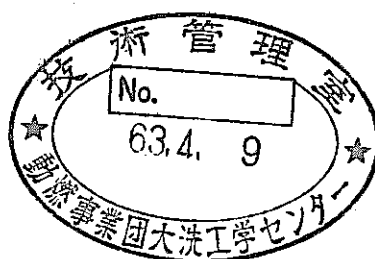


# 「常陽」MK-II C型特殊燃料集合体(PFC020)の照射後試験(I)

集合体及び燃料要素の非破壊試験



技術資料コード	
開示区分	レポート No.
	PNC TN9410 88-189
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	

1988年2月

動力炉・核燃料開発事業団  
大洗工学センター  
燃料材料開発部

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 C型特殊燃料集合体(PFC020)の照射後試験(I)

## 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	永峯剛*	宇留鷺真一*
	森本靖之*	金丸好行*

## 要 旨

「常陽」MK-II C型特殊燃料集合体「PFC020」の照射後試験を実施した。本集合体は、高速増殖原型炉「もんじゅ」の低燃焼度炉心でもっとも厳しい照射条件（燃料要素最大線出力350 W/cm, 被覆管最高温度640℃）を満足するように照射された供試体である。照射後試験目的は、燃料要素の健全性及びウェアマーク発生の有無の確認、燃料ピンバンドルの健全性の確認並びに、被覆材（K、S材）の照射挙動の調査である。

本試験の結果は下記の通りである。

- (1) 燃料要素は損傷、変形、変色等が認められず健全であり、炉内照射挙動も正常と推定され、燃料製造の妥当性が確認された。
- (2) 被覆管表面に接触跡が観察された。この接触跡はウェア・マークと類似したものであるが、非破壊試験では接触跡の深さが不明であり、ウェアマークと断定することはできない。
- (3) 燃料ピンバンドル状態は、ピン配列の乱れ、脱落等は認められず、「もんじゅ」型ピン支持構造を含め、ピンバンドルとしての健全性が確認された。
- (4) 被覆材の照射挙動は、K材S材共に外径寸法変化は認められず、スエリングは生じていないと推定される。

---

\* 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. C型特殊燃料集合体（PFC020）の構造 .....	2
3. 照射条件 .....	4
3.1 炉内照射位置 .....	4
3.2 集合体照射条件 .....	4
3.3 燃料ピン照射条件 .....	4
4. 照射後試験計画 .....	5
4.1 試験目的 .....	5
4.2 試験計画 .....	5
4.2.1 集合体試験 .....	5
4.2.2 集合体部材試験 .....	5
4.2.3 燃料ピン試験 .....	5
4.2.4 その他 .....	6
5. 試験結果 .....	7
5.1 試料の取扱い .....	7
5.2 集合体試験 .....	7
5.2.1 外観検査 .....	7
5.2.2 寸法測定 .....	7
5.2.3 X線ラジオグラフィ .....	8
5.2.4 解体 .....	8
5.3 集合体部材試験 .....	8
5.3.1 内側ラッパ管外観検査 .....	8
5.3.2 内側ラッパ管寸法測定 .....	9
5.4 燃料ピン試験 .....	10
5.4.1 外観検査 .....	10
5.4.2 X線ラジオグラフィ .....	10
5.4.3 ピン重量 .....	10
5.4.4 詳細外観検査 .....	11
5.4.5 寸法測定 .....	11
5.4.6 ガンマスキャン .....	12
5.4.7 ピンパンクチャ .....	13
5.5 その他 .....	14

5.5.1	缶内水分析 .....	14
5.5.2	モニタ取出し .....	14
6.	結果の検討 .....	15
6.1	燃料ピンの健全性及びウェア・マーク発生状況 .....	15
6.1.1	燃料ピンの健全性 .....	15
6.1.2	ウェア・マーク発生状況 .....	15
6.2	燃料ピンバンドルの健全性 .....	15
6.3	被覆管材のK材, S材の照射挙動 .....	16
7.	まとめ .....	17
8.	参考文献 .....	18

## List of Tables

Table I	Specifications of C-II Type Fuel Pin and Monju Type Fuel Pin .....	19
Table II	Irradiation Condition of Subassembly .....	20
Table III	Total Length Change of Fuel Pins .....	21
Table IV	Diameter Change of Fuel Pins .....	21
Table V	Axial Peaking Factor of Subassembly by Gamma-Scanning of Fuel Pins .....	22
Table VI	Radial Peaking Factor of Subassembly by Gamma-Spectroscopy of Fuel Pins .....	22
Table VII	Results of Plenum Gas Pressure by Gamma-Spectroscopy ( $^{85}\text{Kr}$ ) .....	23
Table VIII	Results of Plenum Gas Analysis .....	24
Table IX	Results of Plenum Gas Mass Analysis (Pin No.A431) .....	25

List of Figures

Fig. 1	Structure of "JOYO" MK-II C-Type Uninstrumented Irradiation Subassembly .....	26
Fig. 2	Arrangement of Fuel Pin in the Subassembly ....	27
Fig. 3	Structure of II -Type Fuel Pin of C-Type Uninstrumented Irradiation Subassembly .....	28
Fig. 4	Arrangement of Monitor in the Subassembly .....	29
Fig. 5	In-Reactor Location of the Subassembly .....	30
Fig. 6	Pins Selected for the Examination .....	31
Fig. 7	Flow Diagram of Postirradiation Examination ...	32
Fig. 8	Face to Face Distance Profile of Subassembly (C-F Face) .....	33
Fig. 9	Face to Face Distance Profile of Subassembly (D-A Face) .....	34
Fig. 10	Face to Face Distance Profile of Subassembly (B-E Face) .....	35
Fig. 11	Bowing Vector of Subassembly (Measurement by Outer Wrapper Tube) .....	36
Fig. 12	Subassembly Surface Temperature at PIE (Measurement by Outer Wrapper Tube) .....	37
Fig. 13	Face to Face Distance of Inner Wrapper Tube of Subassembly (D-A Face) .....	38
Fig. 14	Face to Face Distance of Inner Wrapper Tube Subassembly (B-E Face) .....	39
Fig. 15	Bowing Vector of Subassembly (Measurement by Inner Wrapper Tube) .....	40
Fig. 16	Surface Temperature Profile of Subassembly (Measurement by Inner Wrapper Tube) .....	41
Fig. 17	Fuel Stack Length Changes by Fuel Lot No. ....	42
Fig. 18	Contact Mark Position of Fuel Cladding Surface (Pin No.A429) .....	43

Fig. 19	Axial Profile of Contact Mark Maximum Width (Pin No.A429) .....	44
Fig. 20	Axial Profile of Fuel Pin Diameter (Pin No.A422)	45
Fig. 21	Axial Profile of Fuel Pin Diameter (Pin No.A430)	46
Fig. 22	Axial Profile of Fuel Pin Diameter (Pin No.A431)	47
Fig. 23	Axial Profile of Fuel Pin Diameter (Pin No.A432)	48
Fig. 24	Vectors of Pin Bowing in the Subassembly .....	49
Fig. 25	Axial Distribution of Gamma-Ray Intensity of Center Pin .....	50
Fig. 26	Axial Distribution of Gamma-Ray Count Rate Ratio of Center Pin .....	51
Fig. 27	Radial Distribution of Gamma-Ray Intensity in the Subassembly .....	52
Fig. 28	Gamma-Ray Emission Tomographs of Radionuclides in the Center Pin .....	53
Fig. 29	Plenum Gas Pressure of Tested Pin in the Sub- assembly .....	54



List of Photographs

Photo. 1	Surface Condition of the Subassembly .....	55
Photo. 2	X-ray Radiographs of the Subassembly .....	56
Photo. 3	Surface Condition of the Inner Wrapper Tube ..	57
Photo. 4	View of Fuel Pin Bundle (Observed after Pulling Out of the Inner Wrapper Tube) .....	58
Photo. 5	View of Fuel Pin Bundle (Observed at Stage of Dismantling) .....	58
Photo. 6	Attachment on the Wrapping-Wire .....	59
Photo. 7	Discoloration of Fuel Pin Bottom .....	59
Photo. 8	L Type Fuel Pins Support .....	60
Photo. 9	X-Ray Radiographs of Fuel Pin .....	61
Photo. 10	Black Attachment on the Fuel Pin (Pin No.A429).	62
Photo. 11	Wire-Cladding Gap of the Fuel Pin (Pin No.A436) .....	62
Photo. 12	Contact Mark on the Fuel Pin .....	63
Photo. 13	Contact Mark and Wear Mark on "JOYO" Fuel Pins .....	64

## 1. ま え が き

高速実験炉「常陽」に装荷され、照射後試験に供されるⅡ型照射用C型特殊燃料集合体は、特殊燃料集合体3種（A型、B型及びC型）のうちで、最も多数の燃料要素（燃料ピン）を同一照射条件下で照射でき、燃料ピン及び燃料要素束（ピンバンドル）としての照射挙動を調べることを目的とした集合体である。

今回照射燃料集合体試験施設（FMF）で受入れ、照射後試験に供するⅡ型照射用C型特殊燃料集合体「PFC020（C2M）」（以下「PFC020」と称す）は、高速増殖原型炉「もんじゅ」の炉心燃料要素をほぼ同一仕様のⅡ型特殊燃料ピンとして、「常陽」MK-Ⅱ炉出力100MW定格第3サイクルから定格第11サイクルの間照射したもので、定格最大出力及びホットスポット温度が「もんじゅ」実機条件と同等となるような条件下における燃料ピン及びピンバンドルの健全性を確認し、「もんじゅ」低燃焼度炉心構成要素の照射挙動の確性試験として位置づけられ、燃料製造の妥当性を立証することにある<sup>1)</sup>。

FMFでの照射後試験は、以下の目的に沿って実施した。

- (1) 燃料ピンの健全性及びウエア・マーク発生の有無の確認
- (2) 燃料ピンバンドルの健全性確認
- (3) 被覆材のK材、S材の照射挙動の調査

## 2. C型特殊燃料集合体（PFC020）の構造

「PFC020」はFig.1に示すように、II型特殊燃料ピン61本、ハンドリングヘッド、外側ラッパ管、内側ラッパ管、エントランスノズル、オリフィス、組棒、ノックバー、モニタ類等から構成されており、集合体の外形寸法は炉心燃料集合体と同じである。燃料ピンの集合体内の配置図をFig.2に示す。また主な構成部品の構造を以下に示す。

### 1) II型特殊燃料ピン

II型特殊燃料ピン（燃料ピン）はFig.3に示すように、外径6.5mm $\phi$ 、内径5.56mm $\phi$ 、肉厚0.47mmの20%冷間加工SUS316相当ステンレス鋼製の被覆管（55年試作材）を上下端栓で溶接密封した構造で内部は燃料ペレット、インシュレータペレット、上下部要素反射体、抑え板付プレナムスリーブ、プレナムスプリング等が収納されている。被覆管の外側には直径1.32mm $\phi$ のラッピングワイヤを307mmのピッチで6回巻つけており、P/R（Porosity/Ring：燃料ピンバンドルの締め具合を示すもので、間隙なくピンバンドルを締めた時に生ずるラッパ管との間隙を燃料ピンの列数で除した値）は0.08mm/Ringであり、「もんじゅ」製作設計準備（その2）のノミナル値と同等である。

燃料ペレット仕様は、プルトニウムスポットサイズを除いて基本的に「もんじゅ」炉心燃料ペレット仕様と同じである。またプレナム有効体積は、「もんじゅ」炉心燃料ピンのプレナム有効体積（25cc）/燃料体積（21.29cc）比となるように設計されている。

燃料ピンの仕様を「もんじゅ」炉心燃料ピンと比較してTable Iに示す。

### 2) 燃料ピン支持構造

燃料ピンの支持構造は、「常陽」炉心燃料集合体燃料ピン支持方法である、くし型ノックバー方式と異なり、L字型フック方式による支持方法をとっている。燃料ピンは、各ピン毎にL字型フック方式のノックバーにより支持され、さらにこのノックバーを保持する機能を有した六角の組棒が、内側ラッパ管内に嵌合するようにエントランスノズルに溶接されている。また、集合体組立時及び照射後試験解体時のラッパ管が外されている状態での燃料ピンの脱落を防止するためストッパーが組棒に溶接されている。

### 3) モニタ類の配置<sup>3)</sup>

集合体には、温度モニタと照射位置における中性子束のプロファイルを得るための中性子モニタが配置されている。「PFC020」のモニタ配置図をFig.4に示す。

#### (1) 温度モニタ

ハンドリングヘッド下部には、SiCモニタ（4個）及びテンプラグ、モリブデンモニタ（3式）を封入した温度モニタカプセルが組み込まれており、さらに、内側ラッパ管の相対する両外壁面にSiCモニタカプセル（4個）が溶着されている。

(2) 中性子モニタ

中性子モニタは、グラジエントモニタカプセル(2式)とドシメータカプセル(3式)が温度モニタ同様内側ラッパ管の同一面に溶着されており、またエントランスノズルの端栓にもドシメトリワイヤセットが配置されている。

### 3. 照射条件<sup>4)</sup>

#### 3.1 炉内照射位置

本集合体は100MW定格出力第3サイクルから第11サイクルの間、炉内装荷位置〔3A2〕で照射された。第11サイクルの炉心構成をFig.5に示す。ただし、FFDL炉内試験及び、自然循環試験サイクル(7' & 7'')では、燃料貯蔵ラック〔R2〕に保管されていた。

なお、本集合体のD面側である装荷位置〔3A3〕には、制御棒が隣接していた。

#### 3.2 集合体照射条件

集合体平均燃焼度は、54,100MWD/Tで、積算中性子照射量は集合体最大で $7.02 \times 10^{22}$  n/cm<sup>2</sup> (E ≥ 0.1 MeV)である。

その他の集合体照射情報を含めて、Table IIに示す。

#### 3.3 燃料ピン照射条件

「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解析結果は、最大燃焼度67,500MWD/T、最大線出力350W/cm、被覆管最高温度約640℃、ピーク積算中性子照射量 $8.5 \times 10^{22}$  n/cm<sup>2</sup> (E ≥ 0.1 MeV)である。最大線出力及び被覆管最高温度は「もんじゅ」低燃焼度炉心で最も厳しい照射条件と同じで、計画通りに照射された。

## 4. 照射後試験計画

照射後試験基本計画<sup>5)</sup>に基づきFMSでは以下の通り非破壊照射後試験を実施した。

### 4.1 試験目的

- 1) 燃料ピンの健全性及びウェア・マーク発生の有無の確認
- 2) 燃料ピンバンドルの健全性確認
- 3) 被覆材のK材, S材の照射挙動の調査

### 4.2 試験計画

試験は、以下に示す事項に着目して実施した。

#### 4.2.1 集合体試験

- 1) 外観検査(受入時)  
表面状況の観察及び外形形状変化の確認
- 2) 寸法測定  
寸法形状変化(対面間距離, 曲がり, 全長)の確認
- 3) X線ラジオグラフィ  
ピンバンドル, モニタ類等の集合体内部状況の確認  
ABコーナーより撮影
- 4) 解体  
外側ラップ管及び内側ラップ管引抜力の測定

#### 4.2.2 集合体部材試験

- 1) 内側ラップ管外観検査  
外側ラップ管除去後, 外側ラップ管に準じた方法で実施  
表面状況の観察及び外形形状変化の確認  
モニタ装着状況の確認
- 2) 内側ラップ管寸法測定  
A-D面, B-E面の対面間距離を測定し, 寸法形状変化の確認。

#### 4.2.3 燃料ピン試験

- 1) 外観検査  
燃料ピン表面状況(傷, 変色, 付着物, ウェア・マーク等)の観察  
ピンバンドル状態の観察  
各ピン列毎にピン支持部付近の観察を実施し, 特徴部がある場合はペリスコープにより拡大写真撮影を行う。特徴部が認められない場合は, 中央列のみ拡大写真撮影を行う。

- 2) X線ラジオグラフィ  
ピン内部状況の観察  
内部構成要素の長さ測定
  - 3) 重量測定  
重量変化の有無を確認
  - 4) 詳細外観検査  
ウェア・マーク発生の有無を観察
  - 5) 寸法測定  
寸法形状変化(外径, 曲がり, 全長)の確認  
被覆材のメーカーによる違いの有無を確認
  - 6) ガンマスキャン  
軸方向の出力分布, F.P.分布の確認  
径方向核種分析
  - 7) ピンパンクチャ  
ガス圧測定, ガス分析の実施, ガス放出率の算出
- 4.2.4 その他
- 1) 缶内水分析( $\alpha$ 核種, F.P.核種, pH, Na量等)
  - 2) モニタ取出し
  - 3) ワイヤ試料採取
  - 4) ピン切断試料採取
  - 5) C P F 搬出

## 5. 試験結果

### 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、キャスク渡りでFMFに搬入された。照射燃料集合体試験室(FMS)では集合体試験として、外観検査、寸法測定、X線ラジオグラフィを実施した後、ハンドリングヘッド、外側ラップ管を引抜除去し、集合体部材試験を行った。さらに、内側ラップ管及び燃料ピン組棒を引抜解体後、燃料ピン、モニタ等を取り出し、燃料ピンについては、Fig. 6に示す内容で試験を実施し試験後、部内他室での破壊試験のために試料採取を行い搬出した。また一部の燃料ピンは、東海事業所高レベル放射性物質研究施設(CPF)へ搬出した。なお、ラップ管、エントランスノズル等の部材は、特に試料採集は行わず解体後切断廃棄した。照射後試験フローをFig. 7に示す。

### 5.2 集合体試験

#### 5.2.1 外観検査

外観写真をPhoto.1に示す。

##### (1) 形状変化

目視観察の結果、外形形状に変化は認められなかった。

##### (2) 外側ラップ管表面状況

外側ラップ管下部溶接近傍及び中間パッド上部に黒色変色が、また中間パッド下部に白色付着物が認められたが、その他の特異な傷・付着物等は認められなかった。

##### (3) パッド表面状況

全てのパッド表面に微細なすり傷が、また、中間パッドの各面と上部パッドの一部(C.D.E.各面)に黒色変色が認められたが、特に大きな欠け、付着物等は認められなかった。

#### 5.2.2 寸法測定

集合体の全長、外側ラップ管対面間距離及び曲りを測定し、照射前後での変化の有無を確認した。また集合体の表面温度を測定し、熱膨張による測定値への影響がないことを確認した。

##### (1) 全長

照射前の全長(3面の平均)2969.5mmに対して照射後の全長(6面の平均)は、2969.6mmあり、その差+0.1mmは有意差(±1.0mm)以内であり、照射前後で全長に有意な変化は認められない。

##### (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。中間パッド付近の対面間距離の変化量は、各面で異っている。すなわち、F-C面は500µm程度の増加( $\Delta D/D=0.64\%$ )が中間パッド上下部に認められた。(Fig. 8)しかし、A-D



面は中間パッド上下部に $120\mu\text{m}$ 程度、B-E面には、中間パッド上部に $200\mu\text{m}$ 程度の減少が認められた。(Fig.9,10)また、中間パッドでは、F-C面が $110\mu\text{m}$ 増加しており、A-D面、B-E面は、 $380\mu\text{m}\sim 240\mu\text{m}$ 程度の減少が認められ、同様の傾向を示している。

なお、中間パッド部付近以外の対面間距離に有意差( $\pm 100\mu\text{m}$ )を超える変化は、認められない。

### (3) 曲り

中間パッド、上部パッド位置での集合体曲り測定結果をFig.11に示す。照射後における曲りは、上部パッドにおいて $3.8\text{mm}$ (曲り方向 $238^\circ$ )であり、同位置の照射前曲り $2.0\text{mm}$ (曲り方向 $355^\circ$ )とベクトル合成すると、照射による曲り量は $5.1\text{mm}$ (曲り方向 $217^\circ$ )となる。

### (4) 表面温度

集合体表面温度は、炉心中心付近から上部パッドにかけてエントランスノズル付近に対し、約 $7^\circ\text{C}$ の上昇が認められた。測定結果をFig.12に示す。崩壊熱によるラップ管熱膨張量としては、 $10\mu\text{m}$ 以下であり、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X線ラジオグラフィは、通常 $0^\circ$ 方向(EFコーナー)から撮影するが、本集合体は、内側ラップ管表面にモニタが装着されており、ピンバンドルにこのモニタがかぶらないようにABコーナーより撮影した。X線写真をPhoto.2に示す。

X線写真観察の結果、集合体内部への異物の混入、ピンバンドル配列の乱れ、燃料ピン支持部の異常等は観察されなかった。また、ハンドリングヘッド及びエントランスノズルに装荷されたモニタは製造時の位置にあることが観察された。

## 5.2.4 解体

外側ラップ管の最大引抜力は $60\text{kg}$ (自重を除く)であった。また、集合体部材試験後に解体した内側ラップ管の最大引抜力は $40\text{kg}$ (自重を除く)であった。

なお、本集合体の燃料ピン支持構造はL字型フック方式であり、燃料ピン下部端栓部を切断せずに、ノックバーを切断することにより、解体が出来た。

## 5.3 集合体部材試験

### 5.3.1 内側ラップ管外観検査

内側ラップ管外観写真(F面側より撮影)をPhoto.3に示す。

#### (1) 形状変化

F面及びC面に装着されているグラジェントモニタカプセルが伸び曲っているのが観察されたが、内側ラップ管の外形形状に変化は認められない。

(2) 内側ラップ管表面状況

内側ラップ管下部全面(内側ラップ管下端より約100mmまで)に白色変色及び、F面、C面にグラジエントモニタカプセルの跡と思われるすり傷が観察されたが、特に大きな傷、腐食等は認められない。

(3) パッド表面状況

パッド部全体に白色変色とF面に軸方向のすり傷が観察されたが、特に大きな傷、腐食等は認められない。

(4) モニタ装着状況

内側ラップ管表面のSiCモニタ、グラジエントモニタ及びドシメータカプセルは脱落することなく溶着されていることを確認した。

5.3.2 内側ラップ管寸法測定

集合体寸法測定に準じた方法で実施した。但し、F-C面の対面間距離は、モニタ類が装着されているため実施していない。

(1) 全 長

照射前の全長(2面の平均)2835.4mmに対して照射後の全長(4面の平均)は、2834.8mmであり、その差-0.6mmは有意差(±1.0mm)以内であり、照射前後で有意な変化は認められない。

(2) 対面間距離

A-D面及びB-E面の対面間距離測定結果を照射前測定結果とともにFig.13,14に示す。照射前後での差は±0.1mm以内であり、有意差(±0.1mm)を超える変化は認められない。

(3) 曲 り

集合体下端より1700mm及び2790mmの位置での曲り測定結果をFig.15に示す。照射後の曲りは、2790mmの位置で1.4mm(曲り方向297°)であり、同位置の照射前曲り3.8mm(曲り方向6°)とベクトル合成すると、照射による曲り量は3.5mm(曲り方向208°)となる。これは5.2.2項に示した集合体曲り測定結果と比べ、曲り方向でほぼ一致しているものの、曲り量は少ない。

(4) 表面温度

内側ラップ管表面温度は、炉心中心付近から上側にかけて、エントランスノズル部に対し、約10℃の上昇が認められた。測定結果をFig.16に示す。崩壊熱によるラップ管熱膨張量は、10µm程度であり、外側ラップ管と同様対面間距離測定結果に影響はない。

## 5.4 燃料ピン試験

### 5.4.1 外観検査

集合体を解体しながら燃料ピンバンドル状態、燃料ピン表面、燃料ピン支持部について、遮へい窓又は、ペリスコープを介して目視観察した。

#### (1) ピンバンドル状態

内側ラップ管を引抜き、ピンバンドル状態での外観写真をPhoto.4に示す。外周ピンの曲りによるピンバンドルのふくらみが観察されたが、ラッピングワイヤの大きなゆるみはなく、またピンバンドルの乱れもなくバンドル状態は良好である。

#### (2) 燃料ピン表面状況

燃料ピン全数について、ピンバンドルを解体しながら列ごとに観察した。中心列の外観写真をPhoto.5に示す。

A408、A423及びA429ピンのピン下端から約1mの位置に黒色付着物が観察された。この箇所について詳細外観を実施することとした。また、A422ピンのピン下端から約1.2mの位置のワイヤ表面に茶褐色の付着物が観察された。ワイヤ表面の付着物の写真をPhoto.6に示す。

ピンバンドル内周ピンのほぼ全ピンの下部端栓上部に茶褐色の変色が観察された。第3列の下部端栓部付近の写真をPhoto.7に示す。

接触跡はほぼ全ピンに観察されたものの大きな傷、腐食等は認められない。接触跡については、詳細外観検査で大きさ及び発生位置について詳細に観察する。

#### (3) 燃料ピン支持部

L字型フック方式のノックバーに破損、変形等は観察されず、またL字型フックからの燃料ピンの脱落も確認されなかった。中心列のノックバー部の写真をPhoto.8に示す。

### 5.4.2 X線ラジオグラフィ

全ての燃料ピンについてX線写真を撮影した結果、燃料ピンのスプリングのへたりと中心空孔の生成が認められた以外は、燃料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.9に示す。

燃料スタック長は、照射後では照射前と比べ、平均で約2.7mm増加していた。ペレット製造ロット毎での平均増加量は、ロットNo. TCM-002で3.5mm、TCM-003で1.4mm、TCM-004で2.0mm、TCM-005で2.8mmであった。燃料スタック長測定結果をFig. 17に示す。

### 5.4.3 ピン重量

全ての燃料ピンについて重量の測定及び上部端栓番号による装荷燃料ピンの確認を行った。重量測定の結果、有意差(±0.4g)を超える燃料ピン2本が認められた。有意差を超えた2本のピンは、A416、A424ピンであり、それぞれ1.5g、2.2gの増加である。この2

本の燃料ピンについては、 $\gamma$  スキャンによる非破壊内圧及びピンパンクチャ試験でのガス圧＋ガス分析を追加試験し詳細に観察することとした。

上部端栓番号の確認結果、端栓番号の異なる燃料ピンは認められなかった。

#### 5.4.4 詳細外観検査

検査対象ピンは9本で、その内6本については、ワイヤを取り除いた状態で外観検査時に認められた黒色付着物（A429ピン）と接触跡について留意し、一般観察及び接触跡観察を実施した。

##### (1) 一般観察

外観検査で認められたA429ピンの黒色付着物の拡大写真をPhoto.10に示す。付着物の寸法形状は直径0.7mm $\phi$ でほぼ真円であり、付着位置はピン下端より1032mm、角度27°である。なお、この付着物はマニプレータで容易に除去でき、除去後の観察では、付着跡が観察された。

また、A436ピンのピン下端より約1800mmの位置でワイヤーギャップが観察された。ギャップ巾は1.7mmである。写真をPhoto.11に示す。

##### (2) 接触跡観察

被覆管及びワイヤ表面に接触跡が観察された。被覆管表面の接触跡の代表例として、A429ピンのピン下端より約700mm位置の写真をPhoto.12に示す。被覆管表面の接触跡の発生位置は隣接するピンのワイヤ位置とよく一致している。また、最大と思われる接触跡の寸法は、長さ17.1mm、巾1.0mmであり、巾は炉心燃料部に発生した接触跡が上部反射体、ガスプレナム部と比べ若干大きい。被覆管表面接触跡の発生位置をFig.18に、発生軸方向位置と最大巾との関係図をFig.19に示す。

#### 5.4.5 寸法測定

対象ピンは、全長及び外径測定4本、曲り測定6本であり、ワイヤを取り除いた状態で実施した。

##### (1) 全長測定

照射前後での差は最大-0.2mmであり、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 IIIに示す。

##### (2) 直径測定

炉心中心位置（ピン下端より660mm）での直径変化（PIE-TAB）は、S材（住友製）及びK材（神戸製）で0.000mm $\sim$ +0.002mm、-0.006mm $\sim$ 0.010mmであり、ともに有意差（ $\pm 10\mu\text{m}$ ）を超える変化は認められない。しかし、Fig.20 $\sim$ 23に示す軸方向プロフィールから、試験対象ピンの炉心燃料部、上下部反射体、プレナム部等と比べ表面の「あれ」、オーバリティ（直交する2方向直径変化測定値の差）と若干の外径増加が観察される。ピン軸方向10mmピッチで測定した平均値と併せて測定結果をTable. IVに示す。

## (3) 曲り測定

曲り測定対象ピン6本は全て外周ピンであり、集合体コーナーピン、列中心ピン各3本である。

コーナーピンの平均曲り量は、19.3mmで、列中心ピン平均曲り量25.5mmより約6mm小さく、曲り方向はピンバンドルがピア樽状になる方向である。測定結果 Fig. 24 に示す。

## 5.4.6 ガンマスキャン

ガンマスキャンは、集合体コーナーピン6本、中心ピン及びピン重量測定で有意差を超えた2本の計9本について実施した。またピンパンクチャ対象ピン5本について非破壊内圧測定技術の開発を目的として測定精度の確認を行った。

## (1) 軸方向出力(燃焼)分布

中心ピン(ピン下端より50mm~1650mm)及びコーナーピン(350mm~1000mm)について、2mmピッチで連続回転軸方向スキャンを実施した。中心ピンであるA431ピンの軸方向F.P.核種及び放射化核種の $\gamma$ 線計数率分布をFig. 25に示す。

燃焼分布を示す $^{95}\text{Zr}$ 、 $^{106}\text{Rh}$ のF.P.核種の $\gamma$ 線計数率は、それぞれ軸方向に連続的な分布を示しており、燃料が健全に燃焼したことが推定される。

また、燃料内を移動しやすいF.P.核種である $^{137}\text{Cs}$ は、移動しにくい核種である $^{95}\text{Zr}$ 、 $^{106}\text{Rh}$ と比べ不連続的な分布であり、特にピン下端より480mm~800mmの位置に多く分布しているのが観察された。Fig. 26に $^{137}\text{Cs}/^{95}\text{Zr}$ 比の軸方向プロファイルを示す。

$^{95}\text{Zr}$ 、 $^{106}\text{Rh}$ による軸方向ピーキング係数は、1.14~1.17であり常陽運転監視コード「MAGI」による解析結果である $1.154^{(4)}$ とはほぼ一致している。測定結果をTable. Vに示す。

## (2) 集合体径方向燃焼分布

集合体コーナーピン6本及び中心ピン1本の計7本のピンの軸方向各5点について、 $\gamma$ 線スペクトル測定を実施した。炉心軸方向中心位置(ピン下端より638mm)での測定結果から得た $\gamma$ 線計数率分布図をFig. 27に示す。

$^{95}\text{Zr}$ 及び $^{106}\text{Rh}$ の測定による径方向ピーキング係数は、炉心上側である908mmの位置を除くと1.03~1.05である。測定結果をTable. VIに示す。

また、推定炉心方向は、炉心軸方向中心位置の $^{95}\text{Zr}$ 、 $^{106}\text{Rh}$ の分布から、E-Fコーナーであり、「常陽」の推定方向と一致している。

## (3) 燃料ピン径方向核種分布(トモグラフィ)

集合体中心ピンの炉心軸方向中心位置について横断面F.P.核種分布を測定した結果をFig. 28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及びペレット-被覆管間に移動蓄積しているのが認められる。 $^{95}\text{Zr}$ の分布では、ペレット中心付近に落込みが認められ

るため、X線ラジオグラフィで観察されたように中心空孔が生じていると推定される。

#### (4) 非破壊内圧測定

ガンマスキャンによる非破壊内圧測定は、燃料ピン内に生成放出されるXe, Kr等のF.P. ガス量を放射性の $^{85}\text{Kr}$ を指標核種( $\gamma$ 線エネルギー514 KeV)として求めるものである。この $^{85}\text{Kr}$ 量は、燃料ピンF.P. ガスプレナム部の一部について測定するものであるから、ピン内容積/測定部容積比を用いピン全体の $^{85}\text{Kr}$ 量を求め、さらに $^{Total}\text{Kr}/^{85}\text{Kr}$ 、Xe/Kr比を用い、放出F.P. ガス(Xe+Kr)量を非破壊試験で得ることができ、燃料ピンの健全性を確認する方法として有効である。

ピン重量測定で有意差を超える増加が認められた燃料ピンを含む、試験対象ピンの測定の結果、全ての燃料ピンF.P. ガスプレナム部に $^{85}\text{Kr}$ の存在が認められ、内圧としては、4200から5400 Torr(0℃)と算出された。この結果、燃焼度とF.P. ガス放出率の関係からピン内圧力を求めた結果4900 Torr(0℃)と本測定結果はよく一致し、燃料ピンは健全であることが推定された。測定結果をTable.VIIに示す。なお、本測定法による測定精度はピン内圧値で±35%である。

#### 5.4.7 ピンパンクチャ

ピンパンクチャ試験は、ピン重量測定で有意差を超えた2本を含む燃料ピン7本について、ピン内ガス量、ピン内ガス圧力及びガス分析測定を実施した。また、燃料ピン10本についてピン切断のためガス抜きを行い、ガス圧力及びガス分析を実施した。測定結果をTable.VIIIに示す。

##### (1) ピン内ガス量

ピン内ガス量(ガスプレナム部の穿孔により放出したガス量)は、93.3~110.9 cc(0℃1気圧)の範囲であり、ピン重量で有意差を超えた2本のピンも、他のピンと同程度の値であった。

##### (2) ピン内ガス圧力

ピン内ガス圧力は、3958~4680 Torr(0℃)の範囲であった。測定結果と、測定対象ピンの集合体内配置との関係図をFig.29に示す。

##### (3) ガス分布

ガスクロマトグラフィ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+other=6.7:73.0:20.3であった。

また、ガス質量分析装置を用いて、F.P. ガスの同位体分析を行った。これは、燃料の燃焼により生成するF.P. ガスの内、タグガスとして用いられる核種( $^{126}\text{Xe}$ ,  $^{82}\text{Kr}$ 等)の生成量を測定し「もんじゅ」の燃料破損検出システムとして採用されるタギング法の計算コードであるタグコードの検証に資するデータ取得を目的に行った。A431ピンF.P. ガス同位体分析の結果をTable. IXに示す。タグコード対象核種で最も存在率の大きな核種は、

$^{82}\text{Kr}$ の0.23%であり、 $^{126}\text{Xe}$ 、 $^{78}\text{Kr}$ 、 $^{80}\text{Kr}$ は検出されなかった。

## 5.5 その他

### 5.5.1 缶内水分析

本集合体のキャスク搬入時に使用したボルト締め缶内水の $\gamma$ 線スペクトル分析及び、ガスフロー計数管による $\alpha$ 放射線濃度測定の結果、構造材放射化核種である $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 等が検出されたが、 $\alpha$ 放射線濃度は検出限界( $3.0 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/cc}$ )以下であった。また、pHは10.9であり、Na重量は、約0.4gであった。

### 5.5.2 モニタ取出し

ハンドリングヘッド下部の温度モニタを採取した結果、カプセル取付位置は、組立て記録と同様であったが、カプセルNo.TA0203の端面に刻印されたドットマークが他のカプセルと違って、180°回転した状態で装荷されていたことを確認した。

内側ラッパ管表面に溶着された温度モニタ及び中性子モニタ並びにエントランスノズルに装荷された中性子モニタを採集し、IDを確認した結果、識別番号表と一致しており、製作図通りに取付いていた。

## 6. 結果の検討

### 6.1 燃料ピンの健全性及びウエア・マーク発生状況

#### 6.1.1 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 $\alpha$ 放出核種は検出されず、また、ピン重量測定で2本のピンの重量増加が認められたが、パンクチャ試験の結果他の燃料ピンと同等のピン内圧力値であったことから、燃料ピンの健全性が確認された。

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。また、燃料ピンの外径変化も炉心燃料部に若干のオーバリティが認められるものの有意差を超える変化はなく、被覆管表面に大きな傷、変形は認められなかった。

燃料ピンの燃焼については、ガンマスキャンにより燃料の出力分布を示す核種 $^{106}\text{Rh}$ 、 $^{95}\text{Zr}$ は、炉心燃料部の軸方向に連続的に分布しており、炉内では中性子束分布通りに燃焼していたことがわかる。

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された。

#### 6.1.2 ウエアマーク発生状況

燃料ピンの被覆管及びワイヤ表面に隣接ピンとの干渉による接触跡が観察された。

本集合体で認められた被覆管表面の接触跡は、MK-II炉心燃料集合体「PFD105」の接触跡<sup>6)</sup>と比べ性状が異なり、以前に試験したC型特殊燃料集合体「PFC010」(C I J)に認められたMK-I時のウエアマーク<sup>7)</sup>と類似したものと同等である。しかし、詳細外観検査から傷に深さがあるか不明であり、ウエアマークと断定することは出来ず、今後破壊試験を行い性状を確認する必要がある。この部分の詳細外観写真をMK-I、MK-II、C I Jと共にPhoto.13に示す。

本集合体のP/R比は、0.08mmで、「PFC010」：0.1mm、「PFD105」：0.145mm、MK-I：0.175mmと比べタイトに設計されており、ウエアマークは発生しにくい領域にある。しかし、ワイヤピッチは、307mmと「PFC010」：295mm、「PFD105」：209mm、MK-I：226mmと比べ大きくピン外径内径、ピンの支持方式の違い等がありピンのたわみ量、振動振幅が異なるものと考えられ、これらの因果関係を解析する必要がある。

今後、後続のC型特殊燃料集合体(C 3 M, P/R 0.045mm)についても引き続き観察して行く必要がある。

### 6.2 燃料ピンバンドルの健全性

燃料ピンバンドルは、内側ラップ管引抜後の外観検査の結果、外周ピンの残留湾曲によるピア樽形状に観察された。しかし、X線ラジオグラフィ、及び解体時の外観検査の結果、バンドル



配列の乱れ、燃料ピン支持部からのピンの脱落、大きなワイヤのゆるみ等はなくバンドルとして健全であったことが確認された。

また、本集合体は、「もんじゅ」型ピン支持構造とした集合体で初めて照射試験を行ったものであるが、支持部の変形、曲り等は認められず、「もんじゅ」型ピン支持構造部の健全性が確認された。

### 6.3 被覆管材のK材、S材の照射挙動

本集合体に使用した被覆管材は、「もんじゅ」実機相当の55年度材2種（K材31本、S材30本）である。

被覆管最高温度は、約640℃（集合体中心ピン）と、「常陽」炉心燃料集合体被覆管最高温度609℃（PFD105）に比べ高いものである。燃料ピン外径寸法測定の結果、K、S材共に炉心部のオーバリティ、「あれ」が認められたが有意差を超える外径増加は認められず、スエリングは生じていないと推定され、またγスキャンによるF.P分布の違いも認められないことからK材S材の照射挙動は特に差はないと考えられる。

## 7. ま と め

「常陽」MK-II照射炉心で100MW定格第3サイクルから定格第11サイクルの間照射されたII型照射用C型特殊燃料集合体の照射後非破壊試験を実施した。本集合体は、高速増殖原型炉「もんじゅ」の低燃焼度炉心(約64,000MWD/T)でもっとも厳しい照射条件を満足するように設定された集合体である。

本試験の結果は下記のとおりである。

- (1) 燃料ピンは損傷、異常な変形、変色等は認められず健全であり、炉内照射挙動も正常と推定され、燃料製造の妥当性が確認された。
- (2) 被覆管表面に接触跡が観察された。この接触跡は、MK-I時のウエアマークと類似したものであるが、非破壊試験(詳細外観検査)では傷に深さがあるか不明でありウエアマークと断定することはできない。今後破壊試験を行い性状を確認する必要がある。
- (3) 燃料ピンバンドル状態は、ピン配列の乱れ、脱落等は認められず、「もんじゅ」型ピン支持構造を含め、バンドルとしての健全性が確認された。
- (4) 被覆管の照射挙動は、K材S材共に外径増加は認められず、スエリングも生じていないものと推定される。

## 8. 参 考 文 献

- 1) プルトニウム燃料部：高速実験炉「常陽」照射用炉心特殊燃料要素，製作設計書  
PNC ZN852-82-15 昭和57年制定
- 2) プルトニウム燃料部：高速実験炉「常陽」照射用炉心特殊燃料要素製造報告  
PNC I843 84-07
- 3) 実験炉部：C型特殊燃料集合体のモニタ配置  
照射後試験関連データ支給票 58-JY支-005
- 4) 実験炉部：「常陽」照射試験サイクル報（第11サイクル）  
PNC SN9360 86-003 1986年10月
- 5) 燃材部部内資料：C型特燃C2Mの照射後基本計画  
燃材部テクニカルレポート 86(AES)73
- 6) 燃料材料開発部：「常陽」MK-II炉心燃料集合体(PFD105)の照射後試験 (1)  
PNC 19410 87-001 1987年1月
- 7) 燃料材料開発部：「常陽」MK-II C型特殊燃料集合体(PFC010)の照射後試験 (1)  
PNC 1941 85-16 1985年11月

Table I Specifications of C-II Type Fuel Pin and Monju Type Fuel pin

項 目	単 位	II型特殊燃料ピン *4	「もんじゅ」燃料ピン *5
全 長	mm	1867±2	約2800
炉心燃料部			
燃料組成		PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>
プルトニウム富化度	重量%	30±1 *1	20~30
ウラン濃縮度	重量%	約 8	約 0.3
プルトニウム組成比	重量%	約79 *2	
酸素含有量(O/M)	-	1.97 ± <sup>0.02</sup> <sub>0.03</sub>	
炉心部長さ	mm	550±5	約930
ペレット			
直 径	mm	5.4±0.05	約5.4
長 さ	mm	8.0±1.0	約8
密 度	%TD	85.0±2.0	約85
インシュレータペレット *3			
燃料組成			
ペレット部長さ	mm	8	上部約300, 下部約350
ペレット			
直 径	mm	5.4±0.05	約5.4
長 さ	mm	8±1	約10
密 度	%TD	94±2	約93
被覆管			
長 さ	mm	1784	
外 径	mm	6.5±0.030	約6.5
内 径	mm	5.56±0.025	約5.56
肉 厚	mm	0.47±0.030	約0.47
材 質		SUS316(20%冷間加工)	SUS316相当ステンレス鋼
スペーサワイヤー			
ワイヤ径	mm	1.320±0.005	約1.3
ラッピングピッチ	mm	307±20	約310
材 質		SUS316相当(20%冷間加工)	SUS316相当ステンレス鋼
プレナム容積	cc		約25

\*1 PuO<sub>2</sub>/(PuO<sub>2</sub>+UO<sub>2</sub>)\*2 (Pu<sup>239</sup>+Pu<sup>241</sup>)/Pu

\*3 「もんじゅ」燃料ピンの場合軸方向ブランケットを示す。

\*4 出典 高速実験炉「常陽」照射用炉心特殊燃料要素製造報告<sup>2)</sup>

\*5 出典 高速増殖炉もんじゅ発電所原子炉設置許可申請書

Table II Irradiation Condition of Subassembly 4)

C型特殊燃料集合体

計画番号 C2M

集合体番号 PFC020

サ イ ク ル			3	4	5	6	7	7'&7"	8	9	10	11	
装 荷 位 置			3A2						R2	3A2	3A2		
燃 焼 度	ポイント最大		MWD/T	8000	15400	21800	29200	36300	—	43300	50000	56900	63600
	集合体平均		MWD/T	6700	13000	18400	24700	30700	—	36700	42500	48400	54100
積算中性子照射量	En≥0.1MeV.	ポイント最大	$\times 10^{20} \text{ n/cm}^2$	99.0	193	287	383	476	—	570	656	757	850
		集合体平均	$\times 10^{20} \text{ n/cm}^2$	81.4	159	236	315	392	—	470	545	625	702
	Total	ポイント最大	$\times 10^{20} \text{ n/cm}^2$	145	283	421	561	697	—	835	969	1110	1247
		集合体平均	$\times 10^{20} \text{ n/cm}^2$	121	236	351	468	582	—	698	810	928	1043
線 出 力	BOC	ポイント最大	W/cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		集合体平均	W/cm	300	287	284	275	272	—	266	265	260	251
	BOC	ポイント最大	W/cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		集合体平均	W/cm	299	288	284	276	272	—	267	266	261	252
被覆管最高温度	BOC		℃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	EOC		℃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
燃 燃 最 高 温 度	BOC		℃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	EOC		℃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
集合体出口温度	BOC		℃	580	572	569	564	561	—	560	558	554	550
	EOC		℃	580	572	570	564	562	—	561	559	555	551
ピーキング係数	BOC	径 方 向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		軸 方 向	—	1.165	1.185	1.183	1.183	1.177	—	1.168	1.166	1.167	1.169
	BOC	径 方 向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		軸 方 向	—	1.162	1.170	1.168	1.168	1.163	—	1.150	1.149	1.147	1.154
冷 却 材 流 量	BOC		kg/sec	3.8	3.8	3.7	3.8	3.7	—	3.7	3.8	3.8	3.7
	EOC		kg/sec	3.8	3.8	3.7	3.8	3.7	—	3.7	3.8	3.8	3.7
備 考													

Table III Total Length Change of Fuel Pins

単位〔mm〕

Pin No.		被覆管 LOT 番号	PIE*1	FAB*2	変 化 量 (照射後-照射前)
PIE	FAB				
A422	C2M12	KT0340	1866.7	1866.8	-0.1
A430	C2M47	ST0242	1866.7	1866.9	-0.2
A431	C2M17	KT0345	1866.8	1866.7	+0.1
A432	C2M48	ST0243	1866.6	1866.8	-0.2

\*1 照射後の全長は、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、下部端栓の図面上の寸法を加え算出

\*2 PNC 1843 84-07 表-27

Table IV Diameter Change of Fuel Pins

単位〔mm〕

Pin No.		被覆管 LOT 番号	FAB*1	PIE		変化量 (PIE-FAB)	
PIE	FAB			平均値*2	炉心中心位置*3 の値	平均値	炉心中心位置
A422	C2M12	KT0340	6.500	6.487	6.490	-0.013	-0.010
A430	C2M47	ST0242	6.503	6.499	6.505	-0.004	+0.002
A431	C2M17	KT0345	6.501	6.493	6.495	-0.008	-0.006
A432	C2M48	ST0243	6.503	6.495	6.503	-0.008	±0.000

\*1 PNC 1843 84-07 P241~P304

\*2 ピン軸方向に10mmピッチで測定した2方向平均値

\*3 ピン下端より660mmの位置での2方向測定の平均値

TableV Axial Peaking Factor of Subassembly by Gamma-Scanning of Fuel Pins

集合体名	運 転 監 視 コードによる計算値	γ スキャン測定結果				
		PIN No.	<sup>106</sup> Rh	<sup>95</sup> Zr	<sup>54</sup> Mn	Cross-γ
PFC020	1.154 *1	A401	1.16	1.14	1.22	1.16
		A405	1.15	1.15	1.24	1.15
		A427	1.15	1.14	1.22	1.16
		A431	1.16	1.16	1.22	1.17
		A435	1.16	1.14	1.23	1.16
		A457	1.17	1.14	1.21	1.16
		A461	1.16	1.16	1.25	1.17

\*1 常陽照射試験サイクル報<sup>4)</sup>より  
(PNC SN9360 86-003)

TableVI Radial Peaking Factor of Subassembly by Gamma-Spectroscopy of Fuel Pins

集合体名	運 転 監 視 コードによる計算値	γ スキャン測定結果				
		軸方向位置	<sup>106</sup> Rh	<sup>95</sup> Zr	<sup>54</sup> Mn	
PFC020	—	403 (mm)	1.05	1.04	1.10	
		523 (mm)	1.04	1.03	1.10	
		638 (mm)	1.05	1.04	1.12	
		768 (mm)	1.05	1.04	1.10	
		908 (mm)	1.07	1.06	1.10	

Table.VII Results of Plenum Gas pressure by Gamma-Spectroscopy ( $^{85}\text{Kr}$ )

PIN No.	Kr-85 測定結果			Total Kr (cc)	Xe+Kr (Total F.P.ガス) (cc)	F.P.+ He (ピン内ガス量) (cc)	ガス圧 (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				
A416 <sup>*1</sup>	1209	$9.31 \times 10^{-4}$	0.700	6.42	77.7	94.8	4200
A424 <sup>*1</sup>	1522	$1.17 \times 10^{-3}$	0.880	8.08	97.8	115	5100
A427	1538	$1.18 \times 10^{-3}$	0.887	8.14	98.5	116	5200
A429	1464	$1.13 \times 10^{-3}$	0.849	7.79	94.3	111	5000
A430	1631	$1.25 \times 10^{-3}$	0.946	8.68	105	122	5400
A431	1530	$1.18 \times 10^{-3}$	0.887	8.14	98.5	116	5200
A435	1364	$1.05 \times 10^{-3}$	0.788	7.23	87.5	105	4700

\*1 ピン重量測定で有意差を超えたピン

 $\gamma$ 線検出効率 :  $4.39 \times 10^{-7}$  mm

ピン1mm当りの容積 : 0.0227 cc

Total  
Kr/ $^{85}\text{Kr}$ 容積 : 13.71Ci当りの $^{85}\text{Kr}$ 容積 : 0.670 cc

Xe/Kr : 1.11

ピン内容積(He) : 約17 cc



Table VIII Results of Plenum Gas Analysis

ピン番号	ピン内 容 積 (cc)	ピン内 ガス圧力 (Torr-STP)	ピン内 ガス量 (cc-STP)	ガス分析結果(%)			Xe/Kr	放出率 <sup>*4</sup> (%)
				Kr	Xe	He/d		
A416 <sup>*3</sup>	17.73	4365	101.8	6.7	72.8	20.5	10.9	54.6
A424 <sup>*3</sup>	17.78	4378	102.4	6.7	72.9	20.4	10.9	55.3
A427	17.90	4678	110.2	6.7	73.8	19.5	11.0	55.6
A429	17.98	4676	110.6	6.7	73.8	19.5	11.0	57.3
A430	17.96	4420	104.4	6.7	72.9	20.4	10.9	54.3
A431	18.00	4501	106.6	6.7	73.9	20.4	11.0	56.9
A435	17.92	3958	93.3	6.8	70.9	22.3	10.4	51.1
A414 <sup>*1</sup>	17.86	4572	107.4	6.7	73.6	19.7	11.0	56.5
A421 <sup>*1</sup>	— <sup>*2</sup>	— <sup>*2</sup>	— <sup>*2</sup>	6.6	72.6	20.8	11.0	— <sup>*2</sup>
A422 <sup>*1</sup>	17.76	4573	106.9	6.7	73.3	20.0	10.9	56.3
A423 <sup>*1</sup>	16.75	4415	97.3	6.6	71.9	21.5	10.9	51.1
A432 <sup>*1</sup>	17.67	4193	97.5	6.5	71.7	21.8	11.0	51.3
A433 <sup>*1</sup>	17.84	4625	100.1	6.7	73.4	19.9	11.0	54.7
A438 <sup>*1</sup>	18.00	4680	110.9	6.7	73.7	19.6	11.0	57.8
A439 <sup>*1</sup>	17.79	4428	103.7	6.7	72.9	20.4	10.9	54.3
A440 <sup>*1</sup>	18.05	4367	103.7	6.7	72.9	20.4	10.9	55.1
A448 <sup>*1</sup>	18.12	4303	102.6	6.7	73.0	20.3	10.9	54.9

\*1 自主試験としてガス圧力、ガス分析を実施

\*2 溶封出来ず、データ取得不可

\*3 ピン重量測定で有意差を超えたピン

\*4 放出率算出に用いたF.Pガス生成量は24.65cc-STP/a/oBUを用いた。

なお、各ピンの平均燃焼度はESPRI-Jの値を用いた。

Table K Results of Plenum Gas Mass Analysis (Pin No. A431)

元 素	ガ ス 質 量 分 析 結 果								
	質 量 数	128	129	130	131	132	133	134	136
Xe	イオン強度	284	292	755	101.130	151.790	111	210.740	189.140
	存在率(%)	0.04	0.04	0.12	15.46	23.20	0.02	32.21	28.91
	質 量 数	82	83	84	85	86			
Kr	イオン強度	105	7719	13226	3018	21.876			
	存在率(%)	0.23	16.80	28.79	6.57	47.61			
	質 量 数	82	83	84	85	86			

$^{126}\text{Xe}$ ,  $^{78}\text{Kr}$ ,  $^{80}\text{Kr}$ は検出されない。

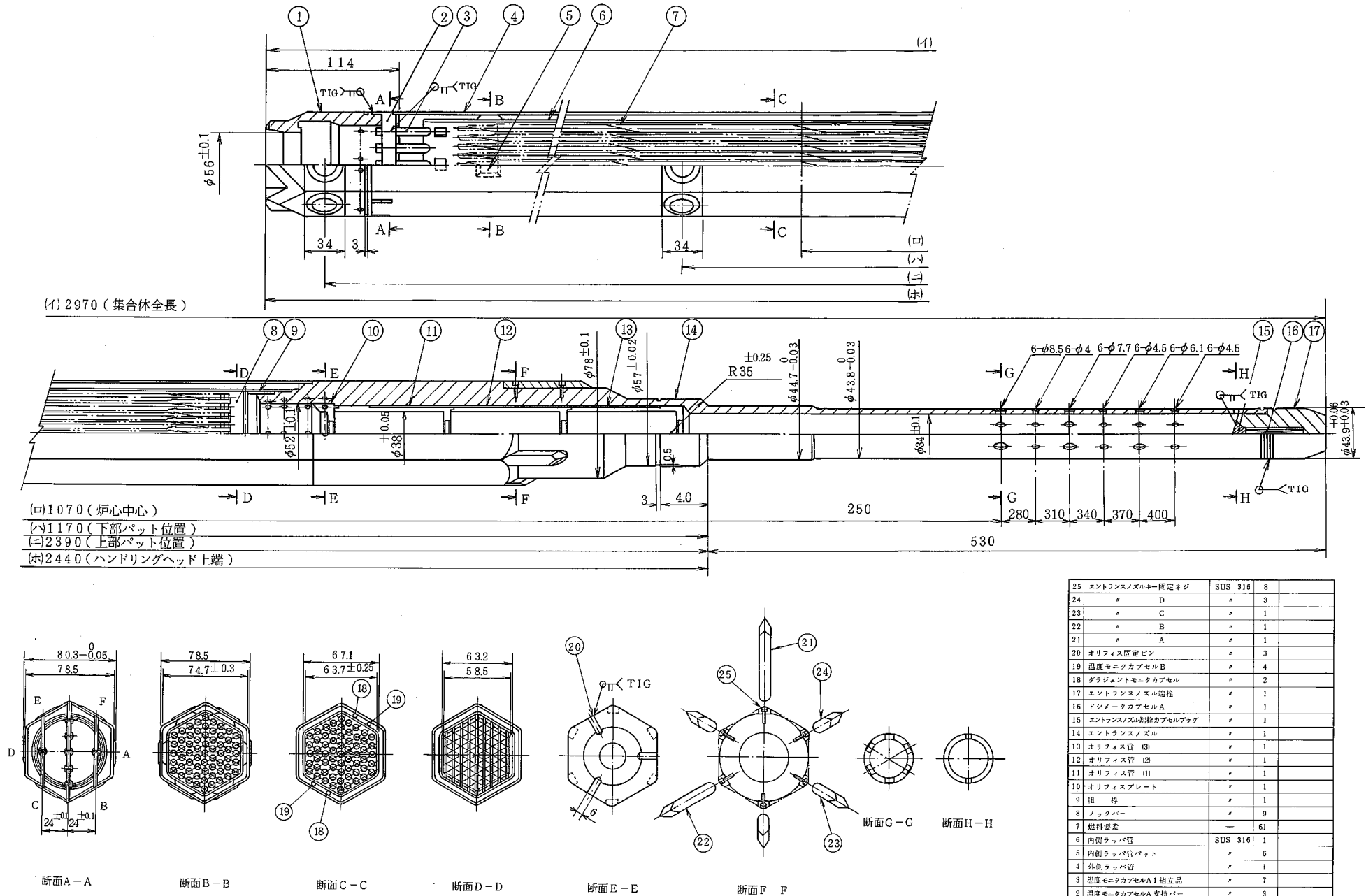
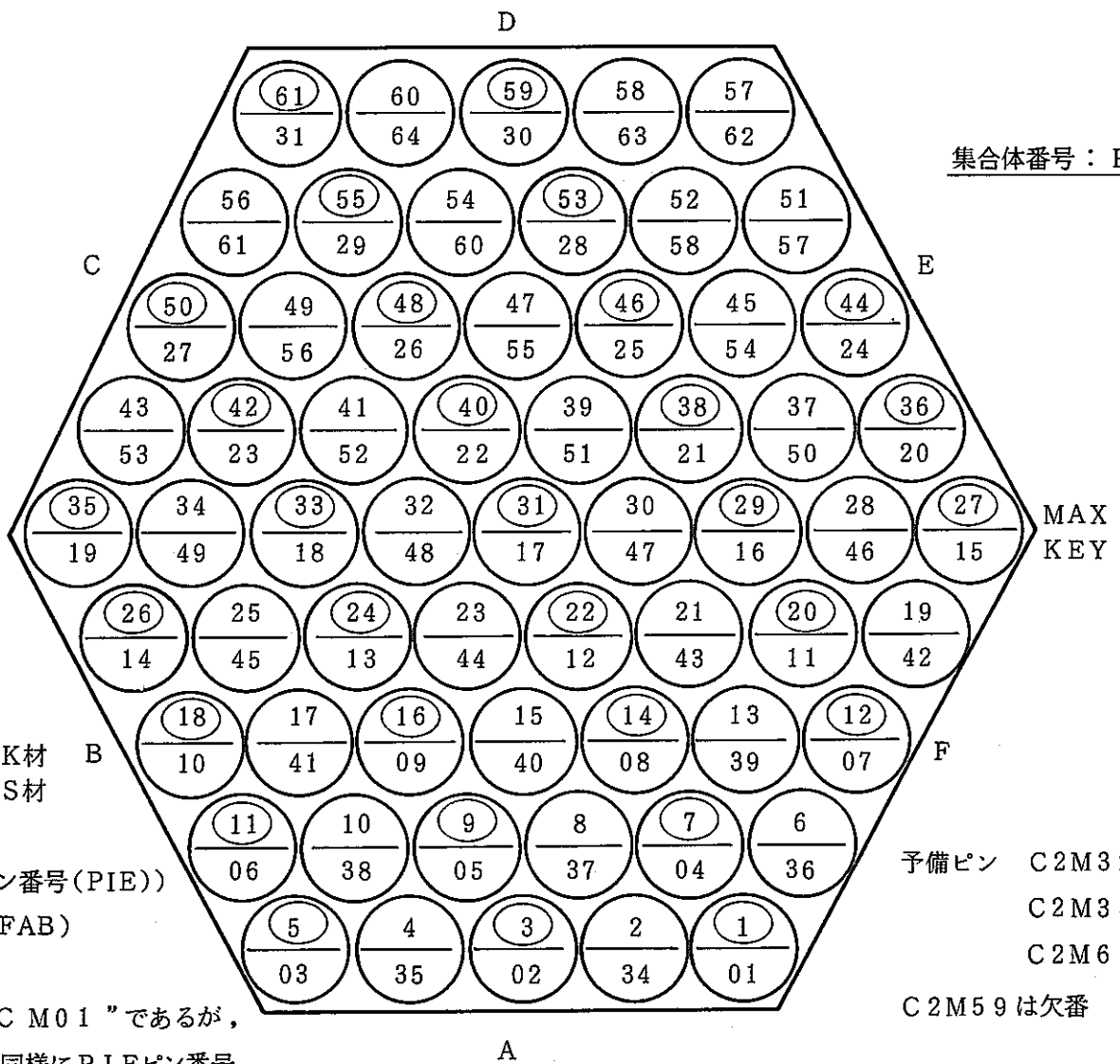


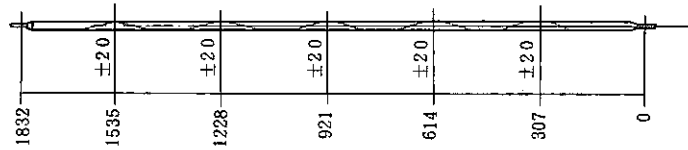
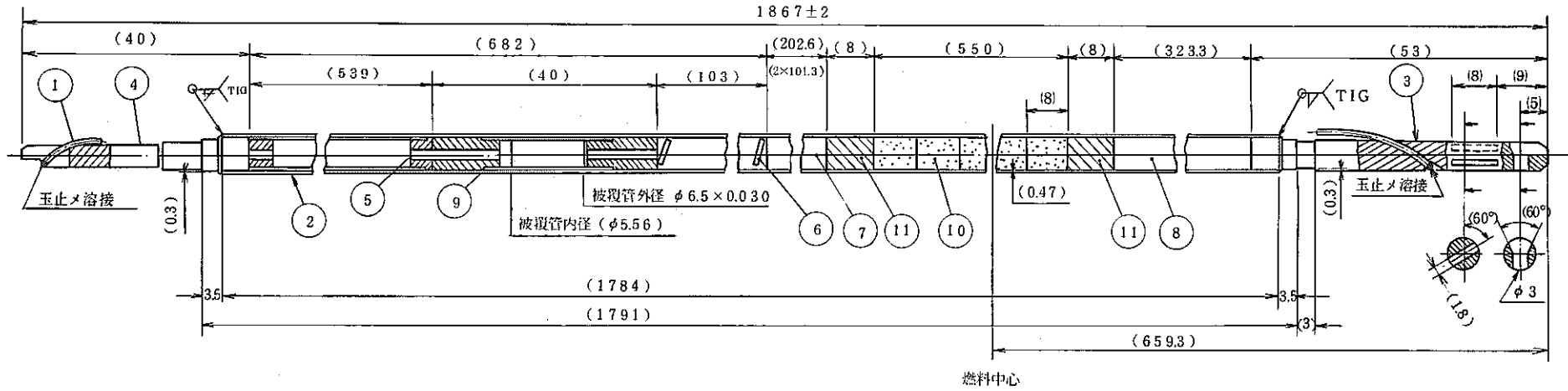
Fig.1 Structure of "JOYO" MK-II C-Type Uninstrumented Irradiation Subassembly

集合体番号：PFC020



ピン番号 (FAB) は正式には "C M 01" であるが、  
 図中では全て "C M" を省略、同様に PIE ピン番号  
 は "A 4 01" であるが図中では全て "A 4" を省略

Fig.2 Arrangement of Fuel Pin in the Subassembly



ラッピングワイヤ配置図

11	インシュレータベレット	劣化UO <sub>2</sub>	2	
10	燃料ベレット	PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	71	
9	タガスカプセルダミー	SUS 316	1	
8	下部要素反射板	SUS 316相当	1	
7	上部要素反射板	SUS 316相当	1	
6	プレナムスプリング	SUS 304WPB	1	
5	抑エ板付プレナムスリーブ	SUS 316	1	
4	上部端栓	SUS 316相当	1	
3	下部端栓	SUS 316相当	1	
2	被覆管	SUS 316相当	1	
1	ラッピングワイヤ	SUS 316相当	1	C2用φ1.320 ± 0.005
品番	品名	材質	個数	備考

Fig.3 Structure of II-Type Fuel Pin of C-Type Uninstrumented Irradiation Subassembly

C型特殊燃料集合体モニタ配置

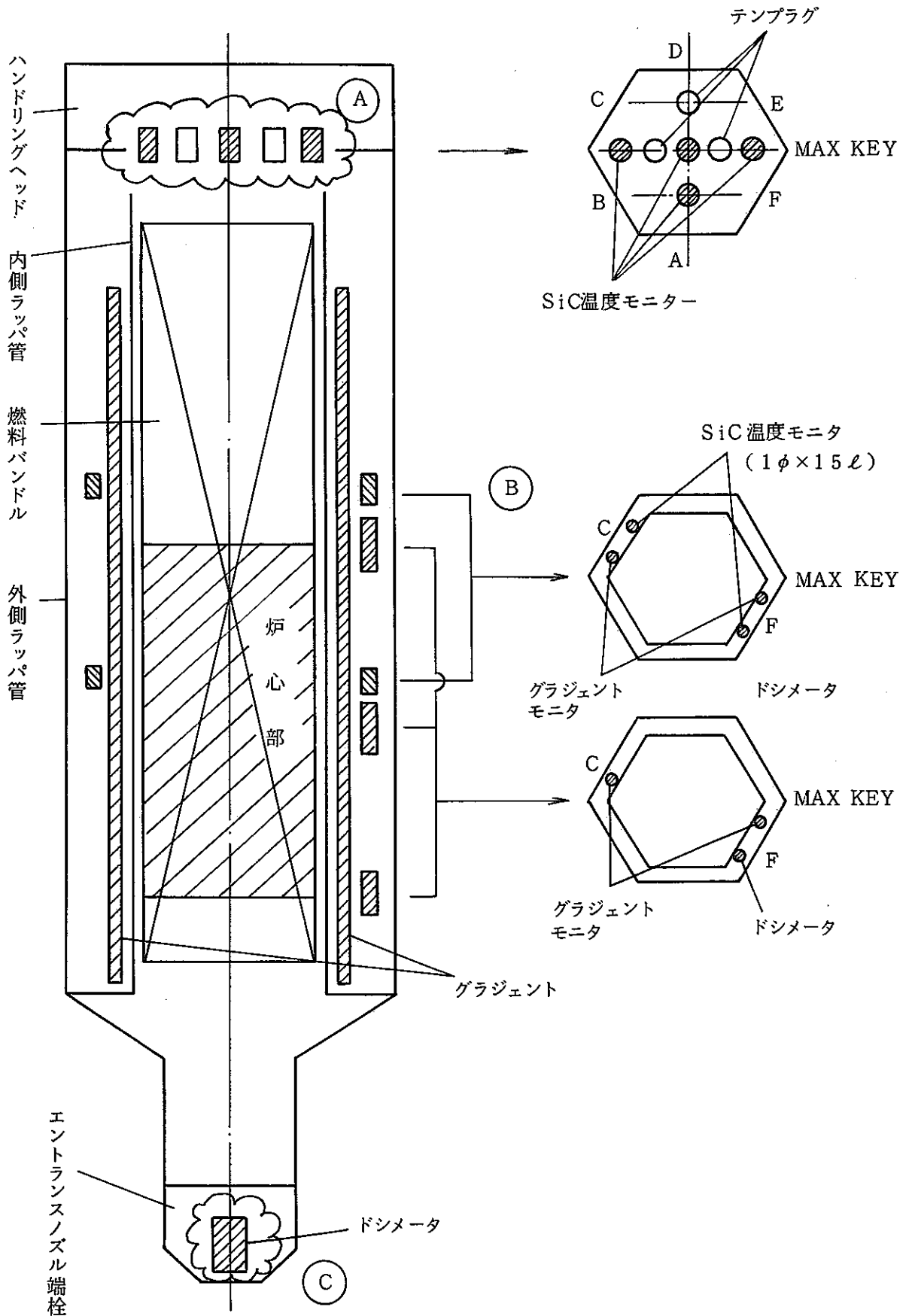


Fig. 4 Arrangement of Monitor in the Subassembly

第11サイクル炉心構成

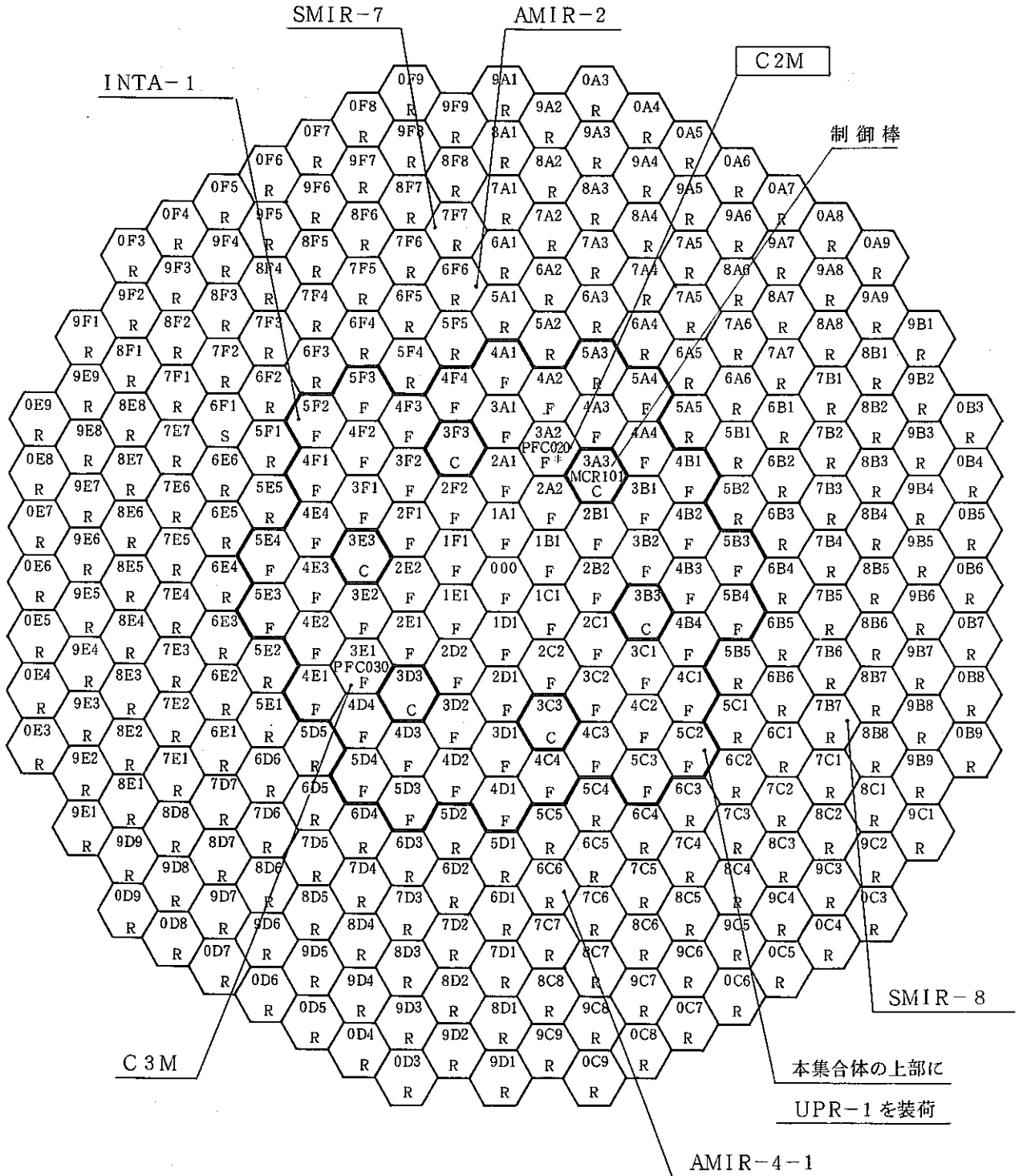
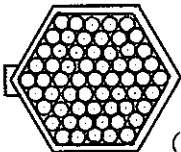
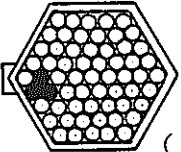
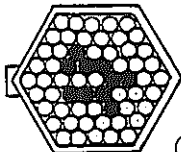
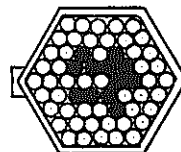
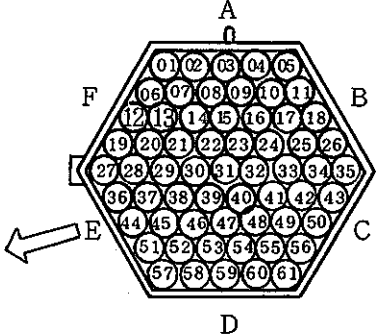
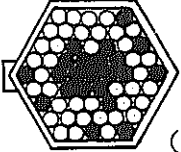
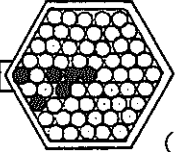
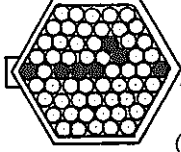
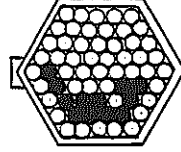
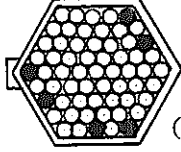
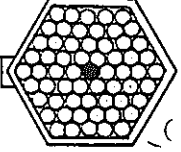
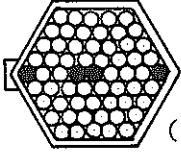
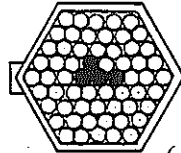

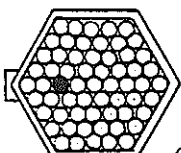


Fig.5 In-Reactor Location of the Subassembly

JOYO MK-II 照射後試験計画 (ピン試験) C型特殊燃料集合体 PFC020 (A4) 装荷位置(3A2) (II型)		集合体試験		集合体部材試験		
		<ul style="list-style-type: none"> <li>● 1. 外観検査</li> <li>● 2. NA洗浄 (缶内水分析)</li> <li>● 3. 寸法測定</li> <li>● 4. X線ラジオグラフィ</li> <li>● 5. 内側W/T外観検査</li> <li>● 6. 内側W/T寸法検査</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>1. W/T ガンマスキャン</li> <li>2. W/T 詳細外観検査</li> </ul>		
1. ピン列外観検査, X-RG 重量測定  (全数)	5. 詳細外観検査 (ワイヤ付)  (3本)	9. ピンパンクチャ (ガス抜きのみ)  (10本)	13. ピン切断 (MMS)  (12本)	<p>← : 推定炉心方向を示す</p> 		
2. ワイヤ切断 ワイヤ採取 1本  (22本)	6. 詳細外観検査 (ワイヤ無)  (6本)	10. ピンパンクチャ (ガス圧+ガス分析)  (7本)	14. CPF 搬出  (12本)			
3. 寸法測定 (曲がり)  (6本)	7. ガンマスキャン (トモグラフィ)  (1本)	11. ピン切断 (AGS)  (4本)				
4. 寸法測定 (外径)  (4本)	8. ガンマスキャン (スキャン+スペクトル)  (7本)	12. ピン切断 (AES)  (1本)				

● 試験対象

Fig.6 Pins Selected for the Examination



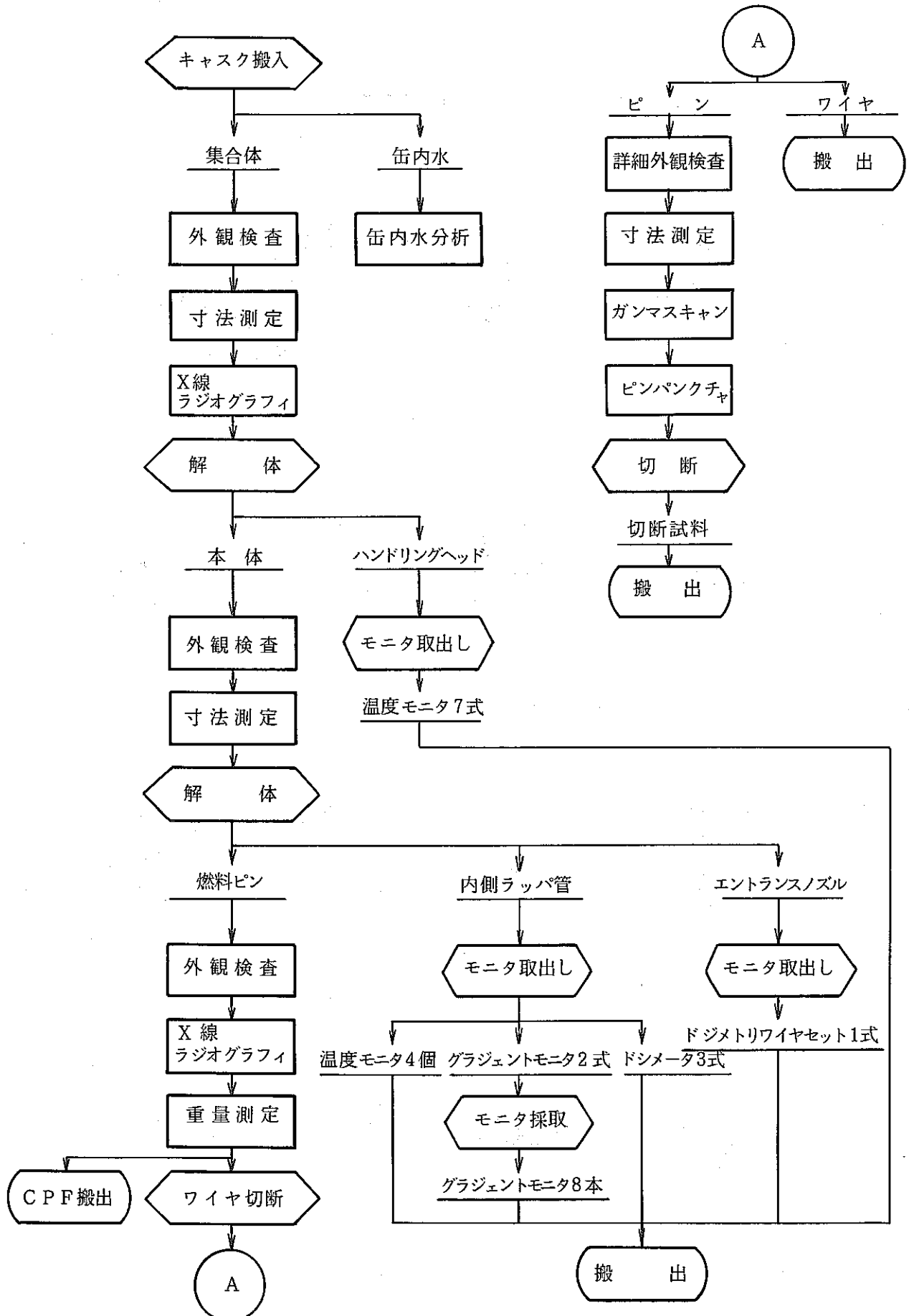


Fig. 7 Flow Diagram of Postirradiation Examination

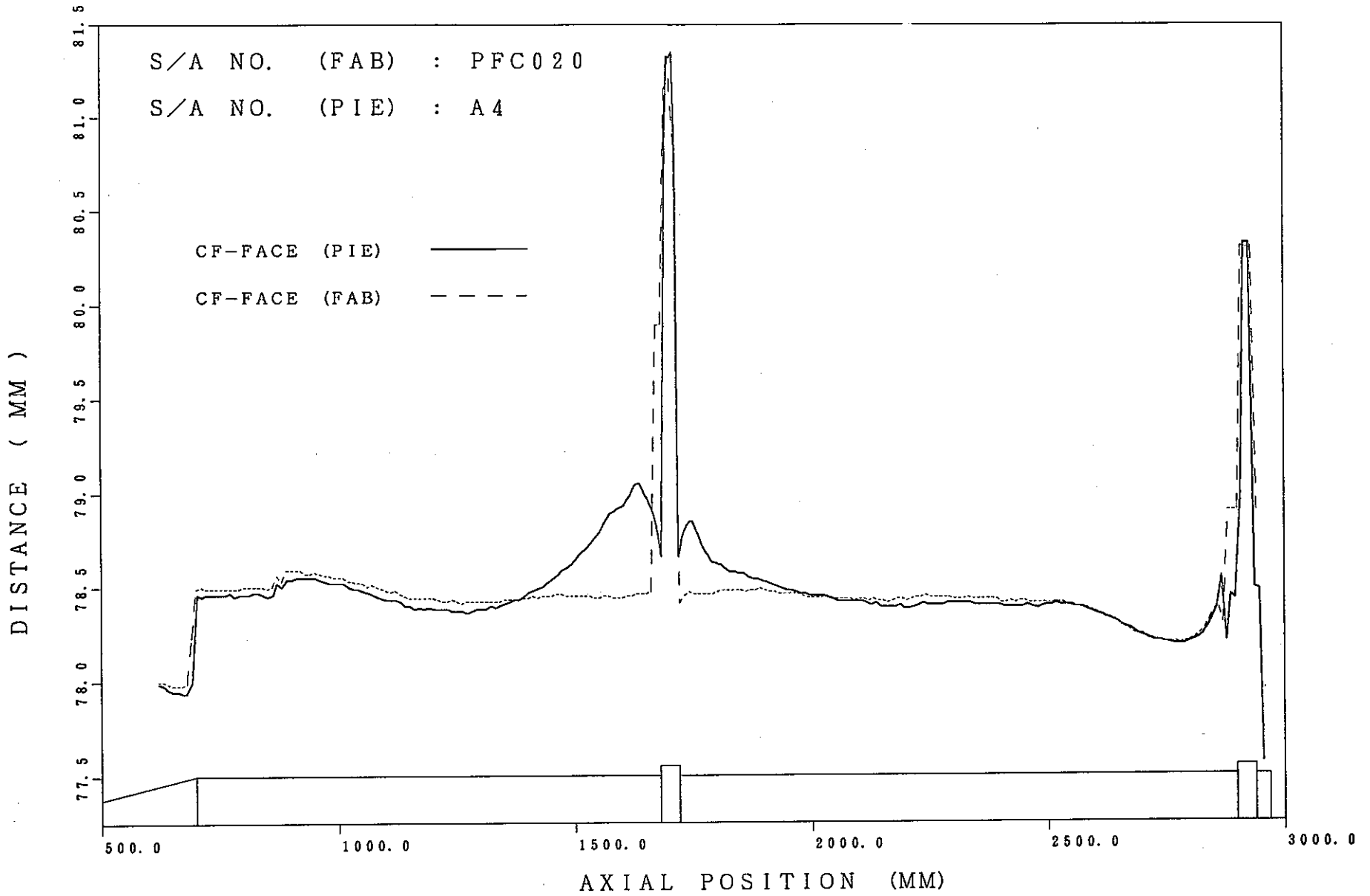


Fig.8 Face to Face Distance Profile of Subassembly (C-F Face)

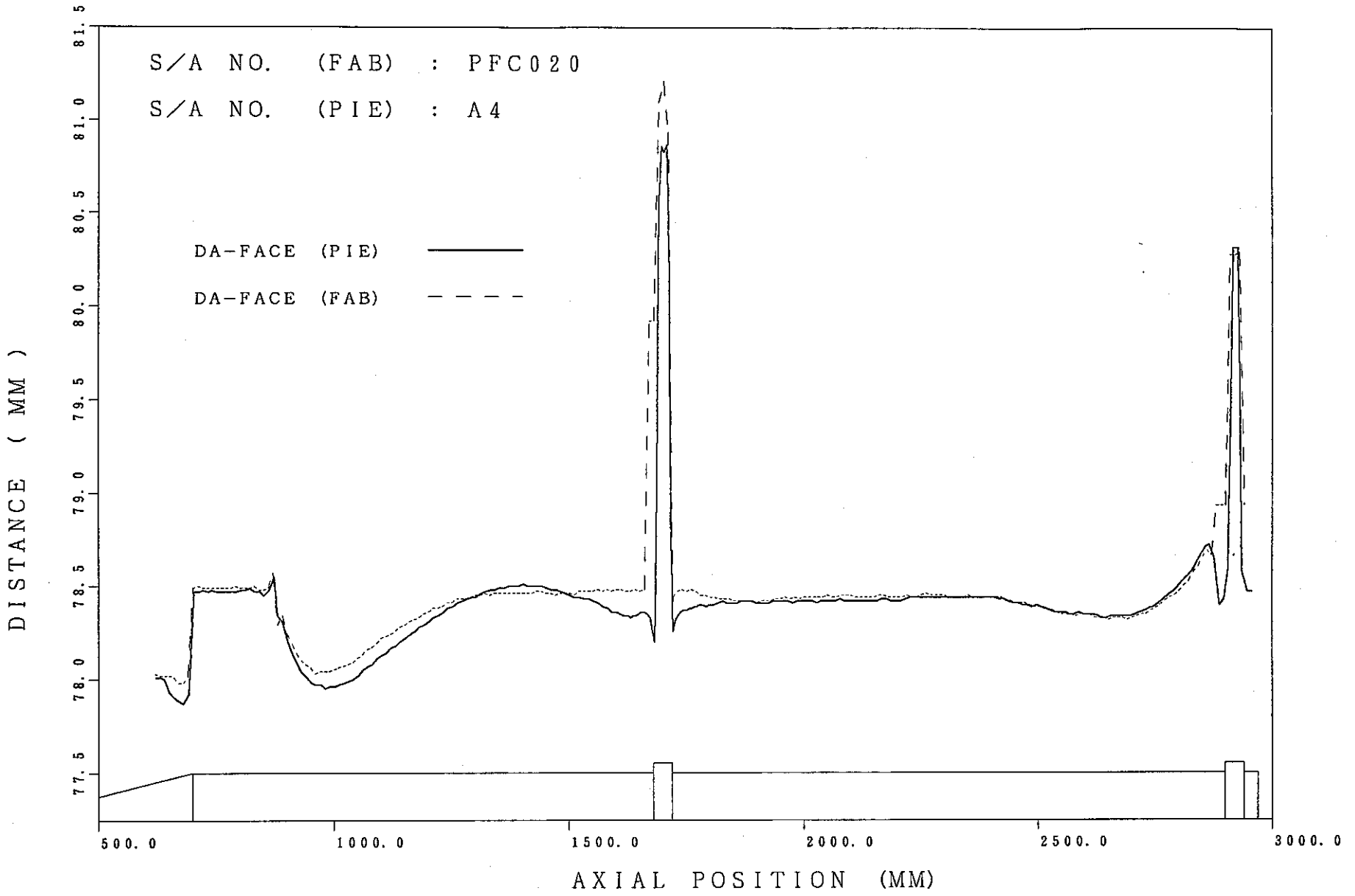


Fig.9 Face to Face Distance Profile of Subassembly (D-A Face)

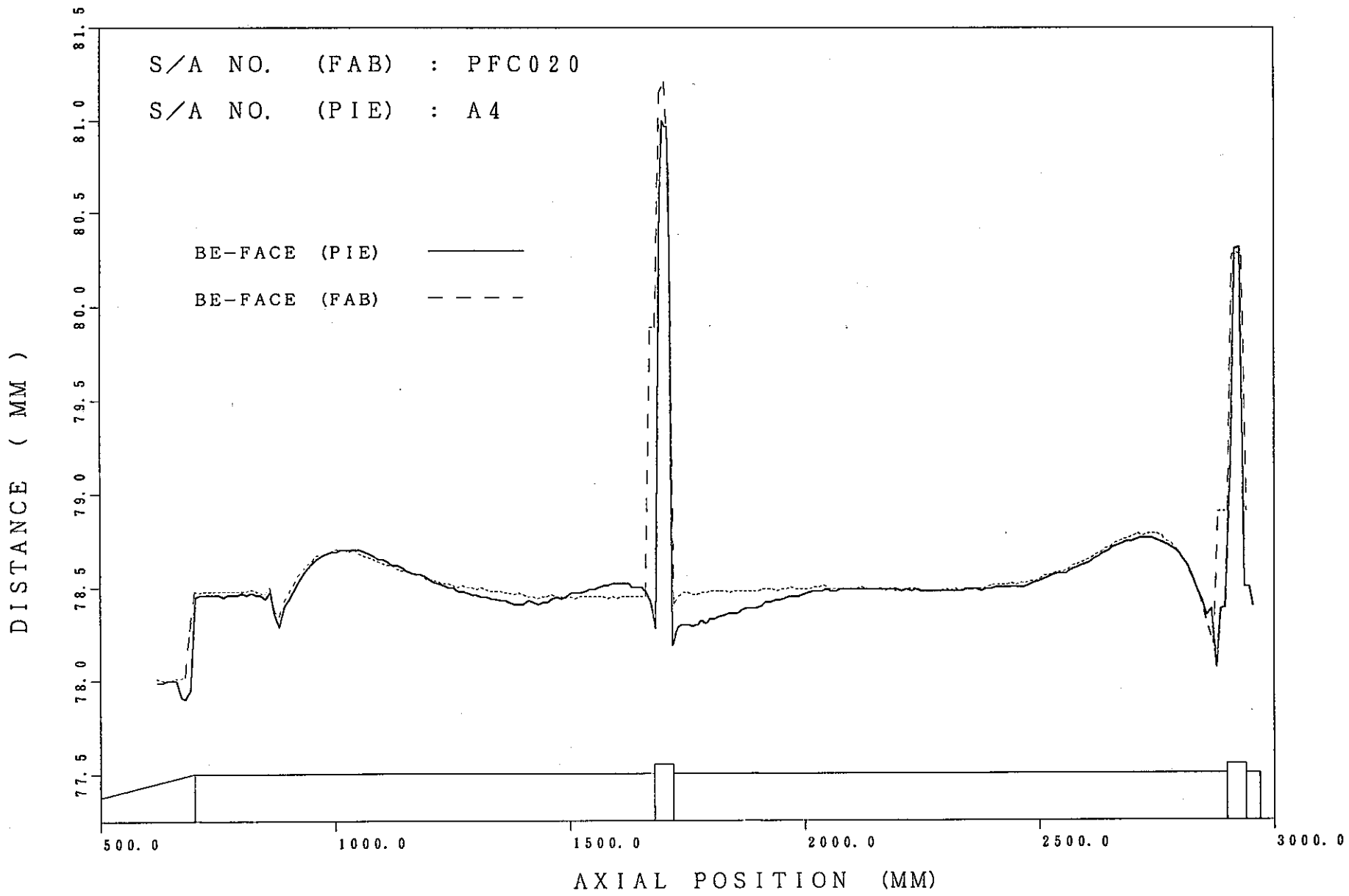
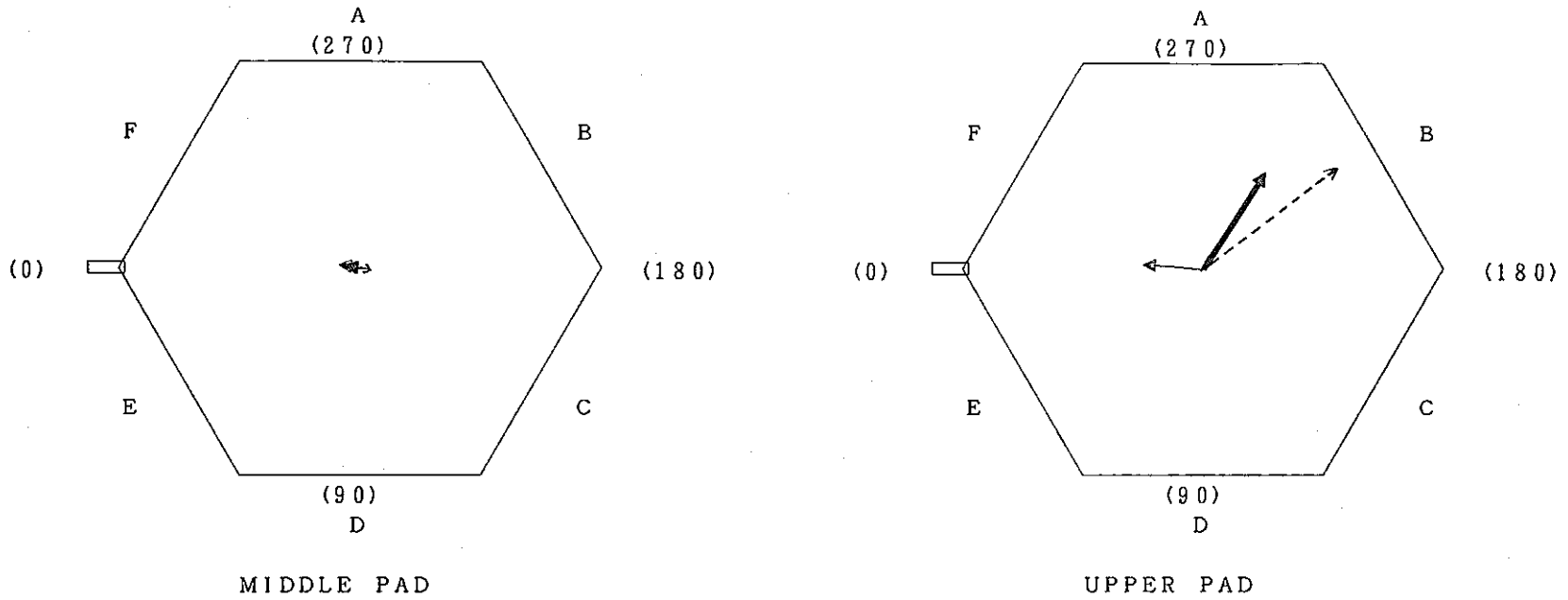


Fig.10 Face to Face Distance Profile of Subassembly (B-E Face)



POSITION	MIDDLE PAD	UPPER PAD
PIE DATA	0.5 (MM) 352 (DEG)	3.8 (MM) 237 (DEG)
FAB DATA	0.7 (MM) 351 (DEG)	2.0 (MM) 355 (DEG)
PIE - FAB	0.2 (MM) 168 (DEG)	5.1 (MM) 217 (DEG)

Fig.11 Bowing Vector of Subassembly (Measurement by Outer Wrapper Tube)

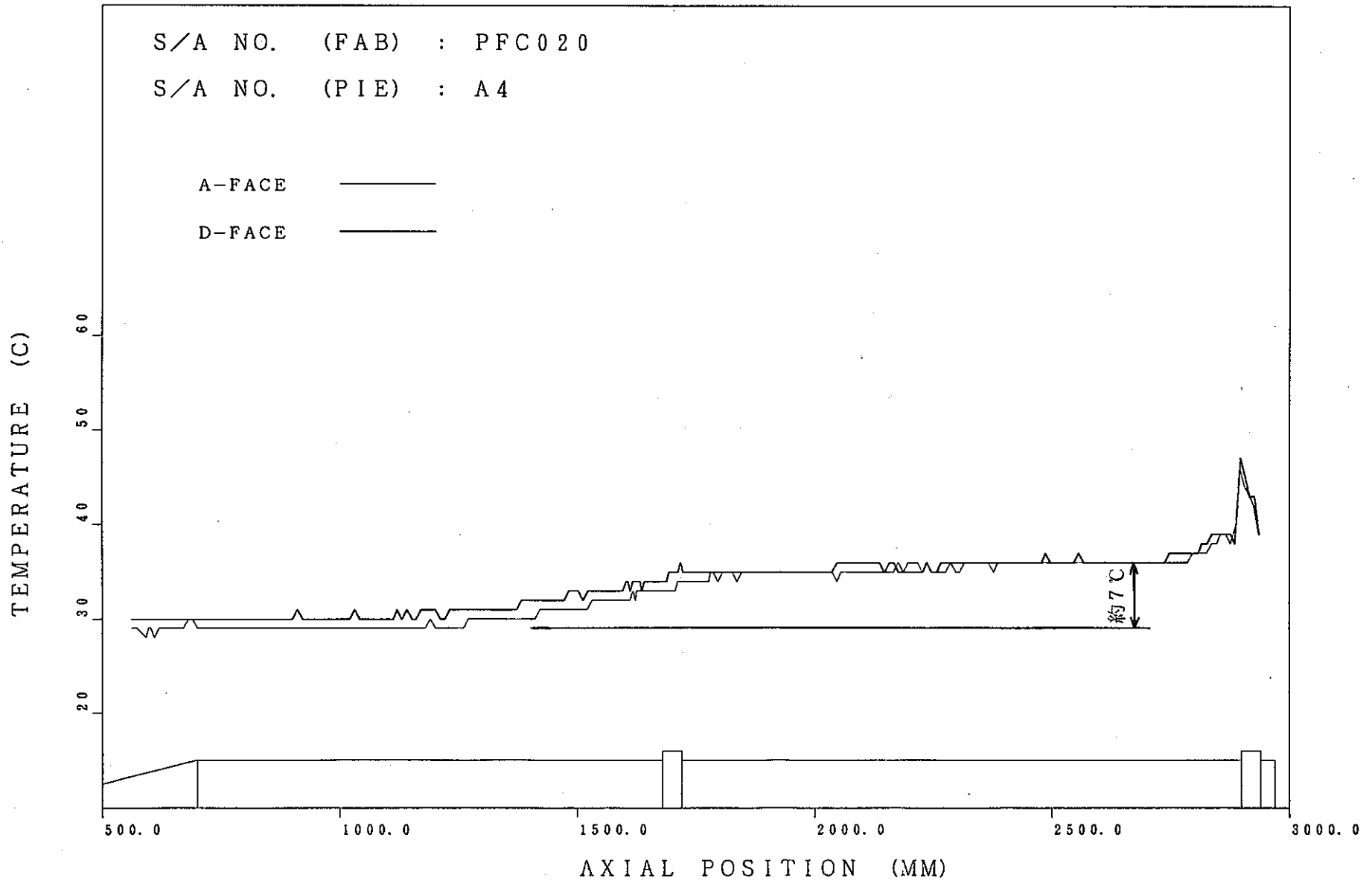


Fig.12 Subassembly Surface Temperature at PIE (Measurement by Outer Wrapper Tube)

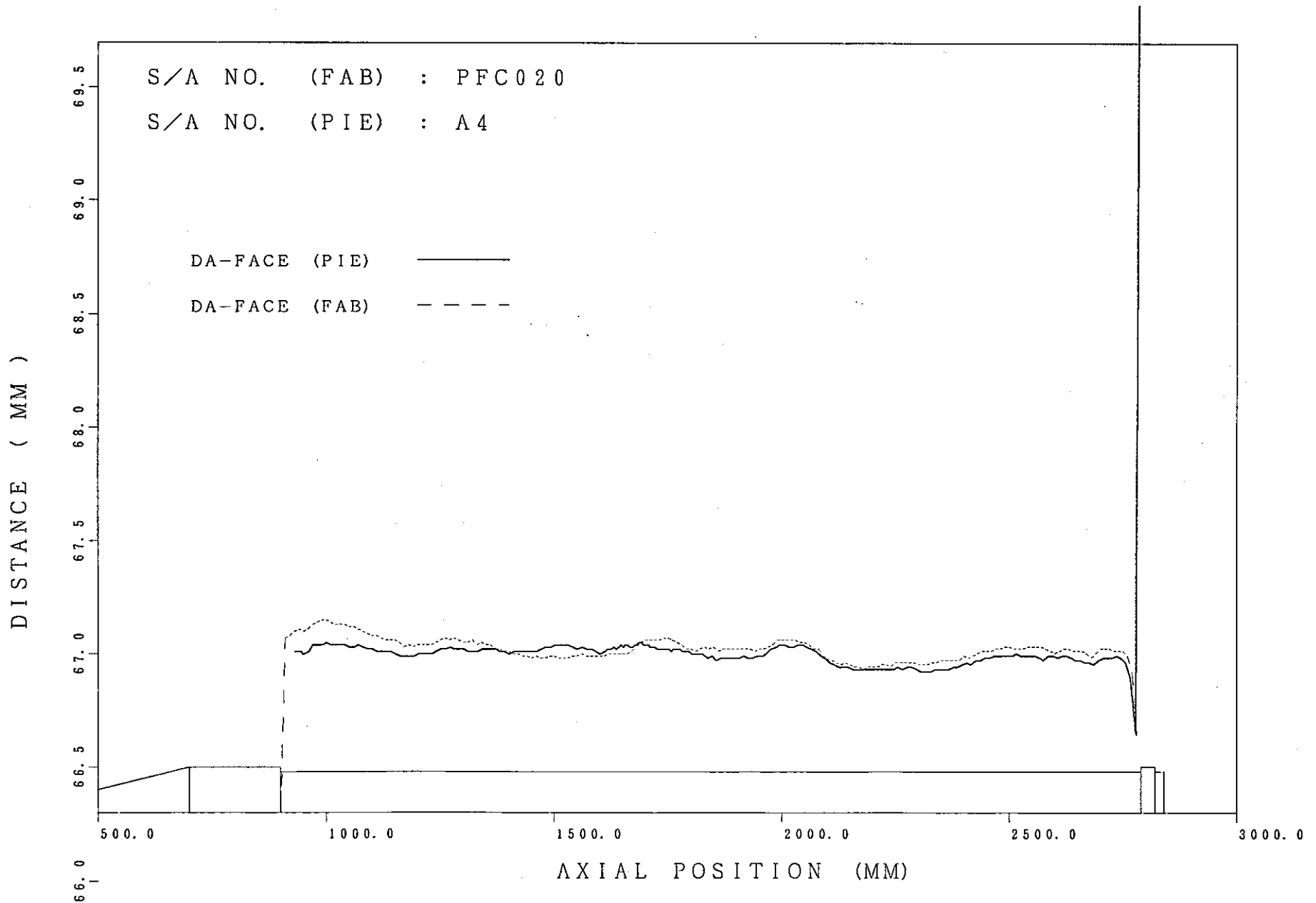


Fig.13 Face to Face Distance of Inner Wrapper Tube of Subassembly (D-A Face)

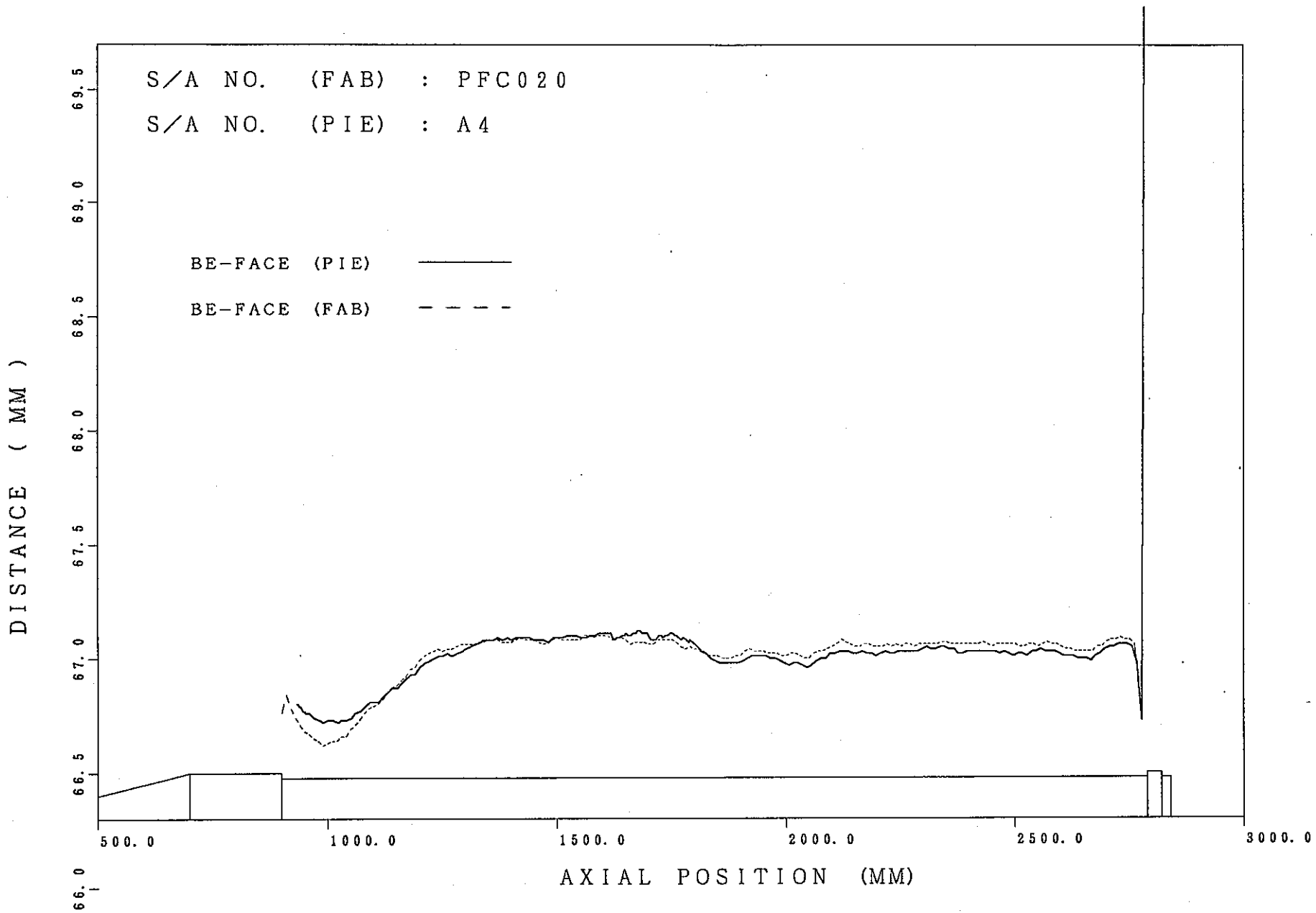
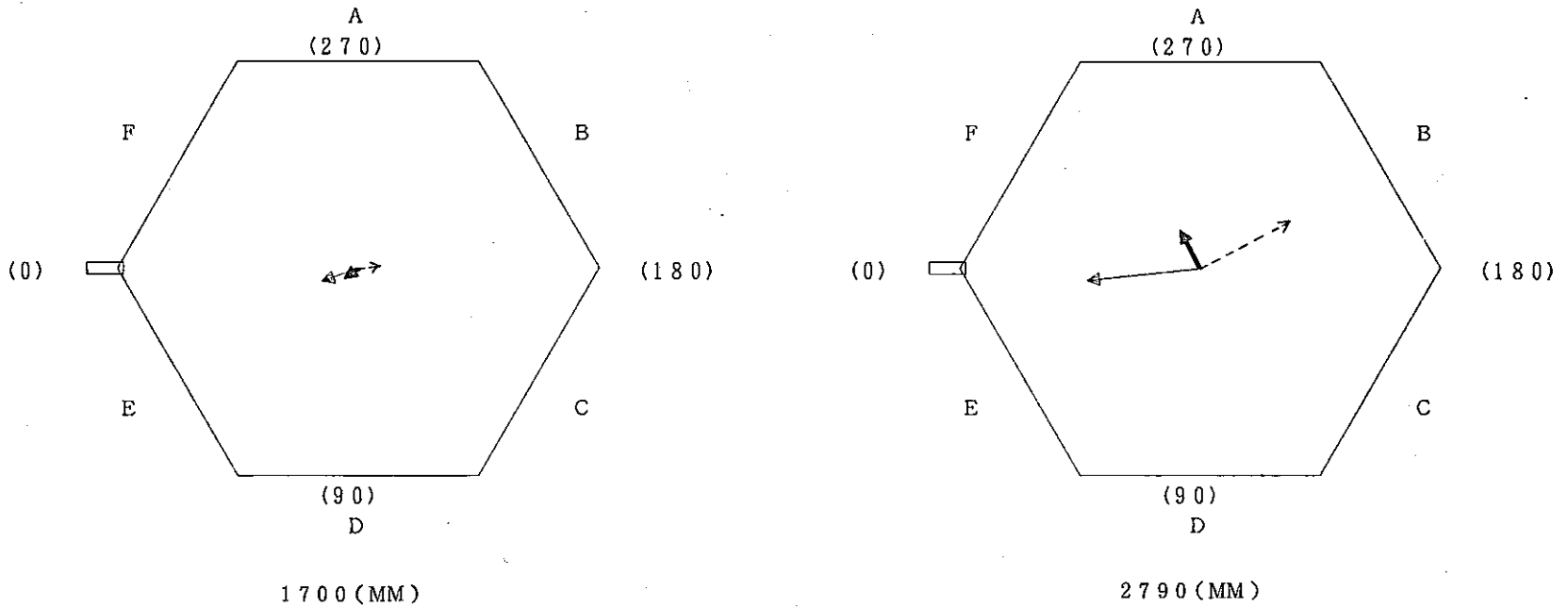


Fig.14 Face to Face Distunce of Inner Wrapper Tube of Subassembly (B-E Face)





POSITION	1700 (MM)	2790 (MM)
PIE DATA	0.6 (MM) 36 (DEG)	1.4 (MM) 297 (DEG)
FAB DATA	1.3 (MM) 20 (DEG)	3.8 (MM) 6 (DEG)
PIE - FAB	0.7 (MM) 188 (DEG)	3.5 (MM) 208 (DEG)

-----> PIE-FAB  
 —————> PIE  
 —————> FAB  
 BOWING SCALE 2.0 (MM) —————>  
 VIEW FROM TOP

Fig.15 Bowing Vector of Subassembly (Measurement by Inner Wrapper Tube)

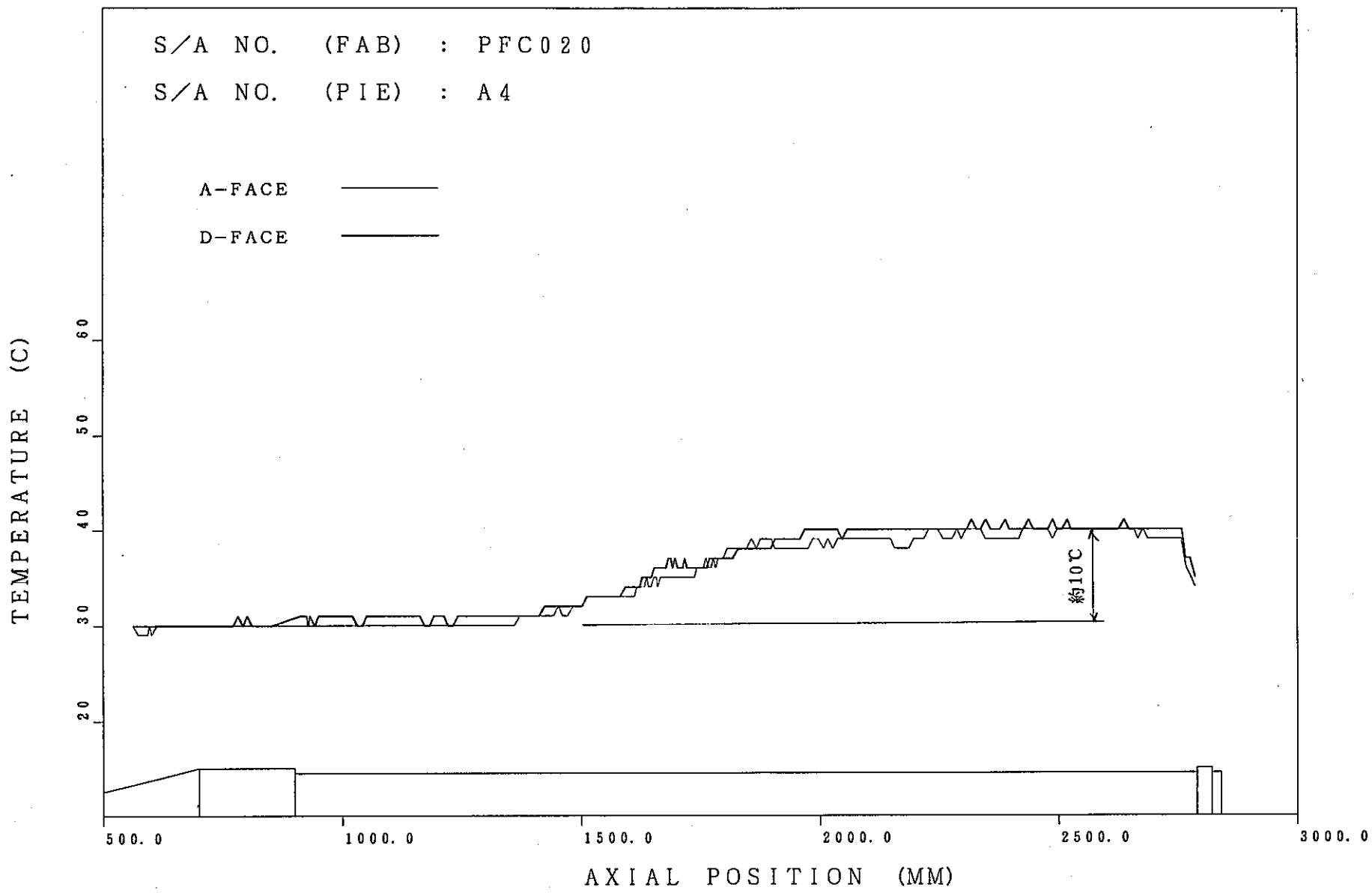


Fig.16 Surface Temperature Profile of Subassembly  
(Measurement by Inner Wrapper Tube)

S/A FAB NO : PFC020  
 PIE NO : A4

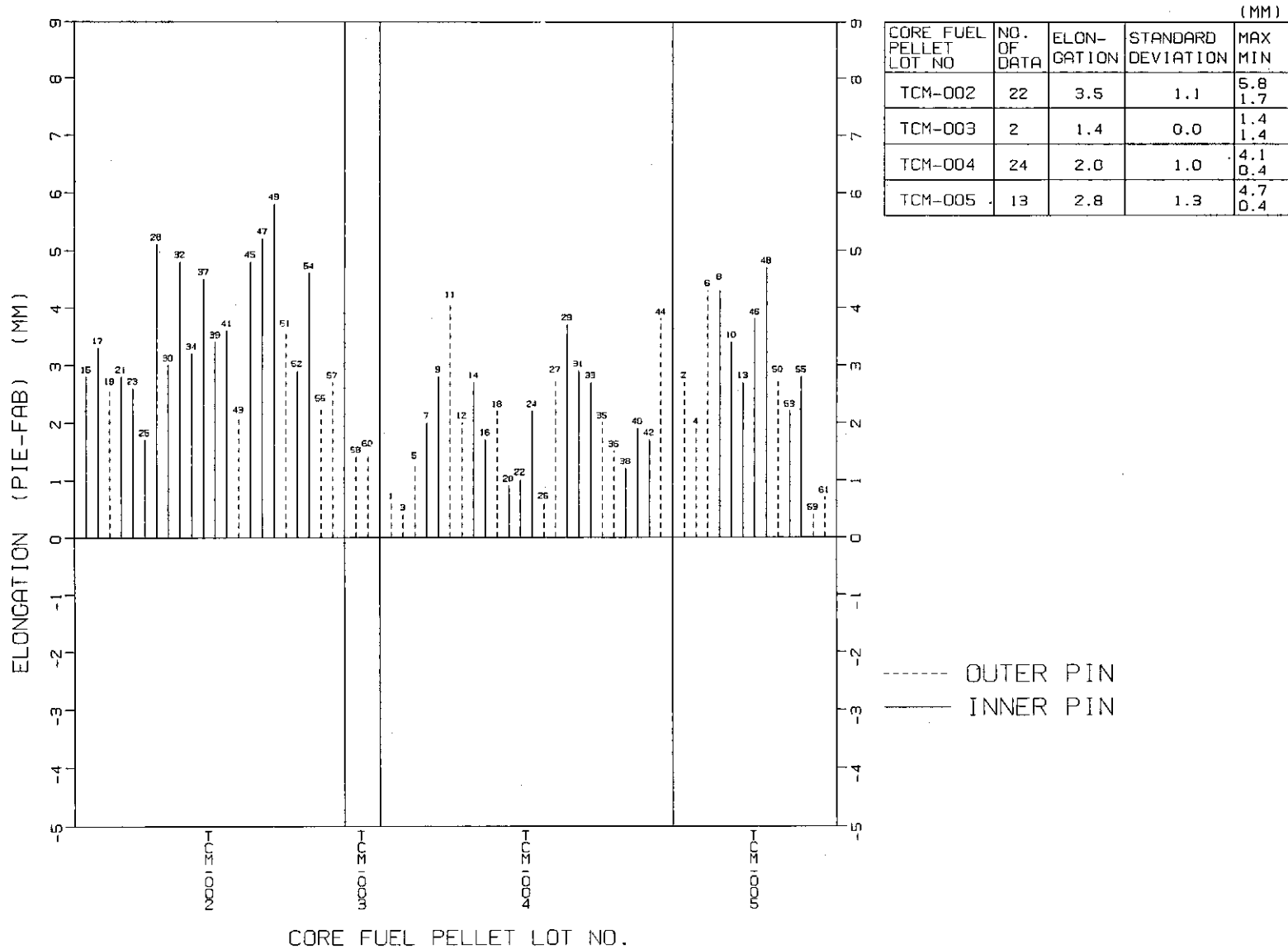


Fig.17 Fuel Stack Length Changes by Fuel Lot No.

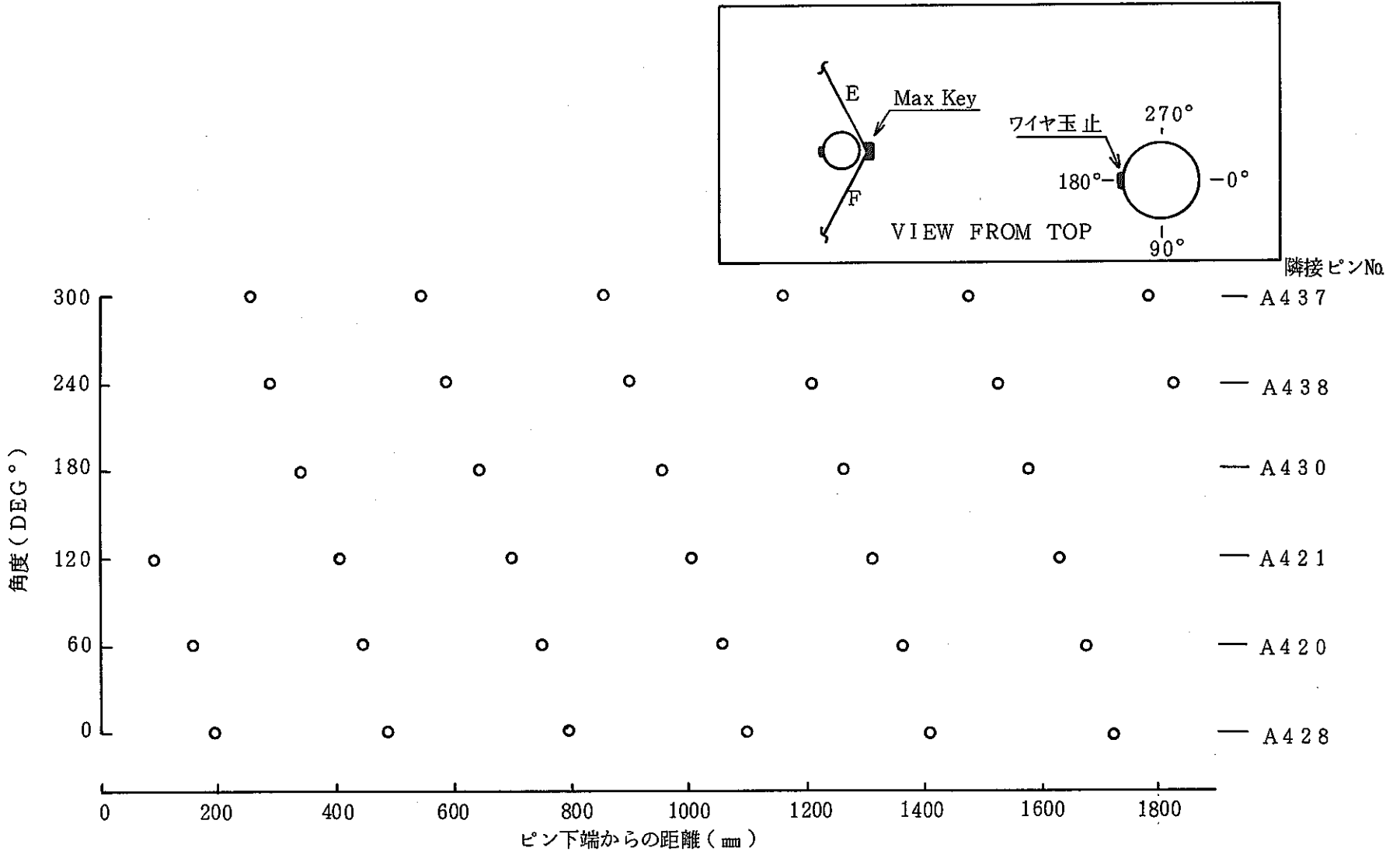


Fig.18 Contact Mark Position of Fuel Cladding Surface (Pin No. A429)

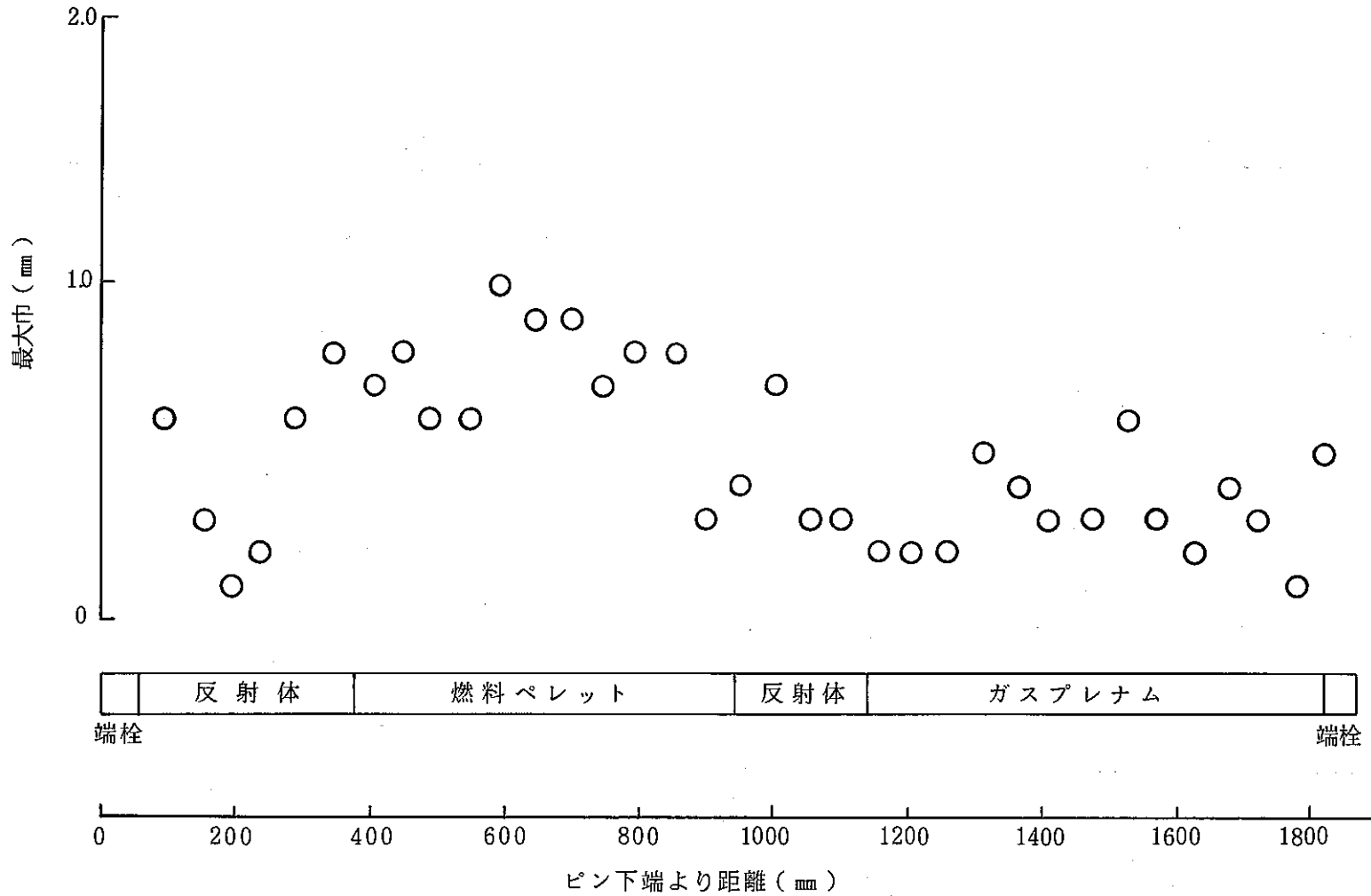


Fig.19 Axial Profile of Contact Mark Maximum Width (Pin No. A429)

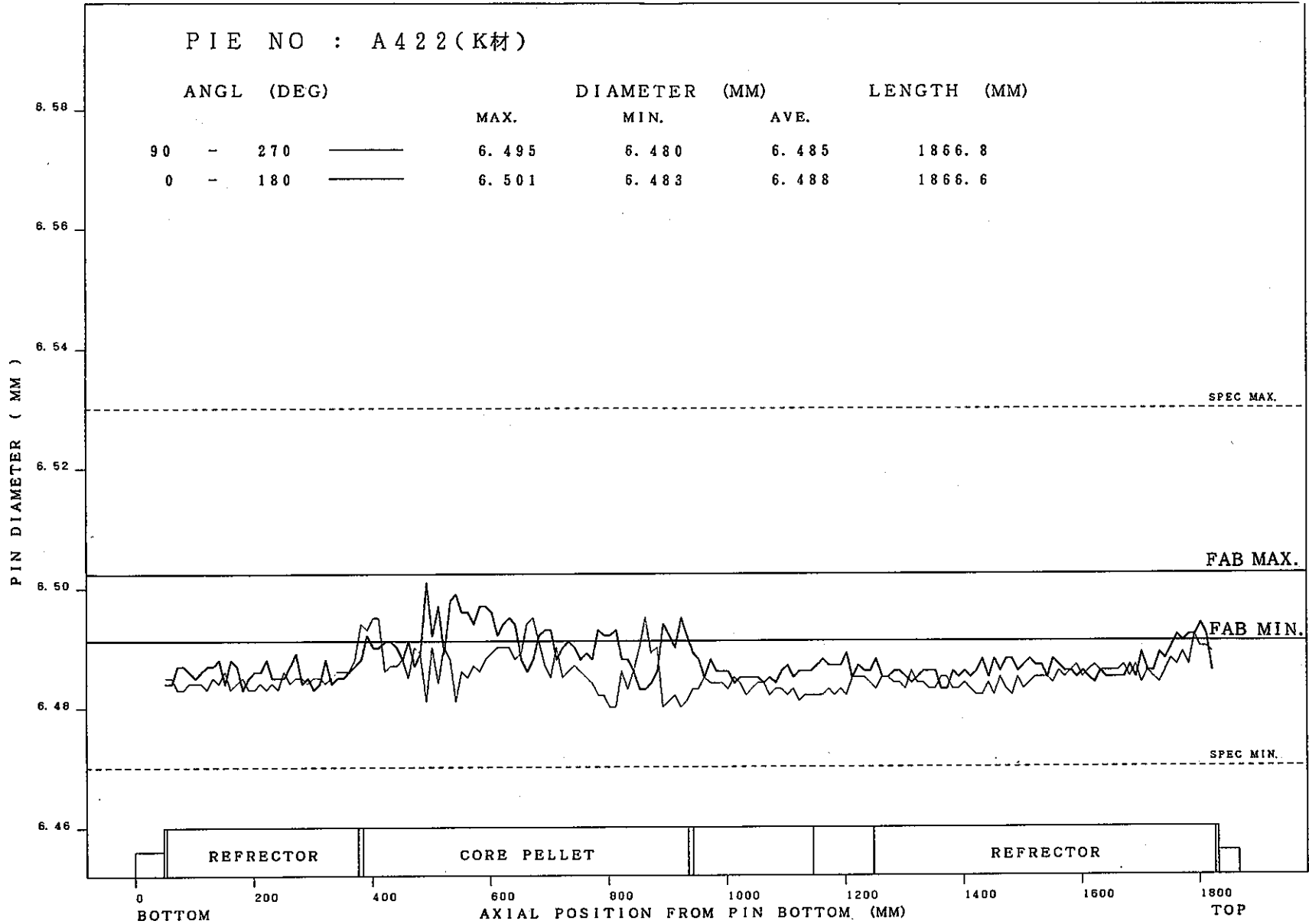


Fig.20 Axial Profile of Fuel Pin Diameter (Pin No. A422)

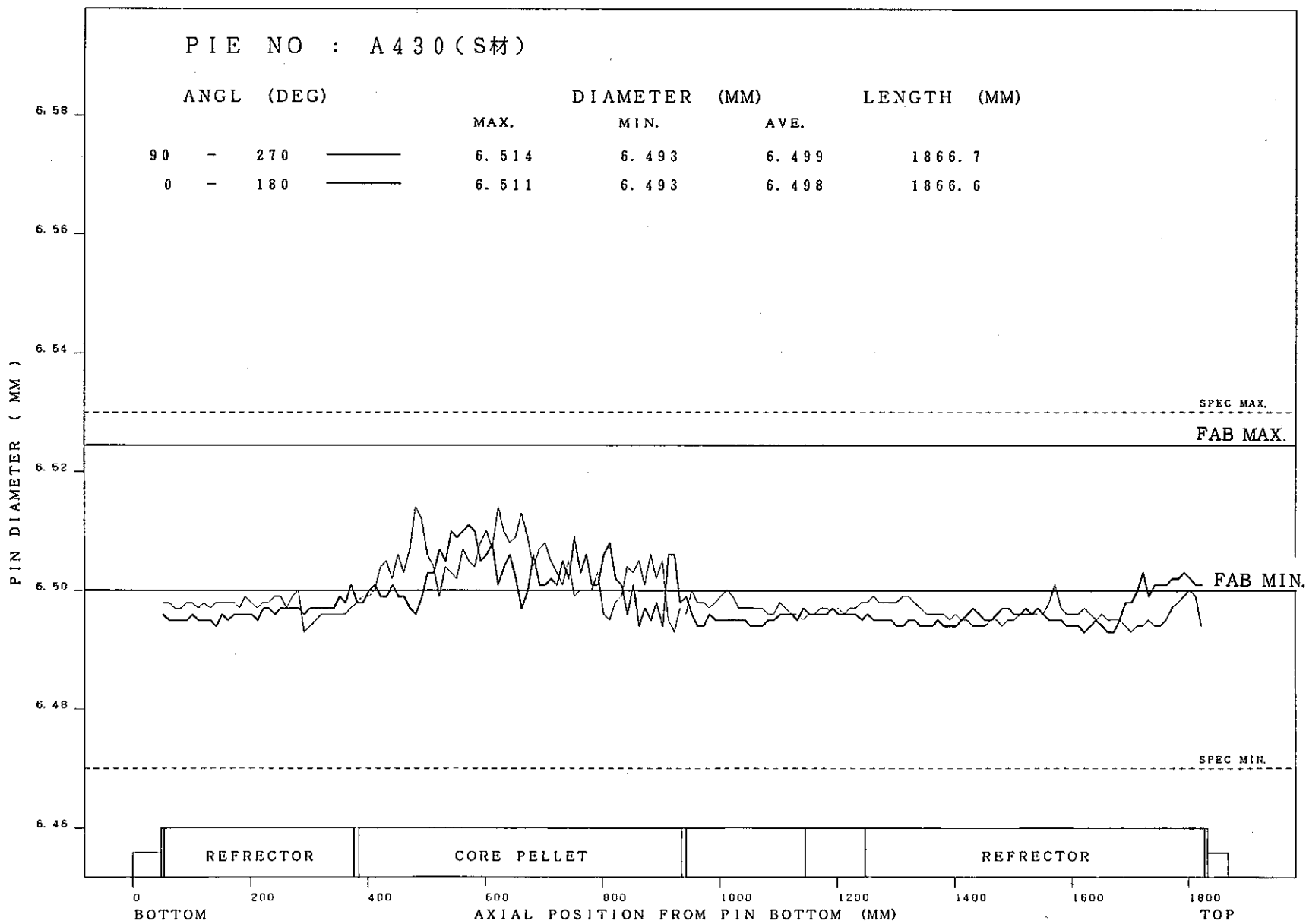


Fig.21 Axial Profile of Fuel Pin Diameter (Pin No. A430)

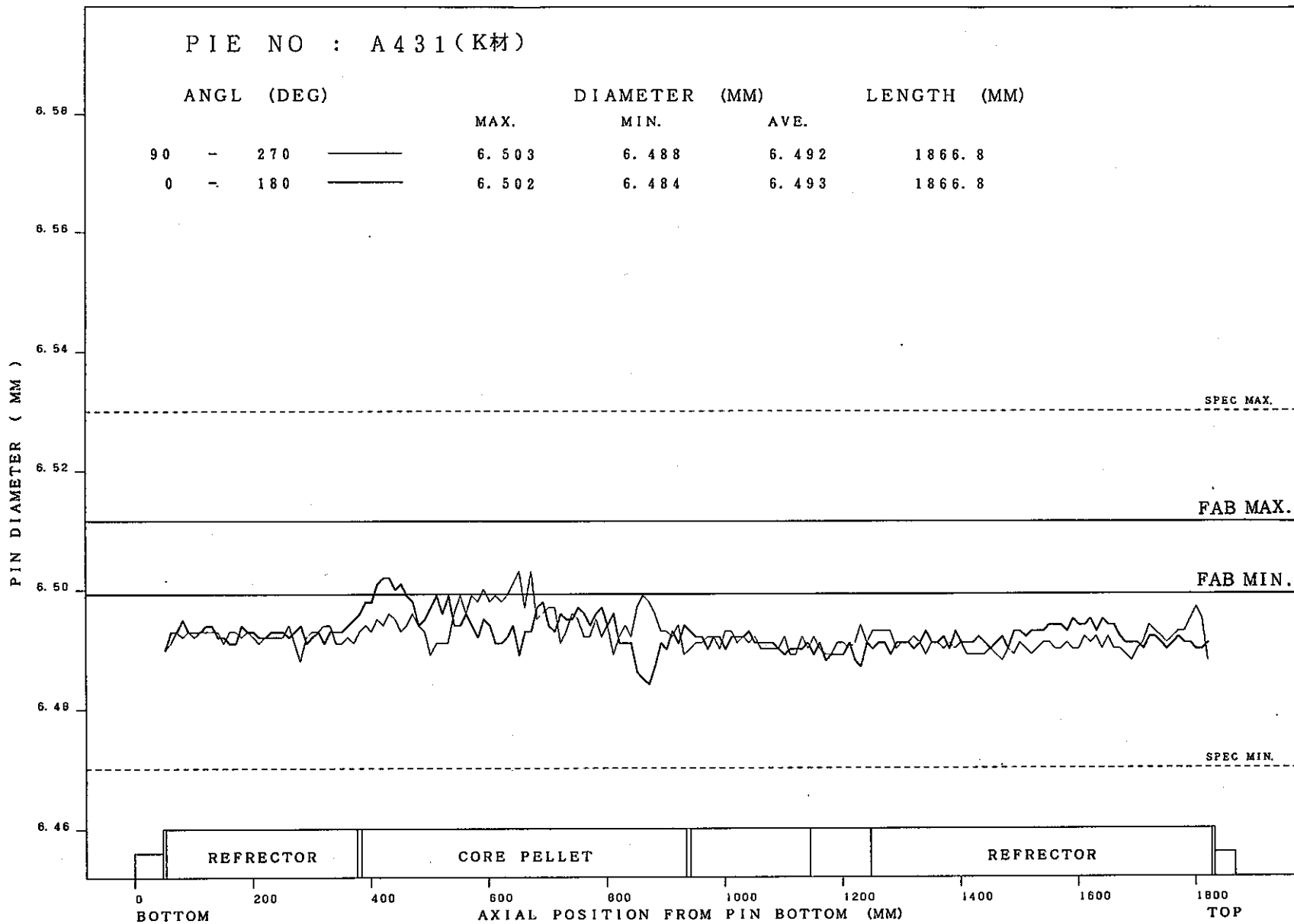


Fig.22 Axial Profile of Fuel Pin Diameter (Pin No. A431)



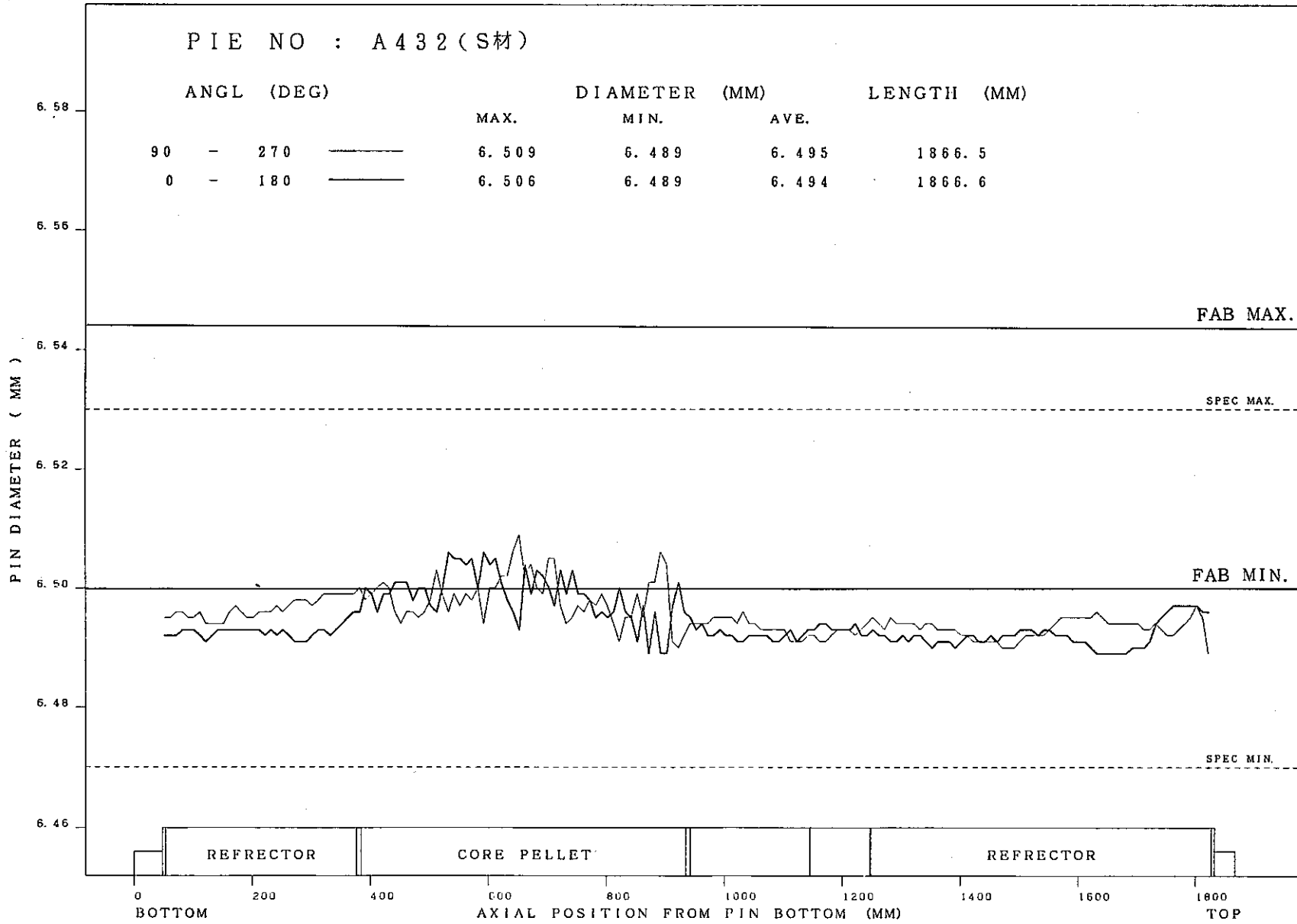


Fig. 23 Axial Profile of Fuel Pin Diameter (Pin No. A432)

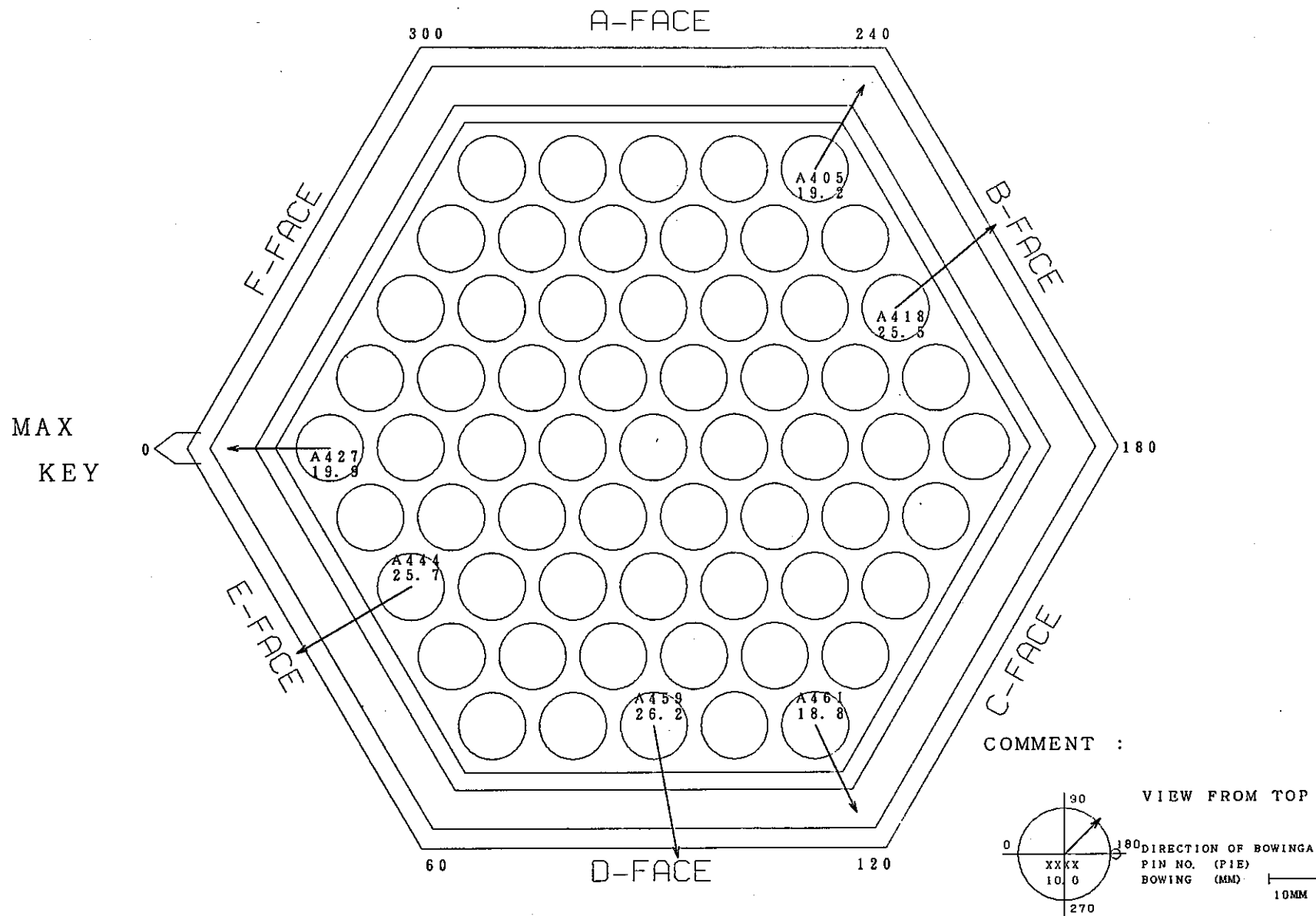


Fig.24 Vectors of Pin Bowing in the Subassembly

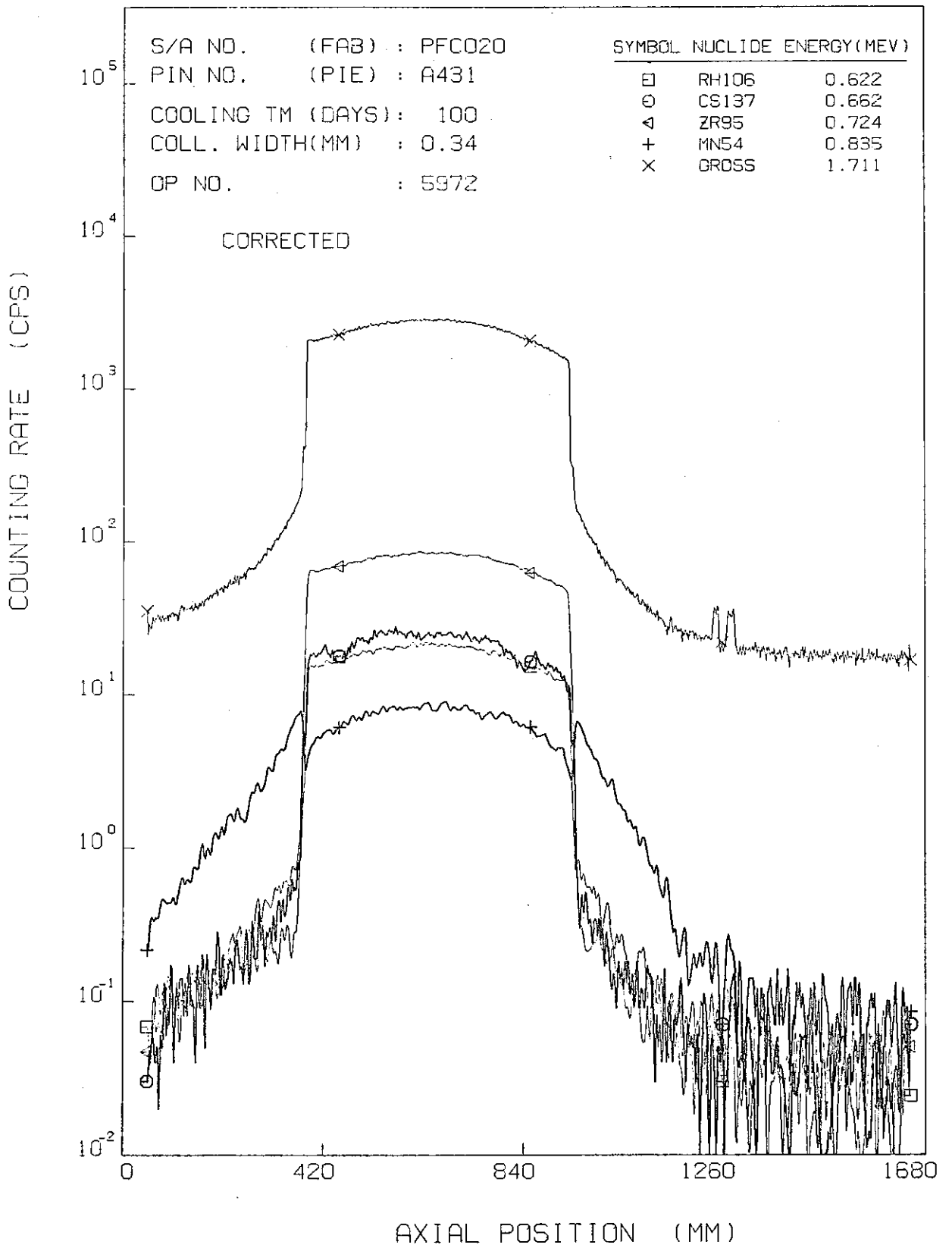


Fig.25 Axial Distribution of Gamma-Ray Intensity of Center Pin

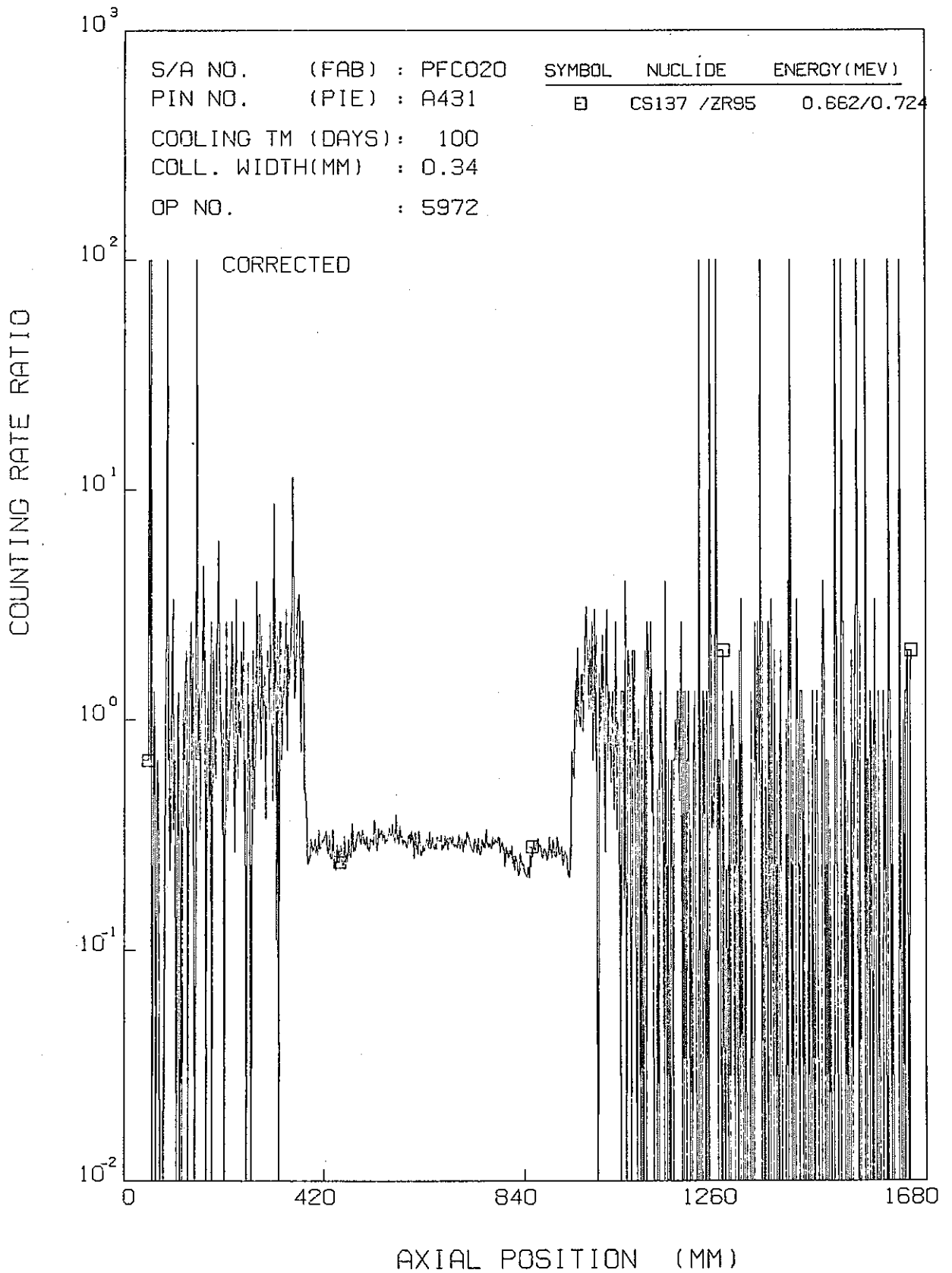
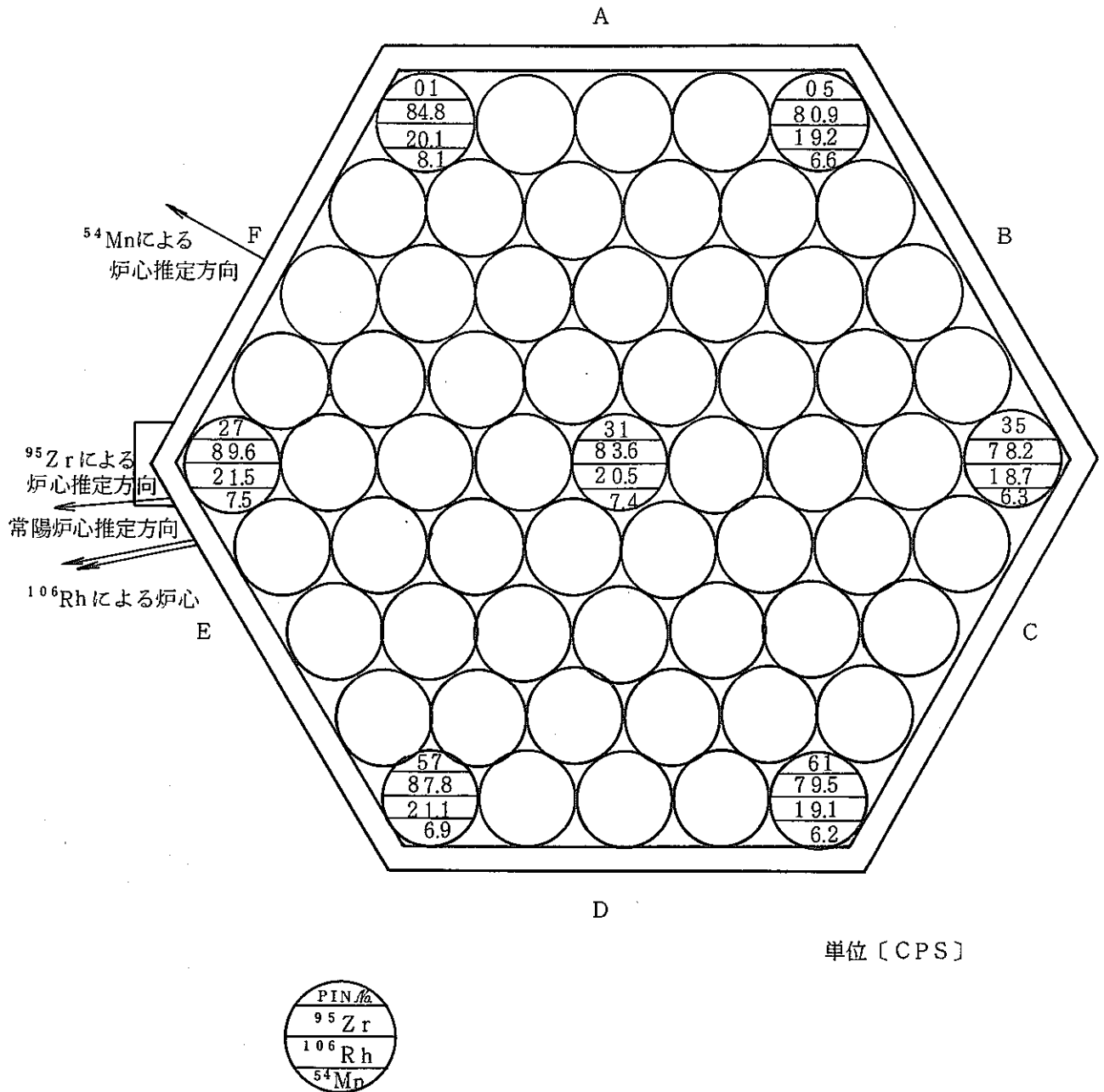


Fig.26 Axial Distribution of Gamma - Ray Count Rate Ratio of Center Pin

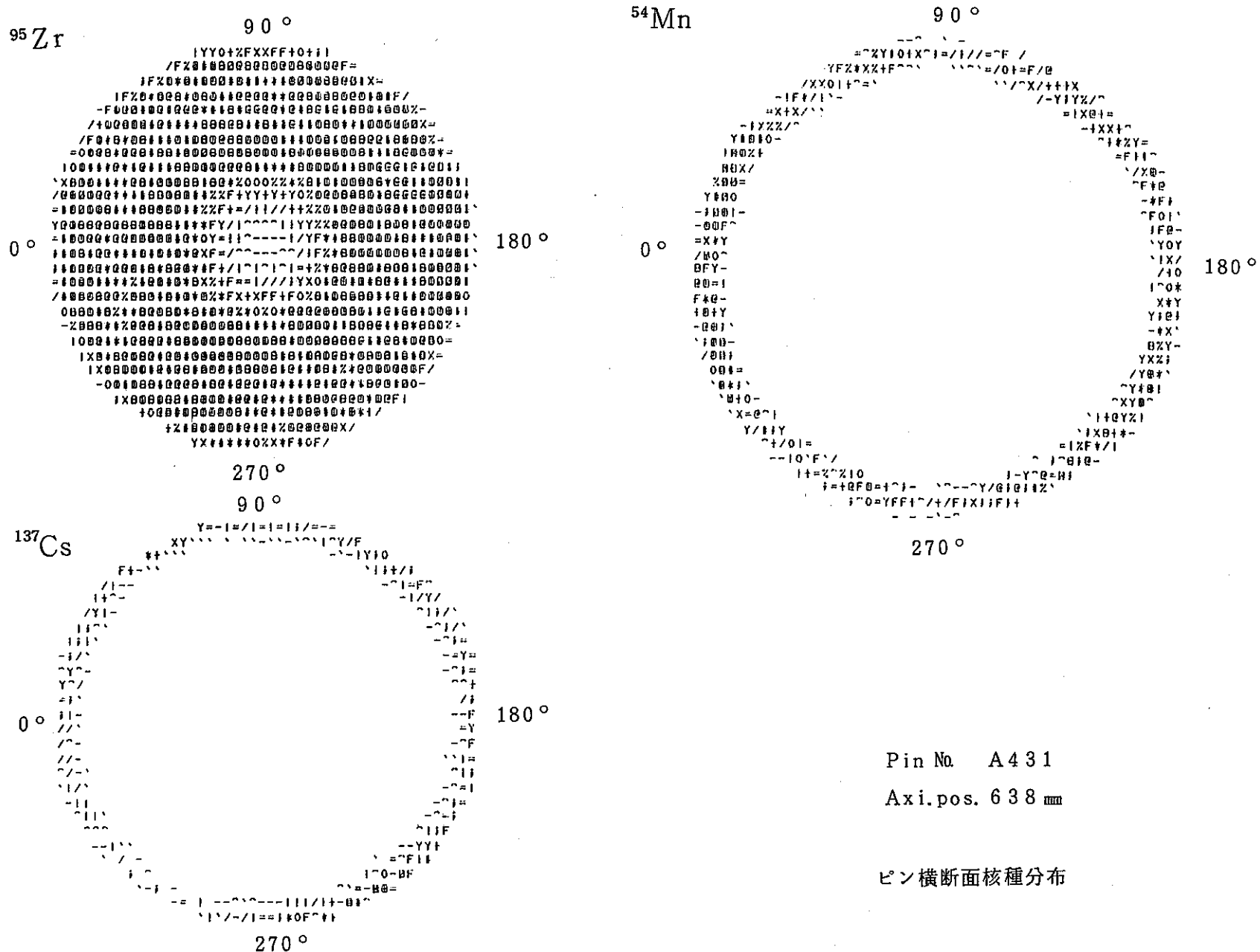
FAB No.: PFC020

PIE No.: A4



単位 [CPS]

Fig. 27 Radial Distribution of Gamma-Ray Intensity in the Subassembly



Pin No. A431  
 Axi.pos. 638 mm

ピン横断面核種分布

Fig.28 Gamma-Ray Emission Tomographs of Radionuclides in the Center Pin

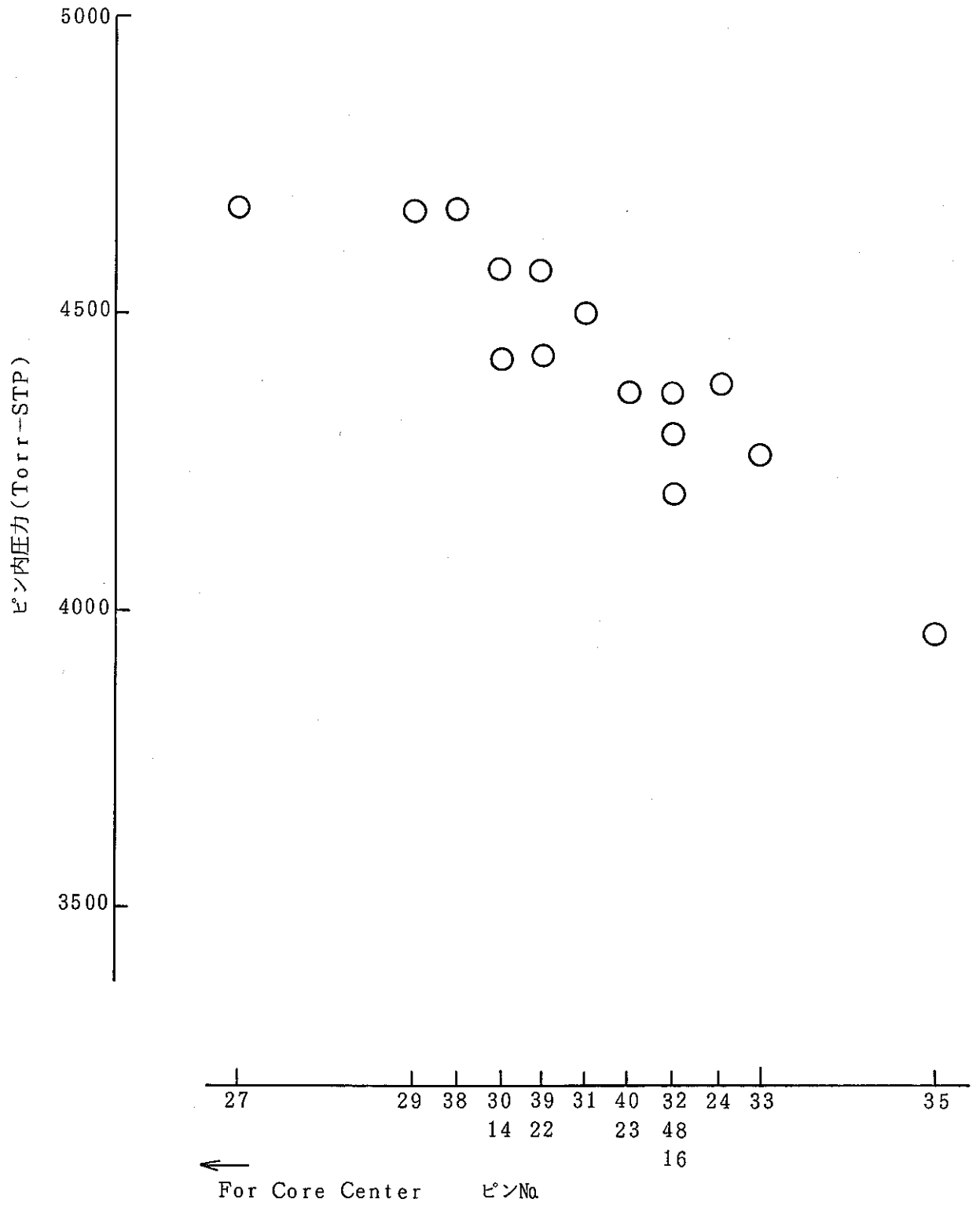
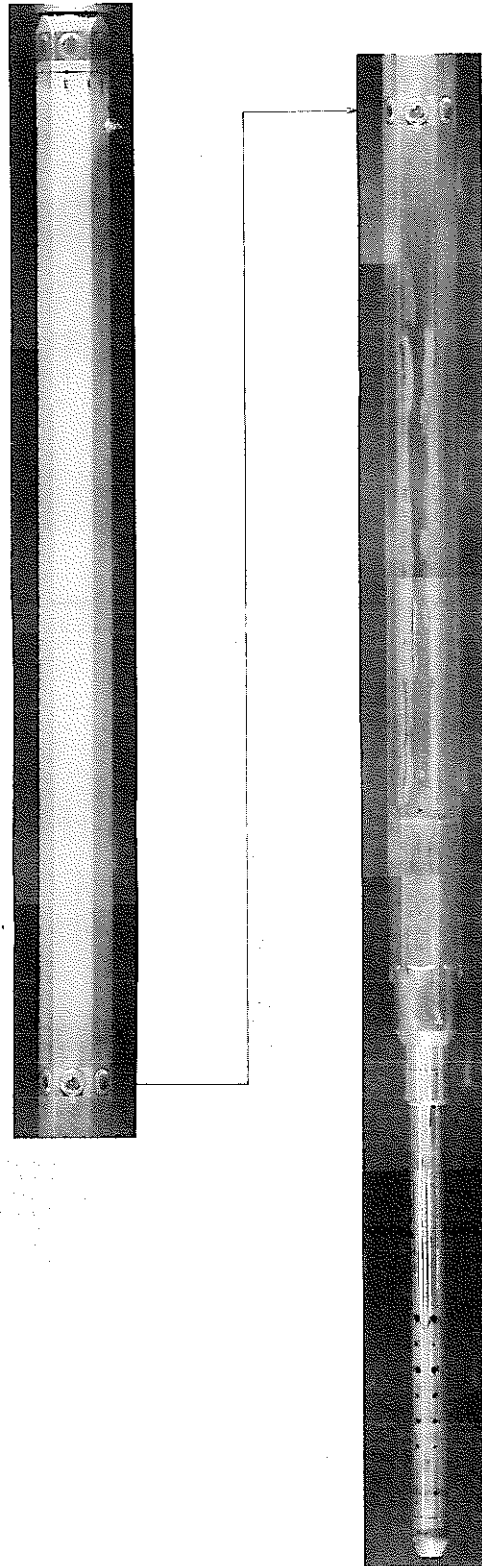


Fig.29 Plenum Gas Pressure of Tested Pins in the Subassembly

**PFC020**



(before)

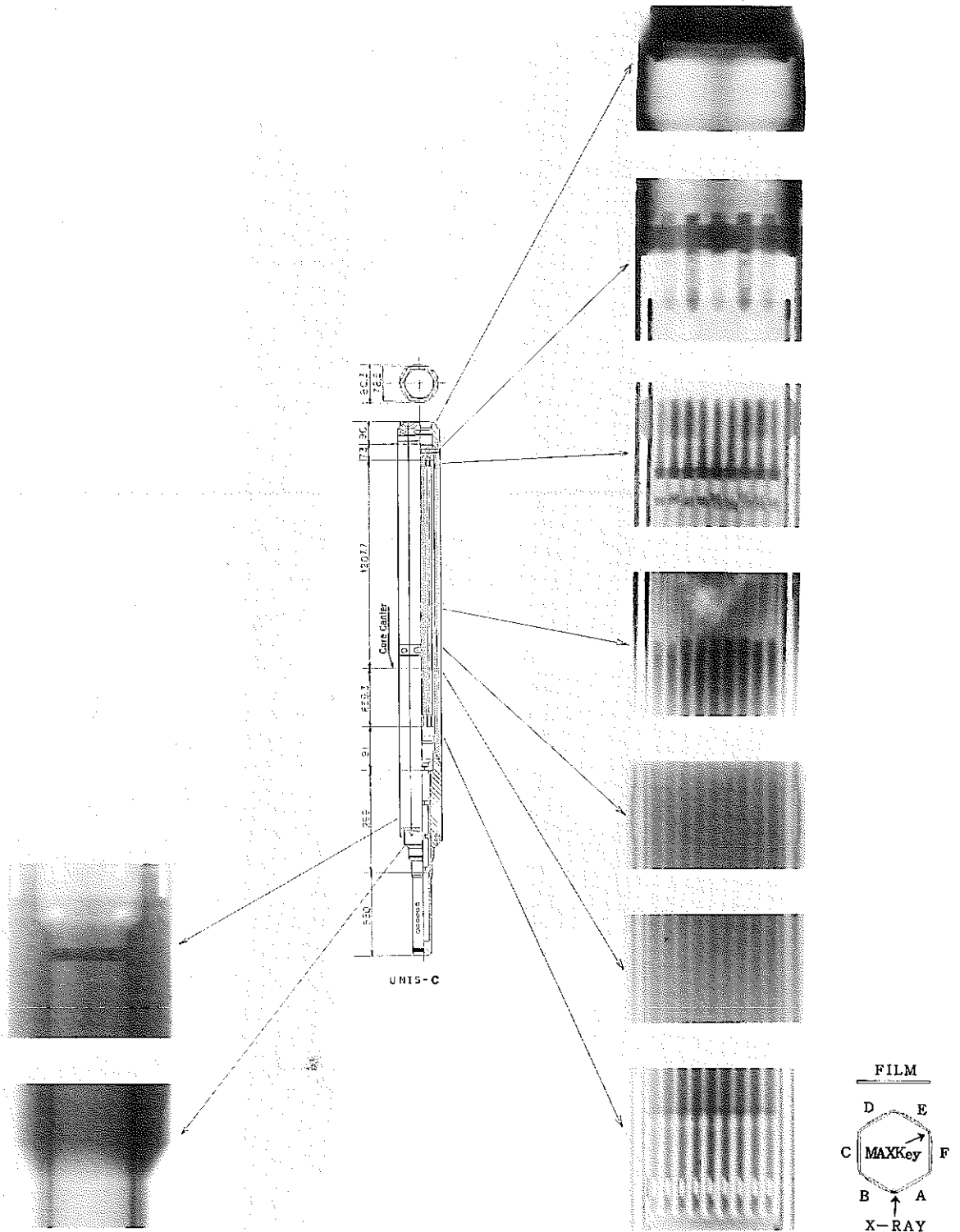
FACE **F**

**F871002**

Photo. 1 Surface Condition of the Subassembly



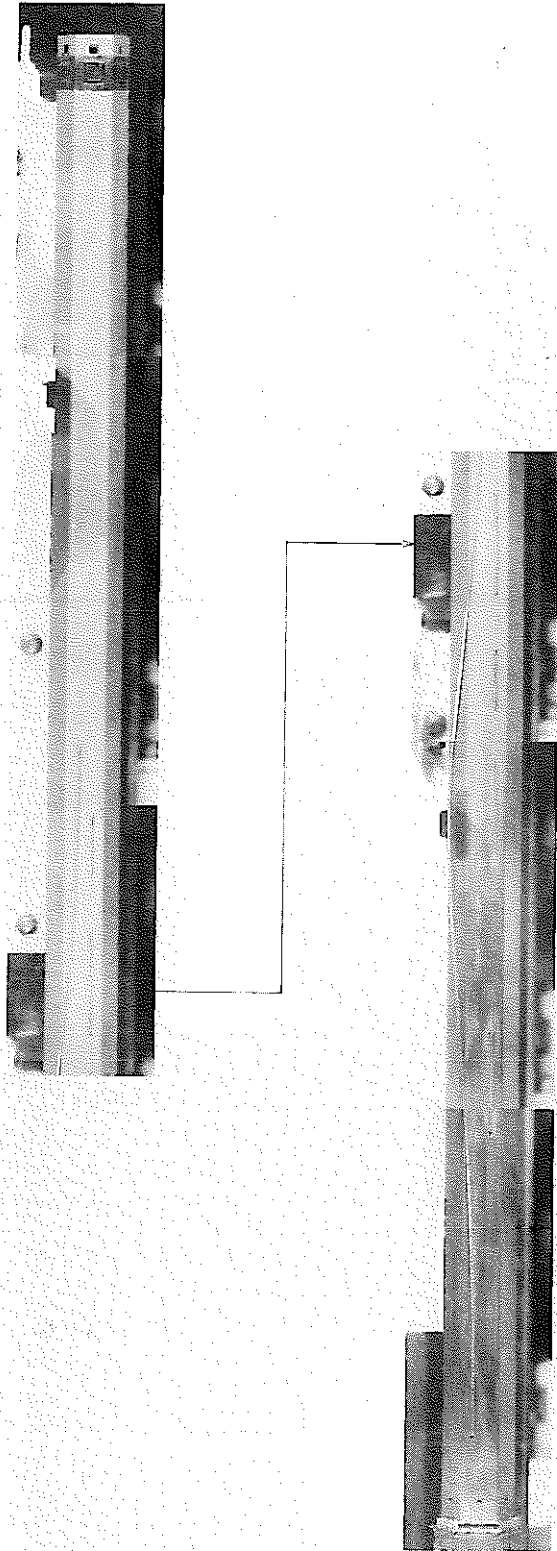
# PFC020



**F872002**

Photo. 2 X-ray Radiographs of the Subassembly

PFC020 A4WI

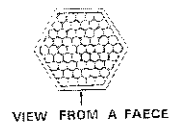
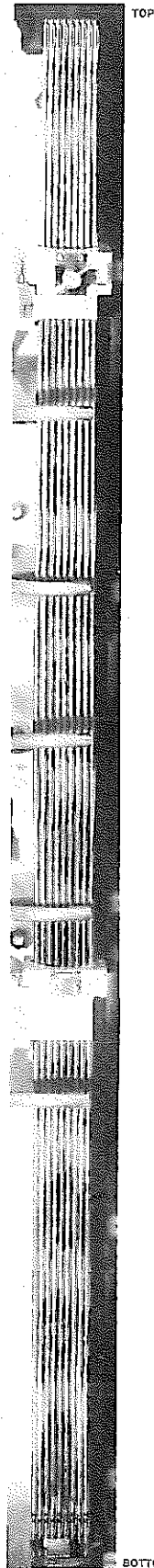
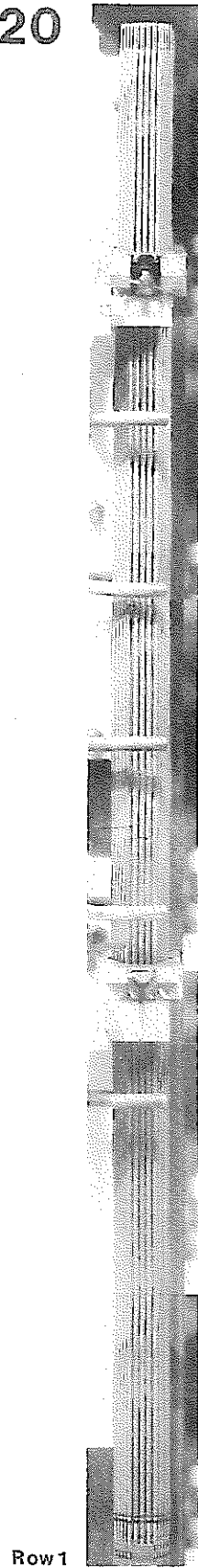


FACE F

F871003

Photo. 3 Surface Condition of the Inner Wrapper Tube

**PFC020**



**F873003**

Photo.4 View of Fuel Pin Bundle  
(Observed after Pulling Out of  
the Inner Wrapper Tube)

Photo.5 View of Fuel Pin Bundle  
(Observed at Stage of  
Dismantling )



Photo. 6 Attachment on Wrapping - Wire

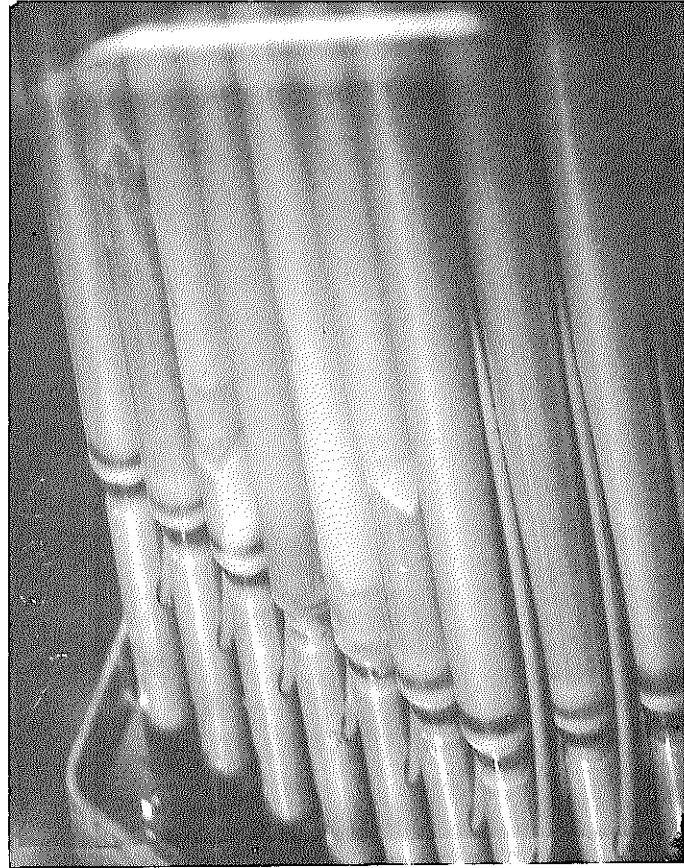


Photo. 7 Discoloration of Fuel Pin Bottom

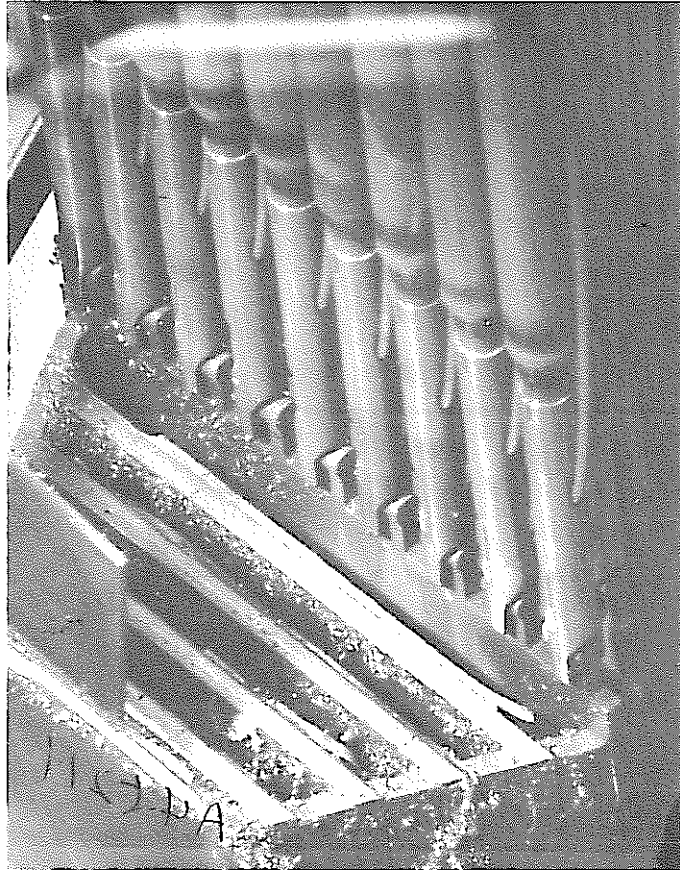
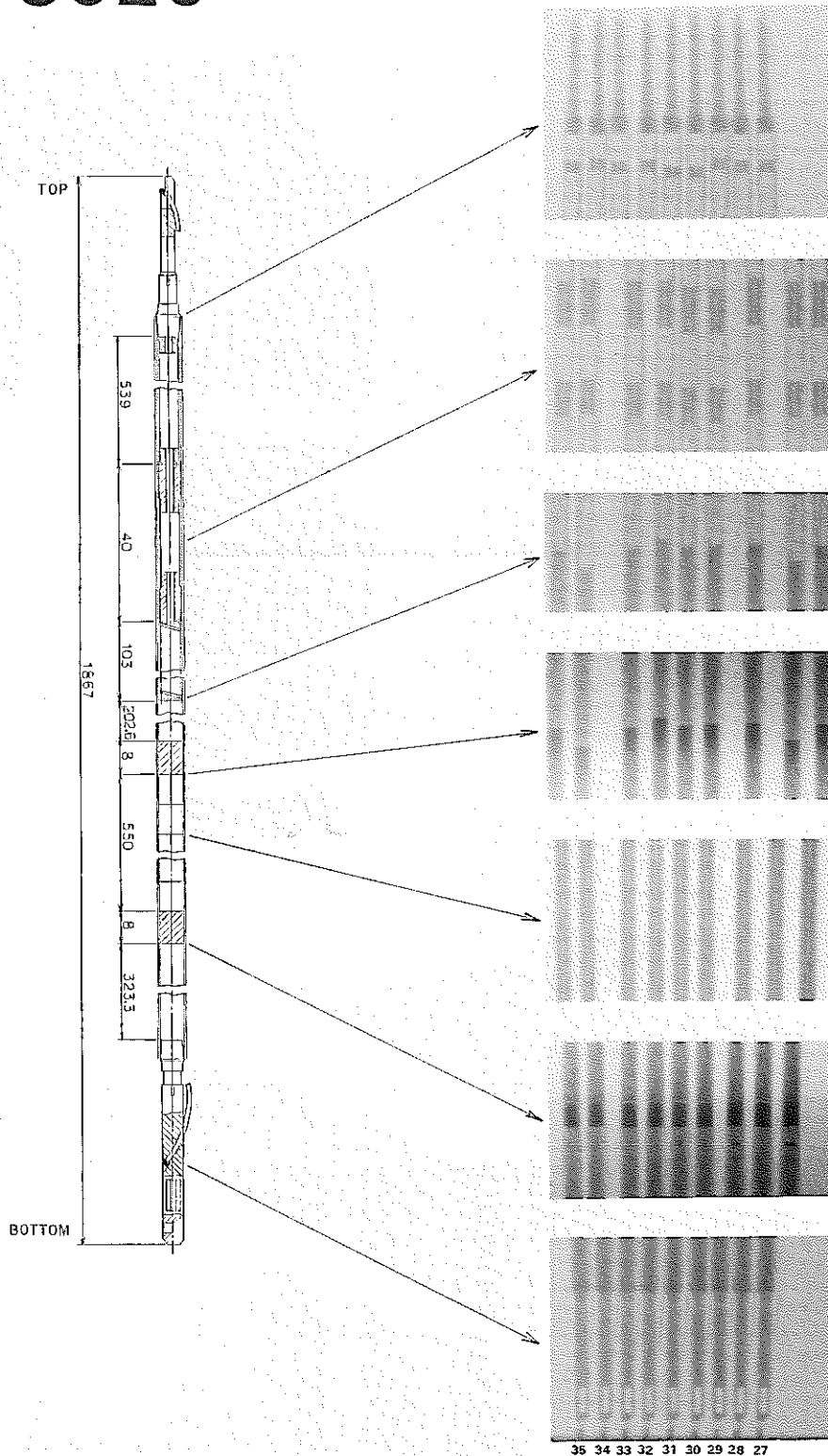


Photo. 8 L Type Fuel Pins Support

# PFC020



**F874003**

Photo.9 X-Ray Radiographs of Fuel Pin

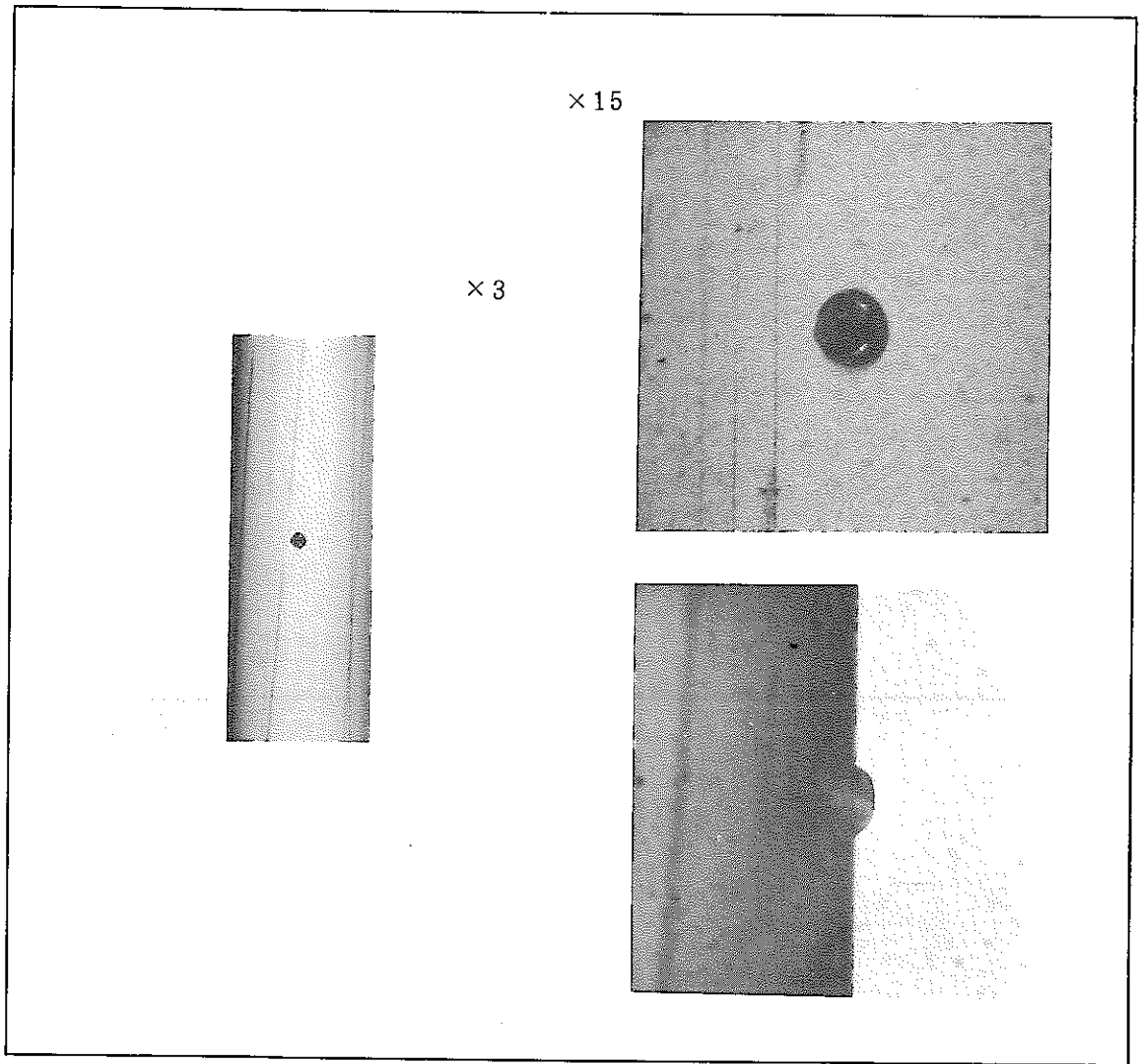


Photo. 10 Black Attachment on the Fuel Pin  
( Pin No. A429 )

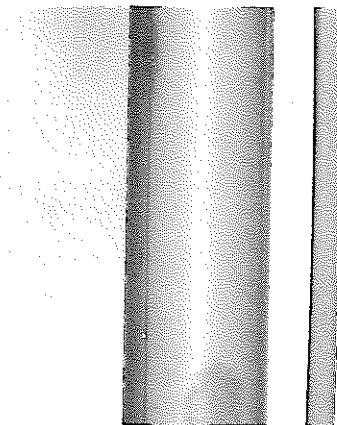


Photo. 11 Wire-Cladding Gap of the Fuel Pin  
( Pin No. A436 )

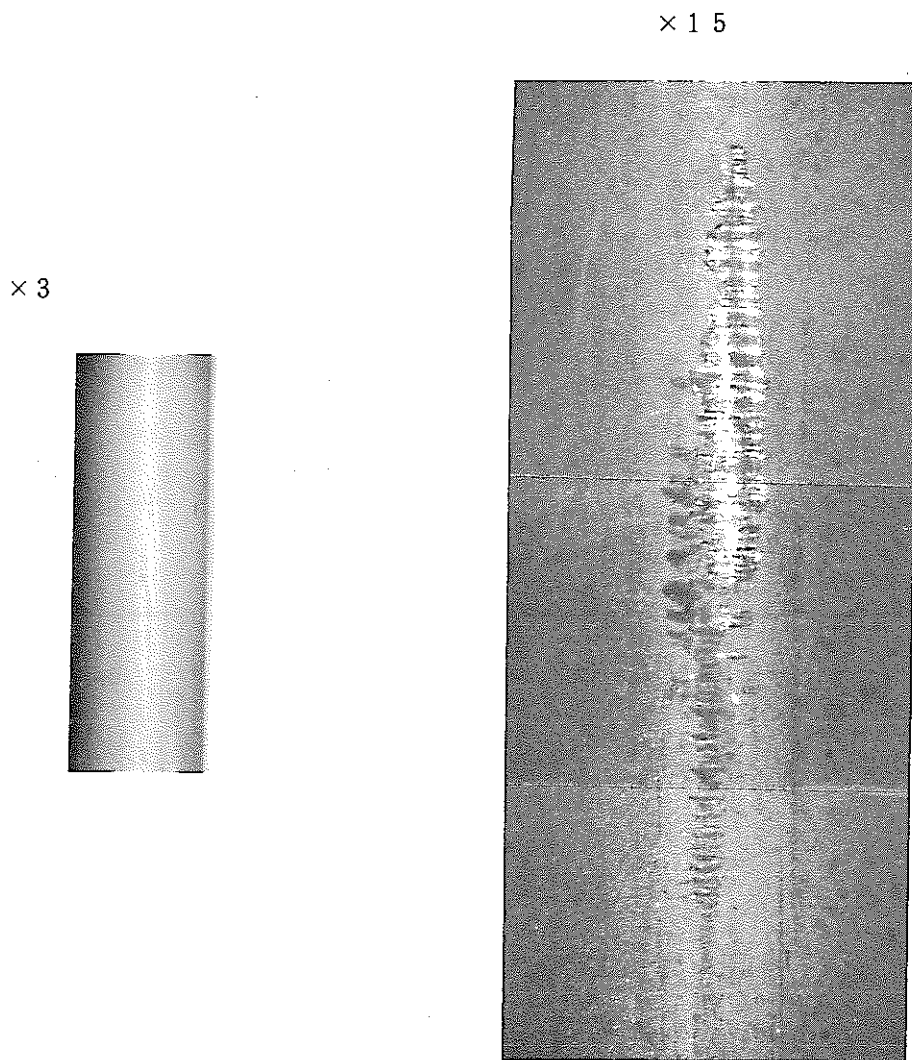
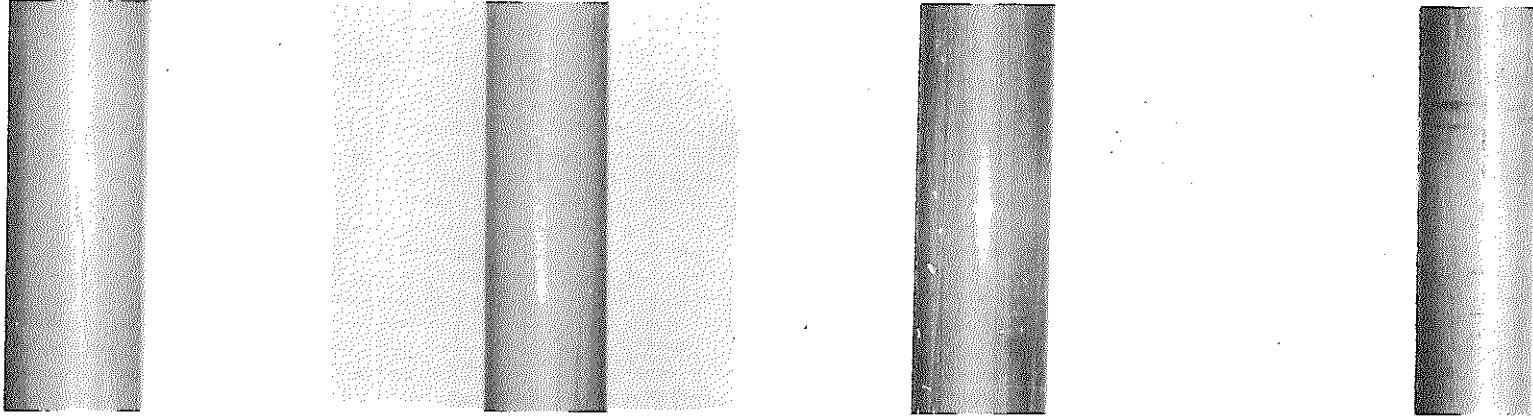


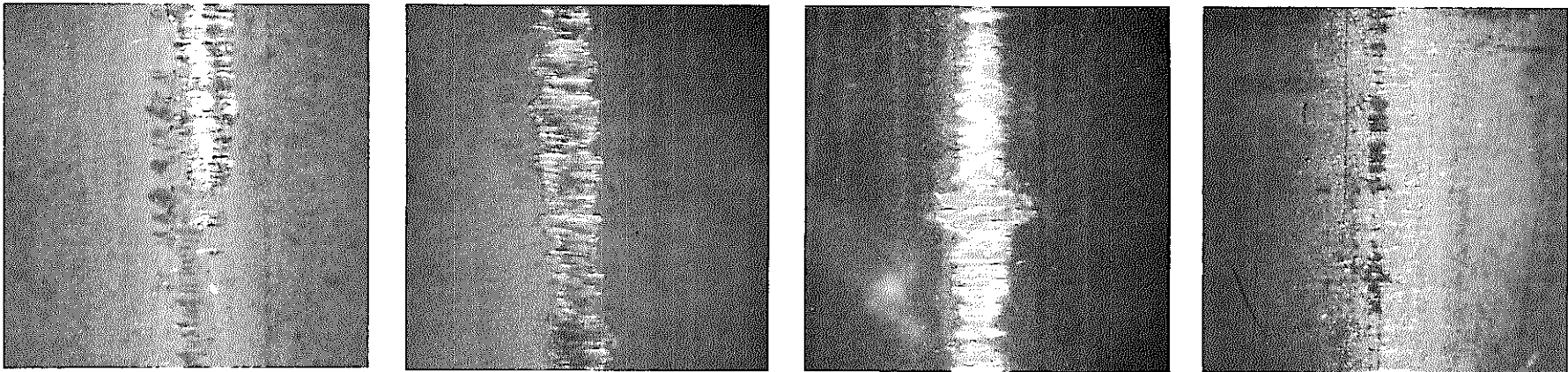
Photo. 12 Contact Mark on the Fuel Pin



× 3



× 15



PFC020(C2M)

PFC010(C1J)

MK-I(PPJ×13)

MK-II(PFD105)

Photo. 13 Contact Mark and Wear Mark on "JOYO" Fuel Pins