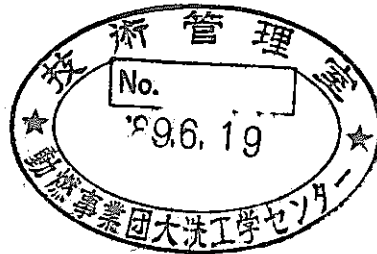


# 「常陽」MK-II制御棒(MCR105)の照射後試験

— 制御棒及び中性子吸収ピンの非破壊試験 —



1989年2月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
	PNC-TN9410 89-177
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

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)

「常陽」MK-II制御棒(MCR105)の照射後試験  
— 制御棒及び中性子吸収ピンの非破壊試験 —

実施責任者： 松島英哉\*<sup>1</sup>  
報告書： 西野入賢治\*<sup>1</sup> 平沢久夫\*<sup>1</sup>  
石川敬二\*<sup>2</sup>

要 旨

制御棒の健全性確認及び使用寿命に資するデータを取得するため、積算中性子量 $8.2 \times 10^{21}$  n/cm<sup>2</sup> (集合体平均) まで照射されたMCR105の照射後試験を実施した。

試験は、集合体及び中性子吸収ピンについて行い以下の結果を得た。

1. 保護管表面に横方向の傷が観察された。それ以外に特異な変化は認められなかった。
2. 防振機構のボールは、全てスムーズに回転した。
3. ダッシュラム部に最大 185  $\mu$ mの外径増加 (変化率 $\Delta D/D=0.46\%$ ) が認められたがダッシュポットとのすき間は十分確保されていることが確認された。
4. 中性子吸収ピンに 297  $\mu$ mの外径増加 (変化率 $\Delta D/D=1.64\%$ ) が認められた。この増加はB<sub>4</sub>Cペレットのリロケーションによるものと考えられる。

---

\*<sup>1</sup> 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)

\*<sup>2</sup> 大洗工学センター 燃料材料開発部照射材料試験室 (MMS)

## 目 次

1. まえがき .....	1
2. 制御棒の仕様及び構造の概略 .....	2
3. 照射条件 .....	3
4. 照射後試験計画 .....	4
4.1 集合体試験及び部材試験 .....	4
4.2 ピン試験 .....	4
5. 試験結果 .....	5
5.1 試料の取扱い .....	5
5.2 集合体試験 .....	5
5.2.1 外観検査 .....	5
5.2.2 X線ラジオグラフィー .....	5
5.2.3 寸法測定 .....	5
5.2.4 ハンドリングヘッド .....	7
5.2.5 保護管γスキャン .....	7
5.3 ピン試験 .....	7
5.3.1 外観検査 .....	7
5.3.2 X線ラジオグラフィー .....	7
5.3.3 寸法測定 .....	7
5.3.4 γスキャン .....	8
6. 試験結果の検討 .....	9
6.1 制御棒の健全性及び取扱性 .....	9
6.2 中性子吸収ピンの照射挙動 .....	10
7. まとめと今後の課題 .....	13
8. 参考文献 .....	14

## List of Tables

Table I	Irradiation Conditon .....	1 5
Table II	Fuel Stack Length Changes .....	1 6

## List of Figures

Fig 1	Schematic View of Control Rod .....	1 7
Fig 2	In Reactor Location of the Contorol Rod (MCR 105) .....	1 8
Fig 3	Selected Pins for the Examinations .....	1 9
Fig 4	Flow Diagram of the PIE on the MK-II Control Rod .....	2 0
Fig 5	Control Rod Outer Diamatar Profile (MCR 105) .....	2 1
Fig 6	Control Rod Bowing Profile (MCR 105) .....	2 2
Fig 7	Diameter Changes of the Dashram .....	2 3
Fig 8	Radial Distribution of Gamma-Ray Intensity ( $^{58}\text{Co}$ 0.810 MEV) .....	2 4
Fig 9	Axial Profile of Pin Diamatar (B203) .....	2 5
Fig 10	Axial Profile of Pin Diamatar (B206) .....	2 6
Fig 11	Axial Profile of Pin Diamatar (B207) .....	2 7
Fig 12	Bowing Vector of Pins .....	2 8
Fig 13	Axial Distribution of Gamma-ray intensity .....	2 9

## List of Photographs

Photo 1	Surface Condition of the Control Rod .....	3 0
Photo 2	Control Rod X-ray Radiography .....	3 1
Photo 3	Inside Condition of Handring Head .....	3 2
Photo 4	Surface Condition of the Absobrer Pin .....	3 3
Photo 5	Surface Condition of the Vent Hole .....	3 2
Photo 6	Pin X-ray Radiography .....	3 4

## 1. まえがき

「常陽」MK-II炉心の高温、高中性子束下で使用される6体の制御棒は、出力調整、緊急停止の機能を持っている。

これまでに初装荷制御棒の照射後試験により、ベント機構の有効性が確認されている。しかしダッシュラム部のふくれ（スエリング）により下部案内管と干渉する可能性が高いこと、及びB<sub>1</sub> Cペレットのふくれによって被覆管との機械的相互作用（ACMI）が生じる恐れがあることなど、長寿命化を目指す上で解決すべき課題が照射後試験によって明らかになった。これらの課題を解決し、信頼性及び経済性に優れた高性能で、かつ長寿命の制御棒開発が要求されている。

今回試験を行った制御棒MCR105は、課題の対策として、次に示す2点の改良を施したMK-II一次取替制御棒の最初のものである。

（1）ダッシュラム部を従来より150 $\mu$ m細くし、下部案内管ダッシュポットとのクリアランスを初装荷制御棒に比べ2倍とした。

（2）B<sub>1</sub> Cペレットの外径を16.10mmとし従来と比較して200 $\mu$ m細くした。特に全長26個のペレットのうち下から6個目から9個目にかけては、外径を初装荷制御棒のB<sub>1</sub> Cペレットより250 $\mu$ m細い16.05mmとし、被覆管とのクリアランスを従来の200 $\mu$ mから450 $\mu$ mとした。

照射後試験は、この改良部について長寿命化対策としての構造変更等を行った設計の妥当性及び使用中の健全性を評価することを目的に実施した。

## 2. 制御棒の仕様及び構造の概略

制御棒は、中性子吸収ピン7本を円管構造の保護管に収納し、上部に接続管、上部ディフューザ及びハンドリングヘッドを溶接、下部に下部ディフューザ部及びダッシュラム部からなる下部構造物を下部グリッド板に溶接したものである。中性子吸収ピンの構造は、 $^{10}\text{B}$ を90wt%に濃縮した $\text{B}_4\text{C}$ ペレットをSUS316相当ステンレス鋼被覆管内に装荷したものである。ピン上部には発生した $\text{He}$ ガスを要素外に放出するためのダイビングベル型のベント機構を有している。

制御棒の構造をFig 1に示す。

### 3. 照射条件

本制御棒は、100MW第7サイクルから100MW第12<sup>”</sup>サイクルまで照射された。装荷位置は、3 E 3 (12<sup>”</sup>サイクルのみ3 A 3) で積算中性子照射量は、集合体平均 $8.20 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$  ( $E \geq 0.1 \text{ MeV}$ ) である。

各サイクル毎の照射条件<sup>(1)</sup> をTable Iに、定格第12<sup>”</sup>サイクル時の炉心構成をFig 2に示す。



## 4. 照射後試験計画

本制御棒MCR105の照射後試験計画は以下のとおりである。

### 4.1 集合体試験及び部材試験

- 1) 外観検査……………保護管表面及びダッシュラム部表面の傷の有無。
- 2) X線ラジオグラフィー ……異物の混入有無及びバンドルのみだれ有無。
- 3) 寸法測定 ……保護管のスエリングによる外径増加量。
- 4) ダッシュラム部の外径測定……………スエリングによる外径増加量。
- 5) ハンドリングヘッド内面観察……………集合体取扱い時の傷の有無。
- 6) 保護管 $\gamma$ スキャン……………最大 $\gamma$ 線強度方向算出による炉心方向の推定。

### 4.2 ピン試験

- 1) 外観検査……………ピン表面の傷、変色、付着物の有無。
- 2) X線ラジオグラフィー……………スタック長変化及び異物混入の有無。
- 3) 寸法測定……………スエリングによる形状変化の有無。
- 4)  $\gamma$ スキャン……………軸方向 $\gamma$ 線計数率測定による燃焼分布の推定。

Fig 3 に本制御棒MCR105の実施試験内容を示す。

## 5. 試験結果

### 5.1 試料の取扱い

本制御棒は、「常陽」サイトでナトリウム洗浄した後、照射燃料集合体試験施設（FMF）に搬入された。

集合体試験は、外観検査、寸法測定及びX線ラジオグラフィーを行った。またダッシュラム部外径測定は、ダッシュラム部を切断後レーザー寸法測定装置により行った。

解体は、部材切断機により横置き状態で実施した。ピンの引抜きは、ピン下部端栓中心に相当する位置（ダッシュラム下端から約 534mm上方の位置）を切断することで、容易に行えた。

ピン試験は、X線ラジオグラフィー、寸法測定、 $\gamma$ スキャン等を行った。試験の終了したピンは、切断し一部はMMSへ搬出し断面金相観察を行い、残りは破棄した。

照射後試験フローをFig 4に示す。

### 5.2 集合体試験

#### 5.2.1 外観検査

外観写真をphoto 1に示す。

下端から約1450mmと約1640mm間の保護管表面に周方向の連続的なすり傷が観られた。また、同じく下端から2090mm、周方向 120° 位置に小さな縦傷が観られた。

この他には、傷、変色は観られなかった。防振機構部のガイドボールは、MSマニプレータで全てスムーズに回転することを観察した。

#### 5.2.2 X線ラジオグラフィー

X線のラジオグラフをphoto 2に示す。

集合体名刻印位置（0° 方向）の全長にわたってX線ラジオグラフィーを行った。ラジオグラフからは、集合体内部への異物混入及びバンドルのみだれは観られなかった。

#### 5.2.3 寸法測定

##### 1) 全長

全長測定は、0°、90°、180°、270°の4方向から測定した。これらの値を平均して全長を求めた結果2249.9mmであった。照射前の値2249.5mmとの差は0.4mmで有意な差（±1.0mm）は認められなかった。

##### 2) 外径

保護管部を0° - 180°及び90° - 270°の2方向から測定した。その結果、最大

64.98mmであり、製造時の値との差は約0.02mmで有意差（± 0.1mm）以内であった。

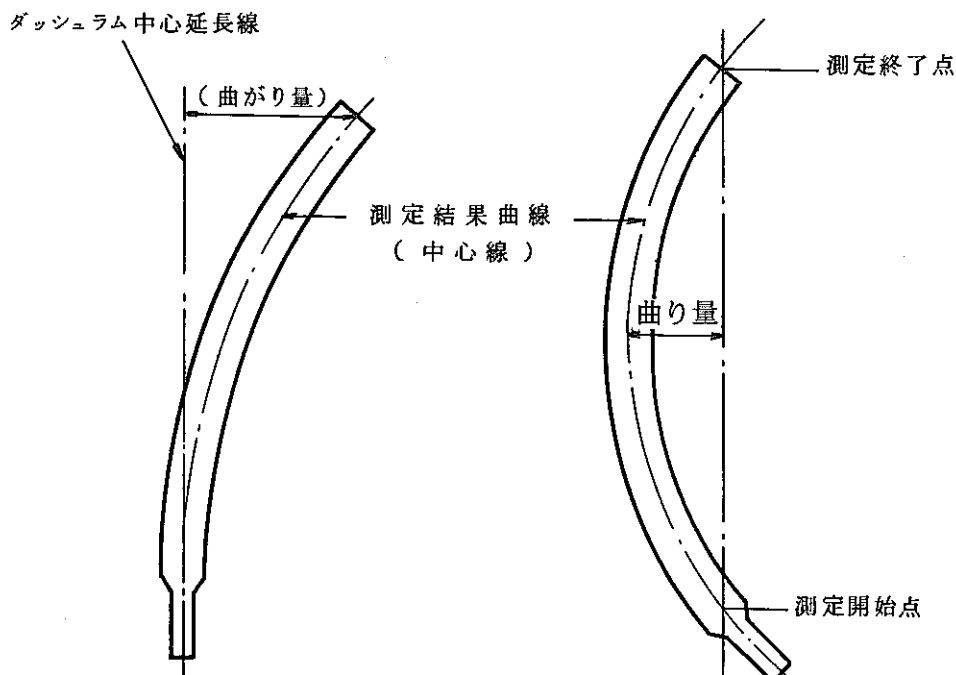
測定結果をFig 5 に示す。

### 3) 曲り

曲り量の測定は、集合体寸法測定装置の下部チャックにダッシュラム部を挿入し、センサを保護管に接触させ軸方向に下から上へ移動させて変位量を求め、保護管の真の中心線とダッシュラム中心の延長線とのずれを曲り量として求めた。（下図左参照）

照射前の測定は、定盤上に集合体を横置きにし保護管表面にダイヤルゲージ（測定精度± 0.1mm）を接触させ、高さを測定したもので、照射後の測定で得た曲り量を直接照射前の値と比較することができないため、下図右に示すように照射後の測定開始点と終了点を直線で結び測定して得られた中心線との距離を曲り量とし照射前データと比較した。

その結果、Fig 6 に示すように照射後の値は、最大 1.6mm、照射前の値は最大 1.8mmで有意差の判定基準（± 0.3mm）以内であった。



曲り測定法

### 4) ダッシュラム部の外径測定

測定は、チャックの把持力（最大 5 kg f）以下で、かつ把持可能な径（44mm φ以下）とするため、制御棒本体からダッシュラム部を切離した後レーザ寸法測定装置で行った。

測定の結果、ダッシュラム部下端から 240mm位置に最大外径変化が観られた。その

量は 0.279mm (外径変化率 $\Delta D/D=0.69\%$ )であった。また、ダッシュラム部と下部案内管のダッシュポット部が干渉する位置(ダッシュラム下端から 162mm)の最大外径変化量は、0.185mm (外径変化率 $\Delta D/D=0.46\%$ )であった。

測定結果をFig 7に示す。

#### 5.2.4 ハンドリングヘッド内面観察

内面写真をphoto 3に示す。

ハンドリングヘッド内面には、特異と思われる変色、変形等は観られなかった。

#### 5.2.5 保護管 $\gamma$ スキャン

制御棒の炉内装荷時の最大中性子照射方向を求めるため制御棒下端から約 600mm付近の保護管を切り出し、円周方向の $\gamma$ 線計数率を測定した。主要放射化核種である $^{58}\text{Co}$ の結果をFig 8に示す。最大 $\gamma$ 線強度方向は、約 $224^\circ$ であった。

### 5.3 ピン試験

#### 5.3.1 外観検査

B201ピンの外観写真をphoto 4に示す。

全ピンの表面には、集合体解体ピン引抜き時に隣接ピンあるいは保護管との接触によって生じたと思われる縦方向のすり傷が観察された。それ以外には特異な傷、変色は観られなかった。

又、photo 5に示すようにB206ピンのベント孔付近にナトリウム化合物と思われる白色付着物が観られた。

#### 5.3.2 X線ラジオグラフィ

X線ラジオグラフをPhoto 6に示す。

1mm以上のペレット間ギャップは観られなかった。スタック長は、照射前に比べ全てのピンで増加しており、平均で4.8mm、最大で5.7mmの伸び量であった。

Table IIにスタック長の変化量を示す。

ベント機構部には、MCR005に観られたようなナトリウム化合物と思われるような影は観られず、ベント管にも曲り、変形は観察されなかった。

#### 5.3.3 寸法測定

ピン3本(B203ピン、B206ピン、B207ピン)について、全長、外径、曲りを測定した。

1) 全 長

照射前後の全長変化量は、B 2 0 3 ピンが - 0.2mm、B 2 0 6 ピンが ± 0 mm、B 2 0 7 ピンが + 0.2mmであったが、いずれも有意差判定基準 ± 1.0mm以内であった。

2) 外 径

測定した3本のピンとも、ピン下端から 300mmの範囲にわたり外径変化が著しく、またオーバリティが観られた。照射前後の外径比較ではB 2 0 7 ピンが最大で、その外径増加量は、297 μm (外径変化率  $\Delta D / D = 1.64\%$ ) であった。

測定結果をFig 9 からFig 11に示す。

3) 曲 り

曲り量は、B 2 0 3 ピンが 0.5mm、B 2 0 6 ピンが 0.8mm、B 2 0 7 ピンが 0.2 mmであった。いずれも製造時検査基準 ( 2.0mm) 以内である。

測定結果をFig 12に示す。

5.3.4 γスキャン

推定炉心方向に近いB 2 0 3 ピンについて、ピン下端より84mmから 844mmまでの軸方向γ線強度を測定した。

Fig 13に示すように、これまで照射後試験に供された中性子吸収ピン同様、被覆管放射化核種である $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{58}\text{Co}$ のγ線計数率は、炉心燃料集合体と異なり、ピン下端部が最大計数率を示す。

## 6. 試験結果の検討

### 6.1 制御棒の健全性及び取扱性

集合体試験の結果、保護管表面に周方向の連続的なスリ傷及び小さな縦傷が観られた。それ以外には、寸法変化及び異物の混入等は観られなかった。保護管表面の傷発生の原因は、炉内装荷中の冷却材による流力振動によって下部案内管と干渉したためと考えられる。傷の大きさは、すり傷程度の小さなもので、防振機構部にも特異な傷、変形等は観られず防振機構のガイドボールも滑らかに回転することから、構造上は正常に働いていたと言える。

しかし、本機構による制御棒の流力振動防止策は保護管表面の傷発生から観ても完成されたものとは言えず、かつ制御棒が振動することで炉内中性子束の「ゆらぎ」発生の原因にもなっている。

原子炉を安全に、運転していくためには、運転中の炉内の中性子束の分布を連続的に精度良く監視する必要があり、この意味からも防振機構部の改造は必要である。

使用寿命の延長を図るための課題の一つであるスクラム時の衝撃緩和機能を有するダッシュラム部については、積算中性子照射量がほぼ同等のMCR005<sup>(2)</sup>において、スエリング式<sup>(3)</sup>からダッシュラムテーパ開始位置（ダッシュラム下端から162mm）では、直径40.403mm、外径増加量で153 $\mu$ mと算出された。この結果下部案内管ダッシュポット（内径40.4 $\pm$ 0.025）とのクリアランスはないと推定された。

今回のMCR105では、同位置の最大外径増加量が185 $\mu$ mでありMCR005のそれを上回る結果であった。しかし、MCR105を含めた一次取替制御棒は、この外径増加を考慮し、ダッシュラム部外径をあらかじめ初装荷制御棒のダッシュラム部より150 $\mu$ m細径とした。その結果、初装荷制御棒では照射前のダッシュポットとダッシュラム部とのクリアランスは、150 $\mu$ mであったが1次取替からは300 $\mu$ mとなった。

したがって、今回照射後のクリアランスは、照射前のクリアランス300 $\mu$ mからダッシュラム部の外径増加量185 $\mu$ mを差し引いた115 $\mu$ m（照射前の約1/3）と算出できる。

一方、ダッシュラム部の外径増加がスエリングによるものとして、スエリング量の1/3に相当する外径変化率（ $\Delta D/D$ ）から外径増加量を求めその時のダッシュポットとのクリアランスを試算しダッシュラム寸法測定値から得られた値115 $\mu$ mと比較した。計算にあたっては、設計評価用SUS316ST材のスエリング式<sup>(3)</sup>

$$\frac{\Delta V}{V} = R \left\{ \phi t + \frac{1}{\alpha} \ln \left[ \frac{1 + \exp [\alpha (\tau - \phi t)]}{1 + \exp (\alpha \tau)} \right] \right\}$$

$$R = [0.9 \exp (-[\beta + 0.25]^2 / 0.7) + \exp(A)]$$

$$A = -1.917 + 11.27\beta - 12.89\beta^2 + 6.539\beta^3 - 1.8\beta^4$$

$$\gamma = 4.149 + 2.1826\beta \pm 1.6626$$

$$\alpha = 0.75$$

$$\beta = (T - 500) / 100$$

ここで

$$\frac{\Delta V}{V} : \text{スエリング (Vol. \%)}$$

$$\phi t : \text{中性子照射量 (} 10^{22} \text{ n/cm}^2 \text{, } E > 0.1 \text{ MeV)}$$

$$T : \text{温度 (}^\circ\text{C)}$$

$$R : \text{定常スエリング速度 (\%/} 10^{22} \text{ n/cm}^2 \text{)}$$

$$\tau : \text{潜伏期間 (} 10^{22} \text{ n/cm}^2 \text{)}$$

を用いた。その結果ダッシュラム部の外径増加量は約 197  $\mu\text{m}$ 、ダッシュポットとのクリアランスは約 103  $\mu\text{m}$ と算出され測定値から得た値(115  $\mu\text{m}$ )と良く一致した。

測定結果と計算結果からダッシュラムとダッシュポットとのクリアランスは少なくとも 100  $\mu\text{m}$ 以上確保されていたと言える。現時点では、このクリアランスは、初装荷制御棒の寿命 100MW定格 3 サイクル (70日運転) を 2 倍の 6 サイクル予測積算中性子照射量約  $8.0 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$  ( $E \geq 0.1 \text{ MeV}$ ) まで使用を延長することが可能な量であると評価できるが、長寿命化に向けての設計変更の妥当性を今後段階的に確認して行くことが必要である。

## 6.2 中性子吸収ピンの照射挙動

吸収ピンの外径測定結果から、B、Cペレット下端付近に位置する被覆管に外径増加及びオーバリティが認められた。外径増加量はインシュレータペレット部よりB、Cペレット下部の方が著しい。これは、B、Cペレットが中性子を吸収することによって生じる<sup>4</sup>Heの一部がペレット内に保持され、インシュレータペレット以上に膨張(ガススエリング)し、その結果被覆管との機械的相互作用(ACMI)がB、Cペレット部で発生し

たものと考えられた。

そこで、これを確認するため B<sub>4</sub> Cペレットの外径変化量を設計評価用スエリング式

$$\Delta D/D (\%) = 0.45 \times 10^{-3} B$$

$$B : \text{燃焼度} (\times 10^{20} \text{ cap/cm}^2)$$

を用いて算出した結果 B<sub>4</sub> Cペレットの外径増加量は、照射前の被覆管とのギャップで十分吸収できる範囲内の約 450 μm であり、被覆管に大きな応力を与える状態ではないといえる。

更に、被覆管との外径変化量を SUS 316・20% CW材の設計参考評価用スエリング式<sup>(4)</sup>

$$\frac{\Delta V}{V} (\%) = R \cdot \left\{ \phi_0 + \frac{1}{\alpha} \ell n \left[ \frac{1 + \exp(\alpha(\tau - \phi_0))}{1 + \exp(\alpha\tau)} \right] \right\}$$

$$\alpha = 0.75$$

$$\tau = 14.0$$

$$R = \exp(0.0419 + 1.498 \cdot \beta + 0.122 \cdot \beta^2 - 0.332 \cdot \beta^3 - 0.441 \cdot \beta^4)$$

$$\beta = (T - 500) / 100$$

$$\phi_0 = \text{中性子照射量} (10^{22} \text{ n/cm}^2, E > 0.1 \text{ MeV})$$

$$(350^\circ\text{C} \leq T \leq 700^\circ\text{C})$$

$$T = \text{温度} (^\circ\text{C})$$

$$\tau = \text{潜伏期間} (10^{22} \text{ n/cm}^2)$$

を用いて評価するとスエリング量は約 0.20%、外径変化量に換算すると約 10 μm であることが解かる。

しかし、被覆管外径測定結果は最大 297 μm の増加が認められている。

このことは、中性子吸収ピンの外径増加の主原因は、B<sub>4</sub> Cペレット及び被覆管のスエリングではなく、B<sub>4</sub> Cペレットのリロケーション（再配列）による ACMI であると推



測できる。

したがって、初装荷からの改造の1つであるACMI対策として採用された細径ペレット充填効果は、スエリングによる外径増加分を吸収できた点では評価できるが、リロケーションによるACMIの効果について今後新たに検討する必要があるということが解かった。

## 7. まとめと今後の課題

一次取替用制御棒の照射後試験は、今回が最初であり、炉心構成要素としての健全性確認特に形状変更箇所の設計の妥当性確認を目的に行ったものである。

本試験において以下の結果が得られ、炉内装荷時の健全性及びダッシュラム部の設計変更の妥当性が確認された。

- 1) 保護管表面に横方向の傷が観察されたが、それ以外には特異な変化は認められなかった。
- 2) 防振機構のボールは、全てスムーズに回転した。
- 3) ダッシュラム部に最大 185  $\mu$ m の外径増加が測定されたが、ダッシュポットとのすき間は十分確保されていた。

しかし、高性能で長寿命の制御棒を開発する上で大きな課題であったB<sub>4</sub> Cペレットと被覆管とのACMIは、本試験においても観察され、設計変更の有効性は確認されなかった。その原因は、吸収材であるB<sub>4</sub> Cペレットのリロケーションによるものと考えられ、今後高性能制御棒を開発して行く上で改善して行く点である。

## 8. 参考文献

- (1) 「常陽」照射サイクル報 (第12' "サイクル)  
PNC SN9360 86-004
- (2) 「常陽」MK-II制御棒 (MCR005) の照射後試験  
PNC I9410 86-017
- (4) 高速原型炉燃料集合体及び炉心構成要素 設計用物性値集  
ZN241-85-23(2)
- (4) 「常陽」MK-IラッピングワイヤのSUS316アニール材スエリング式の改良II  
燃材部テクニカルレポート 83(AES)54

Table I Irradiation Conditon

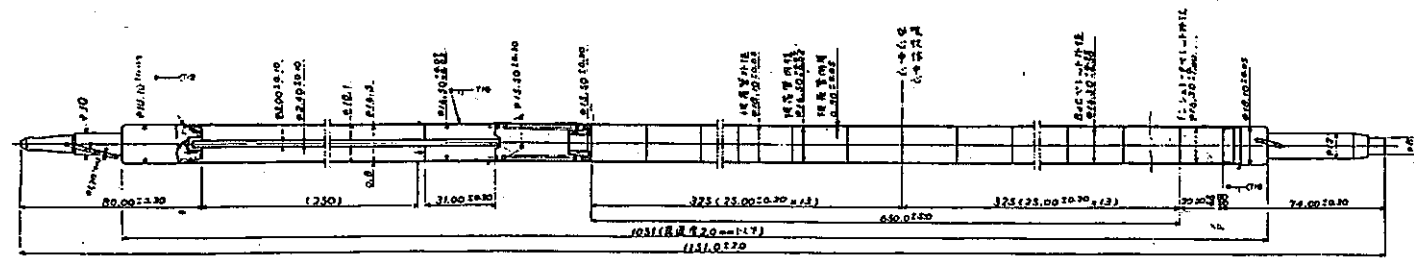
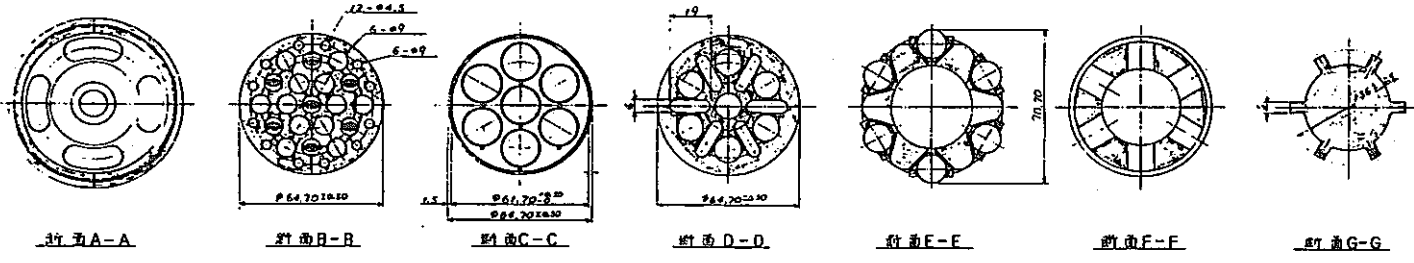
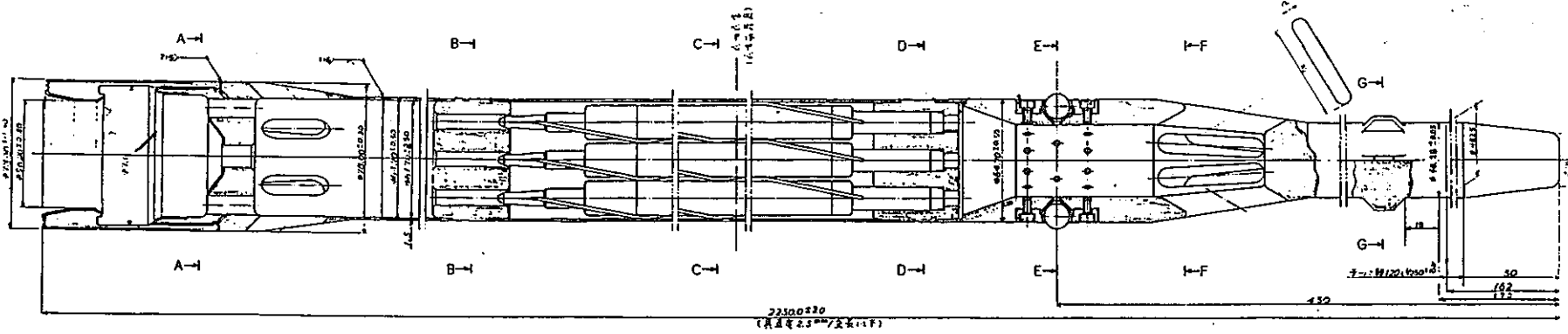
照 射 情 報

制御棒 計画番号 集合体番号 MCR105

サ イ ク ル			7	7&7	8	9	10	11	12	12'	12''	12'''					
装 荷 位 置			3E3								3E3			3A3			
燃 焼 度	ポ イ ン ト 最 大		$\times 10^{20}$ cap/cc	10.8	11.2	21.2	31.3	41.3	52.1	62.9	62.9	62.9	62.9				
	集 合 体 平 均		$\times 10^{20}$ cap/cc	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
積 算 中 性 子 照 射 量	En $\geq$ 0.1 MeV	ポ イ ン ト 最 大	$\times 10^{20}$ n/cm <sup>2</sup>	56.8	58.7	110	158	212	270	329	330	330	331				
		集 合 体 平 均	$\times 10^{20}$ n/cm <sup>2</sup>	14.1	14.5	26.4	37.9	50.7	65.7	81.5	81.6	81.8	82.0				
	Total	ポ イ ン ト 最 大	$\times 10^{20}$ n/cm <sup>2</sup>	74.8	77.6	147	212	284	361	439	440	441	442				
		集 合 体 平 均	$\times 10^{20}$ n/cm <sup>2</sup>	19.4	20.1	37.0	53.1	71.2	91.7	113	114	114	114				
線 出 力	BOC	ポ イ ン ト 最 大	W/cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
		集 合 体 平 均	W/cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
	EOC	ポ イ ン ト 最 大	W/cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
		集 合 体 平 均	W/cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
被 覆 管 最 高 温 度	BOC		°C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
	EOC		°C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
燃 料 最 高 温 度	BOC		°C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
	EOC		°C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
集 合 体 出 口 温 度	BOC		°C	387	384	387	388	388	390	391	386	377	375				
	EOC		°C	384	384	384	384	385	387	388	386	377	375				
ピーキング係数	BOC	軸 方 向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
		軸 方 向	—	4.194	5.222	4.233	4.061	3.683	3.680	3.025	5.982	4.050	4.140				
	EOC	軸 方 向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
		軸 方 向	—	4.697	5.395	5.819	6.164	8.218	5.282	3.519	5.982	3.940	3.563				
冷 却 材 流 量	BOC		kg/sec	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8				
	EOC		kg/sec	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8				
備 考																	

Table II Fuel Stack Length Changes

ピンNo.	スタック長 (mm) $\pm 0.5$ PIE	スタック長 (mm) FAB	スタック伸び量 (mm) PIE-FAB	スタック変化量 (%) PIE-FAB/FAB
B201	658.2	652.5	5.7	0.9
B202	657.5	653.7	3.8	0.6
B203	657.4	653.1	4.3	0.7
B204	658.4	653.5	4.9	0.7
B205	658.6	653.5	5.1	0.8
B206	657.6	652.0	5.6	0.9
B207	657.6	653.4	4.2	0.6



控制棒示意图

Fig 1 Schematic View of Control Rod

炉内照射位置

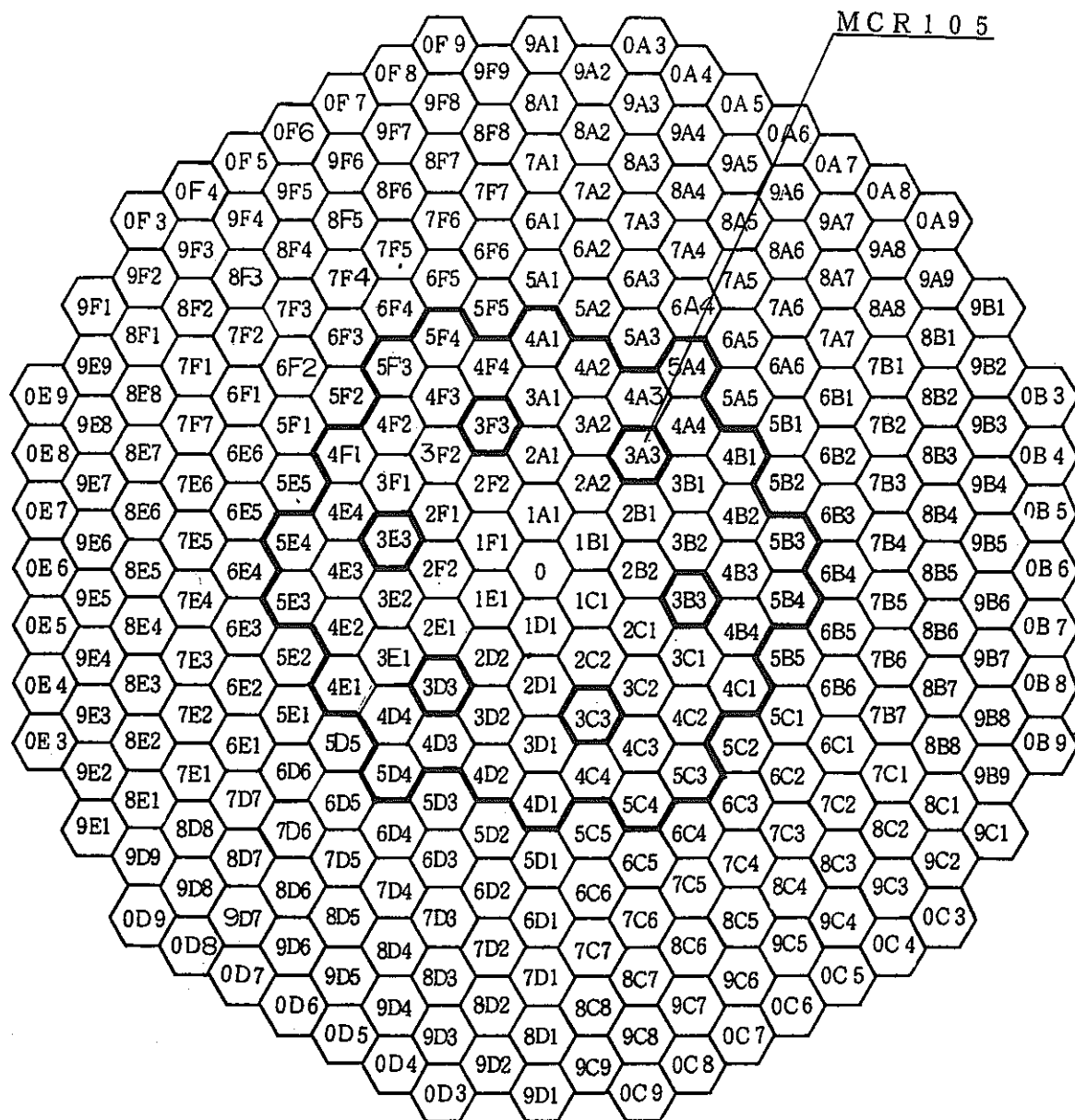


Fig 2 In Reactor Location of the Contorol Rod (MCR 105)

JOYO MK-II 照射後試験計画 (ピン試験)		集 合 体 試 験		集 合 体 部 材 試 験	
制 御 棒 MCR105 (B2) 装荷位置(3E3)		● 1. NA洗淨前・④外観検査 ● 2. NA洗淨 ● 3. 寸法測定 ● 4. X線ラジオグラフィ ● 5. 内側W/T 外観検査 ● 6. 内側W/T 寸法検査		● 1. W/Tガンマスキャン ● 2. W/T詳細外観検査 ● 3. 一撮外観検査 ● 4. ダッシュラム寸法測定	
1. <u>ピン外観検査</u>	5. <u>寸法測定(外径)</u>	9. <u>ガンマスキャン(スキャン +スペクトル)</u>	13. _____		
2. <u>ピンX線ラジオグラフィ</u>	6. <u>寸法測定(曲がり)</u>	10. <u>ピン切断(ADS)</u>	14. _____		
3. <u>重量測定</u>	7. <u>詳細外観検査</u>	11. <u>ピン切断(MMS)</u>	◀ ;推定炉心方向を示す 		
4. <u>ワイヤ切断</u>	8. <u>ガンマスキャン(スキャン)</u>	12. _____	● :試験対象		

Fig 3 Selected Pins for the Examinations



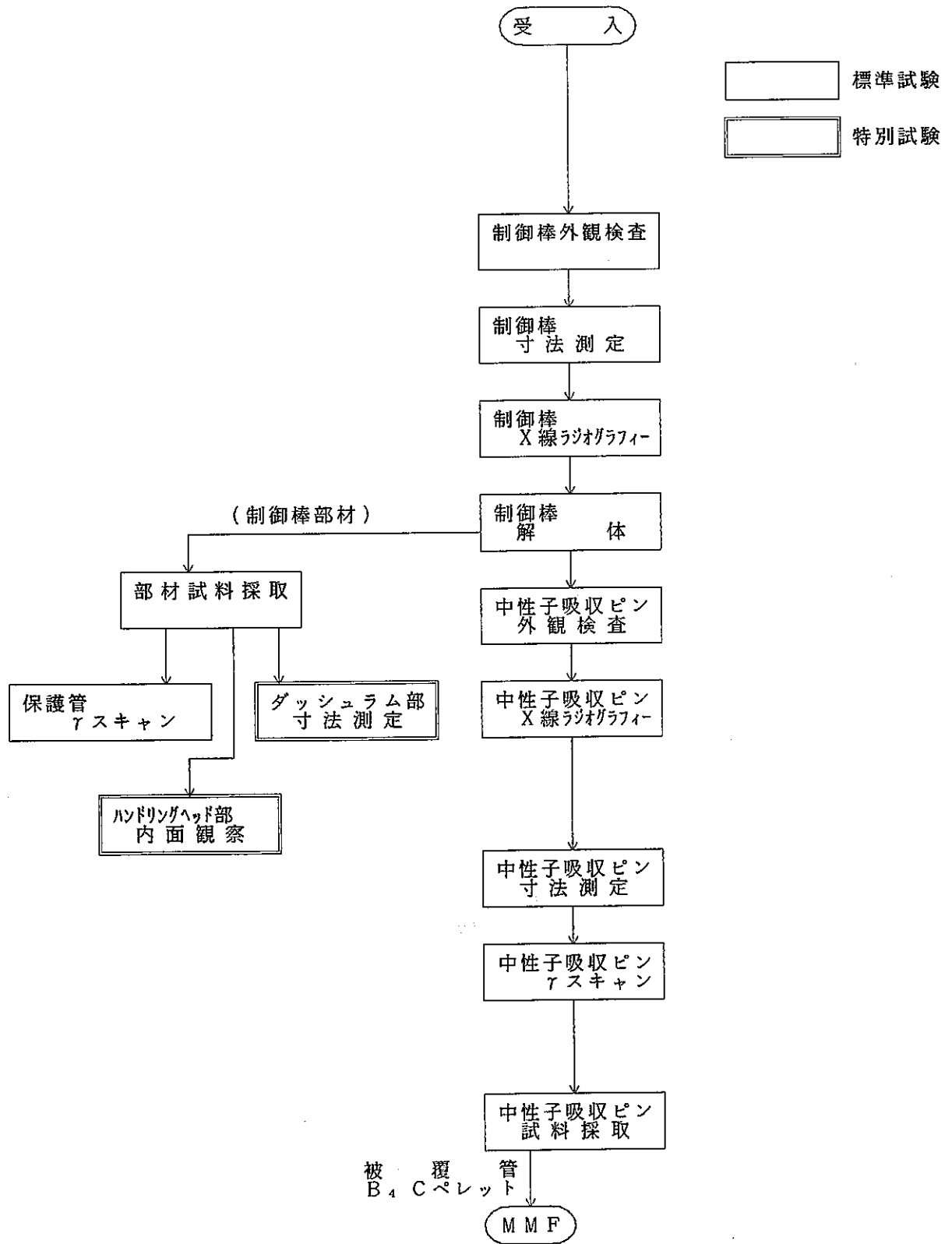


Fig 4 Flow Diagram of the PIE on the MK-II Control Rod

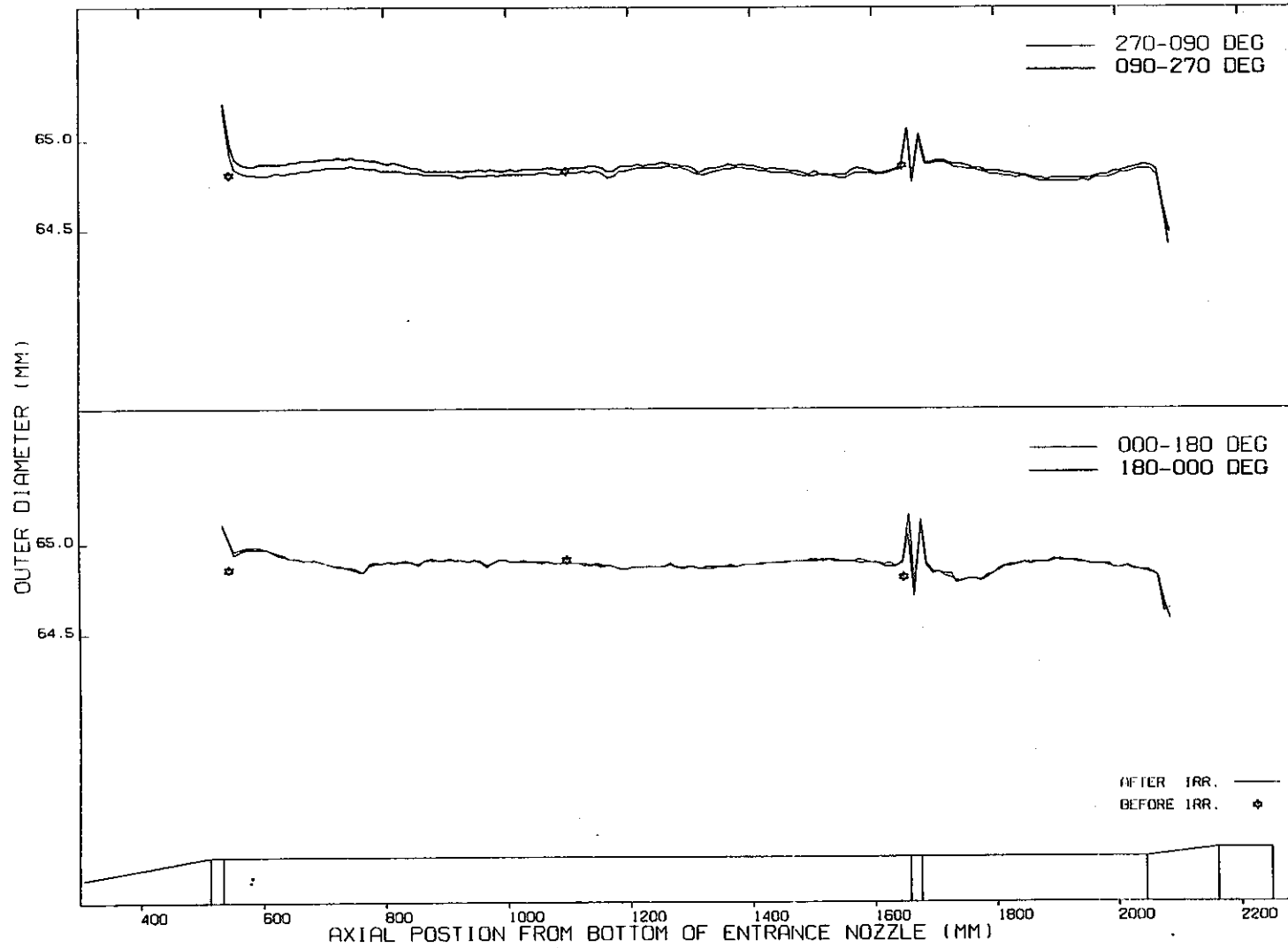


Fig 5 Control Rod Outer Diameter Profile (MCR 105)

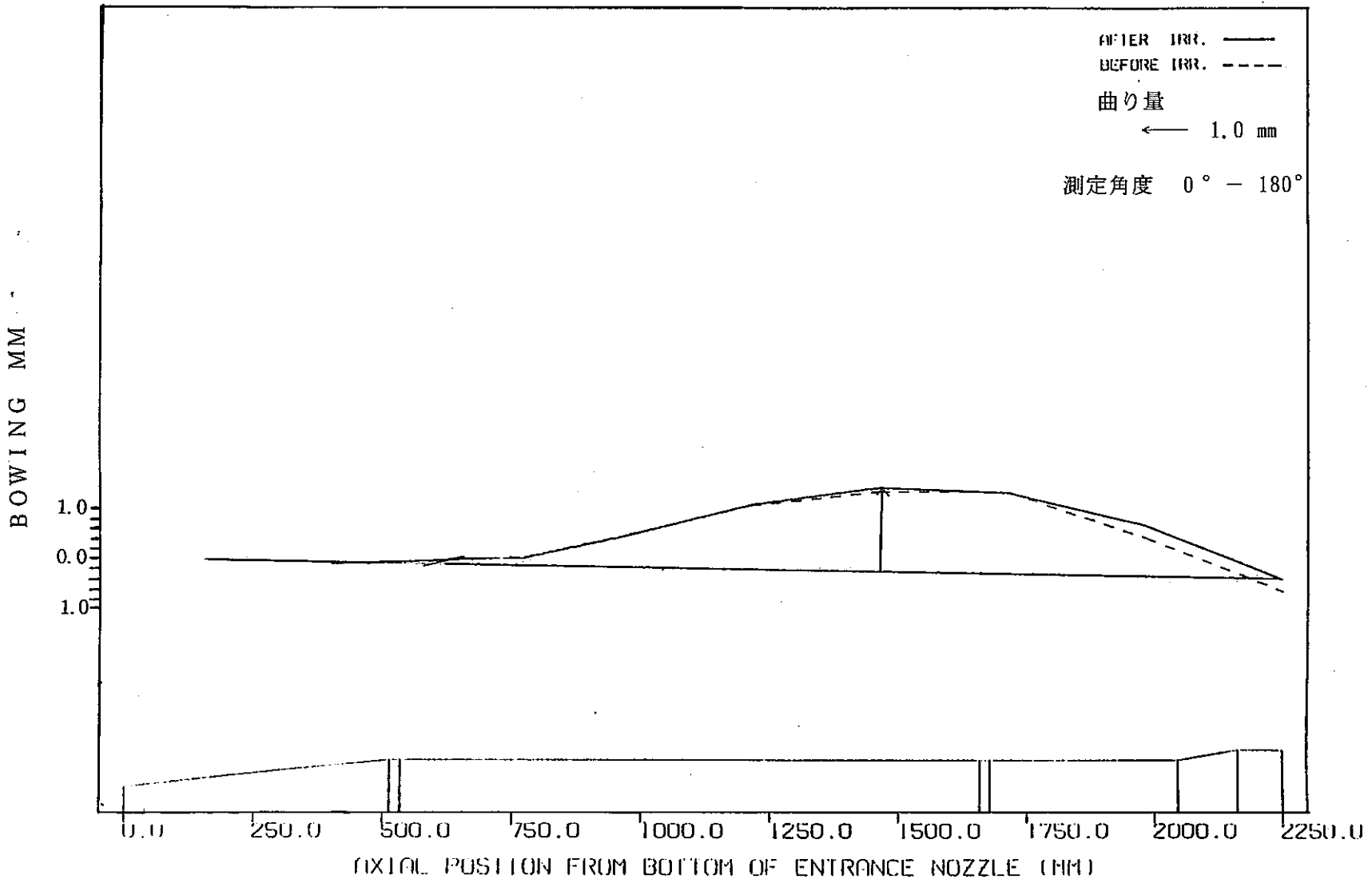


Fig 6 Control Rod Bowing Profile (MCR 105)

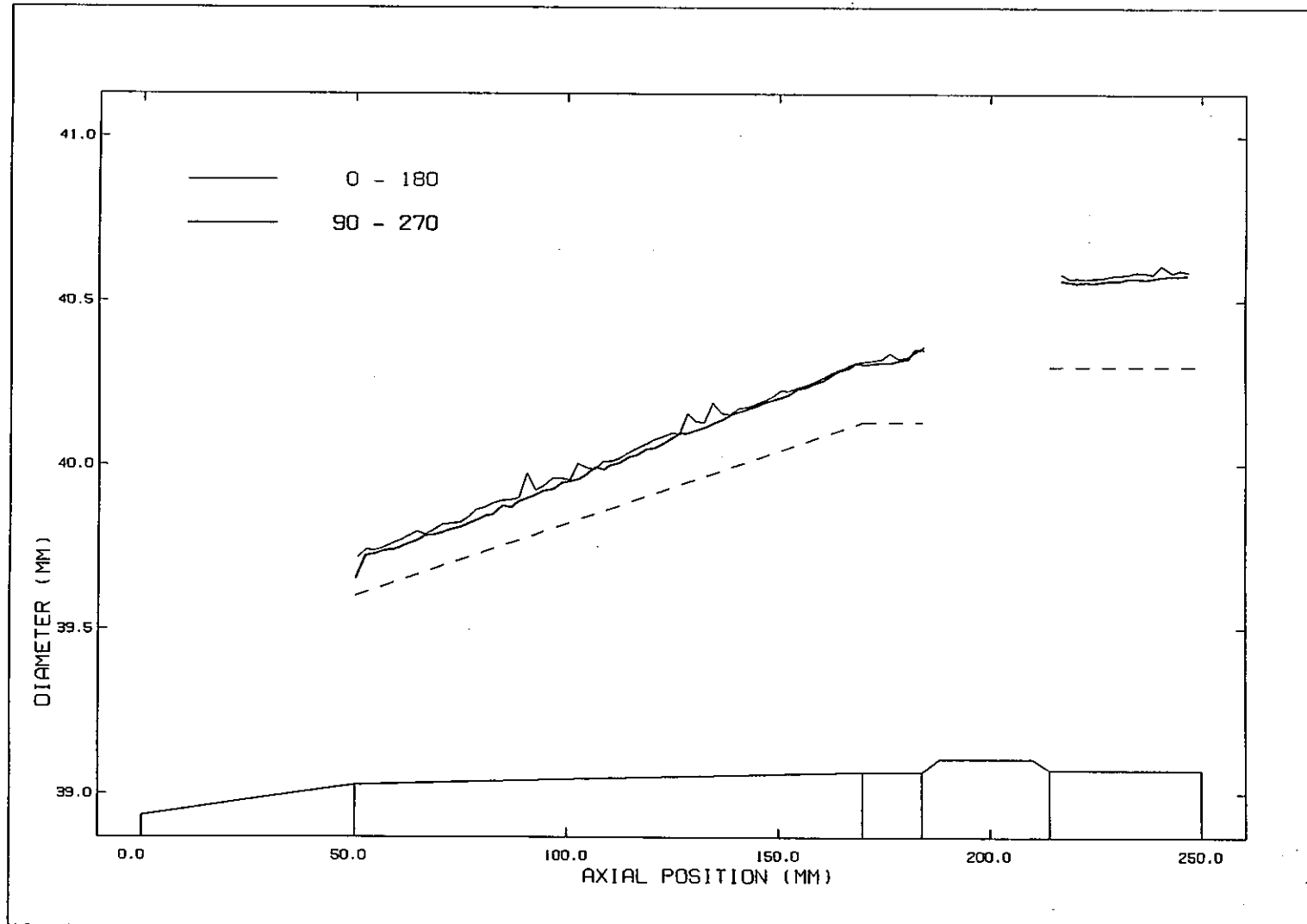


Fig 7 Diameter Changes of the Dashram

S/A NO. (FAB) :	MCR105	ANGLE OF MAX RATE (DEG):	231.08
S/A NO. (PIE) :	B2WT2	MAX COUNT RATE (CPS):	404.19
AXIAL POS. (MM) :	600.00	AVERAGE COUNT RATE(CPS):	380.73
COOLING TM (DAYS):	100	PEAKING FACTOR :	1.061
COLL. WIDTH(MM) :	1.40		
OP NO. :	6320-6320		

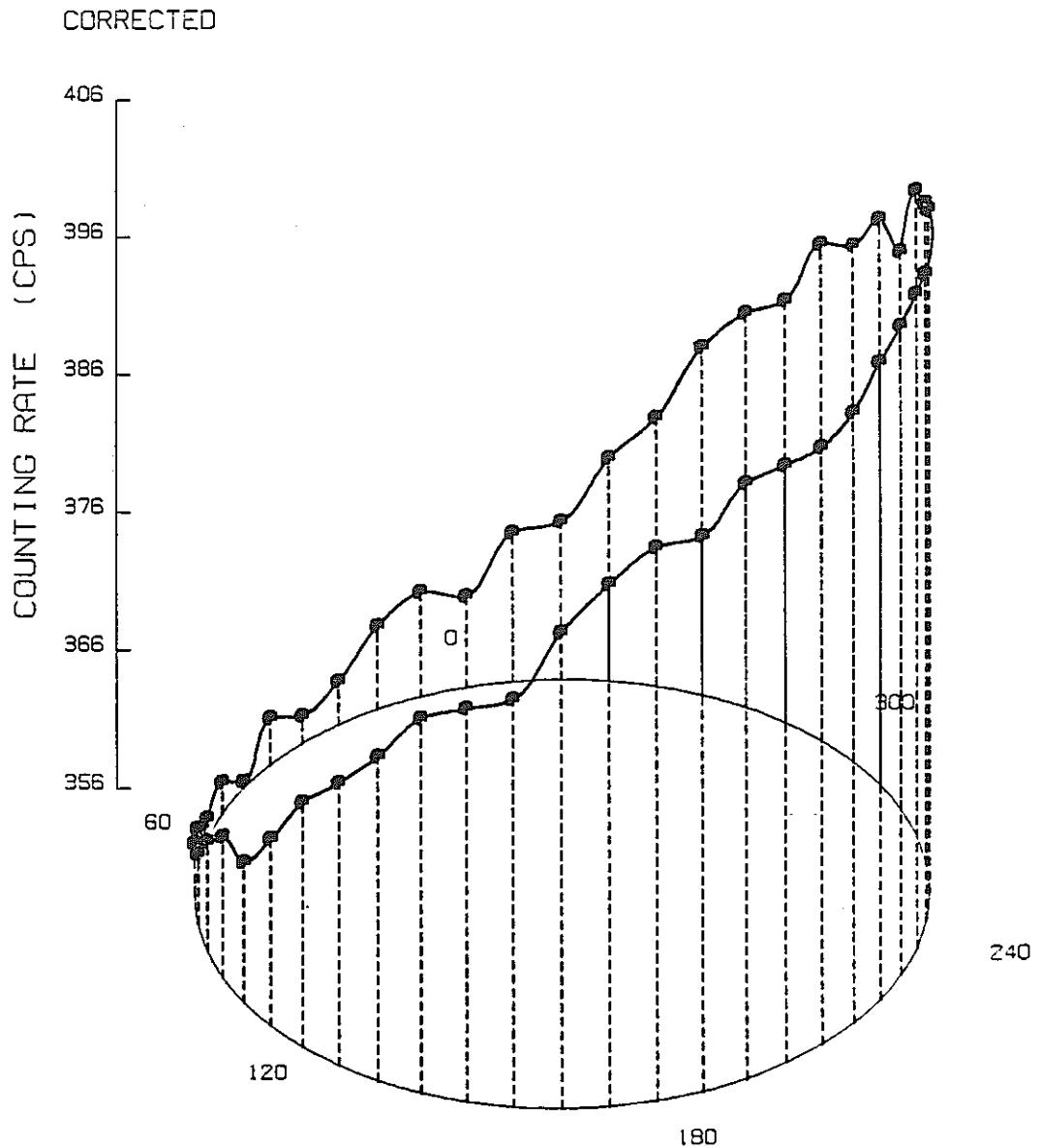


Fig 8 Radial Distribution of Gamma-Ray Intensity ( $^{58}\text{Co}$  0.810 MEV)

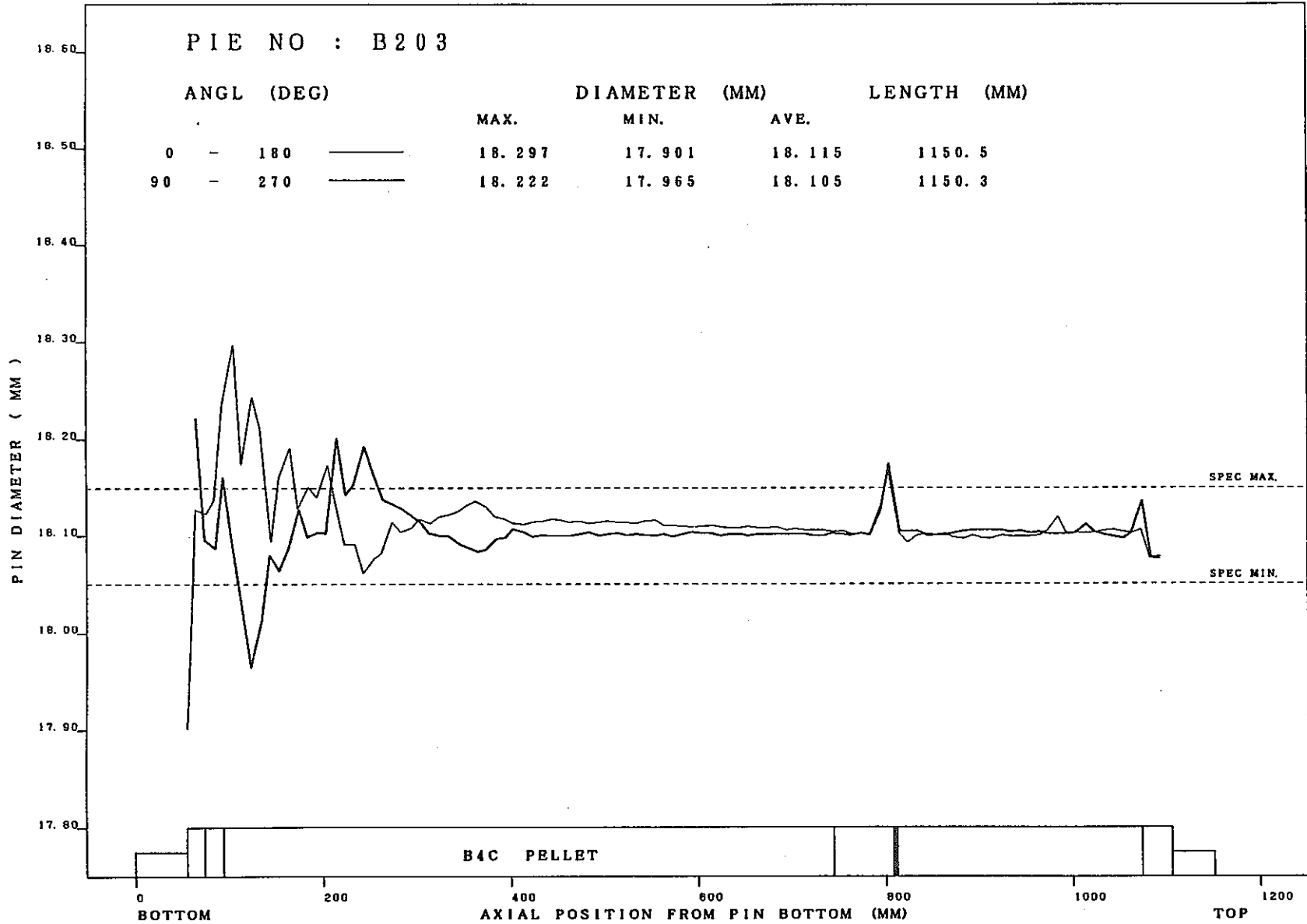


Fig 9 Axial Profile of Pin Diamatar (B203)

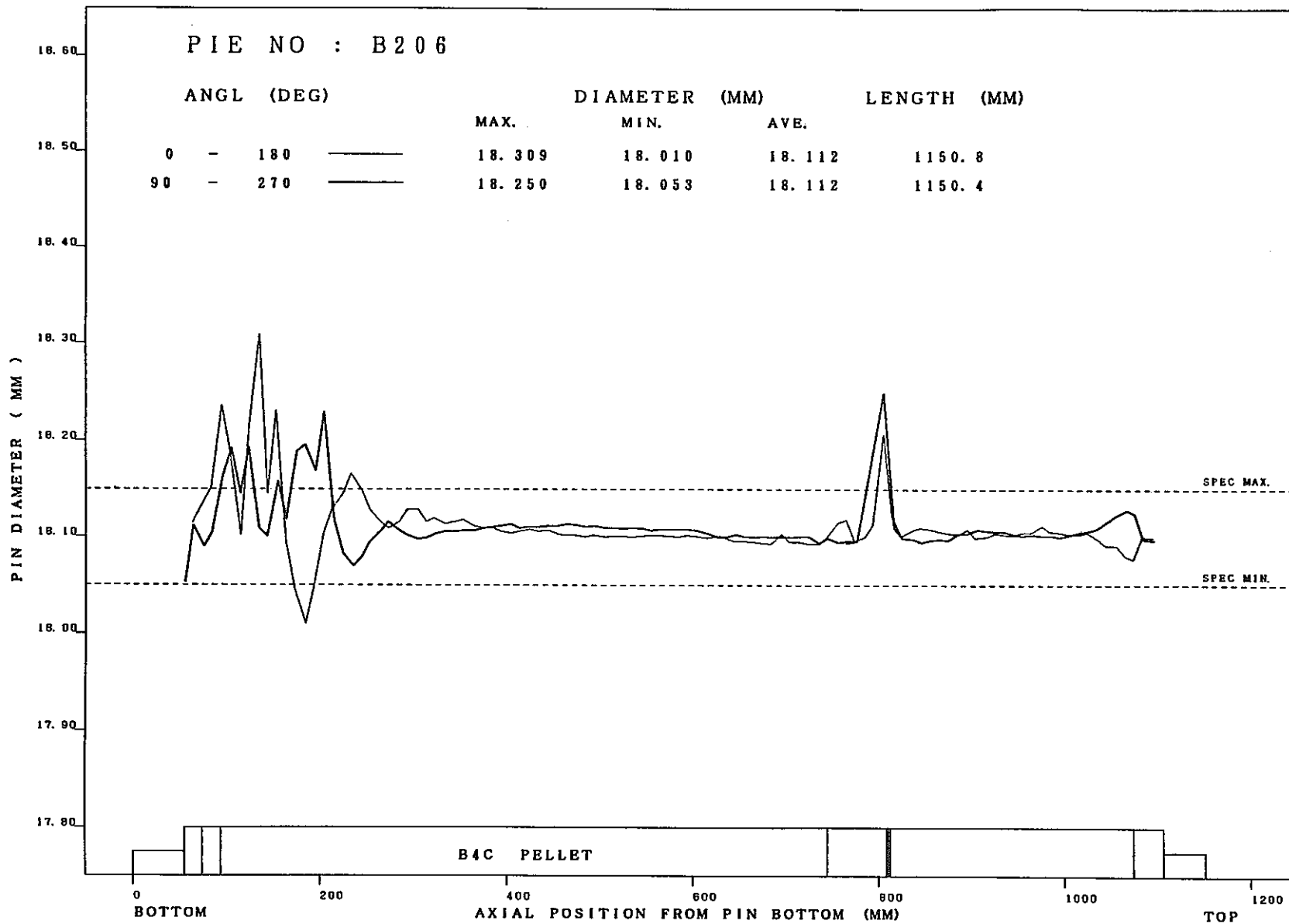


Fig 10 Axial Profile of Pin Diamatar (B206)

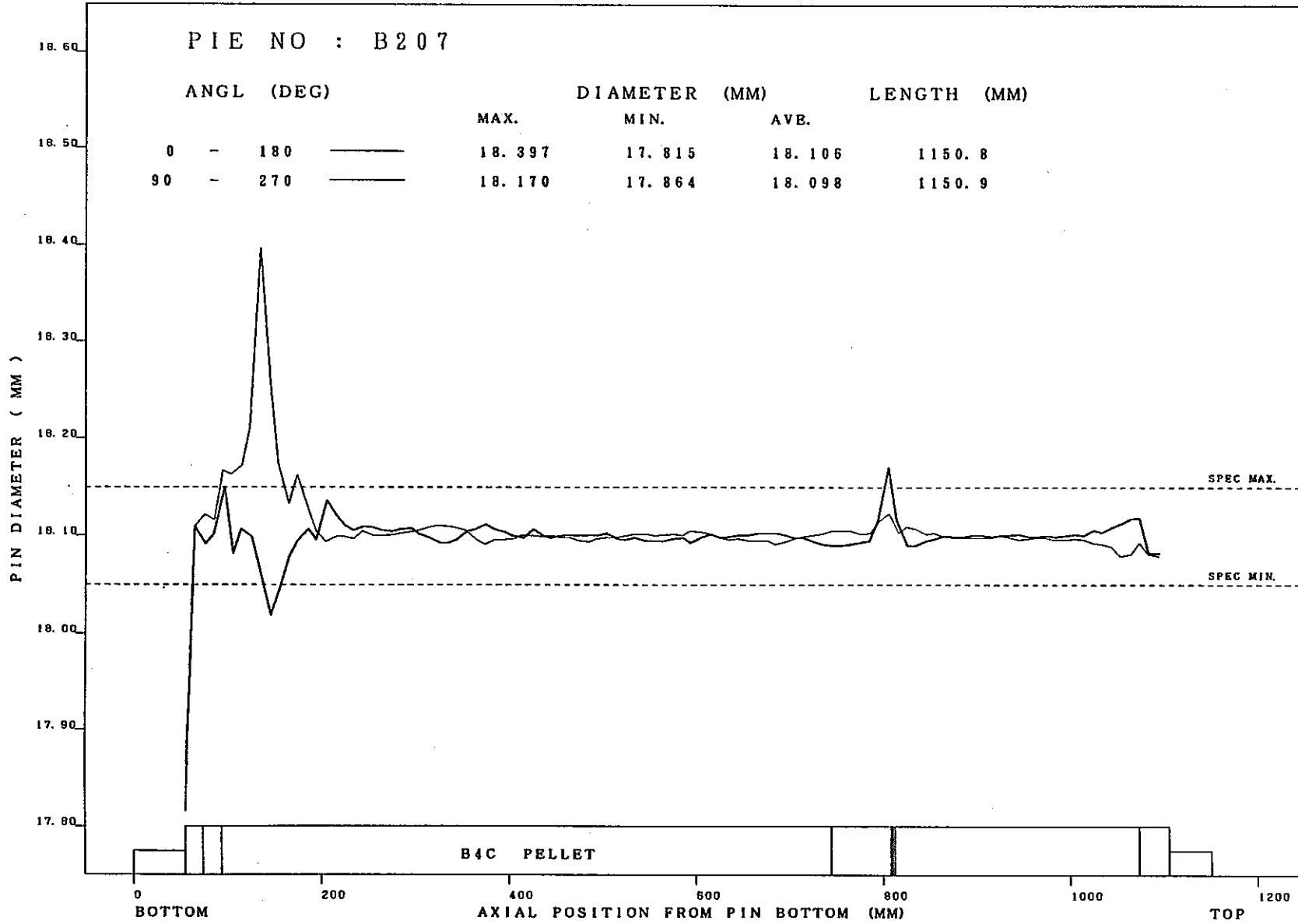


Fig 11 Axial Profile of Pin Diamatar (B207)



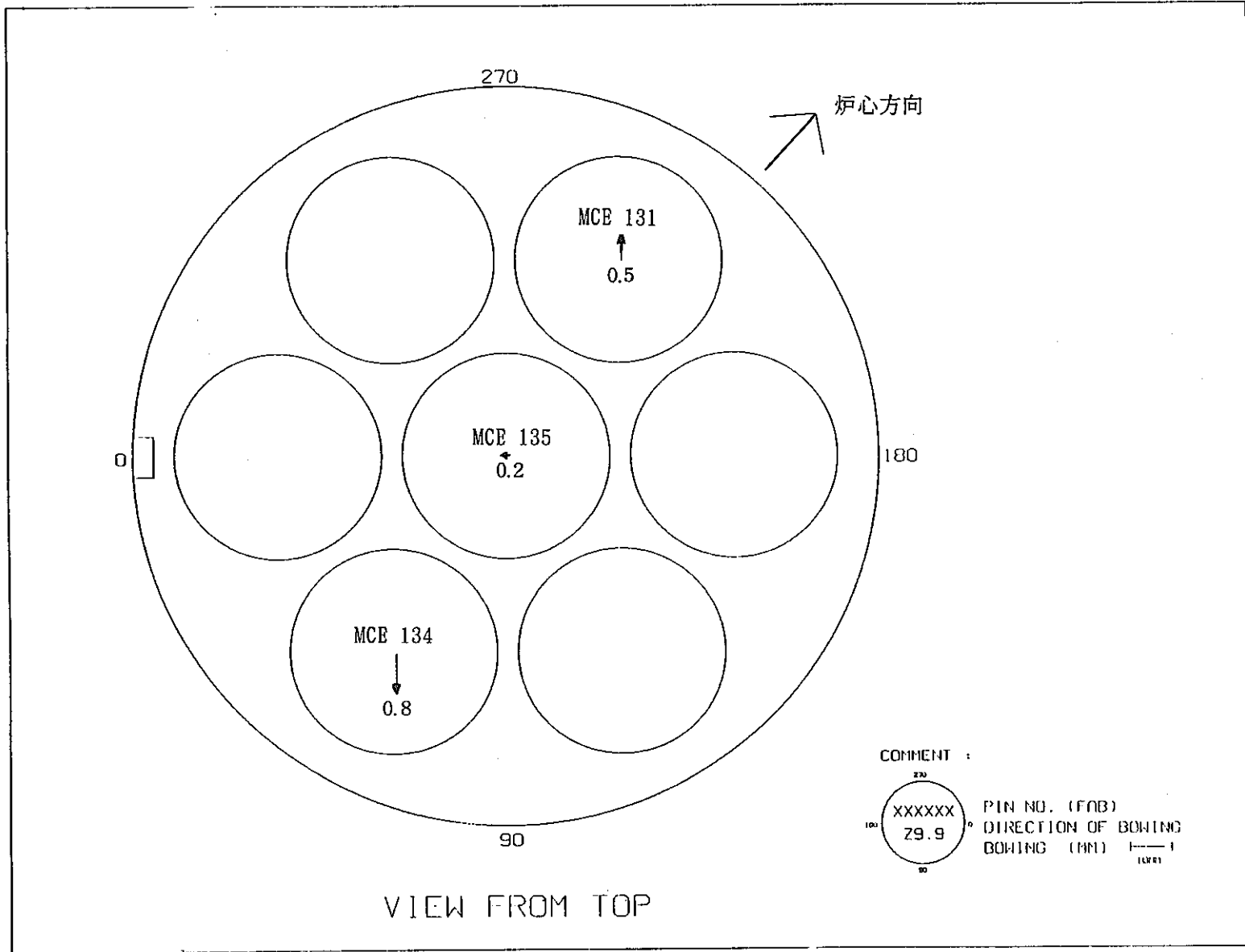


Fig 12 Bowing Vector of Pins

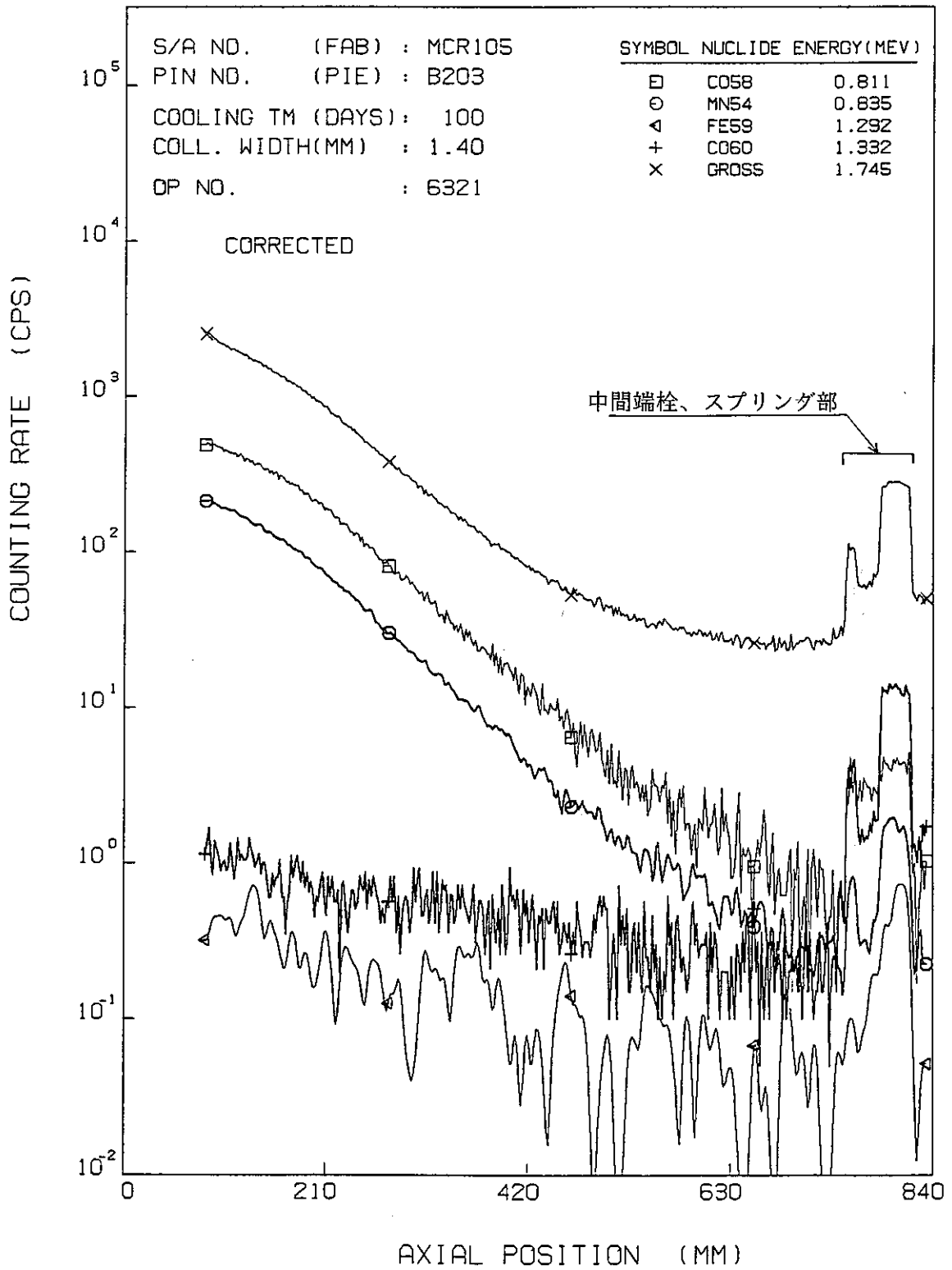


Fig 13 Axial Distribution of Gamma-ray Intensity

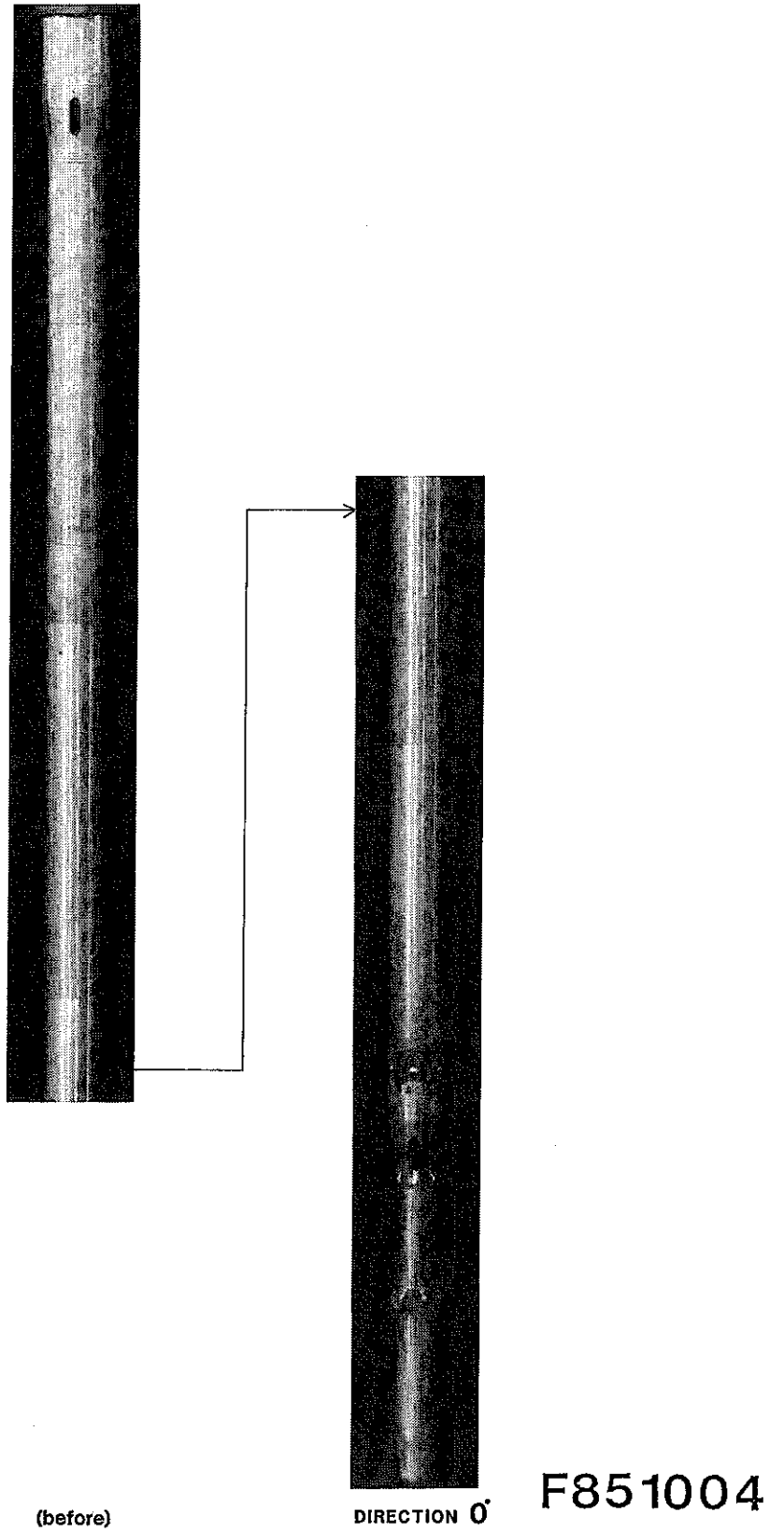


Photo. 1 Surface Condition of the Control Rod

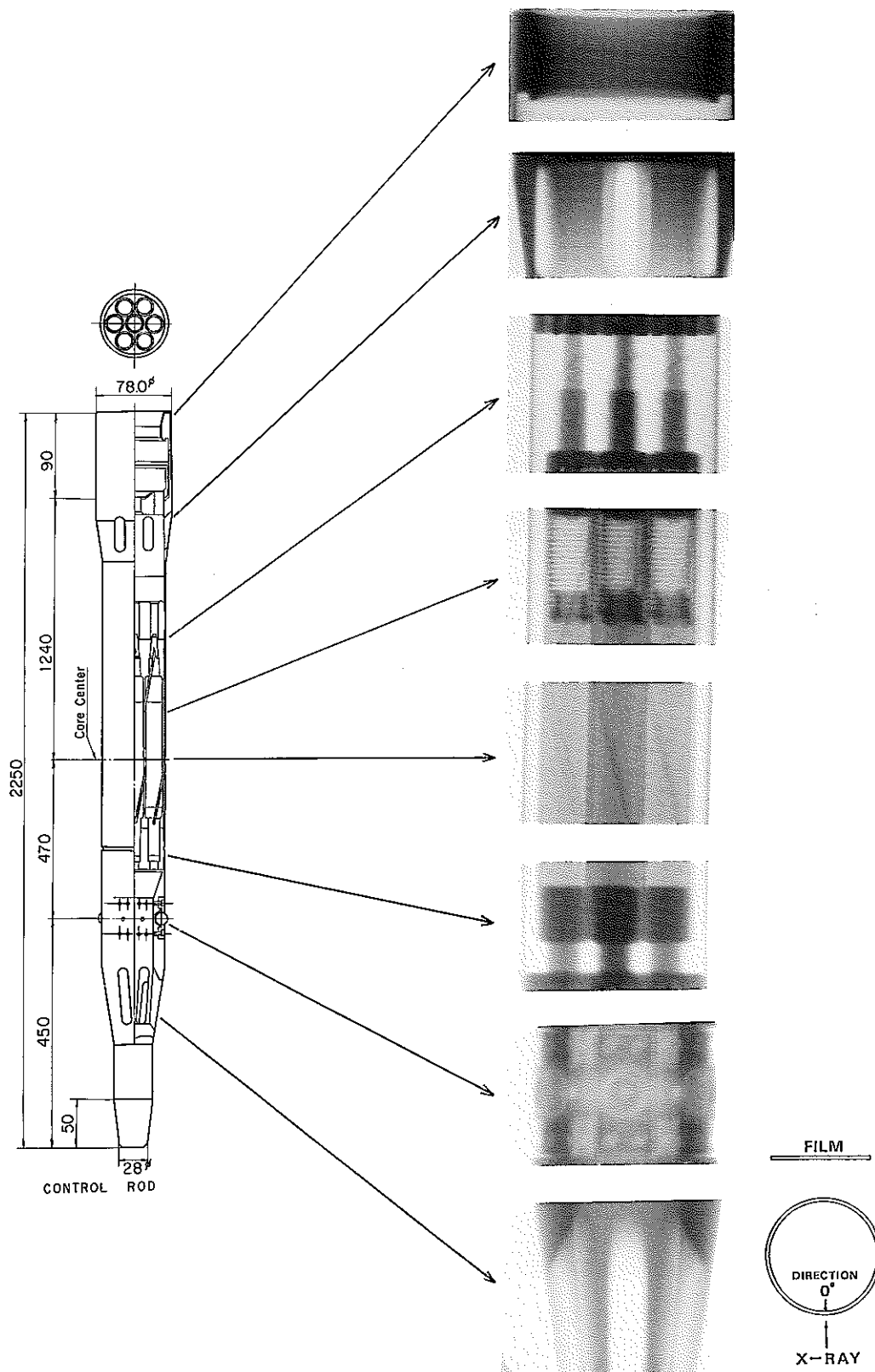


Photo. 2 Control Rod X-ray Radiography

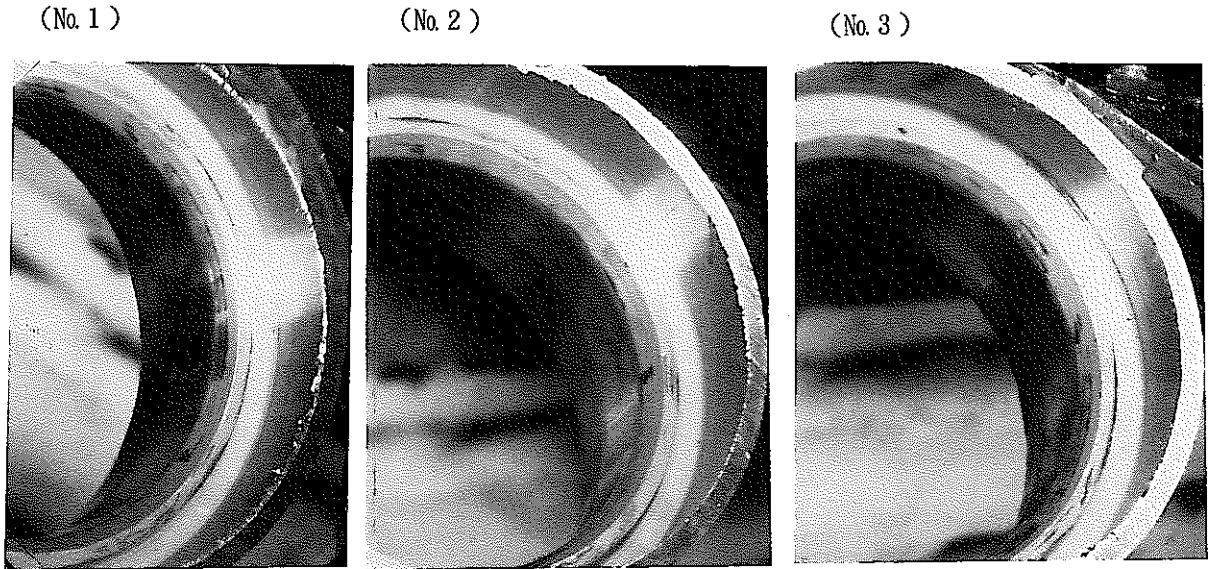


Photo. 3 Inside Condition of Handring Head

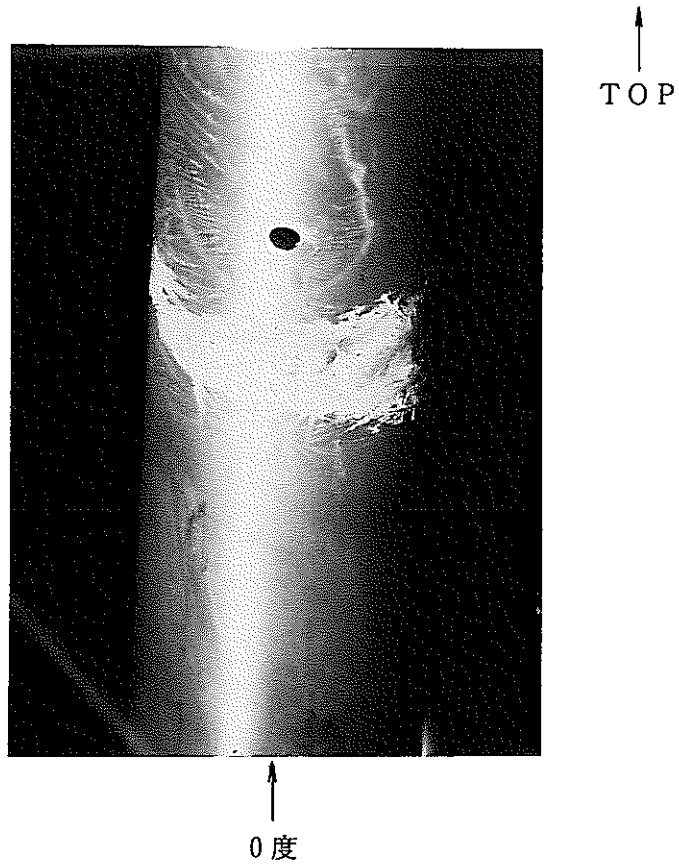
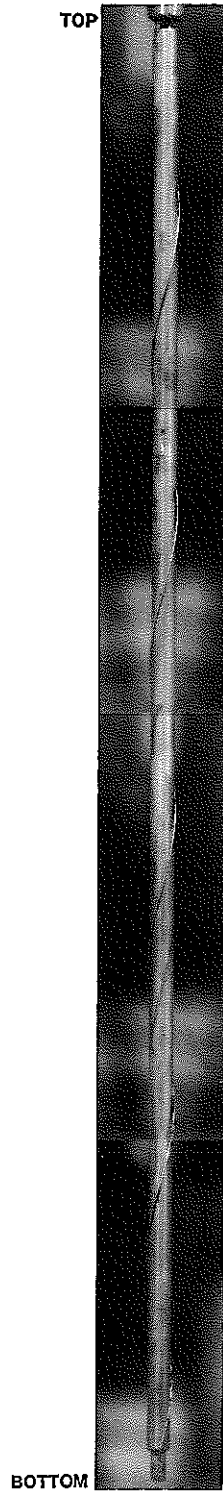


Photo. 5 Surface Condition of the Vent Hole

PIN NO.8501



F853004

DIRECTION 0°

Photo. 4 Surface Condition of the Absorber Pin

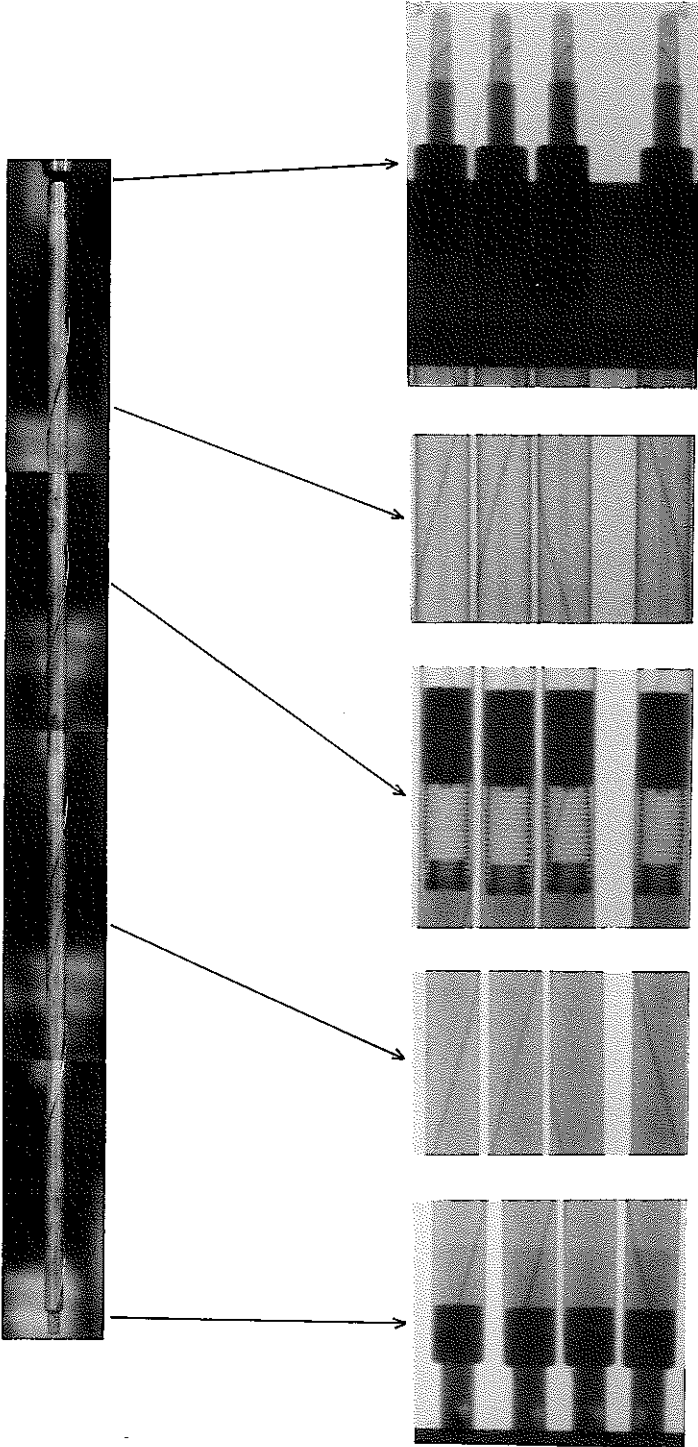


Photo. 6 Pin X-ray Radiography