

「常陽」MK-I炉心燃料(PPJX12)の照射後試験(1)

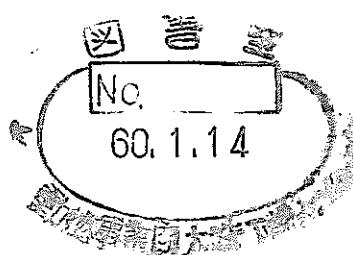
集合体及び燃料要素の非破壊試験

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
	I941 84-02

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

1984年10月



区 分 変 更	
変更後資料番号	PNC TN9410 84-126
決裁年月日	平成 13年 7月 3日

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター

燃料材料試験部

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

◎ 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

内 部 資 料
PNC T/V #941084-02/26
1984年10月

「常陽」MK-I炉心燃料(PPJX 12)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 小高 英男 浅賀 健男
小形 佳昭 松島 英哉
長山 典右

要 旨

「常陽」MK-I炉心燃料集合体(PPJX 12, 平均燃焼度 38,900 MWD/MTM)の集合体及び燃料要素の非破壊試験を実施した。本集合体は、「常陽」で照射された炉心燃料集合体の中では、炉心位置 OOO に装荷された集合体(PPJX 13, 平均燃焼度 40,100 MWD/MTM)に次ぐ高燃焼度を有するものである。又、本集合は、水中保管における集合体部材のアルカリ腐食を主とする燃料の挙動を調べるために、意図的にナトリウム洗浄不足状態で水封管中に長期保管させておいたものである。照射燃料集合体試験室における試験の目的は高燃焼度での照射挙動に関する基礎データを取得し、高燃焼度集合体の同種データを補充するとともに、集合体部材のアルカリ水中保管による影響を調べることである。

本試験から得られた主な結果を下記に示す。

I 集合体の健全性

本集合体は、最高燃焼度集合体(PPJX 13)に次ぐ高燃焼度集合体であるが、集合体部材の損傷、有害な変形、変色等もない。又、ピンの破損、集合体内の異物の混入等もなく、集合体及びピンは健全であった。

II 照射挙動(PPJX 13との比較において)

- (1) 集合体対面間距離で有意差を超える 0.19 mm の増加が炉心部付近で認められた。この値は、PPJX 13 の 0.23 mm より若干低めであった。
- (2) ピンの寸法測定では、全最、外径で R 材の増加量が K 材、S 材に比べて大きい。この傾向は、PPJX 13 の場合と同じであった。
- (3) ピン重量について、PPJX 12 は有意差を超えるピンは測定されていない。
- (4) ピンパンクチャーテストでのガス圧は、PPJX 12 は PPJX 13 よりガス圧が低い。これは、燃焼度の差によるものと思われる。ガス分析、ガス放出率についても、MK-I 炉心燃料集合体のこれまでの傾向と合致している。

III 部材の水中保管による影響

通常の集合体より、若干、付着ナトリウム量が多いものの、集合体外観、ピン詳細外観及びパ

ンクチャー試験が主な観察手法であるが部材の表面腐食、有害な変色、ガス圧の異常な変化等はなく、非破壊検査で見る限りその影響はないものと判断される。



Postirradiation Examination of "JOYO" MK-I Core Fuel Subassembly
(Fab. No. PPJX12) (1)

- Nondestructive Examination on Subassembly
and its Fuel Elements -

Reporters

Hideo Kodaka, Yoshiaki Ogata,
Takeo Asaga, Takashi Akiyama and
Hirokatsu Tachi

Abstract

Nondestructive Examination of Subassembly and its fuel elements of the "JOYO" MK-I Core Fuel Subassembly (Fab. No. PPJX12, average burnup 38,900 MWD/MTM) has been performed. The purposes of the Examination were for the first time to obtain the detailed irradiation data on this Subassembly which had reached to the next highest burnup throughout the "JOYO" MI-I project, and to investigate the influence of sodium corrosion on the subassembly for which the sodium removal washing had been intentionally not enough performed.

The results of the examination are summarized below.

1. The subassembly and its fuel elements showed no failure.
2. In general the irradiation characteristics of the subassembly in each item of PIE were nearly the same as those of the subassembly (Fab. No. PPJX13).
3. No extrarrdinal behaviors have not been found.
4. Sodium corrosion on material surface has not been observed in the present nondestructive examination.

目 次

1. まえがき	1
2. 供試試料	2
2.1 主要仕様	2
2.2 部品	2
3. 照射条件と保管条件	3
3.1 照射条件	3
3.2 保管条件	3
4. 試験結果	4
4.1 試験の概要	4
4.2 集合体試験結果	4
4.2.1 線量率及び表面温度	4
4.2.2 外観検査	5
4.2.3 ナトリウム洗浄	5
4.2.4 X線ラジオグラフィ	5
4.2.5 寸法測定	5
4.2.6 ラッパ管ガンマスキャン	6
4.3 ピン試験結果	6
4.3.1 列外観検査	6
4.3.2 X線ラジオグラフィ	6
4.3.3 重量測定	7
4.3.4 寸法測定	7
4.3.5 詳細外観検査	8
4.3.6 ガンマスキャニング	8
4.3.7 パンクチャー	8
5. あとがき	10
6. 参考文献	11

List of Table

Table I	"JOYO" MK-I Core Fuel Subassembly Specification	12
Table II	Fuel Pins Parts List	13
Table III	Irradiation Condition	19
Table IV	Weight Changes of Fuel Pins	22
Table V	Total Length Changes of Fuel Pins	23
Table VI	Results of Pin F.P. Gas Analysis	23

List of Figures

Fig. 1.	Arrangement of Pins In Subassembly	24
Fig. 2.	Fuel Subassembly Parts List	25
Fig. 3.	Location of Subassembly In-Reactor	26
Fig. 4.	Irradiation Condition of Center Pin	27
Fig. 5.	Selection of Core Fuel Pins for Pin Examination	31
Fig. 6.	Surface Temperature of Wrapper Tube	33
Fig. 7.	Retained Sodium Weight in Subassemblies of MK-I and MK-II.	34
Fig. 8.	Face to Face Distance of Subassembly (A-D Face)	35
Fig. 9.	Face to Face Distance of Subassembly (E-B Face)	36
Fig. 10.	Face to Face Distance of Subassembly (F-C Face)	37
Fig. 11.	A Dependency of Face to Face Distance Changes of the MK-I Subassemblies	38
Fig. 12.	Bowing of Subassembly	39
Fig. 13.	Results of Wrapper Tube Gamma Scanning	40
Fig. 14.	Elongation of Core Fuel Stack Length	41
Fig. 15.	Weight Changes of Fuel Pins	42
Fig. 16.	Relation of Total Pin Length Changes of Subassemblies in MK-I (R-Clad.)	43
Fig. 17.	Relation of Total Pin Length Changes of Subassemblies in MK-I (S-Clad.)	44
Fig. 18.	Relation of Total Pin Length Changes of Subassemblies in MK-I (K-Clad.)	45
Fig. 19.	Axial Profile of Pin Diameter (R-Clad.)	46
Fig. 20.	Axial Profile of Pin Diameter (S-Clad.)	47
Fig. 21.	Axial Profile of Pin Diameter (K-Clad.)	48
Fig. 22.	Relation of Pin Outer Diameter Changes of Subassemblies in MK-I (R-Clad.)	49
Fig. 23.	Relation of Pin Outer Diameter Changes of Subassemblies in MK-I (S-Clad.)	50
Fig. 24.	Relation of Pin Outer Diameter Changes of Subassemblies in MK-I (K-Clad.)	51
Fig. 25.	Pin Bowing Vector on the Subassembly	52
Fig. 26.	Typical Axial Profile of Pin Bowing	53
Fig. 27.	Relation of Pin Maximum Bowing of Subassemblies in MK-I (R-Clad.)	54
Fig. 28.	Relation of Pin Maximum Bowing of Subassemblies in MK-I (S-Clad.)	55

Fig. 29.	Relation of Pin Maximum Bowing of Subassemblies in MK-I (K-Clad.)	56
Fig. 30.	Axial Distribution of Gamma Ray Intensity	57
Fig. 31.	Radial Distribution of Gamma Ray Intensity	58
Fig. 32.	Gas Pressure in Fuel Pin (Ring No.)	59
Fig. 33.	Gas Pressure in Fuel Pin (Pellet Lot No.)	60
Fig. 34.	Dependency of F.P. Gas Pressure of Subassemblies in MK-I	61
Fig. 35	Dependency of F.P. Gas Release Rate of Subassemblies in MK-I	62

List of Photographs

Photo. 1. Inspection of Subassembly Surface before and after Sodium Removal	63
Photo. 2. X-ray Radiography of Subassembly	65
Photo. 3. Visual Inspection of Pins	67
Photo. 4. Pin X-ray Radiography	69
Photo. 5. Photograph of the Bowed Pin (Maximum Bowing)	71

1. まえがき

本集合体(PPJX 12)は、平均燃焼度 38,900 MWD／MTM、積算中性子束ポイント最大 6.39 $\times 10^{22}$ nvt ($E \geq 0.1$ Mev) を有し、既に FMFにおいて試験を実施した集合体 PPJX 13⁽¹⁾⁽²⁾ に次いで MK-I 炉心燃料集合体の中で高い照射条件を有しているものと評価されているものである。従って本集合体の照射挙動は、「PPJX 13」と同程度もしくは若干下回るものと推定されるが、集合体寸法等の集合体の高照射量におけるデータの補充、被覆管や混合酸化物燃料の照射挙動をより統計的に評価できるためのデータベースの拡充を目的として照射後試験を行うことになった。一方、本集合体のもう一つの目的として部材を水封管中に長期間保管した場合の部材の健全性、すなわちアルカリ腐食による SUS 316 相等材の表面腐食、組織変化、強度低下等の有無の調査がある。照射されたオーステナイト系ステンレス鋼はアルカリ腐食に対する感受性が高く、高温、高線量下で照射されたものの一部は燃料ピンの破損には致らないものの鋭敏化に伴う粒界腐食を生じた例もある。⁽³⁾

この点に関して問題となるのは使用済燃料の再処理あるいは、照射後試験開始までの保管中に部材が劣化する場合どのような条件で生じるのか、又、どのくらい保管できるのかについて実機での経験に乏しく、既に照射の終了した MK-I 燃料をはじめ、MK-II 燃料さらには、「もんじゅ」の使用済燃料を対象とした評価を実施する必要がある。本集合体を用いた試験は、MK-I 炉心燃料としては、最大級の照射条件を有した実機について意図的にナトリウムの洗浄回数を減らし、ナトリウムを通常よりも多く含有した水封管中に約 20 ヶ月保管しておき部材の保管中の影響を細部に渡り調査するためのものである。

以上の目的により FMFにおいては、下記に基づいて照射後試験を実施した。

集合体試験

外観検査(Na 洗浄前後)	ナトリウム洗浄	X 線ラジオグラフィー	寸法測定
ラッパガンマスキャニング			

ピン試験

列外観検査	詳細外観検査	X 線ラジオグラフィー	重量測定	寸法測定
ガンマスキャニング				
ピンパンクチャ一等				

2. 供 試 試 料

2.1 主要仕様

本集合体及び燃料構成要素の仕様は、これまでの MK - I 炉心燃料集合体と同様である。主な仕様を Table - I に示す。

2.2 部 品

集合体内のピンの配置を Fig. 1 に示す。このうち集合体の部品構成を Fig. 2 に各燃料ピンの部品リストを Table - II に示す。

その他の製造時データは、DBS（「常陽」燃料データバンキングシステム）に登録されている。

3. 照射条件と保管条件

3.1 照射条件

(1) 「常陽」運転履歴

昭和 52 年 3 月 21 日に炉心内に装荷され昭和 57 年 2 月 8 日に炉外より取出された。該当期間の運転サイクルは、 50 MW 炉心低出力試験より 75 MW 第 6 サイクルまでである。

(2) 炉内照射位置

炉内照射位置と照射最終サイクル (75 MW 第 6 サイクル) における炉内構成を Fig. 3 に示す。

(3) 集合体照射条件

各サイクルにつき Table - III に示す。

(4) ピン照射条件

例として中心ピンの照射条件を Run 5, 8, 15 の EOC で Fig. 4 に示す。

3.2 保管条件

(1) 炉サイトでのナトリウム洗浄

蒸気洗浄での蒸気流量 35 kg/h , 脱塩水洗浄を通常は数回実施するが 1 回とした。このときの循環水伝導度 $93 \mu\text{S/cm}$ であり、また、脱塩水流量の使用量は、 1310ℓ である。

(2) 「常陽」サイト保管条件

保管期間は、昭和 57 年 2 月 8 日から 58 年 10 月 4 日までの 603 日間である。水プールから取り出した時の水封管の管内水の pH は、 12.04 とアルカリ性である。集合体は、水封管中に収納され、内部は水で満され水プール中に保管される。なお、水プールの水温は、室温である。

4. 試験結果

4.1 試験の概要

納入時にキャスクの表面線量率を測定し、次に集合体試験として、ナトリウム洗浄、ナトリウム洗浄前後の外観検査、X線ラジオグラフィ、寸法測定を実施した後、集合体の解体を行った。

ラッパ管については、ガンマスキャン用試料及び外観検査用試料並びに照射材料試験室（MMS）実施試験用の試料採取を実施した。ピンについては、Fig. 5 に示す内容で試験を実施し、試験後、燃材部試験実施計画に従い照射燃料試験室（AGS）、技術解析室（AES）、照射材料試験室（MMS）が「常陽」MK-I炉心構成要素第2期照射後試験計画⁽⁴⁾に基づき実施する破壊試験用試料の採取を実施した。

4.2. 集合体試験結果

4.2.1 線量率及び表面温度

下表に PPJX 12 と PPJX 13 の線量率測定結果、及び Fig. 6 に表面温度測定結果を示す。

	平均燃焼度 (MWD/ MTM)	放射能量 (Ci)	γ 線線量率 (mR/h)		中性子線線量率 (mrem/h)		備考
			表面	at 1m	表面	at 1m	
PPJX 12	38,900	1.98×10^4	0.75	0.15	1.0	0.4	キャスク搬入
PPJX 13	40,100	7.51×10^4	0.75	0.38	25	5	キャスクカー搬入

γ 線線量率は、表面で 0.75 mR/h であり、これは PPJX 13 (キャスクカーによる移送) と同値であった。しかし、中性子線線量率は表面で、PPJX 12 が 1.0 mrem/h であり PPJX 13 は、 25 mrem/h と大きな差がある。これは、PPJX 12 は、キャスクによる移送であって集合体は、水封管中にあり、キャスク内には水が満たされた状態である。これに対し PPJX 13 は、キャスクカーで移送され移送中は、不活性ガスである窒素で循環冷却されているだけであり、中性子に対する遮蔽がなく、中性子線量率の違いが生じたと思われる。

4.2.2 外観検査

ナトリウム洗浄前後の外観写真を Photo. 1 に示す。

(1) 洗浄前

C, D面にハンドリングヘッド部から中間パッド付近にかけ浅い傷が認められた。また、上部パッドの下部及びガイドキー付近全面に黒色変色が認められた。

(2) 洗浄後

C, D面間及びB, C面間の稜に軸方向のすり傷が認められた。すり傷について詳細外観検査を実施した。その結果、すり傷ではなく最大幅約 1 mm の黒変色であった。
その他には、集合体の変形等の特異な状態は認められなかった。

4.2.3 ナトリウム洗浄

本集合体は、炉サイトで実施する洗浄を1回でとどめ、搬入された集合体であり、付着ナトリウム量及びキャスクで搬入された集合体についての比較検討を実施した。

付着ナトリウム量は、洗浄廃液中に 0.1 g 及び集合体キャスク内の廃液中に 10.1 g であった。除去されたナトリウム量としては、集合体キャスクで搬入された集合体の中で最も多い量であった。現在までキャスク搬入された炉心燃料集合体のナトリウム付着量を Fig. 7 に示す。

洗浄性については、キャスク搬入の炉心燃料集合体では、殆どの集合体が3回までの洗浄において PH 値が基準値の 5.6 ~ 8.6 に収っている。

ナトリウム洗浄における洗浄水量は、通常、炉心燃料集合体の場合、洗浄回数1回で約 150 ℥ であり、洗浄水の流量は、120 ~ 130 ℥ / min である。

PPJX 12 の場合は、洗浄回数が1回で PH 値が 6.82 また、このときの洗浄水量は、150 ℥ で洗浄水流量は、140 ℥ / min であり、洗浄性は良好な結果が得られた。

PPJX 12 の廃液中の放射性核種は、⁵⁴Mn, ⁵⁷Co, ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ²²Na であり、F, P 核種は検出されず α 放射能も検出限界以下であったことから集合体は健全と考えられる。

4.2.4 X線ラジオグラフィ

集合体内部への異物の混入、バンドル配列の乱れ、ねじれ等は観察されなかった。X線写真を Photo. 2 に示す。

4.2.5 寸法測定

(1) 全長

照射前寸法 2970.4 mm に対して照射後寸法 2969.4 mm であり、変化量 1.0 mm で有意な変化とは認められない。

(2) 対面間距離

各対面間について炉心付近(1500～1700 mm)で、照射前寸法と比較して有意差(±0.1 mm)を超える対面間寸法の増加が認められた。最大はF, C面間の0.19 mmである。

また、炉心付近の対面間距離の変化量は、中性子照射量の増大に伴って大きくなっていく傾向を示す。PPJX 12 の各対面間のプロファイルを Fig. 8～Fig. 10 に、又、MK-I の炉心燃料集合体の対面間寸法変化量を Fig. 11 に示す。

(3) 曲がり

曲がり測定結果を Fig. 12 に示す。

中間パッド部の166°方向でD, E面に向かい0.6 mmの曲がりが測定され、上部パッド部の110°方向でF面に向い2.6 mmの曲がりが測定された。

照射前データは、中間パッド部の178°方向に0.7 mmの曲がりがD, E面にあり、上部パッド部には、145°方向に1.4 mmの曲がりがE面に向って生じていた。

4.2.6 ラッパ管ガンマスキャン

集合体のハンドリングヘッド部より1446.3 mmの位置から47.4 mmのラッパ管でガンマスキャンを実施し、炉心方向の推定を行った結果、⁵⁴Mn, ⁵⁸Co, ⁵⁹Fe, ⁶⁰Co, の計数率最大方向はC面であり、また、それらの径方向のピーキング係数は1.05以上であり炉心推定方向はC面と考えられる。

これは、「常陽」の推定炉心方向と一致している。ラッパ管ガンマスキャンの測定結果をFig. 13 に示す。

4.3 ピン試験結果

4.3.1 列外観検査

外観写真を Photo. 3 に示す。ピンバンドル全体としては、ピンの変形はなく集合体の健全性が確認された。列外観検査の特徴を以下に示す。

- (1) 第1列及び第2列を除きほぼ全ピンにわたって被覆管表面に擦り痕が観察された。
- (2) 全ピンのワイヤにゆるみが観察された。
- (3) ピン表面の状況については、各ピン全体にわたり黒色又は白色の変色が観察された。

4.3.2 X線ラジオグラフィ

X線写真を Photo. 4 に示す。ピン内部の配列の乱れ及び異物の混入などの特異な変化は、認められない。

中心空孔及び1 mm以上のペレット間のギャップについては、全ピン認められないがスプリングのへたりについては、ほぼ全ピンについて観察された。

照射前後の炉心スタック長変化を Fig. 14 に示す。

4.3.3 重量測定

全ピンにおいて、有意差の士 0.7g を超えるピンは測定されなかった。

照射前の平均重量は 464.43g であり、照射後の平均重量は 464.35g である。照射前後の平均変化量は、-0.08g である。高燃焼度集合体である PPJX 13 の平均変化量は、-0.06g であり大きな変化はない。

測定結果を Table. IV 及び Fig. 15 に示す。

4.3.4 寸法測定

(1) 全 長

Table. V に測定結果を示す。測定実施した全ピンに 0.6mm ~ 2.1 mm の増加がみられる。

最大値の 2.1 mm の増加は、中心ピンから測定された。

本集合体の燃料ピンは、被覆管製造メーカーにより R 材 11 本、K 材 40 本、S 材 40 本の構成となっている。R 材の平均増加量が 1.9 mm、S 材、K 材の平均増加量が各々 0.8 mm, 1.4 mm であり、R 材の増加量が S、K 材より大きく測定された。高燃焼度集合体の PPJX 13 の場合は、R 材 5 本、K 材 42 本、S 材 44 本の構成となっており、平均増加量は、R 材 2.3 mm、S 材 1.0 mm、K 材 1.9 mm とやはり R 材の増加量が大きかった。また、PPJX 12 と比べると各々の値が大きくなっているがこれは、PPJX 13 の試験が中心部のピンが多いために生じたと思われる。MK - I 炉心燃料集合体の被覆管製造メーカー別の変化量を Fig. 16 ~ 18 に示す。R 材、S 材、K 材ともに 75 MW 出力から全長は伸びているがその後の全長の照射量依存性は、明確には認められない。

(2) 外 径

測定結果の外径の軸方向分布を Fig. 19, 20, 21 にそれぞれ R 材、S 材、K 材について示す。

最大外径増加量は、R 材が中心部の 6747 ピンで 39 μm 、S 材が外周ピンの 6788 ピンで 24 μm 、K 材が外周ピンの 6704 ピンで 17 μm であった。また、K 材、S 材の集合体中心部付近に配置されたピンについても、R 材ほどのふくれは観察されない。高燃焼度集合体の PPJX 13 の最大外径増加量は、R 材で 40 μm 、S 材、K 材で 16 μm 程度でありほぼ同程度なふくれである。

今までの MK - I 炉心燃料集合体の被覆管製造メーカー別の外径変化量を Fig. 22 ~ Fig. 24 に示す。R 材、S 材、K 材とも中性子照射量により、なだらかな上昇を示しており、照射量に依存し外径変化量が増大するような傾向が見られる。

(3) 曲がり

集合体内の曲がりベクトルを Fig. 25 に示す。

最大曲がりは、外周ピンの 6778 ピンの 32.8 mm である。これはこれまでの集合体で PP JDOB に次ぐ曲がり量である。プロファイルを Fig. 26 に及び曲がり量撮影写真を Photo.5 に示す。

Fig. 27 ~ Fig. 29 に現在までの MK-I 炉心燃料集合体の曲がり平均量を被覆材メーカー別に集合体平均中性子照射量で示す。試験実施ピンの配置により多少の違いは生じると思われるが、照射量に依存し、R 材、S 材、K 材とも集合体中性子照射量の増加に伴って曲がり量も増加していく傾向にある。

(4) 表面温度

最大で室温プラス 1 °C であった。

4.3.5 詳細外観検査

外周ピン 4 本、中央ピン 2 本について、炉サイトの水プール保管中による影響、ピン表面の腐食、変色、附着物の有無について実施した。

外周ピン 2 本に軸方向は異なるが、周方向 330° と 350° に金属光沢の附着物が観察され、中心ピン、コーナーピンの周方向 90° の位置に白、黒色の変色が観察された。

これは、今までのピンにも同様な状態が観察されている。周方向の角度は下部のワイヤー玉止め位置の反対側を 0° としている。又、水プールの保管中により生じたと思われる異常等は観察されなかった。

4.3.6 ガンマスキャニング

(1) スキャニング

Fig. 30 に核種毎の軸方向プロファイルを示す。F.P. の軸方向のプロファイルに異常が観察されないことにより燃料の健全な燃焼が推定される。

(2) スペクトル

燃料ピンの出力最高位置（ピン下端より 732 mm）での径方向ピーキング係数を求めた結果を Fig. 31 に示す。

4.3.7 パンクチャー

(1) ガス圧

測定結果を Fig. 32 に示す。

ガス圧は、測定ピンで 4450 ~ 5050 Torr (0 °C) の範囲であった。これに対し、高燃焼度集合体の PPJX 13 は、4700 ~ 5230 Torr でありこれは、集合体の燃焼度に依存して燃焼度の増加に伴いガス圧も増大しているためと思われる。

今までの MK-I 炉心燃料集合体のガス圧を集合体平均燃焼度で表した図を Fig. 33 に

示す。本集合体のガス圧は、このグラフからほぼ妥当なものである。

(2) ガス分析

測定結果を Table VI に示す。

供試ピン 3 本の成分比（モル比）は平均で $Xe/Kr = 7.55$ である。なお、PPJX 13 は、供試ピン 4 本の平均が $Xe/Kr = 8.02$ であり、PPJX 12 の Xe/Kr 比は概ね妥当である。

(3) ガス放出率

ガス放出率は、39.1 %～50.5 % の範囲であった。また PPJX 13 のガス放出率は、44.0～52.2 % である。MK-I 炉心燃料集合体のガス放出率を Fig. 34 に示す。

ガス放出率は、燃焼度が 13,000 MWD / MTM 付近では、放出率が急激な増加を示している。これは、「常陽」の出力が 50 MW から 75 MW になった時であり、このときの燃料温度の上昇により放出率が高くなったと思われる。その後のガス放出率は、40 % 前後から 50 % 前後の間で燃焼度に依存することなくほぼ一定となっている。本集合体のガス放出率も、ほぼこの傾向に合致したもので妥当なものといえる。なお、1 本当に F・P ガス生成量 ($Kr + Xe$) は次式より求めた。

$$F.P \text{ ガス生成量 (cm}^3 \cdot \text{std}) = 30.4 \times 10^{-4} \cdot Bu$$

(Bu : 平均燃焼度 (MWD / MTM))

5. あとがき

本集合体(PPJX 12)は、実験炉サイトで実施するナトリウム洗浄を通常数回の洗浄一すすぎ、を1回だけ行い搬入された集合体であるが、FMSで実施した照射後試験の集合体外観検査及び燃料ピン詳細外観検査では、水プール保管中におけるアルカリ腐食等の影響は認められなかった。また、FMSで行ったナトリウム洗浄でも1回の洗浄作業で P^H 値も6.82まで下がり、通常のキャスク搬入集合体と比較して同様な値を示した。

本集合体は、最高燃焼度集合体であるPPJX 13に次ぐ高燃焼度集合体であるが、これまでに搬入された集合体と同様に健全な状態を保持していたことが確認された。

FMSの照射後試験結果では、アルカリ腐食に対して本集合体の部材が影響を示していなかったが、アルカリ腐食の潜在的可能性は否定はできない。今後種々のパラメータを追ったアルカリ腐食についての試験、特に時間をパラメータとした試験を実施していく必要があると思われる。

6. 参 考 文 献

- (1) 新 谷他：「常陽」MK-I 炉心燃料(PPJX 13)の照射後試験(1)
PNC SN 941 83-24 1983
- (2) 高速実験炉「常陽」炉心燃料集合体の照射後試験結果概要(第3報)
PNC SN 941 84-05 1984
- (3) 谷 他：フェニックスで照射された被覆管(PHENIX-P1)の急速加熱
バースト試験後の組織観察
PNC ZN 941 81-244 1981
- (4) 「常陽」MK-I 炉心構成要素第2期照射後試験計画
PNC N 908 82-01 1982

Table 1 "JOYO" MK-I Core Fuel Subassembly Specification

項目	設計値	単位	備考
燃料集合体			
・全長	2970	mm	
・燃料ピン配列ピッチ	7.6	mm	
・燃料ピン本数	91	本	
・全重量	約60	kg	
ラッパ管			
・全長	2160	mm	
・外側対面間距離	78.5	mm	
・内側対面間距離	74.7	mm	
・厚さ	1.9	mm	
・材質	SUS 316 CW		
燃料ピン			
・全長	1910	mm	
・炉心燃料部			
・燃料組織	PuO ₂ - UO ₂		
・プルトニウム富化度	17.7	重量%	
・ウラン235濃縮度	23	重量%	
・プルトニウム組成比 (Pu 239/240/241/242)	76.6/19.0/3.7/0.7		
・長さ	600	mm	
・上部軸方向ブランケット			
・燃料組成	(劣化) UO ₂		
・長さ	400	mm	
・下部軸方向ブランケット			
・燃料組成	(劣化) UO ₂		
・長さ	400	mm	
・ペレット			
・高さ(炉心)	10	mm	
(ブランケット)	12	mm	
・直徑	5.4	mm	
・密度(炉心)	93.5	% TD	
(ブランケット)	94	% TD	
・被覆管			
・長さ	1825	mm	
・外径	6.3	mm	
・内径	5.6	mm	
・厚さ	0.35	mm	
・材質	SUS 316 CW		
・スペーサーワイヤー			
・直徑	1.2	mm	
・巻ピッチ	266	mm	
・プレナム容積	8.79	cc	
エントランスノズル全長	750	mm	
ハンドリングヘッド全長	114	mm	

Table II. Fuel Pins Parts List

PIN NO. (PIE)	LOCATION	PIN NO. (FAB)	UPPER E.P. NO.	CLADDING TUBE LOT NO. TUBE NO.	WRAPPING WIRE LOT NO. REEL NO.	UPPER E.P. LOT NO.	LOWER E.P. LOT NO.	SPRING LOT NO.	SLEEVE LOT NO.	
6701	01	00264	0938	K001 0269	T003 0035	T001	K001	M001	M001	
6702	02	00396	0960	K002 0863	T003 0035	T001	K001	M001	M001	
6703	03	00268	1011	K001 0265	T003 0035	T001	K001	M001	M001	
6704	04	00270	0820	K001 0262	T003 0035	T001	K001	M001	M001	
6705	05	00269	0970	K001 0264	T003 0035	T001	K001	M001	M001	
6706	06	00262	0917	K001 0271	T003 0035	T001	K001	M001	M001	
6707	07	01005	1111	S012 1753	K001 0008	T001	K001	M001	M001	
6708	08	01000	1113	S012 1909	K001 0008	T001	K001	M001	M001	
6709	09	00996	1116	S012 1905	K001 0008	T001	K001	M001	M001	
6710	10	00999	1103	S012 1908	K001 0008	T001	K001	M001	M001	
6711	11	00995	1108	S012 1904	K001 0008	T001	K001	M001	M001	
6712	12	01013	1140	S012 1921	K001 0008	T001	K001	M001	M001	
6713	13	01016	1118	S012 1924	K001 0008	T001	K001	M001	M001	
6714	14	00408	0832	K002 0840	K001 0008	T001	K001	M001	M001	
6715	15	00400	0800	K002 0859	T003 0035	T001	K001	M001	M001	
- 13 -	6716	16	00267	0943	K001 0266	T003 0035	T001	K001	M001	M001
	6717	17	00266	1045	K001 0267	T003 0035	T001	K001	M001	M001
	6718	18	00265	0856	K001 0268	T003 0035	T001	K001	M001	M001
	6719	19	00263	0924	K001 0270	T003 0035	T001	K001	M001	M001
	6720	20	00399	0909	K002 0860	T003 0035	T001	K001	M001	M001
	6721	21	00352	1017	K002 0585	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6722	22	01007	1107	S012 1915	K001 0008	T001	K001	M001	M001	
6723	23	01010	1078	S012 1918	K001 0008	T001	K001	M001	M001	
6724	24	01003	1129	S012 1912	K001 0008	T001	K001	M001	M001	
6725	25	01006	1121	S012 1914	K001 0008	T001	K001	M001	M001	
6726	26	01004	1133	S012 1913	K001 0008	T001	K001	M001	M001	
6727	27	01011	1092	S012 1919	K001 0008	T001	K001	M001	M001	
6728	28	00989	1122	S012 1898	K001 0008	T001	K001	M001	M001	
6729	29	00988	1077	S012 1897	K001 0008	T001	K001	M001	M001	
6730	30	01008	1137	S012 1916	K001 0008	T001	K001	M001	M001	
6731	31	00349	0971	K002 0597	K001 0008	T001	K001	M001	M001	
6732	32	00274	0748	K001 0256	T003 0035	T001	K001	M001	M001	
6733	33	00297	0866	K001 0495	T003 0035	T001	K001	M001	M001	
6734	34	00279	0763	K002 0501	T003 0035	T001	K001	M001	M001	
6735	35	00397	0916	K002 0862	T003 0035	T001	K001	M001	M001	

Table II. Continued

PIN NO. (PIE)	LOCATION (FAB)	PIN NO. (FAB)	UPPER E.P. NO.	CLADDING TUBE LOT NO. TUBE NO.	WRAPPING WIRE LOT NO. REEL NO.	UPPER E.P. LOT NO.	LOWER E.P. LOT NO.	SPRING LOT NO.	SLEEVE LOT NO.
6736	36	00299	0852	K002 0542	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6737	37	00298	0903	K001 0494	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6738	38	00351	1000	K002 0586	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6739	39	00350	1023	K002 0593	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6740	40	00300	0954	K002 0538	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6741	41	02209	0234	R001 1022	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6742	42	02210	0243	R001 1023	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6743	43	02222	0238	R001 1048	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6744	44	02220	0236	R001 1045	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6745	45	02271	1561	R001 1117	K001 0008	T001	T002	M001	M001
6746	46	02273	1604	R001 1120	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6747	47	02270	1582	R001 1112	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6748	48	02226	1599	R001 1057	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6749	49	02227	1595	R001 1058	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6750	50	02228	1556	R001 1060	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6751	51	02207	0242	R001 1017	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6752	52	01191	1217	S011 1619	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6753	53	01598	2121	S008 0744	T001 0024	K001	K001	M001	M001
6754	54	01606	2186	S008 0736	T001 0024	K001	K001	M001	M001
6755	55	01662	2175	S008 0767	T001 0024	K001	K001	M001	M001
6756	56	01796	2161	S012 1853	T001 0024	K001	K001	M001	M001
6757	57	01806	2113	S012 1842	T001 0024	K001	K001	M001	M001
6758	58	01846	2149	S012 1802	K001 0016	K001	K001	M001	M001
6759	59	01196	1168	S011 1629	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6760	60	01197	1239	S011 1630	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6761	61	01198	1150	S011 1631	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6762	62	00307	1021	K002 0528	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6763	63	00308	1046	K002 0527	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6764	64	00309	0997	K002 0526	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6765	65	00311	0900	K002 0524	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6766	66	00302	1026	K002 0533	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6767	67	00303	0929	K002 0532	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6768	68	00304	0942	K002 0531	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6769	69	00305	0801	K002 0530	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6770	70	00306	1010	K002 0529	K001 0008	T001	K001	M001	M001

Table II. Continued

PIN NO. (PIE)	LOCATION (FAB)	PIN NO. NO.	UPPER E.P. LOT NO.	CLADDING TUBE TUBE NO.		WRAPPING WIRE LOT NO. REEL NO.	UPPER E.P. LOT NO.	LOWER E.P. LOT NO.	SPRING LOT NO.	SLEEVE LOT NO.
6771	71	01192	1158	S011	1620	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6772	72	01199	1246	S011	1632	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6773	73	01190	1167	S011	1618	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6774	74	01195	1161	S011	1628	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6775	75	01203	1221	S011	1636	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6776	76	01194	1097	S011	1623	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6777	77	02008	2004	S014	2445	K001 0016	K001	K001	M001	M001
6778	78	01193	1245	S011	1622	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6779	79	00407	1012	K002	0841	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6780	80	00409	0980	K002	0838	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6781	81	00402	0934	K002	0855	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6782	82	00401	0843	K002	0858	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6783	83	00406	0978	K002	0842	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6784	84	00403	0833	K002	0854	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6785	85	00411	0892	K002	0833	K001 0008	T001	K001	M001	M001
6786	86	02071	2137	S014	2832	T001 0024	K001	T002	M001	M001
6787	87	02005	2087	S014	2442	K001 0016	K001	K001	M001	M001
6788	88	02006	2021	S014	2443	K001 0016	K001	K001	M001	M001
6789	89	02007	2069	S014	2444	K001 0016	K001	K001	M001	M001
6790	90	00991	1146	S012	1900	T001 0024	T001	K001	M001	M001
6791	91	01586	2131	S008	0672	T001 0024	K001	K001	M001	M001

Table II. Continued

PIN NO.	LOCATION (PIE)	PIN NO. (FAB)	--- BLANKET PELLET ---		CORE PELLET (1)				CORE PELLET (2)			
			LOWER STACK NO.	UPPER STACK NO.	PELLET LOT NO	PUO2 POWDER LOT NO (1) (2)	EUO2 POWDER LOT NO (1) (2)	PELLET LOT NO	PUO2 POWDER LOT NO (1) (2)	EUO2 POWDER LOT NO (1) (2)	PELLET LOT NO	PUO2 POWDER LOT NO (1) (2)
6701	01	00264	05-1952	05-1953	FM0105	8230	0013					
6702	02	00396	05-1611	05-1610	FM0105	8230	0013					
6703	03	00268	05-1965	05-1964	FM0105	8230	0013					
6704	04	00270	05-1969	05-1968	FM0105	8230	0013					
6705	05	00269	05-1967	05-1966	FM0105	8230	0013					
6706	06	00262	05-1956	05-1957	FM0105	8230	0013					
6707	07	01005	05-2361	05-2360	FM0101	8230	0004	0003				
6708	08	01000	05-1711	05-1710	FM0106	8231	0013					
6709	09	00996	05-1726	05-1727	FM0106	8231	0013					
6710	10	00999	05-1720	05-1721	FM0106	8231	0013					
6711	11	00995	05-1728	05-1729	FM0106	8231	0013					
6712	12	01013	05-2372	05-2373	FM0101	8230	0004	0003				
6713	13	01016	05-2383	05-2382	FM0101	8230	0004	0003				
6714	14	00408	05-1633	05-1632	FM0105	8230	0013					
6715	15	00400	05-1619	05-1618	FM0105	8230	0013					
6716	16	00267	05-1963	05-1962	FM0105	8230	0013					
6717	17	00266	05-1961	05-1960	FM0105	8230	0013					
6718	18	00265	05-1950	05-1951	FM0105	8230	0013					
6719	19	00263	05-1954	05-1955	FM0105	8230	0013					
6720	20	00399	05-1617	05-1616	FM0105	8230	0013					
6721	21	00352	05-1230	05-1231	FM0115	8232	8231	0012				
6722	22	01007	05-2365	05-2364	FM0101	8230	0004	0003				
6723	23	01010	05-2378	05-2379	FM0101	8230	0004	0003				
6724	24	01003	05-1717	05-1716	FM0106	8231	0013					
6725	25	01006	05-2363	05-2362	FM0101	8230	0004	0003				
6726	26	01004	05-1719	05-1718	FM0106	8231	0013					
6727	27	01011	05-2376	05-2377	FM0101	8230	0004	0003				
6728	28	00989	05-1740	05-1741	FM0106	8231	0013					
6729	29	00988	05-1742	05-1743	FM0106	8231	0013					
6730	30	01008	05-2367	05-2366	FM0101	8230	0004	0003				
6731	31	00349	05-1236	05-1237	FM0115	8232	8231	0012				
6732	32	00274	05-1585	05-1584	FM0115	8232	8231	0012				
6733	33	00297	05-1399	05-1398	FM0115	8232	8231	0012				
6734	34	00279	05-1606	05-1607	FM0115	8232	8231	0012				
6735	35	00397	05-1613	05-1612	FM0105	8230	0013					

Table II. Continued

PIN NO.	LOCATION (PIE)	PIN NO. (FAB)	--- BLANKET PELLET ---		CORE PELLET (1)				CORE PELLET (2)			
			LOWER STACK NO.	UPPER STACK NO.	PELLET LOT NO	PUO2 POWDER LOT NO (1) (2)	EUO2 POWDER LOT NO (1) (2)	PELLET LOT NO	PUO2 POWDER LOT NO (1) (2)	EUO2 POWDER LOT NO (1) (2)	PELLET LOT NO	PUO2 POWDER LOT NO (1) (2)
6736	36	00299	05-1403	05-1402	FM0115	8232	8231	0012				
6737	37	00298	05-1401	05-1400	FM0115	8232	8231	0012				
6738	38	00351	05-1232	05-1233	FM0115	8232	8231	0012				
6739	39	00350	05-1234	05-1235	FM0115	8232	8231	0012				
6740	40	00300	05-1405	05-1404	FM0115	8232	8231	0012				
6741	41	02209	05-2528	05-2529	FM0103	8230		0004				
6742	42	02210	05-2526	05-2527	FM0103	8230		0004				
6743	43	02222	05-2542	05-2543	FM0103	8230		0004				
6744	44	02220	05-2546	05-2547	FM0103	8230		0004				
6745	45	02271	05-2900	05-2901	FM0110	8231		0013				
6746	46	02273	05-2867	05-2866	FM0110	8231		0013				
6747	47	02270	05-2902	05-2903	FM0110	8231		0013				
6748	48	02226	05-2555	05-2554	FM0103	8230		0004				
6749	49	02227	05-2557	05-2556	FM0103	8230		0004				
6750	50	02228	05-2559	05-2558	FM0103	8230		0004				
6751	51	02207	05-2517	05-2516	FM0103	8230		0004				
6752	52	01191	05-2161	05-2160	FM0103	8230		0004				
6753	53	01598	04-0851	04-0850	FM0120	8232		0014				
6754	54	01606	04-0951	04-0950	FM0107	8231		0013				
6755	55	01662	04-0953	04-0952	FM0107	8231		0013				
6756	56	01796	04-0955	04-0954	FM0107	8231		0013				
6757	57	01806	04-0957	04-0956	FM0107	8231		0013				
6758	58	01846	04-0959	04-0958	FM0107	8231		0013				
6759	59	01196	05-2178	05-2179	FM0103	8230		0004				
6760	60	01197	05-2176	05-2177	FM0103	8230		0004				
6761	61	01198	05-2174	05-2175	FM0103	8230		0004				
6762	62	00307	05-1330	05-1331	FM0115	8232	8231	0012				
6763	63	00308	05-1341	05-1340	FM0115	8232	8231	0012				
6764	64	00309	05-1343	05-1342	FM0115	8232	8231	0012				
6765	65	00311	05-1347	05-1346	FM0115	8232	8231	0012				
6766	66	00302	05-1409	05-1408	FM0115	8232	8231	0012				
6767	67	00303	05-1338	05-1339	FM0115	8232	8231	0012				
6768	68	00304	05-1336	05-1337	FM0115	8232	8231	0012				
6769	69	00305	05-1334	05-1335	FM0115	8232	8231	0012				
6770	70	00306	05-1332	05-1333	FM0115	8232	8231	0012				

Table II. Continued

PIN NO. (PIE)	LOCATION	PIN NO. (FAB)	--- BLANKET PELLET ---		PELLET LOT NO	CORE PELLET (1) -----		PELLET LOT NO	CORE PELLET (2) -----	
			LOWER STACK NO.	UPPER STACK NO.		PUO2 POWDER (1) (2)	EUO2 POWDER (1) (2)		PUO2 POWDER (1) (2)	EUO2 POWDER (1) (2)
6771	71	01192	05-2163	05-2162	FM0103	8230	0004			
6772	72	01199	05-2172	05-2173	FM0103	8230	0004			
6773	73	01190	05-2259	05-2258	FM0103	8230	0004			
6774	74	01195	05-2169	05-2168	FM0103	8230	0004			
6775	75	01203	05-2185	05-2184	FM0103	8230	0004			
6776	76	01194	05-2167	05-2166	FM0103	8230	0004			
6777	77	02008	04-1139	04-1138	FM0120	8232	0014			
6778	78	01193	05-2165	05-2164	FM0103	8230	0004			
6779	79	00407	05-1631	05-1630	FM0105	8230	0013			
6780	80	00409	05-1635	05-1634	FM0105	8230	0013			
6781	81	00402	05-1626	05-1627	FM0105	8230	0013			
6782	82	00401	05-1628	05-1629	FM0105	8230	0013			
6783	83	00406	05-1620	05-1621	FM0105	8230	0013			
6784	84	00403	05-1624	05-1625	FM0105	8230	0013			
6785	85	00411	05-1637	05-1636	FM0105	8230	0013			
6786	86	02071	04-0960	04-0961	FM0107	8231	0013			
6787	87	02005	04-1133	04-1132	FM0120	8232	0014			
6788	88	02006	04-1135	04-1134	FM0120	8232	0014			
6789	89	02007	04-1137	04-1136	FM0120	8232	0014			
6790	90	00991	05-1733	05-1732	FM0106	8231	0013			
6791	91	01586	05-2961	05-2960	FM0120	8232	0014			

Table III Irradiation Condition

CYCLE NO.	01	02	03	04	05	06	07	P.U.
BOC / EOC	BOC	EOC	BOC	EOC	BOC	EOC	BOC	EOC
DATE	78. 04.18	78. 05.12	78. 05.17	78. 07.14	78. 07.20	78. 08.20	78. 10.27	78. 12.11
OPERATION DAYS (DAYS)	18.04		52.03		27.06		44.55	
POWER								
REACTOR POWER (MW)	12.8	12.0	19.6	50.1	50.0	48.6	49.1	48.3
S/A POWER (KW)	228	213	347	888	880	856	858	838
S/A AVE. POWER (KW)	220		618		868		848	
FLUENCE								
AVE. TOTAL (N.V.T)	3.82E+20		4.17E+21		6.35E+21		1.18E+22	
>=0.1MEV (N.V.T)	2.81E+20		3.07E+21		4.67E+21		8.70E+21	
MAX. TOTAL (N.V.T)	4.78E+20		5.21E+21		7.93E+21		1.47E+22	
>=0.1MEV (N.V.T)	3.52E+20		3.84E+21		5.84E+21		1.08E+22	
BURN UP								
AVE.	(MWD/MTM)	224		2439		3707		6880
MAX.	(MWD/MTM)	280		3050		4631		8596
PEAKING FACTOR								
RADIAL-DIRECTION	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
AXIAL -DIRECTION	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
LINEAR HEAT RATE								
MAX (WATT/CM)	50.9	47.5	77.6	197.9	196.2	190.5	191.3	186.5
AVE (WATT/CM)	40.7	38.0	62.1	158.6	157.2	152.8	153.2	149.5
COOLANT								
FLOW RATE	7.6	7.6	7.6	7.6	7.7	7.7	7.6	7.6
PRESSURE DROP	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
INLET TEMPERATURE	366	366	367	366	366	367	366	365
OUTLET TEMPERATURE	389	388	402	458	456	453	454	452
ELEMENT TEMPERATURE								
MAX. PIN COOLANT	394	393	410	478	475	472	474	471
CLAD	398	396	415	490	487	484	485	482
FUEL	536	524	641	1235	1223	1192	1195	1171
AVE. PIN COOLANT	389	388	402	458	456	453	454	452
CLAD	393	391	407	470	467	465	466	463
FUEL	526	514	624	1178	1168	1139	1141	1118

Table III. Continued

I CYCLE NO.	I 08	I 09	I 10	I 11	I 12	I 13	I 14
I BOC / EOC	I BOC	I EOC	I BOC	I EOC	I BOC	I EOC	I BOC
I DATE	I 80. 80.	I 80. 80.	I 80. 80.	I 80. 80.	I 81. 81.	I 81. 81.	I 81. 81.
I	I 01.16 03.03	I 04.13 04.15	I 05.08 06.24	I 07.14 08.29	I 03.12 05.11	I 05.22 05.29	I 06.16 08.05
I OPERATION DAYS (DAYS)	I 47.15	I 1.85	I 46.58	I 46.27	I 60.00	I 5.30	I 52.44
I POWER							
I REACTOR POWER (MW)	I 74.4	I 69.6	I 55.0	I 55.0	I 74.1	I 73.8	I 74.3
I S/A POWER (KW)	I 1227	I 1140	I 890	I 890	I 1200	I 1187	I 1173
I S/A AVE. POWER (KW)	I 1184		I 890		I 1194		I 1186
I							
I FLUENCE							
I AVE. TOTAL (N.V.T)	I 3.01E+22	I 3.01E+22	I 3.76E+22	I 4.49E+22	I 5.32E+22	I 5.38E+22	I 6.18E+22
I >=0.1MEV (N.V.T)	I 2.21E+22	I 2.22E+22	I 2.77E+22	I 3.31E+22	I 3.92E+22	I 3.96E+22	I 4.55E+22
I							
I MAX. TOTAL (N.V.T)	I 3.76E+22	I 3.77E+22	I 4.71E+22	I 5.62E+22	I 6.65E+22	I 6.73E+22	I 7.73E+22
I >=0.1MEV (N.V.T)	I 2.77E+22	I 2.77E+22	I 3.46E+22	I 4.14E+22	I 4.90E+22	I 4.95E+22	I 5.69E+22
I							
I BURN UP							
I AVE. (MWD/MTM)	I 17320	I 17339	I 21545	I 25609	I 30160	I 30499	I 34847
I MAX. (MWD/MTM)	I 21599	I 21640	I 26849	I 31886	I 37508	I 37931	I 43295
I							
I PEAKING FACTOR							
I RADIAL-DIRECTION	I 1.04						
I AXIAL -DIRECTION	I 1.20	I 1.19	I 1.18				
I							
I LINEAR HEAT RATE							
I MAX (WATT/CM)	I 271.8	I 251.7	I 196.5	I 196.5	I 265.1	I 261.3	I 264.2
I AVE (WATT/CM)	I 218.4	I 202.7	I 158.1	I 158.1	I 213.3	I 210.8	I 213.0
I							
I COOLANT							
I FLOW RATE	I 7.4	I 7.4	I 7.3	I 7.3	I 7.4	I 7.4	I 7.3
I PRESSURE DROP	I 1.5						
I INLET TEMPERATURE	I 370	I 370	I 371	I 371	I 371	I 370	I 371
I OUTLET TEMPERATURE	I 500	I 491	I 466	I 466	I 499	I 498	I 499
I							
I ELEMENT TEMPERATURE							
I MAX. PIN COOLANT	I 529	I 517	I 487	I 487	I 527	I 525	I 527
I CLAD	I 544	I 532	I 498	I 498	I 542	I 540	I 538
I FUEL	I 1661	I 1549	I 1233	I 1233	I 1624	I 1607	I 1620
I							
I AVE. PIN COOLANT	I 500	I 491	I 466	I 466	I 499	I 498	I 499
I CLAD	I 515	I 505	I 477	I 477	I 514	I 512	I 514
I FUEL	I 1581	I 1474	I 1177	I 1177	I 1547	I 1529	I 1542
I							

Table III. Continued

I CYCLE NO.	I	15	I												
I	I	75 MWT	6TH	I											
I BOC / EOC	I	BOC	EOC	I	BOC	EOC	I	BOC	EOC	I	BOC	EOC	I	BOC	EOC
I DATE	I	81.	81.	I			I			I			I		
I	I	11.02	12.23	I			I			I			I		
I OPERATION DAYS (DAYS)	I	48.01	I				I			I			I		
I POWER	I			I			I			I			I		
I REACTOR POWER (MW)	I	73.8	74.4	I			I			I			I		
I S/A POWER (KW)	I	1122	1125	I			I			I			I		
I S/A AVE. POWER (KW)	I	1123	I				I			I			I		
I FLUENCE	I			I			I			I			I		
I AVE. TOTAL (N.V.T)	I	6.93E+22	I				I			I			I		
I >=0.1MEV (N.V.T)	I	5.10E+22	I				I			I			I		
I MAX. TOTAL (N.V.T)	I	8.67E+22	I				I			I			I		
I >=0.1MEV (N.V.T)	I	6.38E+22	I				I			I			I		
I BURN UP	I			I			I			I			I		
I AVE. (MWD/MTM)	I	38867	I				I			I			I		
I MAX. (MWD/MTM)	I	48262	I				I			I			I		
I PEAKING FACTOR	I			I			I			I			I		
I RADIAL-DIRECTION	I	1.04	1.04	I			I			I			I		
I AXIAL -DIRECTION	I	1.19	1.18	I			I			I			I		
I LINEAR HEAT RATE	I			I			I			I			I		
I MAX (WATT/CM)	I	244.7	244.3	I			I			I			I		
I AVE (WATT/CM)	I	198.3	198.5	I			I			I			I		
I COOLANT	I			I			I			I			I		
I FLOW RATE	I	7.2	7.2	I			I			I			I		
I PRESSURE DROP	I	1.5	1.5	I			I			I			I		
I INLET TEMPERATURE	I	370	370	I			I			I			I		
I OUTLET TEMPERATURE	I	493	493	I			I			I			I		
I ELEMENT TEMPERATURE	I			I			I			I			I		
I MAX. PIN COOLANT	I	520	520	I			I			I			I		
I CLAD	I	533	534	I			I			I			I		
I FUEL	I	1511	1514	I			I			I			I		
I AVE. PIN COOLANT	I	493	493	I			I			I			I		
I CLAD	I	507	507	I			I			I			I		
I FUEL	I	1437	1441	I			I			I			I		

Table IV. Weight Changes of Fuel Pins

PIN NO.	PIN WEIGHT (G)						
	IRRAD. UNIRRAD. DIF.*						
6701	464.5	464.8	-0.3	6731	463.3	463.1	0.2
6702	464.0	464.1	-0.1	6732	462.8	462.6	0.2
6703	464.0	464.2	-0.2	6733	464.0	463.8	0.2
6704	464.0	464.2	-0.2	6734	463.7	463.6	0.1
6705	464.1	464.0	0.1	6735	463.8	464.0	-0.2
6706	464.1	463.9	0.2	6736	464.0	463.9	0.1
6707	465.1	465.5	-0.4B	6737	463.3	463.2	0.1
6708	463.9	464.3	-0.4B	6738	464.4	464.3	0.1
6709	464.9	465.3	-0.4B	6739	463.9	463.8	0.1
6710	463.4	463.8	-0.4B	6740	464.2	464.1	0.1
6711	463.9	464.3	-0.4B	6741	464.5	464.5	0.0
6712	464.9	464.9	0.0	6742	465.3	465.3	0.0
6713	463.2	463.1	0.1	6743	463.6	463.5	0.1
6714	464.2	463.9	0.3A	6744	464.3	464.3	0.0
6715	463.8	464.1	-0.3	6745	464.5	464.6	-0.1
6716	464.7	464.7	0.0	6746	464.4	464.4	0.0
6717	464.2	464.2	0.0	6747	463.9	464.0	-0.1
6718	463.8	463.9	-0.1	6748	464.3	464.3	0.0
6719	463.9	464.1	-0.2	6749	464.3	464.4	-0.1
6720	463.6	463.8	-0.2	6750	464.2	464.2	0.0
6721	463.6	463.4	0.2	6751	464.4	464.5	-0.1
6722	465.3	465.6	-0.3	6752	464.0	464.0	0.0
6723	465.7	466.0	-0.3	6753	466.2	466.2	0.0
6724	464.8	465.1	-0.3	6754	465.6	465.5	0.1
6725	465.7	466.1	-0.4B	6755	466.3	466.2	0.1
6726	466.3	466.7	-0.4B	6756	463.4	463.3	0.1
6727	464.9	465.2	-0.3	6757	464.0	463.9	0.1
6728	464.9	465.2	-0.3	6758	464.8	464.7	0.1
6729	465.2	465.6	-0.4B	6759	464.6	464.6	0.0
6730	464.8	465.1	-0.3	6760	464.3	464.3	0.0

Comment (*)

A : Max.

B : Min.

Table V. Total Length Changes of Fuel Pins

PIN NO.	TOTAL LENGTH		
	IRRAD.	UNIRRAD.	DIFF.
	(MM)	(MM)	(MM)
6701	1910.8	1909.4	1.4
6703	1910.9	1909.6	1.3
6704	1910.9	1909.6	1.3
6706	1910.5	1909.2	1.3
6714			
6722			
6727	1910.3	1908.8	1.5
6736	1911.3	1909.6	1.7
6741	1910.8	1909.1	1.7
6746	1911.1	1909.0	2.1
6747	1910.9	1908.9	2.0
6751	1911.1	1909.3	1.8
6755	1910.7	1909.9	0.8
6765	1911.2	1909.6	1.6
6770			
6778			
6786	1910.4	1909.6	0.8
6788	1910.6	1910.0	0.6
6789	1910.6	1910.0	0.6
6791	1910.7	1910.0	0.7

Table VI. Results of Pin F.P. Gas Analysis

PIN NO. (PIE)	GAS CROMATOGRAPHY (%)									
	KR	XE	HE	H2	AR	N2	O2	CO	CO2	OTHERS
6706	8.0	60.3	31.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6747	9.2	68.4	22.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6786	8.9	68.4	22.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

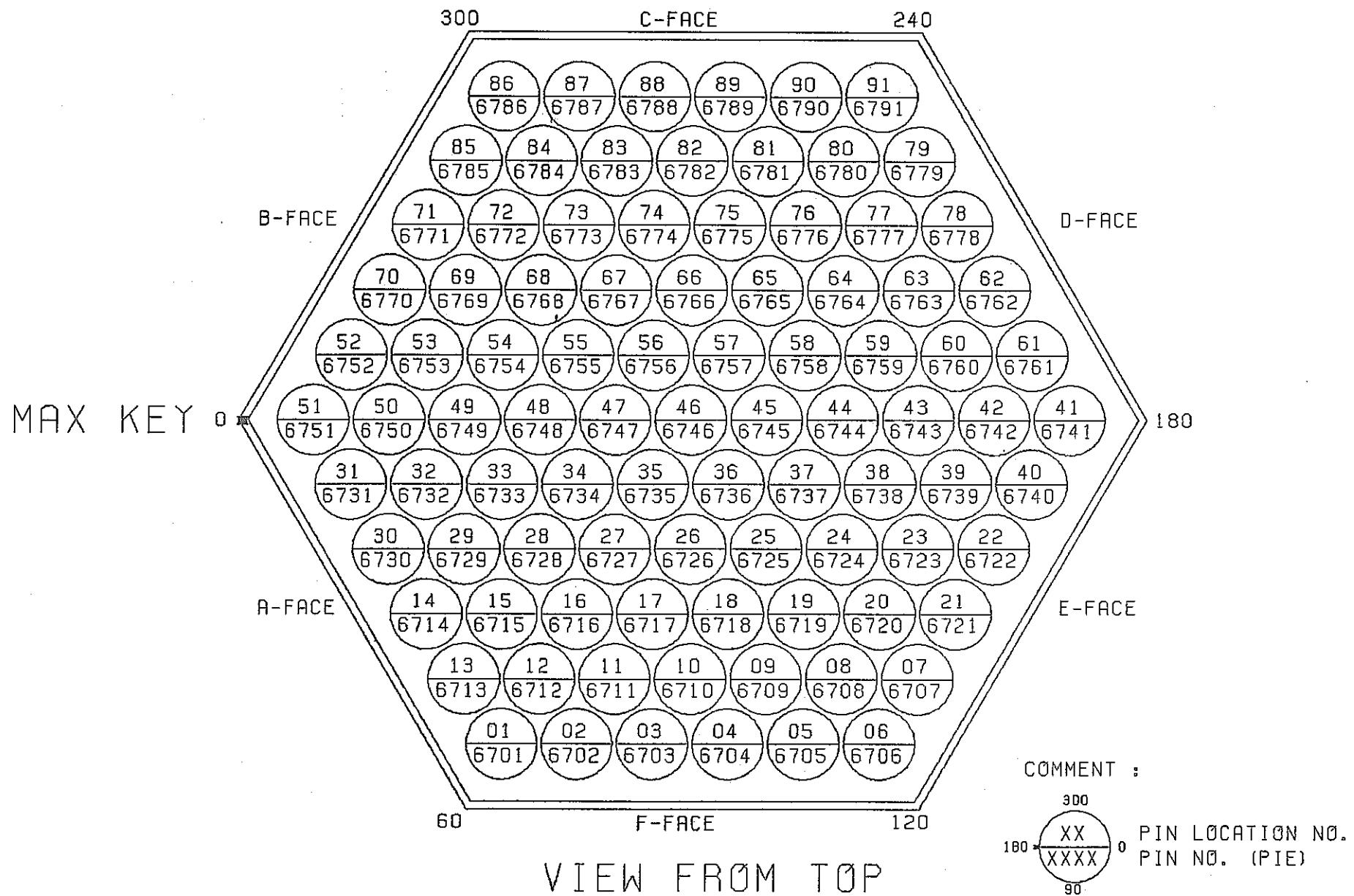


Fig. 1. Arrangement of Pins in Subassembly

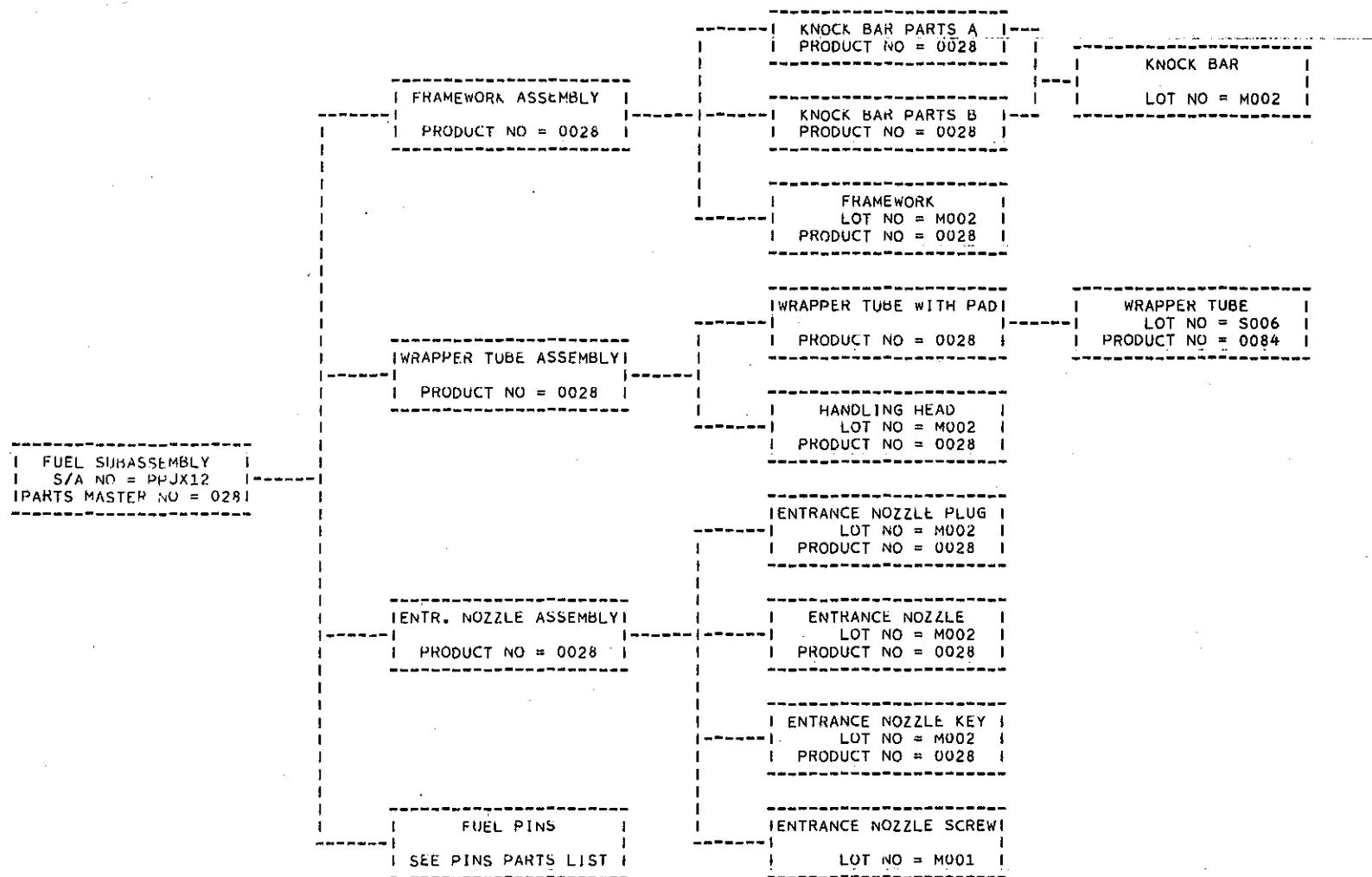
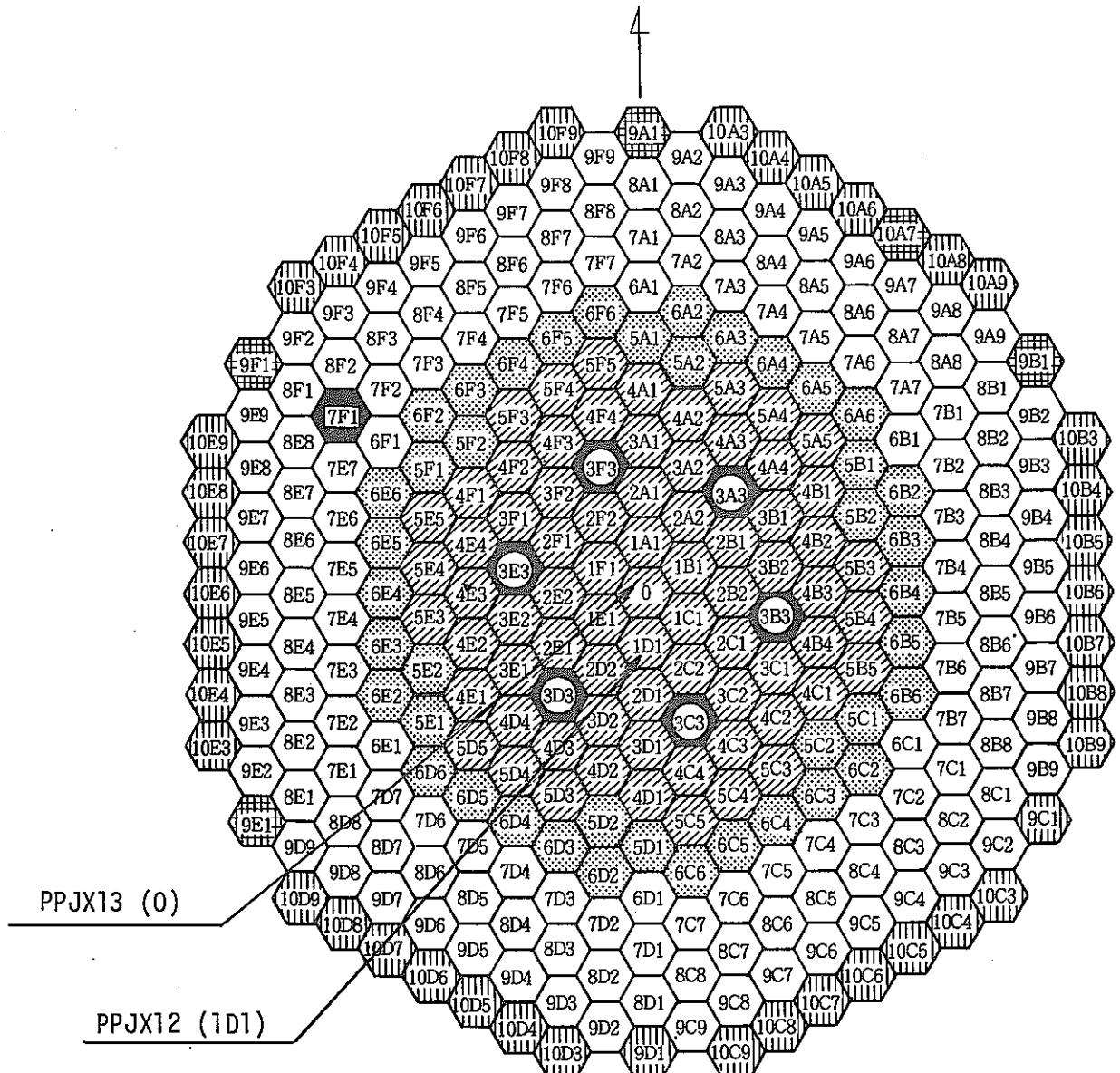


Fig. 2. Fuel Subassembly Parts List



構成要素種類	装荷位置	
炉心燃料集合体	79本	
制御棒	6本 (3A3, 3B3, 3C3, 3D3, 3E3, 3F3) *: 調整棒 ○: 安全棒	
半径方向プランケット集合体	179本 (内側 36本, 外側 143本)	 
中性子源	1本 (7F1)	
反射体	43本	
サーベイランスステストリグ (反射体位置)	5本	

高速実験炉炉心マトリックス

75MW 6 サイクル (56-6 サイクル) (S 56.11. 2~56.12.23) 時

Fig. 3. Location of Subassembly In-Reactor

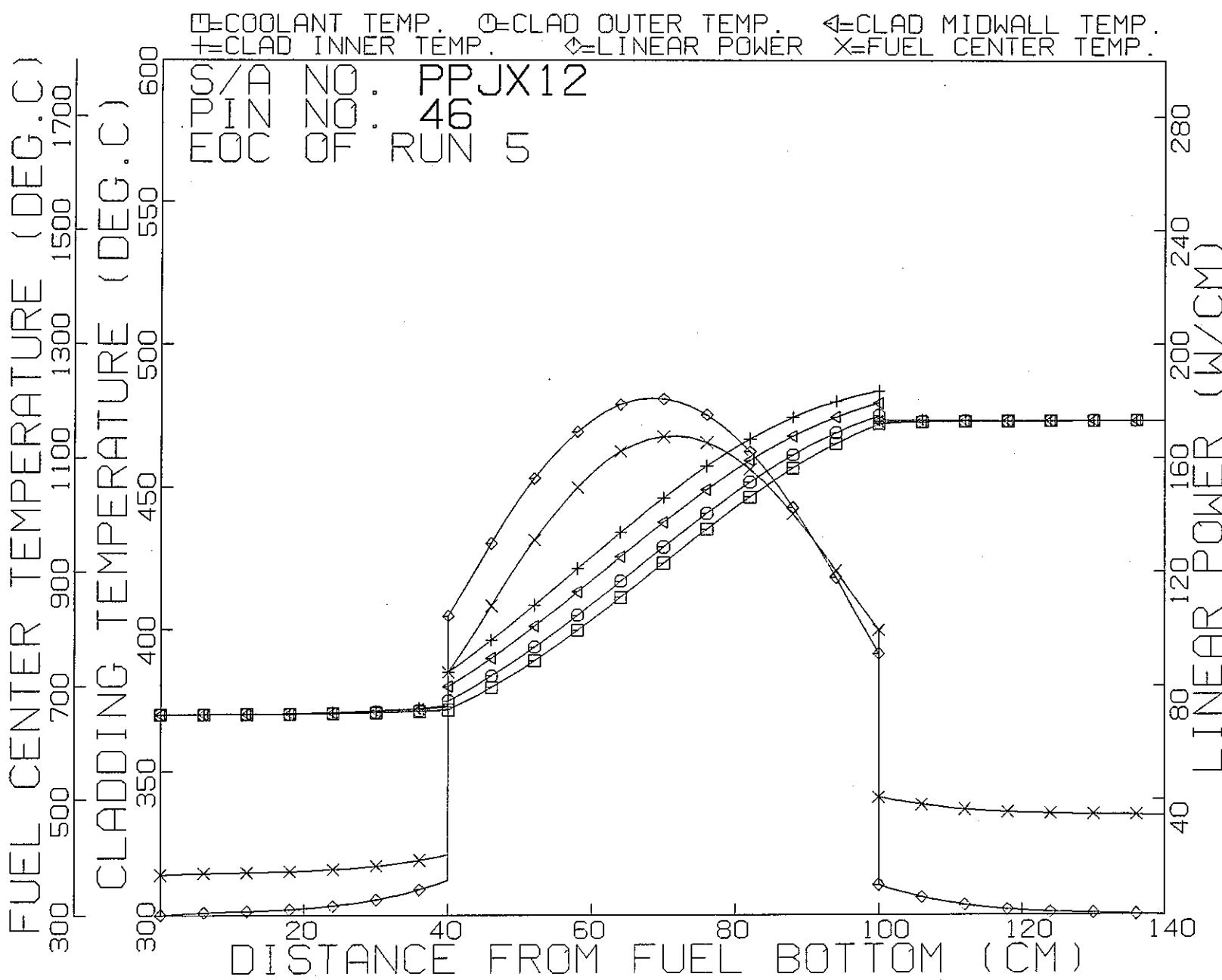


Fig. 4. Irradiation Condition of a Center Pin (Linear Power and Temperature)

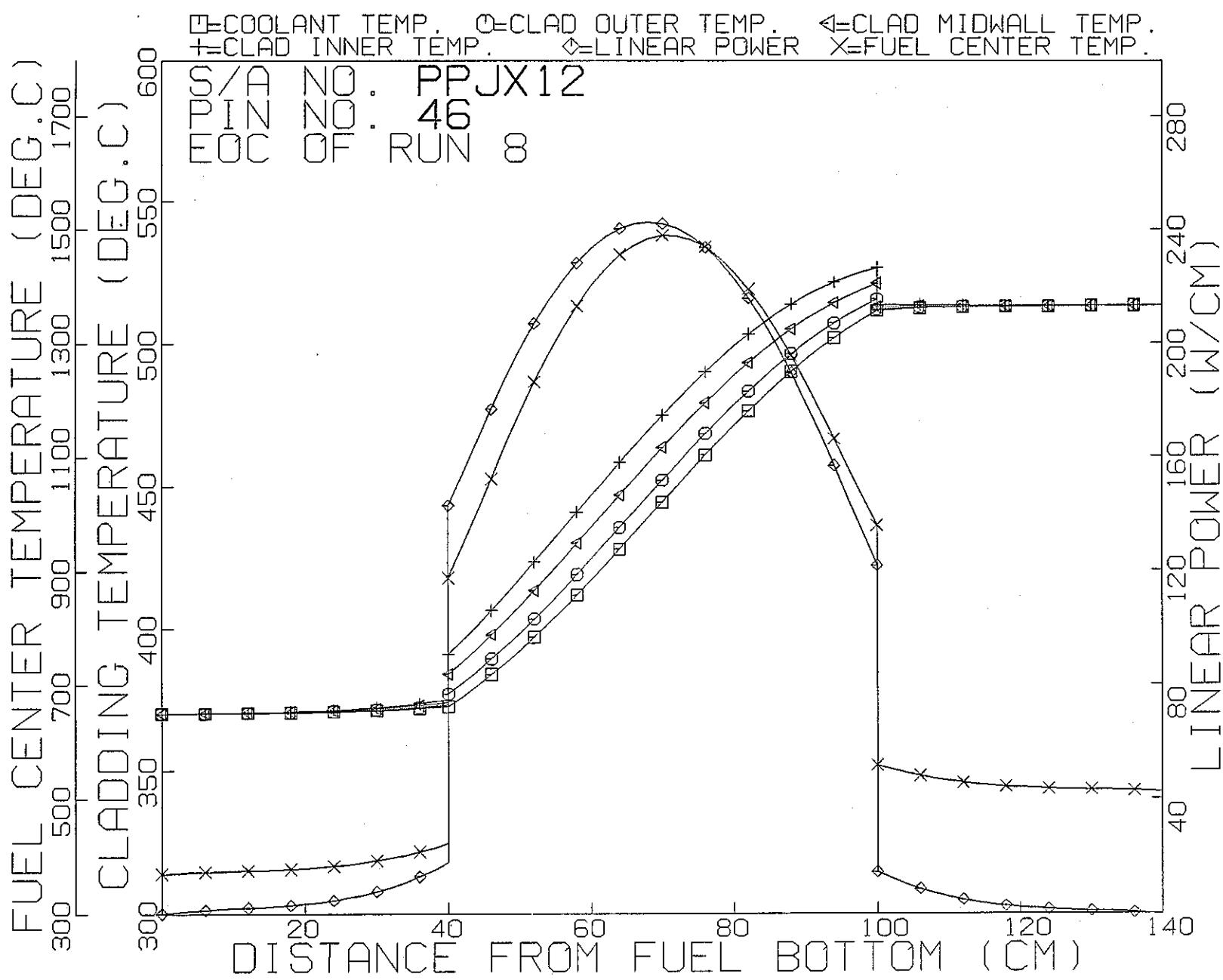


Fig. 4. Continued

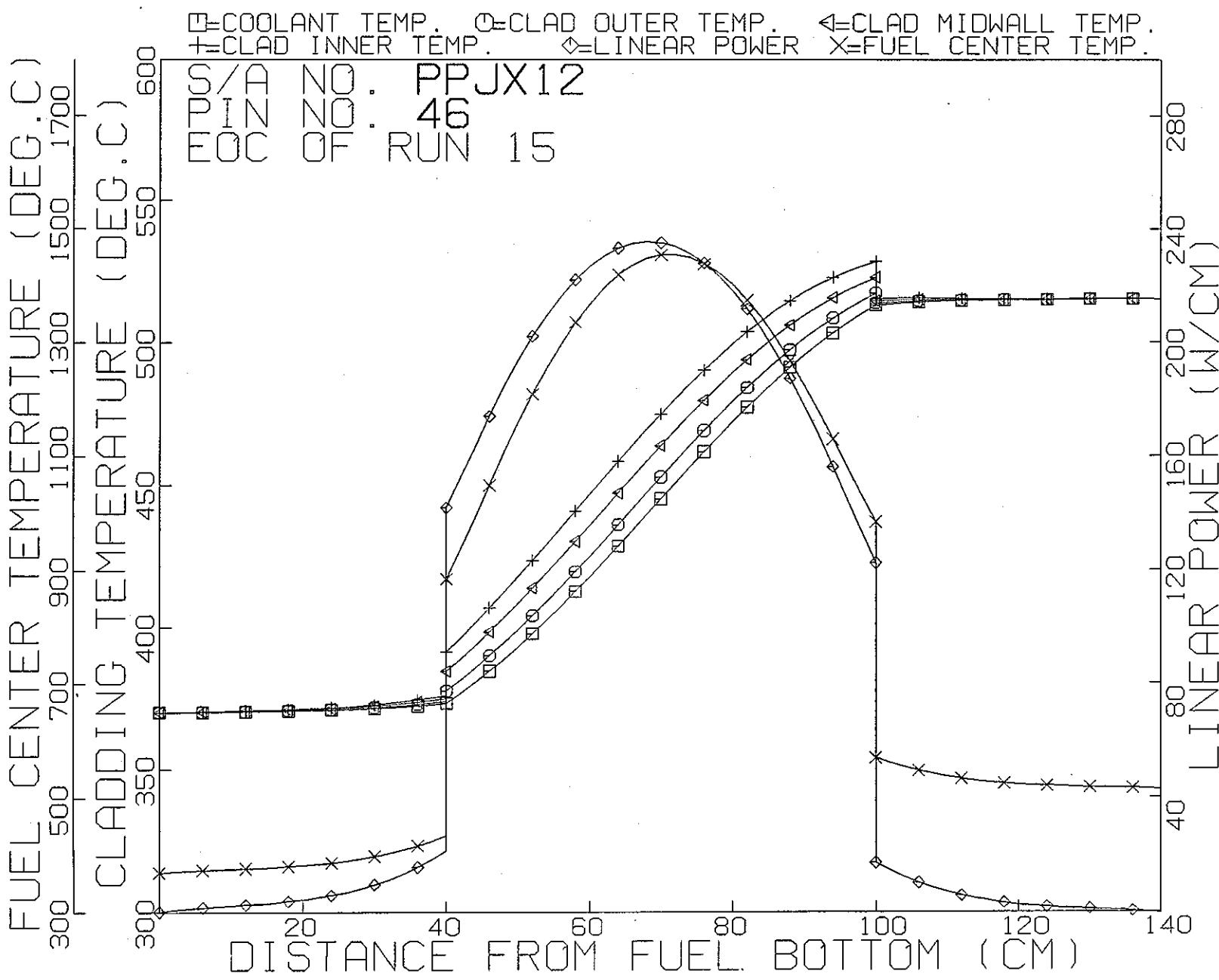


Fig. 4. Continued

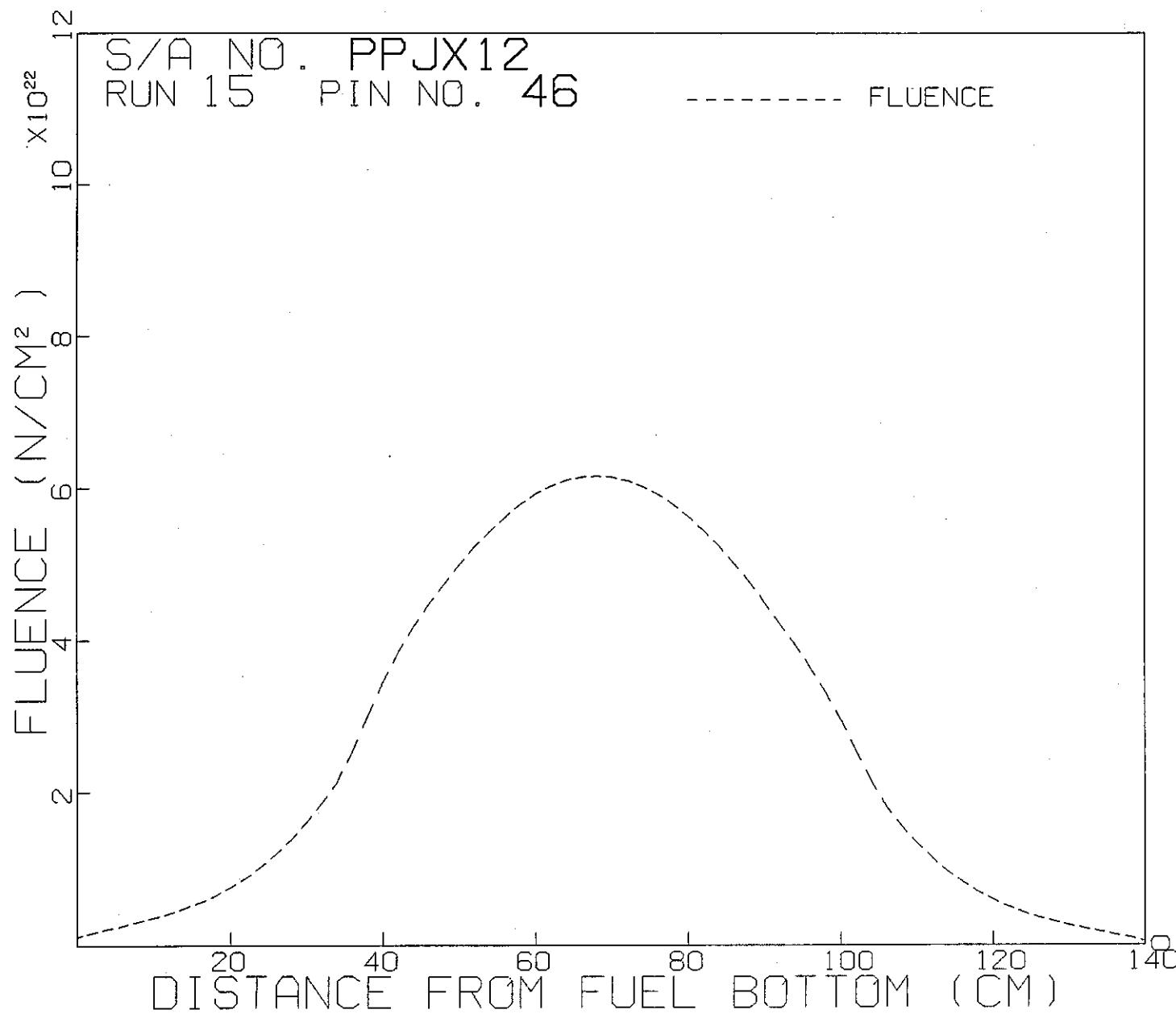
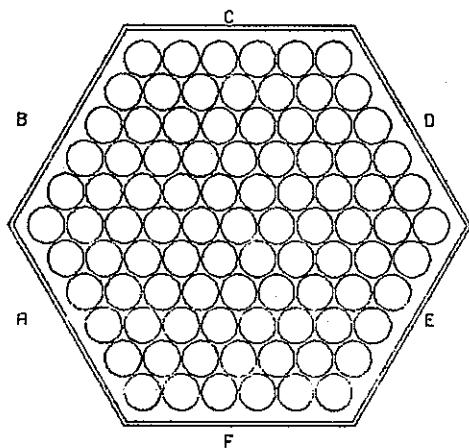


Fig. 4. Continued

X-RAY RADIOGRAPHY
WHOLE PIN



WEIGHING
WHOLE PIN

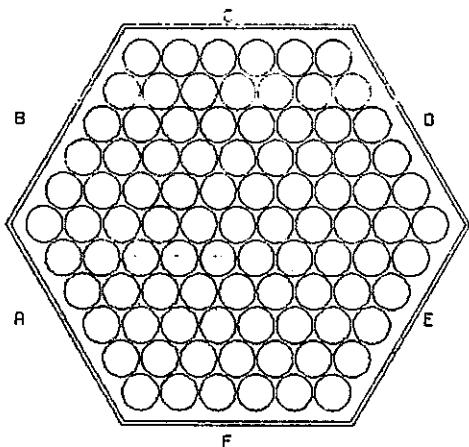


Fig. 5. Selection of Core Fuel Pins for Pin Examination

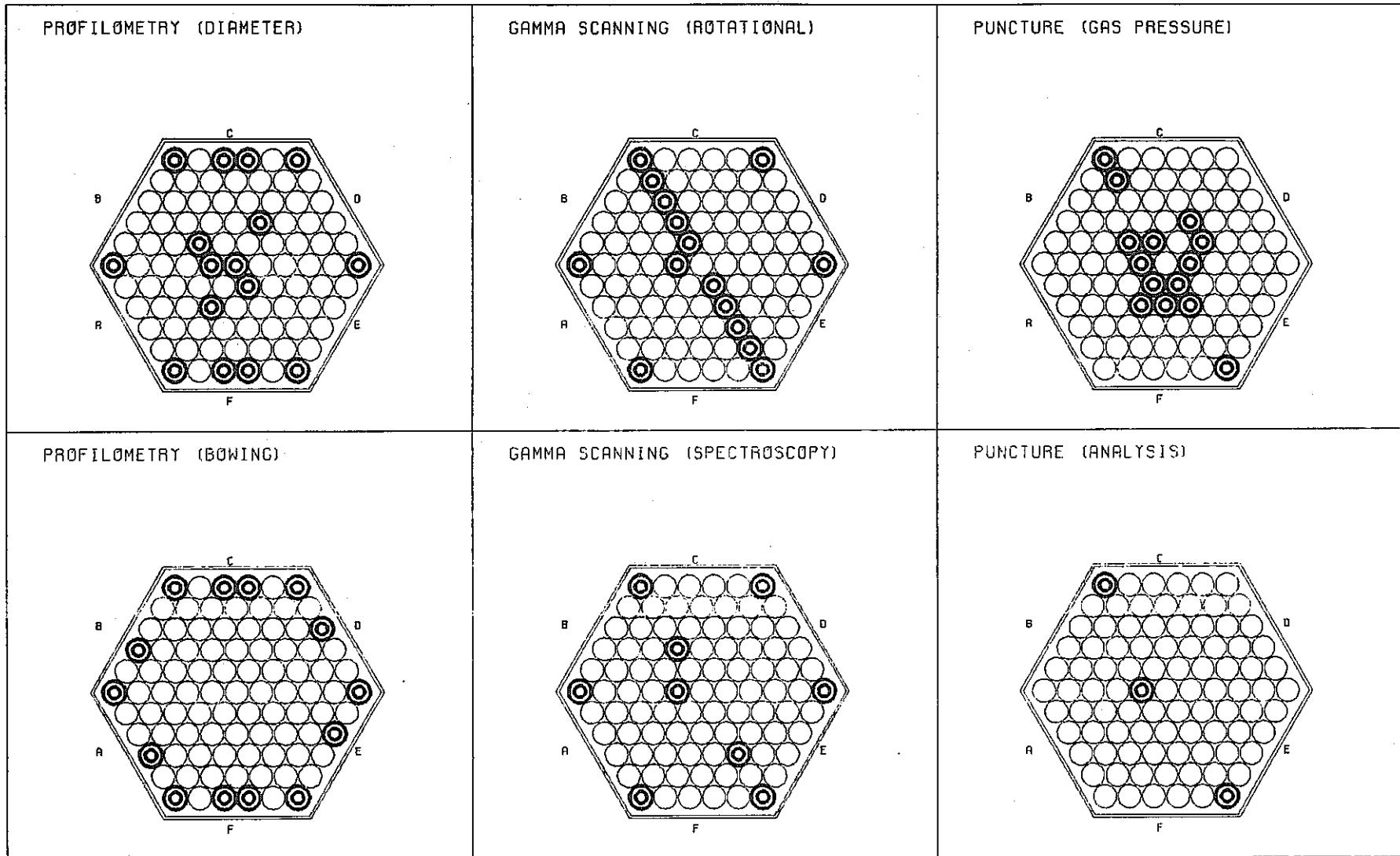


Fig. 5. Continued

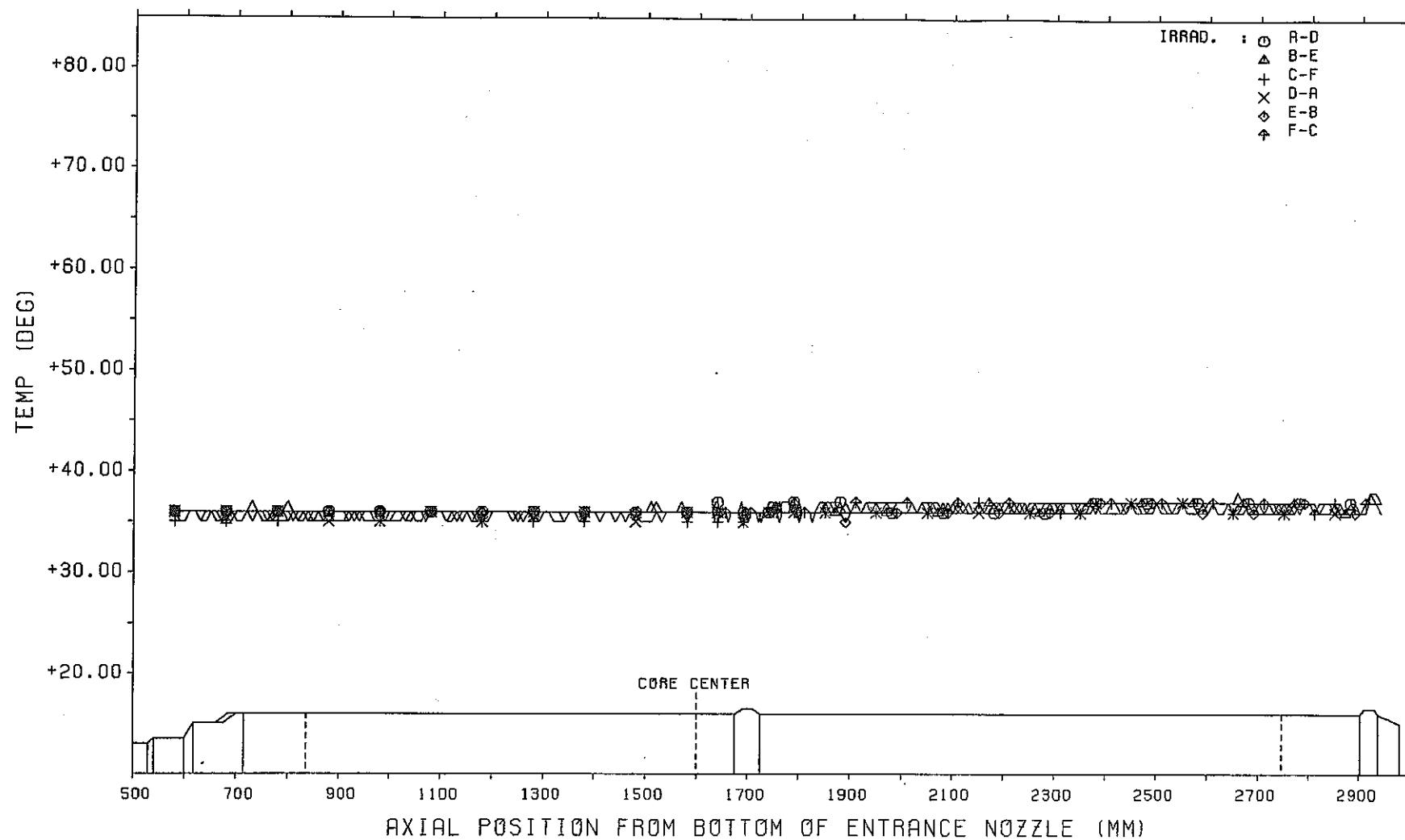


Fig. 6. Surface Temperature of Wrapper Tube

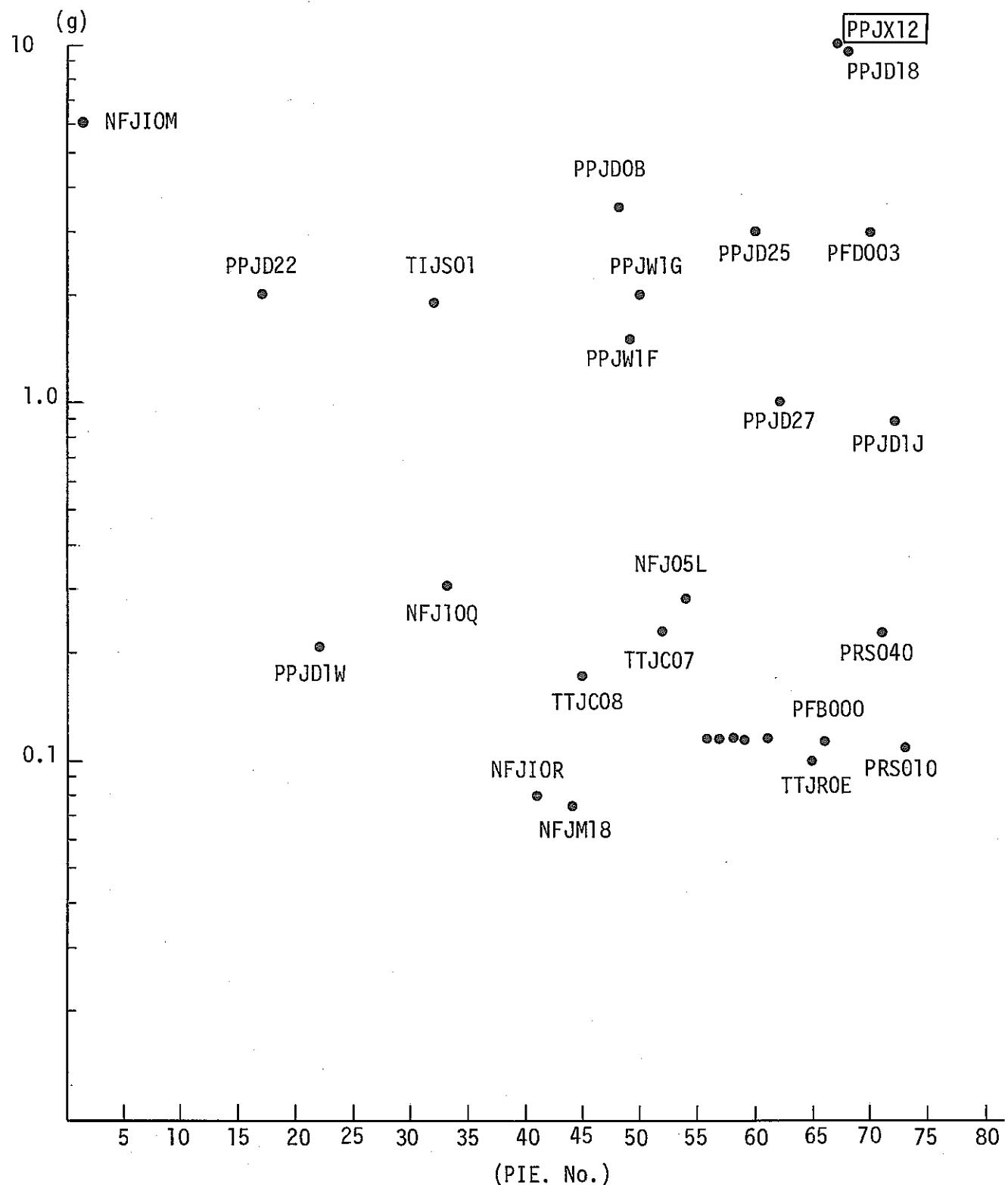


Fig. 7. Retained Sodium Weight in Subassemblies of MK-I and MK-II
(Transported by way of Cask)

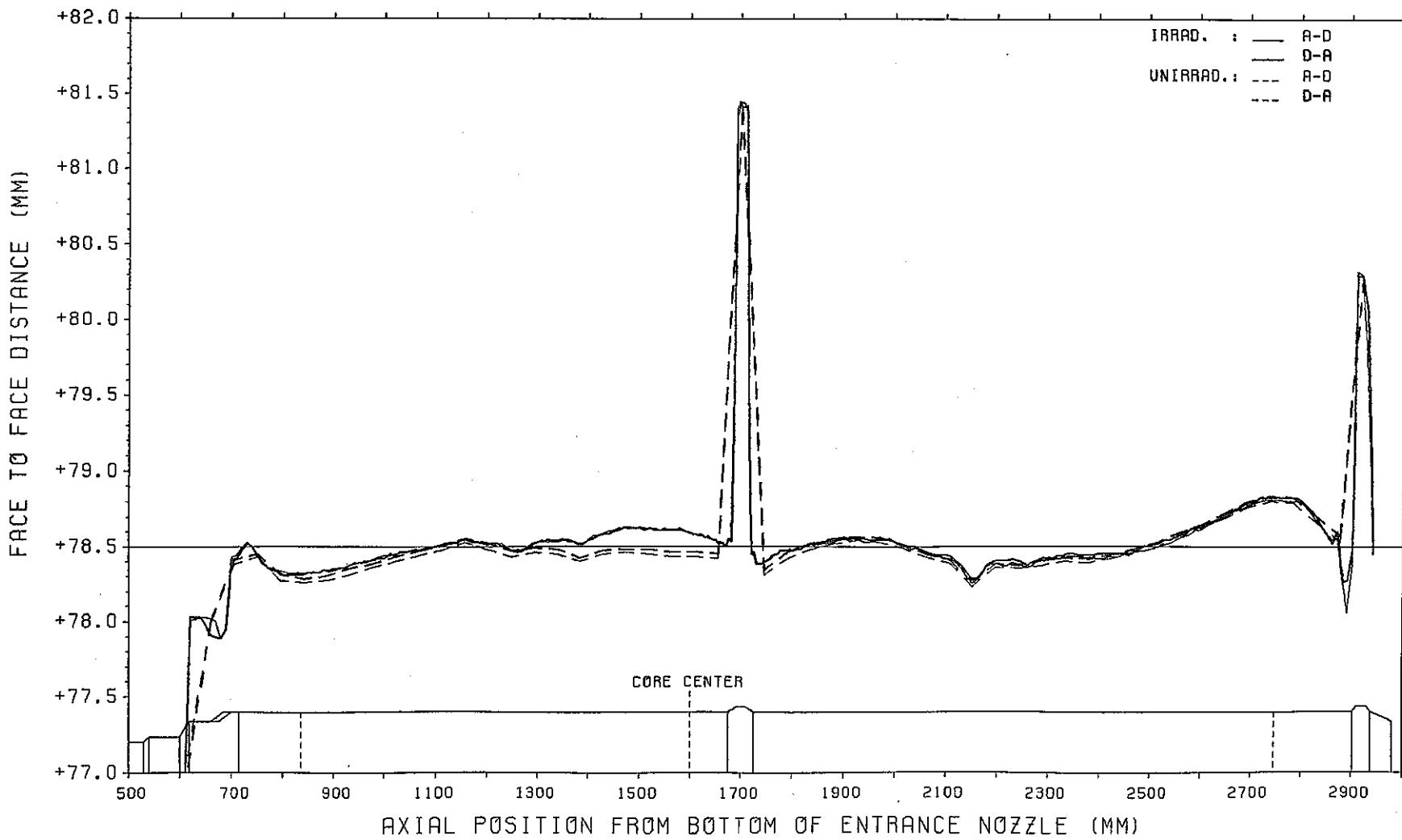


Fig. 8. Face to Face Distance of Subassembly (A-D Face)

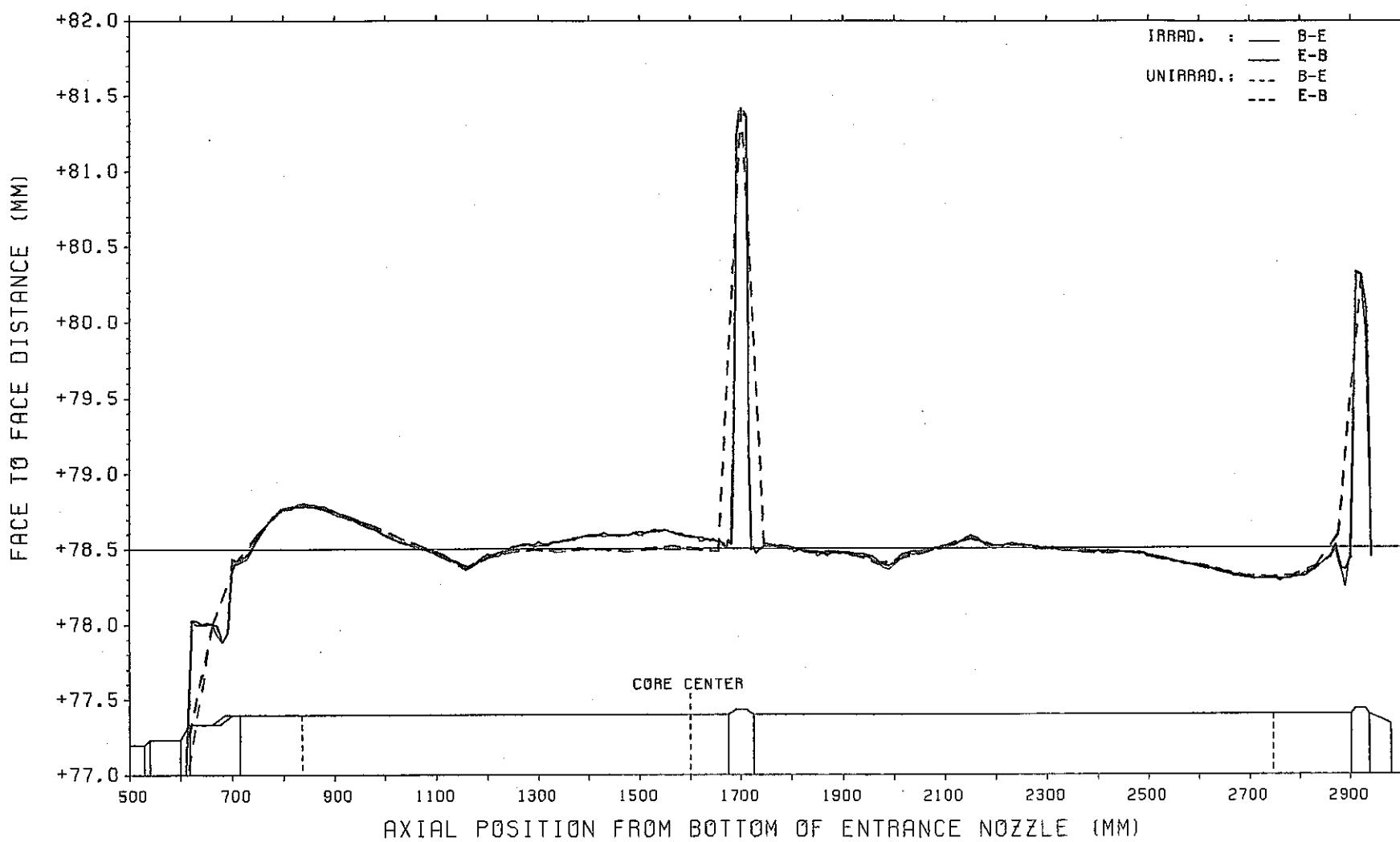


Fig. 9. Face to Face Distance of Subassembly (E-B Face)

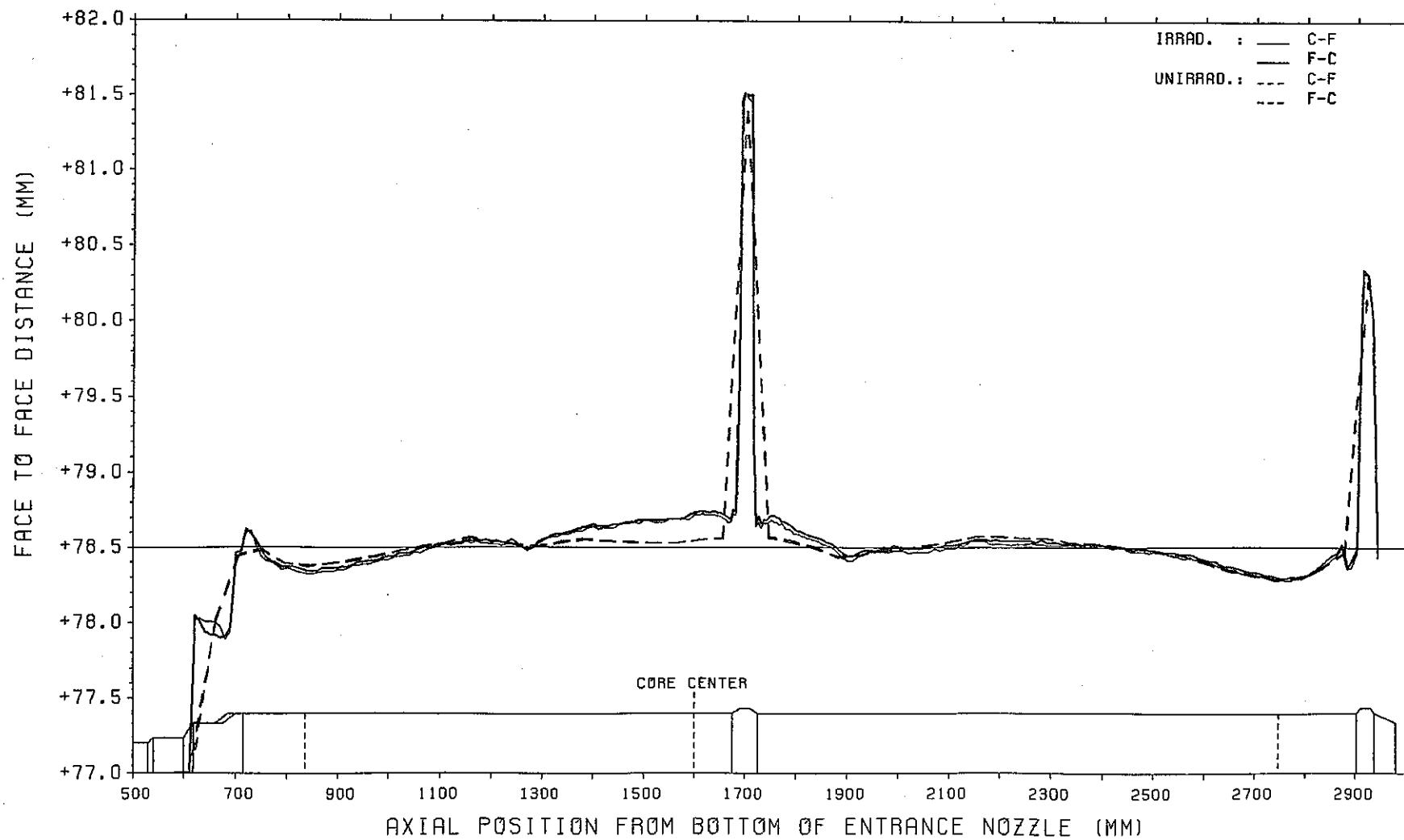


Fig. 10. Face to Face Distance of Subassembly (F-C Face)

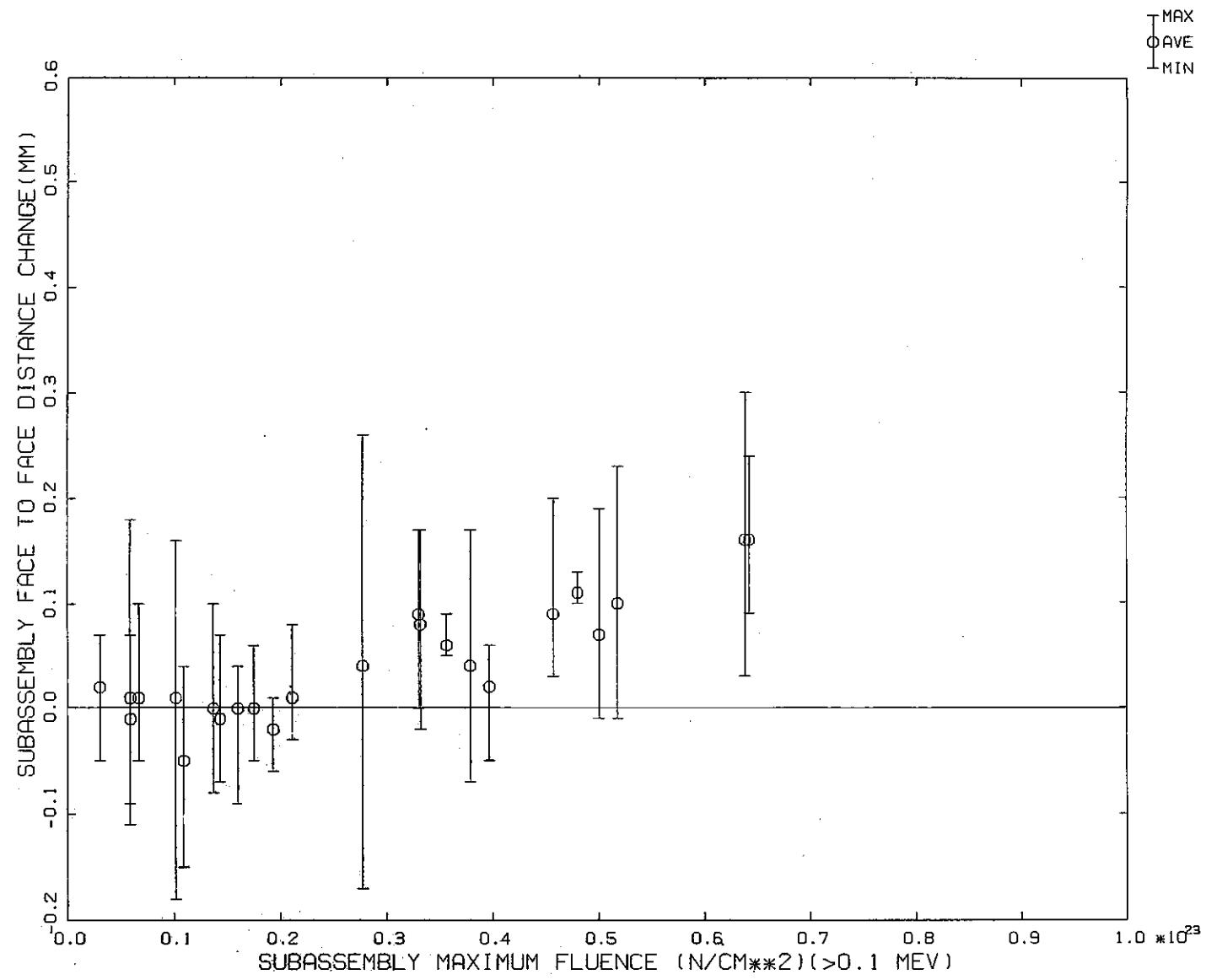
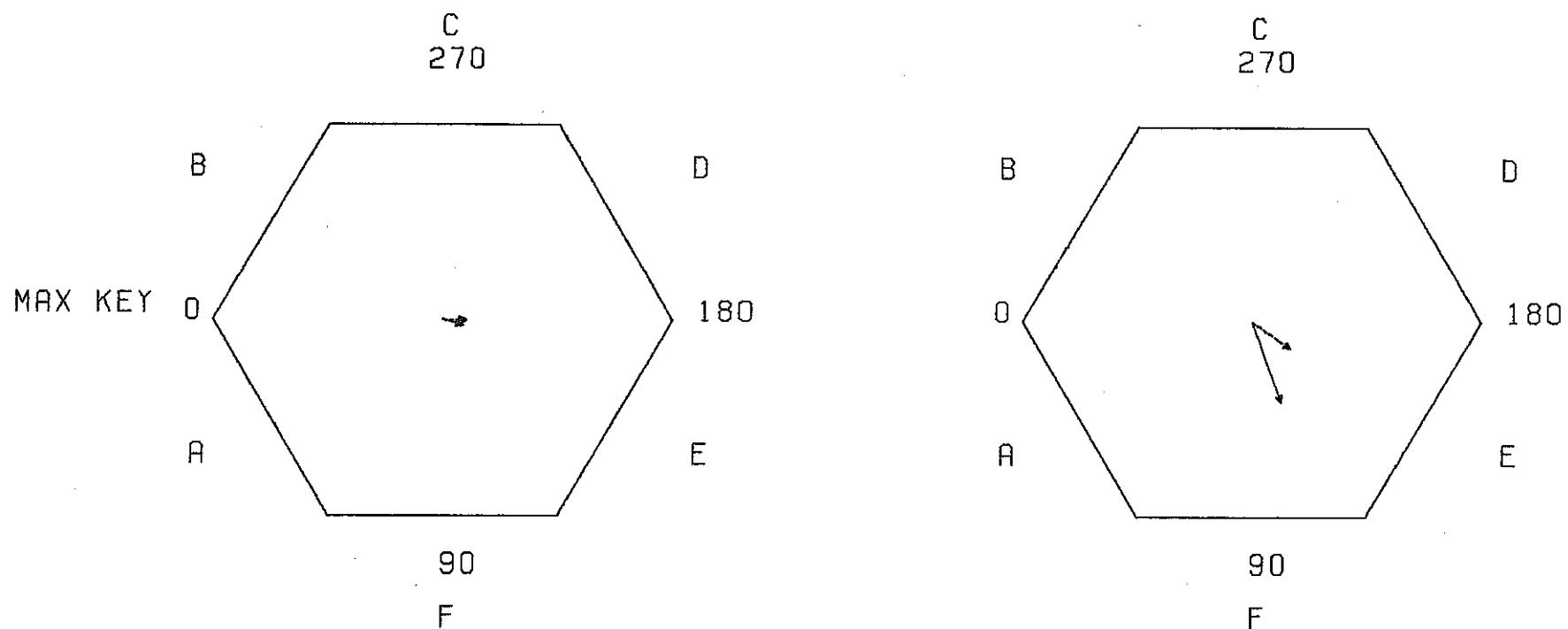


Fig. 11. Dependency of Face to Face Distance Changes of the MK-I Subassemblies (Maximum Fluence)

VIEW FROM TOP



- 39 -

AXIAL POSITION (MM)	1700 AT MIDDLE PAD		2920 AT UPPER PAD		
BOWING IRRAD. (X2) (MM)	(Y2) (DEG)	0.6	166	2.6	110
BOWING UNIRRAD. (X1) (MM)	(Y1) (DEG)	0.7	178	1.4	145

→ IRRAD.
 → UNIRRAD.
 BOWING SCALE ← → 2MM

Fig. 12. Bowing of Subassembly

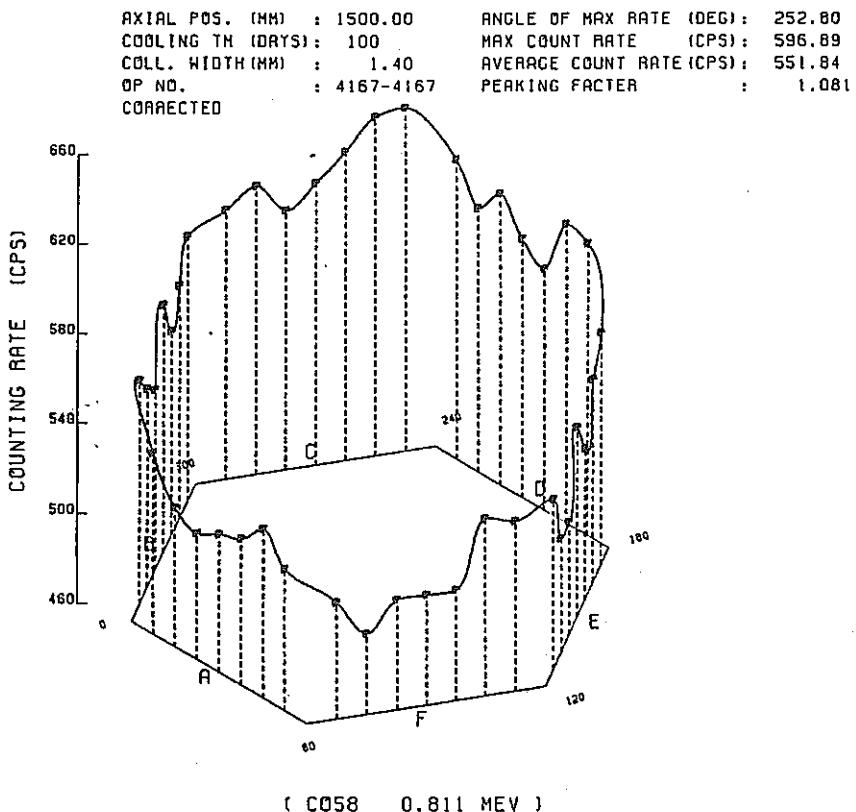
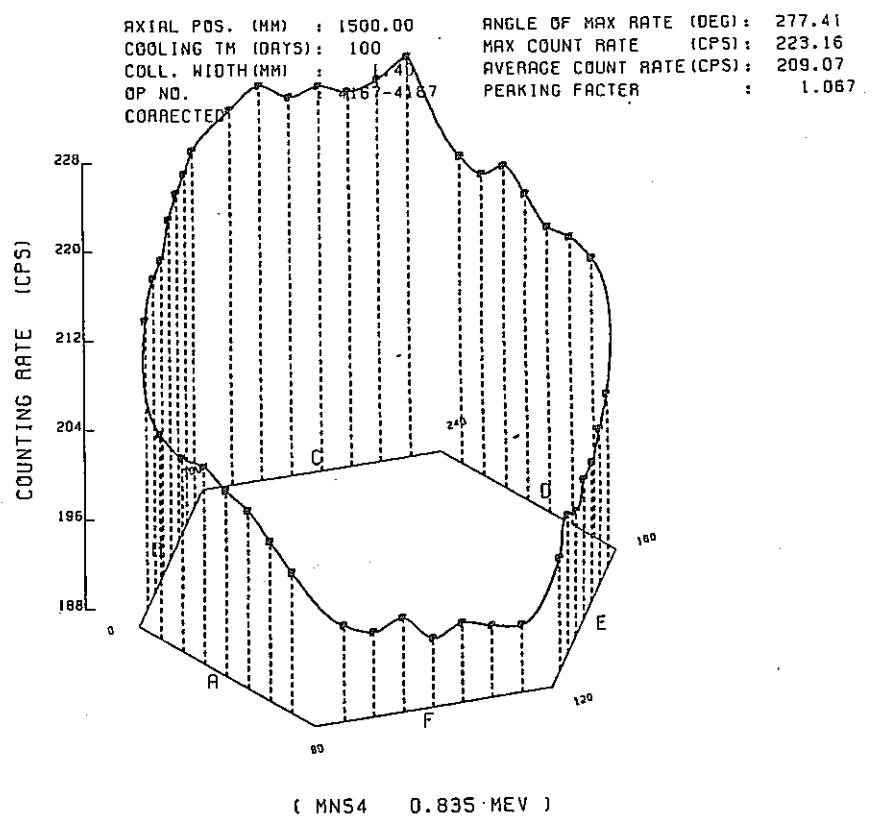


Fig. 13. Results of Wrapper Tube Gamma Scanning

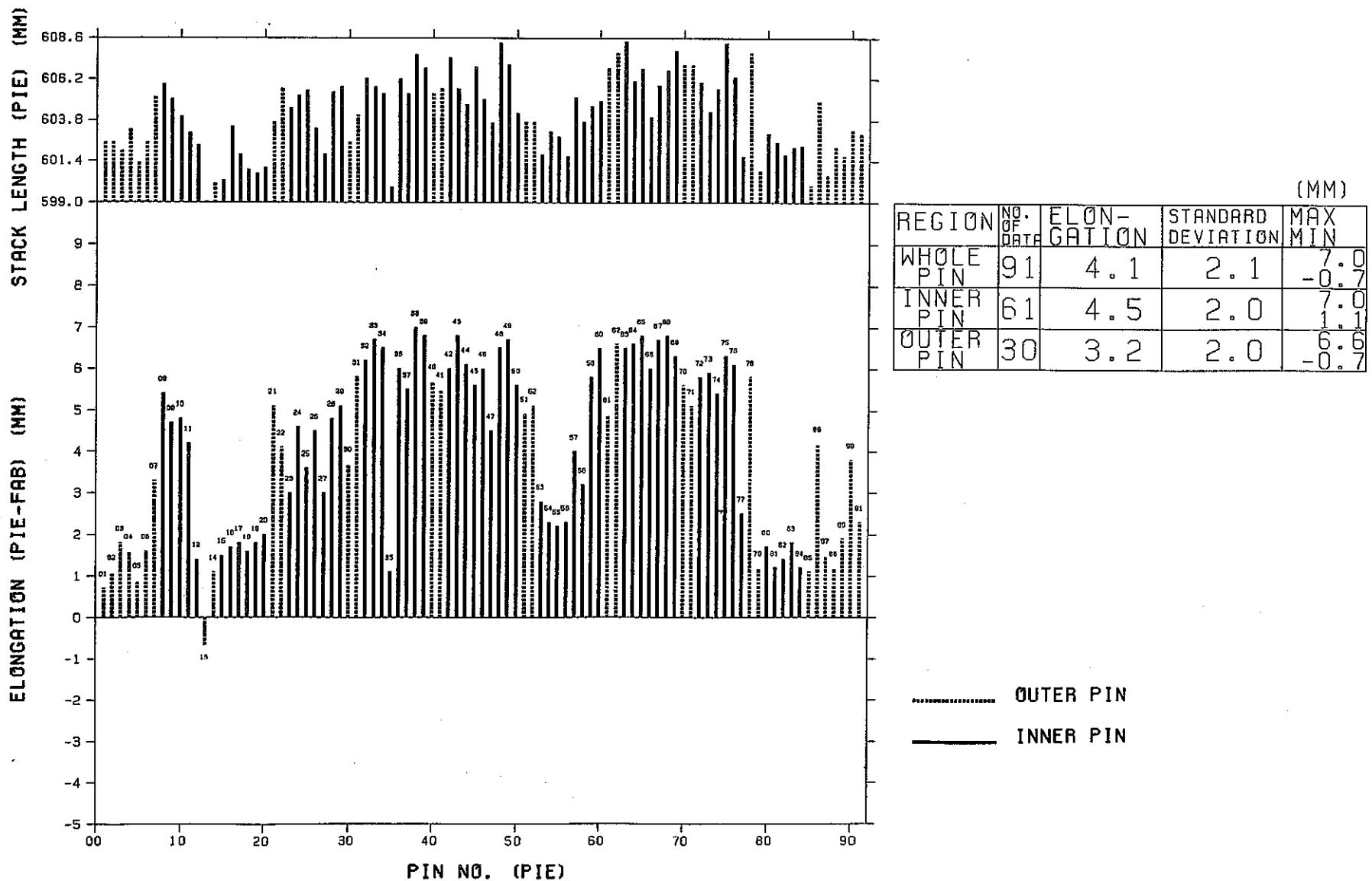


Fig. 14. Elongation of Core Fuel Stack Length

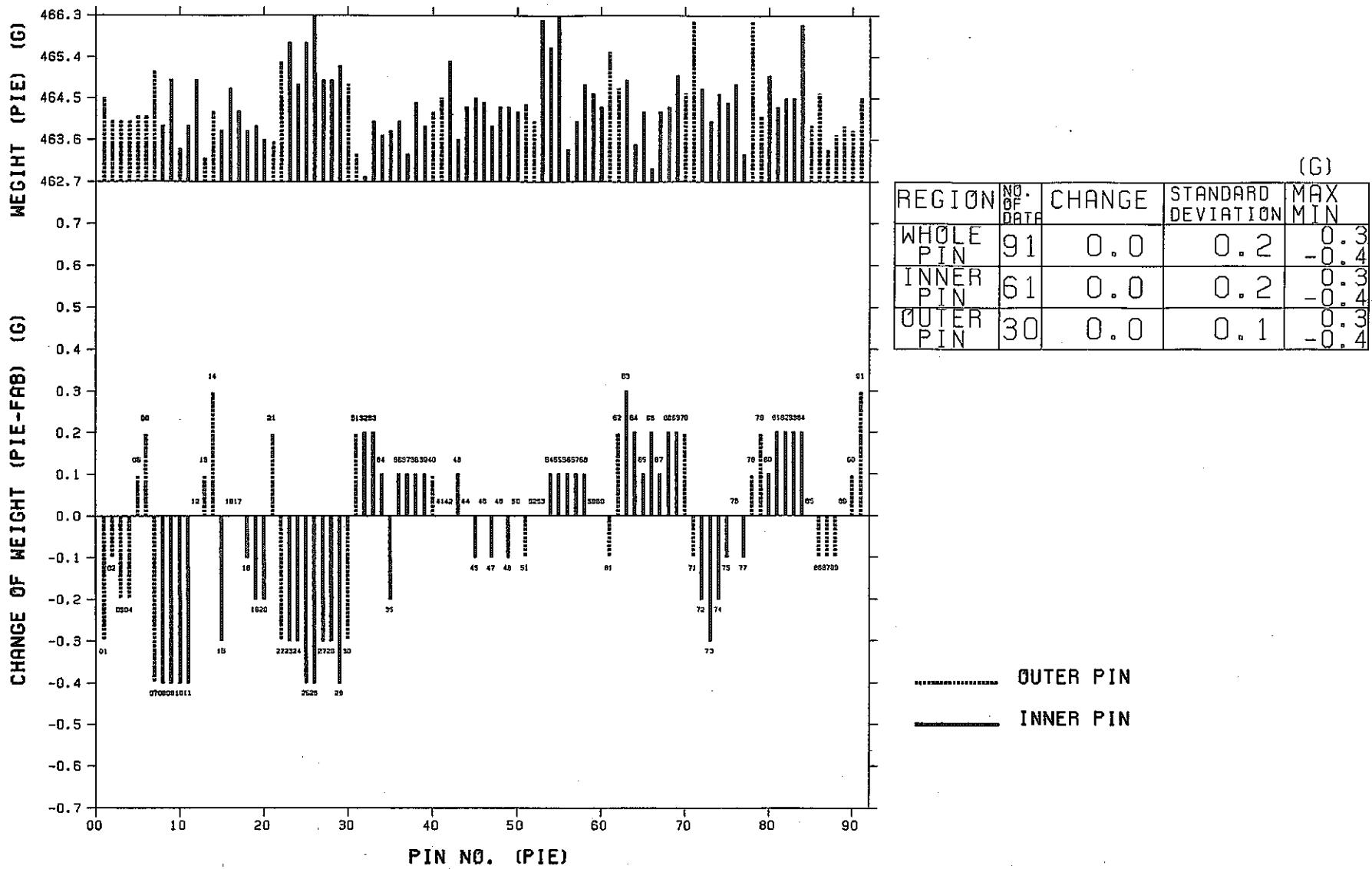


Fig. 15. Weight Changes of Fuel Pins

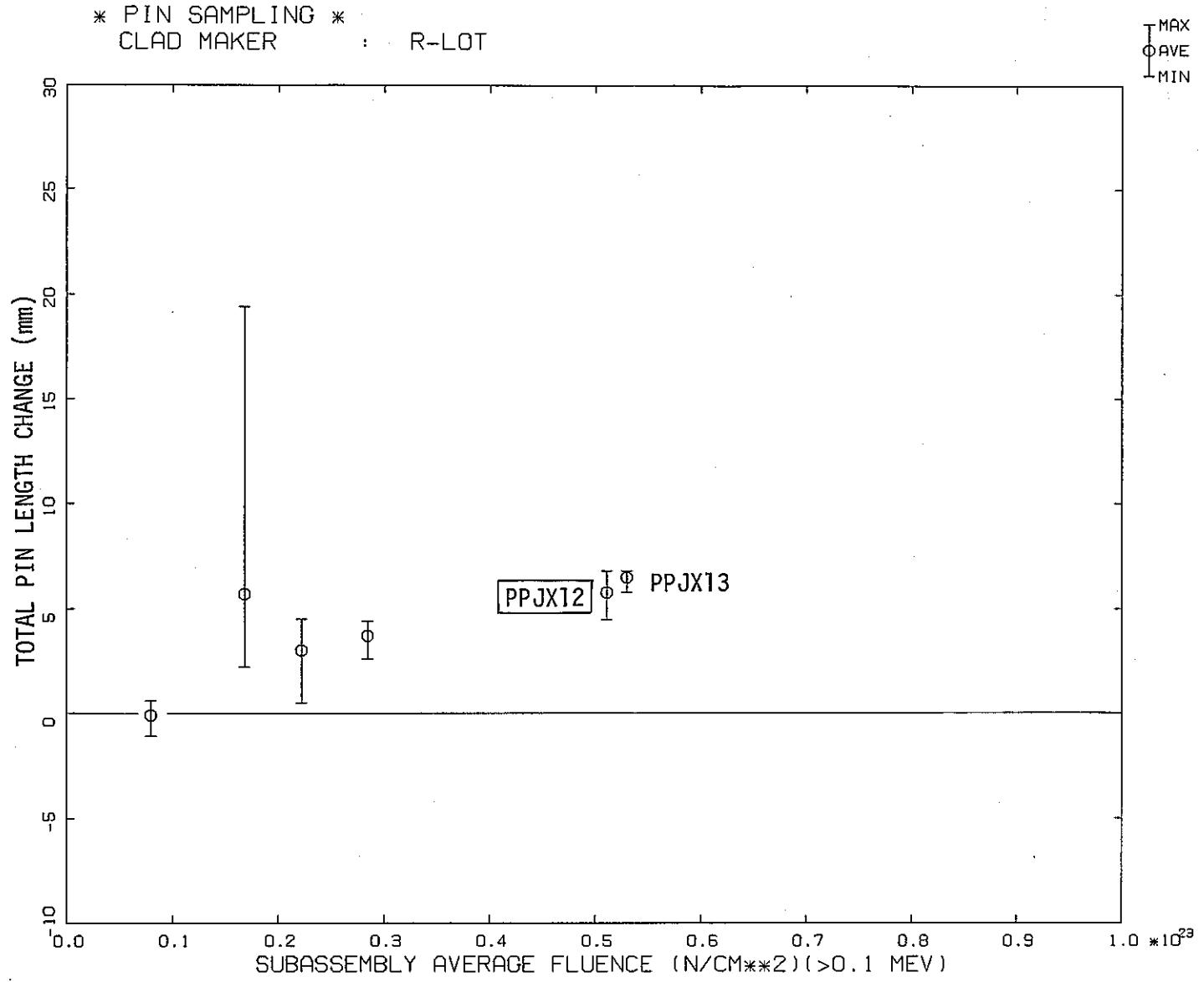


Fig. 16. Relation of Total Pin Length Changes of Subassemblies in MK-I (R-Clad.)

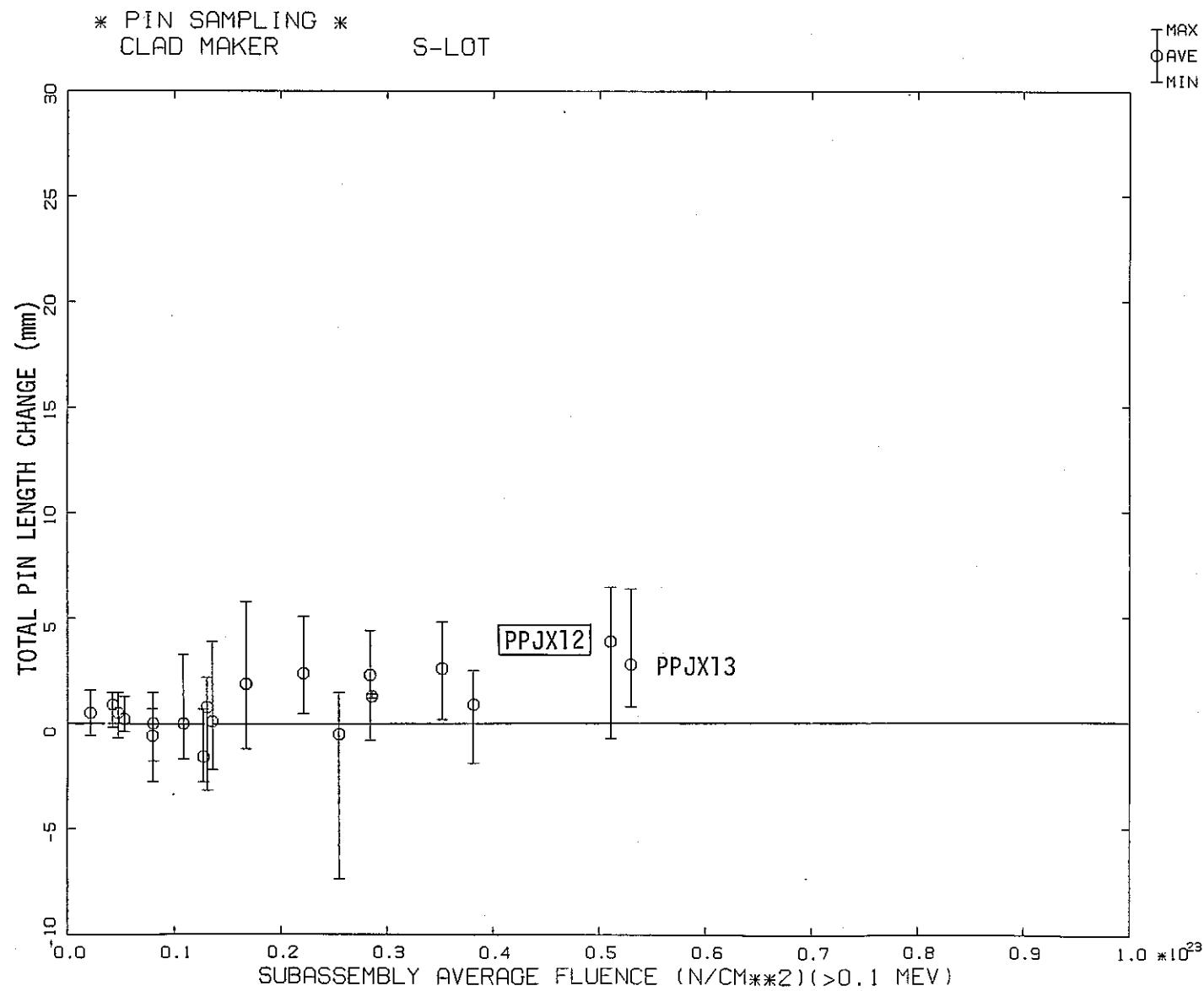


Fig. 17. Relation of Total Pin Length Changes of Subassemblies in MK-I (S-Clad.)

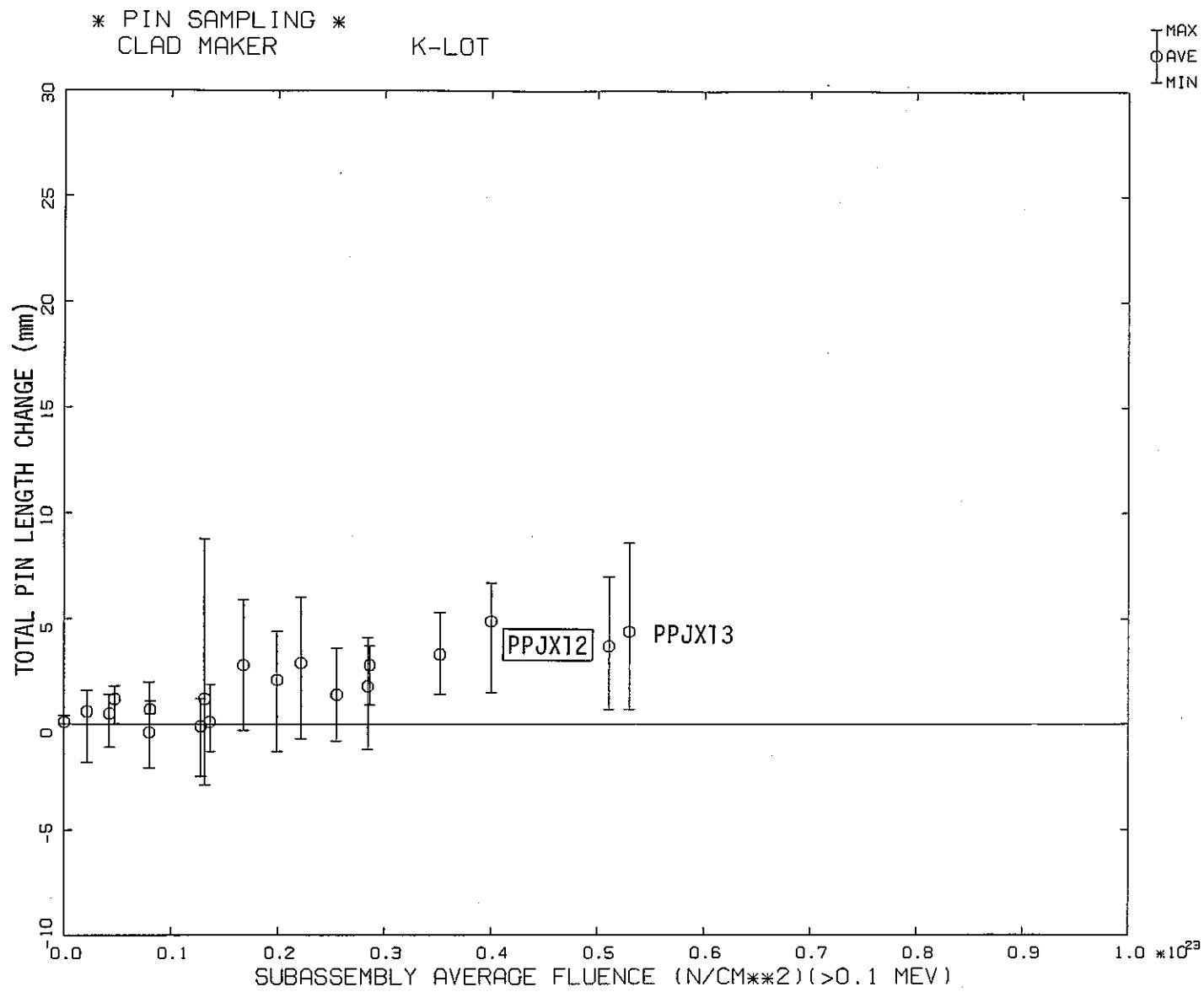


Fig. 18. Relation of Total Pin Length Changes of Subassemblies in MK-I (K-Clad.)

- 46 -

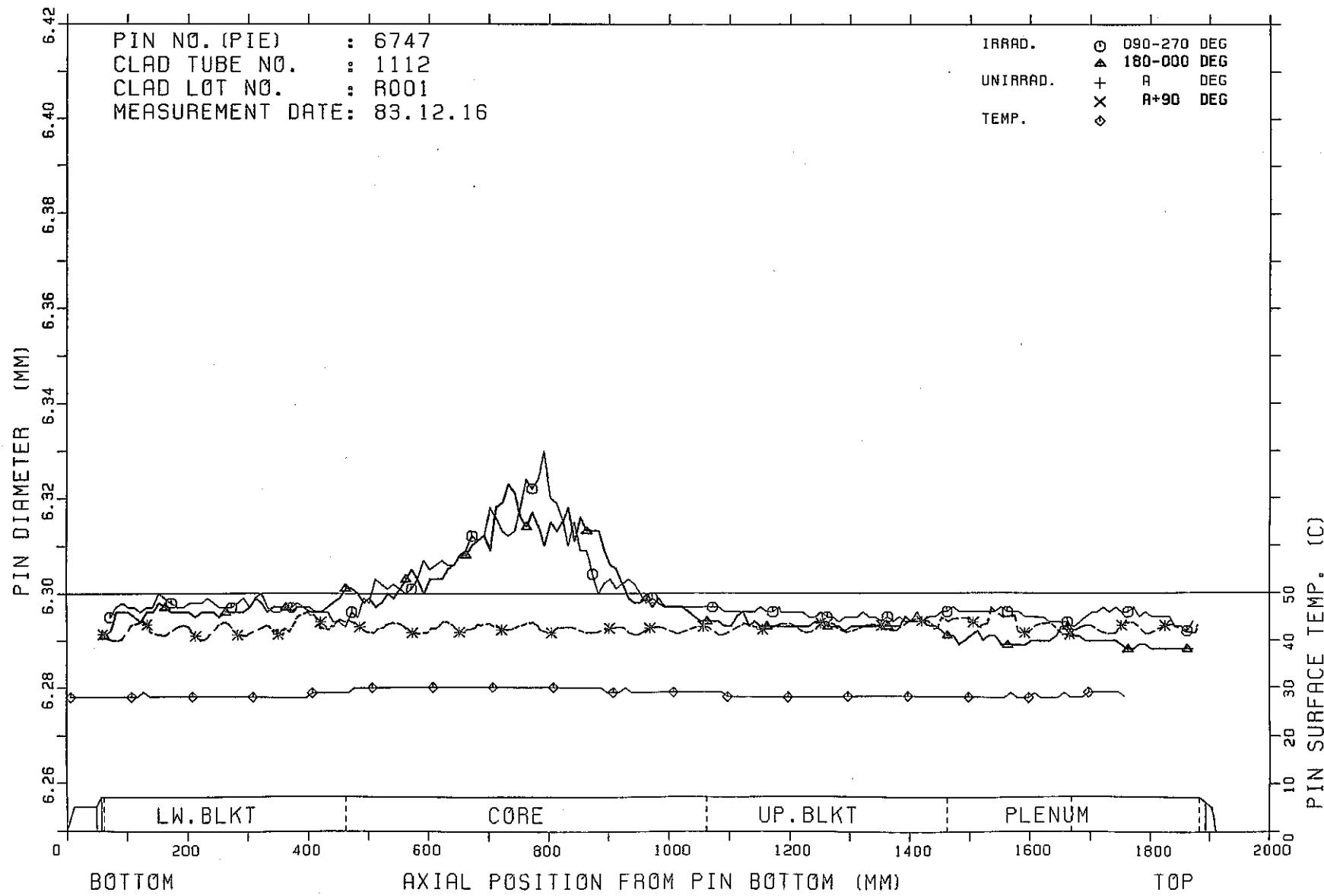


Fig. 19. Axial Profile of Pin Diameter (R-Clad.)

- 4 -

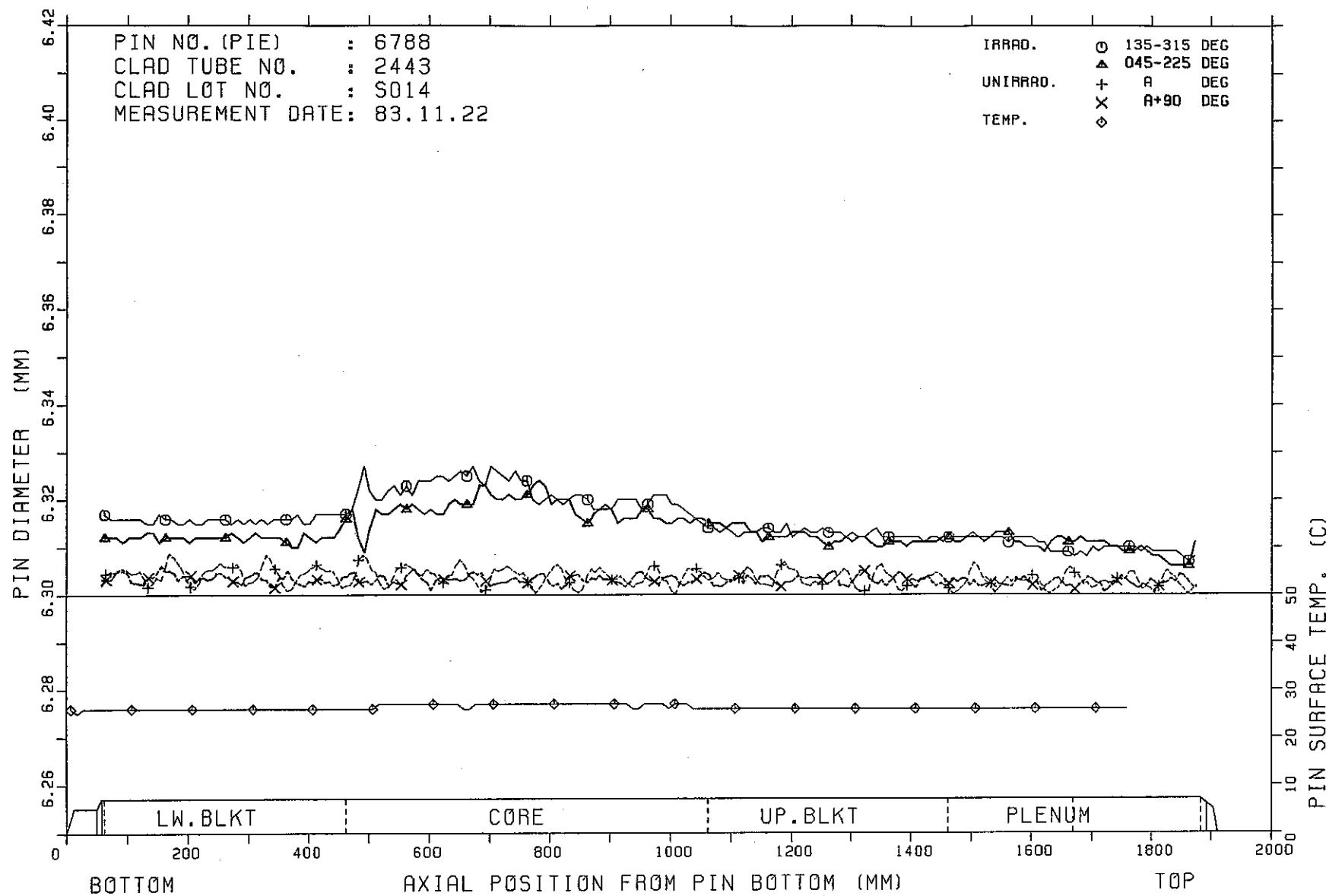


Fig. 20. Axial Profile of Pin Diameter (S-Clad.)

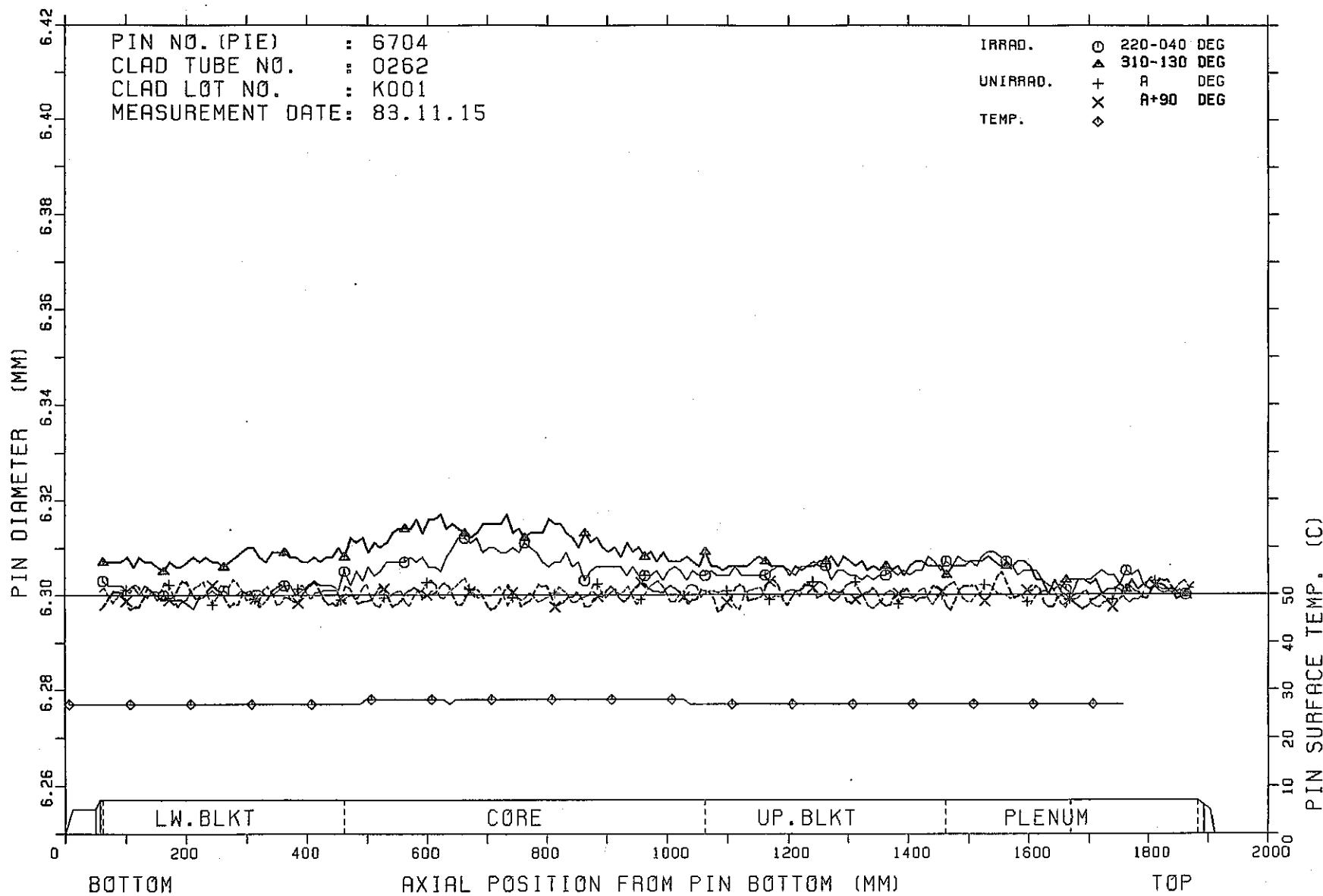


Fig. 21. Axial Profile of Pin Diameter (K-Clad.)

-49-

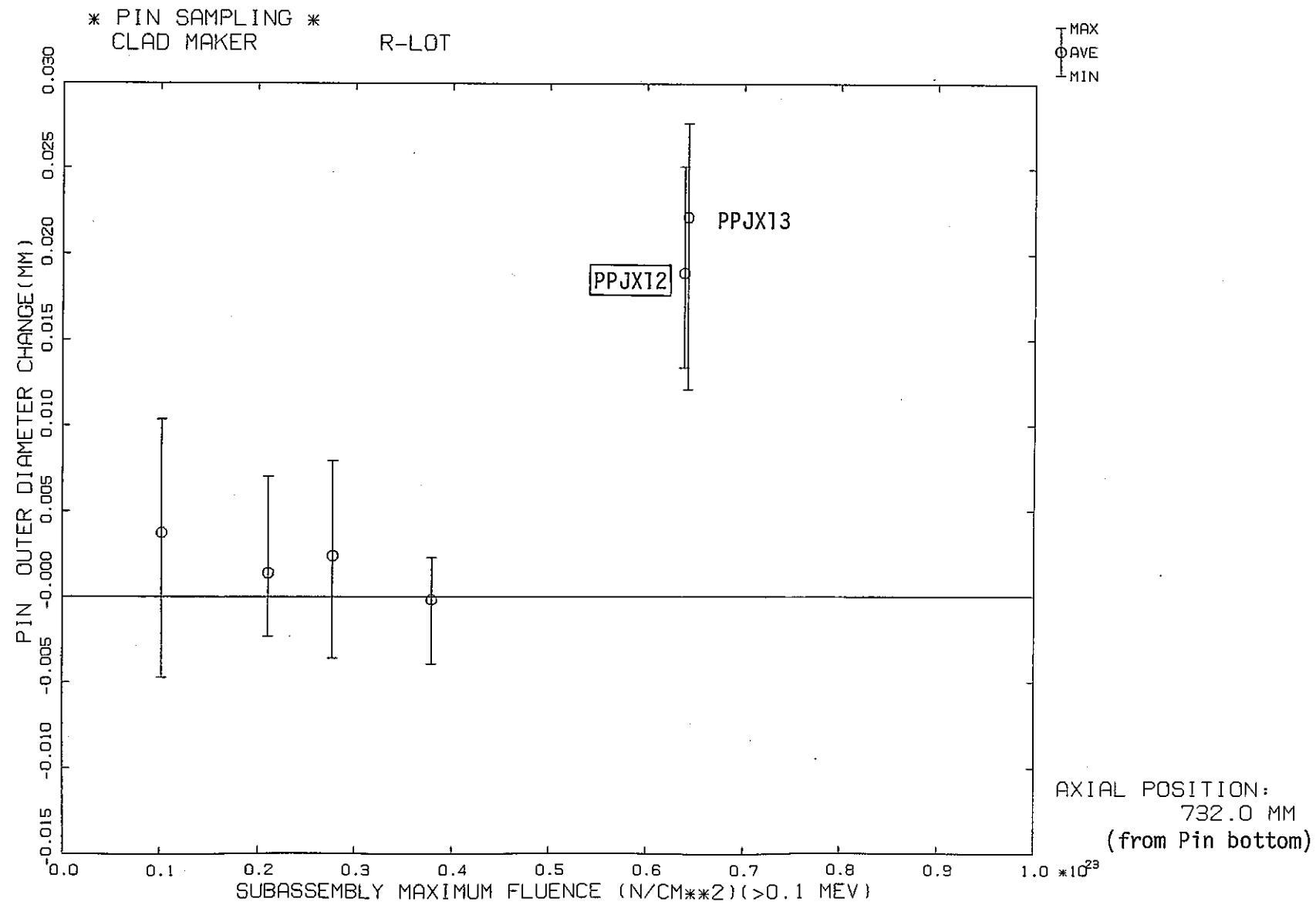


Fig. 22. Relation of Pin Outer Diameter Changes of Subassemblies in MK-I (R-Clad.)

- 0 g -

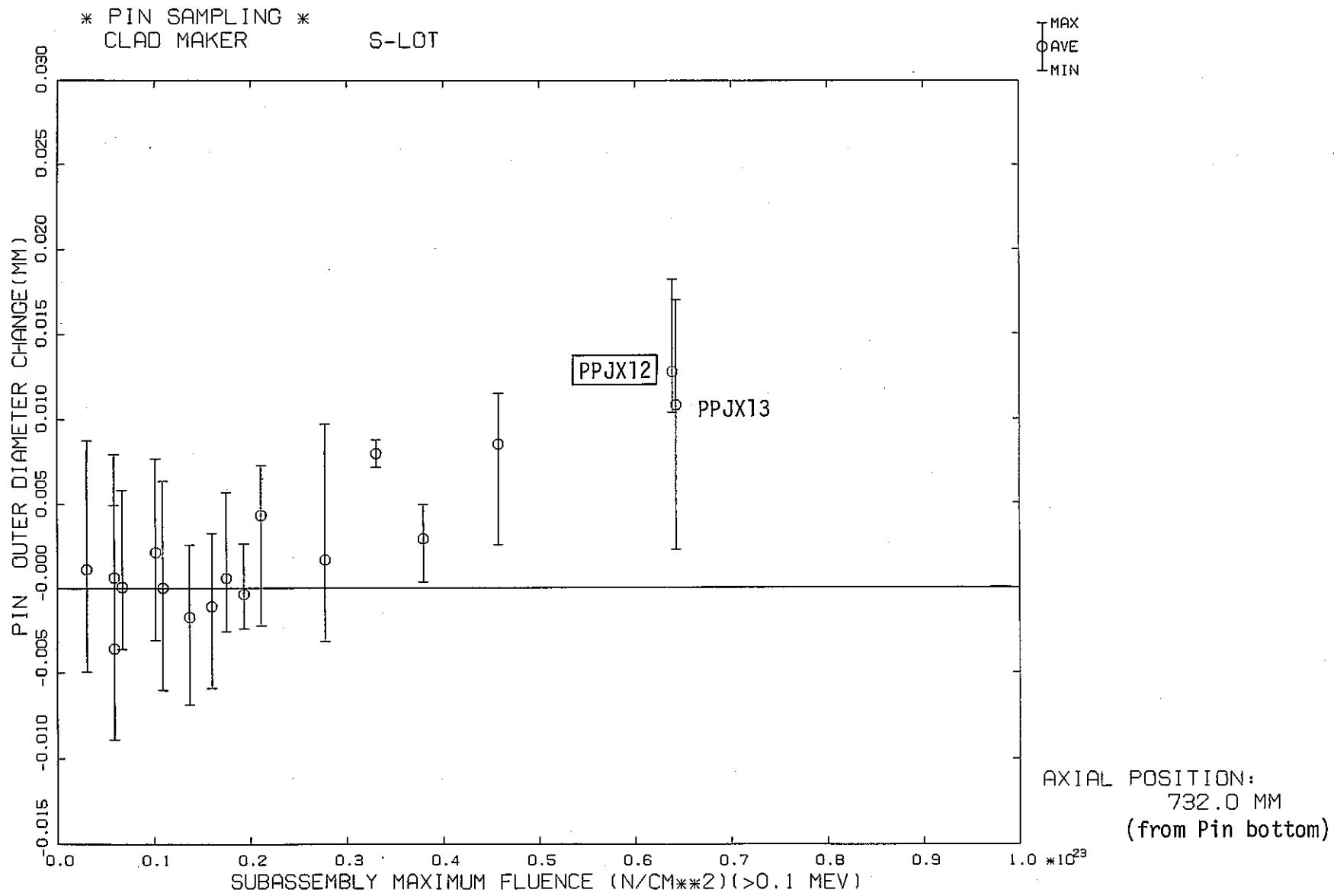


Fig. 23. Relation of Pin Outer Diameter Changes of Subassemblies in MK-I (S-Clad.)

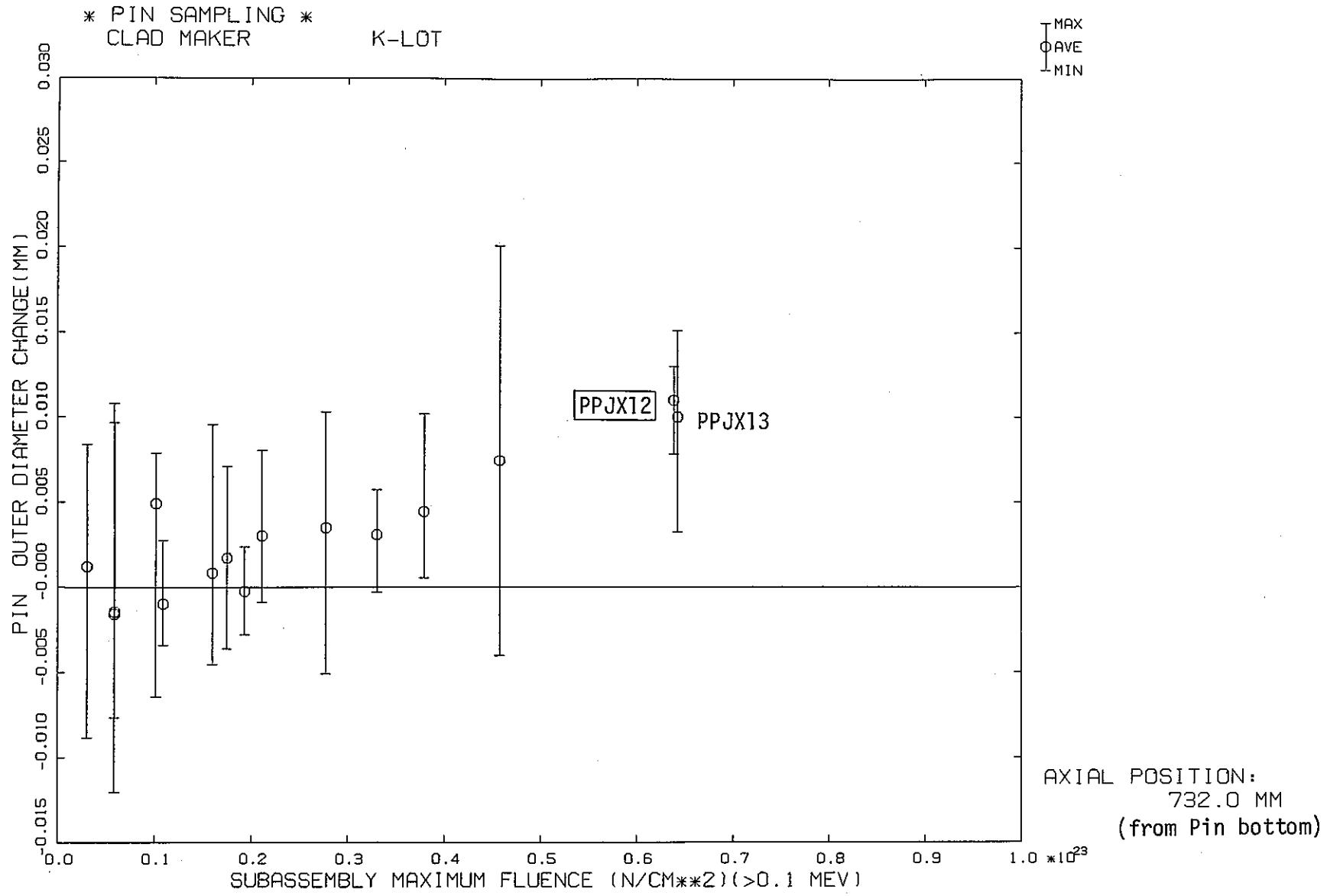


Fig. 24. Relation of Pin Outer Diameter Changes of Subassemblies in MK-I (K-Clad.)

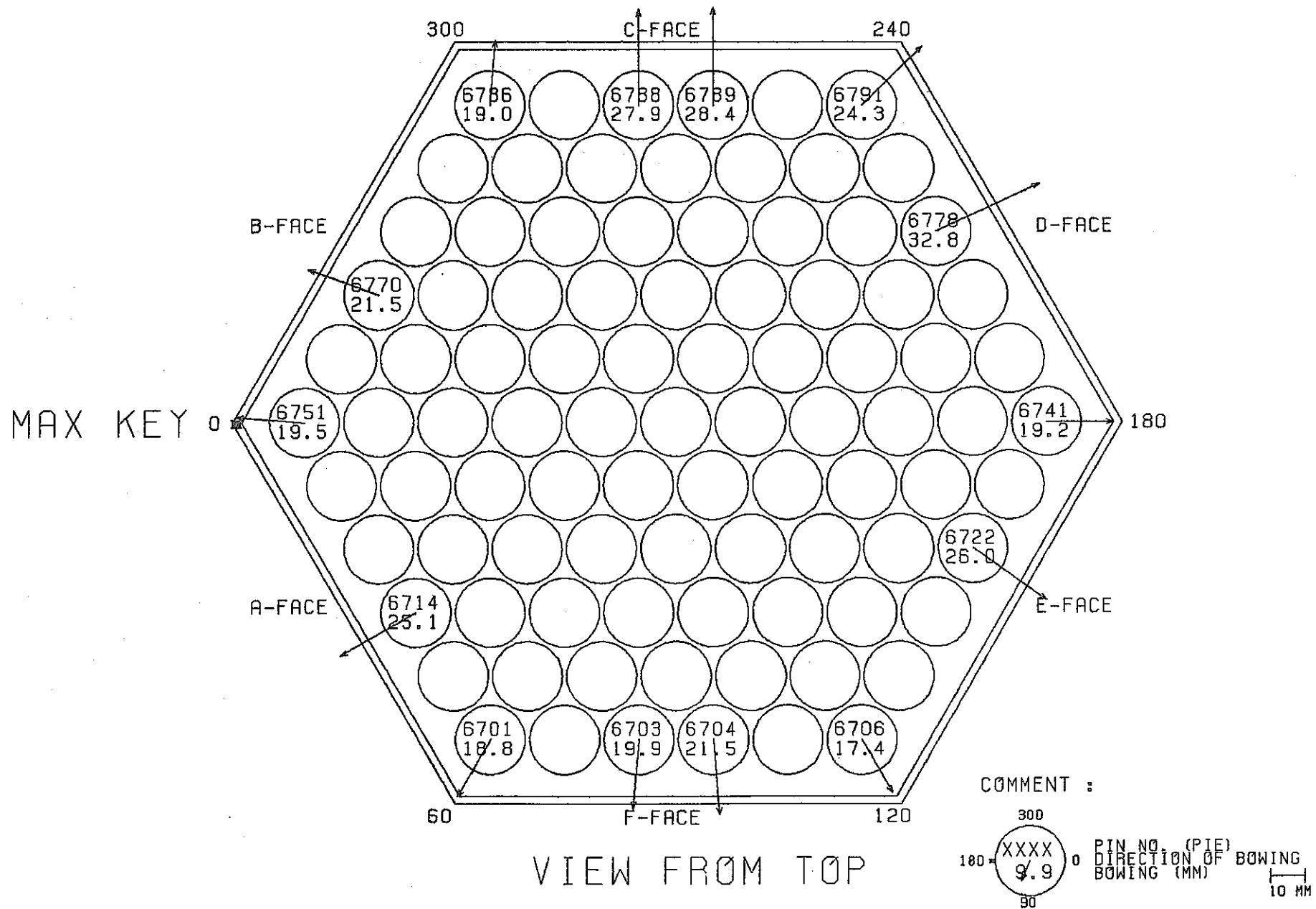


Fig. 25. Pin Bowing Vector in the Subassembly

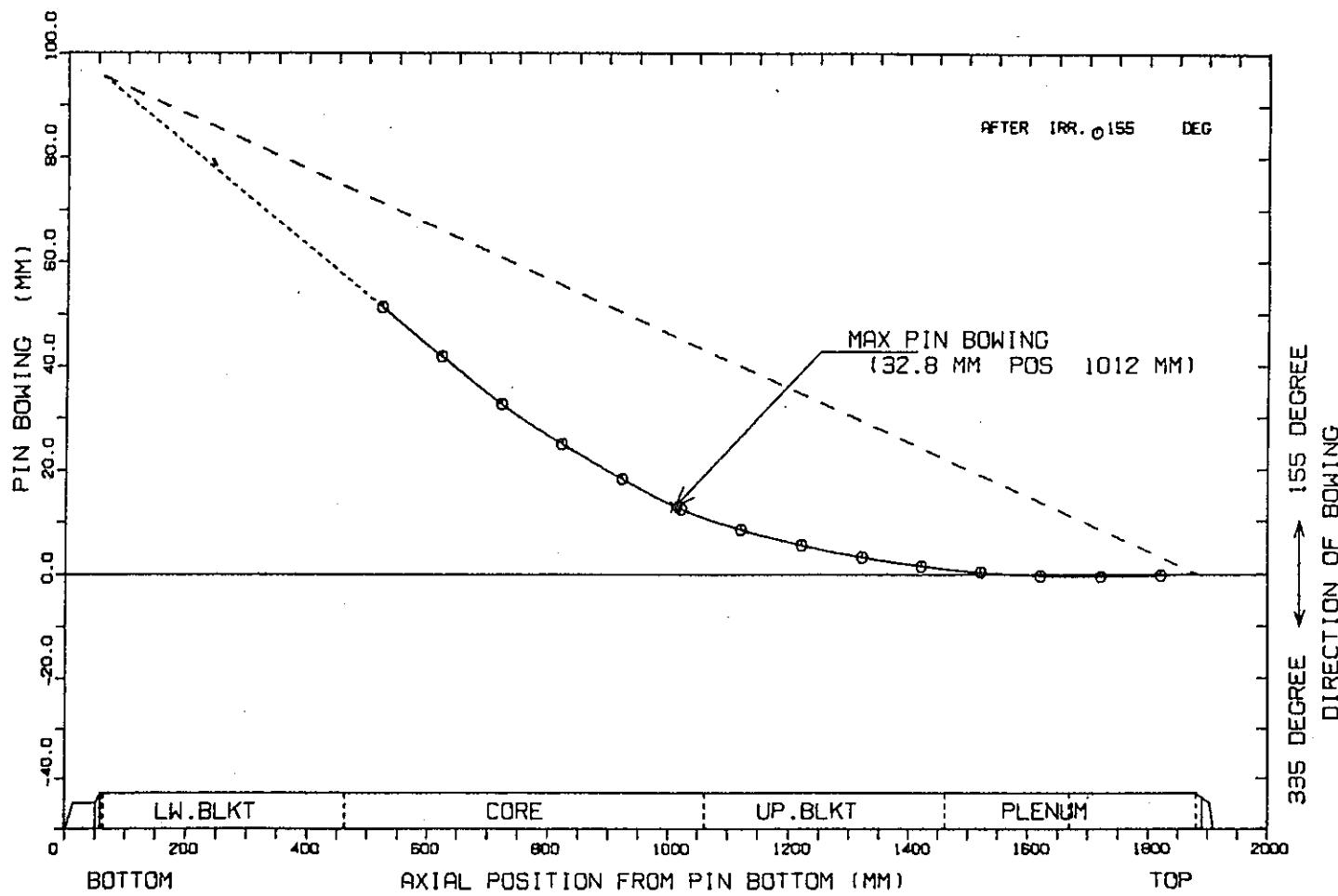


Fig. 26. Typical Axial Profile of Pin Bowing

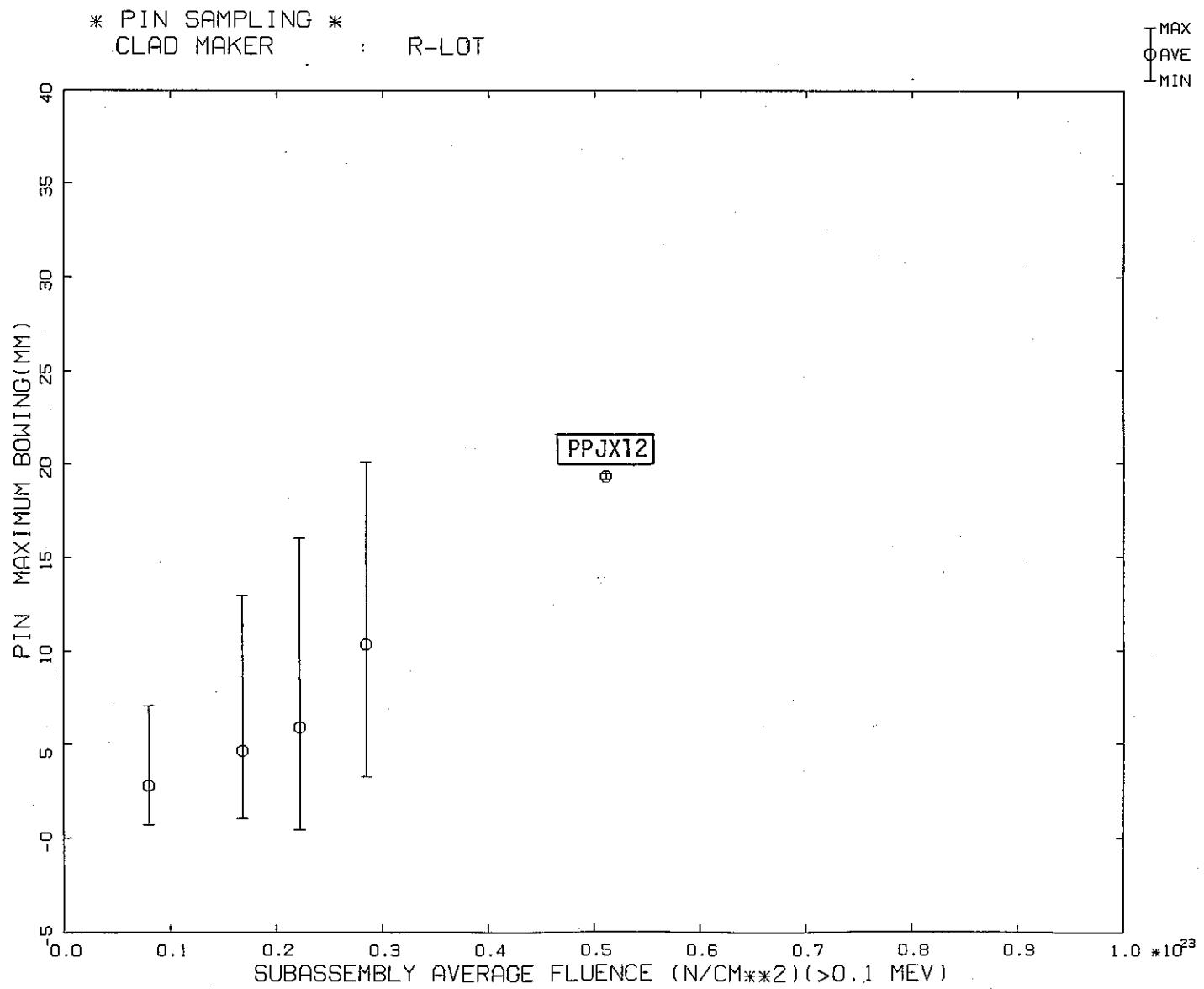


Fig. 27. Relation of Pin Maximum Bowing of Subassemblies in MK-I (R-Clad.)

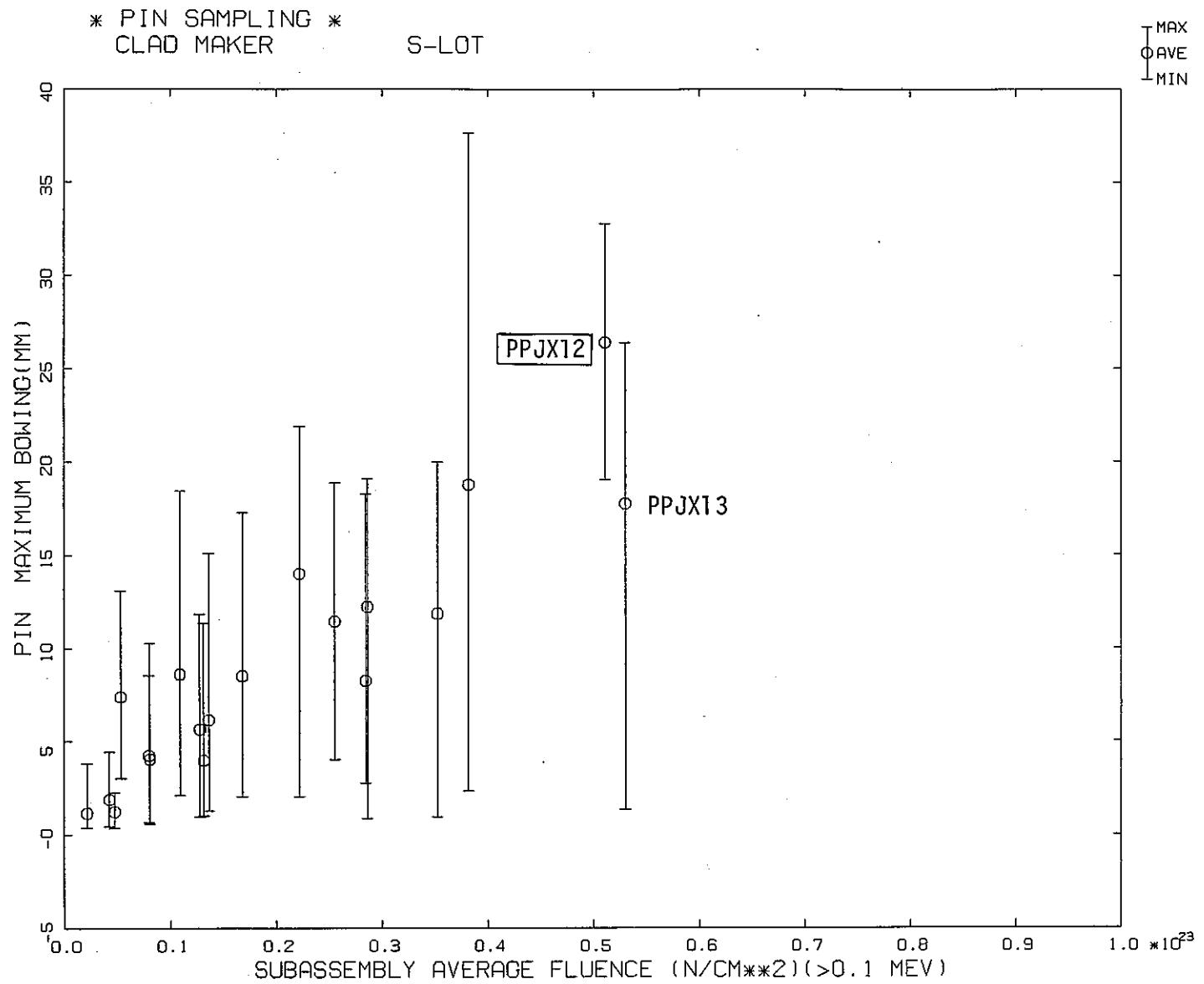


Fig. 28. Relation of Pin Maximum Bowing of Subassemblies in MK-I (S-Clad.)

* PIN SAMPLING *

CLAD MAKER

K-LOT

MAX
○ AVE
MIN

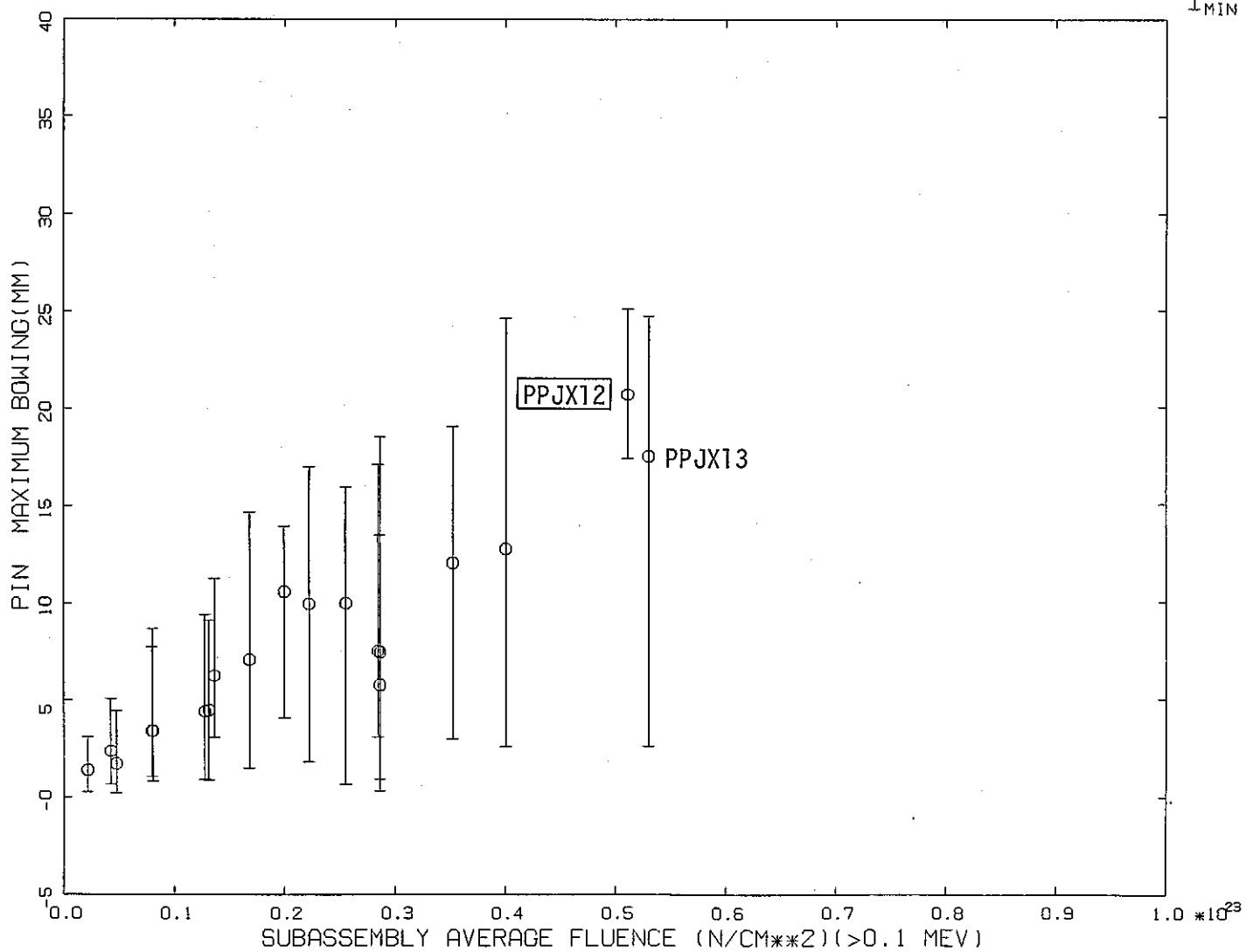


Fig. 29. Relation of Pin Maximum Bowing of Subassemblies in MK-I (K-Clad.)

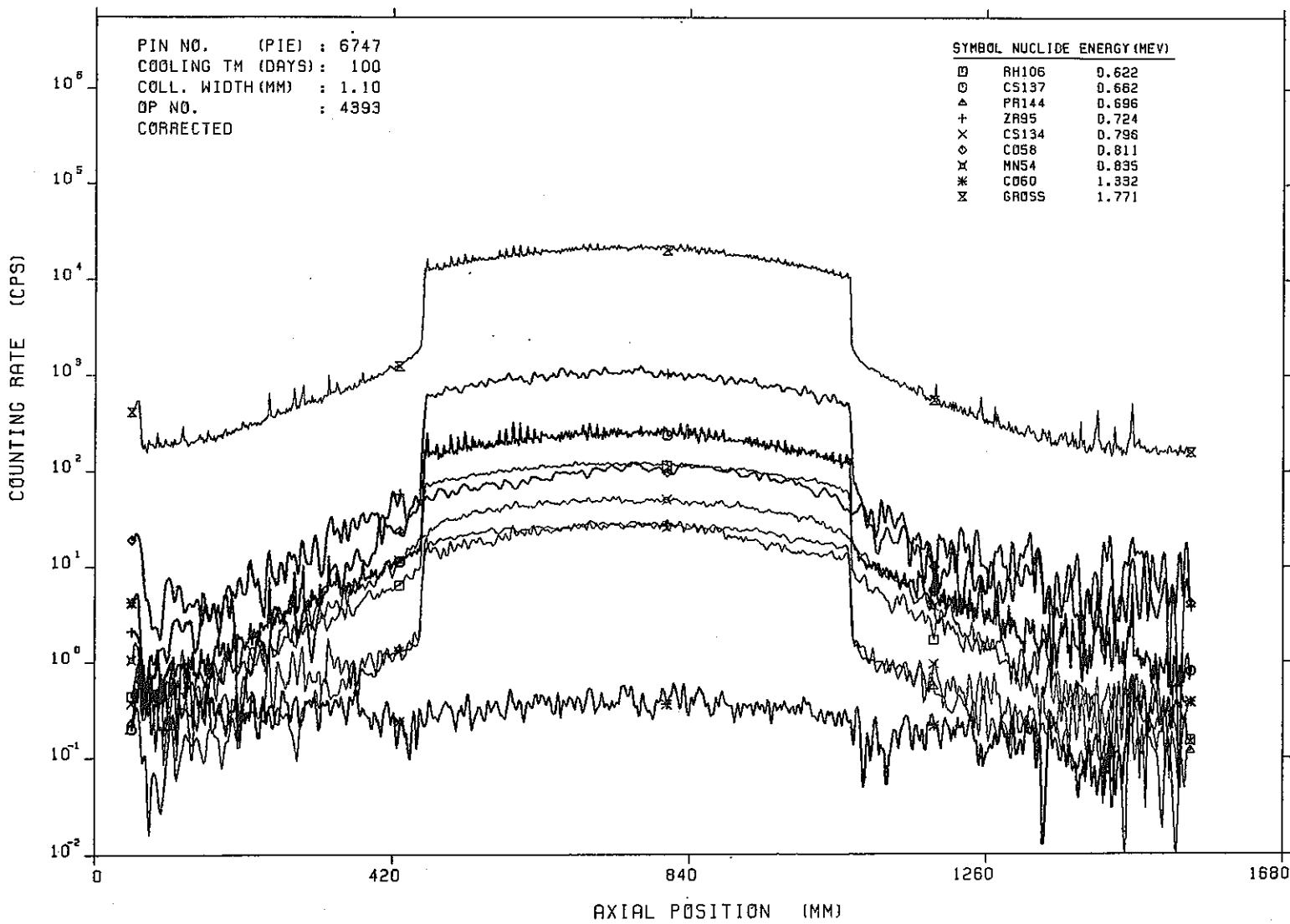
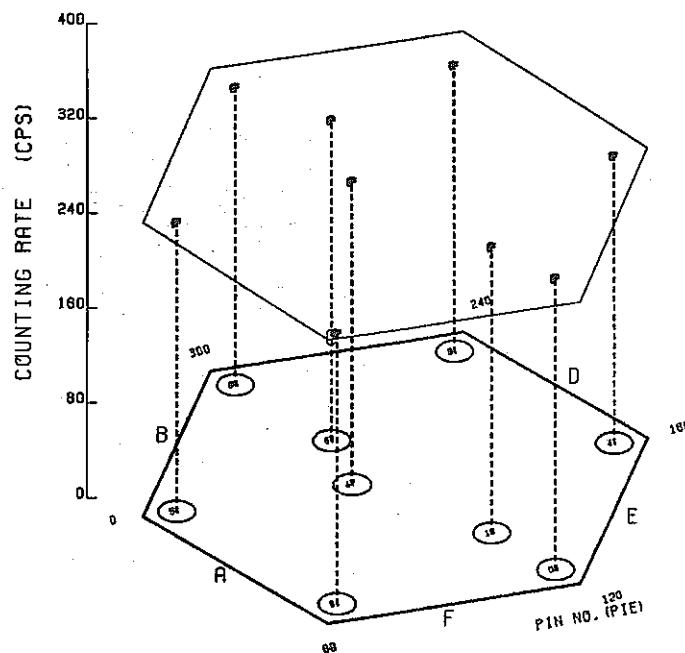


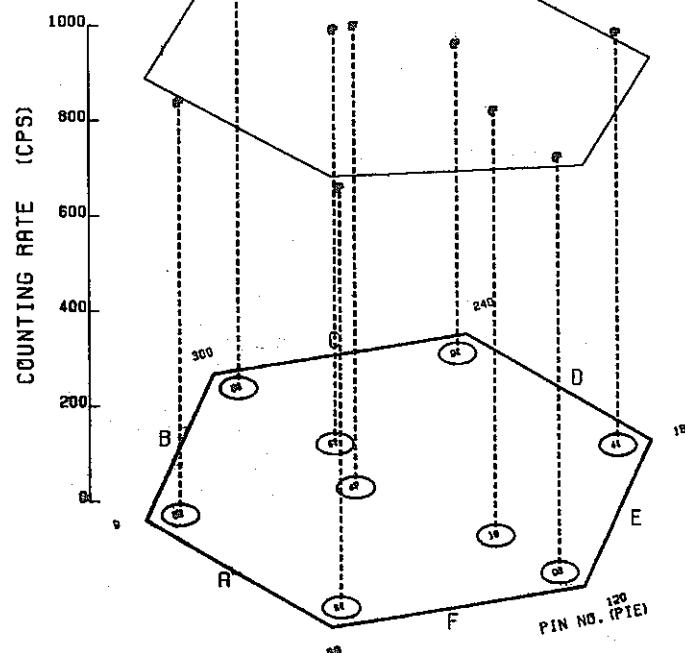
Fig. 30. Axial Distribution of Gamma Ray Intensity

AXIAL POS. (MM) : 732.00 ANGLE OF MAX RATE (DEG): 277.09
 COOLING TM (DAYS): 100 MAX COUNT RATE (CPS): 253.83
 COLL. WIDTH (MM) : 1.10 AVERAGE COUNT RATE (CPS): 246.20
 OP NO. : 4217-4397 PEAKING FACTER : 1.030
 CORRECTED



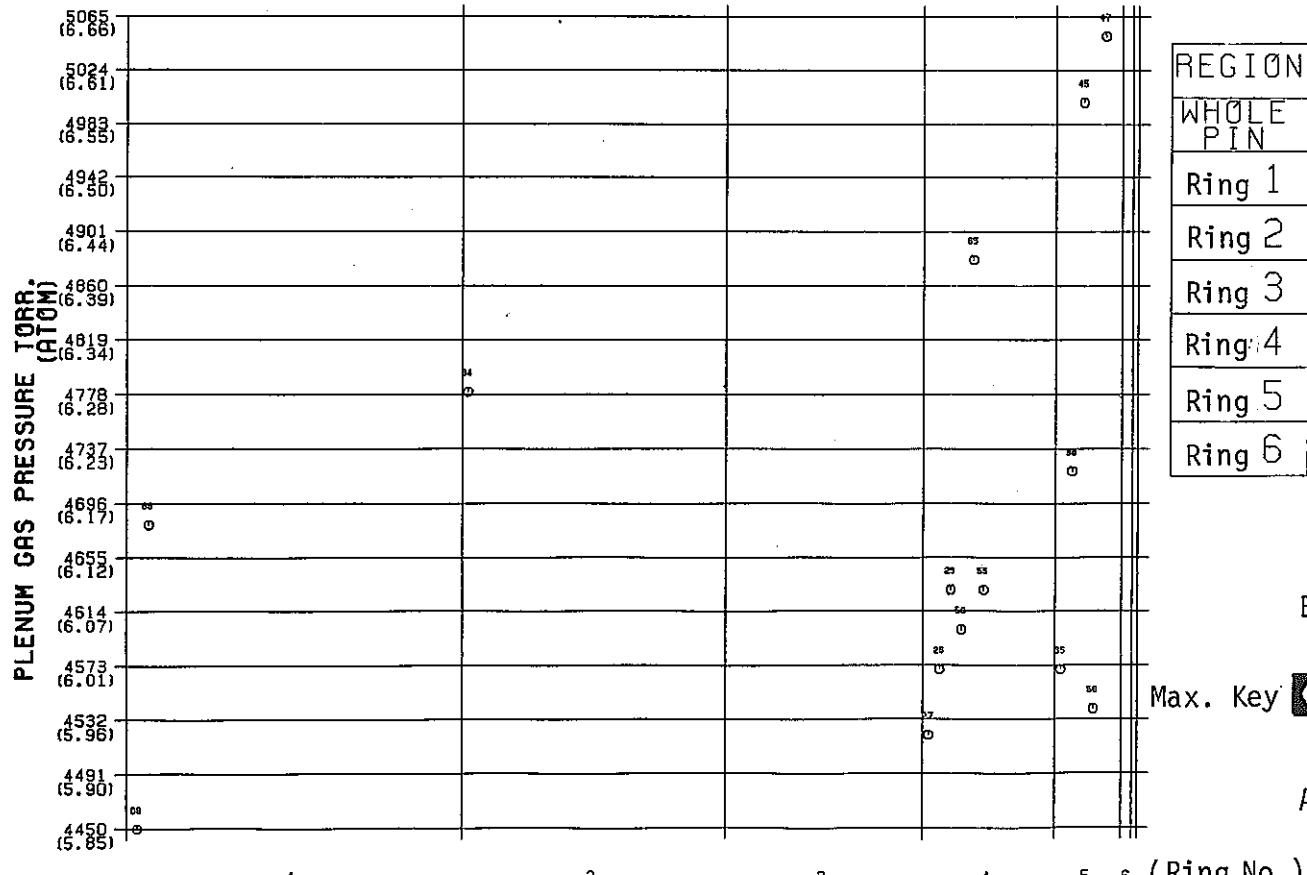
[CS137 0.663 MEV]

AXIAL POS. (MM) : 732.00 ANGLE OF MAX RATE (DEG): 42.03
 COOLING TM (DAYS): 100 MAX COUNT RATE (CPS): 934.31
 COLL. WIDTH (MM) : 1.10 AVERAGE COUNT RATE (CPS): 864.06
 OP NO. : 4217-4397 PEAKING FACTER : 1.081
 CORRECTED



[ZR 95 0.724 MEV]

Fig. 31. Radial Distribution of Gamma Ray Intensity



REGION	NO. OF DATE	AVERAGE	STANDARD DEVIATION	MAX MIN
WHOLE PIN	14	4687.1	1408.7	5050.0 4450.0
Ring 1	02	4565.0	4156.2	4680.0 4450.0
Ring 2	01	4780.0	0.0	4780.0 4780.0
Ring 3	00	0.0	0.0	0.0 0.0
Ring 4	06	4638.3	5082.6	4680.0 4520.0
Ring 5	05	4776.0	2399.8	5050.0 4540.0
Ring 6	00	0.0	0.0	0.0 0.0

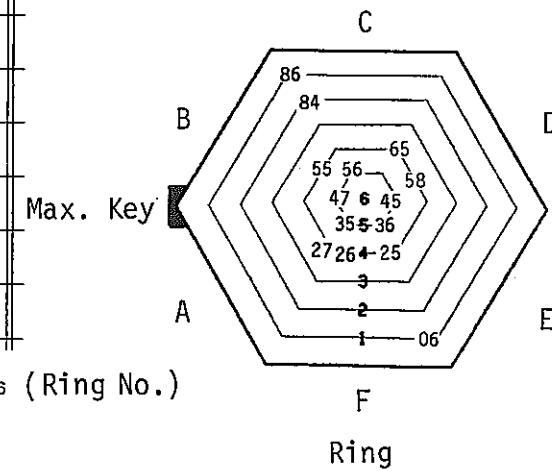
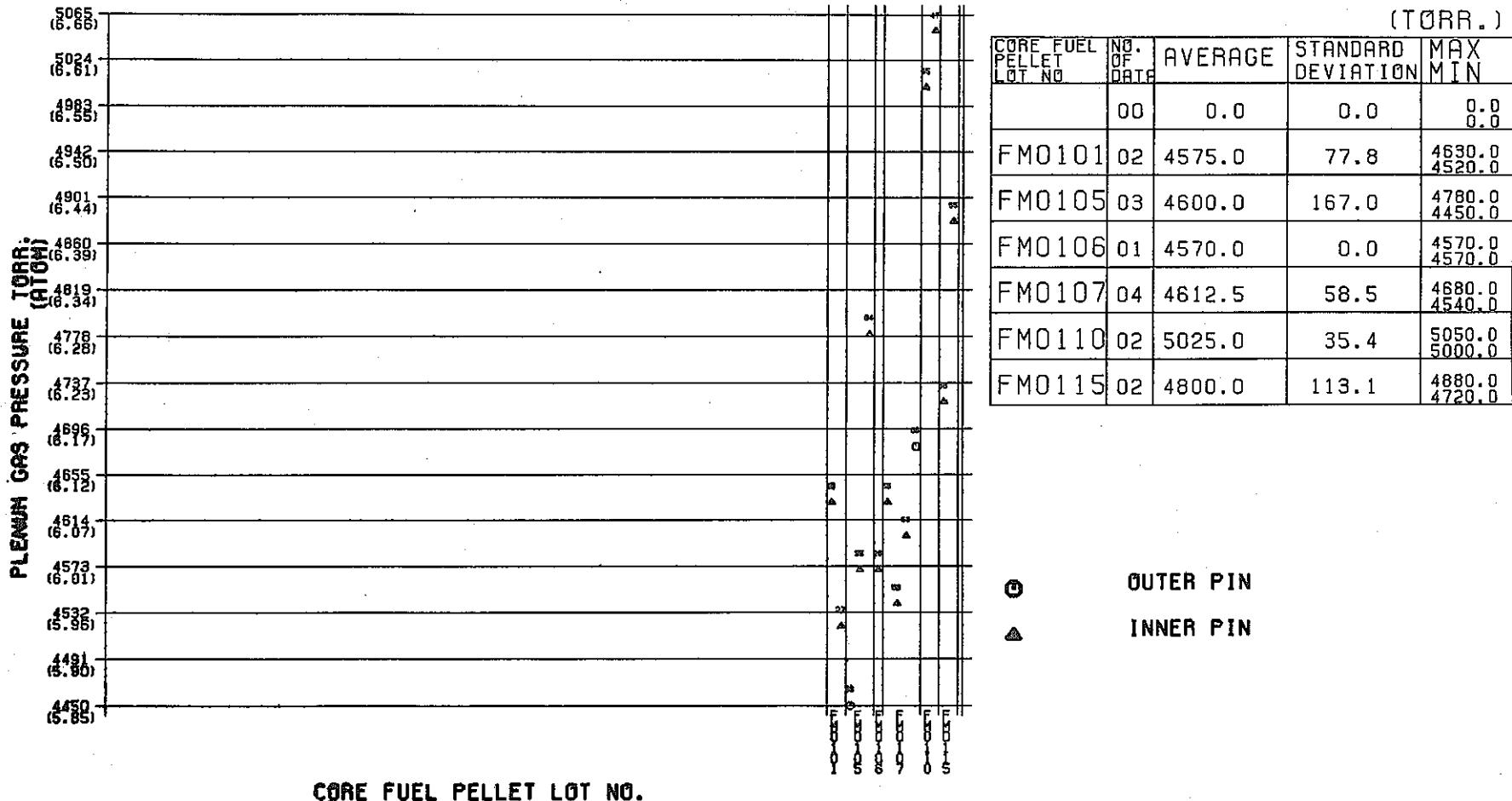


Fig. 32. Gas Pressure in Fuel Pin (Ring No.)

炉心方向 C

炉心位置 1D1



OUTER PIN
INNER PIN

Fig. 33 Gas Pressure in Fuel Pin (Pellet Lot No.)

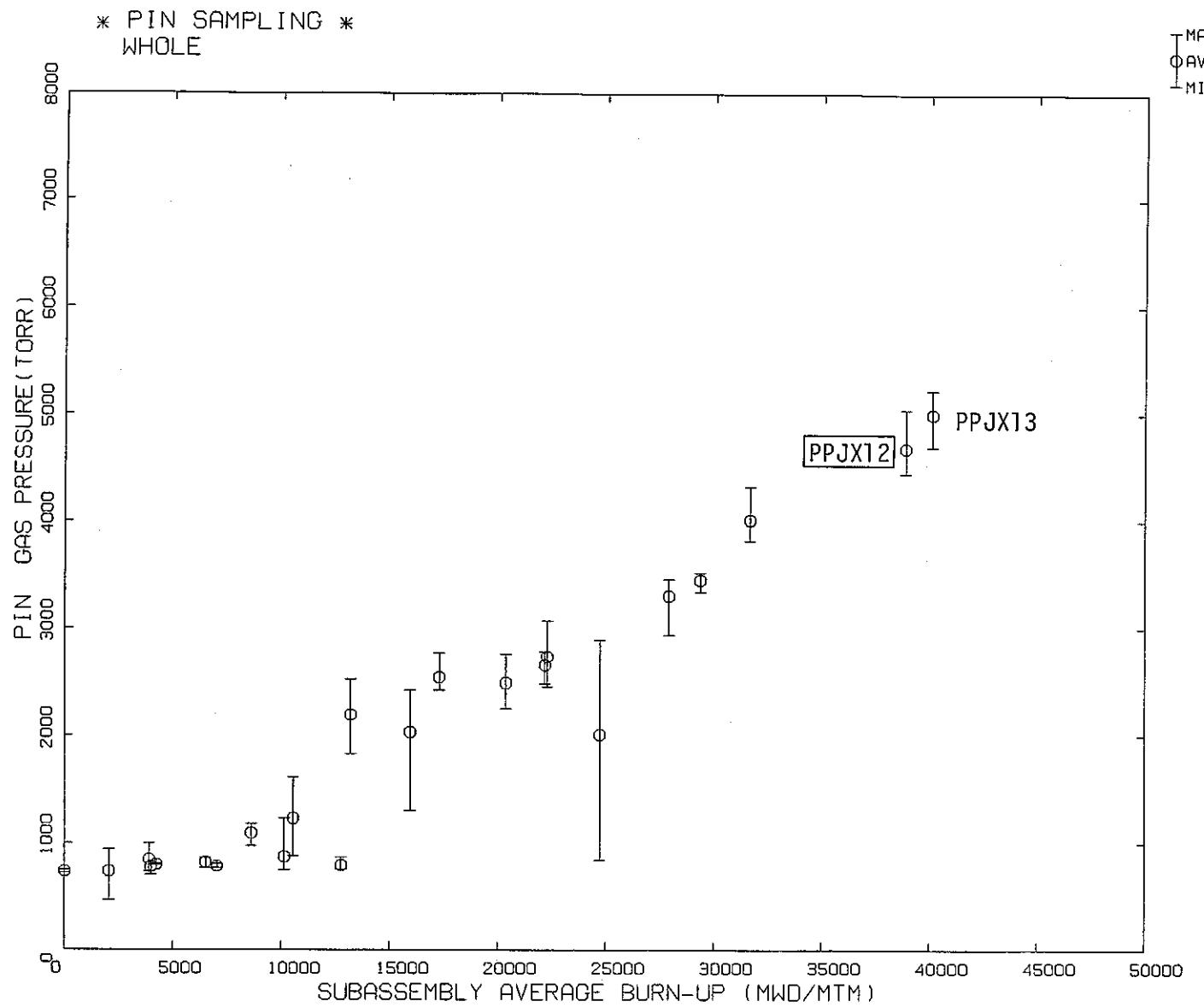


Fig. 34 Dependency of F.P. Gas Pressure of Subassemblies in MK-I

* PIN SAMPLING *
WHOLE

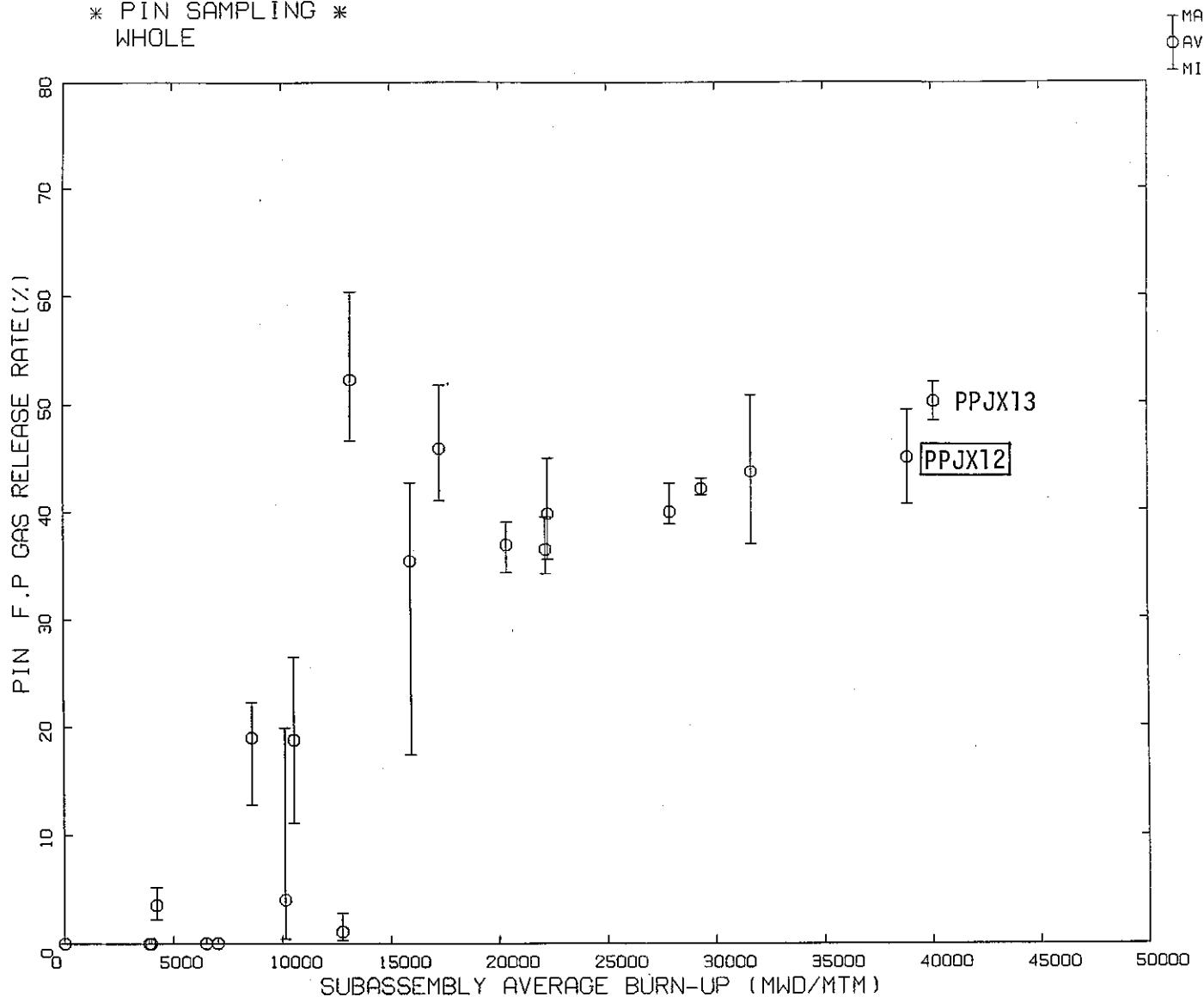
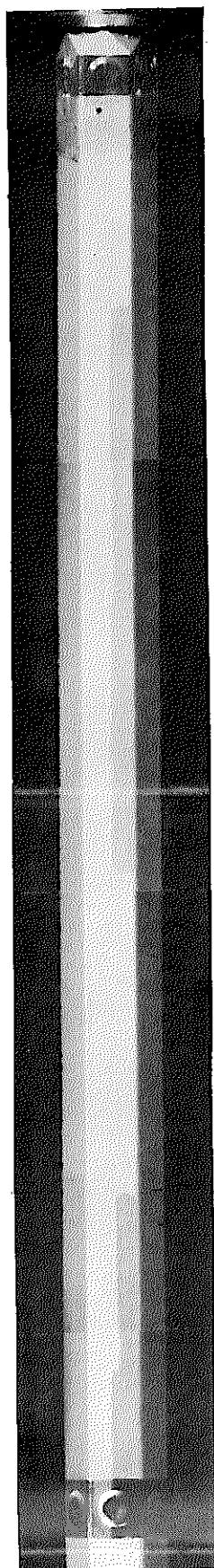
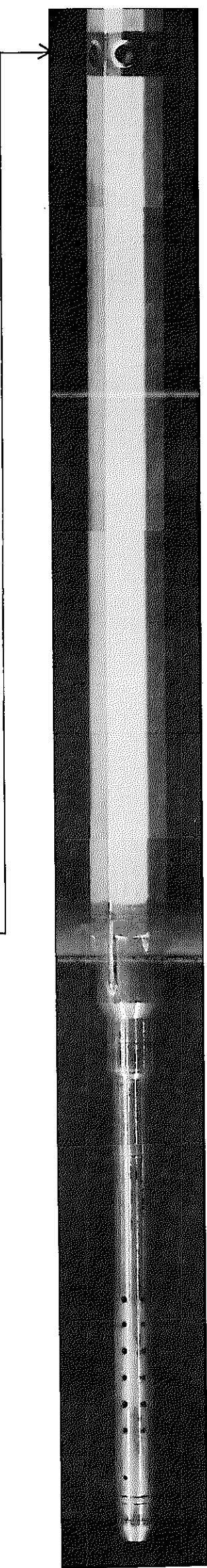


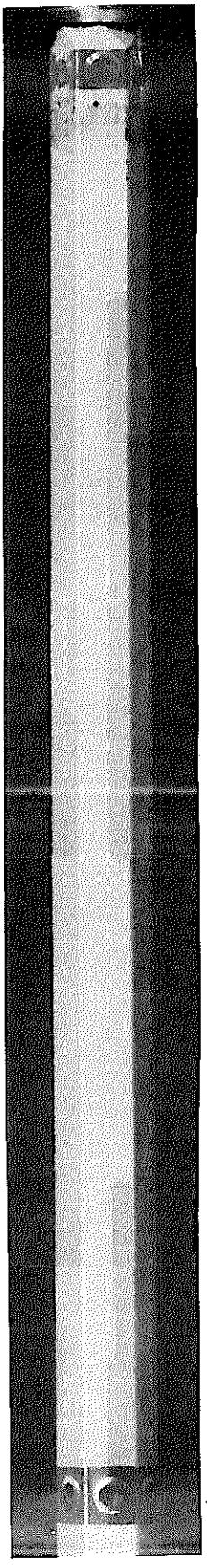
Fig. 35 Dependency of F.P. Gas Release Rate of Subassemblies in MK-I



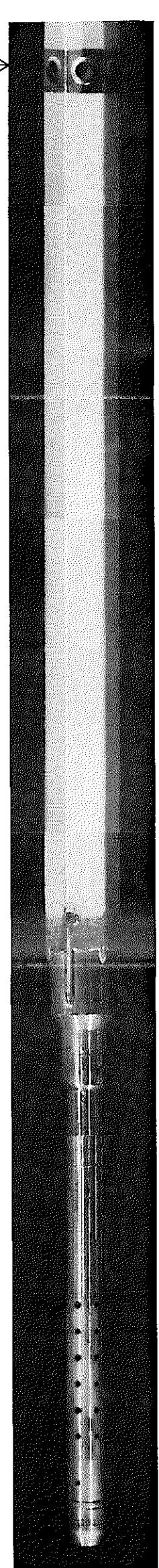
(before)



FACE A



(after)



FACE A

Photo. 1. Inspection of Subassembly Surface before and after Sodium Removal

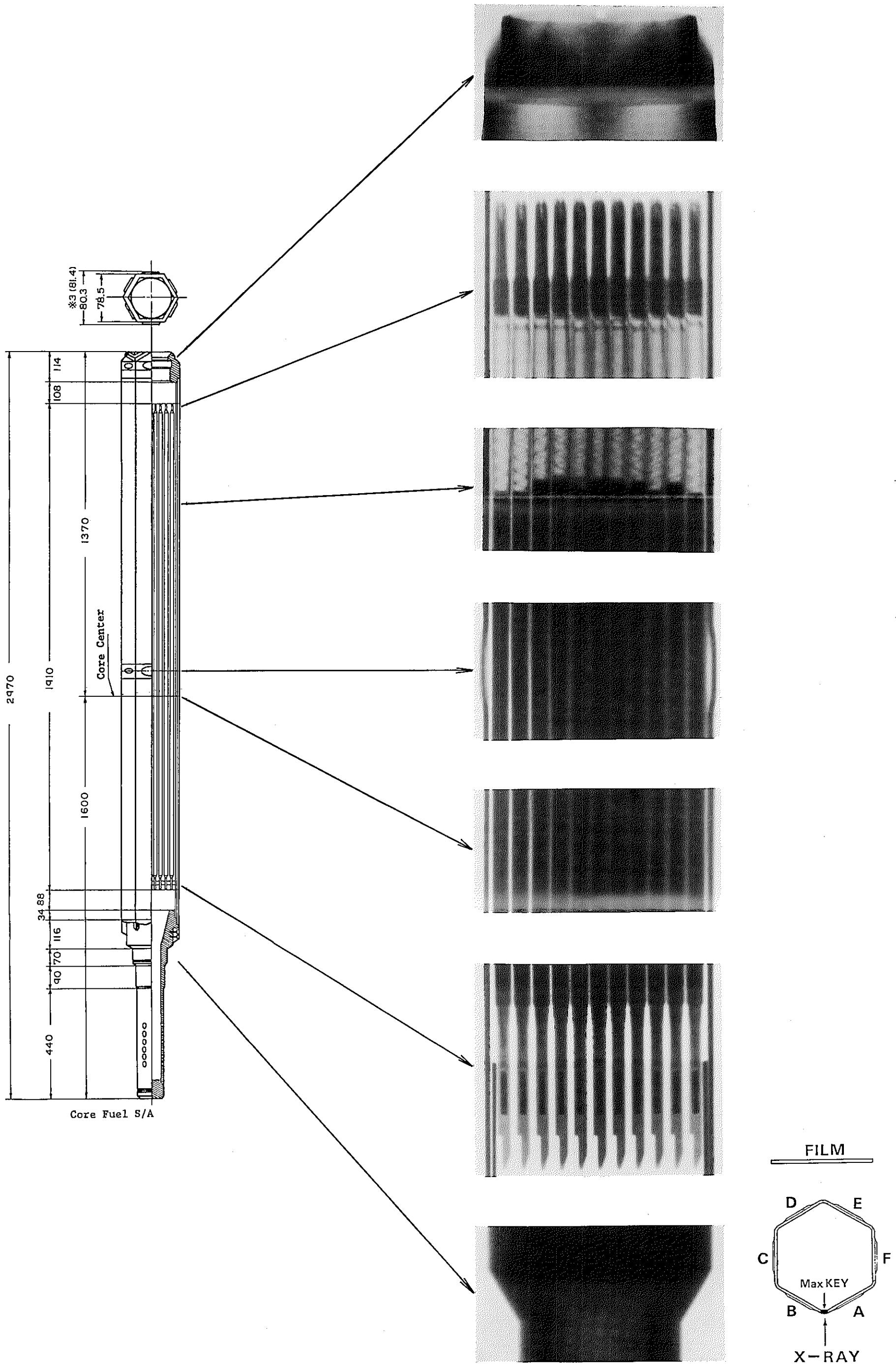
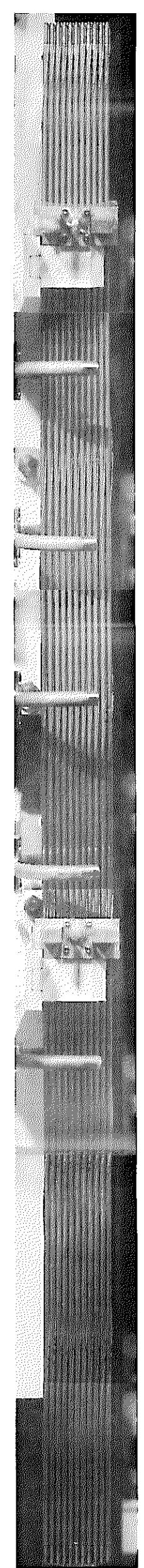
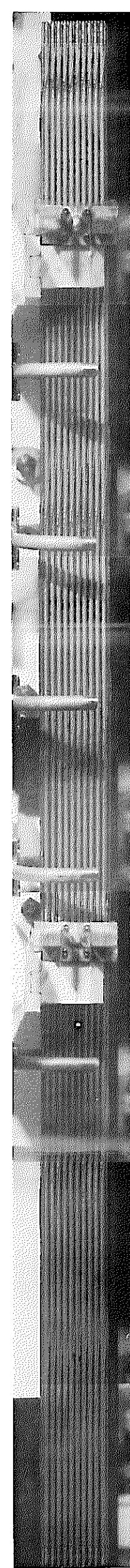
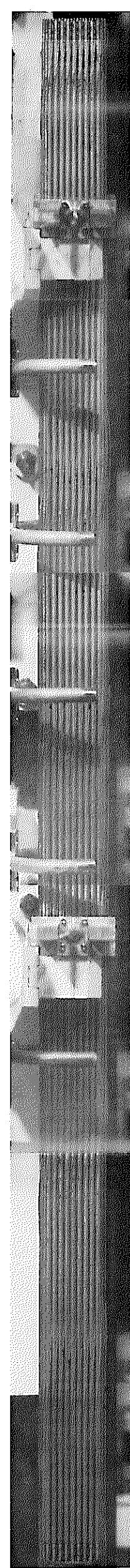
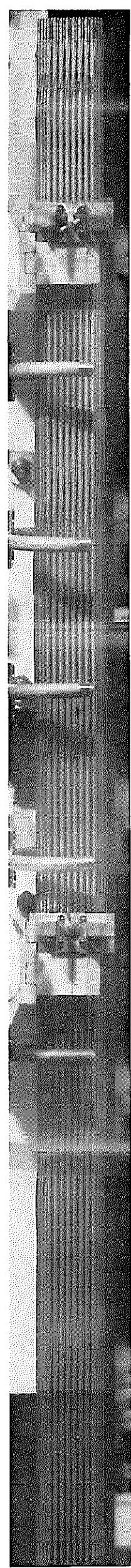
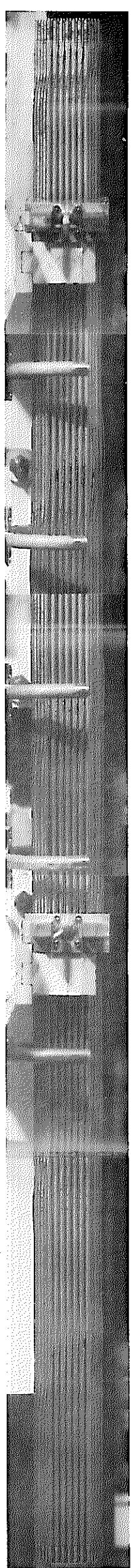
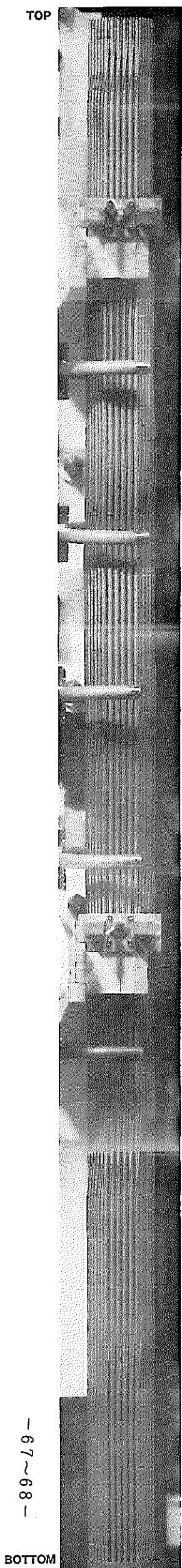


Photo. 2. X-ray Radiography of Subassembly



Row 1

Row 2

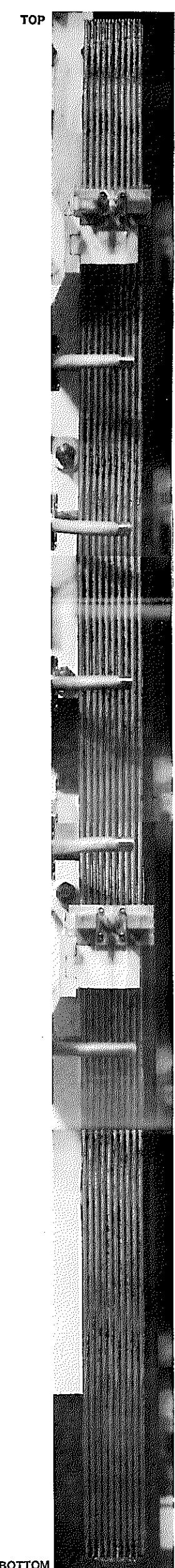
Row 3

Row 4

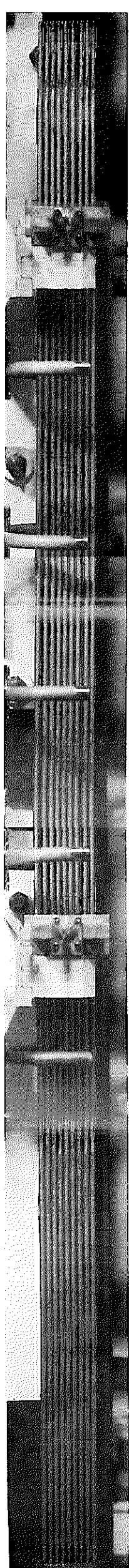
Row 5

Row 6

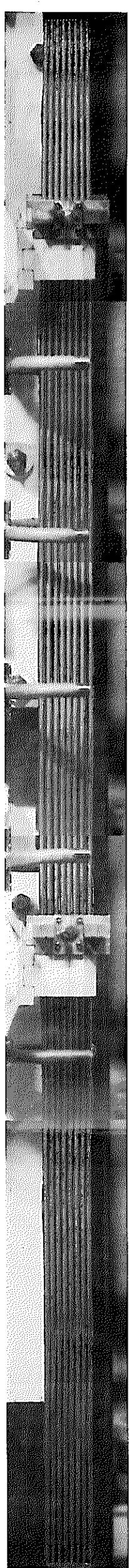
Photo. 3. Visual Inspection of Pins (screening)



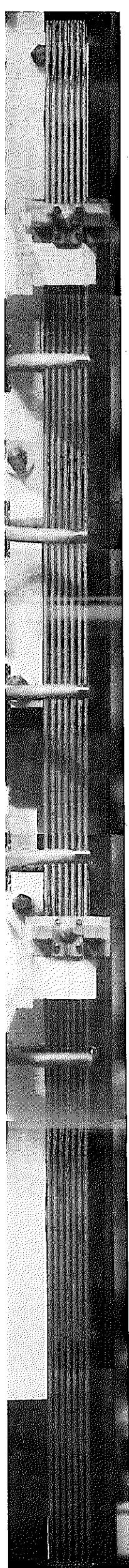
Row 7



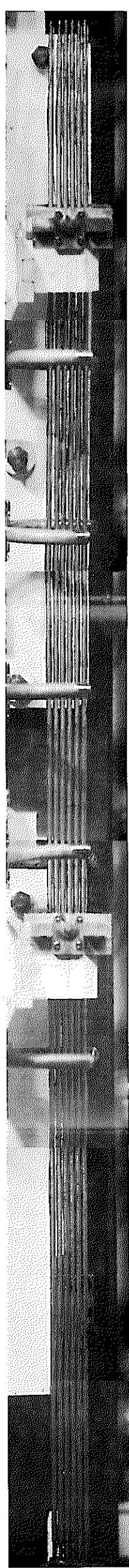
Row 8



Row 9



Row 10



Row 11

Photo. 3. Continued

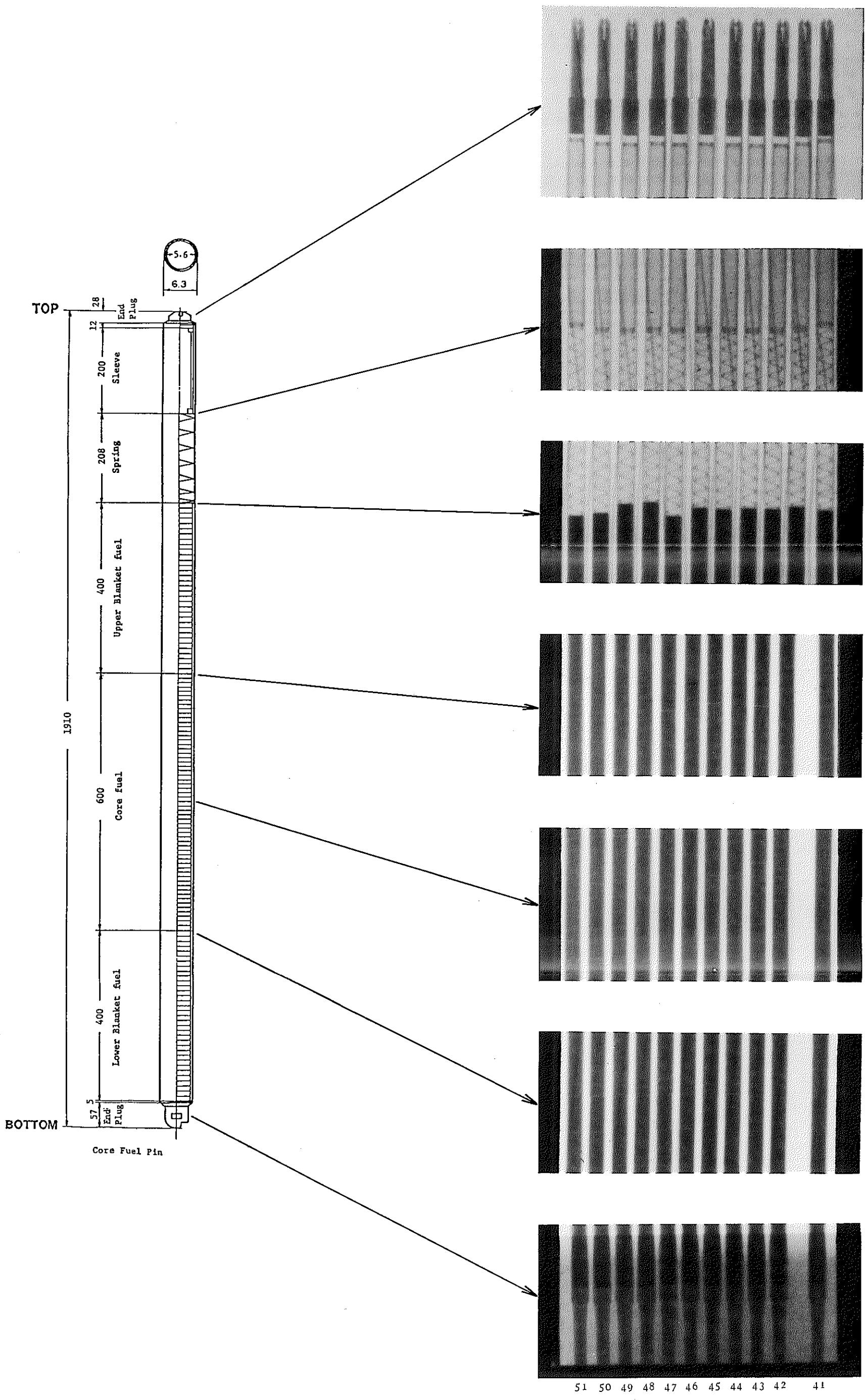


Photo. 4. Pin X-ray Radiography

VISUAL INSPECTION OF BOWING PIN

PIN NO 6778

PNC 1941 84-02

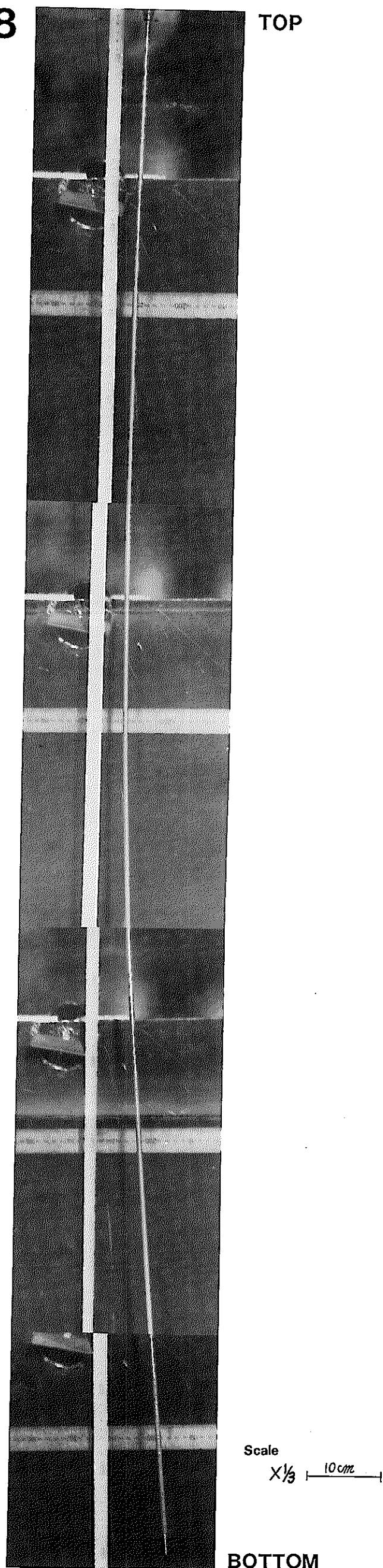


Photo. 5. Photograph of the Bowed Pin (Maximum Bowing)