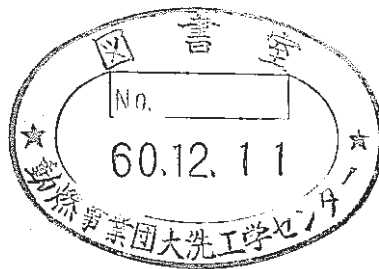


# 「常陽」MK-II制御棒(MCR006, MCR002)の照射後試験

## 制御棒及び吸収ピンの非破壊試験



1985年8月

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

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

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

## 「常陽」MK-II制御棒(MCR006, MCR002)の照射後試験 制御棒及び吸収ピンの非破壊試験

実施責任者 田 地 弘 勝\*  
報告者 浅 賀 健 男\*, 榎 戸 裕 二\*  
長谷川 正 泰\*, 西野入 賢 治\*  
小 形 佳 昭\*\*

### 要 旨

「常陽」MK-II炉心第2, 第3サイクルまで使用された制御棒(MCR006, MCR002)2体を受け入れ, 構造体の健全性確認, 照射挙動把握の観点から制御棒試験, 吸収ピン試験を実施した。

MCR006については中性子束ゆらぎ原因調査のための特別試験を実施した。試験結果の概要は以下の通りである。

- (1) 制御棒試験の結果, 「常陽」MK-II炉心定格第3サイクルまでの所, 新規に採用された流力振動防止機構部を含め制御棒外形形状, 内部状況に製造時からの有意な変化は認められず, 使用中健全であったことが確認された。
- (2) 吸収ピン試験の結果, ペレットスタック下部の被覆管外径及びB<sub>4</sub>Cペレットスタック長に照射によると思われる変化が認められた以外, 大きな変形, 破損等はなく定格第3サイクルまでの吸収ピンの健全性が確認された。またベント機構部についても構造上は何ら異常は認められなかった。
- (3) 吸収ピン被覆管に認められた外径増加はMCR002の場合で約0.2%であり, 被覆管材質, 照射量レベルから推定してB<sub>4</sub>Cペレットスエリングによるペレット-被覆管相互作用(PCMI)によるものと思われる。
- (4) 制御棒保護管上部の等間隔の傷跡は制御棒流力振動による制御棒下部案内管頂部内面との衝突跡と推定される。但し傷は浅いものであり制御棒の強度に影響を及ぼすものではない。

---

\* 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)

(現在) \*\* 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. MK-II制御棒の仕様と構造 .....	2
3. 供試試料の製造・検査履歴 .....	3
3.1 制御棒構成部材 .....	3
3.2 B <sub>4</sub> Cペレット .....	3
4. 制御棒照射履歴 .....	4
4.1 MCR 006 .....	4
4.2 MCR 002 .....	4
5. 照射後試験計画 .....	5
6. 標準試験の結果 .....	6
6.1 集合体試験 .....	6
6.1.1 外観検査 .....	6
6.1.2 ナトリウム洗浄 .....	7
6.1.3 寸法測定 .....	7
6.1.4 X線ラジオグラフィ検査 .....	8
6.2 集合体部材試験 .....	9
6.2.1 保護管ガンマスキャン .....	9
6.3 吸収ピン試験 .....	9
6.3.1 外観検査 .....	9
6.3.2 X線ラジオグラフィ検査 .....	9
6.3.3 重量測定 .....	10
6.3.4 ピン寸法測定 .....	11
6.3.5 ピンアスキニング .....	12
6.3.6 ベント管部詳細外観検査 .....	13
7. 特別試験の結果 .....	14
7.1 目的及び試験の概要 .....	14
7.2 試験結果 .....	14
7.2.1 保護管表面詳細外観検査 .....	14
7.2.2 ハンドリングヘッド内面観察 .....	14
7.2.3 下部グリッド板ピン端栓溶接部観察 .....	15
7.2.4 ピン表面詳細外観検査 .....	15



7.3	特別試験のまとめ .....	15
8.	結果の検討 .....	16
8.1	制御棒及び吸収ピンの健全性評価 .....	16
8.1.1	構造体の健全性 .....	16
8.1.2	防振機構部健全性 .....	16
8.1.3	ベント機構部健全性 .....	16
8.2	照射挙動評価 .....	16
8.2.1	被覆管寸法変化とペレットスエリング量（外径変化率）評価 .....	17
8.2.2	B <sub>4</sub> Cスタック長変化 .....	18
9.	まとめ .....	20
10.	参考文献 .....	21

## List of Figures

Fig. 1	Schematic Drawing of MK-II Control Rod and its Absorber Pin	. 37
Fig. 2	Pin Location in Control Rod and Pin Number Identification	... 38
Fig. 3	In-reactor Location of Control Rod at 100MW-2nd Cycle (MCR006)	..... 39
Fig. 4	In-reactor Location of Control Rod at 100MW-3rd Cycle (MCR002)	..... 40
Fig. 5	Flow Diagram of the P.I.E. on the MK-II Control Rod	..... 41
Fig. 6	Selection of Absorber Pins for Pin Examination (MCR006)	..... 42
Fig. 7	Selection of Absorber Pins for Pin Examination (MCR002)	..... 43
Fig. 8	Control Rod outer Diameter Profile (MCR006)	..... 44
Fig. 9	Control Rod Bowing (MCR006)	..... 45
Fig. 10	Control Rod outer Diameter Profile (MCR002)	..... 46
Fig. 11	Control Rod Bowing (MCR002)	..... 47
Fig. 12	Circumferential Distribution of $\gamma$ -Emmition Nuclide $^{58}\text{Co}$ (MCR006)	..... 48
Fig. 13	Circumferential Distribution of $\gamma$ -Emmition Nuclide $^{54}\text{Mn}$ (MCR002)	..... 49
Fig. 14	Pin outer Diameter Profile (Pin No. MCE39)	..... 50
Fig. 15	Typical Pin Bowing Profile (Pin No. MCE39)	..... 51
Fig. 16	Pin outer Diameter Profile (Pin No. MCE10)	..... 52
Fig. 17	Typical Pin Bowing Profile (Pin No. MCE10)	..... 53
Fig. 18	Vector of Pin Bowing in the Control Rod "MCR006" and "MCR002"	..... 54
Fig. 19	Axial Distribution of Gamma Ray Intensity (Pin No. MCE39)	... 55
Fig. 20	Axial Distribution of Gamma Ray Intensity (Pin No. MCE10)	... 56
Fig. 21	Conceptual View of Vibration Mode of Control Rod	..... 57
Fig. 22	Comparison of Scar Position between Assumed Value and Observed one (MCR006)	..... 58
Fig. 23	Outer Diameter of Cladding at the Lower Region of $\text{B}_4\text{C}$ Stack (Pin No. MCE39)	..... 59
Fig. 24	Outer Diameter of Cladding at the Lower Region of $\text{B}_4\text{C}$ Stack (Pin No. MCE10)	..... 60
Fig. 25	Pin Diameter Change as a Function of Control Rod Peak Burnup	..... 61
Fig. 26	Pin Bowing as a Function of Control Rod Peak Burnup	..... 62
Fig. 27	Pin Bowing Profile (TTJC07, Pin No. 01)	..... 63
Fig. 28	Dimensional Change of Boron Carbide Pellets	..... 64
Fig. 29	$\text{B}_4\text{C}$ Stack Length Change as a Function of C/R Peak Burnup	... 65

## List of Tables

Table 1	Design Parameters of MK-I and MK-II Control Rod .....	22
Table 2	Specification of MK-I and MK-II Control Rod .....	23
Table 3	Reference Table of Parts Number of Control Rod and its Absorber Pins (MCR006) .....	26
Table 4	Reference Table of Parts Number of Control Rod and its Absorber Pins (MCR002) .....	27
Table 5	Inspection Data of Absorber Pin (MCR006) .....	28
Table 6	Inspection Data of Absorber Pin (MCR002) .....	29
Table 7	Table of $B_4C$ Pellet Number Loaded into Absorber Pin (MCR006) .....	30
Table 8	Table of $B_4C$ Pellet Number Loaded into Absorber Pin (MCR002) .....	31
Table 9	Irradiation Condition of Control Rod (MCR006) .....	32
Table 10	Irradiation Condition of Control Rod (MCR002) .....	32
Table 11	Results of $B_4C$ Stack Length Measurement .....	33
Table 12	Results of Absorber Pin Weighing .....	34
Table 13	Outer Dia. Change of Cladding in the Lower Region of the $B_4C$ Stack .....	35
Table 14	Evaluation of $B_4C$ Pellet Swelling .....	36

## List of Photographes

Photo. 1	Surface Condition of the Control Rod before and after Sodium Removal (MCR006) .....	67
Photo. 2	Surface Condition of the Control Rod before and after Sodium Removal (MCR002) .....	69
Photo. 3	Scar Marks observed at the outer Surface of the Control Rod (MCR006) .....	71
Photo. 4	Condition of the Vibration Restriction Mechanism (MCR006) .	73
Photo. 5	Scar Marks observed at the outer Surface of the Control Rod (MCR002) .....	75
Photo. 6	Condition of the Vibration Restriction Mechanism with Spacer Ball (MCR002) .....	76
Photo. 7	Interior Construction Condition in the Control Rod by X-ray Radiography Observation (MCR006) .....	77
Photo. 8	Interior Construction Condition in the Control Rod by X-ray Radiography Observation (MCR002) .....	79
Photo. 9	Typical Condition of the outer Surface of the Absorber Pin (MCR006; Pin No. MCE36) .....	81
Photo. 10	Typical Condition of the outer Surface of the Absorber pin (MCR002; Pin No. MCE08) .....	83
Photo. 11	Detailed Observation of the outer Surface nearby the Vent Hole (MCR006; Pin No. MCE41) .....	85
Photo. 12	Installation Condition of the Contents of Absorber Pins (MCR006) .....	87
Photo. 13	Installation Condition of Contents of Absorber Pins (MCR002) .....	89
Photo. 14	Condition of the outer Surface of the Vent Tube (MCR006; Pin No. MCE39) .....	91
Photo. 15	Condition of the outer Surface of the Vent Tube (MCR002; Pin No. MCE10) .....	92
Photo. 16	Detailed Observation of the Scar on the upper Region of Control Rod Surface .....	93
Photo. 17	Condition of the inner Surface of the Handling Head (Part "A"; MCR006) .....	95
Photo. 18	Condition of the inner Surface of the Handling Head (Part "B"; MCR006) .....	96
Photo. 19	Holding Condition of Absorber Pin in Lower Grid Plate (MCR006) .....	97

## 1. ま え が き

制御棒は原子炉を安全に運転する上で最も重要な炉心構成要素の1つであり、MK-II炉心に使用される制御棒についても、MK-I制御棒と同様にその設計寿命までの使用中の健全性を燃焼度を追って確認する必要がある。MK-II制御棒は、 $B_4C$ を中性子吸収材として使用している点はMK-I制御棒と同様であるが、炉出力が100 MWtに増加されたことに伴い、その機能、構造に以下に示すような変更がある。

- (1) 6本の制御棒がすべて調整機能とスクラム機能を持つため、通常運転時の中性子束ゆらぎ防止及びスクラム時の下部案内管との干渉防止のため、制御棒側に流力振動防止機構を持たせている。
- (2) 炉出力増大に伴い制御棒寿命延長のため、Heガス放出のためのベント機構を持つ吸収ピンを使用している。

従って照射後試験では、これらMK-II制御棒で新たに採用された諸機構についてその使用中の健全性確認を実施する。

さらに、経済性向上の観点から制御棒の使用寿命の延長化を図ることが制御棒開発の最重要課題である。制御棒の寿命決定因子としては(i)核的因子(reactivity)、(ii)被覆管構造上の因子(Heガス圧、ペレット被覆管相互作用(PCMI)による被覆管変形)、(iii)制御棒構造上の因子(グッシュラム部膨れによる下部案内管との干渉、制御棒寸法形状変化による駆動荷重の増加、吸収ピン-保護管相互作用)が考えられるが、MK-II制御棒は核的寿命は長期であり、ベント機構の採用により吸収ピンの寿命決定因子のうち内圧の影響は除かれる。

従って照射後試験では、 $B_4C$ の最大燃焼度をMK-Iの2倍以上に上げたこと及び100 MW運転に伴い制御棒がMK-Iと比べてさらに高中性子束下にさらされることから、ペレットのステリングによる被覆管変形(PCMI)及び制御棒部材の寸法形状変化に着目し、これらの要因による制御棒寿命の監視・評価を行う。

今回報告する照射後試験結果は、100 MWt性能試験、100 MWt定格第1サイクル、第2サイクルを経験した制御棒(Fab.No. MCR 006)と、さらに定格第3サイクルまで照射された制御棒(Fab.No. MCR 002)の2体についてのものである。

なお、“MCR 006”については当初策定された照射後試験基本計画<sup>1)</sup>に示す試験内容の他に、運転中に観測された中性子束ゆらぎ現象の原因究明のための特別試験を追加実施している。

## 2. MK-II 制御棒の仕様と構造

MK-I, MK-II 制御棒の設計パラメータを Table 1 に示す。

MK-II 炉心の制御棒は MK-I と同様、炉心第 3 列に全 6 体が配置されている。MK-I 炉心では、6 体の制御棒のうち 2 体が調整棒、4 体が安全棒として機能するような構成であったのに対して、MK-II 炉心では 6 体がすべて調整機能とスクラム機能を併せ持つ構成になるため、MK-II 制御棒は全て同一の構造を有する。

MK-II 制御棒は 7 本の制御要素（吸収ピン）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。制御要素の構造はボロン-10を90%濃縮したB<sub>4</sub>Cペレット（スタック長650mm）をSUS 316相当ステンレス鋼管で被覆し、上部には発生したHeガスを要素外に排除し、かつ冷却材ナトリウムが要素内に浸入しないようなダイビング・ベル型のベント機構を有したものである。Table 2にMK-I, MK-II制御棒の主要仕様を示す。また、Fig. 1に制御棒の構造を示す。

### 3. 供試試料の製造・検査履歴<sup>2)</sup>

#### 3.1 制御棒構成部材

制御棒構成部材の製造・検査履歴をMCR 006についてTable3及び5に、MCR 002についてTable 4及び6に示す。また吸収ピンの製造時要素番号と制御棒内ロケーションとの対応をFig. 2に示す。なお、Fig. 2中、要素番号の下に( )で表示してある数字は照射後試験時のピン識別番号である。

#### 3.2 B<sub>4</sub>Cペレット

制御要素に装荷されたB<sub>4</sub>Cスタックの製造・検査履歴をMCR 006についてTable 7に、MCR 002につきTable 8に示す。その他の製造時データについては、第6章標準試験結果の中で照射後試験データと比較して記述する。

## 4. 制御棒照射履歴<sup>3), 4)</sup>

### 4.1 MCR 006

MCR 006 は、100 MWt 性能試験サイクル及び定格第 1 サイクルの間、炉内装荷位置 3 F 3 に装荷された後、運転中の中性子ゆらぎの原因調査のため、炉心中心をはさんで反対側の 3 C 3 に再装荷され、定格第 2 サイクルまで照射された制御棒であり、B<sub>4</sub>C スタック下端での最高燃焼度は約  $35.6 \times 10^{20}$  cap/cc，最大積算中性子照射量は  $1.66 \times 10^{22}$  n/cm<sup>2</sup> ( $E \geq 0.1$  MeV)である。Fig. 3 に最終サイクル（定格第 2 サイクル）時の炉心構成を、また Table 9 に各サイクル毎の照射条件を示す。

### 4.2 MCR 002

MCR 002 は 100 MWt 性能試験サイクル及び定格第 1，第 2，第 3 サイクルの間、炉内装荷位置 3 B 3 に装荷されていた制御棒であり、B<sub>4</sub>C スタック下端での最高燃焼度は約  $45.1 \times 10^{20}$  cap/cc，最大積算中性子照射量は  $2.67 \times 10^{22}$  n/cm<sup>2</sup> ( $E \geq 0.1$  MeV)である。Fig. 4 に最終サイクル（定格第 3 サイクル）時の炉心構成を、また Table 10 に各サイクル毎の照射条件を示す。

(注) 「常陽」MK-II 炉心の定格第 3 サイクルまでの運転実績及びプラント状況については参考文献 3)，4) を参照されたい。



## 5. 照射後試験計画

MCR 006 については昭和 58 年 12 月 13 日キャスクカーにより、また MCR 002 については昭和 59 年 6 月 25 日集合体移送キャスクにより FMF に搬入され、それぞれ照射後試験に供された。制御棒の照射後試験は、照射後試験基本計画の標準試験項目<sup>1)</sup>に従い先ず集合体としての健全性を確認するため集合体試験（外観検査、ナトリウム洗浄、寸法測定、X線ラジオグラフィ）を実施した後、集合体を解体し内部に収納されている 7 本の吸収ピンの取出しを行った。取り出された吸収ピンは健全性確認のためピン全数試験（外観検査、X線ラジオグラフィ、重量測定）を実施した後、吸収ピンの照射挙動を詳細に調べるためピン選択試験（寸法測定、 $\gamma$ スキャン）を実施した。一部のピンについてはピン上部ベント機構部の健全性の確認のため被覆管の一部を取除きベント管を露出させた上でベント管部詳細外観検査を実施した。また、これらのピンについては照射材料試験施設（MMF）及び技術解析室（AES）での破壊試験用試料採取も併せて実施した。また MCR 006 については上記標準試験の他に、運転中に他の制御棒と比べ大きな中性子束ゆらぎが観測されたため、その原因調査のための特別試験を実施した。特別試験としては、(1)制御棒保護管の詳細外観検査、(2)ハンドリングヘッド部内面の外観検査、(3)下部支持板の健全性確認検査、(4)吸収ピン表面の詳細外観検査の 4 項目である。

Fig. 5 に制御棒照射後試験の流れ図を示す。また Fig. 6 に MCR 006、Fig. 7 に MCR 002 のピン試験計画を示す。

## 6. 標準試験の結果

### 6.1 集合体試験

#### 6.1.1 外観検査

受入時及びナトリウム洗浄後の制御棒外形形状、表面状況、防振機構部について全面全長にわたって目視観察を実施しスケッチを作成した。また基準方向（制御棒No. 刻印位置）について全長写真撮影を実施した。MCR 006 及びMCR 002 の外観写真をPhoto 1 及び2 に示す。

#### MCR 006

##### ① 形状変化

受入時、ナトリウム洗浄後とも認められなかった。

##### ② 表面状況

受入時については、本制御棒が「常陽」サイト側で未洗浄のままFMF に搬入されたため、全面に残留ナトリウムが認められたがその程度は、従来のキャスクカー受入集合体のそれと大差はない。洗浄後の制御棒表面観察で、120°方向、<sup>注)</sup>制御棒下端より1585～1650 mm（保護管上端）の位置にはほぼ等間隔で2列に並ぶ浅い縞状の傷が認められた。（Photo 3 (a)）この部分については、詳細観察のため試料採取を行った。また制御棒下端より約160 mm 位置（ダッシュラム部）で周方向に傷があるのが認められた。（Photo 3 (b)）この位置は炉停止時ダッシュポット内に挿入される部位であるが、この傷がダッシュポット部との干渉により生じたものかは不明である。その他、保護管—接続管溶接部付近及び接続管上部付近にわずかではあるが周方向の傷が認められている。

##### ③ 防振機構部

目視観察及びトランシットによる観察では、6面全ての防振機構部に特に異常は認められなかった。（Photo 4）またマニプレータの爪先をボールに接触させて防振機構部のボールの回転状態を観察し、全数滑らかに回転することを確認した。

#### MCR 002

##### ① 形状変化

受入時、ナトリウム洗浄後とも認められなかった。

##### ② 表面状況

本制御棒は受入時点で既に「常陽」サイト側で洗浄済のため表面状態は受入時とFMFでのナトリウム洗浄後で変化はなかった。表面状況観察の結果、120°方向、制御棒下端より1,520～1,650 mm（保護管上端）の位置にMCR 006で観察されたものと同様の縞状の傷が認められた。（Photo 5 (a)）また保護管全体にらせん状の黒色変色が認められたが、これはMCR 006では認められなかった特徴である。（Photo 5 (b)）

### ③ 防振機構部

目視観察及びトランシットによる観察では、6面全ての防振機構部に特に異常は認められなかった。但し、マニプレータによるボールの回転状況の観察では300°方向のボールだけが回転しないことが認められ、他の5つのボールについては、滑らかに回転することが確認された。この300°方向は前述した保護管上部の縞状の傷がある方向の180°反対側である。(Photo 6)

注) 制御棒の周方向角度は、構造上の基準(MAX KEY等)がないため、便宜上、制御棒保護管下部の制御棒No刻印の中心を0°とし、ハンドリングヘッド側から見て反時計回りの角度定義をしている。

#### 6.1.2 ナトリウム洗浄

ナトリウム洗浄装置に制御棒を装荷し、湿り窒素ガスによるスチーム洗浄(「常陽」サイトで未洗浄のMCR 006のみ)を実施した後、純水による循環洗浄を3回実施した。洗浄廃液は化学分析及び放射化核種分析に供され、付着ナトリウム量、pH値、 $\gamma$ 線放射能が測定された。

##### MCR 006

最終(3回目)の循環洗浄廃液のpH値は9.7とアルカリ性を示し、制御棒内になおナトリウムが残留していることが推定されたが、制御棒解体及びピン外観検査時には制御棒部材及び吸収ピン表面には著しいナトリウム残留は認められなかったことから、3回の洗浄でも廃液のpH値が下がらない原因は、ベント管部分に残留したナトリウムによるものと考えられる。洗浄廃液の中和適定分析より制御棒から廃液中に移行したナトリウム量は約10gであった。一方洗浄廃液の核種分析の結果同定された核種はいずれも腐食生成物の代表的核種である $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ であった。

##### MCR 002

最終(3回目)の循環洗浄廃液のpH値は7.7と中性を示し、制御棒からのナトリウム除去は良好に行なわれた。洗浄廃液及び制御棒移送容器中に注入されている脱塩水中のナトリウム重量は約12gであった。「常陽」サイトで未洗浄のMCR 006に比し「常陽」サイトで洗浄済のMCR 002の方が残留ナトリウムが多かった理由としては移送容器中の脱塩水によりベント管部分の残留ナトリウムが水酸化ナトリウムに変わり洗浄廃液中に移行しやすくなったためと考えられる。一方洗浄廃液の核種分析結果はMCR 006とほぼ同様であった。

#### 6.1.3 寸法測定

集合体寸法測定装置にて制御棒下端より約525～2,235 mm間の制御棒外径寸法を0°, 90°

の2方向について10 mm ピッチで取得するとともに、曲り量測定及び全長測定（外径測定時の測定部移動距離に上下部部材のノミナル寸法を加算した値）を実施し、照射前のデータと比較した。

#### MCR 006

##### ① 外径寸法

Fig. 8 に外径測定結果を示す。図中 1,650 ~ 1,680 mm 位置の凹凸は製造時の上部グリッド板の溶接部及び周方向の溝によるものである。照射前データとの比較では各測定位置とも照射前後の差が±0.1 mm 以下であり、照射による有意な外径変化は認められない。また吸収ピンが収納されている保護管部の外径は製造公差（ $\phi$  64.7 mm ± 0.50 mm）の範囲内である。

##### ② 曲り量

Fig. 9 に制御棒下端より 700 mm 及び 2,050 mm 位置における曲り量を曲り方向とともに示す。2,050 mm 位置での曲り量は 2.7 mm (237°) (同位置照射前は 1.7 mm (252°)) であり約 1 mm の増加が認められた。(製造公差  $\leq$  2.5 mm / 全長)

##### ③ 全長

照射前 2,249.0 mm に対し照射後 2,249.1 mm であり照射による変化は認められない。  
(製造公差 2,250 mm ± 3.0 mm)

#### MCR 002

##### ① 外径寸法

Fig. 10 に外径測定結果を示す。照射前データとの比較では各測定位置とも照射前後の差が±0.1 mm 以下であり、MCR 006 と同様照射による有意な外径変化は認められない。また保護管部の外径は製造公差の範囲内である。

##### ② 曲り量

Fig. 11 に制御棒下端より 700 mm 及び 2,050 mm 位置における曲り量を曲り方向とともに示す。2,050 mm 位置での曲り量は 2.0 mm (140°) (同位置照射前は 0.5 mm (172°)) であり、約 1.5 mm の増加が認められるが製造公差 ( $\leq$  2.5 mm / 全長) の範囲内である。

##### ③ 全長

照射前 2,249.5 mm に対し照射後 2,249.3 mm であり照射による変化は認められない。

#### 6.1.4 X線ラジオグラフィ検査

制御棒をX線ラジオグラフィセルに装荷し0°方向より全長撮影を実施し、制御棒の内部状況を観察した。

#### MCR 006 / MCR 002

いずれの制御棒も内部状況に異常は認められない。以下に観察項目及び結果を示す。

- ① 制御棒内部への異物の混入 : 無
- ② 吸収ピン配列の乱れ : 無
- ③ 吸収ピン支持部の異常 : 無
- ④ 制御棒構成部材の配置等の異常 : 無

Photo 7 及び Photo 8 に MCR 006 及び MCR 002 の X 線ラジオグラフを示す。

## 6.2 集合体部材試験

### 6.2.1 保護管ガンマスキャン

制御棒の炉内装荷時の炉心方向を推定するため、B<sub>4</sub>C スタック下端付近より保護管を切り出し保護管の主要放射化核種 <sup>54</sup>Mn, <sup>58</sup>Co, <sup>60</sup>Co について保護管円周方向にガンマスキャンを実施した。得られた結果から <sup>58</sup>Co 又は <sup>54</sup>Mn の円周方向強度分布につきその最大強度を示す方向を求め炉心推定方向とした。

#### MCR 006

Fig. 12 に <sup>58</sup>Co の円周方向強度分布を示す。図より最大強度方向は約 180°であった。MCR 006 は、炉内で 3 F 3 から 3 C 3 に装荷位置が変更されているが、炉心をはさんで反対側への移動のため炉心方向はほぼ保存されるため、この方向を MCR 006 の推定炉心方向とした。

#### MCR 002

Fig. 13 に <sup>54</sup>Mn の円周方向強度分布を示す。図より最大強度方向は約 200°であり、この方向を MCR 002 の推定炉心方向とした。

## 6.3 吸収ピン試験

### 6.3.1 外観検査

制御棒を解体して取出した吸収ピンは 1 本ごとに目視による外観検査を実施し、スケッチを作成した。また代表的な 1 本につき全長の写真撮影を実施した。

#### MCR 006 / MCR 002

全ピン外形形状に曲り等の異常は認められず、表面状態についても健全性に影響を及ぼすような傷、凹凸等は観察されなかった。但し各ピンともベント孔付近にナトリウム化合物と見られる白色状付着物が認められており、炉内装荷中にベント機構部へのナトリウムの吸い込みがあったものと推定される。吸収ピンの外観写真を MCR 006 及び MCR 002 について各々 Photo. 9, Photo. 10 に示す。またベント孔部の白色付着物の状況を Photo. 11 に示す。

### 6.3.2 X線ラジオグラフィ検査

吸収ピン全数について全長にわたる X 線ラジオグラフィ検査を実施し内部状況の観察を実施するとともに、照射挙動データ取得のため B<sub>4</sub>C スタック長測定を実施し照射前の値と比較した。

### MCR 006

Photo. 11 に X 線ラジオグラフィ写真を示す。(要素番号 MCE 36 ~ MCE 39)  
以下に観察結果を列記する。

(1) B<sub>4</sub>Cペレットスタック部：

ペレット間ギャップは認められず、ペレットの欠け、割れも観察されなかった。スタック長は照射前に比べて全てのピンで増加しており、平均で 1.9 mm, 最大で 2.2 mm の増加であった。Table 11 にスタック長測定の詳細データを示す。

(2) ベント機構部：

ベント管は若干の曲りが認められるものの特に異常は認められず、また中間端栓への取付状況にも異常はない。

(3) 端栓部等その他構成部材：

上下部及び中間端栓部と被覆管の溶接部に異常は認められない。また、ペレット押えスプリングのヘタリも認められない。

### MCR 002

Photo. 13 に X 線ラジオグラフィ写真を示す。(要素番号 MCE 08 ~ MCE 11)  
以下に観察結果を列記する。

(1) B<sub>4</sub>Cペレットスタック部：

ペレット間ギャップは認められず、ペレットの欠け、割れも観察されなかった。スタック長は MCR 006 よりもさらに増加しており、照射前後の差で、平均 2.7 mm, 最大 3.1 mm の増加であった。Table. 11 にスタック長測定の詳細データを示す。

(2) ベント機構部：

MCR 006 と同様な観察結果である。

(3) 端栓部等その他構成部材：

MCR 006 と同様な観察結果である。

### 6.3.3 重量測定

ピン重量測定装置にて吸収ピンの照射後の重量を測定し、照射前の測定値と比較した。

### MCR 006

照射後の重量値は全ピン照射前の値よりも 0.4 ~ 0.9 g 大きく測定されたが、吸収ピンについて設定している有意差判定値<sup>注)</sup> ± 2.1 g を超えるものではなかった。Table. 12 に全 7 本の測定結果を照射前と比較して示す。

注) 有意差判定値

吸収ピンは解体時下部端栓の一部が切除されるため、この分の重量補正が必要となる。この補正による誤差を ± 1.35 g, 照射前の測定精度 ± 0.5 g, 照射後の測定精度 ± 0.2 g と見込んで、

これらを加算した値±2.1gを吸収ピン重量変化の有意差判定値としている。

### MCR 002

照射後の重量値は全ピン照射前の値よりも0.2～1.2g大きく測定されたが、MCR 002同様、有意差を超えるものではなかった。Table 12に全7本の測定結果を照射前と比較して示す。

#### 6.3.4 ピン寸法測定

ピン寸法測定装置を用いて、吸収ピン被覆管外径、ピン曲り量、ピン全長の測定を実施し、照射前の値と比較した。

### MCR 006

#### (1) 被覆管外径

照射前外径データは測定点数が少なく測定方法も異なるため厳密な比較はできないが、照射後の結果を照射前のそれと比較した結果、以下のような傾向が認められた。

- i) 7本中5本のピン（ピンNo.MCE 36～MCE 40）の軸方向外径プロファイルで、ペレットスタック下端部付近の外径寸法が他の部分に比べ著しく大きい。
- ii) 7本のピン全てにペレットスタック下端部付近で外径差最大114  $\mu\text{m}$ （ピンNo.MCE 39）、最小22  $\mu\text{m}$ （ピンNo.MCE 41及び42）のオーバーリティが認めらる。
- iii) 照射前、ピン下端より74 mm位置の測定でも20～30  $\mu\text{m}$ のオーバーリティが測定されているが、照射後のオーバーリティで、その方向が照射前と一致するピンが3本、一致しないピンが4本あった。
- iv) ペレットスタック下端部の照射後の2方向平均外径と照射前のそれとの差は、最大で15  $\mu\text{m}$ （ピンNo.MCE 36）最小で0  $\mu\text{m}$ （ピンNo.MCE 42）、外径変化率にして0%～0.08%であり、その位置における被覆管全体の変形量は極めて小さい。

Fig. 14に軸方向プロファイルの例としてピンNo.MCE 39の結果を示す。またTable 13には、測定した全てのピンのペレット下端部付近の外径測定結果を照射前測定値と比較して示す。

#### (2) ピン曲り量

ピン曲り量は、炉心推定方向に集合体を横断する3本のピンについて実施した。照射後の曲り量は0.2～0.6 mm/全長であり、製造時検査基準の真直度 $\leq 2$  mm/全長を下回っている。

曲りプロファイル及び曲り方向については、曲り量が小さいこともあり、特に傾向は認められない。

Fig. 15に曲りプロファイルの例としてピンNo.MCE 39の結果を示す。また集合体内の曲り方向と曲り量をFig. 18(a)に示す。



## (3) 全長

照射前後の全長変化量は、 $-0.2 \text{ mm} \sim +0.15 \text{ mm}$  の範囲であり、ほとんど変化がないと言える。

MCR 002

## (1) 被覆管外径

MCR 002 については 3 本の吸収ピンについて測定を実施し照射前データとの比較の結果、以下のような傾向が認められた。

- i) MCR 006 同様、3 本のピンの軸方向プロファイルで、ペレットスタック下端部付近での外径寸法の増加が認められた。
- ii) このうち 2 本のピン (MCE 10, MCE 13) については、外径増加部において外径差約  $30 \mu\text{m}$  のオーバリティが認められている。
- iii) ペレットスタック下端部の照射後の 2 方向平均外径と照射前のそれとの差は、 $29 \sim 34 \mu\text{m}$ 、外径変化率は  $0.16 \sim 0.19 \%$  であり、MCR 002 では被覆管外径は照射前と比較して増加している。

Fig. 16 に軸方向プロファイルの例としてピン No. MCE 10 の結果を示す。また Table 13 には、測定した全てのピンのペレット下端部付近の外径測定結果を照射前測定値と比較して示す。

## (2) ピン曲り量

ピン曲り量を炉心推定方向に集合体を横断する 3 本のピンについて測定した。照射後の曲り量は、 $0.1 \sim 1.0 \text{ mm/全長}$  であり MCR 006 に比べ若干増加しているが、製造時検査基準の真直度  $\leq 2 \text{ mm/全長}$  は下回っている。曲りは外周のピンで大きく、中心のピンでは小さい。

曲りプロファイル及び曲り方向については曲り量が小さいこともあり、特に傾向は認められない。

Fig. 17 に曲りプロファイルの例としてピン No. MCE 10 の結果を示す。また集合体内の曲り方向と曲り量を Fig. 18(b) に示す。

## (3) 全長

照射前後の全長変化量は  $-0.05 \sim 0.1 \text{ mm}$  の範囲であり、ほとんど変化がないと言える。

## 6.3.5 ピンアスキャンニング

炉心推定方向に近いピン 1 本を選択し、アスキャン装置を用いてピン下端より  $84 \text{ mm} \sim 844 \text{ mm}$  の範囲についてアスキャンを実施した。指標核種としては、高速中性子領域に実効しきい値のある  $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{58}\text{Co}$  等の被覆管放射化核種を選定し、これらの軸方向強度分布から高速中性子束分布を推定した。



### MCR 006 / MCR 002

Fig. 19 に、MCR 006 の MCE 39 ピン、Fig. 20 に MCR 002 の MCE 10 ピンの軸方向強度分布を示す。いずれも、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{58}\text{Co}$  の軸方向プロファイルは吸収ピン下端部で最大計数率を示し、上部に行くにつれて計数率が漸減していく傾向を示し、ペレットスタック部の中性子束分布がスタック下端部で最大であったことを示した。なお、図中約 800 mm 前後の位置で計数率が上昇するのは、中間端栓等、質量の大きい部分を測定しているためである。

#### 6.3.6 ベント管部詳細外観検査

MCR 006、MCR 002 とも各 1 本ずつ、吸収ピンのベント孔付近を円周切削し、ベント管をおおう被覆管を除去した後、詳細外観検査装置にてベント管表面の詳細外観検査を実施した。

##### MCR 006

ピンNo. MCE 39 について観察を実施した。Photo. 14 (a) に示すように、ベント管については変形等の異常が認められないが、ベント管上端から約 145 mm 付近に付着物が認められた。Photo. 14 (b), (c) に付着物の拡大写真を示す。付着物の寸法は軸方向長さ約 15 mm、厚さは約 1.5 mm 程度のものである。

##### MCR 002

ピンNo. MCR 10 について観察を実施した。ベント管には特に変形は認められず健全であった。ベント管表面は全体的に黒く変色しているが、ベント管上部から 132 mm の付近に白変色部が認められた。一方 MCR 006 で観察されたような付着物は MCR 002 については認められなかった。Photo. 15 に白変色部付近の拡大写真を示す。

MCE 10、MCE 39 ピンのベント管部については詳細外観検査終了後、AES での詳細試験に供するためピン本体より切断し、AES へ移送した。

## 7. 特別試験の結果

### 7.1 目的及び試験の概要

MK-II炉心性能試験，定格第1及び第2サイクル運転中にMK-I炉心で観察されたものよりも大きい中性子束ゆらぎが観察された。この原因としては，実験部側で実施した炉雑音測定の結果より制御棒の振動モードが従来考えられていた振動モード（Fig. 21（a））と異なり，隣接する炉心燃料集合体との冷却材流量の差によって生じる圧力変動を主要な励振力として，下部案内管頂部付近でFig. 21（b）のように振動するためではないかと推定された。従って上記推定が正しければ制御棒保護管上部付近に下部案内管頂部内面との衝突痕がつくはずであるため，集合体外観で観察された保護管上部の皸状の傷を詳細に観察して上記推定を裏付けるためのデータを取得した。また制御棒が炉内位置3F3に装荷されている時に特に中性子ゆらぎ量が大きいため，その原因として制御棒駆動機構部のラッチ機構（制御棒を駆動機構に保持する機構。）に起因する制御棒のガタつきが考えられたため，制御棒ハンドリングヘッド部の内部表面の状況を観察した。またMCR 006自身の問題として吸収ピンのガタつきも考えられたため，下部グリッド板の吸収ピン下部端栓 TIG 溶接部の健全性の確認及び中心ピンについて隣接ピンとの接触の有無を確認するため，ピン表面の詳細外観検査を実施した。

### 7.2 試験結果

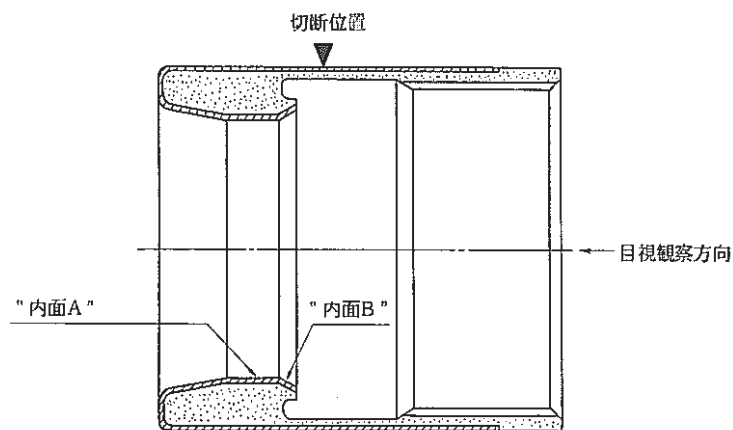
#### 7.2.1 保護管表面詳細外観検査

集合体外観検査で観察された保護管上部の傷について，その部分を切り出し詳細外観装置にて詳細観察を行った。Photo. 16は傷部の拡大写真（×3）である。写真より傷は巾約0.6mm程度のものが，約1.0mmピッチで60数本ついていることが確認された。

#### 7.2.2 ハンドリングヘッド内面観察

ハンドリングヘッドを次項の図のように切断し，ペリスコープを使用して矢印の方向から，ハンドリングヘッドの内面を観察した。Photo. 17及び18に内面の状況を示す。Photo. 17では，ハンドリング内面（図中“内面A”）の3方向（ $0^{\circ}$ ， $120^{\circ}$ ， $240^{\circ}$ ）に傷が認められるが，制御棒駆動機構のラッチフィンガーは $90^{\circ}$ おきに4本であるため，この傷は，FMF搬入後の取扱いでついた可能性が強い。（FMFの集合体把持機構は3本爪である。）

Photo. 18はラッチフィンガーが接触する面（図中“内面B”）であるが，周方向全周にわたってスリ傷が確認されるものの特に異常は認められない。



ハンドリングヘッド内面観察部位

### 7.2.3 下部グリッド板 ピン端栓溶接部観察

Photo. 19 は下部グリッド板をダッシュラム部側から撮影したものである。吸収ピン下部端栓部を下部グリッド板に溶接してある部分には、何ら異常は認められない。

### 7.2.4 ピン表面詳細外観検査

中心ピン（ピンNo. MCE 42）について、詳細外観検査装置を使用し、ピン表面の状況を観察した結果、ピンのガタつきによって生じたと思われるような隣接ピンとの接触痕は何も認められなかった。

## 7.3 特別試験のまとめ

### (1) 保護管上部の縞状の傷について

MK-II 炉心性能試験、定格第1サイクル、及び定格第2サイクルの制御棒引抜量の運転記録から、制御棒保護管と下部案内管頂部の干渉が予想される位置を求め、照射後試験での傷の位置と比較を行った結果を Fig. 22<sup>5)</sup> に示す。図よりその位置での使用時間が10時間を越えるものについては発生予想位置と実測値の間で良い一致が見られた。このことから、制御棒が、その上部において励振力を受け、下部案内管頂部内面と干渉することにより、周方向に縞状の傷が発生したものと考えられる。

### (2) 制御棒駆動機構部ラッチ機構のガタつき及び吸収ピン自体のガタつきについて

7.2.2 で述べたように、ハンドリングヘッド内面の観察結果からは、制御棒の把持が完全であったか否かを判断できるような外観上の特徴は得られず、中性子束ゆらぎの原因が制御棒のラッチ機構のガタつきにあったかどうかは不明である。

一方、7.2.3、7.2.4 で述べたように下部グリッド板及び吸収ピン表面の観察結果からは吸収ピンが運転中にガタつきを起こしていたという徴候は認められず、MCR 006 で特に中性子束ゆらぎが大きかった原因とは考えられない。

## 8. 結果の検討

### 8.1 制御棒及び吸収ピンの健全性評価

#### 8.1.1 構造体の健全性

制御棒については、制御棒外観検査、制御棒寸法測定、制御棒X線ラジオグラフィ検査の結果からMCR 006, MCR 002, いずれについても、外形形状、表面状況、内部状況に異常は認められず、MK-II制御棒は100 MW炉心定格第3サイクルまで炉内で構造体としての健全性を保持していたと判断される。一方吸収ピンについてはピン外観検査、ピンX線ラジオグラフィ、ピン重量測定の結果から、全ての吸収ピンについて破損を示すようなデータは認められず、使用期間中健全であったことが確認された。

#### 8.1.2 防振機構部健全性

防振機構部については、ボール押え金具、止めボルト等各構成部材の脱落、損傷は認められず、ボールについても、MCR 002の1つを除いて全数滑らかに回転することを確認した。また回転しないボールについても変形は認められておらず、かつ所定の位置に保持されており、機能的には何ら問題にはならないと考えられる。

#### 8.1.3 ベント機構部健全性

ベント機構部は、X線ラジオグラフィ検査、詳細外観検査（抜取検査）の結果から、取付状況、外形形状には異常は認められず、構造的には問題となるような現象は認められていない。炉内でのナトリウムの吸い込みについては、照射前後の重量差が小さく、両制御棒とも炉から取出し後ナトリウム洗浄を実施したことで吸収ピン内にナトリウムが残留していても洗い流されてしまった可能性が高いが、ピン外観で認められたベント孔付近の白色付着物やベント管表面に付着物が認められていることから、炉内で吸収ピンのベント機構部にナトリウムが侵入していたことが推定される。ベント管表面の付着物がナトリウム化合物であると仮定すると、ナトリウム液面はベント孔からの高さで約120 mm以上であったと推定される。ベント管内部へのナトリウムの侵入は非破壊試験では確認できないため、ベント管部を採取し、破壊試験施設で、機器分析等により内部へのナトリウムの侵入の有無を確認することとした。

### 8.2 照射挙動評価

制御棒寸法測定の結果では曲り量のわずかな増加が認められた以外ほぼ製造時の寸法形状を保っていたことなどから制御棒の照射挙動については、照射後試験で検知されるレベルに達していないと考えられる。一方吸収ピンでは、被覆管寸法及びB<sub>4</sub>Cスタック長で、照射によると思われる

る変化が生じていることが照射後試験で確認された。

## 8.2.1 被覆管寸法変化とB<sub>4</sub>Cペレットスエリング量評価

### (1) 外径変化

6.3.4で述べたように、ペレットスタック下端付近で被覆管のオーバリティ、外径増加の現象が認められた。外径増加はB<sub>4</sub>Cペレット部で大きく、照射量的にはB<sub>4</sub>Cペレット部より大きいインシュレータペレット部で小さいこと；またMK-I制御棒の吸収ピン被覆管(SUS 316-10% C.W.)では $4 \times 10^{22}$  n/cm<sup>2</sup>までスエリングが認められておらず、今回の吸収ピンがSUS 316-20% C.W.、中性子照射量 $2.7 \times 10^{22}$  n/cm<sup>2</sup>であることを考えると、この外径増加は被覆管のボイドスエリングによるものではなく、B<sub>4</sub>CペレットのスエリングによるPCMIであると思われる。

Fig. 23はMCR 006の吸収ピン(ピンNo. MCE 39)のスタック下端付近の外径寸法をB<sub>4</sub>C装荷位置と対応させて示したものであるがB<sub>4</sub>Cスタック下端から2個分の位置で大きなオーバリティが認められる。同じ位置での照射前寸法がないので断定はできないが、前後の外径プロフィールから類推して、この位置でPCMIが生じている可能性が高い。さらにこの位置での二方向の外径寸法から求めた平均外径(18.092 mm)が、最も近い位置の照射前平均外径(18.085 mm)とほぼ同じであることから、この位置で発生していると思われるPCMIは、B<sub>4</sub>Cペレットのクラック、リロケーションによってある特定方向のギャップが閉じ、さらにB<sub>4</sub>Cがスエリングすることで被覆管を異方的に変形させたものと思われる。

Fig. 24はMCR 002の吸収ピン(ピンNo. MCE 10)についてFig. 23と同様な方法で整理したものである。各データポイントで方向により若干のバラツキはあるものの全体としてB<sub>4</sub>Cペレット下端から4個分程度までの範囲で照射前データと比較して明らかな外径増加が認められる。従ってMCR 002の下端で発生しているPCMIは、ペレット全周でギャップが閉じさらにB<sub>4</sub>Cがスエリングしたことで、ほぼ等方的に被覆管外径が増加したものと思われる。

またFig. 24の0-180°のデータは、外径増加のピークがほぼペレット-ペレット境界部で発生していることを示しており、B<sub>4</sub>Cペレットが“つづみ”状に変形していることも考えられる。(但し外径寸法は10 mmピッチで取得されているので厳密にペレット境界部を測定していない箇所もある。)

Fig. 25に、制御棒のピーク燃焼度で整理した外径変化率をMK-Iのデータと併せて示す。MK-Iの最大燃焼度制御棒TTJC 07<sup>6)</sup>では $\Delta D/D$ が最大約1%に達しているが、MCR 002はそれより若干低い燃焼度で最大約0.2%とかなりの外径変化率の差が認められる。これは製造時のペレット-被覆管ギャップ巾(TTJC 07; ~35 μm, MCR 002; ~90 μm)から生じるPCMIの程度の差によるものと考えられる。

### (2) ピン曲り

ピン曲り量を制御棒のピーク燃焼度で整理した結果をMK-IのデータとともにFig. 26に

示す。各制御棒で3本しか曲り測定をしていないので明確ではないが中心ピンを除いたデータでは照射の進行により若干曲りが増加する傾向にある。MK-II制御棒吸収ピンの定格第3サイクルまでの曲り量は小さく、MK-I末期で認められたような大きな曲りによってピンと保護管が干渉し、解体が困難になるような状況はなかった。

MK-IではFig. 27に示すようにTTJ 07で最大約10 mmの曲りが認められているが、MK-IIでは、若干燃焼度の低いMCR 002のピンで最大約1 mmと小さい。TTJC 07の曲りプロファイルが、外径変化の生じたペレットスタック下端で急激に曲る形態を示していること及びTTJC 07とMCR 002で外径変化率に大きな差があることを考えると制御棒の曲りにはPCMIによる被覆管外径変化が密接に関与しているものと思われる。

### (3) スエリング量（ペレット外径変化率）評価

照射後試験で認められた被覆管外径変化が $B_4C$ ペレットのスエリングのみによって生じたPCMIによるものであり、かつ被覆管の拘束による応力下でペレットが弾性変形していないと仮定した場合、被覆管の外径変化量と製造時の被覆管-ペレットギャップ巾、ペレット外径データから $B_4C$ ペレットのスエリングによる外径変化率を概算することができる。ここでは、Table. 13の被覆管寸法データと被覆管内径及び $B_4C$ ペレット外径の製造時データから、ピン寸法を実施したMCR 002の3本のピンについて $B_4C$ の局所的な外径変化率を試算した。MCR 006については平均外径変化量が小さく、またMK-Iで求めた $B_4C$ ペレット寸法変化-燃焼度曲線<sup>7)</sup>から、MCR 006の最大燃焼度（ $35.6 \times 10^{20}$  cap/cm<sup>3</sup>）でも、ペレット-被覆管ギャップが閉じる段階（ $\Delta D/D \approx 1.1\%$ ）まで $B_4C$ ペレットがスエリングしていない可能性があり評価から除外した。

Table. 14に計算式、計算に使用したデータ及び計算結果を示す。 $B_4C$ スタック下端でのペレットスエリングによる外径変化率（ $\Delta D/D$ ）は、1.29～1.31%であった。これは「もんじゅ」設計推奨式<sup>8)</sup>； $d\varepsilon/dB = 0.45 \times 10^{-3}/10^{20}$  cap/cm<sup>3</sup>（ $B : ^{10}B$  burn-up（ $10^{20}$  cap/cm<sup>3</sup>））より求めた外径変化率 $\Delta D/D \approx 2.0\%$ をかなり下回っている。

Fig. 28にMCR 002の $B_4C$ ペレット外径変化率推定値をMK-Iのデータとともに示す。今回試算した外径変化率はMK-Iペレットの外径変化率の燃焼度依存性とよく一致している。

### 8.2.2 $B_4C$ スタック長変化

MCR 006とMCR 002の吸収ピンのスタック長測定の結果、スタック長は照射が進むにつれて増加することが確認された。Fig. 29にスタック長変化量を制御棒最大燃焼度で整理して示す。スタック長の増加はスタック上部のスプリングの収縮によって吸収されるが、増加量がスプリングの収縮代を上回った場合端栓部等に大きな荷重がかかる懸念がある。今回定格第3サイクルまで照射された吸収ピンのスタック長伸びは最大3.1 mmであり、 $B_4C$ スタック上部ク

リアランス<sup>注)</sup> 13 mmを十分下回っている。

$$\begin{aligned} \text{注) (B}_4\text{Cスタック上部クリアランス)} &= (\text{スタック上部空隙長さ}) - (\text{ペレット押えスプリング} \\ &\quad \text{収縮時長さ}) - (\text{スプリング座長さ}) \\ &= 43 \text{ (mm)} - 27 \text{ (mm)} - 3 \text{ (mm)} \\ &= 13 \text{ (mm)} \end{aligned}$$



## 9. ま と め

「常陽」MK-II炉心にて定格第2サイクル及び第3サイクルまで使用された制御棒MCR 006及びMCR 002の2体について照射後非破壊試験を実施し以下の結果を得た。

- (1) 制御棒外観検査，制御棒寸法測定，制御棒X線ラジオグラフィ検査の結果，定格第3サイクルまでの所，新規に採用された流力振動防止機構部を含め制御棒外形形状，内部状況に製造時からの有意な変化は認められず，使用中健全であったことが確認された。
- (2) 吸収ピン試験の結果，ペレットスタック下部の被覆管外径及び $B_4C$ ペレットスタック長に照射によると思われる変化が認められた以外，大きな変形，破損等はなく定格第3サイクルまでの吸収ピンの健全性が確認された。またベント機構部についても構造上は何ら異常は認められなかった。
- (3) 吸収ピン被覆管に認められた外径増加はMCR 002の場合で最大約0.2%であり，被覆管の材質，照射量レベルから推定して $B_4C$ ペレットスエリングによるペレット-被覆管相互作用(PCMI)によるものと思われる。
- (4) 制御棒保護管上部の等間隔の傷跡は制御棒流力振動による制御棒下部案内管頂部内面との衝突跡と推定される。但し傷は浅いものであり制御棒の強度に影響を及ぼすものではない。



## 10. 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 N 908 83-01, 1983年7月
- 2) ㈱三菱原子力工業；「常陽」照射炉心用制御棒試験検査報告書 (C-5629)
- 3) 実験炉部；「常陽」照射試験サイクル報 (第0, 1, 2サイクル)  
PNC SN 936 84-01, 1984年6月
- 4) 実験炉部；「常陽」照射試験サイクル報 (第3サイクル)  
PNC SN 936 84-02, 1984年7月
- 5) 実験炉部；高速実験炉「常陽」100 MW 性能試験報告書—炉雑音特性 (NT-262)—  
PNC SN 941 84-161, 1984年12月
- 6) 新谷 他；「常陽」MK-I 制御棒 (TTJC 07) の照射後試験 (1) — 集合体及びピンの非破壊試験—  
PNC SN 941 82-230, 1982年10月
- 7) 井滝 他；高速実験炉「常陽」制御棒の照射後試験結果概要 (第2報)  
PNC SN 941 83-111, 1983年7月
- 8) 石田 他；制御棒材料検討会報告—第3報—  
PNC N 241 80-15, 1980年8月

Table 1 Design Parameters of MK-I and MK-II Control Rod

	MK-I Control Rod		MK-II Control Rod
	Regulating Rod	Safety Rod	
Maximum B C Pellet Temperature	810°C	810°C	1,440°C
Maximum Clad Temperature			
Inner	436°C	436°C	650°C
Outer	388°C	388°C	610°C
Maximum Burnup	$30 \times 10^{20}$ cap/cc	$50 \times 10^{20}$ cap/cc	$100 \times 10^{20}$ cap/cc
Thermal Cycle per Reactor Operation Cycle			
Normal shut-down	25	25	25
Scram	25	25	25
Nuclear Design Conditions			
Control Rod Worth	$\sim 2.8\% \Delta K/K$	$\sim 5.6\% \Delta K/K$	$\sim 9\% \Delta K/K$
Maximum Reactivity Insertion Rate	0.015% $\Delta K/K/sec.$	0.015% $\Delta K/K/sec.$	0.015% $\Delta K/K/sec.$
Pressure in Gas Plenum of EOL	80 kg/cm <sup>2</sup> G	80 kg/cm <sup>2</sup> G	-

Table 2 Specifications of MK-I and MK-II Control Rod

	MK-I Control Rod		MK-II Control Rod
	Regulating Rod	Safety Rod	
Control Rod			
Overall Length	2,250 mm	2,250 mm	2,250 mm
Outer Diameter of Duct Tube	65.0 mm	64.1 mm	64.7 mm
Thickness of Duct Tube	1.95 mm	1.5 mm	1.5 mm
Material for Duct Tube	316 SS	316 SS	316 SS (20%C.W.)
Total Weight	about 20 kg	about 20 kg	about 19 kg
Number of Elements per Control Rod	7	7	7
Flow rate in CR Duct Tube/ Total Flow Rate	2.2 kg/s/4.4 kg/s	0.65 kg/s/2 kg/s	1.1 kg/s/2.9 kg/s
Outer Diameter at the Flow Induced Vibration Restriction Ball	—	—	70.7
Control Rod Element			
Type	Wrapping Wire Type	Wrapping Wire Type	Wrapping Wire Type
Overall Length	1,888 mm 1,875 mm	1,888 mm 1,875 mm	1,151 mm

Table 2 (continue)

	MK-I Control Rod		MK-II Control Rod
	Regulating Rod	Safety Rod	
Outer Diameter	17.6 mm	17.6 mm	18.1 mm
Thickness of Clad	1.2 mm	1.2 mm	0.8 mm
Material of Clad	316 SS (10% C.W. )	316 SS (10% C.W. )	316 SS (20% C.W.)
Volume of Gas Plenum	119 cm <sup>3</sup>	119 cm <sup>3</sup>	-
Length of Upper Gas Plenum	811 mm	811 mm	-
Length of Lower Gas Plenum	273 mm	273 mm	-
Length of Vent Mechanism	-	-	250 mm
Number of Vent Hole	-	-	3
Vent Hole Diameter	-	-	2 mm
Absorber			
Type	B <sub>4</sub> C Hot-Pressed Pellet	B <sub>4</sub> C Hot-Pressed Pellet	B <sub>4</sub> C Hot-Pressed Pellet
Pellet Diameter	15.0 mm	15.0 mm	16.3 mm
Pellet Length	25.0 mm	25.0 mm	25.0 mm
Overall Length of Absorber	700 mm	700 mm	650 mm
Pellet Density	≥ 2.3 g/cc	≥ 2.3 g/cc	2.14 g/cc
<sup>10</sup> B Enrichment	≥ 91 w/o	≥ 91 w/o	90 w/o

Table 2 (continue)

	MK-I Control Rod		MK-II Control Rod
	Regulating Rod	Safety Rod	
Lower Guide Tube			
Overall Length	2780 mm	2785 mm	2785 mm
Outer/Inner Diameter	75 mm/71 mm	78.3 mm/74.7 mm	78.3 mm/74.7 mm
Material for L.G.T.	SUS316	SUS316	SUS316 (20% C.W.)

Table 3 Reference Table of Parts Number of Control Rod and Its Absorber Pins (MCR 006)

「常時」制御炉心用切替制御棒 製造・検査履歴表																									
制 造 種		ハンドリングヘッド				上部ディフューザ				保 護 管				上部グリッド板											
№	検査年月日	№	素材№	素材検査日	部品検査日	№	素材№	素材検査日	部品検査日	№	素材№	素材検査日	部品検査日	№	素材№	素材検査日	部品検査日								
MCR 006	56.3.18	L-11	RA1-06	54.9.7.	55.11.13	M-11	RA1-08	54.9.7.	55.11.13.	K-07	PB1-13	55.7.4.	55.7.22.	O-18	RA1-09	54.9.7.	55.12.16.								
保 護 管		下 部 グリッド 板				下 部 構 造 物				組立体(上部構造部)		組立体(保護管部)		組立体(制御棒挿入板)											
№	素材№	素材検査日	部品検査日	№	素材№	素材検査日	部品検査日	№	素材№	素材検査日	部品検査日	№	検査年月日	№	検査年月日	№	検査年月日								
J-06	PB1-10	55.7.4.	55.7.22.	P-07	RA1-03	54.9.7.	55.12.16.	N-06	RA1-03	54.9.7.	56.2.12.	AF-07	56.1.29.	AG-06	56.1.13.	AH-06	56.1.29.								
ボ ー ル		ボ ー ル 押 え 金 具				止 め ば ら ー																			
№	素材	素材検査日	部品検査日	№	素材№	素材検査日	部品検査日	№	素材№	素材検査日	部品検査日	№	素材№	素材検査日	部品検査日	№	素材№	素材検査日	部品検査日						
S-31	SB1-06	56.1.29	56.1.29	Q-37	RA1-08	54.9.7.	56.1.29.	R-133	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.	R-141	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.	R-152	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.	R-159	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.		
S-32	SB1-06	56.1.29	56.1.29	Q-38	RA1-08	54.9.7.	56.1.29.	R-135	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.	R-142	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.	R-153	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.	R-160	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.		
S-33	SB1-06	56.1.29	56.1.29	Q-39	RA1-08	54.9.7.	56.1.29.	R-136	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.	R-143	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.	R-154	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.	R-161	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.		
S-34	SB1-06	56.1.29	56.1.29	Q-40	RA1-08	54.9.7.	56.1.29.	R-138	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.	R-145	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.	R-155	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.	R-162	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.		
S-35	SB1-06	56.1.29	56.1.29	Q-41	RA1-08	54.9.7.	56.1.29.	R-139	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.	R-146	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.	R-156	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.	R-153	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.		
S-36	SB1-06	56.1.29	56.1.29	Q-42	RA1-08	54.9.7.	56.1.29.	R-140	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.	R-151	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.	R-157	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.	R-164	RC1-04	55.8.6.	55.10.9.		
制 造 種		上 部 端 栓				保 護 管 (A)				ベ ント 管				中 間 端 栓				保 護 管 (B)				ベント押えスプリング			
№	検査年月日	№	素材№	素材検査日	部品検査日	№	素材№	素材検査日	部品検査日	№	素材№	素材検査日	部品検査日	№	素材№	素材検査日	部品検査日	№	素材№	素材検査日	部品検査日	№	素材№	素材検査日	部品検査日
MCE-36	56.1.13.	C-36	RB1-03	54.9.7.	55.9.24.	A-36	PA1-36	55.6.19.	55.8.21.	G-36	PC1-37	55.7.4.	55.7.22.	D-36	RB1-13	54.9.7.	55.9.4.	B-36	PA1-36	55.6.19.	55.8.21.	H-36	WA1-01	55.7.4.	55.7.4.
MCE-37	56.1.13.	C-37	RB1-03	54.9.7.	55.9.24.	A-37	PA1-37	55.6.19.	55.8.21.	G-35	PC1-50	55.7.4.	55.7.22.	D-35	RB1-14	54.9.7.	55.9.4.	B-37	PA1-37	55.6.19.	55.8.21.	H-37	WA1-01	55.7.4.	55.7.4.
MCE-38	56.1.13.	C-38	RB1-03	54.9.7.	55.9.24.	A-38	PA1-38	55.6.19.	55.8.21.	G-26	PC1-50	55.7.4.	55.7.22.	D-26	RB1-14	54.9.7.	55.9.4.	B-38	PA1-38	55.6.19.	55.8.21.	H-38	WA1-01	55.7.4.	55.7.4.
MCE-39	56.1.13.	C-39	RB1-03	54.9.7.	55.9.24.	A-39	PA1-39	55.6.19.	55.8.21.	G-39	PC1-37	55.7.4.	55.7.22.	D-39	RB1-13	54.9.7.	55.9.4.	B-39	PA1-39	55.6.19.	55.8.21.	H-39	WA1-01	55.7.4.	55.7.4.
MCE-40	56.1.13.	C-40	RB1-03	54.9.7.	55.9.24.	A-40	PA1-40	55.6.19.	55.8.21.	G-37	PC1-50	55.7.4.	55.7.22.	D-37	RB1-14	54.9.7.	55.9.4.	B-40	PA1-40	55.6.19.	55.8.21.	H-40	WA1-01	55.7.4.	55.7.4.
MCE-41	56.1.13.	C-41	RB1-03	54.9.7.	55.9.24.	A-41	PA1-41	55.6.19.	55.8.21.	G-41	PC1-38	55.7.4.	55.7.22.	D-41	RB1-13	54.9.7.	55.9.4.	B-41	PA1-41	55.6.19.	55.8.21.	H-41	WA1-01	55.7.4.	55.7.4.
MCE-42	56.1.13.	C-42	RB1-03	54.9.7.	55.9.24.	A-42	PA1-42	55.6.19.	55.8.21.	G-74	PC1-47	55.7.4.	55.7.22.	D-39	RB1-14	54.9.7.	55.9.4.	B-42	PA1-42	55.6.19.	55.8.21.	H-42	WA1-01	55.7.4.	55.7.4.
スプリング座				B4Cベレット				インシュレータベレット				下 部 端 栓				ワイヤ		ベント管接続		上部端栓接続		中間端栓接続		下部端栓接続	
№	素材№	素材検査日	部品検査日	スタック №	スタック 検査日	№	素材№	素材検査日	部品検査日	№	素材№	素材検査日	部品検査日	№	素材№	検査年月日	№	検査年月日	№	検査年月日	№	検査年月日	№	検査年月日	
F-79	RB1-15	54.9.7.	55.9.4.	06536	55.6.11.	I-71	AL1-01	54.12.24.	54.11.6.	E-36	RB1-09	54.9.7.	55.9.24.	WB1-01	55.7.4.	AA-33	55.10.9.	AB-35	55.11.13.	AC-36	55.11.13.	AD-36	55.12.16.		
F-78	RB1-15	54.9.7.	55.9.4.	06537	55.6.11.	I-37	AL1-01	54.12.24.	54.11.6.	E-37	RB1-09	54.9.7.	55.9.24.	WB1-01	55.7.4.	AA-72	55.10.9.	AB-36	55.11.13.	AC-37	55.11.13.	AD-37	55.12.16.		
F-38	RB1-15	54.9.7.	55.9.4.	06538	55.6.11.	I-38	AL1-01	54.12.24.	54.11.6.	E-38	RB1-09	54.9.7.	55.9.24.	WB1-01	55.7.4.	AA-75	55.10.9.	AB-37	55.11.13.	AC-38	55.11.13.	AD-38	55.12.16.		
F-39	RB1-15	54.9.7.	55.9.4.	06539	55.6.11.	I-39	AL1-01	54.12.24.	54.11.6.	E-39	RB1-09	54.9.7.	55.9.24.	WB1-01	55.7.4.	AA-34	55.10.9.	AB-38	55.11.13.	AC-39	55.11.13.	AD-39	55.12.16.		
F-40	RB1-15	54.9.7.	55.9.4.	06540	55.6.11.	I-40	AL1-01	54.12.24.	54.11.6.	E-40	RB1-09	54.9.7.	55.9.24.	WB1-01	55.7.4.	AA-76	55.10.9.	AB-39	55.11.13.	AC-40	55.11.13.	AD-40	55.12.16.		
F-77	RB1-15	54.9.7.	55.9.4.	06541	55.6.11.	I-41	AL1-01	54.12.24.	54.11.6.	E-41	RB1-09	54.9.7.	55.9.24.	WB1-01	55.7.4.	AA-35	55.10.9.	AB-40	55.11.13.	AC-41	55.11.13.	AD-41	55.12.16.		
F-42	RB1-15	54.9.7.	55.9.4.	06542	55.6.11.	I-42	AL1-01	54.12.24.	54.11.6.	E-42	RB1-09	54.9.7.	55.9.24.	WB1-01	55.7.4.	AA-77	55.10.9.	AB-41	55.11.13.	AC-42	55.11.13.	AD-42	55.12.16.		

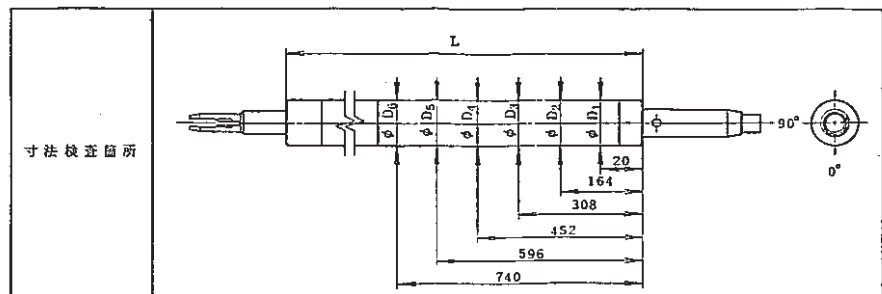
PNC-TN9410 85-143

Table 4 Reference Table of Parts Number of Control Rod and Its Absorber Pins (MCR002)

「常陸」照射炉心用初装荷副管棒 製造・検査履歴表																									
副管棒		ハンドリングヘッド				上部ディフューザ				副管管				上部グリッド板											
No	検査年月日	No	素材No	素材検査日	部品検査日	No	素材No	素材検査日	部品検査日	No	素材No	素材検査日	部品検査日	No	素材No	素材検査日	部品検査日								
MCR 002	56.3.18.	L-05	RA1-05	54.9.7.	55.11.13	M-05	RA1-07	54.9.7.	55.11.13.	K-02	PB1-03	55.7.4.	55.7.22.	O-03	RA1-01	54.9.7.	55.12.16.								
保 護 管		下部グリッド板				下部構造物				組立体(上部構造部)		組立体(保層部)		組立体(副管棒挿入部)											
No	素材No	素材検査日	部品検査日	No	素材No	素材検査日	部品検査日	No	素材No	素材検査日	部品検査日	No	検査年月日	No	検査年月日	No	検査年月日								
J-02	PB1-04	55.7.4.	55.7.22.	P-02	RA1-02	55.9.7.	55.12.16.	N-02	RA1-01	54.9.7.	56.2.12.	AF-02	56.1.29.	AG-02	56.1.13	AH-02	56.1.29.								
水 - ル		水 - ル 押 え 金 具				止 め 金 具																			
No	素材No	素材検査日	部品検査日	No	素材No	素材検査日	部品検査日	No	素材No	素材検査日	部品検査日	No	素材No	素材検査日	部品検査日	No	素材No	素材検査日	部品検査日						
S-07	SB1-02	56.1.29	56.1.29	Q-70	RA1-09	54.9.7.	56.1.29.	R-027	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.	R-033	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.	R-040	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.	R-047	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.		
S-08	SB1-02	56.1.29	56.1.29	Q-77	RA1-09	54.9.7.	56.1.29.	R-028	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.	R-032	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.	R-041	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.	R-048	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.		
S-09	SB1-02	56.1.29	56.1.29	Q-10	RA1-08	54.9.7.	56.1.29.	R-029	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.	R-035	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.	R-042	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.	R-049	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.		
S-10	SB1-02	56.1.29	56.1.29	Q-11	RA1-08	54.9.7.	56.1.29.	R-030	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.	R-036	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.	R-043	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.	R-051	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.		
S-11	SB1-02	56.1.29	56.1.29	Q-77	RA1-09	54.9.7.	56.1.29.	R-031	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.	R-037	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.	R-045	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.	R-052	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.		
S-12	SB1-02	56.1.29	56.1.29	Q-72	RA1-09	54.9.7.	56.1.29.	R-032	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.	R-039	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.	R-046	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.	R-053	RC1-03	55.8.6.	55.10.9.		
制 御 要 素		上 部 端 栓				複 復 管 (A)				ペ ン ト 管				中 間 端 栓				複 復 管 (B)				ベ レ ッ ト 押 え ス プ リ ン グ			
No	検査年月日	No	素材No	素材検査日	部品検査日	No	素材No	素材検査日	部品検査日	No	素材No	素材検査日	部品検査日	No	素材No	素材検査日	部品検査日	No	素材No	素材検査日	部品検査日	No	素材No	素材検査日	部品検査日
NCE-08	56.1.13.	C-08	RB1-01	54.9.7.	55.9.24.	A-08	PA1-02	55.6.19.	55.8.21.	G-08	PCI-22	55.7.4.	55.7.22.	D-08	RB1-12	54.9.7.	55.9.4.	B-08	PA1-02	55.6.19.	55.8.21.	H-08	WA1-01	55.7.4.	55.7.4.
MCE-09	56.1.13.	C-09	RB1-01	54.9.7.	55.9.24.	A-09	PA1-02	55.6.19.	55.8.21.	G-09	PCI-22	55.7.4.	55.7.22.	D-09	RB1-12	54.9.7.	55.9.4.	B-09	PA1-02	55.6.19.	55.8.21.	H-09	WA1-01	55.7.4.	55.7.4.
NCE-10	56.1.13.	C-51	RB1-04	54.9.7.	55.9.24.	A-10	PA1-10	55.6.19.	55.8.21.	G-10	PCI-27	55.7.4.	55.7.22.	D-10	RB1-12	54.9.7.	55.9.4.	B-10	PA1-10	55.6.19.	55.8.21.	H-10	WA1-01	55.7.4.	55.7.4.
MCE-11	56.1.13.	C-11	RB1-01	54.9.7.	55.9.24.	A-11	PA1-11	55.6.19.	55.8.21.	G-11	PCI-27	55.7.4.	55.7.22.	D-11	RB1-12	54.9.7.	55.9.4.	B-11	PA1-11	55.6.19.	55.8.21.	H-11	WA1-01	55.7.4.	55.7.4.
NCE-12	56.1.13.	C-12	RB1-01	54.9.7.	55.9.24.	A-12	PA1-12	55.6.19.	55.8.21.	G-12	PCI-27	55.7.4.	55.7.22.	D-12	RB1-12	54.9.7.	55.9.4.	B-12	PA1-12	55.6.19.	55.8.21.	H-12	WA1-01	55.7.4.	55.7.4.
MCE-13	56.1.13.	C-13	RB1-01	54.9.7.	55.9.24.	A-13	PA1-13	55.6.19.	55.8.21.	G-13	PCI-33	55.7.4.	55.7.22.	D-13	RB1-12	54.9.7.	55.9.4.	B-13	PA1-13	55.6.19.	55.8.21.	H-13	WA1-01	55.7.4.	55.7.4.
NCE-14	56.1.13.	C-14	RB1-01	54.9.7.	55.9.24.	A-14	PA1-14	55.6.19.	55.8.21.	G-14	PCI-37	55.7.4.	55.7.22.	D-14	RB1-12	54.9.7.	55.9.4.	B-14	PA1-14	55.6.19.	55.8.21.	H-14	WA1-01	55.7.4.	55.7.4.
ス プ リ ン グ 座		B4Cベレット		インシュレータベレット				下 部 端 栓				ワ イ ヤ		ペ ン ト 管 端 栓		上 部 端 栓 端 栓		中 間 端 栓 端 栓		下 部 端 栓 端 栓					
No	素材No	素材検査日	部品検査日	スタック No	スタック 検査日	No	素材No	素材検査日	部品検査日	No	素材No	素材検査日	部品検査日	No	検査年月日	No	検査年月日	No	検査年月日	No	検査年月日	No	検査年月日		
F-08	RB1-15	54.9.7.	55.9.4.	02808	55.6.11.	I-08	AL1-01	54.12.24.	54.11.6.	E-08	RB1-07	54.9.7.	55.9.24.	WB1-01	55.7.4.	AA-07	55.10.9.	AB-08	55.11.13.	AC-08	55.11.13.	AD-08	55.12.16.		
F-09	RB1-15	54.9.7.	55.9.4.	02809	55.6.11.	I-09	AL1-01	54.12.24.	54.11.6.	E-09	RB1-12	54.9.7.	55.9.24.	WB1-01	55.7.4.	AA-08	55.10.9.	AB-09	55.11.13.	AC-09	55.11.13.	AD-09	55.12.16.		
F-10	RB1-15	54.9.7.	55.9.4.	02810	55.6.11.	I-10	AL1-01	54.12.24.	54.11.6.	E-10	RB1-07	54.9.7.	55.9.24.	WB1-01	55.7.4.	AA-09	55.10.9.	AB-10	55.11.13.	AC-10	55.11.13.	AD-10	55.12.16.		
F-11	RB1-15	54.9.7.	55.9.4.	02811	55.6.11.	I-11	AL1-01	54.12.24.	54.11.6.	E-11	RB1-07	54.9.7.	55.9.24.	WB1-01	55.7.4.	AA-10	55.10.9.	AB-11	55.11.13.	AC-11	55.11.13.	AD-11	55.12.16.		
F-12	RB1-15	54.9.7.	55.9.4.	02812	55.6.11.	I-12	AL1-01	54.12.24.	54.11.6.	E-12	RB1-07	54.9.7.	55.9.24.	WB1-01	55.7.4.	AA-11	55.10.9.	AB-12	55.11.13.	AC-12	55.11.13.	AD-12	55.12.16.		
F-13	RB1-15	54.9.7.	55.9.4.	02813	55.6.11.	I-13	AL1-01	54.12.24.	54.11.6.	E-13	RB1-07	54.9.7.	55.9.24.	WB1-01	55.7.4.	AA-12	55.10.9.	AB-13	55.11.13.	AC-13	55.11.13.	AD-13	55.12.16.		
F-14	RB1-15	54.9.7.	55.9.4.	02814	55.6.11.	I-14	AL1-01	54.12.24.	54.11.6.	E-14	RB1-07	54.9.7.	55.9.24.	WB1-01	55.7.4.	AA-13	55.10.9.	AB-14	55.11.13.	AC-14	55.11.13.	AD-14	55.12.16.		

Table 5 Inspection Data of Absorber Pin (MCR 006)

PNC-TN9410 85-143



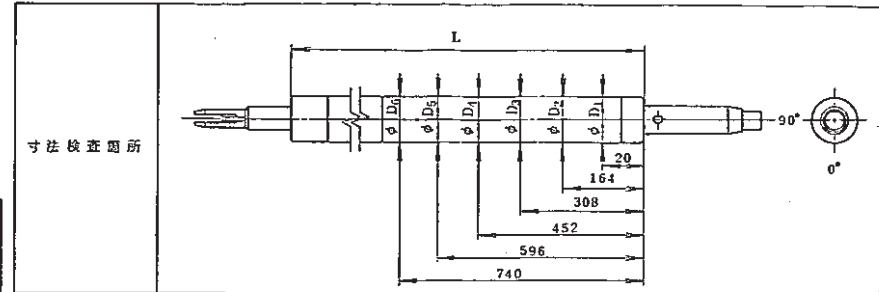
製造履歴	製造者	三菱原子力工業株式会社	仕様書番号	C-5066
	製造年月日	昭和55年12月10日	製造番号	MCR-420

検査項目 品質・規格 製品番号	健全性試験										寸法検査						判定					
	溶接部外観検査				溶接部X線透過試験			充填部品確認X線透過試験			溶接ビード部寸法検査		外径									
	ビード部分に汚れがなく清浄であること	着色が一様で有害な着色がないこと	アンダーカットがないこと	クラック、ピンホール等有害な欠陥がないこと	フィルム№	検出されなかったこと	0.4mmを超える黒点がないこと	フィルム№	充填部品の位置が正しいこと	ペント管に異常がないこと	ペント管長が250mmであること	溶接部ビード部は均一であること	ビード部外径 ≤ 18.3mm	参考値 (18.10mm)				L mm 参考値 (1051)				
D1 90°	D2 90°	D3 90°	D4 90°	D5 90°	D6 90°																	
MCE-36	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	J-W CE-06	GOOD	GOOD	J-I CE-09 J-F 09.AC06	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	18.10	18.08	18.08	18.08	18.08	18.08	18.08	1050.45	GOOD
MCE-37	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	J-W CE-06	GOOD	GOOD	J-I CE-10 J-F 10.AC06	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	18.07	18.08	18.09	18.09	18.08	18.09	18.09	1050.50	GOOD
MCE-38	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	J-W CE-06	GOOD	GOOD	J-I CE-10 J-F 10.AC06	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	18.10	18.08	18.09	18.08	18.08	18.08	18.09	1050.40	GOOD
MCE-39	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	J-W CE-06	GOOD	GOOD	J-I CE-10 J-F 10.AC06	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	18.10	18.08	18.08	18.08	18.08	18.08	18.09	1050.45	GOOD
MCE-40	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	J-W CE-06	GOOD	GOOD	J-I CE-10 J-F 10.AC06	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	18.10	18.09	18.08	18.08	18.08	18.08	18.09	1050.45	GOOD
MCE-41	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	J-W CE-06	GOOD	GOOD	J-I CE-11 J-F 11.AC06	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	18.10	18.08	18.08	18.08	18.08	18.08	18.09	1050.60	GOOD
MCE-42	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	J-W CE-06	GOOD	GOOD	J-I CE-11 J-F 11.AC06	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	18.10	18.09	18.09	18.08	18.08	18.08	18.09	1050.35	GOOD



Table 6 Inspection Data of Absorber Pin (MCR002)

製造履歴	製造者	三菱原子力工業株式会社	仕様書番号	C-5066
	製造年月日	昭和55年12月12日	製造番号	MCR-420



検査項目	健全性試験											寸法検査						判定				
	溶接部外観検査				溶接部X線透過試験			充填部品質試験X線透過試験				溶接部ビード部寸法検査		外径								
	品質・規格	ビード部汚れ落ち	着色が著しいこと	アンダーカットがないこと	クラック、ピンホ、等がないこと	7μm% 検出されないこと	0.4mmを超える黒点・白点がないこと	7μm% 充填部品の位置が適正であること	ベントに異常がないこと	ベント長が250mmであること	溶接部ビード部は均一であること	ビード部外径 ≤ 18.3mm	参考値 (18.10mm)						L mm 参考値 (1051)			
													D1 0°/90°	D2 0°/90°	D3 0°/90°	D4 0°/90°	D5 0°/90°			D6 0°/90°		
製品番号					JW CE-02	GOOD	GOOD	JT CE-02 03.AC02	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD			
MCE-08	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	JW CE-02	GOOD	GOOD	JT CE-02 03.AC02	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	18.11	18.08	18.09	18.09	18.08	18.09	18.10	1050.45	GOOD
MCE-09	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	JW CE-02	GOOD	GOOD	JT CE-03 03.AC02	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	18.09	18.08	18.08	18.08	18.09	18.09	18.09	1050.45	GOOD
MCE-10	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	JW CE-02	GOOD	GOOD	JT CE-03 03.AC02	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	18.09	18.08	18.08	18.09	18.09	18.09	18.09	1050.35	GOOD
MCE-11	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	JW CE-02	GOOD	GOOD	JT CE-03 03.AC02	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	18.07	18.09	18.09	18.09	18.08	18.09	18.09	1050.40	GOOD
MCE-12	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	JW CE-02	GOOD	GOOD	JT CE-03 03.AC02	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	18.08	18.09	18.08	18.08	18.09	18.09	18.09	1050.50	GOOD
MCE-13	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	JW CE-02	GOOD	GOOD	JT CE-04 04.AC02	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	18.09	18.08	18.08	18.09	18.09	18.09	18.09	1050.45	GOOD
MCE-14	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	JW CE-02	GOOD	GOOD	JT CE-04 04.AC02	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	18.07	18.09	18.09	18.08	18.08	18.10	18.09	1050.40	GOOD

Table 7 Table of B<sub>4</sub>C Pellet Number loaded into Absorber Pin (MCR 006)

「常陽」照射炉心用初装荷制御棒 製造番号及び立会検査日一覧表															
制 御 棒		B <sub>4</sub> C スタック		B <sub>4</sub> C ペ レ ッ ト											
No	制御要素No	No	検査年月日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
MCR 006	MCE- 36	06S36	S.55.6.11.	M32077	M32078	M32079	M32080	M32082	M32083	M32084	M32085	M32086	M32087	M32088	
	MCE- 37	06S37	S.55.6.11.	M32108	M32110	M32111	M32112	M32113	M32114	M32115	M32116	M32117	M32118	M32119	
	MCE- 38	06S38	S.55.6.11.	M32011	M33014	M33015	M33016	M33018	M33019	M33020	M33021	M33022	M33023	M33024	
	MCE- 39	06S39	S.55.6.11.	M33041	M33042	M33043	M33044	M33045	M33046	M33047	M33048	M33049	M33050	M33051	
	MCE- 40	06S40	S.55.6.11.	M33071	M33072	M33073	M33074	M33075	M33076	M33077	M33078	M33079	M33080	M33081	
	MCE- 41	06S41	S.55.6.11.	M33098	M33099	M33100	M33101	M33102	M33103	M33104	M33105	M33106	M33107	M33108	
	MCE- 42	06S42	S.55.6.11.	M53113	M53114	M53115	M53116	M53119	M53120	M53121	M53122	M54001	M54002	M54003	
B <sub>4</sub> C ペ レ ッ ト															
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	検査年月日
M32089	M32090	M32091	M32093	M32094	M32095	M32097	M32098	M32099	M32100	M32101	M32103	M32105	M32106	M32107	S.55.6.11.
M32120	M32122	M33001	M33002	M33003	M33004	M33005	M33006	M33007	M33008	M33009	M33010	M33011	M33012	M33013	S.55.6.11.
M33025	M33026	M33027	M33028	M33029	M33030	M33031	M33032	M33033	M33034	M33035	M33036	M33038	M33039	M33040	S.55.6.11.
M33052	M33053	M33054	M33055	M33056	M33057	M33058	M33059	M33060	M33062	M33063	M33064	M33066	M33067	M33068	S.55.6.11.
M33082	M33083	M33084	M33085	M33087	M33088	M33089	M33090	M33091	M33092	M33093	M33094	M33095	M33096	M33097	S.55.6.11.
M33109	M33110	M33111	M33112	M33113	M33114	M33115	M33116	M33117	M33118	M33119	M33120	M33069	M33122	M54001	S.55.6.11.
M54004	M54005	M54006	M54007	M54008	M54010	M54011	M54012	M54013	M54014	M54015	M54016	M54017	M54018	M54019	S.55.6.11.

Table 8 Table of B<sub>4</sub>C Pellet Number loaded into Absorber Pin (MCR002)

「常陽」照射炉心用初装荷制御棒 製造番号及び立会検査日一覧表															
制 御 棒		B <sub>4</sub> C スタック		B <sub>4</sub> C ペ レ ッ ト											
No.	制御要素No.	No.	検査年月日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
MCR 002	MCE- 08	02S08	S.55.6.11.	M33070	M13014	M13015	M13017	M13019	M13020	M13021	M13023	M13024	M13025	M13026	
	MCE- 09	02S09	S.55.6.11	M13048	M13049	M13050	M13051	M13053	M13054	M13056	M13057	M13059	M13060	M13061	
	MCE- 10	02S10	S.55.6.11.	M13081	M13082	M13083	M13084	M13085	M13086	M13088	M13089	M13090	M13091	M13092	
	MCE- 11	02S11	S.55.6.11.	M13109	M13110	M13111	M13112	M13113	M13115	M13117	M13118	M13119	M13120	M13121	
	MCE- 12	02S12	S.55.6.11	M14017	M14018	M14019	M14020	M14021	M14022	M14023	M14024	M14025	M14026	M14027	
	MCE- 13	02S13	S.55.6.11.	M31085	M14046	M14047	M14048	M14049	M14050	M14051	M14052	M14053	M14054	M14055	
	MCE- 14	02S14	S.55.6.11.	M21015	M21016	M21017	M21020	M21021	M21022	M21023	M21024	M21025	M21026	M21027	
B <sub>4</sub> C ペ レ ッ ト															
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	検査年月日
M13027	M13028	M13030	M13031	M13033	M13034	M13036	M13037	M13040	M13041	M13042	M13044	M13045	M13046	M13047	S.55.6.11
M13062	M13063	M13064	M13066	M13067	M13070	M13071	M13072	M13073	M13074	M13075	M13076	M13078	M13079	M13080	S.55.6.11.
M13093	M13094	M13095	M13096	M13097	M13098	M13099	M13100	M13101	M13102	M13103	M13104	M13105	M13107	M13108	S.55.6.11.
M13122	M14001	M14002	M14003	M14004	M14005	M14006	M14008	M14009	M14010	M14011	M14012	M14014	M14015	M14016	S.55.6.11.
M14028	M14029	M14030	M14031	M14032	M14033	M14034	M14035	M14036	M14037	M14038	M14039	M14041	M14042	M14044	S.55.6.11.
M14056	M14057	M14058	M14059	M21002	M21003	M21004	M21005	M21006	M21007	M21009	M21010	M21011	M21012	M21013	S.55.6.11.
M21028	M21029	M21032	M21034	M21035	M21037	M21039	M21040	M21041	M21042	M21043	M21044	M21045	M21046	M21047	S.55.6.11.

Table 9 Irradiation Condition of Control Rod (MCR 006)

サ イ ク ル			0	1	2	
装 荷 位 置			3 F 3			
燃 焼 度	ポ イ ン ト 最 大		$\times 10^{20}$ cap/cc	7.5	20.0	35.6
	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>	35.3	99.5	166
		集 合 体 平 均	$\times 10^{20}$ n/cm <sup>2</sup>			
	Total	ポ イ ン ト 最 大	$\times 10^{20}$ n/cm <sup>2</sup>	46.7	130	217
		集 合 体 平 均	$\times 10^{20}$ n/cm <sup>2</sup>			
線 出 力	B O C	ポ イ ン ト 最 大	W/cm <sup>2</sup>	-	-	-
		集 合 体 平 均	W/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	E O C	ポ イ ン ト 最 大	W/cm <sup>2</sup>	-	-	-
		集 合 体 平 均	W/cm <sup>2</sup>	-	-	-
被 覆 管 最 高 温 度	B O C		°C	-	-	-
	E O C		°C	-	-	-
燃 料 最 高 温 度	B O C		°C	-	-	-
	E O C		°C	-	-	-
集 合 体 出 口 温 度	B O C		°C	383	388	389
	E O C		°C	382	386	386
ピ ー キ ン グ 係 数	B O C	径 方 向	-			
		軸 方 向	-	3.617	3.241	3.218
	E O C	径 方 向	-			
		軸 方 向	-	3.326	3.356	3.328
冷 却 材 流 量	B O C		kg/sec	3.62	2.87	2.85
	E O C		kg/sec	3.62	2.87	2.85

Table 10 Irradiation Condition of Control Rod (MCR 002)

サ イ ク ル			0	1	2	3	
装 荷 位 置			3 B 3				
燃 焼 度	ポ イ ン ト 最 大		$\times 10^{20}$ cap/cc	7.5	20.0	35.6	45.1
	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>	35.4	98.3	219	267
		集 合 体 平 均	$\times 10^{20}$ n/cm <sup>2</sup>	8.98	27.3	57.9	59.0
	Total	ポ イ ン ト 最 大	$\times 10^{20}$ n/cm <sup>2</sup>	47.6	129	289	287
		集 合 体 平 均	$\times 10^{20}$ n/cm <sup>2</sup>	12.6	37.4	79.2	81.4
線 出 力	B O C	ポ イ ン ト 最 大	W/cm	-	-	-	-
		集 合 体 平 均	W/cm	-	-	-	-
	E O C	ポ イ ン ト 最 大	W/cm	-	-	-	-
		集 合 体 平 均	W/cm	-	-	-	-
被 覆 管 最 高 温 度	B O C		°C	-	-	-	-
	E O C		°C	-	-	-	-
燃 料 最 高 温 度	B O C		°C	-	-	-	-
	E O C		°C	-	-	-	-
集 合 体 出 口 温 度	B O C		°C	383	388	389	387
	E O C		°C	382	386	386	384
ピ ー キ ン グ 係 数	B O C	径 方 向	-				
		軸 方 向	-	3.655	3.279	3.252	3.354
	E O C	径 方 向	-				
		軸 方 向	-	3.333	3.364	3.360	4.619
冷 却 材 流 量	B O C		kg/sec	0.36	0.29	0.29	0.28
	E O C		kg/sec	0.36	0.29	0.29	0.28

Table 11 Results of B<sub>4</sub>C Stack Length Measurement

MCR 006

Pin No	照射後 下部インシュ レータペレット 長 (mm)	B <sub>4</sub> C スタック長 (mm)		
		照射前 (FAB)	照射後 (PIE)	変化量 (PIE-FAB)
MCE-36 (6901)	21.0	650.3	651.9	+ 1.6
MCE-37 (6902)	21.5	649.4	651.4	+ 2.0
MCE-38 (6903)	21.3	650.5	652.5	+ 2.0
MCE-39 (6904)	21.0	650.3	652.5	+ 2.2
MCE-40 (6905)	21.4	651.0	653.0	+ 2.0
MCE-41 (6906)	21.4	652.0	653.9	+ 1.9
MCE-42 (6907)	21.1	652.2	653.8	+ 1.6

MCR 002

Pin No	照射後 下部インシュ レータペレット 長 (mm)	B <sub>4</sub> C スタック長 (mm)		
		照射前 (FAB)	照射後 (PIE)	変化量 (PIE-FAB)
MCE-08 (7901)	20.3	651.2	653.8	+ 2.7
MCE-09 (7902)	20.2	650.6	653.0	+ 2.8
MCE-10 (7903)	20.3	651.8	654.6	+ 2.9
MCE-11 (7904)	20.7	650.8	653.9	+ 2.8
MCE-12 (7905)	20.7	651.4	654.3	+ 3.1
MCE-13 (7906)	20.9	650.7	653.5	+ 2.5
MCE-14 (7907)	20.5	649.3	651.6	+ 2.3

Table 12 Results of Absorber Pin Weighing

MCR 006

Pin No.	吸収ピン重量 (g)		
	照射前 (FAB)	照射後 (PIE)	変化量 (PIE-FAB)
MCE-36 (6901)	911.0	911.4	+ 0.4
MCE-37 (6902)	911.0	911.7	+ 0.7
MCE-38 (6903)	911.5	912.2	+ 0.7
MCE-39 (6904)	909.5	910.3	+ 0.8
MCE-40 (6905)	912.5	913.1	+ 0.6
MCE-41 (6906)	911.5	912.3	+ 0.8
MCE-42 (6907)	912.5	913.4	+ 0.9

MCR 002

Pin No.	吸収ピン重量 (g)		
	照射前 (FAB)	照射後 (PIE)	変化量 (PIE-FAB)
MCE-08 (7901)	914.0	915.0	+ 1.0
MCE-09 (7902)	911.5	912.5	+ 1.0
MCE-10 (7903)	912.0	913.0	+ 1.0
MCE-11 (7904)	911.5	912.7	+ 1.2
MCE-12 (7905)	915.0	916.1	+ 1.1
MCE-13 (7906)	913.5	914.7	+ 1.2
MCE-14 (7907)	914.0	914.2	+ 0.2

Table 13 Outer Dia. Change of Cladding in the Lower Region of the B<sub>4</sub>C Stack

MCR 006

ピンNo (FAB) (PIB)	軸方向位置 (DFPB;mm)	PIE 外径値 (mm) /測定角度 (dog)	FAB外径値(mm) 0° 90° (at 75 mm)	FAB 外径値(mm) 0° 90° (at 219 mm)	PIE平均外径 $\frac{D_1 + D_2}{2}$ (mm)	FAB平均外径(at 75 mm) $\frac{D_{0^\circ} + D_{90^\circ}}{2}$ (mm)	PIE平均外径-FAB平均外径( $\mu$ m) ( $\Delta D/D$ (%))
MCE 36 (6901)	94	D <sub>1</sub> 18.137 ( $\begin{smallmatrix} 165^\circ \\ -345^\circ \end{smallmatrix}$ ) D <sub>2</sub> 18.063 ( $\begin{smallmatrix} 75^\circ \\ -255^\circ \end{smallmatrix}$ )	18.07 18.10	18.08 18.08	18.100	18.085	15 (0.08)
MCE 37 (6902)	94	D <sub>1</sub> 18.132 ( $\begin{smallmatrix} 10^\circ \\ -190^\circ \end{smallmatrix}$ ) D <sub>2</sub> 18.066 ( $\begin{smallmatrix} 100^\circ \\ -280^\circ \end{smallmatrix}$ )	18.10 18.07	18.09 18.08	18.099	18.085	14 (0.08)
MCE 38 (6903)	94	D <sub>1</sub> 18.063 ( $\begin{smallmatrix} 5^\circ \\ -185^\circ \end{smallmatrix}$ ) D <sub>2</sub> 18.119 ( $\begin{smallmatrix} 95^\circ \\ -275^\circ \end{smallmatrix}$ )	18.08 18.10	18.09 18.08	18.091	18.090	1 (0.01)
MCE 39 (6904)	134	D <sub>1</sub> 18.149 ( $\begin{smallmatrix} 175^\circ \\ -355^\circ \end{smallmatrix}$ ) D <sub>2</sub> 18.035 ( $\begin{smallmatrix} 85^\circ \\ -265^\circ \end{smallmatrix}$ )	18.07 18.10	18.08 18.08	18.092	18.085	7 (0.04)
MCE 40 (6905)	94	D <sub>1</sub> 18.084 ( $\begin{smallmatrix} 150^\circ \\ -330^\circ \end{smallmatrix}$ ) D <sub>2</sub> 18.110 ( $\begin{smallmatrix} 60^\circ \\ -240^\circ \end{smallmatrix}$ )	18.08 18.10	18.08 18.09	18.097	18.090	7 (0.04)
MCE 41 (6906)	94	D <sub>1</sub> 18.103 ( $\begin{smallmatrix} 140^\circ \\ -320^\circ \end{smallmatrix}$ ) D <sub>2</sub> 18.081 ( $\begin{smallmatrix} 50^\circ \\ -230^\circ \end{smallmatrix}$ )	18.08 18.10	18.09 18.08	18.092	18.090	2 (0.01)
MCE 42 (6907)	114	D <sub>1</sub> 18.101 ( $\begin{smallmatrix} 175^\circ \\ -355^\circ \end{smallmatrix}$ ) D <sub>2</sub> 18.079 ( $\begin{smallmatrix} 85^\circ \\ -265^\circ \end{smallmatrix}$ )	18.08 18.10	18.09 18.09	18.090	18.090	0 (0.00)

MCR 002

MCE 10 (7903)	114	D <sub>1</sub> 18.132 ( $\begin{smallmatrix} 0^\circ \\ -180^\circ \end{smallmatrix}$ ) D <sub>2</sub> 18.105 ( $\begin{smallmatrix} 90^\circ \\ -270^\circ \end{smallmatrix}$ )	18.08 18.09	18.09 18.08	18.119	18.085	34 (0.19)
MCE 13 (7906)	114	D <sub>1</sub> 18.098 ( $\begin{smallmatrix} 150^\circ \\ -330^\circ \end{smallmatrix}$ ) D <sub>2</sub> 18.129 ( $\begin{smallmatrix} 60^\circ \\ -240^\circ \end{smallmatrix}$ )	18.08 18.09	18.09 18.08	18.114	18.085	29 (0.16)
MCE 14 (7907)	104	D <sub>1</sub> 18.115 ( $\begin{smallmatrix} 145^\circ \\ -325^\circ \end{smallmatrix}$ ) D <sub>2</sub> 18.117 ( $\begin{smallmatrix} 55^\circ \\ -235^\circ \end{smallmatrix}$ )	18.10 18.07	18.09 18.09	18.116	18.085	31 (0.17)

Table. 14 Evaluation of B<sub>4</sub>C Pellet Swelling

Pin No	被覆管平均外径 変化量 (mm)	被覆管下端部 平均内径 (mm)	スタック下端 B <sub>4</sub> Cペレット 製造時平均外径 (mm)	製造時被覆管内 径-ペレット外径差 (mm)	B <sub>4</sub> Cペレット スエリング ( $\Delta D/D$ ;%)
MCE-10 (7903)	0.034	16.51	16.33	0.18	1.31
MCE-13 (7906)	0.029	16.51	16.33	0.18	1.28
MCE-14 (7907)	0.031	16.50	16.32	0.18	1.29

B<sub>4</sub>Cペレットスエリング計算式；

[ B<sub>4</sub>Cペレットスエリング (%) ]

$$= \frac{[ \text{被覆管平均外径変化量} ] + [ \text{製造時被覆管内径-ペレット外径差} ]}{[ \text{B}_4\text{Cペレット製造時平均外径} ]} \times 100$$



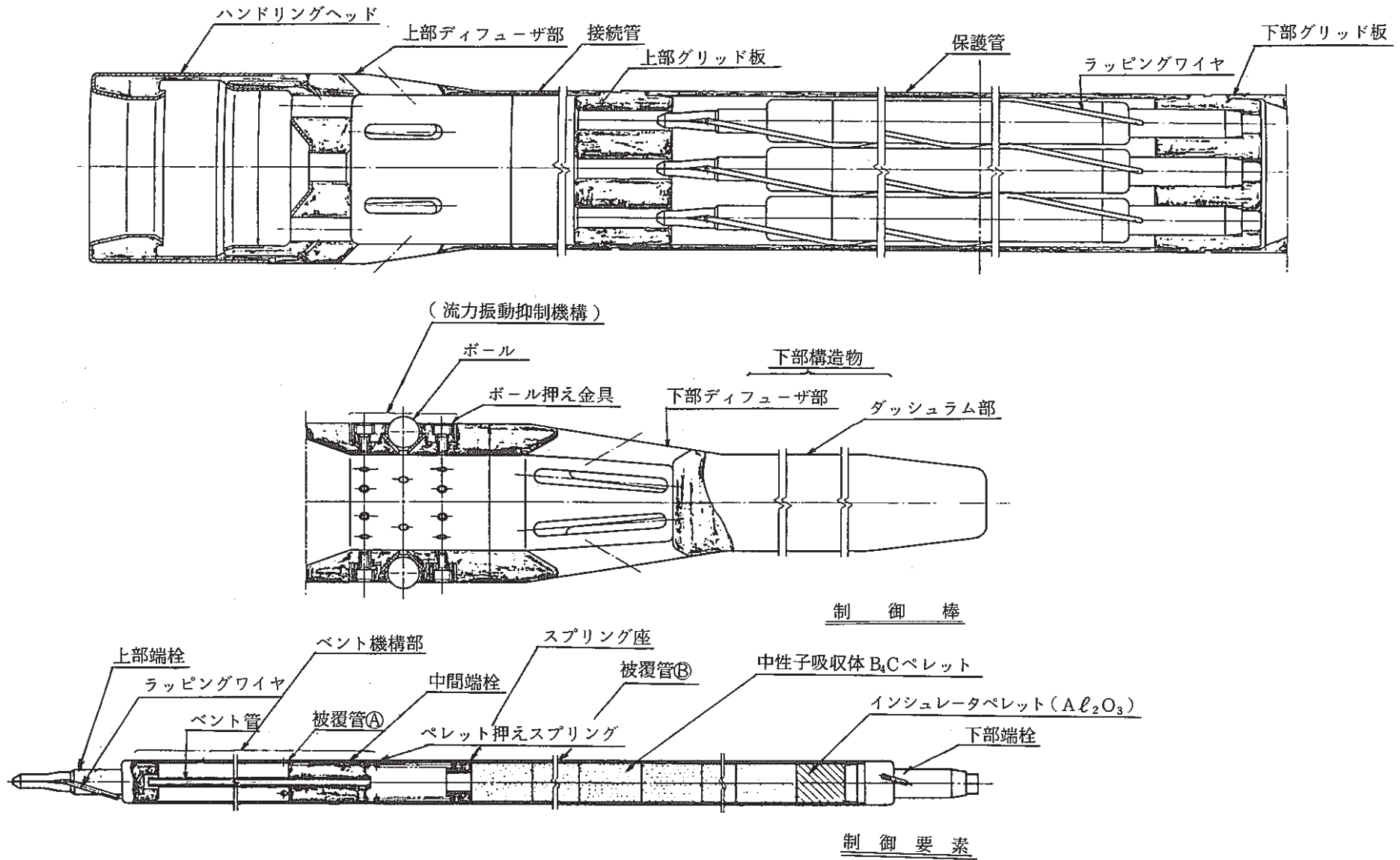
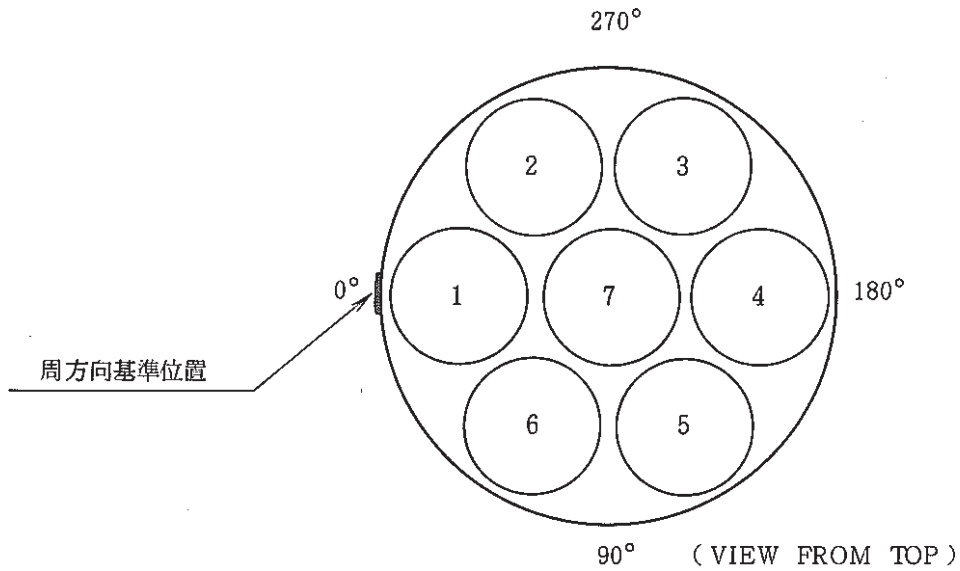


Fig.1 Schematic Drawings of MK-II Control Rod and its Absorber Pin



制御棒内 位置No. 制御棒No.	制 御 要 素 番 号						
	1	2	3	4	5	6	7
MCR 006	MCE-36 (6901)	MCE-37 (6902)	MCE-38 (6903)	MCE-39 (6904)	MCE-40 (6905)	MCE-41 (6906)	MCE-42 (6907)
MCR 002	MCE-08 (7901)	MCE-09 (7902)	MCE-10 (7903)	MCE-11 (7904)	MCE-12 (7905)	MCE-13 (7906)	MCE-14 (7907)

( ) : PIE時ピン識別番号

Fig. 2 Pin Location in Control Rod and Pin Number Identification

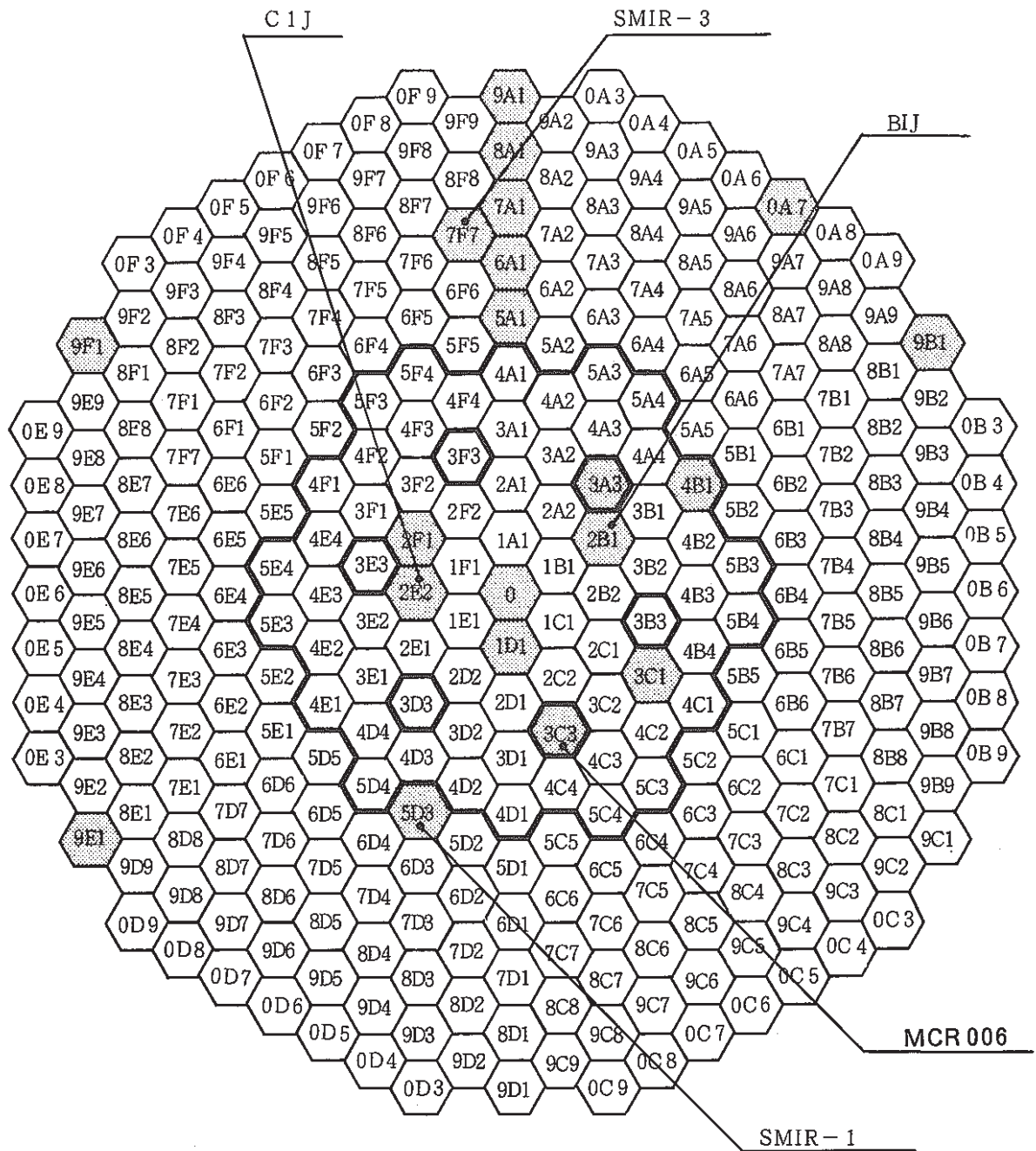


Fig. 3 In-reactor Location of Control Rod at 100 MW - 2nd cycle  
( MCR 006 )

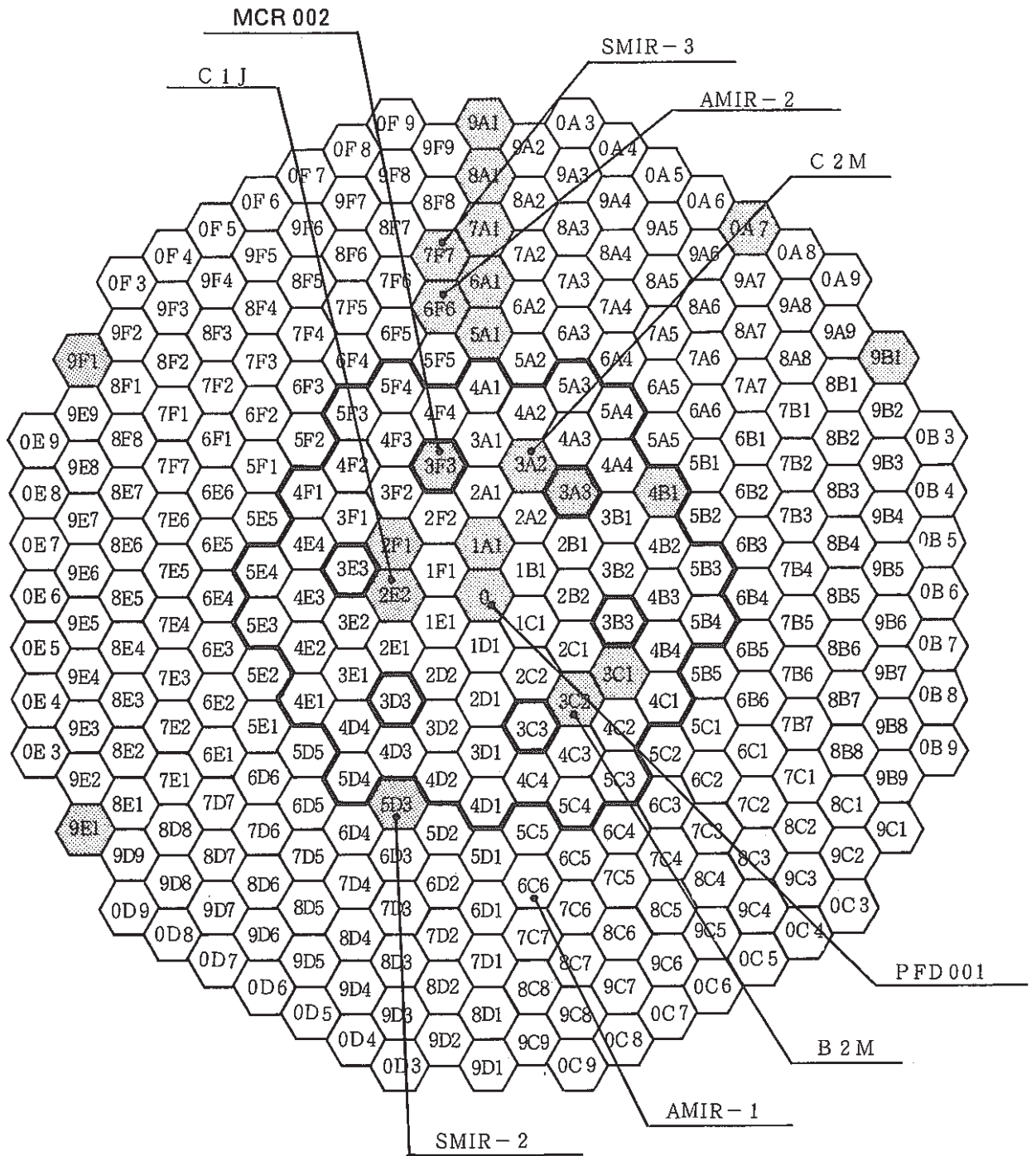


Fig.4 In-reactor Location of Control Rod at 100MW-3rd cycle  
( MCR 002 )

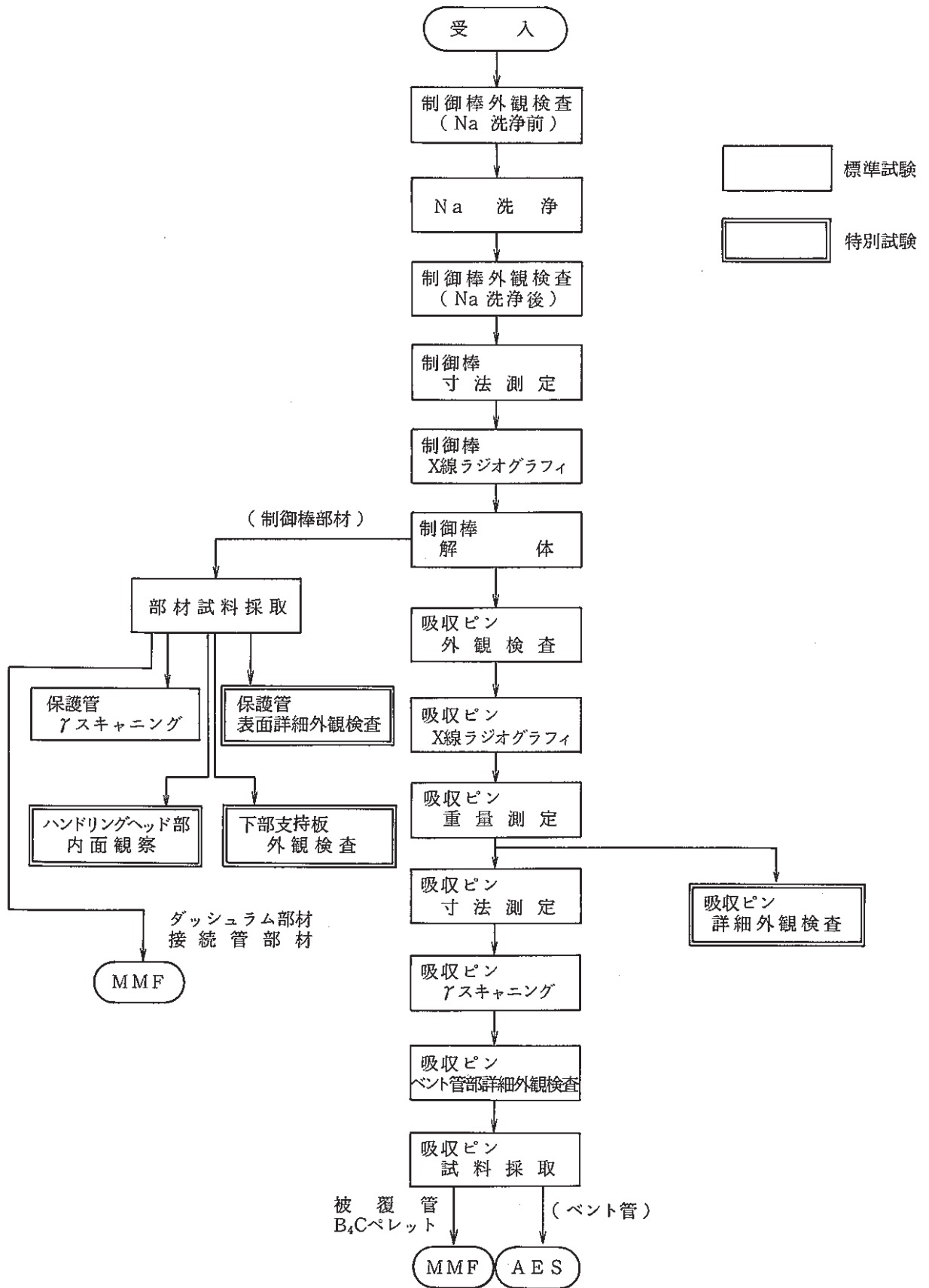


Fig. 5 Flow Diagram of the P.I.E. on the MK-II Control Rod

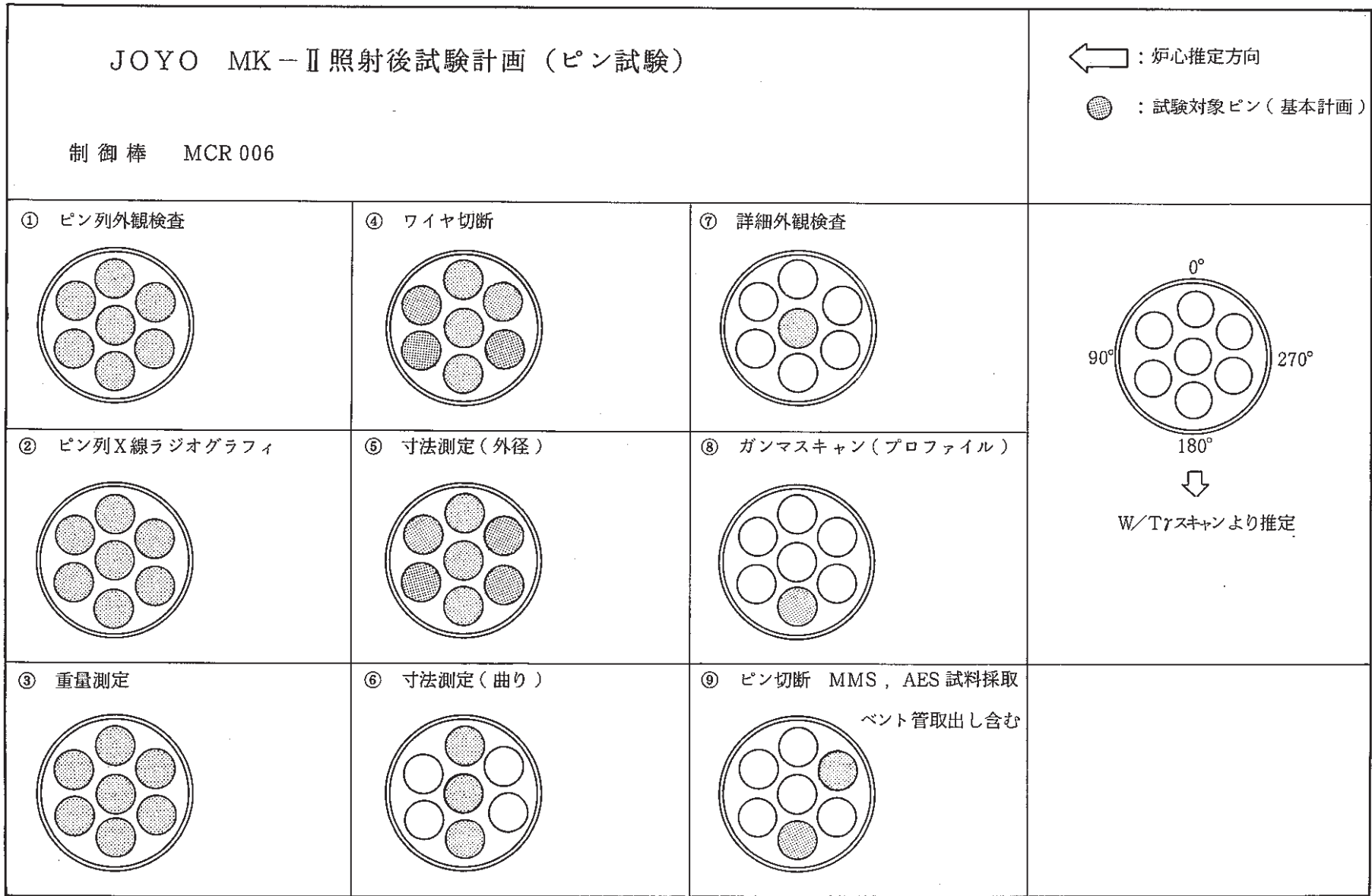


Fig. 6 Selection of Absorber Pins for Pin Examination (MCR 006)

JOYO MK-II 照射後試験計画 (ピン試験)			集合体試験	
			1. 外観検査 (受入時, Na洗浄後) 2. Na洗浄 3. 寸法測定 4. X線ラジオグラフィ 5. W/Tアスキャン	
制御棒 MCR 002			← : 炉心方向 ● : 試験対象ピン	
① ピン列外観検査	④ ワイヤ切断	⑦ ガンマスキャン (プロファイル)		
② ピン列X線ラジオグラフィ	⑤ 寸法測定 (外径)	⑧ ピン切断 MMS, AES 試料採取 ・ベント管取出し含む		
③ 重量測定	⑥ 寸法測定 (曲り)			

Fig. 7 Selection of Absorber Pins for Pin Examination (MCR 002)

- 44 -

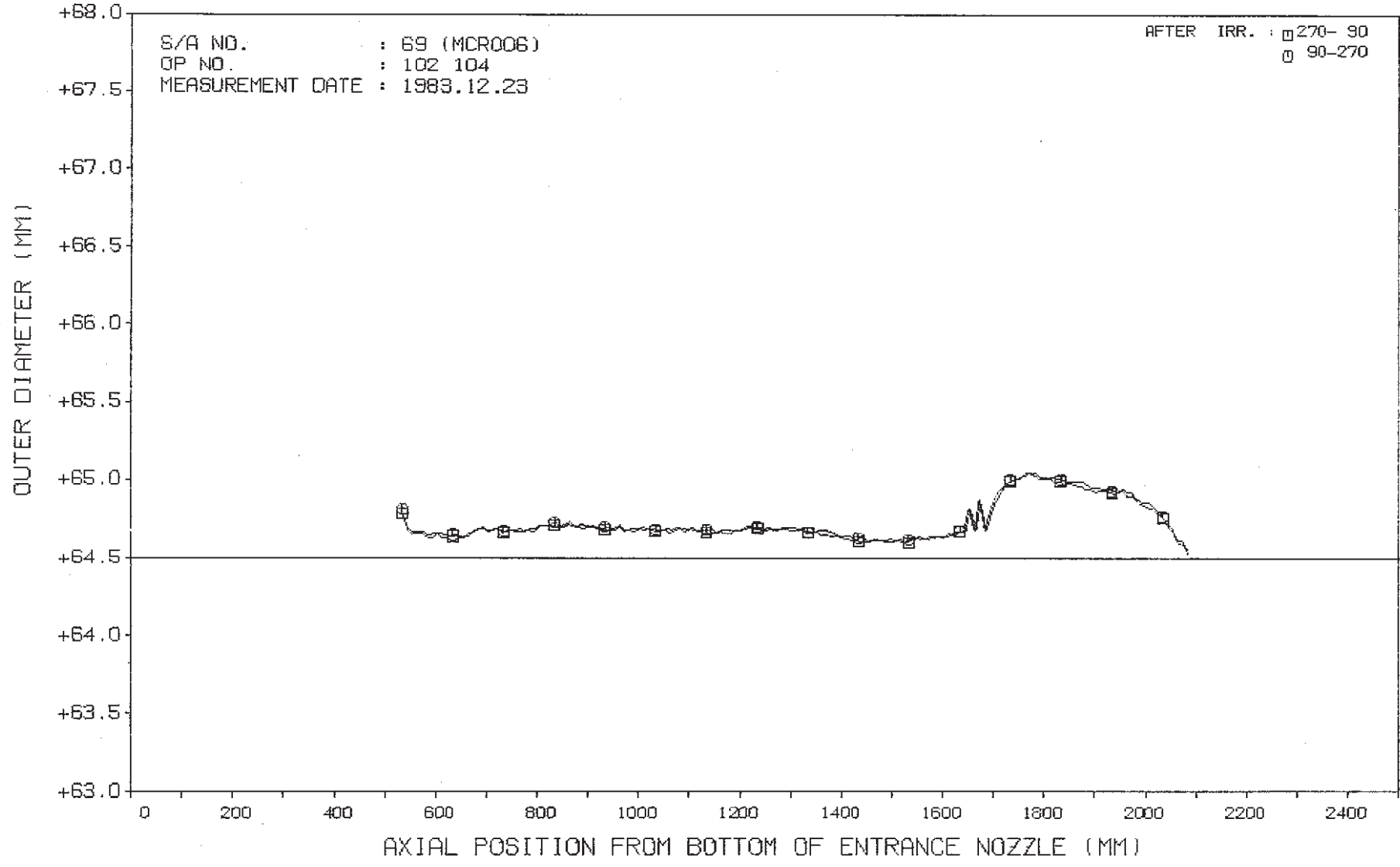


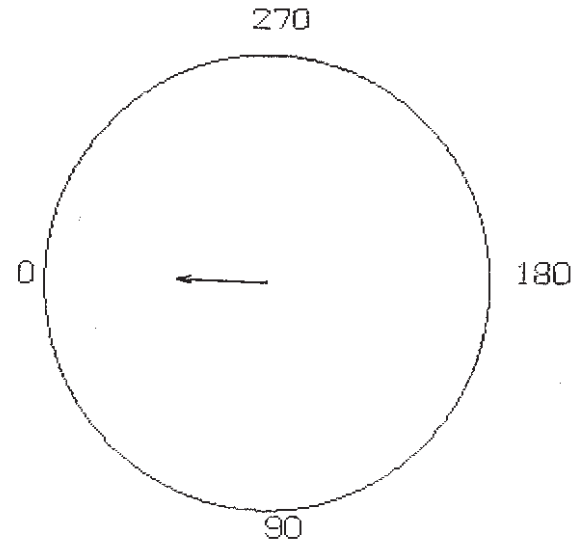
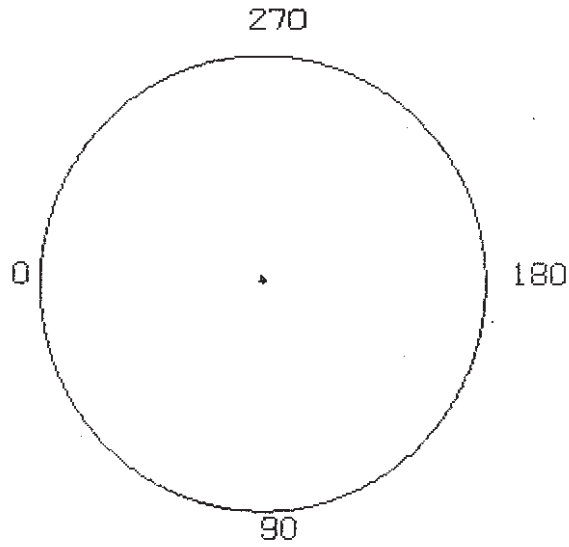
Fig.8 Control Rod outer diameter profile ( MCR006 ) ..... 90°- 270°



S/A NO. : 69 (MCR006)  
 OP NO. : 102 106 104 107  
 MEASUREMENT DATE : 1983.12.23

VIEW FROM TOP

→ AFTER IRR.



AXIAL POSITION (MM)	0700		2050 AT UPPER PAD	
BOWING AFTER IRR. (MM) (DEG)	0.3	40	2.7	358

BOWING SCALE  $\longleftrightarrow$  2MM

Fig.9 Control Rod bowing ( MCR 006 )

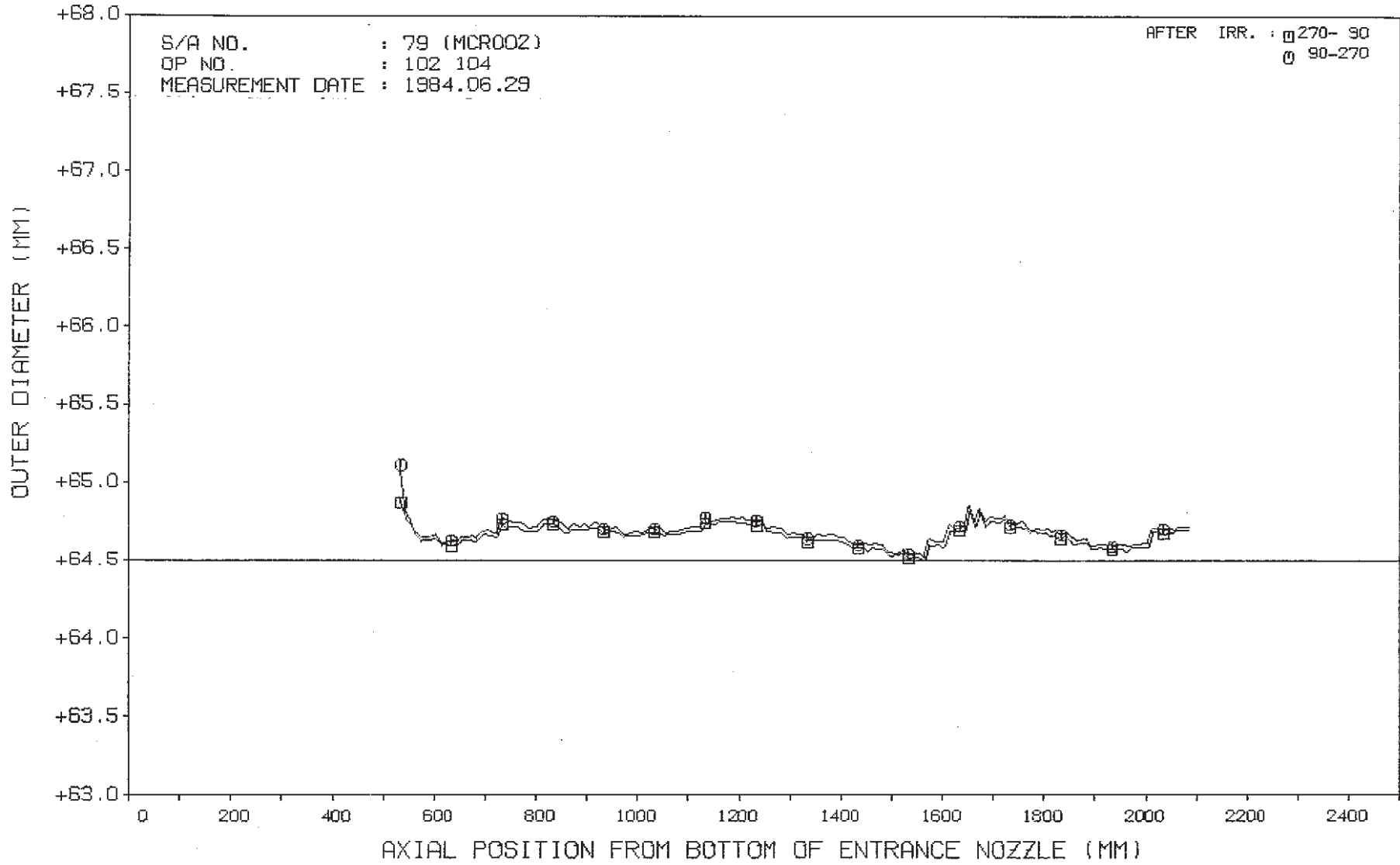
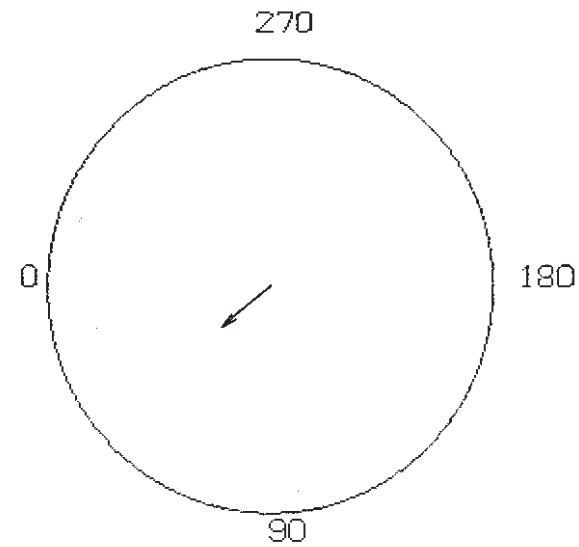
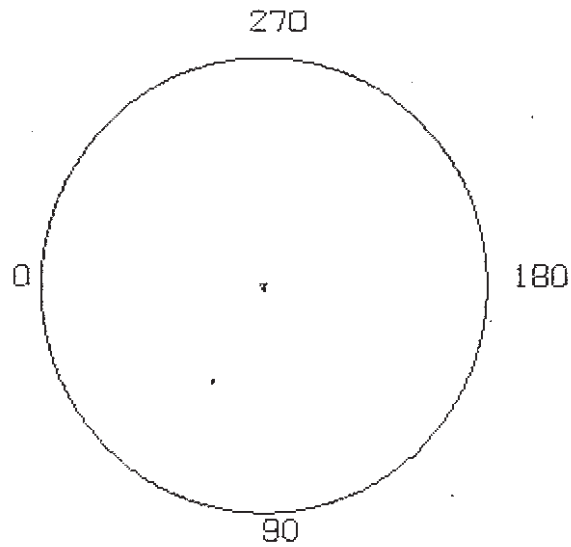


Fig.10 Control Rod Outer Diameter Profile (MCR002) 90°-270°

S/A NO. : 79 (MCR002)  
 GP NO. : 102 103 104 105  
 MEASUREMENT DATE : 1984.06.29

VIEW FROM TOP

→ AFTER IRR.



AXIAL POSITION (MM)	0700		2050 AT UPPER PAD	
BOWING AFTER IRR. (MM) (DEG)	0.2	225	2.0	40

BOWING SCALE  $\longleftrightarrow$  2MM

Fig.11 Control Rod Bowing ( MCR002 )

S/A NO. (FAB) :	MCR006	ANGLE OF MAX RATE (DEG):	181.91
S/A NO. (PIE) :	69WH2	MAX COUNT RATE (CPS):	203.72
AXIAL POS. (MM) :	615.10	AVERAGE COUNT RATE(CPS):	189.80
COOLING TM (DAYS):	100	PEAKING FACTOR :	1.073
COLL. WIDTH(MM) :	1.00		
OP NO. :	4409-4409		

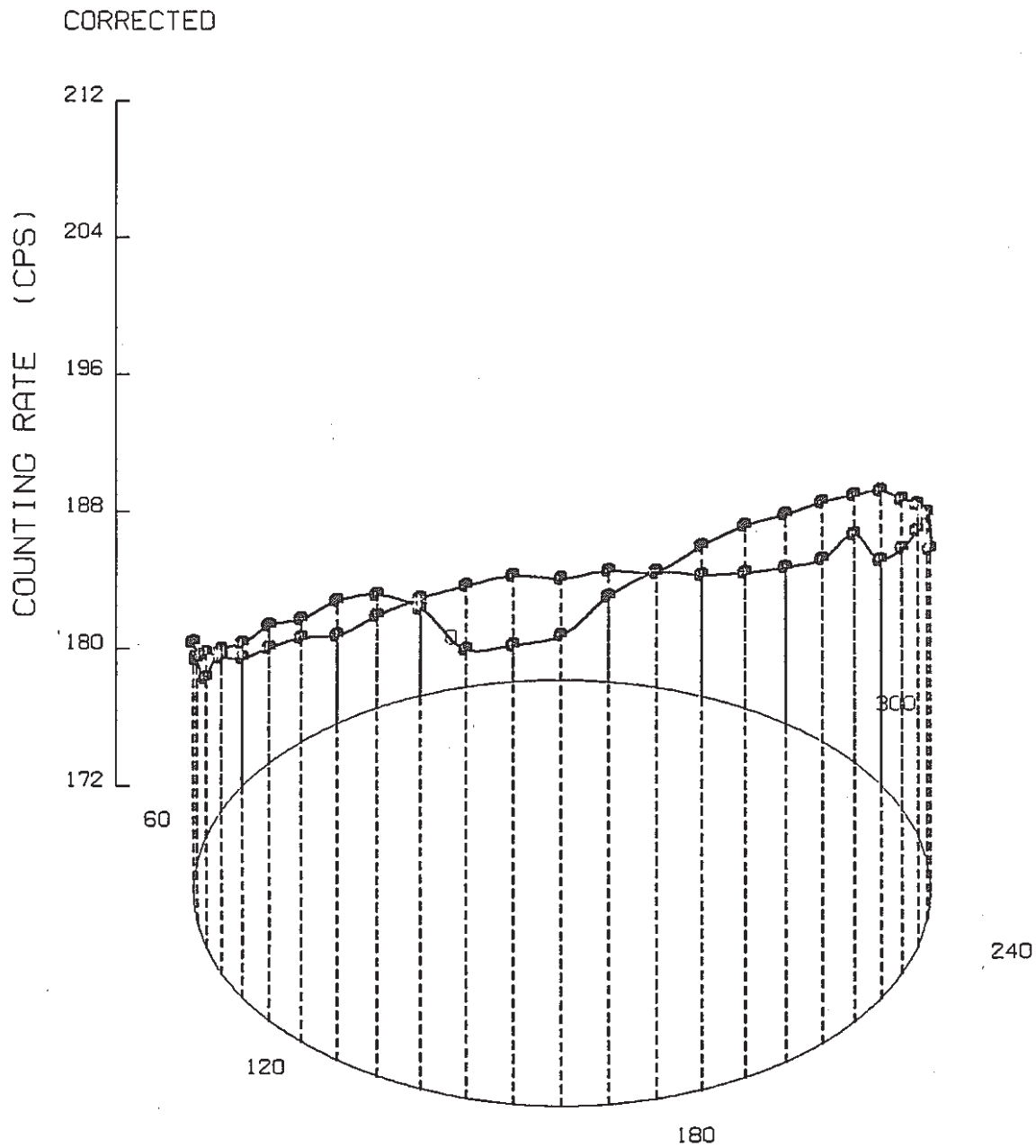


Fig.12 Circumferential Distribution of  $\gamma$  - Emmission Nuclide  $^{58}\text{Co}$  (MCR.006)  
(C058 0.811 MEV)

S/A NO. (FAB) :	MCR002	ANGLE OF MAX RATE (DEG):	202.83
S/A NO. (PIE) :	79WH4	MAX COUNT RATE (CPS):	53.01
AXIAL POS. (MM) :	616.60	AVERAGE COUNT RATE(CPS):	48.16
COOLING TM (DAYS):	100	PEAKING FACTOR :	1.100
COLL. WIDTH(MM) :	1.00		
OP NO. :	4883-4883		

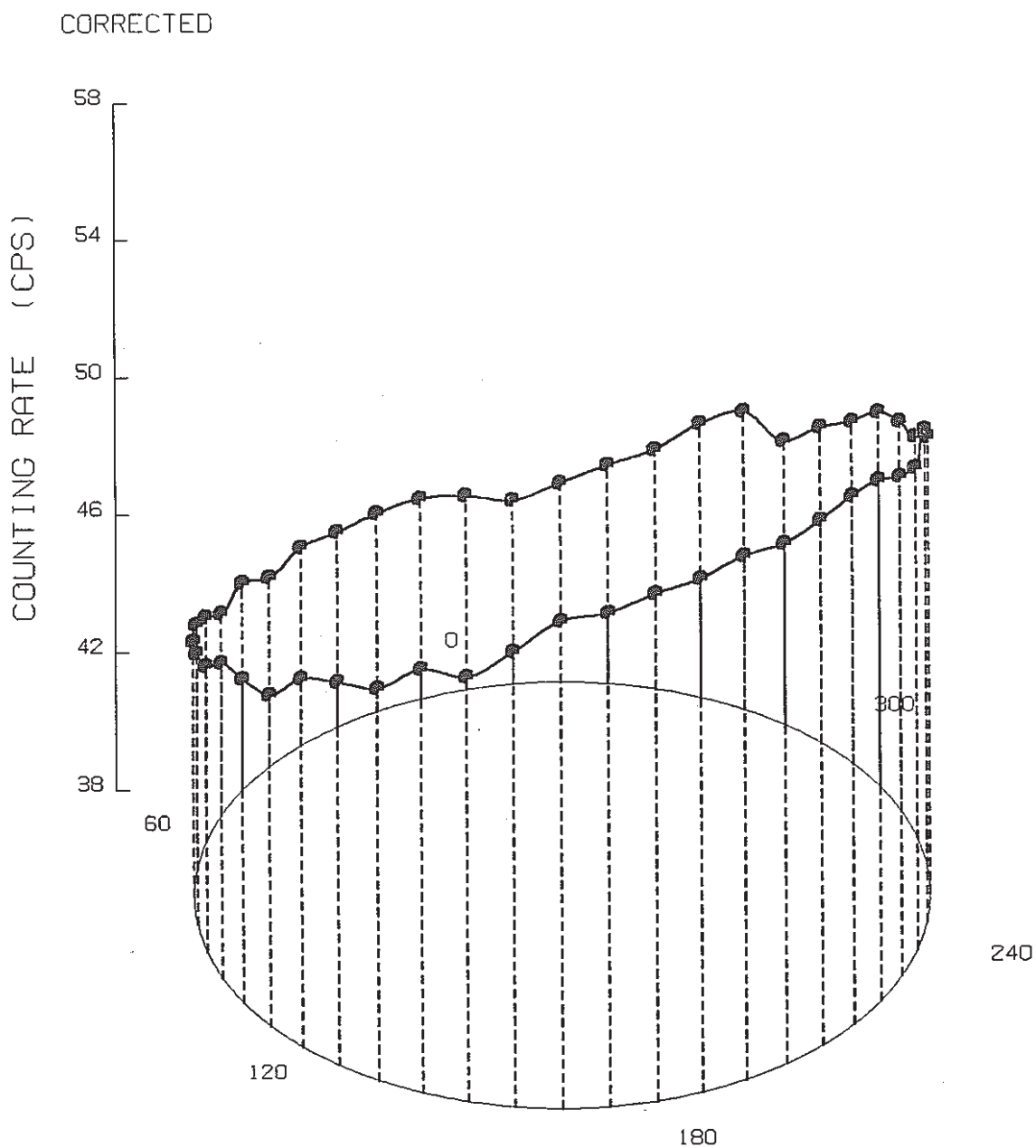


Fig. 13 Circumferential Distribution of  $\gamma$  - Emmition Nuclide  $^{54}\text{Mn}$  (MCR.002)  
(MN54 0.835 MEV)

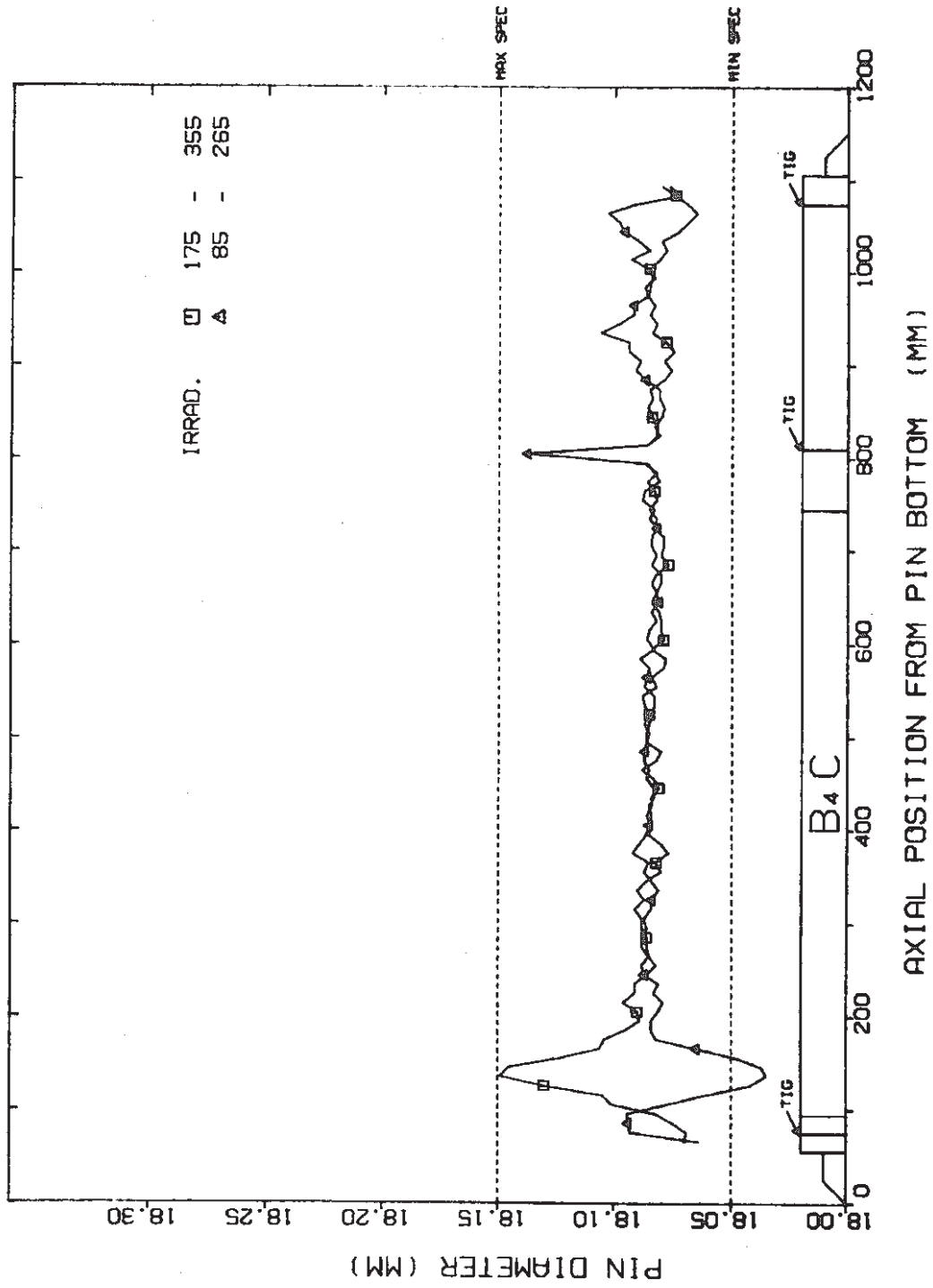


Fig. 14 Pin Outer Diameter Profile ( PIN No: MCE 39 )

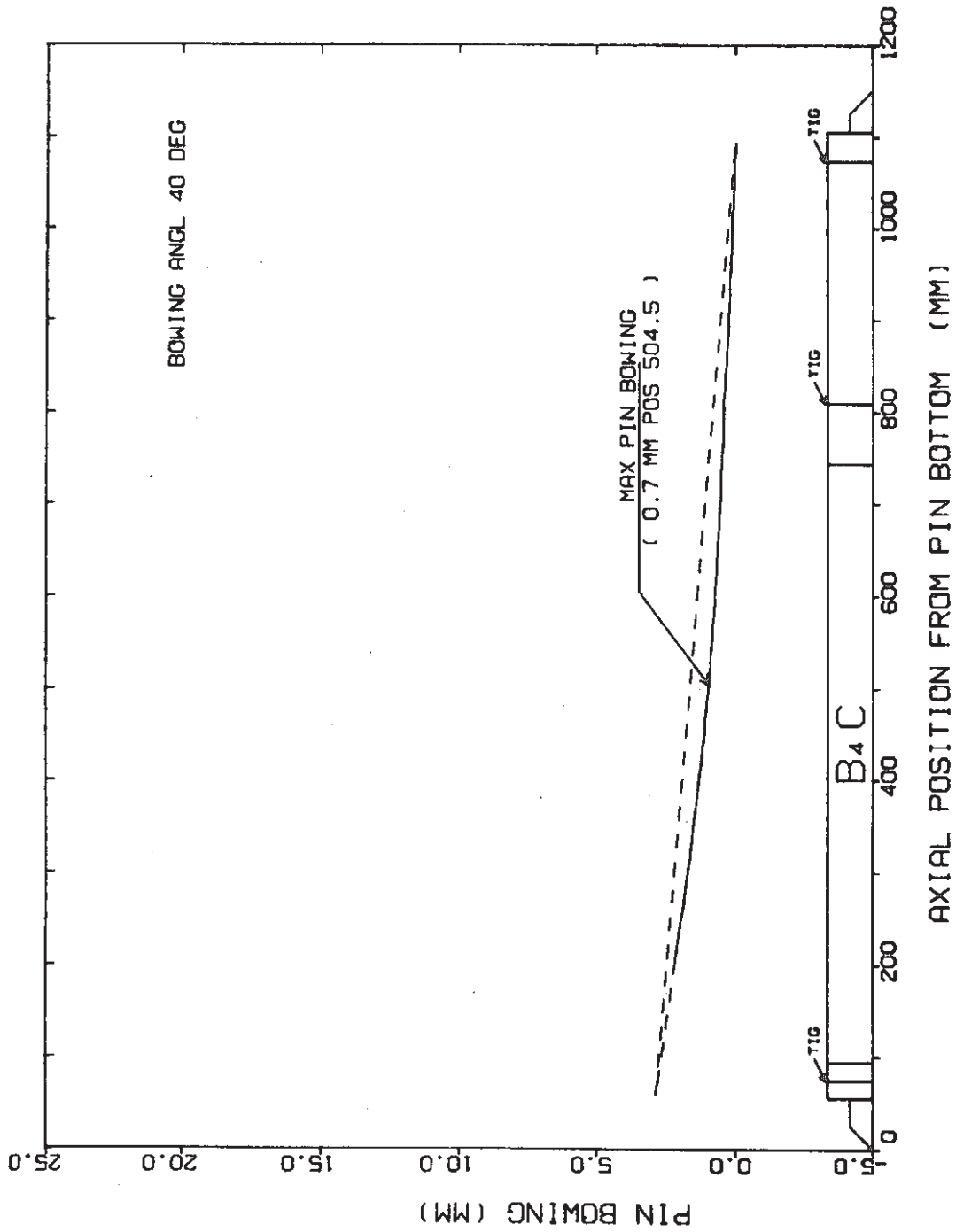


Fig.15 Typical Bowing Profile ( PIN No MCE-39 )

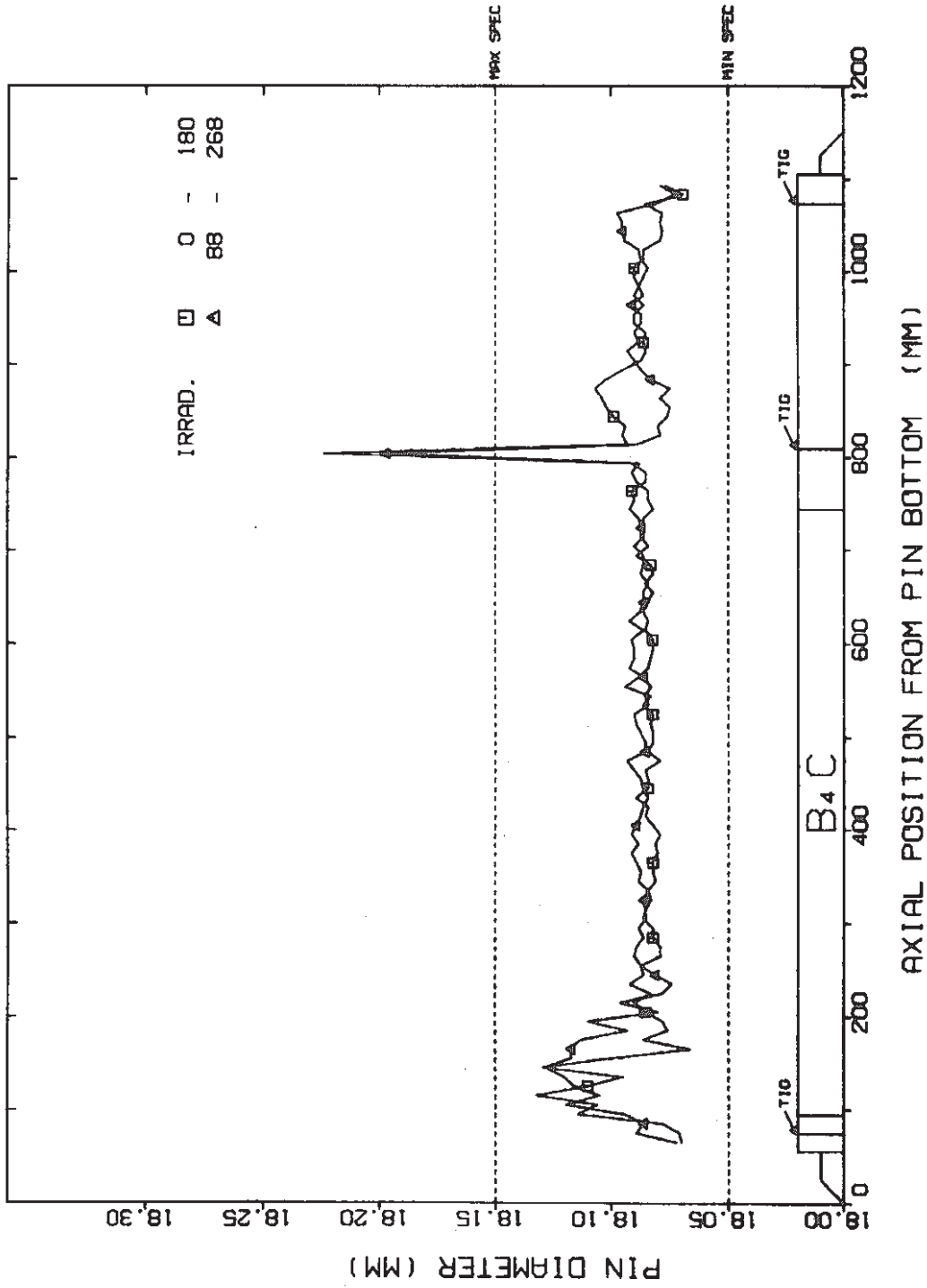


Fig.16 Pin Outer Diameter Profile ( PIN No. MCE-10 )



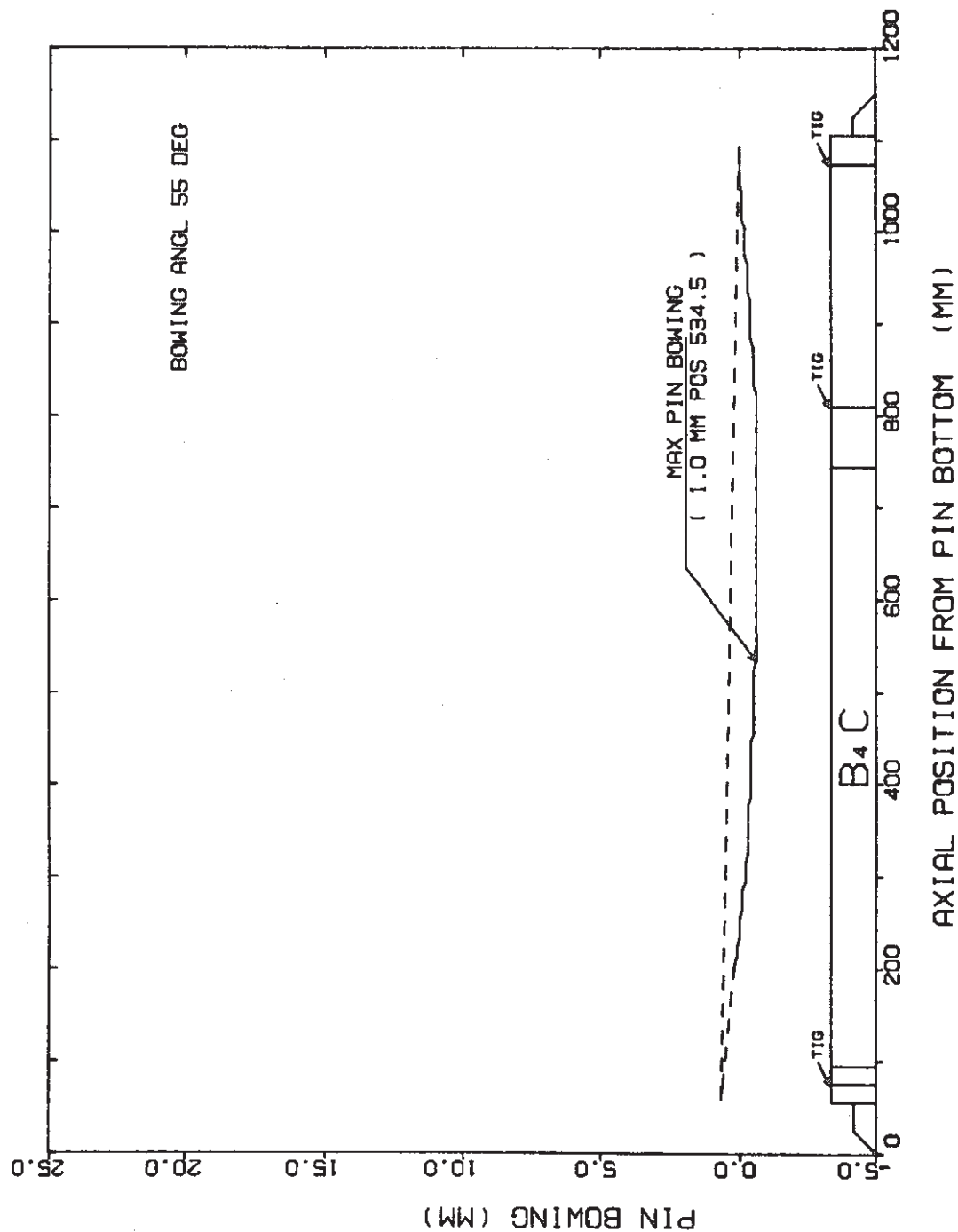


Fig.17 Typical Bowing Profile ( PIN No MCE-10 )

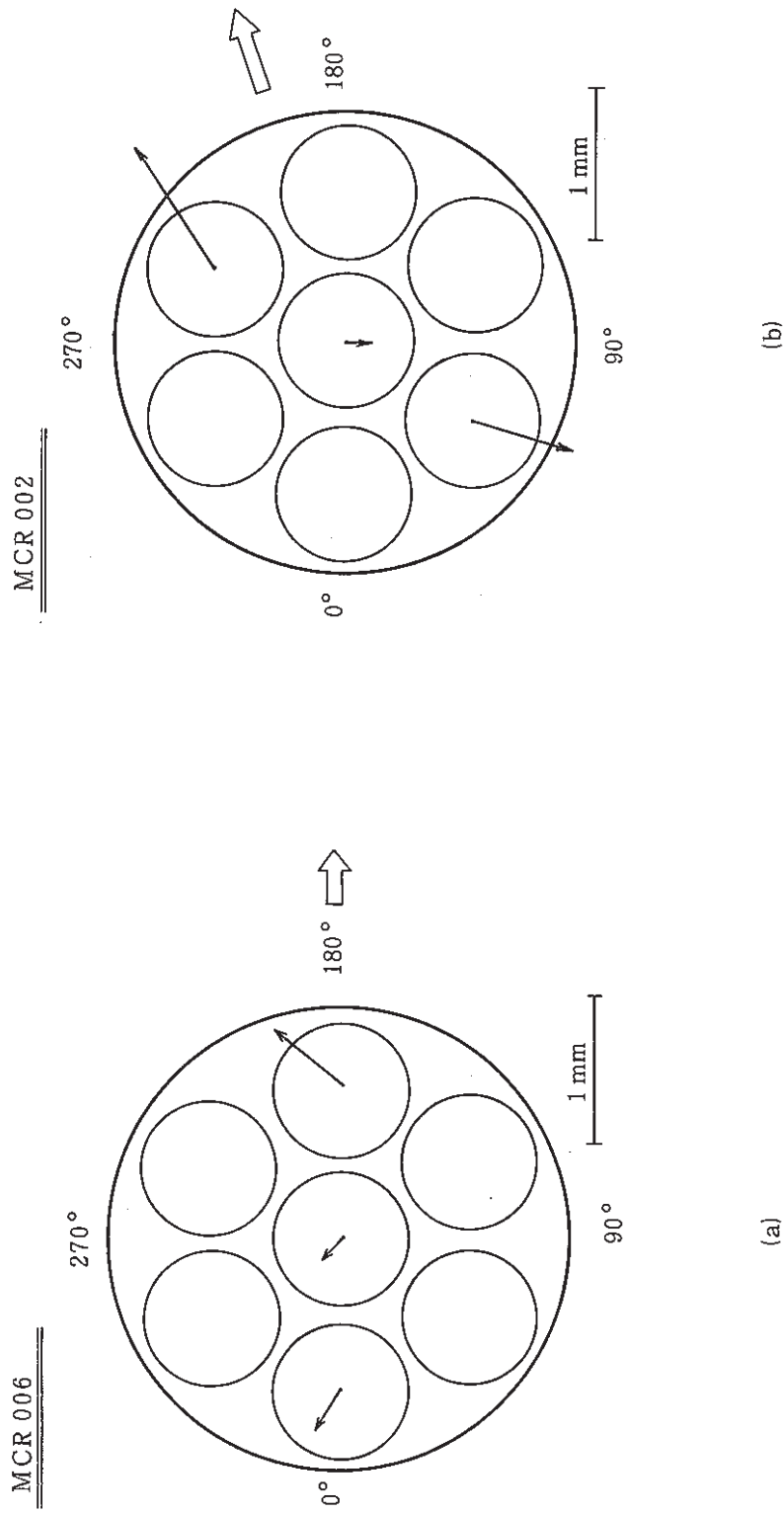


Fig. 18 Vectors of Pin Bowing in the Control Rod "MCR 006" and "MCR 002"

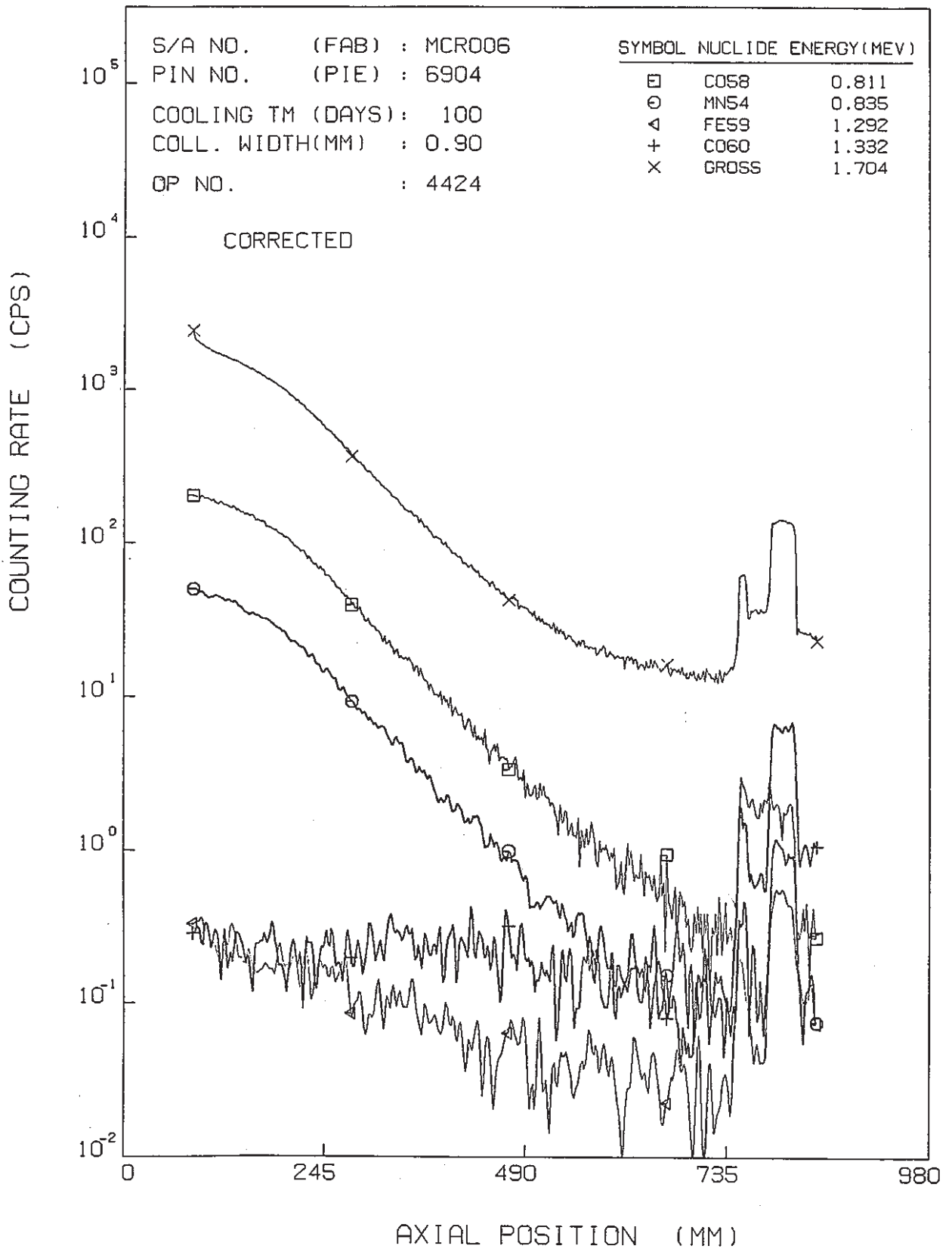


Fig. 19 Axial Distribution of Gamma Ray Intensity  
 ( Pin No. MCE 39 )

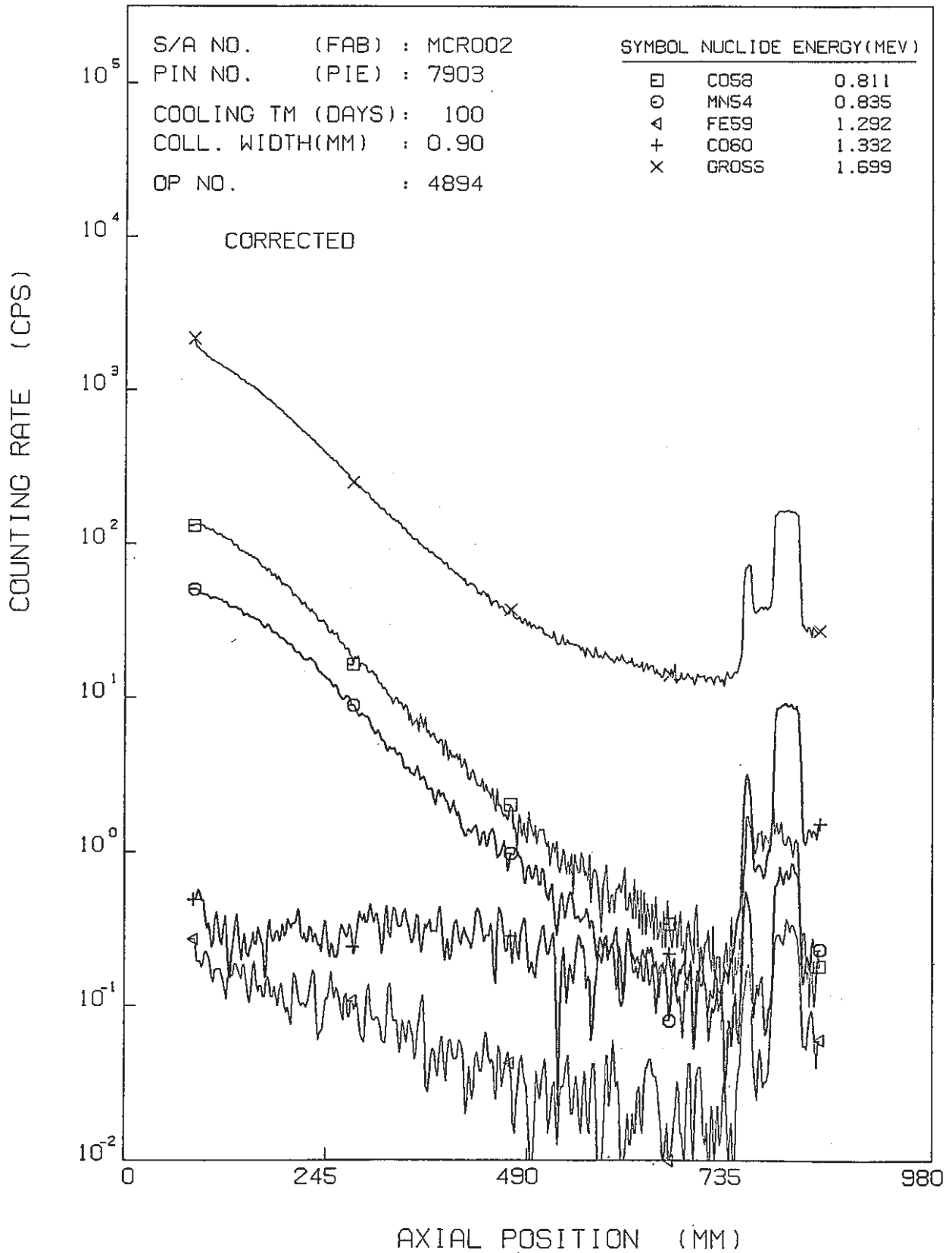
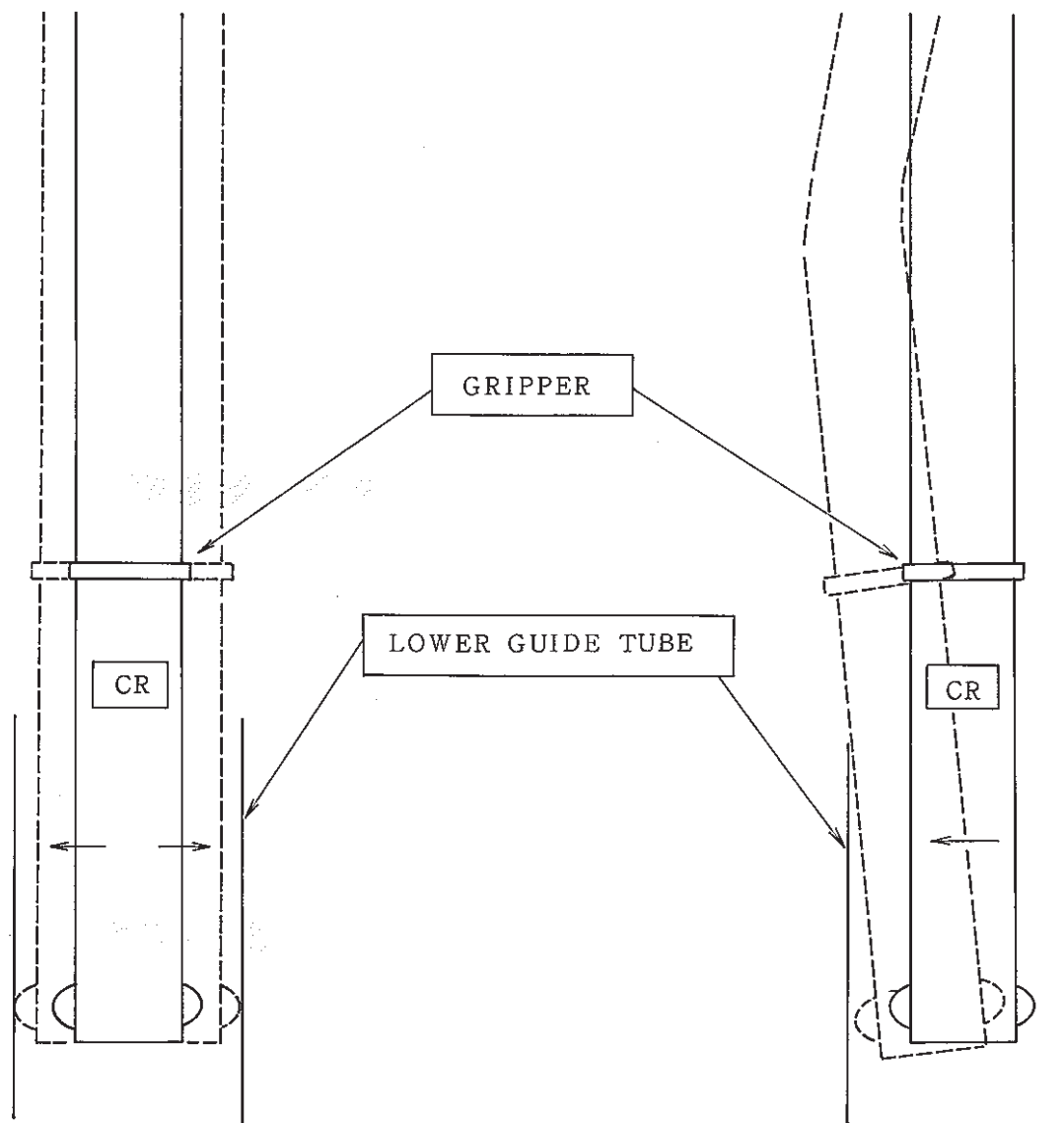


Fig. 20 Axial Distribution of Gamma Ray Intensity  
 ( Pin No. MCE 10 )



(A) HORIZONTAL MOVEMENT

(B) ASSUMED MOVEMENT (NOT HORIZONTALLY)

Fig. 21 Conceptual View of Vibration Mode of Control Rod

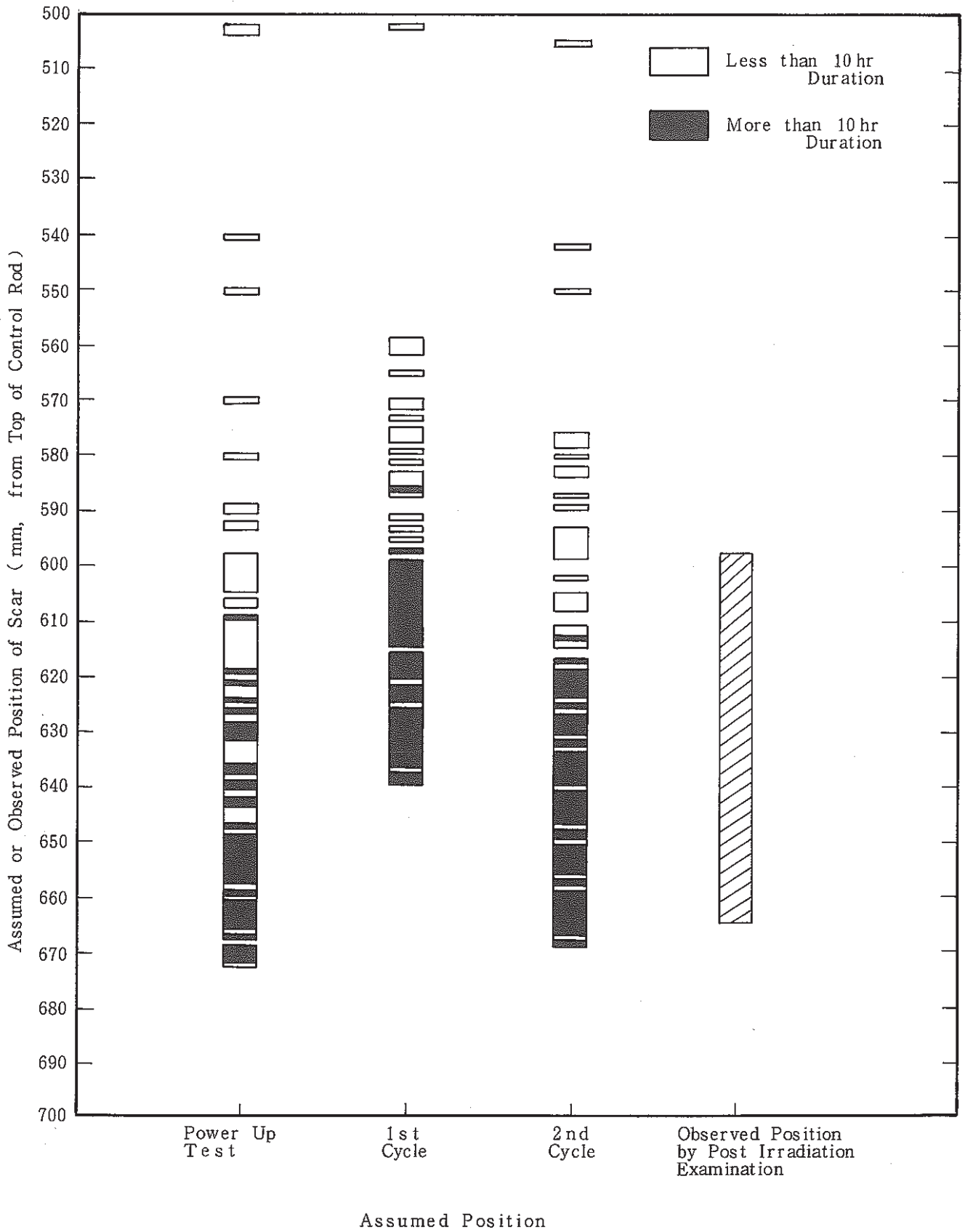


Fig. 22 Comparison of Scar Position between Assumed value and Observed one (MCR 006)

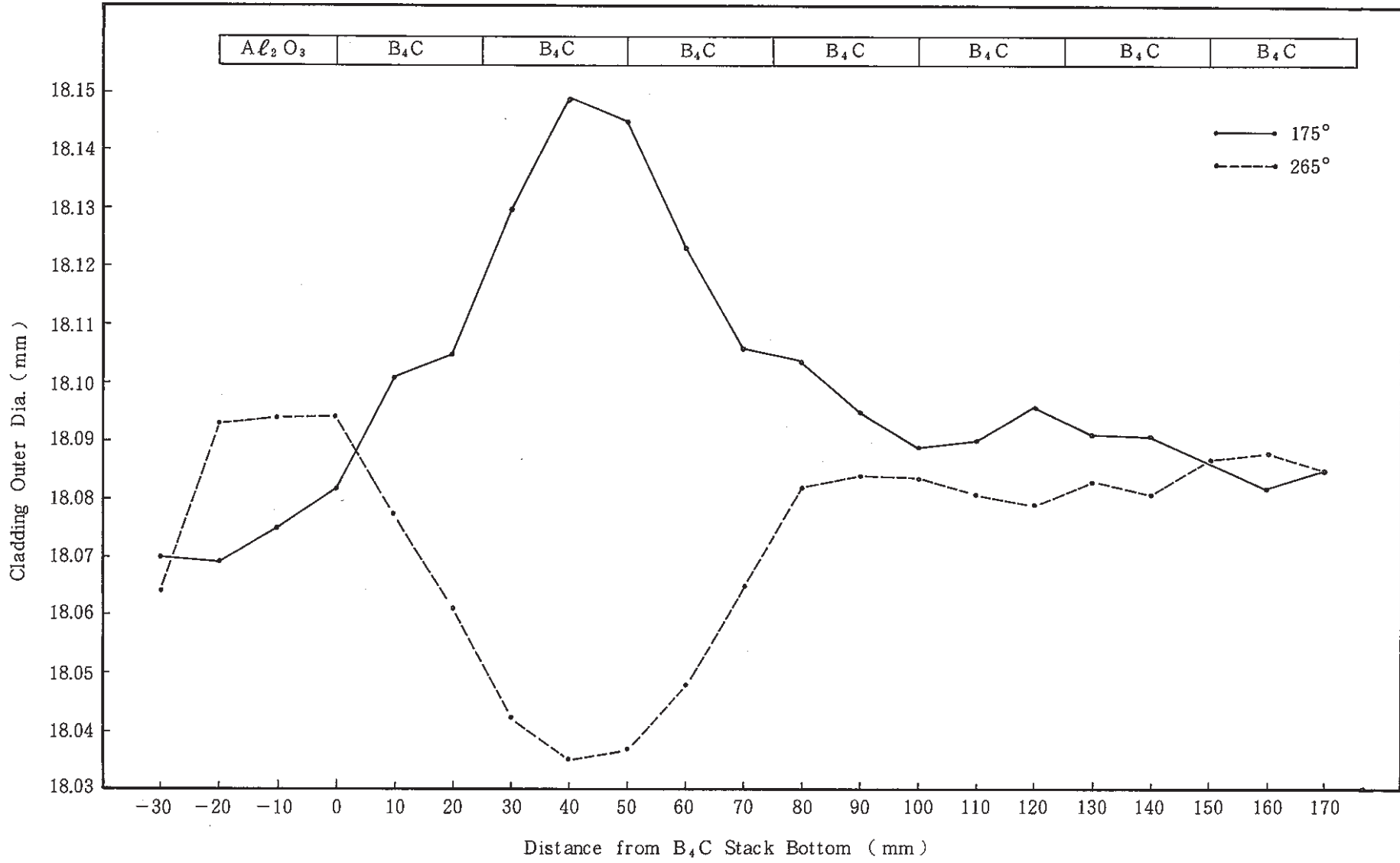


Fig. 23 Outer Diameter of Cladding at the Lower Region of the  $B_4C$  Stack. (Pin No. MCE 39)

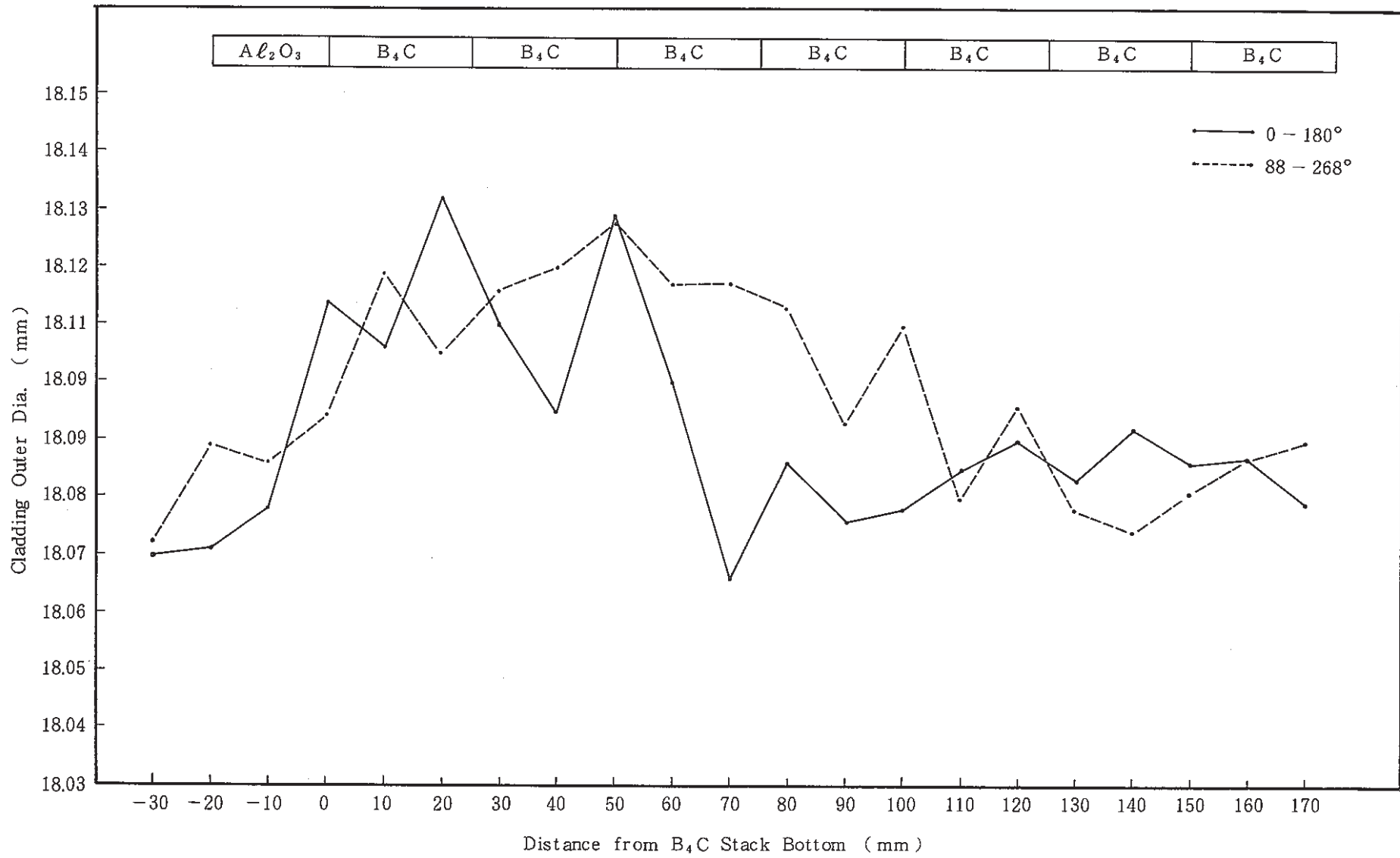


Fig. 24 Outer Diameter of Cladding in the Lower Region of the  $B_4C$  Stack. (Pin No MCE 10)



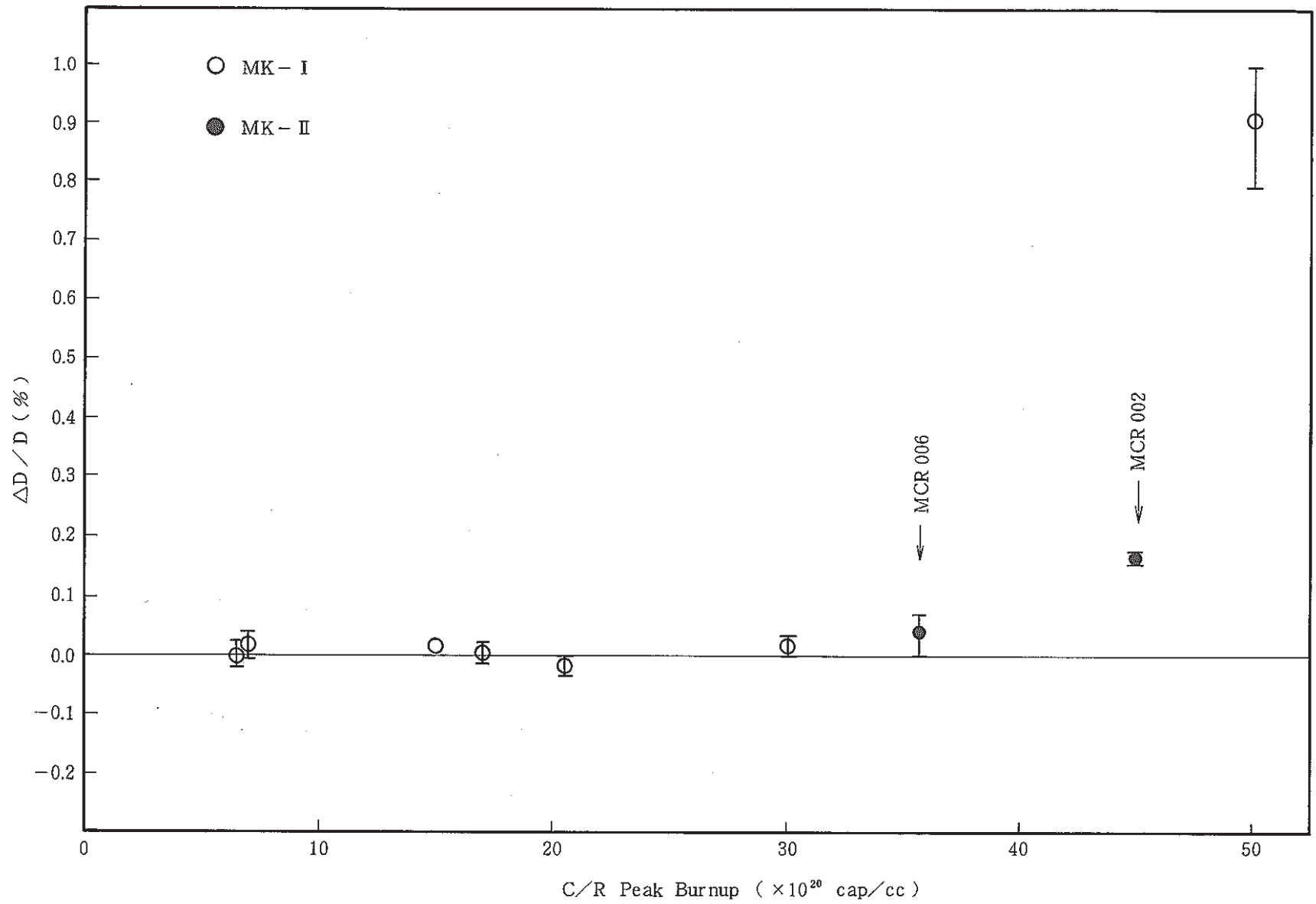


Fig. 25 Pin Diameter Change as a function of C/R Peak Burnup

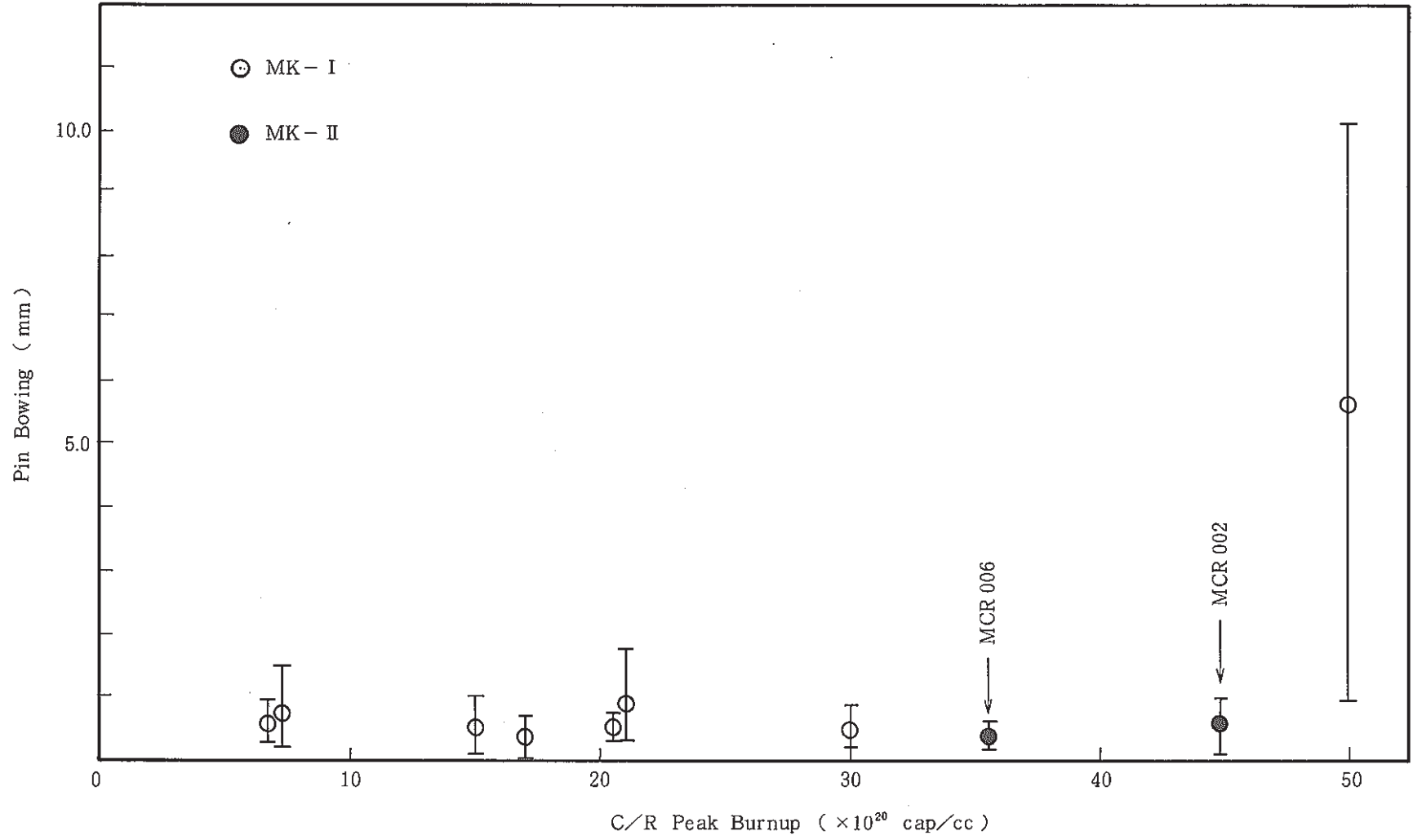


Fig.26 Pin Bowing, as a function of C/R Peak Burnup

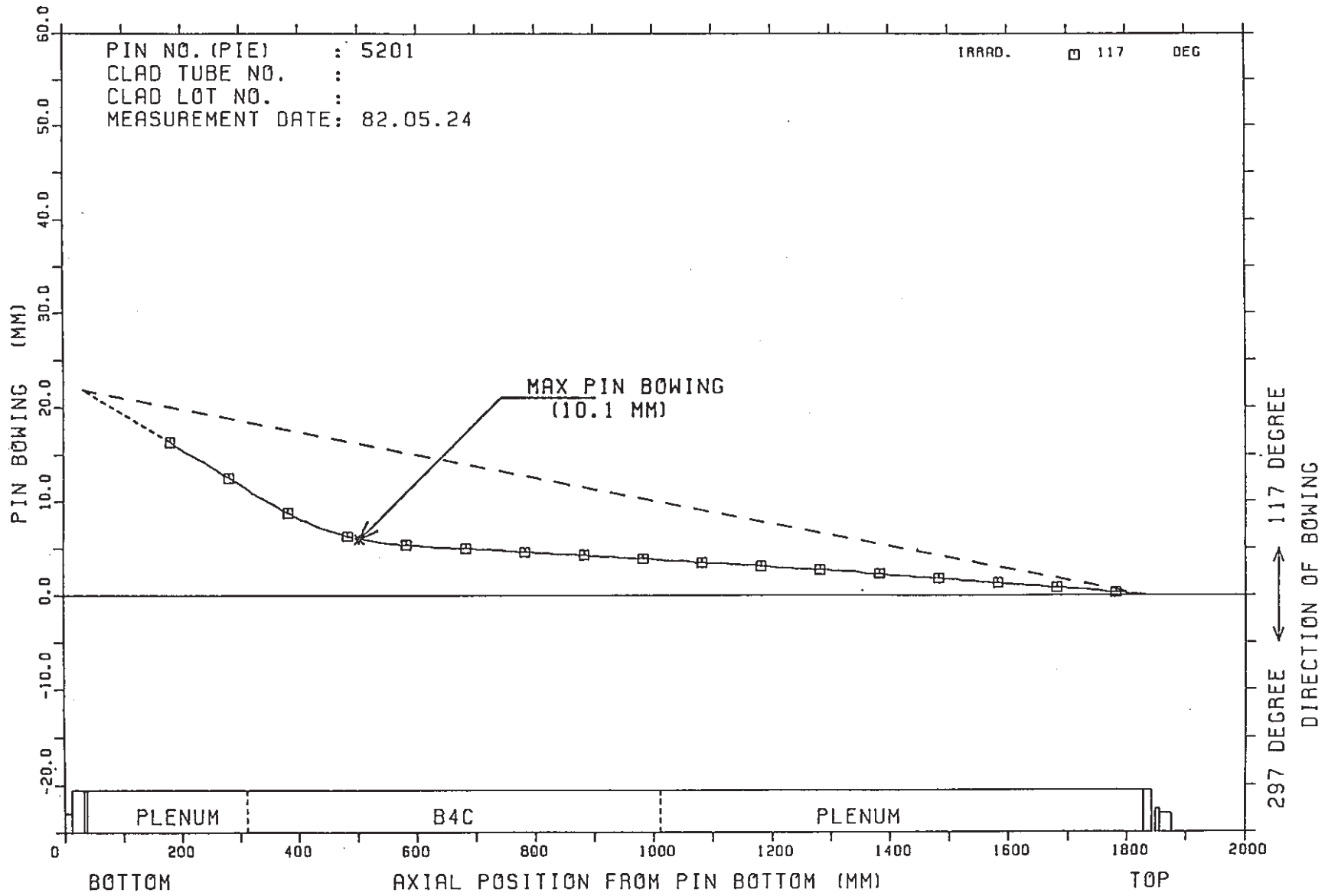


Fig.27 Pin Bowing Profile ( TTJC07, Pin No. 01 )

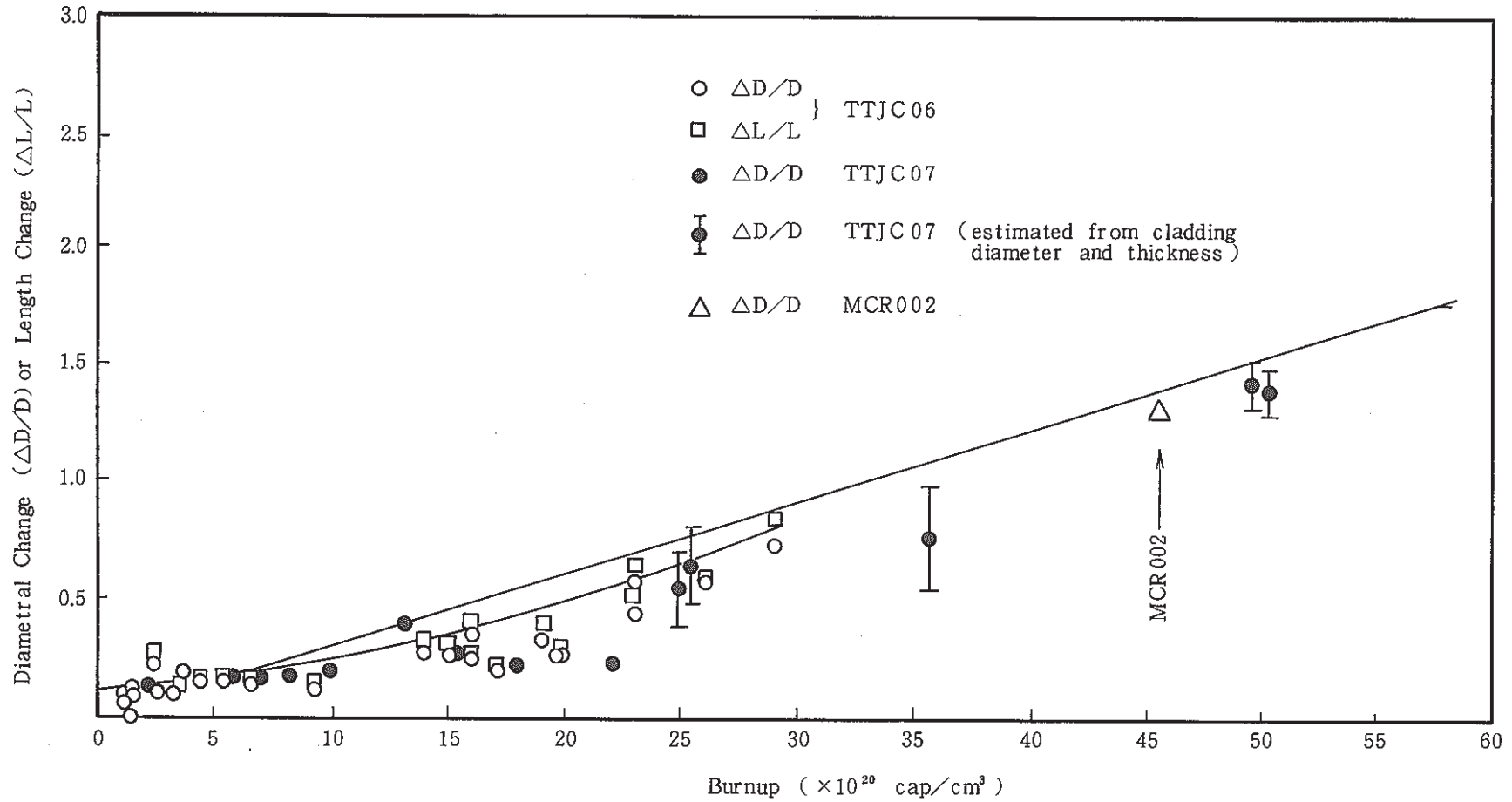


Fig. 28 Dimensional Change of Boron Carbide Pellets

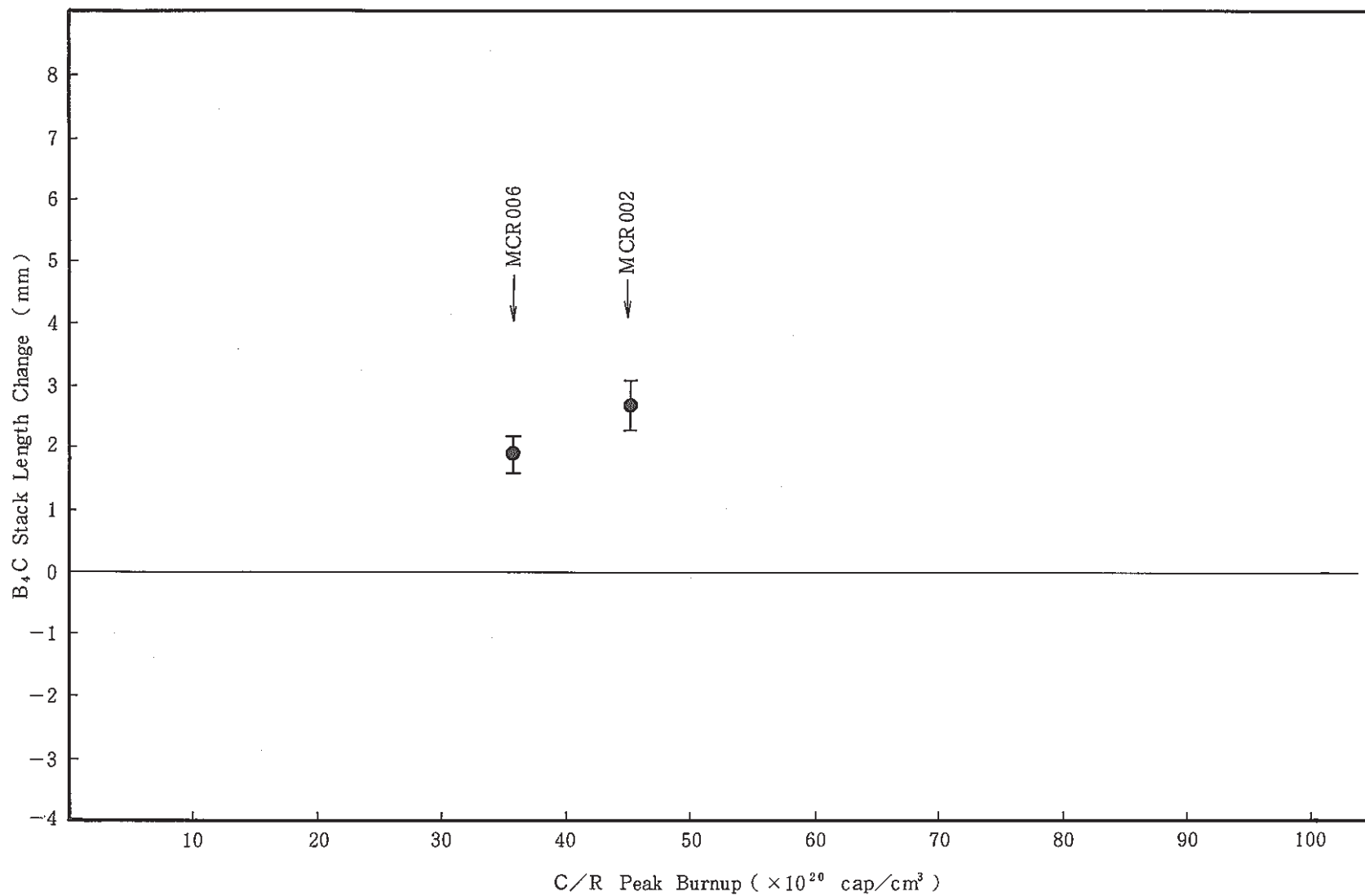
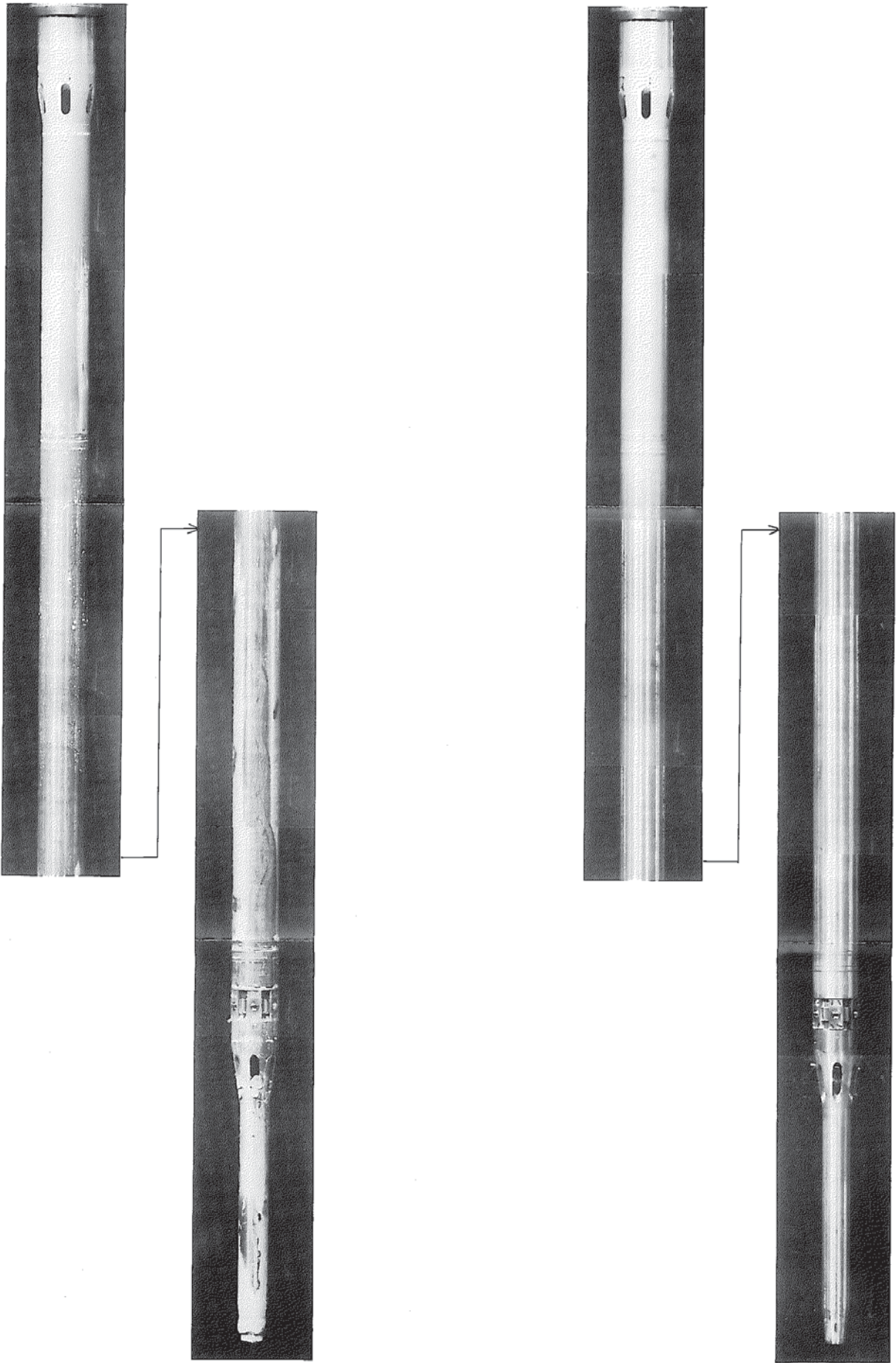


Fig. 29 B $_4$ C Stack Length Change, as a function of C/R Peak Burnup



(before)

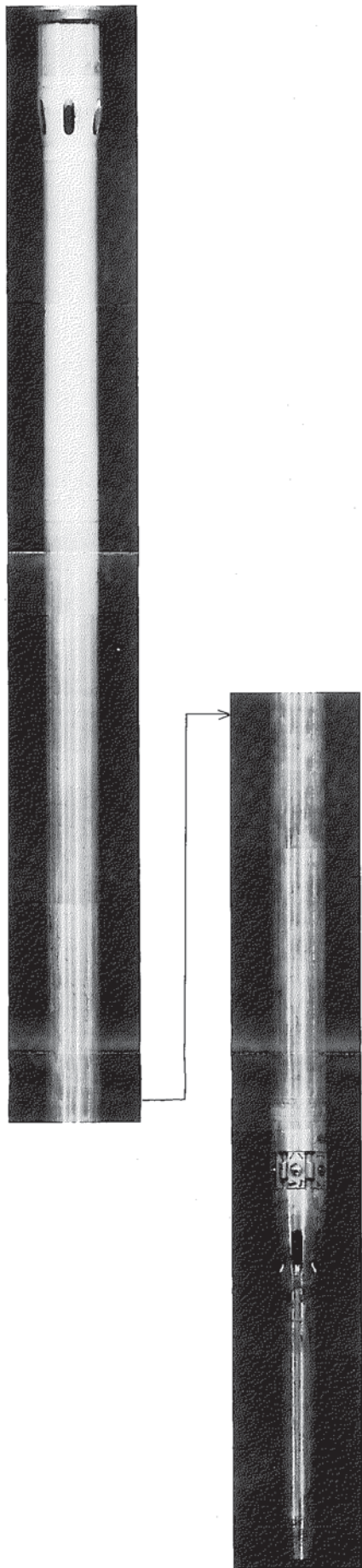
DIRECTION 0°

(after)

DIRECTION 0°

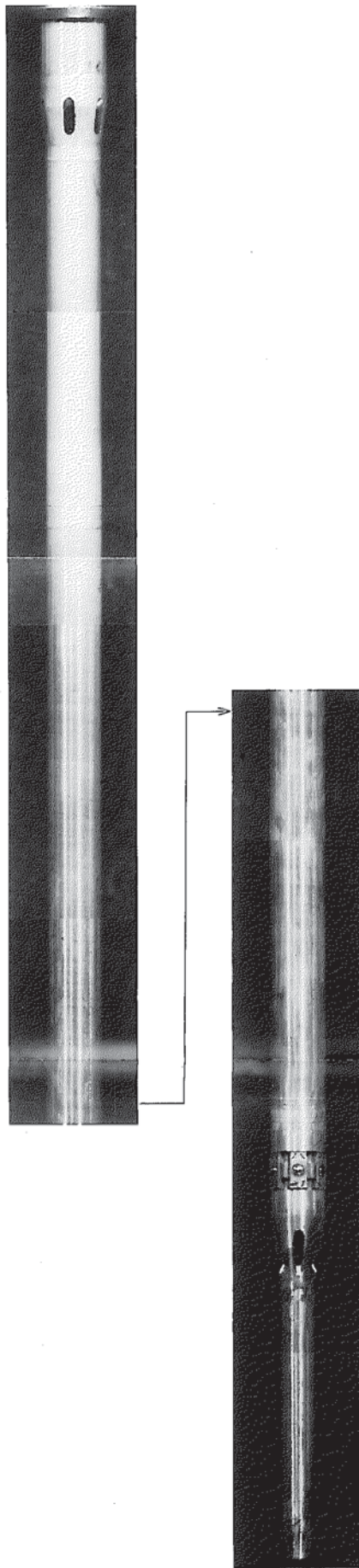
Photo 1 Surface Condition of the Control Rod before and after Sodium Removal (MCR006)

**F841006**



(before)

DIRECTION 0°



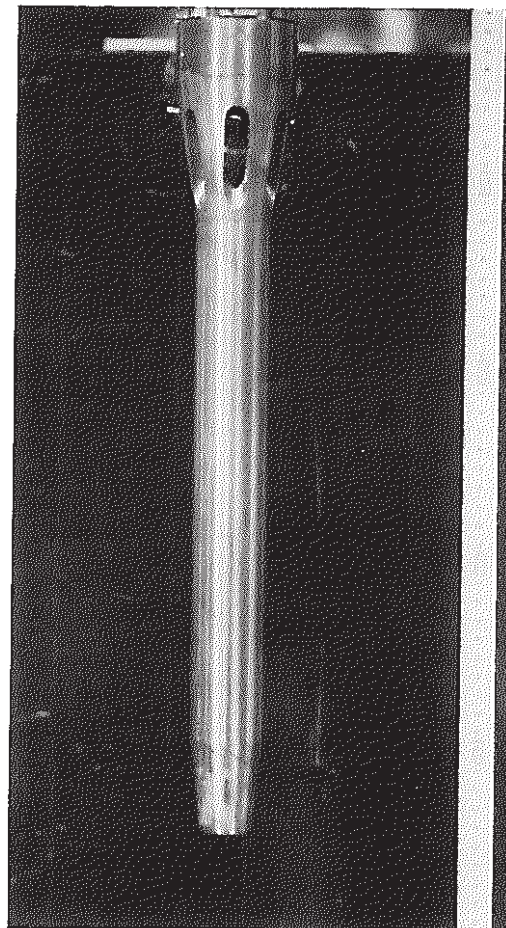
(after)

DIRECTION 0°

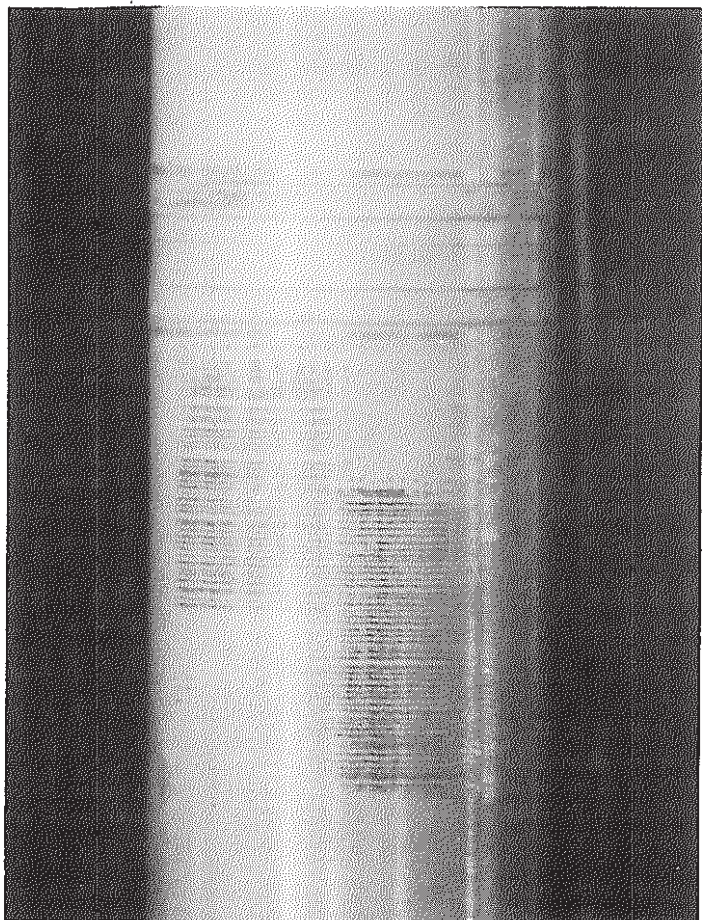
Photo 2 Surface Condition of the Control Rod before and after Sodium Removal (MCR002)

F841012





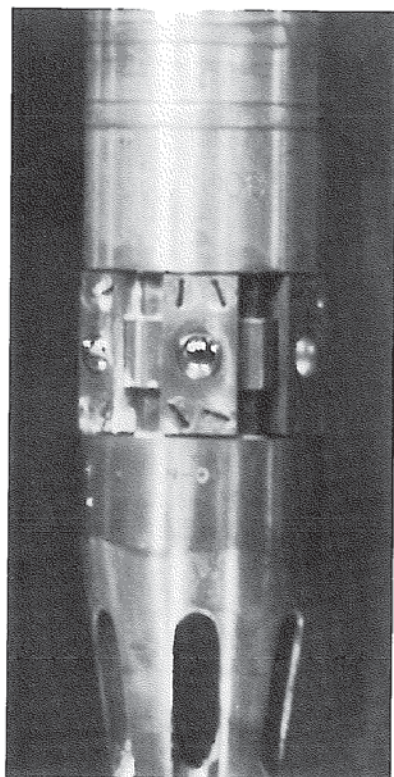
( b )



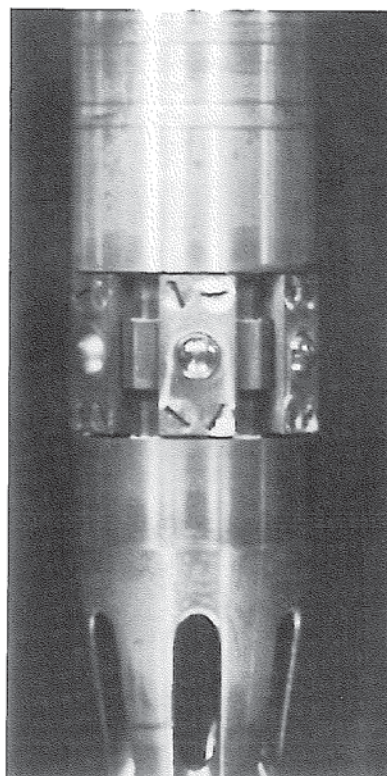
( a )

Photo 3 Scar Marks observed at the outer Surface of the Control Rod ( MCR 006 )

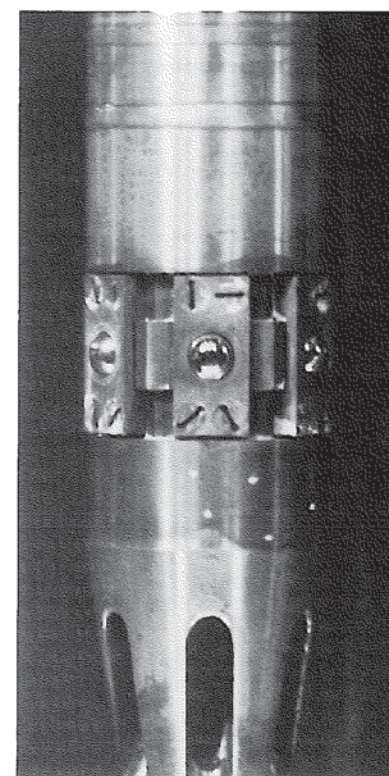




DIRECTION  $0^{\circ}$



$120^{\circ}$



$240^{\circ}$

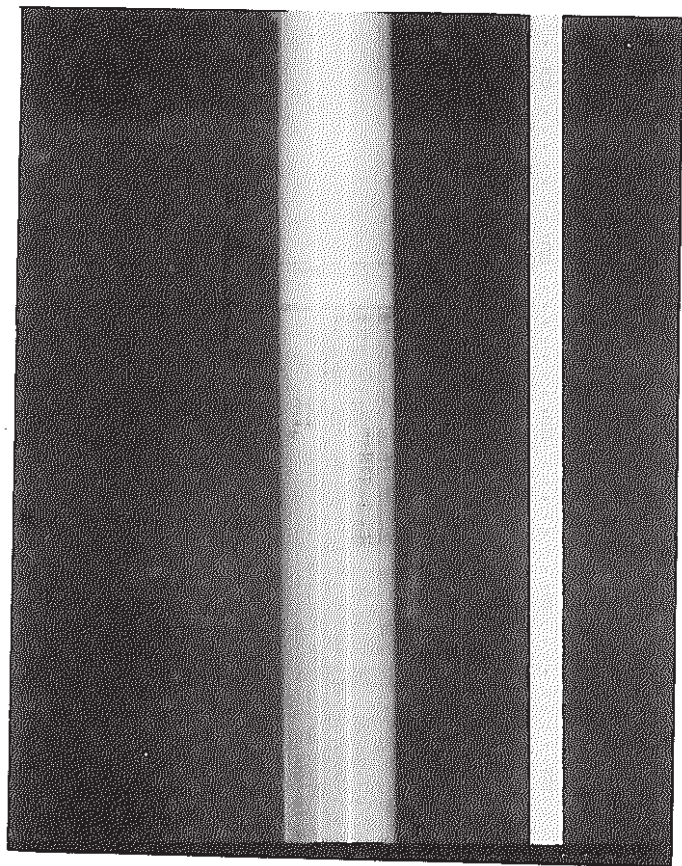
↑ TOP  
PHOTO  
↓ BOTTOM

Scale  
┆ 10 mm

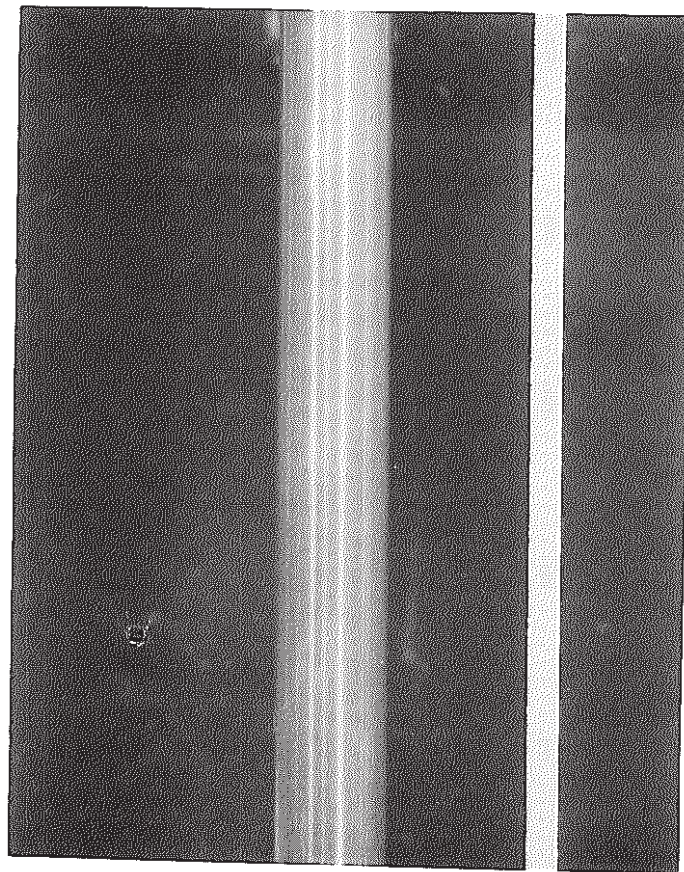
Photo4 Condition of the Vibration Restriction Mechanism ( MCR 006 )

F847004



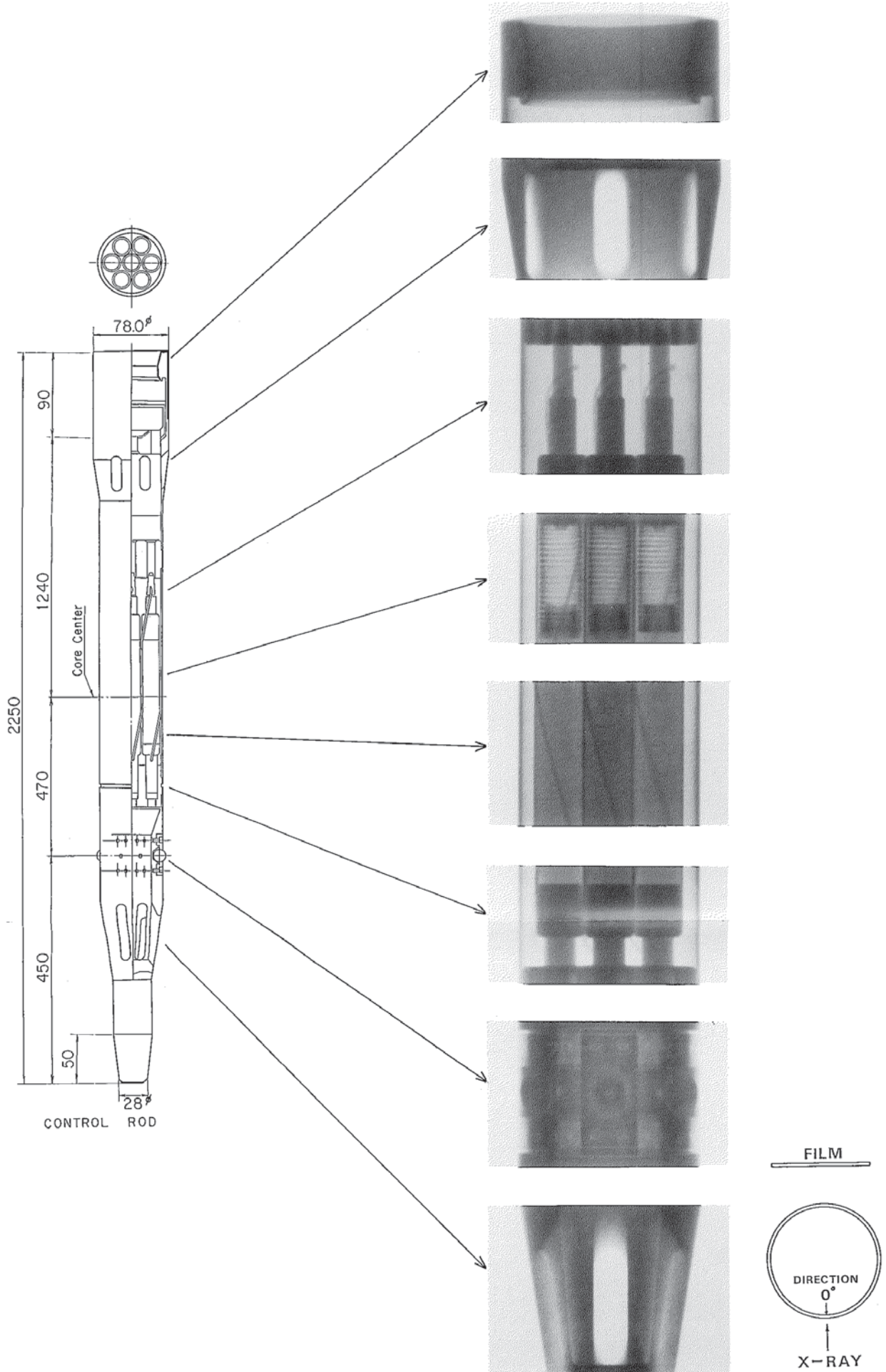


( a )



( b )

Photo 5 Scar Marks observed at the outer Surface of the Control Rod ( MCR 002 )

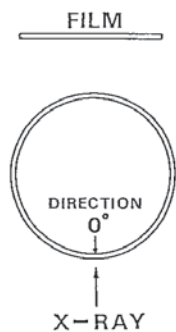
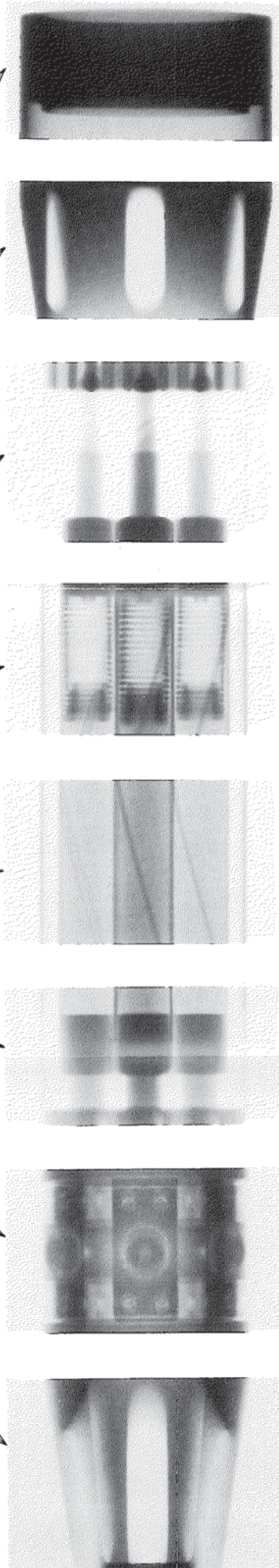
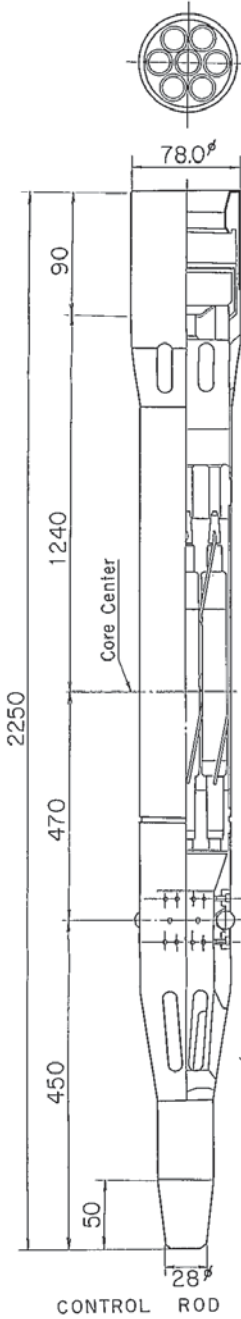


- 8 L ~ 1 1 -

Photo7 Interior Construction Condition in the Control Rod by X-ray Radiography Observation ( MCR 006 )

F842009





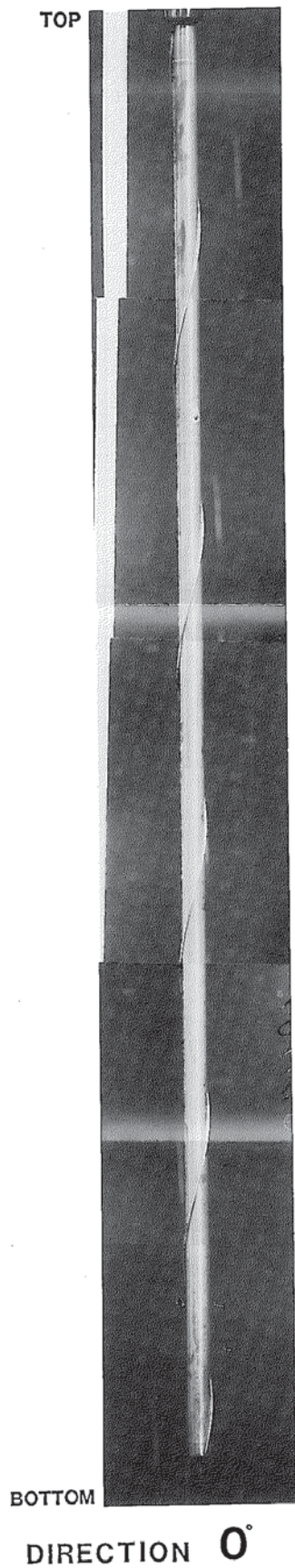
-08~64-

Photo 8 Interior Construction Condition in the Control Rod by X-ray Radiography Observation

F842016

# PIN NO.6901

PNC-TN9410 85-143



-81~82-

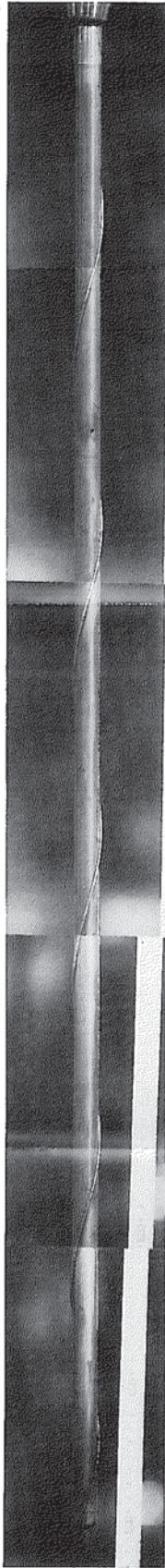
## F843017

Photo 9 Typical Condition of the Outer Surface of the Absorber Pin ( Pin No MCE36 )

# PIN NO.7901

PNC-TN9410 85-143

TOP



BOTTOM

DIRECTION 0°

- 83 ~ 84 -

## F843020

Photo 10 Typical Condition of the Outer Surface of the Absorber Pin ( Pin No. MCE08 )

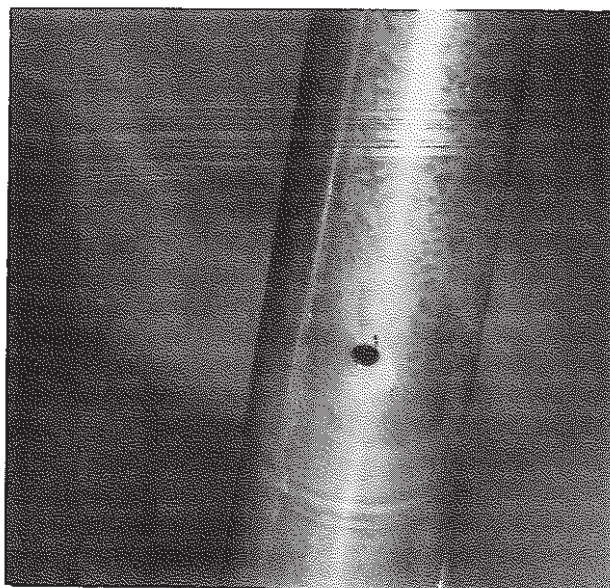
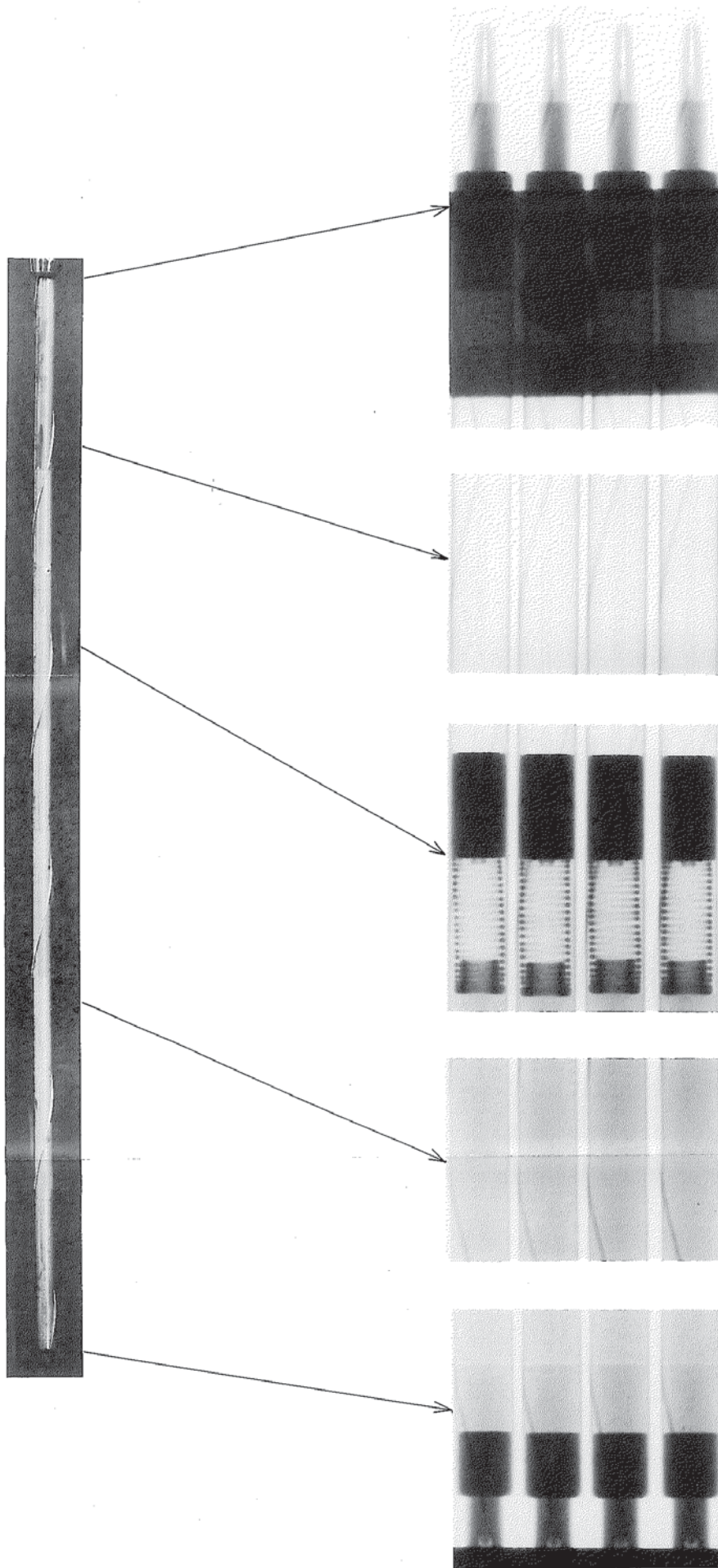


Photo 11 Detailed Observation of the outer  
Surface nearby the Vent Hole  
( MCR 006 : Pin No MCE41 )

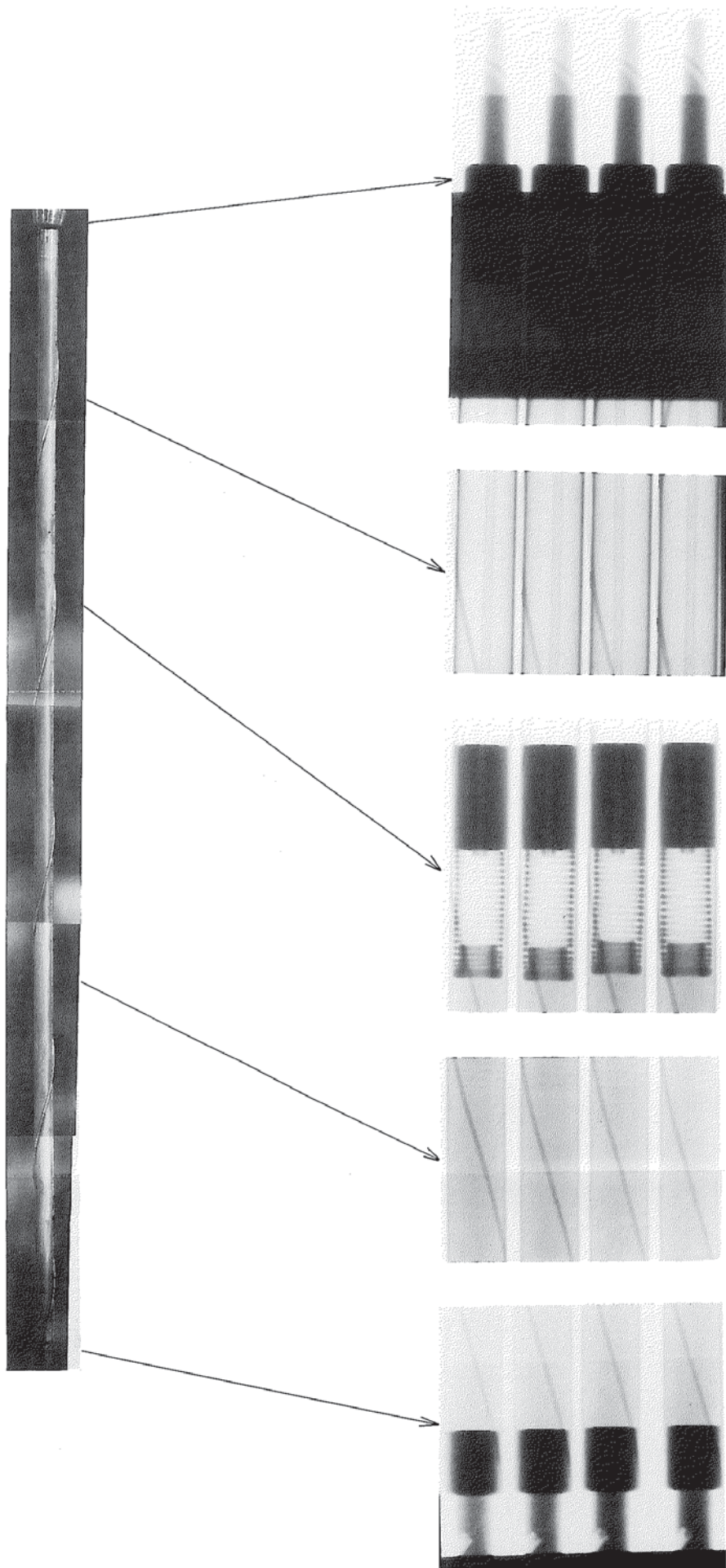




F844009

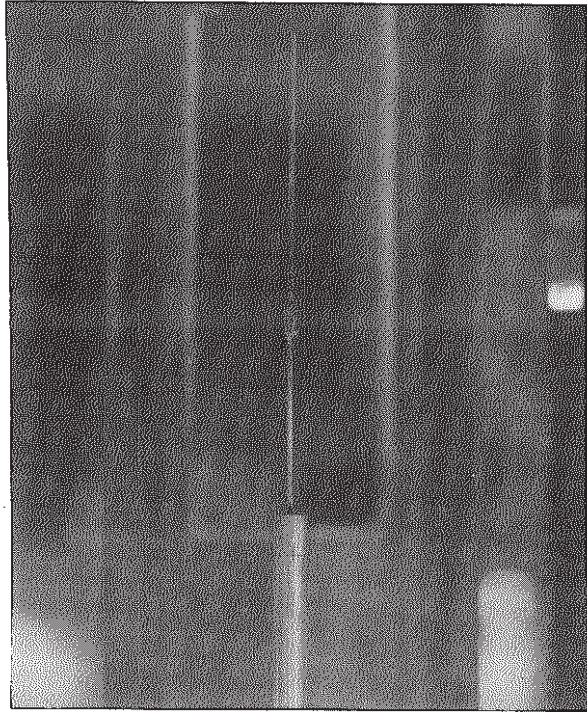
Photo 12 Installation Condition of the Contents of Absorber Pins (MCR006)



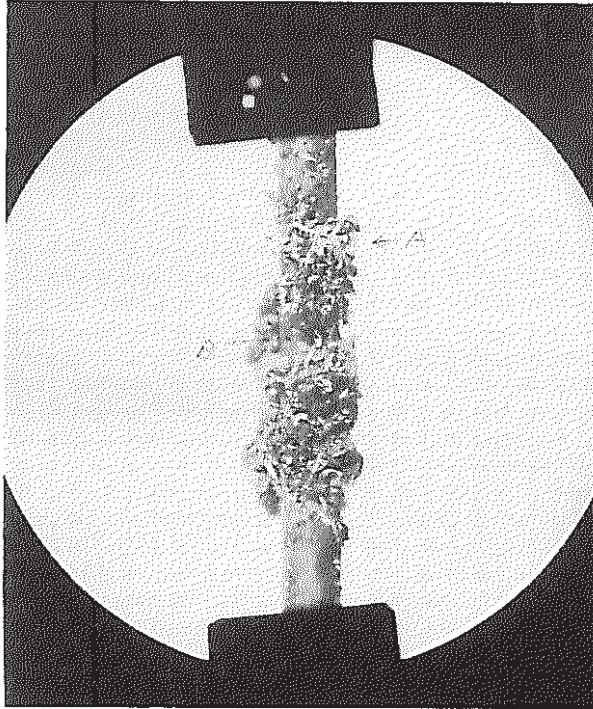


**F844014**

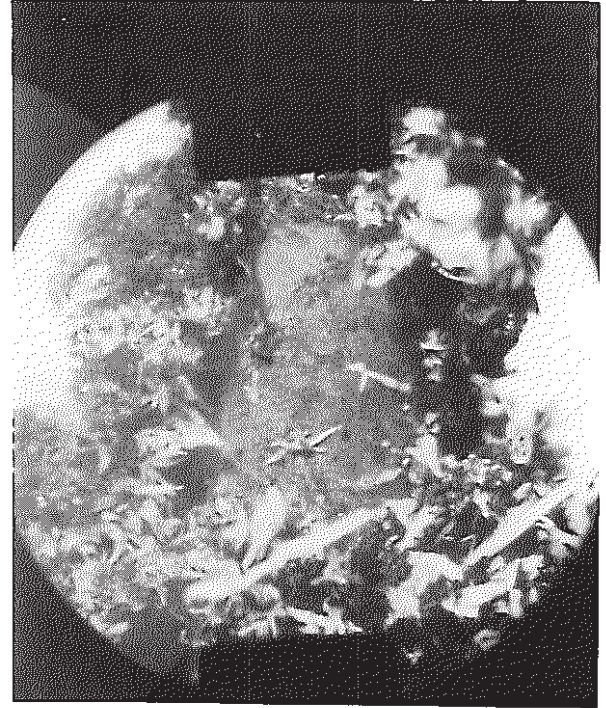
Photo 13 Installation Condition of Contents of Absorber Pins (MCR002)



( a )



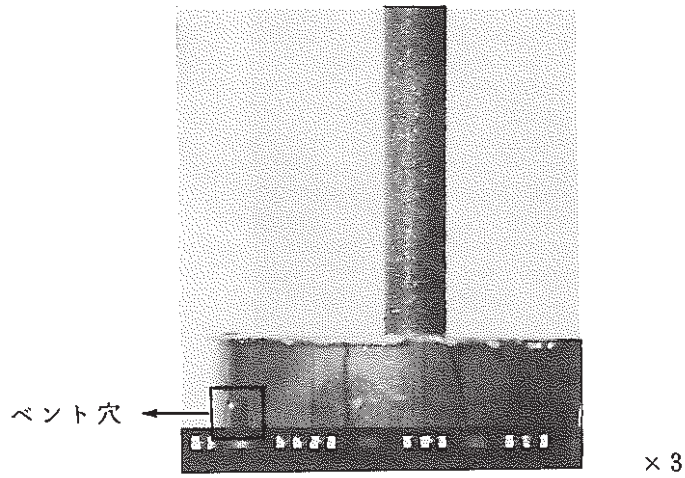
( b )



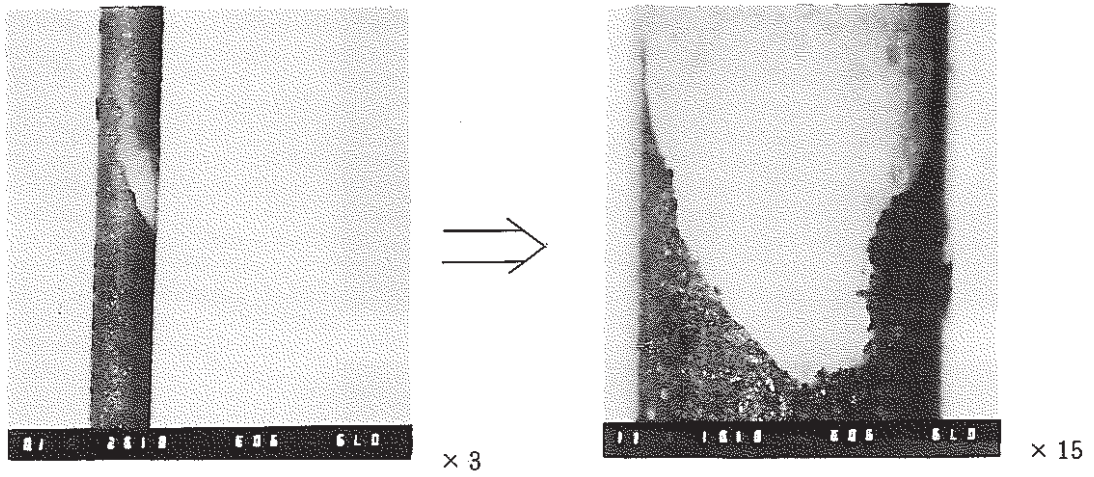
( c )

Photo 14 Condition of the Outer Surface of the Vent Tube  
( MCR 006, Pin No MCE 39 )





〔ベント管下部〕



〔白変色部〕

Photo 15 Condition of the Outer Surface of the Vent Tube  
( MCR002 , Pin No. MCE10 )

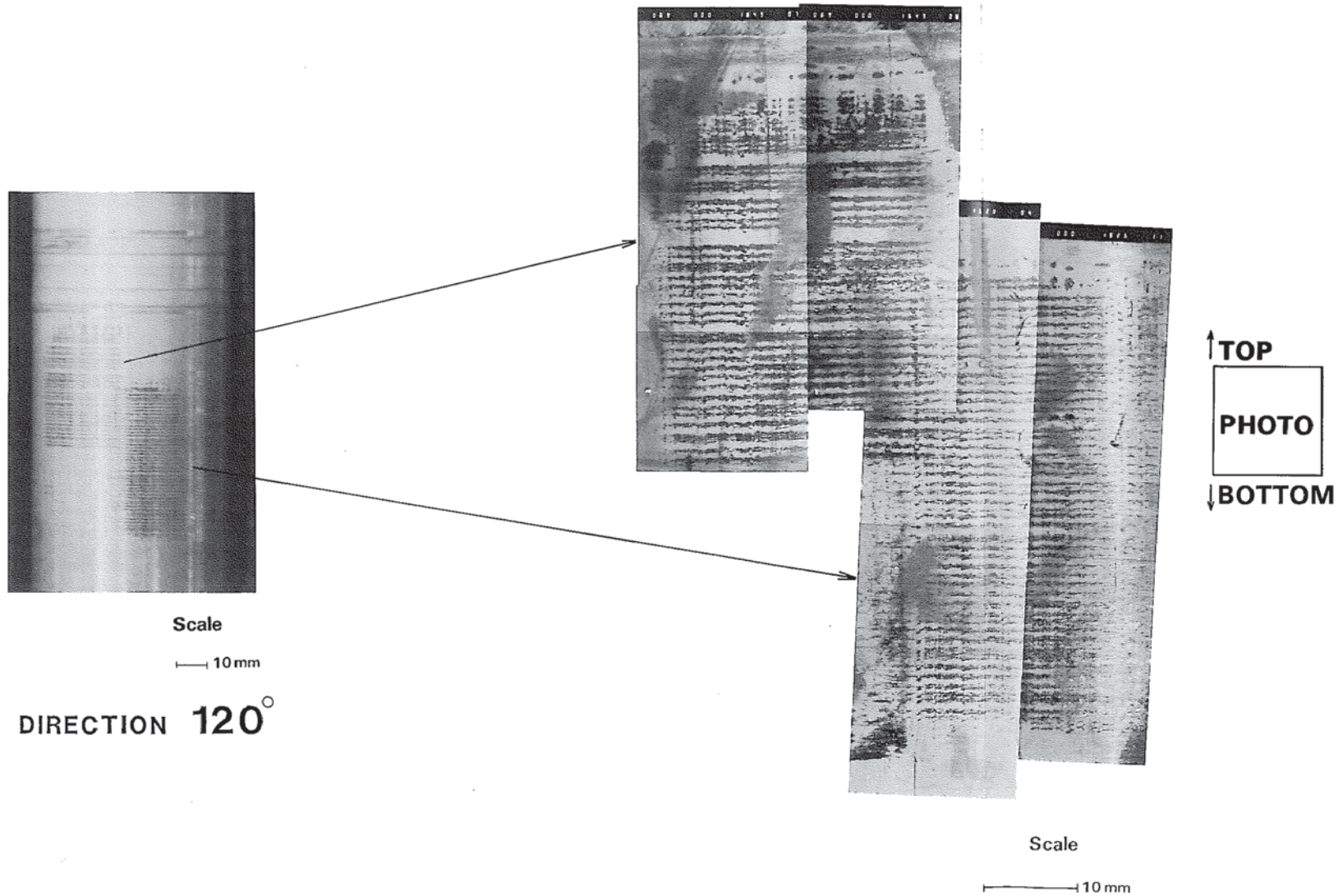
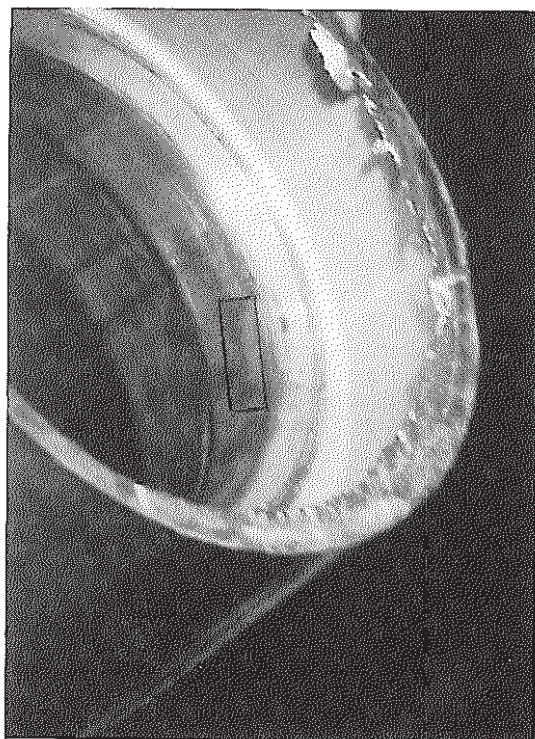


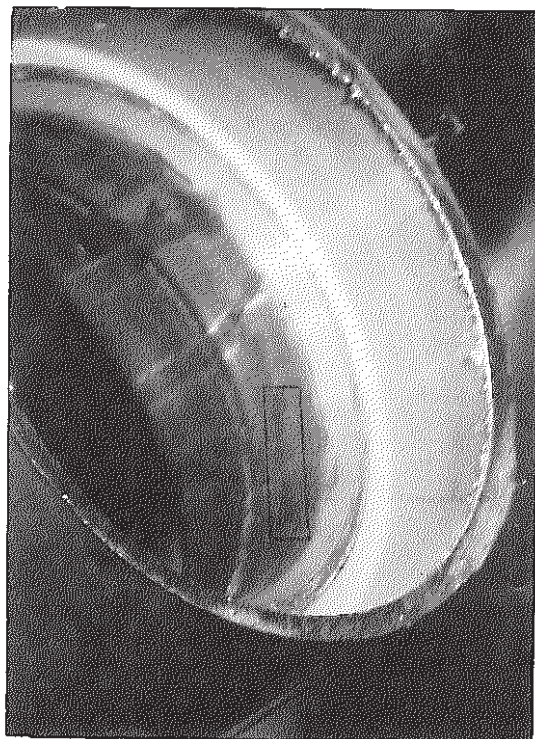
Photo 16 Detailed Observation of the Scar on the Upper Region of Control Rod Surface

F847001

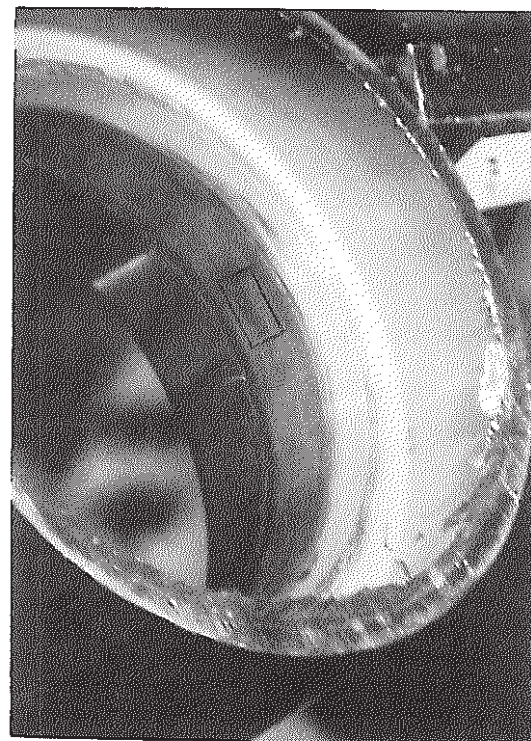




角度	<u>0°</u>	
キズ の 大 き さ	長 さ	7.5 mm
	巾	1.5 mm



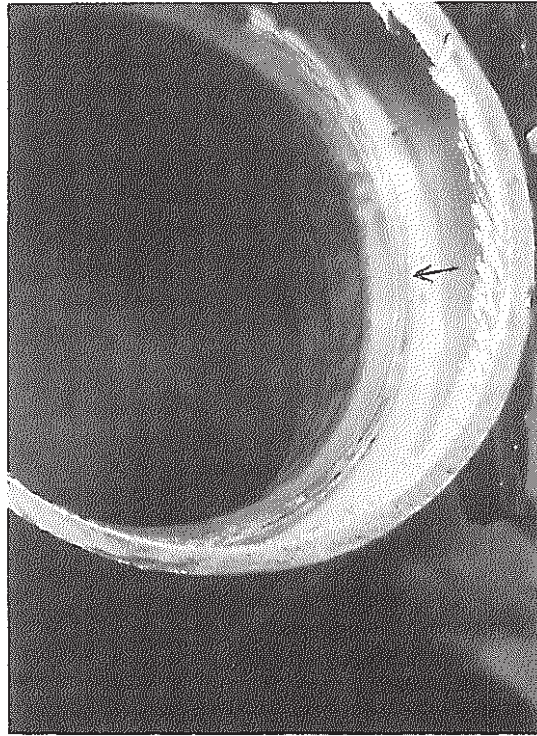
	<u>120°</u>	
	長 さ	10 mm
	巾	1 mm



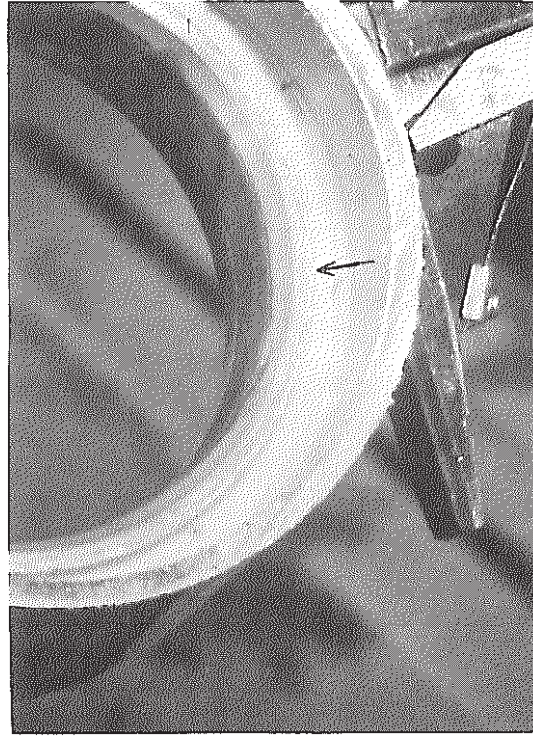
	<u>240°</u>	
	長 さ	6 mm
	巾	2 mm

Photo 17 Condition of the inner Surface of Handling head ( Part " A " : MCR 006 )

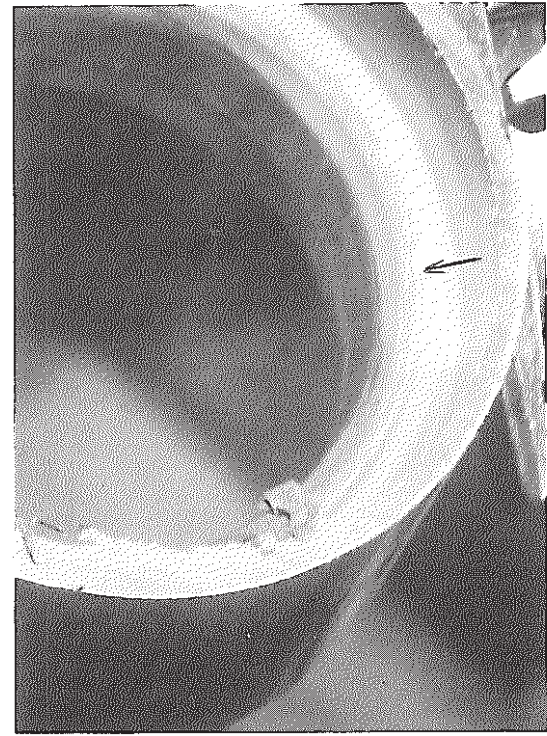




角 度      0°



120°



240°

Photo 18 Condition of the inner Surface of the Handling head ( Part "B" : MCR006 )



Photo 19 Holding Condition of Absorber Pin in Lower  
Grid Plate ( MCR006 )