

JAERI-M  
86-037

金属鏡面の中性子全反射の測定  
(JRR-3 改造炉の中性子導管に関する試験研究)

1986年3月

鈴木 正年・川端 祐司・高橋 秀武  
坂本 正誠

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。

入手の間合わせは、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, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1986

---

編集兼発行 日本原子力研究所  
印刷 日立高速印刷株式会社

金属鏡面の中性子全反射の測定  
(JRR-3改造炉の中性子導管に関する試験研究)

日本原子力研究所東海研究所研究炉管理部  
鈴木 正年・川端 祐司・高橋 秀武・坂本 正誠<sup>+</sup>

(1986年2月5日受理)

JRR-3改造炉の中性子導管として使用するため、ガラス板にニッケルを蒸着した鏡面を内側にして矩形断面に組立てた中性子導管の設置を計画している。

本報告は、中性子導管の最も重要な要素である金属鏡面での中性子反射率について、実機に採用するものと同仕様ニッケル蒸着ガラスを用いて測定した結果について述べる。

さらに、炉心近傍の核的・熱的に厳しい条件下にある水平実験孔内に設置する中性子導管について、ニッケル蒸着ガラスに代る鏡面として金属ニッケルを研磨した中性子導管が採用できるか否かを知るために、3段階の表面粗度をもつ金属ニッケルの鏡面についても反射率の測定を行った。

また、ニッケル蒸着を施さないフロートガラスについても比較のために測定を実施した。

測定の結果は、中性子導管として計画しているニッケル蒸着硼珪酸ガラスについては入射中性子をほぼ完全に反射することが確認された。金属ニッケル板については前者に比較して反射率の低下があることが分った。

金属ニッケル板の反射率の低下は表面粗度の優劣に依存しており、今回の供試体程度の表面粗度を有する金属ニッケル板では中性子導管として水平実験孔内に設置することは有効ではないとの結論に至った。

Measurement of Neutron Total Reflection  
on Metallic Surfaces

Masatoshi SUZUKI, Yuji KAWABATA, Hidetake TAKAHASHI  
and Masanobu SAKAMOTO<sup>+</sup>

Department of Research Reactor Operation  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received February 5, 1986)

The upgraded JRR-3 project has included the installation of the neutron guide tubes with rectangular cross section which are constructed of borosilicate glass plates coated with nickel on their inside surfaces. This report describes the measurements on total reflectivities of neutron from the metallic mirror surfaces which play the most important role in the neutron guide tubes.

The measurements have been performed by means of time-of-flight method using thermal neutrons from the JAERI electron linac. The three different kinds of mirror surfaces are studied. First ones are the nickel surfaces deposited on the polished plates of borosilicate glass. They are expected to be used for the guide tubes in the upgraded JRR-3 project. Secondly the polished surfaces of nickel plates with three degrees of surface roughness are measured, in order to make sure whether they have enough reflectivities of neutrons.

They are intended to be used under the sever radiation field of neutron and gamma-ray near the reactor core, instead of the deposited nickel surfaces. Thirdly surfaces of the ordinary float-glass, i.e. soda-lime glass, are checked in order to make comparison with the other cases.

The results show that the nickel surfaces deposited on the polished surfaces of borosilicate glass reflect neutrons nearly perfectly, but the

---

<sup>+</sup> Department of Physics

reflectivity of the polished surface of nickel plates are reduced as compared with the former ones. The reduction of the neutron reflectivities on the polished surfaces of nickel plates for the neutron guide tubes are depend upon the degree of surface roughness, and they are not sufficiently well.

Keywords; Neutron Guide Tube, Reflectivity, Total Reflection, Nickel Surface, Surface Roughness, Time-of-flight, Electron Linac, JRR-3

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 全反射鏡の選択 .....	2
3. 実 験 .....	3
3.1 装置の概要 .....	3
3.2 測 定 .....	3
4. 測定結果と考察 .....	4
4.1 ニッケル蒸着硼珪酸ガラス .....	4
4.2 フロートガラス .....	5
4.3 金属ニッケル板 .....	5
5. ま と め .....	5
謝 辞 .....	6
参考文献 .....	6

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Choice of total reflection mirror .....	2
3. Experiments .....	3
3.1 Outline of apparatus .....	3
3.2 Measurements .....	3
4. Discussions .....	4
4.1 Nickel surfaces deposited on borosilicate glass .....	4
4.2 Float-glass .....	5
4.3 Polished surfaces of nickel plate .....	5
5. Concluding Remarks .....	5
Acknowledgements .....	6
References .....	6

## 1. はじめに

現在、JRR-3を改造する計画を進めている。本原子炉の利用目的は、原子炉で発生した中性子を使って、燃料・材料照射及びビーム実験等を行うことである。

この中性子ビーム実験に供するため、熱中性子用中性子導管2本及び冷中性子用中性子導管3本を設置し、原子炉建家に隣接して建設される実験利用棟へ中性子を導く計画を進めている。

JRR-3改造炉に設置を予定している中性子導管は特性波長2 Å、4 Å及び6 Åの中性子を取り出す計画である。

「中性子導管」は金属鏡面での中性子の全反射を利用して原子炉から実験装置のある場所まで、かなり離れた距離をほとんど減衰なしに中性子を導くために用いるものである。

中性子導管を設置することにより次のようなメリットがある。

- ① 従来原子炉壁に近接した場所でのみ行なわれていたビーム実験等が、中性子導管で原子炉から離れた場所まで中性子を導くことにより、実験装置の設置数が多くなり、原子炉の利用効率を高めることができる。
- ② 曲導管を用いることにより、熱外中性子、高速中性子及びガンマ線を著しく減少させることができ、実験におけるS/N比を高めることができる。
- ③ 曲導管の曲率を変えることによって、目的とする特性波長を持つ中性子導管を設置することができる。この結果として特性波長より短波長側の中性子強度を減少させ、実験に有害な $\lambda/2$ の中性子をフィルターする効果がある。

中性子導管の中性子鏡として通常用いられているものにフロートガラス表面にニッケルを蒸着した鏡がある。

JRR-3においても、原子炉心近傍の水平実験孔以外の場所に設置する中性子導管についてはこれと同様の考え方で、表面を研磨した硼珪酸ガラスにニッケルを蒸着した鏡面の採用を計画している。また、原子炉心近傍の水平実験孔内については照射損傷や核発熱などを考慮して金属ニッケル板を研磨した鏡面の採用の是非を検討している。

われわれはこれまでに、中性子導管の開発のためにニッケル蒸着ガラスのガンマ線照射試験及び加熱試験など中性子導管に要求される鏡面の特性試験を行ってきた。<sup>1),2)</sup>

この結果、生体遮蔽を出た後の部分では、ニッケル蒸着ガラスで製作した中性子導管の使用は可能であるとの結論を得た。しかし、炉心近傍の部分ではこの方式では蒸着面の剥離等の問題点があることも分った。

従って、今回の実験では、ニッケル蒸着硼珪酸ガラスに加えて、3段階の表面粗度を有する3種類の金属ニッケル板について中性子反射率を測定し、炉心近傍への適用の可否について検討することとした。また、比較のために一般に市販されているフロートガラスについても同様の実験を行った。

鏡面の種類による中性子反射率の相違を知る実験は京大炉での報告があるが、本報告は鏡面の表面粗度の相違による反射率の測定を行い、中性子導管に適する表面粗度を求めるものである。<sup>3)</sup>

## 2. 全反射鏡の選択

白色中性子線が入射角  $\phi$  で反射面に入射する場合、全反射する最短波長  $\lambda_{\text{crit}}$  とすると入射角  $\phi$  が小さいので次の関係が成り立つ<sup>4)</sup>。

$$\lambda_{\text{crit}} = \phi \sqrt{\frac{\pi}{N \cdot b_{\text{coh}}}}$$

ここで、

- $\lambda_{\text{crit}}$  : 臨界波長
- $\phi$  : 入射角
- $N$  : 単位体積当たりの原子核の数
- $b_{\text{coh}}$  : コヒーレントな散乱半径

臨界波長  $\lambda_{\text{crit}}$  は入射角に比例することから入射角  $\phi$  に対して  $\lambda_{\text{crit}}$  より長波長側の中性子を全反射することができる。

$\lambda_{\text{crit}}$  に対応する入射角を  $\phi_{\text{crit}}$  とする。

実際に中性子導管として製作する場合、反射鏡の  $\phi_{\text{crit}}$  が大きいことは中性子導管の幅を広くすること、あるいは中性子導管を短くできることに結びつく。したがって、 $N \cdot b_{\text{coh}}$  の大きい物質が全反射鏡として優れていると言える。 $N \cdot b_{\text{coh}}$  の大きい物質としてはベリリウムが挙げられるが、毒性が強いため中性子導管としては不適である。このような理由から中性子導管に使用する反射鏡として、ベリリウムに次いで  $N \cdot b_{\text{coh}}$  の大きいニッケルが使用される。さらに、優れた表面粗度が得られる鏡面であることが要求される。このため比較的容易に良好な表面粗度が得られるガラスにニッケルを蒸着したものが広く使用されている。

JRR-3改造炉においても上記の点を考慮して、表面を研磨した硼珪酸ガラス（一般にパイレックスガラスと呼ばれている）にニッケルを蒸着した反射鏡を使用することとした。

硼珪酸ガラスを選定する理由は、 $B_2O_3$  含有量が12%以上あり、ガラス面での遮へい効果を期待でき、構造物を簡略化することができるためである。

しかし、ボロン含有量が多いことから原子炉心近傍の水平実験孔内で使用する場合、中性子の吸収による核発熱が懸念されるという不利な点がある。このような観点から、この部位についてはニッケル蒸着硼珪酸ガラスに代る方法として十分に研磨した金属ニッケル板の採用を検討した。

Table 1 に今回の実験に供した物質のコヒーレントな散乱半径、 $\sqrt{N \cdot b_{\text{coh}}}$ 、 $\lambda = 2 \text{ \AA}$  及び  $\lambda = 4 \text{ \AA}$  の中性子に対する臨界角を示す。



### 3. 実 験

#### 3.1 装置の概要

実験は原研の電子リニアックを使用して飛行時間法によって反射率の測定を行った。

実験装置の概略図を Fig.1 及び Fig.2 に示す。

熱中性子の発生部のターゲットはタンタル板と鉛板の組合せを採用し、モデレータとして、ポリエチレンを採用した。

リニアックの出力としては、

加速電圧	100 MeV
ピーク電流	500 mA
くりかえし	50 p.p.s
平均電流	14 $\mu$ A
パルス幅	1 $\mu$ s
中性子束	$1 \times 10^{12}$ n/cm <sup>2</sup> · s 相当

である。くりかえしを 50 p.p.s と小さくしたのは長波長側のスペクトルがフレーム・オーバーラップしないような配慮からである。

発生した中性子は幅 1 mm の鉄製のコリメーターを介して測定室に導かれる。コリメータの先端には 0.5 mm のカドミウムの第 1 スリットを取付けた。供試体である鏡面を設置する台とコリメータ先端の間は高速中性子をカットする目的でパラフィンブロックをスリット分だけ除いて設置し、さらに供試体直前に 0.5 mm のカドミウムの第 2 スリットを設置して第 1 スリットから発散する中性子束を再びカットして、供試体に反射せずにカウンタに到達する中性子束を除くようにした。

これは、第 1 スリットから供試体までの距離が 400 mm あるために、供試体に入射するビームの発散をおさえるためのものである。

供試体は、幅 100 mm × 長さ 300 mm の長方形鏡面であり、これを搭載する台は供試体の中心で左右に回転するよう設計した。

供試体の台の回転はマイクロメータで行う構造とした。

検出器はコリメータ先端に Fission Countor を設置してモニターとし、スペクトルの測定は供試体から 2 m の位置にヘリウム-3 カウンタを設置した。このカウンタは供試体の回転に合わせて反射中性子を測定できるよう、精密ネジで左右に移動できるようにした。

#### 3.2 測 定

中性子線の中心線を知るため供試体を外した状態でダイレクトビームの位置を測定によって求めた。方法として、ターゲット室のビーム発生装置の窓に光源を設置し、光のビームが到達

する位置にカウンタを設置した。この位置を中心にカウンタを微動しながら中性子強度の最も強い位置を求め、ここを中心点とした。以降はコリメータ位置からこの中心点に糸を張り、供試体の位置調整を精度 0.1 mm 以下で行った。

反射率の測定は、この中心点における直接入射中性子のスペクトルと、 $\lambda_{\text{crit}} = 2 \text{ \AA}$  及び  $4 \text{ \AA}$  になる  $\phi_{\text{crit}}$  を計算で求め供試体を回転し、この状態で最も強い中性子強度が得られる位置にカウンタを移動して測定した反射中性子のスペクトルの比をとって求めた。

#### 4. 測定結果と考察

入射中性子の波長に対する分布は室温でのマックスウェル分布をしており、測定対象としていた  $2 \text{ \AA}$  及び  $4 \text{ \AA}$  の中性子強度は弱く、特に  $4 \text{ \AA}$  の中性子は少ない。今回、測定に要した時間は、入射中性子については、平均 2 時間、反射中性子については平均 4 時間であった。また、可能な限り同一条件で比較するために 1 供試体については 1 日のうちに測定するよう考慮して行った。

この方法によっても、長波長側の計数誤差は波長  $2 \text{ \AA} \sim 4 \text{ \AA}$  で 10% 程度と反射率の絶対値を精度良く求めるまでには至らなかったが、供試体相互の反射率の優劣は知ることができた。さらに、この優劣が供試体の表面粗度の優劣に依存していることも確認できた。

以下に、考察を述べる。

##### 4.1 ニッケル蒸着硼珪酸ガラス

JRR-3 改造炉の中性子導管の主要な部分、すなわち生体遮蔽体出口から原子炉建家壁を経由して実験利用棟までは、ニッケル蒸着硼珪酸ガラスの鏡面を使用した鏡管ユニットを接続して中性子導管を構成しようと計画している。今回の供試体はこの鏡管ユニットを製作するために試作したもので、ニッケル蒸着面の厚さ、表面粗度は実機に相当する仕様のものである。

ニッケルの蒸着厚さは  $1500 \text{ \AA} \pm 200 \text{ \AA}$  であり、この厚さであれば、入射中性子がほとんど<sup>5)</sup> 反射することが確認されている。

また、表面粗度は最大粗さ ( $R_{\text{max}}$ ) で  $800 \text{ \AA}$ 、10 点平均粗さ ( $R_z$ )  $700 \text{ \AA}$  であった。平均粗さ ( $R_a$ ) については測定装置の検出限界以下で、Table 4 に示した他の供試体の測定値から比較して  $100 \text{ \AA}$  以下と推定される。

測定の結果、反射率はほぼ 1.0 に近い値を示しており、中性子導管に使用する反射鏡として性能を発揮できるとの確証を得た。

Fig. 3 にニッケル蒸着硼珪酸ガラスの反射率測定結果と入射中性子と反射中性子のスペクトルを  $2 \text{ \AA}$  及び  $4 \text{ \AA}$  について示す。また、Fig. 4 はニッケル蒸着硼珪酸ガラスの表面粗度測定結果である。

表面粗度の測定は触針法で行った。測定長さは  $2.5 \text{ mm}$ 、カットオフは  $0.8 \text{ mm}$  である。縦倍率は  $10^5$  倍、記録速度は  $60 \text{ mm/s}$  である。したがって、縦軸の  $10 \text{ mm}$  が  $1000 \text{ \AA}$ 、横軸の  $10 \text{ mm}$

する位置にカウンタを設置した。この位置を中心にカウンタを微動しながら中性子強度の最も強い位置を求め、ここを中心点とした。以降はコリメータ位置からこの中心点に糸を張り、供試体の位置調整を精度 0.1 mm 以下で行った。

反射率の測定は、この中心点における直接入射中性子のスペクトルと、 $\lambda_{\text{crit}} = 2 \text{ \AA}$  及び  $4 \text{ \AA}$  になる  $\phi_{\text{crit}}$  を計算で求め供試体を回転し、この状態で最も強い中性子強度が得られる位置にカウンタを移動して測定した反射中性子のスペクトルの比をとって求めた。

## 4. 測定結果と考察

入射中性子の波長に対する分布は室温でのマックスウェル分布をしており、測定対象としている  $2 \text{ \AA}$  及び  $4 \text{ \AA}$  の中性子強度は弱く、特に  $4 \text{ \AA}$  の中性子は少ない。今回、測定に要した時間は、入射中性子については、平均 2 時間、反射中性子については平均 4 時間であった。また、可能な限り同一条件で比較するために 1 供試体については 1 日のうちに測定するよう考慮して行った。

この方法によっても、長波長側の計数誤差は波長  $2 \text{ \AA} \sim 4 \text{ \AA}$  で 10% 程度と反射率の絶対値を精度良く求めるまでには至らなかったが、供試体相互の反射率の優劣は知ることができた。さらに、この優劣が供試体の表面粗度の優劣に依存していることも確認できた。

以下に、考察を述べる。

### 4.1 ニッケル蒸着硼珪酸ガラス

JRR-3 改造炉の中性子導管の主要な部分、すなわち生体遮蔽体出口から原子炉建家壁を経由して実験利用棟までは、ニッケル蒸着硼珪酸ガラスの鏡面を使用した鏡管ユニットを接続して中性子導管を構成しようと計画している。今回の供試体はこの鏡管ユニットを製作するために試作したもので、ニッケル蒸着面の厚さ、表面粗度は実機に相当する仕様のものである。

ニッケルの蒸着厚さは  $1500 \text{ \AA} \pm 200 \text{ \AA}$  であり、この厚さであれば、入射中性子がほとんど<sup>5)</sup> 反射することが確認されている。

また、表面粗度は最大粗さ (Rmax) で  $800 \text{ \AA}$ 、10 点平均粗さ (Rz)  $700 \text{ \AA}$  であった。平均粗さ (Ra) については測定装置の検出限界以下で、Table 4 に示した他の供試体の測定値から比較して  $100 \text{ \AA}$  以下と推定される。

測定の結果、反射率はほぼ 1.0 に近い値を示しており、中性子導管に使用する反射鏡として性能を発揮できるとの確証を得た。

Fig.3 にニッケル蒸着硼珪酸ガラスの反射率測定結果と入射中性子と反射中性子のスペクトルを  $2 \text{ \AA}$  及び  $4 \text{ \AA}$  について示す。また、Fig.4 はニッケル蒸着硼珪酸ガラスの表面粗度測定結果である。

表面粗度の測定は触針法で行った。測定長さは  $2.5 \text{ mm}$ 、カットオフは  $0.8 \text{ mm}$  である。縦倍率は  $10^5$  倍、記録速度は  $60 \text{ mm/s}$  である。したがって、縦軸の  $10 \text{ mm}$  が  $1000 \text{ \AA}$ 、横軸の  $10 \text{ mm}$

が 0.05 mm である。以下、測定条件はすべての供試体共通である。

## 4.2 フロートガラス

次にフロートガラスについて同様の測定を行った。

供試体の表面粗度は  $R_{max} = 1300 \text{ \AA}$ ,  $R_z = 1200 \text{ \AA}$ ,  $R_a = 150 \text{ \AA}$  である。

前述のニッケル蒸着硼珪酸ガラスと比較して、反射率はほぼ同様の傾向を示している。

Fig.5 にフロートガラスの反射率測定結果及び反射中性子のスペクトルを  $2 \text{ \AA}$  及び  $4 \text{ \AA}$  について示す。また Fig.6 にフロートガラスの表面粗度測定結果を示すが、フロートガラスの表面粗度は、ニッケル蒸着硼珪酸ガラスに匹敵する値を示していることが分る。

このことからフロートガラス程度の表面粗度が得られる鏡面であれば、入射中性子をほぼ全反射すると言える。

## 4.3 金属ニッケル板

次に表面粗度を 3 つのグレードに研磨した 3 種類の金属ニッケル板について測定を行った。供試体①は # 100 から # 1000 までの機械研磨を行った後に化学研磨を施したもので、表面粗度は  $R_{max} = 1700 \text{ \AA}$ ,  $R_z = 1200 \text{ \AA}$ ,  $R_a = 190 \text{ \AA}$  である。供試体②は # 100 から # 600 の機械研磨に加えて化学研磨を施したもので、 $R_{max} = 4000 \text{ \AA}$ ,  $R_z = 2100 \text{ \AA}$ ,  $R_a = 270 \text{ \AA}$  である。供試体③は # 100 から # 400 の機械研磨のみを行ったものであり、 $R_{max} = 7500 \text{ \AA}$ ,  $R_z = 5600 \text{ \AA}$ ,  $R_a = 760 \text{ \AA}$  のものである。ニッケルの組成は 3 種類ともおなじものである。

測定の結果をみると表面粗度の優劣が反射率の優劣に明確に依存していることが確認された。

また、3 種類の供試体のうち、表面研磨状態が最も優れている供試体①の表面粗度、4.2 で述べたフロートガラスと比較して  $R_{max}$ ,  $R_z$  については、ほぼ同様の値を示しているが、 $R_a$  が  $190 \text{ \AA}$  となっている。反射率についても前 2 者に比べて劣っていることが確認された。供試体②、供試体③についても、表面粗度の優劣が反射率に反映していることが確認できる。

Fig.7 及び Fig.8 は 3 種類の金属ニッケル板の反射率を  $2 \text{ \AA}$  及び  $4 \text{ \AA}$  についてまとめて示したものであるが、参考のためにニッケル蒸着硼珪酸ガラスの測定結果を合せて示しておく。また、Fig.9 及び Fig.10 はそれぞれの反射率に対応するスペクトル測定結果である。

また、Table 2 にニッケルの組成、Table 3 に金属ニッケルの研磨の方法、Table 4 に触針法で測定した全供試体の表面粗度の一覧を示す。また、Fig.11~13 にはそれぞれの供試体の表面粗度を示す。

## 5. ま と め

今回の測定により、鏡面の表面粗度と反射率の関係については表面粗度の優劣が反射率に影響を及ぼすことが定性的には確認された。Fig.14 に今回測定した供試体の反射率をまとめて示

が 0.05mm である。以下、測定条件はすべての供試体共通である。

## 4.2 フロートガラス

次にフロートガラスについて同様の測定を行った。

供試体の表面粗度は  $R_{max} = 1300 \text{ \AA}$ ,  $R_z = 1200 \text{ \AA}$ ,  $R_a = 150 \text{ \AA}$  である。

前述のニッケル蒸着硼珪酸ガラスと比較して、反射率はほぼ同様の傾向を示している。

Fig.5 にフロートガラスの反射率測定結果及び反射中性子のスペクトルを  $2 \text{ \AA}$  及び  $4 \text{ \AA}$  について示す。また Fig.6 にフロートガラスの表面粗度測定結果を示すが、フロートガラスの表面粗度は、ニッケル蒸着硼珪酸ガラスに匹敵する値を示していることが分る。

このことからフロートガラス程度の表面粗度が得られる鏡面であれば、入射中性子をほぼ全反射すると言える。

## 4.3 金属ニッケル板

次に表面粗度を 3 つのグレードに研磨した 3 種類の金属ニッケル板について測定を行った。供試体①は # 100 から # 1000 までの機械研磨を行った後に化学研磨を施したもので、表面粗度は  $R_{max} = 1700 \text{ \AA}$ ,  $R_z = 1200 \text{ \AA}$ ,  $R_a = 190 \text{ \AA}$  である。供試体②は # 100 から # 600 の機械研磨に加えて化学研磨を施したもので、 $R_{max} = 4000 \text{ \AA}$ ,  $R_z = 2100 \text{ \AA}$ ,  $R_a = 270 \text{ \AA}$  である。供試体③は # 100 から # 400 の機械研磨のみを行ったものであり、 $R_{max} = 7500 \text{ \AA}$ ,  $R_z = 5600 \text{ \AA}$ ,  $R_a = 760 \text{ \AA}$  のものである。ニッケルの組成は 3 種類ともおなじものである。

測定の結果をみると表面粗度の優劣が反射率の優劣に明確に依存していることが確認された。

また、3 種類の供試体のうち、表面研磨状態が最も優れている供試体①の表面粗度、4.2 で述べたフロートガラスと比較して  $R_{max}$ ,  $R_z$  については、ほぼ同様の値を示しているが、 $R_a$  が  $190 \text{ \AA}$  となっている。反射率についても前 2 者に比べて劣っていることが確認された。供試体②、供試体③についても、表面粗度の優劣が反射率に反映していることが確認できる。

Fig.7 及び Fig.8 は 3 種類の金属ニッケル板の反射率を  $2 \text{ \AA}$  及び  $4 \text{ \AA}$  についてまとめて示したものであるが、参考のためにニッケル蒸着硼珪酸ガラスの測定結果を合せて示しておく。また、Fig.9 及び Fig.10 はそれぞれの反射率に対応するスペクトル測定結果である。

また、Table 2 にニッケルの組成、Table 3 に金属ニッケルの研磨の方法、Table 4 に触針法で測定した全供試体の表面粗度の一覧を示す。また、Fig.11~13 にはそれぞれの供試体の表面粗度を示す。

## 5. ま と め

今回の測定により、鏡面の表面粗度と反射率の関係については表面粗度の優劣が反射率に影響を及ぼすことが定性的には確認された。Fig.14 に今回測定した供試体の反射率をまとめて示

すが、反射率は表面粗度の値によって低下しているが、ニッケル蒸着硼珪酸ガラスとフロートガラスの間では有為の差は少ないことも分った。

今回の測定結果で見ると、表面粗度の平均(Ra)が150 Åを越えるところから反射率の低下が急激に現れることが分った。

この結果、当初中性子導管として計画している硼珪酸ガラスにニッケルを蒸着した鏡面では、今回の供試体と同様の仕様を有していれば、十分中性子導管として性能を発揮できるとの確証を得た。

しかし、炉心近傍の水平実験孔内に設置しようと考えていた金属ニッケル板については現状程度の表面粗度では効果が期待できないことが確認された。金属ニッケルについて、これ以上の表面平滑度を要求することは現状の工作技術から考えて困難である。このため、炉心近傍の中性子導管については他の方法を求めなければならない。過去の経験では、炉心近傍の中性子導管については硼珪酸ガラスに代えてボロン含有量の少ないソーダガラスにニッケルを蒸着する方法を採用している報告もあり、これについても今後の照射実験等で確証していく必要がある。

一方、表面粗度については、今回着目した表面粗度のほかにも、中性子の反射に影響を与える様々な要素があり、これらも考慮した上で表面粗度と反射率の関係を正確に知ることは今後の課題である。

Fig.15に今回の供試体について、表面粗度(Ra)と3 Å付近での中性子反射率の関係を参考として示す。

## 謝 辞

今回の測定にあたり、長時間の測定に協力して下さった加速器管理室の皆様、及び飛行時間法のデータ処理のためにご指導いただいた核物理第2研究室の中島氏、水本氏に謝意を表明する。

## 参考文献

- (1) 「ガラス板に蒸着したニッケル鏡面のガンマ線照射効果」高橋秀武ほか JAERI-M 85-003 1985.2
- (2) 「ニッケル蒸着ガラス板の加熱試験」坂本正誠ほか JAERI-memo 60-086 1985.4 (未公開)
- (3) 「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)
- (4) 「Low-Energy Neutron Physics」I.I Gurevich L.V Tarasov North-Holland Publishing Co.
- (5) 「JRR-3改造炉中性子導管性能評価のための中性子収率解析」原見太幹ほか JAERI-M 85-103 1985.8

TABLE 1 供試体の  $b_{coh} \cdot \sqrt{N \cdot D_{coh}} \cdot \phi_{crit.}$  の値  
 Values of  $b_{coh} \cdot \sqrt{N \cdot D_{coh}} \cdot \phi_{crit.}$

物質名	$b_{coh}$	$\sqrt{N \cdot D_{coh}}$	$\phi_{crit.}$ (2 Å)	$\phi_{crit.}$ (4 Å)
Ni	$1.03 \times 10^{-12}$	$3.05 \times 10^5$	$3.5 \times 10^{-3} \text{ rad}$	$6.9 \times 10^{-3} \text{ rad}$
ガラス		$2.0 \times 10^5$	$2.2 \times 10^{-3} \text{ rad}$	$4.5 \times 10^{-3} \text{ rad}$

TABLE 2 供試体ニッケル板の組成 (3種類共通)  
 Composition of nickel plates

O	Mn	Fe	S	Si	Cu	Ni
0.01	0.24	0.02	0.001	0.05	0.01	99.67

TABLE 3 供試体ニッケル板の加工工程  
 Polishing processes for nickel plates

供試体 工程	供試体①	供試体②	供試体③
1. 機械加工	○	○	○
2. 表面機械加工	○	○	○
3. 機械研磨	○ ( #100~#1000 )	○ ( #100~#600 )	○ ( #100~#400 )
4. 化学研磨	○	○	×

○：実施した      ×：実施しなかった

TABLE 4 供試体の表面粗度測定結果一覧  
 Surface roughness of neutron mirrors

供試体	Ra (Å)	Rmax (Å)	Rz (Å)	Cut off (mm)
ニッケル蒸着ガラス	< 100	800	700	0.8
フロートガラス	150	1300	1200	0.8
ニッケル板 - 1	190	1700	1200	0.8
ニッケル板 - 2	270	4000	2100	0.8
ニッケル板 - 3	760	7500	5600	0.8

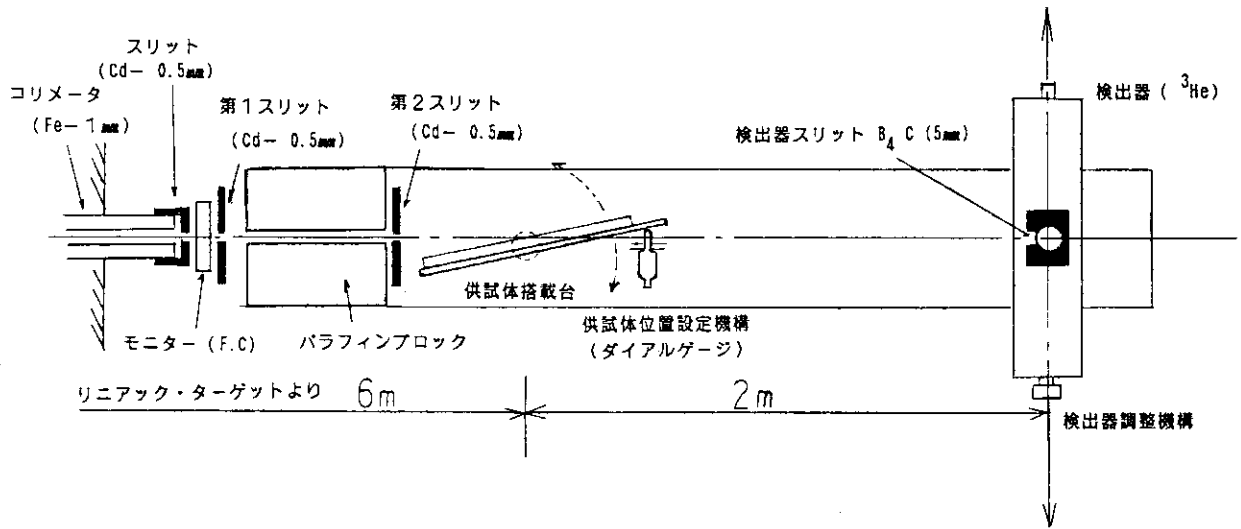


Fig.1 実験装置概略図  
Schematic geometry of experimental equipments

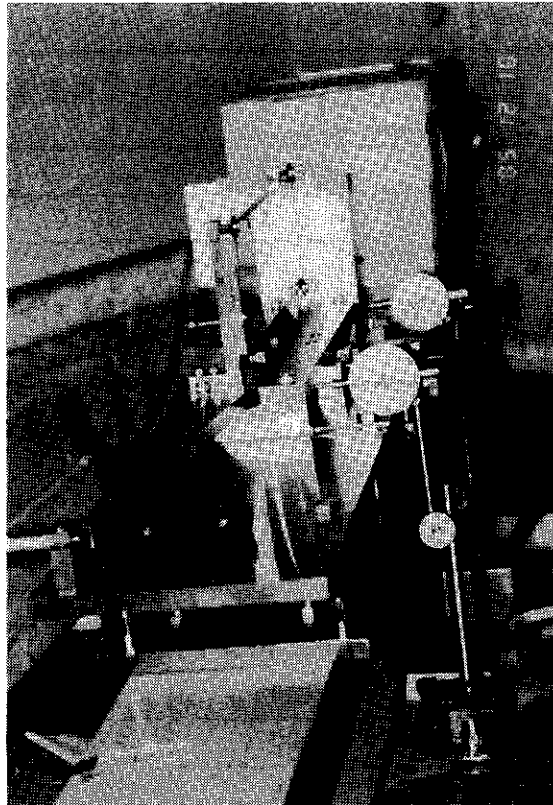


Fig.2 実験装置  
Experimental set-up



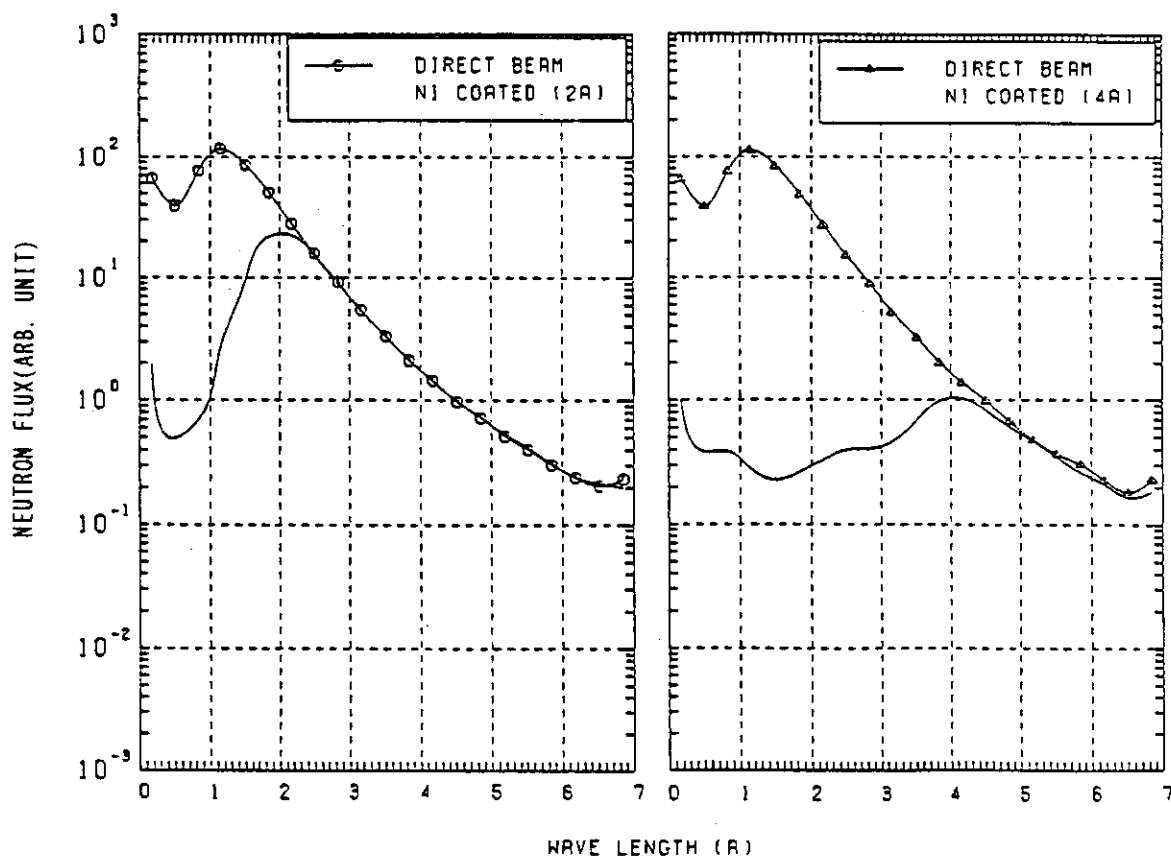
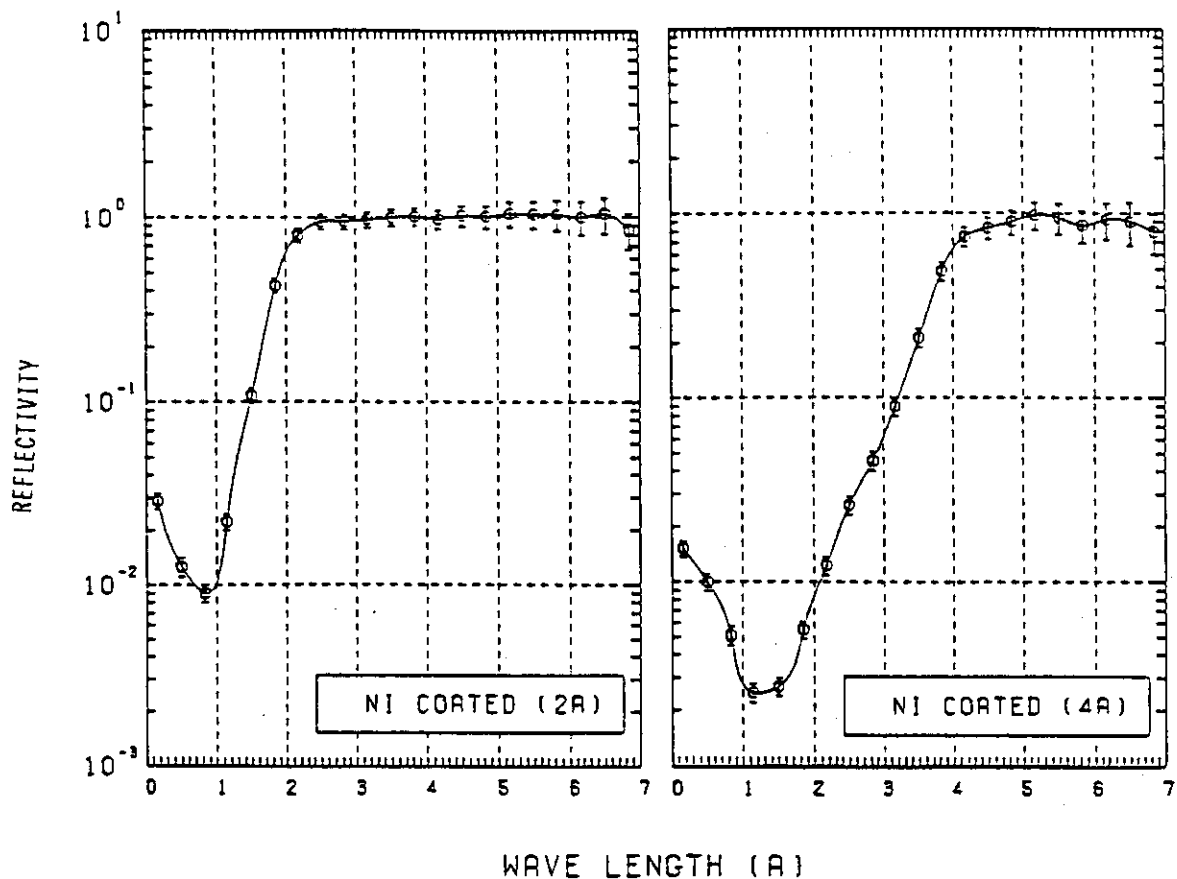
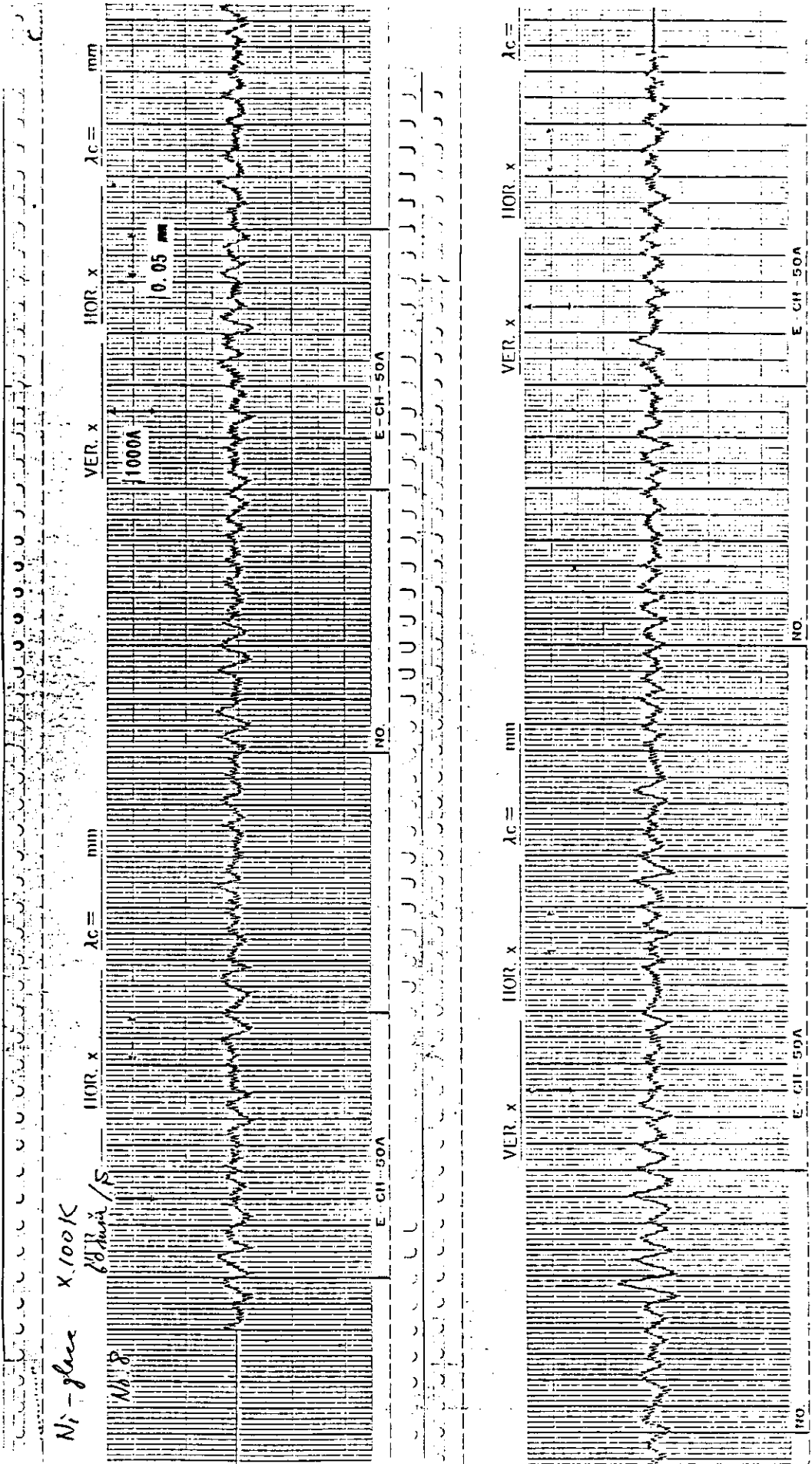


FIG. 3 ニッケル蒸着ガラスの反射率および中性子スペクトル  
Neutron reflectivities for Ni coated glass and neutron spectra

Run No. 8  
 縦方向倍率  $\times 100K$   
 Chart 速度  $60mm/sec$   
 供試体 ニッケル蒸着ガラス  
 Surface roughness of Ni coated glass



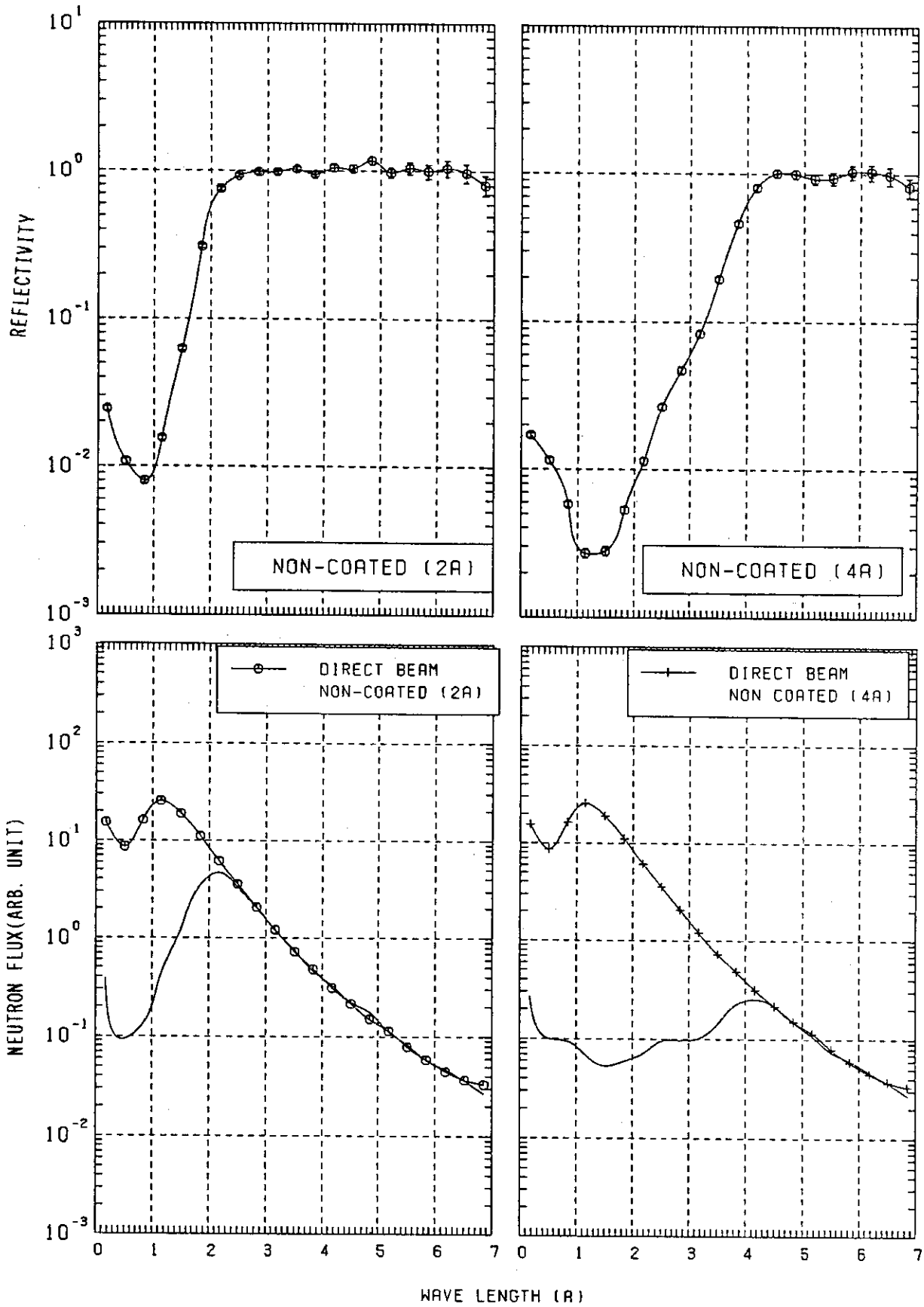
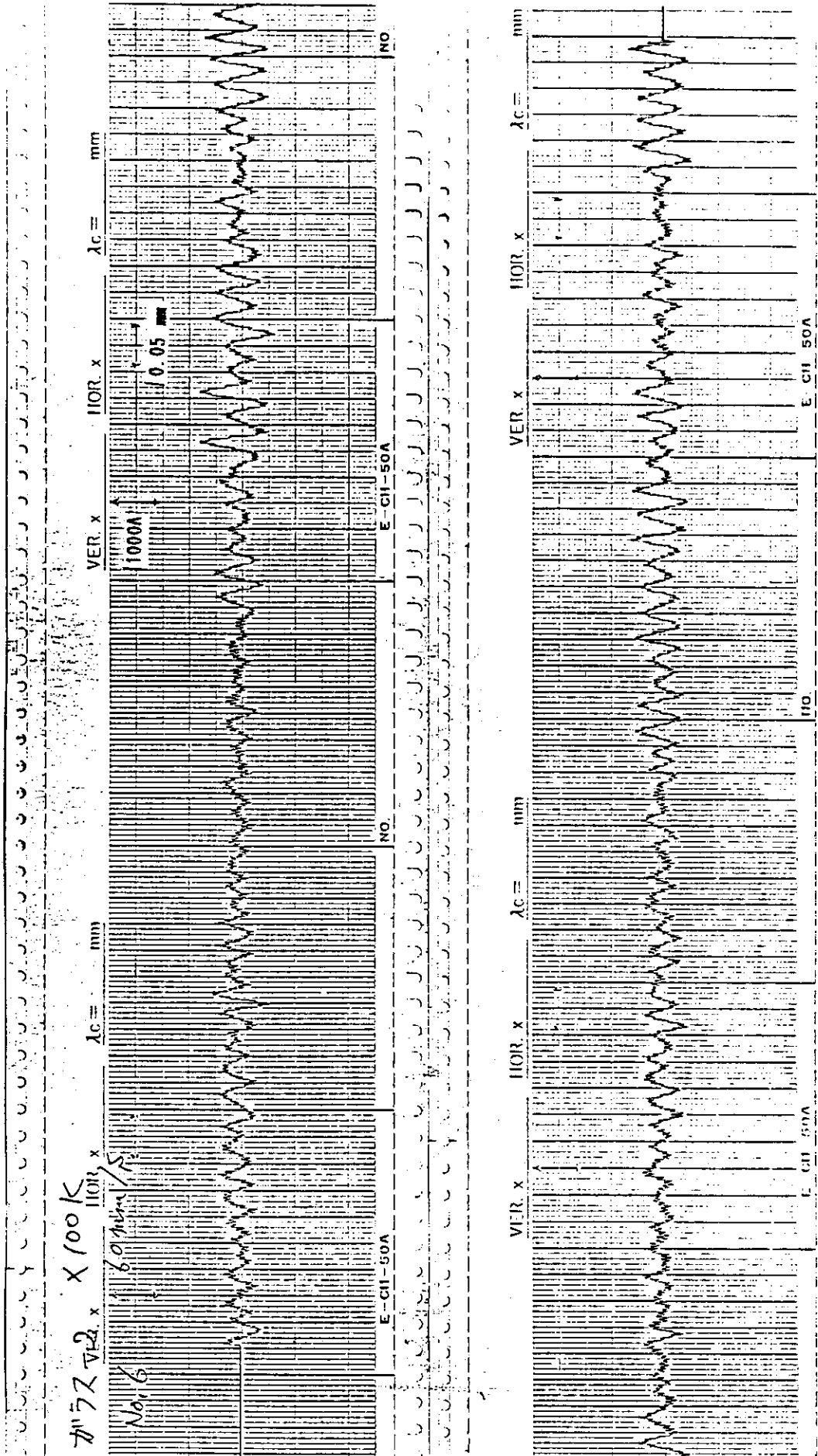


FIG. 5 フロートガラスの反射率および中性子スペクトル  
Neutron reflectivities of float-glass and neutron spectra

Run No. 6  
 縦方向倍率  $\times 100K$   
 Chart 速度 60mm/sec  
 供試体 ガラス (表)

FIG. 6 フロートガラスの表面粗度  
 Surface roughness of float-glass



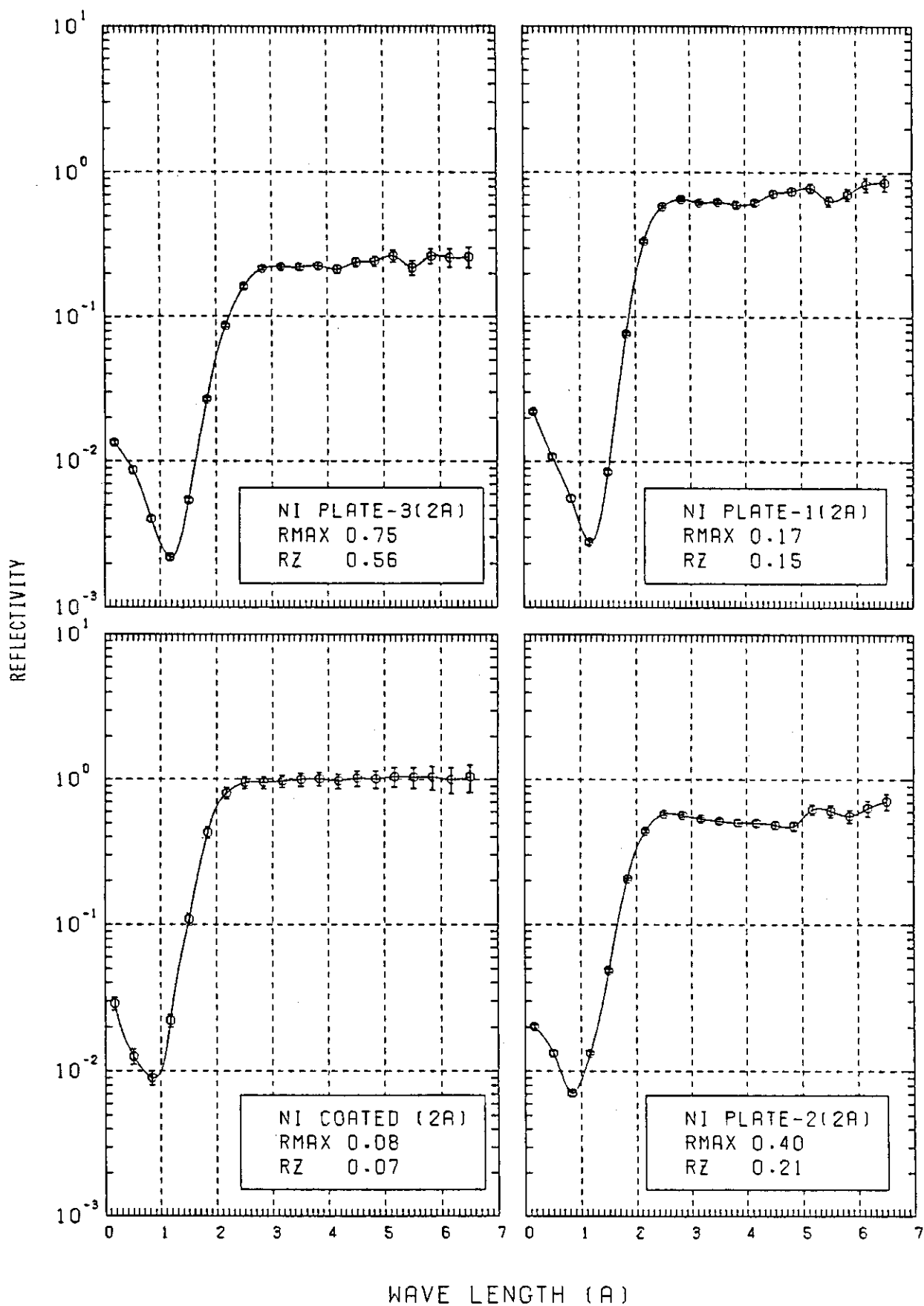


FIG. 7 3種類のニッケル板の反射率 (2 Å)  
Reflectivities of three kinds of Ni plates (2 Å)

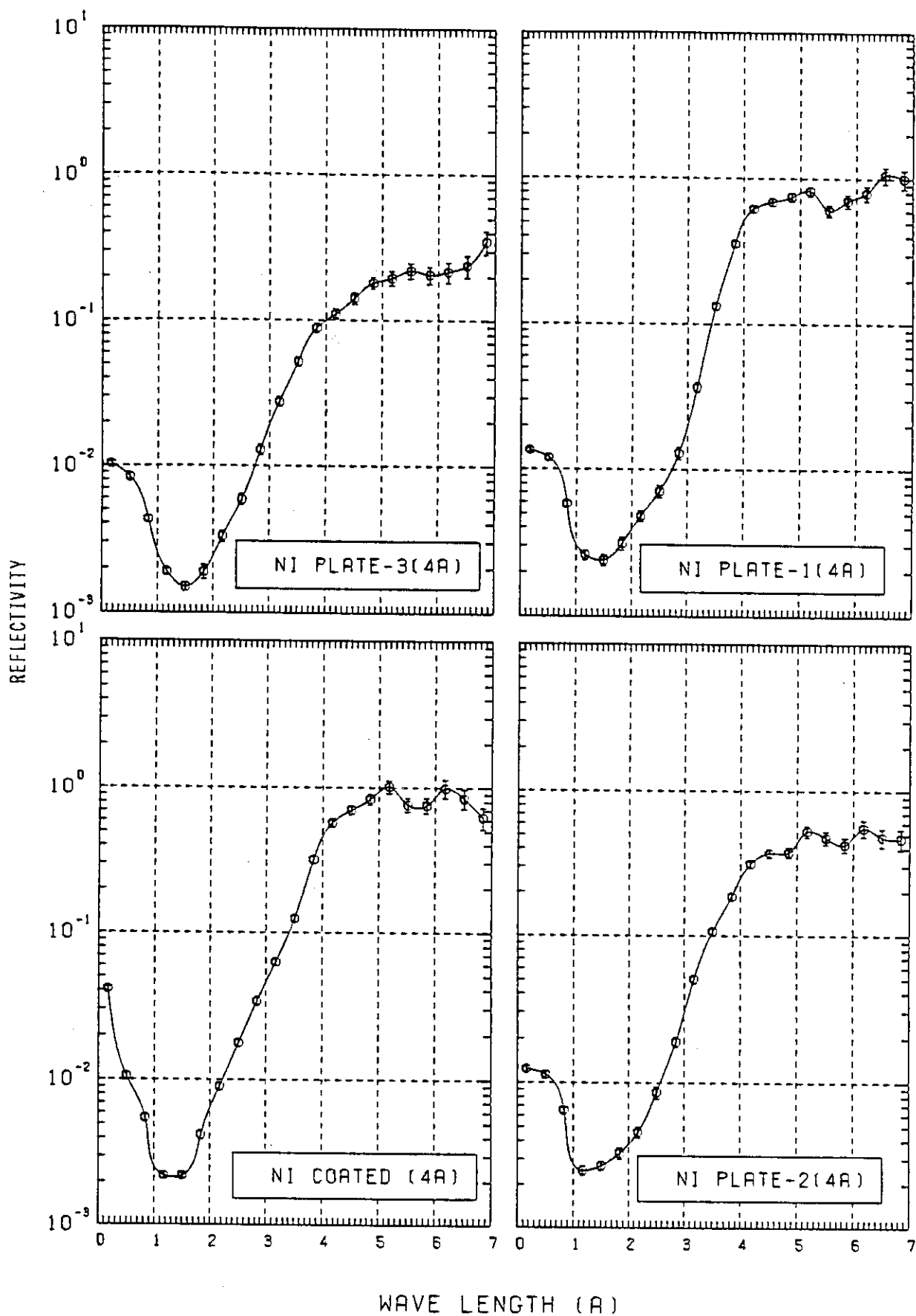


FIG. 8 3種類のニッケル板の反射率 (4 Å)  
 Reflectivities of three kinds of Ni plates (4 Å)

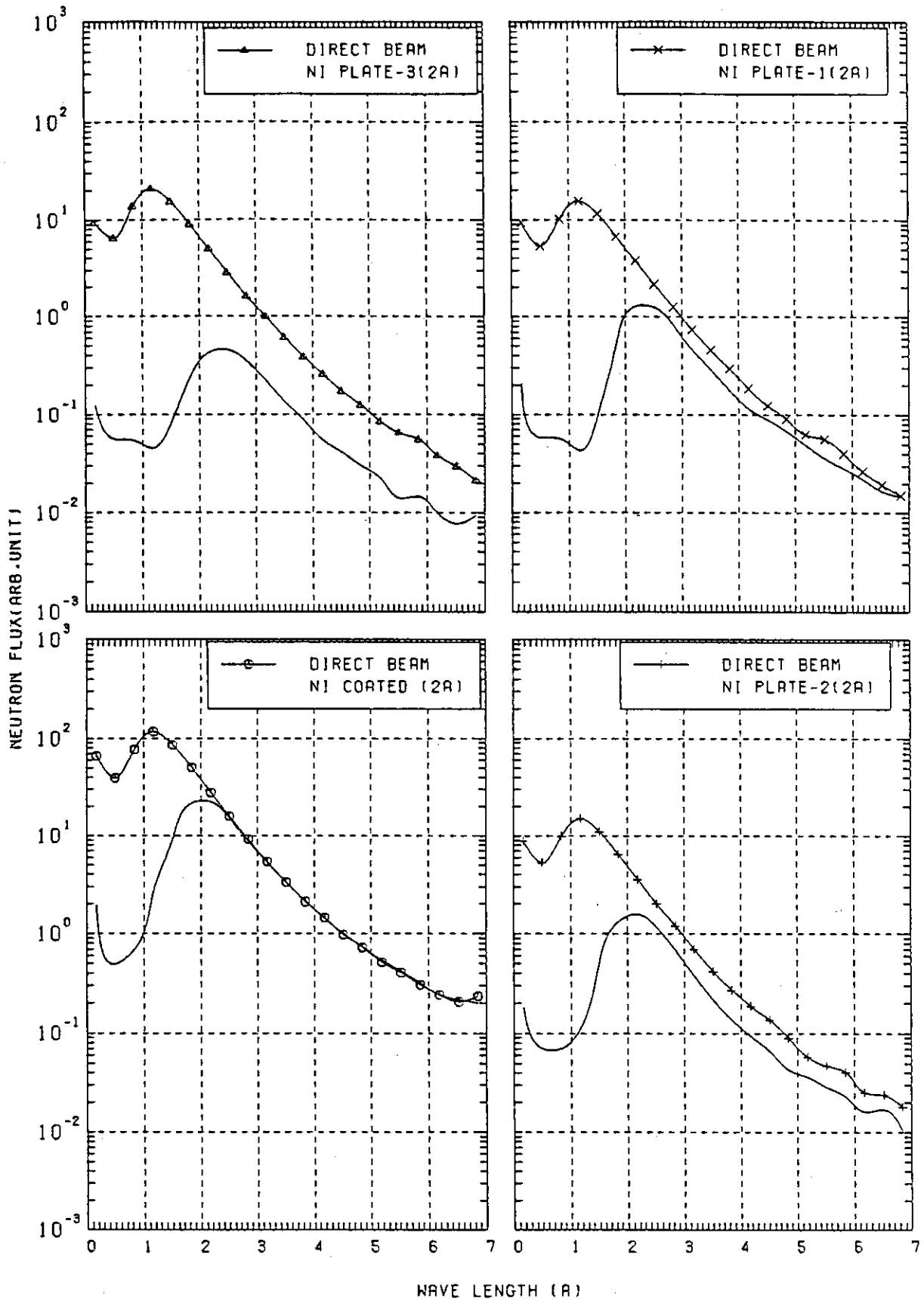


FIG. 9 3種類のニッケル板の中性子スペクトル (2 Å)

Neutron spectra measured on three kinds of Ni plates (2 Å)

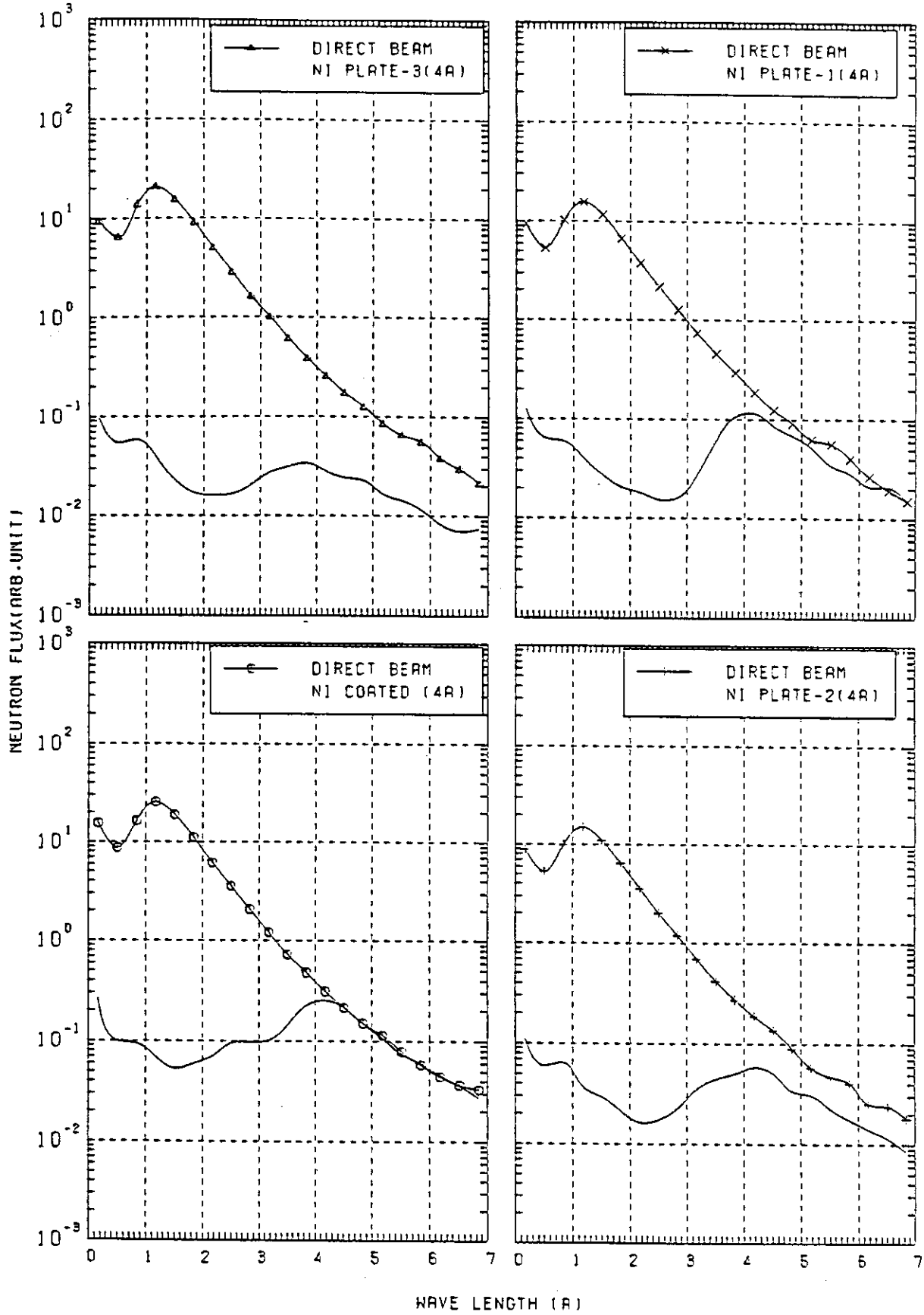
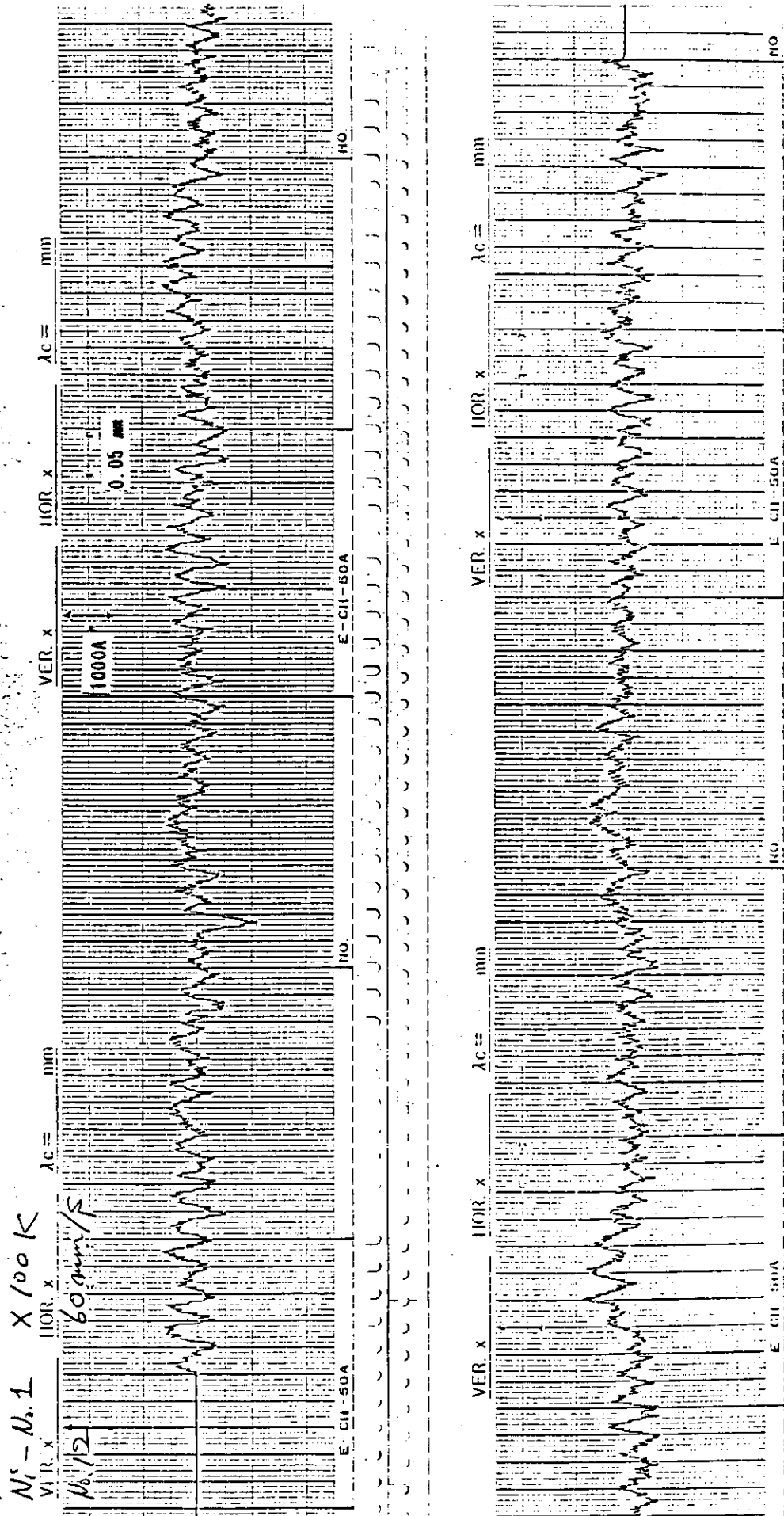


FIG. 10 3種類のニッケル板の中性子スペクトル (4 Å)  
 Neutron spectra measured on three kinds of Ni plates (4 Å)



Run No. 12  
 縦方向倍率  $\times 100K$   
 Chart 速度 60mm/sec  
 供試体 ニッケル板-1

FIG. 11 ニッケル板-1の表面粗度  
 Surface roughness of Ni-plate No.1



Run No. 14  
 縦方向倍率  $\times 100K$   
 Chart 速度  $60\text{mm/sec}$   
 供試体 ニッケル板-2

FIG. 12 ニッケル板-2の表面粗度  
 Surface roughness of Ni-plate No.2

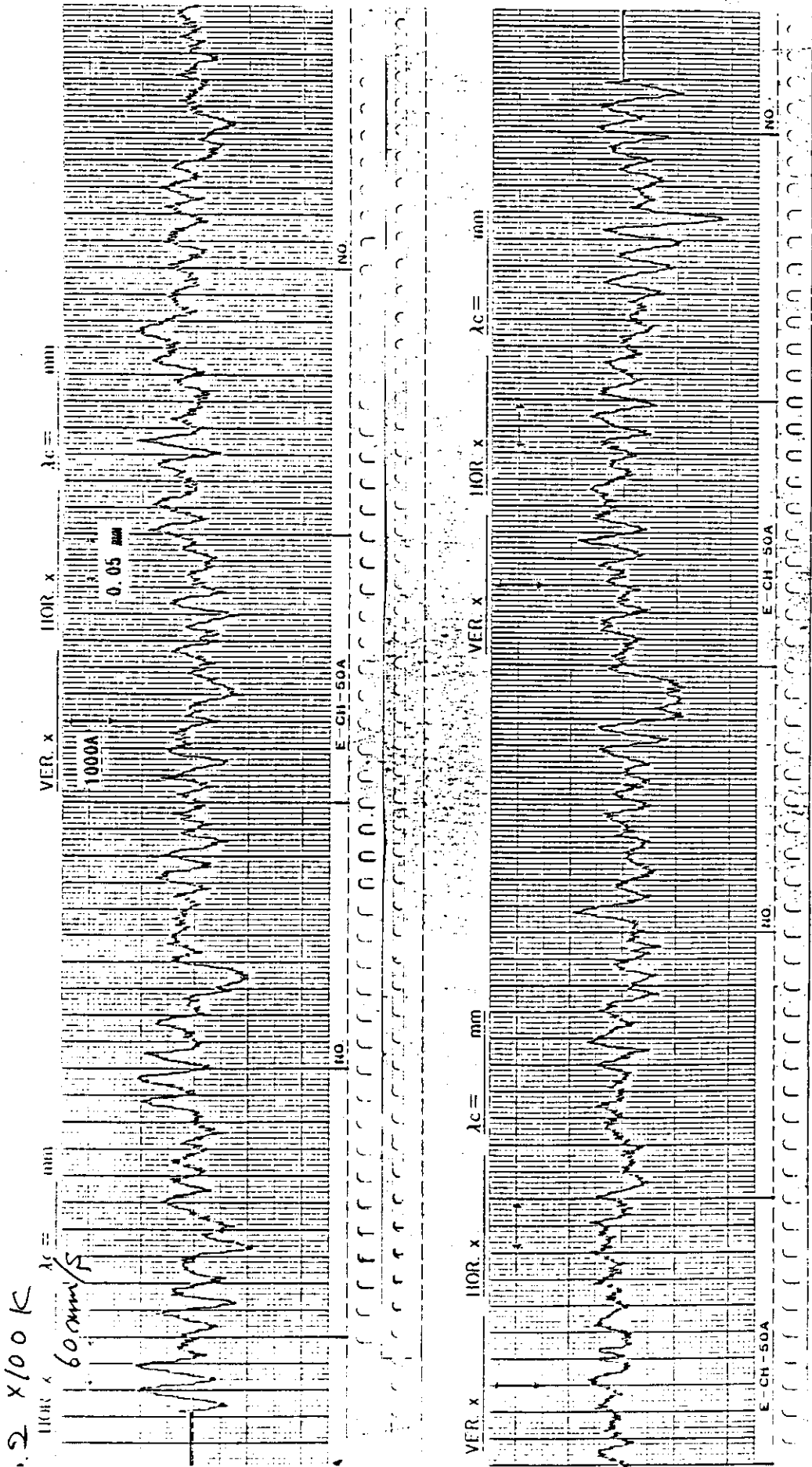
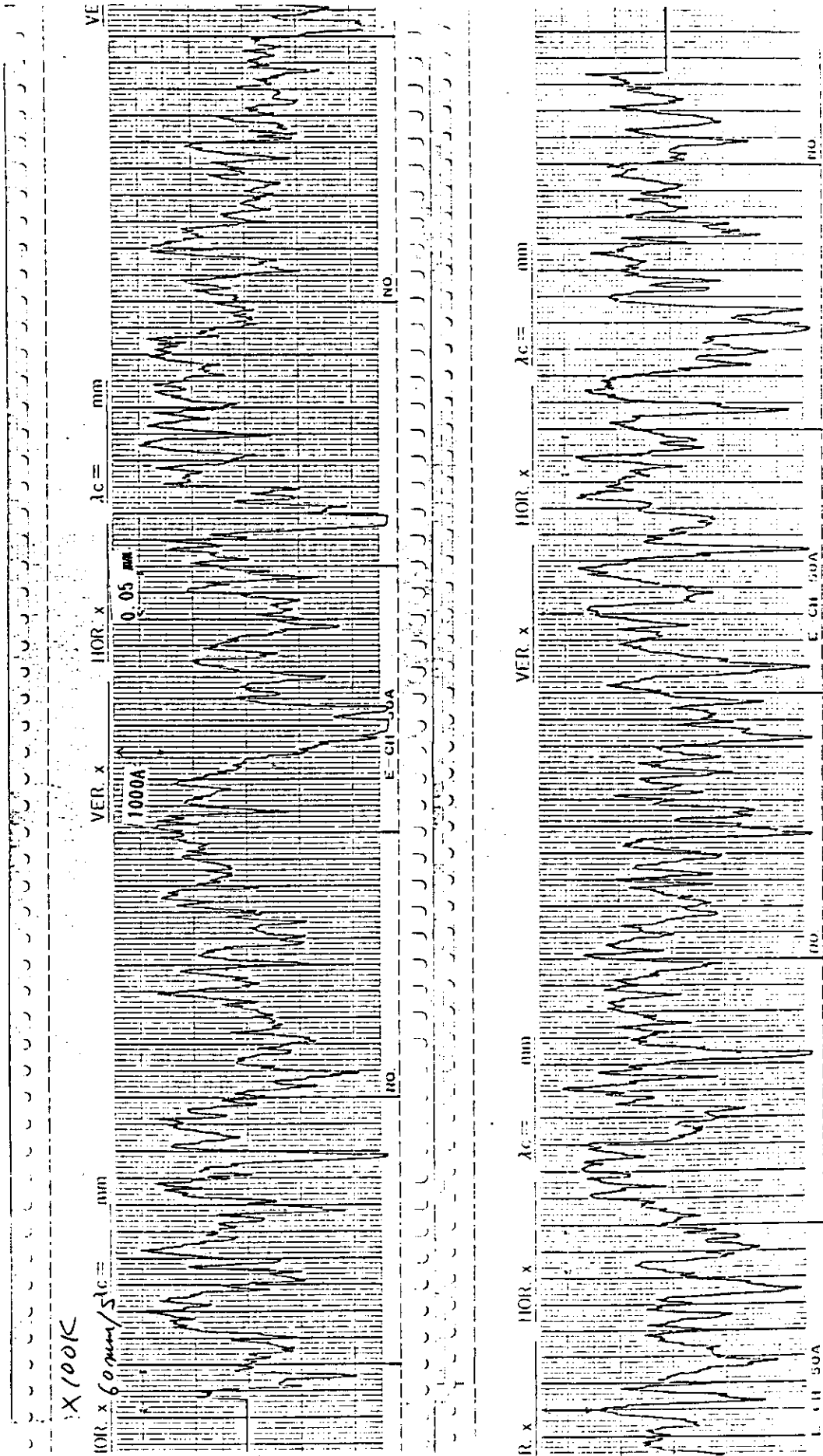


FIG. 13 ニッケル板-3の表面粗度  
Surface roughness of Ni-plate No.3

Run No. 16  
縦方向倍率  $\times 100K$   
Chart 速度 60mm/sec  
供試体 ニッケル-3



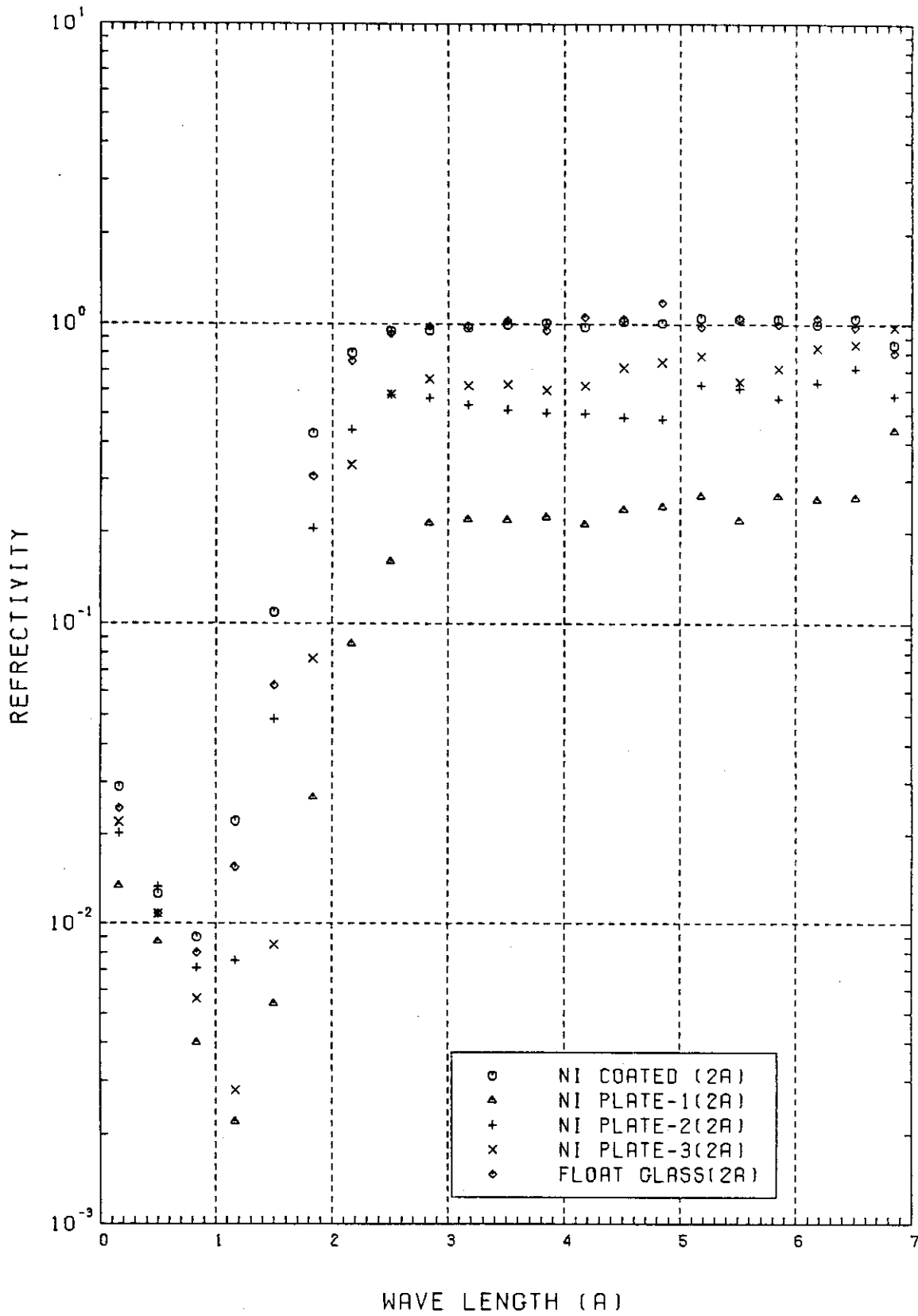


FIG. 14 供試体の反射率の比較  
Reflectivities of neutron mirrors

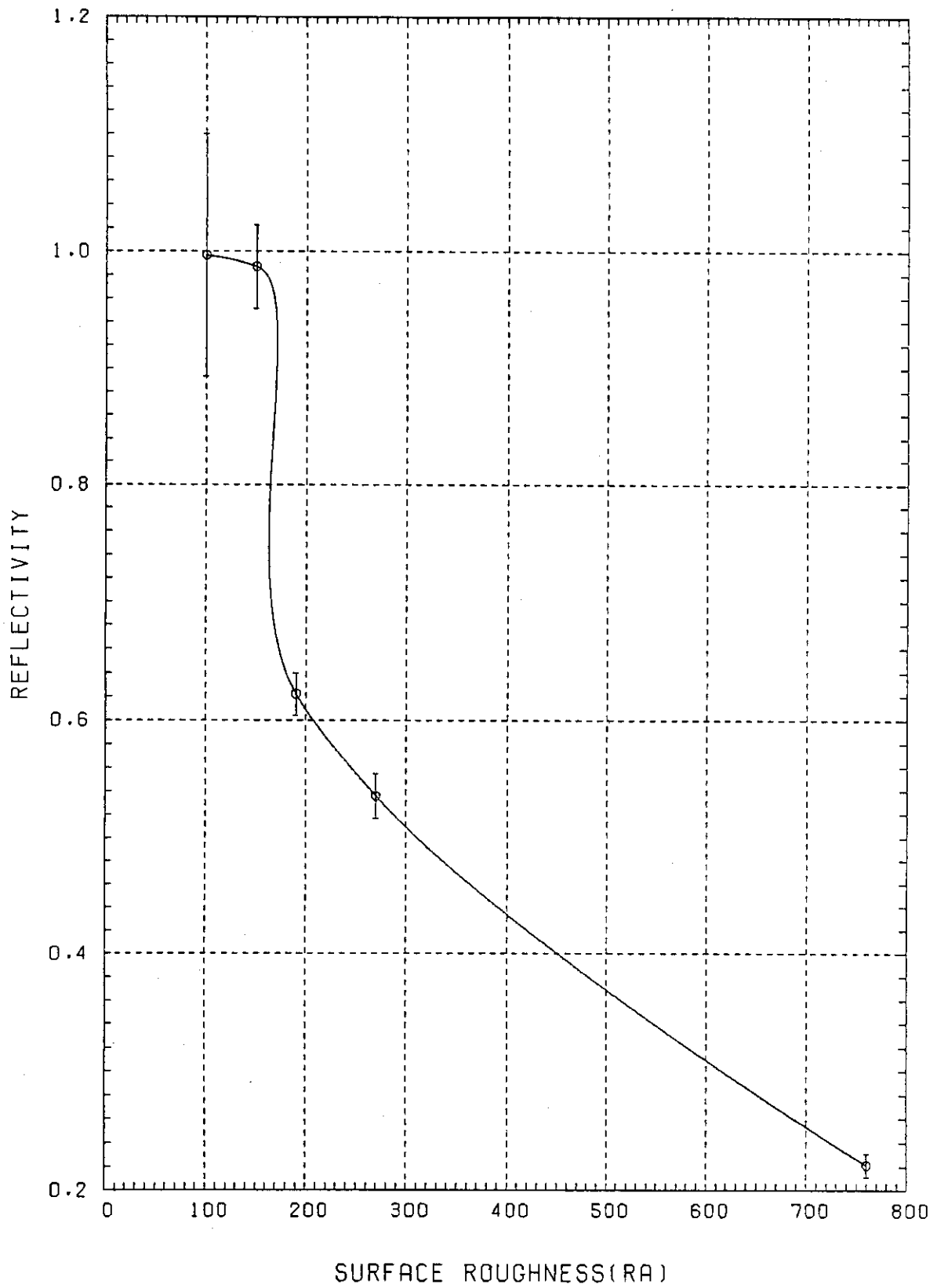


FIG. 15 表面粗度による反射率の比較 (3 Å)  
Neutron reflectivity versus surface roughness