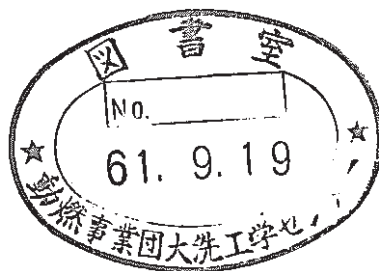


「常陽」MK-II 制御棒「MCR003」の照射後試験

制御棒引抜荷重増加の原因調査



1986年8月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
	PNC TN9410 86-144
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

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

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

「常陽」MK-II 制御棒「MCR 003」の照射後試験

制御棒引抜荷重増加の原因調査

実施責任者 田地弘勝*

報告者 沖元 豊* 浅賀健男*** 平沢久夫*

伊藤正彦**

要 旨

「常陽」MK-II 照射炉心 100 MW 出力上昇サイクルから、定格第 6 サイクルの間（このうち第 5 サイクルは燃料貯蔵ラックで保管）使用された制御棒「MCR 003」について、定格第 4 サイクル終了後炉内の取扱いにおいて認められた引抜荷重増加の原因調査を主目的とする照射後試験を実施した。

実験炉側での制御棒の引抜荷重試験結果から、引抜荷重増加の原因として以下のものが考えられた。

- (1) ダッシュラム部のスエリングによる外径増加。
- (2) B₄C ペレットのスエリングに起因した吸収ピンと保護管の干渉による制御棒下部構造物側の曲りによるもの。

これらの推定原因を確認するために、照射後試験を実施し、以下の結論を得た。

- (1) 引抜荷重増加は、スエリングによりダッシュラム部の径が増加し、ダッシュポット部とのクリアランスがほとんどなくなったために、両者の干渉が生じたことにより発生したと考えられる。
- (2) 吸収ピンと保護管との干渉は生じておらず、これによる下部構造物の曲りもないものと考えられる。但し、ダッシュラム部のスエリング量は半径方向で異なるため、この違いにより曲りが生じる可能性は残る。

* 大洗工学センター燃料材料開発部照射燃料集合体試験室（FMS）

** " " 照射材料試験室（MMS）

*** " " 技術解析室（AES）

目 次

1. ま え が き	1
2. 照 射 条 件	2
2.1 炉内装荷位置	2
2.2 照射条件	2
3. 照射後試験計画	3
4. 照射後試験結果	4
4.1 制御棒の外観検査	4
4.2 制御棒の X 線ラジオグラフィー	4
4.3 制御棒の寸法測定	4
4.4 ハンドリングヘッドの内面観察	5
4.5 ダッシュラム部の外観検査	5
4.6 ダッシュラム部の外径測定 (FMS)	5
4.7 ダッシュラム切断試料の外径測定及び密度測定 (MMS 実施)	6
4.8 ベント管内のナトリウム残留状況	6
5. 結果の検討	8
5.1 ダッシュラム部外径寸法評価	8
5.2 引抜荷重増加原因	8
6. あ と が き	10
7. 参 考 文 献	11

List of Tables

Table I	Irradiation Conditions of MK-II Control Rod 「MCRO03」	12
Table II	Diameter Changes of the Dashram Measured by a Toolsetting Gauge.....	13
Table III	Diameter Changes of the Dashram Measured by a Micrometer	14
Table IV	Density Changes of the Dashram	15

List of Figures

Fig. 1	In Reactor Location of MK-II Control Rod 「MCRO03」	16
Fig. 2	Axial Diameter Profile of the Control Rod	17
Fig. 3	Axial Bowing Profile of the Control Rod	18
Fig. 4	Schematic Vertical View of the Dashram and the Dashpot after Reactor Scram	19
Fig. 5	Diameter Measured Points by a Toolsetting Gauge and a Micrometer	20
Fig. 6	Diameter Change Diagram of the Dashram by a Toolsetting Gauge	21
Fig. 7	Diameter Changes as a Function of the Control Rod Fluence	22
Fig. 8	Density Measurement Points	23
Fig. 9	B ₄ C Stack Length Changes as a Function of the Control Rod Peak Burnup	24
Fig. 10	Comparison of the Diameter Change Diagrams of the Dashram by a Toolsetting Gauge and a Micrometer	25

List of photographs

Photo. 1	Surface Conditions of MK-II Control Rod 「MCR003」	26
Photo. 2	X-ray Radiography of MK-II Control Rod 「MCR003」	27
Photo. 3	Inside View of the Handling Head	29
Photo. 4	Surface Conditions of the Dashram	30
Photo. 5	X-ray Radiography of Absorber Pins	31
Photo. 6	Outside and Inside View of the Vent Tube	32
Photo. 7	View of the B ₄ C Stack from the Top	33

1. ま え が き

高速実験炉「常陽」MK-II照射炉心で使用されている制御棒については、その設計寿命評価のために、吸収材の燃焼度をパラメータとした使用中の各段階での健全性及び照射挙動確認の照射後試験が、既に3体について行われており、100 MW定格第6サイクルまで使用されたものについて、その健全性が確認されている。

今回照射後試験を実施した制御棒「MCR 003」は、MK-II炉心100 MW出力上昇サイクルから定格第6サイクルの間（このうち、定格第5サイクルは燃料貯蔵ラック内に保管）、炉内において使用されたものである。本制御棒は、定格第4サイクル終了後、燃料交換機によって炉心から制御棒を引抜く際に、通常の引抜荷重を超えた値が認められ、かつ、定格第6サイクル開始前の制御棒駆動装置（CRD）による引抜荷重試験で、通常の引抜荷重に対し約3倍の荷重と下部案内管挿入時の干渉によると思われる荷重変化が認められたが、さらに定格第6サイクルの継続使用を行ったものである。定格第6サイクルでの継続使用を実施した結果、同様の状況が認められた。

これらの現象は、制御棒の寿命決定上重要であるので、その原因を究明するため、照射後試験に供されたものである。

2. 照射条件

2.1 炉内装荷位置

炉内装荷位置を Fig. 1 に示す。

本制御棒「MCR 003」は、炉内装荷位置 3 C 3 に装荷され、100 MW 出力上昇サイクルから定格第 1 サイクルの間使用された。この後、本制御棒以外の制御棒「MCR 006」において通常よりも炉内での流力振動が大きい現象が認められたことにより、この原因調査のため装荷位置の変更（MCR 006 との装荷位置を入れ換え）を行い定格第 2 サイクルから定格第 4 サイクルの間は装荷位置 3 F 3 で使用された。第 4 サイクル終了後炉心から取り出され、定格第 5 サイクル中は燃料貯蔵ラック内に保管され、継続使用のため定格第 6 サイクルでは、装荷位置 3 A 3 で使用された。

2.2 照射条件

照射条件を Table I に示す。

本制御棒の中性子吸収材燃焼度は、 67.5×10^{20} cap/cc（ポイント最大）、積算中性子照射量は、 B_4C スタック下端位置（制御棒下端から約 600 mm）で、 3.29×10^{22} n/cm²（ $E \geq 0.1$ MeV⁽³⁾）、また、ダッシュラム部（制御棒下端から 260 mm）で 5.17×10^{22} n/cm²（ $E \geq 0.1$ MeV⁽⁷⁾）である。

制御棒の入口及び出口冷却材温度は、370℃及び385℃である。

3. 照射後試験計画

本制御棒は、100 MW 定格第6サイクル終了後、炉心より取出され貯蔵ラックで1サイクル冷却された後、炉サイトでナトリウム洗浄され、昭和60年5月13日に集合体キャスク渡りでFMFに搬入された。

実験炉側で実施した制御棒の引抜荷重試験結果から、引抜荷重増加の発生原因としては次のものが主な原因として考えられた。

- 1) ダッシュラム部のスエリングによる外径増加
- 2) B₄C ベレットのスエリングに起因した吸収ピンと保護管の干渉による制御棒下部構造物側の曲りによる下部案内管との干渉
- 3) 制御棒のラッチ不良による芯ずれ

これらの推定原因を確認するために、以下のように照射後試験項目を選択した。

- ① 制御棒の外観検査（上記2）の確認
制御棒の表面状況、外形形状変化の確認
- ② 制御棒 X線ラジオグラフィ（上記2）の確認
AQM I による吸収ピンと保護管の干渉の有無を確認する。
- ③ 制御棒寸法測定（上記2）の確認
保護管の外径、曲りを測定し形状変化を確認する。
- ④ ダッシュラム部の外観検査及び外径測定（上記1）の確認
ダッシュラム部の表面状況の観察及び外径変化の確認
- ⑤ ダッシュラム部の切断試料の外径測定及び密度測定（上記1）の確認

これらの結果にもとづいて、引抜荷重増加の発生原因を評価する。

また、燃料交換機による制御棒の片吊りの影響については、ハンドリングヘッドの内面観察を行い、ハンドリングヘッド内面のキズ、剥離等の有無を確認する。

尚、制御棒 X線ラジオグラフィの結果、ベント管に先行の制御棒（MCR 005）と同様にナトリウムの残留と推定される像が認められたため、制御棒を解体し、ベント管内のナトリウム残留状況を確認する照射後試験を上記計画とは別に実施した。

4. 照射後試験結果

4.1 制御棒の外観検査

受入時の保護管の表面状況を Photo. 1 に示す。

制御棒の上端より約 610 mm～740 mm 下の 0° 方向（制御棒の製造 No 刻印方向）に周方向の縞状の傷が認められた。（Photo. 1(a)）他の観察方向（120°，270°）では認められなかった。この傷は、先行の 3 体の制御棒でも認められたものと同様のもので、制御棒の流力振動により、制御棒と下部案内管上端内面との干渉によって発生したものと推定される。その他、ダッシュラム部に若干の傷（Photo. 1(b)）が認められた以外、これまで受入れた制御棒とほぼ同様の表面状況を示し、特に異常は認められなかった。また、外形形状変化にも異常は認められなかった。

4.2 制御棒 X 線ラジオグラフィ

X 線写真を Photo. 2 に示す。

制御棒内部への異物の混入、ピン配列の乱れ等は認められなかった。また、吸収ピンと保護管の隙間は明瞭に認められ、ACMI による吸収ピンと保護管の干渉はなかった。

一方、ベント管部には、先行の制御棒「MCR 005」と同様にナトリウムの残留と推定される像が認められた。

4.3 制御棒の寸法測定

保護管の外径を測定し、照射前後での変化の有無を確認した結果、有意な変化は認められなかった。外径測定結果を Fig. 2 に示す。

曲りについては、測定時装置にダッシュラム部を固定した際、固定治具（内径 44.7 mm）に充分装填することができず（ダッシュラム部の外径増加又は変形によるものと推定される）、また、固定治具自体の倒れが加味されて、制御棒本体が傾き従来の評価法では、正確な制御棒の曲り量が算出できないことがわかった。

そこで、保護管のみに着目し、保護管部分の 3 方向についての曲りの軸方向プロファイルを照射前のそれと比較し、曲り状況の変化を調べることにした。この結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3 より、照射前後で曲りのプロファイルは、ほぼ一致し、保護管の曲りについては、照射による影響がないことが確認された。

4.4 ハンドリングヘッドの内面観察

ハンドリングヘッド内面の撮影結果を Photo. 3 に示す。

内面観察の結果、内側表面に傷、剥離等は認められず、制御棒のラッチ不良が生じた可能性を示すことはできなかった。

4.5 ダッシュラム部の外観検査

外観写真を Photo. 4 に示す。

ダッシュラム部の最下端に接触跡及び下端から 110 mm ~ 160 mm 位置の約 70° 方向及び 240° 方向に軸方向のスリ傷が認められたが、これらは先行の制御棒でも認められている。ダッシュラム部の最下端の接触跡 (Photo. 4(a)) は、原子炉スクラム時に、制御棒が 0.5 G で落下した際に下部案内管ダッシュポットと衝突したときの傷と考えられる。

一方、下端から 110 mm ~ 160 mm 位置の傷 (Photo. 4(b)) は、Fig. 4 に示すように、ダッシュラムとダッシュポットが接する位置と一致する。この傷は、ダッシュポットへの挿入又は引抜き時に発生したと考えられ、引抜き荷重増加及び挿入時の過負荷はこの部分の干渉によるものと判断する。

ダッシュラム部の曲りは、目視では認められなかった。

4.6 ダッシュラム部の外径測定 (FMS)

ダッシュラム部の外径測定をツールセッティングゲージを用いて実施した。外径測定位置を Fig. 5 に示す。

照射後の外径は、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ダッシュラム部下端から 160 mm 位置を測定すべきであるが、ダッシュラム部は下端から 170 mm 位置までテーパ部になっている。本ゲージの特性上、被測定部がテーパであると誤差が大きくなるので、測定位置として誤差の小さくなるストレート部分 3 点 (ダッシュラム部下端より 180 mm, 220 mm, 260 mm) を選択し、30° 毎に 12 方向測定した。160 mm 位置は測定したが参考値とする。

測定結果を Table II に示す。

尚、製造時データとしては、下端より 160 mm, 260 mm の 2 点について直角 2 方向の測定値がある。

Fig. 6 にダッシュラム部下端から 260 mm の各方向での照射前後の変化量を求めた結果を示す。この図から外径変化は等方的でないことがわかった。尚、製造時を真円として考えた。

最大外径変化を評価するため、Fig. 6 の変化量に対する外接円を求め、この直径を最大変化量とした。この結果、最大外径変化量は、219 μm で外径変化率は 0.54 % となり、このときの最大外径は、40.499 mm と推定された。

次にダッシュラム部下端から 160 mm 位置での外径を MK - I 材料 (SUS 316 アニール材) の

スエリングとフルエンスの関係式を利用して推定した。この結果を Fig. 7 に示す。この位置でのフルエンスは、 $3.77 \times 10^{22} \text{ n}^{(6)} / \text{cm}^2$ である。また、外径変化率を評価する場合、本ダッシュラム部の外径が、先行の制御棒（「MCR 004」，「MCR 005」⁽²⁾⁽⁷⁾）より大きく測定され、ノミナル式では過小評価されるため、 $+3\sigma$ の関係式を用いて評価した。この結果、外径変化率は、0.36% となり、この位置での製造時の外径 40.26 mm に対し、照射後の外径は最大 40.409 mm と評価される。

4.7 ダッシュラム切断試料の外径測定及び密度測定（MMS 実施）

1) 外径測定

ダッシュラム部の外径測定をマイクロメータを用いて、マーキングを基準にし 30° 間隙で 12 方向測定した。測定方向を Fig. 8(a) に示す。測定位置として、ダッシュラム部の下端より 260 mm 位置とダッシュポットと干渉する下端より 160 mm 位置とした。

測定結果を Table III に示す。下端から 160 mm については、テーパ部であるため参考値として扱う。測定結果から、ダッシュラム部の下端より 260 mm の位置については、非破壊での測定結果と同様異方性があることが認められ、この位置での最大外径変化量は、 $200 \mu\text{m}$ （外径変化率 $\sigma D/D = 0.50\%$ ）で最大外径は、40.48 mm であった。

2) 密度測定

最も径変化の大きかった 60° 方向について、ダッシュラム部下端より 260 mm 位置及び 160 mm 位置で、各々 3 試料及び 2 試料を切出し、液浸法によって測定した。切出し箇所を Fig (b) に示し、測定結果を Table IV に示す。

ダッシュラム部の下端より 260 mm 位置及び 160 mm 位置の最大密度変化 $\Delta\rho/\rho$ は、それぞれ 1.02% 及び 0.63% であった。また、スエリングが半径方向で差を生じていることがわかった。

4.8 ベント管内のナトリウム残留状況

ベント機構部へのナトリウム残留状況及び B_4C スタック部へのナトリウム侵入の有無を確認するために、ピン X 線ラジオグラフィ、ピン重量、ベント管部外観及び B_4C ペレット上端部観察試験を実施した。

1) ピン X 線ラジオグラフィ

撮影結果を Photo. 5 に示す。また、 B_4C スタック長の測定結果をこれまで受入れた制御棒についての測定結果とともに Fig. 9 に示す。

各ピンのベント管の状況では、ピン No. 9001 のピンについて、ナトリウムの残留と推定される影が認められたが、他のピンには認められなかった。

(2) ピン重量測定

測定結果を下表に示す。この結果から有意差判定値±2.1 gを超えるものが認められ、ナトリウムのベント管部への侵入が推定される。

ピン No.	PIE(g)	FAB(g)	変化量(g)
9001	917.7	912.0	5.7
9002	917.8	913.5	4.3
9003	918.3	913.5	4.8
9004	914.7	912.5	2.2
9005	914.3	912.0	2.3
9006	917.6	912.0	5.6
9007	913.4	912.5	0.9

(3) ベント管部外観検査

観察結果を Photo. 6 に示す。

ピン重量測定結果から、変化量の大きい2本（ピン No. 9001 及びピン No. 9006）について切断し、ベント管の外観検査を実施した結果、ベント部被覆管内部にナトリウムの付着が認められた。

(4) B₄C ペレット上端部観察

観察結果を Photo. 7 に示す。

B₄C ペレット上端に、若干の変色はあるがナトリウムの侵入した形跡は認められない。

5. 結果の検討

5.1 ダッシュラム部の外径寸法評価

ダッシュラム部の外径測定に使用したツールセッティングゲージの特性として

- ① 真円であれば精度よく ($10 \mu\text{m}$ 以内) 半径が求められる。
- ② だ円であれば、短径側で過大評価され、長径側で過小評価される。また、短径と長径の差に比例して誤差が大きくなる。

今回のダッシュラム部の外径は、異方性をもって測定された。異方性形状のものをツールセッティングゲージを用いて測定すると、上記の②からわかるように精度保証が困難となる。

仮に、今回ダッシュラム部の外形をだ円と想定すると、ダッシュラム部下端から 260 mm における破壊試験結果から長径と短径の差が最大 $90 \mu\text{m}$ ある。これをツールセッティングゲージで測定すると短径側で $36 \mu\text{m}$ 過大評価され、長径側で $36 \mu\text{m}$ 過小評価される。この場合、ツールセッティングゲージで測定した結果は、信頼性に貧しい。しかし、短径と長径の差が小さくなるとある範囲内で信頼性がでてくる。

これらのことから、FMS で実施するツールセッティングゲージによる異方性形状物の測定では、過大誤差を生じる可能性があり、今後精度上の使用限界を見極める必要がある。したがって、今回のダッシュラム部の外径評価は、破壊試験結果から評価することとした。

破壊試験結果から、溶体処理材の外径変化率とフルエンスの関係式を利用して、ダッシュラム部下端から 160 mm 位置での外径評価を推定した。この結果、最大外径変化量は 0.129 mm 、外径変化率 $\Delta D/D = 0.32 \%$ で、最大外径 40.39 mm と推定された。

5.2 引抜荷重増加原因評価

当初、考えられた原因として以下のものがあげられるが、

- i) ダッシュラム部の外径増加
- ii) ACMIによる制御棒下部構造物の曲り
- iii) ダッシュラムの変形

このうち、ii), iii) については、照射後試験結果から原因とは考えられないことがわかった。

i) について、下部案内管ダッシュポットのスエリング評価⁽⁵⁾によると、MK-II 炉心第 14 サイクルまでのフルエンスでは、ほとんどないと推定される。その結果、ダッシュポットの内径は、検査基準 ($40.40 \begin{smallmatrix} +0.025 \\ -0.0 \end{smallmatrix} \text{ mm}$) をもとに評価すると、MK-II 炉心第 6 サイクル後でも最小で 40.40 mm になる。破壊試験でのダッシュラム部最大外径は 40.39 mm ($\Delta D/D = 0.32\%$) であり下部案内管とのクリアランスはほとんど消滅し、干渉が生じたものと考えられる。

また、破壊試験の密度測定結果から、ダッシュラム部のスエリングが半径方向で差が生じてお

り、これによるダッシュラム部の曲りが生じている可能性があり、曲りによる干渉増加も推定される。

6. あ と が き

「常陽」MK-II炉心100MW出力上昇サイクルから、定格第6サイクルの間（このうち第5サイクルは燃料貯蔵ラックで保管）使用された制御棒「MCR003」について定格第4サイクル以後、炉内の取扱いにおいて認められた引抜荷重増加原因の調査を主目的とする照射後試験を実施した。照射後試験の結果、下記のことになった。

- 1) 本制御棒の引抜荷重増加は、ダッシュラム部のスエリングにより下部案内管ダッシュポットとのクリアランスがほとんどなくなったため、干渉が生じその影響が現れたと考えられる。但し、密度測定結果から、ダッシュラム部のスエリングが半径方向で差を生じていることから、これにより制御棒ダッシュラム部に曲りが生じている可能性があり、曲りによる干渉増加も影響を及ぼしていると推定される。
- 2) 本制御棒ダッシュラム部のスエリングは、他の制御棒に比べて大きい。原因については別途検討していく必要がある。
- 3) B₄Cペレットのスエリングに起因した吸収ピンと保護管の干渉は生じていない。
- 4) ダッシュラム部の断面形状は、真円形状でなく若干だ円形状になっているものと考えられる。この場合、FMSで実施するツールセッティングゲージによる測定では誤差を生じる可能性がある。したがって、ツールセッティングゲージについては、今後精度上の使用限界を見極める必要がある。
- 5) 本制御棒のベント管部へのナトリウム残留状況調査では、「MCR005」で認められたようなB₄Cペレット上端部へのナトリウム侵入は、認められなかった。

7. 参 考 文 献

- (1) 浅贺健男他 : 「常陽」MK-II制御棒(MCR 006, MCR 002)の照射後試験(I)
PNC I 941 85-13
- (2) 小高英男他 : 「常陽」MK-II制御棒(MCR 005)の照射後試験(I)
執筆中
- (3) 実験炉部 : 「常陽」照射試験サイクル報(第6サイクル)
PNC SN936 84-05
- (4) 部内資料 : JOYO 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
AESテクニカルレポート 83(AES)54
- (5) 実験炉部 : MK-I下部案内管のMK-II炉心での使用限界評価
照射課メモ 照-58-113
- (6) 実験炉部 : 制御棒ダッシュラム部の中性子照射量について
照射課メモ 照-(60)-59, 照-(60)-116
- (7) 部内資料 : 「常陽」MK-II制御棒(MCR 004)の照射後試験
燃料部テクニカルレポート 84-FMS-30

Table I Irradiation Conditions of MK-II control Rod 「MCR 003」

サ イ ク ル			0	1	2	3	4	6	
装 荷 位 置			3 C 3		3 F 3			3 A 3	
燃 焼 度	ポ イ ン ト 最 大		$\times 10^{20} \text{ cap/cc}$	7.5	20.2	33.4	45.2	56.6	67.5
	集 合 体 平 均		$\times 10^{20} \text{ cap/cc}$						
積 算 中 性 子 照 射 量	En \geq 0.1 MeV	ポ イ ン ト 最 大	$\times 10^{20} \text{ n/cm}^2$	35.2	99.9	167	223	277	329
		集 合 体 平 均	$\times 10^{20} \text{ n/cm}^2$	8.7	27.0	45.7	59.3	72.3	85.9
	Total	ポ イ ン ト 最 大	$\times 10^{20} \text{ n/cm}^2$	46.6	130	219	293	365	436
		集 合 体 平 均	$\times 10^{20} \text{ n/cm}^2$	12.0	36.6	61.9	80.9	99.0	120
集 合 体 出 口 温 度	B O C		℃	383	388	389	387	387	388
	E O C		℃	382	387	386	384	385	385
ピ ー キ ン グ 係 数	B O C	径 方 向	—						
		軸 方 向	—	3.628	3.251	3.183	3.333	3.316	3.906
	E O C	径 方 向	—						
		軸 方 向	—	3.686	3.354	3.323	4.584	4.540	4.404
冷 却 材 流 量	B O C		kg/sec	3.6	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8
	E O C		kg/sec	3.6	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8

(6)

○ 制御棒下端から 260 mm 位置の積算中性子照射量 (n/cm^2)

$$5.17 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2 \quad (E \geq 0.1 \text{ MeV})$$

Table II Diameter Changes of the Dashram measured by
a Toolsetting Gauge

下端からの位置 (mm)	PIE 時直径 (mm)	製造時直径 (mm)	変 化 量 (mm)	変 化 率 (%)
260	平均 40.478	40.28	0.198 最大* 0.219	0.49 0.54
220	平均 40.439	—	0.159**	0.39
180	平均 40.328	—	0.048**	0.12
162	平均 40.299***	40.26	0.039***	0.10

* : 変化量に接する外接円より算出

** : 下端より 260 mm の製造時データ引用

*** : テーパ部のため参考値

Table III Diameter Changes of the Dashram measured by
a Micrometer

	1 B (注2)		1 D (注2)	
	外径 (mm)	$\Delta D/D$ (%)	外径 (mm)	$\Delta D/D$ (%)
0° - 180°	40.35 ₅	0.24	40.39	0.27
30° - 210°	40.30	0.10	40.48	0.50
60° - 240°	40.28	0.05	40.48	0.50
90° - 270°	40.29 ₅	0.09	40.45	0.42
120° - 300°	40.34	0.20	40.39	0.27
150° - 330°	40.36	0.25	40.39	0.27

注1) 未照射材の径は 40.28 mm であるが 1 B (Bottom から 162 mm 位置 40.26 mm を
基準とした) はテーパ部を測定しているので、参考値とする。

注2) 1 B : ダッシュラム下端から 160 mm 位置

1 D : " 260 mm 位置

Table IV Density Changes of the Dashram

試験片 No.	密度 (g/cm ³) 平均値	スエリング (%)	備考
1B-①	7.917	0.63	未照射材の密度 7.967 g/cm^3 スエリング [%] $= \frac{\rho_a - \rho_b}{\rho_a} \times 100$ ρ_a : 未照射材 (g/cm ³) ρ_b : 照射材 (g/cm ³)
1B-②	7.929	0.48	
1D-①	7.886	1.02	
1D-②	7.890	0.97	
1D-③	7.898	0.87	

1B : ダッシュラム部下端から 160 mm 位置

1D : " 260 mm 位置

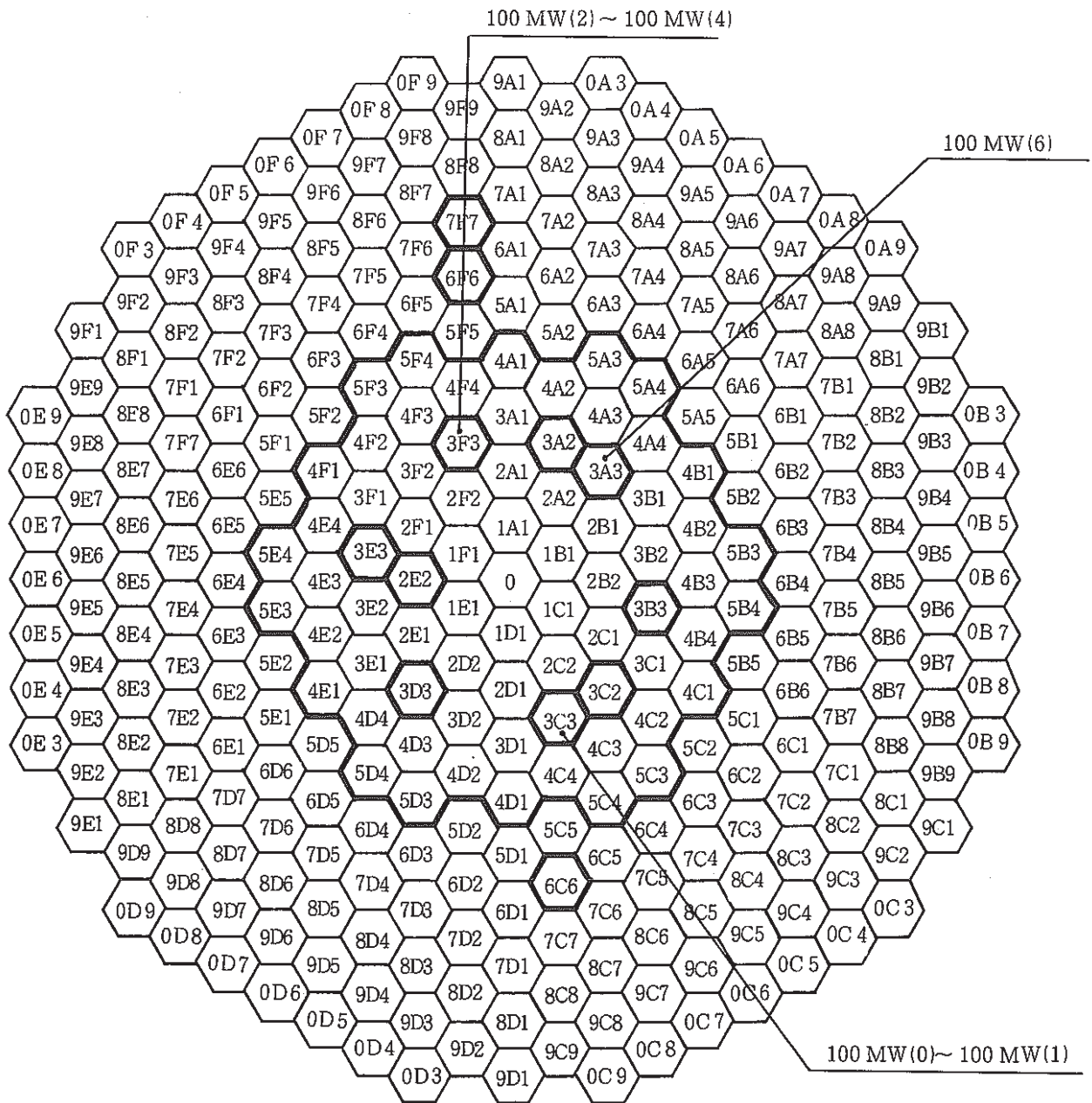


Fig.1 In Reactor Location of the MK-II Control Rod 「MCR003」

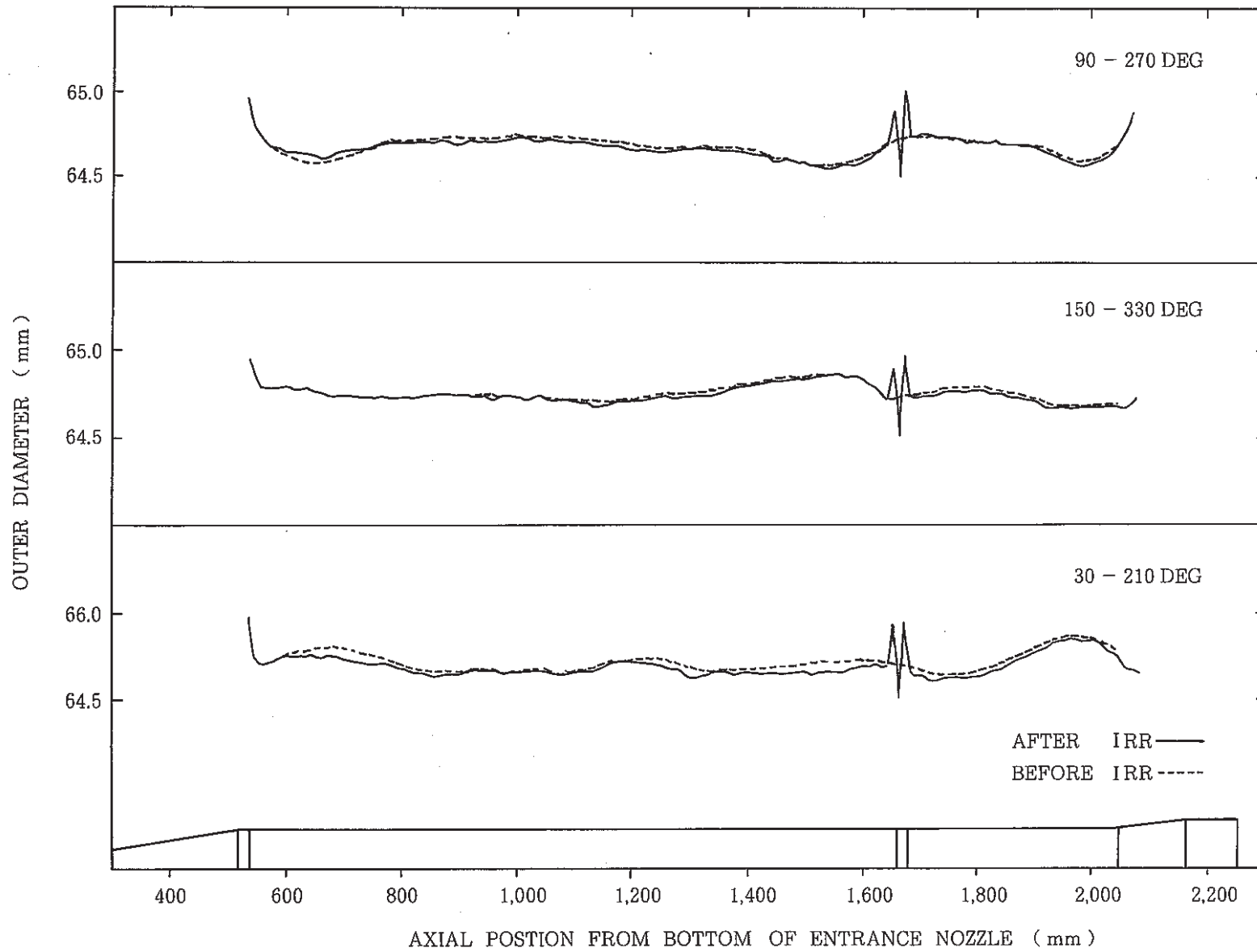


Fig.2 Axial Diameter Profile of the Control Rod

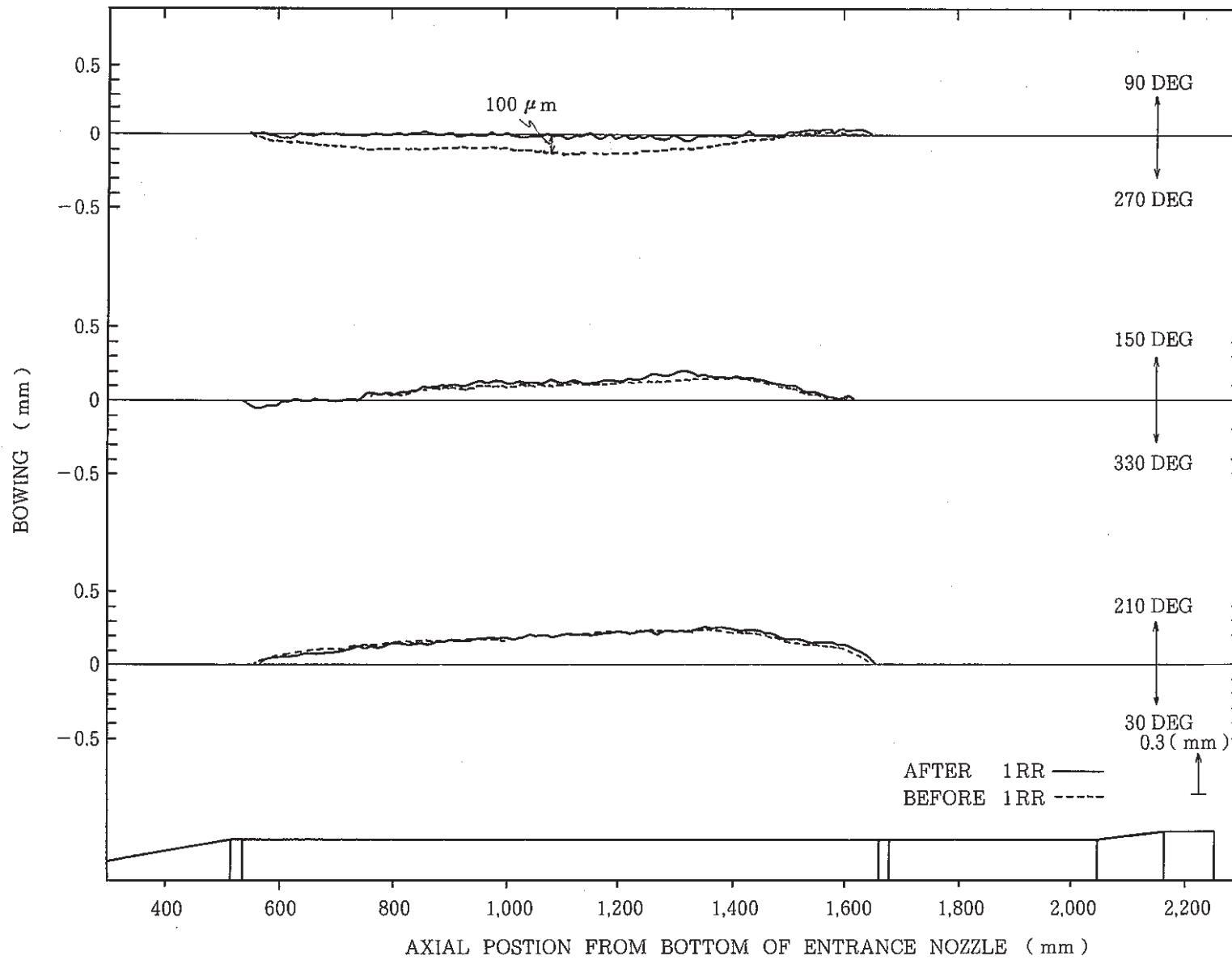


Fig.3 Axial Bowing Profile of the Control Rod

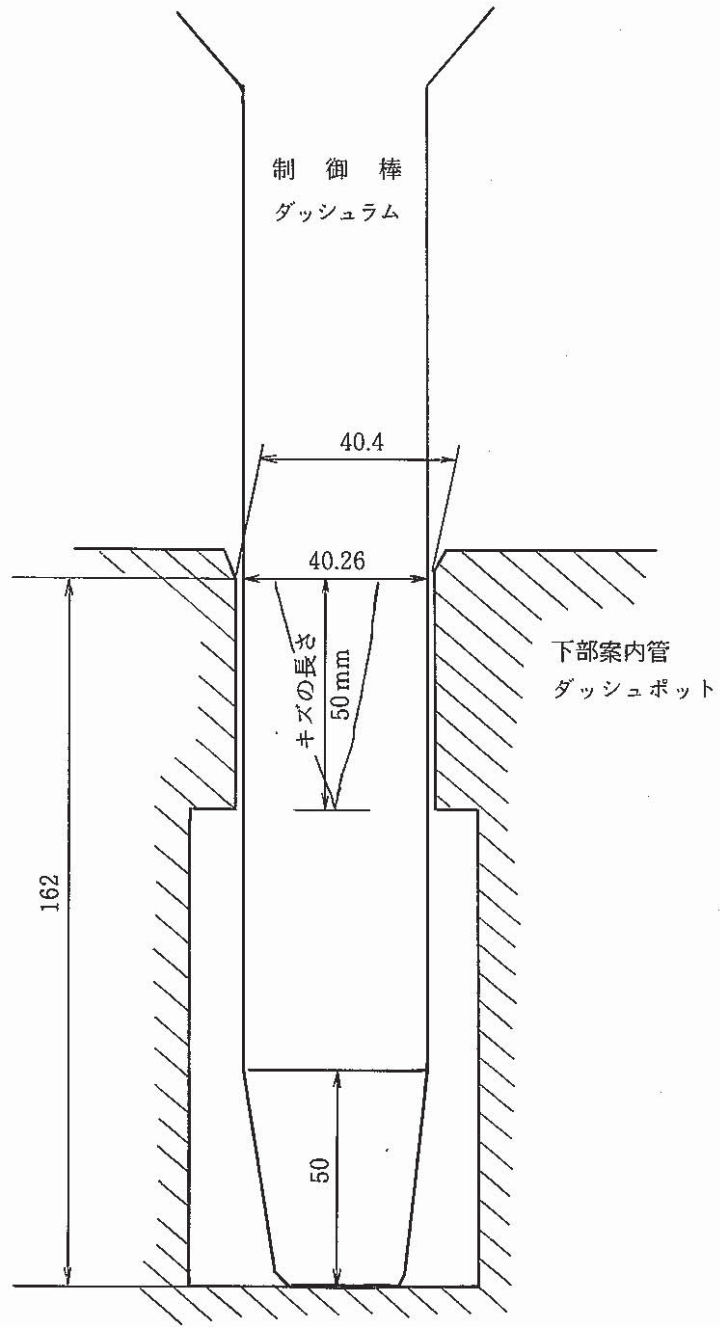


Fig.4 Schematic vertical view of the Dashram and the Dashpot after Reactor scram

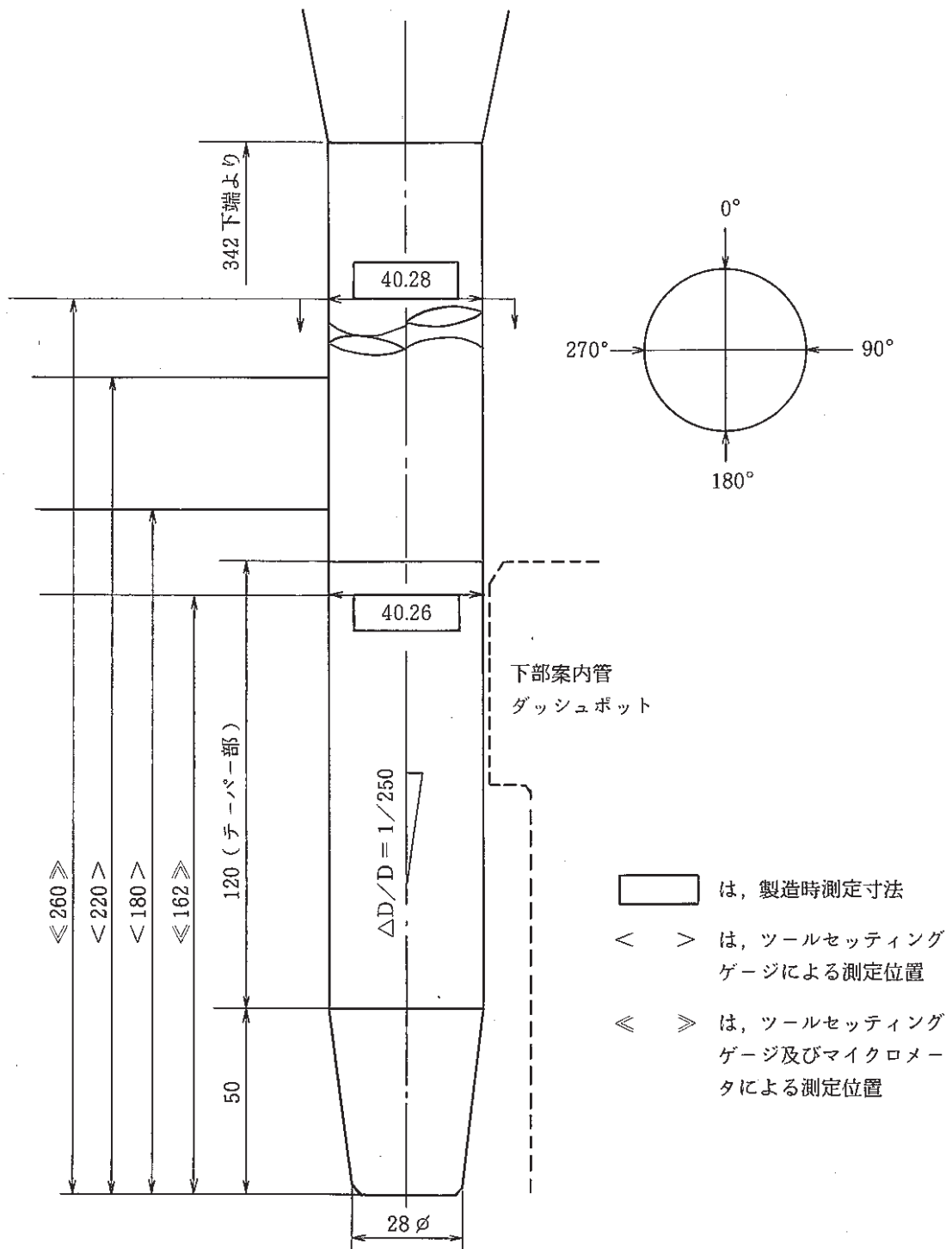


Fig. 5 Diameter Measurement Positions by a Toolsetting Gauge and a Micrometer

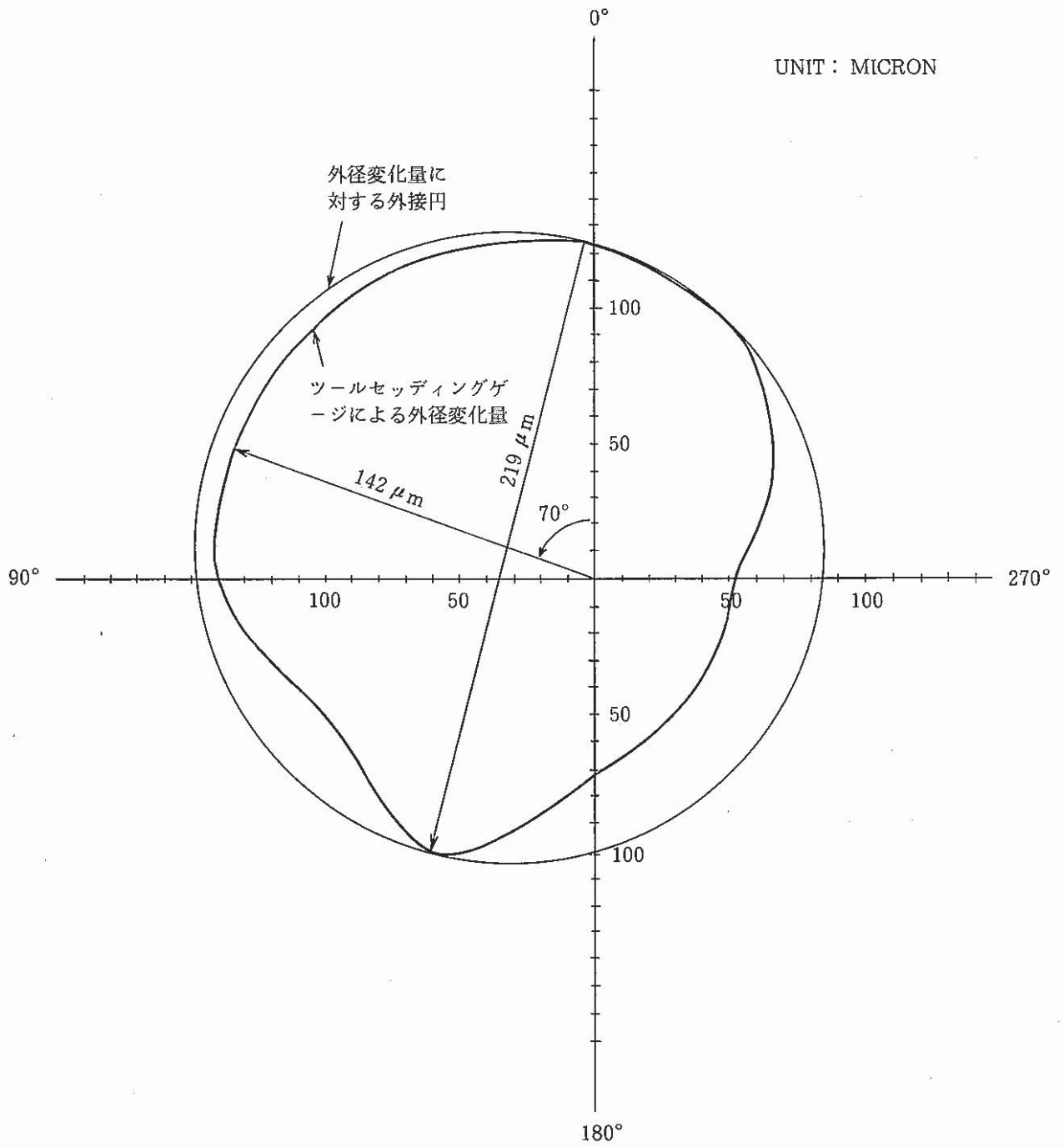


Fig.6 Diameter Change Diagram of the Dashram by a Toolsetting Gange

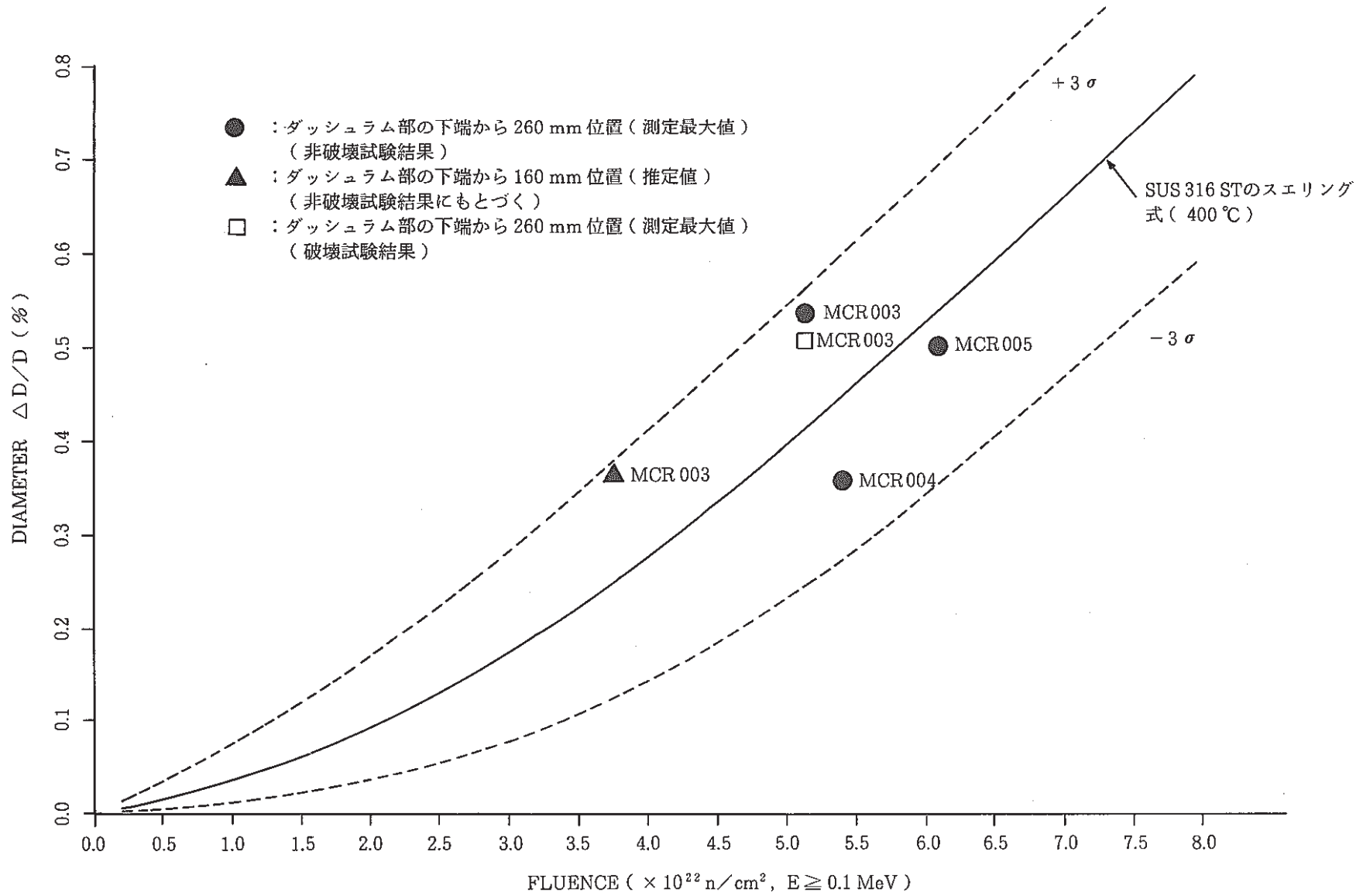


Fig.7 Diameter Changes as a function of the Control Rod Fluence

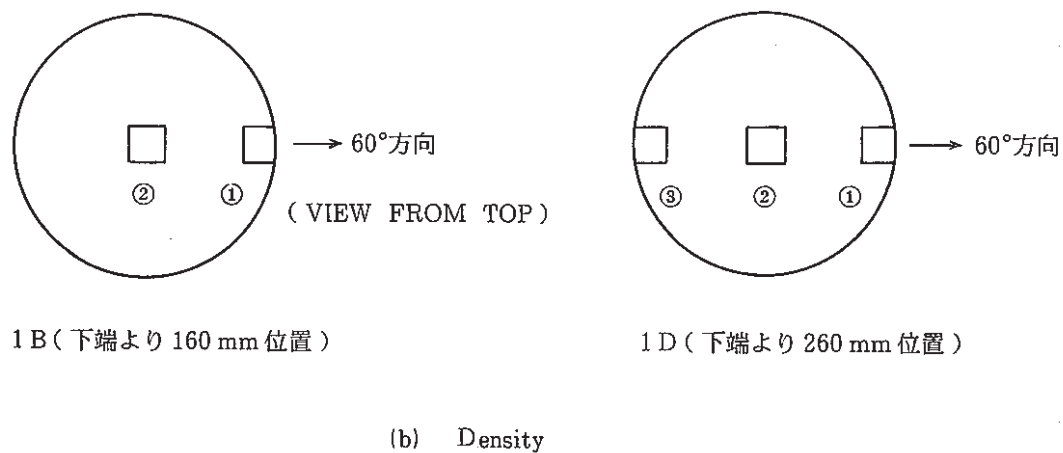
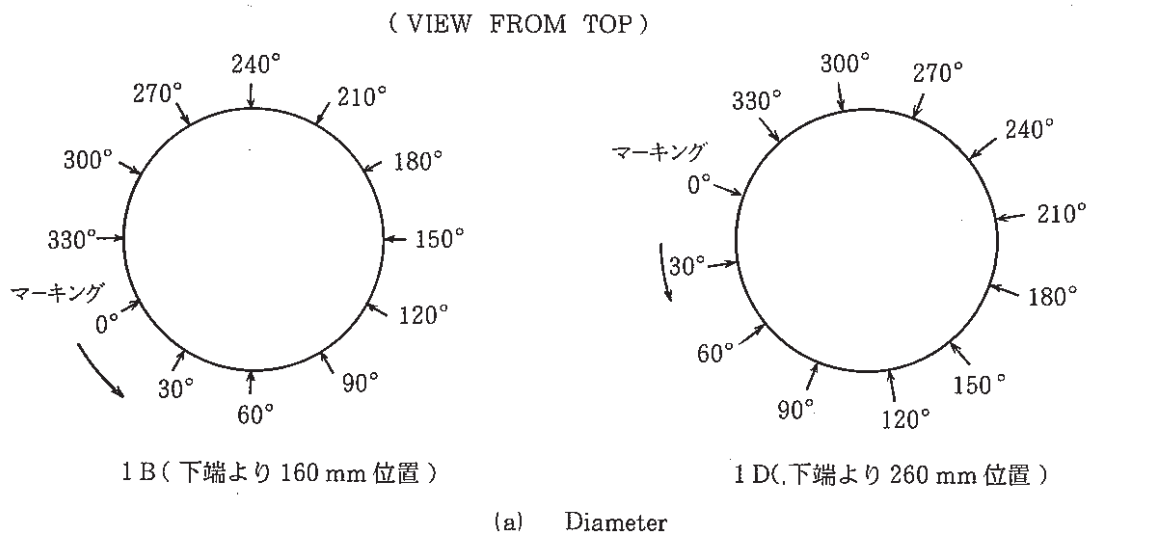


Fig.8 Measurement Positions of the Dashram

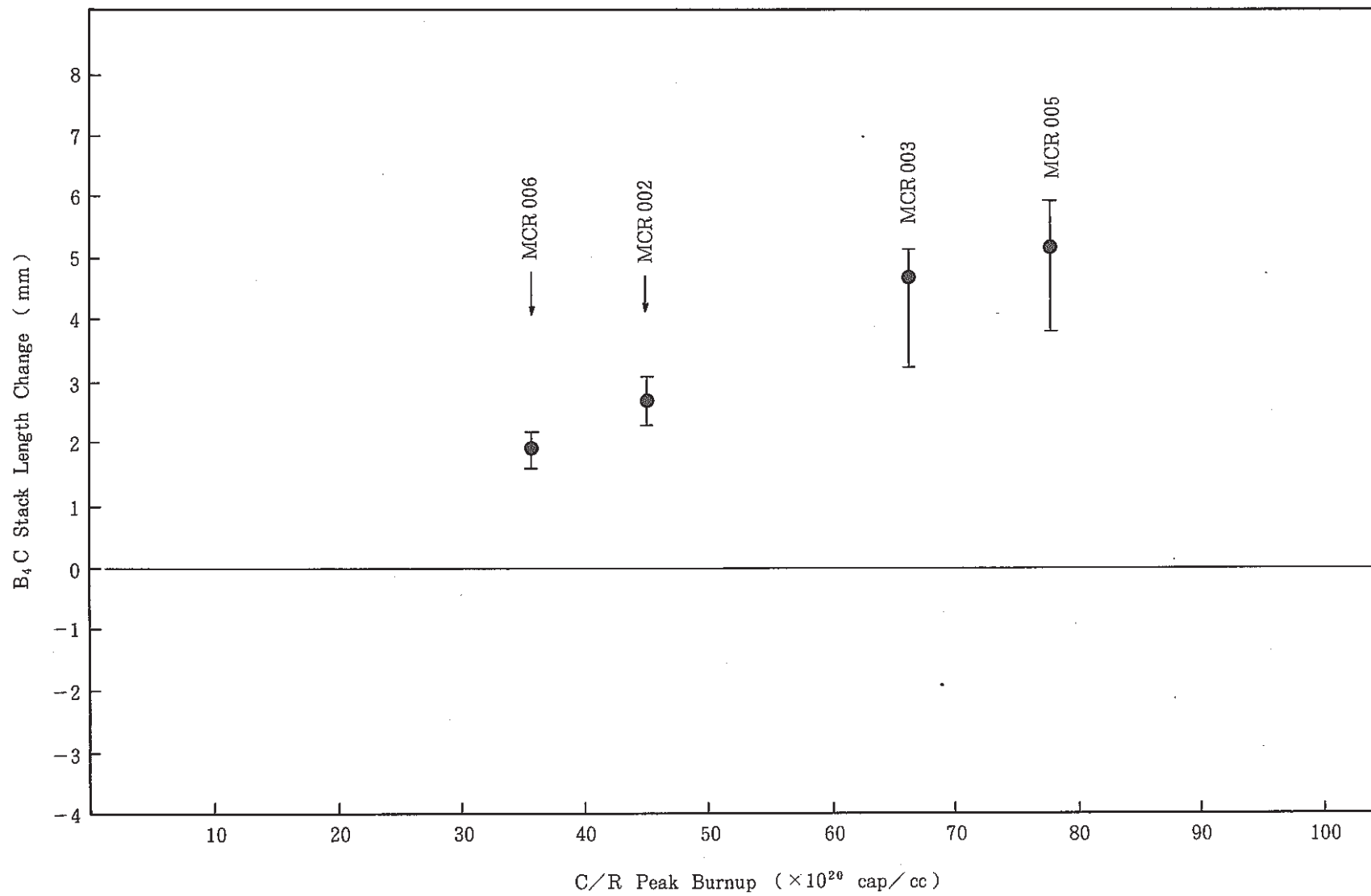


Fig.9 B₄C Stack Length Changes as a function of the Control Rod Peak Burnup

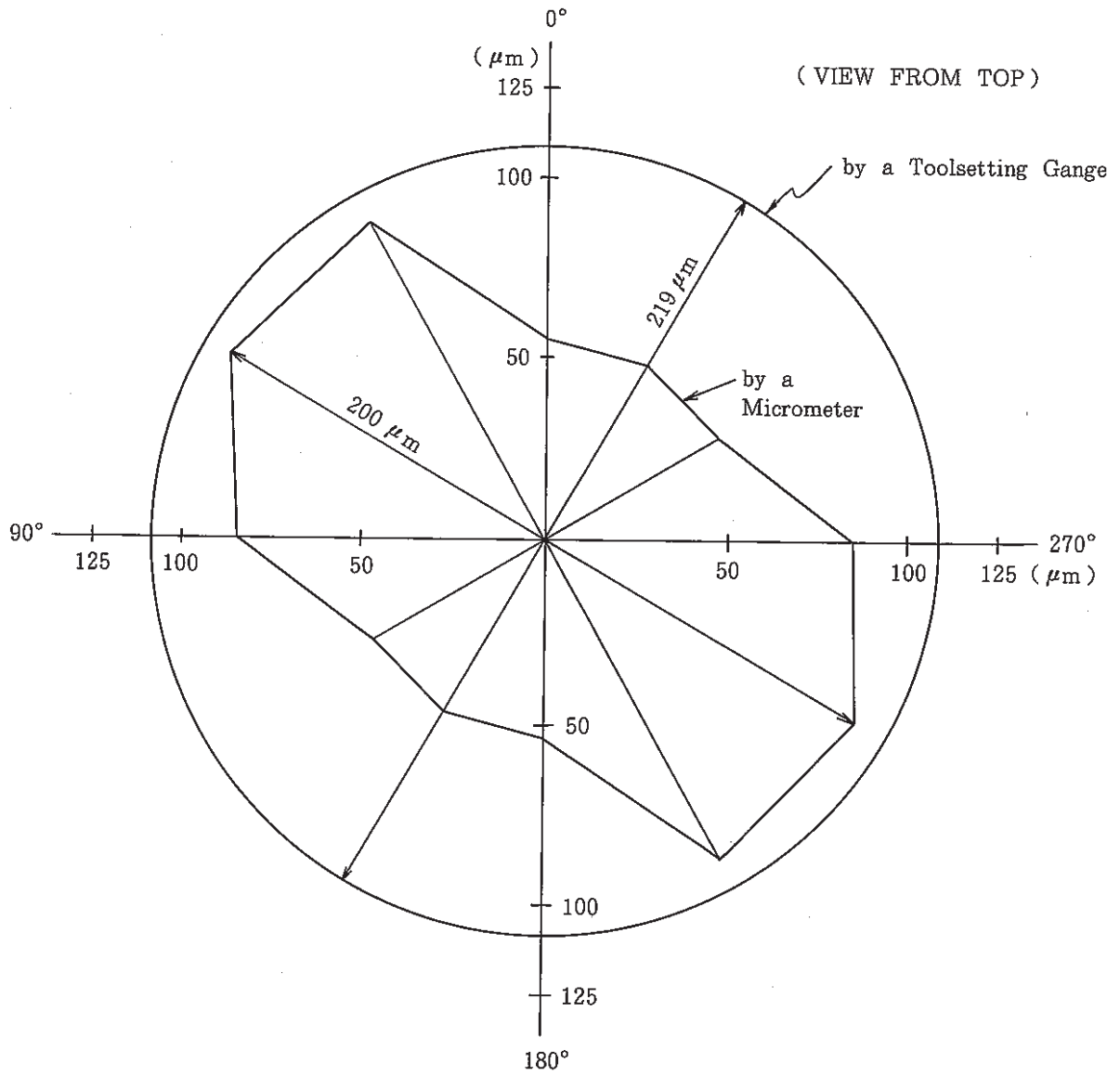


Fig. 10 Comparison of the Diameter Change Diagrams of the Dashram by a Toolsetting Gange and a Micrometer

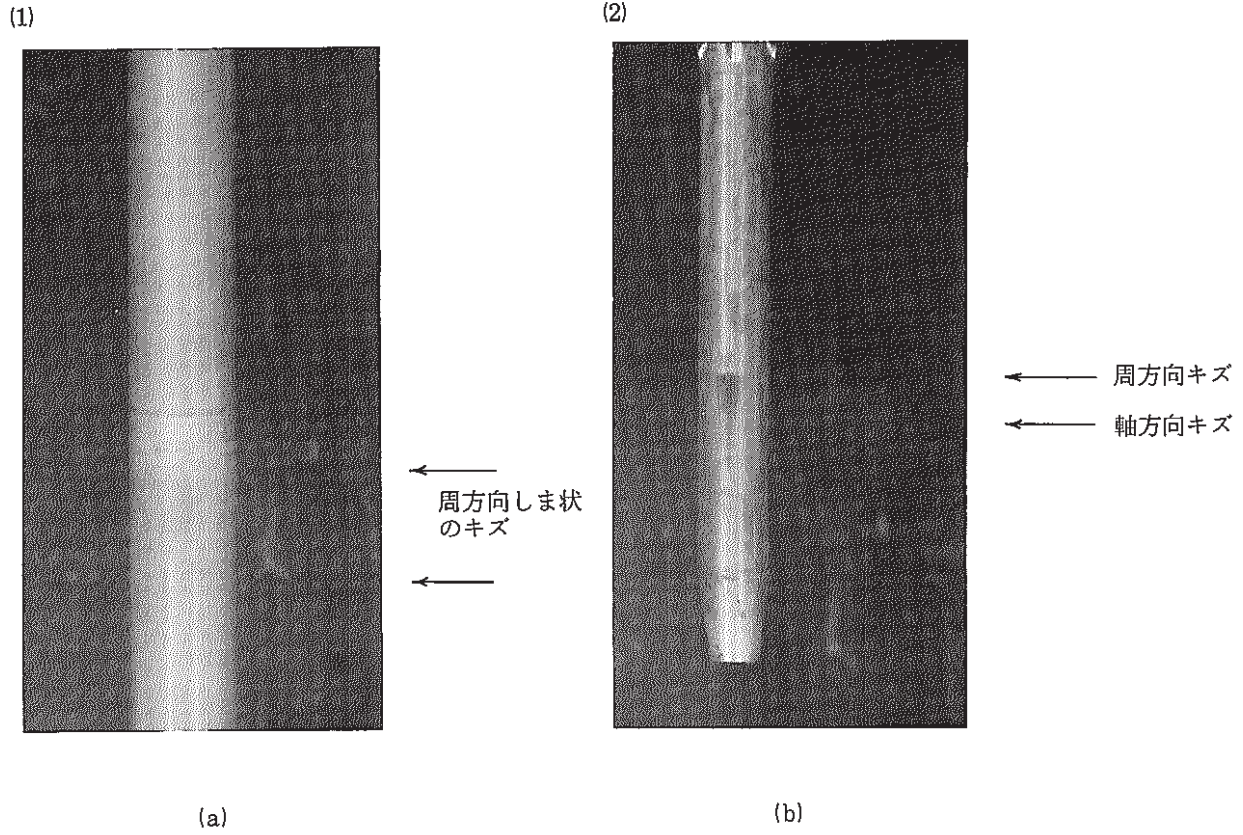
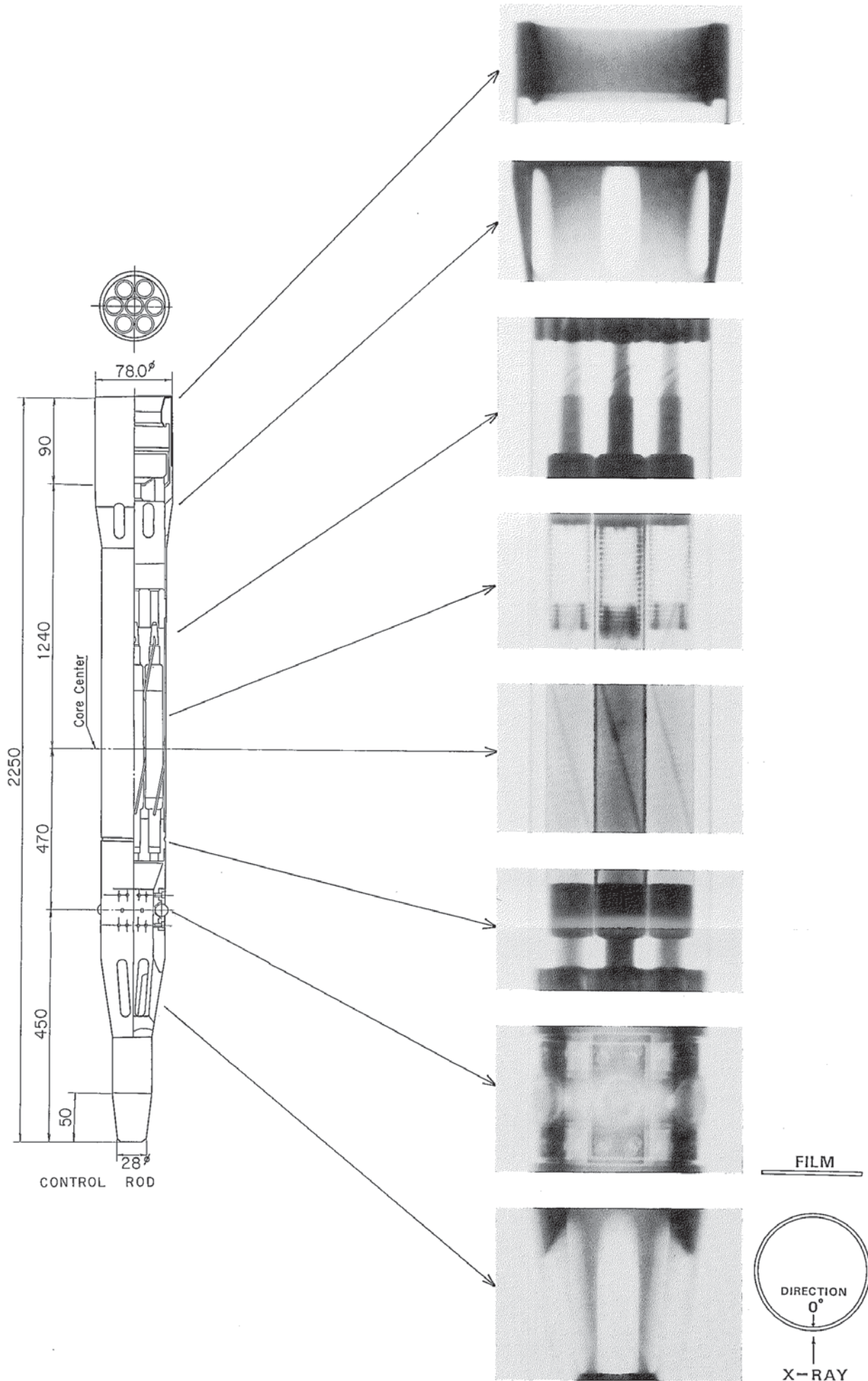
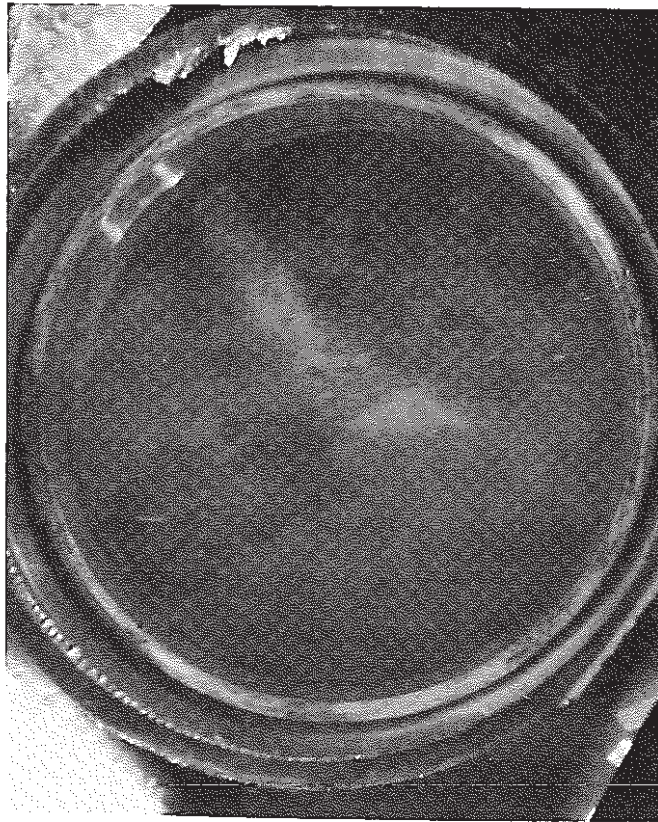


Photo.1 Surface Conditions of the MK-II Control Rod 「MCR 003」



F852005

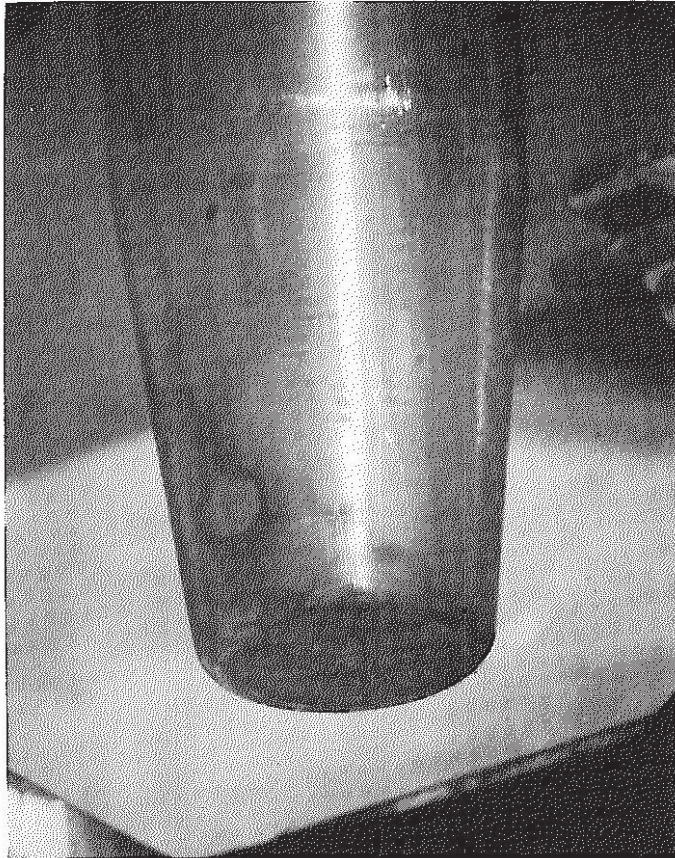
Photo.2 X-ray Radiography of the MK-II control Rod



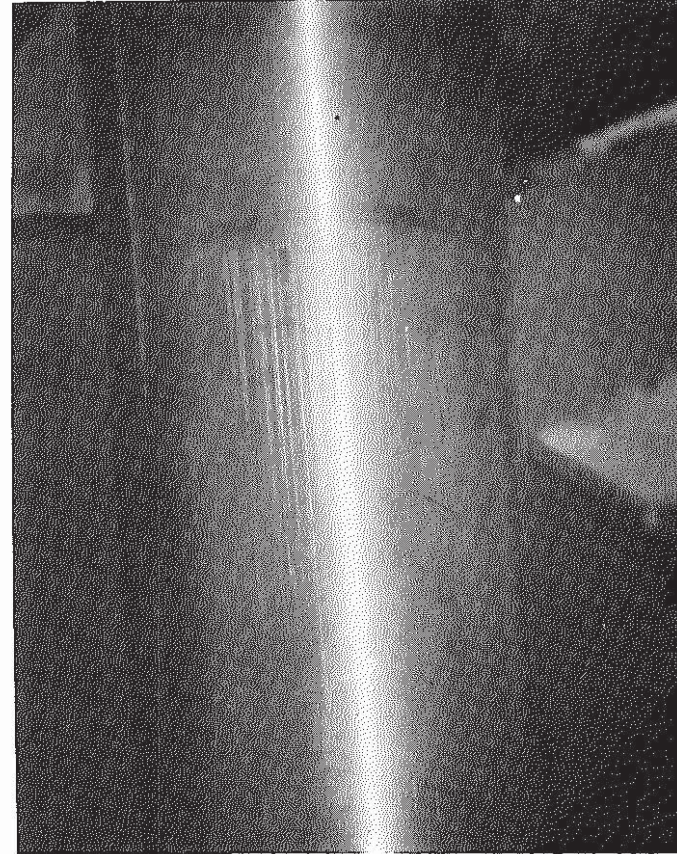
(View from the top)

注) 左側上部内面の2本のスジは光の反射によるものである。

Photo.3 Inside View of the Handling Head



(a)



(b)

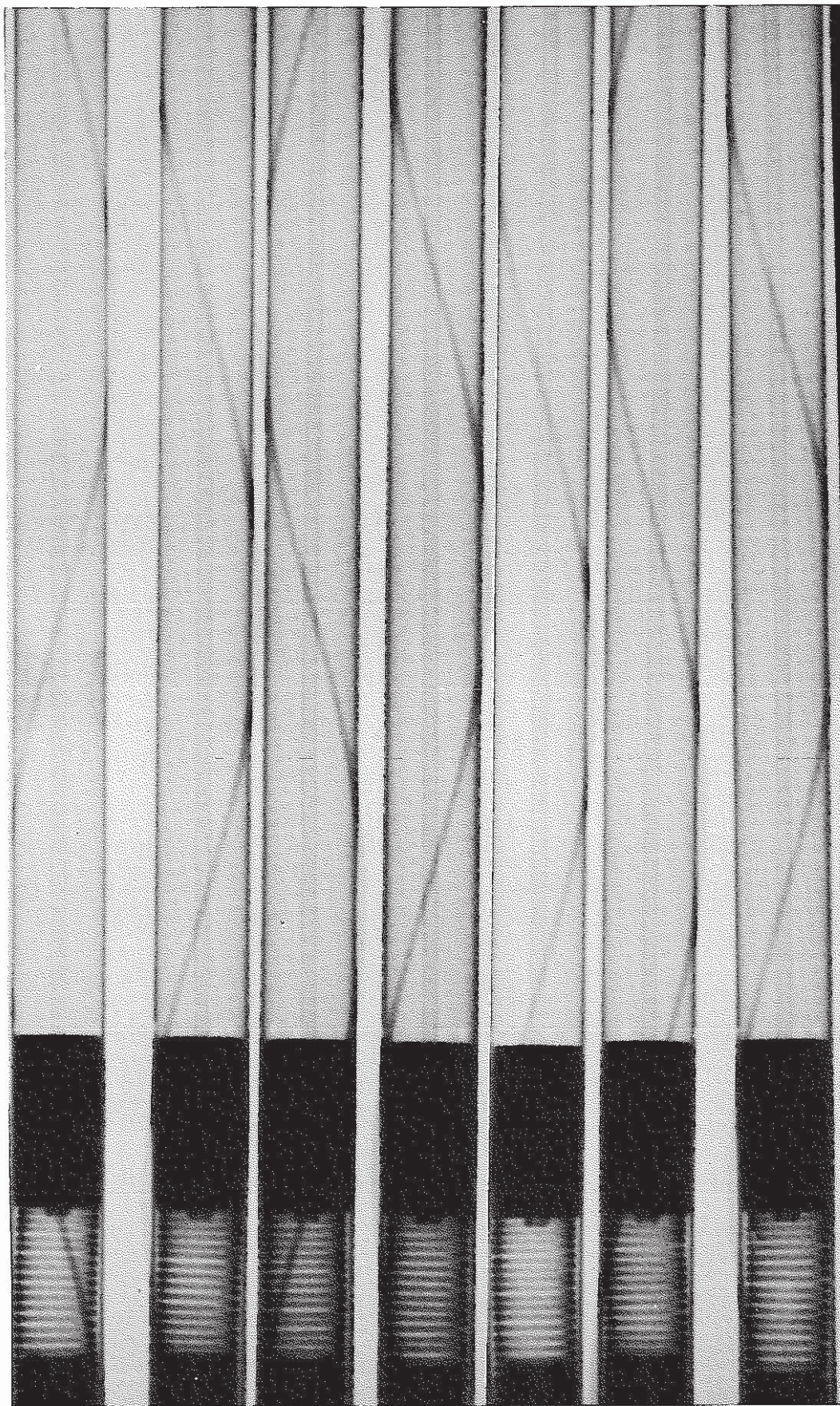
Top

Bottom

Photo.4 Surface Conditions of the Dashram

Top

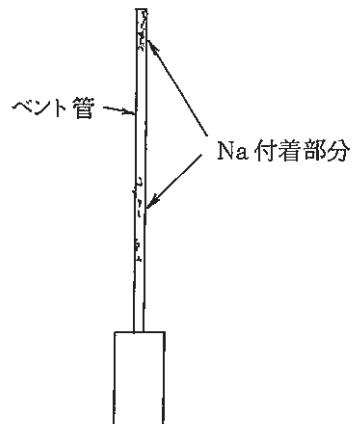
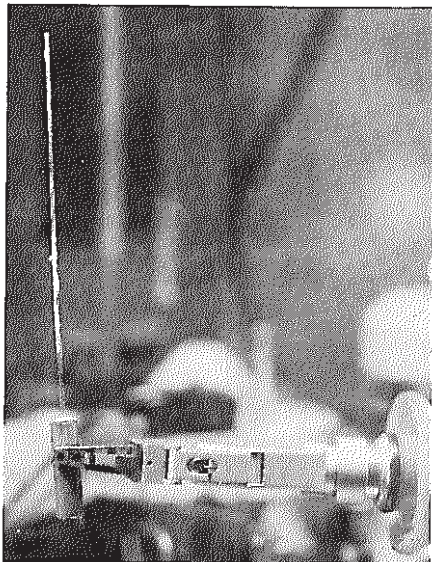
Na 侵入
→



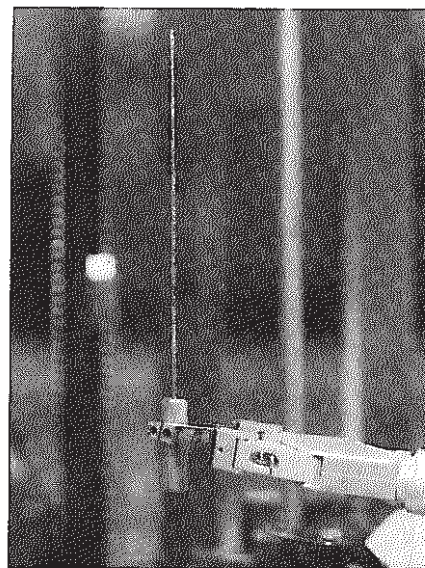
Bottom

Photo.5 X-ray Radiography of Absorber Pins

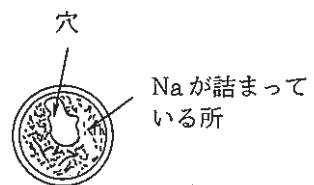
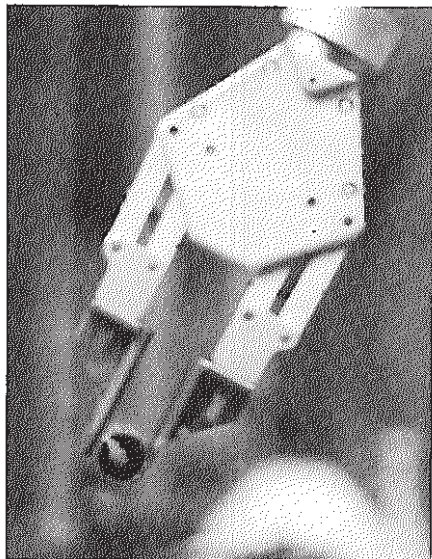
ピンNo. 9001



ピンNo. 9006



ピンNo. 9001



ピンNo. 9006

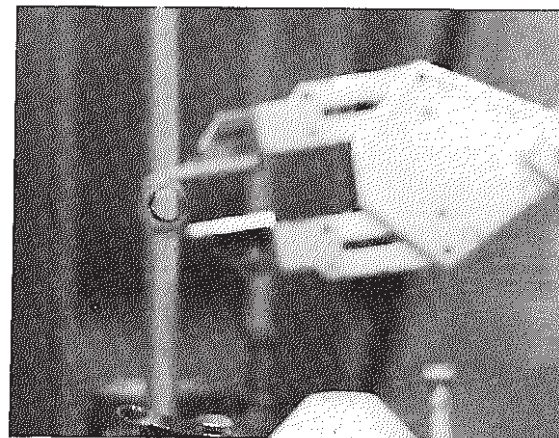
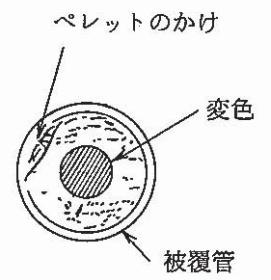
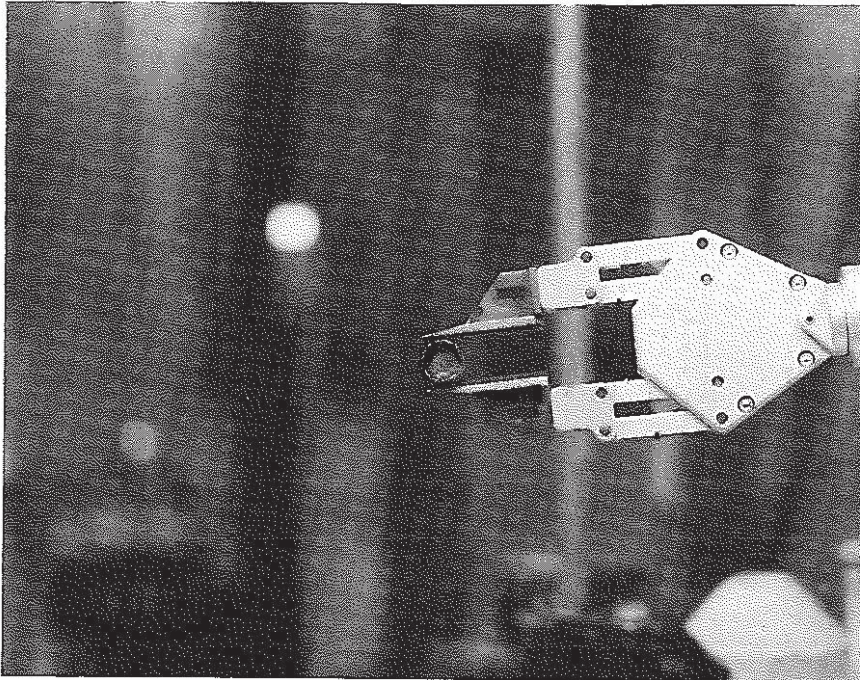


Photo.6 Outside and Inside View of the Vent Tube

ピンNo. 9001



ピンNo. 9006

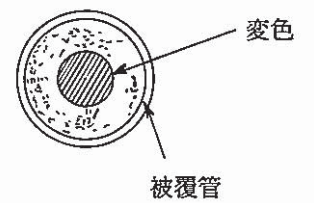
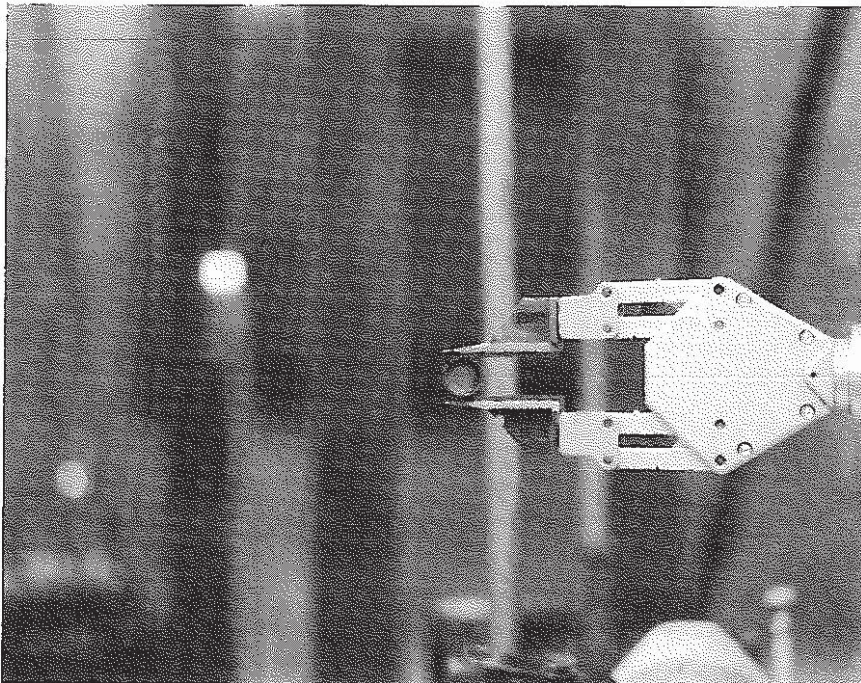


Photo.7 View of the B₄C stack from the Top