

J A E R I - M  
85-003

ガラス板に蒸着したニッケル鏡面の  
ガンマ線照射効果  
(改造3号炉中性子導管関連試験研究)

1985年2月

利 用 技 術 グ ル ー プ

日 本 原 子 力 研 究 所  
Japan Atomic Energy Research Institute

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の問合せは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokaimura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1985

---

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 横高野高速印刷

ガラス板に蒸着したニッケル鏡面のガンマ線照射効果  
(改造 3 号炉中性子導管関連試験研究)

日本原子力研究所東海研究所研究炉管理部  
研究炉開発室利用技術グループ<sup>+</sup>

(1985年1月10日受理)

改造 3 号炉計画の中性子導管として使用するため、ガラス板に蒸着したニッケル鏡面のガンマ線照射効果を、目視観察、平滑度測定、X 線回折で調べた。空気中の照射では  $10^8$  rad 照射で表面に斑点があらわれ、 $10^9$  rad では X 線回折像にニッケル以外の回折像が見られる。一方、真空、ヘリウム雰囲気中では  $10^9$  rad 照射でも大きな影響は見られない。

---

<sup>+</sup> グループ員：高橋秀武、金田義朗、市原正弘、熊井敏夫、鈴木正年、大友昭敏、宮本和千代（日本鋼管）、  
篠津和夫、坂本正誠（物理部）

Gamma Radiation Effects on the Mirror Surfaces of Nickel  
Deposited Glass Plates

Utilization Technology Group<sup>+</sup>

Department of Research Reactor Operation,  
Tokai Research Establishment, JAERI

( Received January 10, 1985 )

The effects of  $^{60}\text{Co}$  gamma radiation on the mirror surfaces of nickel deposited glass plates, which were planned to be used as the neutron guide tubes in the upgraded JRR-3, were examined by visual tests, surface flatness measurements and X-ray diffraction. After irradiation at a dose of  $10^8$  rad in air atmosphere, a good number of small spots were seen on the mirror surface. In the case of  $10^9$  rad irradiation in air atmosphere the spots were enlarged and a few new peaks were observed in the X-ray diffraction patterns. On the other hand, in vacuum and helium atmosphere, the nickel deposited mirror surfaces were not changed appreciably, even after irradiating to  $10^9$  rad.

Keywords: Research Reactor, Neutron Guide Tube, Gamma Radiation, Effects, Mirror Surface, Nickel Deposited Glass, Upgarded JRR-3

+ Group Members: Hidetake Takahashi, Yoshiro Kaneda, Masahiro Ichihara, Toshio Kumai, Masatoshi Suzuki, Akitoshi Othomo, Kazuchiyo Miyamoto(NKK), Kazuo Shinozu, Masanobu Sakamoto (Dept. Physics)

## 目 次

1. はじめに.....	1
2. 実験.....	1
3. 結果とまとめ.....	3
4. 謝辞.....	4

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Experiments .....	1
3. Results and Remarks.....	3
4. Acknowledgements .....	4

## 1. はじめに

研究用原子炉 J R R - 3 の改造に際して、既存の原子炉建屋に付属して広い面積の実験利用棟が設けられ、原子炉中心部から中性子導管を使って中性子を実験利用棟に導き、中性子散乱実験に効率よく利用することが計画されている。ここでいう中性子導管というのは、ガラス板の表面にニッケルを蒸着した鏡面で囲まれた、幅 2 cm、高さ最大 20 cm の矩形断面の管である。中性子は中性子導管の内面をニッケル鏡面により全反射を繰返して約 30 m から 60 m 位遠方まであまり損失なく到達する。また中性子導管を適當な曲率半径で、緩い円弧上に配置すると、曲率半径に応じて長波長部分だけを有効に導き、実験上バックグラウンドとなるエネルギーの高い短波長中性子を分離する効果を持っていく。

中性子導管は原子炉中心部から実験利用棟まで、冷中性子用 3 本と熱中性子用 2 本の合計 5 本設置する。それぞれの中性子導管は原子炉生体遮蔽体内の直管部、特定の波長以下を取り除く曲管部、実験装置まで中性子を導く直管部から成立っている。Fig.1 は原子炉遮蔽体内の直管部を示す概略図である。図からわかるように、熱中性子用中性子導管の先端は炉中心から約 3 m 離れているが、冷中性子用中性子導管の先端は原子炉プール外壁に接近しており、炉心から約 2 m の位置にある。冷中性子用中性子導管の場合、先端部で中性子とガンマ線の全量で約  $2 \times 10^6$  rad/h の照射を受けるものと推定されている。中性子導管を構成する鏡面は、ガラス板にニッケルを厚さ約 1000 Å<sup>1)</sup> に蒸着したものであり、鏡面の平滑度は角度で  $10^{-4}$  ラジアン程度が要求される。

このような蒸着膜が原子炉からの放射線によってどのような影響を受けるか、明らかにすべき問題点である。世界中で中性子導管はすでに相当数使用されているが、この問題に関する報告は未だ発表されていない。

この報告ではガラス板に蒸着したニッケル膜についてコバルト-60 によるガンマ線の照射試験について述べる。本来は原子炉中での照射試験が理想的なのであるが、照射後試料の取扱が放射化のため簡単ではないので、とりあえずガンマ線照射試験を行った。ガラス自身の強度についてのガンマ線照射効果については Zdaniewski<sup>2)</sup> などの報告がある。その中で著者は硼珪酸ガラスについてガンマ線照射を行っているが、 $10^8$  rad の照射では強度にあまり影響のないことを報告している。

## 2. 実験

### (1) 試料

改造 3 号炉では中性子導管用ガラスとして中性子遮蔽効果の大きい硼珪酸ガラスを予定しているが、現在のところ硼珪酸ガラス板にニッケルを蒸着した試料が入手できないので、当面中性子導管として実用化しているソーダ石灰ガラスにニッケル蒸着した試料を用いる。ニッケルを蒸着したガラス板試料は日本板硝子株式会社から提供されたものである。Fig.2 に照射前試料の外観写真と平滑度の測定結果を示す。試料は厚さ 5 mm、幅 15 mm、長さ 100 mm のフロート・ガラス板である。蒸着ニッケル膜の厚さは電気抵抗の測定から 1100 Å と推定されている。Fig.2 の平滑度の測定結果は、縦軸は 10 倍で示してあり、図で 1 mm が 0.1 mm に相当し、横軸は表面の凹凸を 50 万倍で示してあり、1 mm

## 1. はじめに

研究用原子炉 J R R - 3 の改造に際して、既存の原子炉建屋に付属して広い面積の実験利用棟が設けられ、原子炉中心部から中性子導管を使って中性子を実験利用棟に導き、中性子散乱実験に効率よく利用することが計画されている。ここでいう中性子導管というのは、ガラス板の表面にニッケルを蒸着した鏡面で囲まれた、幅 2 cm, 高さ最大 20 cm の矩形断面の管である。中性子は中性子導管の内面をニッケル鏡面により全反射を繰返して約 30 m から 60 m 位遠方まであまり損失なく到達する。また中性子導管を適当な曲率半径で、緩い円弧上に配置すると、曲率半径に応じて長波長部分だけを有効に導き、実験上バックグラウンドとなるエネルギーの高い短波長中性子を分離する効果を持っている。

中性子導管は原子炉中心部から実験利用棟まで、冷中性子用 3 本と熱中性子用 2 本の合計 5 本設置する。それぞれの中性子導管は原子炉生体遮蔽体内の直管部、特定の波長以下を取り除く曲管部、実験装置まで中性子を導く直管部から成立っている。Fig.1 は原子炉遮蔽体内の直管部を示す概略図である。図からわかるように、熱中性子用中性子導管の先端は炉中心から約 3 m 離れているが、冷中性子用中性子導管の先端は原子炉プール外壁に接近しており、炉心から約 2 m の位置にある。冷中性子用中性子導管の場合、先端部で中性子とガンマ線の全量で約  $2 \times 10^6$  rad/h の照射を受けるものと推定されている。中性子導管を構成する鏡面は、ガラス板にニッケルを厚さ約 1000 Å<sup>1)</sup> に蒸着したものであり、鏡面の平滑度は角度で  $10^{-4}$  ラジアン程度が要求される。

このような蒸着膜が原子炉からの放射線によってどのような影響を受けるか、明らかにすべき問題点である。世界中で中性子導管はすでに相当数使用されているが、この問題に関する報告は未だ発表されていない。

この報告ではガラス板に蒸着したニッケル膜についてコバルト - 60 によるガンマ線の照射試験について述べる。本来は原子炉中での照射試験が理想的なのであるが、照射後試料の取扱が放射化のため簡単ではないので、とりあえずガンマ線照射試験を行った。ガラス自身の強度についてのガンマ線照射効果については Zdaniewski<sup>2)</sup> などの報告がある。その中で著者は硼珪酸ガラスについてガンマ線照射を行っているが、 $10^6$  rad の照射では強度にあまり影響のないことを報告している。

## 2. 実験

### (1) 試料

改造 3 号炉では中性子導管用ガラスとして中性子遮蔽効果の大きい硼珪酸ガラスを予定しているが、現在のところ硼珪酸ガラス板にニッケルを蒸着した試料が入手できないので、当面中性子導管として実用化しているソーダ石灰ガラスにニッケル蒸着した試料を用いる。ニッケルを蒸着したガラス板試料は日本板硝子株式会社から提供されたものである。Fig.2 に照射前試料の外観写真と平滑度の測定結果を示す。試料は厚さ 5 mm, 幅 15 mm, 長さ 100 mm のフロート・ガラス板である。蒸着ニッケル膜の厚さは電気抵抗の測定から 1100 Å と推定されている。Fig.2 の平滑度の測定結果は、縦軸は 10 倍で示してあり、図で 1 mm が 0.1 mm に相当し、横軸は表面の凹凸を 50 万倍で示してあり、1 mm

が $2^{\circ}\text{A}$ に相当する。図で基線が傾いているのは試料の置き方によるものであり、また鋭い立ち上がりは雑音と考えられている。凹凸の程度は大きくて $2\text{mm}$ 位であるので $4^{\circ}\text{A}$ が最高と考えてよく、角度では $10^{-5}$ ラジアン以内である。

### (2) ガンマ線照射

ガンマ線の照射は原研のコバルトー60ガンマ線照射施設で行った。中性子導管を原子炉生体遮蔽内に設置する際のニッケル鏡面の周りの雰囲気としては、中性子吸収の少ない不活性ガスであるヘリウム充填、真空及び空気が考えられる。今回の照射試験でも試料周りの雰囲気としてこれらの3種を選んだ。酸化する可能性のないヘリウム及び真空では最高照射量の $10^9\text{ rad}$ 照射を行い、酸化雰囲気の空気中では $10^7$ ,  $10^8$ ,  $5 \times 10^8$ ,  $10^9\text{ rad}$ の照射を行い照射量依存性の試験を行った。

空気中での照射は試験管に試料を入れた状態で行い、真空とヘリウム雰囲気の場合はガラス管に封じ込んで行った。照射時の温度は室温である。照射線量率と照射時間はTable.1にまとめて示した。照射量 $10^9\text{ rad}$ は現在のコバルトー60照射施設では照射線量率最高のところで1ヶ月かかり、さらに1桁照射量を上げるには約1年を必要とすることから、照射量としては実際上最高の値である。

### (3) 外観目視

照射量、照射雰囲気にともなう外観の変化はFig.3からFig.9までの図に平滑度測定結果、X線回折像とともに外観写真を示す。また、照射結果をTable.1にまとめて示す。

ガラス自身は照射量最低の $10^7\text{ rad}$ で濃い茶褐色に変色しているが、空気中の照射でもこの照射量では蒸着ニッケル表面にはあまり大きな変化は見られない。空気中の照射量がふえるにつれて、 $10^8\text{ rad}$ では小さな斑点が見られ、 $5 \times 10^8\text{ rad}$ では前に斑点になっていたものが発達しているとともに斑点が増加している。 $10^9\text{ rad}$ では酸化したように黒ずみた部分の中に大きな焦げ跡のような変化が見られる。真空とヘリウム雰囲気でガラス管の中に封じ込んだ場合は、 $10^9\text{ rad}$ の照射でもニッケル蒸着鏡面は目視ではほとんど変化が見られない。

### (4) 平滑度の測定

ニッケル蒸着面の凹凸の程度へのガンマ線の照射効果を調べた。測定は日本板硝子株式会社に依頼して行った。測定に用いた装置は小坂研究所の表面段差測定器であり、ダイヤモンドの触針により検出した表面段差を差動トランスで增幅し、記録紙に書かせるものである。增幅倍率は50万倍である。

測定は目視検査で表面があまり変わっていない空気中 $10^7\text{ rad}$ 照射の試料、真空とヘリウム雰囲気での $10^9\text{ rad}$ 照射の試料、そして標準として、非照射試料について行った。結果はFig.3, 4, 8, 9及びTable.1に示した。非照射の場合であるFig.3はFig.2の場合と同じであり、試料あるいは測定によりこの程度の差は生ずるということである。Fig.3の非照射の場合大きなうねりは高さで約 $6\text{ \AA}$ 、角度は $10^{-7}$ ラジアン程度での極めて小さい値である。Fig.4の $10^7\text{ rad}$ 空気中照射の場合、全体としてあまり大きな変化はないが、測定開始直後、図で下の方に立ち上がりがある。しかしこれでも段差の大きさは $10\text{ \AA}$ 程度であり、角度で $10^{-6}$ ラジアン程度である。Fig.8の真空中 $10^9\text{ rad}$ 照射の場合は変化がはげしいように見える。高い鋭い立ち上がりは雑音を含んでいると考えられる。この場合大きなうねりで高さ約 $12\text{ \AA}$ 、角度にして $4 \times 10^{-7}$ ラジアン程度である。鋭い立ち上がりでも高さ約 $15\text{ \AA}$ で、角度にして $1 \times 10^{-5}$ ラジアンである。Fig.9のヘリウム中の照射は基線にうねりがあるだけで大きな変化はない。いずれにせよ表面の凹凸は実用上 $100\text{ \AA}$ 以内、 $10^{-5}$ ラジアン以内になつていれば、中性子導管として大きな障害にはならないという研究報告が京都大学原子炉実験所から報告されていることから、真空中、またはヘリウム中では、ガンマ線 $10^9\text{ rad}$ の照射までは、大きな

損傷はないといえる。

#### (5) X線回折試験

ガンマ線照射による蒸着ニッケル膜の原子構造の変化あるいは化合物の生成などの検出のためX線の回折試験を行った。回折像はFig.3～9に示す。銅ターゲットからの波長 $1.54\text{ \AA}$ の特性X線を使用し、結晶性ニッケルの $111$ 回折線（面間隔 $2.034\text{ \AA}$ 、反射角 $44^\circ 24'$ ）と $200$ 回折線（面間隔 $1.762\text{ \AA}$ 、反射角 $51^\circ 50'$ ）に相当する回折像の測定を行った。Fig.3の非照射試料回折像では、回折角度は予想される位置であるが、回折像の幅は通常のニッケル金属による幅より広がっている。このことから、蒸着ニッケル膜では結晶性がある程度は残っているが、かなり乱れた構造となっており、ガラス状非晶質の構造に近づいているものと推定される。Fig.4, 5の $10^7\text{ rad}$ ,  $10^8\text{ rad}$ の空気中照射では回折像の高さが非照射の場合に比べ減少し、幅が多少広がっている。Fig.6の $5 \times 10^8\text{ rad}$ 空気中照射の場合にはこの傾向が一層進んでいる。照射量とともに逐次結晶構造の乱れが増加しているものと考えられる。

Fig.6では角度 $44^\circ$ 付近の $111$ 回折像の前後に凹凸が見え、新しい回折像がでているように見える。Fig.7は空気中 $10^9\text{ rad}$ 照射の場合である。ここでは新しい回折像を確かめるため、低角度の方も含め、測定時間を倍にして測定を行った。したがってFig.7で示される強度を他の場合と比較するにはFig.7の場合の半分にする必要がある。そのうえでFig.7を見ると、2つの回折像の強度はFig.6の場合より減少している。

また回折角 $38^\circ 40'$ 付近には明らかに回折像が見え、その他にも小さな突起が見られる。他の場合低角度の測定結果がないので比較できないが、 $111$ 回折像前後の凹凸は照射量の増加にともない現れてきているので低角度での回折像も照射量にともなうものと考えられる。これらの回折像がどのような物質によるものかを、既知のニッケル化合物の回折物と比較検討してみたが、対応する物質が見当たらない。しかし目視により黒く見えるところは、ニッケル単体ではなく、他の回折線の存在が認められることから化合物になっているものと推定される。Fig.8とFig.9は真空中及びヘリウム雰囲気中で $10^9\text{ rad}$ のガンマ線照射の場合である。全体として両者とも非照射の場合とあまり大きな変化はない。目視による蒸着鏡面にあまり変化がないことに対応する。

### 3. 結果とまとめ

ニッケル蒸着ガラス板のガンマ線照射試験の結果をTable.1にまとめて示した。空気中での照射の場合は照射量の増加とともに外観でも明らかに変化が見られ、またX線回折像もそれに対応するようにならぬ。一方、真空中とヘリウム雰囲気での照射では、 $10^9\text{ rad}$ の照射量でも、外観、平滑度、X線ともあまり変化がない。以上のことからガンマ線照射下で鏡面の損傷を防ぐには酸化の可能性のない雰囲気が好ましいと考えられる。中性子導管を原子炉遮蔽体内の実験孔に設置する場合には、上記の結果及び実用上の維持・管理の面からヘリウム雰囲気が適している。

今回の試験での照射量 $10^9\text{ rad}$ は単純計算で原子炉プール外壁付近に於ける約1ヶ月の積算線量に相当する。これ以上の線量の照射、及び原子炉内での中性子を含む放射線下での照射の影響は今後検討すべきことである。これらの点に関してはヨーロッパにおいても議論されているようであるが、その詳しい内容は明らかでない。しかしその対策として中性子吸収の大きい硼珪酸ガラスを使用せずに

損傷はないといえる。

#### (5) X線回折試験

ガンマ線照射による蒸着ニッケル膜の原子構造の変化あるいは化合物の生成などの検出のためX線の回折試験を行った。回折像はFig.3～9に示す。銅ターゲットからの波長 $1.54\text{ \AA}$ の特性X線を使用し、結晶性ニッケルの $111$ 回折線（面間隔 $2.034\text{ \AA}$ 、反射角 $44^\circ 24'$ ）と $200$ 回折線（面間隔 $1.762\text{ \AA}$ 、反射角 $51^\circ 50'$ ）に相当する回折像の測定を行った。Fig.3の非照射試料回折像では、回折角度は予想される位置であるが、回折像の幅は通常のニッケル金属による幅より広がっている。このことから、蒸着ニッケル膜では結晶性がある程度は残っているが、かなり乱れた構造となっており、ガラス状非晶質の構造に近づいているものと推定される。Fig.4、5の $10^7\text{ rad}$ 、 $10^8\text{ rad}$ の空気中照射では回折像の高さが非照射の場合に比べ減少し、幅が多少広がっている。Fig.6の $5 \times 10^8\text{ rad}$ 空気中照射の場合にはこの傾向が一層進んでいる。照射量とともに逐次結晶構造の乱れが増加しているものと考えられる。

Fig.6では角度 $44^\circ$ 付近の $111$ 回折像の前後に凹凸が見え、新しい回折像がでているように見える。Fig.7は空気中 $10^9\text{ rad}$ 照射の場合である。ここでは新しい回折像を確かめるため、低角度の方も含め、測定時間を倍にして測定を行った。したがってFig.7で示される強度を他の場合と比較するにはFig.7の場合の半分にする必要がある。そのうえでFig.7を見ると、2つの回折像の強度はFig.6の場合より減少している。

また回折角 $38^\circ 40'$ 付近には明らかに回折像が見え、その他にも小さな突起が見られる。他の場合低角度の測定結果がないので比較できないが、 $111$ 回折像前後の凹凸は照射量の増加にともない現れてきているので低角度での回折像も照射量にともなうものと考えられる。これらの回折像がどのような物質によるものかを、既知のニッケル化合物の回折物と比較検討してみたが、対応する物質が見当たらない。しかし目視により黒く見えるところは、ニッケル単体ではなく、他の回折線の存在が認められることから化合物になっているものと推定される。Fig.8とFig.9は真空中及びヘリウム雰囲気中で $10^9\text{ rad}$ のガンマ線照射の場合である。全体として両者とも非照射の場合とあまり大きな変化はない。目視による蒸着鏡面にあまり変化がないことに対応する。

### 3. 結果とまとめ

ニッケル蒸着ガラス板のガンマ線照射試験の結果をTable.1にまとめて示した。空気中での照射の場合は照射量の増加とともに外観でも明らかに変化が見られ、またX線回折像もそれに対応するようにならぬでいる。一方、真空中とヘリウム雰囲気での照射では、 $10^9\text{ rad}$ の照射量でも、外観、平滑度、X線ともあまり変化がない。以上のことからガンマ線照射下で鏡面の損傷を防ぐには酸化の可能性のない雰囲気が好ましいと考えられる。中性子導管を原子炉遮蔽体内の実験孔に設置する場合には、上記の結果及び実用上の維持・管理の面からヘリウム雰囲気が適している。

今回の試験での照射量 $10^9\text{ rad}$ は単純計算で原子炉プール外壁付近に於ける約1ヶ月の積算線量に相当する。これ以上の線量の照射、及び原子炉内での中性子を含む放射線下での照射の影響は今後検討すべきことである。これらの点に関してはヨーロッパにおいても議論されているようであるが、その詳しい内容は明らかでない。しかしその対策として中性子吸収の大きい硼珪酸ガラスを使用せずに

ソーダガラスを使用する方法とニッケル厚板の表面を研磨して仕上げて使用する方法とが検討されており、後者については開発に着手しているといわれている。このような背景を考慮すると中性子導管鏡面の照射損傷防止の見通しをつけるため、次のような試験が必要である。

- (1) ソーダ石灰ガラスに蒸着したニッケル鏡面についての原子炉内照射。
- (2) 硼珪酸ガラスに蒸着したニッケル鏡面についての原子炉内照射。
- (3) ニッケル厚板の研磨仕上げの開発と原子炉内照射。
- (4) ガラス板に蒸着したニッケル鏡面への温度の影響。

#### 4. 謝 辞

ニッケル蒸着ガラス試料の製作と、表面平滑度の測定にご協力下さいました日本板硝子株式会社・主席技師、西河正三郎氏、X線回折にご協力を願いした物理部、本橋治彦氏、またガンマ線照射をお願いした化学部、コバルト-60照射室の皆様に心から感謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) "K U R 中性子導管": 京都大学原子炉実験所・原子炉設備部門 (昭和49年)
- 2) Zdaniewski, W.A., Easler, T.E., Bradt, R.C. : J. Am. Ceram. Soc. 66, 311 (1983)

ソーダガラスを使用する方法とニッケル厚板の表面を研磨して仕上げて使用する方法とが検討されており、後者については開発に着手しているといわれている。このような背景を考慮すると中性子導管鏡面の照射損傷防止の見通しをつけるため、次のような試験が必要である。

- (1) ソーダ石灰ガラスに蒸着したニッケル鏡面についての原子炉内照射。
- (2) 硼珪酸ガラスに蒸着したニッケル鏡面についての原子炉内照射。
- (3) ニッケル厚板の研磨仕上げの開発と原子炉内照射。
- (4) ガラス板に蒸着したニッケル鏡面への温度の影響。

#### 4. 謝 辞

ニッケル蒸着ガラス試料の製作と、表面平滑度の測定にご協力下さいました日本板硝子株式会社・主席技師、西河正三郎氏、X線回折にご協力を願いした物理部、本橋治彦氏、またガンマ線照射をお願いした化学部、コバルト-60照射室の皆様に心から感謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) "KUR中性子導管": 京都大学原子炉実験所・原子炉設備部門 (昭和49年)
- 2) Zdaniewski, W.A., Easler, T.E., Bradt, R.C. : J. Am. Ceram. Soc. 66, 311 (1983)

Table 1 フラス板に蒸着したニッケルのコバルト-60, ガンマ線照射効果一覧表

試料番号	照 射 量	雰 囲 気	目 視 檢 查	平 滑 度 測 定	X 線 回 折
1	$1.0 \times 10^7$ rad ( $1.9 \times 10^4$ r/h × 530h)	空氣中	表面あまり変らない	最大山の高さ $\sim 10\text{\AA}$ 傾き角で $5 \times 10^{-6}$ ラジアン	回折強度多少減少
2	$1.0 \times 10^8$ rad ( $1.0 \times 10^5$ r/h × 560h)	空氣中	酸化したような感じ 曇つてくる。		強度減、幅増加
3	$1.0 \times 10^8$ rad ( $1.0 \times 10^6$ r/h × 300h)	空氣中	小さな斑点があらわれる		強度なお減、幅増加 小さな山が見えてくる
4	$1.0 \times 10^9$ rad ( $1.0 \times 10^6$ r/h × 590h)	空氣中	こげあとのような 黒いところができる		強度なお減 他の回折線が出る
5	$1.0 \times 10^9$ rad ( $1.0 \times 10^6$ r/h × 590h)	真空封じ込み ( $10^{-3}$ Torr)	ほとんど変らない	最大山の高さ $\sim 12\text{\AA}$ 傾き角で $3.4 \times 10^{-7}$ ラジアン	あまり変わらない
6	$1.0 \times 10^9$ rad ( $1.0 \times 10^6$ r/h × 590h)	ヘリウム 封じ込み (0.3ata abs)	ほとんど変らない	最大山の高さ $\sim 10\text{\AA}$ 傾き角で $2.5 \times 10^{-7}$ ラジアン	ほとんど変わらない

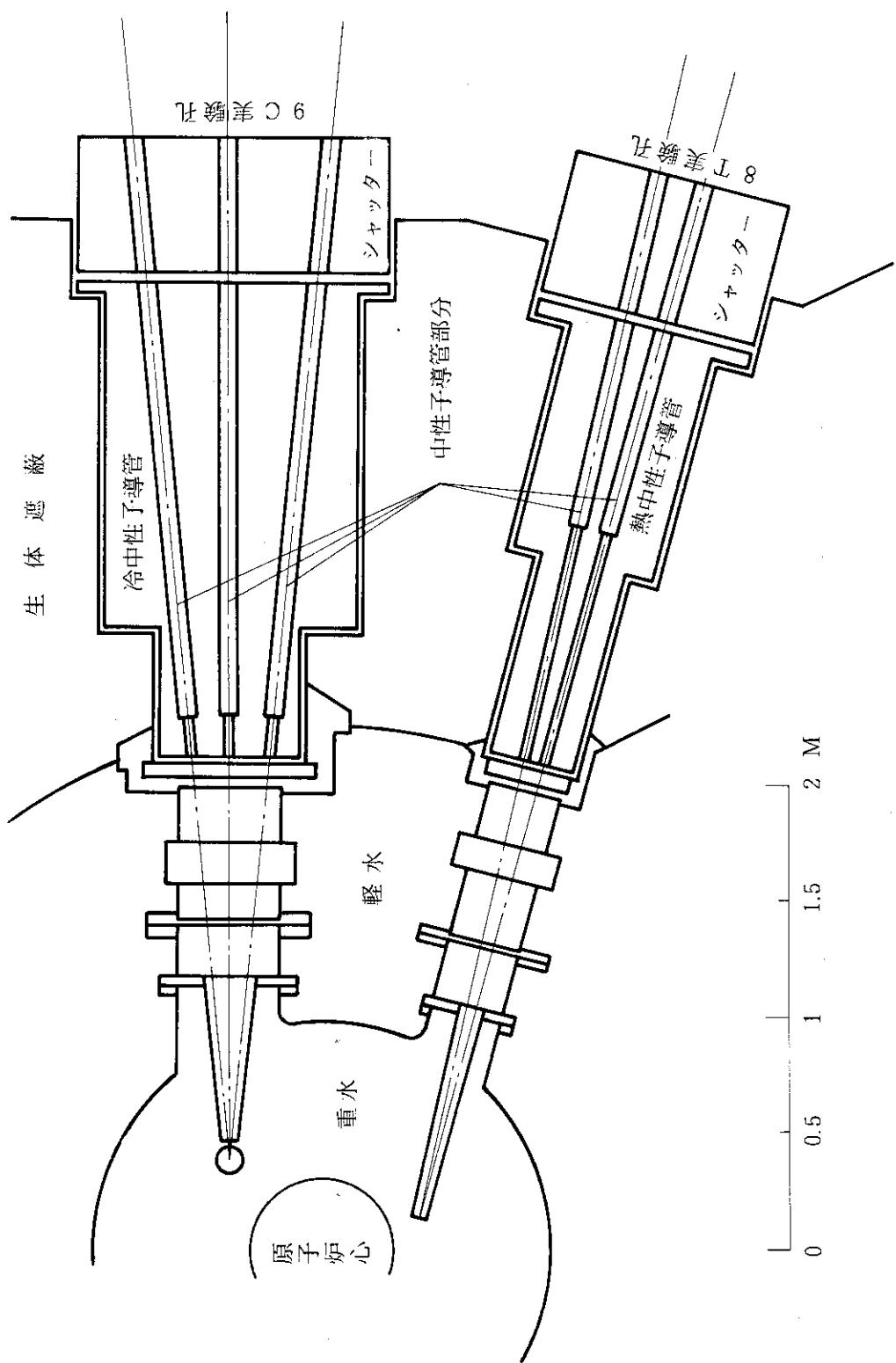
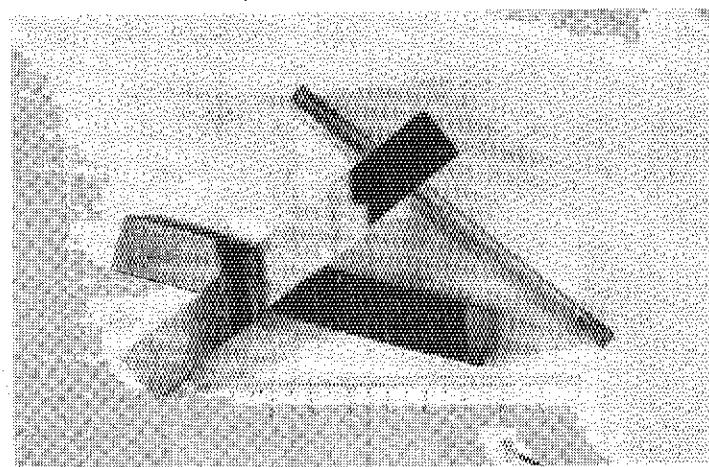


Fig. 1 中性子導管原子炉内部配置概念図

(a) Photograph.



(b) Surface Flatness.

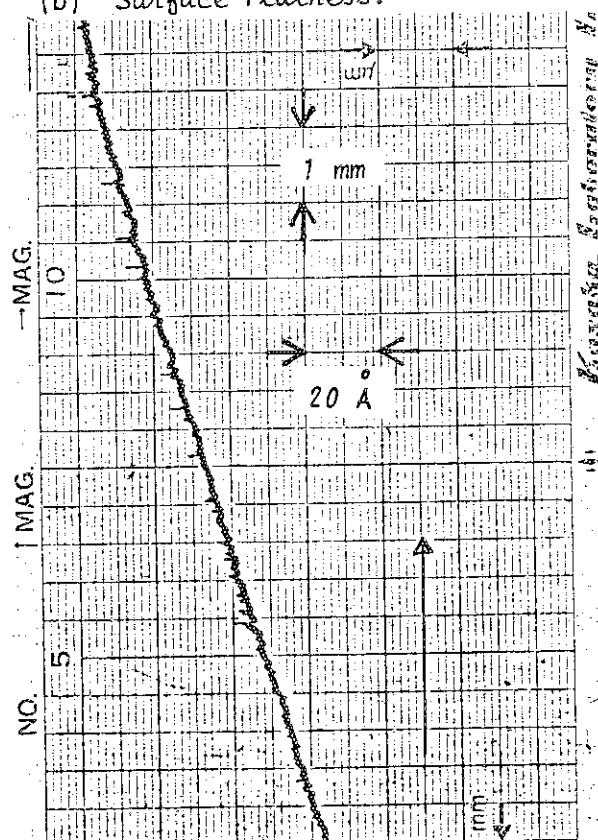
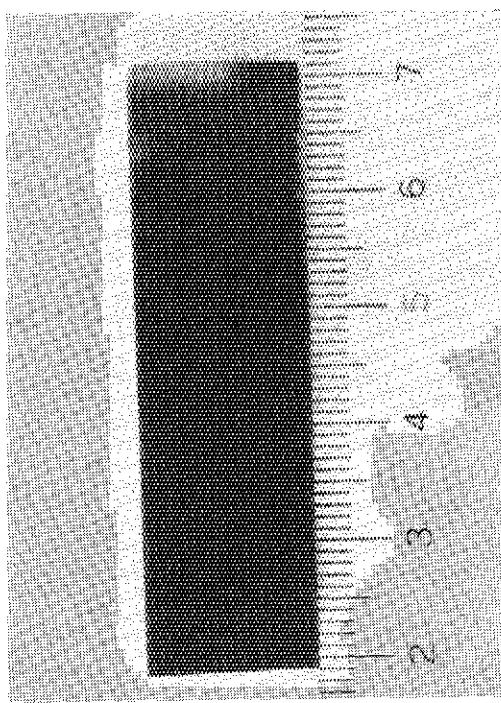


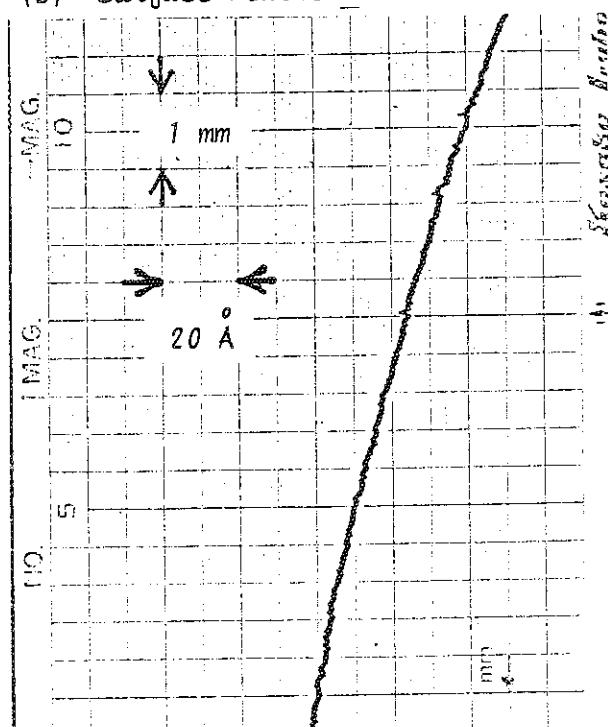
Fig. 2 ニッケル蒸着ガラス試料

Sample No. 0 : No Irradiation.

(a) Photograph.



(b) Surface Flatness.



(c) X-ray Diffraction.

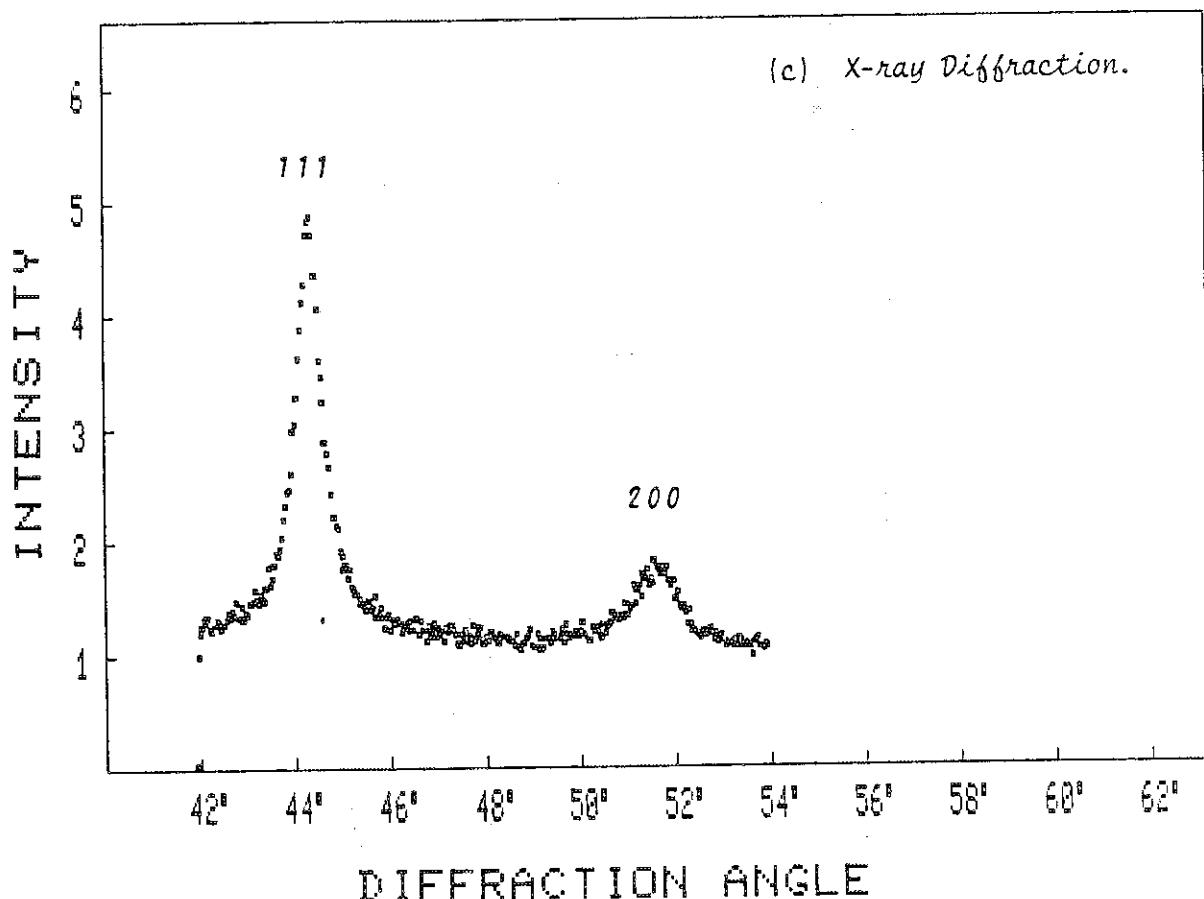
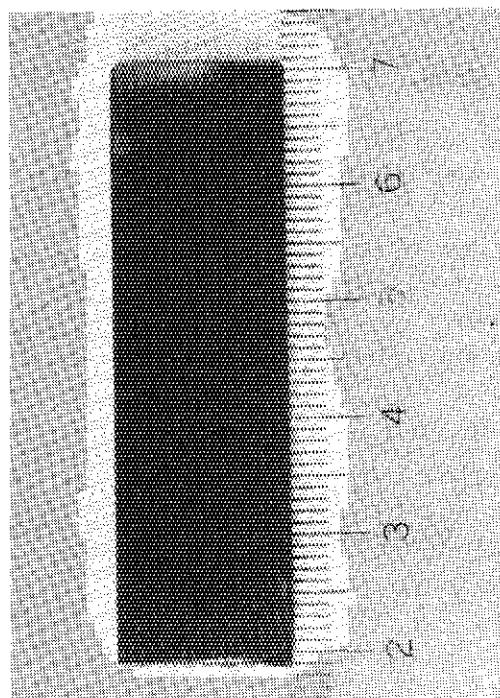


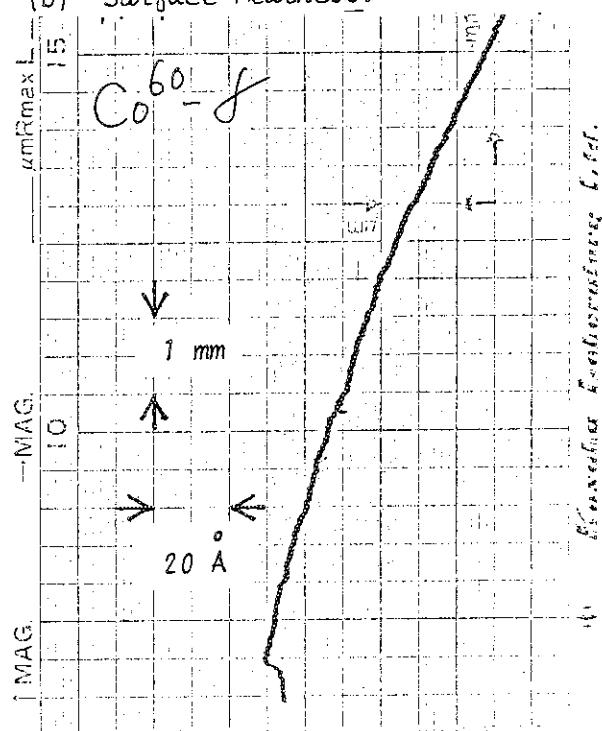
Fig. 3 非照射試料の外観写真、平滑度、X線回折図

Sample No. 1 :  $\text{Co}^{60}$ -gamma  $1 \times 10^7$  rad Irradiation in Air.

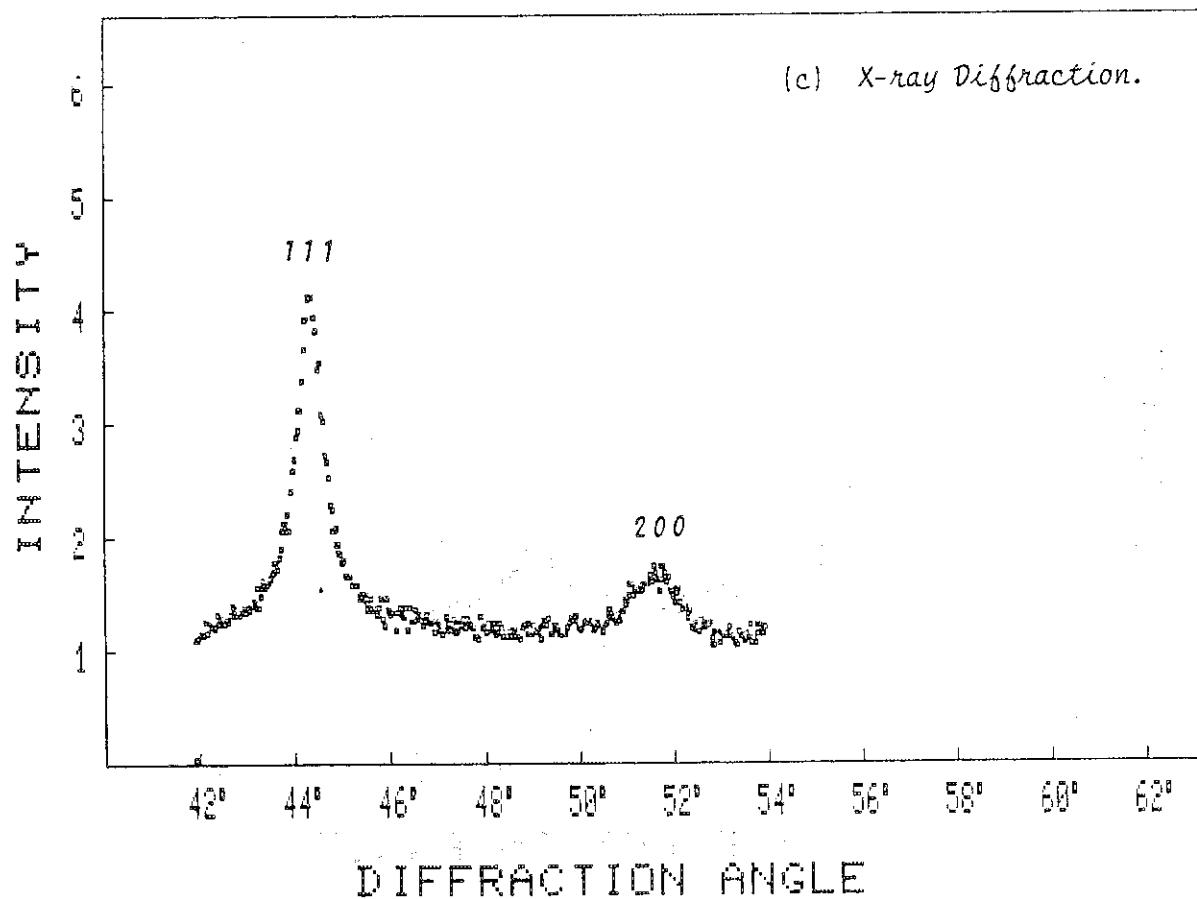
(a) Photograph.



(b) Surface Flatness.

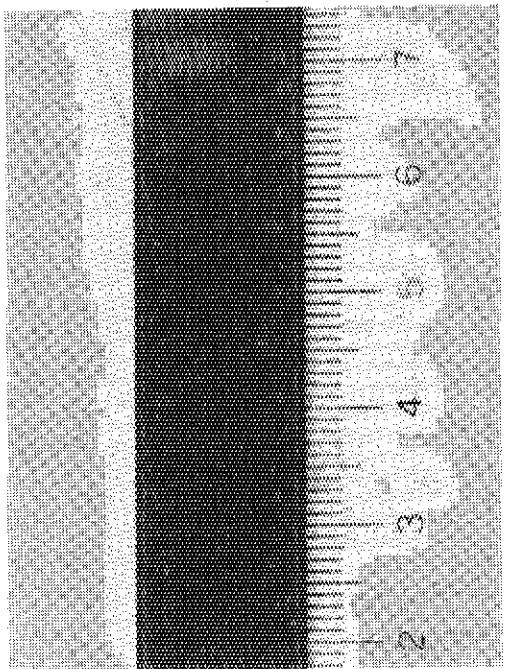


(c) X-ray Diffraction.

Fig. 4 空気中  $10^7$  rad 照射試料の外観写真、平滑度、X線回折図

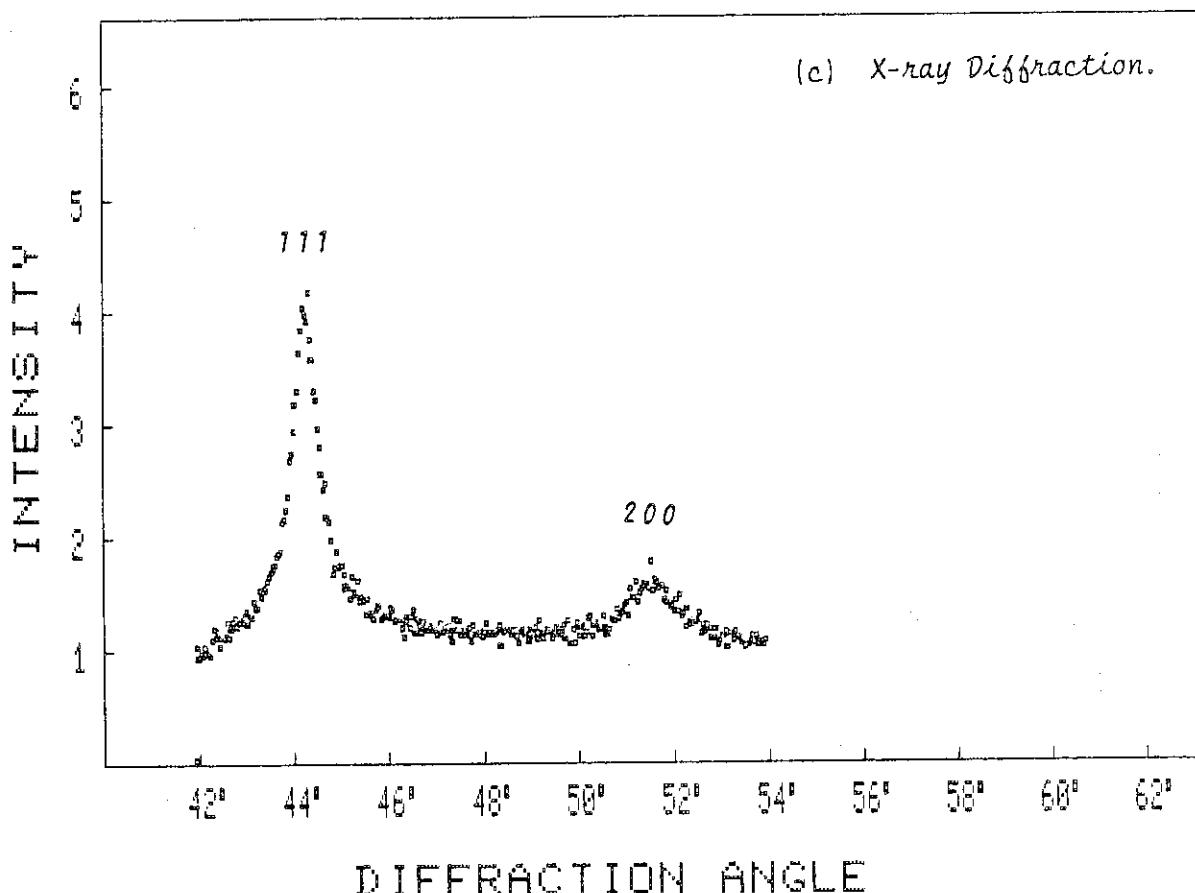
Sample No. 2 :  $\text{Co}^{60}$ -gamma  $1 \times 10^8$  rad Irradiation in Air.

(a) Photograph.



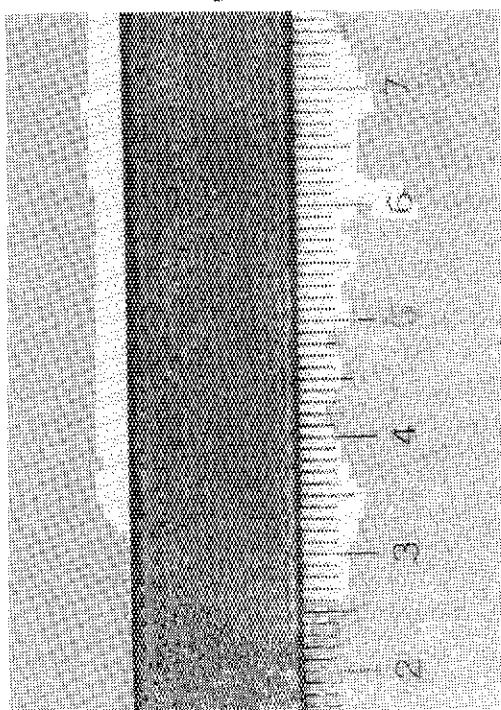
(b) Surface Flatness.

No Data.

Fig. 5 空気中  $10^8$  rad 照射試料の外観写真, 平滑度, X線回折図

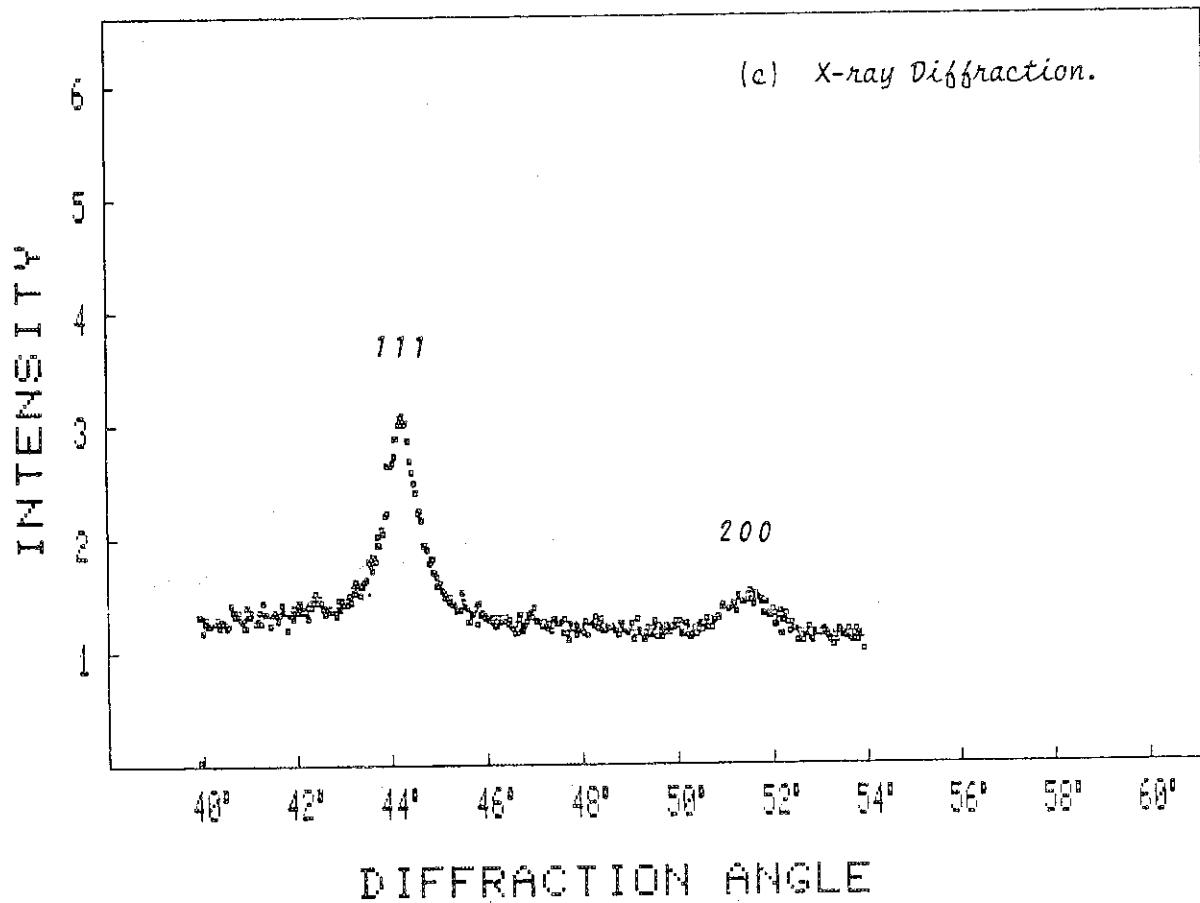
Sample No. 3 :  $\text{Co}^{60}$ -gamma  $5 \times 10^8$  rad Irradiation in Air.

(a) Photograph.



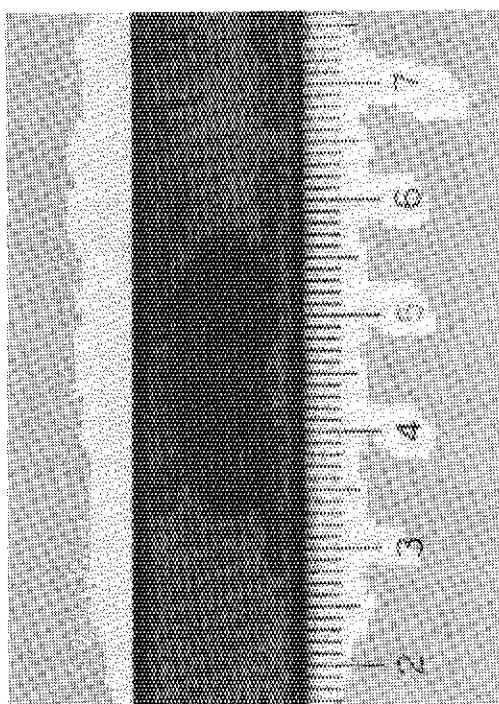
(b) Surface Flatness.

No Data.

Fig. 6 空気中  $5 \times 10^8$  rad 照射試料の外観写真、平滑度、X線回折図

Sample No. 4 :  $\text{Co}^{60}$ -gamma  $1 \times 10^9$  rad Irradiation in Air.

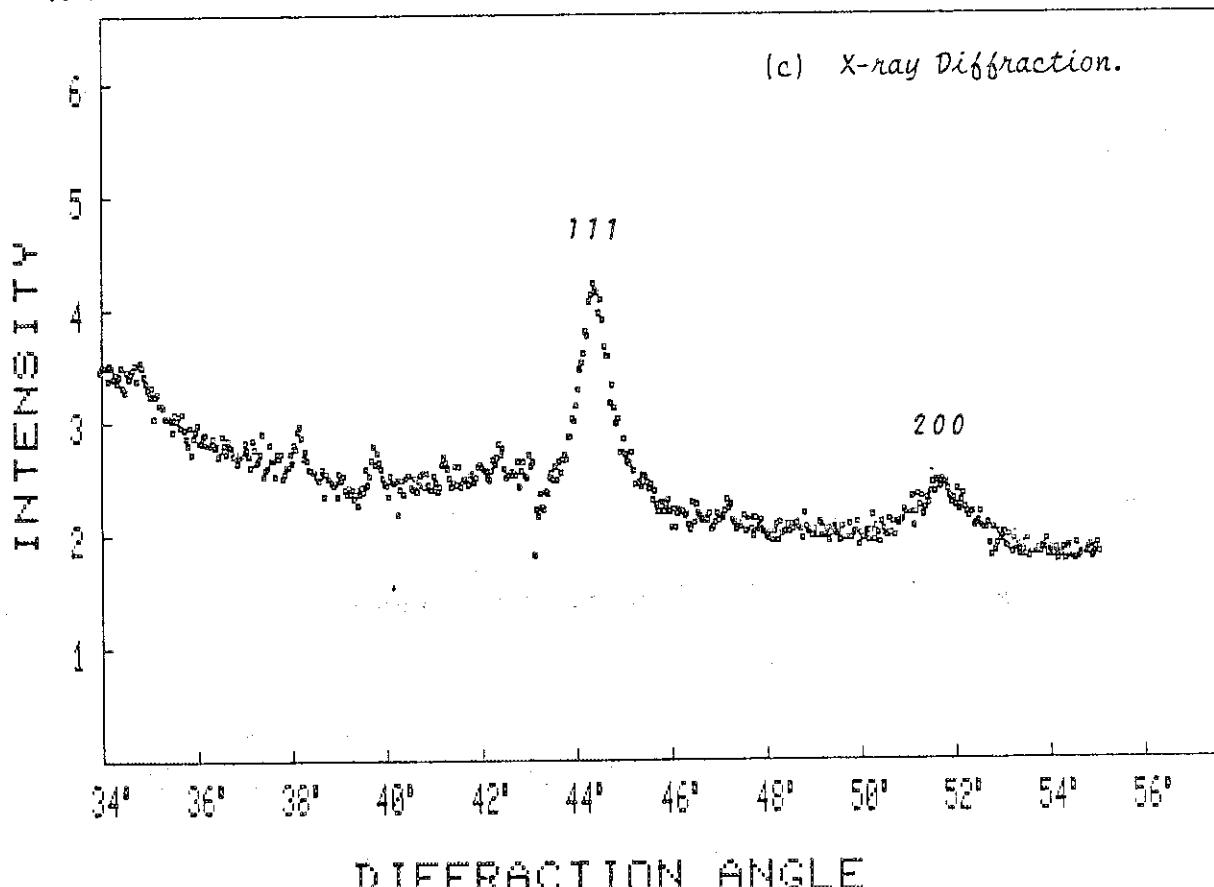
(a) Photograph.

 $\times 1/2$ 

(b) Surface Flatness.

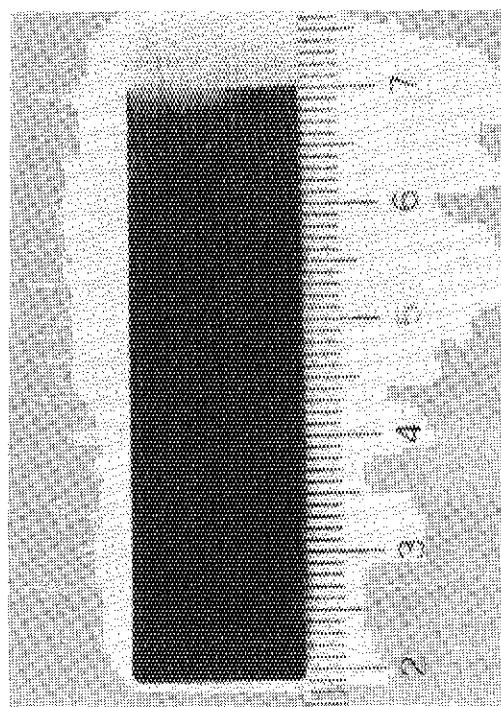
No Data.

(c) X-ray Diffraction.

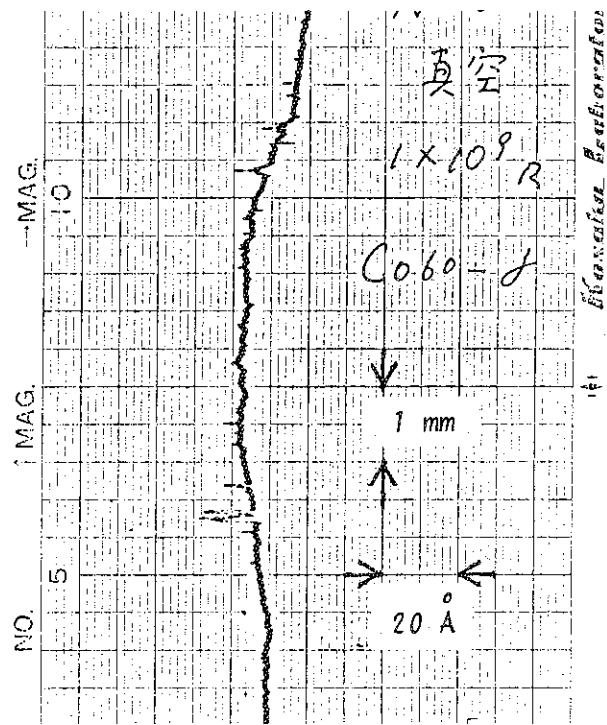
Fig. 7 空気中  $10^9$  rad 照射試料の外観写真、平滑度、X線回折図

Sample No. 5 :  $\text{Co}^{60}$ -gamma  $1 \times 10^9$  rad Irradiation in Vacuum.

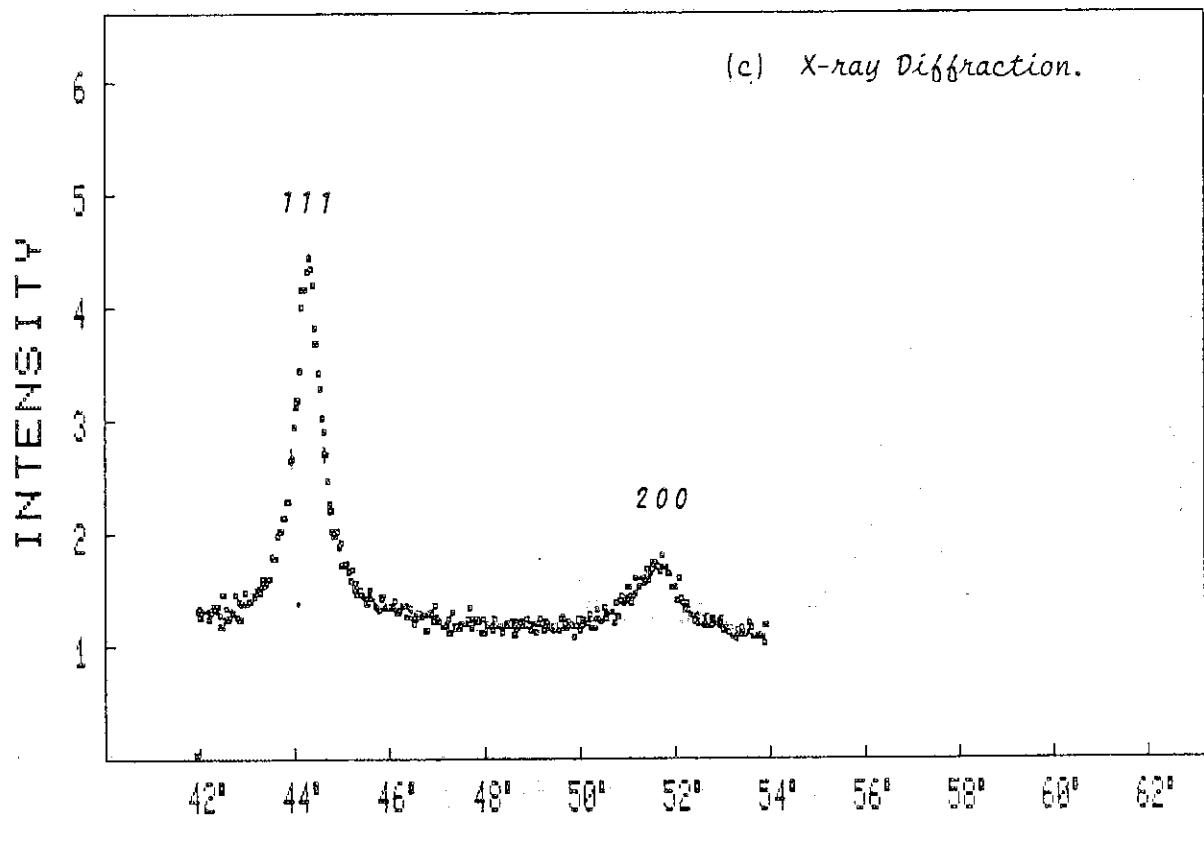
(a) Photograph.



(b) Surface Flatness.

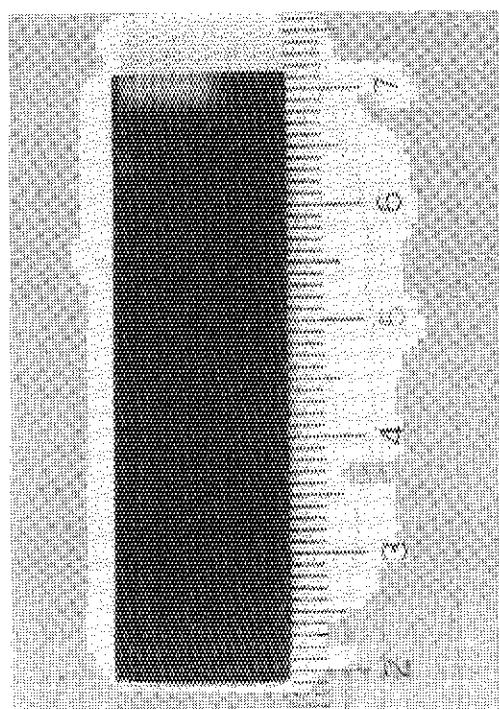


(c) X-ray Diffraction.

Fig. 8 真空中  $10^9$  rad 照射試料の外観写真、平滑度、X線回折図

Sample No. 6 :  $\text{Co}^{60}$ -gamma  $1 \times 10^9$  rad Irradiation in Helium.

(a) Photograph.



(b) Surface Flatness.

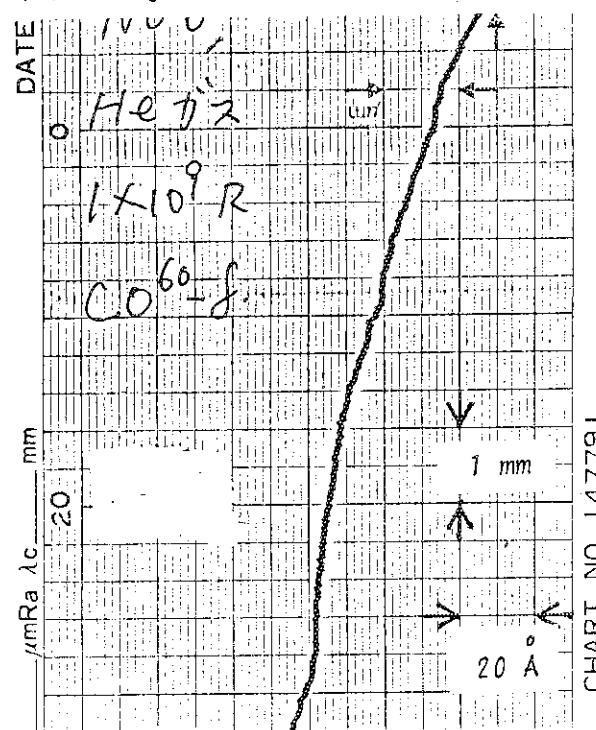
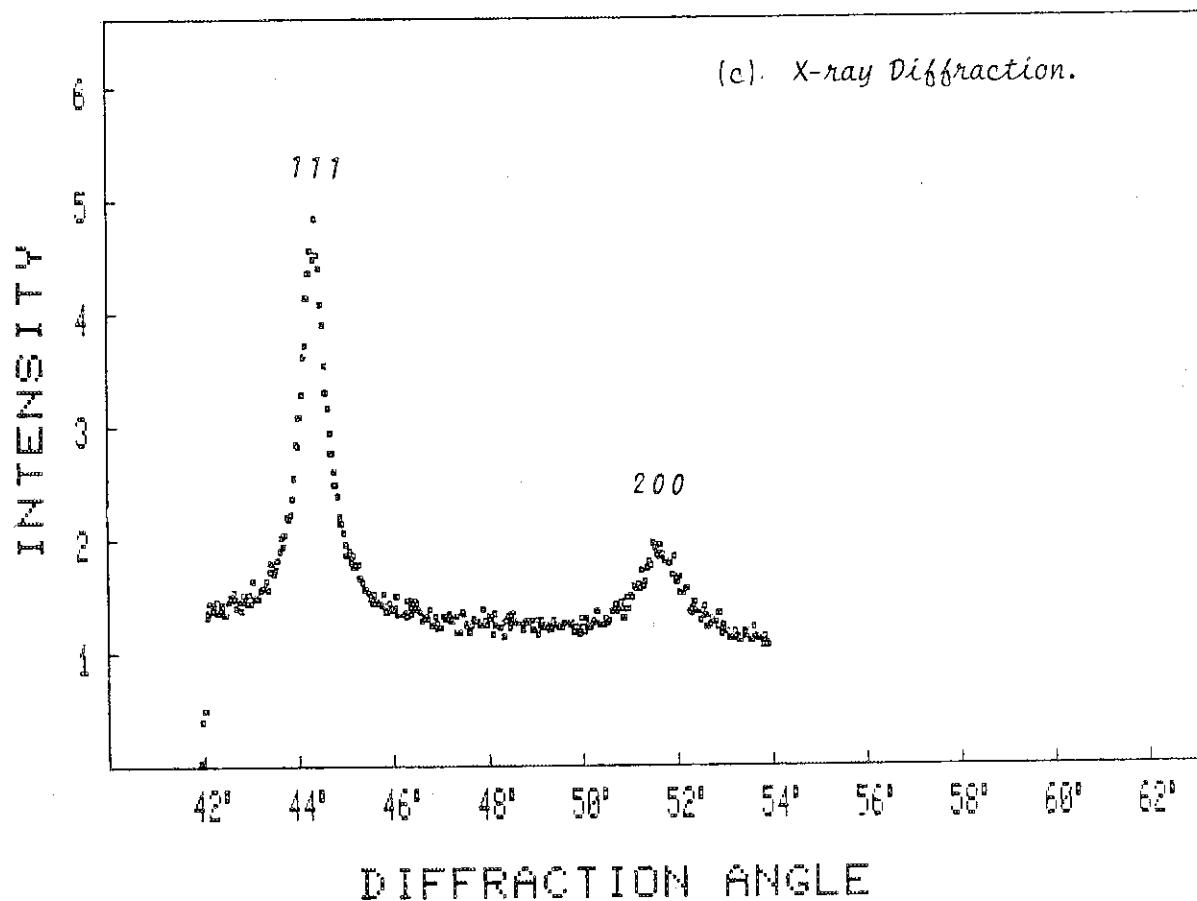


CHART NO. 147791

(c) X-ray Diffraction.

Fig. 9 ヘリウム中  $10^9$  rad 照射試料の外観写真、平滑度、X線回折図