

区	分	変	更
年	月	日	

NSRRによる混合酸化物燃料の破損挙動に関する組織観察

Observation of Structure on Mox Fuel
for Fuel Failure Behaviour Study in NSRR

1987年1月

動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、限られた関係者だけに配布するものです。従って、その取扱いには十分注意を払って下さい。なお、この資料の供覧、複製、転載、引用等には事業団の承認が必要です。

NSRRによる混合酸化物燃料の破損挙動に関する組織観察

Observation of Structure on Mox Fuel
for Fuel Failure Behaviour Study in NSRR

増田純男^{*1} 山口俊弘^{*1} 深川節男^{*1}
千田茂久^{*1} 細金達哉^{*1} 石井照明^{*2}
磯崎明智^{*3}

要 旨

目 的

A TR実証炉燃料の安全性評価に役立てる。

方 法

原研のNSRRで照射した燃料をプルトニウム燃料施設に搬入し、グローブボックス内において燃料棒の健全性、燃料ペレットの組織観察及び物性測定を行った。

結 果

本試験の結果より破損しきい値は、①P u スポットなし：192cal/g・MOX～217cal/g・MOX、②φ400 μ m P u スポット付：218cal/g・MOX～238cal/g・MOX、③φ1100 μ m P u スポット付：218cal/g・MOX以上であることが推定できた。

結 論

本試験の結果でφ1100 μ m以下のP u スポットは、P u スポットなし燃料及びφ400 μ m スポット付燃料の破損しきい値 (cal/g・MOX)とに有意な差のないことを確認した。

* 1	プルトニウム燃料部	品質管理課
* 2	"	非破壊検査(株)
* 3	"	検査開発(株)

目 次

1. 試験概要	1
2. 試験試料	2
2.1 燃料仕様と製造データ	2
2.2 照射条件	3
3. 組織観察と物性測定	4
3.1 観察・測定項目及び内容	4
3.2 観察・測定結果	4
3.2.1 内部カプセル	4
1) 外観検査	4
2) 内部ガス圧力	4
3.2.2 燃 料 棒	4
1) 外観検査	4
2) 寸法・重量測定	6
3) エックス線透過検査	8
3.2.3 ペレット及び被覆管	8
1) 金相試験	8
2) 硬度測定	13
3) α オートラジオグラフィ測定	14
4) Pu 分布測定	14
4. 供試体の照射後に於ける放射線量率推移	16
4.1 測定方法	16
4.2 測定結果	16
5. ま と め	17
5.1 内部カプセル及び燃料棒	17
5.2 燃料ペレット	18
5.3 Pu スポット	18
5.4 被 覆 管	19
6. 謝 辞	20
付 表	84

1. 試 験 概 要

NSRR (Nuclear Safety Research Reactor) を利用しての混合酸化物燃料の破損挙動観察に関する動燃と原研との共同研究は、昭和54年度よりスタートした。

昭和54年度～55年度の4回のウラン燃料による予備試験を経て、55年度から第1次照射試験を開始した。

試験は、55年度～56年度に試験計画及び照射燃料の製造、56年度～57年度にPW標準燃料と同一形状のもの10本の照射試験を行った。57年度～58年度のPIE (Post Irradiation Examination) によりMOX燃料の破損しきい値は250～256cal/g・MOXの間にあることを確認した。58年度からは第2次照射試験を開始した。本シリーズの試験は、ATR実証炉型仕様燃料棒12本〔Puスポットなし、Puスポット付 ($\phi 400$, $\phi 1100 \mu\text{m}$)〕を照射するものである。

試験は、58年度に照射試験計画及び照射燃料の製造、58年度～60年度に照射試験を行い、59年度～61年度にPIEを実施した。PIEでは、内部カプセルの外観検査及び寸法検査を行った。燃料棒については、外観検査、寸法検査及びエックス線透過検査を行い、ペレットについては、金相試験、 α オートラジオグラフィー及びPu分布測定を行った。被覆管については、外観検査、金相試験及び寸法検査を実施した。

また、燃料ペレットの燃焼度分析については、動燃で試料採取を行い原研へ送り、同施設内で実施した。

本報告書は、第2次照射試験のPIE観察結果をまとめ報告するものである。

2. 試 験 試 料

2.1 燃料仕様と製造結果

1) ATRサイズMOX燃料

第2次照射試験に供した試験体は、新型転換炉（ATR）実証炉に装荷される燃料と同一仕様の燃料である。

本照射試験燃料の主な寸法と原料粉の分析結果を以下に示す。

ペレット直径	$\phi 12.40 \pm 0.03 \text{ mm}$
被覆管外径	$\phi 14.50 \pm 0.08 \text{ mm}$
被覆管肉厚	0.9 mm
燃料有効長	117 $\pm$ 1 mm

10% U^{235} - 10% Pu 95% T. D.

原料粉

Pu 同位体組成	:	Pu-238	0.44%
		Pu-239	73.31%
		Pu-240	18.35%
		Pu-241	6.25%
		Pu-242	1.65%
		Am-241	3100ppm

Pu fissile : 79.56% (分析日: 1979.7)

Table 1 に NSRR 第2次照射試験燃料仕様を示す。

上記仕様は、燃料有効長を除いてはATR実証炉と同一であり、Fig 1にNSRR第2次照射試験燃料棒図（Puスポットなし）を示す。尚、燃料発熱部の両端の二酸化天然ウランペレットは、エッジ効果による燃料の両端部における出力ピーキングを抑えるため設けてある。また、燃料中のプルトニウム含有量については、NSRR最高装荷制限値に従い10% Puとした。

2) ATRサイズPuスポット付MOX燃料

本燃料は、上記(1)と同一仕様でPuO₂濃度100%のPuスポットを燃料ペレット表面の軸方向中心に $\phi 400 \mu\text{m}$ Pu、若は $\phi 1100 \mu\text{m}$ Puを各燃料ペレットに1個人工的に付着させ合計9個のPuスポットを設けた燃料棒である。

Fig 2にNSRR第2次照射試験燃料棒図（Puスポット付）をTable 1にNSRR

R 第 2 次照射試験燃料仕様を示す。

(i) 燃料製造データ

第 2 次照射試験分 MOX 燃料棒 12 本 (Pu スポットなし : 5 本、 $\phi 400 \mu\text{m}$ Pu スポット付 : 4 本、 $\phi 1100 \mu\text{m}$ Pu スポット付 : 3 本) は、プルトニウム燃料部設計開発課で製造した。付表にペレット重量・燃料棒の全長及び重量を示す。
(詳述は SN841 -84-32 参照)

燃料棒の計装としては、熱電対を被覆管表面に溶着した。溶着位置は、燃料棒中央部同一位置の 180° 2 方向、下部側に一側面 (燃料棒番号刻印側) である。
付表 2 にスケール・ルーペで測定した熱電対取付け位置の測定値を示す。

2.2 照射条件

NSRR に於ける MOX 燃料照射試験は、カプセルとしては、2 重構造のカプセルを用い、内部カプセルに試験燃料 1 本を所定の位置に支持した後、内部カプセル内容積の約 80% に純水を注入した。内部カプセルは、NSRR 炉心の照射孔を通じ炉心の中央実験孔に装荷され、種々の出力パルスで照射された。Fig 3 に NSRR の炉心全体の概略図を、Fig 4 には NSRR に装荷する照射カプセル構造図を示す。

照射カプセルには、燃料棒の表面温度を計測するための熱電対、内部カプセルの水温及び圧力等を測定するために必要な熱電対並びに圧力計が取付けられた。

照射終了後、試験燃料棒は、カプセルのまま F. P. を減衰させる目的で一ヶ月程度冷却された。

冷却後、諸手続きを踏まえ試験・測定のため、プルトニウム燃料第一開発室に搬入された。

Table 2 に NSRR 第 2 次照射試験内容一覧表を、Table 3 に $\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$ 燃料に対する NSRR 試験結果の概要を示す。

3. 組織観察と物性測定

3.1 観察・測定項目及び内容

NSRRにおいて照射され約一ヶ月程度の冷却期間を経た試験体のうち、外部容器である標準水カプセルはNSRR試験内の解体セルで解体された。

内部カプセルについては、PMOX-2型輸送容器に輸送物として梱包し、プルトリウム燃料部の施設内に搬入した。内部カプセルは、プルトリウム燃料部で解体し、照射済燃料棒を取り出して種々の照射後試験検査を行った。照射後試験検査項目と内容をTable 4に、また、NSRR照射後試験検査フローをFig 5に示す。

燃焼度分析試験は、試験番号702-01及び702-02のMOX燃料より、下部側からペレットNo. 2、No. 5、No. 8の中央部から試料を採取し、細かく砕き、そこからサンプル各約1 gを採取して、サンプル瓶に入れて原研へ輸送し同施設内で試験検査を実施した。

照射後試験終了後の燃料ペレットは、塊状にして核物質貯蔵庫へ保管した。内部カプセルについては、放射性不燃物としてビニル梱包し、放射性固体廃棄物貯蔵庫へ保管した。

3.2 観察・測定結果

3.2.1 内部カプセル

1) 試験番号702-01～702-12を通じ、内部カプセルの内・外面共、照射の影響と思われるような顕著な形状変化、変色、着色は無い。

2) 内部ガス圧力

試験番号702-01～702-12について、内部ガス圧力を測定した。これはZrの水反応に起因する内部圧力上昇を期しての事であるが、初期値 1 kg/cm^2 であるのに対し、702-03(2.8 kg/cm^2)、702-04(1.2 kg/cm^2)、702-08(2.8 kg/cm^2)であり、これら以外のカプセルについては、全て 1.0 kg/cm^2 以下であった。

3.2.2 燃料棒

目視及びマクロ写真撮影により、燃料棒の外観検査を行った。

以下、試験番号順に観察結果を示す。

1) 外観検査

・ 試験番号 702-01

被覆管は破損及び変形もなく健全な状態を保っていたが、燃料棒有効長全域に

亘り黒色に変色していた。特に下部側の一部には、周方向にはく離が見られた。
この試験の発熱量は $178\text{cal/g} \cdot \text{MOX}$ であった。

- 試験番号 702-02

被覆管は破損及び変形もなく健全な状態を保っていたが、有効長全域に亘り斑点状に褐色に変色しており、一部下部側に黒色の変色領域が見られた。この試験の発熱量は $133\text{cal/g} \cdot \text{MOX}$ であった。

- 試験番号 702-03

被覆管は、破損（下部側肩管から約 28mm 、間口 10mm ）しており、MOX燃料の有効長全域に亘り黒色に変色していた。上部プレナム部にも一部褐色に変色しているのが見られた。更に破損部近傍には幅 10mm のはく離及び局部的変形があった。また、燃料棒は破損部を頂点にして少し「くの字形」に曲がっていた。T/Cは3本が外れていて取付け部が貫通し、内部ペレットが見えた。この試験の発熱量は $243\text{cal/g} \cdot \text{MOX}$ であった。

- 試験番号 702-04

被覆管は、破損（下部側肩管から約 30mm 、間口 7mm ）をしていて、MOX燃料の有効長全域に亘り黒色に変色している（一部変色無）とともに、はく離も見られた。

破損箇所は試験番号 702-03とほぼ一致している。この試験の発熱量は $193\text{cal/g} \cdot \text{MOX}$ であった。

- 試験番号 702-05

燃料棒は、中央部の熱電対取付け位置より下部側へ 10mm の所を頂点に大きく曲がり（約 $5\text{mm} \sim 7\text{mm}$ ）、被覆管全体も変色（一部未変色箇所）していた。熱電対の取付け状態も良好であった。この試験の発熱量は $192\text{cal/g} \cdot \text{MOX}$ であった。

- 試験番号 702-06

被覆管は、有効長全域に亘り黒色に変色していた。変色の程度は、試験番号702-01よりやや進んでいた。この試験の発熱量は $192\text{cal/g} \cdot \text{MOX}$ であった。

- 試験番号 702-07

被覆管は、有効長全域に亘り黒色に変色していた。また、下部側（肩管）より 34mm の所で全周に膨らみが見られ、更に、はく離もあったことから破損寸前の状態と思われた。この試験の発熱量は $217\text{cal/g} \cdot \text{MOX}$ であった。

- 試験番号 702-08

被覆管は、破断しその周りに局部的変形があった。上部プレナム部近傍にも内圧による膨れがあり亀裂が生じていた。尚、この破断部は試験番号702-03, 702-04の破損部の位置とほぼ一致している。また、破断部のペレット（約1 mm～5 mm角程度の大きさ）が内部カプセル内に落ちていた。被覆管全体は、有効長全域に亘り黒色に変色（一部上部プレナム部にも有）していた。T/C取付け状態は、中央部のT/C取付け部に径方向に亀裂が生じていて、同取付け部2箇所は貫通し内部ペレットが見えた。この試験の発熱量は238cal/g・MOXであった。

- 試験番号 702-09

被覆管は、有効長全域に亘り黒色に変色していた（下部側肩管より50mmの位置に未変色箇所有）。また、下部側肩管より約50mmの所を頂点として数mm程度ではあるが、燃料棒が「くの字形」に曲がっていた。この試験の発熱量は218cal/g・MOXであった。

- 試験番号 702-10

被覆管は、有効長全域に亘り黒色に変色し、下部側に幅約5 mm程度のはく離も見られた。これらの変色は試験番号702-06より進んでいた。この試験の発熱量は178cal/g・MOXであった。

- 試験番号 702-11

被覆管は、有効長全域に亘り黒色に変色し、下部プレナム部（I. P部）も一部変色していた。また、下部側にははく離も見られた。この試験の発熱量は198cal/g・MOXであった。

- 試験番号 702-12

被覆管は、有効長全域に亘り黒色に変色し、下部プレナム部も一部変色していた。また、下部側に熱影響と思われる膨れが有り幅2 mmのはく離が周方向に見られた。この試験の発熱量は218cal/g・MOXであった。

2) 寸法・重量測定

イ) 寸法

プロフィロメータを用い照射後の燃料棒について、外径、曲がり測定及び母線トレース（外表面変形形状）を行った。使用したプロフィロメータは、He-Neのガスレーザ光で定格出力1 mwのレーザ光線を被測定物に1000回/秒

の走査線により走査し測定する。

- 測定可能領域 30mm (レーザ走査幅)

- 測定範囲 (精度)

外径測定 : 10~20mm ($\pm 5 \mu\text{m}$) 再現性 $\pm 3 \mu\text{m}$

曲がり測定 (中心軸位置) : 0 ~ $\pm 4 \text{mm}$ ($\pm 25 \mu\text{m}$)

再現性 $\pm 15 \mu\text{m}$

母線トレース (端面位置) : 0 ~ $\pm 15 \text{mm}$ (変形量の $\pm 1 \% \pm 25 \mu\text{m}$)

- 外径測定

照射後の燃料棒について、燃料棒上部側より66mmの点 (上部インシュレータペレット付近) より 120mmの範囲を10mm毎に外径を測定し、更に燃料棒の偏心量を調べるため燃料棒を 0° , 45° , 90° , 135° 等と種々に回転させて外径を測定した。Fig 6 (1)~(11)に照射前・後外径測定結果を試験番号毎に示す。

ただし、試験番号702-03については、マイクロメータで測定し、702-08については、測定前に破断していたため測定出来なかった。外径測定に関し全体を通じて言えることは、下部側に径の増加が見られた。

- 曲がり測定

照射後の燃料棒について、120mmの測定範囲中の曲がり測定を行った。Table 5に燃料棒曲がり測定結果を示す。この測定データは、次図のチャートより読み取ったものでFig 7 (1)~(10)に照射後の曲がりプロフィールを試験番号毎に示す。

- 母線トレース (外表面変形状)

照射後の燃料棒の外表面変形状を、120mmの範囲について観察した。Fig 8 (1)~(5)に照射後の外表面変形状を示す。本トレースはペレット有効長 (120mm) 部について表面形状をプロフィロメータによりトレースしたもので、発熱量の増加に伴い膨れ、曲がりが発生し、その膨れが下部側に集中している。

- 重量測定

照射前・後の燃料棒について重量測定を行った。その測定値を付表3に照射前・後に於ける燃料棒重量差と共に示す。

破損等で燃料棒の中の水等が混入したこと…の理由から良い結果は得られない。照射前・後に於ける燃料棒重量差を被覆管温度の順に図示すればFig 9の

様になる。

- γ スキャン

今回、試験番号702-04の燃料棒を用いて γ スキャンを実施した。その結果、エンドピークの高さは上・下端とも同じで、いずれもMOXペレットと UO_2 ペレットの境界が最も高い。この傾向は、通常の照射でも見られるものと同じである。また、軸方向フラックスは、エンドピーク部を除いてほぼ平坦であることがわかる。エンドピーク部と比較して1.5～2.0倍の範囲内である。

Fig10に燃料ピンの γ スキャン測定結果を示す。

現在のパルス出力については、エンドピーキング効果も考慮していないが、破損しきい値評価の精度を向上させるためには、この効果を考慮する必要がある。

3) エックス線透過検査

照射後の燃料棒について、エックス線発生装置の管球電圧180～250KV P、管球電流5～10mAの条件でエックス線撮影を行った。試験番号702-08は、燃料棒が破断しており復元が非常に難しいため2分割になっている。

エックス線撮影の観察結果をTable 6に示す。

表に示す様に低発熱量領域では、燃料等に変化、変形が見つからないが、発熱量が178cal/g・MOX（試験番号702-01, 702-10）になると、ペレットの移動、ペレット破損等がエックス線フィルム上から観察できた。

3.2.3 ペレット及び被覆管

1) 金相試験

イ) 試料調整

金相試験観察試料は、試験番号702-01～702-12までの各々の燃料棒からペレット・被覆管5断面を選定し切断－埋込み－研磨－エッチング－観察の手順で処理した。

切断には、ダイヤモンドカッタを用い目的とする試料位置より切断採取し、エポキシ樹脂によってフェノール樹脂リング（1¼インチ）内に埋込まれた。

その試料は、自動回転研磨機（#600使用）により粗研磨し、ポリッシングディスクとポリッシングダイヤ液によって研磨面を仕上げた。

Table 7に研磨条件を示す。

仕上げ研摩を終えた試料は、四塩化炭素中で超音波洗浄後十分に乾燥させ As Polished(研摩面)の状態を観察し、更に燃料を電解腐食し As Etched (研摩面)の状態を観察した。尚、被覆管の As Etched の状態観察は、化学的に腐食させて行った。また、P u 分布測定に用いる Electron Probe Micro-analyzer (以下 E P M A と記す) 試料の調製としては、カーボン蒸着に試料表面の導電処理を行った。

Table 8 に試料の電解腐食と化学腐食及び導電蒸着条件を示す。

ロ) 光学顕微鏡観察

光学顕微鏡観察では、被覆管とペレットの半径残留ギャップ、ペレットの平均結晶粒径、被覆管の平均結晶粒径、被覆管の熱影響に起因する変態相厚(酸化被膜厚)の測定及びペレット全体像の観察を行った。

以上の測定、観察項目は研摩面 (As Polished) と腐食面 (As Etched) により観察され、研摩面については、万能投影機によるマクロ観察 (12.06 倍) と高倍率顕微鏡によるミクロ観察 (194.6 倍) を行い、更に細い様相を知るため腐食面について高倍率顕微鏡により 426.6 倍の金相面観察を行った。

Fig11 にペレット及び被覆管の結晶粒径測定点略図を、付表 5 (1)~(2) にペレット及び被覆管の結晶粒径測定値を示す。

ハ) 金相試験観察結果

・ 試験番号 702-01

ペレット No. 1, No. 2, No. 5, No. 8 の試料について観察した。

各ペレット共中心を通る太いクラックにより 2 分割され、更に数本のクラックにより細分割されている。また、ペレット周辺部には細かいクラックが多数入っていた。(ペレット No. 8 には円周方向にもクラックが走っていた。)

各ペレットのボイド分布は特に異常が見られない。また、この照射条件に於いてのペレット-被覆管の半径残留ギャップは、平均で約 490 μ m であった。

各ペレット全体の平均結晶粒径は 8 μ m 程度であり、ペレットの軸方向及び径方向の位置の違いによる有意差は見られない。また、被覆管のエッチング面には全体平均 95 μ m の結晶粒径が観察された。被覆管の酸化被膜厚は平均で約 6 μ m であった。

- 試験番号 702-02

ペレットNo. 1, No. 2, No. 5, No. 8, No. 9 の試料について観察した。

各ペレット共太いクラックにより 2 分割され、数本のクラックにより細分割されている。また、ペレット周辺部にも細かいクラックが多数入っているのが見られた。各ペレットのボイド分布は、特に異常が見られない。この照射条件に於いてのペレット-被覆管の半径残留ギャップは、平均で約 $50\mu\text{m}$ であった。

各ペレット全体の平均結晶粒径は $12\mu\text{m}$ 程度であり、被覆管の酸化被膜厚は平均で約 $1\mu\text{m}$ 程度であった。

- 試験番号 702-03

ペレットNo. 1, No. 2, No. 5, No. 8, No. 9 の試料について観察した。各ペレット共中央を通る太いクラックにより 2 分割され、更に数本のクラックで細分割されていた。また、ペレット周辺部には細かいクラックが多数入っており、溶融状態に達したと思われる跡が見られた。ボイド分布形状については、円形ポアが周辺部に多く見られた。この照射条件に於いてのペレット-被覆管の半径残留ギャップは平均で約 $170\mu\text{m}$ であり被覆管の酸化被膜厚は $41\mu\text{m}$ であった。

各ペレット全体の平均結晶粒径は $11\mu\text{m}$ 程度であり、被覆管のエッチング面には全体平均 $180\mu\text{m}$ の結晶粒径が観察された。

- 試験番号 702-04

ペレットNo. 1, No. 2, No. 5, No. 8, No. 9 の試料について観察した。

各ペレット共中央を通る太いクラックにより 2 分割され、更に数本のクラックで細分割されていた。また、ペレット外周部にも細いクラックが見られた。

ペレットNo. 1, No. 5 は溶融状態に達したと思われる跡が見られ、No. 5 は、ボイドが外周部に集合している。No. 1 は被覆管にもクラックが軸方向に走っていた。

この照射条件に於いてのペレット-被覆管の半径残留ギャップは、平均で約 $85\mu\text{m}$ であり、被覆管の酸化被膜厚は平均で約 $21\mu\text{m}$ 程度であった。

各ペレット全体の平均結晶粒径は約 $9\mu\text{m}$ 程度で、被覆管のエッチング面

には全体平均 $115\mu\text{m}$ の結晶粒径が観察された。

- 試験番号 702-05

ペレット No. 1, No. 2, No. 5, No. 8, No. 9 の試料について観察した。

各ペレット共中央を通る太いクラックにより 2 分割され、更に数本のクラックで細分割されている。また、ペレット外周部にもクラックが見られた。

ペレット No. 2 は周方向にクラックが走っている。

ボイド分布は外周部に多く見られた。この照射条件に於いてのペレット-被覆管の半径残留ギャップは平均で約 $110\mu\text{m}$ であり、被覆管の酸化被膜厚は平均で約 $2\mu\text{m}$ であった。

各ペレット全体の平均結晶粒径は $7\mu\text{m}$ 程度であり、被覆管のエッチング面は、全体平均 $58\mu\text{m}$ の結晶粒径が観察された。

- 試験番号 702-06

ペレット No. 1, No. 2, No. 5, No. 8, No. 9 の試料について観察した。

各ペレット共中央を通る太いクラックにより 2 分割され、更に数本のクラックで細分割されていた。特に、ペレット No. 1 はペレット中央のクラック内に溶融状態に達したと思われる跡が帯状になって現れていた。

ボイド分布、形状については、ペレット外周部に多く見られた。この照射条件に於いてのペレット-被覆管の半径残留ギャップは平均で約 $130\mu\text{m}$ であり、被覆管の酸化被膜厚は平均約 $4\mu\text{m}$ であった。

各ペレット全体の平均結晶粒径は $6\mu\text{m}$ 程度であり、被覆管のエッチング面は、全体平均 $80\mu\text{m}$ の結晶粒径が観察された。

- 試験番号 702-07

ペレット No. 1, No. 2, No. 5, No. 8, No. 9 の試料について観察した。

各ペレット共中央を通る太いクラックにより 2 分割され、更に数本のクラックで細分割されていた。特に、ペレット No. 1 は溶融状態に達したと思われる跡があり、被覆管にもクラックが生じ、燃料棒が破損寸前の状態であった。

ボイド分布、形状については、ペレット外周部に多く見られた。この照射条件に於いてのペレット-被覆管の半径残留ギャップは平均で約 $200\mu\text{m}$ であり、被覆管の酸化被膜厚は平均で約 $16\mu\text{m}$ 程度であった。

各ペレット全体の平均結晶粒径は $8\mu\text{m}$ 程度であり、被覆管のエッチング

面には、全体平均 $105\mu\text{m}$ の結晶粒径が観察された。

- 試験番号 702-08

ペレット No. 1, No. 2, No. 5, No. 8, No. 9 の試料について観察した。

各ペレット共中央を通る太いクラックにより 2 分割され、更に数本のクラックで細分割されていた。特に、ペレット No. 2 は被覆管が変形し、しかも一部被覆管が溶けてペレット内に流入している。細かいクラックが周方向に密集していた。

ペレット No. 5 は被覆管が溶けている。

ボイド分布状態については、外周部に多く見られた。この照射条件に於いてのペレット-被覆管の半径残留ギャップは平均で約 $50\mu\text{m}$ であり、被覆管の酸化被膜厚は平均で約 $22\mu\text{m}$ であった。

各ペレット全体の平均結晶粒径は $10\mu\text{m}$ 程度であり、被覆管のエッチング面には、全体平均 $160\mu\text{m}$ の結晶粒径が観察された。

- 試験番号 702-09

ペレット No. 1, No. 2, No. 5, No. 8, No. 9 の試料について観察した。

各ペレット共中央を通る太いクラックにより 2 分割され、更に数本のクラックで細分割されていた。全体に僅ではあるが周方向に溶融状態に達したと思われる跡が見られた。ボイド分布状態については、ポアが外周部に多く見られた。

この照射条件に於いてのペレット-被覆管の半径残留ギャップは平均で約 $200\mu\text{m}$ であり、被覆管の酸化被膜厚は平均で約 $4\mu\text{m}$ であった。

各ペレット全体の平均結晶粒径は $7\mu\text{m}$ 程度であり、被覆管のエッチング面には、全体平均 $75\mu\text{m}$ の結晶粒径が観察された。

- 試験番号 702-10

ペレット No. 1, No. 2, No. 5, No. 8, No. 9 の試料について観察した。

各ペレット共中央を通る太いクラックにより 2 分割され、更に数本のクラックで細分割されていた。特に、ペレット No. 8 では実際に埋込んだ約 $\phi 900\mu\text{m}$ 程度の P u スポットが確認されている ($\phi 1100\mu\text{m}$ P u スポット付)。

そのスポット部には、縦方向に細かいクラックが走っていた。ボイド分布状態については、ポアが外周部に多く見られた。この照射条件に於いてのペ

レットー被覆管の半径残留ギャップは平均で約 $60\mu\text{m}$ （P u スポット部： $40\mu\text{m}$ ）であり、被覆管の酸化被膜厚は平均で約 $8\mu\text{m}$ （P u スポット側で $6.3\mu\text{m}$ ）であった。

各ペレット全体の平均結晶粒径は $5\mu\text{m}$ 程度であり、被覆管のエッチング面には、全体平均 $95\mu\text{m}$ の結晶粒径が観察された。

- 試験番号 702-11

ペレットNo. 1, No. 2, No. 5, No. 8, No. 9 の試料について観察した。

各ペレット共中央を通る太いクラックにより2分割され、更に数本のクラックで細分割されていた。ボイド分布は、ポアが外周部に多く見られた。

この照射条件に於いてのペレットー被覆管の半径残留ギャップは平均で約 $105\mu\text{m}$ であり、被覆管の酸化被膜厚は平均で約 $7\mu\text{m}$ であった。

各ペレット全体の平均結晶粒径は $6\mu\text{m}$ 程度であり、被覆管のエッチング面には、全体平均 $100\mu\text{m}$ の結晶粒径が観察された。

- 試験番号 702-12

ペレットNo. 1, No. 2, No. 5, No. 8, No. 9 の試料について観察した。

各ペレット共中央を通る太いクラックにより2分割され、更に数本のクラックで細分割されていた。特に、ペレットNo. 1 は周方向及び帯状（ペレット中央よりやや被覆管側）に熔融状態に達したと思われる跡が見られた。ボイド分布・形状については、円形ポアが周方向に多く見られた。

この照射条件に於いてのペレットー被覆管の半径残留ギャップは平均で約 $18\mu\text{m}$ であり、被覆管外面の酸化被膜厚（平均で約 $8\mu\text{m}$ ）。

各ペレット全体の平均結晶粒径は $10\mu\text{m}$ 程度であり、被覆管のエッチング面には、全体平均 $110\mu\text{m}$ の結晶粒径が観察された。

Fig15(1)～(2)に燃料ペレット結晶粒径分布の（半径方向）をまとめて示す。

2) 硬度試験

金相試験に供した被覆管について硬度測定を行った。測定点はFig12の硬度測定点略図に示すように試料番号を基準とし、断面4箇所の外側、中心、内側の各々5点ずつ測定した。測定荷重（圧痕荷重）は 500g とした。測定値は付表6(1)～(10)に被覆管硬度測定値、及びFig13(1)～(4)の試験番号毎の硬度グラフに示す様に発熱量の増加に伴い、ビッカース硬度も増す傾向が見られた。

3) α オートラジオグラフィ測定

金相試験に供した燃料ペレットと同一試料について、 α オートラジオグラフィによるP uスポット、Uスポットの測定を行った。

この測定方法は、現在多用しているニトロセルロース法によるもので、ペレット観察面を研磨した後、ニトロセルロースフィルムに密着させ、ペレットよりの α 放射線損傷を受けたフィルムをNaOHによりエッチングし、そのフィルムの拡大写真を観察し測定するものである。

Table 9 に試験番号702-01～701-12までの照射後P uスポット測定結果を示す。

4) P u分布測定

諸条件で照射を行った燃料体について、被覆管とペレットの相互作用及びP uのペレット径方向の挙動を調べるためP u、Z rの拡散状態、分布状態についてEPMAを用いて観察した。

イ) 試料調製

照射済燃料棒(702-03, -05, -09, -10, -11)の下部(MOX燃料部)に相当する位置から、試料を採取(金相試験試料と共用)した。また、EPMA試料の前処理としては、試料表面の導電性処理(帯電防止)が必要であり試料表面処理装置によりカーボン蒸着を行った。

蒸着条件についてはTable 8 電解腐食・化学腐食及び導電蒸着条件に示す。

ロ) 観察結果

試験番号702-03, -05, -09, -10, -11 (ペレットNo.1のみ)

i) 特性エックス線像によるP u分布観察

ペレット及び被覆管の間には、多少ではあるがP uの濃度の高い部分が見られ、試験番号702-03及び702-09の被覆管表面にはP uの付着層(約5 μ m程度)が認められた。

ii) エックス線分析によるP u分布及びP uのエックス線強度とペレットの結晶粒径の関係

エックス線分析によりP u分布の観察をした。

また、P uのエックス線強度とペレットの結晶粒径との関係について調べたところ、P uのエックス線強度の高い所は、ペレットの結晶粒径も大きかった。Fig14(1)～(5)にP uのエックス線強度と結晶粒径の関係を示す。ただ

し、試験番号702-10については、ペレット中心付近の試料が破損していたため結晶粒径が観察できなかった。

4. 供試体の照射後に於ける放射線量率推移

4.1 測定方法

照射後燃料の放射能強度、 γ 放射能の経時変化を調べるため、燃料体の放射線量率の測定を行った。

放射線量率の測定は大別して、ビニルバッグで包装した状態での内部カプセル、グローブボックス内で開梱後の燃料棒及びビニルバッグでシール後の燃料である。

測定対象の放射線量率に寄与する主な放射体は、燃料体中のMOX燃料、照射に起因するF. P. 構造材中の放射化物質等と考えられる。

測定器は、 γ 線用電離箱サーベイメータの主な仕様を記す。

- (イ) 検出放射能 γ 線 (X線)
- (ロ) 測定範囲 指示目盛 0 ～ 1 mR / h r
(レンジ X 1、X 10、X 100、X 1000)
- (ハ) 校正線源 $^{220}\text{Ra} + \text{D} + \text{E}$ 校正線源
- (ニ) 検出器 電離箱、窓厚 5 mm (ベークライト)

4.2 測定結果

照射後に於ける燃料体の放射線量率をTable 10に示す。また、各測定点に於ける放射線量率を付録 7 (1)～(2)に示す。

大略、推定発熱量の増加に伴い放射線量率が増す傾向にある。

5. ま と め

NSRR第2次照射試験は、プルトニウム-ウラン混合酸化物燃料の破損挙動、及び破損しきい値を調べる。また、プルトニウム・スポットの大きさが、燃料破損に及ぼす影響を調べ安全性評価に役立てることを目的に、ATR実証炉型仕様燃料ピン12本（Pusポットなし：5本、Pusポット付 $\phi 400\mu\text{m}$ ：4本、Pusポット付 $\phi 1100\mu\text{m}$ ：3本）を用いて行った。

以下に、現在まで行った照射後試験結果を発熱量についての関係を中心にして検査項目順にまとめる。

5.1 内部カプセル及び燃料棒

1) 内部カプセル

発熱量の増加に従い、ジルコニウム水反応により、カプセル内のガス圧が増大（今回の試験では、最高 2.8 kg/cm^2 ：試験番号702-03、-08）する傾向にある。

外観・寸法上は何等変化無し。

2) 燃料棒

(イ) 外 観

photo 1に燃料ピン外観の発熱量依存性を示す。燃料ピンは、外表面もはく離現象を呈し、更に発熱量が高くなると亀裂が生じ破壊に至る。試験番号702-03（発熱量 $243\text{ cal/g}\cdot\text{MOX}$ ）及び702-04（発熱量 $217\text{ cal/g}\cdot\text{MOX}$ ）は破損、同じく702-08（発熱量 $238\text{ cal/g}\cdot\text{MOX}$ ）は破断していた。

(ロ) 寸 法

発熱量の増加に伴い外径変化が増す。その変化量も下部側へ行くに従って大きく変化していた。

(ハ) エックス線透過観察結果

発熱量の増加に伴い、ペレット有効長におけるスタック長さも、ペレットのカケ等により伸びが生じていた。

(ニ) 照射後に於ける燃料体の放射線量率は、照射量の増加に伴い高い放射線量率を示す傾向にある。

5.2 燃料ペレット

燃料ペレットの観察として、クラック、ポア、結晶粒径について行った。

燃料ペレットのクラックについては、中心を通る太いクラックにより分断され、更に熱応力が働き内側から外側へ細かなクラックが見られた。ボイド分布、形状の観察からはポアの有無が見られポアの形状としては、円型ポアが多く見られた。

ペレットの結晶粒径については、発熱量の増大に伴い成長が見られる。径方向での結晶粒径について見ると、周辺部は内側に比べて小さくなっている。また、燃料中央部から中間部にかけては、急激な粒成長は見られなかった。photo 2 燃料棒断面金相の発熱量依存性（マクロ）、及びphoto 3 (1)～(2)にペレット結晶粒径の発熱量依存性（ミクロ）について試験試料の代表を示す。

5.3 P u スポット

試験の結果から、 $\phi 400 \mu\text{m}$ のP u スポット付燃料の破損しきい値は $218 \sim 238 \text{ cal/g} \cdot \text{MOX}$ の範囲内にあり、 $\phi 1100 \mu\text{m}$ のP u スポット付燃料の破損しきい値は $218 \text{ cal/g} \cdot \text{MOX}$ 以上にあることが確認できた。これらの値は、P u スポットなし燃料の破損しきい値 $192 \sim 217 \text{ cal/g} \cdot \text{MOX}$ とその差はないものと思われる。また、702-10に於いて実際に埋込んだP u スポット（ $899 \mu\text{m}$ ）が観察され、スポット部と隣接している被覆管への影響を見るとP u スポットなし燃料と比較しても特異な差はない。

しかし、燃料はP u を埋込んだ部分に特異な変化が見られた。燃料製造時に於いて、P u を埋込むために側面穴をあけているが、この部分はほぼ α オートラジオグラフィーで黒色に観察される部の大きさであったが、金相での観察では、その部分は燃料によって埋まっている。

これは、瞬間的にP u スポット部が高温となり、溶融を起こして周辺の燃料と結合し、球状のボイドとなって残ったものと思われる。

この詳細な挙動については、今後設計開発課で実施する解析により解明されるものと思われる。

全面金相写真をPhoto6に示し、 α オートラジオグラフィーの結果をPhoto7に示す。またP u スポット部の拡大金相写真をPhoto8に示す。

以上のことから、 $\phi 1100 \mu\text{m}$ までの大きさのP u スポットの燃料破損に及ぼす影響は、

本実験からでは、P u スポット周辺の燃料挙動に若干の違いはあるものの燃料要素としてその違いはなく、破損しきい値以下の燃料ピンは全て健全であった。

5.4 被 覆 管

被覆管について、結晶粒径、Z r O₂ の酸化被膜厚及び硬度の観察、測定を行った。結晶粒径は、被覆管表面温度が高くなるに従がい大きくなり、酸化被膜厚は、被覆管表面温度が約 1 0 0 0 ℃程度から確認でき、その厚さも被覆管表面温度の上昇に従がい厚い相を形成している。photo 4 に被覆管結晶粒径の発熱量依存性（ミクロ）について試験試料の代表を示す。

また、マイクロビッカース硬度計を用い、5 0 0 g の圧縮荷重により照射後の被覆管横断面（外側、中心、内側の各々 2 0 点）の硬度測定を行い発熱量が増加するに従がい高い硬度を示すことが確認できた。

6. 謝 辞

本試験の遂行にあたり、管理課、設計開発課及び放射線管理第1課の皆様には輸送、照射後試験計画及び被ばく管理等について、御協力をいただき感謝の意を表します。

Table 1 NSRR第2次照射試験燃料仕様

プルトニウム-ウラン混合酸化物燃料ペレット

- (1) 形状 : 円筒型 ; ディッシュ&チャンファ付 (体積率 0.9%)
 (2) 寸法 : 直径 ; $\phi 12.40 \pm 0.03 \text{ mm}$
 高さ ; $13.00 \pm 1.00 \text{ mm}$
 (3) 性質 : 密度 ; $95.0 \pm 2\% \text{ T. D.}$ (理論密度 11.0 g/cc)
 組成 ; $10\% \text{ PuO}_2 - 90\% \text{ UO}_2$
 水分量 ; 30ppm 以下
 O/(Pu+U) 比 ; 1.98 ± 0.02
 蒸発性不純物 ; $100 \mu\text{l/g MOX}$ 以下

二酸化天然ウランペレット

- (1) 形状 : 円筒型 ; (ディッシュ&チャンファ付) (体積率 0.9%)
 (2) 寸法 : 直径 ; $\phi 12.3 \pm 0.03 \text{ mm}$
 高さ ; $10.0 \pm 1.00 \text{ mm}$
 (3) 性質 : 密度 ; $94.0 \pm 2.0\% \text{ T. D.}$ (理論密度 10.96 g/cc)
 水分量 ; 30ppm 以下
 蒸発性不純物 ; $60 \mu\text{l/g UO}_2$ 以下

プルトニウムスポット

- (1) 個数 : 1ヶ/1ペレット (表面軸方向中心)
 (2) 径 : $\phi 400 \mu\text{m}^{+100}_{-0}$
 : $\phi 1100 \mu\text{m} \pm 100$ (100 %濃度換算)

被覆管

- (1) 材質 : ジルカロイ-2
 (2) 寸法 : 内径 ; $\phi 12.70 \pm 0.05 \text{ mm}$
 外径 ; $\phi 14.50 \pm 0.03 \text{ mm}$
 肉厚 ; 0.9 mm

端栓

- (1) 材質 : ジルカロイ-2

スプリング

- (1) 材質 : SUS304WPB
 (2) バネ定数 : 0.229 kg/mm

燃料棒

- (1) ペレット・スタック長 : 137 mm
 混合酸化物部 ; $117 \pm 1 \text{ mm}$ (9個)
 天然ウラン部 ; 20 mm (2個)
 (2) 燃料棒全長 : 212 mm
 (3) ギャップガス : 組成 ; ヘリウムガス
 圧力 ; 大気圧

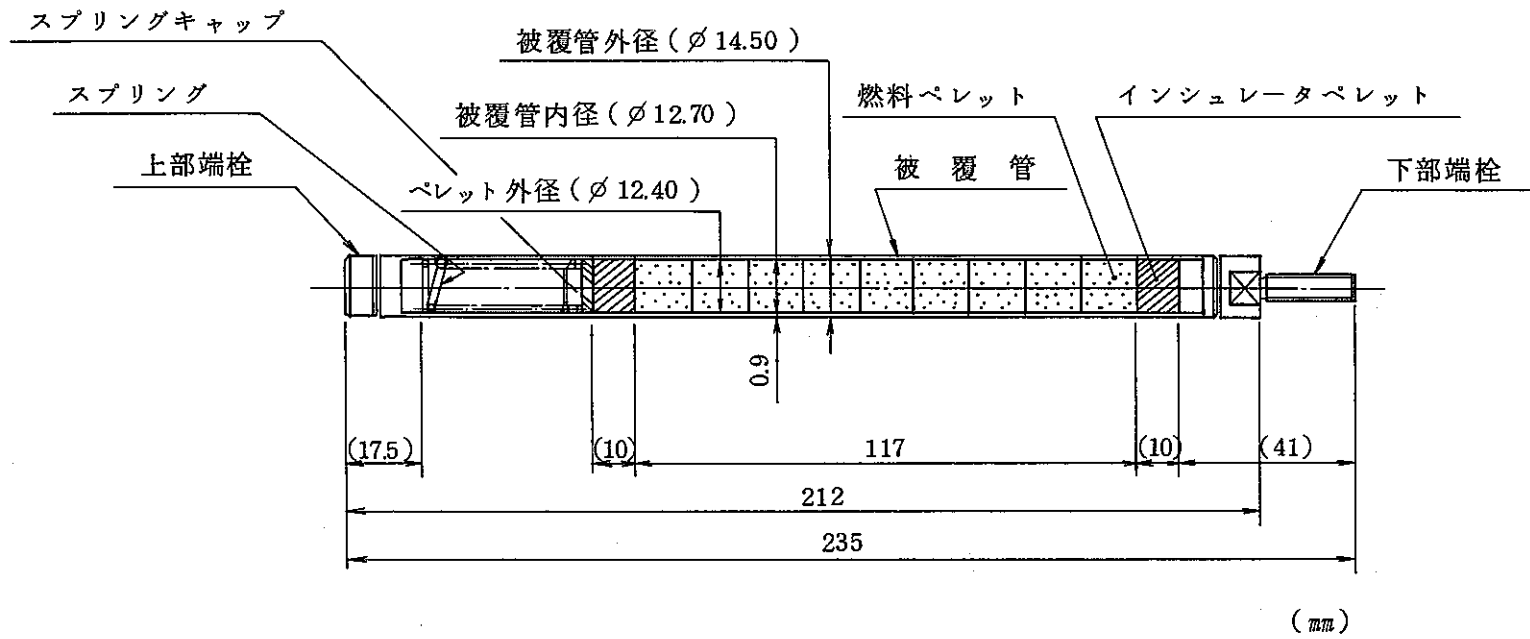


Fig 1 NSRR 第 2 次照射試験燃料棒図 (Pu スポットなし)

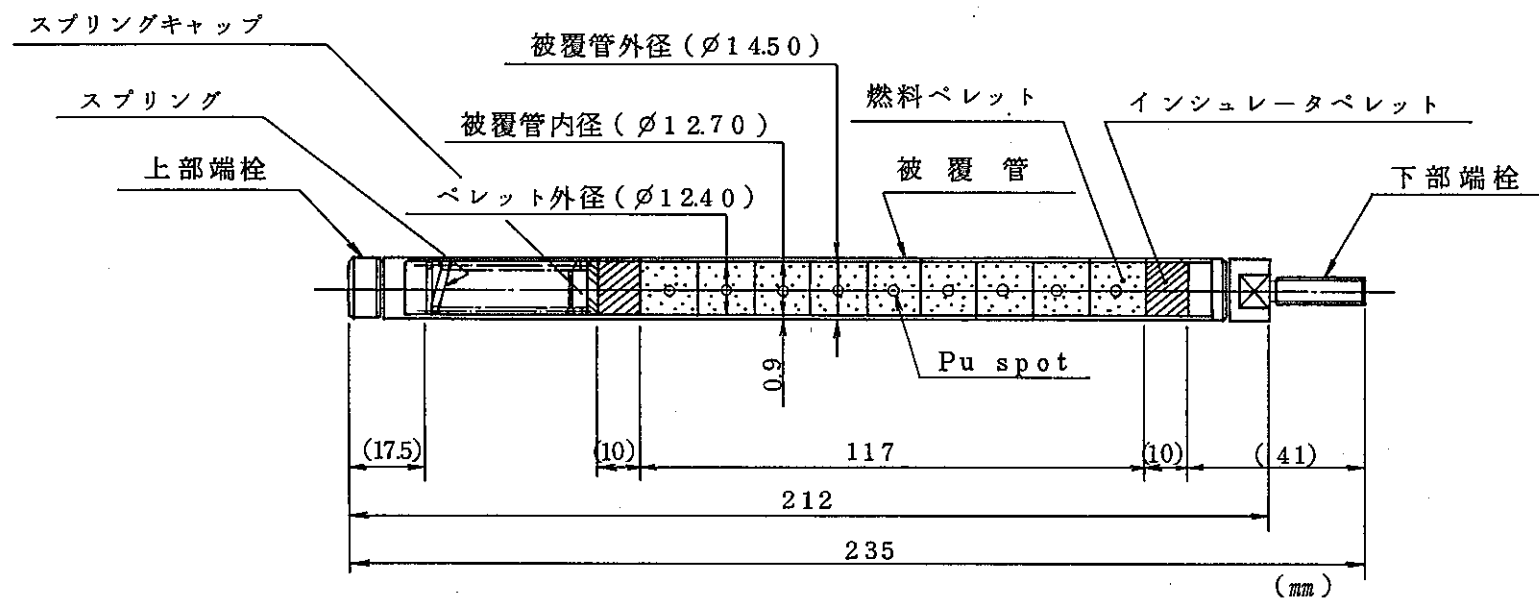


Fig 2 NSRR 第2次照射試験燃料棒図 (Puスポット付)

Table 2 NSRR第2次照射試験内容一覧表

試験番号 (推定発熱量)	燃料 No.	照射月日	試料内容	照射目的	計装
702-01 (192cal/g・MOX)	2-01	59. 2.03	Puスポットなし	発熱量校正用、低出力照射	被覆材表面温度 カプセル水温
702-02 (144cal/g・MOX)	2-02	59. 3.01	"	発熱量校正用	"
702-03 (263cal/g・MOX)	2-03	59. 8.22	"	破損しきい値推定 (第1次破損しきい値の下限)	"
702-04 (235cal/g・MOX)	2-04	59.10.01	"	破損しきい値推定 (2-03ピンより決定)	"
702-05 (215cal/g・MOX)	2-05	59.12.14	Puスポットなし	破損しきい値推定	"
702-06 (215cal/g・MOX)	2-06	60. 1.22	φ400μm Puスポット付	2-01~05より破損しきい値の下 限值目標	"
702-07 (235cal/g・MOX)	2-07	60. 3.01	"	2-01~05より破損しきい値の上 限值目標	"
702-08 (263cal/g・MOX)	2-08	60. 4.05	"	破損しきい値推定	"
702-09 (235cal/g・MOX)	2-09	60. 5.01	φ400μm Puスポット付	"	"
702-10 (192cal/g・MOX)	2-10	60. 1.22	φ1100μm Puスポット付	φ400μmPuスポットより破損 しきい値の下限值目標	"
702-11 (215cal/g・MOX)	2-11	60. 4.19	"	φ400μmPuスポットより破損 しきい値の上限值目標	"
702-12 (218cal/g・MOX)	2-12	60. 9.06	φ1100μm Puスポット付	破損しきい値推定	"

Table 3 PuO₂-UO₂ 燃料に対するNSRR試験結果の概要

試験No.	燃 料 No. (Pu 半径径 μ m)	照射試験日 (受入月日)	投入反応度 (β)	炉心積分出力 (MW $\cdot$ S)	発 熱 量 (cal/g $\cdot$ MOX)	被 覆 管 表 面 最高温度 ($^{\circ}$ C)	燃料破損 の有無
702-01	2-01	59. 2.03 (59. 4.10)	3. 26	63. 7	178	# : 1350 # : 1270 # : 1280	無
702-02	2-02	59. 3.01 (59. 4.25)	2. 65	47. 7	133	# : 820 # : 470 # : 300	無
702-03	2-03	59. 8.22 (59.10.03)	4. 00	87. 2	243	# : 1540 # : 1740 # : >1300	有 T/C 取付部 貫通
702-04	2-04	59.10.01 (59.11.06)	3. 71	77. 8	217	# : 1500 # : 1550 # : 1460	有
702-05	2-05	59.12.14 (60. 1.16)	3. 42	68. 9	192	# : 1260 # : 1300 # : 1220	無
702-06	2-06 (ϕ 400)	60. 1.22 (60. 2.19)	3. 42	68. 9 (63. 4)	192	# : 1280 # : — # : 1260	無
702-07	2-07 (ϕ 400)	60. 3.01 (60. 4.01)	3. 71	77. 8	217		無
702-08	2-08 (ϕ 400)	60. 4.05 (60. 4.26)	4. 00	85. 4	238	# : 1640 # : 1420 # : 1670	有 T/C 取付部 貫通、クラック (上部)
702-09	2-09 (ϕ 400)	60. 5.01 (60. 6.06)	3. 71	78. 1	218	# : 970 # : 1240 # : 1200	無
702-10	2-10 (ϕ 1100)	60. 1.22 (60. 3.04)	3. 26	63. 7	178	# : 1400 # : — # : 1340	無
702-11	2-11 (ϕ 1100)	60. 4.19 (60. 5.23)	3. 42	71. 0	198	# : 1460 # : 1370 # : 1440	無
702-12	2-12 (ϕ 1100)	60. 9. 6 (60.10.08)	3. 71	78. 3	218	# : 1240 # : 1230 # : 1290	無

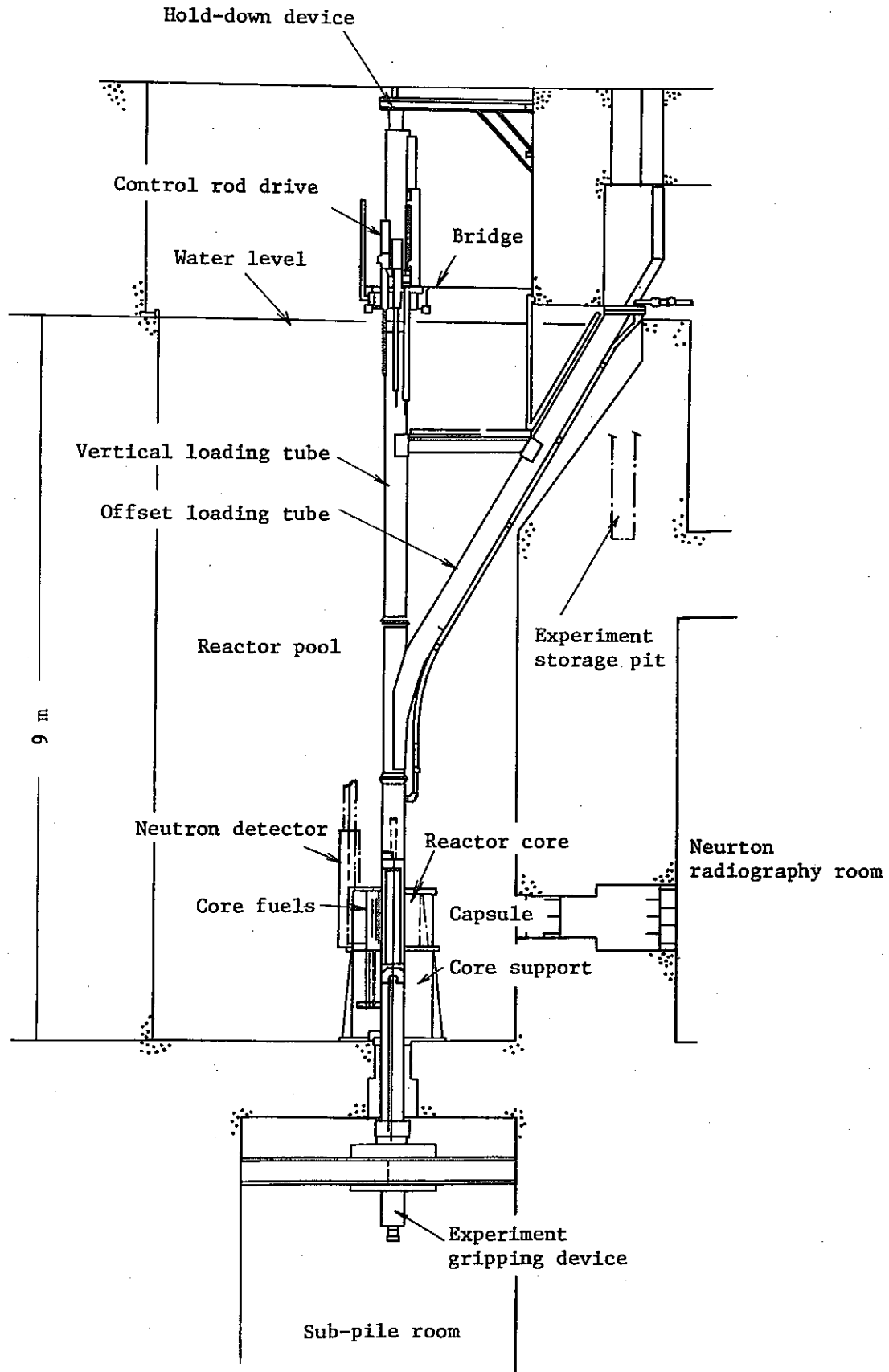


Fig 3 General Arrangement of NSRR

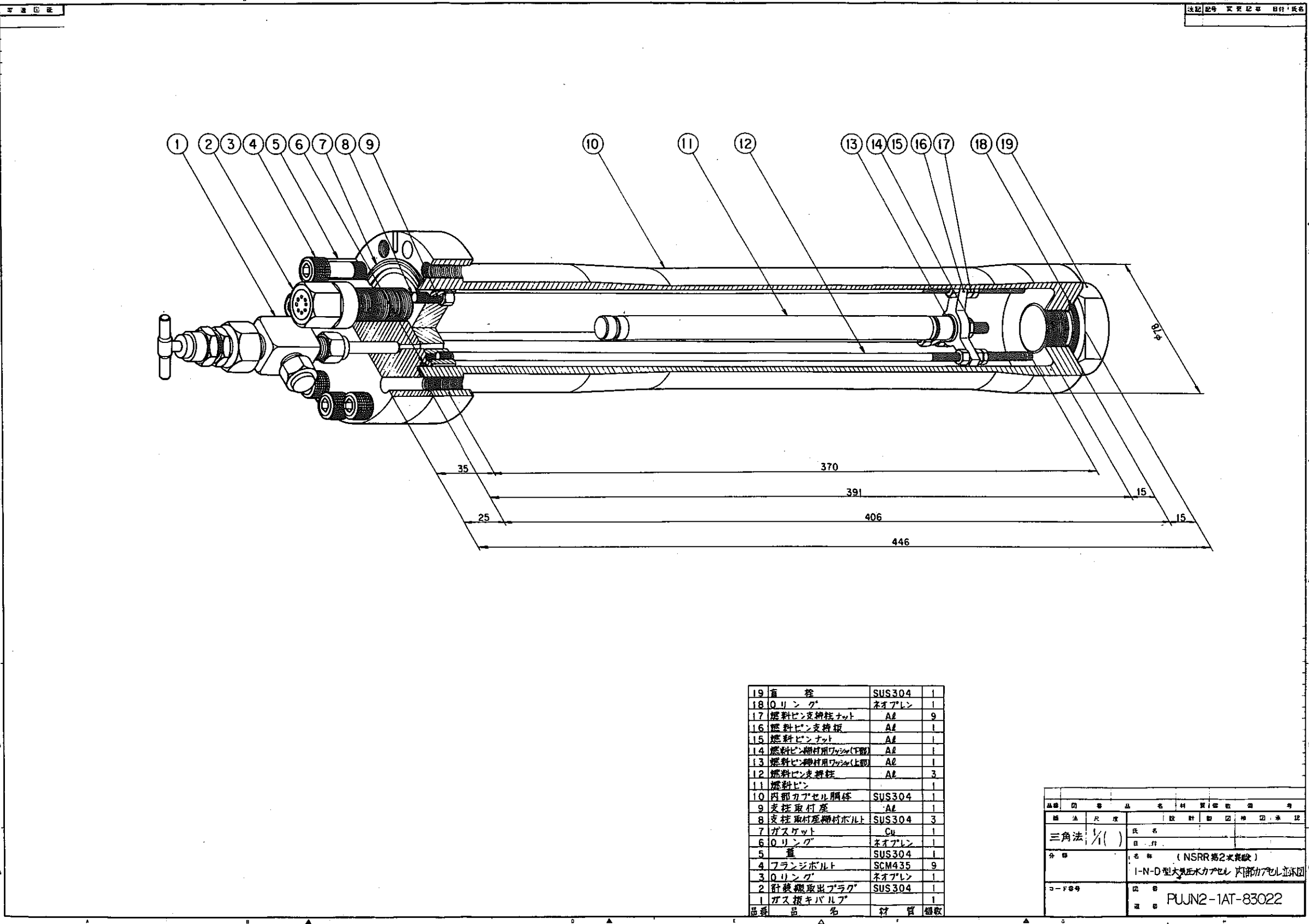


Fig 4 照射カプセル構造

担当課	場所	作業手順	作業内容
管 理 課	R-134	N S R R	
		輸 送	
		キャスク受入検査	{ α チェック }
		部 内 運 搬	{専用台車使用 }
		キャスク開梱 ホルダ取出し 内部カプセル取出し	表面汚染、「放射線量率のチェック」 ビニル被覆のまま
品 質 管 理 課	R-134	内部カプセルをグローブ ボックスへバッグイン	{Box No.26よりバッグイン }
		内部ガス圧測定	
		内部カプセル解体	ボルト取出しガス抜き、水抜き 内部カプセルは廃棄
	R-134 C-103	燃料棒取出し	
		外観・寸法測定	目視、写真、全長、外径、曲がり、膨れ 等の測定
		重量測定	燃料が細分化している場合、回収燃料の 重量測定
	A-107	エックス線透過検査	{スタック長、ペレットギャップ、 ペレット、破損等 }
	R-134 C-103	燃料棒切断	{カッタにより切断 }
	R-136	ペレット試験検査	
		金相試験 α オートラジオグラフィ 元素分析 P M A	金相的特徴を観察 Puスポットの観察 被覆材元素の拡散量
		F P 分 析	{FP生成量を求め、発熱量を校正}
原 研	R-134	被覆管試験検査	
		破断面の観察	{目視、写真撮影 }
		組織観察	
	R-136	機械的強度試験 金相元素分析 E P M A	硬度測定 ペレット構成元素の拡散量
		燃料棒の保管、廃棄 核被覆管の保管、廃棄	{試験済試料の保管、又は廃棄 }
管 理 課		内部カプセル廃棄	

Fig 5 N S R R 照射後試験検査フロー

Table 4 照射後試験検査項目と内容(1/2)

試験項目		測定装置・器具	場所 (2次のみ)	グローブ ボックス	破壊 非破壊	試験内容	備考
内部 カプセル	(1) 目視検査		R-134	内	非		・写真撮影
	(2) 外観検査		R-134	内	非		・比較的大きな変化があったかどうかの検査
	(3) 寸法検査	ノギス	R-134	内	非		
	(4) 内部ガス 圧測定	圧力計	R-134	内	非		
燃料 棒	(1) 目視検査		R-134	内	非	外観・破損状況の観察, 写真撮影	(試験前も実施)
	(2) 外観検査	トーヨ・ビュー (マクロ撮影)	R-134	内	非	長さ, 外径, 曲がり, 膨れ等の測定 燃料棒内部状態の観察	
	(3) 寸法検査	プロフィロメータ, ノギス	R-134	内	非	ペレット (P u スポットを含む) の状態観察	・外径, 長さ, 曲がり (") ・ビニル (2重) を通して行う
	(4) エックス線透過検査	エックス線発生装置	A-107	外	非	燃料が細分化している場合には、回収	・破損した場合は, 集める
	(5) 重量測定	天ビン	C-103 (R-134)	内	非	燃料の重量を測定	
	(6) エンドピーク	γスキャン (2次)	(A-107)	外	非	軸方向分布測定	702-04のみ実施

Table 4 照射後試験検査項目と内容(2/2)

試験項目		測定装置・器具	場所 (2次のみ)	グローブ ボックス	破壊 非破壊	試験内容	備考
ペレット	・金相試験	研摩機、顕微鏡	C-103 (R-134)	内	破	必要に応じ、横断面、縦断面の金相的特徴を観察FP生成量を求め、発熱量を較正、 α オートラジオグラフィーによってPusポットを観察被覆材元素の拡散量を評価	・数ヶ所について実施 ・必要に応じ横断面・縦断面 Pusポット測定
	・燃焼度		原研		破		
	・ α オートラジオ グラフィー		C-103 (R-134)	内	破		
	・元素分布	EPMA	R-136	内	破		
被覆管	・外観検査	トーヨ・ビュー (マクロ撮影)	R-134	内	非	破断面を観察し、写真撮影	
	・金相試験	顕微鏡	C-103 (R-134)	内	破	組織観察、酸化膜厚の測定等	
	・肉厚測定		R-134		非	脆化度、硬度等の測定	
	・元素分布	EPMA	R-136	内	破	ペレット構成元素拡散量を評価	

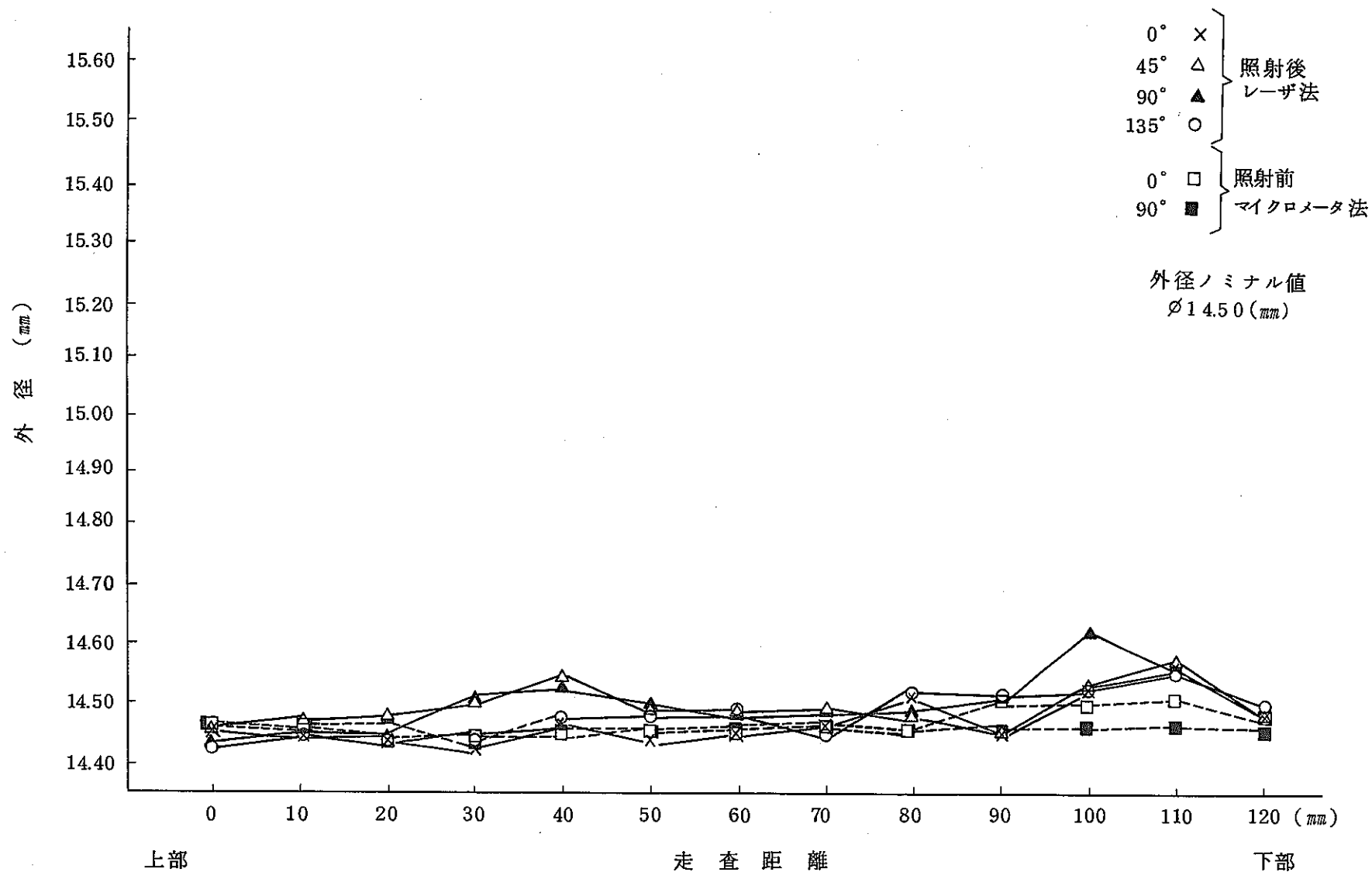


Fig 6 (1) 照射前・後外径測定結果 (試験番号: 702-01)

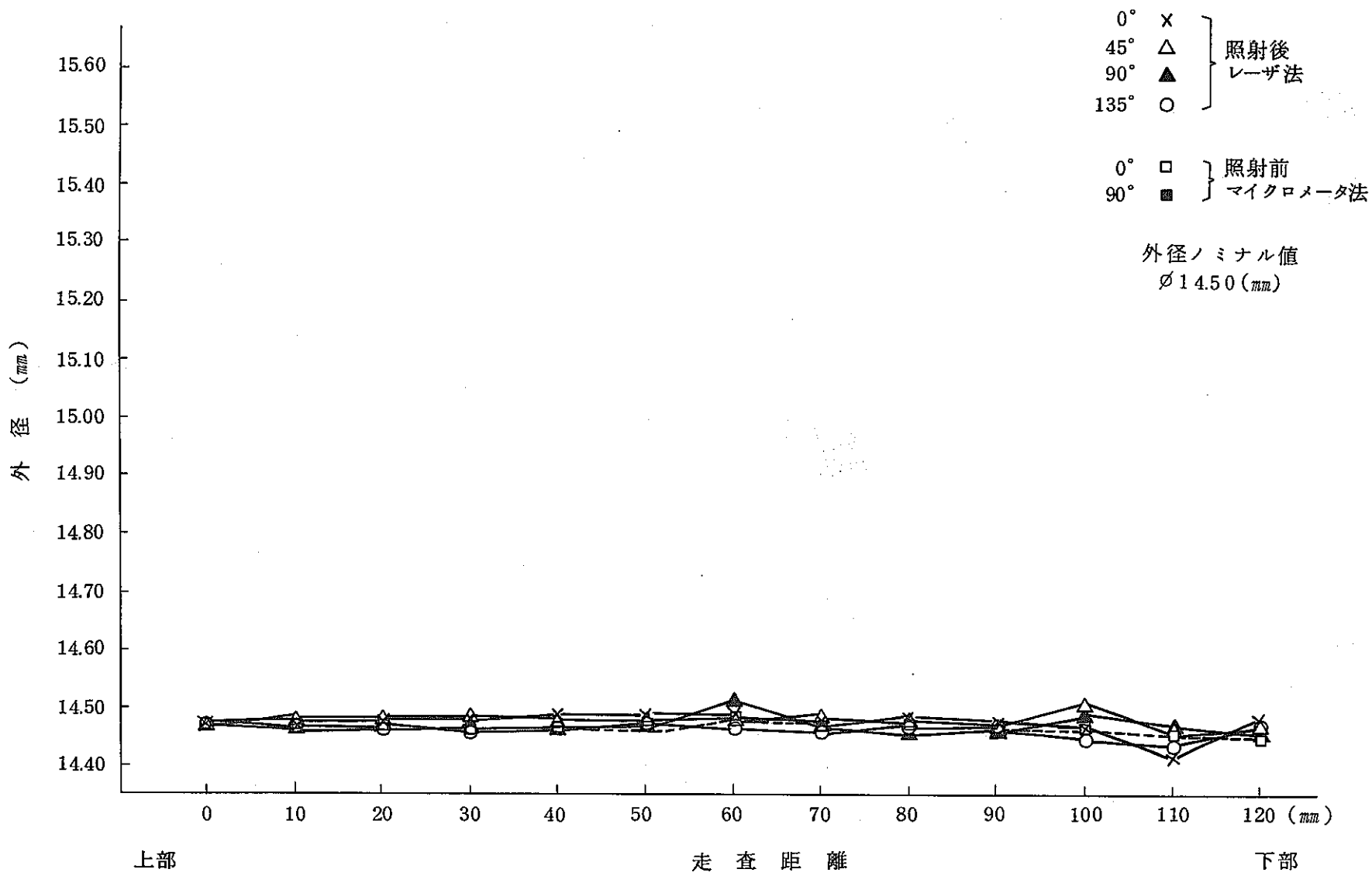


Fig 6(2) 照射前・後外径測定結果 (試験番号: 702-02)

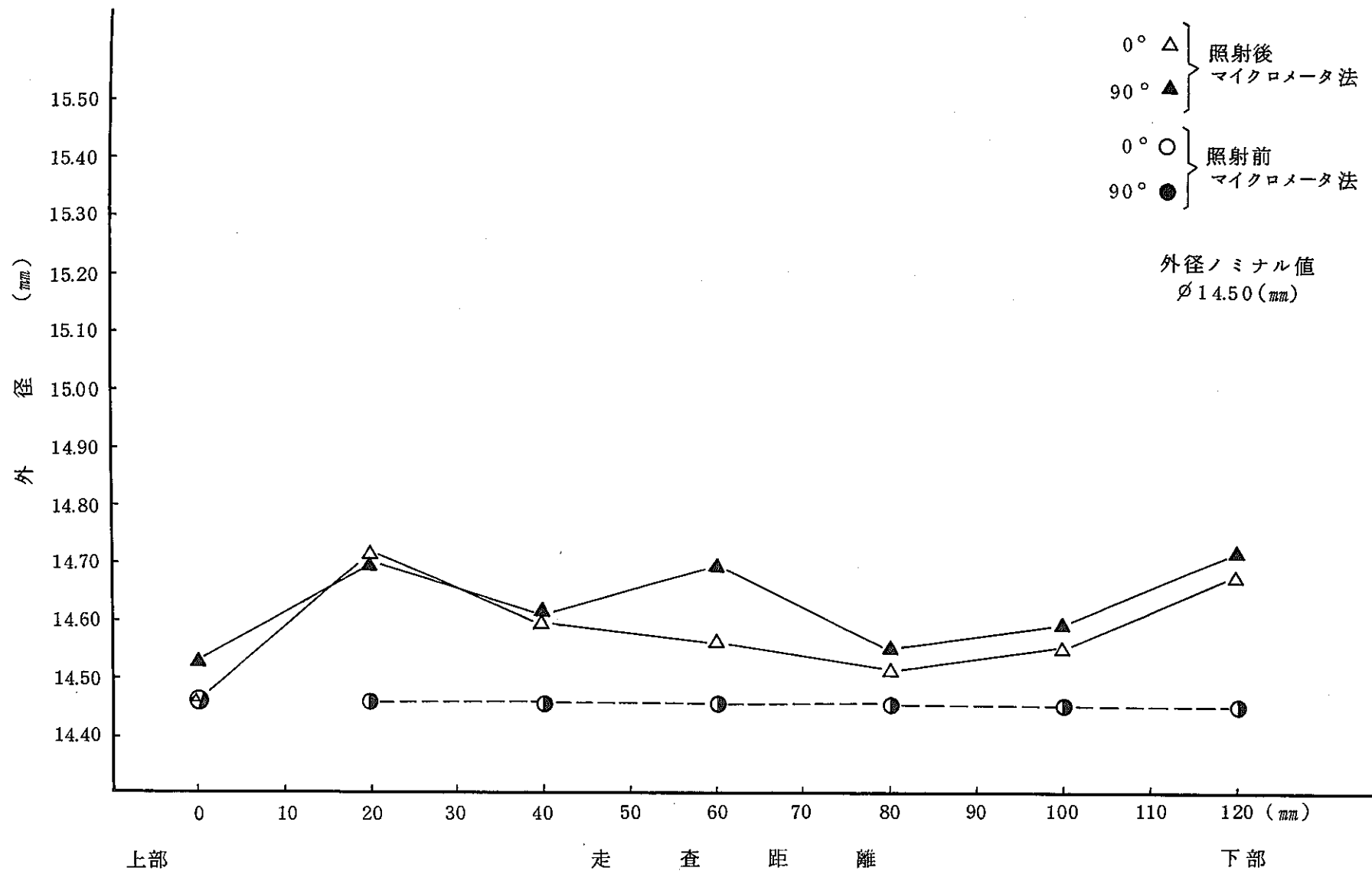


Fig 6 (3) 照射前・後外径測定結果 (試験番号: 702-03)

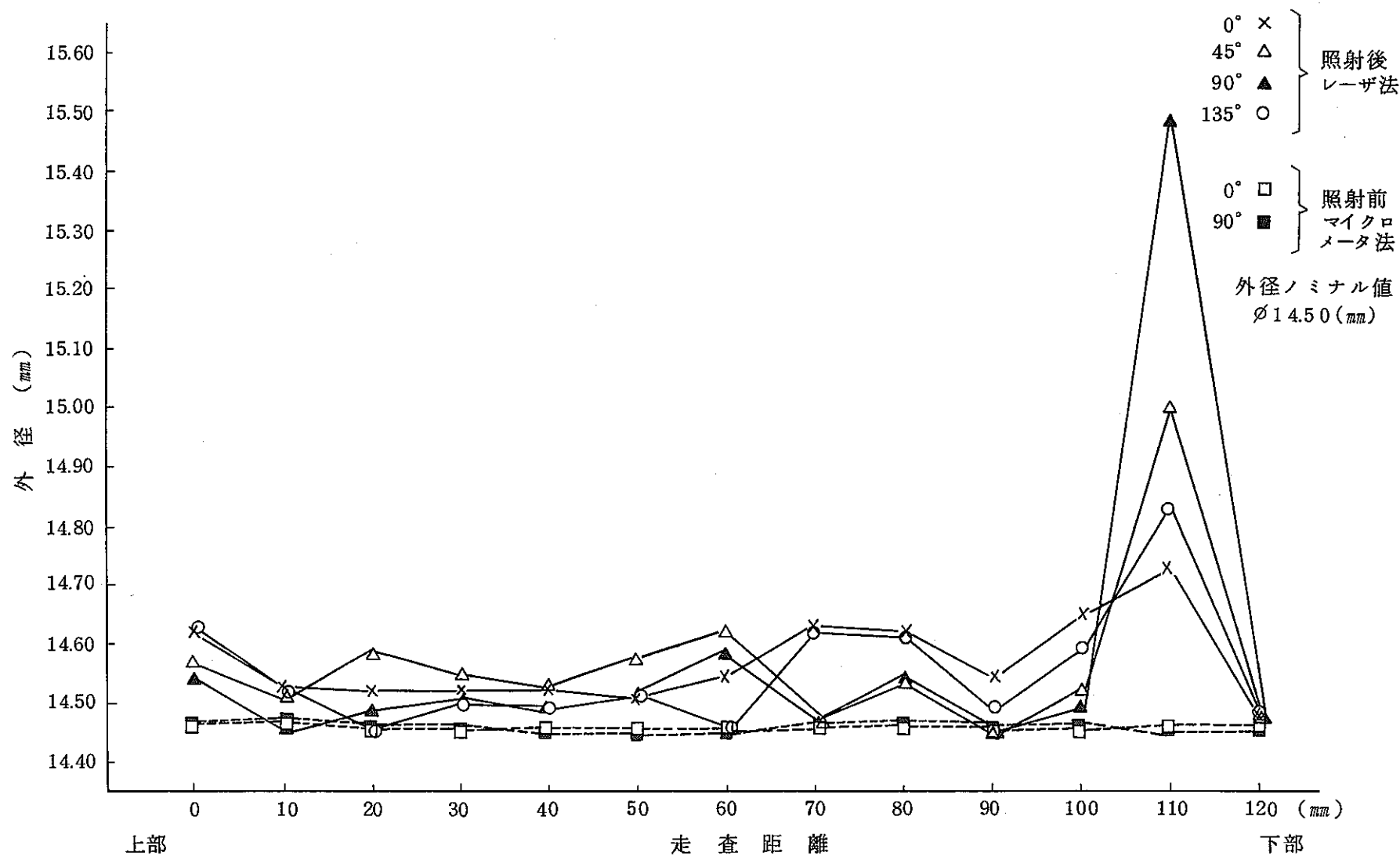


Fig 6(4) 照射前・後外径測定結果 (試験番号: 702-04)

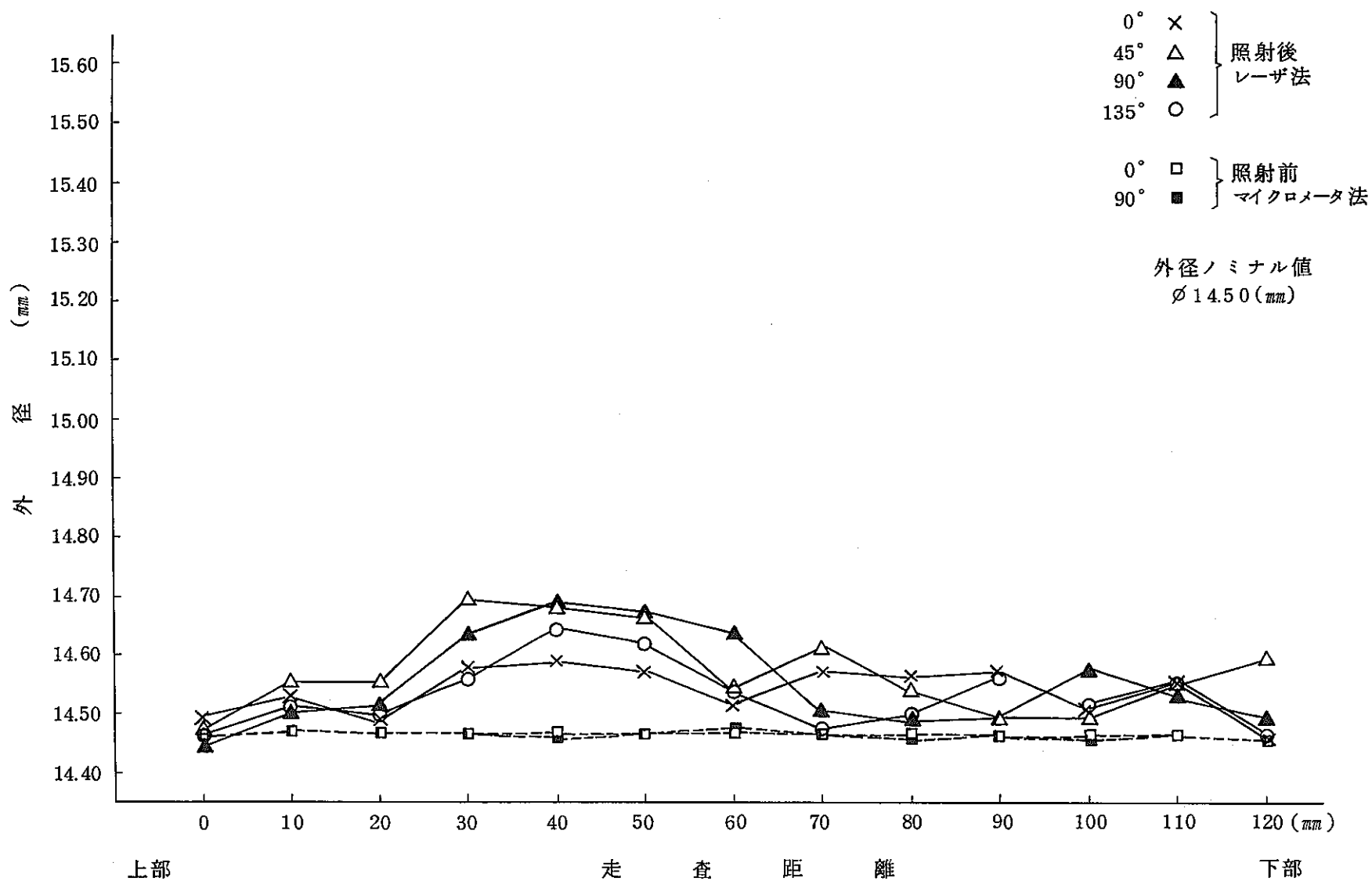


Fig 6 (5) 照射前・後外径測定結果 (試験番号: 702-05)

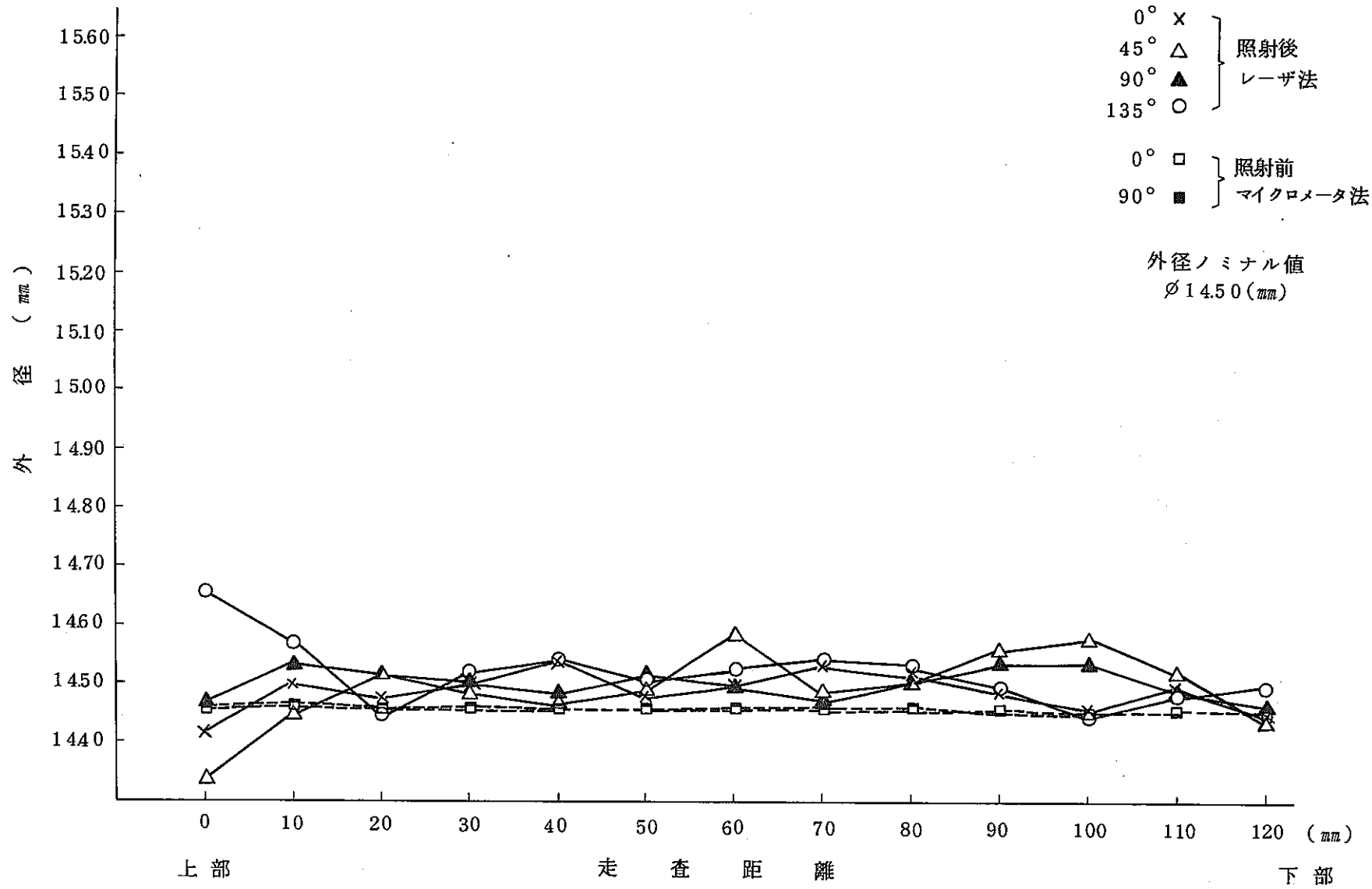


Fig 6 (6) 照射前・後外径測定結果 (試験番号: 702-06)

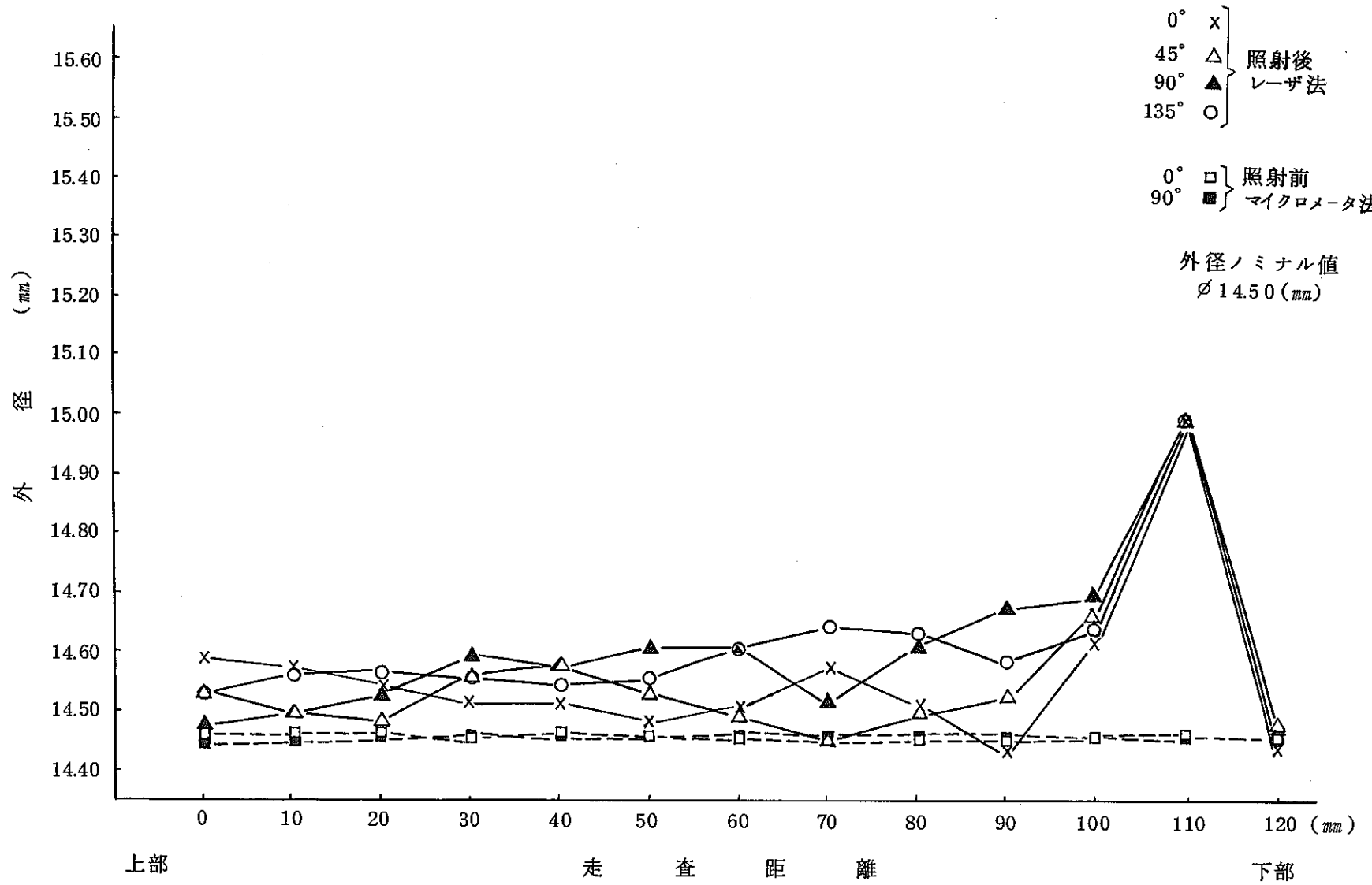


Fig 6 (7) 照射前・後外径測定結果 (試験番号: 702-07)

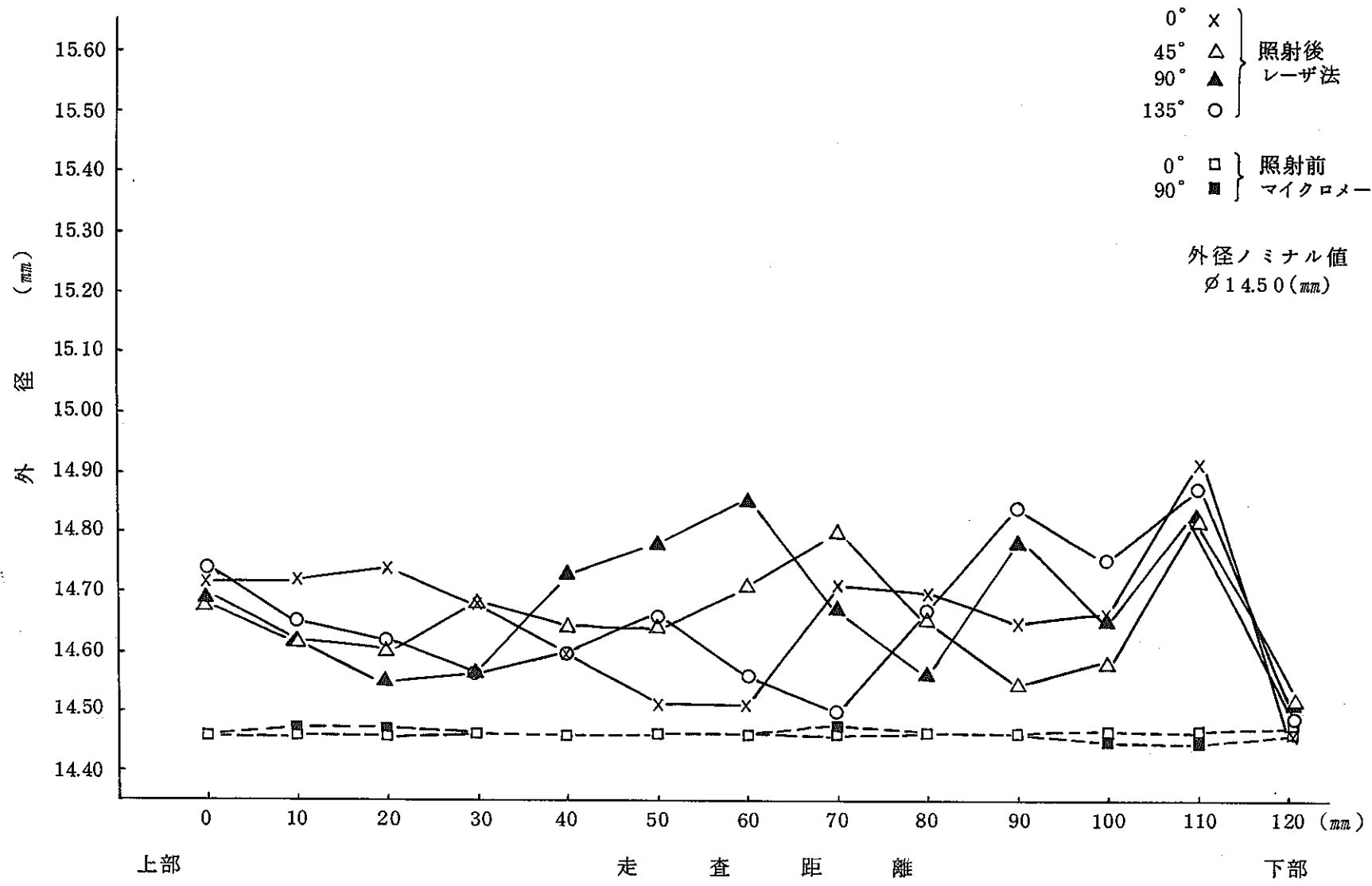


Fig 6 (8) 照射前・後外径測定結果 (試験番号: 702-09)

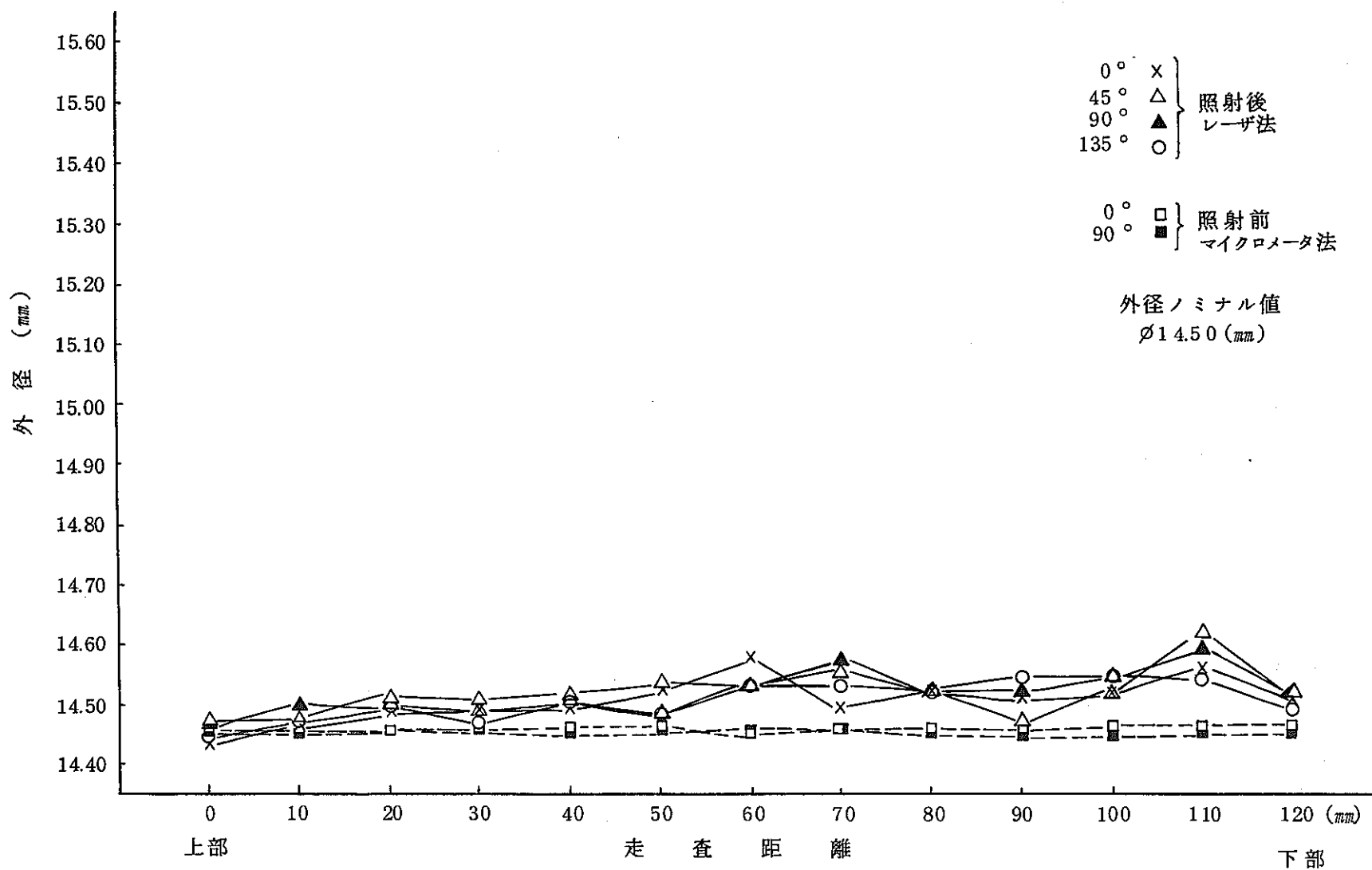


Fig 6(9) 照射前・後外径測定結果 (試験番号: 702-10)

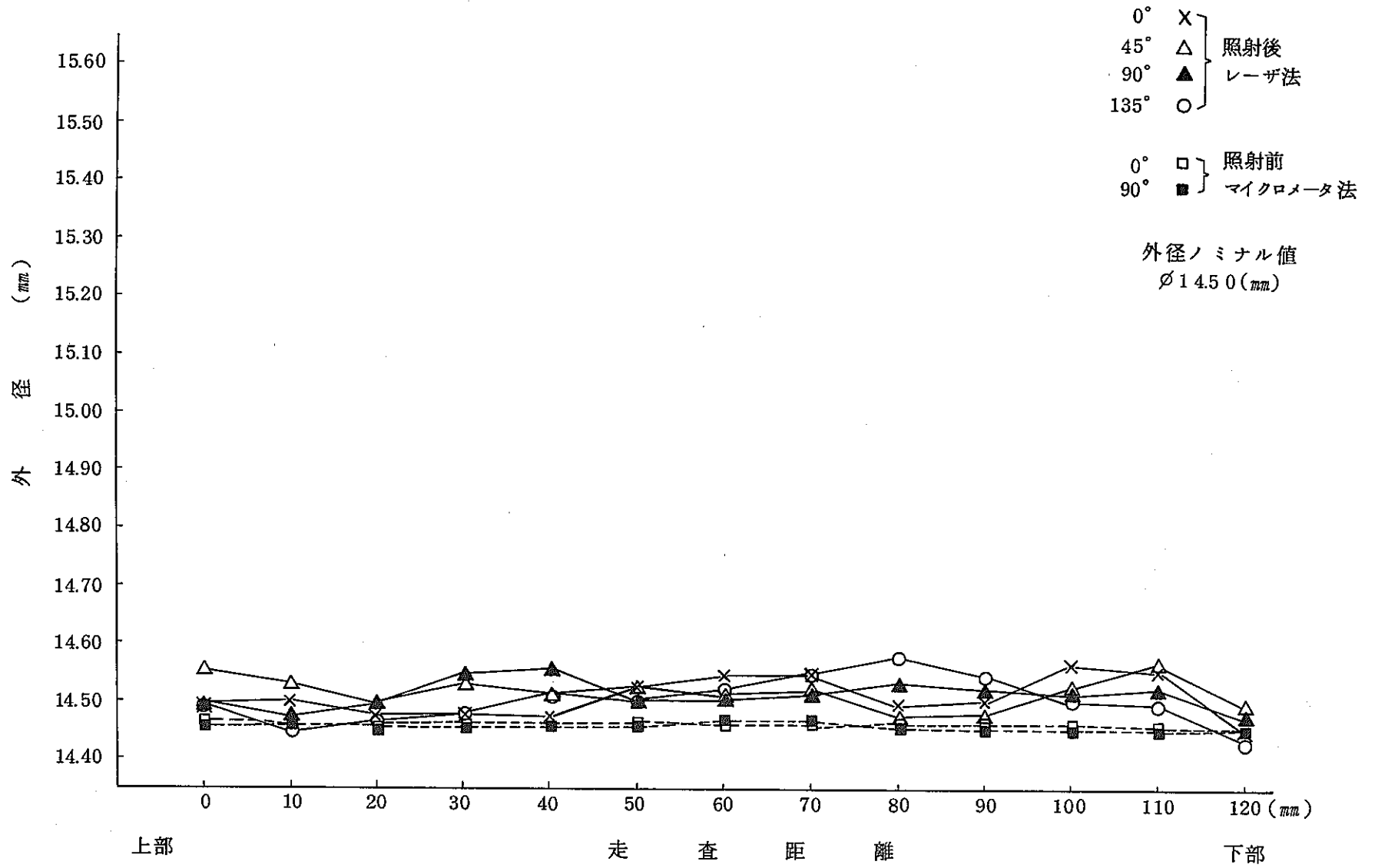


Fig 6 (10) 照射前・後外径測定結果 (試験番号: 702-11)

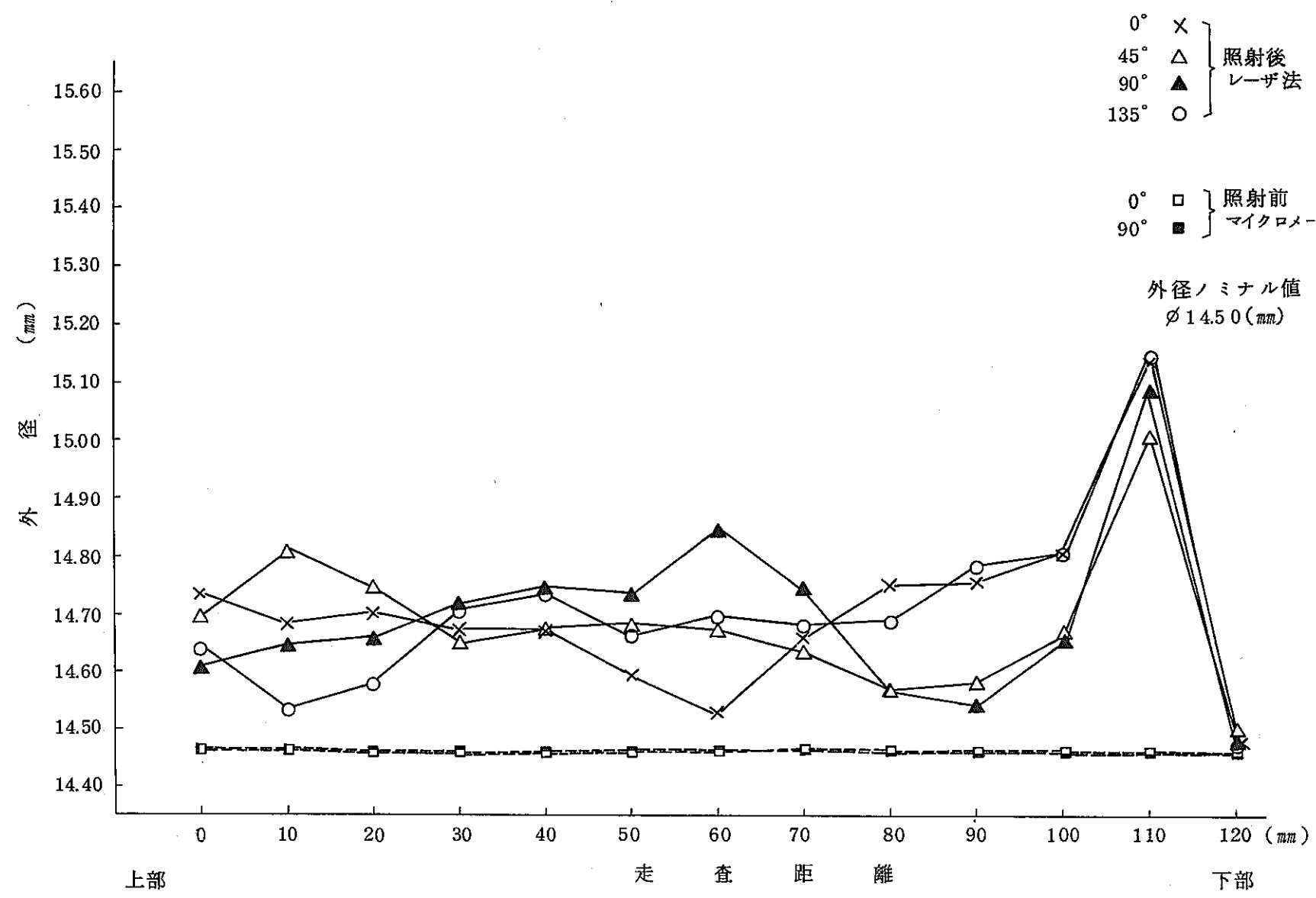


Fig 6 (11) 照射前・後外径測定結果 (試験番号: 702-12)

Table 5 燃料棒曲がり測定結果 (120mm区間)

試験番号 項目		702-01	702-02	702-03	702-04	702-05	702-06	702-07	702-08	702-09	702-10	702-11	702-12
照射後 (μm)	0°	60	0	—	280	1000	100	25	—	250	50	50	100
	45°	50	30	—	—	700	50	50	—	500	140	50	70
	90°	50	50	—	250	300	100	60 (200)	—	500	160	20	50
	135°	100	50	—	—	1200	60	50 (150)	—	250	100	50	100

() は被覆管膨脹部

注) 照射後の燃料棒のみ記す。

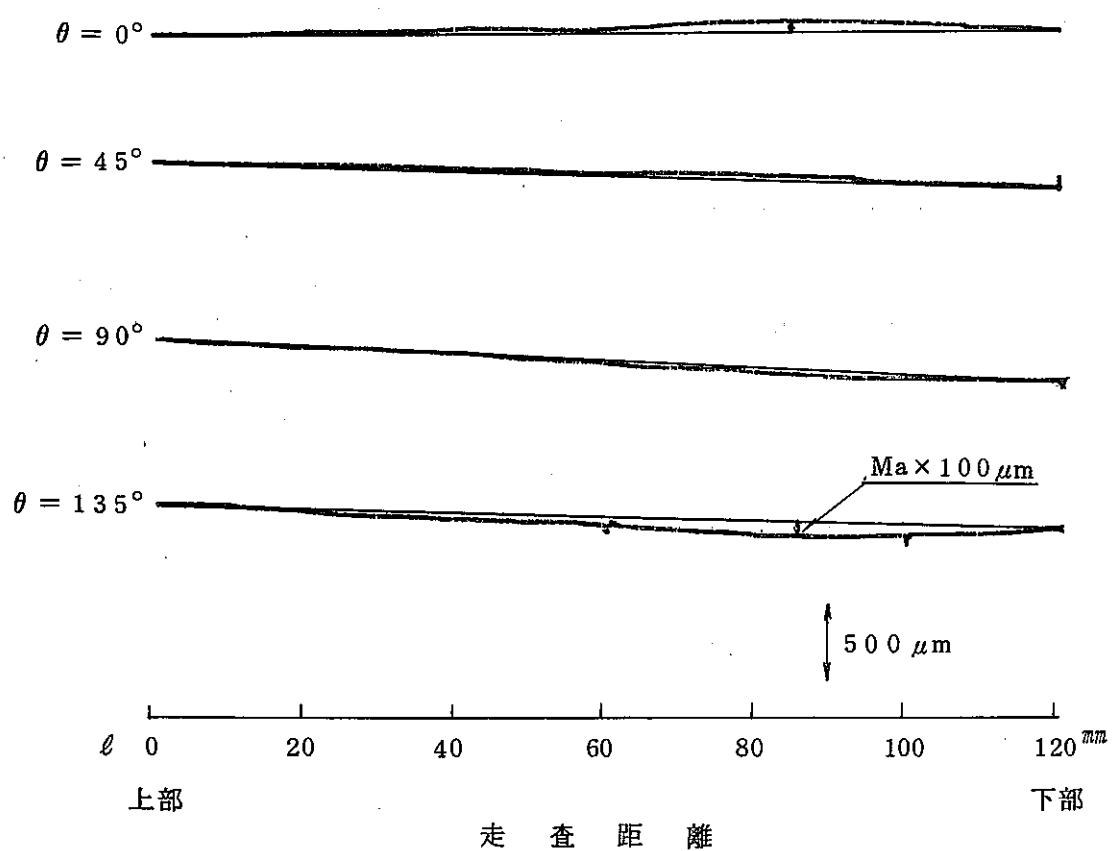


Fig 7 (1) 照射後の曲がりプロフィール (試験番号: 702-01)

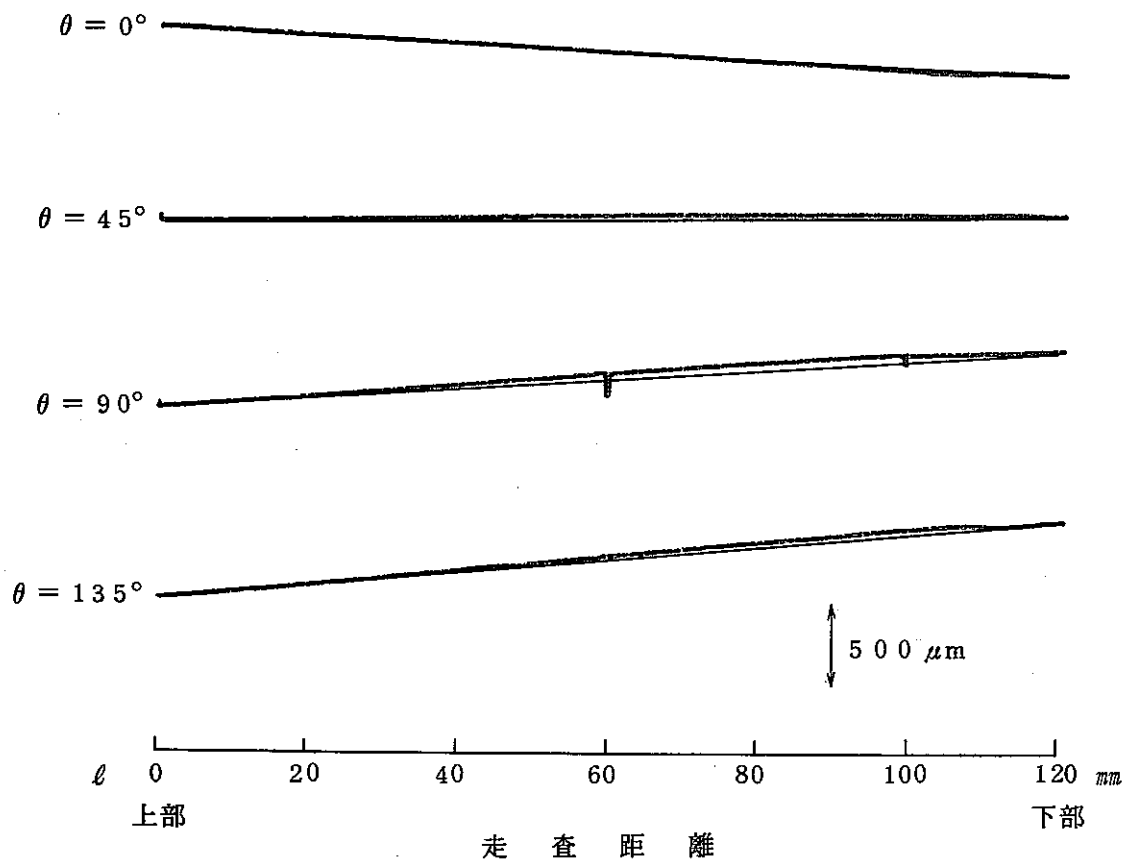


Fig 7 (2) 照射後の曲がりプロフィール (試験番号: 702-02)

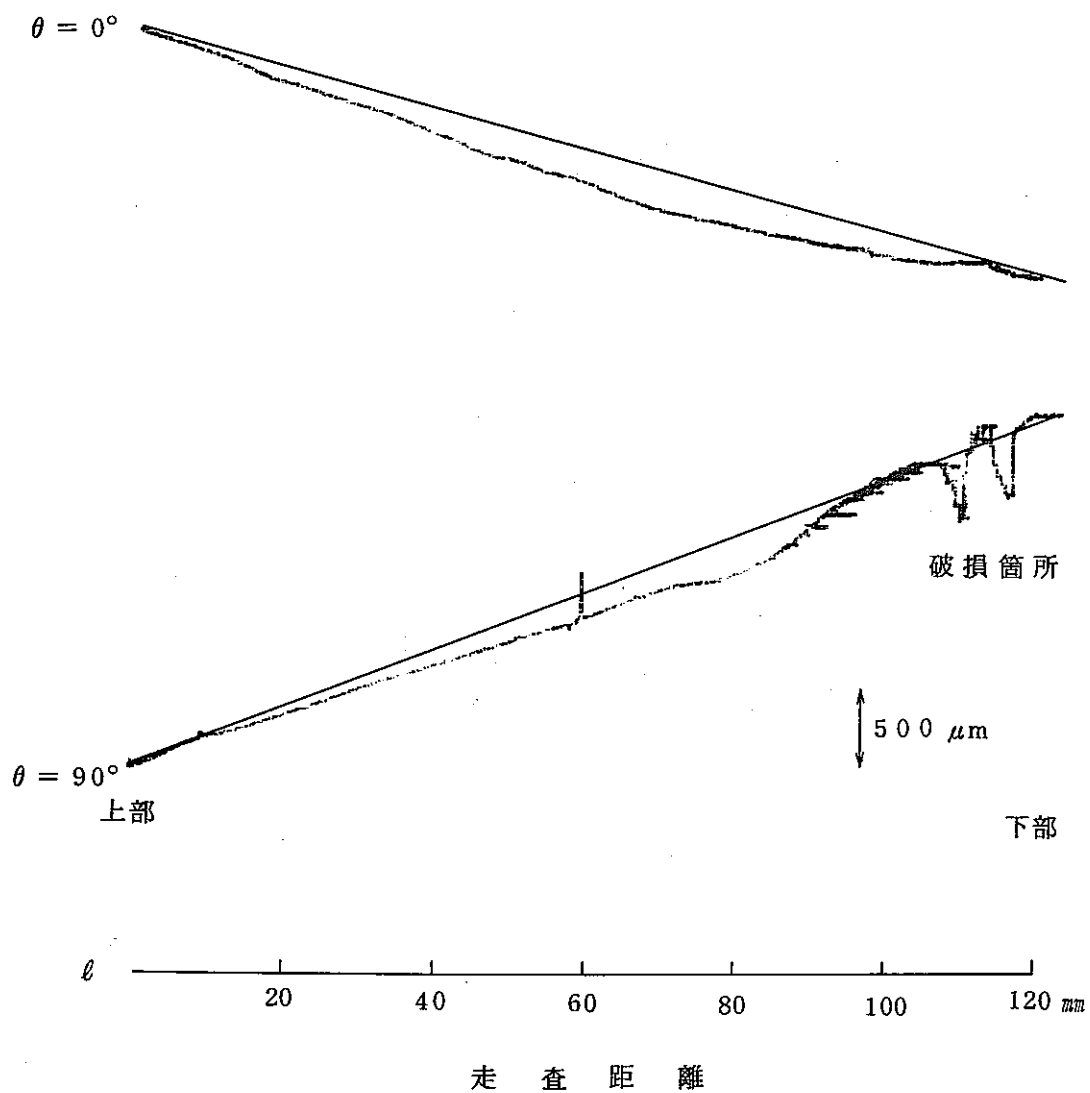


Fig 7 (3) 照射後の曲がりプロフィール (試験番号: 702-04)

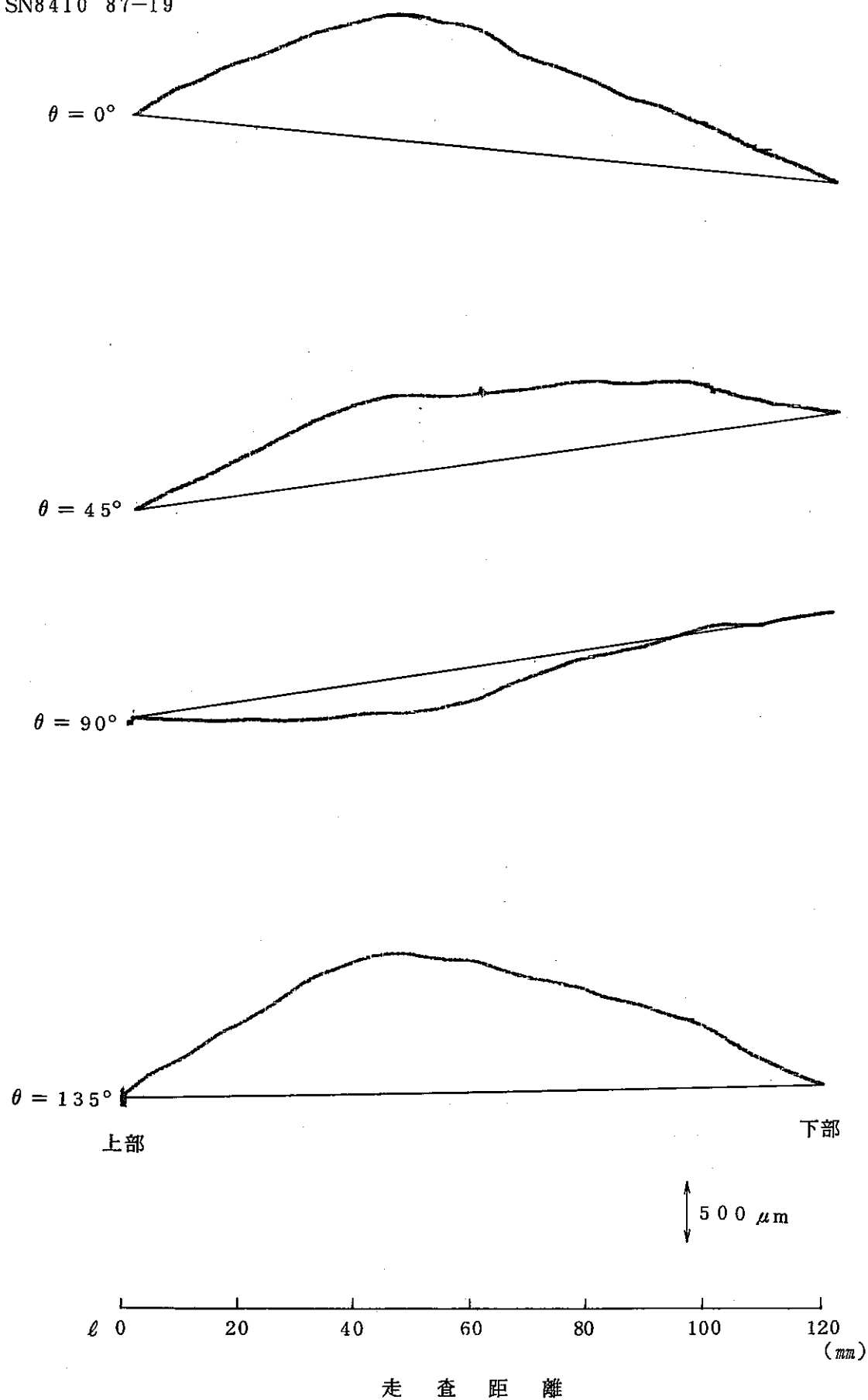


Fig 7 (4) 照射後の曲がりプロフィール (試験番号: 702-05)

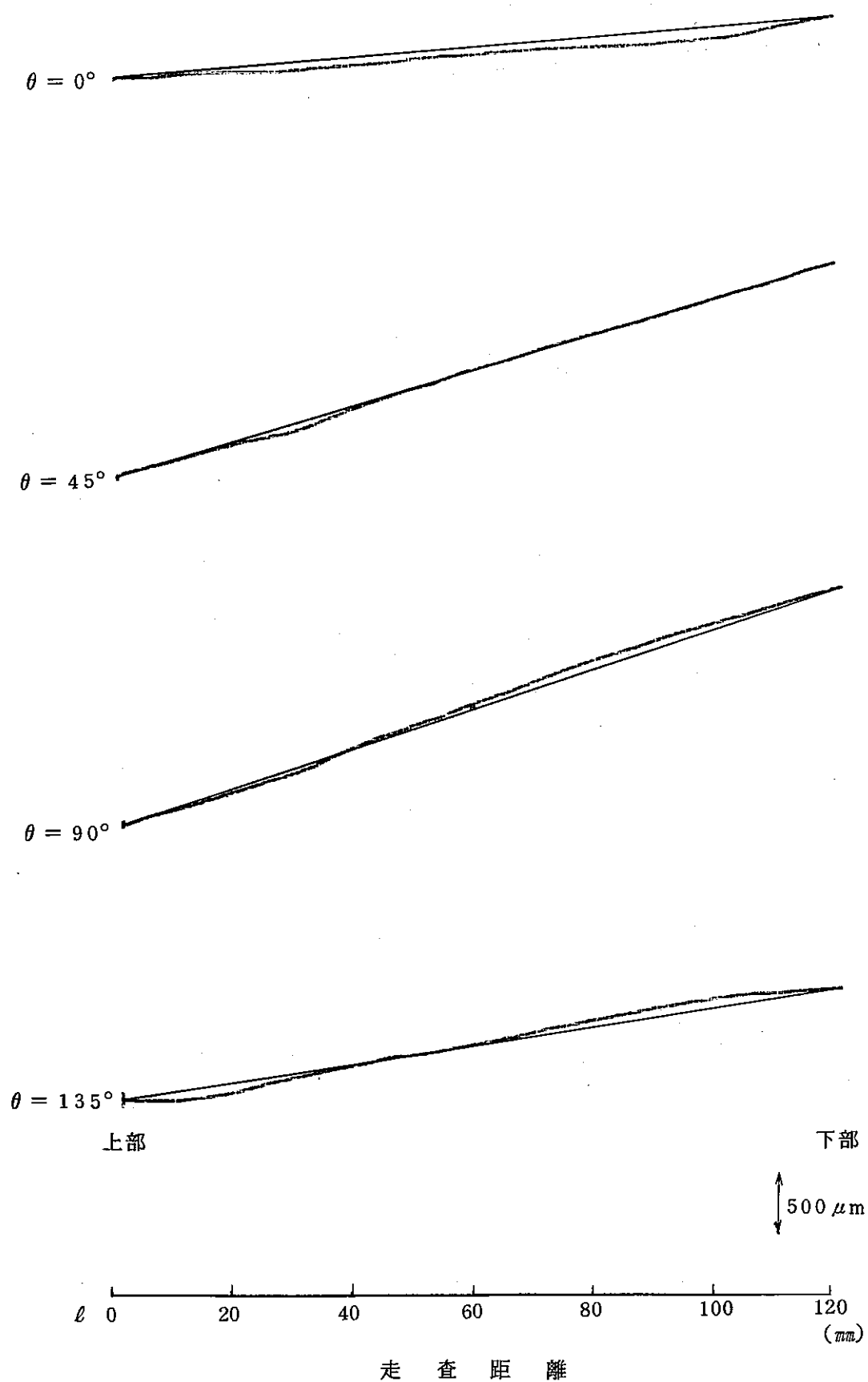


Fig 7 (5) 照射後の曲がりプロフィール (試験番号: 702-06)

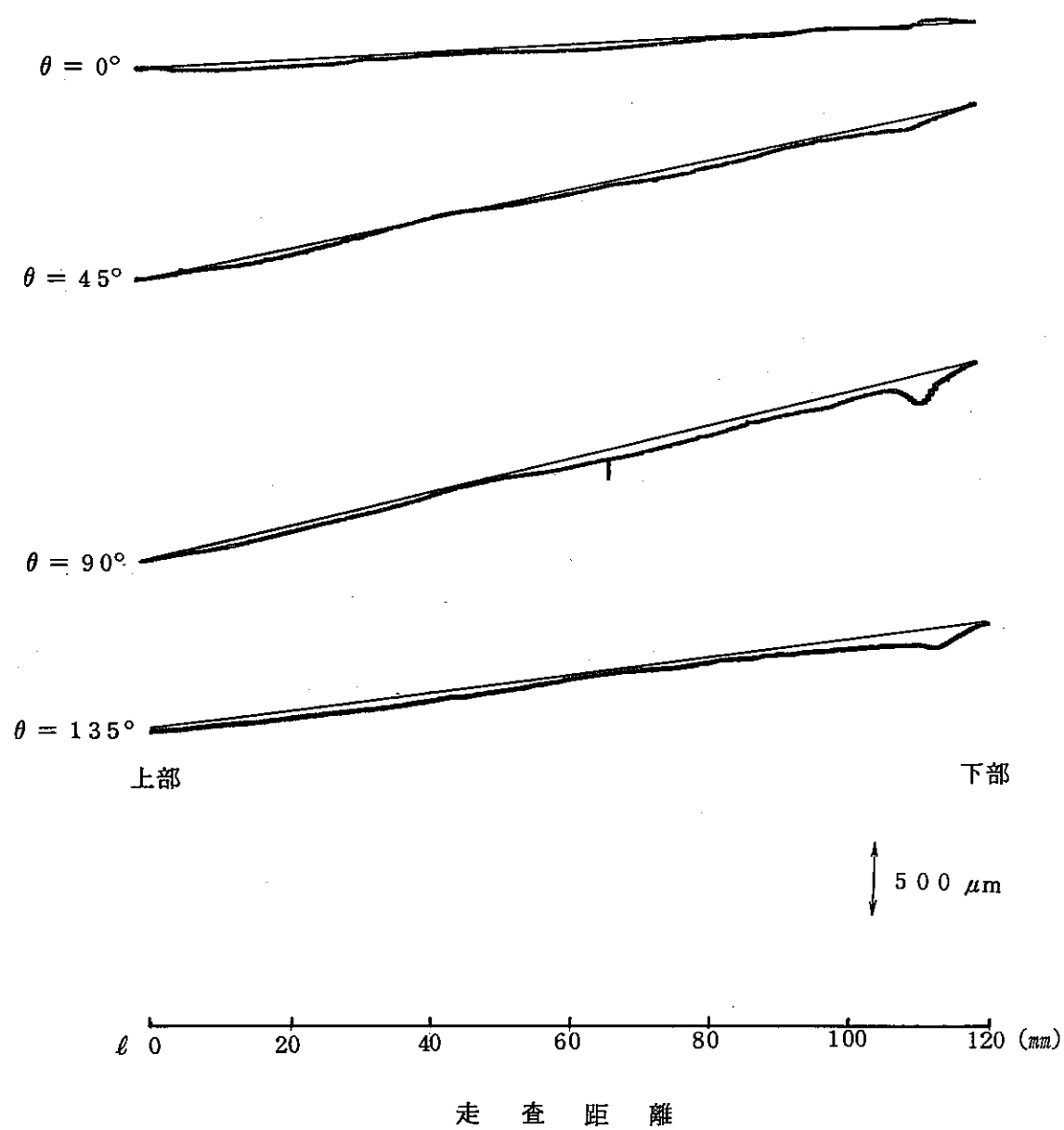


Fig 7 (6) 照射後の曲がりプロフィール (試験番号: 702-07)

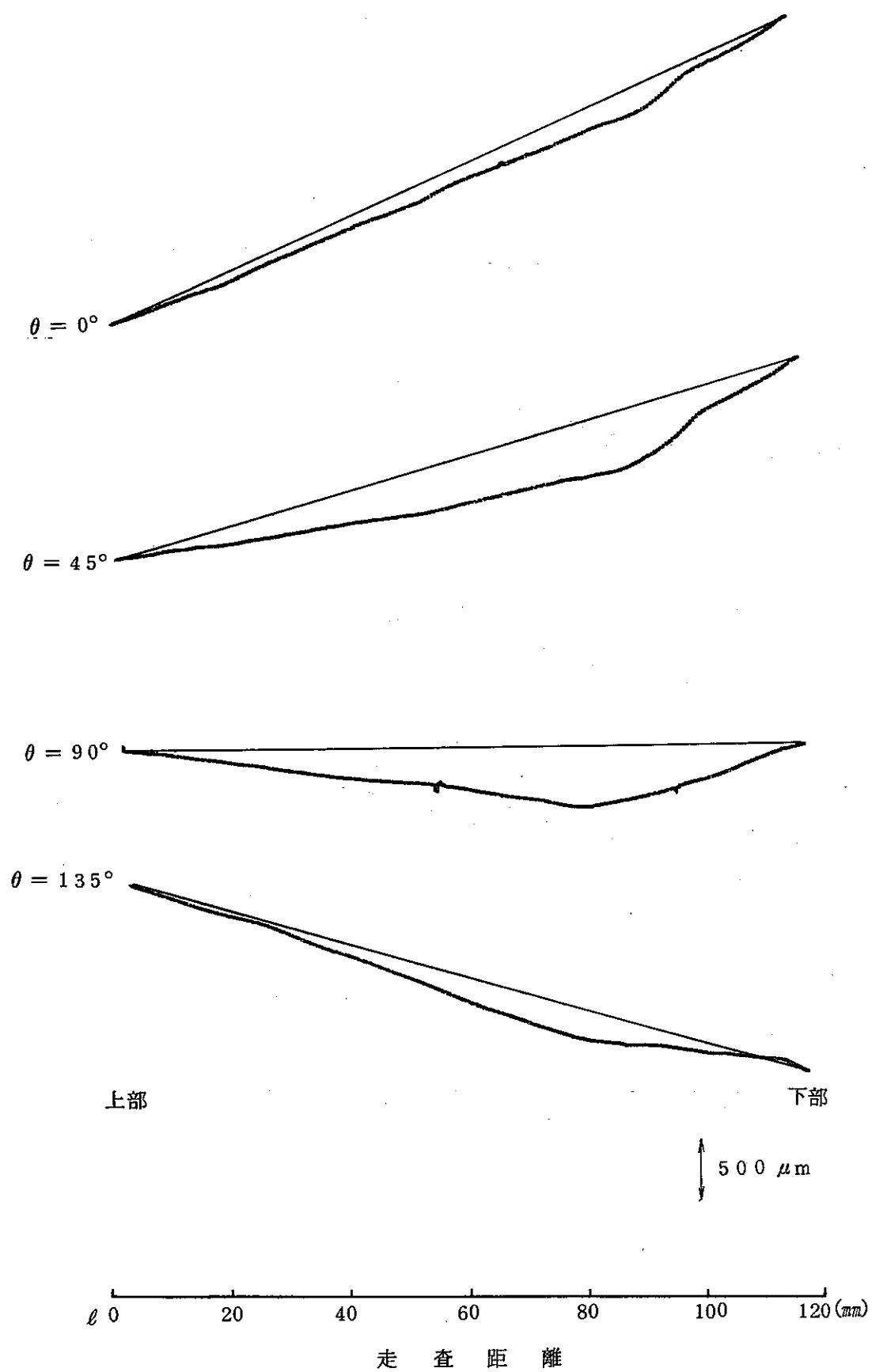


Fig 7 (7) 照射後の曲がりプロフィール (試験番号: 702-09)

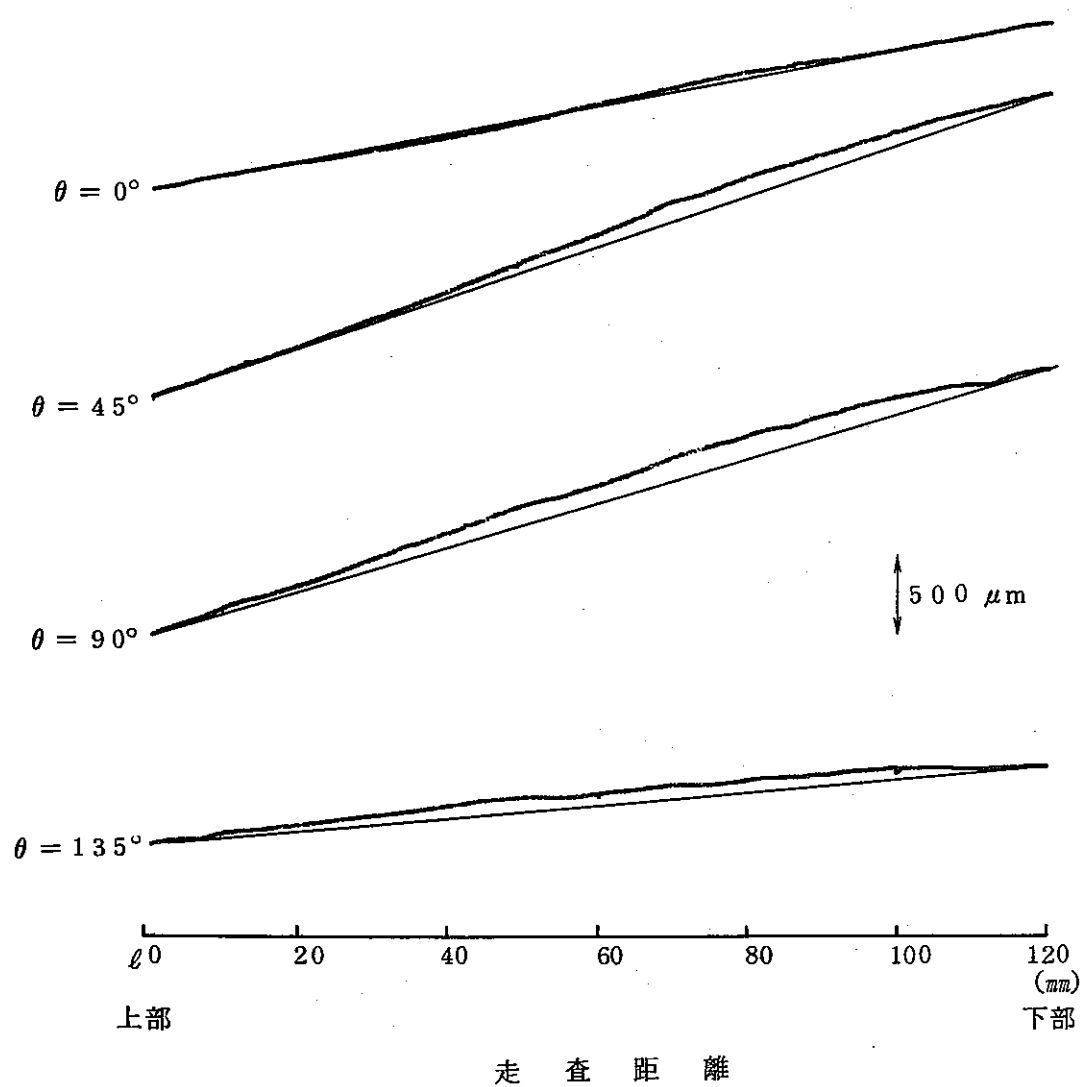


Fig 7(8) 照射後の曲がりプロフィール (試験番号: 702-10)

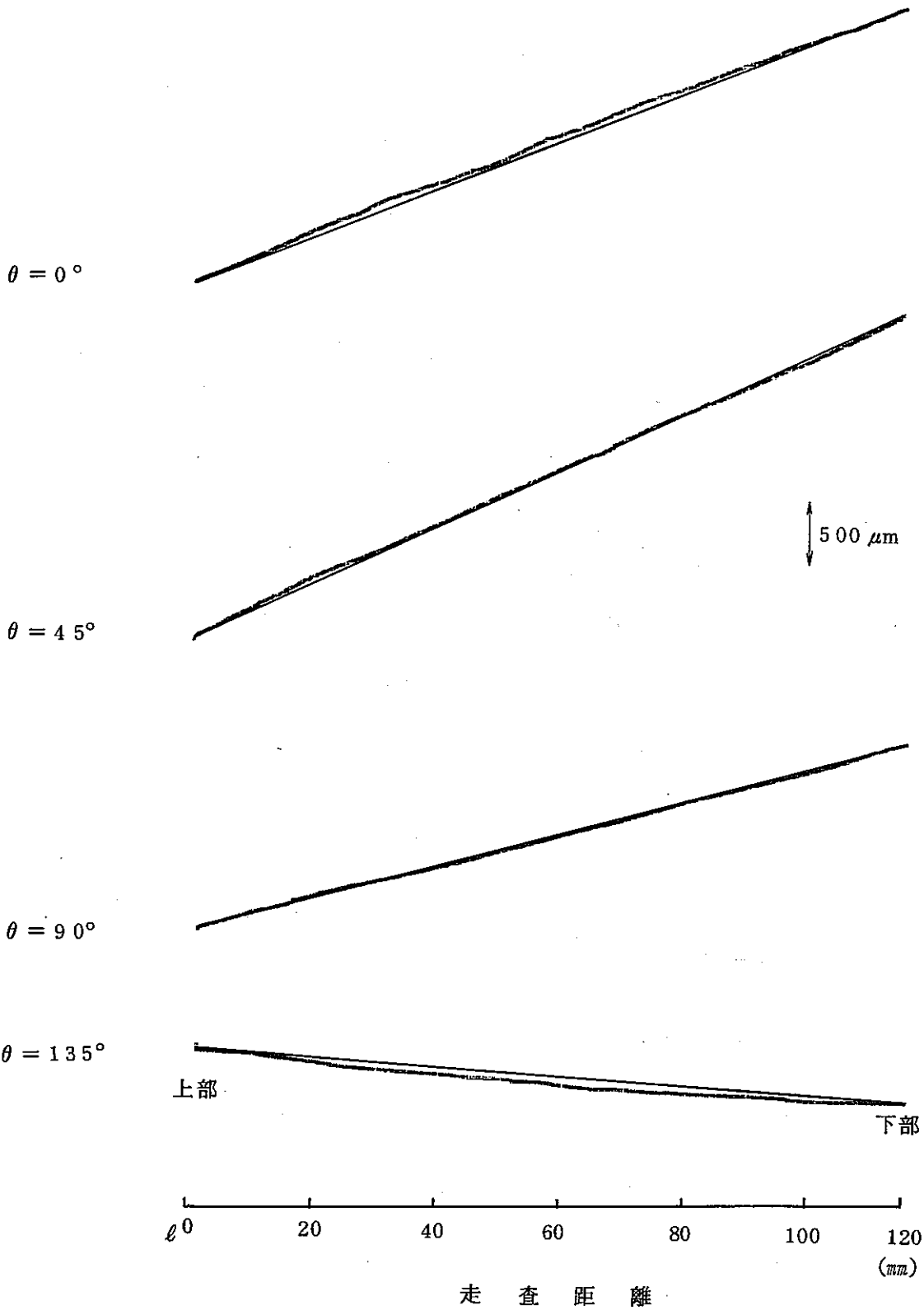


Fig 7 (9) 照射後の曲がりプロフィール (試験番号: 702-11)

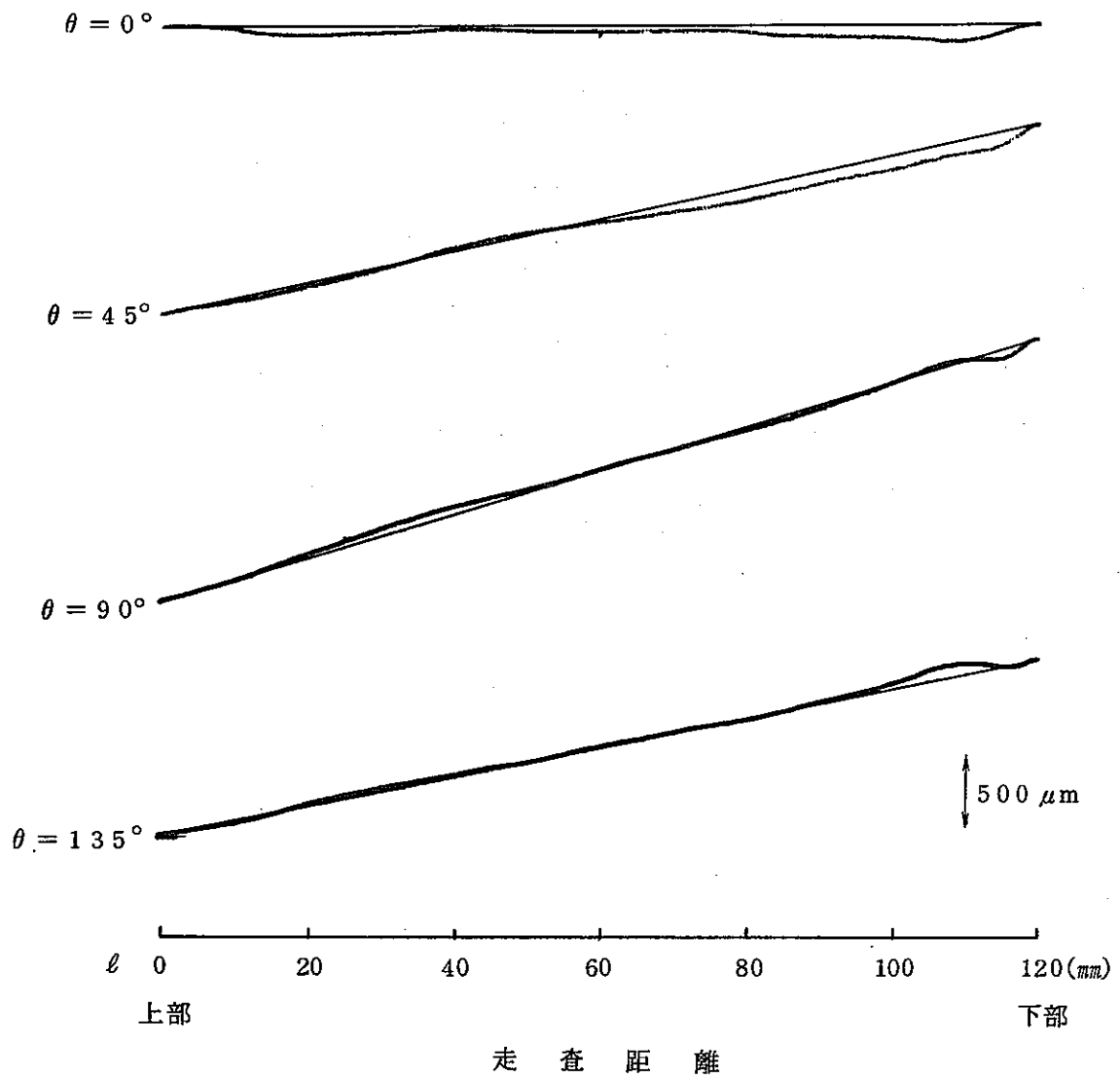
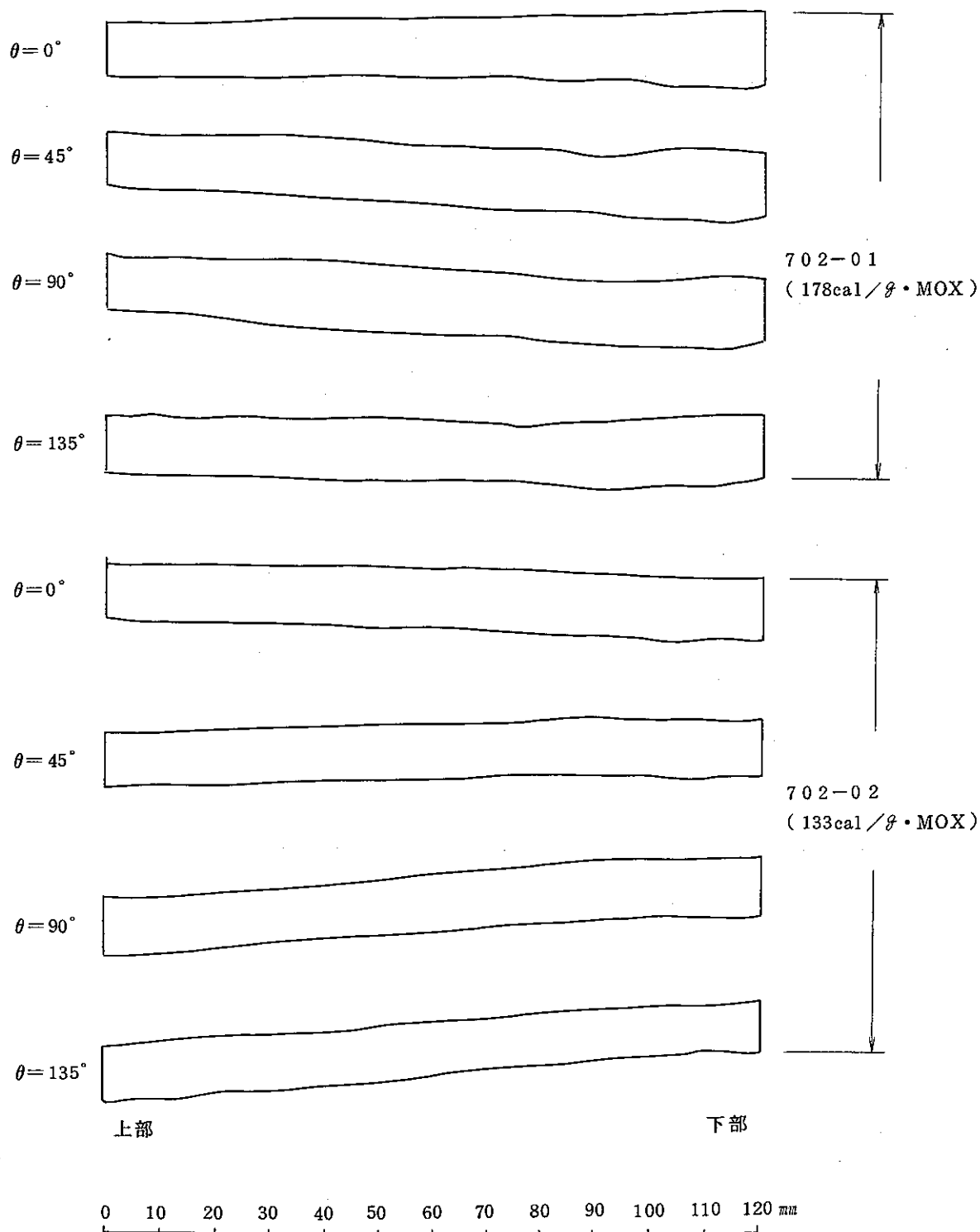


Fig 7 (10) 照射後の曲がりプロフィール (試験番号: 702-12)



走 査 距 離

Fig 8 (1) 照射後の外表面変形状

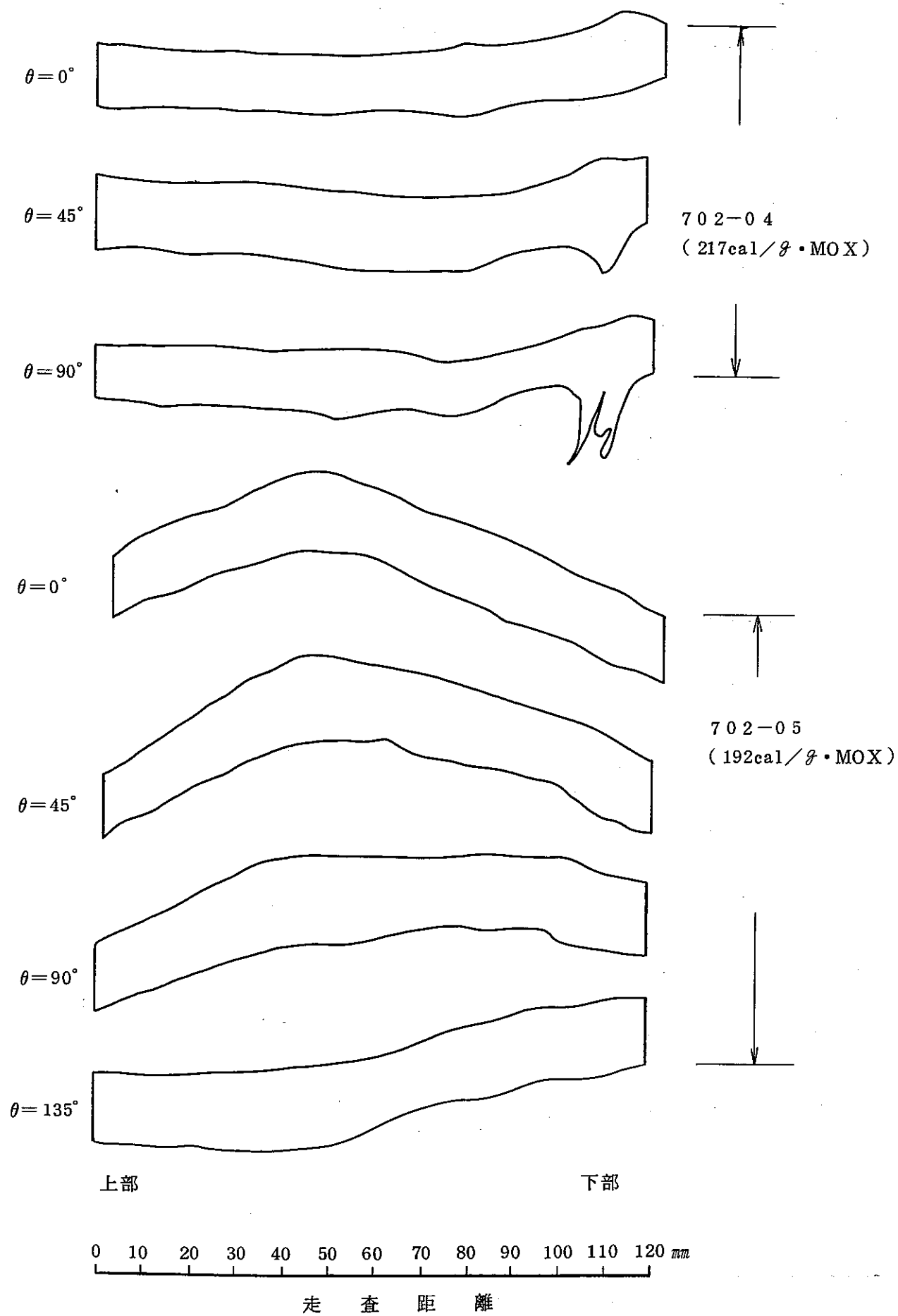


Fig 8 (2) 照射後の外表面変形状

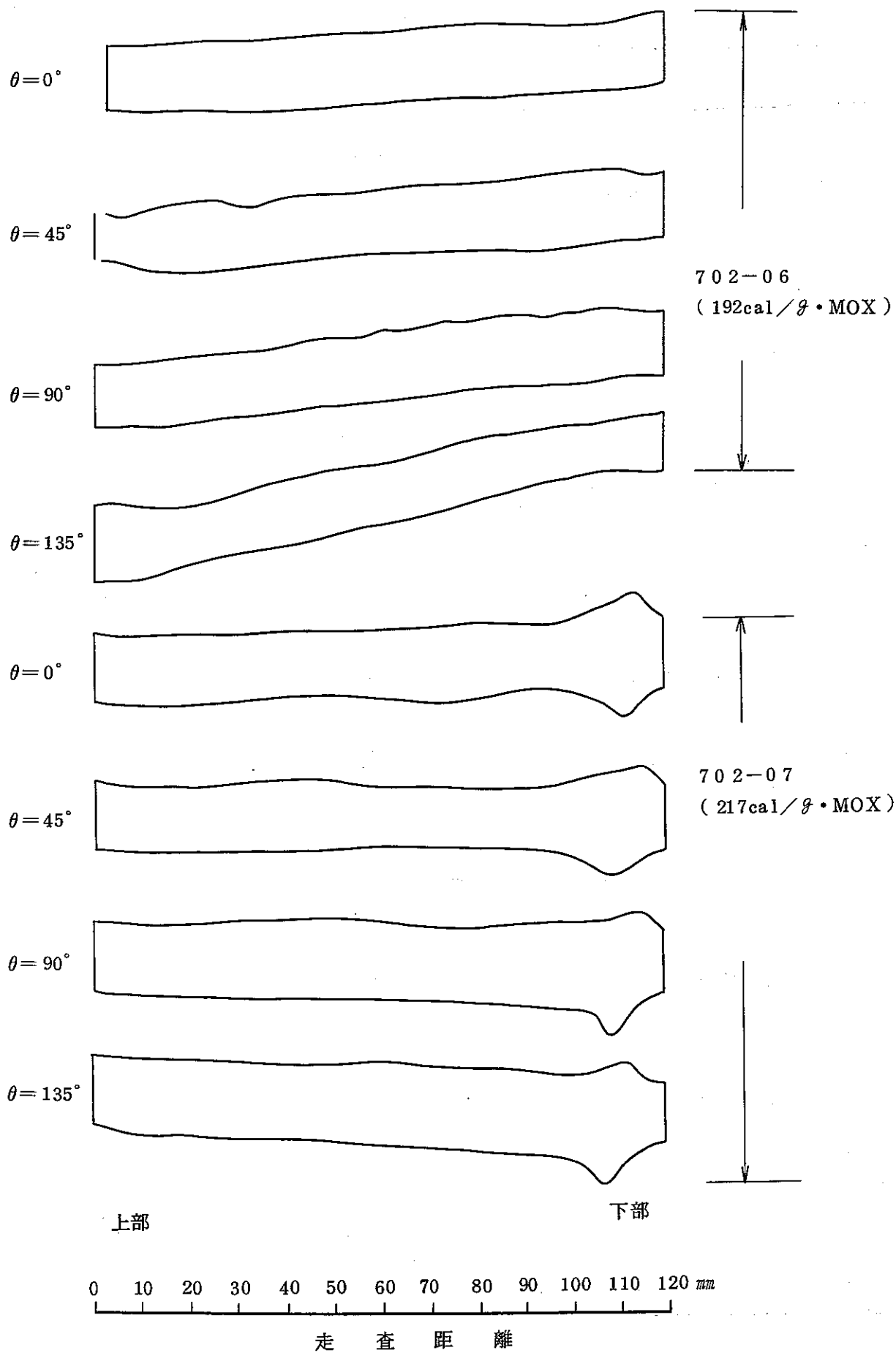


Fig 8 (3) 照射後の外表面変形状

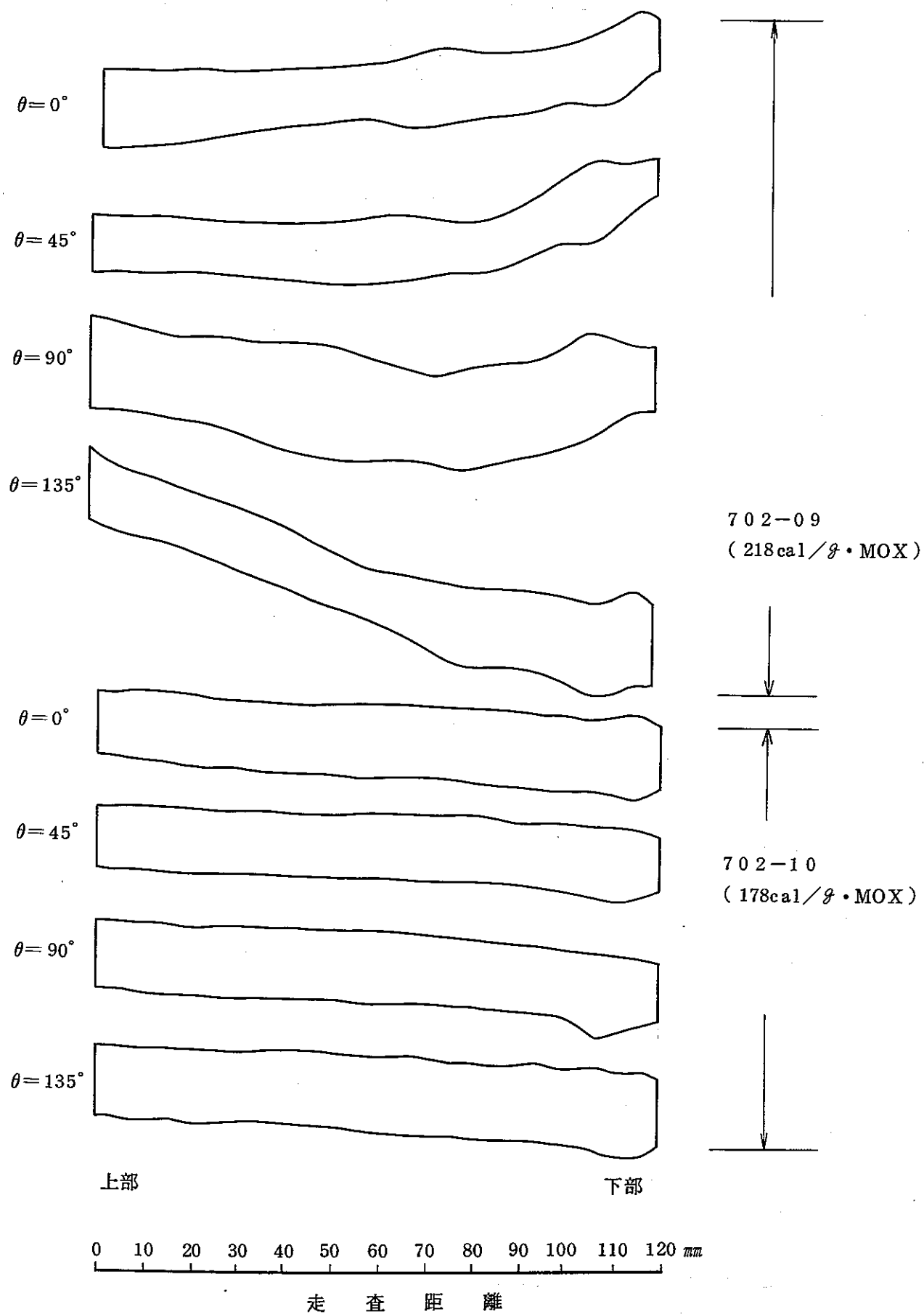


Fig 8 (4) 照射後の外表面変形状

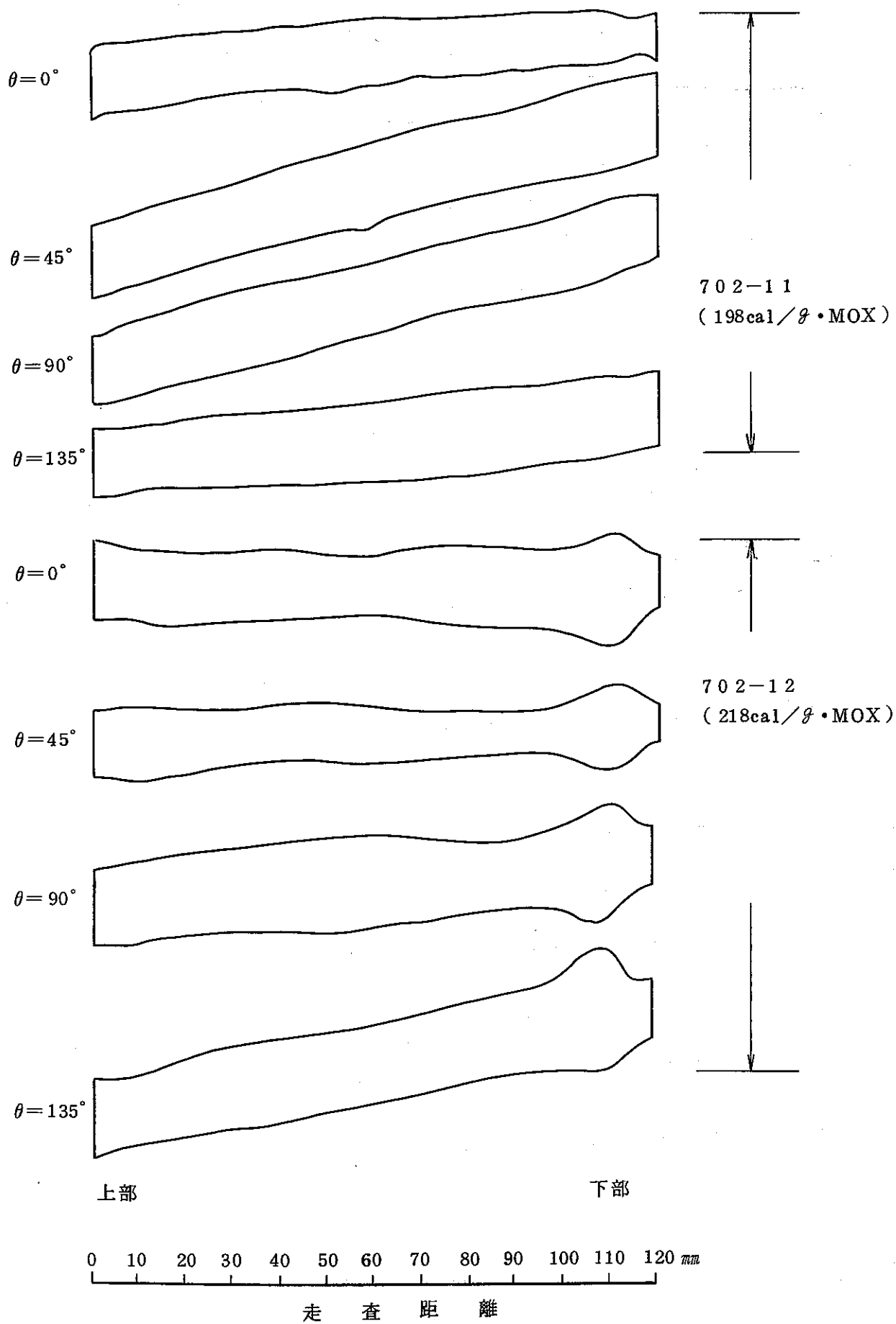


Fig 8 (5) 照射後の外表面変形状

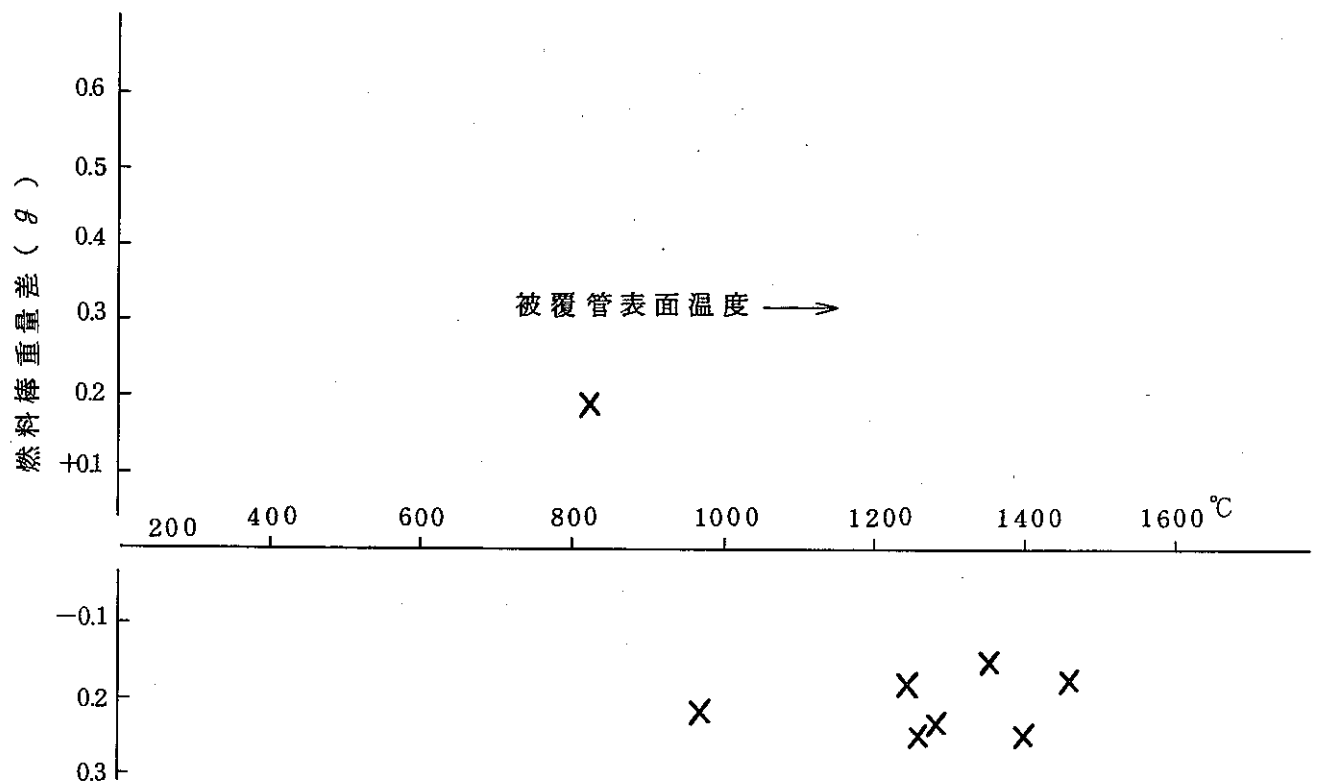


Fig 9 照射前・後に於ける燃料棒重量差

測定日付 S 59. 11. 09 (金)

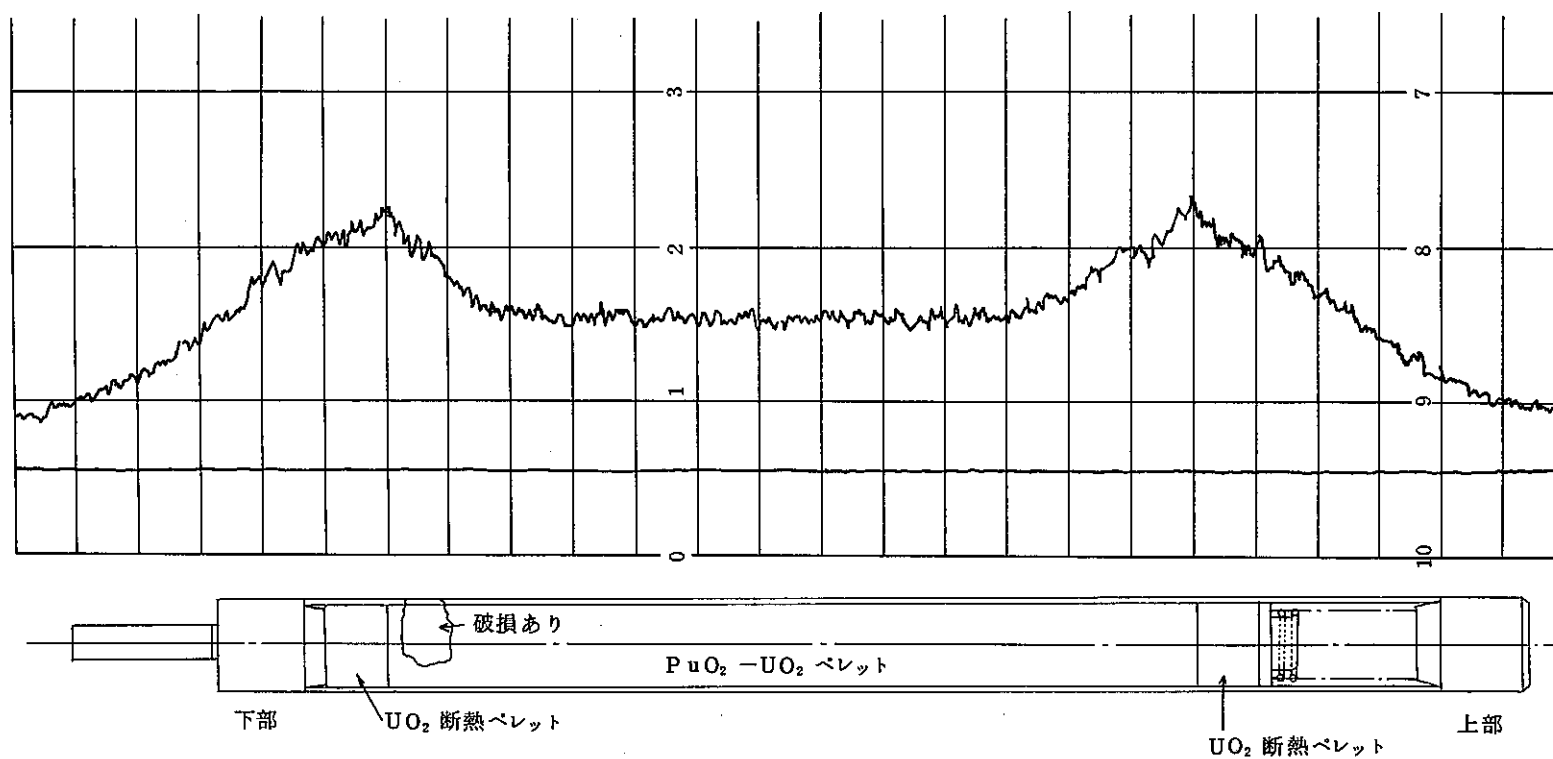
Fig 1 0 燃料ピンの γ スキャン測定結果 (試験番号: 702-04)

Table 6 エックス線撮影観察結果

試験番号	燃料No.	ペレット伸び (mm)	* スタック長さ (mm)	カラム長さ (mm)	観 察 結 果
702-01	2-01	4	141.0	35.5	上部より MOXペレット1個目破断 (幅MAX 2.0mm)
702-02	2-02	2	139.0	38.5	MOXペレットに変化なし
702-03	2-03	16	153.0	23.5	- 下部より53.0~64.0mm間で破損 (下部より MOXペレット1個目) - 下部より MOXペレット3個目破断 (幅MAX 2.0mm)
702-04	2-04	16	153.0	23.5	- 下部より54.0~63.0mm間で破損 (下部よりMOXペレット1個目) - 下部より MOXペレット4個目破断 (幅MAX 0.5mm)
702-05	2-05	14	151.0	25.5	下部より MOXペレット2個目破断 (幅MAX 2.5mm)
702-06	2-06	13.5	150.5	25.5	下部より MOXペレット2,7,8 個目破断 (幅MAX 1.6mm)
702-07	2-07	14.5	151.5	23.5	下部より53.0~65.0mm間で大きく膨む(ギャップ MAX 0.2mm)
702-08	2-08	—	—	—	- 下部より54.5~60.5mm間で破断 - 上部より55.0~68.0mm間で大きく膨む(ギャップ MAX 0.5mm)
702-09	2-09	15.5	152.5	23.5	- 下部側よりMOXペレット4個目破断 (幅1.5~ 1.6mm) - 下部より52.0mm~185.0mm間に巨り被覆管膨む(ギャップ0.3mm)
702-10	2-10	7.5	144.5	32.0	上部側よりMOXペレット1個目破断 (幅1.6~ 3.5mm)
702-11	2-11	13	150.0	26.5	上部側よりMOXペレット2個目破断 (幅 2.5mm)
702-12	2-12	15.5	152.5	24.5	- 下部側よりMOXペレット1個目で被覆管膨む - 被覆管とペレットのギャップ MAX 0.35 ~0.4mm
* スタック長さはUO₂ 断熱ペレットを含んだ寸法 ペレット・スタック長 : 137mm 混合酸化物部 ; 117±1mm 天然ウラン部 ; 20mm					

Table 7 研摩条件

工程	研 摩 紙 等	重 錘 (g)	時 間 (min)
粗 研 摩	ダイヤモンドパット (#1000)	500	10
	ラッピングディスク		
	ラッピングダイヤ液	500	20
仕 上 研 摩	ポリッシングディスク ポリッシングダイヤ液	1000	20

Table 8 電解腐食・化学腐食及び導電蒸着条件

電 解 腐 食 条 件		導電蒸着条件	化 学 腐 食	
高電圧 (KV)	1.95	1.95	腐食液	$H_2O + H_2SO_4 + H_2O_2$
マグネット電流 (A)	0.8	0.8	混合比	43 : 5 : 2
カソード電流 (A)	11	11	中和液	NaOH
真空度 (Torr)	1×10^{-5}	1×10^{-5}	処理時間 (min)	30
処理時間 (min)	40	60		

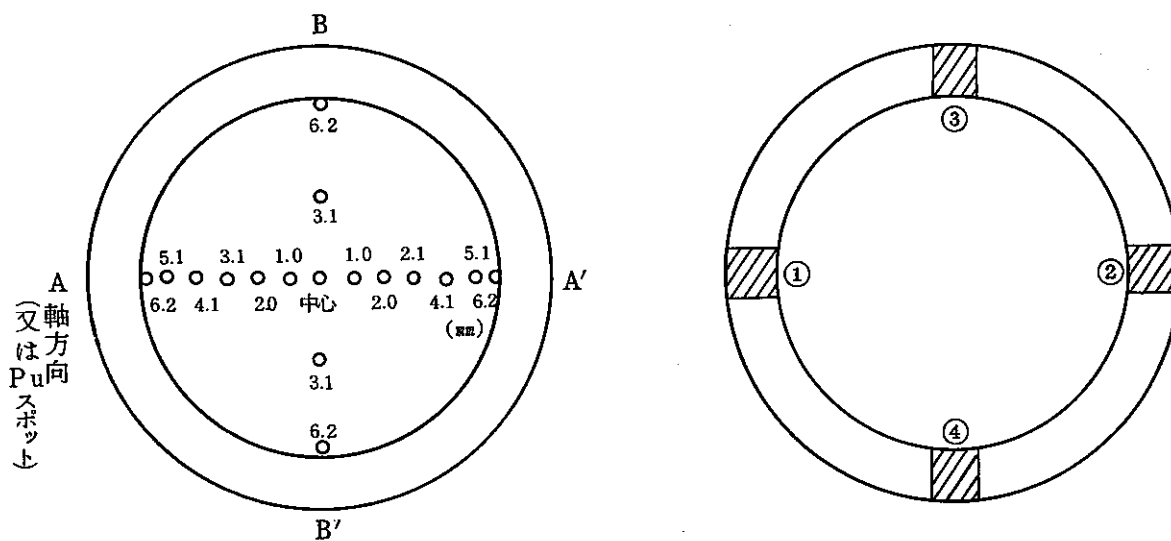


Fig 11 ペレット及び被覆管の結晶粒径測定点略図

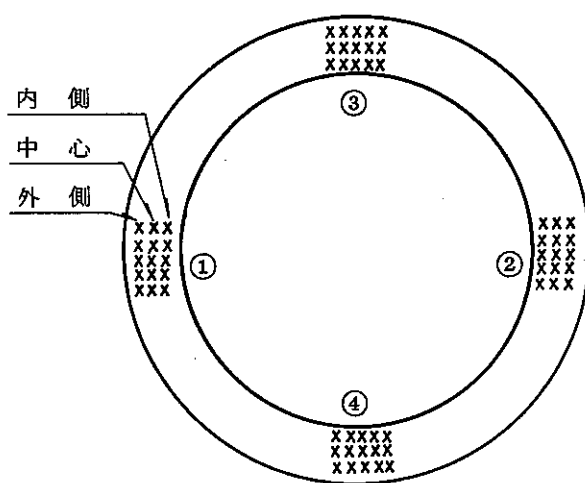


Fig 12 硬度測定点略図

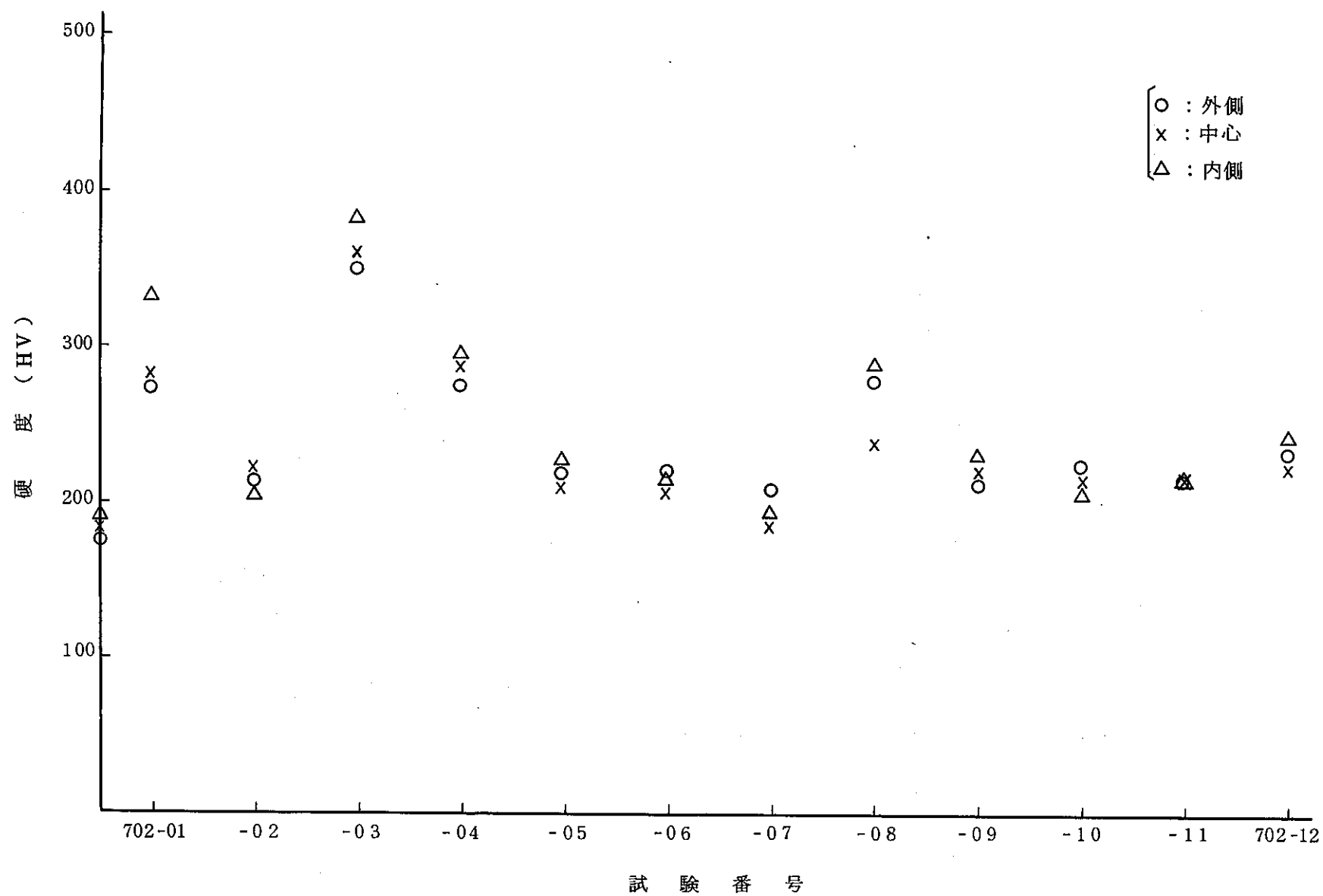


Fig 13(1) 試験番号毎の硬度 (全試料)

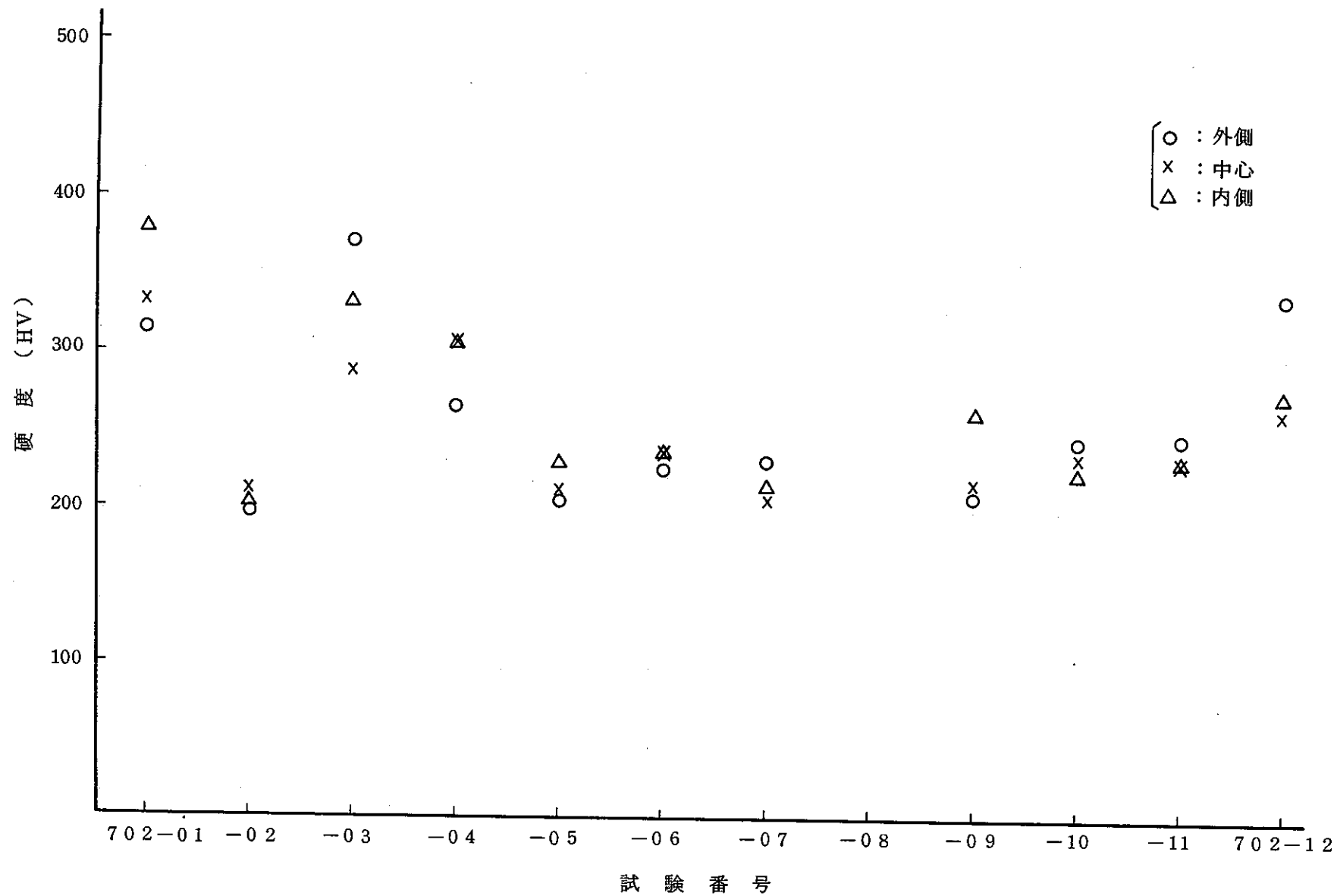


Fig 1 3 (2) 試験番号毎の硬度 (ペレット No.1)

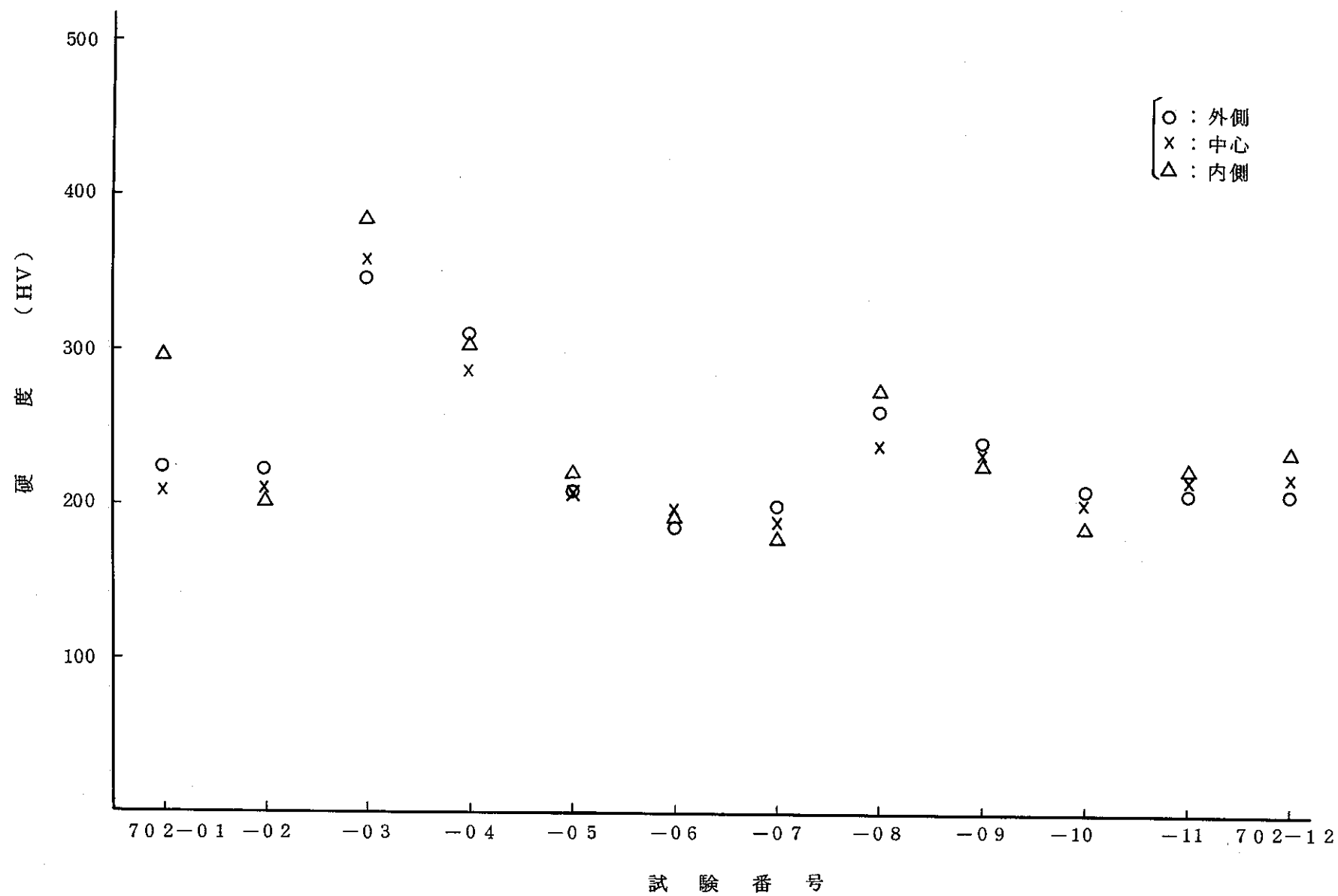


Fig 1 3(3) 試験番号毎の硬度 (ペレット No. 5)

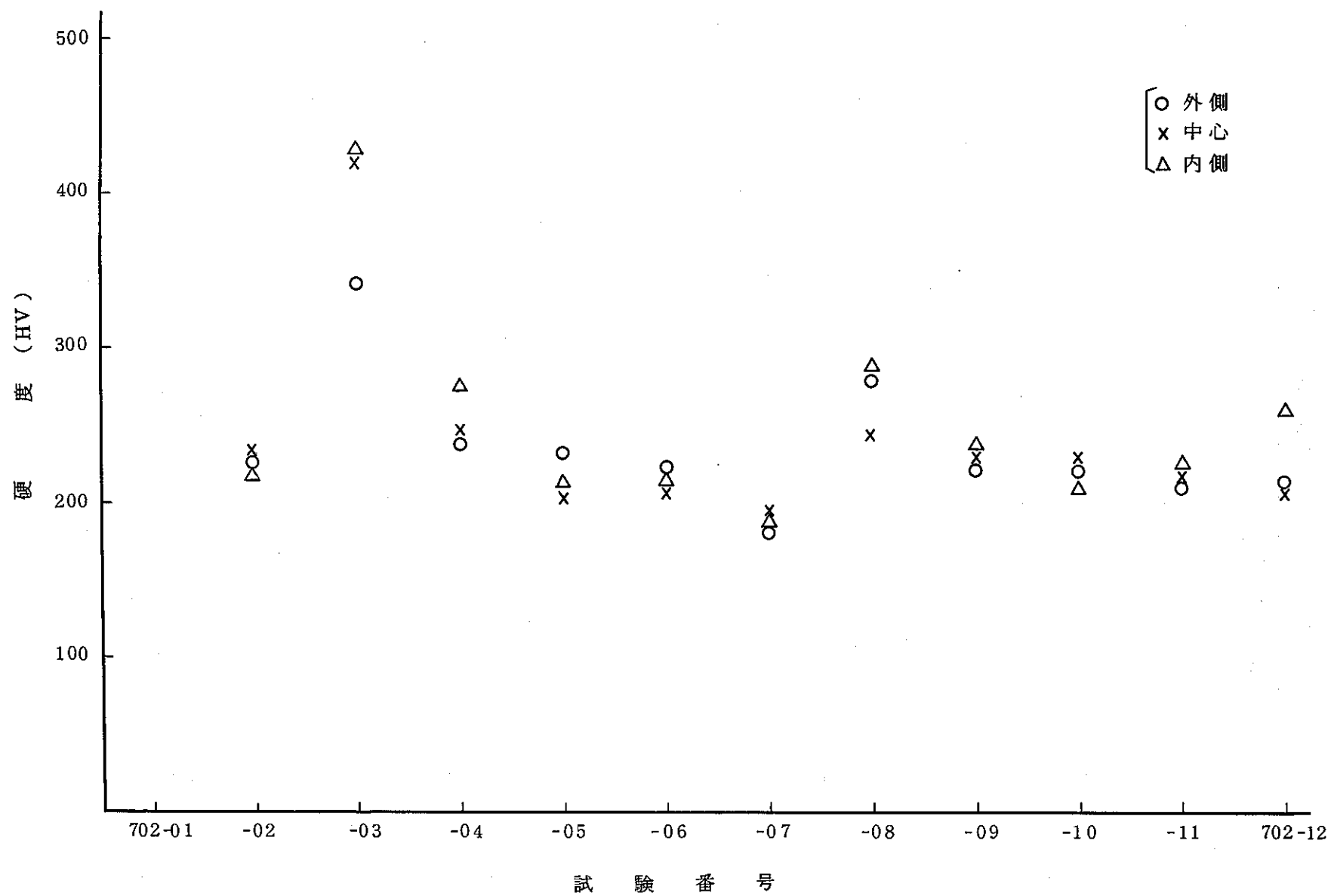


Fig 1 3(4) 試験番号毎の硬度 (ペレットNo 9)

Table 9 照射後のPuスポット測定結果

試験番号 (ペレット No.)	スポット径	試験番号 (ペレット No.)	スポット径	試験番号 (ペレット No.)	スポット径
702-01 No.1	—	702-05 No.1	—	702-09 No.1	—
2	—	2	—	2	—
5	—	5	—	5	—
8	—	8	—	8	—
		9	—	9	—
702-02 No.1	346 μ m	702-06 No.1	—	702-10 No.1	—
2	—	2	—	2	—
5	95 μ m	5	—	5	—
8	—	8	—	8	899 μ m
9	—	9	—	9	—
702-03 No.1	—	702-07 No.1	—	702-11 No.1	—
2	—	2	—	2	—
5	—	5	—	5	—
8	—	8	—	8	—
9	—	9	—	9	—
702-04 No.1	—	702-08	—	702-12 No.1	—
2	180 μ m	No.2	—	2	—
5	—	5	—	5	—
8	—	8	—	8	—
9	—	9	—	9	—

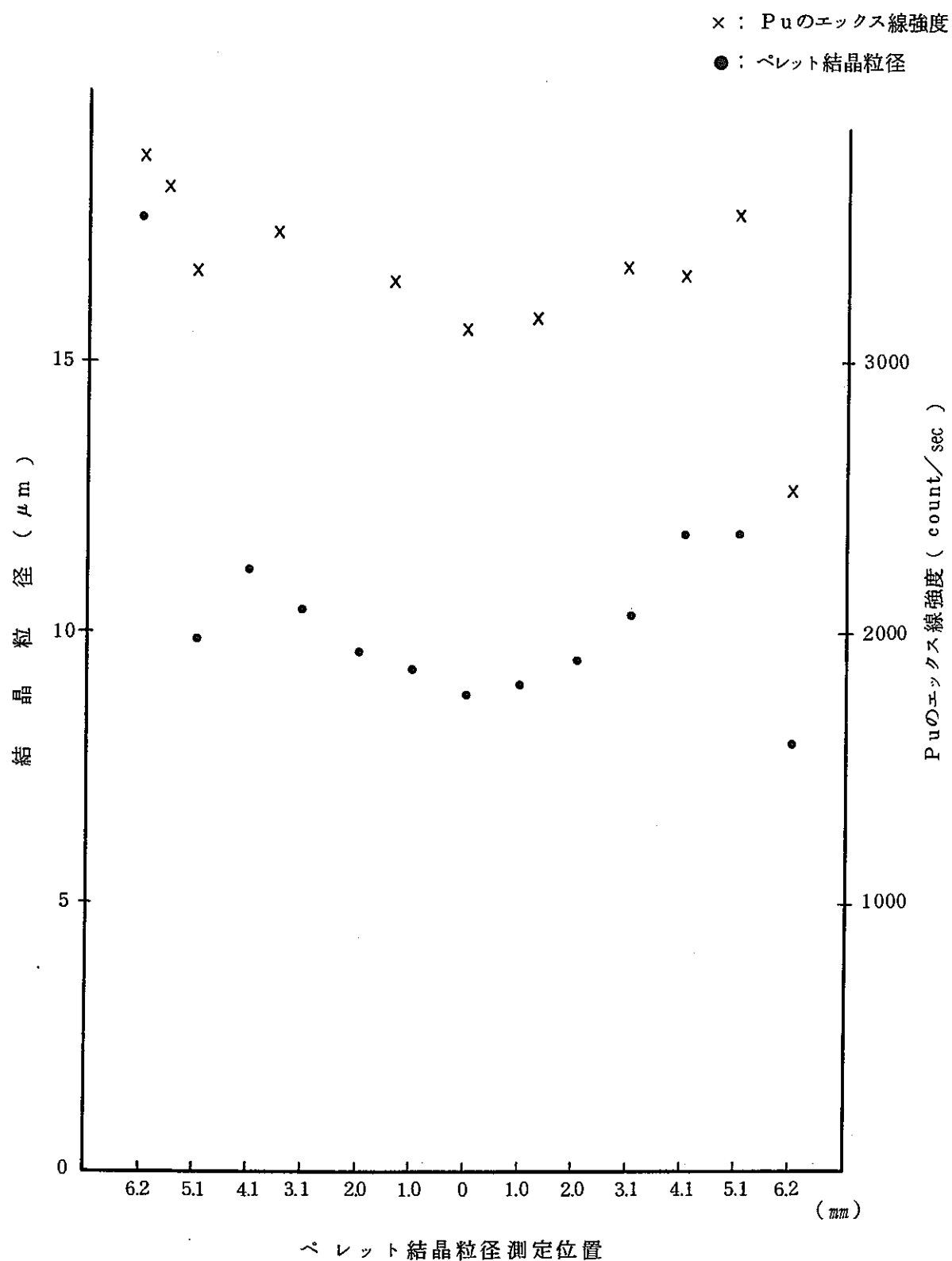


Fig 1 4 (1) Puのエクス線強度と結晶粒径の関係 (試験番号: 702-03, ペレット No 1)

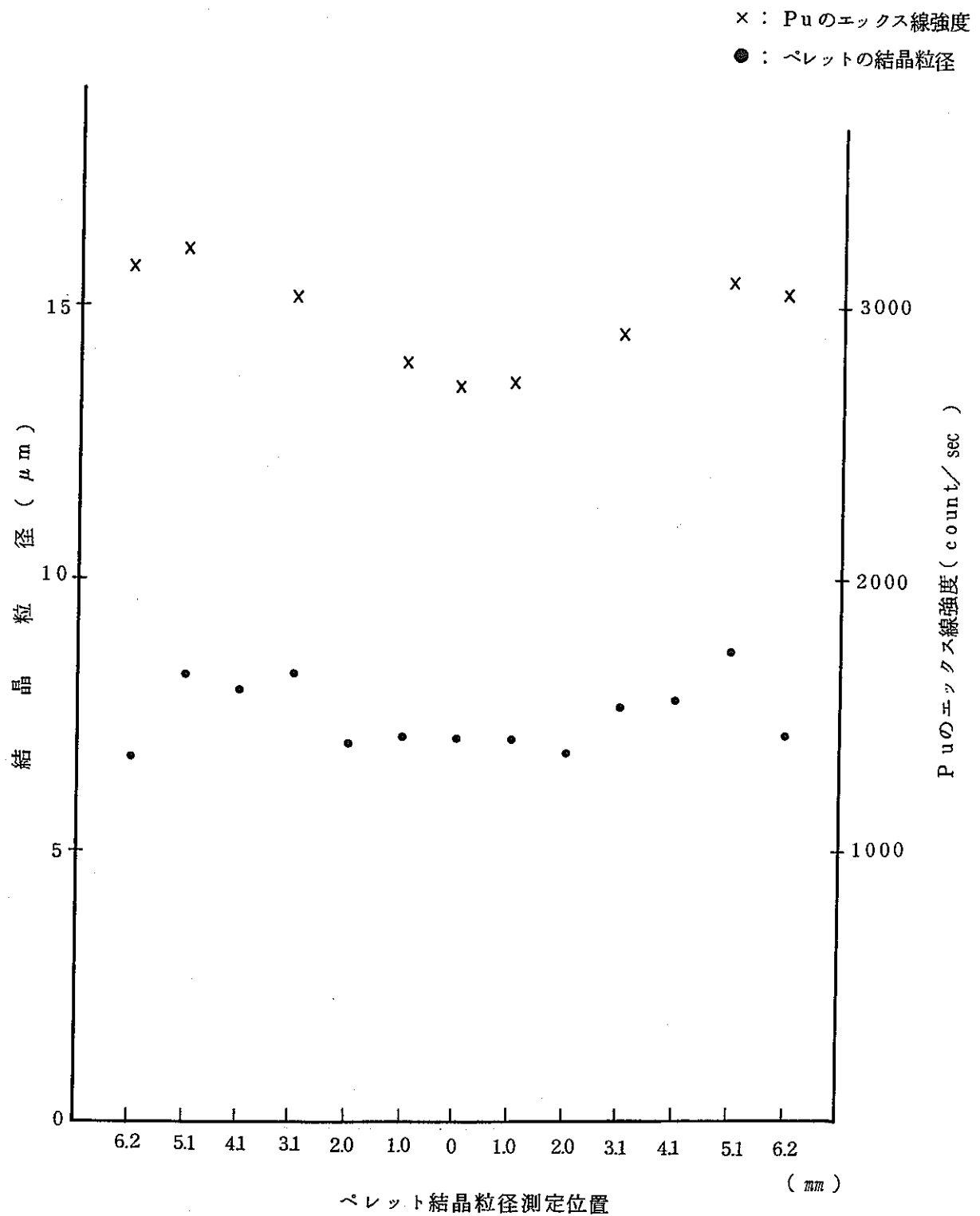


Fig 1 4 (2) Pu のエックス線強度と結晶粒径の関係 (試験番号 : 702-05, ペレット No 1)

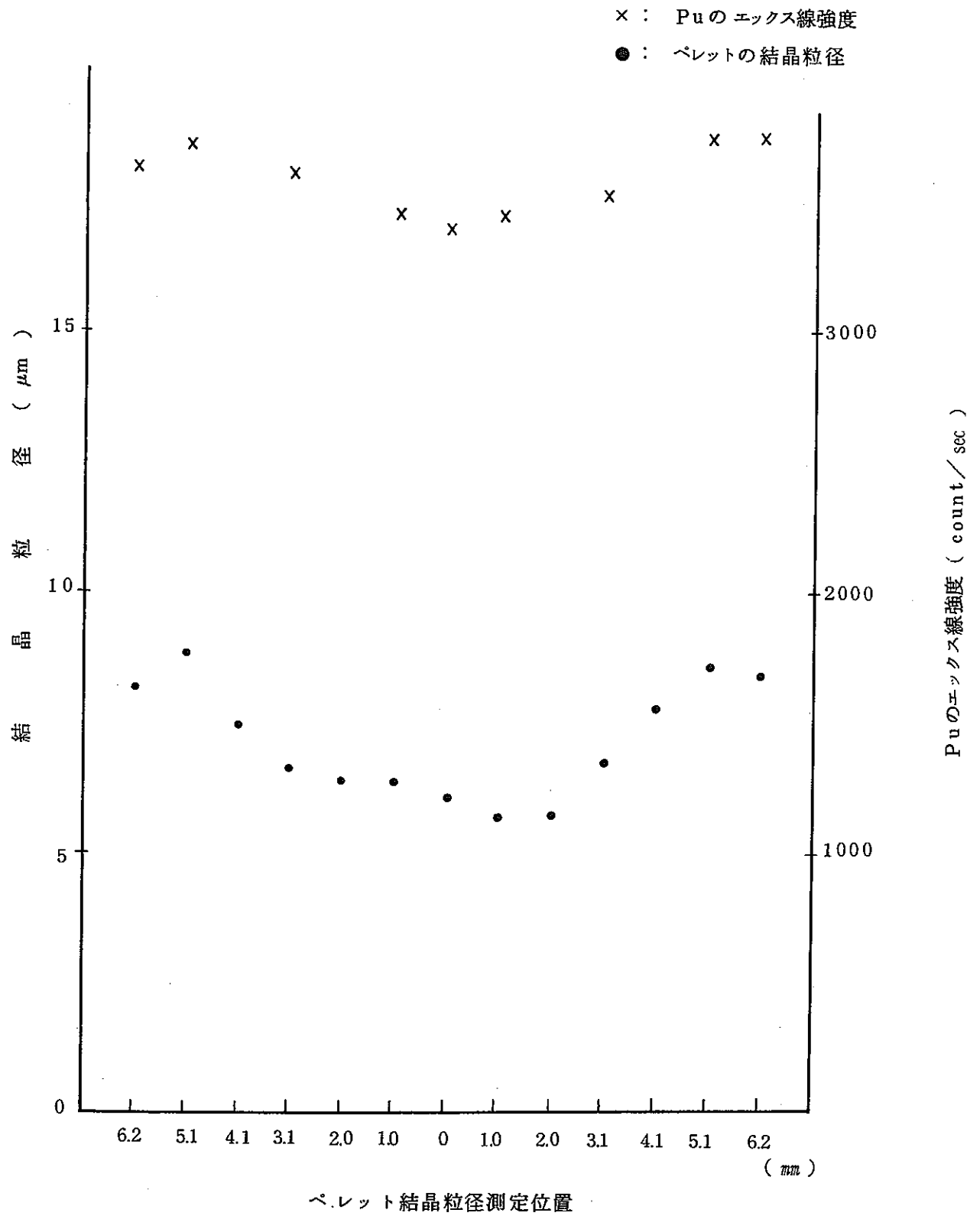


Fig 1 4(3) Pu のエックス線強度と結晶粒径の関係(試験番号: 702-09, ペレット No 1)

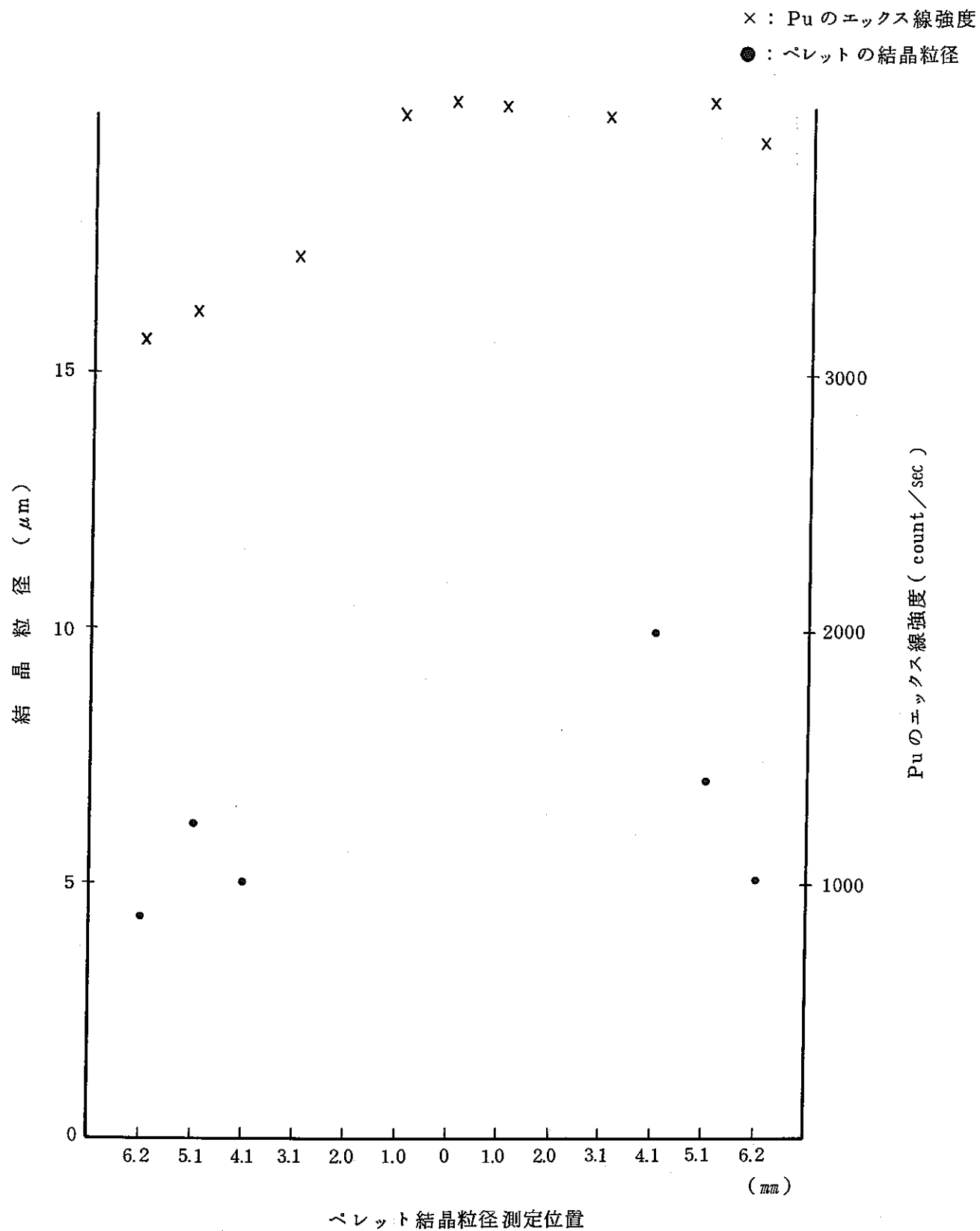


Fig 1 4 (4) Pu のエックス線強度と結晶粒径の関係 (試験番号: 702-10, ペレット No 1)

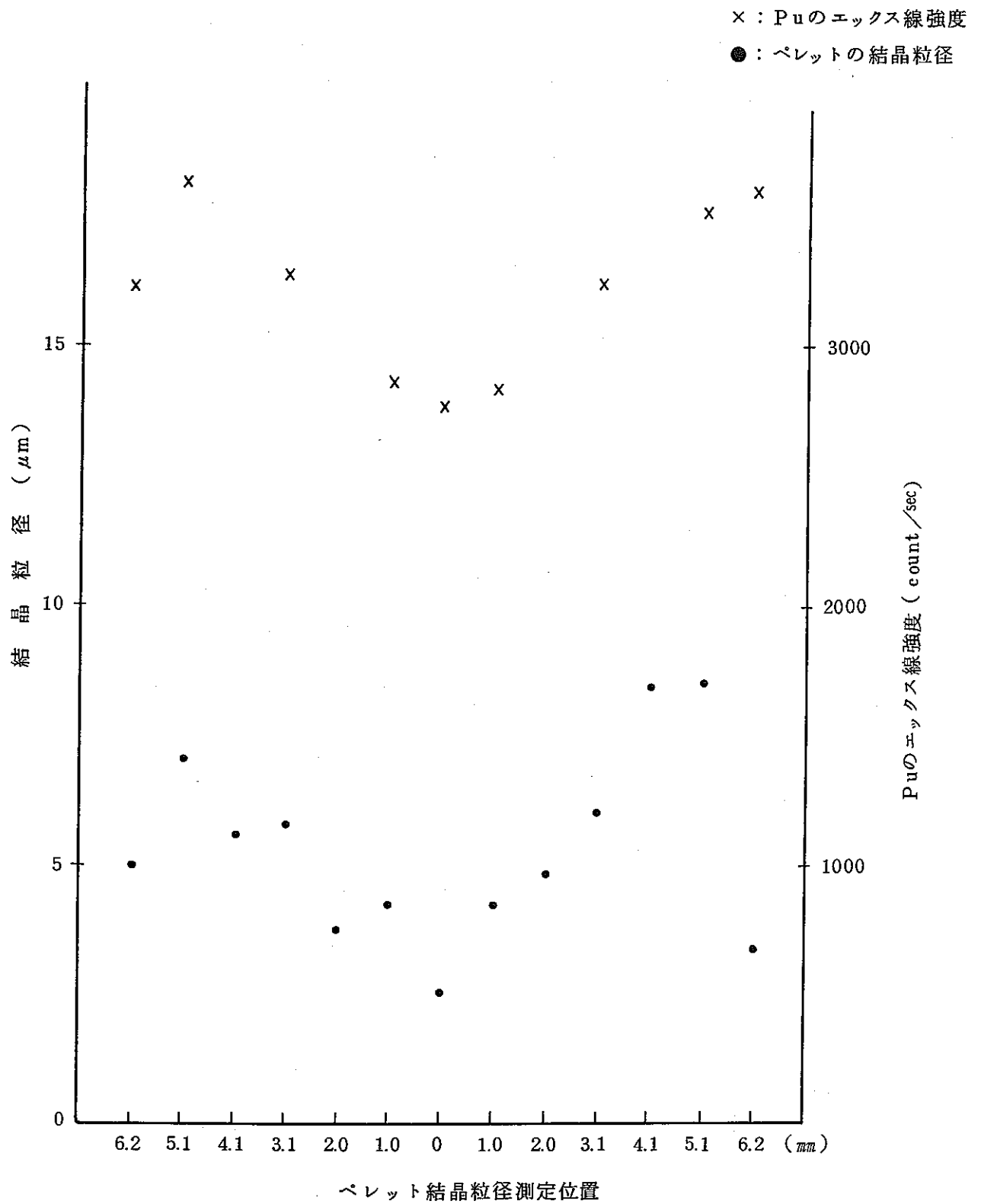


Fig 1 4 (5) Puのエキス線強度と結晶粒径の関係 (試験番号: 702-11, ペレット No 1)

Table 10 照射後に於ける燃料体の放射線量率

項 目 試験番号	試 料 内 容	経 緯		内 部 カ プ セ ル	燃 料 棒		モリブデン	モリブデン+鉛ガラス
		照射年月日	冷却期間 (日)	表 面 (mR/hr)	表面(mR/hr)	10cm	密着(mR/hr)	密着(mR/hr)
				測 定 年 月 日	測 定 年 月 日		測 定 年 月 日	
702-01 (178cal/g・MOX)	Puスポットなし	59. 2.03	67	72	120	22	72	40
				59. 4. 04	59. 4. 10		59. 4. 05	
702-02 (133cal/g・MOX)	"	59. 3.01	56	64	86	14	78	24
				59. 4. 05	59. 5. 07		59. 4. 26	
702-03 (243cal/g・MOX)	"	59. 8.22	43	100	140	30	200	45
				59. 10. 03	59. 10. 12		60. 10. 03	
702-04 (217cal/g・MOX)	"	59.10.01	37	250	280	100	160	122
				59. 11. 06	59. 11. 12		59. 11. 07	
702-05 (192cal/g・MOX)	Puスポットなし	59.12.14	33	150	255	140	260	93
				60. 1. 16	60. 2. 05		60. 1. 17	
702-06 (192cal/g・MOX)	φ400μm Puスポット付	60. 1.22	29	205	300	50	370	120
				60. 2. 19	60. 2. 26		60. 2. 20	
702-07 (217cal/g・MOX)	"	60. 3.01	31	180	280	50	310	120
				60. 4. 01	60. 4. 10		60. 4. 02	
702-08 (238cal/g・MOX)	"	60. 4.05	22	280	160	—	500	200
				60. 4. 26	60. 5. 22		60. 4. 30	
702-09 (218cal/g・MOX)	φ400μm Puスポット付	60. 5.01	37	140	350	—	280	150
				60. 6. 06	60. 6. 07		60. 6. 07	
702-10 (178cal/g・MOX)	φ1100μm Puスポット付	60. 1.22	42	150	90	14	220	75
				60. 3. 04	60. 4. 10		60. 3. 05	
702-11 (198cal/g・MOX)	"	60. 4.19	35	160	350	—	300	94
				60. 5. 23	60. 5. 24		60. 5. 24	
702-12 (218cal/g・MOX)	φ1100μm Puスポット付	60. 9. 6	32	180	—	—	200	80
				60. 10. 08	—		60. 10. 28	

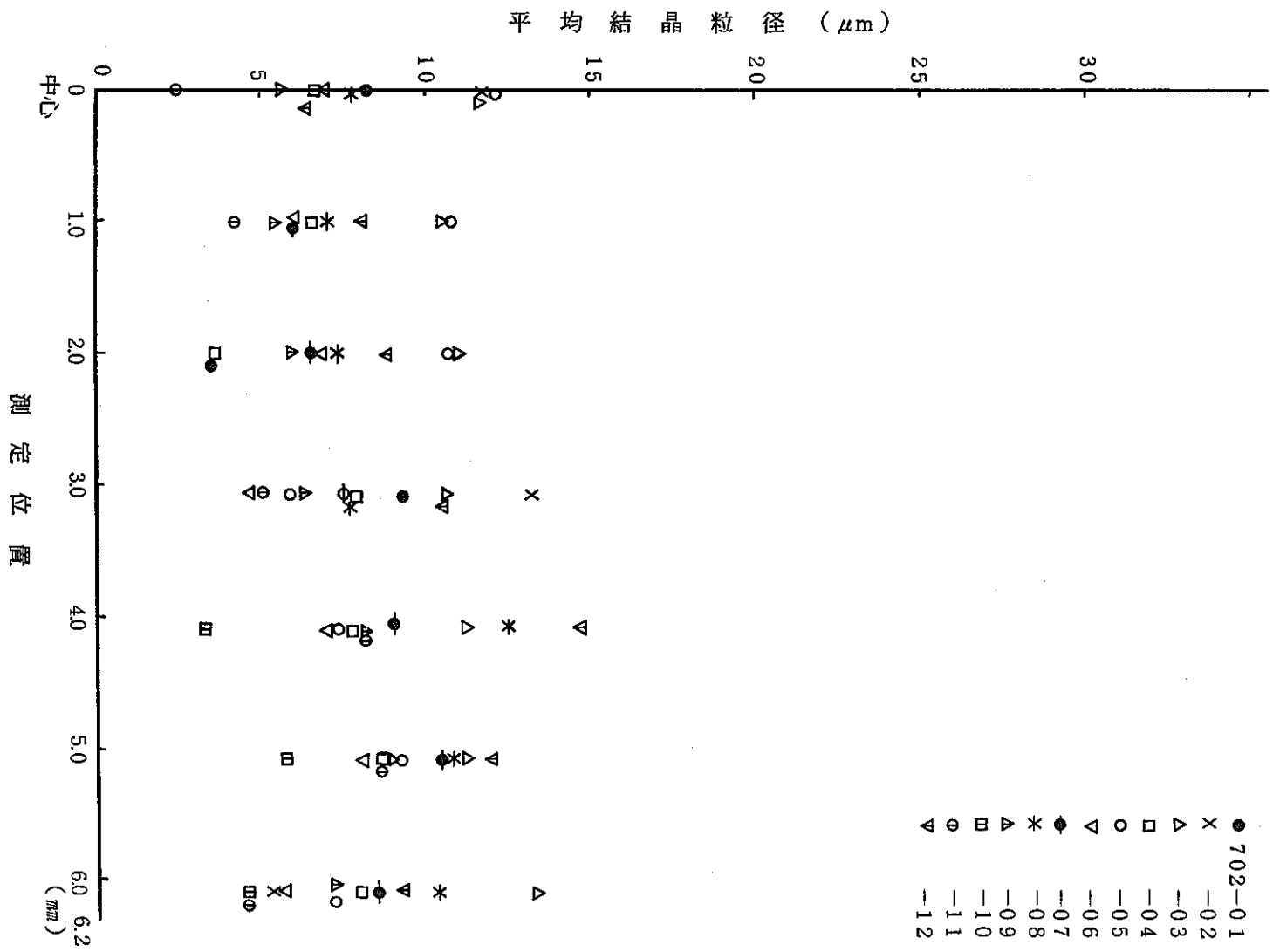


Fig 1.5 (1) 燃料ペレットの結晶粒径分布 (半径方向)

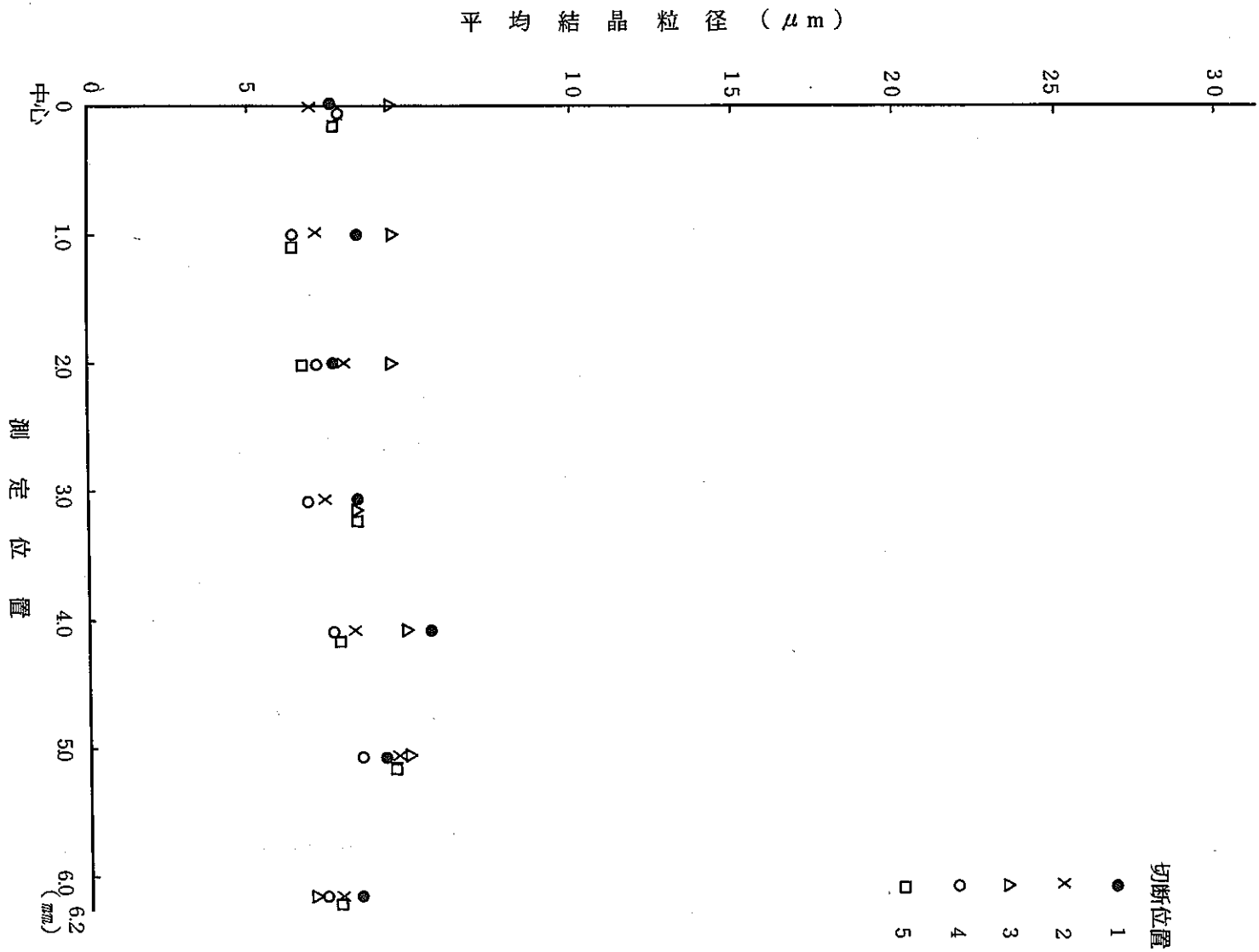


Fig 1 5 (2) 燃料ペレットの結晶粒径分布 (半径方向)

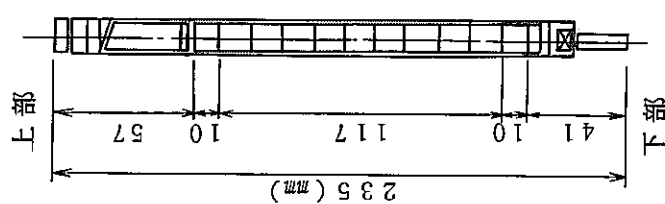
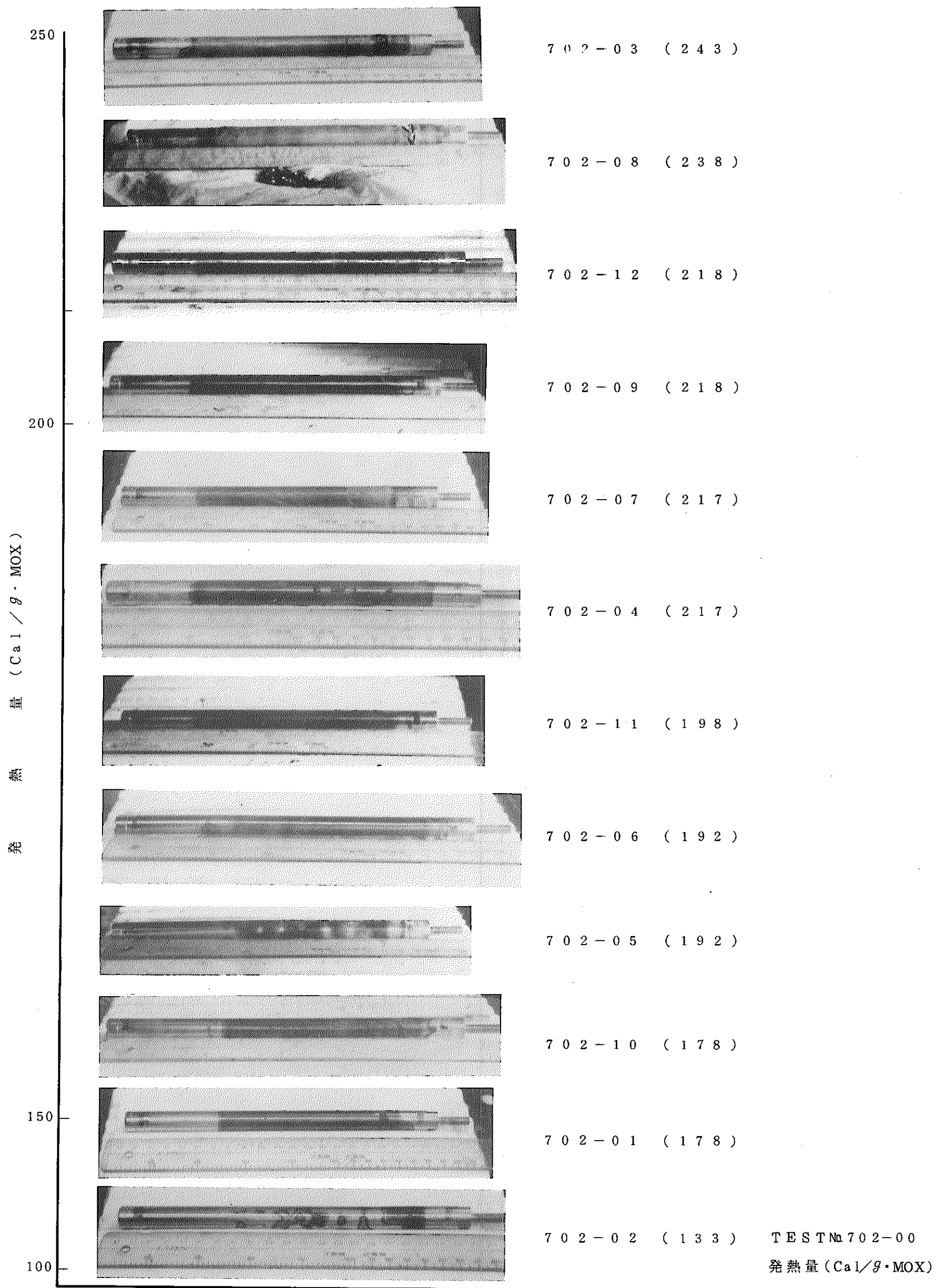


Photo 1 燃料ピン外観の発熱量依存性

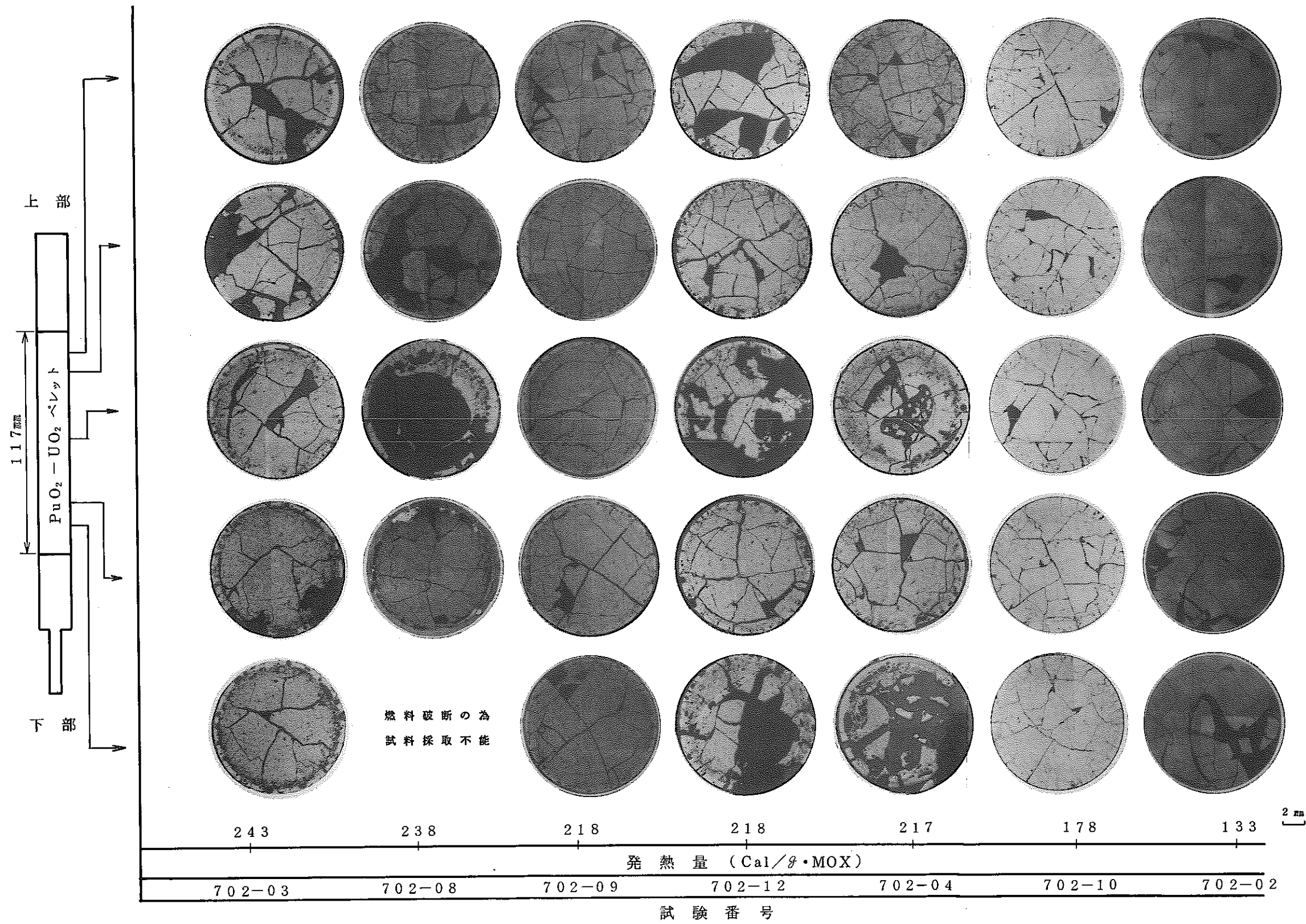


Photo2 燃料棒断面金相の発熱量依存性 (マクロ)

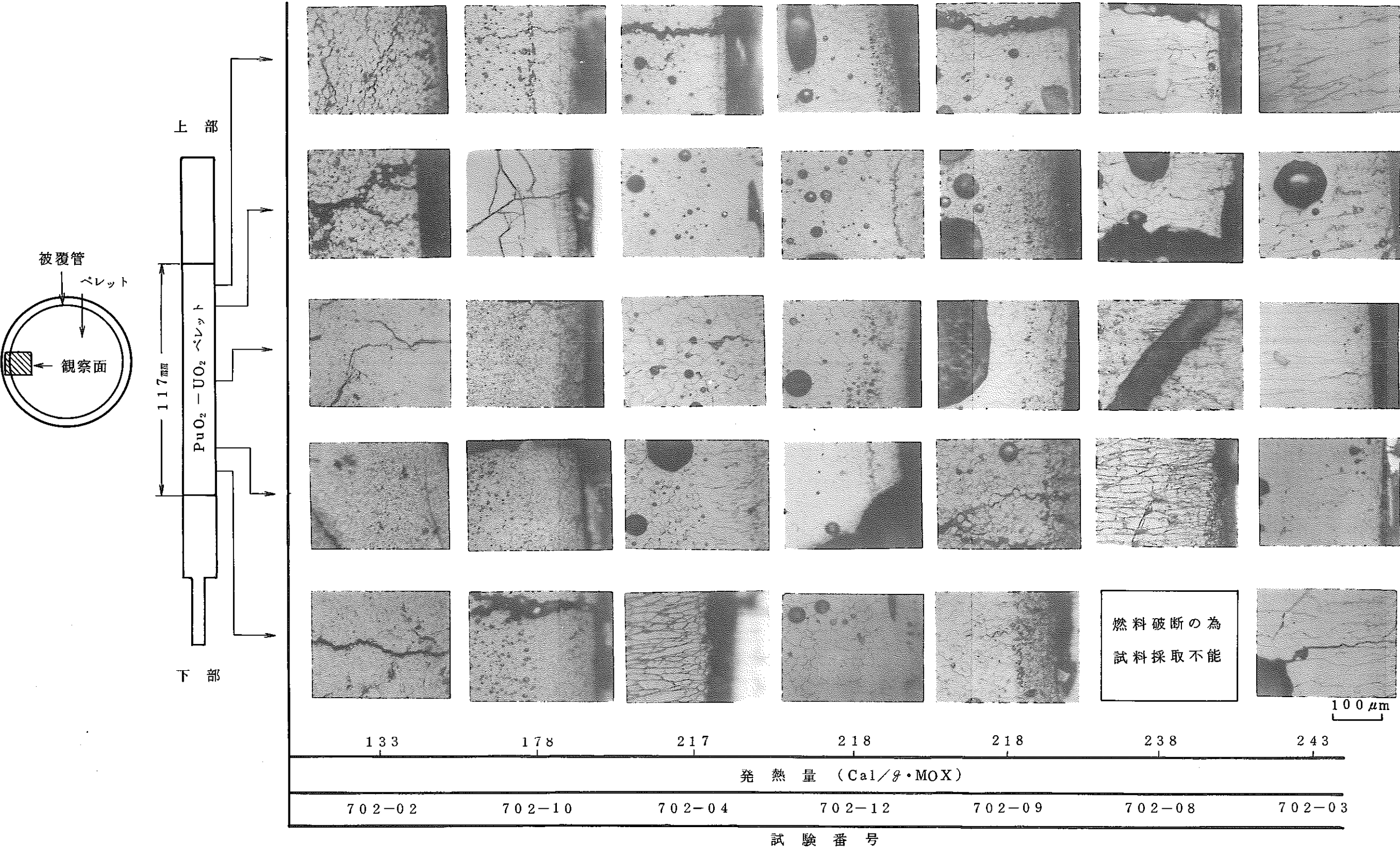


Photo 3 (1) ペレット結晶粒径の発熱量依存性 (ミクロ)

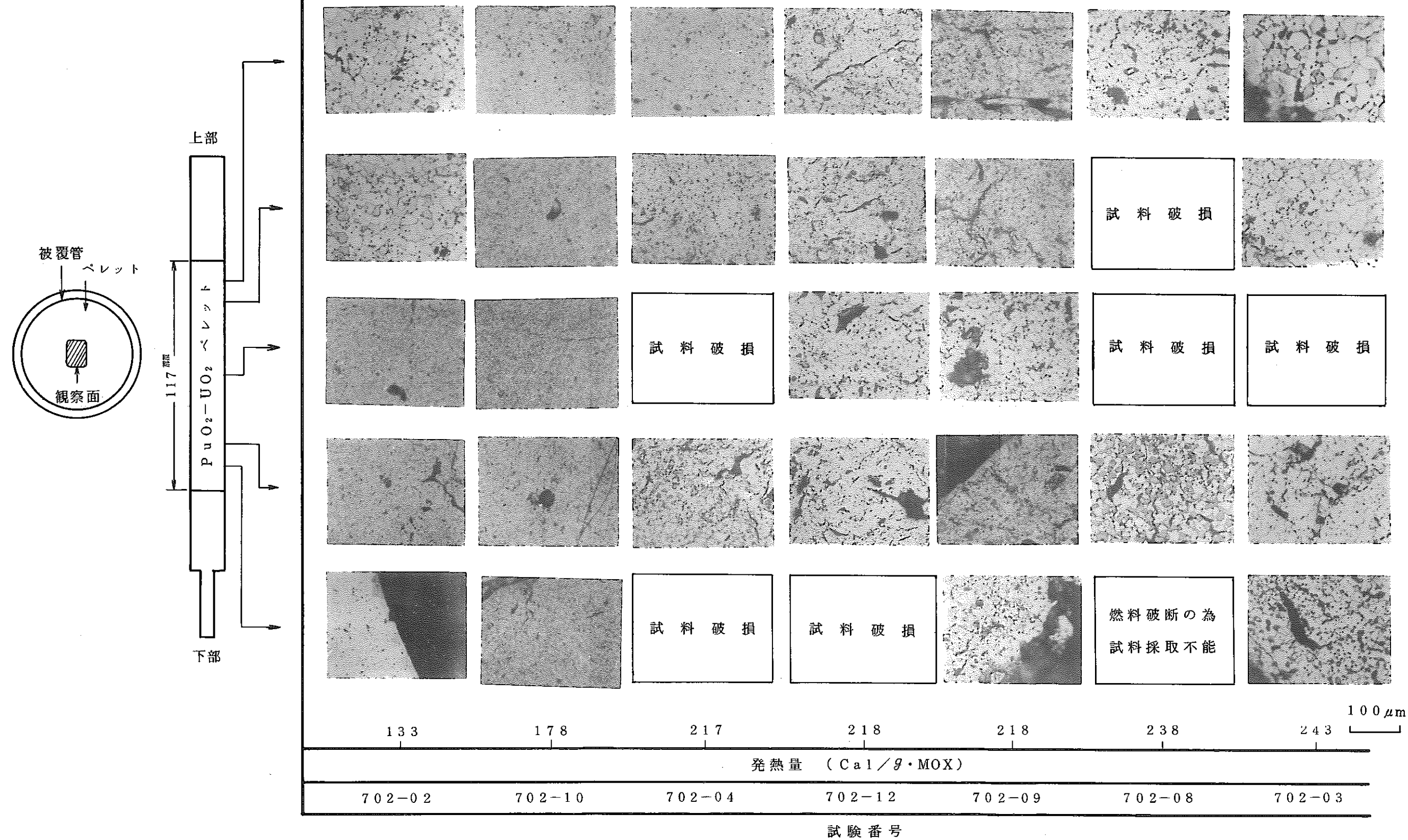


Photo 3(2) ペレット結晶粒径の発熱量依存性(ミクロ)

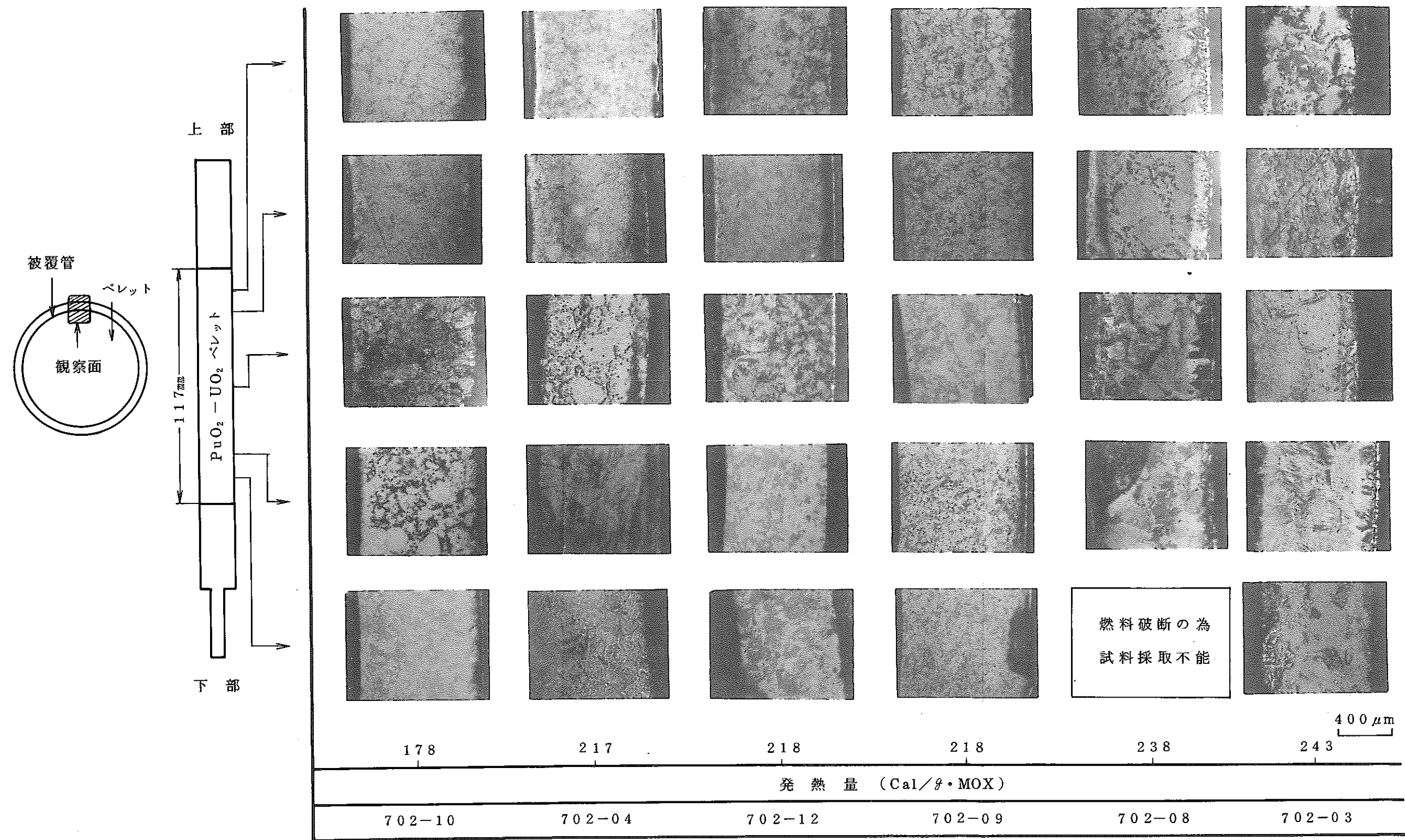
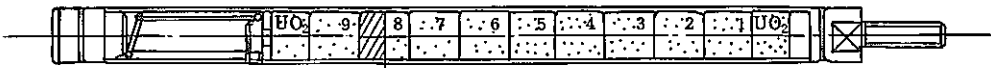


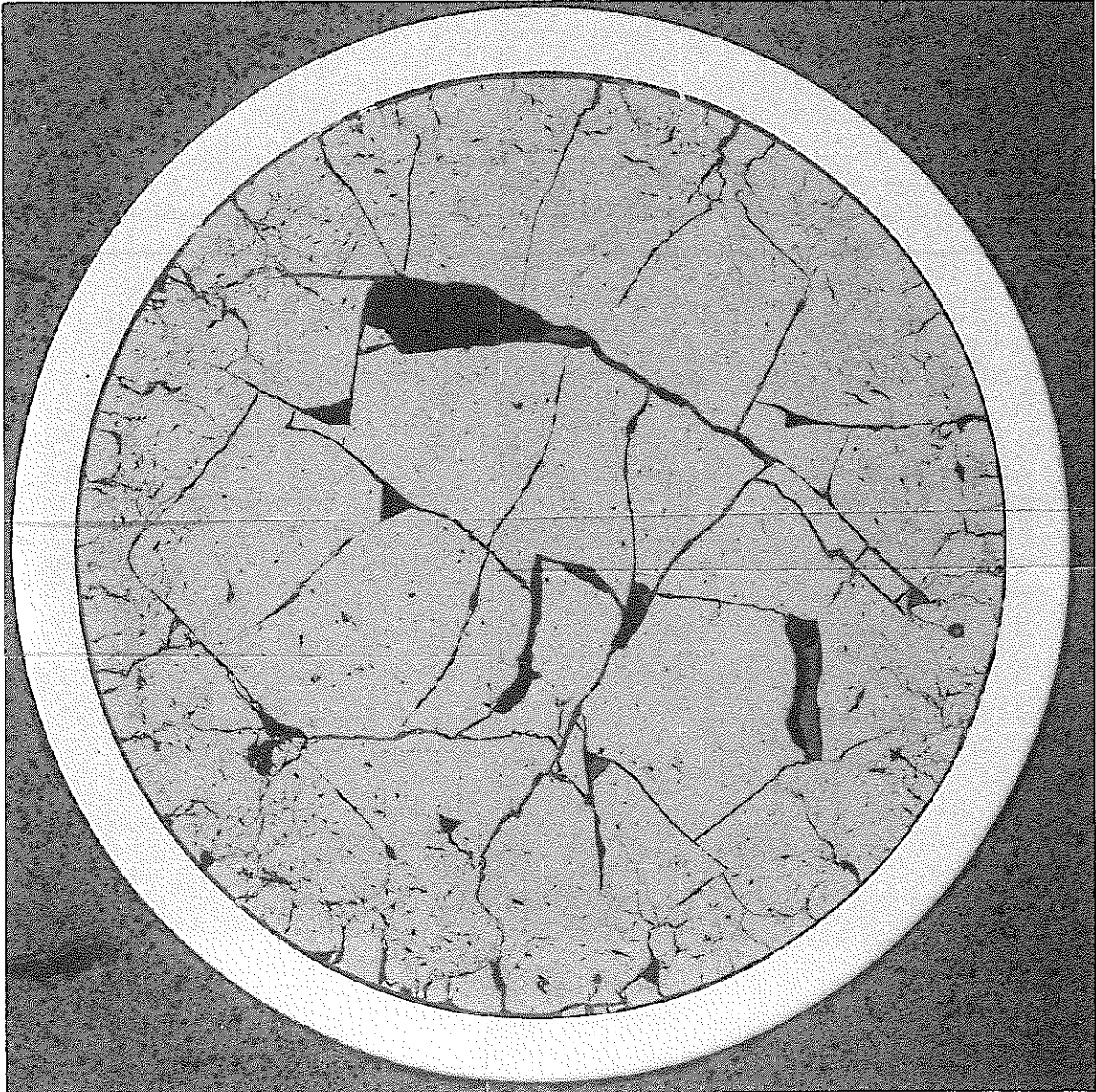
Photo 4 被覆管結晶粒径の発熱量依存性 (ミクロ)

CERAMOGRAPHY



試料位置

As Polished

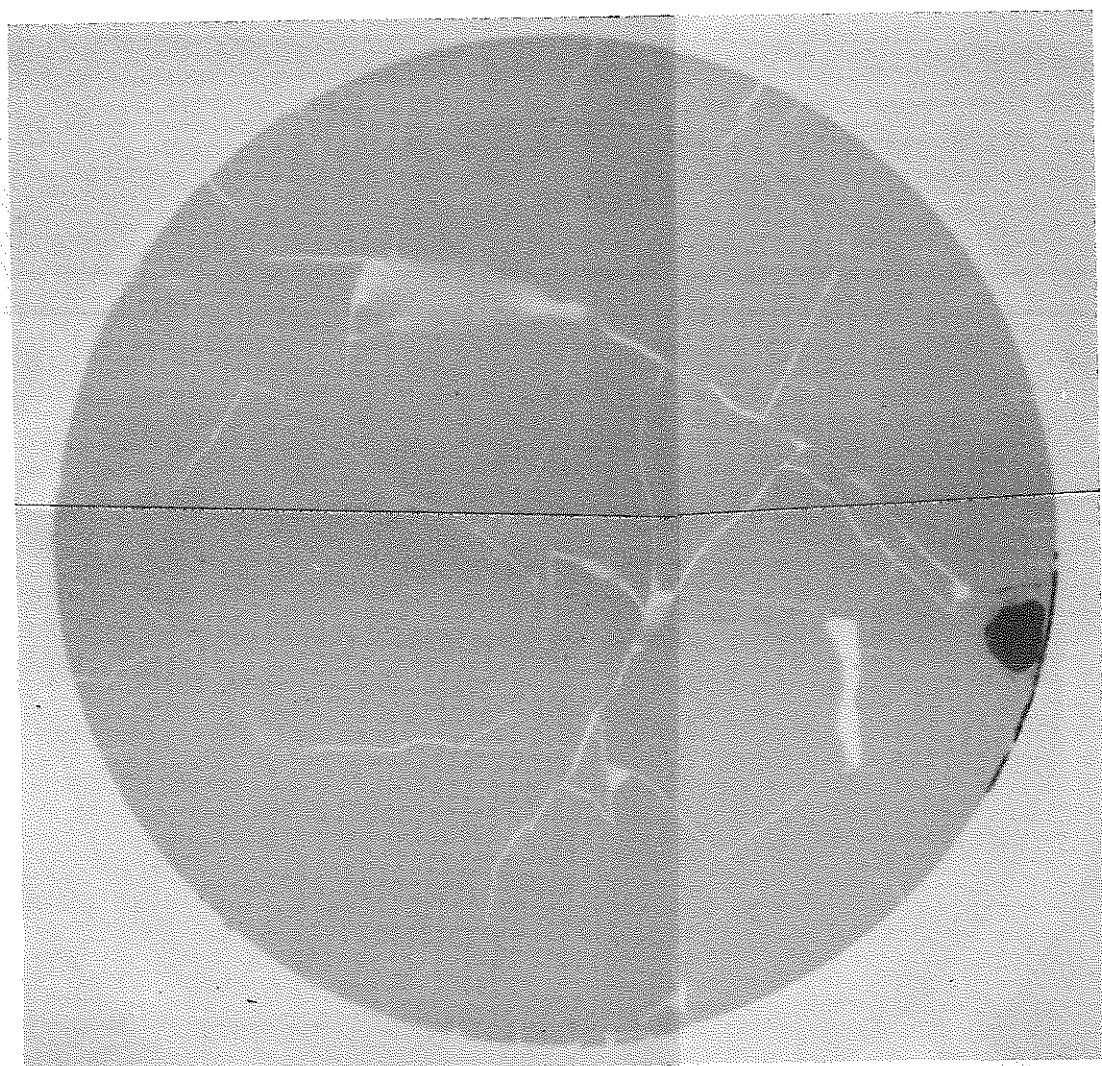


MACRO

1 mm

Photo 5

AUTORADIOGRAPHY



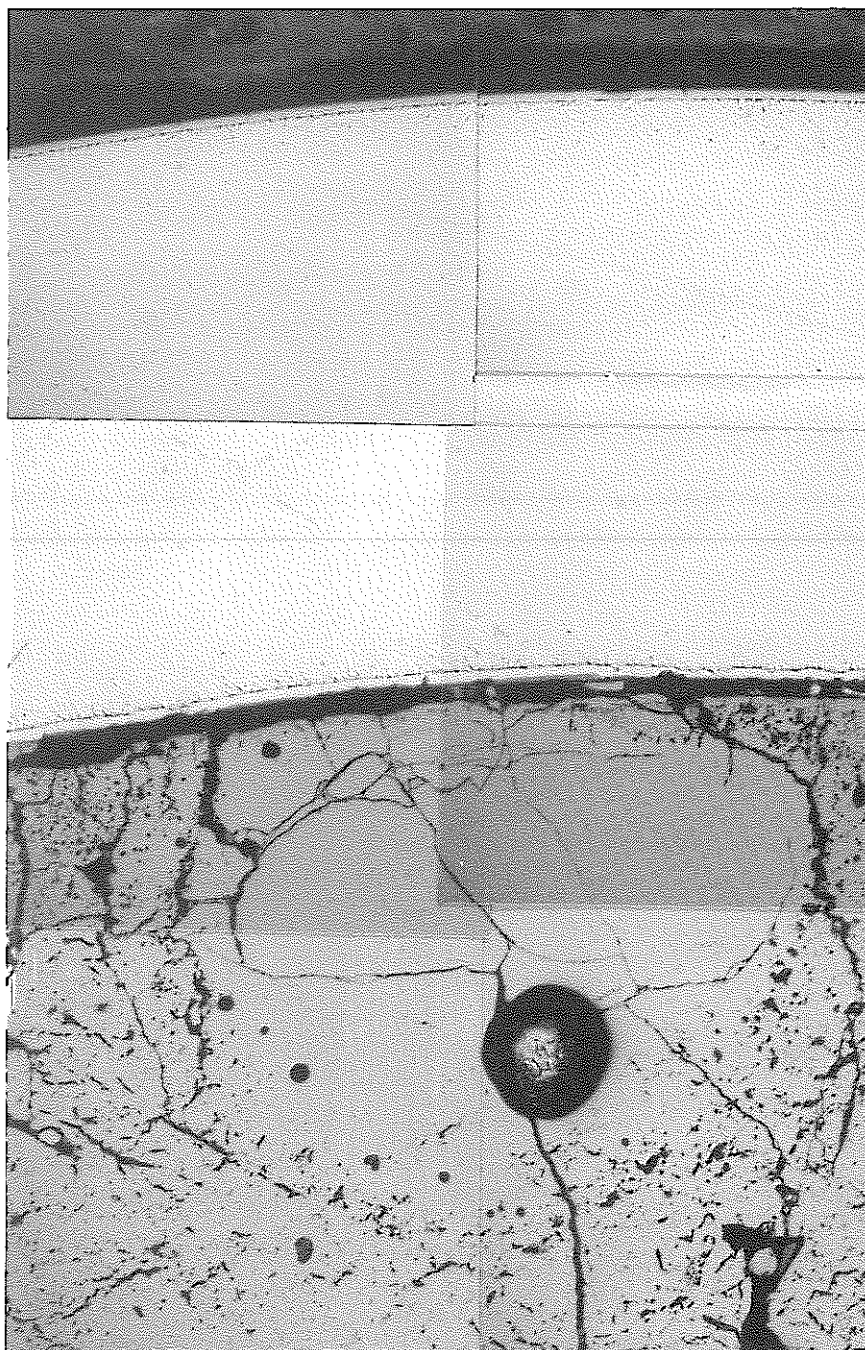
MACRO

1 mm

Photo 6

CERAMOGRAPHY

プスボット



MACRO

100 μm

Photo 7

付 表

1. ペレット及び燃料棒重量・寸法
2. 熱電対取付け位置
3. 照射前・後に於ける燃料棒重量差
4. 燃料棒外径測定値
5. ペレット及び被覆管の結晶粒径測定値
6. 被覆管硬度測定値
7. 各測定点に於ける放射線量率

付表1 ペレット及び燃料棒重量・寸法

Fuel Pin	Core Pellet							Insulator Pellet				
	Plutonium				Uranium							
	M・O (g)	PuO ₂ (g)	Pu(g)	Pu-fiss(g)	EUO ₂ (g)	EU(g)	U* (g)	NUO ₂ (g)	NU(g)	U(g)		
2-01	144.64	13.96	12.31	9.79	130.68	115.13	11.56	24.59	21.66	0.16	234.80	262.88
2-02	145.07	14.00	12.35	9.82	131.07	115.47	11.59	24.43	21.52	0.15	235.00	263.50
2-03	144.95	13.99	12.34	9.82	130.96	115.38	11.58	24.61	21.68	0.16	234.90	263.45
2-04	145.73	13.71	12.10	9.62	132.02	116.31	11.68	24.32	21.43	0.15	234.75	263.93
2-05	145.11	13.65	12.04	9.58	131.46	115.81	11.63	24.55	21.63	0.16	235.00	263.81
2-06	145.14	14.01	12.35	9.83	131.13	115.53	11.60	24.32	21.43	0.15	234.75	263.39
2-07	144.35	13.93	12.29	9.77	130.42	114.90	11.54	24.16	21.28	0.15	234.75	262.29
2-08	144.87	13.98	12.33	9.81	130.89	115.31	11.58	24.40	21.50	0.15	234.85	263.24
2-09	145.04	13.65	12.04	9.58	131.39	115.76	11.62	24.42	21.51	0.15	234.70	263.50
2-10	144.54	13.95	12.30	9.79	130.59	115.05	11.55	24.54	21.62	0.16	234.70	263.07
2-11	144.70	13.96	12.32	9.80	130.74	115.18	11.56	24.36	21.46	0.15	234.90	262.79
2-12	145.47	14.04	12.38	9.85	131.43	115.79	11.63	24.54	21.62	0.16	234.80	263.80
Total	1739.61	166.83	147.15	117.06	1572.78	1385.62	139.12	293.24	258.34	1.85		

付表2 熱電対取付け位置

区分 項目	燃 料 棒								
	熱 電 対 取 付 け 位 置								
	1 - 1	1 - 2	A	2 - 1	2 - 2	B	3 - 1	3 - 2	C
品質規格									
検査試験方法									
試験燃料No.	スケール・ルーペ (mm)								
2 - 0 1	47.0	47.2	1.0	86.4	86.8	1.3	86.2	86.2	1.3
0 2	46.8	47.0	0.9	86.5	86.4	1.1	86.7	86.7	1.2
0 3	46.9	46.8	1.1	86.8	86.7	1.2	86.6	86.7	1.2
0 4	46.8	46.6	1.3	86.8	86.6	1.3	86.5	86.5	1.0
0 5	46.9	46.9	1.4	86.1	86.0	1.1	86.7	86.8	1.0
0 6	46.3	46.2	0.9	86.8	86.8	1.1	86.7	86.6	1.1
0 7	46.7	47.0	1.0	86.9	87.0	1.3	86.3	86.4	1.0
0 8	46.5	46.8	1.2	86.7	86.9	1.3	87.0	87.0	1.3
0 9	46.5	46.7	1.1	86.8	87.0	1.2	86.3	86.5	1.5
1 0	46.7	46.9	1.1	86.4	86.3	1.2	86.7	86.7	1.3
1 1	46.4	46.3	1.0	86.5	86.5	1.3	86.3	86.3	1.2
1 2	46.4	46.4	1.2	86.8	86.9	1.2	86.4	86.6	1.1

付表3 照射前・後に於ける燃料棒重量差

試験番号	燃料棒番号	被覆管 表面温度 (°C)	照射前重量 (g)	照射後重量 (g)	重量差 (g)	特 徴
702-01	2-01	1350	262.88	262.73	-0.15	有効長全域に黒色に酸化 下部側に一部はく離有
702-02	2-02	820	263.50	263.68	+0.18	有効長全域に亘り斑点状 に褐色に着色
702-03	2-03	1540	263.45	(回収粉5.13) 258.44	+0.12	破損 T/C 部穴
702-04	2-04	1500	263.93	263.40	-0.53	破損 はく離
702-05	2-05	1260	263.81	263.56	-0.25	燃料棒「く」の字に変形
702-06	2-06	1280	263.39	263.16	-0.23	有効長全域に亘り黒色に 酸化
702-07	2-07		262.29	262.50	+0.21	下部側全周に亘り黒色に 酸化
702-08	2-08	1640	263.24	(回収粉8.11) 250.98	-4.15	破断
702-09	2-09	970	263.50	263.28	-0.22	有効長全域に亘り黒色に 酸化
702-10	2-10	1400	263.07	262.82	-0.25	黒色酸化、はく離
702-11	2-11	1460	262.79	262.61	-0.18	酸化、一部 I P 部酸化
702-12	2-12	1240	263.80	263.62	-0.18	酸化、下部側膨れ

付表4(1) 燃料棒外径測定値

702-01

$\theta \backslash \ell$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120 ^{mm}
0°	14.450 ^{mm}	14.440	14.445	14.430	14.458	14.438	14.450	14.462	14.502	14.451	14.544	14.559	14.489
45°	14.450	14.468	14.473	14.510	14.533	14.494	14.483	14.483	14.482	14.458	14.546	14.572	14.481
90°	14.440	14.460	14.455	14.514	14.529	14.502	14.480	14.478	14.490	14.502	14.621	14.565	14.486
135°	14.423	14.454	14.447	14.447	14.467	14.475	14.472	14.449	14.513	14.512	14.522	14.553	14.490

702-02

$\theta \backslash \ell$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120 ^{mm}
0°	14.471 ^{mm}	14.471	14.471	14.471	14.483	14.483	14.483	14.473	14.481	14.476	14.464	14.432	14.480
45°	14.468	14.478	14.479	14.485	14.480	14.476	14.480	14.481	14.471	14.473	14.512	14.466	14.469
90°	14.467	14.464	14.465	14.464	14.464	14.466	14.510	14.470	14.459	14.462	14.485	14.470	14.461
135°	14.464	14.463	14.461	14.457	14.459	14.467	14.464	14.457	14.465	14.465	14.442	14.432	14.464

702-04

$\theta \backslash \ell$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120 ^{mm}
0°	14.626 ^{mm}	14.532	14.526	14.528	14.526	14.515	14.545	14.635	14.620	14.540	14.650	14.733	14.483
45°	14.570	14.512	14.590	14.556	14.532	14.586	14.629	14.476	14.545	14.457	14.526	15.068	14.464
90°	14.554	14.460	14.488	14.526	14.495	14.526	14.590	14.466	14.555	14.463	14.495	15.495	14.464
135°	14.636	14.537	14.461	14.490	14.487	14.457	14.469	14.620	14.626	14.495	14.590	14.832	14.482

付表4(2) 燃料棒外径測定値

702-05

$\theta \backslash \ell$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120 ^{mm}
0°	14.491 ^{mm}	14.527	14.487	14.576	14.589	14.570	14.515	14.570	14.561	14.575	14.510	14.553	14.453
45°	14.474	14.556	14.554	14.695	14.684	14.665	14.545	14.612	14.540	14.496	14.496	14.555	14.595
90°	14.448	14.506	14.512	14.634	14.690	14.674	14.640	14.505	14.490	14.495	14.574	14.530	14.494
135°	14.467	14.510	14.494	14.559	14.643	14.620	14.531	14.471	14.499	14.569	14.512	14.553	14.460

702-06

$\theta \backslash \ell$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120 ^{mm}
0°	14.417 ^{mm}	14.500	14.475	14.499	14.537	14.479	14.496	14.530	14.512	14.484	14.457	14.498	14.472
45°	14.334	14.448	14.513	14.484	14.464	14.484	14.581	14.482	14.503	14.559	14.577	14.516	14.436
90°	14.468	14.533	14.518	14.504	14.481	14.515	14.493	14.476	14.508	14.536	14.533	14.487	14.459
135°	14.655	14.570	14.445	14.520	14.540	14.509	14.521	14.544	14.530	14.495	14.446	14.484	14.492

702-07

$\theta \backslash \ell$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120 ^{mm}
0°	14.586 ^{mm}	14.570	14.542	14.510	14.513	14.482	14.509	14.571	14.501	14.436	14.627	15.028	14.466
45°	14.536	14.499	14.488	14.562	14.578	14.530	14.491	14.454	14.495	14.527	14.658	14.999	14.477
90°	14.477	14.499	14.535	14.593	14.577	14.609	14.606	14.519	14.612	14.675	14.692	14.997	14.465
135°	14.530	14.566	14.563	14.558	14.549	14.552	14.602	14.641	14.630	14.584	14.640	15.069	14.453

付表4(3) 燃料棒外径測定値

702-09

$\theta \backslash \ell$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120 ^{mm}
0°	14.720 ^{mm}	14.718	14.735	14.683	14.600	14.512	14.513	14.706	14.701	14.652	14.660	14.907	14.446
45°	14.684	14.620	14.603	14.682	14.644	14.639	14.710	14.796	14.646	14.536	14.582	14.831	14.496
90°	14.685	14.619	14.549	14.574	14.730	14.779	14.852	14.669	14.561	14.777	14.651	14.842	14.489
135°	14.735	14.651	14.616	14.555	14.600	14.657	14.558	14.496	14.668	14.843	14.753	14.868	14.466

702-10

$\theta \backslash \ell$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120 ^{mm}
0°	14.448 ^{mm}	14.469	14.486	14.490	14.493	14.526	14.588	14.496	14.520	14.512	14.512	14.563	14.506
45°	14.474	14.479	14.511	14.505	14.515	14.527	14.530	14.555	14.518	14.469	14.530	14.621	14.509
90°	14.463	14.504	14.509	14.489	14.497	14.486	14.530	14.575	14.520	14.511	14.540	14.589	14.508
135°	14.446	14.475	14.504	14.470	14.489	14.483	14.535	14.530	14.525	14.548	14.545	14.542	14.492

702-11

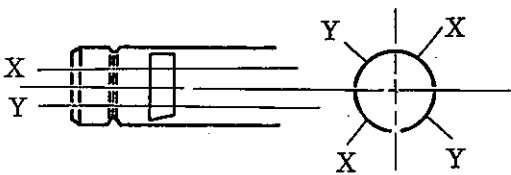
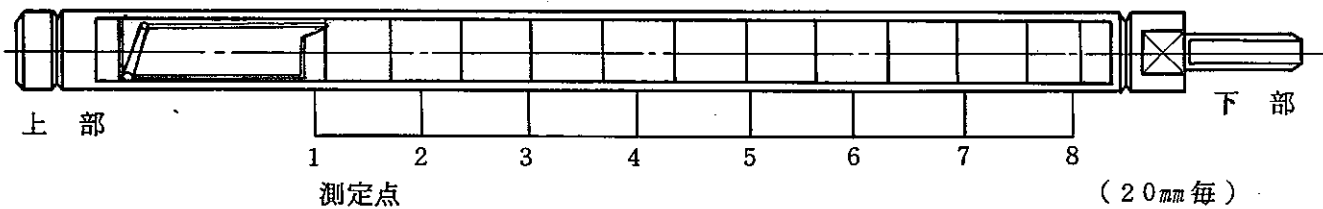
$\theta \backslash \ell$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120 ^{mm}
0°	14.498 ^{mm}	14.500	14.478	14.478	14.473	14.528	14.548	14.541	14.495	14.504	14.568	14.555	14.453
45°	14.553	14.530	14.494	14.530	14.517	14.520	14.513	14.518	14.479	14.480	14.529	14.567	14.498
90°	14.494	14.476	14.514	14.548	14.558	14.505	14.503	14.513	14.533	14.522	14.515	14.522	14.471
135°	14.494	14.448	14.464	14.474	14.514	14.504	14.521	14.548	14.579	14.548	14.503	14.488	14.436

付表4(4) 燃料棒外径測定値

702-12

$\theta \backslash \ell$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120 ^{mm}
0°	14.732 ^{mm}	14.676	14.697	14.665	14.666	14.585	14.529	14.656	14.749	14.754	14.806	15.137	14.485
45°	14.693	14.804	14.749	14.653	14.672	14.680	14.670	14.634	14.566	14.574	14.661	15.052	14.493
90°	14.607	14.641	14.655	14.713	14.740	14.731	14.840	14.742	14.560	14.540	14.651	15.086	14.473
135°	14.638	14.530	14.578	14.702	14.732	14.666	14.695	14.680	14.685	14.776	14.805	15.140	14.469

付表 4 (5) 燃料棒外径測定値（照射前・後）



14.50 $\begin{smallmatrix} +0 \\ -0.08mm \end{smallmatrix}$

Pin No2-03を真上にした時 右45° がX
左45° がY

測定機器 マイクロメータ
JIS 1級

測定点		1	2	3	4	5	6	7	8
X	照射前	14.460	14.459	14.459	14.459	14.458	14.458	14.458	14.459
	照射後	14.465	14.712	14.600	14.562	14.514	14.556	14.686	14.456
Y	照射前	14.458	14.457	14.457	14.464	14.456	14.452	14.453	14.454
	照射後	14.534	14.706	14.613	14.697	14.555	14.594	14.716	14.450

(mm)

付表5(1) ペレット及び被覆管の結晶粒径測定値

項 目 試験番号 (試料位置)		ペレット (平均粒径・μm)																被 覆 管 (平均粒径・μm)				
		A 方 向						中 心	A' 方 向						B方向		B' 方向					
		6. 2	5. 1	4. 1	3. 1	2. 0	1. 0		1. 0	2. 0	3. 1	4. 1	5. 1	6. 2	6. 2	3. 1	3. 1	6. 2	1	2	3	4
7 0 2 - 0 1	1	5.71	—	—	4.13	—	—	3.07	—	—	4.82	—	—	—	5.38	3.95	4.41	—	46.90	94.89	120.00	105.78
	2	5.07	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.24	5.06	—	—	4.42	126.64	114.55	113.63	103.70
	3	8.47	—	—	14.27	—	—	12.53	—	—	14.21	—	—	8.78	8.97	14.73	14.13	8.85	82.85	99.53	64.21	82.08
	4	10.03	—	—	10.04	—	—	9.41	—	—	10.96	—	—	8.56	8.74	10.60	10.70	8.32	—	—	—	—
	5	/	—	—	/	—	—	/	—	—	/	—	—	/	/	/	/	/	/	/	/	/
7 0 2 - 0 2	1	2.68	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.77	3.52	—	—	2.92	—	—	—	—
	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.55	2.52	—	—	—	—	—	—	—
	3	2.84	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.96	—	—	—	—
	4	7.15	—	—	12.47	—	—	11.28	—	—	13.97	—	—	7.60	6.63	14.01	13.60	7.77	—	—	—	—
	5	8.47	—	—	14.24	—	—	12.38	—	—	12.64	—	—	8.36	—	12.03	11.35	8.57	—	—	—	—
7 0 2 - 0 3	1	17.64	9.86	11.15	10.43	9.61	9.27	8.88	9.05	9.45	10.29	11.84	11.81	7.95	7.03	10.44	10.93	10.29	205.50	134.60	156.33	236.50
	2	8.04	9.17	8.06	7.74	9.43	8.15	7.82	9.33	8.37	8.79	9.26	11.23	—	6.89	9.40	7.74	8.11	104.13	126.85	143.46	145.90
	3	8.06	11.97	9.57	7.58	7.85	8.06	—	—	8.17	8.02	8.97	10.05	7.40	8.48	8.73	9.50	8.94	260.33	160.33	152.67	306.00
	4	13.14	10.75	12.41	11.43	13.43	10.98	12.30	11.42	11.01	12.90	11.46	11.83	10.91	14.18	10.62	—	—	224.00	167.67	214.33	158.00
	5	20.81	15.10	16.42	16.53	14.93	16.50	18.21	—	16.09	18.20	20.40	27.05	15.71	30.75	16.52	19.00	24.50	154.75	179.33	200.67	174.20
7 0 2 - 0 4	1	10.37	8.16	—	—	—	12.25	12.42	—	—	14.51	8.57	—	—	—	18.90	10.84	11.40	96.29	—	93.64	137.09
	2	8.06	9.96	8.85	7.10	—	—	6.17	6.52	6.33	7.73	8.99	8.52	9.87	10.08	8.26	7.44	7.06	144.86	169.50	119.26	197.71
	3	10.16	8.93	9.52	11.99	—	—	—	—	—	—	17.43	15.65	—	7.46	21.96	11.23	14.28	145.75	158.33	122.89	112.71
	4	6.63	9.07	6.91	4.89	4.69	4.57	4.69	—	—	5.43	7.04	8.80	7.14	7.04	8.99	5.12	7.52	101.52	90.92	85.27	83.84
	5	5.33	7.77	6.45	—	2.70	2.55	2.76	3.19	3.45	4.34	5.96	—	6.40	6.44	4.02	—	6.23	60.17	96.07	115.40	85.53
7 0 2 - 0 5	1	6.73	8.23	7.93	8.26	6.92	7.16	7.09	7.08	6.76	7.63	7.70	8.68	7.14	6.48	6.94	6.84	8.19	70.12	62.31	67.86	71.60
	2	11.48	15.12	13.94	13.32	14.51	14.05	17.17	14.25	14.74	16.51	14.94	15.71	13.43	11.77	14.03	18.07	12.42	61.12	55.76	45.16	48.59
	3	5.63	7.11	5.24	2.79	—	—	—	—	—	2.36	5.00	8.49	4.79	5.44	—	2.18	5.59	66.28	58.91	57.88	72.22
	4	5.52	7.47	5.02	2.75	—	—	—	—	—	2.45	4.93	7.91	5.84	5.06	—	2.81	5.49	66.59	87.00	36.38	25.27
	5	7.19	7.65	4.59	2.65	—	—	—	—	—	—	3.77	8.08	5.58	4.61	3.49	—	5.59	65.27	39.03	55.72	59.40
7 0 2 - 0 6	1	8.07	9.27	12.82	9.60	11.49	10.55	11.44	13.82	12.98	13.13	11.54	10.87	7.88	8.16	12.02	10.24	7.34	64.20	73.90	66.47	66.83
	2	5.69	8.83	6.27	3.60	2.42	1.61	1.89	2.59	2.83	4.12	6.98	9.21	6.00	5.89	4.62	3.89	5.28	101.26	110.80	92.38	81.18
	3	4.98	8.60	—	2.50	—	—	—	—	—	3.13	6.31	7.65	5.73	5.35	3.25	2.33	4.82	78.43	118.33	89.18	77.56
	4	5.09	7.99	5.18	2.93	—	—	—	—	—	2.56	5.25	8.50	6.66	6.56	2.36	2.82	5.37	69.64	74.26	82.29	90.71
	5	5.06	6.42	4.29	—	—	—	—	—	—	2.00	4.74	7.96	4.80	4.85	2.00	1.75	5.90	80.26	81.92	96.48	72.62

付表5(2) ペレット及び被覆管の結晶粒径測定値

項 目 試験番号 (試料位置)		ペレット (平均粒径・μm)																被 覆 管 (平均粒径・μm)				
		A 方 向						中 心	A' 方 向						B方向		B' 方向					
		6. 2	5. 1	4. 1	3. 1	2. 0	1. 0		1. 0	2. 0	3. 1	4. 1	5. 1	6. 2	6. 2	3. 1	3. 1	6. 2	1	2	3	4
7 0 2 - 0 7	1	12.29	10.06	—	—	—	—	9.97	11.13	10.70	—	—	—	—	—	11.82	7.90	12.61	133.67	163.25	121.36	125.00
	2	7.99	8.06	7.86	6.33	6.08	5.80	5.47	5.87	6.16	5.76	7.12	8.17	6.82	7.64	6.59	6.63	7.35	127.79	161.45	139.60	122.00
	3	9.61	14.57	12.68	13.17	10.40	11.47	7.80	7.88	12.78	12.60	13.31	14.61	9.80	8.21	12.78	12.62	10.76	85.30	140.21	83.64	83.88
	4	7.71	9.28	8.77	5.82	5.80	4.29	5.06	—	—	—	8.66	8.97	6.62	—	—	5.36	7.43	80.47	53.52	78.60	83.19
	5	5.35	11.28	7.26	5.42	4.34	2.50	4.34	4.07	4.52	5.30	6.89	9.36	6.54	5.44	4.94	5.31	6.42	78.48	80.70	75.73	113.94
7 0 2 - 0 8	1																					
	2	9.93	10.62	10.03	9.31	7.80	7.13	7.79	8.55	8.17	8.90	10.07	10.24	9.15	11.24	10.38	8.29	10.81	144.00	53.00	157.80	97.17
	3	11.11	15.35	22.69	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.75	18.50	—	—	132.45	135.40	204.14	161.69
	4	11.50	9.50	9.75	7.37	7.11	6.88	—	6.46	6.04	7.38	8.38	8.02	8.54	—	6.53	—	10.78	215.86	150.50	206.14	277.00
	5	9.06	7.92	7.61	6.83	7.58	7.49	8.29	7.39	7.46	8.58	10.04	10.72	8.41	10.33	7.14	8.13	9.50	196.00	167.40	199.00	246.86
7 0 2 - 0 9	1	8.07	8.82	7.40	6.61	6.38	6.35	6.09	5.76	5.81	6.81	7.80	8.61	8.44	7.52	6.98	6.14	7.08	47.10	90.72	96.58	52.80
	2	7.96	8.58	7.45	6.48	5.76	5.01	5.87	5.99	5.83	6.18	7.83	9.57	8.68	6.91	5.50	7.12	6.83	32.90	34.59	81.03	72.38
	3	6.79	10.68	11.22	8.96	9.01	8.61	8.06	9.11	8.64	11.48	10.44	10.71	9.00	7.24	9.89	9.56	6.95	96.36	117.50	95.62	90.15
	4	5.18	8.20	7.19	4.87	4.60	4.33	4.99	4.55	4.95	5.55	6.61	9.03	5.27	7.63	6.45	6.09	7.01	79.33	99.04	54.45	60.40
	5	8.37	9.09	6.96	4.98	4.51	4.06	4.28	3.72	4.03	5.14	6.97	8.98	6.19	6.42	4.79	5.27	6.17	69.54	96.82	88.84	73.64
7 0 2 - 1 0	1	4.34	6.14	5.00	—	—	—	—	—	—	—	9.73	7.01	5.04	5.10	—	—	10.05	120.48	121.24	97.41	107.94
	2	4.36	6.54	3.61	—	—	—	—	—	—	—	3.61	7.12	9.69	4.51	—	—	4.99	119.95	118.00	110.62	129.93
	3	4.93	5.28	2.63	—	—	—	—	—	—	—	2.26	5.46	4.32	4.33	—	—	4.14	111.33	118.58	118.04	102.07
	4	—	5.05	1.76	—	—	—	—	—	—	—	2.42	5.27	4.51	4.29	—	—	4.82	81.33	85.76	78.29	83.65
	5	4.88	6.14	4.37	—	—	—	—	—	—	—	4.19	6.42	4.86	4.44	—	—	5.14	79.66	73.06	73.26	73.13
7 0 2 - 1 1	1	5.00	7.09	5.67	5.81	3.77	4.24	2.56	4.25	4.85	6.03	8.47	8.57	3.40	3.17	5.23	5.68	5.33	107.57	124.00	125.50	124.33
	2	5.36	7.64	5.37	3.06	—	—	—	—	—	3.59	6.44	4.28	2.37	4.95	3.79	3.49	6.23	145.50	115.00	142.44	123.88
	3	4.19	6.53	5.94	2.91	—	—	—	—	—	—	4.55	6.71	4.05	3.85	3.29	—	4.92	117.68	159.91	164.00	134.75
	4	3.57	6.60	11.13	—	—	—	—	—	—	2.58	3.97	6.45	8.87	5.62	7.14	6.89	10.45	118.55	115.64	76.33	89.36
	5	5.03	15.43	12.65	8.02	—	—	—	—	—	2.54	9.51	12.75	4.93	10.28	7.44	7.13	10.78	49.17	39.17	65.87	63.49
7 0 2 - 1 2	1	12.56	15.65	25.50	13.62	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.53	—	15.77	—	122.50	151.17	150.00	158.30
	2	11.62	13.11	11.12	10.18	8.84	8.95	3.88	3.60	9.90	9.48	10.90	10.32	9.47	9.54	9.68	9.62	8.16	90.86	105.75	111.50	118.20
	3	9.26	9.95	—	11.27	11.08	10.71	10.86	12.10	11.67	10.13	11.30	15.03	—	12.03	12.74	14.22	13.19	99.70	105.60	98.50	122.86
	4	6.74	10.74	7.96	7.19	6.68	6.88	6.65	—	6.02	6.58	8.01	10.14	5.46	6.91	6.75	6.91	6.83	98.73	113.33	94.08	81.87
	5	6.98	9.75	—	—	—	5.62	4.91	4.79	4.84	5.92	6.46	—	6.81	7.07	6.09	5.97	7.16	78.47	98.81	112.50	89.00

付表6(1) 被覆管硬度測定値

	照射前(185.7)			702-01-1 (342)		
測定点	外 側	中 心	内 側	外 側	中 心	内 側
①	182 183 182 182 183 HV 182.4	188 191 192 187 189 HV 189.4	188 188 185 185 185 HV 186.2	383 356 394 410 435 HV 395.6	457 396 394 330 284 HV 372.2	334 324 344 359 378 HV 347.8
②	185 174 185 188 184 HV 183.2	184 182 188 187 184 HV 185	183 193 186 186 191 HV 187.8	376 350 293 290 288 HV 319.4	258 312 333 310 308 HV 304.2	329 346 368 330 356 HV 345.8
③	181 186 189 179 180 HV 183	174 195 181 181 179 HV 182	185 179 207 192 190 HV 190.6	288 288 231 286 279 HV 274.4	286 226 298 326 302 HV 287.6	474 425 473 281 285 HV 387.6
④	187 188 183 185 189 HV 186.4	187 191 183 182 181 HV 184.8	182 190 187 182 193 HV 186.8	256 260 337 313 235 HV 280.2	449 329 279 318 424 HV 359.8	606 409 317 416 397 HV 429
平 均	183.8	185.3	187.9	317.4	331.0	377.6
測定点	702-01-5 (246.5)			702-01-9		
①	246 245 222 241 202 HV 231.2	206 219 208 209 215 HV 211.4	294 318 313 372 343 HV 328			
②	230 217 210 205 198 HV 212	214 200 272 201 205 HV 218.4	222 261 260 291 272 HV 261.2			
③	266 245 255 228 227 HV 244.2	197 216 230 259 228 HV 226	278 369 305 288 329 HV 313.8			
④	222 202 226 203 223 HV 215.2	206 179 202 229 221 HV 207.4	234 234 333 313 328 HV 288.4			
平 均	225.7	215.8	297.9			

付表 6 (2) 被 覆 管 硬 度 測 定 値

測定点	702-02-1 (203.5)			702-02-5 (212.4)		
	外 側	中 心	内 側	外 側	中 心	内 側
①	184 198 185 182 191 HV 188	206 222 206 210 206 HV 210	145 162 153 176 186 HV 164.4	193 189 185 181 196 HV 188.8	186 178 184 181 179 HV 181.6	181 183 194 184 189 HV 186.2
②	224 197 195 198 203 HV 203.4	210 204 217 215 217 HV 212.6	205 221 200 211 209 HV 209.2	226 240 229 230 227 HV 230.4	224 217 232 206 215 HV 218.8	217 214 204 190 160 HV 197
③	197 224 225 210 213 HV 213.8	219 226 205 220 214 HV 216.8	225 226 215 217 208 HV 218.2	223 255 257 218 247 HV 240	223 219 226 234 222 HV 224.8	228 213 204 193 206 HV 208.8
④	194 196 192 194 179 HV 191	205 205 206 196 213 HV 205	210 216 212 204 206 HV 209.6	224 226 232 232 240 HV 230.8	231 223 230 219 231 HV 226.8	229 220 215 209 200 HV 214.6
平 均	199.1	211.1	200.4	222.5	213	201.7
測定点	702-02-9 (231.4)			702-03-1 (327.9)		
	外 側	中 心	内 側	外 側	中 心	内 側
①	219 215 214 219 227 HV 218.8	230 237 224 234 228 HV 230.6	241 231 224 228 220 HV 228.8	323 341 284 270 234 HV 290.4	287 354 315 282 313 HV 310.2	203 282 321 455 521 HV 356.4
②	230 262 243 270 227 HV 246.4	224 243 231 239 237 HV 234.8	234 233 272 226 252 HV 243.4	445 319 468 434 505 HV 434.2	258 254 280 283 324 HV 279.8	347 293 246 269 256 HV 282.2
③	222 229 235 230 236 HV 230.4	230 240 230 227 238 HV 233	240 241 222 223 231 HV 231.4	309 293 322 341 404 HV 333.8	260 265 207 235 270 HV 247.4	261 312 307 243 253 HV 275.2
④	218 236 222 235 224 HV 227	225 231 240 249 230 HV 235	219 217 216 229 207 HV 217.6	392 372 514 465 228 HV 394.2	278 289 310 285 323 HV 297	416 348 356 450 597 HV 433.4
平 均	230.7	233.4	230.3	363.2	283.6	336.8

付表 6(3) 被覆管硬度測定値

	702-03-5 (361.0)			702-03-9 (398.8)		
測定点	外 側	中 心	内 側	外 側	中 心	内 側
①	242 330 357 399 352 HV 336	472 376 396 377 397 HV 403.6	441 434 409 400 500 HV 436.8	272 260 304 234 251 HV 264.2	282 346 521 371 383 HV 380.6	469 389 402 411 386 HV 411.4
②	272 436 359 317 356 HV 348	408 381 379 562 356 HV 417.2	497 331 459 460 369 HV 423.2	323 339 366 311 387 HV 345.2	353 397 369 430 457 HV 401.2	558 546 385 330 339 HV 431.6
③	266 457 450 448 344 HV 393	307 363 297 294 315 HV 315.2	376 334 301 310 324 HV 329	450 401 467 453 497 HV 453.6	437 504 559 423 581 HV 500.8	556 500 501 464 603 HV 524.8
④	265 245 288 349 433 HV 316	251 288 319 272 295 HV 285	377 351 261 300 352 HV 328.2	337 294 308 299 267 HV 301	337 456 472 346 384 HV 399	327 330 310 361 531 HV 371.8
平 均	348.3	355.3	379.3	341	420.4	434.9
	702-04-1 (292.0)			702-04-5 (298.0)		
測定点	外 側	中 心	内 側	外 側	中 心	内 側
①	293 265 262 276 263 HV 271.8	264 282 266 269 286 HV 273.4	246 258 258 266 253 HV 256.2	333 297 286 279 287 HV 296.4	244 280 302 236 281 HV 268.6	284 324 297 246 304 HV 291
②	299 313 262 252 243 HV 273.8	502 310 278 259 248 HV 319.4	461 364 343 324 360 HV 370.4	305 292 299 311 259 HV 293.2	314 272 282 265 249 HV 276.4	370 345 328 266 264 HV 314.6
③	322 305 223 238 204 HV 258.4	321 310 315 314 310 HV 314	337 331 251 264 271 HV 290.8	404 307 364 342 333 HV 350	329 285 319 299 377 HV 321.8	341 326 375 311 314 HV 333.4
④				307 296 309 363 261 HV 307.2	239 262 250 270 261 HV 256.4	253 308 262 281 229 HV 266.6
平 均	268	302.3	305.8	311.7	280.8	301.4

付表 6 (4) 被 覆 管 硬 度 測 定 値

測定点	702-04-9 (259.3)			702-05-1 (220.9)		
	外 側	中 心	内 側	外 側	中 心	内 側
①	257 263 252 243 253 HV 253.6	239 243 255 247 236 HV 244	308 332 298 255 257 HV 290	229 226 214 215 223 HV 221.4	232 231 233 231 228 HV 231	255 250 250 225 228 HV 241.6
②	248 273 270 259 267 HV 263.4	268 259 254 252 251 HV 256.8	405 365 415 390 251 HV 365.2	215 209 219 211 210 HV 212.8	204 212 213 215 216 HV 212	228 213 209 211 208 HV 213.8
③	241 230 229 247 236 HV 236.6	236 226 235 242 254 HV 238.6	232 229 230 248 250 HV 237.8	181 184 190 189 190 HV 186.8	221 206 205 213 214 HV 211.8	215 216 215 208 225 HV 215.8
④	270 241 226 240 235 HV 242.4	256 250 241 248 237 HV 246.4	234 226 240 239 245 HV 236.8	213 213 212 207 216 HV 212.2	218 208 217 205 209 HV 211.4	246 304 287 281 279 HV 279.4
平 均	249	246.5	282.5	208.3	216.6	237.7
測定点	702-05-5 (214.6)			702-05-9 (220.4)		
	外 側	中 心	内 側	外 側	中 心	内 側
①	231 234 228 226 233 HV 230.4	231 228 235 224 229 HV 229.4	227 226 228 228 235 HV 228.8	250 257 246 250 245 HV 249.6	237 256 228 233 239 HV 238.6	214 223 232 239 236 HV 228.8
②	178 169 177 180 178 HV 176.4	189 180 183 177 176 HV 181.0	192 190 199 191 187 HV 191.8	207 203 219 229 233 HV 218.2	205 203 207 200 197 HV 202.4	226 218 244 225 224 HV 227.4
③	226 224 218 221 222 HV 222.2	212 237 225 223 216 HV 222.6	213 227 218 217 223 HV 219.5	249 185 240 262 253 HV 237.8	167 173 171 165 181 HV 171.4	163 167 177 180 189 HV 175.2
④	220 216 215 205 219 HV 215.0	207 206 223 215 213 HV 212.8	278 207 268 250 221 HV 244.8	284 226 239 244 252 HV 249	204 190 203 203 234 HV 206.8	245 234 228 252 238 HV 239.4
平 均	211.0	211.5	221.3	238.7	204.8	217.7

付表 6 (5) 被 覆 管 硬 度 測 定 値

	702-06-1 (229.6)			702-06-5 (196.6)		
測定点	外 側	中 心	内 側	外 側	中 心	内 側
①	244 236 236 225 236 HV 235.4	234 251 240 209 230 HV 232.8	238 243 248 251 251 HV 246.2	199 215 192 207 204 HV 203.4	189 191 175 189 184 HV 185.6	188 192 194 199 187 HV 192
②	240 245 234 231 239 HV 237.8	240 244 244 233 236 HV 239.4	227 235 234 251 240 HV 237.4	186 173 184 175 164 HV 176.4	190 178 179 177 188 HV 182.4	186 185 176 176 186 HV 181.8
③	210 222 222 228 228 HV 222	229 225 233 220 227 HV 226.8	220 224 211 220 218 HV 218.6	183 194 226 213 199 HV 203	229 223 206 218 213 HV 217.8	221 222 213 211 195 HV 212.4
④	217 233 220 214 221 HV 221	215 228 236 219 205 HV 220.6	214 217 212 226 218 HV 217.4	189 172 204 210 221 HV 199.2	210 212 195 212 206 HV 207	213 230 204 181 161 HV 197.8
平 均	229.1	229.9	229.9	195.5	198.2	196.
	702-06-9 (218.8)			702-07-1 (220.6)		
測定点	外 側	中 心	内 側	外 側	中 心	内 側
①	227 212 222 205 214 HV 216	202 205 212 197 215 HV 206.2	227 222 221 225 214 HV 221.8	250 216 217 222 210 HV 223.4	214 214 217 215 209 HV 213.8	211 209 247 272 232 HV 234.2
②	232 236 233 246 231 HV 235.6	230 223 219 222 230 HV 224.8	233 232 227 237 226 HV 231	264 250 256 253 214 HV 247.4	228 227 217 220 208 HV 220	217 205 219 215 194 HV 210
③	219 226 229 225 233 HV 226.4	222 217 216 220 217 HV 218.4	225 228 210 211 223 HV 219.4	218 230 220 227 231 HV 225.2	212 195 198 205 209 HV 203.8	193 202 203 209 230 HV 207.4
④	222 214 201 212 207 HV 211.2	206 209 207 201 213 HV 207.2	216 216 205 201 200 HV 207.6	251 240 240 236 231 HV 239.6	188 195 191 194 202 HV 194	211 236 228 215 242 HV 228.4
平 均	222.3	214.2	220	233.8	207.9	220

付表 6 (6) 被 覆 管 硬 度 測 定 値

測定点	702-07-5 (194.5)			702-07-9 (187.1)		
	外 側	中 心	内 側	外 側	中 心	内 側
①	181 174 176 186 181	197 202 179 189 189	177 187 188 187 187	195 190 186 192 180	186 181 174 187 191	190 176 206 179 195
	HV 179.6	HV 191.2	HV 185.2	HV 188.6	HV 183.8	HV 189.2
②	211 227 201 208 225	172 194 184 181 186	192 178 178 179 188	188 189 175 181 184	179 179 188 180 184	183 183 177 188 181
	HV 214.4	HV 183.4	HV 183	HV 183.4	HV 182	HV 182.4
③	200 205 196 194 196	194 202 190 191 208	177 202 192 200 198	181 178 175 176 176	195 187 190 186 204	196 189 185 197 194
	HV 198.2	HV 197	HV 193.8	HV 177.2	HV 192.4	HV 192.2
④	221 211 200 206 201	203 199 204 202 212	199 199 194 191 196	188 199 185 201 185	194 205 188 201 188	184 184 191 186 188
	HV 207.8	HV 204	HV 195.8	HV 191.6	HV 195.2	HV 186.6
平 均	200	193.9	189.5	185.2	188.4	187.6
測定点	702-08-5 (263.0)			702-08-9 (271.2)		
	外 側	中 心	内 側	外 側	中 心	内 側
①	271 270 273 250 270	263 275 266 267 252	259 284 380 429 400	246 264 299 283 299	244 237 208 241 227	239 235 239 250 227
	HV 266.8	HV 264.6	HV 350.4	HV 278.2	HV 231.4	HV 238
②	263 256 243 228 226	232 245 247 227 221	245 228 232 259 268	276 266 287 243 234	251 249 236 243 232	322 288 276 285 277
	HV 243.2	HV 234.4	HV 246.4	HV 261.2	HV 242.2	HV 289.6
③	268 265 252 240 236	232 238 236 227 231	249 253 258 281 277	281 292 321 309 298	251 250 246 247 239	401 380 346 350 320
	HV 252.2	HV 232.8	HV 263.6	HV 300.2	HV 246.6	HV 359.4
④	300 282 282 269 258	247 255 247 240 235	270 261 262 286 310	294 303 275 280 288	261 239 252 253 242	276 282 261 254 276
	HV 278.2	HV 244.8	HV 277.8	HV 288	HV 249.4	HV 269.8
平 均	260.1	244.2	284.6	281.9	242.4	289.2

付表 6 (7) 被 覆 管 硬 度 測 定 値

	702-09-1 (229.4)			702-09-5 (234.6)		
測定点	外 側	中 心	内 側	外 側	中 心	内 側
①	196 198 203 205 192 HV 198.8	205 205 205 204 201 HV 204	227 218 224 222 218 HV 221.8	237 243 230 242 247 HV 239.8	240 227 244 215 230 HV 231.2	219 224 242 207 253 HV 229
②	239 249 240 252 254 HV 246.8	249 252 241 238 251 HV 246.2	350 296 349 394 269 HV 331.6	239 223 223 241 224 HV 230	232 245 234 242 223 HV 235.2	226 215 226 219 220 HV 221.2
③	237 248 226 241 249 HV 240.2	233 237 241 235 240 HV 237.2	331 356 344 333 305 HV 333.8	252 244 245 238 240 HV 243.8	247 263 258 254 231 HV 250.6	255 251 261 233 259 HV 251.8
④	154 155 147 151 162 HV 153.8	169 166 167 172 172 HV 169.2	178 170 170 173 172 HV 172.6	233 235 218 242 241 HV 233.8	214 238 224 232 217 HV 225	229 217 221 217 235 HV 223.8
平 均	209.9	214.2	265.0	236.9	235.5	231.5
測定点	702-09-9 (230.1)			702-10-1 (234.8)		
①	191 199 198 200 192 HV 196	208 209 196 215 223 HV 210.2	210 229 218 227 291 HV 235	261 239 247 252 247 HV 249.2	231 235 223 225 226 HV 228	231 224 225 229 223 HV 226.4
②	247 240 237 233 237 HV 238.8	246 235 235 235 232 HV 236.6	230 232 234 358 355 HV 281.8	226 262 240 243 261 HV 246.4	232 239 232 231 244 HV 235.6	227 231 231 228 242 HV 231.8
③	240 232 216 216 210 HV 222.8	216 221 209 211 211 HV 213.6	220 228 226 215 224 HV 222.6	265 254 262 245 277 HV 260.6	226 229 239 230 233 HV 231.4	226 220 226 226 228 HV 225.2
④	230 236 235 240 221 HV 232.4	229 241 231 243 233 HV 235.4	238 231 237 240 233 HV 235.8	224 213 226 207 253 HV 224.6	219 221 231 240 243 HV 230.8	237 221 227 228 226 HV 227.8
平 均	222.5	224.0	243.8	245.2	231.5	227.8

付表 6 (8) 被 覆 管 硬 度 測 定 値

	702-10-5 (201.1)			702-10-9 (223.5)		
測定点	外 側	中 心	内 側	外 側	中 心	内 側
①	242 205 224 214 195 HV 216	200 213 193 195 203 HV 200.8	201 217 186 189 176 HV 193.8	212 214 203 219 222 HV 214	219 212 202 226 198 HV 211.4	208 203 213 209 217 HV 210
②	200 188 204 207 186 HV 197	200 206 198 201 201 HV 201.2	221 205 222 204 201 HV 210.6	229 221 220 222 232 HV 224.8	224 237 223 230 231 HV 229	218 245 233 231 217 HV 228.8
③	198 185 194 208 226 HV 202.2	194 204 198 188 193 HV 195.4	199 192 206 185 194 HV 195.2	233 231 229 216 235 HV 228.8	230 223 230 236 231 HV 230	221 228 235 224 225 HV 226.6
④	207 199 202 194 196 HV 199.6	207 209 200 203 204 HV 204.6	190 182 218 191 202 HV 196.6	223 237 211 221 228 HV 224	231 232 223 233 241 HV 232	230 217 211 225 228 HV 222.2
平 均	203.7	200.5	199.1	222.9	225.6	221.9
	702-11-1 (237.4)			702-11-5 (212.5)		
測定点	外 側	中 心	内 側	外 側	中 心	内 側
①	247 235 239 234 239 HV 238.8	239 243 241 241 223 HV 235.4	223 227 222 230 248 HV 230	214 199 198 193 247 HV 210.2	209 202 222 199 200 HV 206.4	191 205 211 180 220 HV 201.4
②	259 242 245 248 241 HV 247	236 251 258 240 241 HV 245.2	225 234 247 245 247 HV 239.6	201 215 207 203 205 HV 206.2	208 212 215 207 202 HV 208.8	223 223 205 228 212 HV 218.2
③	229 237 239 235 236 HV 235.2	222 234 228 218 223 HV 225	218 213 228 228 222 HV 221.8	199 215 208 191 223 HV 207.2	228 195 224 202 224 HV 214.6	211 211 228 211 224 HV 217
④	259 256 248 247 247 HV 251.4	236 230 237 244 233 HV 236	246 251 246 230 241 HV 242.8	215 214 219 202 225 HV 215	226 214 213 219 229 HV 220.2	220 225 221 233 233 HV 224.4
平 均	243.1	235.4	233.6	209.7	212.5	215.3

付表 6 (9) 被 覆 管 硬 度 測 定 値

	702-11-9 (222.7)			702-12-1 (312.0)		
測定点	外 側	中 心	内 側	外 側	中 心	内 側
①	234 242 237 238 236 HV 237.4	228 242 233 237 225 HV 233	239 232 235 229 232 HV 233.4	233 256 243 242 248 HV 244.4	267 281 296 287 333 HV 292.8	229 229 221 258 327 HV 252.8
②	231 229 226 221 203 HV 222	244 234 236 237 217 HV 233.6	237 250 240 234 233 HV 238.8	394 264 249 251 239 HV 279.4	395 288 460 371 396 HV 382	334 415 397 385 379 HV 382
③	203 202 195 195 193 HV 197.6	187 198 184 199 194 HV 192.4	200 190 194 192 193 HV 193.8	443 458 375 332 276 HV 376.8	264 256 270 311 306 HV 281.4	469 241 235 321 479 HV 349
④	222 229 223 220 207 HV 220.2	242 235 233 236 240 HV 237.2	237 235 236 232 229 HV 233.8	432 465 474 478 413 HV 452.4	234 236 220 224 207 HV 224.2	225 223 228 221 235 HV 226.4
平 均	219.3	223.9	225.0	338.3	295.1	302.6
測定点	702-12-5 (218.6)			702-12-1 (227.3)		
①	201 214 211 211 216 HV 210.6	226 230 213 224 206 HV 219.8	240 219 212 219 209 HV 219.8	220 216 217 223 237 HV 222.6	226 206 204 204 221 HV 212.2	230 204 234 299 342 HV 261.8
②	202 200 209 200 211 HV 204.4	213 201 218 202 205 HV 207.8	215 222 211 197 216 HV 212.2	209 206 208 210 200 HV 206.6	222 211 202 206 197 HV 207.6	211 205 225 293 377 HV 262.2
③	222 216 221 212 228 HV 219.8	222 228 222 217 227 HV 223.2	237 241 243 241 236 HV 239.6	209 200 208 189 216 HV 204.4	218 190 204 225 199 HV 207.2	320 329 324 279 351 HV 320.6
④	218 230 217 213 215 HV 218.6	220 210 220 203 219 HV 214.4	237 242 232 237 217 HV 233	219 199 202 188 206 HV 202.8	185 195 212 202 188 HV 196.4	214 207 200 229 264 HV 222.8
平 均	213.4	216.3	226.2	209.1	205.9	266.9

付表 6 (10) 被 覆 管 硬 度 測 定 値

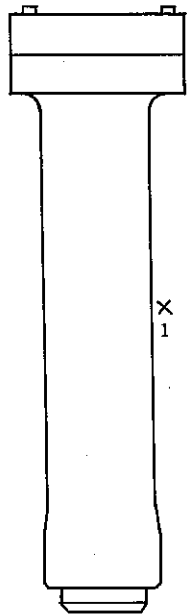
Puspot 702-10-8 (248.6)						
測定点	外 側	中 心	内 側	外 側	中 心	内 側
①	262 266 255 247 260 HV 258	261 256 254 253 242 HV 253.2	242 263 253 255 268 HV 256.2			
②	259 248 257 249 250 HV 252.6	242 242 216 223 236 HV 231.8	256 242 235 245 241 HV 243.8			
③	213 216 243 212 221 HV 221	238 230 230 237 230 HV 233	241 235 232 223 233 HV 232.8			
④	262 259 259 269 272 HV 264.2	266 268 275 268 269 HV 269.2	264 266 268 261 277 HV 267.2			
平 均	249.0	246.8	250.0			

付表 7 (1) 各測定点に於ける放射線量率

試験番号：702-01

測定年月日 S 59. 4. 04

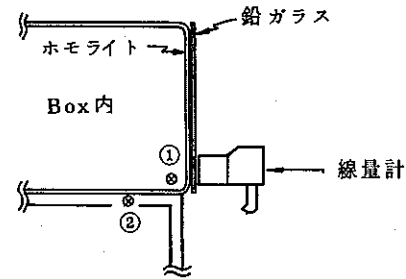
1. インナーカプセル表面 72 mR/Hr



鉛ガラス (2 mm Pb 相当) 使用

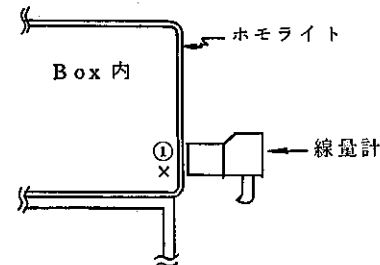
S. 59. 4. 05

	カプセル (燃料棒入)	カプセルのみ	燃料棒のみ
① パネル部へ密着	16 mR/Hr	6.5 mR/Hr	4.0 mR/Hr
② Box 床部密着	52	12	100



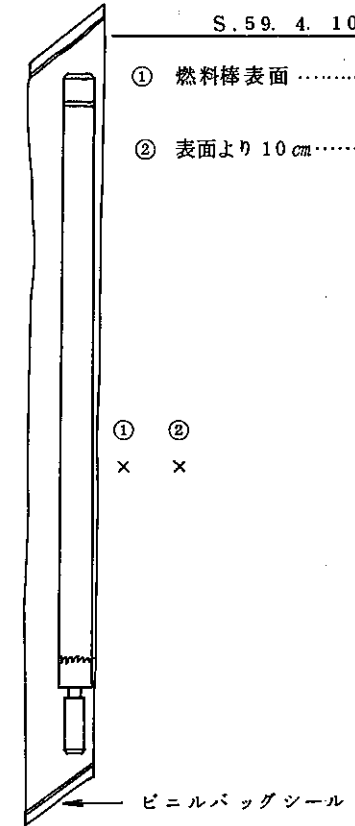
鉛ガラス未使用

	燃料棒のみ
① パネル部へ密着	72 mR/Hr



S. 59. 4. 10

① 燃料棒表面	120
② 表面より 10 cm	22

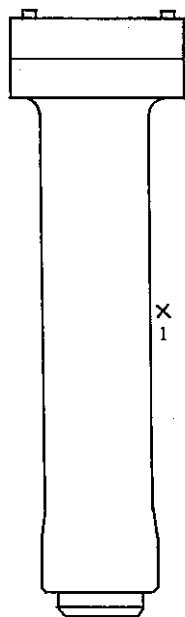


付表 7 (2) 各測定点に於ける放射線量率

試験番号：702-02

測定年月日 S.59. 4. 05

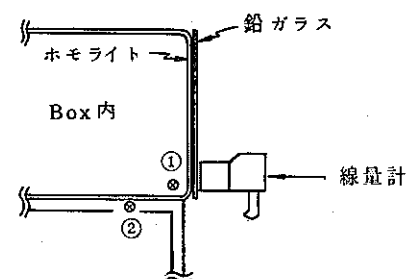
1. インナーカプセル表面 64 mR/Hr



鉛ガラス (2 mm Pb 相当) 使用

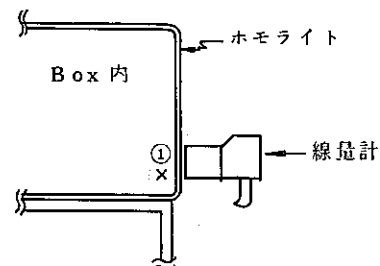
S.59. 4. 26

	カプセル (燃料棒入)	カプセルのみ	燃料棒のみ
① パネル部へ密着	11 mR/Hr	4 mR/Hr	24 mR/Hr
② Box 床部密着	37	10	84



鉛ガラス未使用

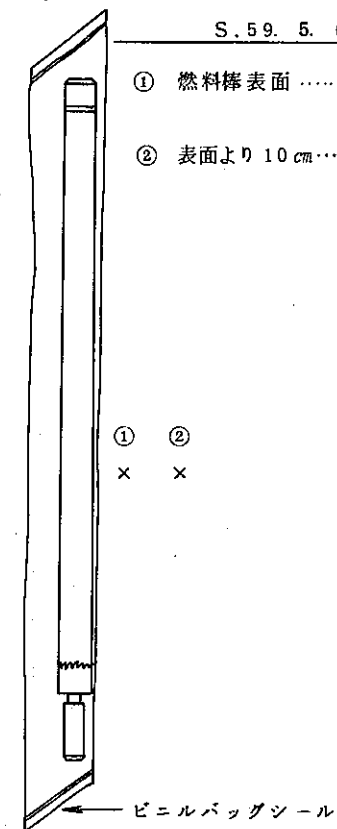
	燃料棒のみ
① パネル部へ密着	78 mR/Hr



S.59. 5. 07

① 燃料棒表面 86

② 表面より 10 cm 14

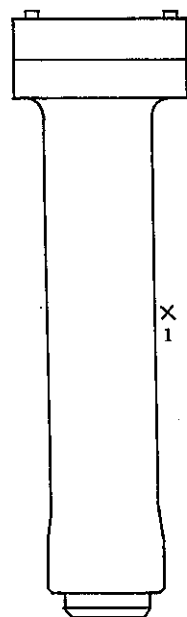


付表 7 (3) 各測定点に於ける放射線量率

試験番号：702-03

測定年月日 S 59. 10. 03

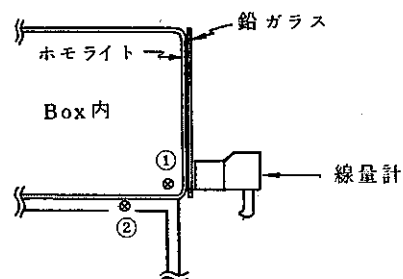
1. インナーカプセル表面 100 mR/Hr



鉛ガラス (2mm Pb 相当) 使用

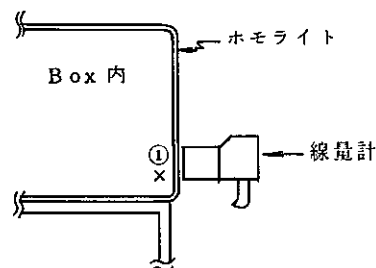
S. 60. 10. 03

	カプセル (燃料棒入)	カプセルのみ	燃料棒のみ
① パネル部へ密着	31 mR/Hr	9.2 mR/Hr	45 mR/Hr
② Box 床部密着	100	25	220



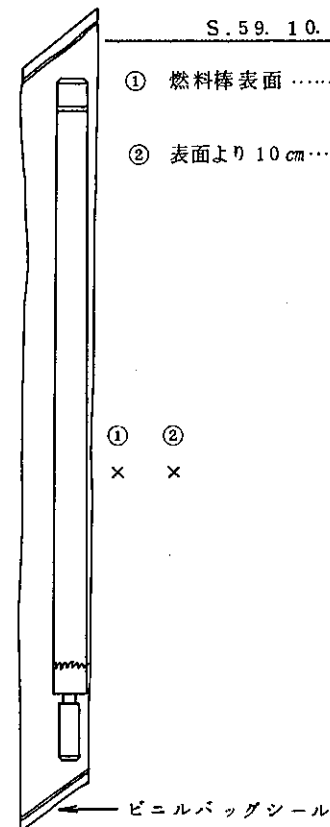
鉛ガラス未使用

	燃料棒のみ
① パネル部へ密着	200 mR/Hr



S. 59. 10. 12

① 燃料棒表面	140
② 表面より 10 cm	30

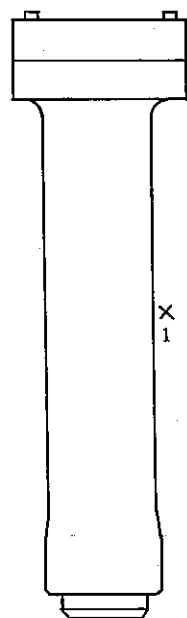


付表 7 (4) 各測定点に於ける放射線量率

試験番号：702-04

測定年月日 S 59. 11. 06

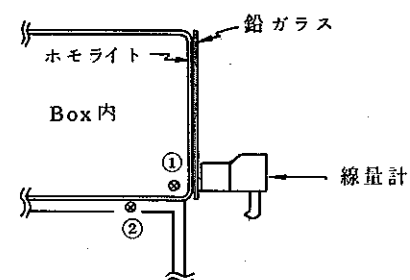
1. インナーカプセル表面 250 mR/Hr



鉛ガラス (2 mm Pb 相当) 使用

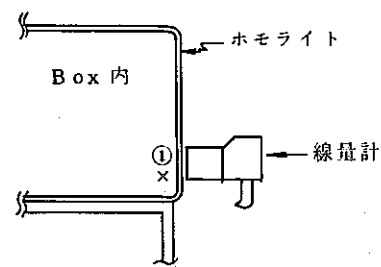
S. 59. 11. 07

	カプセル (燃料棒入)	カプセルのみ	燃料棒のみ
① パネル部へ密着	54 mR/Hr	9.6 mR/Hr	122 mR/Hr
② Box 床部密着	120	14	300



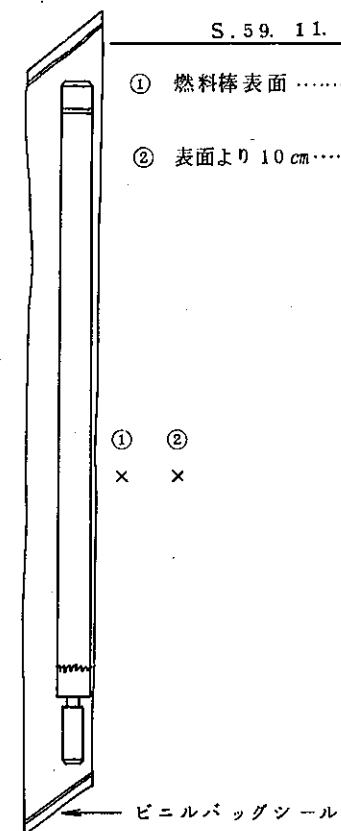
鉛ガラス未使用

	燃料棒のみ
① パネル部へ密着	160 mR/Hr



S. 59. 11. 12

① 燃料棒表面	280
② 表面より 10 cm	100

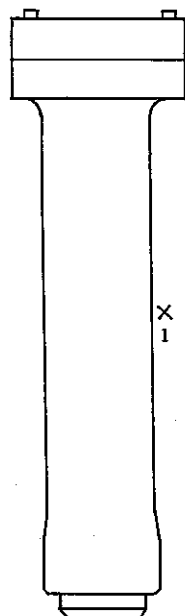


付表 7 (5) 各測定点に於ける放射線量率

試験番号: 702-05

測定年月日 S 60. 1. 16

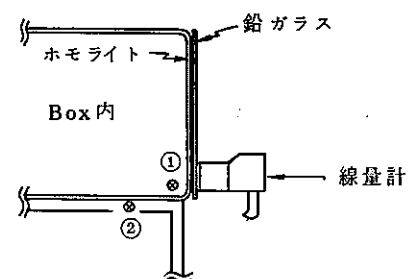
1. インナーカプセル表面 150 mR/Hr



鉛ガラス (2 mm Pb 相当) 使用

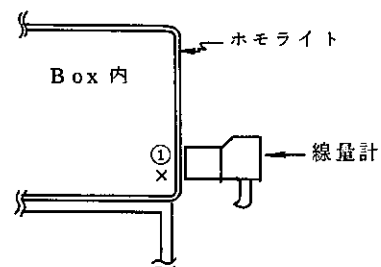
S. 60. 1. 17

	カプセル (燃料棒入)	カプセルのみ	燃料棒のみ
① パネル部へ密着	33 mR/Hr	6 mR/Hr	93 mR/Hr
② Box 床部密着	95	10	280



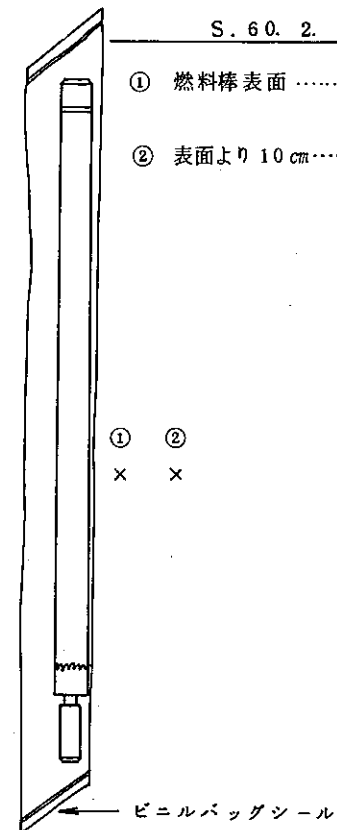
鉛ガラス未使用

	燃料棒のみ
① パネル部へ密着	260 mR/Hr



S. 60. 2. 05

① 燃料棒表面	255
② 表面より 10 cm	140

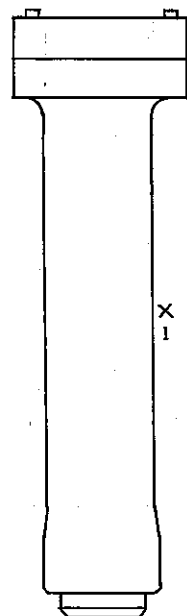


付表 7 (6) 各測定点に於ける放射線量率

試験番号: 702-06

測定年月日 S 60. 2. 19

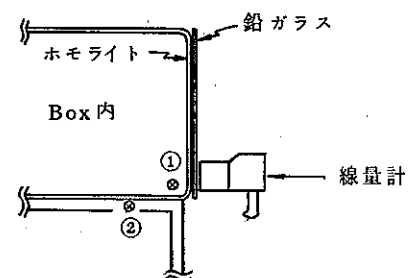
1. インナーカプセル表面 205 mR/Hr



鉛ガラス (2 mm Pb 相当) 使用

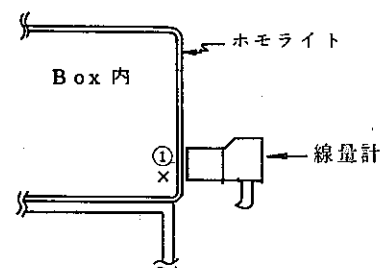
S. 60. 2. 20

	カプセル (燃料棒入)	カプセルのみ	燃料棒のみ
① パネル部へ密着	50 mR/Hr	9 mR/Hr	120 mR/Hr
② Box 床部密着	70	20	360



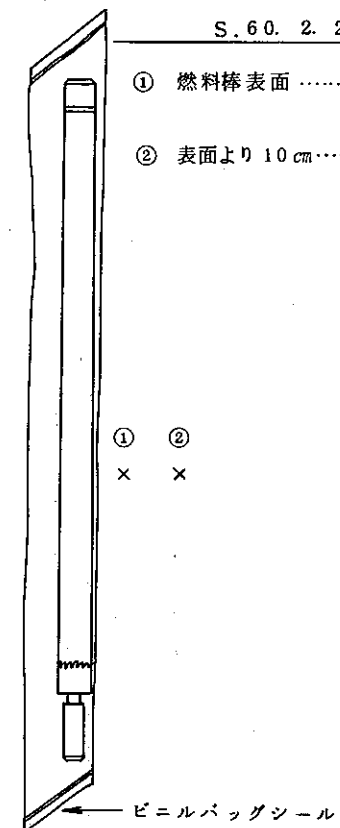
鉛ガラス未使用

	燃料棒のみ
① パネル部へ密着	370 mR/Hr



S. 60. 2. 26

① 燃料棒表面	300
② 表面より 10 cm	50

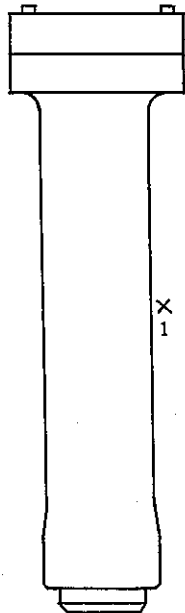


付表 7 (7) 各測定点に於ける放射線量率

試験番号：702-07

測定年月日 S 60. 4. 1

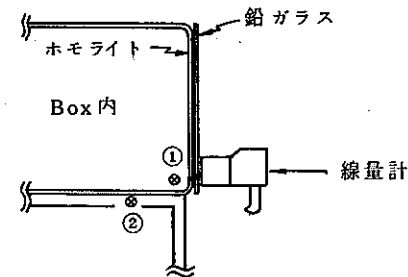
1. インナーカプセル表面 180 mR/Hr



鉛ガラス (2 mm Pb 相当) 使用

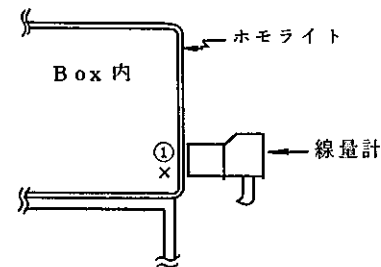
S. 60. 4. 02

	カプセル (燃料棒入)	カプセルのみ	燃料棒のみ
① パネル部へ密着	40 mR/Hr	8 mR/Hr	120 mR/Hr
② Box 床部密着	120	18	250



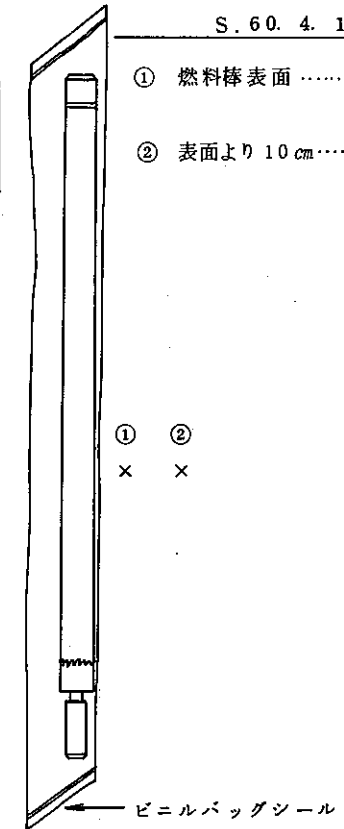
鉛ガラス未使用

	燃料棒のみ
① パネル部へ密着	310 mR/Hr



S. 60. 4. 10

① 燃料棒表面	280
② 表面より 10 cm	50

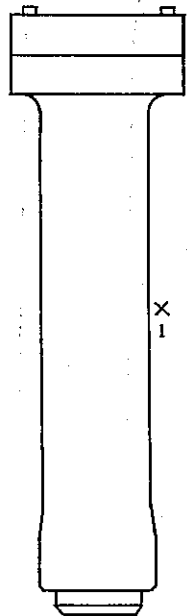


付表 7(8) 各測定点に於ける放射線量率

試験番号：702-08

測定年月日 S 60. 4. 26

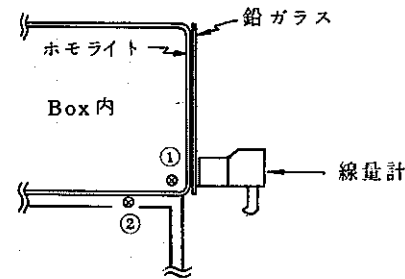
1. インナーカプセル表面 280 mR/Hr



鉛ガラス (2mm Pb 相当) 使用

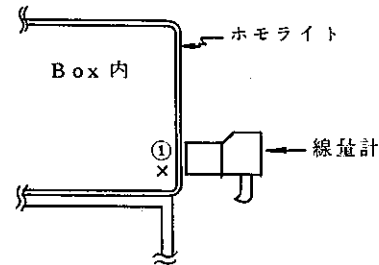
S. 60. 4. 30

	カプセル (燃料棒入)	カプセルのみ	燃料棒のみ
① パネル部へ密着	— mR/Hr	14 mR/Hr	200 mR/Hr
② Box 床部密着	—	20	450



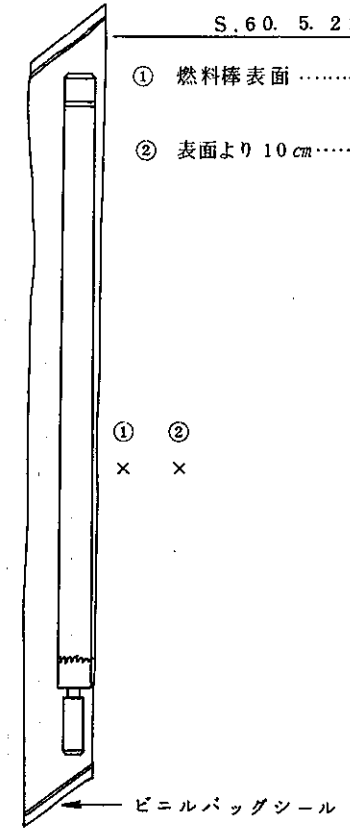
鉛ガラス未使用

	燃料棒のみ
① パネル部へ密着	500 mR/Hr



S. 60. 5. 22

① 燃料棒表面 160
② 表面より 10 cm —

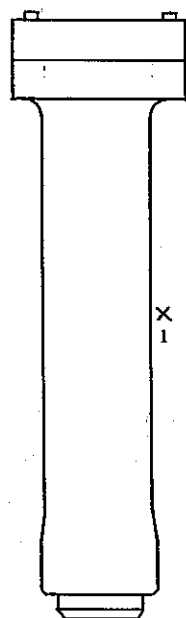


付表 7 (10) 各測定点に於ける放射線量率

試験番号: 702-10

測定年月日 S 60. 3. 04

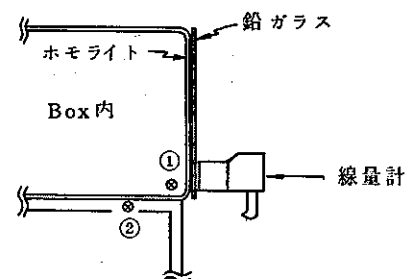
1. インナーカプセル表面 150 mR/Hr



鉛ガラス (2mm Pb 相当) 使用

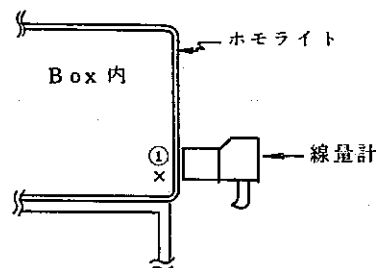
S. 60. 3. 05

	カプセル (燃料棒入)	カプセルのみ	燃料棒のみ
① パネル部へ密着	40 mR/Hr	5.8 mR/Hr	75 mR/Hr
② Box 床部密着	—	10	190



鉛ガラス未使用

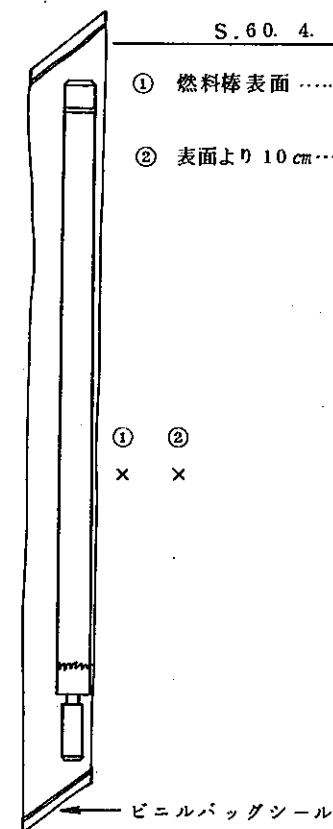
	燃料棒のみ
① パネル部へ密着	220 mR/Hr



S. 60. 4. 10

① 燃料棒表面 90

② 表面より 10 cm 14

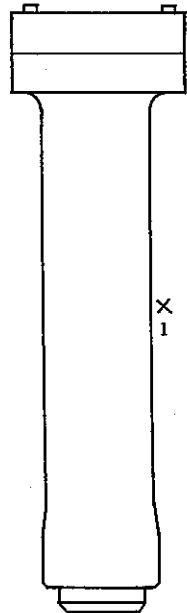


付表 7 (1) 各測定点に於ける放射線量率

試験番号：702-11

測定年月日 S 60. 5. 23

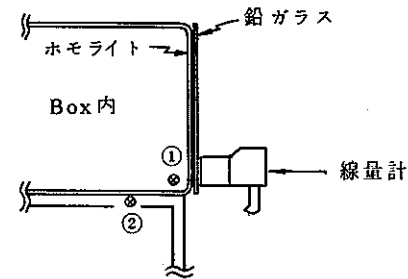
1. インナーカプセル表面 160 mR/Hr



鉛ガラス (2mm Pb 相当) 使用

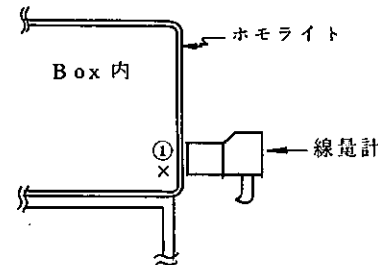
S. 60. 5. 24

	カプセル (燃料棒入)	カプセルのみ	燃料棒のみ
① パネル部へ密着	40 mR/Hr	7.4 mR/Hr	94 mR/Hr
② Box 床部密着	100	18	300



鉛ガラス未使用

	燃料棒のみ
① パネル部へ密着	300 mR/Hr



S. 60. 5. 24

① 燃料棒表面	350
② 表面より 10 cm	-

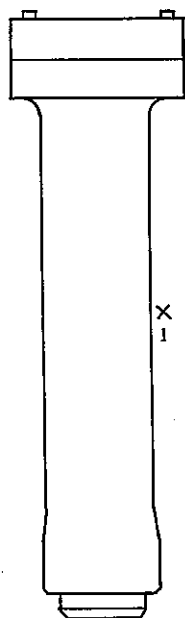


付表 7 (2) 各測定点に於ける放射線量率

試験番号: 702-12

測定年月日 S 60. 10. 08

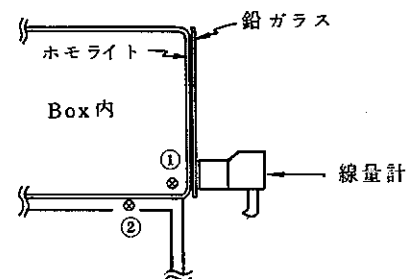
1. インナーカプセル表面 180 mR/Hr



鉛ガラス (2 mm Pb 相当) 使用

S.60. 10. 28

	カプセル (燃料棒入)	カプセルのみ	燃料棒のみ
① パネル部へ密着	40 mR/Hr	10 mR/Hr	80 mR/Hr
② Box 床部密着	—	15	160



鉛ガラス未使用

	燃料棒のみ
① パネル部へ密着	200 mR/Hr

