



ガラス面の精密加工法に関する研究（綜合報告第2號）

ガラス面の粗さ測定法

久 本 方^{*}

Studies on Fine Finish of Glass Surface (2nd Report, Synthesized)

Roughness Measurement of Glass Surface

By Tadashi Hisamoto

Hitachi Electric Wire and Cable Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

In this report, I have discussed about the roughness measuring method of glass surface which is necessary to decide suitability and excellency of fine glass finishing operations and conditions.

As all of the roughness measuring methods of to-day are not sufficient for demand of this study, I have studied about the new mechanism of roughness measurement, and accomplished the "Optical Defect Tester" which is possible to take the magnified recording data—defects detection of glass surface and microscopic photograph of the same point—with converging light flux and photo-tube.

I shall introduce the characteristics, applications, theoretical meaning of the "Optical Defect Testing Method", and the relation between the "JES Roughness Notations" and this method, and thus gave reliability and universality to this method.

And I have made sure that my purpose is filled up by applying the above mentioned optical defect testing method and light transmitting method (well known).

(These studies are carried out at the Mito Branch of Hitach Laboratory, Hitachi Ltd.)

〔I〕 緒 論

ガラス面の精密加工法及び加工条件の適否優劣を決定するに必要なガラス面の粗さ測定法を確立するために、先ずガラス面の粗さ測定法について研究することとした。

本研究のガラス面の粗さ測定法として考慮しなければならない点を挙げると次のようになる。

(1) ガラス面としては荒摺り程度の面からベンガラ磨き面（鏡面）迄廣範圍に應用出来る粗さ測定法でなければならない。

(2) ガラス加工面に残る傷の有無大小等によつて加工法及び加工条件の適否優劣を定めるので、ガラス加工面の傷は細大もらさず自動的に擴大記録したい。

(3) 粗さの記録には再現性があり、信頼度と普遍性とがなければならない。

(4) ガラス面は他の物體との接觸又は摩擦によつて、接觸部分がたやすくかけたり傷ついたりするので、

* 日立製作所日立電線工場

粗さ測定法としてはその點も考えに入れておかなければならない。

(5) ガラスは透明であり、又ガラスの精密加工品の透明度が優れているということは、精密加工法及び加工条件の優劣を定める一つの重要な条件にもなるので、その點も十分考慮に入れて行きたい。

これらの要求にぴつたりと當てはまる粗さ測定法は今迄になく、觸針法による粗さ測定法がこの条件に最も當てはまるように考えられるが、これとても**写真1**及び**写真2**でわかるようにガラス面は鐵面の場合に比べて觸針

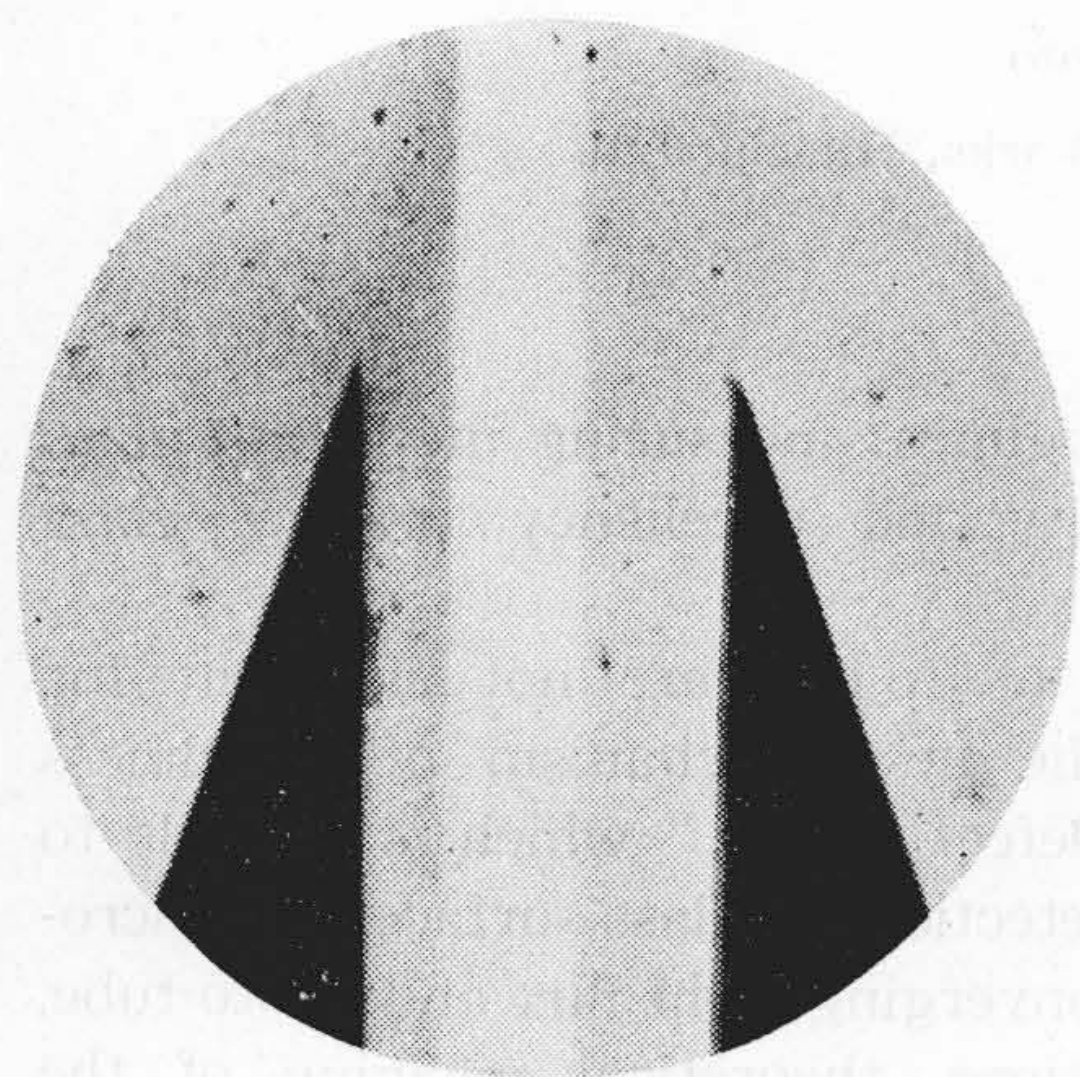


写真1. ガラス面による觸針の磨耗 ×100

測定壓 0.5 gr 移動長 20 mm

Picture 1. Wear of Tracer on Glass Surface
×100 measuring pressure 0.5 gr, traveling
length 20 mm (before use, after use)

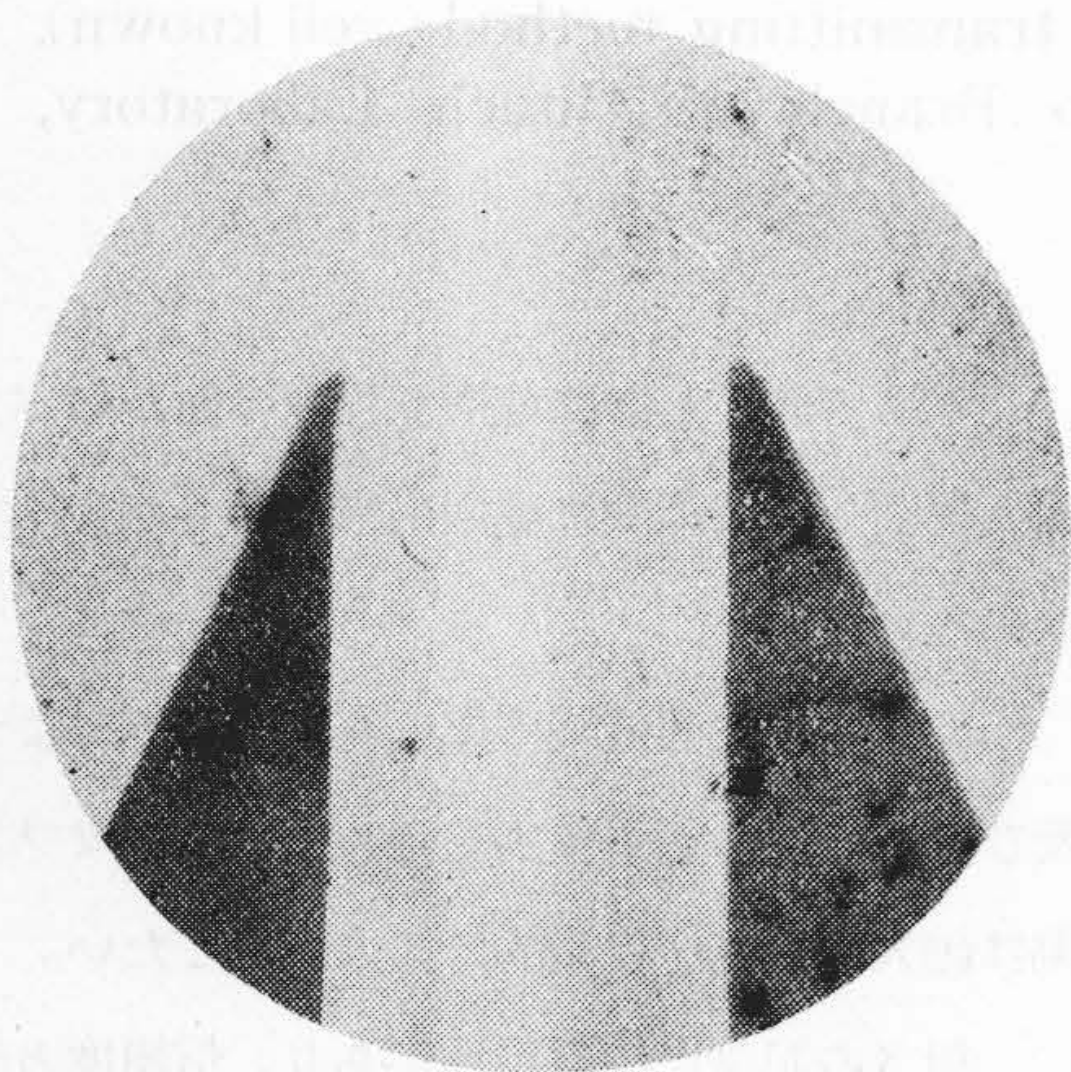


写真2. 軟鋼面による觸針の磨耗 ×100

測定壓 0.5 gr 移動長 20 mm

Picture 2. Wear of Tracer on Mild Steel Surface
×100 measuring pressure 0.5 gr, traveling
length 20 mm (before use, after use)

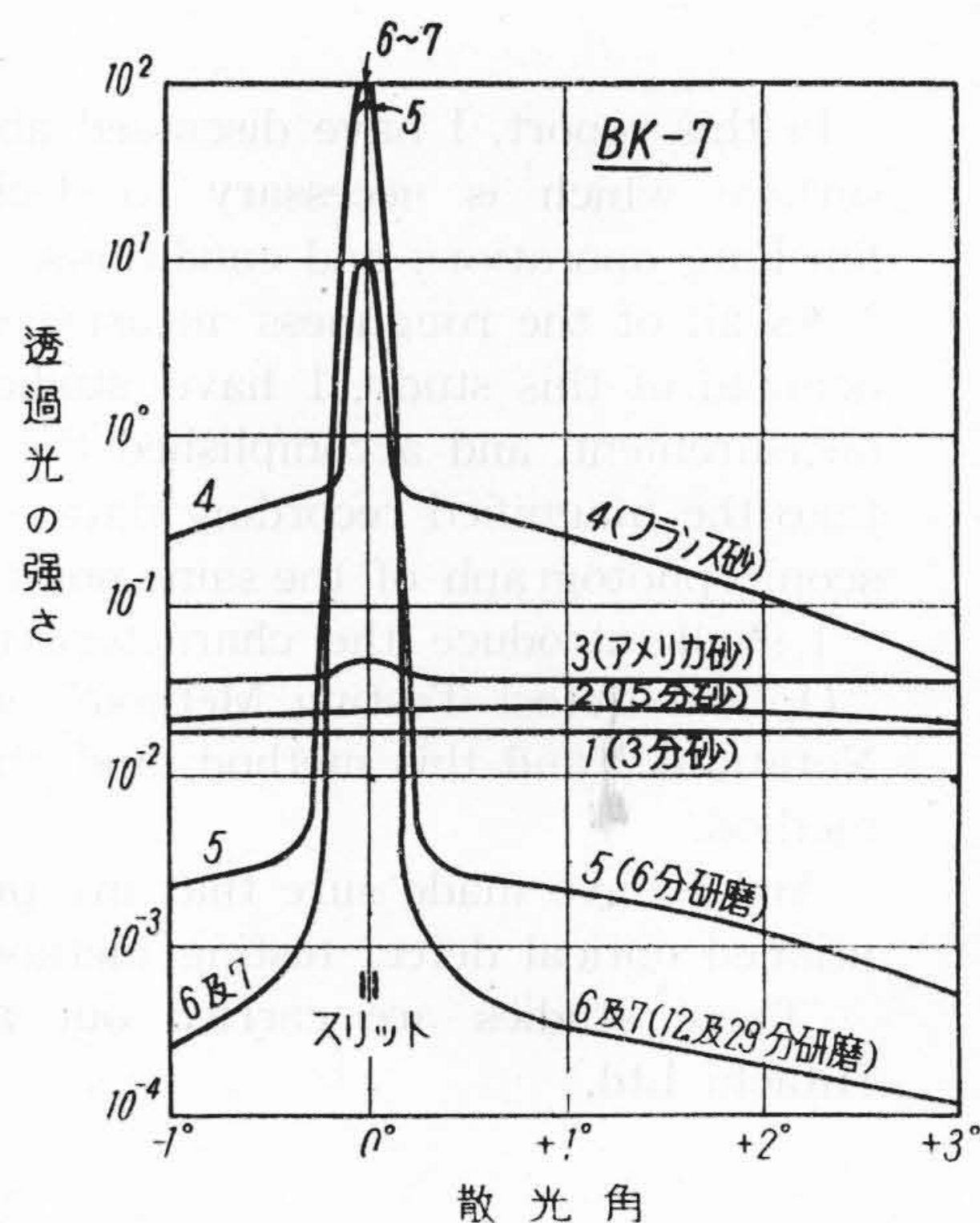
の磨耗が大きく信頼度は低い。

そこで本研究に於いては新にガラス面の粗さ測定法を確立する必要が生じてきた。

〔II〕 ガラス面の粗さ測定

(1) 光透過法

H. M. Brandt⁽¹⁾ は光電管と分光計とを用いて透過光の強度分布曲線を求めているが、その形はガラス面の加工程度によつて違つた結果を示している。即ち Brandt は単色光を用いて硼硅クラウンガラス (BK-7) 及び重フリントガラス (SF-2) の加工面を通す光の強さを測定した。その一例を**第1圖**に示す。同圖はフィルターを通過した

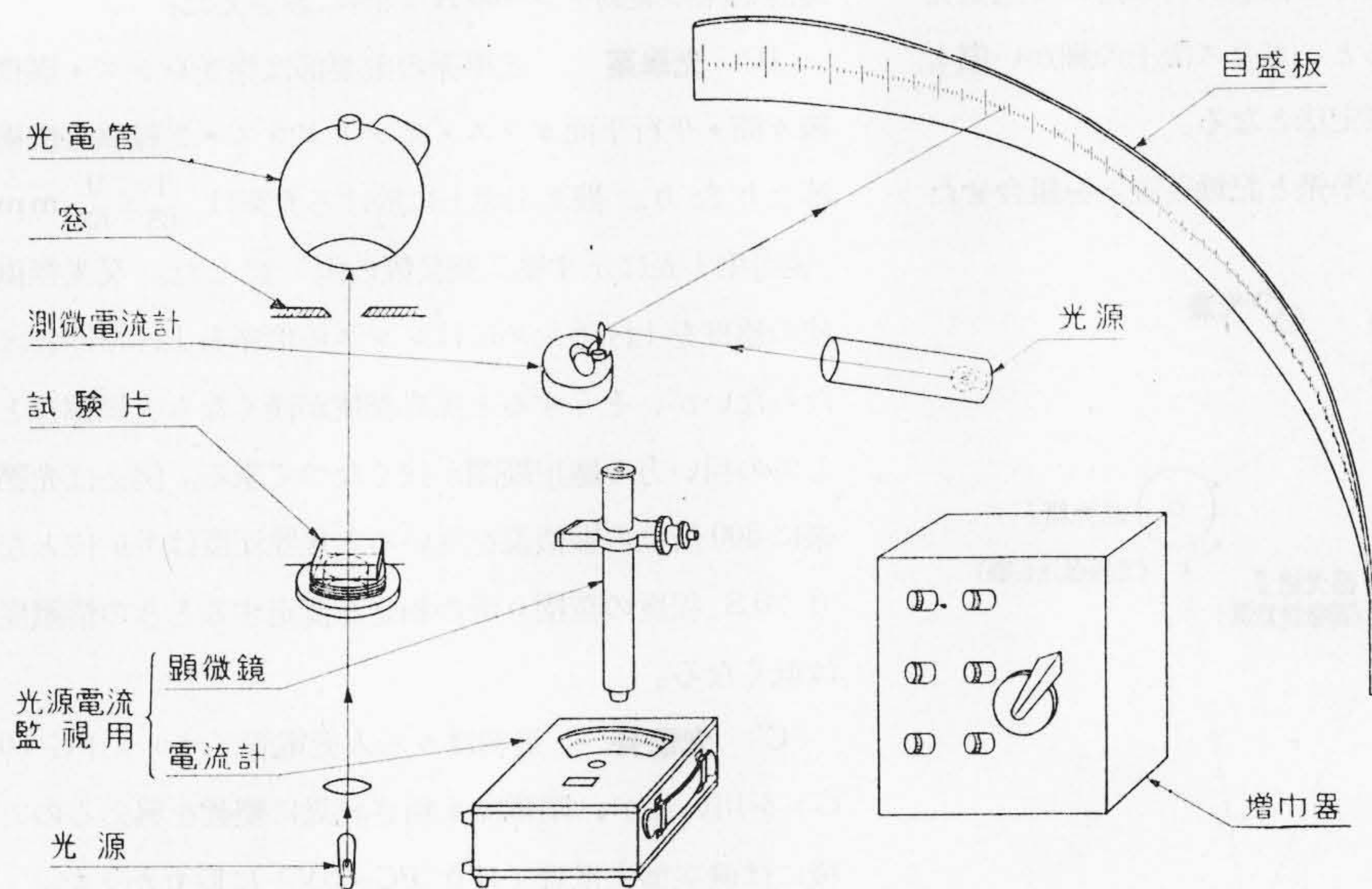


第1圖 光線透過法による表面の記録
(H. M. Brandt 綠色光)

Fig. 1. Surface Measurement by Light Transmitting Method. (H. M. Brandt, Green Light)

綠色光を用い、裏面はベンガラ磨きした硼硅クラウンガラス (BK-7) について透過光の強さを測定しているが、その結果はベンガラ磨きした面 (5・6・7) は砂掛け面 (1・2・3・4) に比べて曲線が立つていて光の直進方向の強さ即ち最大値も大きい。

そこで太い平行光束を用いて光の直進方向に於ける透



第2圖 光透過法による粗さ測定要領圖

Fig. 2. Mechanism of Roughness Measurement by Light Transmitting Method.

過光の強さを求めると、その値はガラスの被測定面の性質及び粗さに関係し、その透光性を表わすものと考えてよい。しかしこれだけではその粗さに普遍性がないので、豫め各種のガラスの厚さの違う両面ベンガラ磨きした試験片について光透過率の較正圖表を求めておき、この圖表によつて修正することにすれば普遍性も附與出来ることになる。

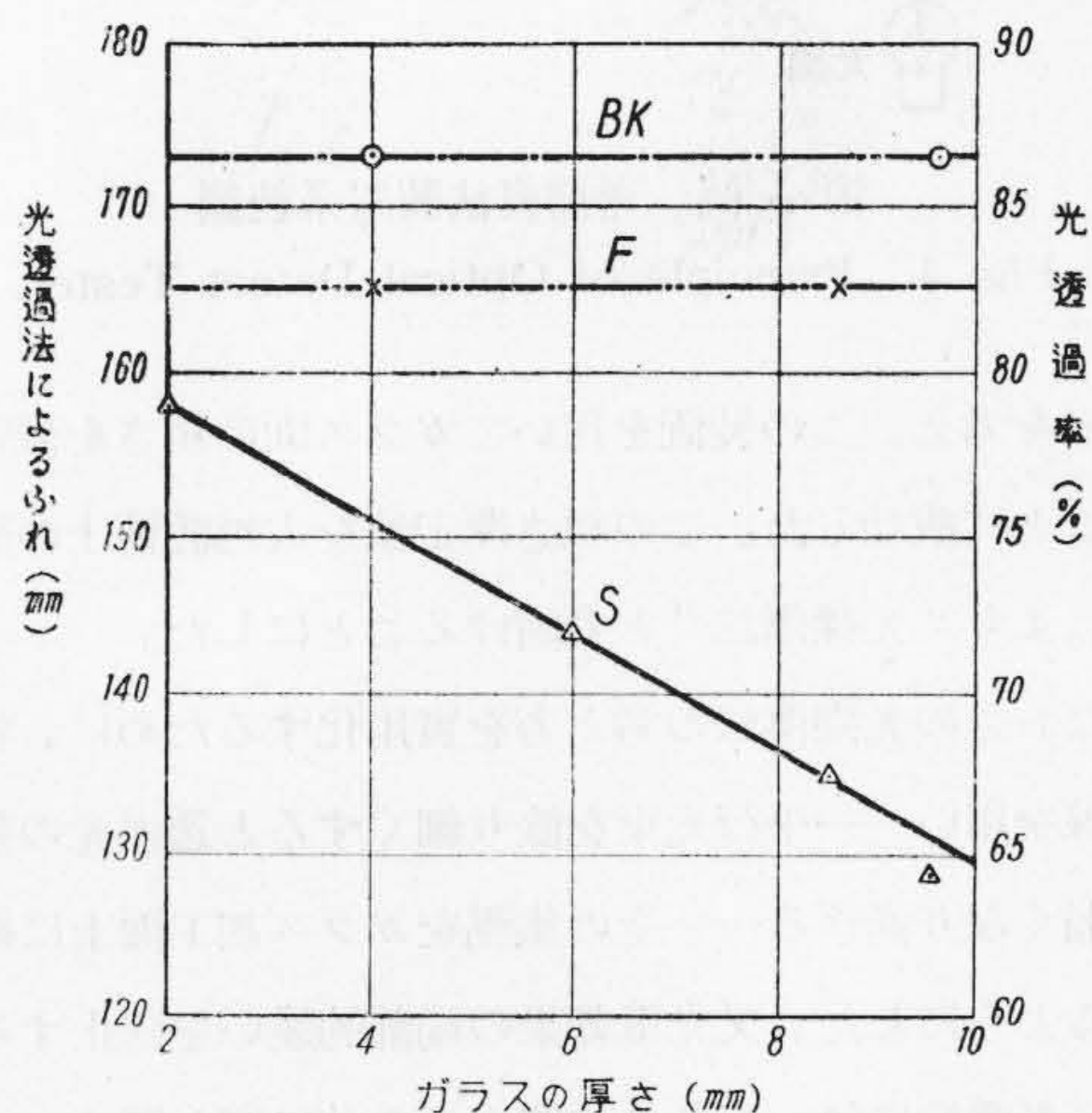
この構想を實用化するために第2圖に示すような光透過法による粗さ測定装置を作つた。その要領は光源（エキサイター電球 8V 4A）から出た光を集光レンズを通して直径 10mm の平行光束（必要に應じその直径を増減出来るようにしてある）にして裏面をベンガラ磨きした試験片ガラスの被測定面に當てその光軸上に窓及び光電管（日立真空型 PC-65V）を置く、光電管で發生した光電流は UZ-6C6 を使用した一段増巾器を通して、鏡附に改造した測微電流計（日立製 500 μ A）に入れランプアンドスケール法によつて 2m のスケール一ばいにふらせて光透過法による粗さを測定した。

本装置の光學系に光を通さなかつたときのふれをスケールの零目盛に合わせ、次に試験片を置かないで光を送

りその時のふれが丁度 2m の目盛を指すように光源にはいる電流を定め、その後電流が變動しないように監視した。

か様にして測定したガラスの光透過率(%)を圖示すると第3圖となつた。この光透過率を用いてベンガラ磨き面の粗さが 100 になるように修正し、その時の粗さを光透過法による粗さとして本研究に應用することにした。

しかし光透過法のみ



第3圖 光透過法による光透過率（光透過法による粗さ測定装置）

Fig. 3. Measurement of Light Transmitting Coefficient. (Light Transmission Tester)

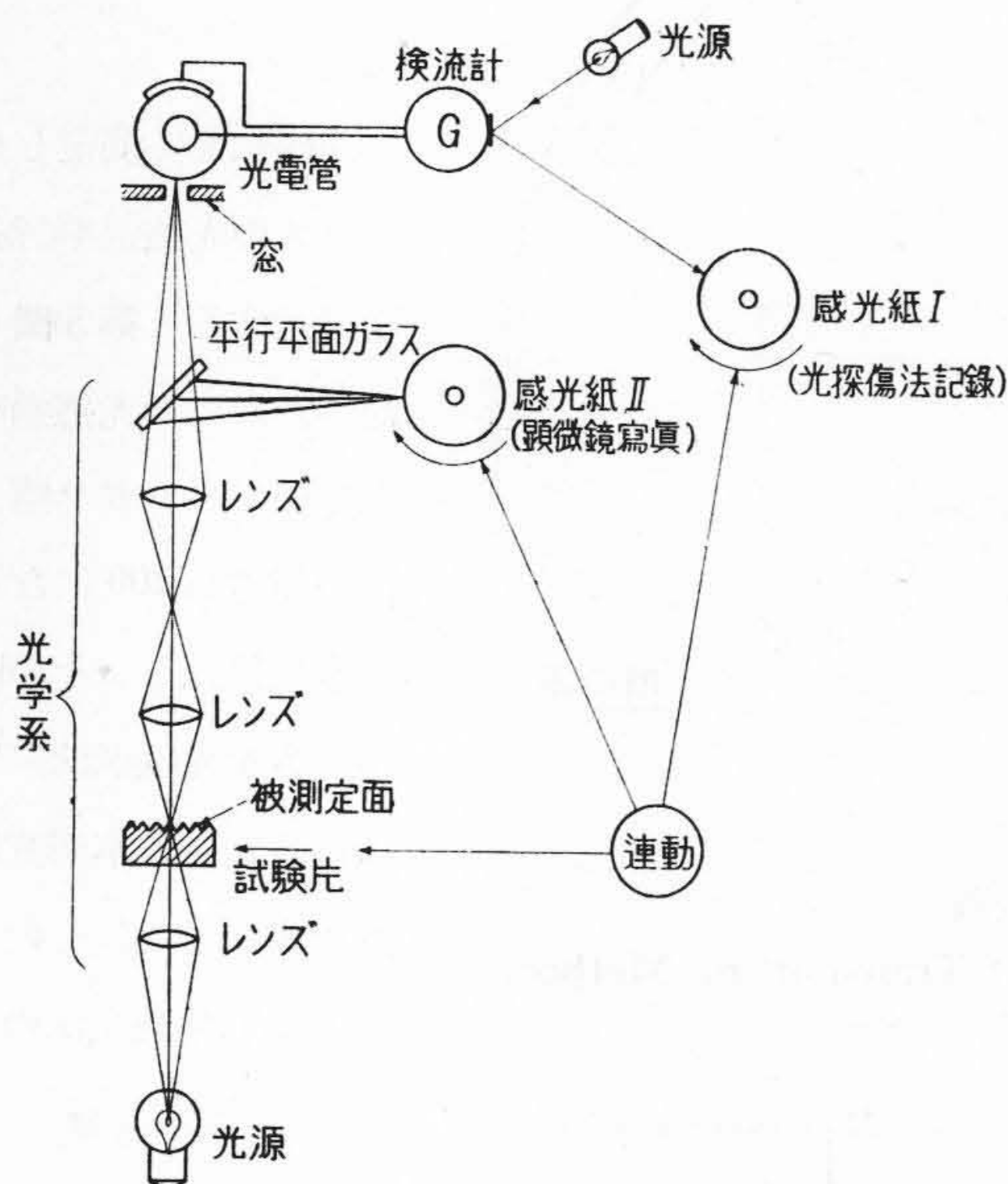
ではガラス面上の傷を見出すことは出来ないので、この光束を十分細くして 10~20 μ 程度にでも出来れば實用上ガラス面上の傷の大小がわかる筈である。

(2) 光探傷法

前項に述べたように Brandt の研究を更にふえんし、

光束の太さを十分細くしてその直進方向に於ける透過光の強さを連続的に測定すると、ガラス面上の細かい傷も洩らさず記録出来る粗さ測定法となる。

そこで第4圖のような光學系と記録装置とを組合せた



第 4 圖 光探傷法装置系統圖

Fig. 4. Principle of Optical Defect Tester.

ものを考え、この装置を用いてガラス面の粗さを測定することに成功した。この粗さ測定法を大越諄博士の御命名により“光探傷法”と名附けることにした。

なおこの光探傷法の考え方を実用化するために、集光光線を用い——平行光束を餘り細くすると透過光の強さが弱くなり過ぎる——その焦点をガラス加工面上に結ばせるようにした、又光電効果の局部的違いを防止するために光電管にはいる光の位置もその前に窓を置くことによつて定位置に保つた。

〔III〕 光 探 傷 法

(1) 光探傷法装置

第4圖の構想に従い研究室用としての光探傷法装置を完成したのでその構造の要點を次に記す。

(A) 光源 實用上信頼出来る電球としてトーキーのエキサイター電球 (8V・4A) を用い、實驗中その

光源電流の變動を 1/100 A 以内におさえた。

(B) 光學系 光學系の主要部は集光レンズ・顯微鏡々筒・平行平面ガラス・ピントガラス・光軸調整機構等よりなり、被測定面上に於ける光束は $\frac{1}{65} \times \frac{9}{65}$ mm (後出第1表に示す第2號装置の例) にした。又光探傷法の感度を上げるためにはレンズの倍率を上げなければならないが、そうすると焦点深度が浅くなり光探傷法としての粗い方の應用範圍が狭くなつて来る。例えば光學系に 300 倍位の顯微鏡を用いると焦点深度は 6μ 位となり 20 S 程度の荒摺り面の粗さを測定するときの信頼度は低くなる。

(C) 光電管 最初はガス入光電管 (マツダ PG-50 G) を用いたが、暗電流も粗さ記録に變動を與えるので後には眞空型光電管 (日立 PC-65V) に取りかえた。

(D) 電流計 初めは横河 D2-L 型檢流計 (電流感度 3.7×10^{-8} A) 及びその増感型 (電流感度 4.3×10^{-9} A) を、後には測微電流計 (日立製 500 μ A) の指針を改造して檢流計のように鏡をつけ増巾器と併用した。

(E) 粗さの記録 試験片の送りと連動した感光紙 I 上に粗さを自動的に擴大して記録した。

(F) ガラス面の連續顯微鏡寫眞 光學系の顯微鏡々筒をそのまま顯微鏡寫眞の光學系と考え、顯微鏡の倍率と感光紙 II の送り速度とをマッチさせて置いて、平行平面ガラスの反射光を用いてガラス面の連續顯微鏡寫眞をとるようにした。

(G) 連動機構 (E)(F) の記録及び寫眞をとるために、直流モーターで驅動された機械的連動機構によつて試験片の送りと連動させるようにした。

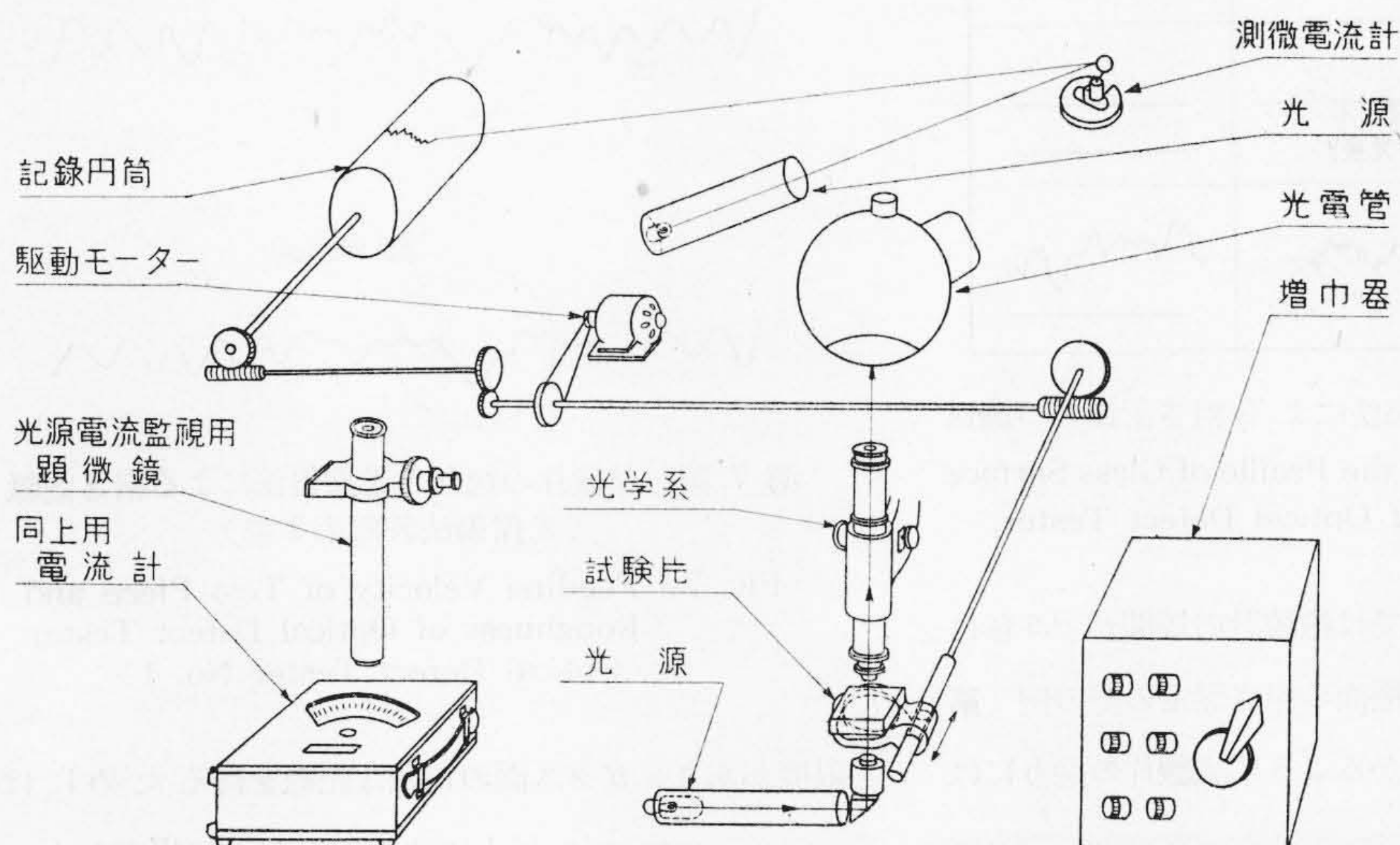
これらの装置を最初光探傷法装置第1號及びその改良型として組立て、使用したが、 10^{-9} A 程度の光電流を用いていると天候による漏洩電流の問題等があつたために後にはベークライト板製の格納箱を作つてこれに納め光探傷法装置第2號とした。その仕様を比較すると第1表のようになる。

第5圖及び寫眞3は光探傷法装置第2號の機構と外觀とを示す。

(2) 光探傷法とガラス面の形狀

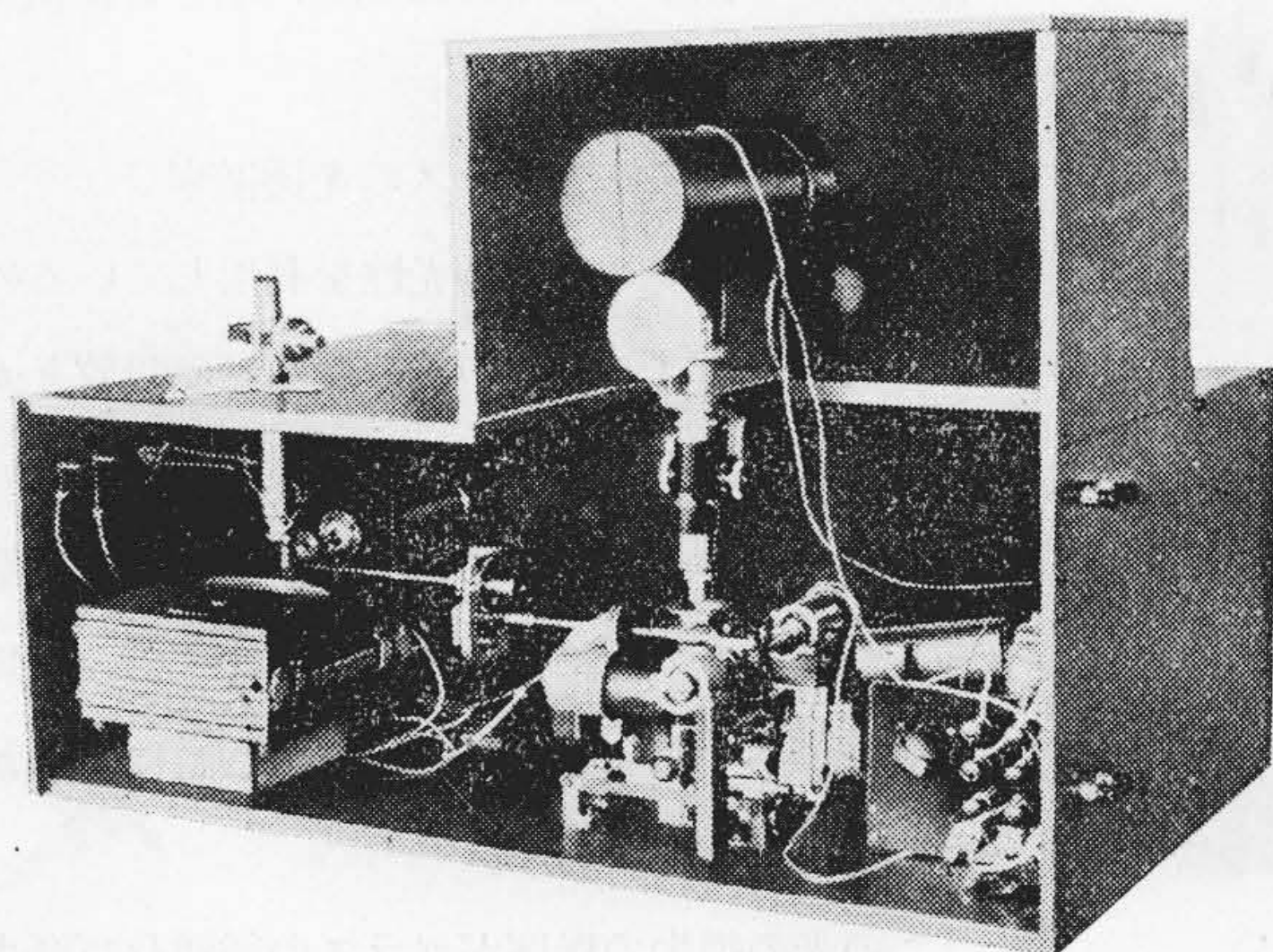
第1表 光探傷法装置仕様一覽表

光探傷 法装置	光電管	電 流 計	防振 架臺 ⁽²⁾	増巾器	電流計と 記録円筒 との距離	光 學 系			横倍率 (擴大 方式)	顯微鏡 寫眞 裝置	格納箱
						集 光	對 物	接 眼 (光電管側)			
第1號	ガス入 PG-50G	D-2L型 檢流計	なし	なし	120 cm	オリンパス M ₂ (×6)	オリンパス M ₃ (×11)	日立STO 接眼(前)	×21 (齒車式)	なし	なし (實驗臺)
第1號 改良型	眞空型 PC-65V	D-2L増感型 檢流計	使用	なし	120 cm	オリンパス M ₂ (×6)	日立STO 接眼(前)	日立STO 接眼(後)	×21 (齒車式)	附屬	なし (實驗臺)
第2號	眞空型 PC-65V	測微電流計	なし	UZ-6C6 一段増巾	60 cm	オリンパス M ₃ (×11)	日立PMC 對物 (×25)	日立PMC 接眼 (×12)	×28 (齒車式)	なし	ベーク ライト 板 製



第5圖 光探傷法装置
第2號機構圖

Fig. 5. Mechanism
of Optical
Defect Tester
No. 2.



寫眞 3. 光探傷法装置第2號

Picture 3. Optical Defect Tester No. 2.

光探傷法装置を用いて各種の断面形状をもつたガラス面の粗さを記録させたところ、ガラス面の形状と光探傷法による粗さとは第6圖のような関係にあることを確認した。この関係より光探傷法による粗さ記録はガラス面の形状(凹凸山の角度)によつて定まることがわかる。實用上は同圖の(6)の場合が最も頻發する。

ガラス面上の傷は粗さ記録と同時に撮影した顯微鏡寫眞上にもはつきり表われて来る。寫眞4は第1號改良型による傷の記録例を示し、點線は試験片の送り1 mm 毎に入れたマークである。

なお光探傷法の記録については檢流計の周期と試験片の送り速度との間に自から一つの關連性があるものと考えられる。

番号	ガラス面と光束	ガラス面の形状	光探傷法による粗さの記録
1	光線定盤のように全く平な場合	空気 ガラス	記録線 基線
2	光線定盤のように全く平ではあるが大きいうねりがある場合		
3	光線定盤のように全く平なガラス面に傷がある場合	A B	A B
4	ガラス面が大きく波うっていて光束が細い場合	A B C D E	A B C D E
5	ガラス面の粗さが理想的に一樣で光束が割に太い場合	光束	
6	ガラス面の粗さが一樣でない場合		

第 6 圖 ガラス面と光探傷法による粗さ記録との関係
Fig. 6. Relation between the Profile of Glass Surface and Roughness of Optical Defect Tester.

即ち光探傷法装置第 1 号では検流計の周期が 2.5 秒にもなっているので、平面研磨面の粗さ測定の際の例（第 7 圖参照）を見ればよくわかるように試験片の送りには

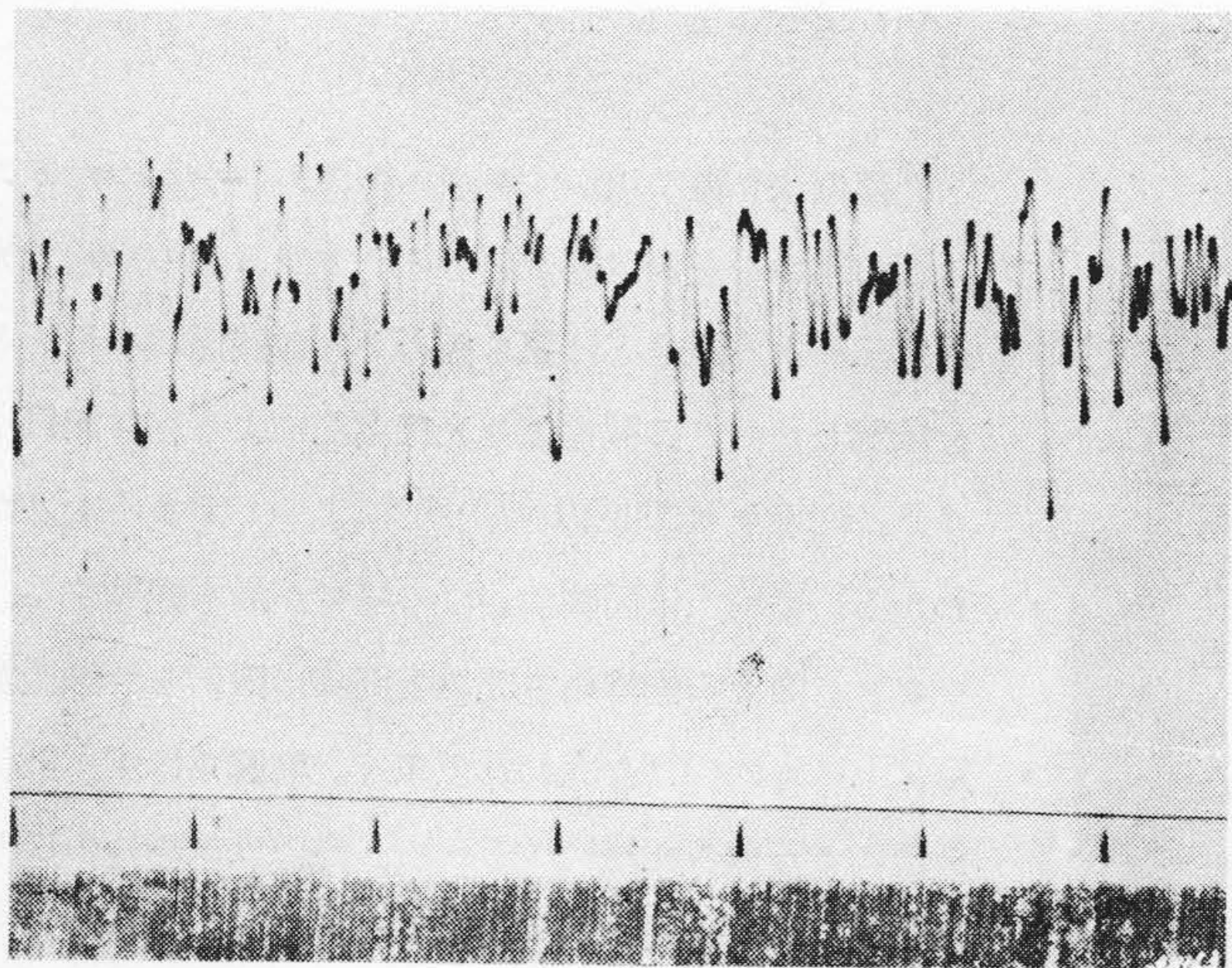
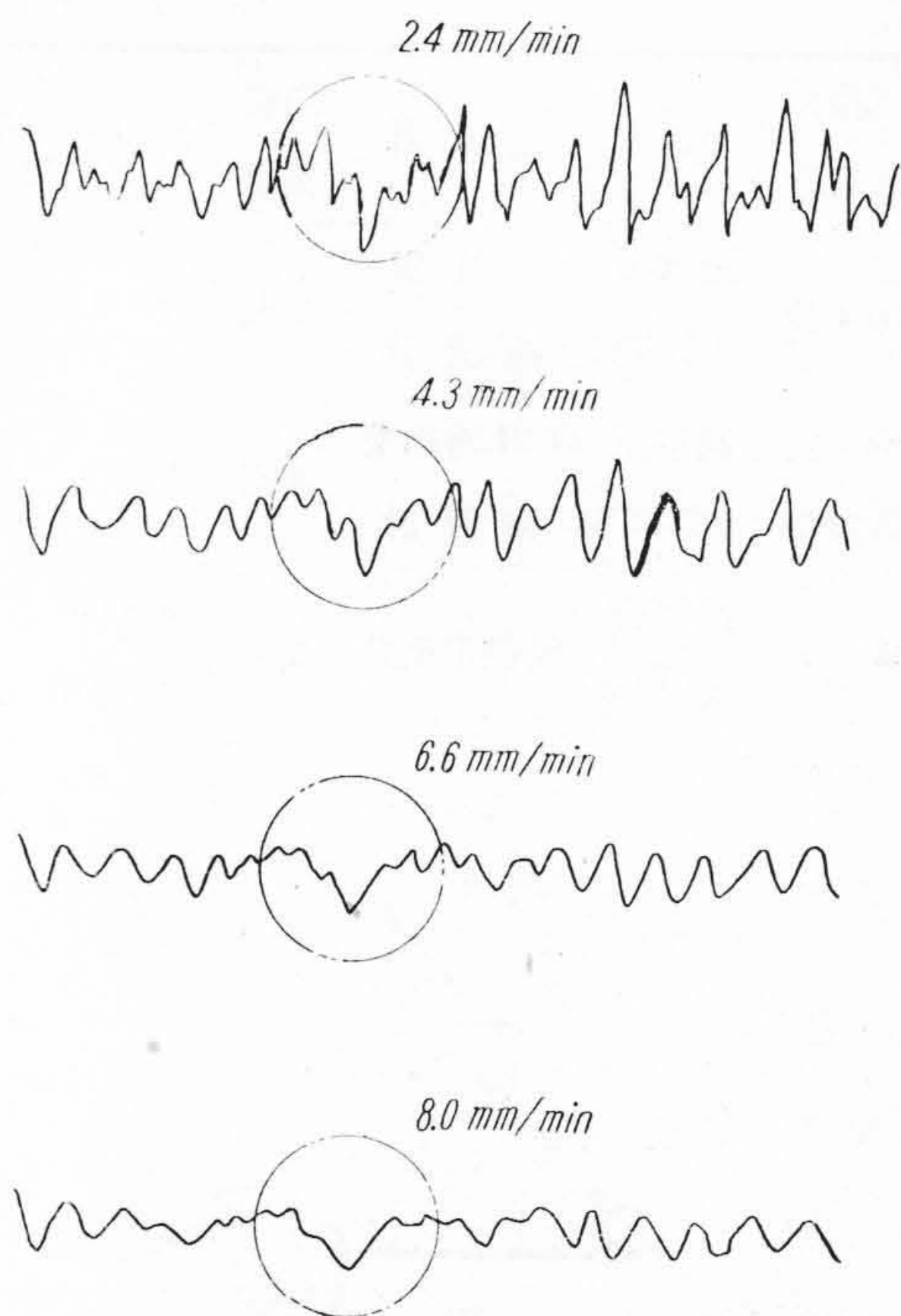


写真 4. 光探傷法による粗さ記録の一例
(光探傷法装置第 1 号改良型)

Picture 4. An Example of Roughness recording data of Optical Defect Testing Method (Optical Defect Tester No. 1, Improved Type)



第 7 圖 試験片の送りと光探傷法による粗さ記録
(光探傷法装置第 1 号)

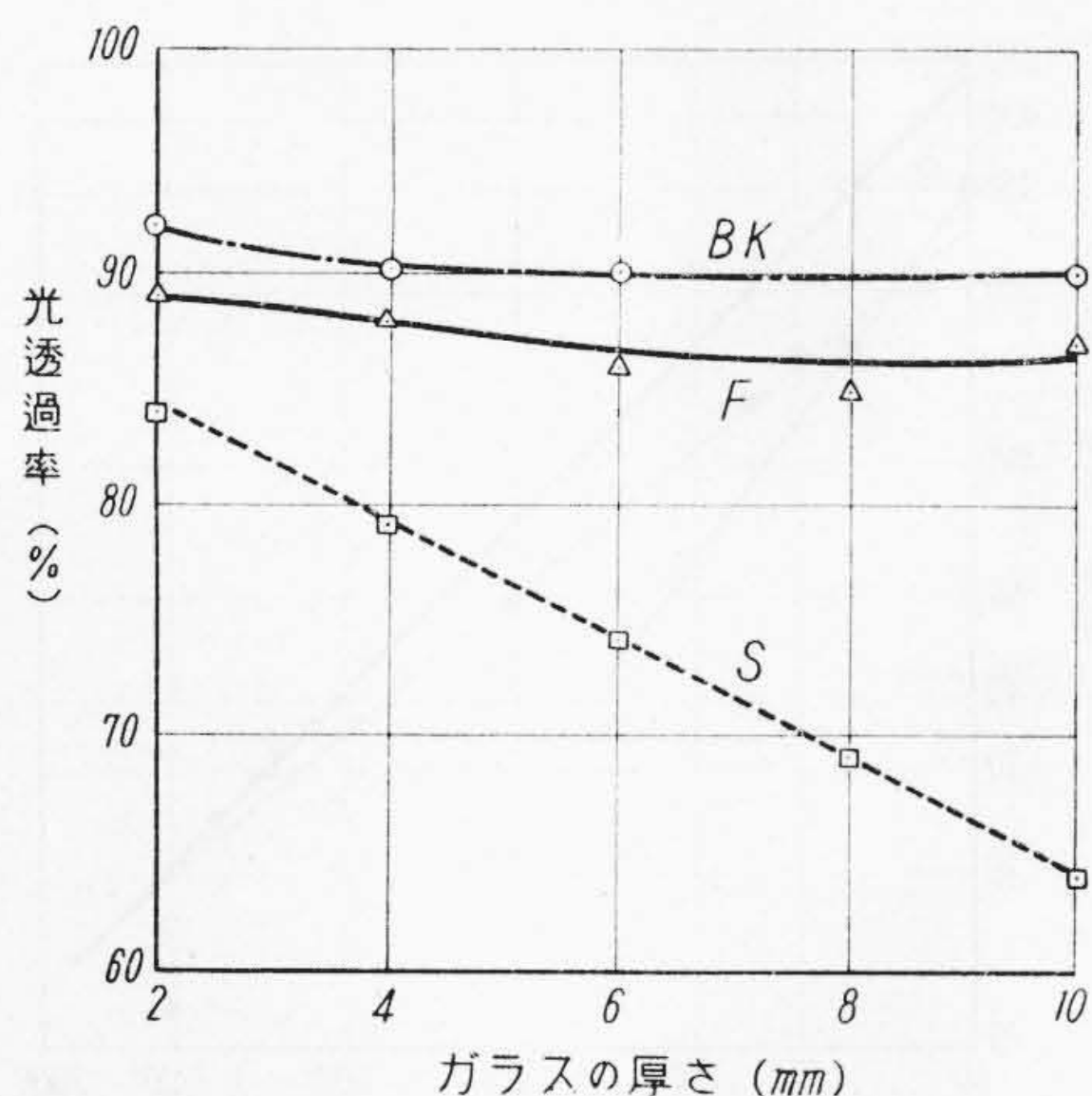
Fig. 7. Feeding Velocity of Test Piece and Roughness of Optical Defect Tester.
(Optical Defect Tester No. 1)

限度があり、ガラス面の正確な記録を得るためには 3 mm/min 以上に速くすることは出来ない。そこで光探傷法装置第 2 号では實用上もつと能率よく粗さを測定するために周期の小さい測微電流計を用いることにした。

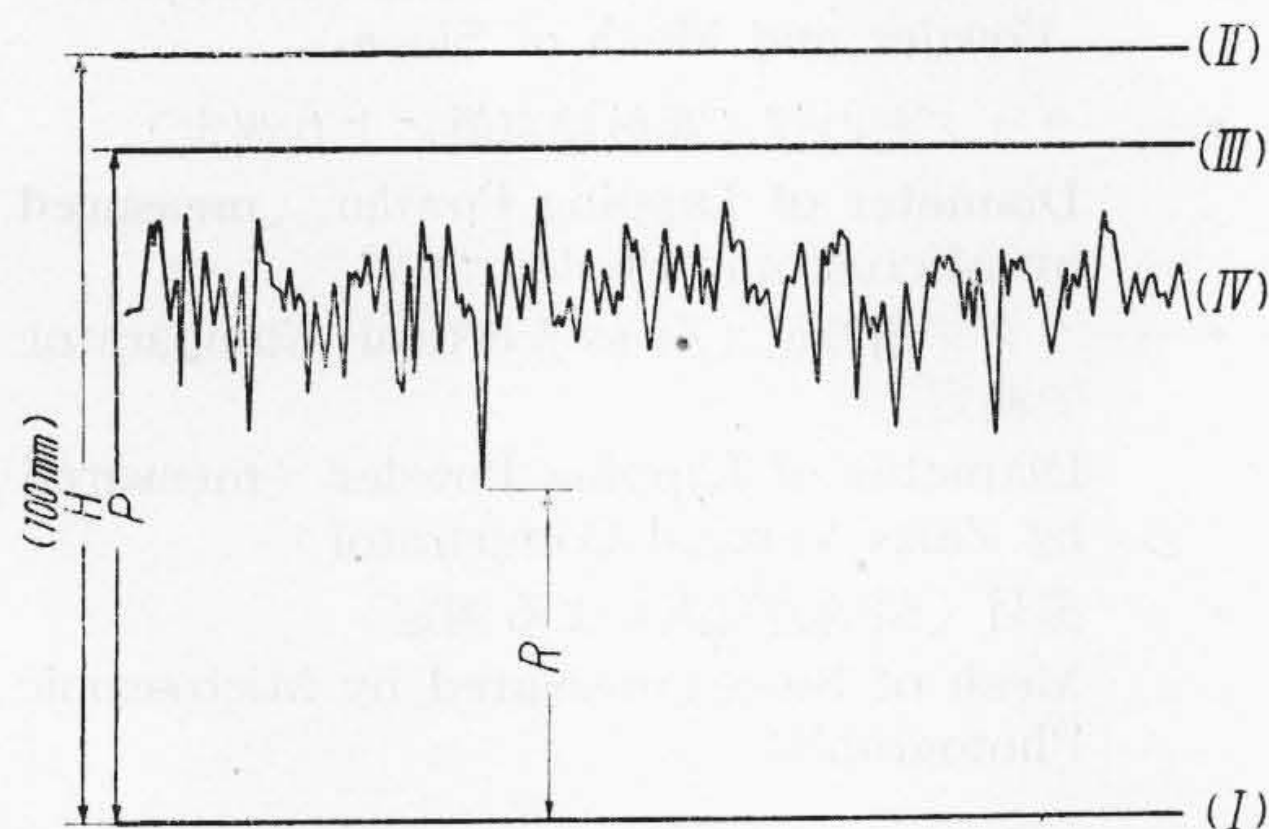
(3) 光探傷法とガラスの光透過率

光探傷法はガラスの透光性を利用しているので、透過光にはガラス中に於ける光の吸収とガラス面に於ける光の反射による損失が必ずはいってくる。Fresnel⁽³⁾によると完全にベンガラ磨きした面でも一面につき $\left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2$ だけの反射損失が必ずあるといっている。ここに n はガラスの屈折率を表わす。

この光の損失の程度がガラスの種類及び厚さによつて實用上どの位變化するかについて次の實驗を行つた。即ち BK・F・S の 3 種のガラ



第8図 光透過率の測定（光探傷法装置第2号）
Fig. 8. Measurement of Light Transmitting Coefficient. (Optical Defect Tester No. 2)



第9図 光探傷法による粗さ説明図
但しこの記録は光探傷法装置第1号改良型を用いて下記の条件で研削したガラス研磨面の粗さ記録である。

試験片ガラス F (F-2)
研削砥石 A. 220. L (日本人造黒鉛)
研削速度 5 m/sec
送り 0.5 m/min
冷却水 乳化油 7 l/min
研磨盤 Brown & Sharpe 油圧式 No. 5 平面研磨盤
Fig. 9. Explanation of Roughness by Optical Defect Tester.
This Figure shows Roughness of Ground Glass Surface Measured by Optical Defect Tester No. 1, Improved Type.
Grinding Conditions as follows
Test Piece Glass F (F-2)
Grinding Wheel A. 220. L (Nippon Artificial Graphite Co.)
Grinding Speed 5 m/sec
Feed 0.5 m/min
Coolant Saponifying Oil 7 l/min
Grinder Brown & Sharpe No. 5 Hydraulic Type Surface Grinder

スを取り、厚さ 2・4・6・8・10 mm の試験片の両面を完全にベンガラ磨きして、光探傷法装置で透過光の強さを測定すると第8図のようになった。その結果ソーダ石灰ガラスは含有鉄分の関係で厚さの増加と共に光透過率を減少するが、クラウン及びフリント等の光学ガラスでは Fresnel の式に近い結果を示すことがわかった。この関係を用いて光探傷法による粗さにガラスの種類及び厚さに関係のない普遍性を附與したいと思う。

(4) 光探傷法による粗さの定義

光探傷法による粗さの定義を平面研磨面に例をとって説明しよう。(第9図参照)

(I) は光探傷法装置の光学系に光を通さなかつたときの記録で粗さ測定の際の基線となる。

(II) は試験片を置かないで光を送つたときの記録で、(I)(II)の距離 H は実用上 100 mm となるように豫め光源電流を規正した。

(III) は試験片の両面が完全にベンガラ磨きしてあつたときの記録で第8図で得られた光透過率に H をかけて得た値を便宜上記入した。その基線よりの高さが P (mm) であつたとすると $\frac{P}{H}$ はガラスの光透過率に相當する。

(IV) は $H=100$ mm になるように豫め規正した光源で平面研磨面の粗さを記録した記録線である。

第2表 標準試験片製作用ラップ劑一覽表

種類	粒度	撰別法	メーカー	ラップ工程
カ ー ボ ン ダ ム	# 50	JES 篩目 #50 を通過し #60 に止るもの	東 光 電 氣	荒 摺 り
	# 60	" 60 " 80 "		
	# 80	" 80 " 100 "		
	# 100	" 100 " 120 "		
	# 120	" 120 " 150 "		
	# 300	水 篩 (市販品)	昭 和 電 工	砂 掛 け
	# 600	" (")		
ア ラ ン ダ ム	# 800	" (")		
	# 1000	" (")	日 本 人 造 黒 鉛	砂 掛 け
	# 1200	" (")		

圖に示したように基線より傷迄の高さ R (mm) を傷の深いものより順に $R_1 \cdot R_2 \cdots R_n$ (mm) と測定し、試験片上 1 mm について一定数 n 個の傷の平均値を $\bar{R}$ (mm) とし、光探傷法による粗さを次のように定義することとした。

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \cdots + R_n}{n} \cdots \cdots (1)$$

$$\text{光探傷法による粗さ} = \frac{\bar{R}}{P} = \bar{R} \times \frac{H}{P} \cdots \cdots (2)$$

〔IV〕 各種測定法による粗さの比較

(1) 標準試験片

⁽⁴⁾ 既報と同様な加工条件で第 2 表のラップ劑を用いて、BK・F・S の 3 種の試験片をラッピング仕上して粗さの標準試験片とした。

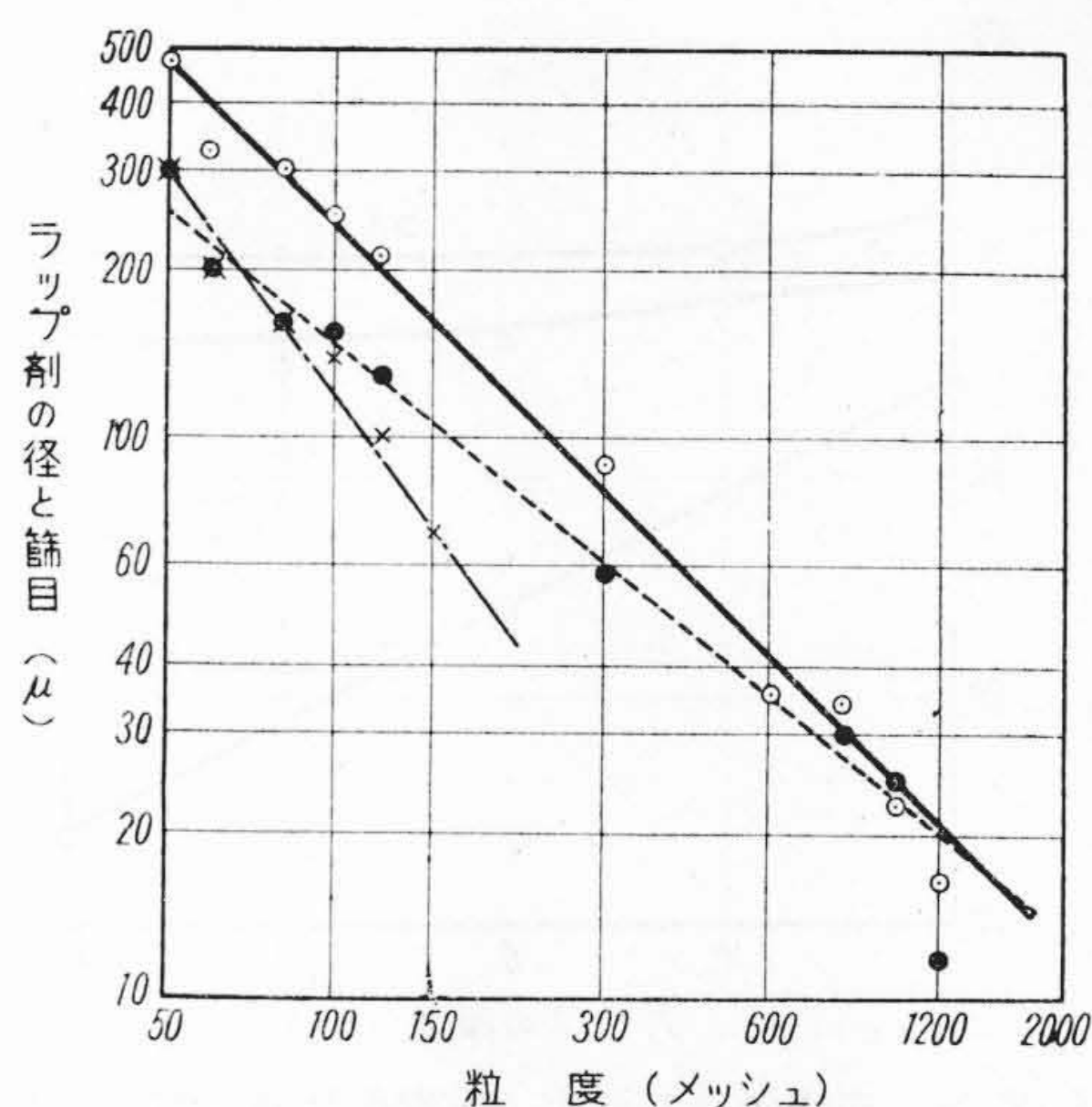
次にこのラップ劑を篩分けした篩目及びラップ劑粒子の径を測定した結果を第 10 圖に示す。同圖に於いて

(A) 篩目 顯微鏡寫眞によつて測定した。

(B) 間接法によるラップ劑粒子の測定 20~550 倍に擴大して顯微鏡寫眞をとり、その粒子の大きいものより 30~60 個宛 (撮影粒子数の約 50% に相當) を取出し、その長短径の平均の總平均値をとつてラップ劑粒子の径とした。その結果は第 10 圖よりもわかる通りラップ劑粒子が篩目よりも大きいという極めて奇妙な結果となつた。そこで次の直接測定法を実施することとした。

(C) 直接法によるラップ劑粒子の測定 ラップ劑粒子を 2 個の端面ゲージの間に挟み Zeiss パーチカルコンパレーターで測定した。

この (B) (C) の兩測定値よりラップ劑の粒子が粗い間は直接法による測定値が小さく出るが、粒子が細くなる程寫眞測定値に近くなつて来る。これはカーボランダム⁽⁵⁾の粗い粒子は扁平な形をしているが、細くなる程粉碎によつて粒子が丸味を帯びて来るためである。又寫眞測定によると篩目よりはるかに大きい粒子が篩目を通過するという結果になつたが、これは篩分けの際ラップ劑粒子が篩目を長手の方向に通過することによるものと



第 10 圖 ラップ劑の径と篩目の測定

Fig. 10. Measurement of Diameter of Lapping Powder and Mesh of Sieve.

- ラップ劑の径 (顯微鏡寫眞により測定)
Diameter of Lapping Powder (measured by Microscopic Photograph)
- ラップ劑の径 (Zeiss Vertical Comparator で測定)
Diameter of Lapping Powder (measured by Zeiss Vertical Comparator)
- ×--- 篩目 (顯微鏡寫眞による測定)
Mesh of Sieve (measured by Microscopic Photograph)

判斷される。

しかし實際にラッピングに際してはラップ劑は轉りながらラッピング作業が進行すると考えられるからラップ劑粒子の粗さとしては寫眞測定値をとるのがよいと思う。因に 1 個のラップ劑粒子 (カーボンダム #50) のラッピング軌跡を寫眞にとると、ラップ劑が轉りながらガラス面を貝殻状にかぎとつて行く場合 (寫眞 5)、更に小さく碎けたラップ劑が回轉することなしに引掻きの條痕を残す場合 (寫眞 6)、及びこれより派生的に小龜裂が発生する場合等があることがわかる。このことは又更に細かい AO 會社製ラップ劑 #303⁽⁵⁾ によるラップ面の電子顯微鏡寫眞 (寫眞 7) にも見られる。

(2) 觸針法による粗さ測定

次に前項の標準試験片の粗さを日本光學式仕上面検査機を用いて觸針法で測定した。

縦 500 倍及び 1,000 倍、横 50 倍及び 60 倍の粗さ記録

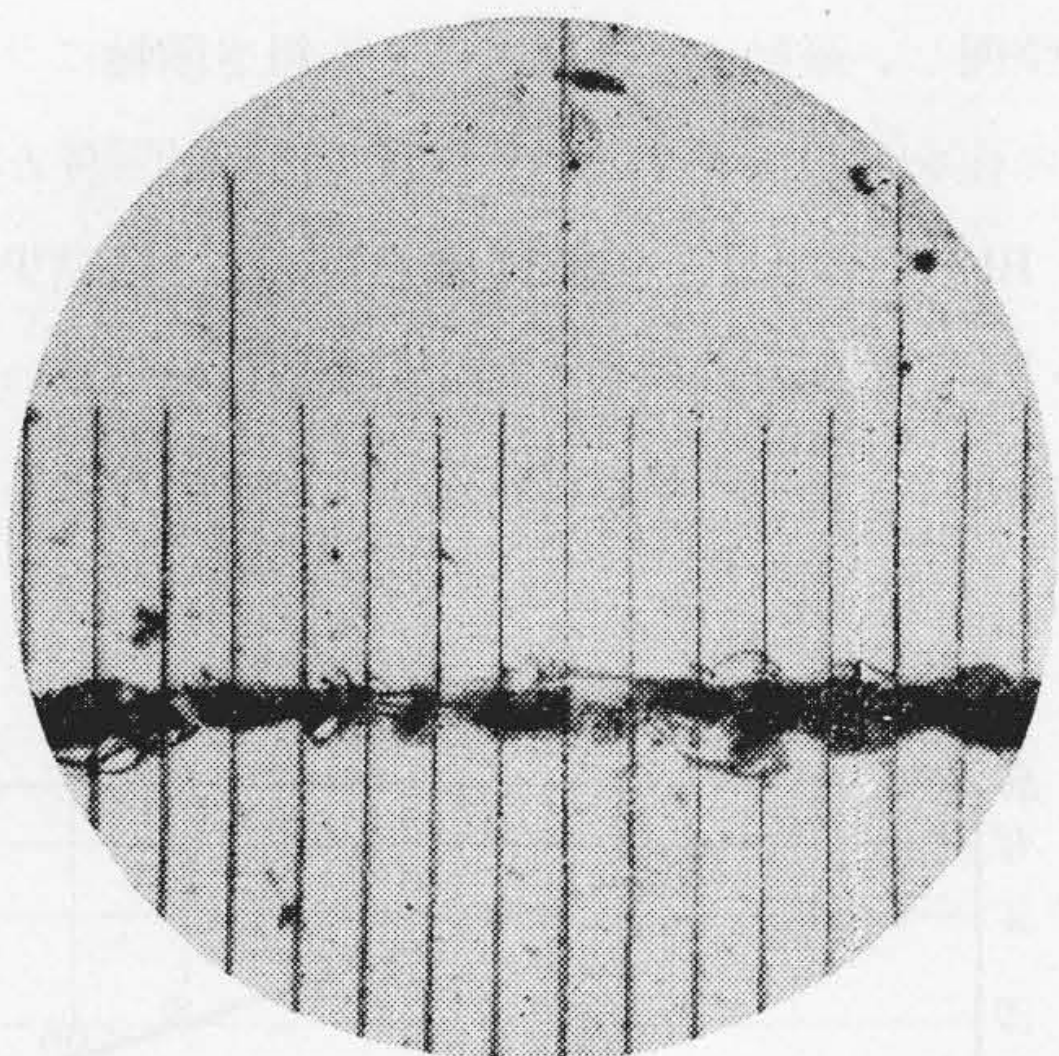


写真 5. ラップ剤粒子によるラッピング軌跡 (I) $\times 35$

Picture 5. Lapping Track of a Particle of Lapping Powder (I) $\times 35$

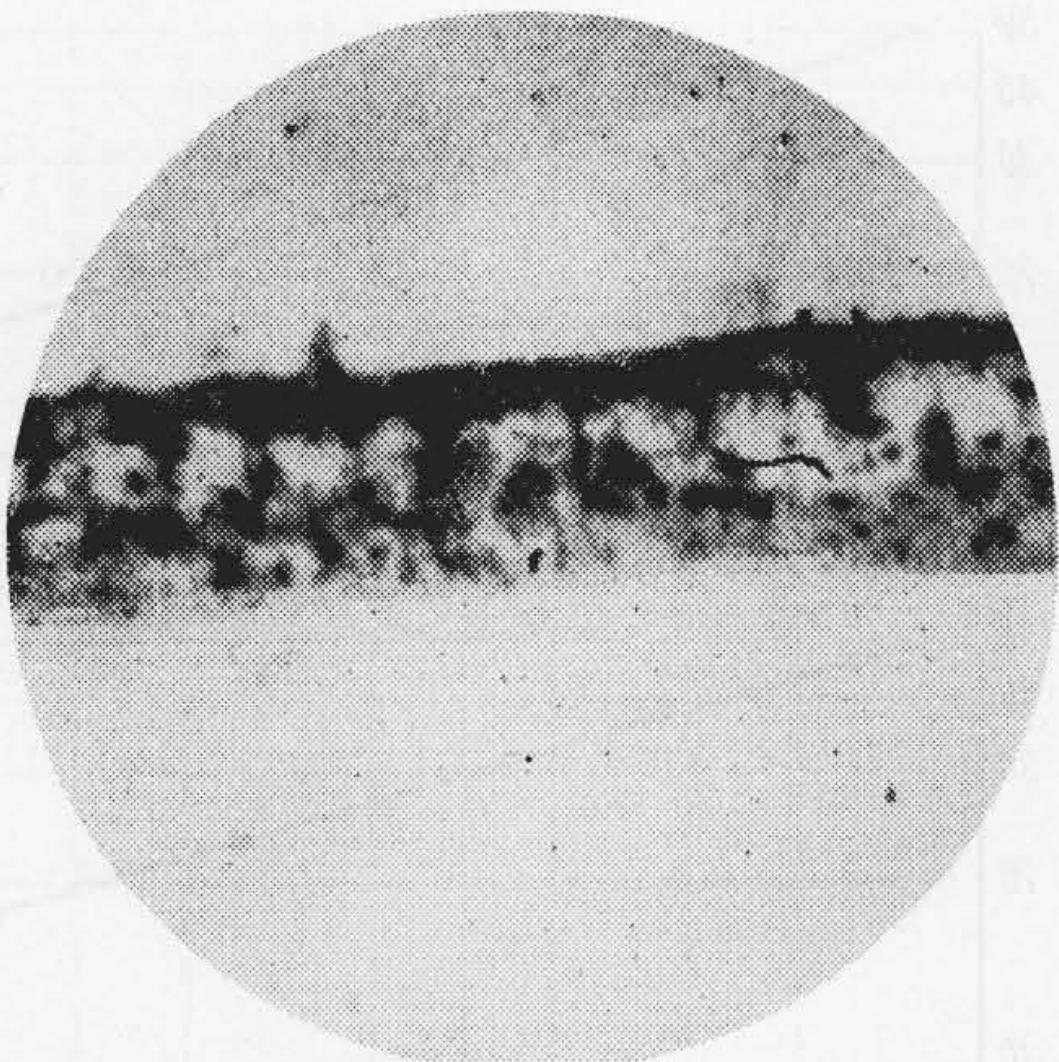


写真 6. ラップ剤粒子によるラッピング軌跡 (II) $\times 350$

Picture 6. Lapping Track of a Particle of Lapping Powder (II) $\times 350$

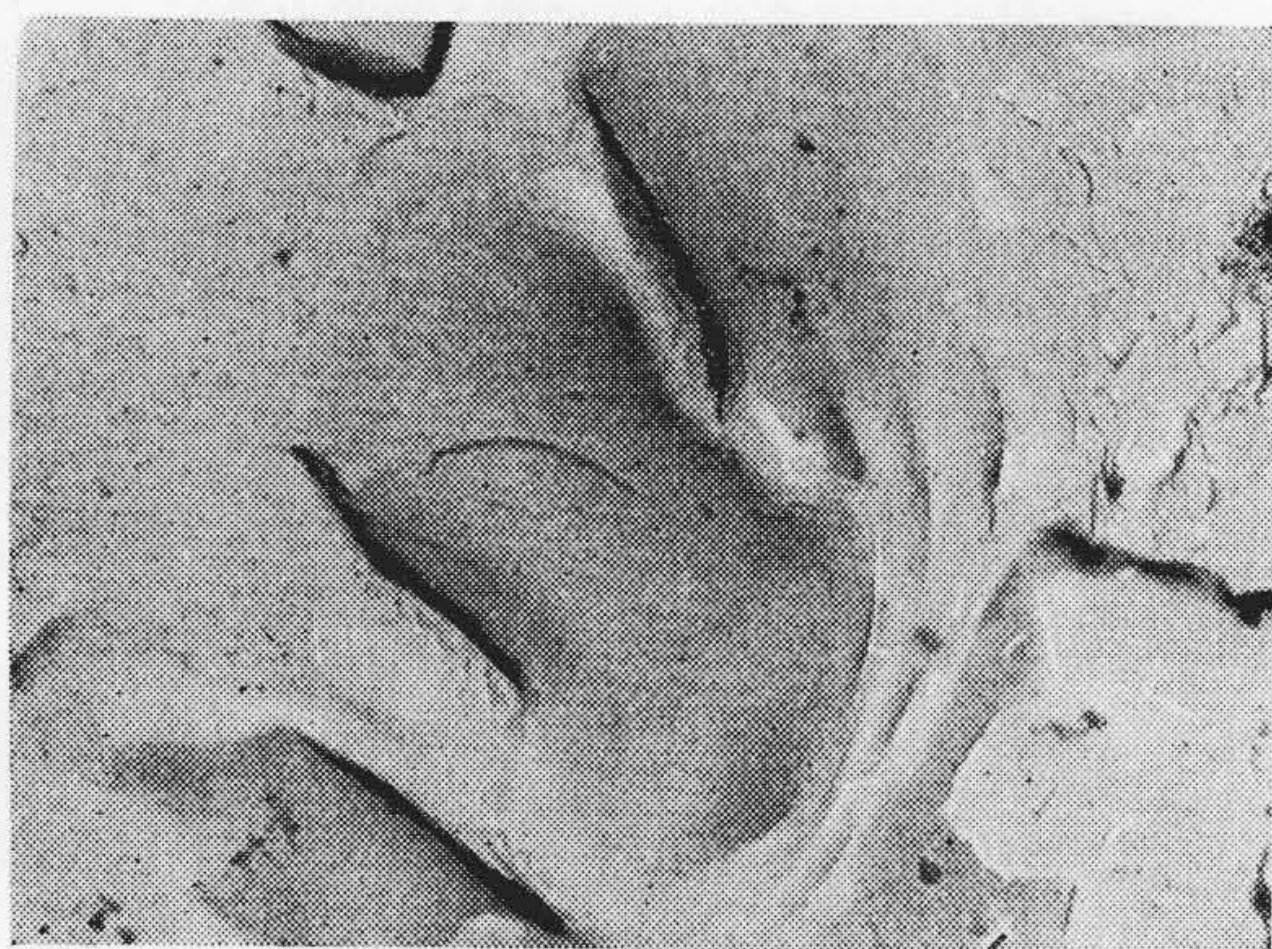
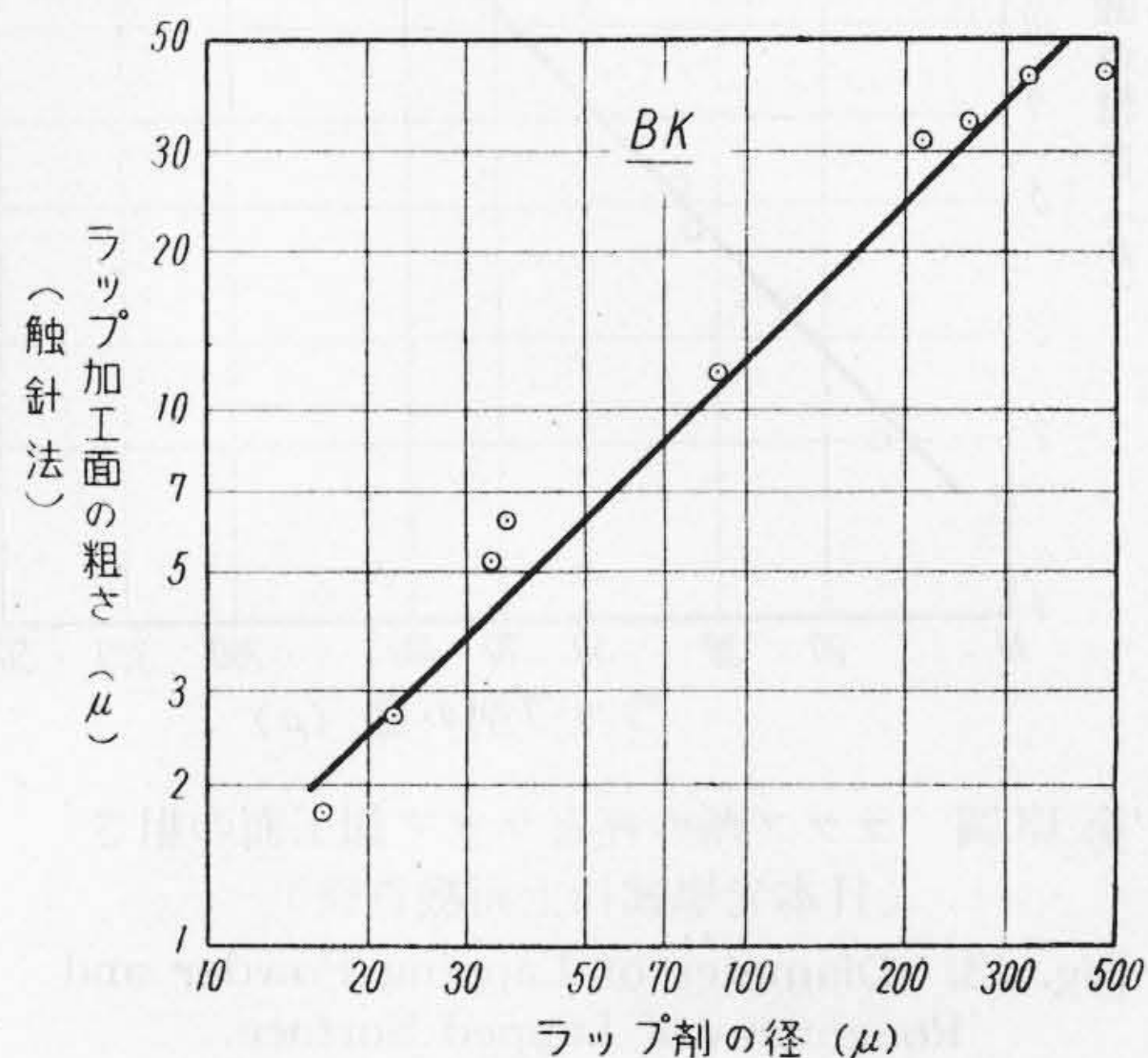


写真 7. ラッピング面の電子顕微鏡写真

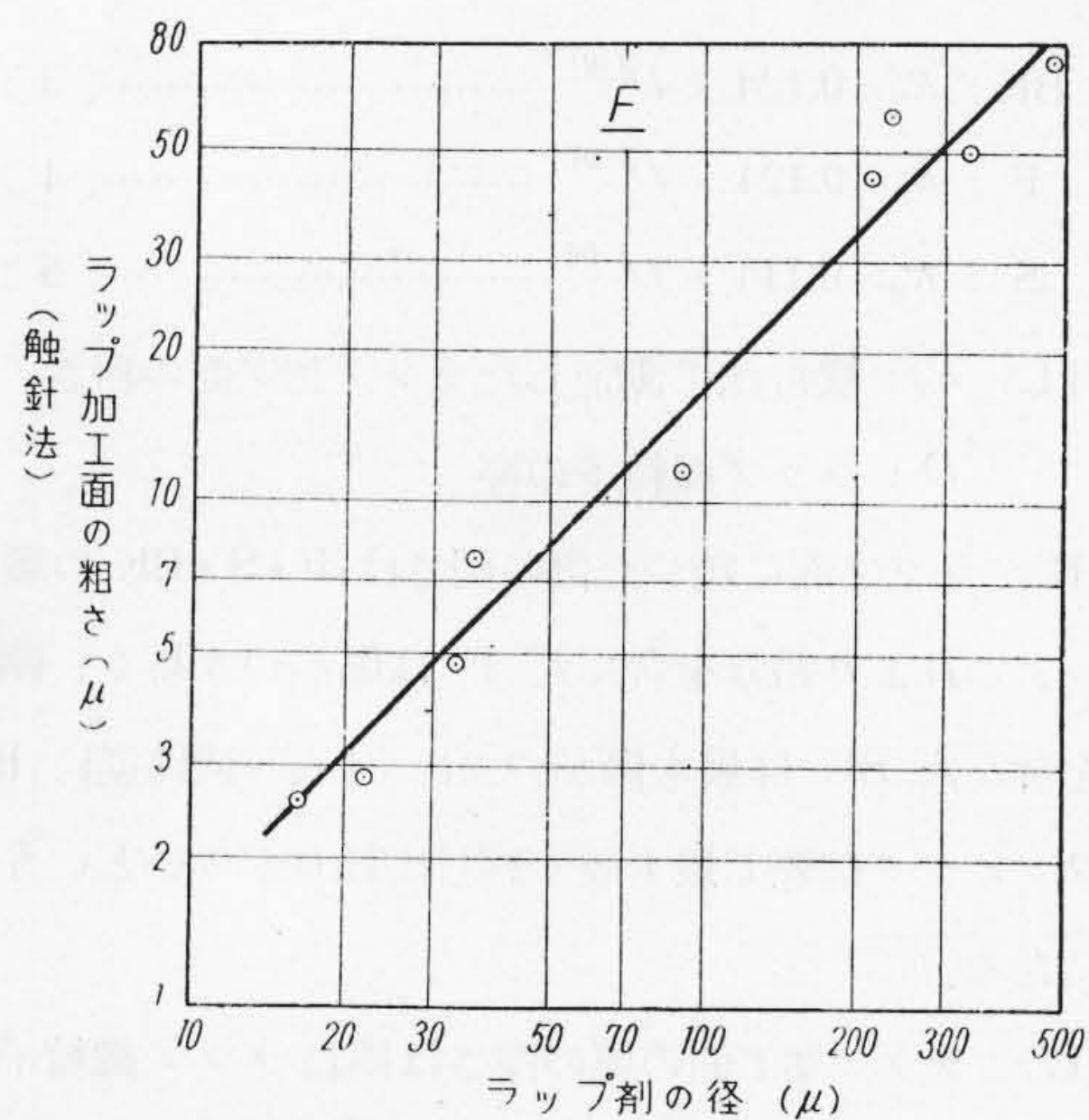
Picture 7. Electron Microscope Photograph of Lapped Surface. $\times 5000$

をとりこれを著者の表面粗さの新定義⁽⁶⁾に従い、 $n=5 \cdot 3 \cdot 2$ として整理し、縦軸に触針法によるガラス加工面の粗さをとり横軸にラップ剤の径をとつて対数座標に表わすと直線的関係があり、その結果は $n=5 \cdot 3 \cdot 2$ の何れの場合も図表の形は変化しないので繁雑さを避けて $n=2$



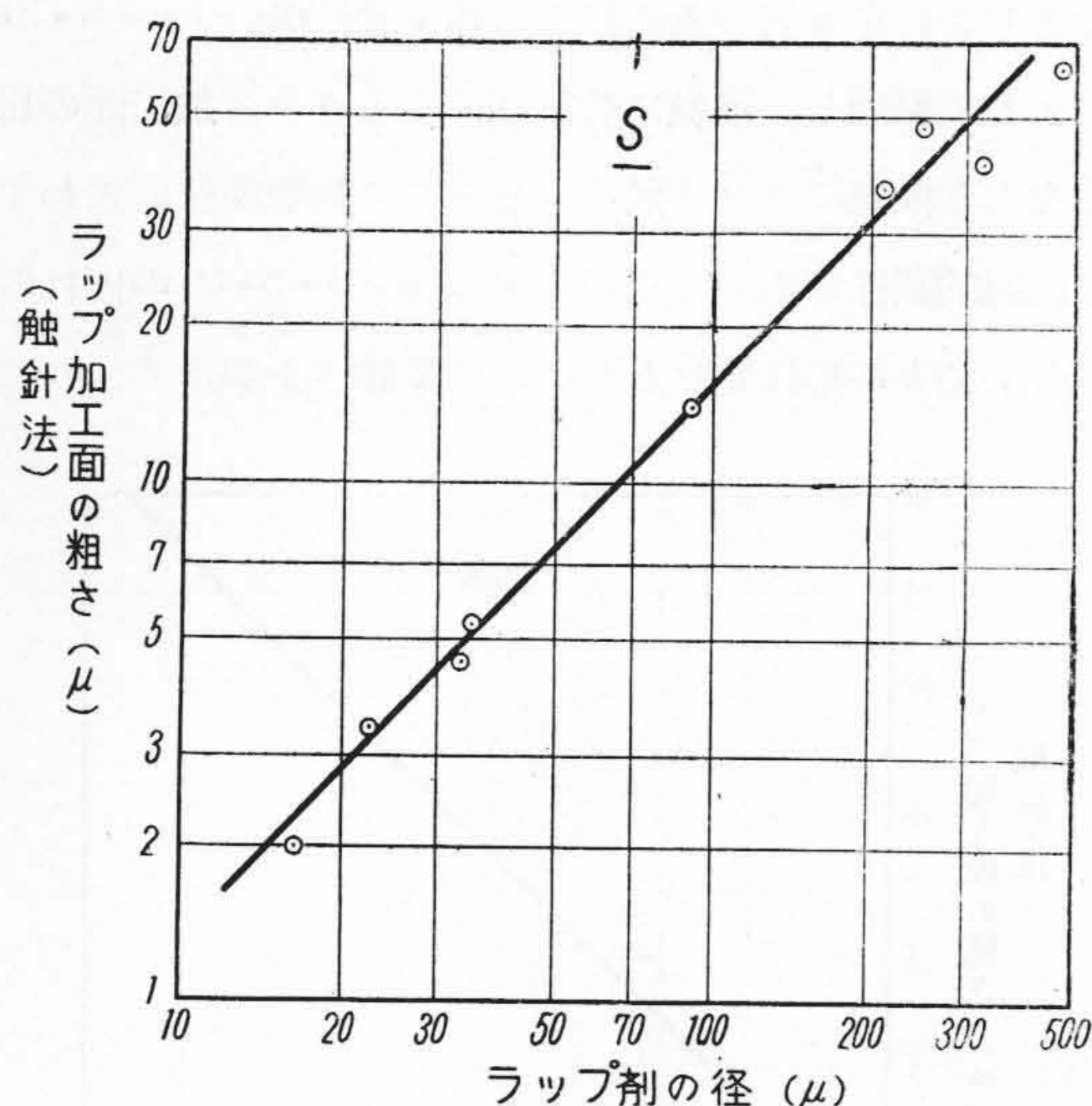
第11図 ラップ剤の径とラップ加工面の粗さ
(久本、表面粗さの定義に於いて $n=2$ の場合)
(日本光学仕上面検査機)

Fig. 11. Diameter of Lapping Powder and Roughness of Lapped Surface. (Hisamoto's Constant of Surface Roughness Definition $n=2$) (Nippon Kagaku Type Profilometer)



第12図 ラップ剤の径とラップ加工面の粗さ
(日本光学式仕上面検査機)

Fig. 12. Diameter of Lapping Powder and Roughness of Lapped Surface. (Nippon Kogaku Type Profilometer)



第 13 図 ラップ剤の径とラップ加工面の粗さ
(日本光学式仕上面検査機)

Fig. 13. Diameter of Lapping Powder and
Roughness of Lapped Surface.
(Nippon Kogaku Type Profilometer)

とした場合の BK・F・S の図表を 第 11 図・第 12 図・
第 13 図 に示す。

これらの図表より次のことがいえる。

(A) 実験式を立てると (3)(4)(5) 式 の ようになっ
た。

$$\text{BK} : R_2 = 0.124 \times D^{1.01} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{F} : R_2 = 0.124 \times D^{1.07} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{S} : R_2 = 0.114 \times D^{1.06} \dots\dots\dots (5)$$

但し R_2 : 触針法で測定したラップ加工面の粗さ

D : ラップ剤粒子の径

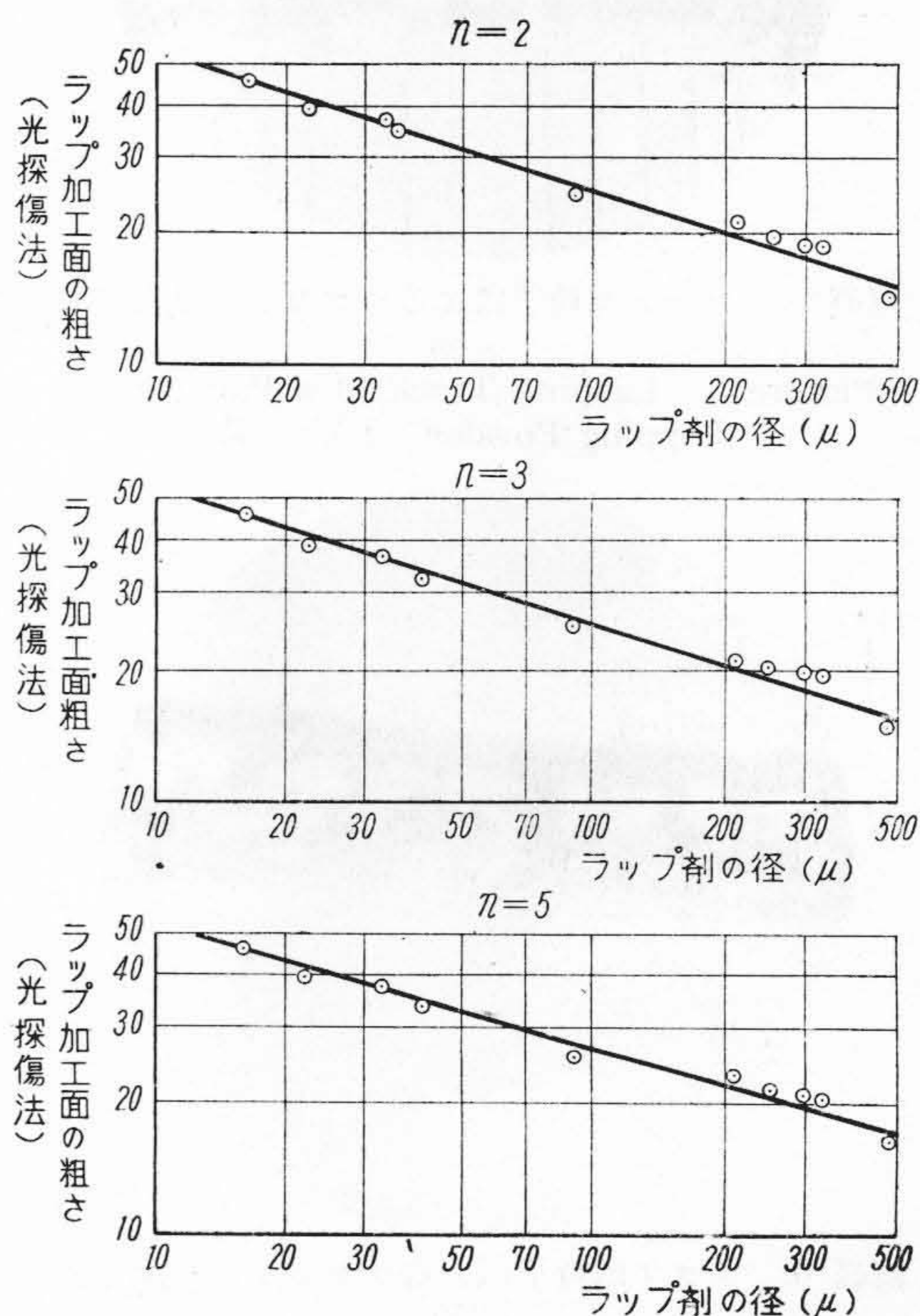
(B) ラップ面に残った傷の深さは F・S・BK の順に
深い、これより鉛分を含んだ F は傷がつき易く、硼酸
分を含んだ BK は最も傷がつきにくい、或は逆に BK
はラッピングに際し最も硬く感じて耗りが少ないというこ
とになる。

(C) ラップ加工面の傷の深さは概ねラップ剤粒子の
径の 10~15% に當っている。

(3) 光探傷法による粗さ測定

光探傷法装置第 1 号改良型を用いて標準試験片の粗さ
を測定し、その粗さを (2) 式の定義に従い $n = 2 \cdot 3 \cdot 5$

として整理し、縦軸に光探傷法による粗さ横軸にラップ
剤粒子の径をとって表わすと何れも直線的関係が成立
つ。今 BK の例を示すと 第 14 図 となる。この結果より
 $n = 2 \cdot 3 \cdot 5$ の何れの場合も図表の性質は變らないこと
がわかつたので前述の触針法に倣つて $n = 2$ をとること
にした。



第 14 図 ラップ剤の径とラップ加工面の粗さ(BK)
単位測定長(1mm)當りの傷の測定数(n)を變
えた場合 (光探傷法装置第 1 号改良型)

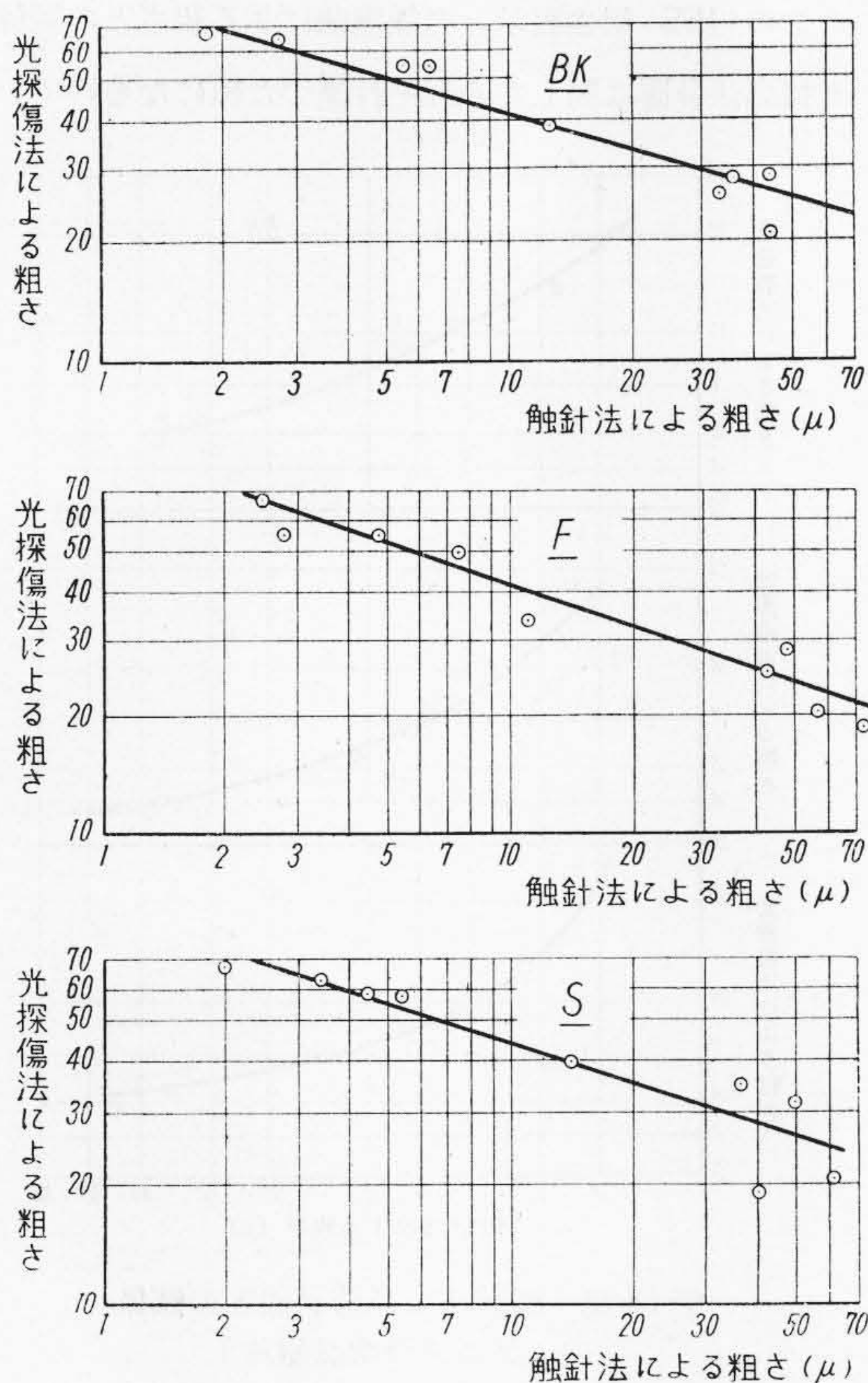
Fig. 14. Diameter of Lapping Powder and
Roughness of Lapped Surface. (BK)
(Hisamoto's Constant of Surface Roughness
Definition $n=2, 3, 5$) (Optical Defect
Tester No. 1, Improved Type)

次に $n=2$ として同じ標準試験片を光探傷法装置第 2
号で測定した結果を 第 15 図 に示す。同図によると

(A) 光探傷法による粗さとラップ剤粒子との間には
對數座標で直線的関係があり (6)(7)(8) 式の実験式が
成立つ。

$$\text{BK} : R_1 = 177.2 \times D^{-0.34} \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{F} : R_1 = 202.3 \times D^{-0.39} \dots\dots\dots (7)$$



第15圖 ラップ剤の径とラップ加工面の粗さ
(光探傷法装置第2号)

Fig. 15. Diameter of Lapping Powder and Roughness of Lapped Surface. (Optical Defect Tester No. 2)

$$S : R_1 = 193.7 \times D^{-0.36} \dots\dots\dots (8)$$

但し R_1 : 光探傷法による粗さ

(B) 第15圖に比べ第16圖が直線圖表にのり易い点より、光探傷法を #50 ~ #120 程度の荒摺り面に適用するためには光探傷法装置の光學系の倍率を小さくして焦点深度を深くすることが必要であるといえる。

(C) 第11圖・第12圖・第13圖と第15圖とは比較することにより、ガラス面の粗さ測定法としての光探傷法は触針法よりも圖表にのり易く信頼度の高いことを示している。

(4) JES 粗さ表示⁽⁷⁾と光探傷法

標準試験片の粗さを触針法及び光探傷法で測定した(2)及び(3)の資料に於いて $n=2$ として整理し、触針

法と光探傷法との関係を求めると第16圖となる。この圖表を左の方に延長し光探傷法による粗さ 100 即ちベンガラ磨き面の粗さを測ると 0.6μ 程度となる。これは光波長の範囲に相當し光探傷法が極めて信頼度も高く合理的な粗さ測定法であることを示している。

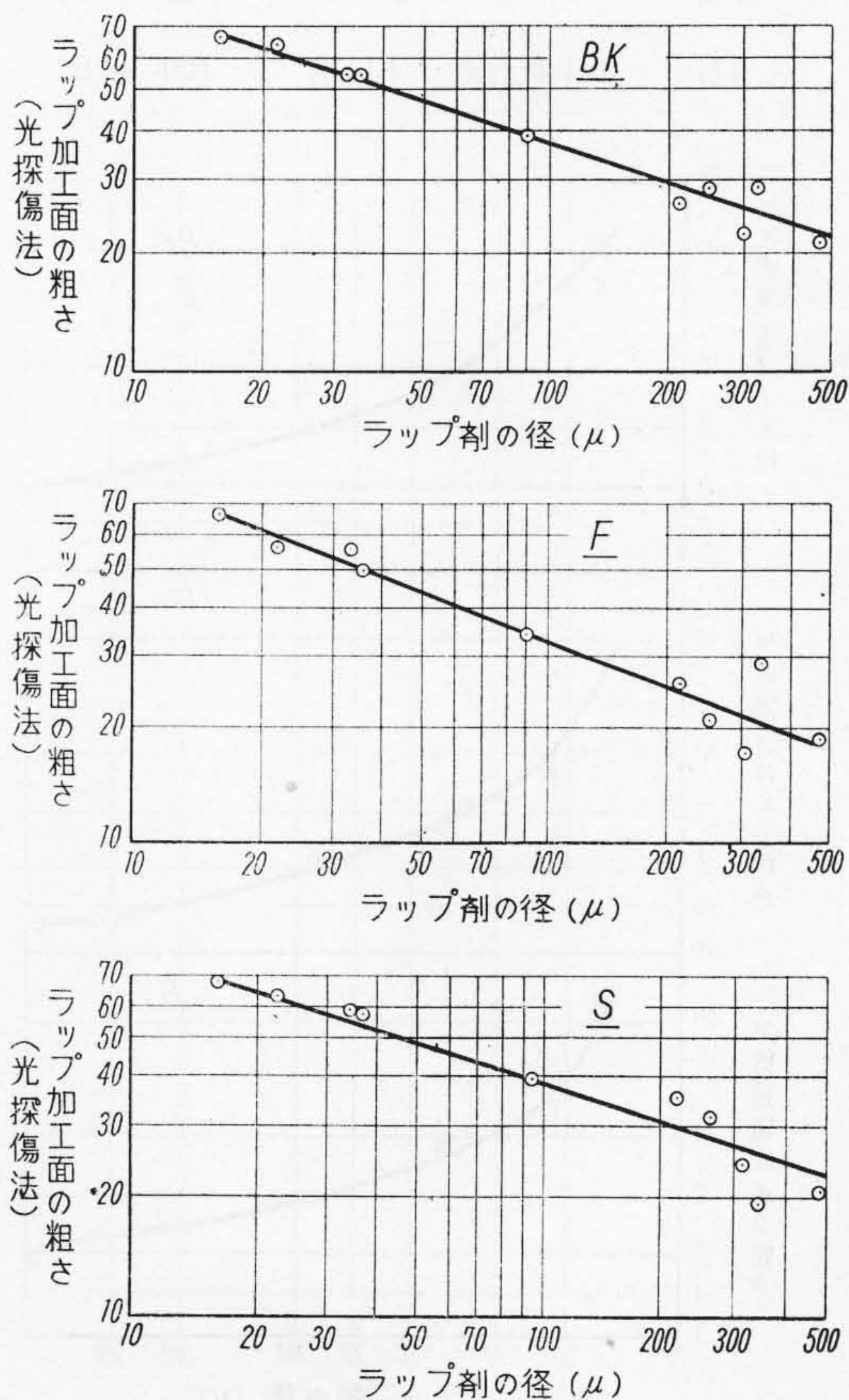
第16圖より光探傷法による粗さ R_1 と触針法による粗さ R_2 との間の實驗式を立てると(9)(10)(11)式のようになる。

$$BK : R_1 = 88.6 \times R_2^{-0.32} \dots\dots\dots (9)$$

$$F : R_1 = 88.4 \times R_2^{-0.33} \dots\dots\dots (10)$$

$$S : R_1 = 93.9 \times R_2^{-0.32} \dots\dots\dots (11)$$

或は近似的にこの3式を一つの式にして表わすと(12)式となる。



第16圖 触針法と光探傷法との関係 (日本光學式 仕上面検査機—光探傷法装置第2号)

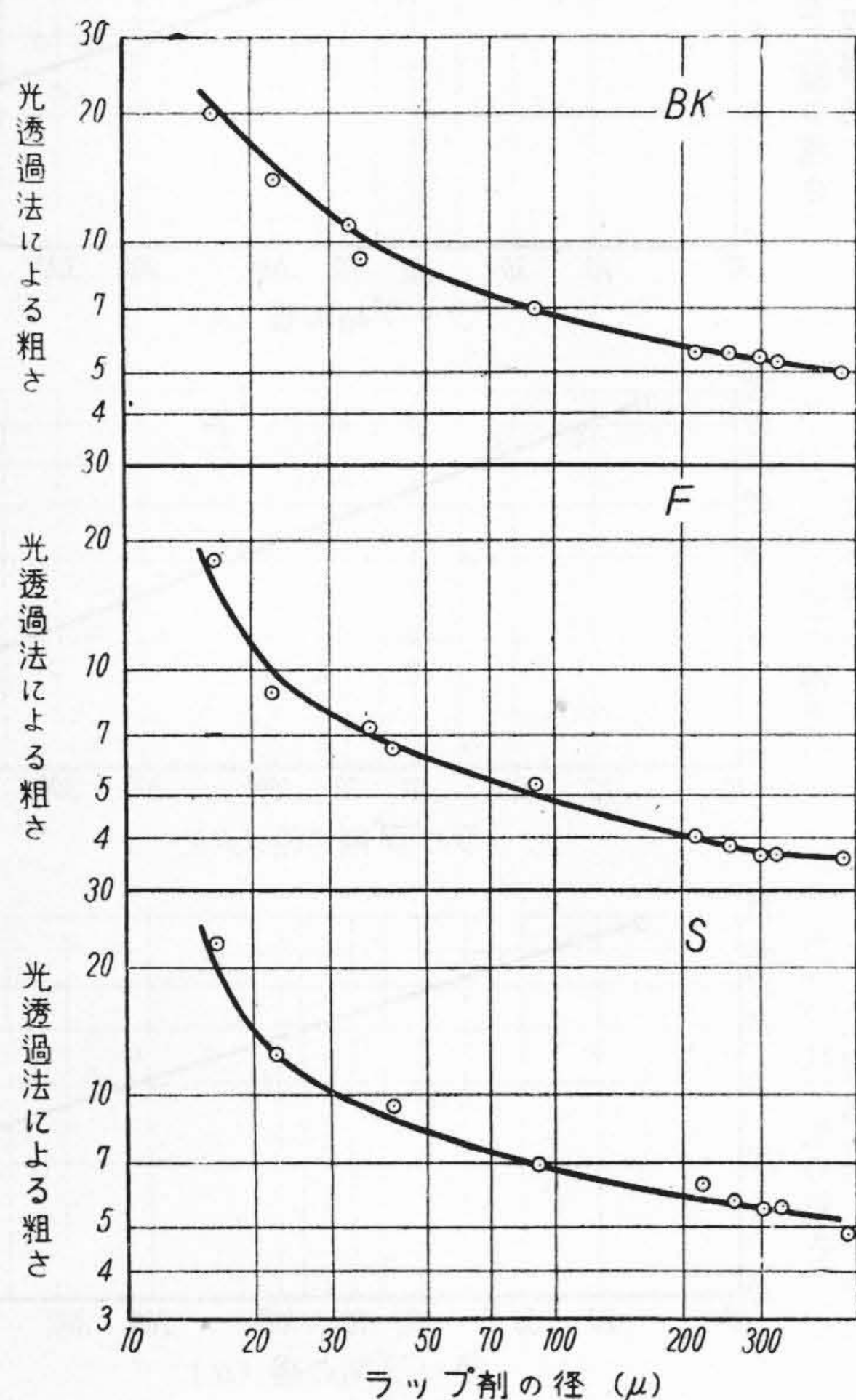
Fig. 16. Relation between the Tracer Method and Optical Defect Testing Method. (Nippon Kogaku Type Profilometer—Optical Defect Tester No. 2)

$$R_1 = 88.9 \times R_2^{-0.33} \dots\dots\dots(12)$$

又この関係より觸針法による粗さ R_2 を JES 表面粗さ規格に置き換えて、JES 粗さ表示と光探傷法との関係を誘導すると第 3 表となる。

第 3 表 JES 粗さ表示と光探傷法との関係
(光探傷法装置第 2 號)

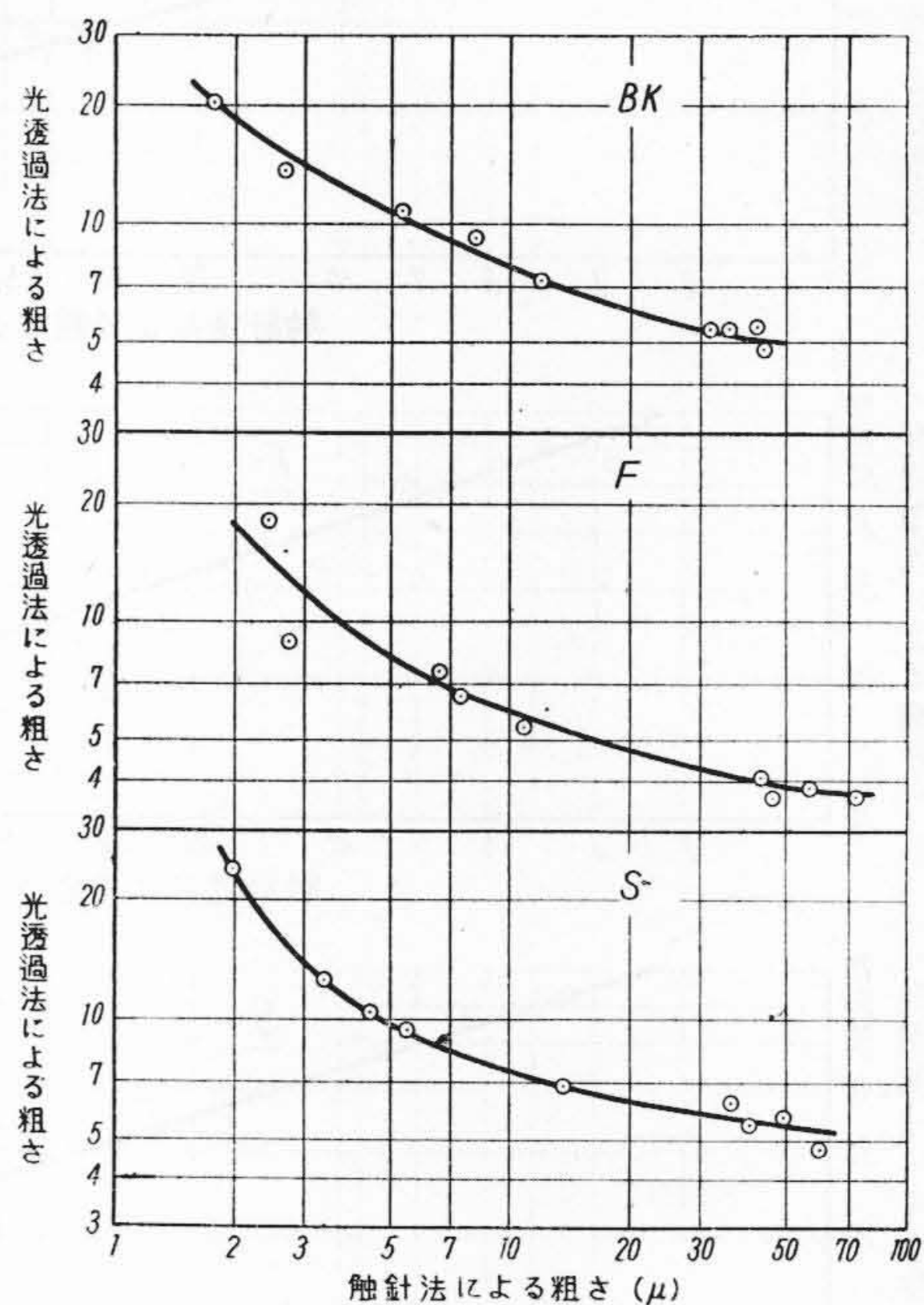
JES 粗さ表示	粗さの範囲 (μ)	光 探 傷 法 に よ る 粗 さ
100 S	40 をこえ 100 以下	26 ~ 20
40 S	20 " 40 "	33 ~ 26
20 S	10 " 20 "	42 ~ 33
10 S	4 " 10 "	56 ~ 42
4 S	2 " 4 "	73 ~ 56
2 S	1 " 2 "	89 ~ 73
1 S	0.4 をこえ 1 以下	100 ~ 89



第 17 圖 ラップ剤の径と光透過法による粗さとの関係 (ラップ標準試験片)

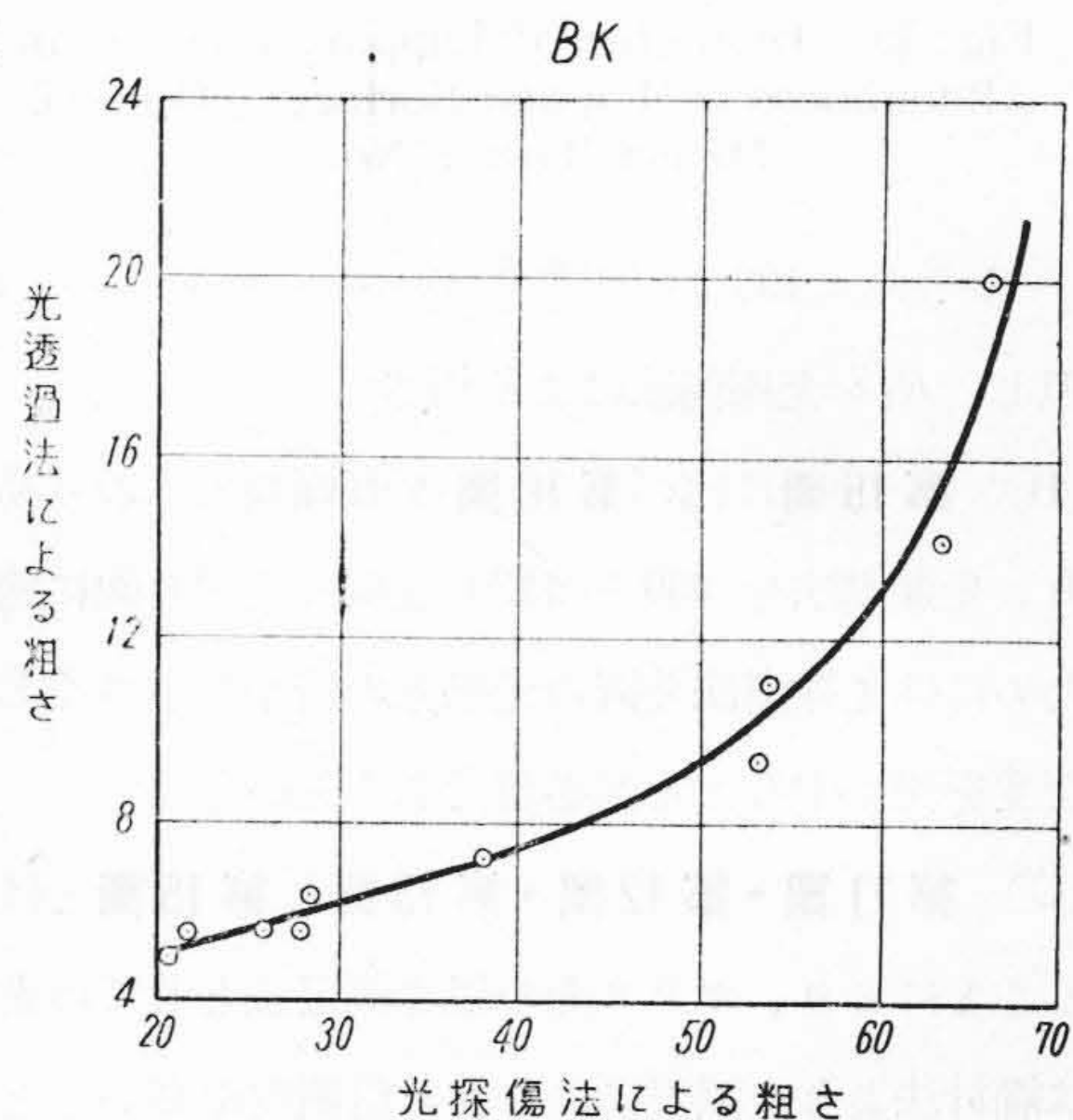
Fig. 17. Relation between Diameter of Lapping Powder and Roughness of Light Transmitting Method. (Standard Test Piece of Lapping)

この JES 粗さ表示と光探傷法による粗さとの関係は光探傷法装置に對してそれぞれ違つた値になるので、光



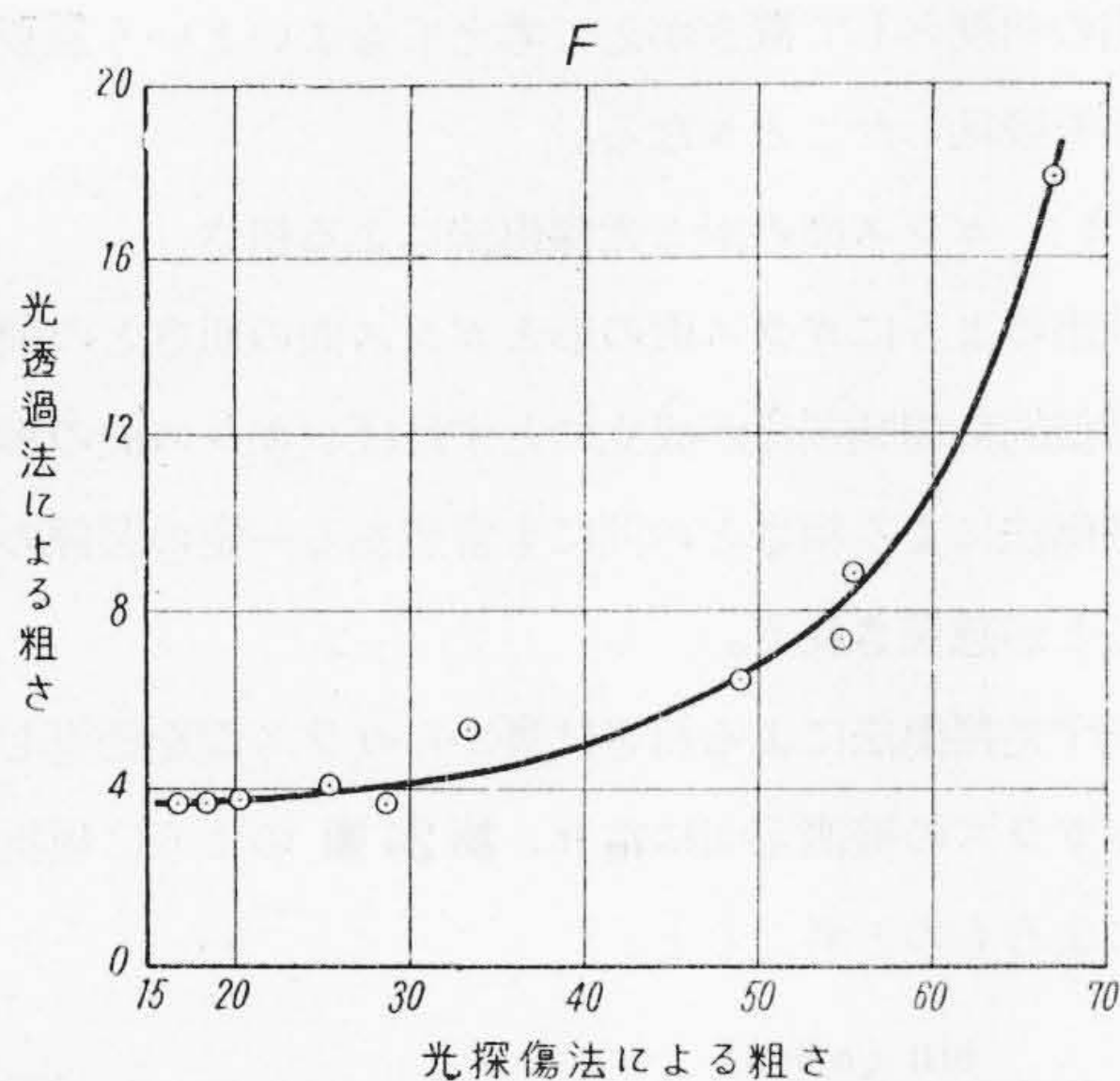
第 18 圖 觸針法と光透過法との関係
(ラップ標準試験片)

Fig. 18. Relation between the Tracer Method and Light Transmitting Method. (Standard Test Piece of Lapping)



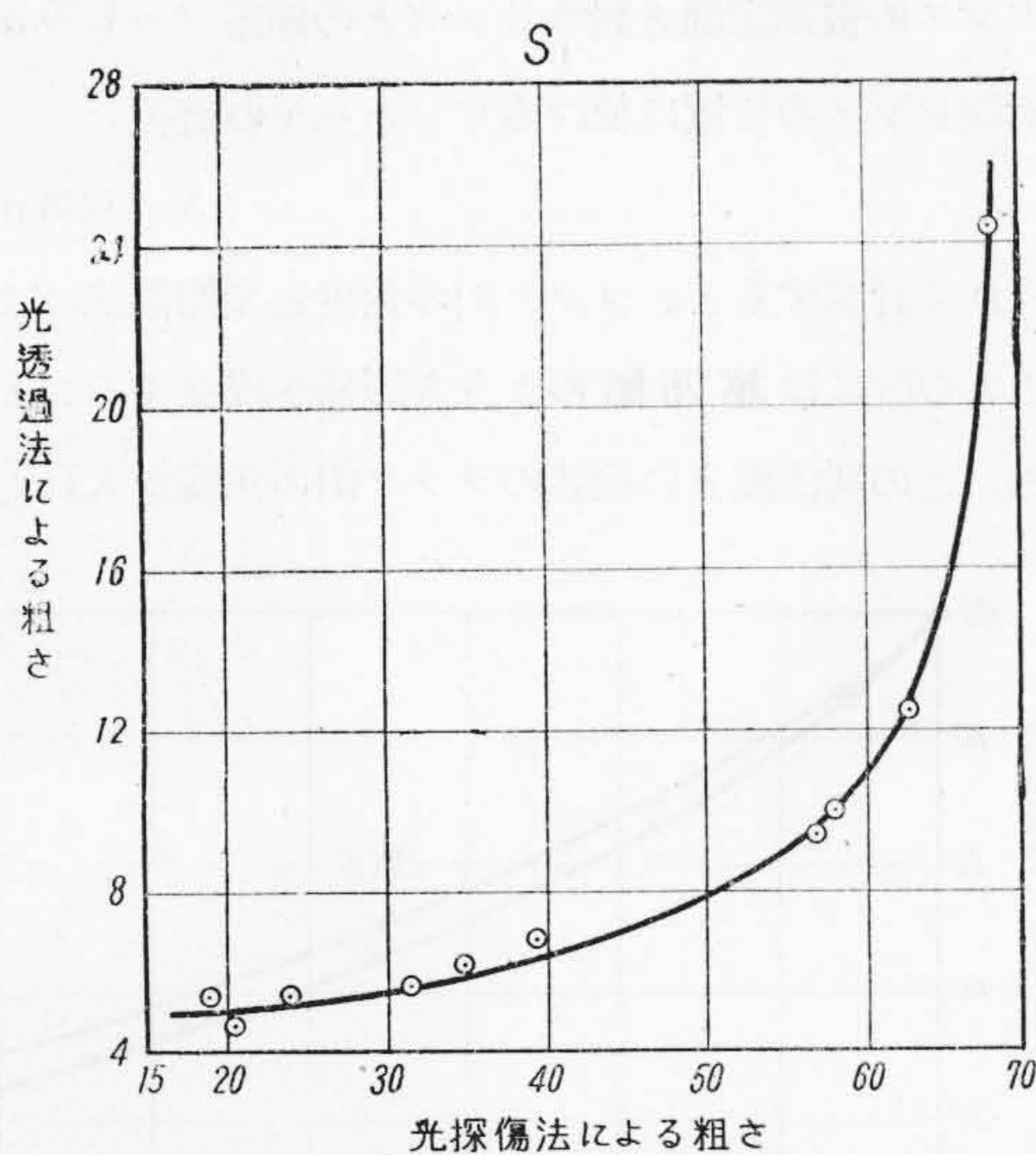
第 19 圖 光探傷法による粗さと光透過法による粗さとの関係 (I) (ラップ標準試験片)

Fig. 19. Relation of Roughness between the Optical Defect Testing Method and Light Transmitting Method (I) (Standard Test Piece of Lapping)



第20圖 光探傷法と光透過法との関係 (II)
(ラップ標準試験片)

Fig. 20. Relation of Roughness between the Optical Defect Testing Method and Light Transmitting Method (II)
(Standard Test Piece of Lapping)



第21圖 光探傷法透過法との関係 (III)
(ラップ標準試験片)

Fig. 21. Relation of Roughness between the Optical Defect Testing Method and Light Transmitting Method (III)
(Standard Test Piece of Lapping)

探傷法装置の使用に當り豫め準備した標準試験片を用いて較正しなければならない。

第15圖と第3表とより光探傷法装置第2號の信頼し得る實用範圍は1S~10Sの間であることがわかったと共に、この装置は本研究の要求にも合致した適當なガラス

面粗さ測定法であることも證明し得たことになる。

(5) 光透過法による粗さ測定

標準試験片の粗さを光透過法装置を用いて測定し、ラップ劑の径・觸針法による粗さ及び光探傷法による粗さと合せて第17~21圖を得た。即ち

第17圖はラップ劑の径と光透過法による粗さとの関係。

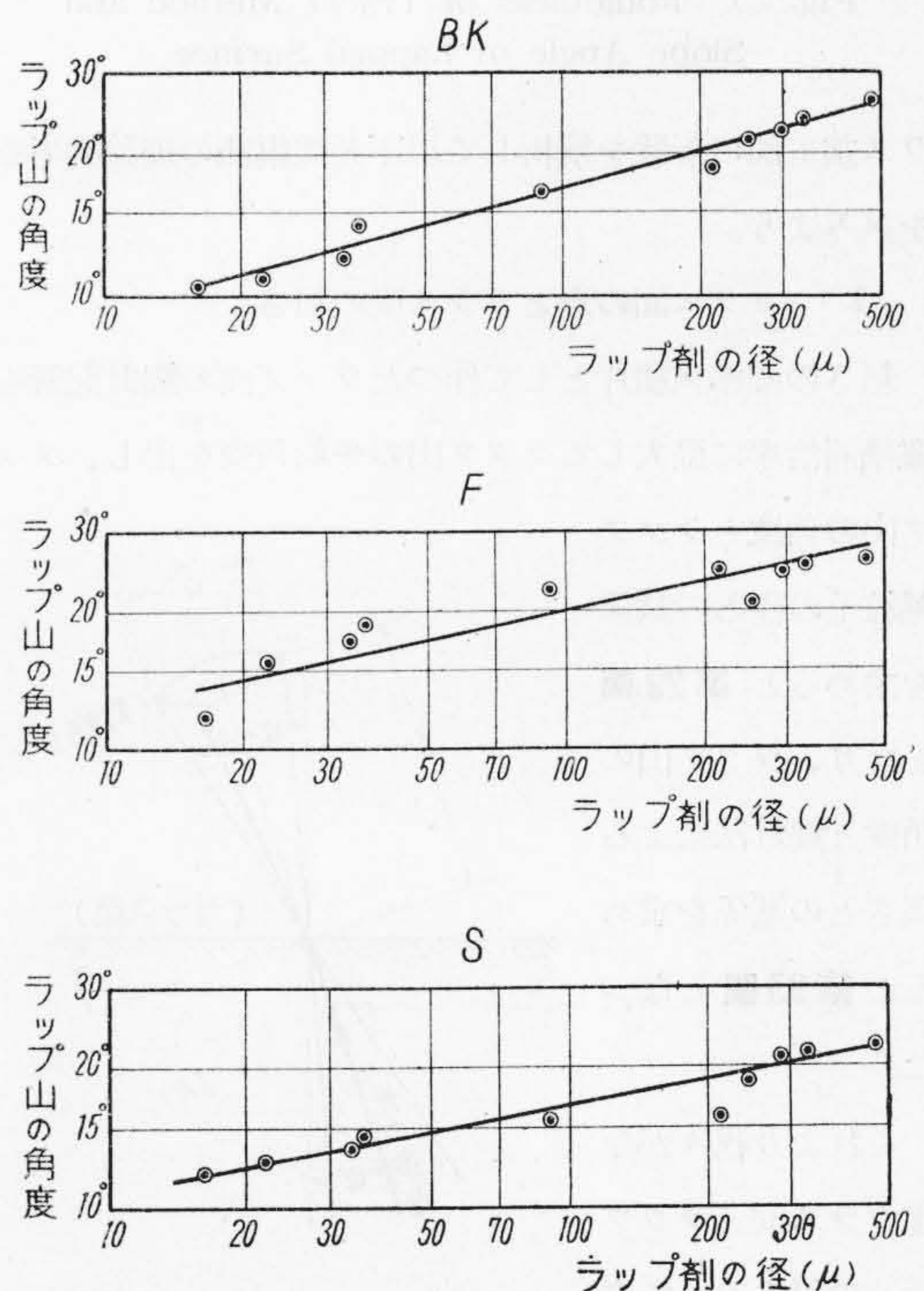
第18圖は觸針法による粗さと光透過法による粗さとの関係。

第19圖・第20圖・第21圖はそれぞれBK・F・Sについての光探傷法による粗さと光透過法による粗さとの関係。

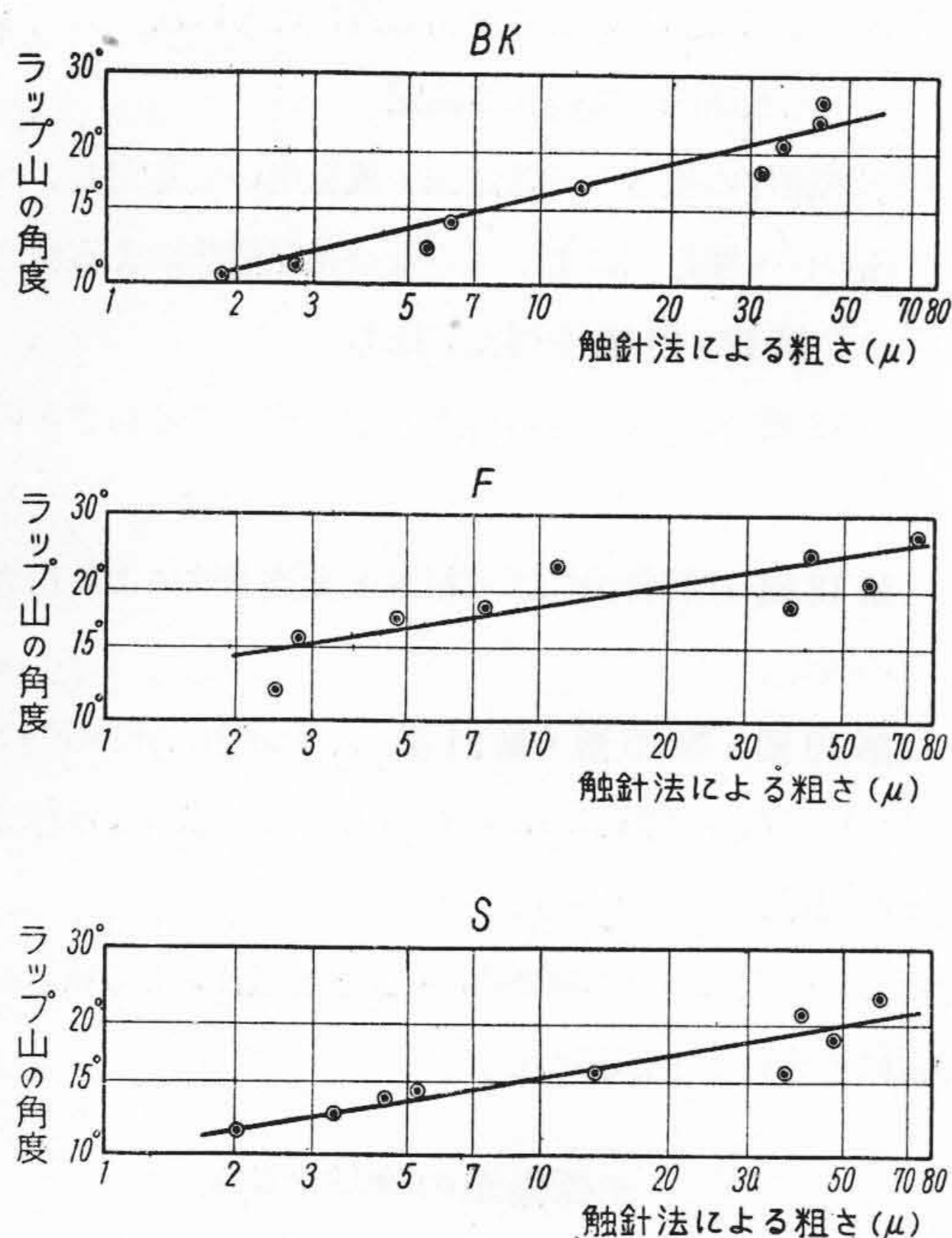
を示し、一般にガラス面が粗いと光透過法による粗さが非常に小さいことがわかる。

〔V〕 光探傷法の理論的考察

光探傷法による粗さが何を表わしているかについてガ



第22圖 ラップ劑の径とラップ山の角度
Fig. 22. Diameter of Lapping Powder and Slope Angle of Lapped Surface.



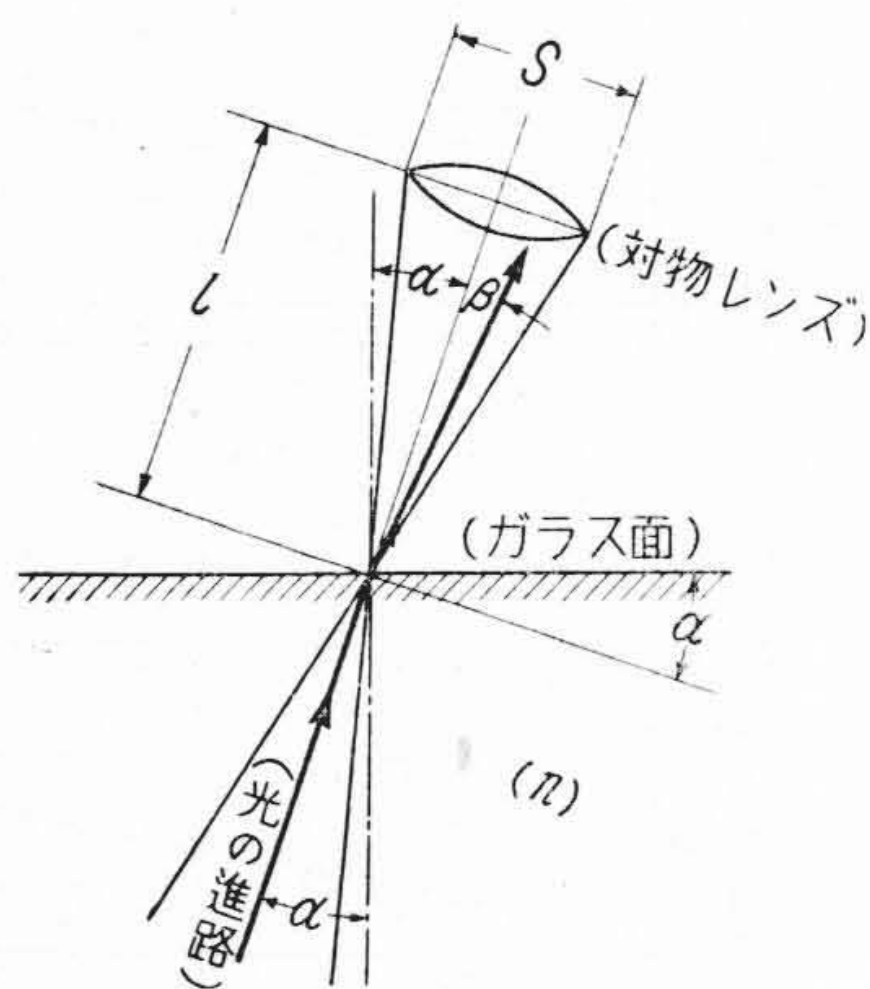
第 23 圖 觸針法による粗さとラップ山の角度
Fig. 23. Roughness of Tracer Method and Slope Angle of Lapped Surface

ラス加工面の形状を解析して以下光探傷法の理論的考察を試みよう。

(1) ガラス面の形とガラス面の粗さ

粗さの標準試験片として作ったラップ面の触針記録を縦横同倍率に拡大してラップ山の平均角度を出し、ラップ山の角度とラップ齧粒子の径との関係を求めると第 22 図となり、ラップ山の角度と触針法による粗さとの関係を求めると第 23 図となった。

これより我々が今迄ガラス面（ラップ面）の粗さとして考えていたものは、これを近似的にはラッ



第 24 圖 光探傷法説明図
Fig. 24. Explanation Figure of Optical Defect Testing Method.

プ山の角度として置きかえて考えてもよいという重要な関係を発見したこととなる。

(2) ガラス面の形と光探傷法による粗さ

前出のようにガラス面の形とガラス面の粗さとの間には近似的に相關関係が成立つとすれば、ガラス面の形と光探傷法による粗さとの間にも當然ある一定の関係のあることが想像される。

先ず光探傷法による粗さは裏からガラス面を透過した光がガラスの被測定面に當り、第 24 図のように屈折するによるものと考え、

$$n = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha} \dots\dots\dots (13)$$

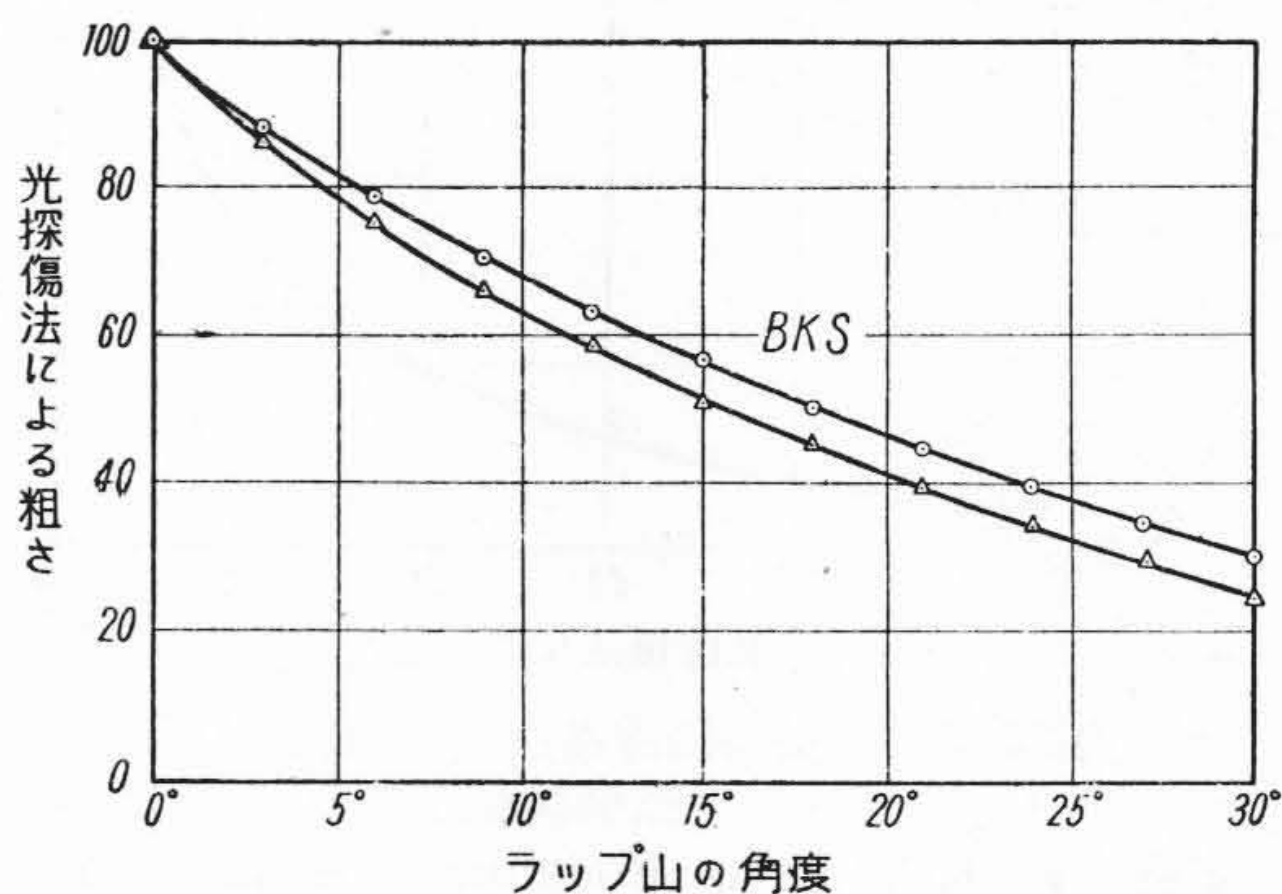
が成立つ。(13)式より β を求め $\tan \beta$ だけ集光々束が散亂するものとして、これに光探傷法装置第 2 號の常數即ち

ガラスの被測定面と對物レンズとの距離 $l = 1.50 \text{ mm}$

對物レンズの位置に於けるピンホールの直径

$S = 1.28 \text{ mm}$

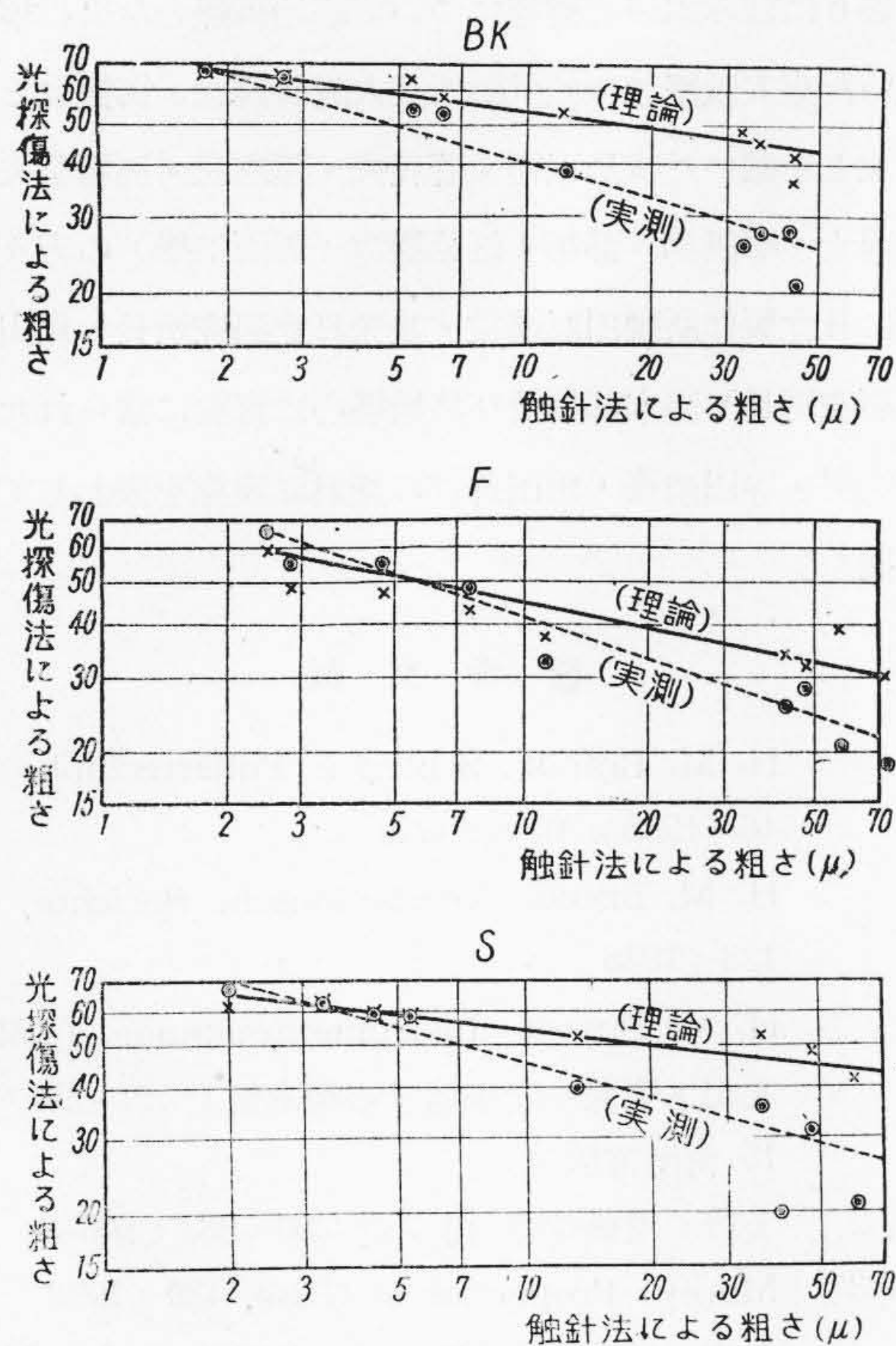
を入れて計算すると、ラップ山の角度と光探傷法による粗さとの間には第 25 図のような関係が成立することになる。この関係圖表に前述のラップ山の角度を入れて求



第 25 圖 ラップ山の角度と光探傷法による粗さ (理論値)

Fig. 25. Slope Angle of Lapped Surface and Roughness of the Optical Defect Testing Method. (Theoretical Value)

めた光探傷法による粗さの理論値と實測値とをまとめて触針法による粗さと光探傷法による粗さとの圖表に記入すると第 26 図のようになつた。



第26圖 觸針法と光探傷法との関係

Fig. 26. Relation between the Tracer Method and Optical Defect Testing Method.

そこで次の前提条件を考慮に入れながら第26圖の結果を考察すると理論値と實測値とは——特に光探傷法装置第2號の實用範圍 10 S 以内に於いては——略々一致し、光探傷法による粗さは主としてガラス面の屈折作用によるものであるということが出来る。

前提条件——ガラス面が粗くなるとラップ山の角度が増し、ガラス面に於ける反射も増加の傾向を示すと考えられる。⁽⁹⁾

以上より光探傷法はガラスの加工々程が進むとガラス面の山の形が次第になだらかになつてゆくというガラスの性質を應用しながらガラス面上の傷を見出すに恰好な粗さ測定法であるといえる。

なお實驗の結果この考え方はガラスの超仕上面には適用出来るが、方向性のあることを特徴とするガラスの平面研磨面にはそのまゝ適用出来ない。

平面研磨面の光探傷法による粗さの實測値をラップ面

について作成した第16圖の圖表に入れて導き出した觸針法による粗さと、平面研磨面の研磨方向とそれに直角な方向について實測した觸針法による粗さとを比較すると、

(A) 研磨方向に測定した觸針法による粗さは光探傷法の粗さより小さく、

(B) 研磨方向に直角に測定した觸針法による粗さは光探傷法の粗さより必ず大きい。

という結果を得た。しかしこれらの粗さの間に實驗式又は關係圖表が成立つという程齊一な結果は得られなかつた。これは同一ガラス面についてもその各部で局部的粗さには違いがあり、又觸針法と光探傷法とで完全に同一個所を測定するということは事實上不可能なためと考えられる。

〔VI〕 結 論

以上を總括すると

(1) ガラス面の精密加工法及び加工條件の適否優劣を決定するに必要なガラス面の粗さ測定法——JES粗さ表示で 1S~10S 見當のガラス面に適用出来るもの——について検討した結果、新考案の光探傷法と光透過法とを併用することにより所期の目的を果し得るものであることを確めた。

(2) 光透過法は Brandt の考え方に倣つてガラスの透光性を利用してガラス面の平均粗さを測定し併せてガラス面の性質を調べる目的で作つた測定法で、粗さの標準をベンガラ磨き面に置いてこれを 100 とした。

(3) 光探傷法は光透過法の光束を十分細くして局部的な粗さの違い即ち傷を自動的に擴大記録させるために新に考案したもので、集光々束と光電管とを用いてガラス面上の傷を細大もらさず記録すると共に必要に応じてガラス面上の連續顯微鏡寫眞をも撮影出来るように装置した。又實驗の結果に基き光探傷法を用いて測定した記録線とガラス面の形狀との關係についても検討した。

(4) 光探傷法でガラスの光透過率を測定し、これを應用して光探傷法の粗さを $\bar{R} \times \frac{H}{P}$ によつて定義した。なお粗さの基準としてはベンガラ磨き面をとりその

粗さを 100 とした。

但し $\bar{R}$: 試験片 1mm 當り 2 ケの割に測定した場合
の平均値 (mm)

H : 光のみを自由に通したときの記録線と基線
との間の距離で $H=100$ mm にとつた。

P : 試験片と同種同厚のガラスの光透過率に H
をかけて得た値 (mm)

(5) ラッピングによつて 10 段階の標準試験片を作
成し、その粗さを觸針法及び光探傷法で測定したとこ
ろ、それらの粗さとラップ劑の徑との間にはそれぞれ對
數座標に表わして直線的關係の成立することを確認する一
方この結果より JES 粗さ表示と光探傷法との關係を誘
導し光探傷法を普遍的な粗さ測定法とした。

(6) 次に同じ試験片について光透過法による粗さと
ラップ劑の徑、觸針法・光探傷法による粗さ等との關係
を導き出した。

(7) 光探傷法を理論的に考察するに當り先ずガラス
面の形とガラス面の粗さについて検討した結果、ガラス
面 (ラップ面) の粗さはこれを近似的にはラップ山の角
度と置きかえて考えてもよいという重要な關係を發見し
た。そこで屈折作用のみによるものとして計算すると、
光探傷法の實用範圍に於いては理論値と實測値とが略々
一致することを確認した。但し方向性のある平面研磨面
に於いてはこの測定法はそのままでは適用出来ない。

終りに臨み本研究實施について終始御熱心な御指導を
戴いた東大教授兼機械試験所長大越諄博士、御援助と御
討論とを戴いた眞島正市・菅義夫・蓮沼宏・馬場桑夫の
諸博士・學研第 5 部第 4 班協議會 (表面工學) の方々並
びに日立製作所豐田取締役・兼先日立研究所長・鳥山中
央研究所長・湯本部長及び終始熱心に實驗に當られた柿
崎公男・寺田清彦・角田珠吉の諸君に謝意を表わして筆
を擱く。

参 考 文 献

- (1) H. M. Brandt: Schleif u. Poliertechnik, 15
46 (1938), 16 8 (1939)
H. M. Brandt: Glastechnische Berichte, 16
123 (1938)
H. M. Brandt: Instrumentenkunde, (1937)
北川・東條: 光學硝子の精密加工 92~94 (昭
15 河出書房)
- (2) 天野: 理研彙報 10 3 號 280~287 (昭6-3)
- (3) Morey: Properties of Glass, 439 (1938)
- (4) 久本: 日立評論 32 6~16 (昭25) 第 5 表参照
- (5) 研究の結果: 粒子 (10μ 見當) の揃つた $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$
であることがわかつた。
- (6) 久本: 前出 (4) 第 4 表参照
- (7) JES 機械 0601: TECH 1 3 號 27 (昭23-6)
- (8) J. J. Bikerman: Phys. Mag., 32 67 (1941)
- (9) 吉田: 光學器械 (基礎篇) 149 (昭23・東西出
版社)

— 編 集 後 記 —

前號「電源開發特集號」は幸い 大好評で増刷した
始末であるが、未だ多少殘部がありますから御入用
の方は至急御申込み下さい。

本號も増頁をし、内容充實した論文 6 篇、中でも
30 枚以上の原稿を三篇も收録して御期待に副うこと
とした。

尙、近く「最近に於ける日立技術の成果」と銘打ち
恒例の「日立評論」總まくり號を發行、久し振りに
工業技術研究誌として大ヒットを放ちたく、目下全
日立の技術陣を總動員、珠玉の論文蒐集に奔命して
ゐるから、必ずや諸君諸兄の要望に答え得ると信ず
る。大體 300 頁、寫眞圖面など 500 枚を挿入、立派
な内容と體裁をととのえた日立要覽式の大別冊とな
り、五月上旬には配本の豫定である。(寺澤生)

第 32 卷 日 立 評 論 第 3 號

昭和 25 年 3 月 25 日印刷 誌代 1 冊 30 圓 送料 6 圓
昭和 25 年 3 月 31 日發行 6 冊 200 圓 (送料共)

無斷
禁轉載

編集兼發行人 長 谷 川 俊 雄
印 刷 人 北 元 要 藏
印 刷 所 日 立 印 刷 所

發 行 所 日 立 評 論 社

東京都品川區大井坂下町 2717
振替口座 東京 71824 番
電話大森 (06) 111—10 番
3131—10 番
會員番號 A 208062 番

廣告取扱店 東京都港區芝佐久間町 1 の 26 廣 和 堂