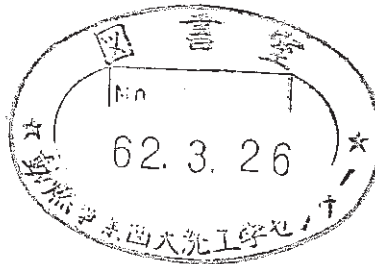


「常陽」MK-II炉心燃料集合体(PFD105)の照射後試験(1)

集合体及び燃料要素の非破壊試験



1987年1月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
T	N9410 87-186
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

「常陽」MK-II 炉心燃料集合体(PFD105)の照射後試験(1)

集合体及び燃料要素の非破壊試験

実施責任者 田地弘勝*

報告者 小泉敦裕* 沖元 豊* 新谷聖法*

要 旨

「常陽」MK-II 炉心燃料集合体「PFD 105」の照射後試験を実施した。本集合体は MK-II 炉出力 100 MW 定格第 3 サイクルから定格第 8 サイクルの間照射されたものであり、第一次取替用の最初の供試体で、かつ初装荷、第一次取替用を通じて最高の燃焼度（集合体平均：48,300 MWd/t）を有している。照射後試験の目的は、集合体及び燃料ピンの健全性を確認すること、擦り痕の発生状況を確認すること及び照射挙動を把握することである。

本試験の結果は下記の通りである。

- (1) 集合体及び燃料ピンには損傷はなく、異常な変形、変色等も認められず炉内挙動は正常であり、炉心燃料集合体の構造体としての設計の妥当性が確認された。
- (2) 被覆管の表面に擦り痕は認められず、観察された接触跡は MK-II 初装荷炉心燃料ピンと同程度のものではあった。
- (3) MK-II 最高燃焼度の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 ラップ管対面間距離変化は MK-I に比べ大きいですが、これは主に冷却材内外圧差の増加による照射クリープ歪が増加したことによるものと考えられる。
 - ② 被覆管の外径は製造時から増加しておらず、被覆管の耐スエリング性は良好であった。
 - ③ F.P. ガス放出率は約 50% で MK-I とほぼ同様な挙動を示し、設計値を十分下回っていた。
 - ④ 初装荷炉心燃料集合体と比較して、照射挙動は大差のないものではあった。

* 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 第一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. 試験結果	4
4.1 試料の取扱い	4
4.2 集合体試験	4
4.2.1 外観検査	4
4.2.2 寸法測定	4
4.2.3 X線ラジオグラフィ	5
4.2.4 中間パッド部詳細外観検査	5
4.2.5 エントランスノズル球面座部外観検査	5
4.2.6 エントランスノズル球面座部詳細外観検査	5
4.3 ピン試験	5
4.3.1 外観検査	5
4.3.2 X線ラジオグラフィ	6
4.3.3 重量測定	6
4.3.4 詳細外観検査	6
4.3.5 寸法測定	6
4.3.6 ガンマスキャン	7
4.3.7 パンクチャテスト	7
5. 結果の検討	9
5.1 集合体及び燃料ピンの健全性	9
5.1.1 集合体の健全性	9
5.1.2 燃料ピンの健全性	9
5.2 接触跡の発生状況	9
5.3 照射挙動	10
5.3.1 ラップ管対面間距離変化	10
5.3.2 ピン外形形状変化	11

5.3.3	スタック長変化	11
5.3.4	ピン内圧及びガス組成	11
5.3.5	F.P. ガス放出率	12
6.	ま と め	13
7.	参 考 文 献	14

List of Tables

Table I	Differences in Specifications of Core Fuel Subassembly between MK-I and MK-II (Second Campaign)	15
Table II	Differences in Specifications of the Core Fuel Pellet	16
Table III	Subassembly Irradiation Conditions	17
Table IV	Pin Parts List	18
Table V	Pin Outer Diameter and Total Length Changes	26
Table VI	Axial Peaking Factors of Subassembly Predicted and Measured by Gamma-Scanning of Fuel Pins	27
Table VII	Radial Peaking Factors of Subassembly Predicted and Measured by Gamma-Spectroscopy of Fuel Pins	27
Table VIII	Core Center Direction Predicted by Gamma-Spectroscopy of Fuel Pins	28
Table IX	Results of Plenum Gas Analysis	29

List of Figures

Fig. 1	Structure of "JOYO" MK-II Second Campaign Core Fuel Subassembly	3 1
Fig. 2	Structure of "JOYO" MK-II Second Campaign Core Fuel Pin	3 3
Fig. 3	Comparison of the P/R for Core Fuel Subassemblies	3 4
Fig. 4	Differences in Structure of Knock-Bar	3 5
Fig. 5	In-Reactor Location of the Subassembly	3 6
Fig. 6	Axial Profile of Burnup of a Center Pin	3 7
Fig. 7	Axial Profile of Linear Heat Rate of a Center Pin	3 8
Fig. 8	Axial Profile of Fuel Temperature of a Center Pin	3 9
Fig. 9	Axial Profile of Fluence and Cladding Temperature of a Center Pin	4 0
Fig.10	Pins Selected for the Examination	4 1
Fig.11	Flow Diagram of Postirradiation Examination of MK-II Core Fuel Subassembly (PFD 105)	4 2
Fig.12	Face to Face Distance of Wrapper Tube of Subassembly (A-D Face)	4 3
Fig.13	Face to Face Distance of Wrapper Tube of Subassembly (B-E Face)	4 4
Fig.14	Face to Face Distance of Wrapper Tube of Subassembly (C-F Face)	4 5
Fig.15	Bowing Vector of Subassembly	4 6
Fig.16	Subassembly Surface Temperature at PIE	4 7
Fig.17	Fuel Stack Length Changes by Pellet Lot No.	4 8
Fig.18	Pin Weight Changes	4 9
Fig.19	Axial Profile of a Fuel Pin Outer Diameter	5 0
Fig.20	Bowing Vectors of Pins	5 1
Fig.21	Axial Distribution of Gamma Ray Intensity of a Center Pin	5 2
Fig.22	Radial Distribution of Gamma Ray Intensity in the Subassembly (^{95}Zr , 0.725 MeV)	5 3
Fig.23	γ -ray Emission Tomographs of Radionuclides in a Center Pin	5 4
Fig.24	Plenum Gas Pressure and Fuel Temperature vs. Location of Pins in Subassembly	5 5
Fig.25	Relation of P/R and L^3/I on the Wear Mark	5 6
Fig.26	Wrapper Tube Face to Face Distance Changes as a Function of the Subassembly Maximum Fluence	5 7
Fig.27	Wrapper Tube Face to Face Distance Change and $1/3$ Swelling Rate at	

	Axial Core Center	58
Fig.28	Pin Outer Diameter Changes of MK-I and MK-II Core Fuel Pin as a Function of Subassembly Maximum Fluence	59
Fig.29	Pin Maximum Bowing as a Function of Subassembly Average Fluence	60
Fig.30	Fuel Stack Length Change of MK-I and MK-II Core Fuel as a Function of Subassembly Average Burnup	61
Fig.31	Plenum Gas Pressure of MK-I and MK-II Core Fuel Pins as a Function of Subassembly Average Burnup	62
Fig.32	Fission Gas Release Rate of MK-I and MK-II Core Fuel Pins as a Function of Subassembly Average Burnup	63
Fig.33	Comparison between Designed and Measured Values of F. P. Gas Release Rate	64

List of Photographs

Photo. 1	Surface Condition of the Subassembly	65
Photo. 2	X-ray Radiography of the Subassembly	67
Photo. 3	Surface Condition of Middle Pad	69
Photo. 4	Surface Condition of Spherical Site of E/N	71
Photo. 5	Condition of Fuel Pin Bundle Observed at each Stage of Disassembling	73
Photo. 6	Construction Condition inside of the Subassembly Observed by X-ray Radiography	75
Photo. 7	Contact Mark on a Fuel Pin	77

1. ま え が き

照射燃料集合体試験室（以下 FMS という）では、「常陽」MK-II 第一次モニタリング計画¹⁾に基づき高速実験炉「常陽」MK-II 照射炉心で照射された初装荷炉心燃料集合体 6 体について^{2)~7)}照射後試験を実施してきた。今回受入れた炉心燃料集合体「PFD 105」は、第一次取替用の最初の供試体であり、集合体平均燃焼度は 48,300 MWd/t と、初装荷、一次取替用を通じて最高の燃焼度を有するものである。

FMS での照射後試験の目的は、集合体及び燃料ピンの健全性を確認すること及び照射挙動を把握することである。また、第一次取替炉心燃料集合体は、寸法公差内ではあるが、実測した結果、ワイヤ径が小さいため初装荷と比べポロシティ/リング比が大きい。そこで、擦り痕の発生状況を確認することも目的の一つとした。FMS では、これらの目的を達成するため、「常陽」MK-II 第一次モニタリング計画を参考にし、より合理的な試験計画を策定し照射後試験を実施した。

尚、本集合体は高速実験炉「常陽」から受入れる 100 体目の集合体である。

2. MK-II 第一次取替炉心燃料集合体の概略

MK-II 炉心燃料集合体は 127 本の燃料ピンを稠密配置で組み、六角形状のラップ管内に装荷したもので、ラップ管上部のハンドリングヘッド部、下方の冷却材導入用エントランスノズル部の主要構造部材から構成されている。燃料ピンは、ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料ペレットを燃料ピン軸方向に長さ 550 mm に渡り装填し、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。また、上部にはステンレス鋼製反射体を配置し上部遮蔽体をつくっている。燃料被覆管は外径 5.5 mm ϕ 、内径 4.8 mm ϕ 、燃料ペレット間直径ギャップは 170 μ m である。MK-II 炉心燃料集合体の仕様を MK-I 燃料と比較して Table I に示す。

MK-II 第一次取替炉心燃料集合体と燃料ピンの構造を Fig. 1 と Fig. 2 に示す。一次取替用では、部材の化学成分を初装荷から一部変更しているが、構造は初装荷とほぼ同一である。しかし、ワイヤの径が初装荷より寸法公差内で若干小さいために、ポロシティ/リング比が大きめになっている。ポロシティ/リング比の比較を Fig. 3 に示す。また、一次取替用では、組棒部のノックバー A と B との点付溶接を省略してある。これを Fig. 4 に示す。

燃料ペレットについては、原料 PuO_2 は、一次取替前半が初装荷と同じ英国の BNFL 製のものを、後半は高比率 ($\text{Pu}/\text{U} = 20/1$) 混合直接脱硝粉を使用している⁹⁾。燃料ペレットの仕様の比較を Table II に示す。尚、本集合体は一次取替前半にあたる。

3. 照 射 条 件

3.1 炉内照射位置

照射最終サイクル（100 MW 定格出力第 8 サイクル）における炉内照射位置を Fig. 5 に示す。

3.2 集合体照射条件

本集合体は、100 MW 定格出力第 3 サイクルから第 8 サイクルまで炉内装荷位置 1 D 1 にて照射された。集合体平均燃焼度は 48,300 MWd/t、線出力は最大 373 W/cm、被覆管最高温度は約 609°C¹⁰⁾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 CODE）による集合体中心ピンの照射条件を Fig. 6～9 に示す。

4. 試験結果

4.1 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、キャスク渡し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線ラジオグラフィを実施したのち、集合体を解体した。解体のピン束切断時に、ロックバーBがロックバーAに点付溶接されていないために、ロックバーBが動き切断しづらかった。

ラップ管については、中間パッド部を切り出し、詳細外観検査を実施した。また、照射材料試験室（MMS）での破壊試験のために試料採取を行った。

エントランスノズルについては、球面座部を切り出し、外観検査、詳細外観検査を実施した。

ピンについては、Fig.10に示す内容で試験を実施した。試験後、部内他室での破壊試験のために試料採取を行った。

PIEのフローをFig.11に示す。また、ピン製造時のデータをTable IVに示す。尚、本集合体の搬入時に、缶内水の分析を実施したが、F.P.核種及び α 放出核種は認められなかった。

4.2 集合体試験

4.2.1 外観検査

外観写真をPhoto.1に示す。

(1) 形状変化

目視観察上は、外形形状に変化は認められなかった。

(2) 表面状況

ラップ管下部溶接部付近、中間パッド部、エントランスノズル部に白色付着物が認められたが、その他には特異な傷、変色等は認められなかった。

4.2.2 寸法測定

集合体の全長、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、集合体の表面温度も測定した。

(1) 全長

照射前の全長（平均）2969.9 mm に対し照射後 2969.2 mm であり、その差 - 0.7 mm は有意差（ ± 1.0 mm）を超えておらず、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

照射後の軸方向対面間距離測定結果を照射前測定結果とともに Fig.12～14 に示す。A-D, B-E, C-F 各 3 対面全てにおいて炉心中心近傍で対面間距離の増加が認められた。増加

量は最大約 400 μm (変化率にして約 0.5%) であり, 以前に受入れた MK-II 初装荷炉心燃料集合体 (PFD 018, PFD 029) と同程度のふくれである。

(3) 曲り

照射後の曲り量は, 上部パッド部において 1.4 mm (曲り方向 180°) であるが, 同位置の照射前の曲り量は 1.2 mm (曲り方向 165°) であり, 照射による曲り量の増加はほとんどないと言える。Fig. 15 に中間パッド, 上部パッド位置での測定結果を示す。

(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て実施した。

集合体表面温度は, 炉心中心付近より上部パッドにおいて, エントランスノズル付近に対し, 約 7°C の上昇が認められた。測定結果を Fig.16 に示す。

4.2.3 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。

4.2.4 中間パッド部詳細外観検査

流力振動の影響を調べるために行った。各面における外観写真を Photo. 3 に示す。

各面にシミ状の変色, パッド部外周付近のザラついた状態が観察された。その他すり傷も認められたが, 腐食, 変形, 剥離等は観察されなかった。

4.2.5 エントランスノズル球面座部外観検査

流力振動の影響を調べるために行った。外観写真を Photo. 4 に示す。

球面座部の中心付近に黒色変色を有した周方向の浅いすり傷が全周に認められた。その他特に異常は認められなかった。

4.2.6 エントランスノズル球面座部詳細外観検査

外観写真を Photo. 4 に示す。

一般外観検査で認められた黒色変色を有する周方向の傷は, 茶色の変色であった。また, 周方向の小さな傷が認められたが, その他特に異常は認められなかった。

4.3 ピン試験

4.3.1 外観検査

ピンの外観をバンドル状態で観察した。観察結果を Photo. 5 に示す。

ピン表面には, 多少のナトリウム化合物の付着が認められた。また, ほぼ全ピンにわたっ

て被覆管表面に隣接ピンのワイヤとの干渉による接触跡が観察されたが、寸法的には小さく初装荷炉心燃料集合体のピンと同等であった。

一方、外周ピンには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。

4.3.2 X線ラジオグラフィ

全ピンのX線写真を撮影した結果、全てのピンにスプリングのへたりが認められた以外は、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.6に示す。

また、燃料スタック長は、照射後では照射前に比べ増加していたピンが多かった。スタック長の変化量は全体で $-0.8\text{ mm} \sim +2.8\text{ mm}$ の範囲にあり、平均で約 0.6 mm の増加量であった。ペレット製造ロット毎では、ロットNo. FM 2105で平均 1.1 mm 、FM 2106で平均 0.4 mm の増加であった。燃料スタック長測定結果をFig. 17に示す。

4.3.3 重量測定

全ピンについて重量を測定したところ、照射前後の重量変化は $-0.4\text{ g} \sim +0.1\text{ g}$ の範囲にあり、有意差($\pm 0.7\text{ g}$)を超えるものは認められなかった。

照射前後の重量変化をFig. 18に示す。

4.3.4 詳細外観検査

ピン5本についてワイヤを取り除いた状態で、被覆管と隣接するワイヤとの干渉による接触跡の観察を実施した。接触跡の大きさは、初装荷炉心燃料集合体のピンに認められたものに比べて全体的に長く、巾については初装荷と同程度であった。最大と思われる接触跡は、A 087ピンに認められた長さ 11.9 mm 、巾 0.7 mm のものである。これをPhoto.7に示す。

4.3.5 寸法測定

対象ピンは、全長及び外径測定5本、曲り測定12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

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

(2) 外径測定

被覆管にはふくれ等の有意な変化は認められない。炉心中心位置近傍における外径の照射前後の変化量をTable Vに示す。軸方向外径プロファイルの代表例としてA 064ピンの測定結果をFig. 19に示す。

(3) 曲り測定

最大曲りはA094ピンの23.9mmであった。曲りはピン束がピア樽状になる方向で、従来と同様の傾向である。測定結果をFig. 20に示す。

4.3.6 ガンマスキャン

(1) 軸方向燃焼分布

集合体コーナープイン6本及び中心ピン1本の計7本について、軸方向スキャンを実施した。中心ピンであるA064ピンの軸方向F.P.核種及び放射化核種の計数率分布を測定した結果をFig. 21に示す。各ピンともF.P.核種の分布に異常は認められず、燃料が健全に燃焼したことが推定される。また、 ^{137}Cs についても軸方向への顕著な移動は認められない。

^{106}Rh , ^{95}Zr , Gross- γ による軸方向ピーキング係数は1.14から1.19であり「MAGI」による計算結果1.161と大体一致する。測定結果をTable VIに示す。

(2) 集合体径方向燃焼分布

集合体コーナープイン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、 γ 線スペクトル測定を実施した。炉心軸方向中心位置での測定結果をFig. 22に示す。径方向ピーキング係数は、軸方向中心位置で ^{95}Zr , ^{106}Rh について1.03の値が得られており、「MAGI」による計算結果1.046と大体一致している。測定結果をTable VIIに示す。また、推定炉心方向は、炉心軸方向中心位置の ^{95}Zr , ^{106}Rh の分布からはE面かF面かは定かではないが、放射化核種の ^{54}Mn , ^{58}Co の結果も考えあわせるとE面であり、「常陽」の推定方向と一致した。各測定位置及び核種の推定炉心方向をTable VIIIに示す。

(3) 燃料ピン径方向燃焼分布 (トモグラフィ)

集合体中心ピンの燃料部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. 23に示す。

^{137}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-被覆管間のギャップに移動蓄積しているのが認められる。 ^{95}Zr の分布では、ペレット中心付近において計数率の落ち込みが認められるため、中心空孔が生じていると推定される。

4.3.7 パンクチャテスト

燃料ピン6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 IXに示す。また、燃料ピン3本についてガス抜きを行った。

(1) プレナムガス圧

プレナムガス圧は、4,230～4,693 Torr (0℃)の範囲であった。測定結果と燃料中心温度との対応をFig. 24に示す。

(2) ガス分析

ガス成分比（モル比）はピン平均で、Kr : Xe : He = 7.2 : 72.9 : 19.8であった。

(3) ガス放出率

ガス放出率は、46.7～50.5%の範囲であった。燃料ピン1本あたりのF.P.ガス生成量（Kr + Xe）は、参考文献11) とほぼ同様な手法を用いて求めた。すなわち、次式で求まる単位燃焼度あたりの燃料ピン内F.P.ガス生成率に燃焼度を乗じて、燃料ピン1本あたりのF.P.ガス生成量を求めた。

$$G = C \cdot \sum_i (R_i \cdot \sum_j Y_{ij}) \cdot W$$

ここで G : F.P.ガス生成率 (atoms/pin/a/o B.U.)

C : 燃焼度-核分裂数換算係数 (fissions/g/a/o B.U.)

R_i : 全核分裂数に占める核分裂性核種 i の核分裂数の割合
(核分裂率) (—)

Y_{ij} : 核種 i の核分裂による F. P. ガス核種 j の核分裂収率 (—)

W : ピン内の燃料の重量 (g)

核分裂率 R_i は次式より求めた。

$$R_i = \frac{N_i \cdot \sigma_i}{\sum_k N_k \cdot \sigma_k}$$

ここで、N_i は核種 i の原子数密度であり、MAGI CODE の照射前と照射後のサイクルの値の平均値を用いた。σ_i は核種 i の核分裂断面積であるが、参考文献 21) で 1 群に縮約した値を使用した。また、燃焼度は各ピンについて ESPRIT-J CODE の値を使用した。

5. 結果の検討

5.1 集合体及び燃料ピンの健全性

5.1.1 集合体の健全性

集合体に関しては、パッド部などに多少擦り傷はあるが、変形、破損等は認められず外観は良好であった。寸法変化のうち、曲りについては照射前後でほとんど変化は認められないもののラップ管炉心中心付近で対面間距離に最大約 400 μm の増加が認められた。しかし、この増加量は、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。また中間パッド部の外観には特に異常は認められず、また炉心からの脱荷も問題なく行われており、集合体は健全であったと判断される。

ピンバンドルに関しては、外周燃料ピンがピア樽形状に観察されたが、バンドル配列の乱れ、ピン支持構造の異常、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。ワイヤのゆるみが認められないのは、MK-II でワイヤ材料の冷間加工度を被覆管と同じ 20 % に変更した効果と推定される。

5.1.2 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 α 放出核種が検出されなかったこと、及びピン重量測定で有意な重量変化のなかったことから、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認められなかった。

燃料ピンの軸方向の燃焼については、ガンマスキャンの結果から燃料の出力分布を示す ^{106}Rh 、 ^{95}Zr 等が炉心燃料部の軸方向に連続的なカーブを描き、炉内では中性子束分布通りに燃焼していたことが確認された。また集合体径方向の燃焼分布についても、ガンマスキャンの結果から算出したピーキング係数は約 1.03 で「MAGI」による計算結果 1.046 と大体一致しており、ほぼ予測通りの燃焼分布勾配であったと考えられる。

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。

5.2 接触跡の発生状況

MK-I 炉心燃料ピンでは流力振動に起因する被覆管とラッピングワイヤとの相互作用により擦り痕が発生した。そこで MK-II ではラッピングワイヤピッチを 266 mm から 209 mm に、またバンドルのタイトさを示すポロシティ/リング比を MK-I の 0.175 mm から 0.127 mm と、よりタイトに製造するように設計変更を行った。そのため MK-II 初装荷炉心燃料ピンに

は擦り痕は認められず、単なる接触によって生じた接触跡が認められるのみで設計の妥当性が確認された。MK-II 一次取替用は、初装荷用と比べて寸法公差内ではあるがワイヤの径が小さいためポロシティ/リング比が大きくなっている。本集合体の場合ポロシティ/リング比は約 0.145 mm であり、Fig. 25 に示すように擦り痕の発生している領域に近い領域に擦り痕の発生が懸念されていた。しかし、ピンの外観検査及び詳細外観検査の結果から、MK-I で認められた擦り痕は認められず、単なる接触跡であった。このことから、Fig. 25 で擦り痕の発生する領域と発生しない領域の境界がより明らかとなり、擦り痕の面からの集合体の設計の妥当性を評価するのに Fig. 25 が十分利用できるものと考えられる。

5.3 照射挙動

初装荷、一次取替用を通じて最高の燃焼度まで到達した炉心燃料集合体の照射挙動について、既に照射後試験を実施した炉心燃料集合体の挙動も含めて以下にまとめる。

5.3.1 ラップ管対面間距離変化

Fig. 26 に炉心中心位置における MK-I 及び MK-II 炉心燃料集合体ラップ管の対面間距離変化量を集合体最大中性子照射量で整理して示す。中性子照射量の小さい範囲では対面間距離の増加量は小さく MK-I と MK-II に大きな差は見られない。しかし、 $5 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ ($E \geq 0.1 \text{ MeV}$) を超える照射量あたりから明らかな対面間距離の増加を示し、MK-II では MK-I の増加量を上回っている。

ラップ管対面間距離の増加は、材料のスエリングと照射クリープによる影響と考えられている。Fig. 27 は MK-I, MK-II のラップ管対面間距離の変化率と密度測定結果による $1/3$ スエリング率の照射量依存性を示しており、この差が照射クリープ歪の寄与分と考えられる。この図から MK-I では、スエリング歪と照射クリープ歪がほぼ同程度であるが、MK-II では、スエリング歪は大體 MK-I と同程度であるが、照射クリープ歪が MK-I と比較して増加している。照射クリープの主要な要因は冷却材内外圧差であり、例えば炉心第 0 列の軸方向炉心中心位置では MK-I で約 0.6 Kg/cm^2 、MK-II では約 1.6 Kg/cm^2 である。¹³⁾したがって MK-II でラップ管対面間距離の増加量が MK-I を上回ったのは、主に冷却材内外圧差が増加したことによる照射クリープ歪の増加が主な原因と考えられる。

ラップ管対面間距離の増加に及ぼす材料のスエリング特性、照射クリープ特性については FMS の行う非破壊試験結果からは正確に評価することはできない。MK-II のラップ管は耐スエリング性を旨とし冷間加工度を MK-I の 10% から 20% に増加しているが、Fig. 27 からはその効果はあまり読み取ることができない。これに関しては、照射履歴、ロットの違いも考慮し検討していくと共に、スエリング歪のデータを拡充していく必要があると考えられる。

5.3.2 ピン外形形状変化

(1) 被覆管外径

Fig. 28 に被覆管外径変化率の中性子照射量依存性を MK-I 炉心燃料ピンと比較して示す。MK-I 炉心燃料ピンでは使用末期で若干の外径増加が認められたが、MK-II 炉心燃料ピンには本集合体も含めて外径に増加は認められない。このことは、被覆管の冷間加工度を MK-I の 10% から 20% に増加させたことにより耐スエリング性の改善が図られたことを示している。MK-II 炉心燃料被覆管の使用末期 (約 $8 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ ($E \geq 0.1 \text{ MeV}$)) の最大膨張量は約 3% と考えられていたが、¹⁴⁾ 実測値はこの値を十分下回っていた。

(2) 残留湾曲量

Fig. 29 にピン残留湾曲量の中性子照射量依存性を示す。ピン残留湾曲量は中性子照射量の増加に伴い増加していく傾向にあるが、照射量が大きくなると MK-II では MK-I よりも若干残留湾曲量が小さい傾向である。これは、MK-II ピンが MK-I に比べ短尺であることが関与しているものと考えられる。

5.3.3 スタック長変化

Fig. 30 に燃料スタック長変化量 (集合体ごとの平均値) の燃焼度依存性を MK-I 炉心燃料と比較して示す。MK-I 炉心燃料では低燃焼度での燃料スタック長の減少量は小さいが、MK-II では顕著に減少する傾向が見られた。

また本集合体では、ペレット製造ロットによりスタック長変化量の違いが認められた。この傾向は照射後試験を実施した MK-II 初装荷炉心燃料集合体のうち「PFD 001」, 「PFD 018」にも認められた。スタック長変化のペレットロット依存性については現在調査中であるが、ペレット密度、結晶粒径、気孔径分布等の違いがロット間の差として現れているのではないかと推定される。

5.3.4 ピン内圧及びガス組成

Fig. 31 にピン内圧の燃焼度依存性を MK-I 炉心燃料と比較して示す。MK-II 炉心燃料のピン内圧は燃焼度の増加に伴い増加していく傾向を示している。MK-I と比較すると、同一燃焼度でも内圧は低いが、これはピン 1 本あたりの核分裂性物質の重量が MK-I よりも小さいこと、及び MK-II では燃料に対してプレナム容積が大きく設計されているためと考えられる。MK-II 炉心燃料ピンの使用期間末期における内圧は約 50 Kg/cm^2 と評価されているが、¹⁴⁾ 本集合体で測定されたガス圧の最大値 $4,693 \text{ Torr}$ (0°C) は運転中 (約 600°C) に換算すると約 20 Kg/cm^2 であり設計値を十分下回っている。

また、本集合体で測定されたピンのガス組成で Xe/Kr 比は約 10.1 であり、¹⁵⁾ 計算値 10.2 と大体一致していた。

5.3.5 F.P. ガス放出率

Fig. 32 に F.P. ガス放出率の燃焼度依存性を MK-I 炉心燃料と比較して示す。MK-II 炉心燃料は MK-I と同様に、燃焼度の増加に伴い F.P. ガス放出率も上昇していく傾向が見られる。Fig. 33 は MK-II 炉心燃料の F.P. ガス放出率を設計使用カーブと比較したものである¹⁴⁾が、実測値は設計値を下回っており設計が妥当であったことが確認された。

6. ま と め

「常陽」MK-II 照射炉心で 100 MW 定格第 3 サイクルから定格第 8 サイクルの間照射された炉心燃料集合体「PFD 105」の照射後試験を実施した。本集合体は第一次取替用の最初の供試体であり、初装荷、第一次取替用を通じて最高の燃焼度（集合体平均：48,300 MWd/t）を有する集合体である。

本試験の結果は下記の通りである。

- (1) 集合体及び燃料ピンには損傷はなく、異常な変形、変色等も認められず炉内挙動は正常であり、炉心燃料集合体の構造体としての設計の妥当性が確認された。
- (2) 被覆管表面に擦り痕は認められず、観察された接触跡は MK-II 初装荷炉心燃料ピンと同程度のものではあった。
- (3) MK-II 最高燃焼度の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 ラップ管対面間距離変化は MK-I に比べ大きいですが、これは主に冷却材内外圧差の増加による照射クリープ歪が増加したことによるものと考えられる。
 - ② 被覆管の外径は製造時から増加しておらず、被覆管の耐スエリング性は良好であった。
 - ③ F.P. ガス放出率は約 50 % で MK-I とほぼ同様な挙動を示し、設計値を十分下回っていた。
 - ④ 初装荷炉心燃料集合体と比較して、照射挙動は大差のないものではあった。

7. 参 考 文 献

- 1) 鹿倉他：「常陽」MK-II 炉心構成要素照射後試験基本計画
PNC N908 83-01, 1983年7月
- 2) 沖元他：「常陽」MK-II 炉心燃料集合体 (PFD 010) の照射後試験(1)
PNC I941 84-03, 1984年11月
- 3) 沖元他：「常陽」MK-II 炉心燃料集合体 (PFD 003) の照射後試験(1)
PNC I941 85-10, 1985年5月
- 4) 小高他：「常陽」MK-II 炉心燃料集合体 (PFD 001) の照射後試験(1)
PNC I9410 86-007, 1986年2月
- 5) 永峯他：「常陽」MK-II 炉心燃料集合体 (PFD 018) の照射後試験(1)
PNC I9410 86-003, 1986年1月
- 6) 浅賀他：「常陽」MK-II 炉心燃料集合体 (PFD 029) の照射後試験(1)
PNC I9410 86-010, 1986年2月
- 7) 川上(幸)他：「常陽」MK-II 炉心燃料集合体 (PFD 036) の照射後試験(1)
印刷予定
- 8) 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
- 9) 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
- 10) 実験炉部：「常陽」照射試験サイクル報 (第8サイクル)
PNC SN936 85-04, 1986年2月
- 11) 燃材部部内資料：MK-II 燃料FP ガス生成率の暫定的算出
AESテクニカルメモ 83 (AES) 66
- 12) 燃材部部内資料：「常陽」MK-II 運転監視コードの7群核定数について
AESテクニカルメモ 86 (AES) 63
- 13) 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
- 14) 大洗工学センター：原子炉設置変更許可申請書 (高速実験炉設置変更 その9)
1983年9月
- 15) 燃材部部内資料：MK-I 及び MK-II 燃料の Xe/Kr 比
燃料部テクニカルレポート 85 (FMS) 13

Table I Differences in Specifications of Core Fuel Subassembly between MK-I and MK-II (Second Campaign)

項 目	MK-II	MK-I	単 位	備 考
燃料集合体				
全 長	2970	2970	mm	
燃料ピン配列ピッチ	6.47	7.6	mm	
燃料ピン本数	127	91	本	
全重量	約 57	約 60	kg	
ラッパ管				
全 長	1786	2160	mm	
外側対面間距離	78.5	78.5	mm	
内側対面間距離	74.7	74.7	mm	
厚 さ	1.9	1.9	mm	
材 質	SUS 316 * 1	SUS 316 * 2		* 1 冷間加工 20 % * 2 冷間加工 10 %
燃料ピン				
全 長	1533	1910	mm	
炉心燃料部				
燃料組成	$\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$	$\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$		
プルトニウム富化度	29	17.7	重量%	
ウラン235濃縮度	12.0	23	重量%	
プルトニウム組成比 (Pu 239+Pu 241/Pu)	77.8	80.3	重量%	
炉心部長さ	550	600	mm	
ペレット				
直 径	4.63	5.4	mm	
長 さ	9	10	mm	
密 度	93	94	% TD	
インシュレータペレット				
燃料組成	劣化 UO_2			
ペレット部長さ	12		mm	
ペレット				
直 径	4.6		mm	
長 さ	12		mm	
密 度	94		% TD	
上部反射体				
直 径	4.5		mm	
長 さ	100×3		mm	
材 質	SUS 316			冷間加工 20 %
被 覆 管				
長 さ	1439	1825	mm	
外 径	5.5	6.3	mm	
内 径	4.8	5.6	mm	
肉 厚	0.35	0.35	mm	
材 質	SUS 316 * 3	SUS 316 * 4		* 3 冷間加工 20 % * 4 冷間加工 10 %
スペーサワイヤ				
ワイヤ径	0.9	1.2	mm	
ラッピングピッチ	209	266	mm	
材 質	SUS 316 * 5	SUS 316 * 6		* 5 冷間加工 20 % * 6 溶体化処理
プレナム容積	9.3	8.79	CC	
エントランスノズル全長	1120	750	mm	
ハンドリングヘッド全長	114	114	mm	

Table II Differences in Specifications of the Core Fuel Pellet

	炉 心 燃 料 集 合 体			
	MK - I	M K - II		
		0	1	
• PuO ₂ / (PuO ₂ + UO ₂)	17.7±1.0wt %	29±1wt %	←	←
• Pu 同位体組成 ²³⁹ Pu + ²⁴¹ Pu	80.3±1.0wt %	78.2±1wt %	77.8±1.0wt %	75±2wt %
• 核分裂性物質含有率 (²³⁹ Pu + ²⁴¹ Pu + ²³⁵ U) / (Pu + U)	—	—	—	—
• ²³⁵ U 濃縮度	23±0.3wt %	12.0±0.3wt %	←	12.5±1wt %
• O/M 比	1.98±0.02	1.97 ^{+0.02} _{-0.03}	←	←
• 蒸発性不純物 (水分以外)	100 μl/g·MO 以下	←	←	150 μl/g·MO 以下
• 水 分	10 ppm 以下	30 ppm 以下	←	←
• 不 純 物				
Al	≤ 500 ppm	←	←	←
B	≤ 20 ppm	←	←	←
C	≤ 150 ppm	←	←	≤ 300 ppm
Ca	≤ 80 ppm	←	←	←
Cd	≤ 20 ppm	←	←	←
Cl	≤ 25 ppm	←	←	←
Cr	≤ 500 ppm	←	←	←
F	≤ 25 ppm	←	←	←
Mg	≤ 25 ppm	←	←	≤ 150 ppm
N	≤ 200 ppm	←	←	←
Fe	≤ 800 ppm	←	←	≤ 1,600 ppm
Ni	≤ 500 ppm	←	←	←
V	≤ 500 ppm	←	←	←
Cu } Zn } Si }	≤ 700 ppm	←	←	←
Ag } Mn } Mo }	≤ 200 ppm	←	←	≤ 400 ppm
Pb } Sn }				
Total	≤ 3,000 ppm	←	←	≤ 4,000 ppm

Table III Subassembly Irradiation Conditions

サ イ ク ル			3	4	5	6	7	7'&7"	8	
装 荷 位 置			1D1					R21	1D1	
燃 焼 度	ポ イ ン ト 最 大		MWD/T	10200	19700	29600	39200	48200	-	57300
	集 合 体 平 約		MWD/T	8500	16500	24800	32900	40600	-	48300
積算中性子照射量	En ≥ 0.1 MeV	ポ イ ン ト 最 大	× 10 ²⁰ n/cm ²	130	256	383	513	639	-	768
		集 合 体 平 均	× 10 ²⁰ n/cm ²	107	210	314	421	524	-	630
	Total	ポ イ ン ト 最 大	× 10 ²⁰ n/cm ²	183	361	540	723	900	-	1082
		集 合 体 平 均	× 10 ²⁰ n/cm ²	152	299	448	600	747	-	898
線 出 力	BOC	ポ イ ン ト 最 大	W/cm	373	362	354	347	336	-	327
		集 合 体 平 均	W/cm	298	290	284	279	272	-	266
	EOC	ポ イ ン ト 最 大	W/cm	365	354	346	339	330	-	319
		集 合 体 平 均	W/cm	294	287	281	276	269	-	263
	B O C		°C	609	605	602	597	592	-	590
	E O C		°C	607	604	601	595	591	-	588
	B O C		°C	2180	2132	2097	2066	2021	-	1980
	E O C		°C	2143	2098	2097	2033	1990	-	1946
	B O C		°C	551	549	546	542	538	-	536
	E O C		°C	549	547	544	540	537	-	535
ピーキング係数	BOC	径 方 向	-	1.048	1.046	1.047	1.048	1.048	-	1.047
		軸 方 向	-	1.196	1.192	1.189	1.187	1.182	-	1.175
	EOC	径 方 向	-	1.046	1.045	1.046	1.047	1.047	-	1.046
		軸 方 向	-	1.185	1.181	1.177	1.176	1.171	-	1.161
冷 却 材 流 量	B O C		kg/sec	9.1	9.0	9.0	9.0	8.9	-	9.0
	E O C		kg/sec	9.1	9.0	9.0	9.0	8.9	-	9.0
備 考										

Table IV Pin Parts List

LOCATION	PIN NO	U.E.P NO	CLADDING TUBE		WRAPPING WIRE		U.E.P	L.E.P	ROD FOR (LOW.)	END PLUG (UPP.)	PLEN. SLEEVE ASSEMBLY	SLEEVE	DISK
			LOT NO	PROD. NO	LOT NO	LEEL NO							
001	11576	11576	K003	K08505	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
002	11575	11575	K003	K08506	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
003	11574	11574	K003	K08501	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
004	11573	11573	K003	K08503	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
005	11572	11572	K003	K08504	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
006	11571	11571	K003	K08502	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
007	11570	11570	K003	K08507	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
008	11569	11569	K003	K08490	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
009	11568	11568	K003	K08487	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
010	11567	11567	K003	K08498	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
011	11566	11566	K003	K08488	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
012	11565	11565	K003	K08484	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
013	11564	11564	K003	K08495	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
014	11563	11563	K003	K08489	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
015	11562	11562	K003	K08494	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
016	11561	11561	K003	K08492	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
017	11560	11560	K003	K08491	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
018	11559	11559	K003	K08493	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
019	11558	11558	K003	K08467	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
020	11557	11557	K003	K08499	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
021	11556	11556	K003	K08450	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
022	11555	11555	K003	K08444	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
023	11554	11554	K003	K08447	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
024	11553	11553	K003	K08497	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
025	11601	11600	S556	S08393	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
026	11599	11599	S556	S08573	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
027	11598	11598	S556	S08576	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
028	11597	11597	S556	S08586	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
029	11596	11596	S556	S08579	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
030	11595	11595	S556	S08578	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
031	11594	11594	S556	S08572	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
032	11593	11593	S556	S08574	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
033	11592	11592	S556	S08581	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
034	11591	11591	S556	S08580	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
035	11590	11590	S556	S08585	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002

Table IV Pin Parts List (continued)

LOCATION	PIN NO	U.E.P NO	CLADDING TUBE		WRAPPING WIRE		U.E.P LOT NO	L.E.P LOT NO	ROD FOR (LOW.) LOT NO	END PLUG (UPP.) LOT NO	PLEN. SLEEVE ASSEMBLY LOT NO	SLEEVE LOT NO	DISK LOT NO
			LOT NO	PROD. NO	LOT NO	LEEL NO							
036	11589	11589	S556	S08570	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
037	11588	11588	S556	S08590	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
038	11587	11587	S556	S08582	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
039	11586	11586	S556	S08584	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
040	11585	11585	S556	S08588	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
041	11584	11584	S556	S08592	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
042	11583	11583	S556	S08583	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
043	11582	11582	S556	S08577	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
044	11581	11581	S556	S08591	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
045	11580	11580	S556	S08494	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
046	11579	11579	S556	S08478	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
047	11578	11578	S556	S08488	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
048	11577	11577	S556	S08477	T004	T00101	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
049	11632	11624	K003	K08646	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
050	11631	11623	K003	K08644	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
051	11630	11622	K003	K08660	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
052	11629	11621	K003	K08645	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
053	11628	11620	K003	K08607	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
054	11627	11619	K003	K08617	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
055	11626	11618	K003	K08584	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
056	11625	11617	K003	K08589	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
057	11624	11616	S556	S08408	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
058	11620	11615	S556	S08395	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
059	11618	11614	S556	S08399	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
060	11616	11613	S556	S08383	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
061	11613	11612	S556	S08384	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
062	11612	11611	S556	S08380	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
063	11611	11610	S556	S08378	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
064	11610	11609	S556	S08387	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
065	11609	11608	S556	S08385	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
066	11608	11607	S556	S08382	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
067	11607	11606	S556	S08386	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
068	11606	11605	S556	S08381	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
069	11605	11604	S556	S08392	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
070	11604	11603	S556	S08389	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002

Table IV Pin Parts List (continued)

LOCATION	PIN NO	U.E.P NO	CLADDING TUBE		WRAPPING WIRE		U.E.P	L.E.P	ROD FOR (LOW.)	END PLUG (UPP.)	PLEN. SLEEVE ASSEMBLY	SLEEVE	DISK
			LOT NO	PROD. NO	LOT NO	LEEL NO							
071	11603	11602	S556	S08391	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
072	11602	11601	S556	S08388	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
073	11657	11648	K003	K08423	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
074	11656	11647	K003	K08421	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
075	11655	11646	K003	K08455	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
076	11654	11645	K003	K08417	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
077	11653	11644	K003	K08426	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
078	11652	11643	K003	K08424	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
079	11651	11642	K003	K08420	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
080	11650	11641	K003	K08436	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
081	11649	11640	K003	K08433	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
082	11648	11639	K003	K08633	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
083	11647	11638	K003	K08630	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
084	11645	11637	K003	K08643	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
085	11644	11636	K003	K08642	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
086	11643	11635	K003	K08657	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
087	11642	11634	K003	K08639	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
088	11641	11633	K003	K08632	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
089	11640	11632	K003	K08651	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
090	11639	11631	K003	K08661	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
091	11638	11630	K003	K08648	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
092	11637	11629	K003	K08647	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
093	11636	11628	K003	K08650	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
094	11635	11627	K003	K08652	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
095	11634	11626	K003	K08655	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
096	11633	11625	K003	K08641	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
097	11681	11672	S556	S08424	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
098	11680	11671	S556	S08412	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
099	11679	11670	S556	S08400	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
100	11678	11669	S556	S08401	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
101	11677	11668	S556	S08414	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
102	11676	11667	S556	S08411	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
103	11675	11666	S556	S08407	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
104	11674	11665	S556	S08404	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
105	11673	11664	S556	S08409	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002

Table IV Pin Parts List (continued)

LOCATION	PIN NO	U.E.P NO	CLADDING TUBE		WRAPPING WIRE		U.E.P LOT NO	L.E.P LOT NO	ROD FOR (LOW.) LOT NO	END PLUG (UPP.) LOT NO	PLEN. SLEEVE	SLEEVE	DISK
			LOT NO	PROD. NO	LOT NO	LEEL NO					ASSEMBLY LOT NO	LOT NO	LOT NO
106	11672	11663	K003	K08458	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
107	11671	11662	K003	K08456	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
108	11670	11661	K003	K08459	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
109	11669	11660	K003	K08454	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
110	11668	11659	K003	K08451	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
111	11667	11658	K003	K08452	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
112	11666	11657	K003	K08446	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
113	11665	11656	K003	K08448	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
114	11664	11655	K003	K08438	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
115	11663	11654	K003	K08449	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
116	11662	11653	K003	K08457	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
117	11661	11652	K003	K08418	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
118	11660	11651	K003	K08435	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
119	11659	11650	K003	K08453	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
120	11658	11649	K003	K08415	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
121	11705	11696	S556	S08504	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
122	11704	11695	S556	S08515	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
123	11703	11694	S556	S08508	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
124	11702	11693	S556	S08501	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
125	11701	11692	S556	S08502	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
126	11700	11691	S556	S08519	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002
127	11699	11690	S556	S08512	T004	T00102	C014	C014	K003	K003	F002	F002	F002

Table IV Pin Parts List (continued)

LOCATION	PIN NO	SPRING LOT NO	UPPER REFLECTOR LOT NO	INSULATOR PELLET LOT NO	-- CORE PELLETT --		-- EU02 POWDER --		-- PU02 POWDER --	
					(1) LOT NO	(2) LOT NO	(1) LOT NO	(2) LOT NO	(1) LOT NO	(2) LOT NO
001	11576	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
002	11575	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
003	11574	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
004	11573	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
005	11572	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
006	11571	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
007	11570	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
008	11569	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
009	11568	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
010	11567	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
011	11566	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
012	11565	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
013	11564	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
014	11563	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
015	11562	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
016	11561	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
017	11560	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
018	11559	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
019	11558	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
020	11557	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
021	11556	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
022	11555	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
023	11554	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
024	11553	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
025	11601	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
026	11599	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
027	11598	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
028	11597	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
029	11596	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
030	11595	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
031	11594	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
032	11593	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
033	11592	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
034	11591	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
035	11590	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	

Table IV Pin Parts List (continued)

LOCATION	PIN NO	SPRING LOT NO	UPPER REFLECTOR LOT NO	INSULATOR PELLET LOT NO	-- CORE PELLETT --		-- EUO2 POWDER --		-- PUO2 POWDER --	
					(1) LOT NO	(2) LOT NO	(1) LOT NO	(2) LOT NO	(1) LOT NO	(2) LOT NO
036	11589	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
037	11588	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
038	11587	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
039	11586	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
040	11585	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
041	11584	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
042	11583	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
043	11582	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
044	11581	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
045	11580	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
046	11579	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
047	11578	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
048	11577	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
049	11632	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
050	11631	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
051	11630	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
052	11629	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
053	11628	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
054	11627	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
055	11626	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
056	11625	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
057	11624	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
058	11620	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
059	11618	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
060	11616	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
061	11613	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
062	11612	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
063	11611	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
064	11610	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
065	11609	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
066	11608	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
067	11607	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
068	11606	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
069	11605	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
070	11604	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	

Table IV Pin Parts List (continued)

LOCATION	PIN NO	SPRING LOT NO	UPPER REFLECTOR LOT NO	INSULATOR PELLET LOT NO	-- CORE PELLETT --		-- EUO2 POWDER --		-- PUO2 POWDER --	
					(1) LOT NO	(2) LOT NO	(1) LOT NO	(2) LOT NO	(1) LOT NO	(2) LOT NO
071	11603	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
072	11602	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
073	11657	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
074	11656	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
075	11655	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
076	11654	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
077	11653	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
078	11652	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
079	11651	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
080	11650	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
081	11649	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
082	11648	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
083	11647	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
084	11645	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
085	11644	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
086	11643	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
087	11642	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
088	11641	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
089	11640	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
090	11639	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
091	11638	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
092	11637	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
093	11636	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
094	11635	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
095	11634	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
096	11633	F002	T003	F001	FM2106		FU0627	FU0628	FP0401	
097	11681	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
098	11680	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
099	11679	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
100	11678	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
101	11677	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
102	11676	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
103	11675	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
104	11674	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
105	11673	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401

Table IV Pin Parts List (continued)

LOCATION	PIN NO	SPRING LOT NO	UPPER REFLECTOR LOT NO	INSULATOR PELLET LOT NO	-- CORE PELLETT --		-- EUO2 POWDER --		-- PUO2 POWDER --	
					(1) LOT NO	(2) LOT NO	(1) LOT NO	(2) LOT NO	(1) LOT NO	(2) LOT NO
106	11672	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
107	11671	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
108	11670	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
109	11669	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
110	11668	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
111	11667	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
112	11666	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
113	11665	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
114	11664	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
115	11663	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
116	11662	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
117	11661	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
118	11660	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
119	11659	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
120	11658	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
121	11705	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
122	11704	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
123	11703	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
124	11702	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
125	11701	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
126	11700	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401
127	11699	F002	T003	F001	FM2105		FU0626	FU0627	FP0703	FP0401

Table V Pin Outer Diameter and Total Length Changes

PIE No.	CLAD. Lot No.	Diameter (mm) *1			Length (mm) *2		
		PIE	Fab	PIE-Fab	PIE	Fab	PIE-Fab
A 052	K 003	5.488	5.500	-0.012	1533.2	1533.0	0.2
A 063	S 556	5.500	5.498	0.002	1532.8	1533.0	-0.2
A 064	S 556	5.492	5.498	-0.006	1532.8	1533.0	-0.2
A 065	S 556	5.490	5.494	-0.004	1532.6	1532.9	-0.3
A 076	K 003	5.494	5.495	-0.001	1533.7	1533.4	0.3

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

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

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

Table VI Axial Peaking Factors of Subassembly Predicted and Measured 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.	¹³⁷ Cs	¹⁰⁶ Rh	⁹⁵ Zr	⁵⁴ Mn	Gross-γ
PFD 105	1.161 *1	A 001	1.17	1.17	1.15	1.21	1.16
		A 007	1.17	1.19	1.15	1.24	1.17
		A 058	1.16	1.16	1.14	1.22	1.16
		A 064	1.19	1.17	1.15	1.20	1.16
		A 070	1.18	1.19	1.15	1.20	1.16
		A 0C1	1.17	1.19	1.15	1.22	1.16
		A 0C7	1.18	1.19	1.16	1.20	1.17

*1 「常陽」照射試験サイクル報 PNC SN936 85-04 による。

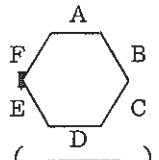
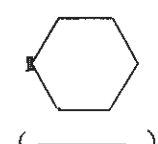
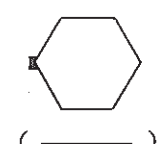
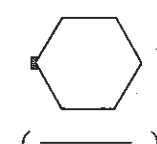
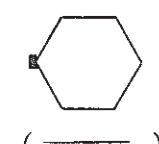
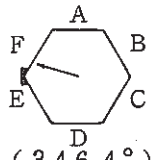
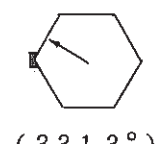
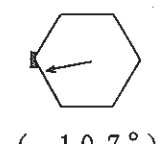
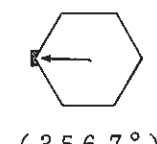
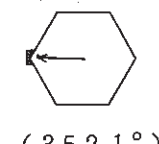
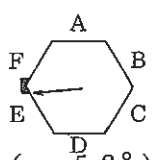
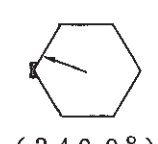
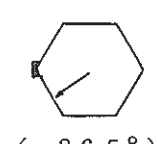
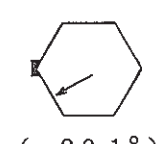
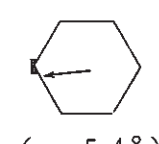
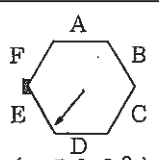
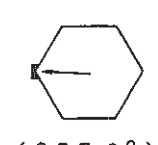
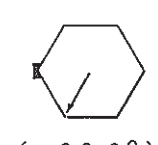
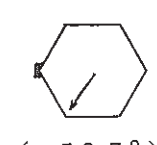
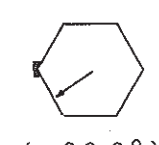
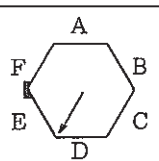
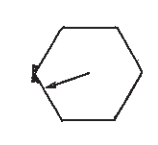
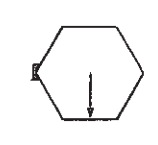
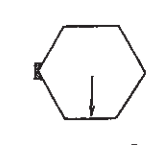
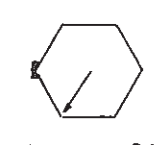
Table VII Radial Peaking Factors of Subassembly Predicted and Measured by Gamma - Spectroscopy of Fuel Pins

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	¹³⁷ Cs	¹⁰⁶ Rh	⁹⁵ Zr	⁵⁴ Mn	Gross-γ
PFD 105	1.046 *1	113 mm	-	-	-	-	-
		213 mm	1.03	1.03	1.04	1.04	-
		338 mm	1.01	1.03	1.03	1.03	-
		508 mm	1.03	1.03	1.03	1.04	-
		608 mm	1.05	1.03	1.02	1.04	-

*1 「常陽」照射試験サイクル報 PNC SN936 85-04 による。

Table VIII Core Center Direction Predicted by Gamma-Spectroscopy of Fuel Pins

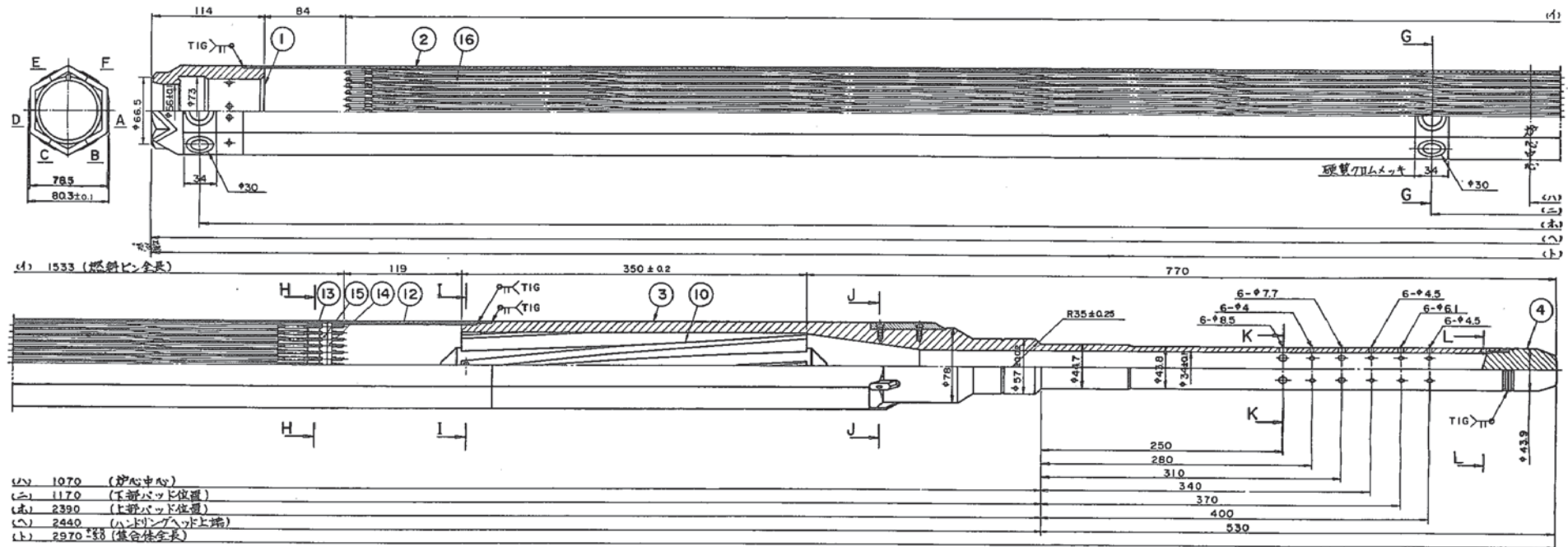
S/A No. PFD 105(A0)

スペクトル測定位置	核種	¹⁰⁶ Rh	⁹⁵ Zr	⁵⁴ Mn	⁵⁸ Co	¹⁴⁴ Pr
*1 113 (mm)		 (—————)	 (—————)	 (—————)	 (—————)	 (—————)
213 (mm)		 (346.4°)	 (331.3°)	 (10.7°)	 (356.7°)	 (352.1°)
338 (mm)		 (5.2°)	 (340.9°)	 (36.5°)	 (29.1°)	 (5.4°)
508 (mm)		 (50.9°)	 (357.6°)	 (60.6°)	 (53.7°)	 (33.8°)
608 (mm)		 (61.0°)	 (15.4°)	 (88.4°)	 (86.5°)	 (58.5°)

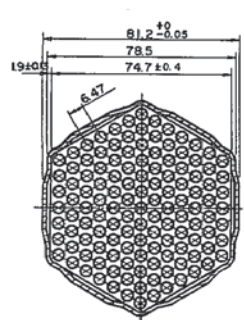
*1 C 7 ピンの測定値が異常に小さいためデータ削除

Table IX Results of Plenum Gas Analysis

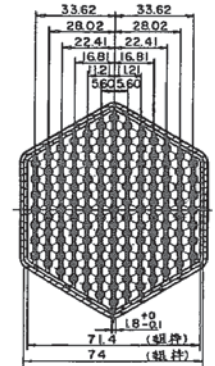
ピン No.	ピン内 容積 (cc)	ピン内 ガス圧 (Torr-STP)	ピン内 ガス量 (cc-STP)	ガス分析結果			Xe/Kr比 (-)	ガス放出率 (%)
				Kr (%)	Xe (%)	He+α(%)		
A 058	10.99	4530	65.49	7.25	72.18	20.57	10.0	47.6
A 060	10.95	4693	67.62	7.33	73.86	18.81	10.0	50.5
A 063	10.92	4626	66.48	7.32	73.86	18.82	10.1	50.0
A 064	11.02	4582	66.46	7.18	72.77	20.05	10.1	49.7
A 065	10.84	4608	65.73	7.32	73.80	18.80	10.1	49.6
A 070	10.99	4230	61.14	7.03	71.01	21.96	10.1	46.7



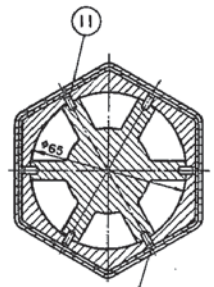
- (A) 1070 (芯中位置)
- (B) 1170 (上部バッド位置)
- (C) 2390 (上部バッド位置)
- (D) 2440 (ハンドリングヘッド上端)
- (E) 2970 (集合体全長)



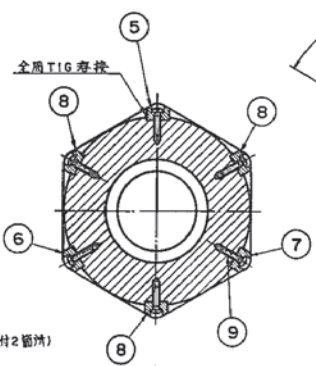
断面 G-G (1/1)



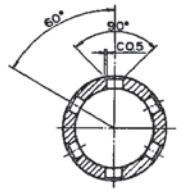
断面 H-H (1/1)



断面 I-I (1/1)



断面 J-J (1/1)



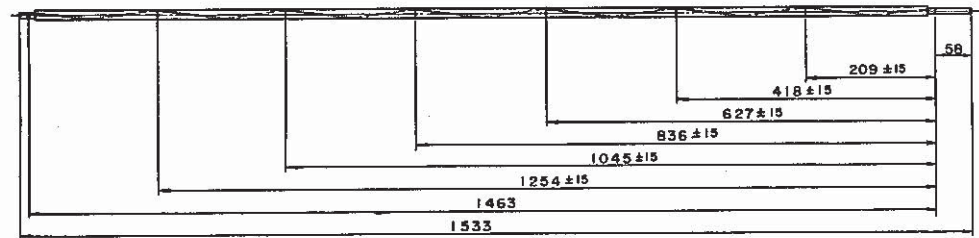
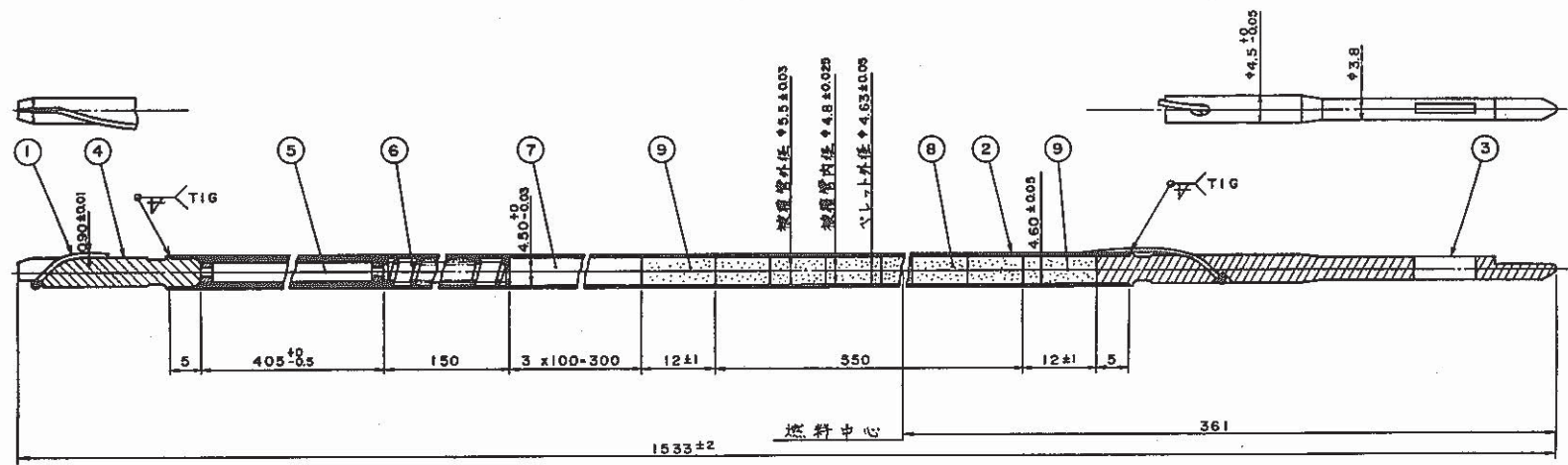
断面 K-K (1/1)



断面 L-L (1/1)

16	燃料要素		127	
15	ノックバー-B-1~B-13	SUS316	13	
14	ノックバー-A-1~A-13	SUS316	13	
13	組 棒 (1)	SUS316	1	
12	組 棒 (2)	SUS316	1	
11	下部反射体固定ピン	SUS316	6	
10	下部反射体	SUS316	1	
9	エントランスノズルキー-固定ネジ	SUS316	8	
8	エントランスノズルキー-D	SUS316	3	
7	エントランスノズルキー-C	SUS316	1	
6	エントランスノズルキー-B	SUS316	1	
5	エントランスノズルキー-A	SUS316	1	
4	エントランスノズル端栓	SUS316	1	
3	エントランスノズル本体	SUS316	1	
2	ラ ッ パ 管	SUS316相当	1	
1	ハンドリングヘッド	SUS316	1	
品番	品 名	材 質	個数	備 考
名称	炉心燃料集合体			

Fig. 1 Structure of "JOYO" MK-II Second Campaign Core Fuel Subassembly



ワイヤラッピング全体図 (1/5)

9	インシュレータペレット	劣化 UO ₂	2	
8	炉心ペレット	PuO ₂ UO ₂		
7	上部反射体	SUS316相当	3	
6	プレナムスプリング	SUS304WPB	1	
5	抑え板付プレナムスリーブ	SUS316	1	
4	上部端栓	SUS316	1	
3	下部端栓	SUS316	1	
2	被覆管	SUS316相当	1	
1	ラッピングワイヤ	SUS316相当	1	
品番	品名	材質	個数	備考
名称	燃料ピン			

Fig. 2 Structure of "JOYO" MK-II Second Campaign Core Fuel Pin

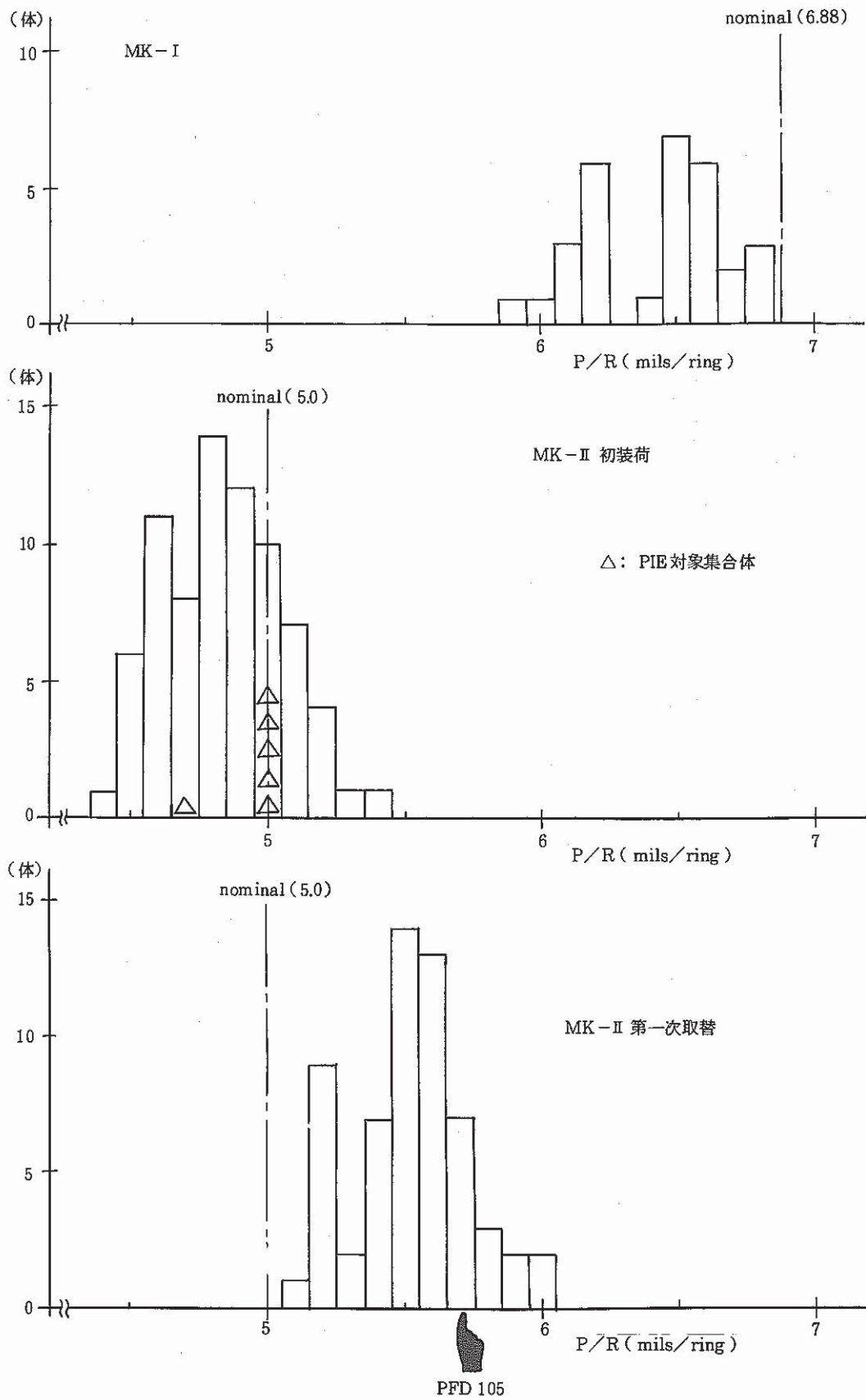


Fig. 3 Comparison of the P/R for Core Fuel Subassemblies
 (1 mil = 2.54×10^{-3} cm)

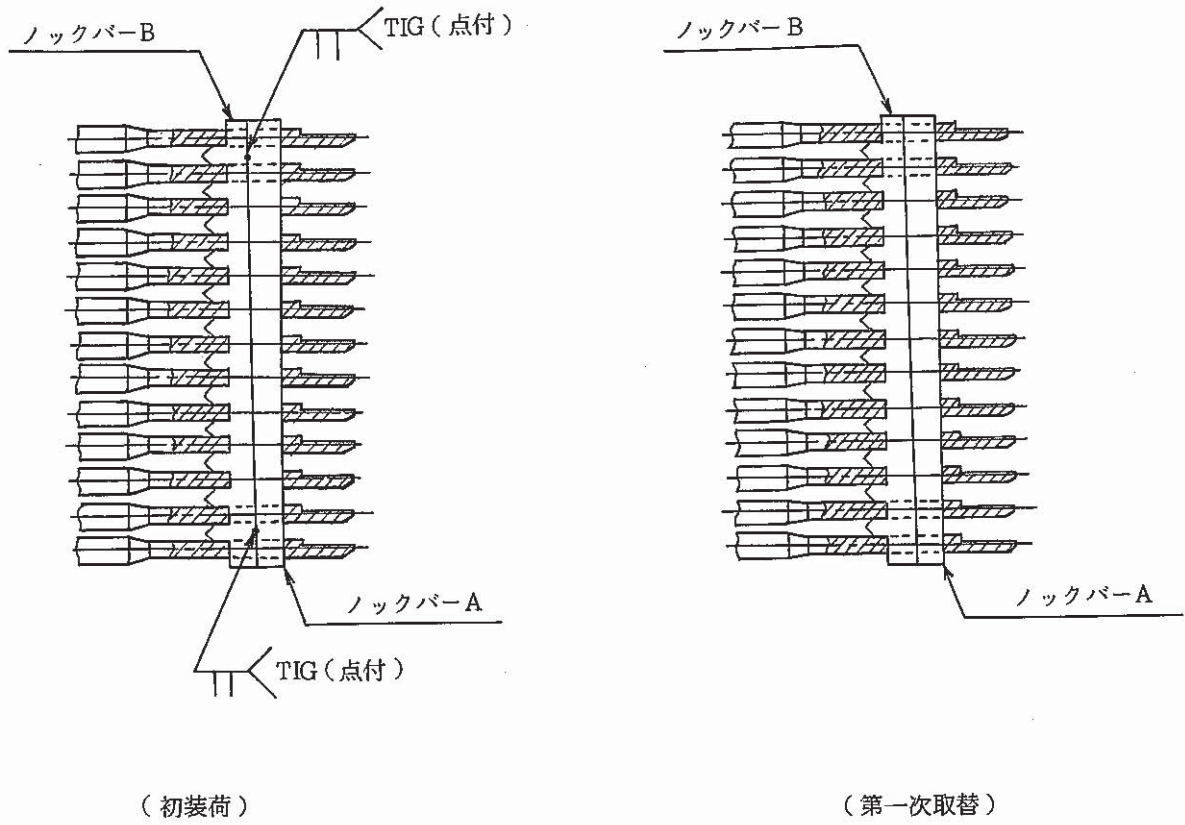


Fig. 4 Differences in Structure of Knock - Bar

炉内照射位置

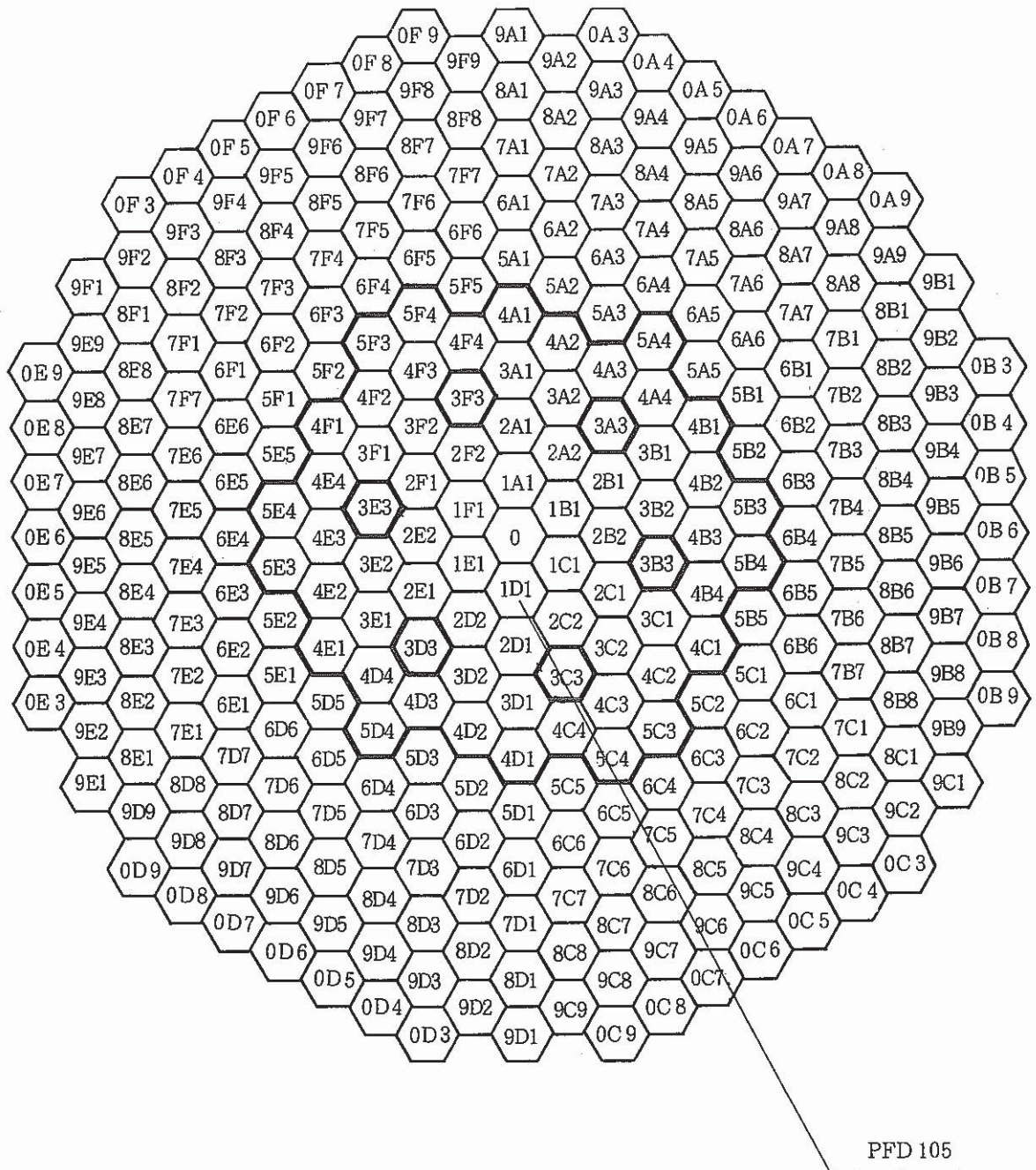


Fig.5 In-Reactor Location of the Subassembly

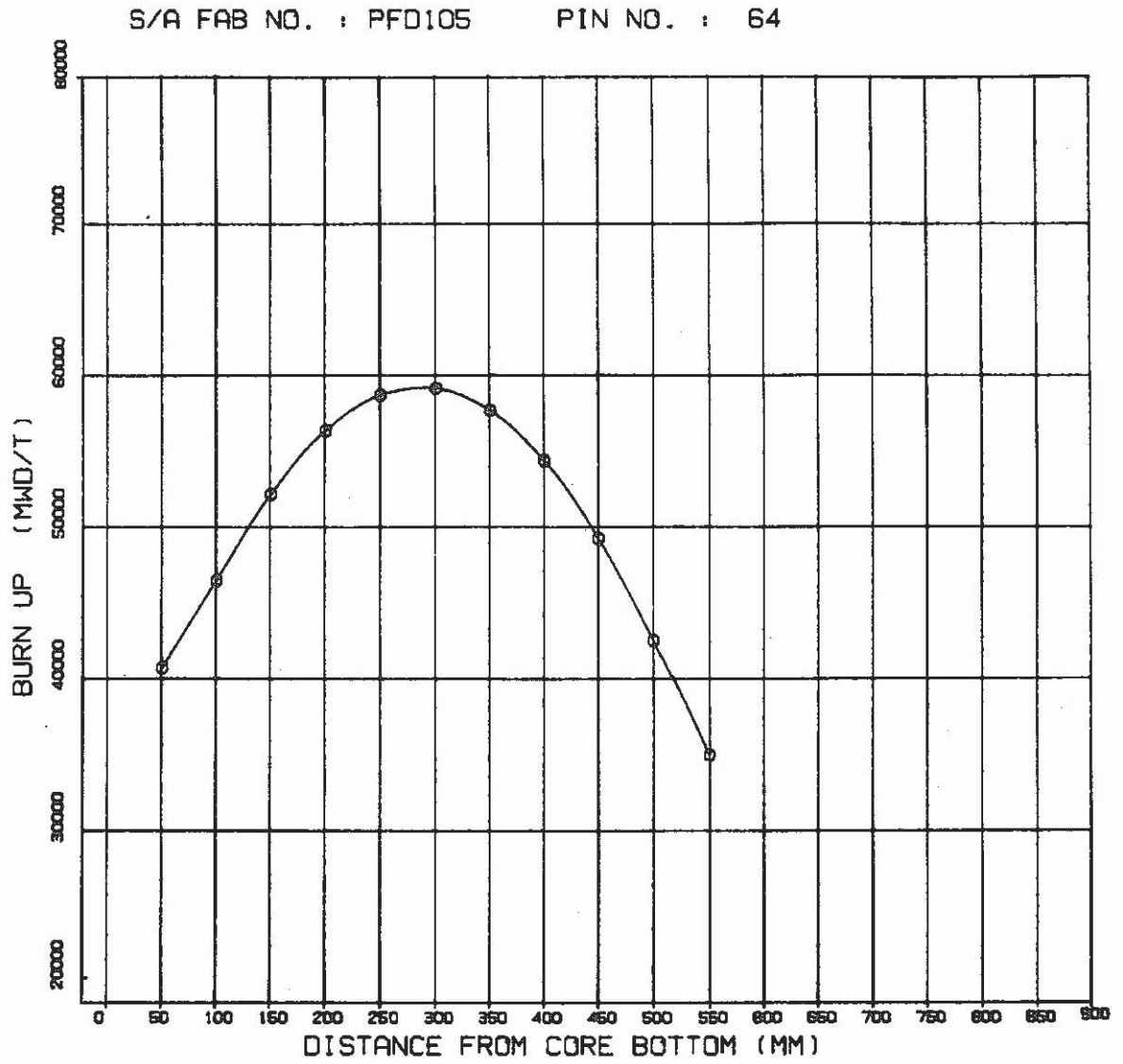


Fig. 6 Axial Profile of Burnup of a Center Pin

S/A FAB NO. : PFD105

PIN NO. : 64

MAX \odot EOL \triangle

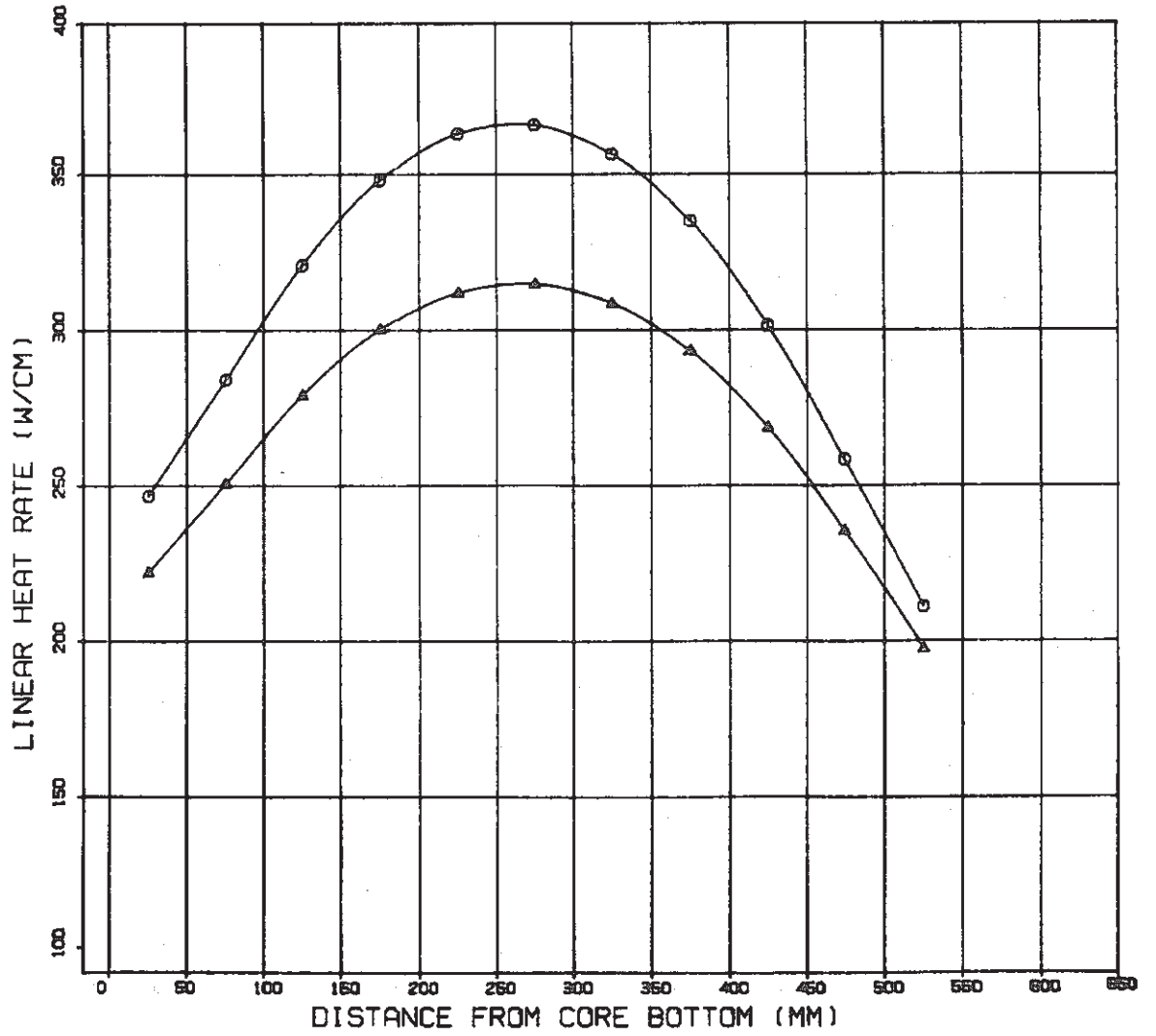


Fig. 7 Axial Profile of Linear Heat Rate of a Center Pin

S/A FAB NO. : PFD105

PIN NO. : 64

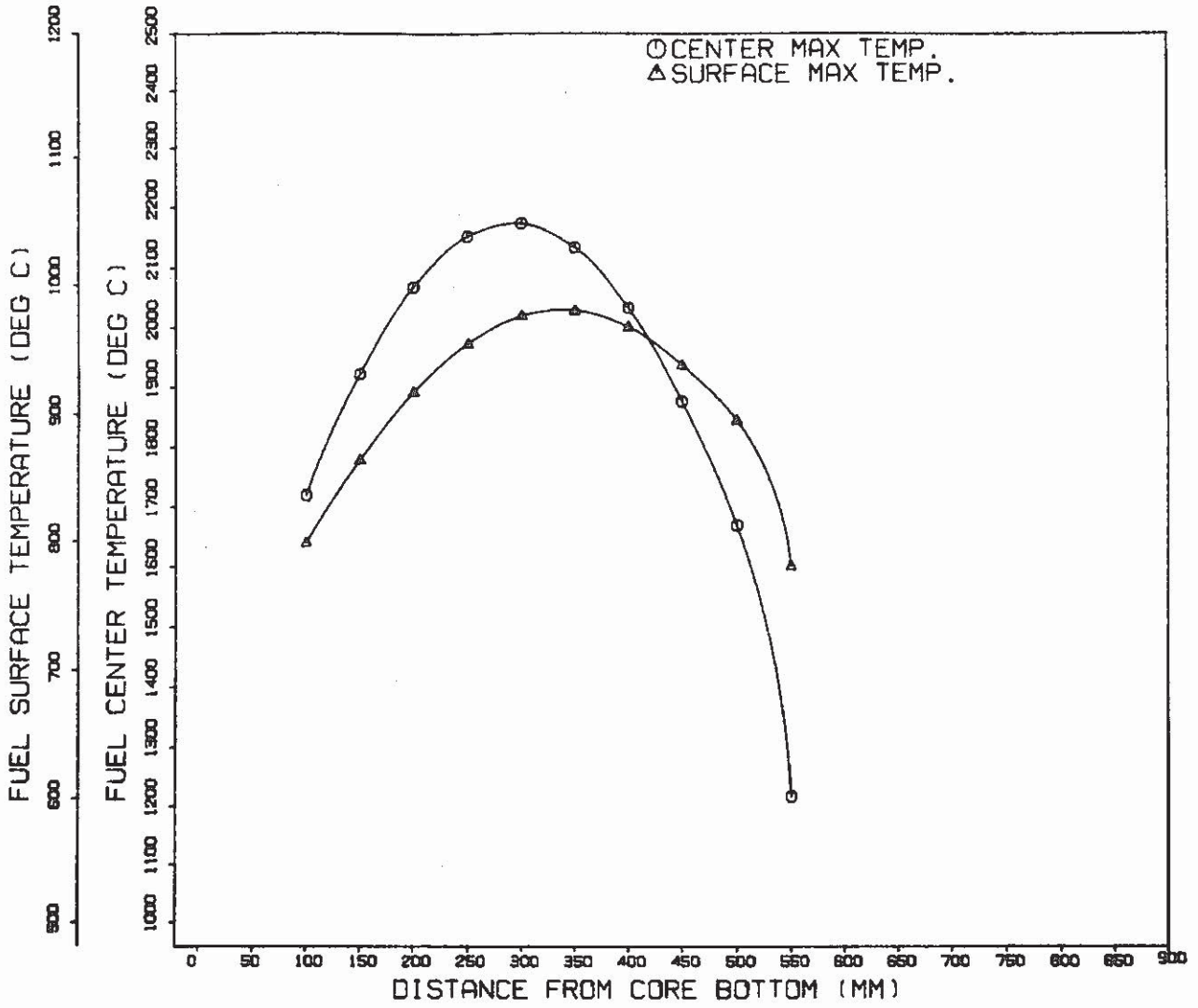


Fig. 8 Axial Profile of Fuel Temperature of a Center Pin

S/A FAB NO. : PFD105 PIN NO. : 64

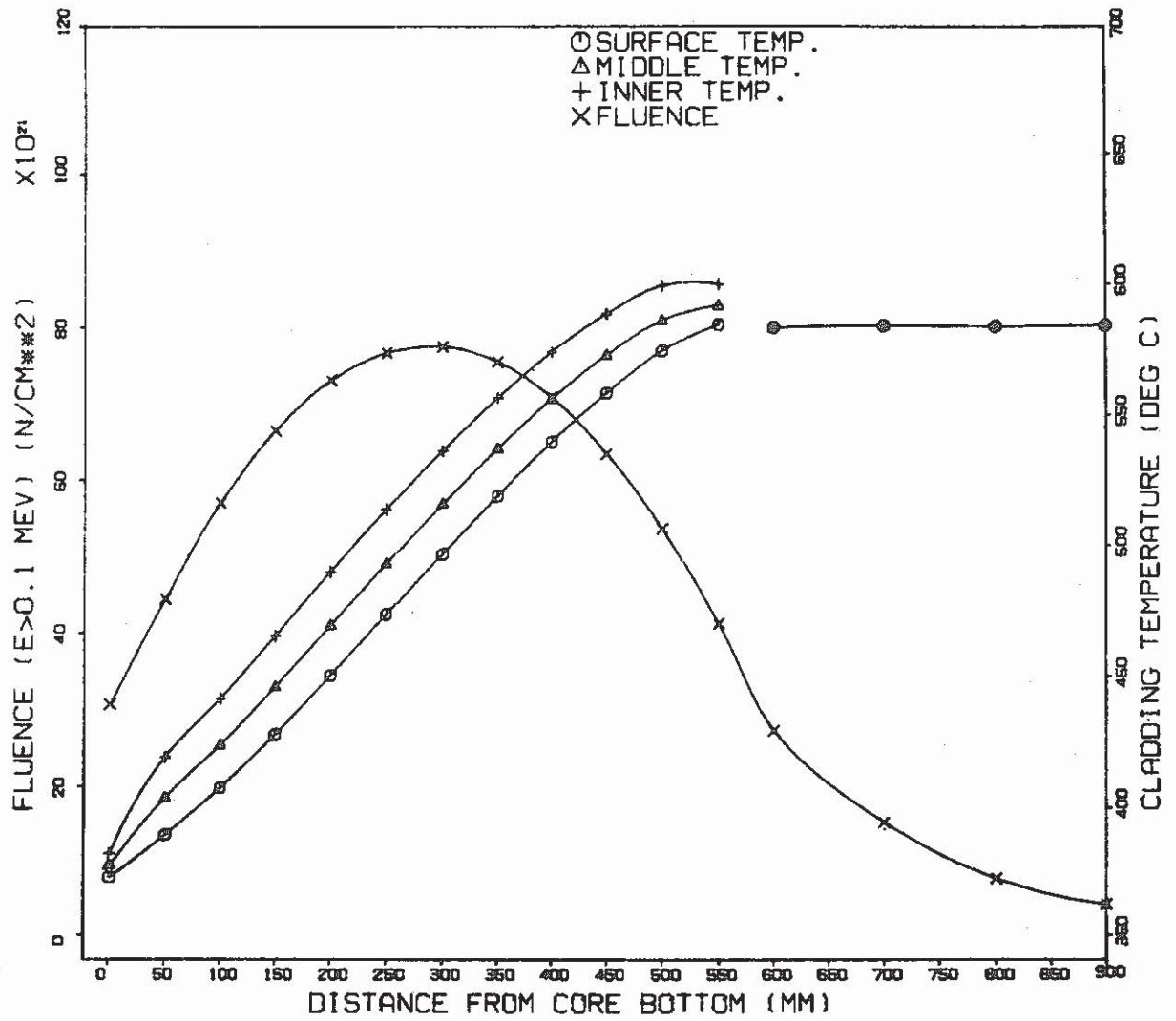
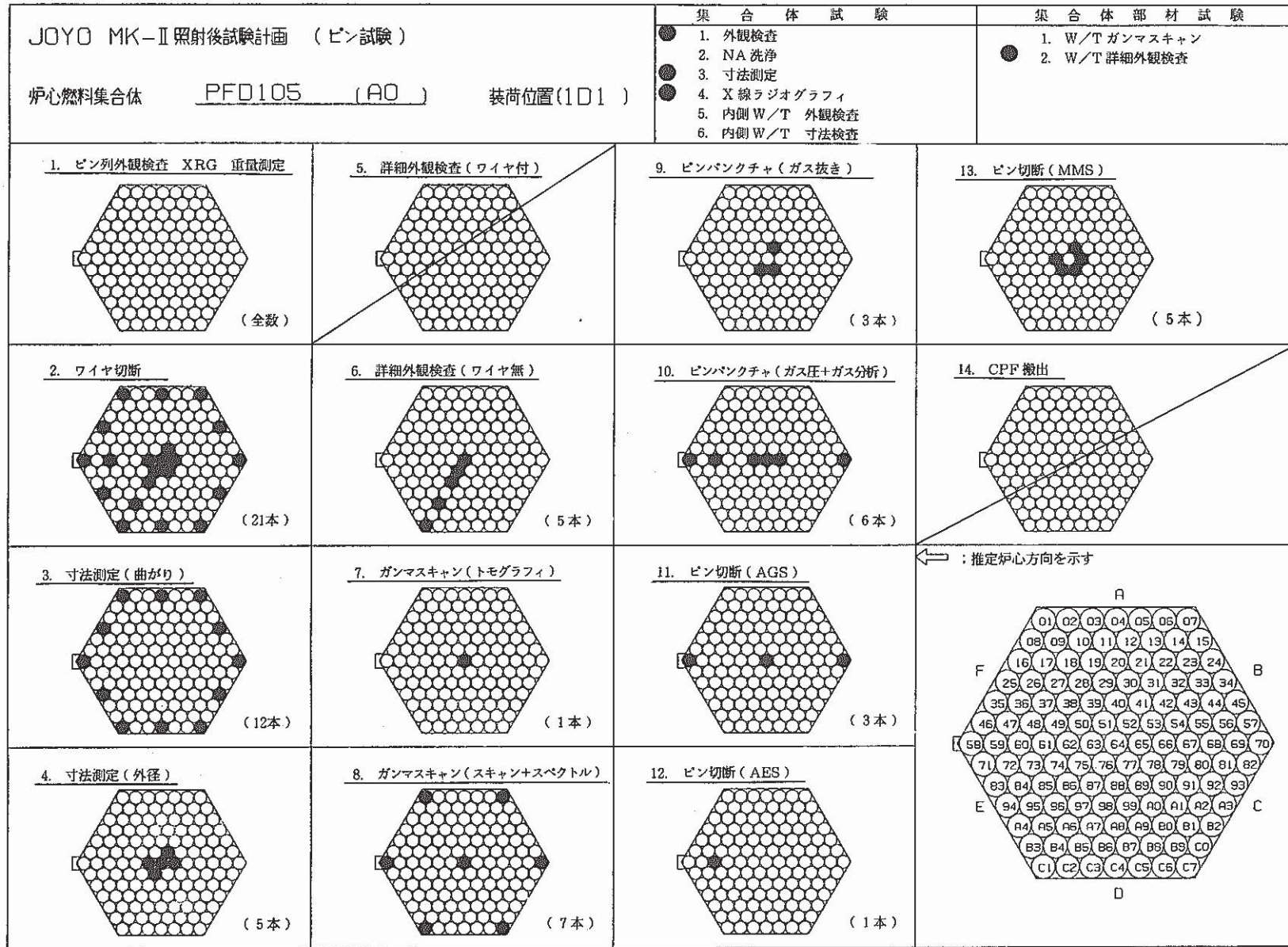


Fig. 9 Axial Profile of Fluence and Cladding Temperature of a Center Pin



● : 試験対象

Fig.10 Pins Selected for the Examination

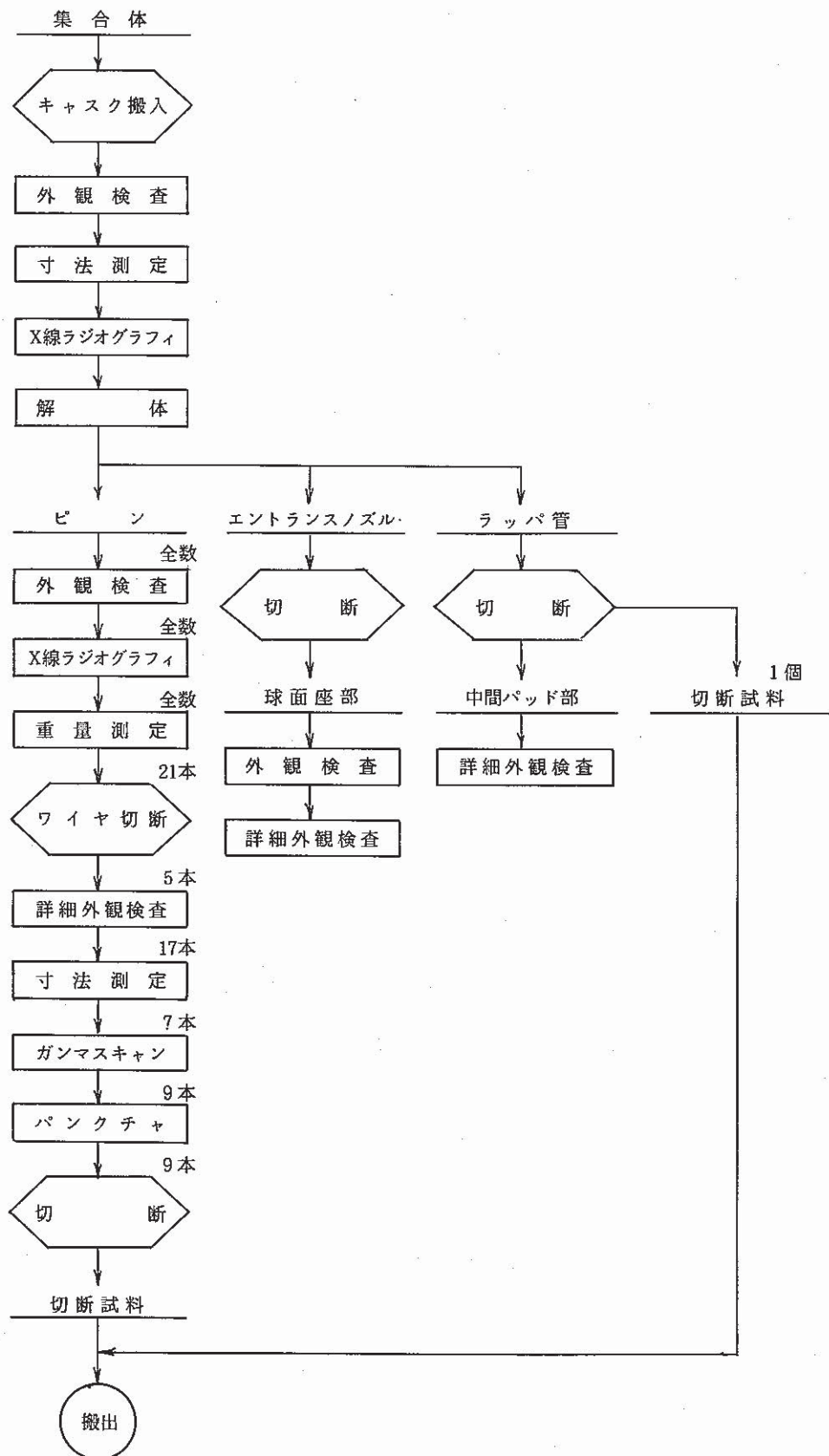


Fig. 11 Flow Diagram of Postirradiation Examination of MK-II Core Fuel Subassembly (PFD 105)

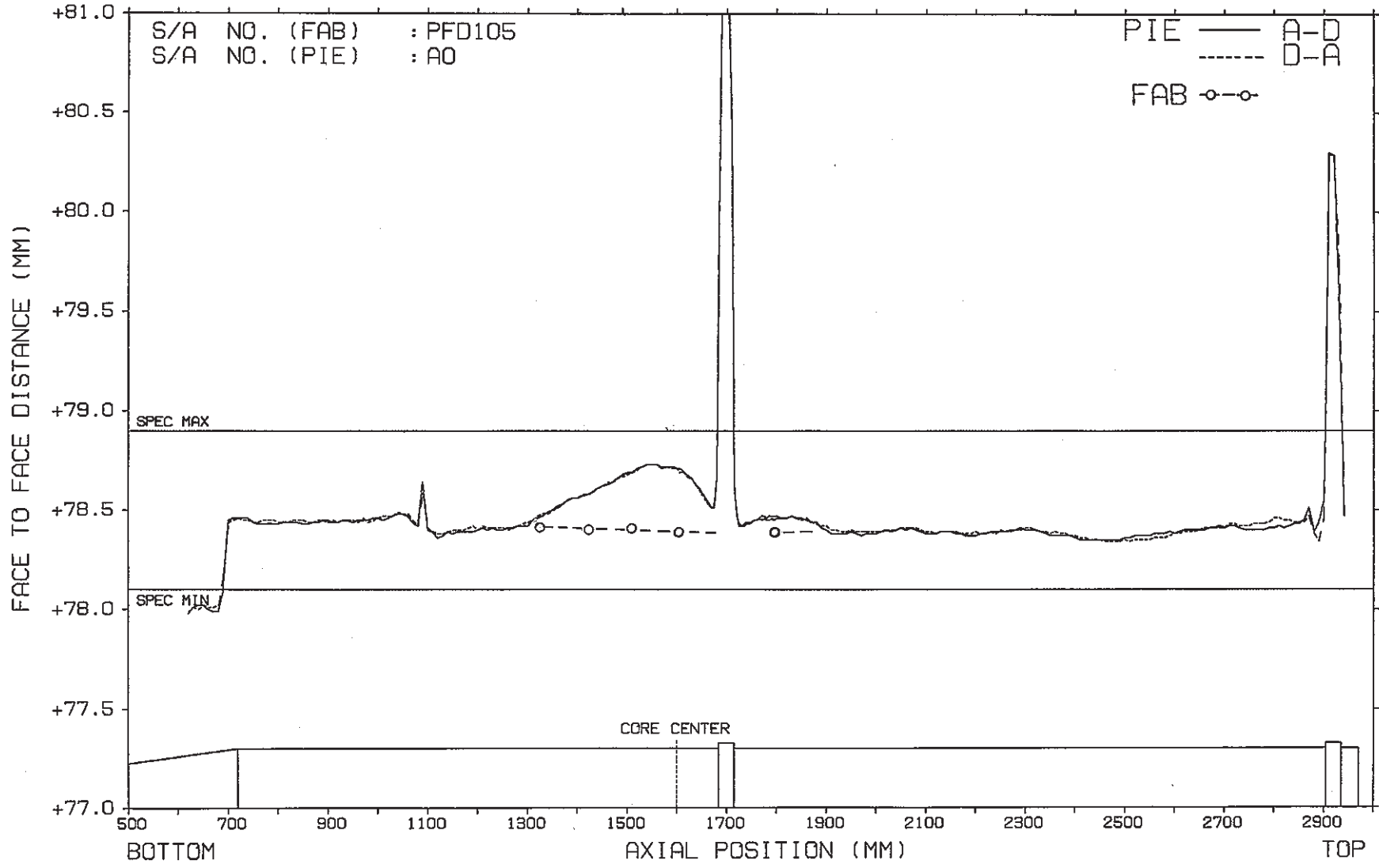


Fig.12 Face to Face Distance of Wrapper Tube of Subassembly (A-D Face)

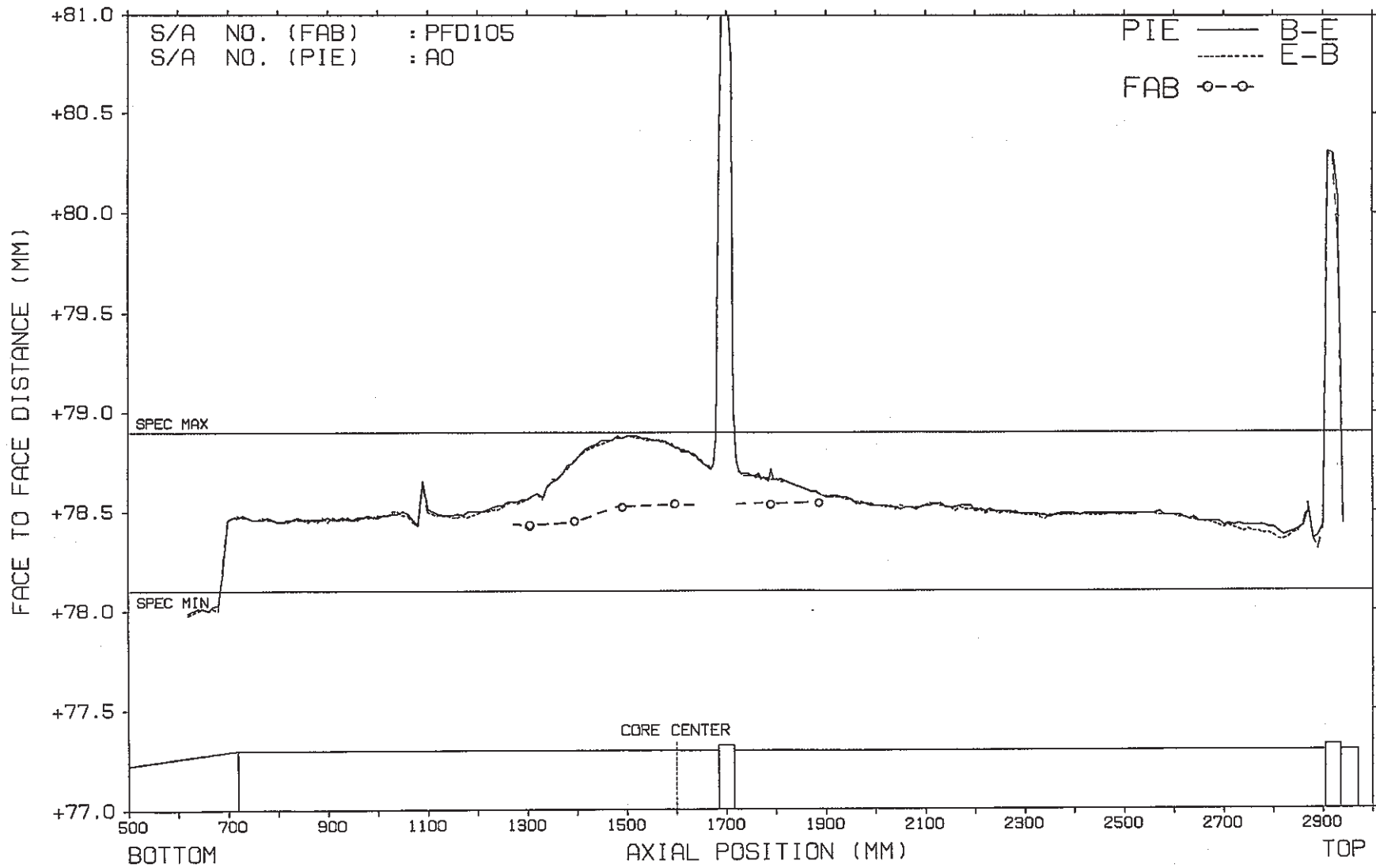


Fig.13 Face to Face Distance of Wrapper Tube of Subassembly (B-E Face)

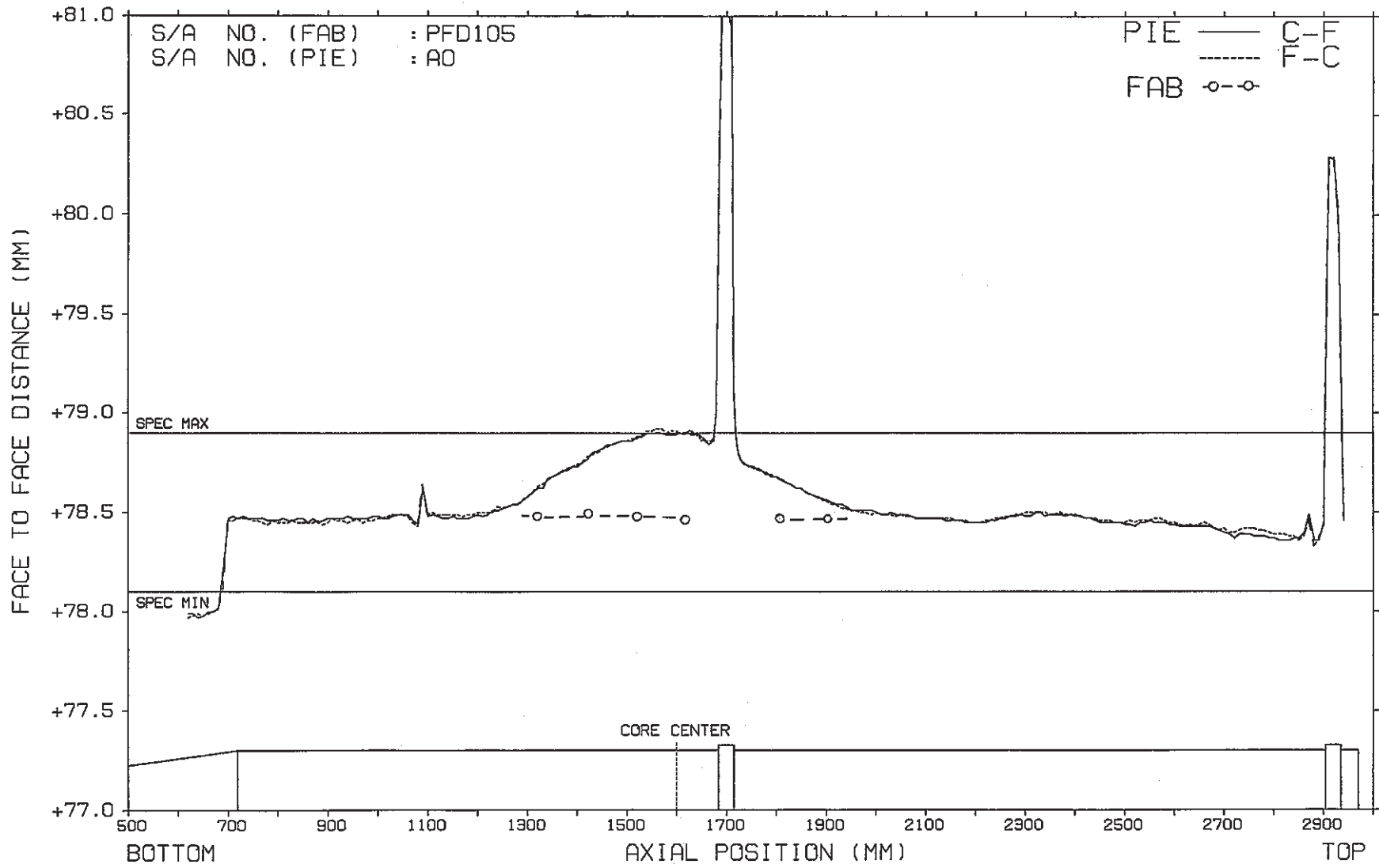
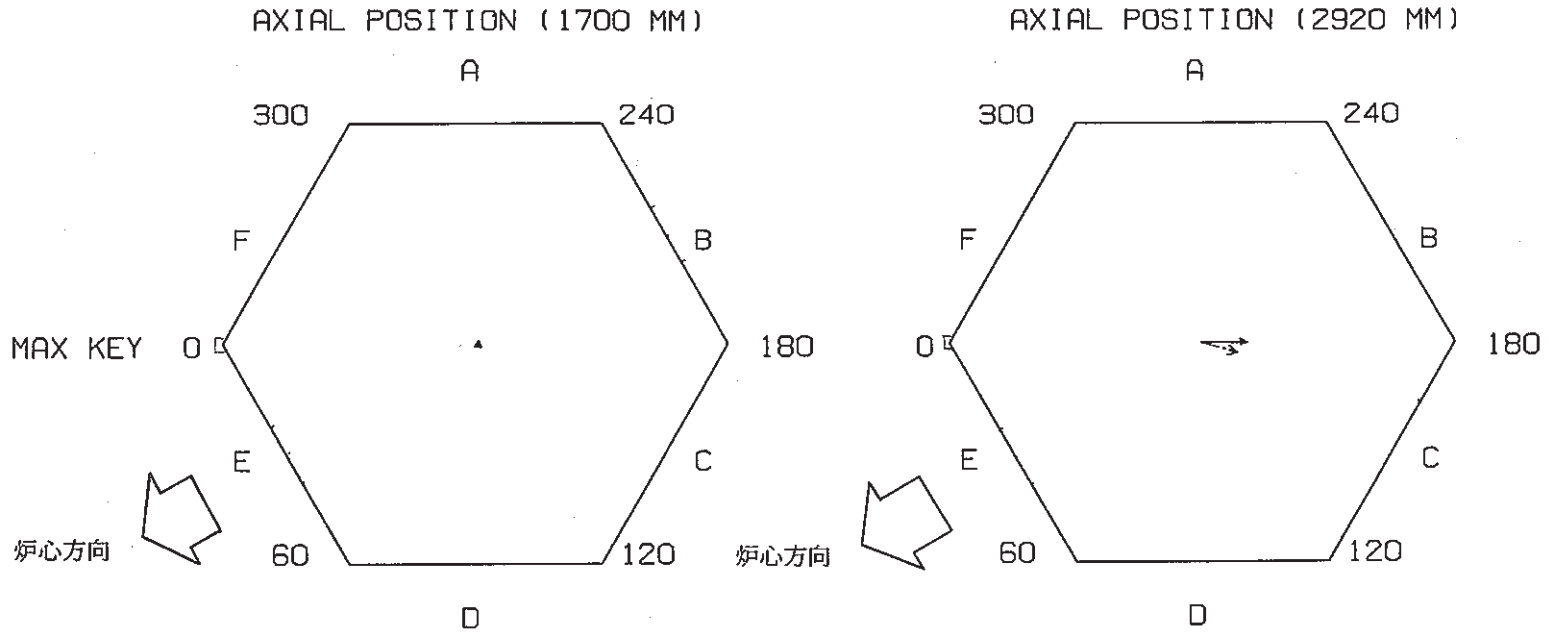


Fig.14 Face to Face Distance of Wrapper Tube of Subassembly (C-F Face)

S/A FAB NO. : PFD105
 PIE NO. : A0

VIEW FROM TOP



AXIAL POSITION	1700 (MM) (AT MIDDLE PAD)		2920 (MM) (AT UPPER PAD)	
	BOWING (MM)	DIRECTION (DEG)	BOWING (MM)	DIRECTION (DEG)
IRRAD.	0.2	148	1.4	180
UNIRRAD.	0.3	119	1.2	165

IRRAD. \longrightarrow
 UNIRRAD. \dashrightarrow
 BOWING SCALE \longleftrightarrow 2.0 MM

Fig.15 Bowing Vector of Subassembly

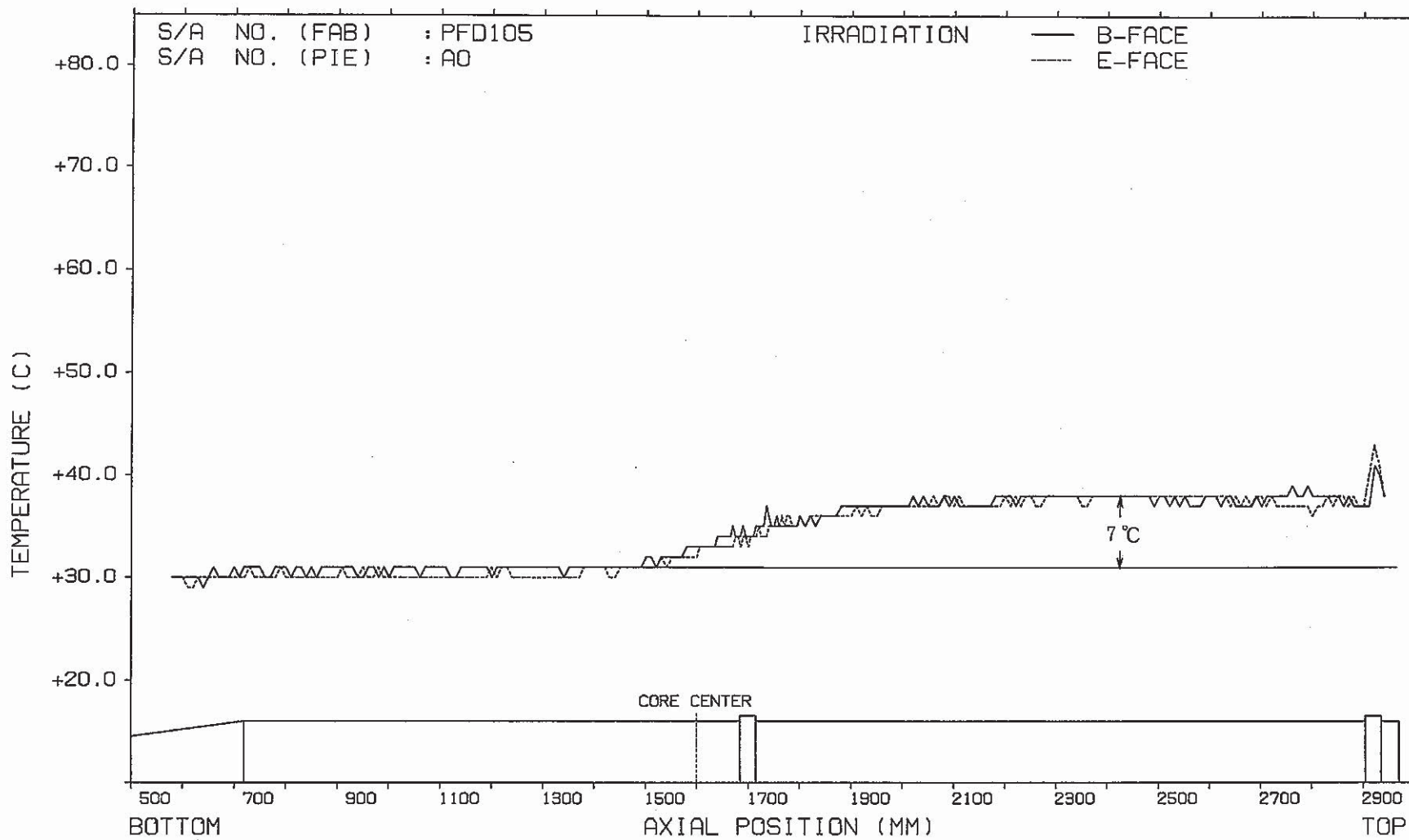
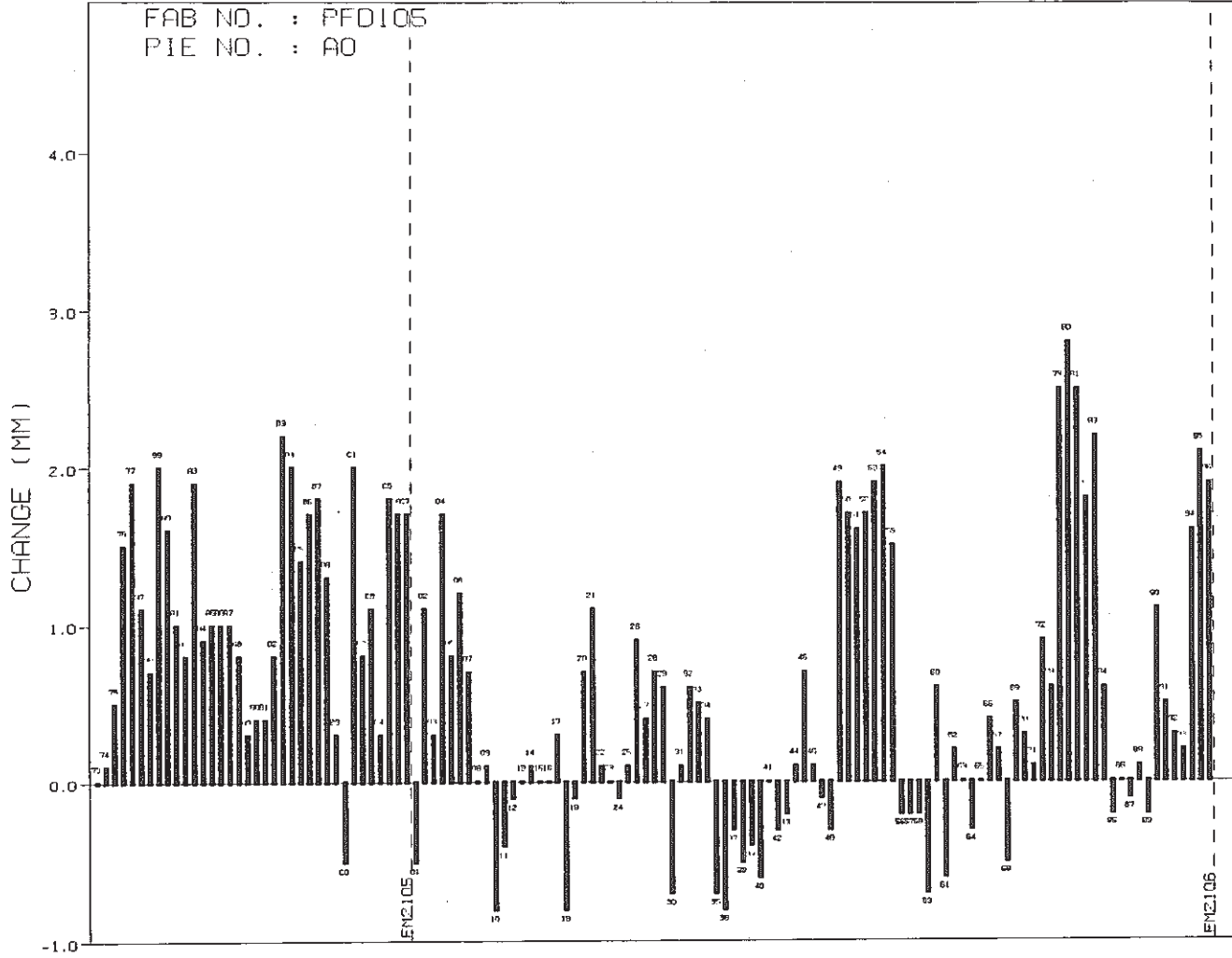


Fig.16 Subassembly Surface Temperature at PIE



CORE PELET LOT NO.	NO. OF DATA	AVE.	MAX.	MIN.
FM2105	36	1.1	2.2	-0.5
FM2106	91	0.4	2.9	-0.8

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

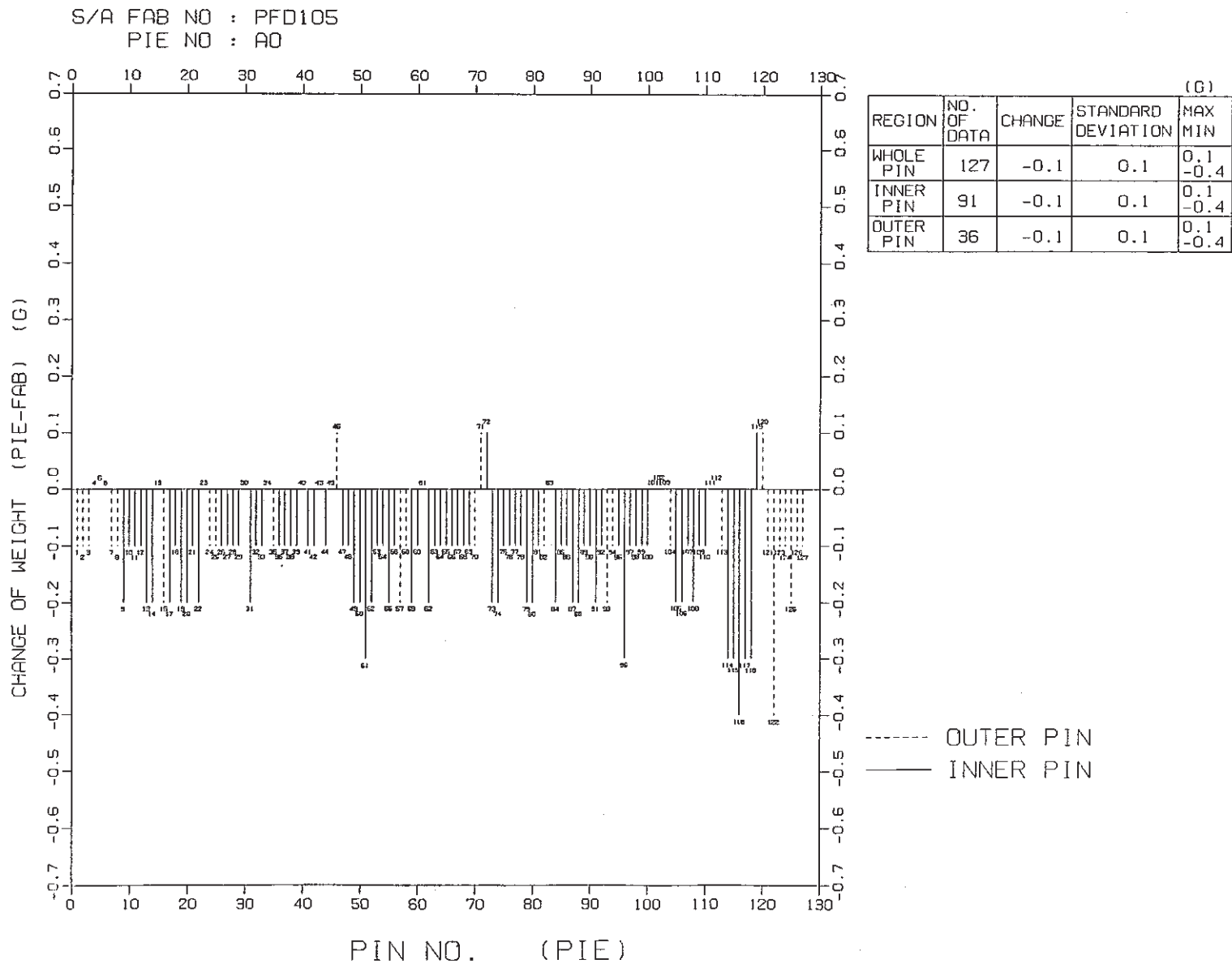


Fig.18 Pin Weight Changes

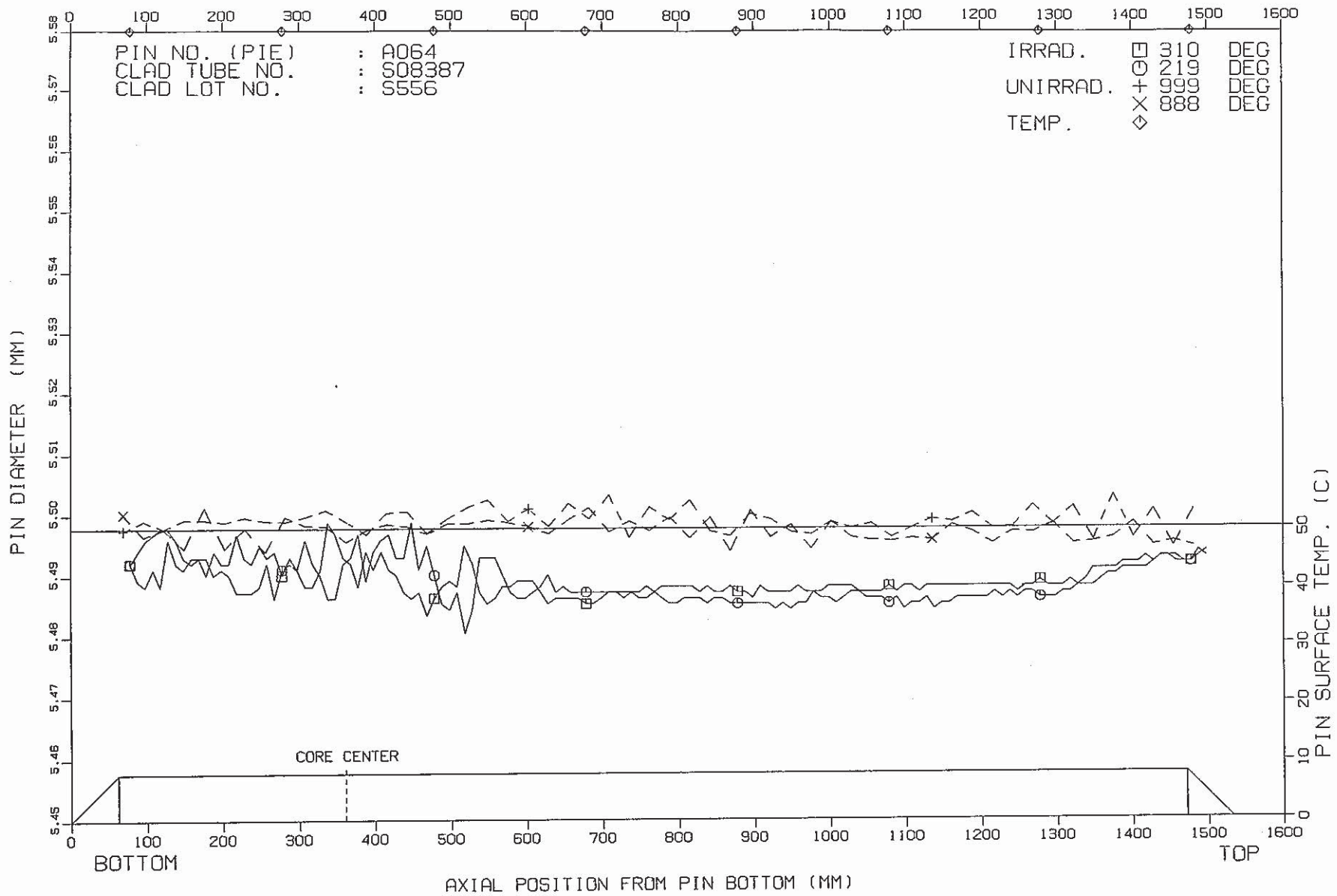


Fig.19 Axial Profile of a Fuel Pin Outer Diameter

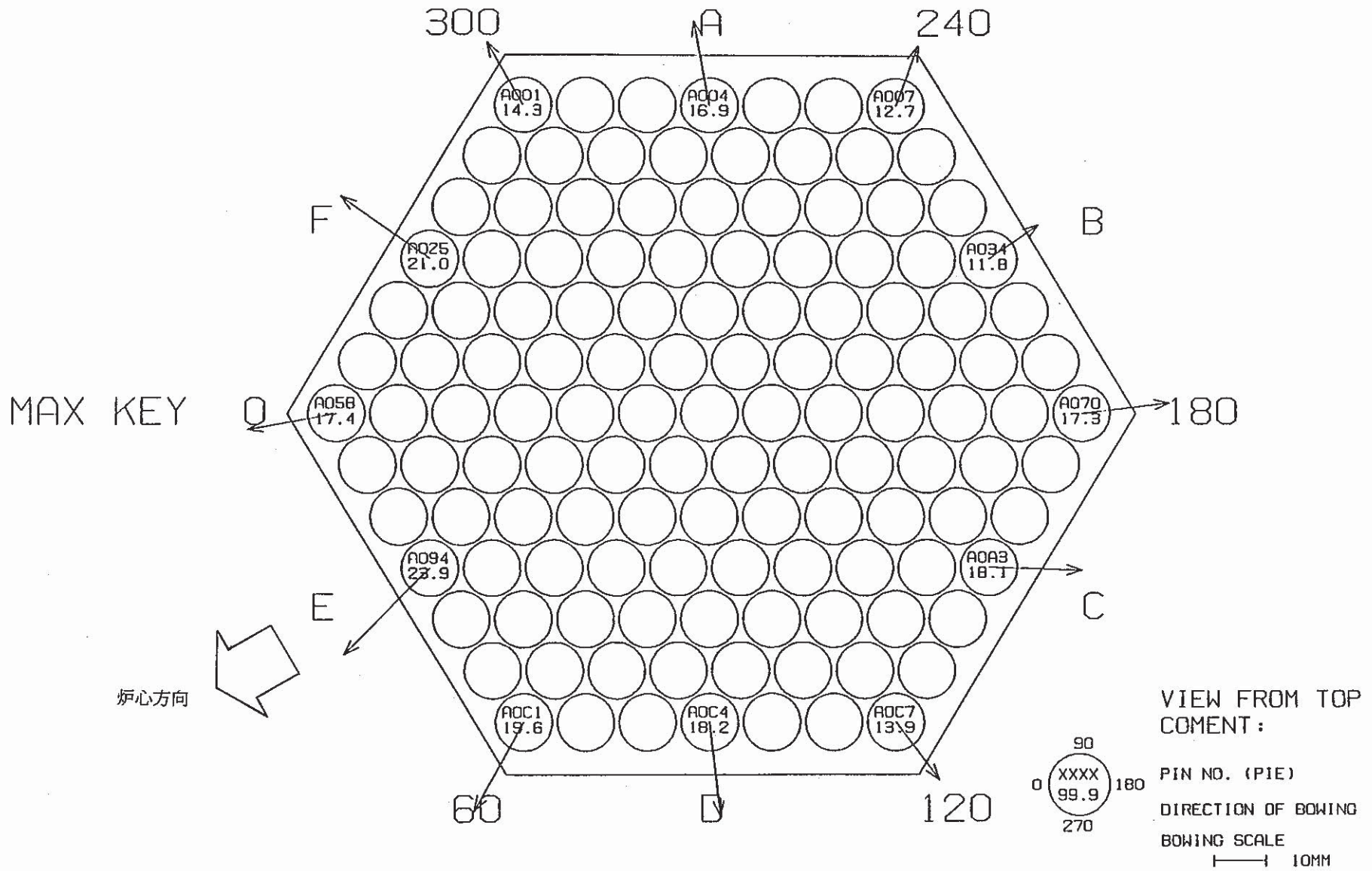


Fig.20 Bowing Vectors of Pins

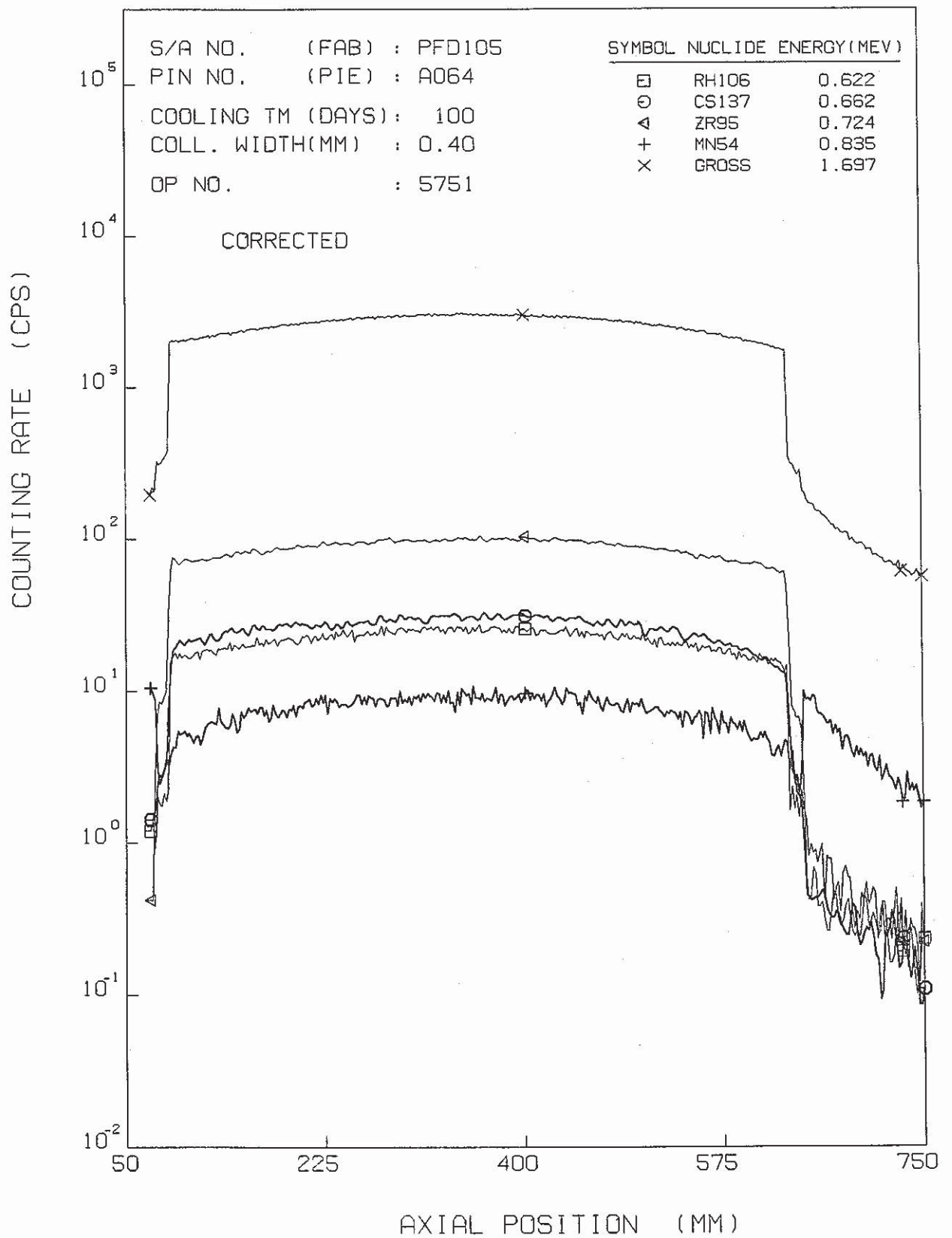


Fig.21 Axial Distribution of Gamma Ray Intensity of a Center Pin

S/A NO. (FAB) : PFD105
 S/A NO. (PIE) : A0
 AXIAL POS. (MM) : 338.00
 COOLING TM (DAYS): 100
 COLL. WIDTH(MM) : 0.40
 OP NO. : 5709-5766

ANGLE OF MAX RATE (DEG): 340.85
 MAX COUNT RATE (CPS): 107.90
 AVERAGE COUNT RATE(CPS): 104.46
 PEAKING FACTER : 1.032

CORRECTED

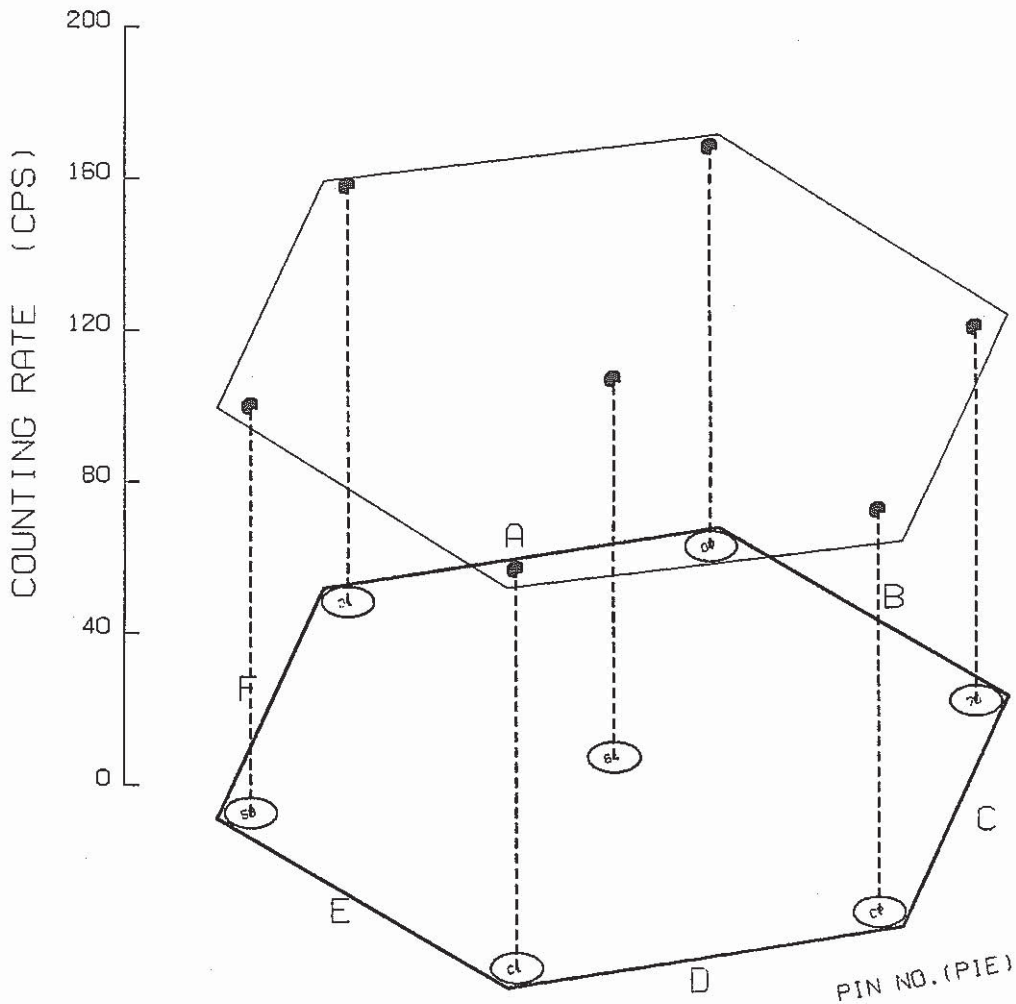
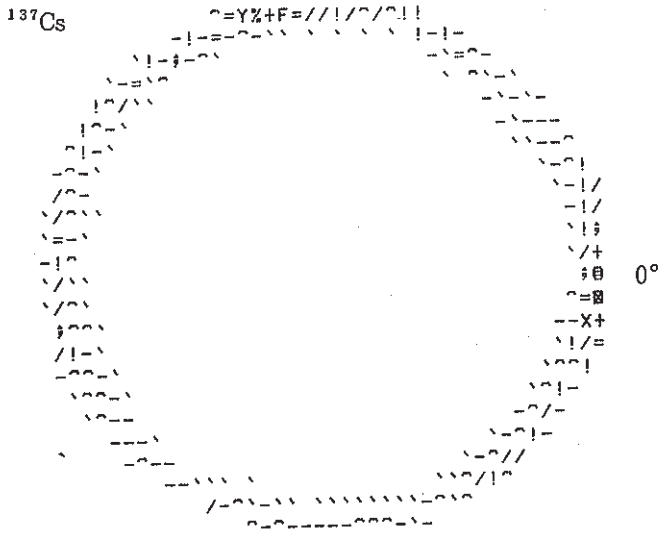


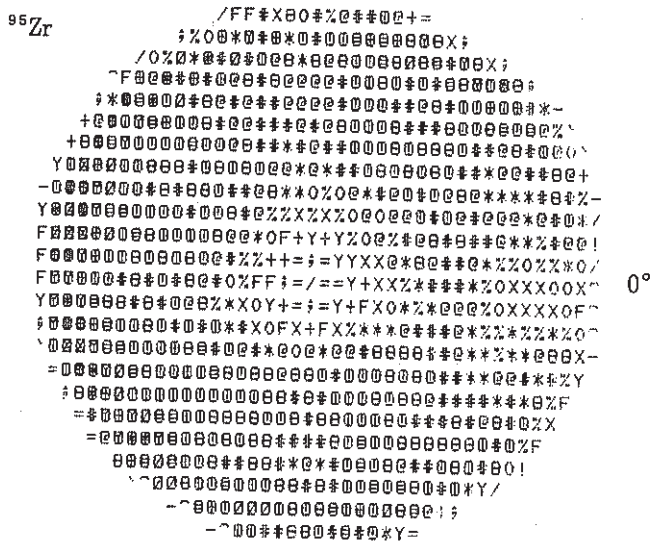
Fig. 22 Radial Distribution of Gamma Ray Intensity in the Subassembly (^{95}Zr , 0.725 MeV)

¹³⁷Cs



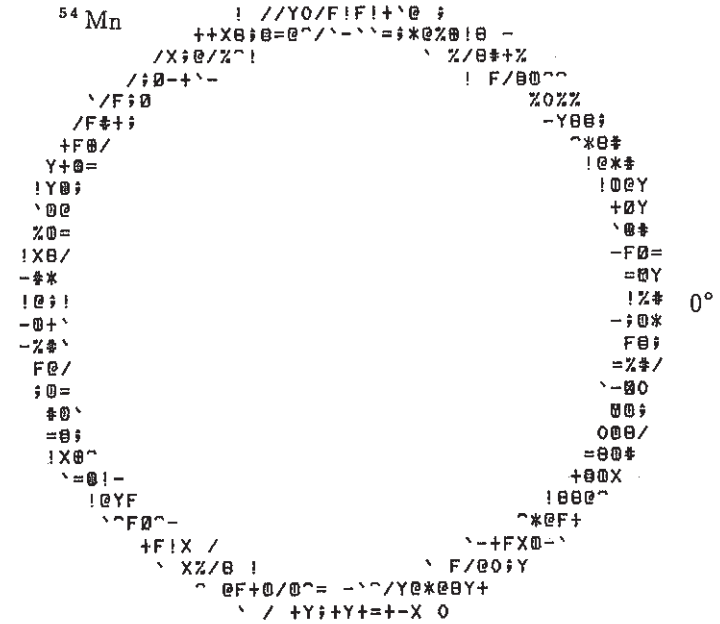
0°

⁹⁵Zr



0°

⁵⁴Mn



0°

PIN No. A 064

軸方向位置 338 mm

Fig. 23 γ -ray Emission Tomographs of Radionuclides in a Center Pin

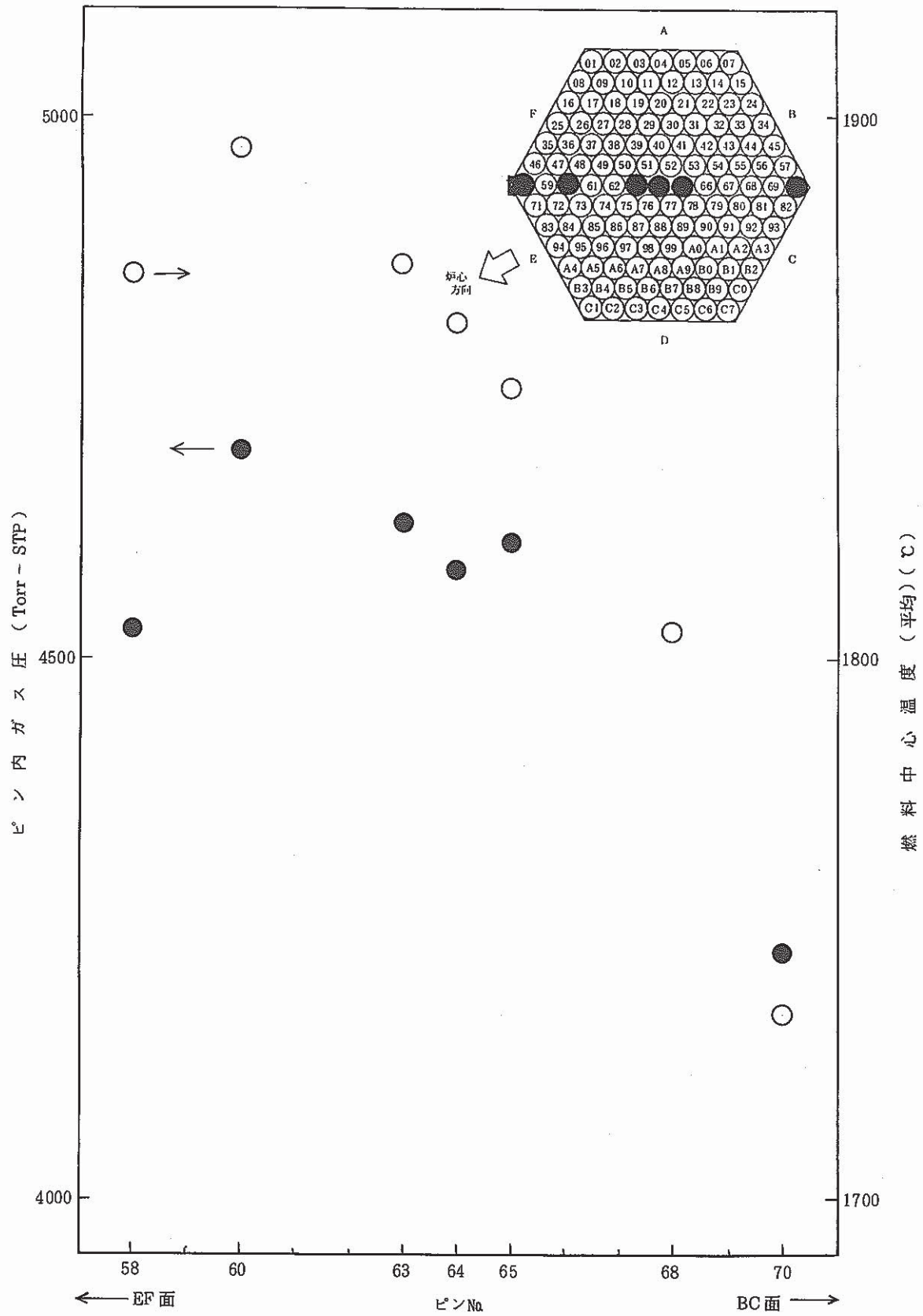


Fig. 24 Plenum Gas Pressure and Fuel Temperature vs. Location of Pins in Subassembly

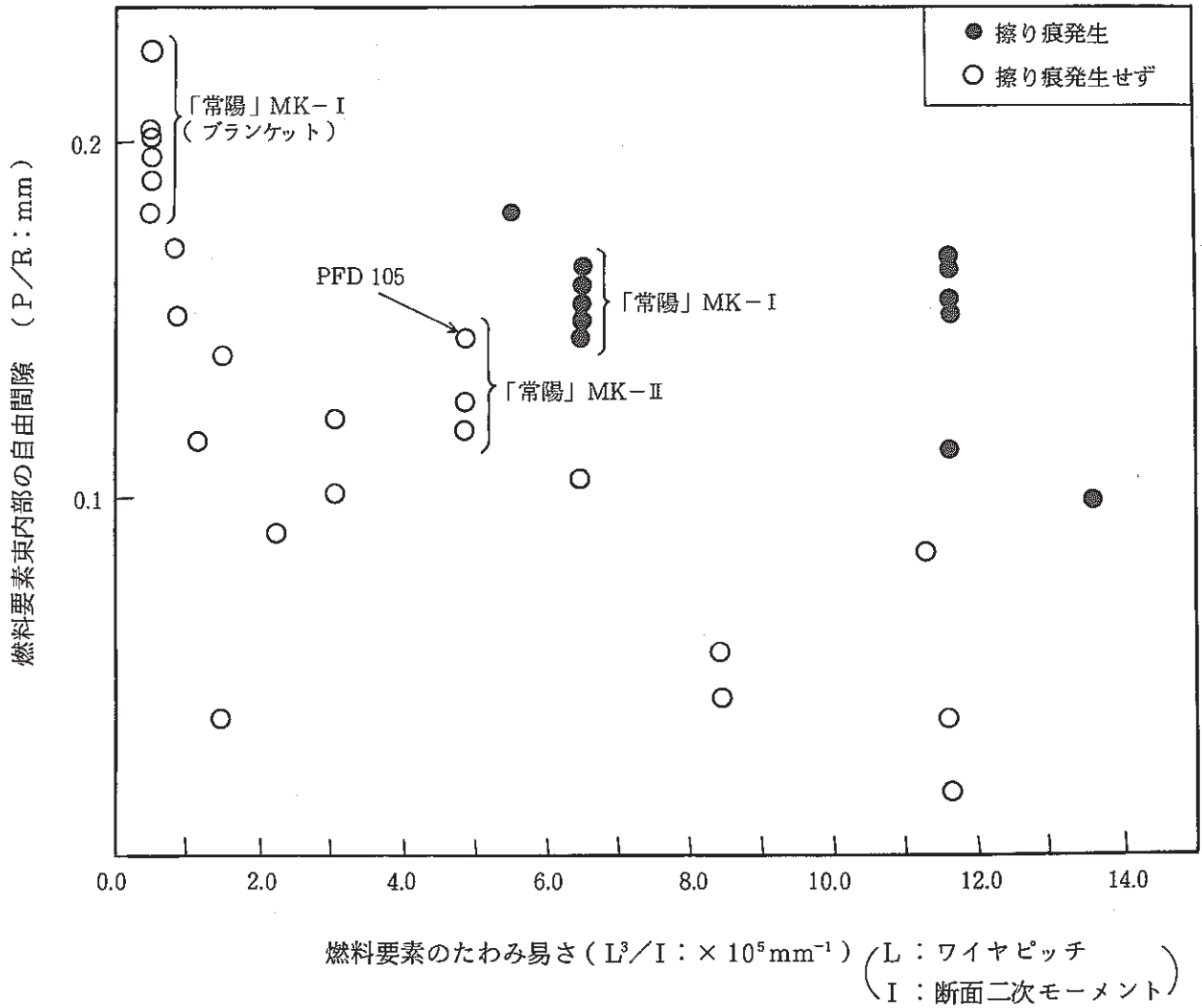


Fig. 25 Relation of P/R and L^3/I on the Wear Mark

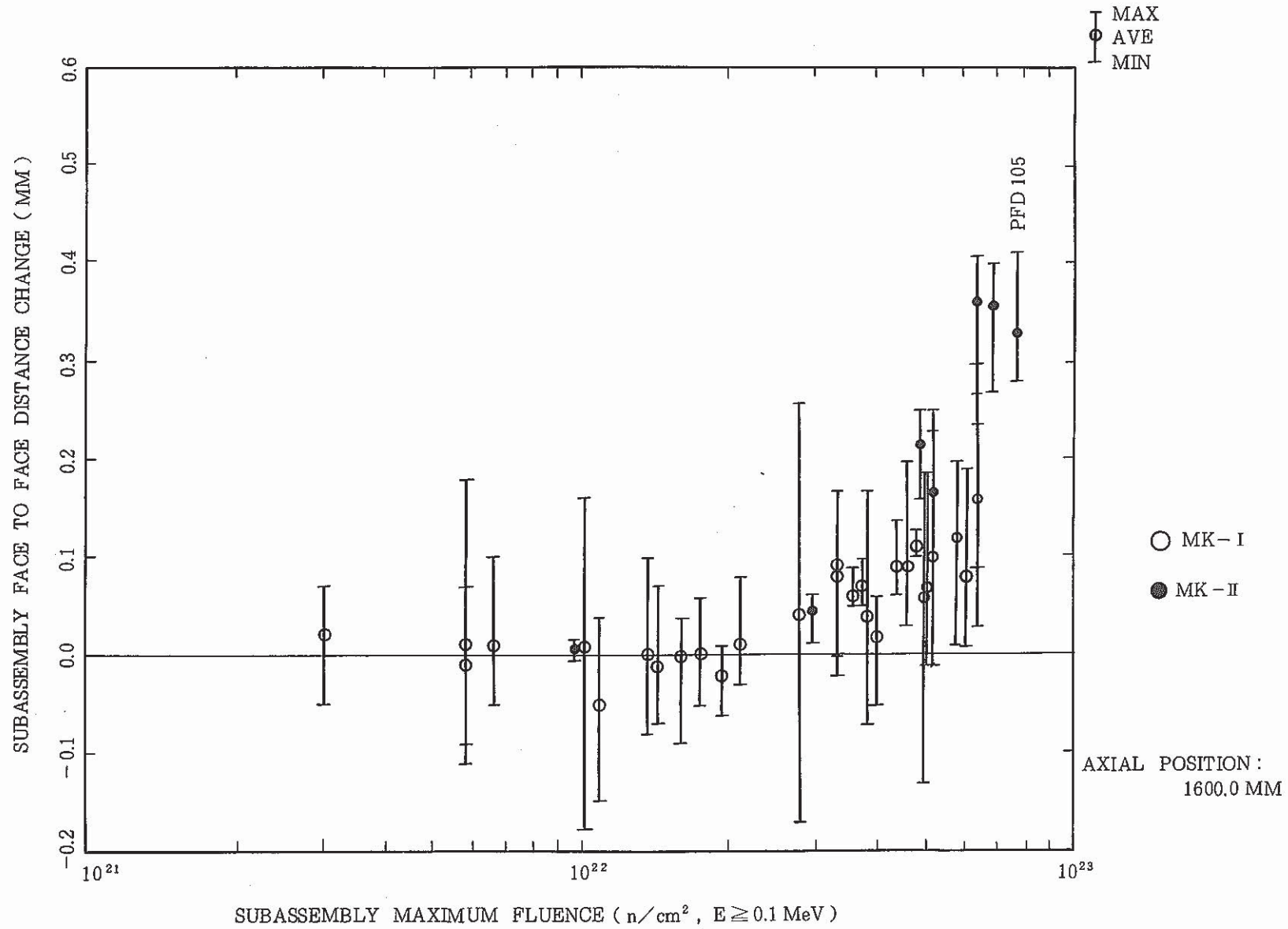


Fig. 26 Wrapper Tube Face to Face Distance Changes as a Function of the Subassembly Maximum Fluence

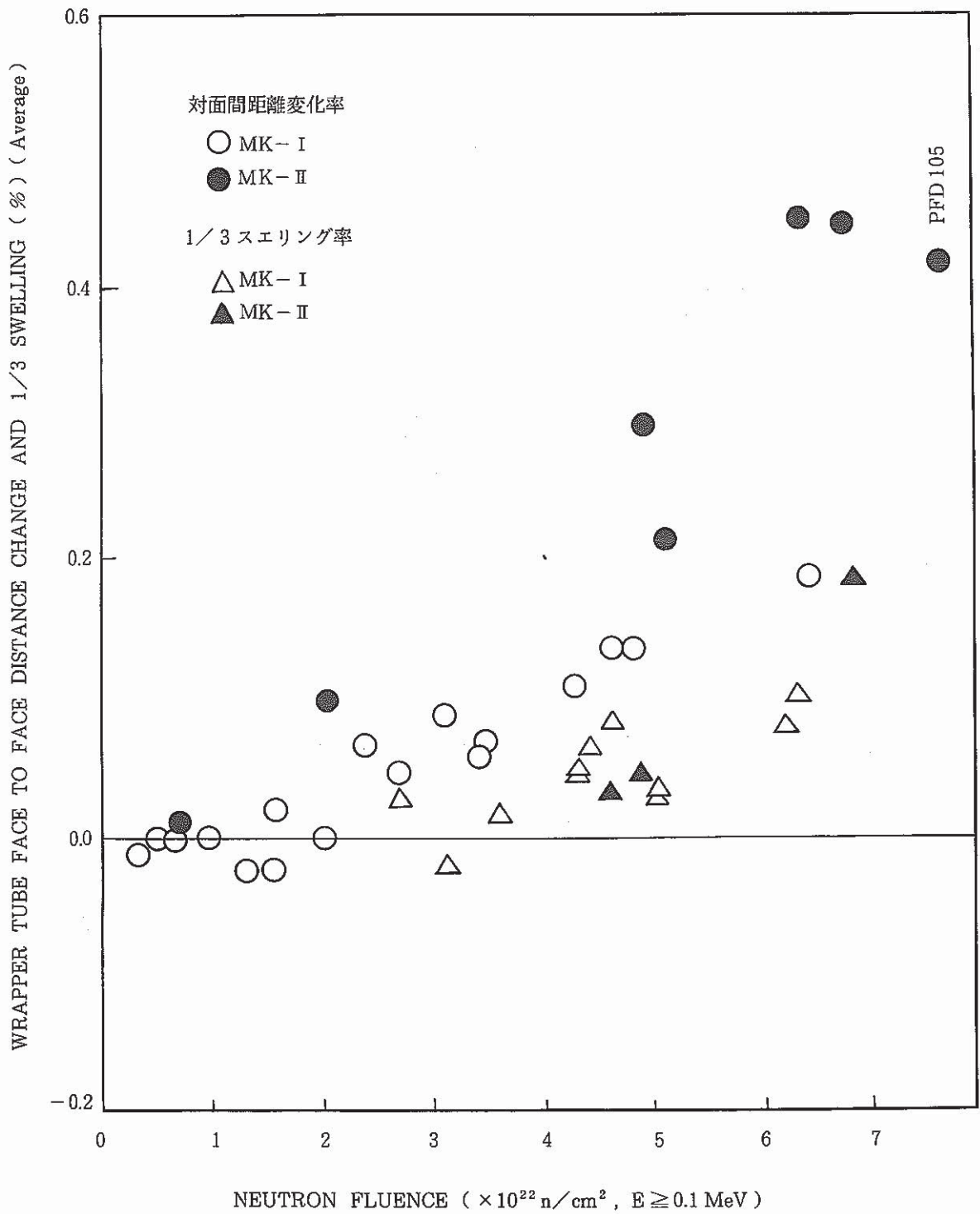


Fig. 27 Wrapper Tube Face to Face Distance Change and 1 / 3 Swelling Rate at Axial Core Center

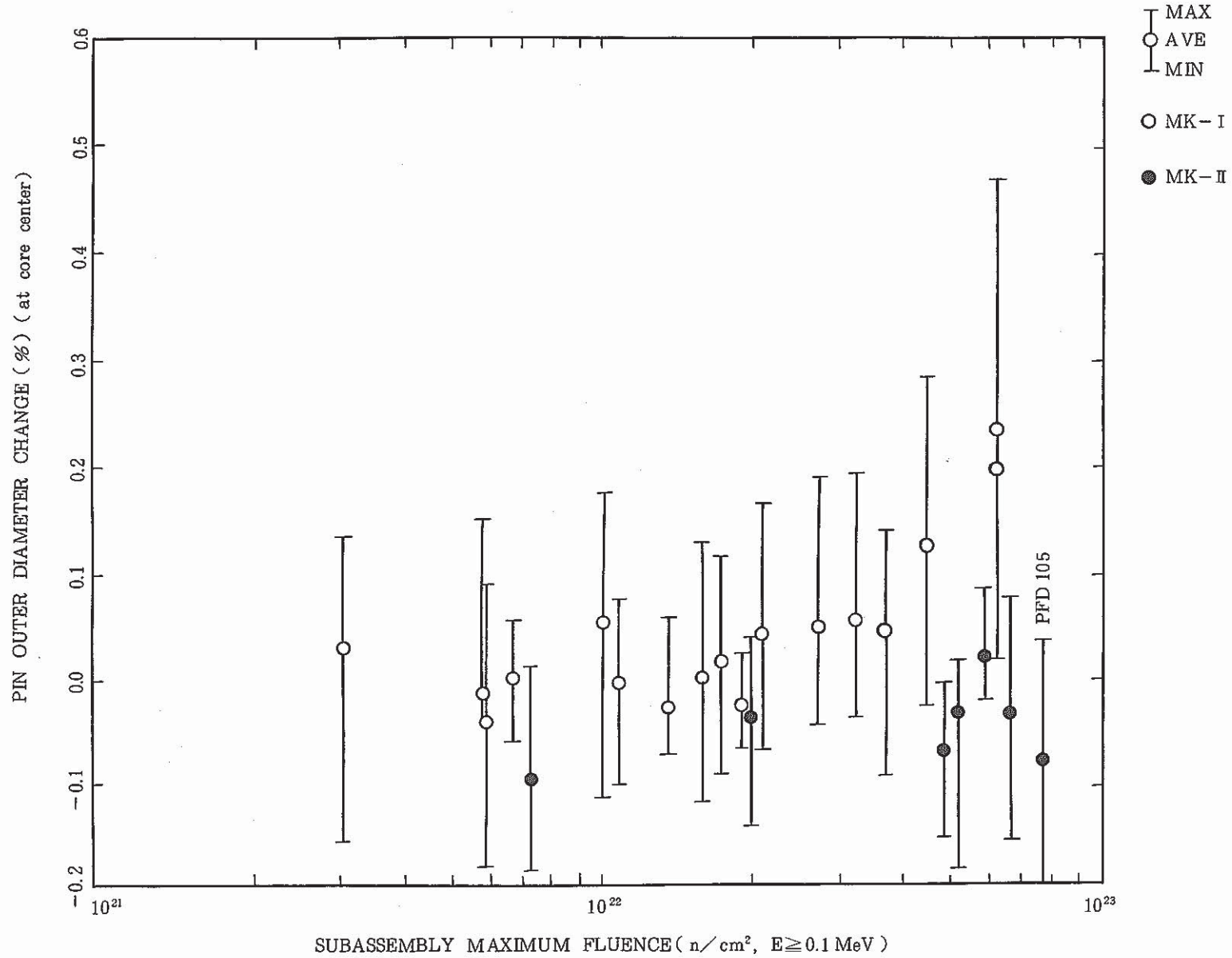


Fig. 28 Pin Outer Diameter Changes of MK-I and MK-II Core Fuel Pin as a Function of Subassembly Maximum Fluence

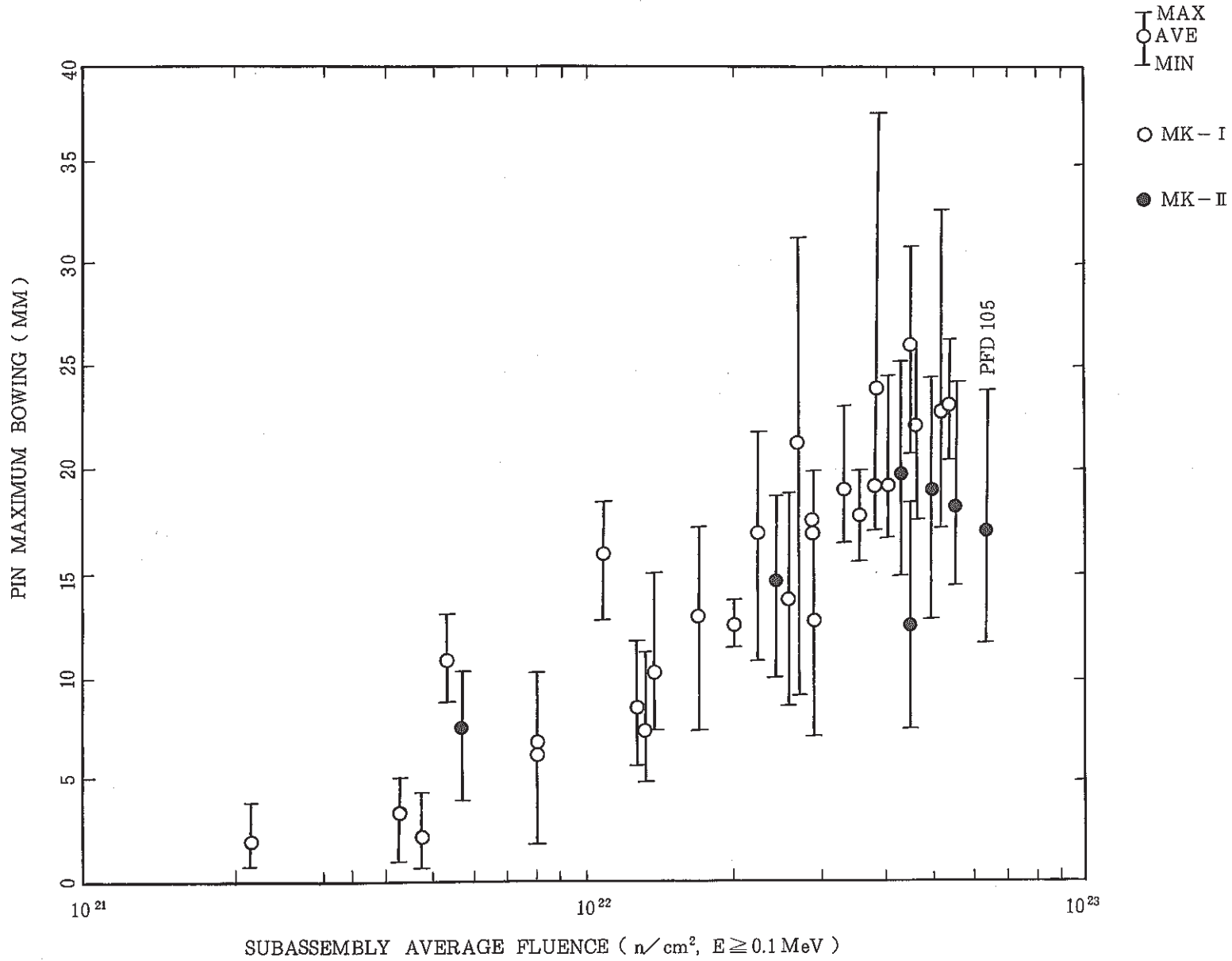


Fig. 29 Pin Maximum Bowing as a Function of Subassembly Average Fluence

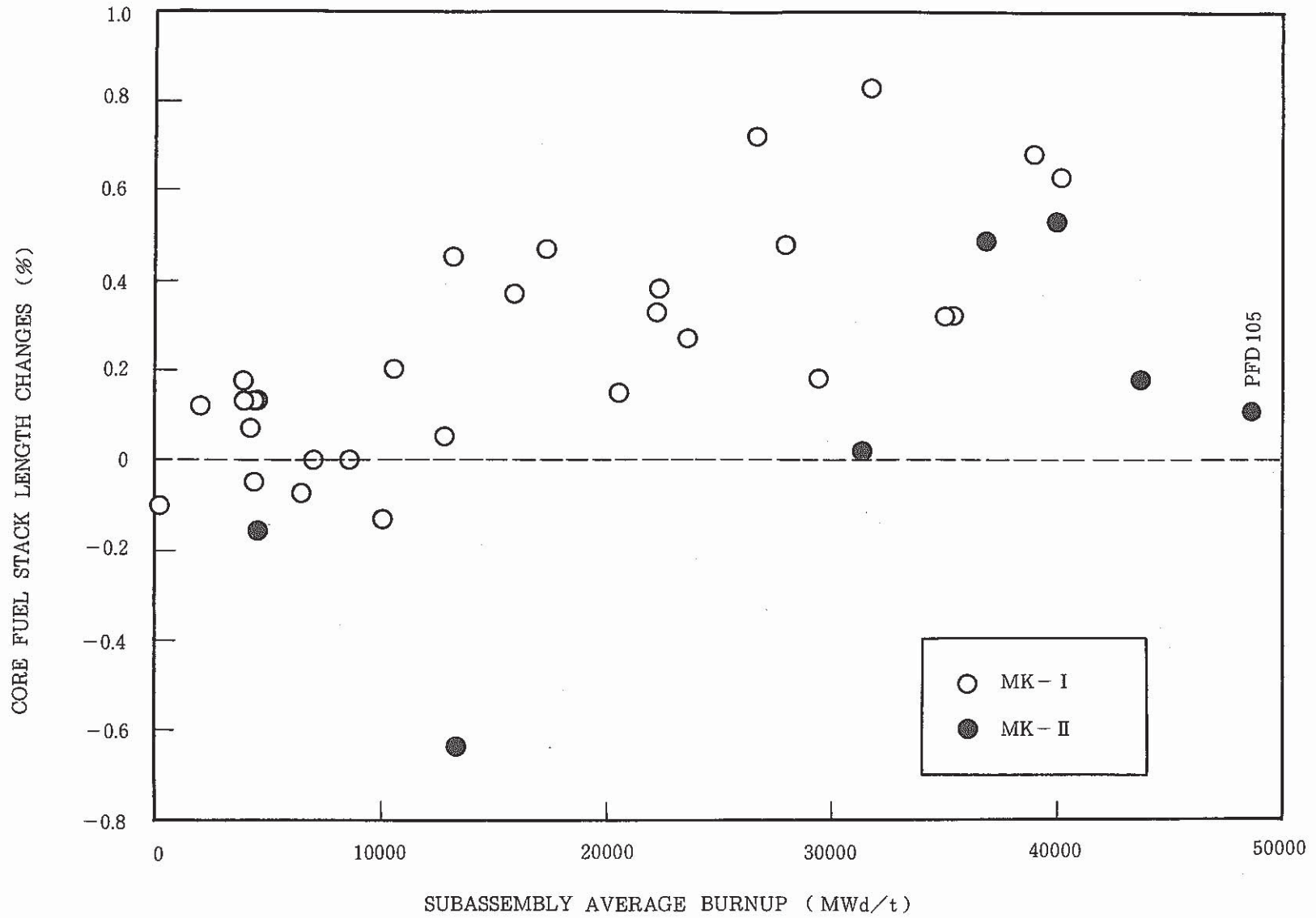


Fig.30 Fuel Stack Length Change of MK-I and MK-II Core Fuel as a Function of Subassembly Average Burnup

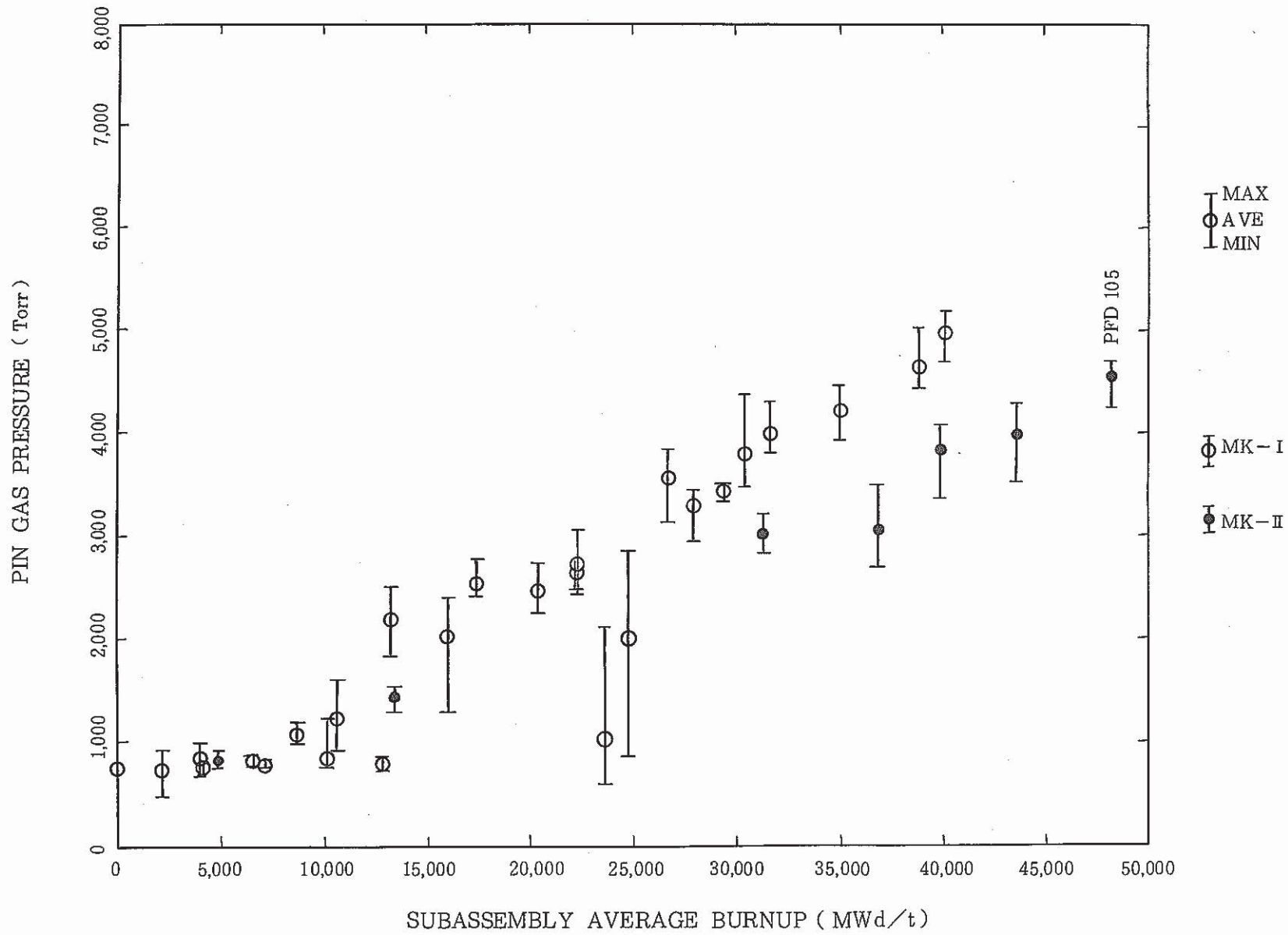


Fig.31 Plenum Gas Pressure of MK-I and MK-II Core Fuel Pins as a Function of Subassembly Average Burnup

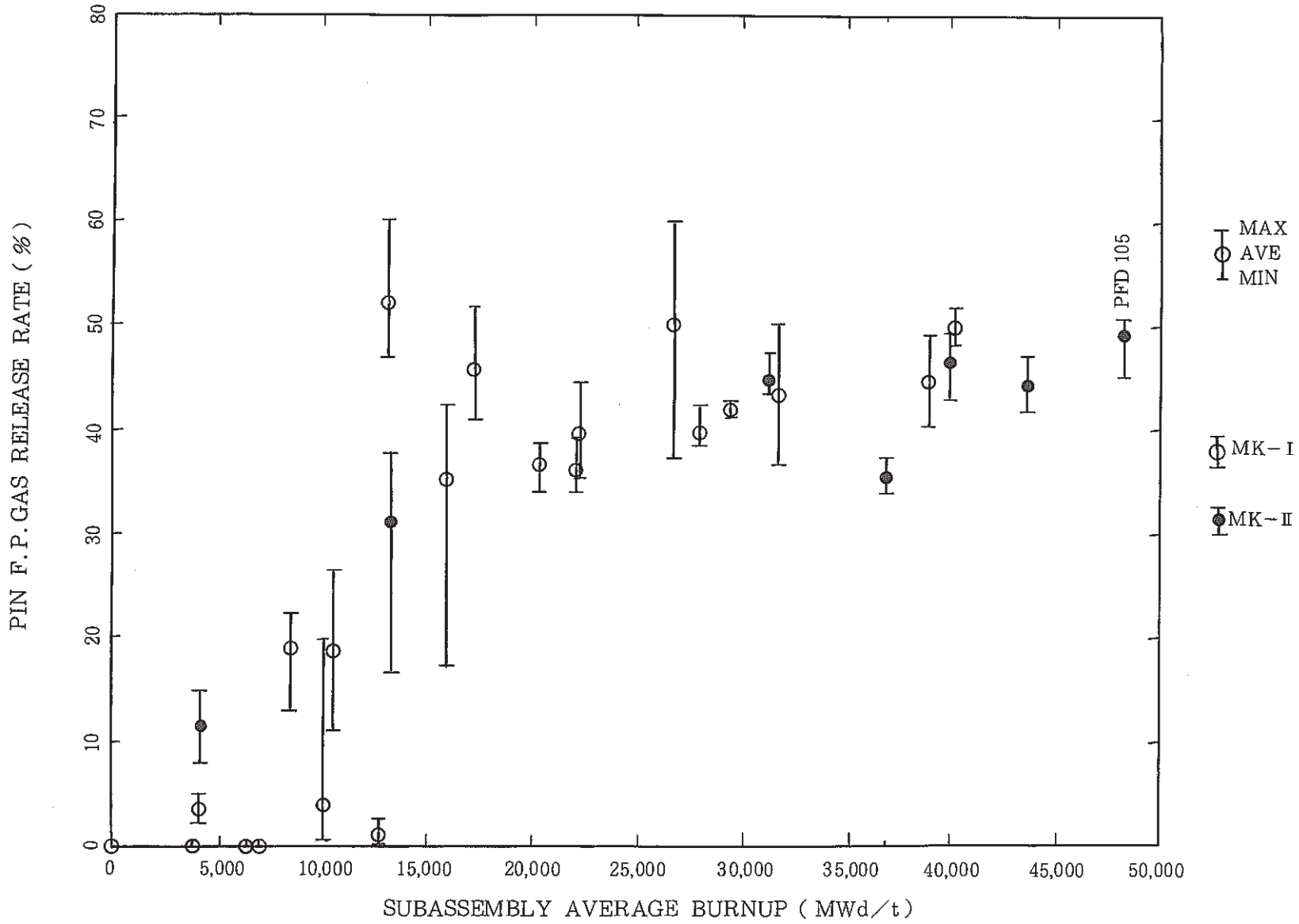


Fig. 32 Fission Gas Release Rate of MK- I and MK- II Core Fuel Pins as a Function of Subassembly Average Burnup

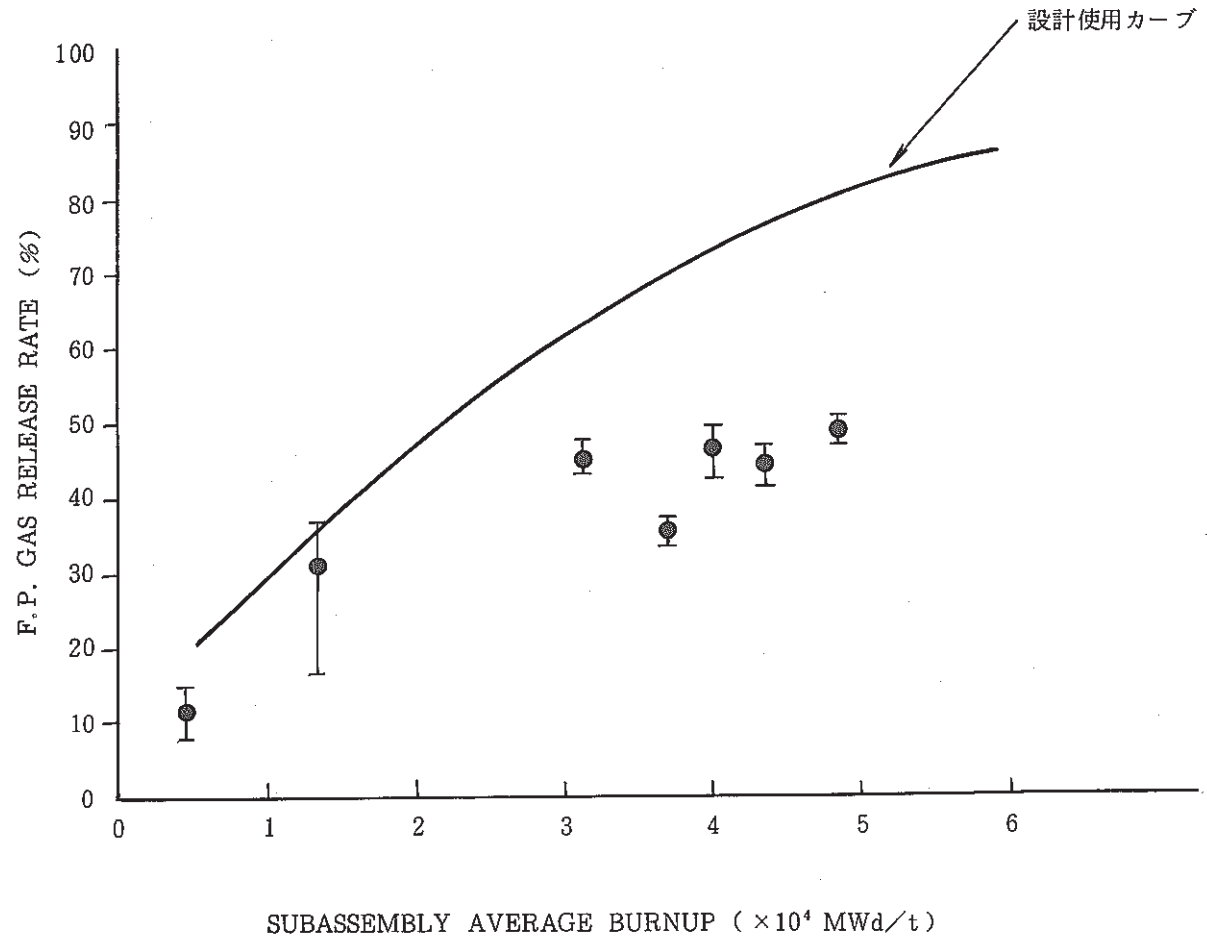
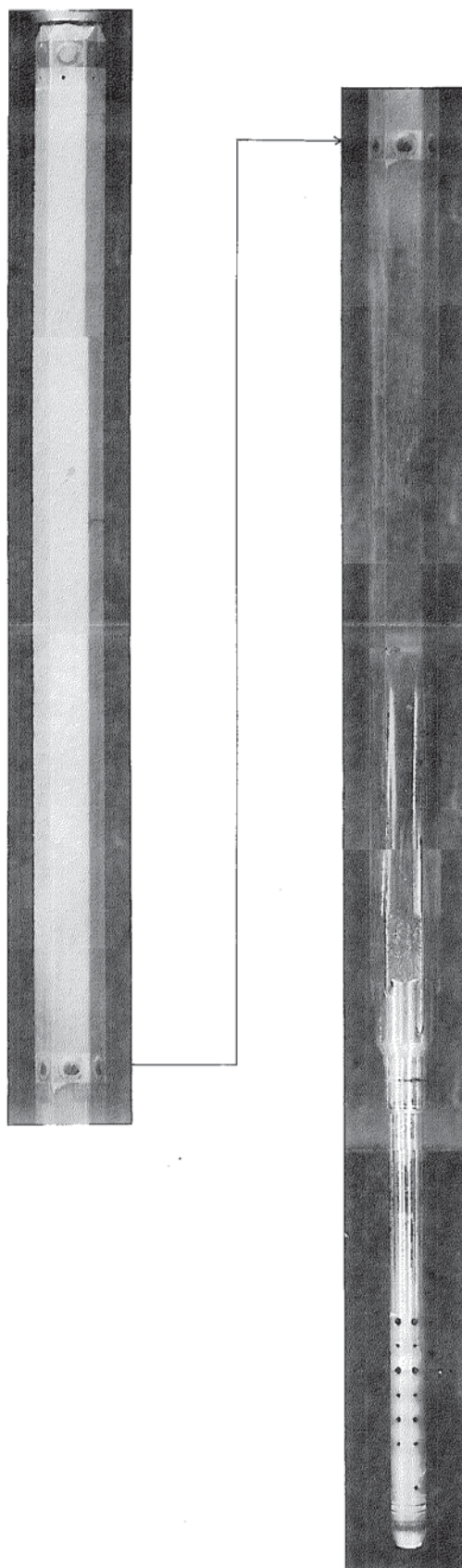


Fig. 33 Comparison between Designed and Measured Values of F.P. Gas Release Rate

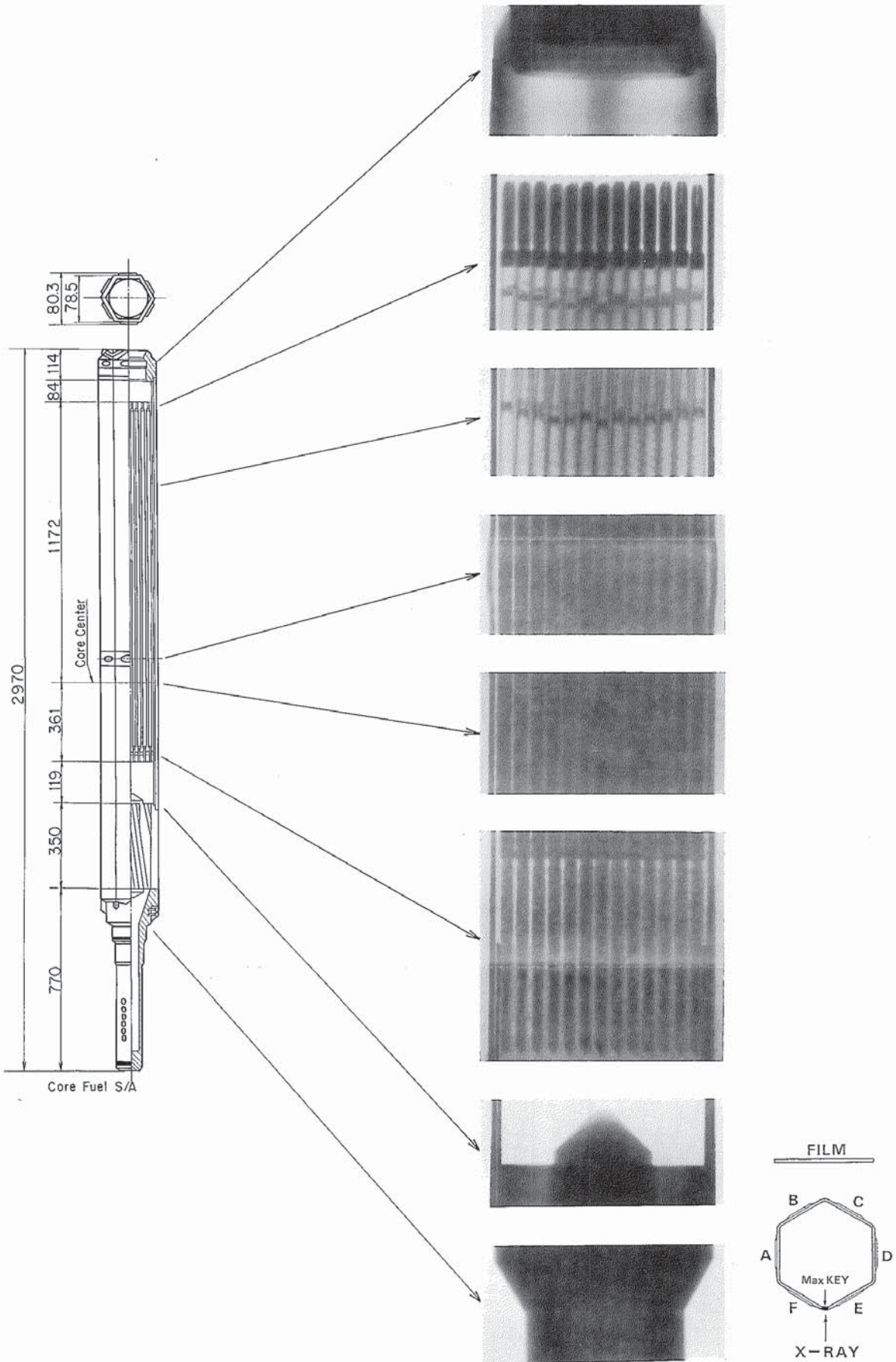


(before)

FACE **F**

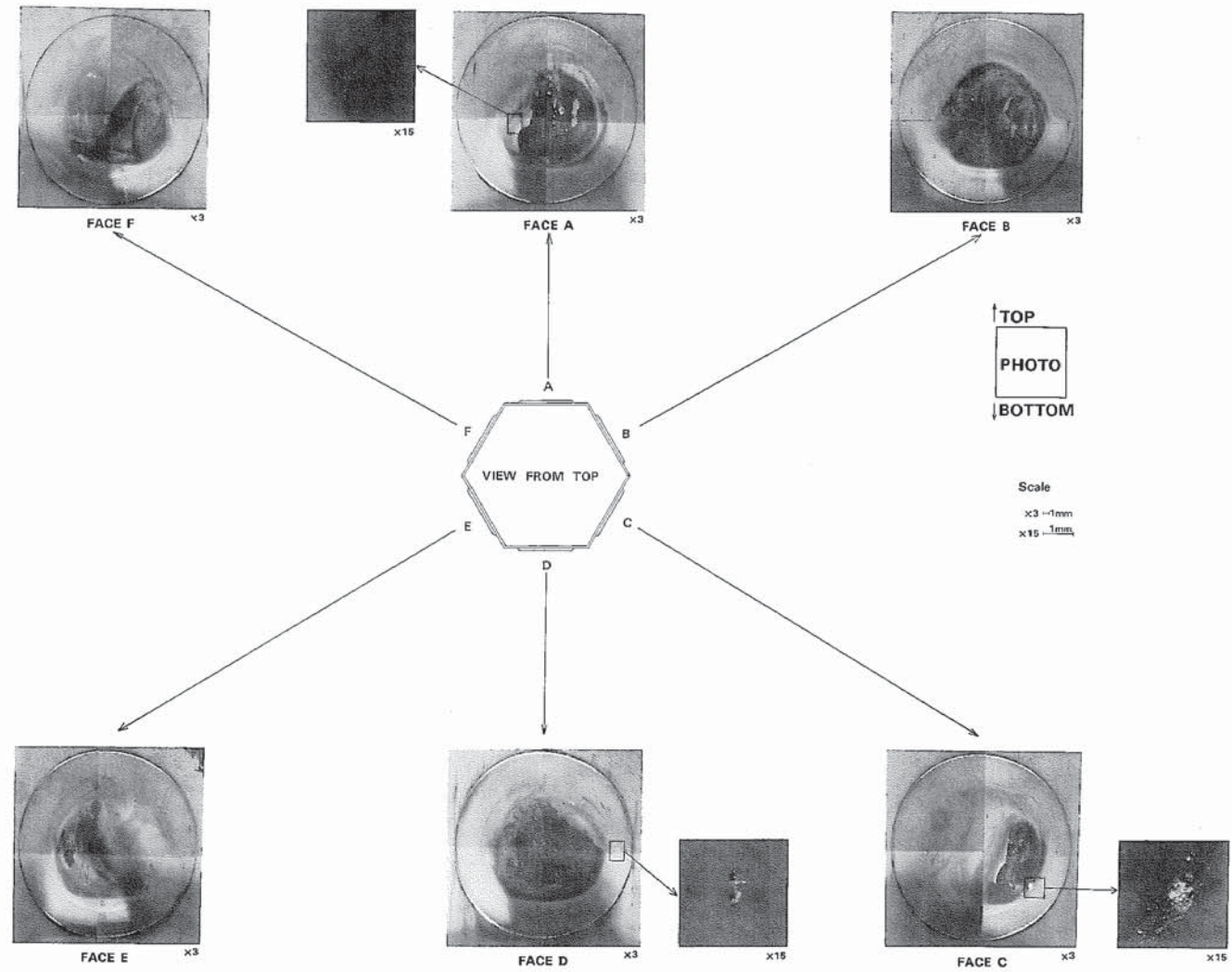
F861009

Photo.1 Surface Condition of the Subassembly



F862009

Photo.2 X-ray Radiography of the Subassembly



F866002

Photo.3 Surface Condition of Middle Pad

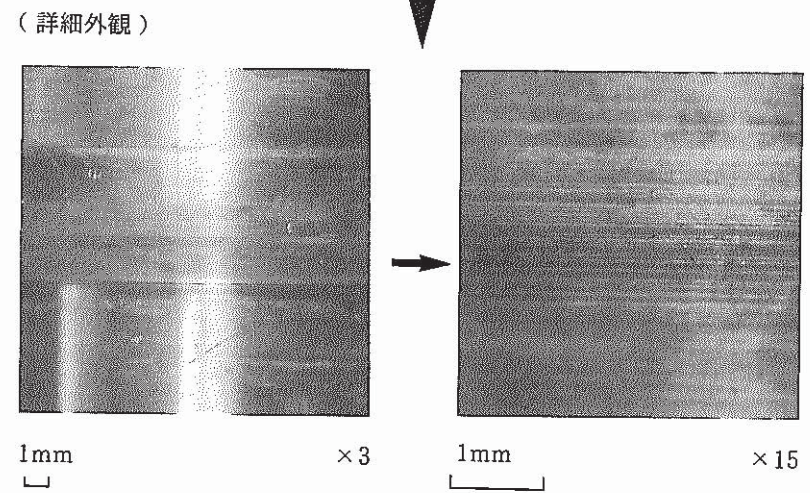
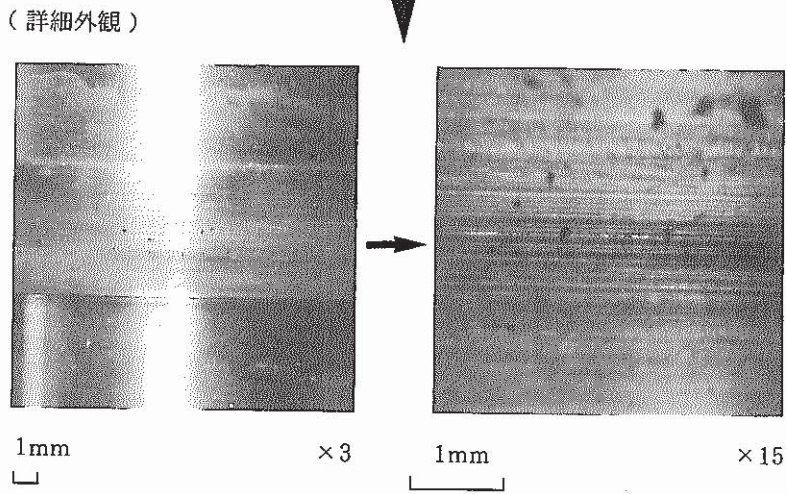
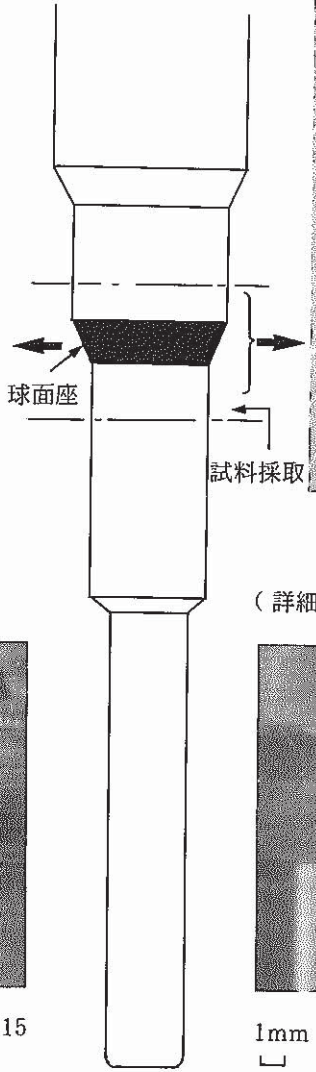
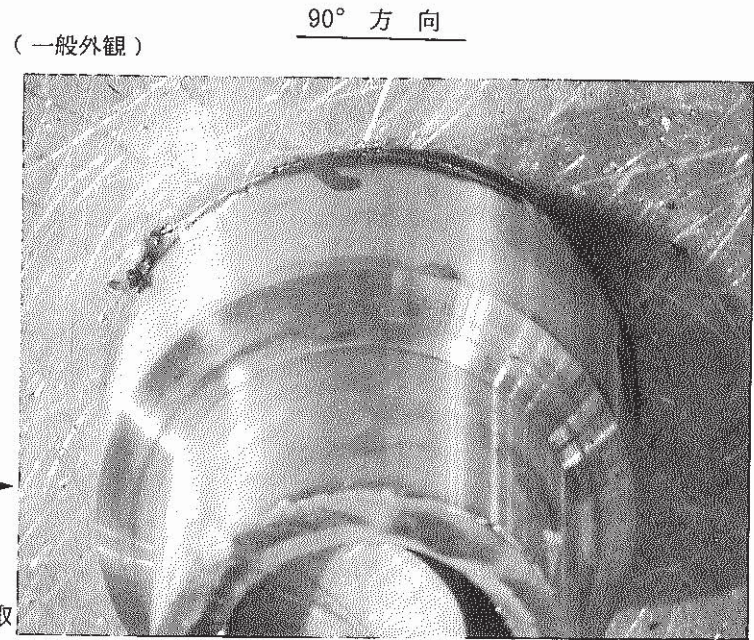
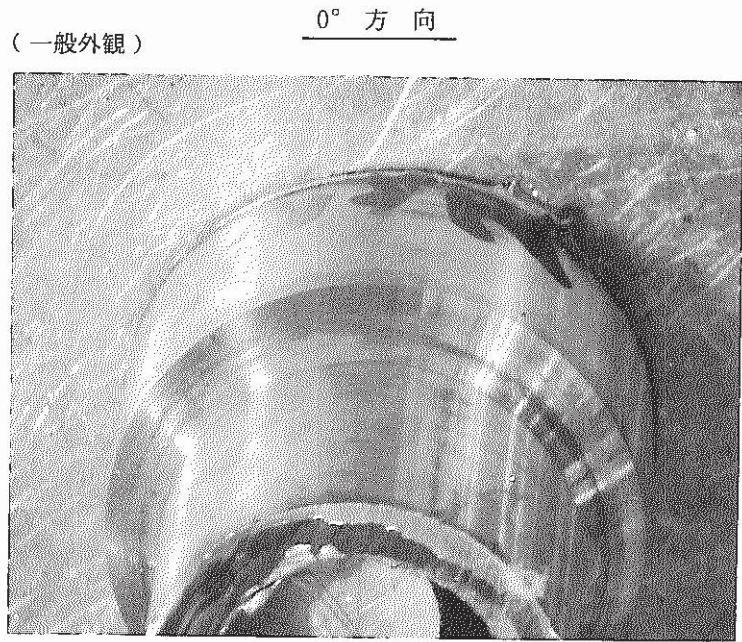


Photo.4 Surface Condition of Spherical Site of E/N

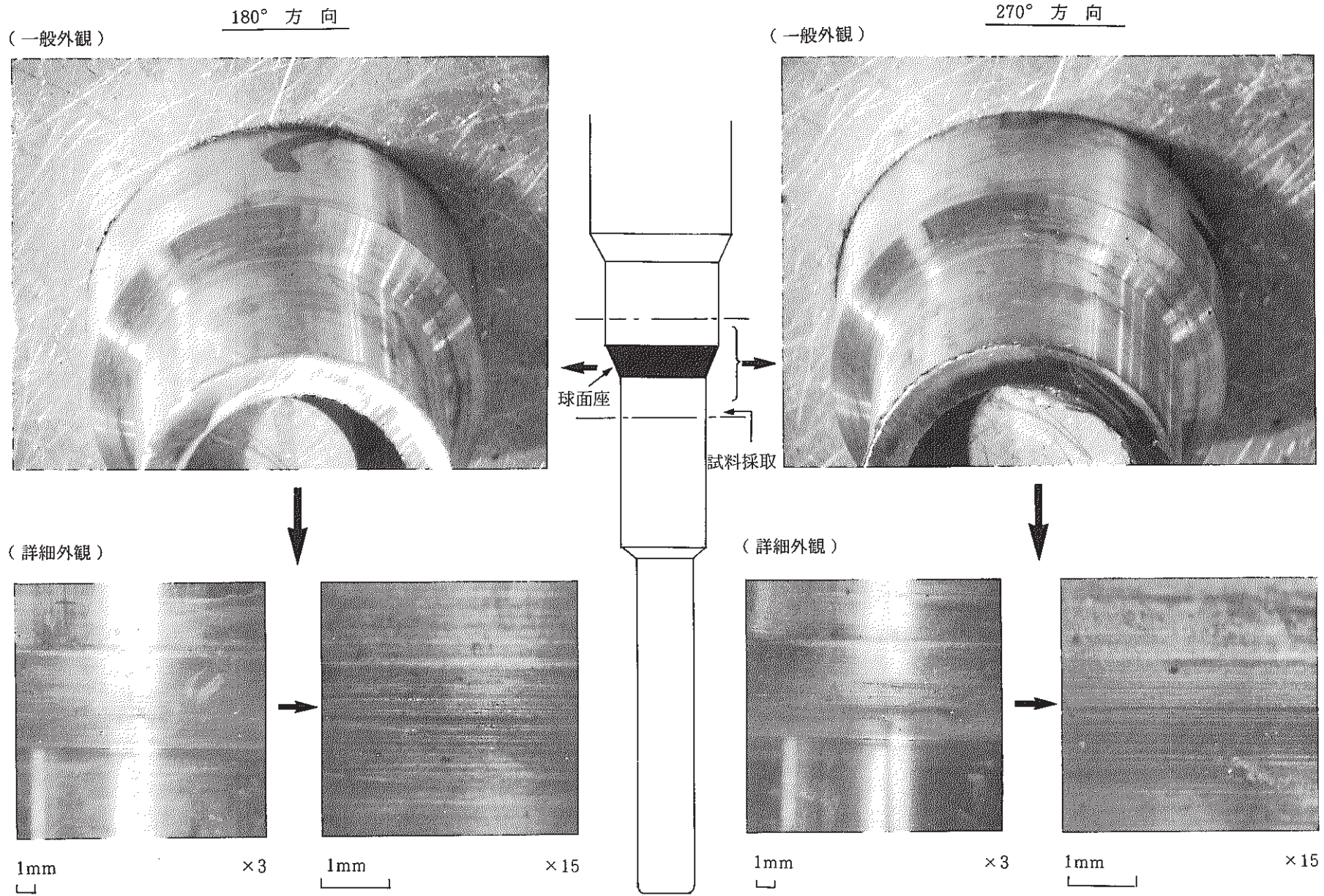
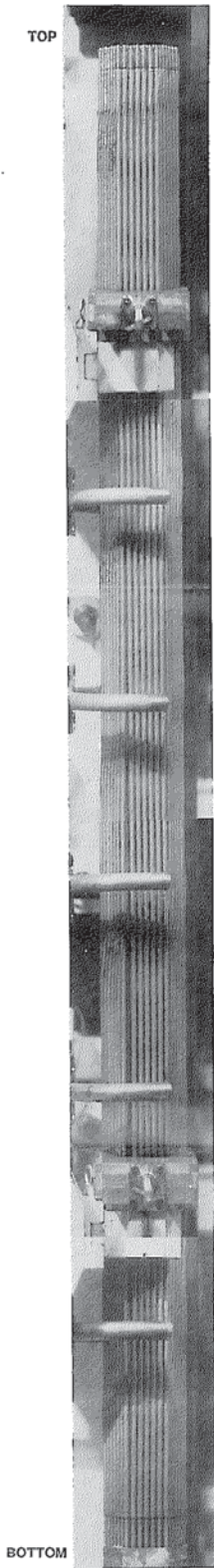
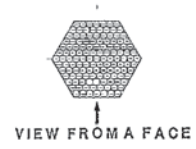


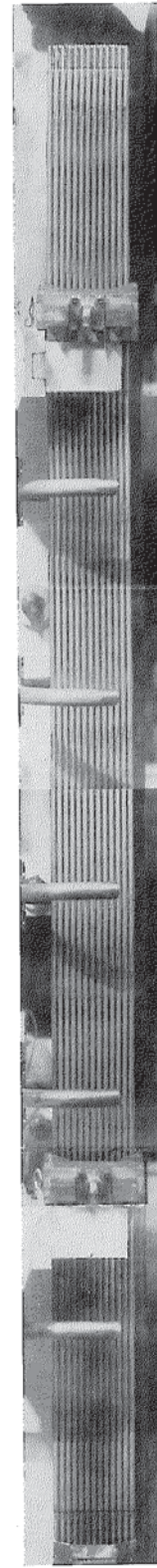
Photo.4 Surface Condition of Spherical Site of E/N (continued)



Row 1



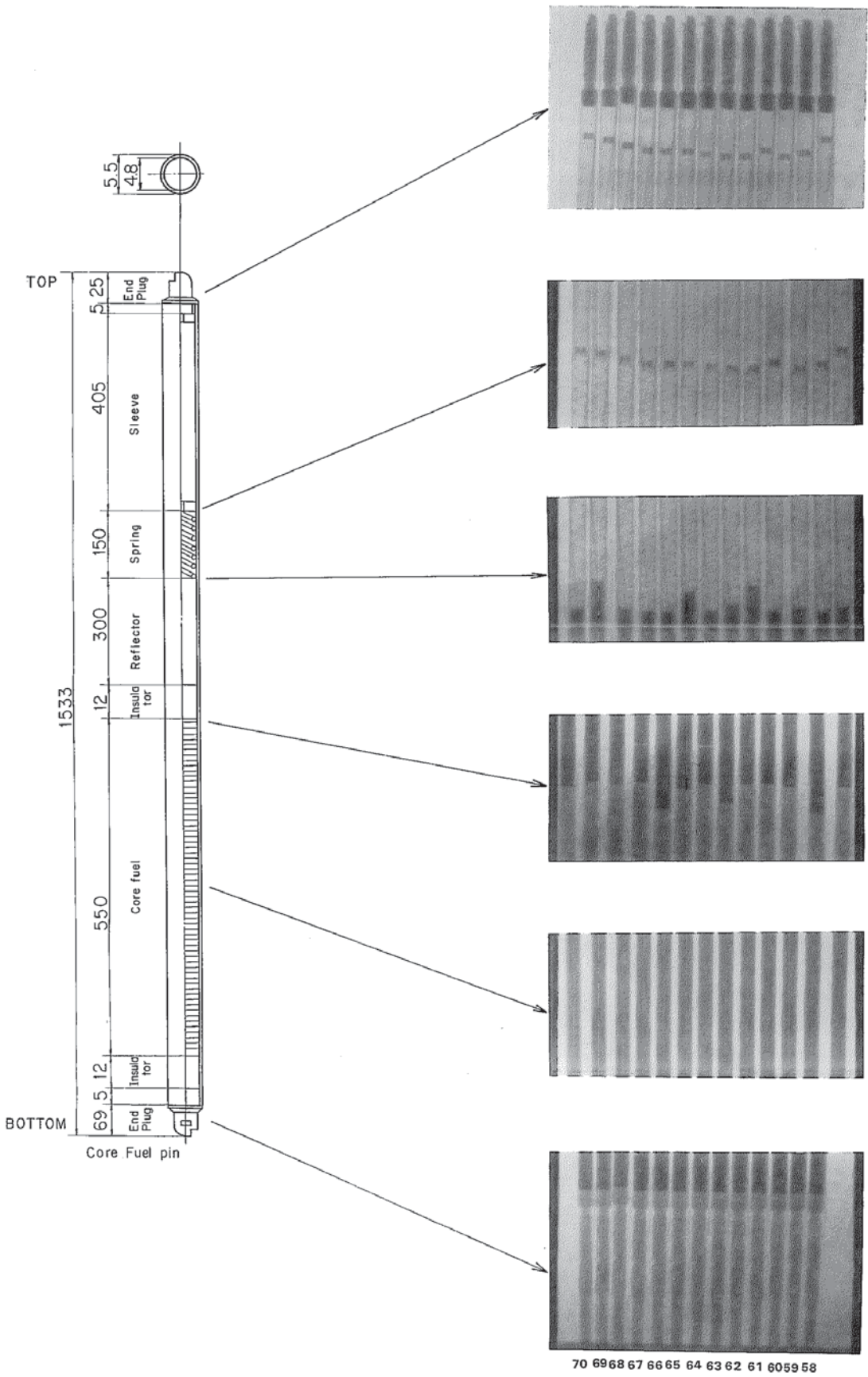
Row 4



Row 7

F863004

Photo.5 Condition of Fuel Pin Bundle Observed at each Stage of Disassembling



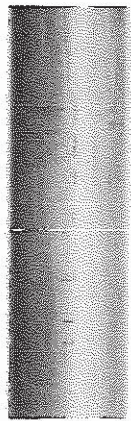
F864005

Photo.6 Construction Condition inside of the Subassembly Observed by X-ray Radiography

被覆管

Pin No. A087

倍率×3



Z軸位置 208

∅軸位置 301

倍率×15

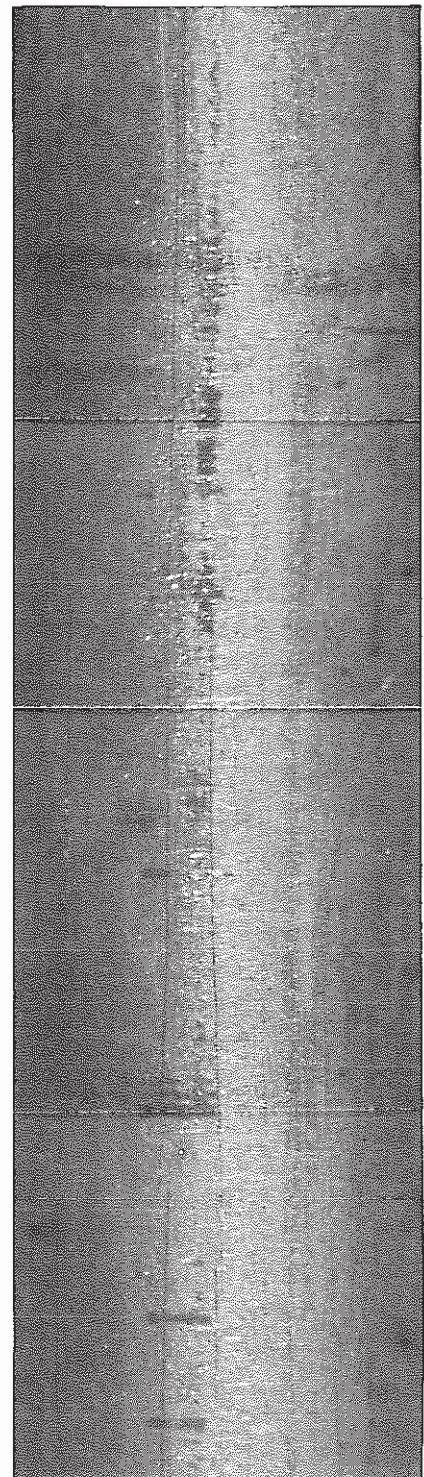


Photo.7 Contact Mark on a Fuel Pin