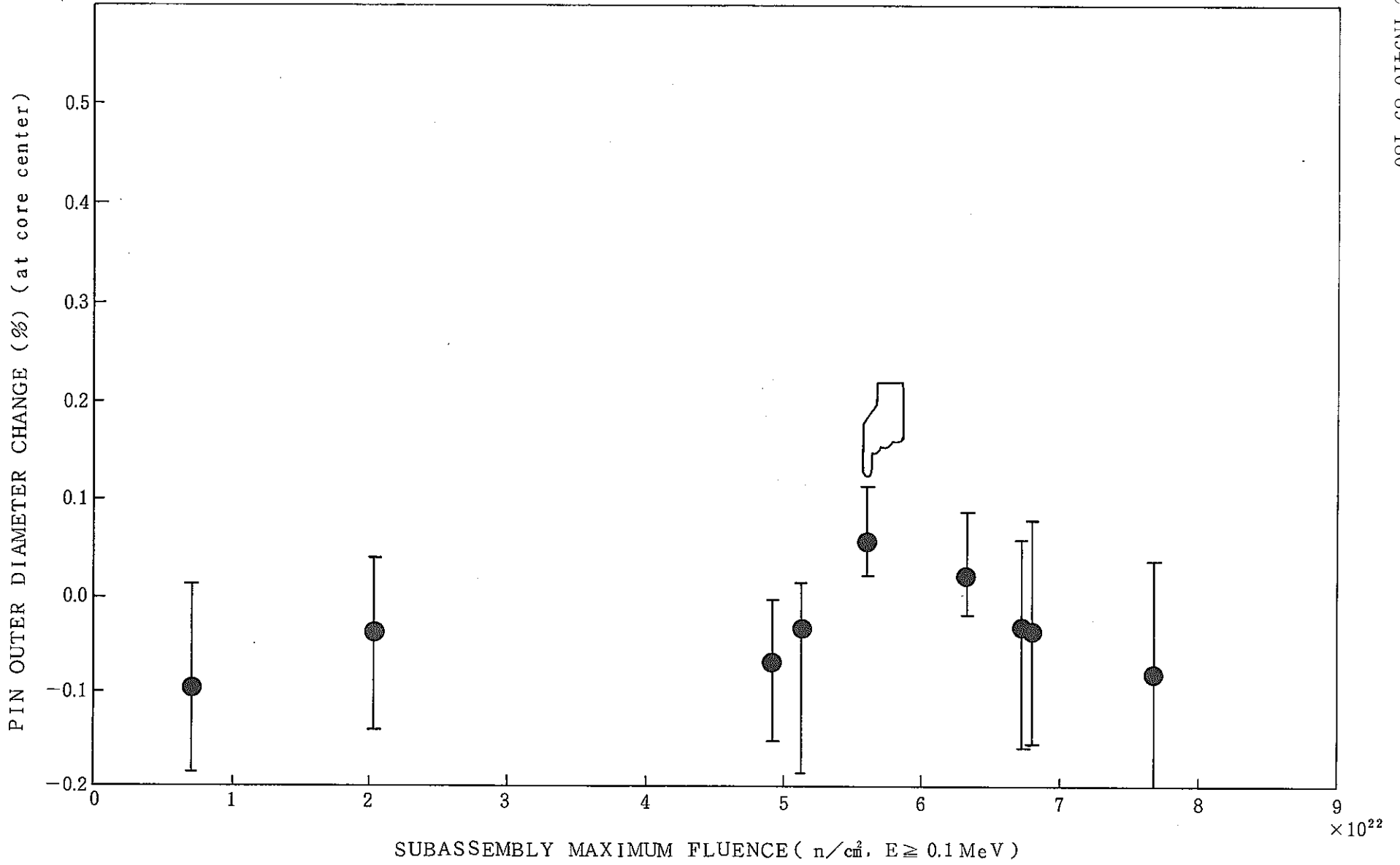


Fig. 23 Pin Outer Diameter Changes of MK-II Core Fuel Pin as a Function of Subassembly Maximum Fluence

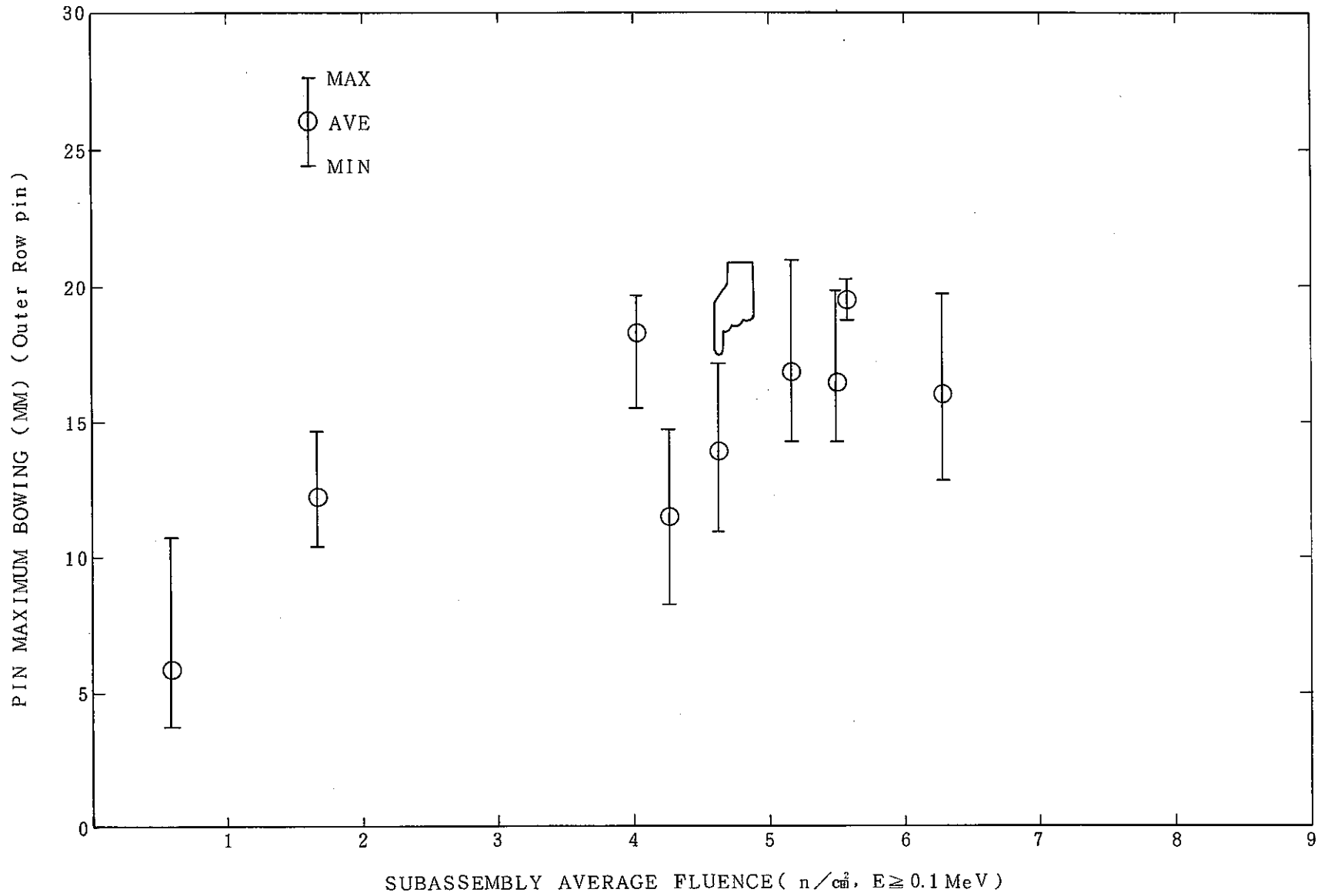


Fig. 24 Pin Maximum Bowing of MK-II Core Fuel Pin as a Function of Subassembly Average Fluence



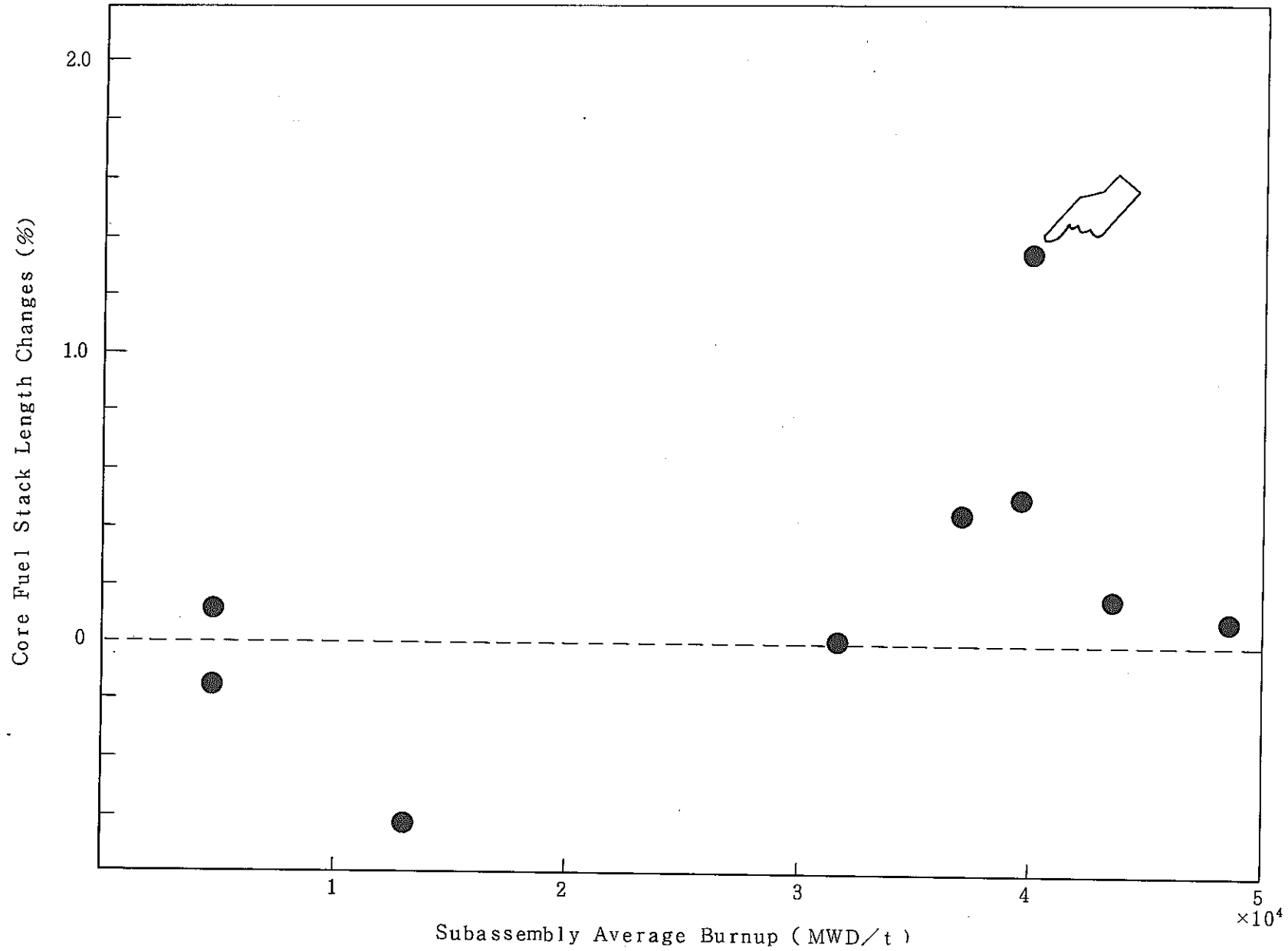


Fig. 25 Fuel Stack Length Change of MK-II Core Fuel Pin as a Function of Subassembly Average Burnup

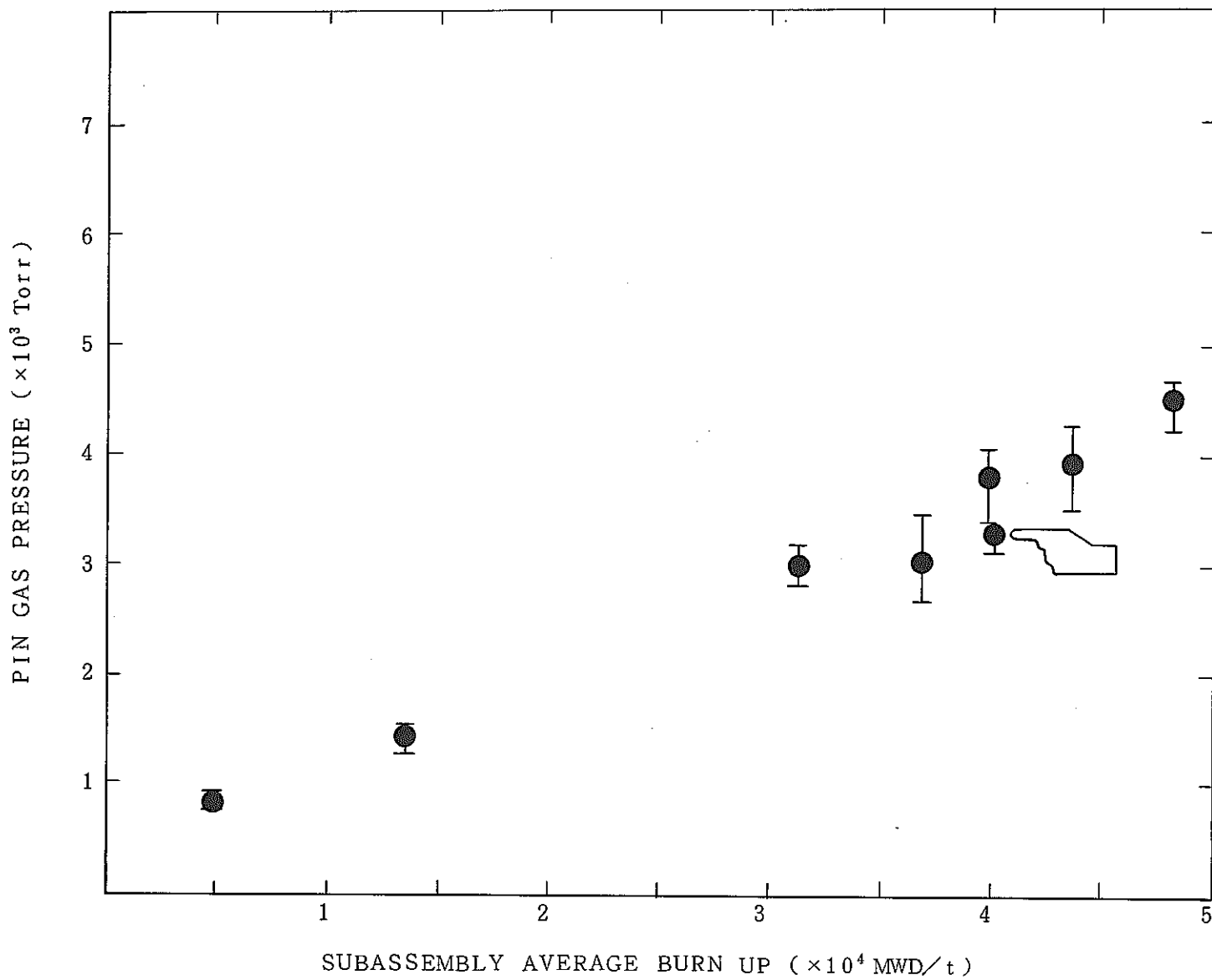


Fig. 2 6 Plenum Gas Pressure of MK-II Core Fuel Pins as a Function of Subassembly Average Burnup

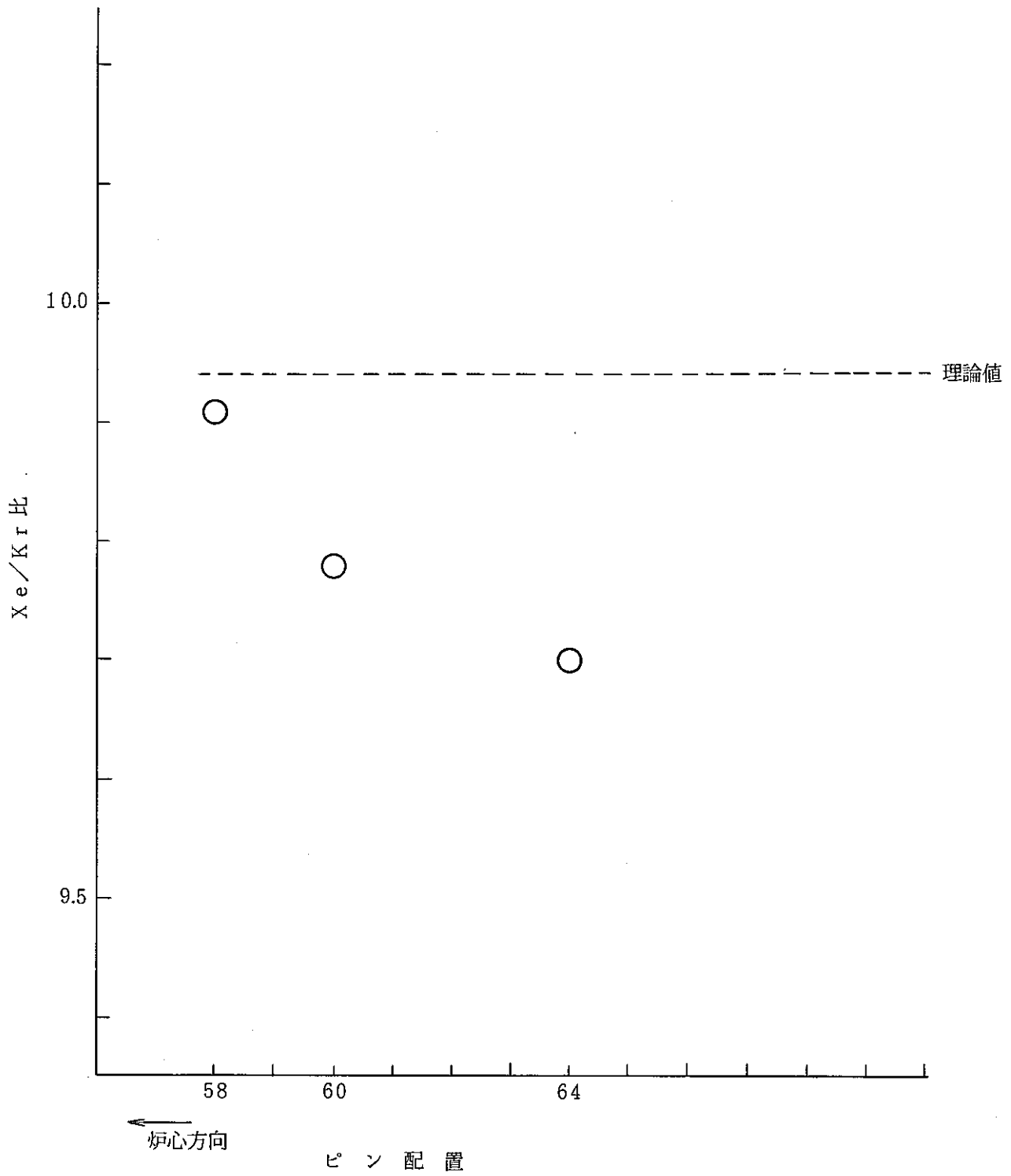


Fig. 27 Xe/Kr Ratio of Tested Pin in the Subassembly

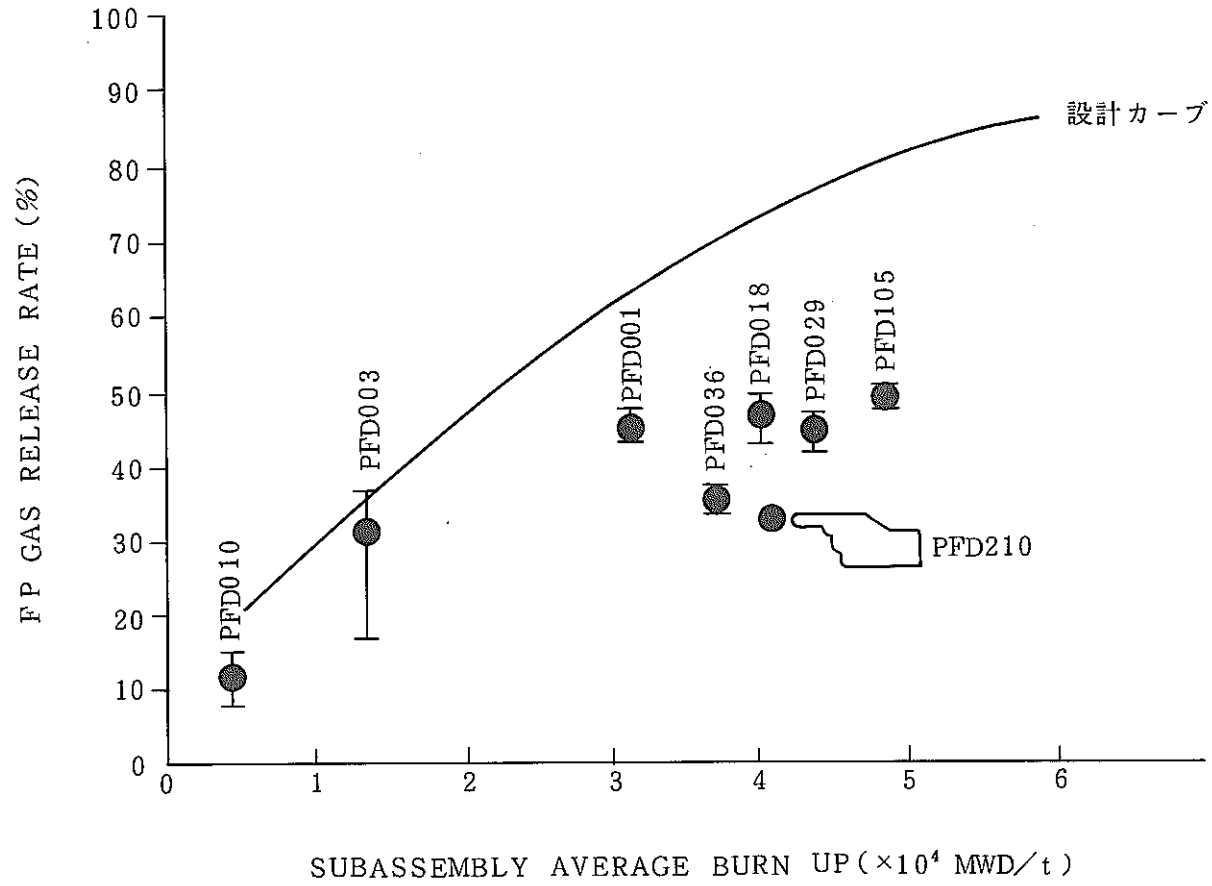
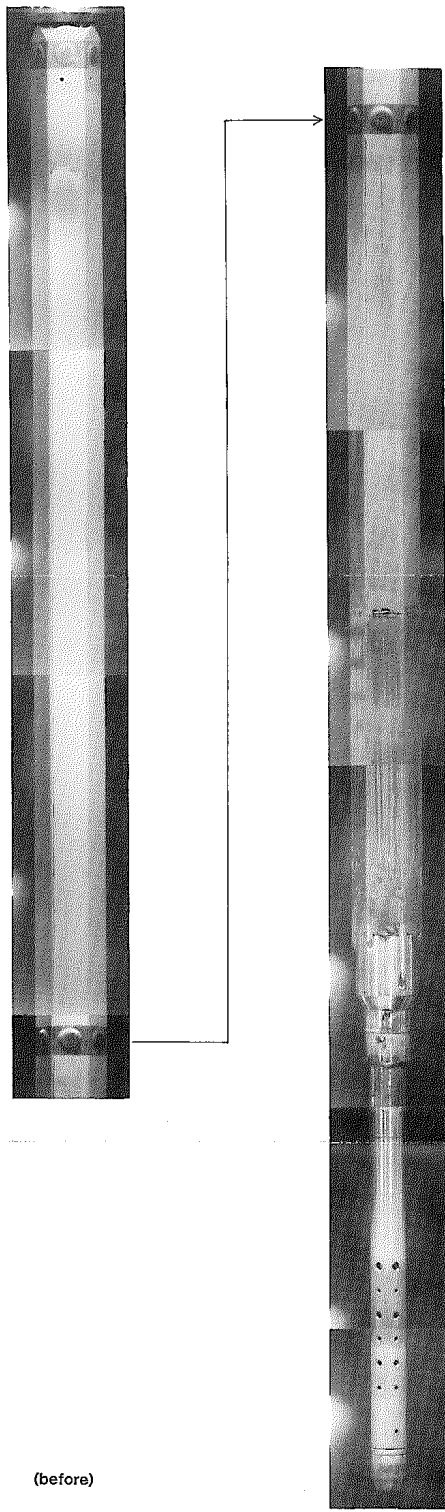


Fig. 28 Fission Gas Release Rate of MK-II Core Fuel Pins as a Function of Subassembly Average Burnup



(before)

FACE **F**

Photo.1 Surface View of the Subassembly

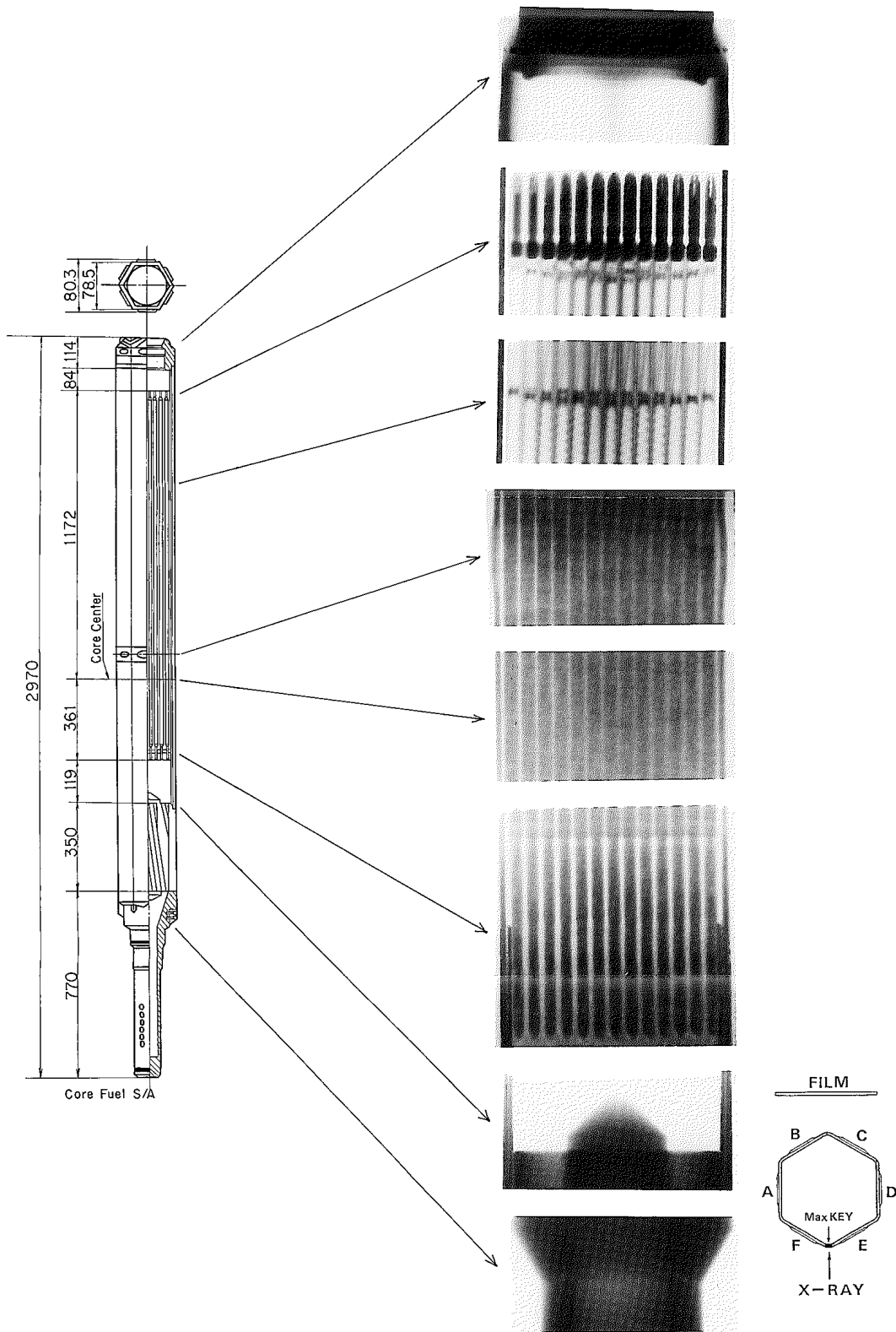


Photo. 2 X-ray Radiographs of the Subassembly

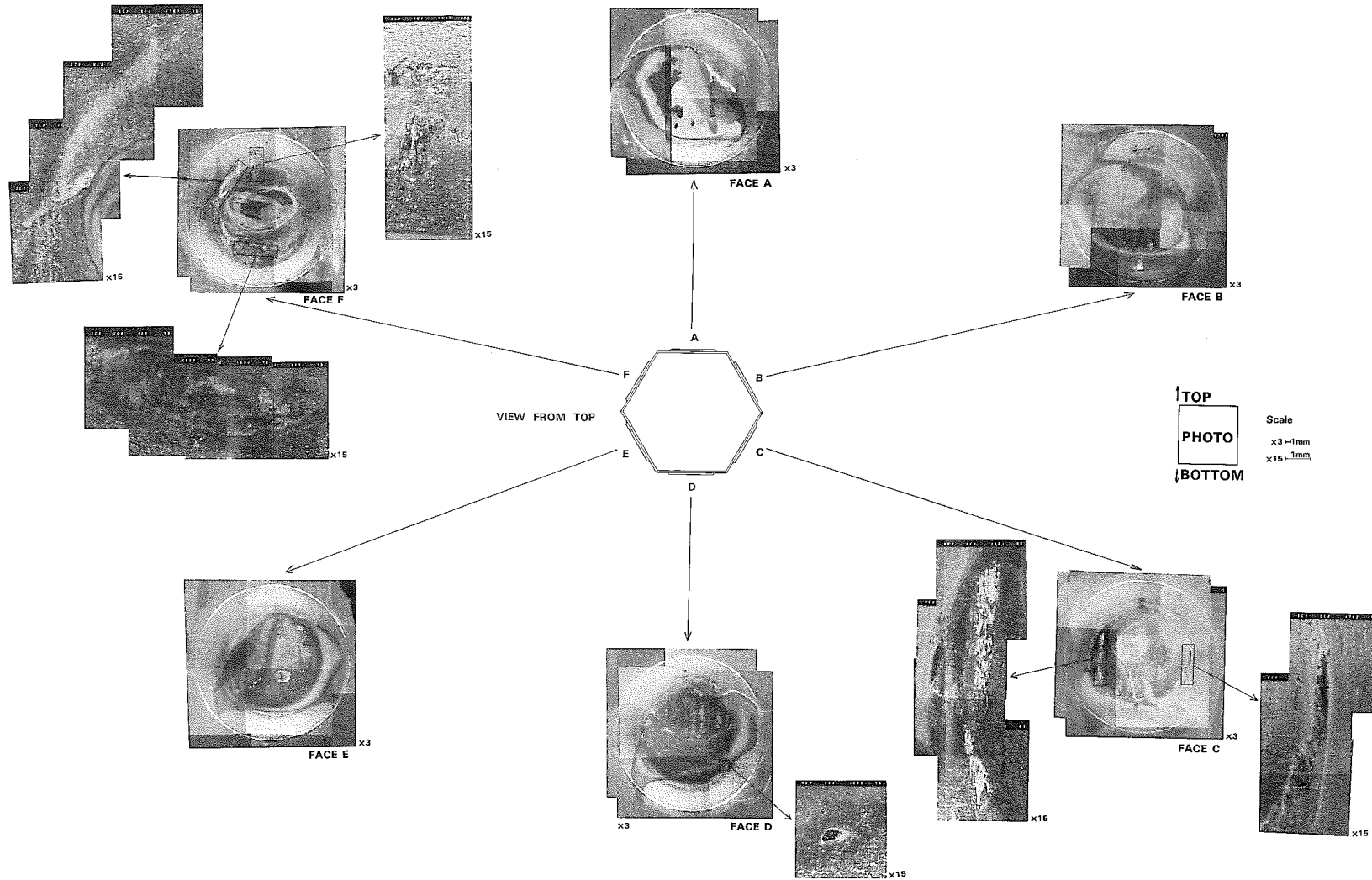


Photo 3 Surface View of the Middle Pad

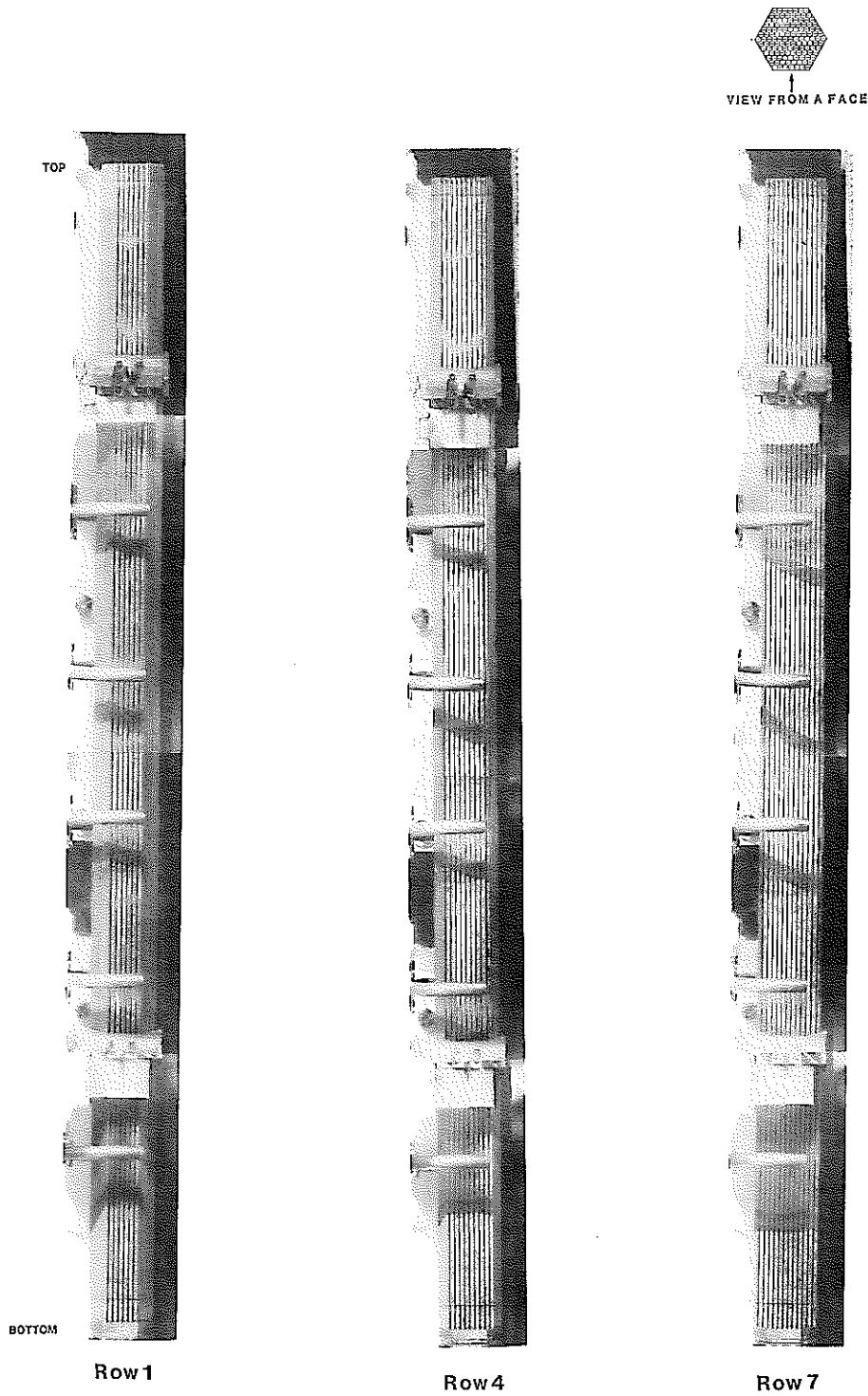


Photo. 4 View of Fuel Pin Bundle Observed at each Stage of Disassembling



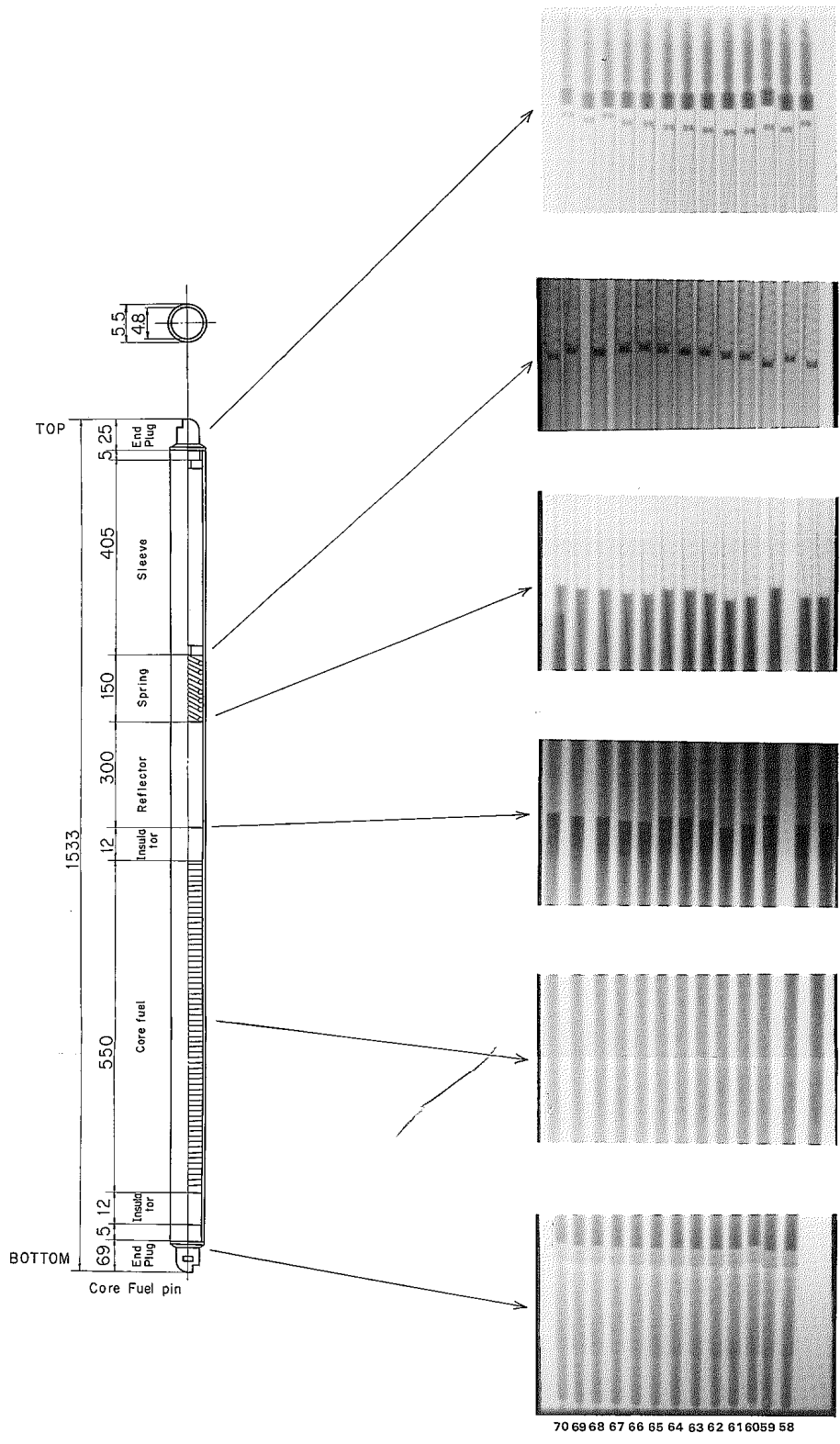
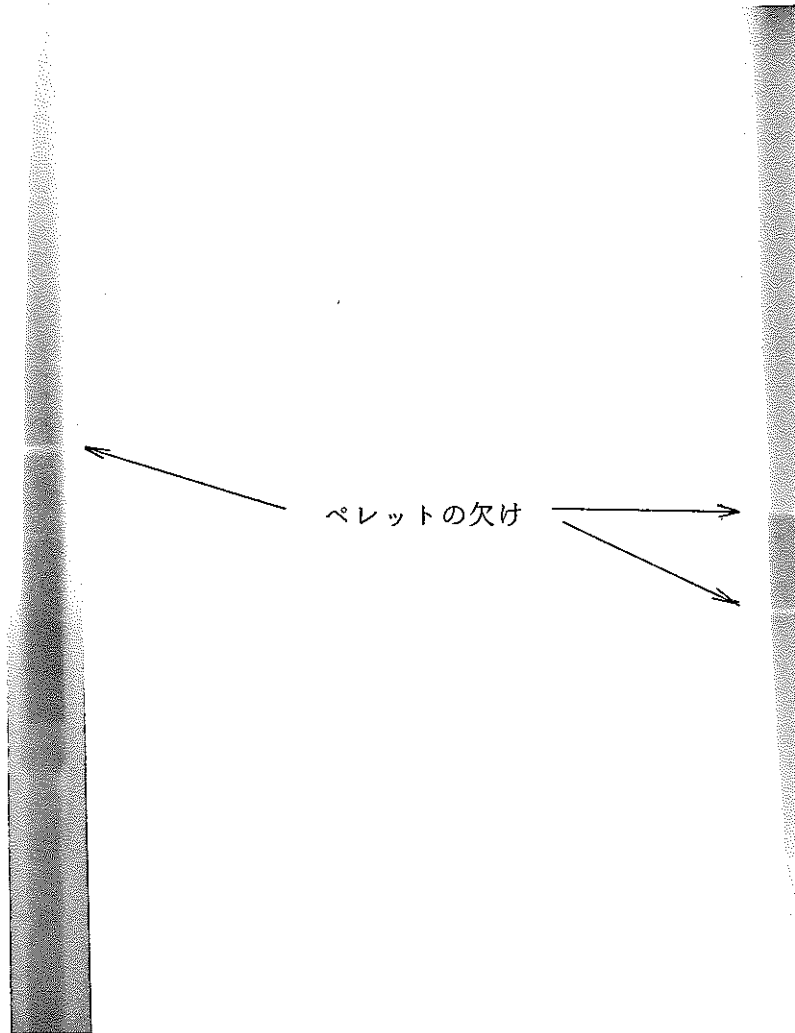


Photo 5 Construction Condition inside of the Subassembly Observed by X-ray Radiography



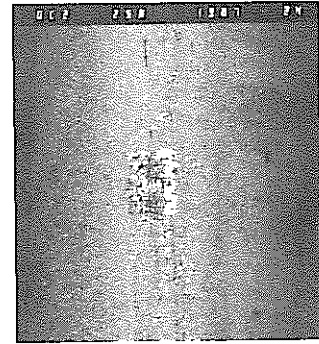
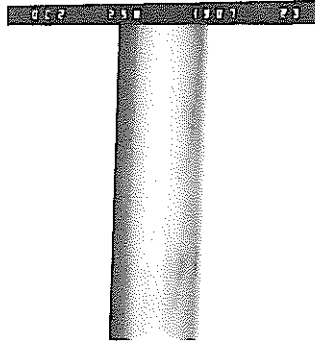
PIN NO. C299

PIN NO. C2A1

Photo. 6 X-Ray Radiographs of Chipped Pellets

## CLADDING

PIN NO. C258



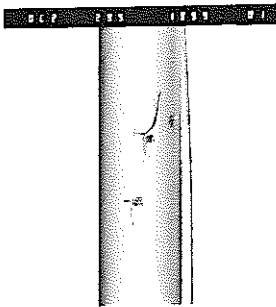
Distance From Pin Bottom ; 1307 mm

LENGTH ; 1.2 mm

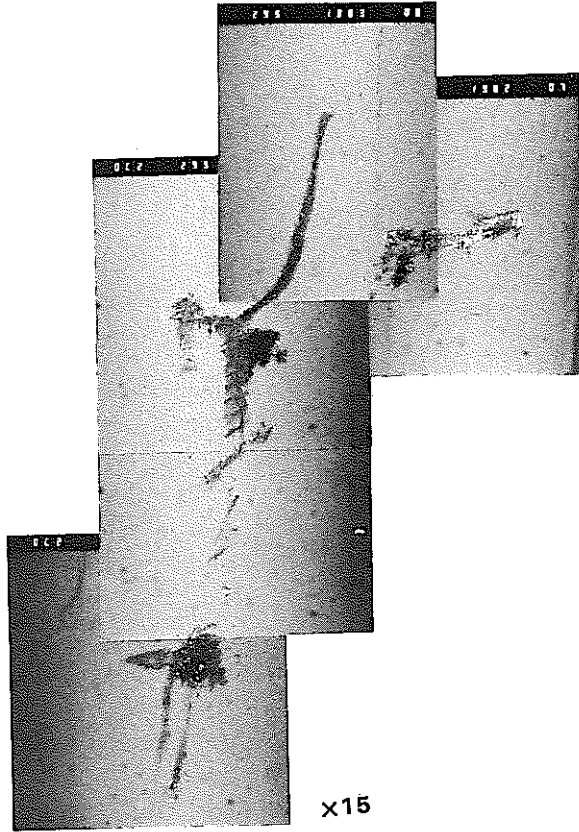
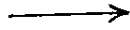
WIDTH ; 0.6 mm

Photo. 7 Contact Mark on a Fuel Pin

PIN NO. C295



x3



x15

Distance From Pin Bottom ; 1359 mm

Photo. 8 Black Attachment on the Fuel Pin