

# 刷子保持器の動作特性について

武政隆一\* 桑原繁太郎\*\*

## On Operating Characteristic of Brush-Holder

By Takaichi Takemasa and Shigetarō Kuwahara  
Hitachi Laboratory and Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

We made an apparatus with which the state of sliding contact between brush and commutator is measured electrically and made experiments on operating characteristics of brush-holders with it, conclusions from the experimental results are as follows.

The degree of disturbance of sliding contact is proportional to about 1.0~1.5 times of revolution speed and inversely to about 0.5~1.0 times of the brush-pressure, moreover it is influenced by  $\xi/\sqrt{E}$  ( $E$ : modulus of elasticity,  $\xi$ : modulus of solid viscosity) and the taller the brush is, the larger, the disturbance.

The effective pressure of brush spring at the radial holder is changed by the direction of pressure and it is proportional to the vertical force. When the pressing position of the finger against the head of brush is moved to rotating direction from the middle of brush top, the degree of disturbance of sliding contact is small.

When the gap between the holder case and the brush side is about 0.10~0.15 mm, the state of sliding contact is better. The reaction holder (top bevel  $0^\circ$ , leading angle  $30^\circ$ ) is superior to the radial holder, but the higher the revolution speed is, the difference of the both decreases.

Besides above we investigated on the vibration of brush.

### [I] 緒言

直流機において良好な整流を行うためには刷子と整流子とが常に密着し、安定なる摺動接触を保つことが不可欠の条件である。従つてかかる場合に對しては刷子及び刷子保持器の優劣が整流の良否を支配する重要な因子の一つとなる。

刷子及び刷子保持器の役割は上述の如く刷子と整流子間との接触を常に完全に保持するにある。従つて刷子、整流子間の摺動接触状態を數量的に測定出来れば、保持器の動作特性は明らかになる。筆者等はこの見地から刷子の摺動接触状態を電氣的に測定する装置を試作し、こ

れによつて實驗を行つた。又全般的な刷子の振動に對しては光學的方法或は容量變化法によつて振動波形を撮影した。以上述べたような實驗装置によつて刷子の振動、回轉數、刷子壓力、刷子材質、刷子の寸法、刷子の押え方刷子と保持器函との間隙、垂直型と反動型の特性比較等について實驗を行つた。

本研究においては廣範圍なるため、定性的な結果しか求めなかつたので、個々の問題については必要度に應じ目下研究中である。刷子保持器に對し深く關心を持たれる方々に多少なりとも御參考になれば幸甚である。

### [II] 刷子の振動及び刷子壓力

#### (1) 刷子の振動

刷子の摺動接觸障害の原因となるものは整流子と刷子間

\* 日立製作所日立研究所

\*\* 日立製作所日立工場

の摩擦過大による自勵振動整流子の偏心による刷子壓力の變動等があるが、周邊速度の大なる時の最も大きな原因は整流子面より周期的及び衝撃的にうける法線及び切線方向の力である。これらの原因によつて起る振動は低周波域より高周波域にわたつてゐる。刷子と刷子保持器との合成振動系の固有振動については周波數によつて次の3種に分類することが出来る。

第一は刷子を集中質量とし、保持器の發條を集中ばねとする振動であつて周波數は低い。

第二は周波數が前者より高い所であつて、刷子は剛體として考えられるが、發條は最早集中ばねと見做し得ず發條自體の固有振動を考慮に入れなければならない範圍内である。摩擦係數の過大又は急激な變化、刷子取り付角度の不適當、刷子と保持器函との間隙の過大等より起り、刷子の tip 或は chattering と言われる現象となつてあらわれる。又周波數の上昇に伴い、發條の共振と反共振が交互に出現して障害となることがある。

第三は刷子を集中質量と見做し得ない程度の周波數で刷子の彈性による影響があらわれる所である。高い周波數においては刷子自體の共振が出現するようになり數千サイクルの高周波であるから刷子材の彈性係數及び粘性係數の大小によつて著しい影響をうける。なおこれについては筆者の一人が研究の結果を日立評論、第 29 卷、第 5 號に述べた<sup>(1)</sup>。

(2) 偏心による刷子壓力の變動

(1) 偏心を有する集電環 偏心を有する集電環表面を刷子が摺動する場合の刷子壓力の變動について考察する。環表面に作用する發條の刷子壓力は慣性による力  $P_B$  とばねの力による  $P_C$  との合成である。従つて刷子のうける全壓力  $P_A$  は

$$P_A = P_B + P_C = \left( W_1 - \frac{W_1}{g} \omega^2 h \sin \omega t \right) + \left\{ W_2 - kh \left( \frac{q^2}{q^2 - \omega^2} - 1 \right) \sin \omega t \right\} \dots \dots (1)$$

但し  $W_1$  は全重量、 $W_2$  は發條によつて支えられた荷重 (ばね壓力)、 $h$  は集電環の偏心、 $\omega$  は集電環の回轉角速度、 $k$  は發條のばね常數  $g$  は重力による加速度、 $q$  は發條の自由振動による角速度で次式であらわされる。なお

$$q = \sqrt{\frac{kg}{W_2}} \dots \dots (2)$$

式(1)において  $W_1$  及び  $W_2$  は時間に無關係な一定壓力を、又  $\sin$  の項は偏心  $h$ 、回轉數  $\omega$  に關係し正弦的に變化する項である。なお  $\sin$  の項の中で、 $\omega^2 h W_1 / g$  は回轉數の自乗に比例し、 $khq^2 / q^2 - \omega^2$  はばねの固有振動  $q$  に關係し、 $q$  と  $\omega$  が相等しい時に共振を起すこと

を示している。又  $kh$  は直接偏心に基因するばね壓力の變化をあらわしている。従つて時間に無關係な項が時間に關係する項より大なる時には問題はないが、あまり大きくない時には偏心の影響が著しくあらわれ、刷子壓力  $P_A$  は著しく不安定になる。なお式(1)の誘導については長くなるので省略する。

(2) 整流子の場合 整流子表面を刷子が摺動する場合には摩擦により刷子の入口側は整流子溝に衝突し刷子は振動する。偏心を有する整流子ではこの振動が偏心による振動に重疊され、現象は著しく複雑になる。今刷子が整流子溝に衝突して反撥する平均變位を  $b$ 、且つその振動波形が正弦波形であると假定すれば、この場合の刷子壓力  $P_D$  は式(1)をそのまま適用出来る。従つて偏心がある場合の刷子壓力  $P_D$  は

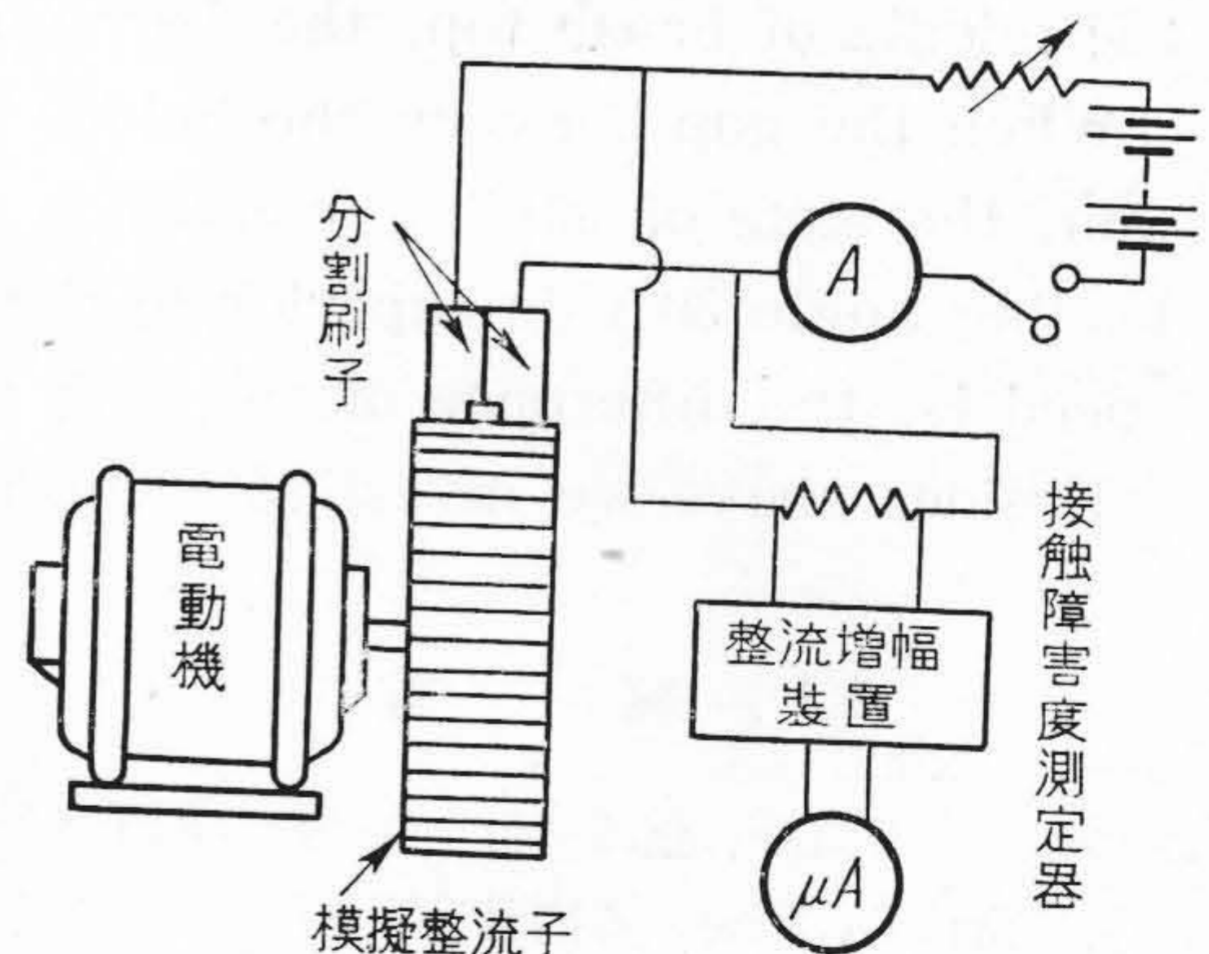
$$P_D = W_1 + W_2 - \left( bN^2 \frac{W_1}{g} + \frac{bkq^2}{q^2 - N^2} - kb \right) \sin \omega t \dots \dots (3)$$

但し  $N = 2\pi \times$  回轉數 (毎秒)  $\times$  整流子のセグメント數 上式において  $q < N$  であるから  $bkq^2 / q^2 - N^2$  は著しく小さくなる。又  $b$  も極めて小さいからこの場合には回轉數の影響が著しくあらわれることが知られる。

[III] 實驗装置及び方法

[1] 實驗裝置

第 1 圖は本研究に用いた實驗裝置の略圖である。



第 1 圖 實驗裝置略圖  
Fig. 1 Schematic Diagram of Testing Apparatus.

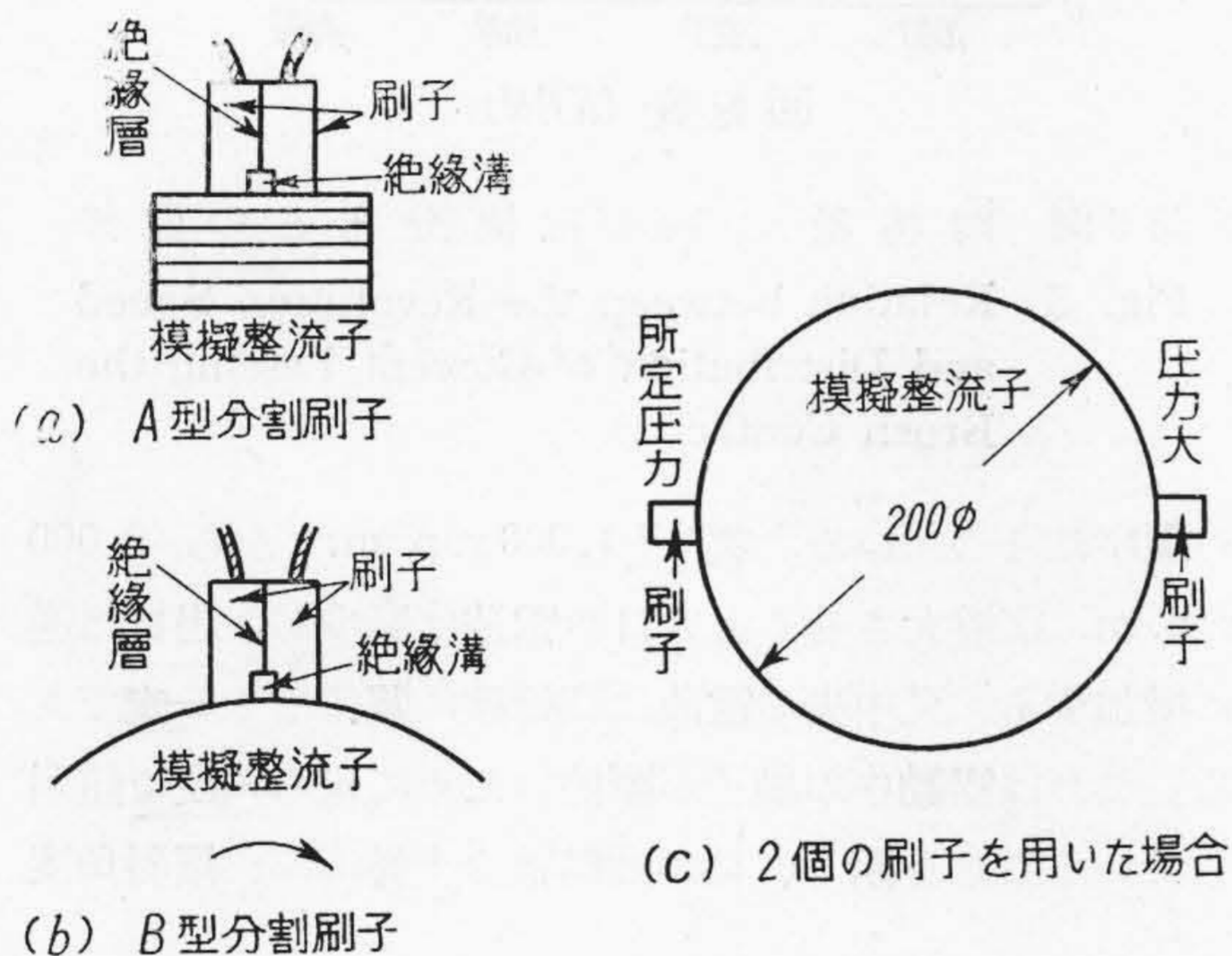
(1) 試験機

(A) 集電環 集電環は約 6 mm の幅の整流子片を有する直徑 200 mm の模擬整流子で、材質は銅環の外に銀環 (Ag 90%, 殘部 Cu) も使用した。次に整流子の幅は銅環では 85 mm, 38 mm の 2 種、銀環では 38 mm で、セグメント數は何れも 99 個である。偏心は原則として 2/100 mm にしたが、銀環は銅環より若干高かつ

た。偏心の実験の時は特に偏心を大きく 8/100 mm にした。なお模擬整流子駆動用電動機として 5 HP の直流分巻電動機を用い、回転数を 1,000~3,000 r. p. m. の範囲内で変えた。

(B) 保持器 本実験では原則として垂直型保持器を用いたが、一部の実験には反動型も使用した。又發條は螺旋型 (Spiral spring) 或は時計型 (Clock spring) を使用し、刷子壓力を任意に変えた。又後述する分割刷子を使用するに當つては保持器函の内部にマイカを貼りつけ、刷子と保持器とを相互に絶縁した。

(C) 刷子 刷子の材質として NCC-259, 國產刷子として A・B 及び C の 4 種を用い、刷子の寸法は原則として 16×20×35 mm<sup>3</sup> 又は 12.5×20×32 mm<sup>3</sup> の 2 種を用いた。又保持器函と刷子との間隙は 0.13 mm 前後にした。刷子の摺動接觸状態を測定するために、特に分割刷子を用いたが、一部の実験には 2 個の刷子を組合せて使用した。分割刷子は第 2 圖(a) の如く刷子を軸方



第 2 圖 刷子の取り付け方  
Fig. 2 Schematic Diagram Showing the Construction and the Setting Method of Brushes.

向と直角に 2 分割し、相互に絶縁したもの (假りに A 型と呼ぶ) 及び (b) の如く軸方向に 2 分割し、相互に絶縁したもの (假りに B 型と呼ぶ) を用いた。又一部の実験には分割刷子の代りに 2 個の刷子を第 2 圖 (c) の如くに用いたが、保持器及び刷子は同一のものを用い、刷子壓力のみを一つは所定の壓力を、他の一つは著しく高く調整した。

(2) 接觸障害度測定装置<sup>(2)</sup> 刷子の摺動接觸状態の良否を數量的に測定する装置でその概要を述べる。

(A) 測定原理 刷子の摺動接觸状態を測定するために第 1 圖の如く刷子—模擬整流子間に直流を流せば摺動接觸状態が不良である時高い周波数の脈動電流を生ずる。この脈動電流のみを抽出し、これを適當に整流増幅

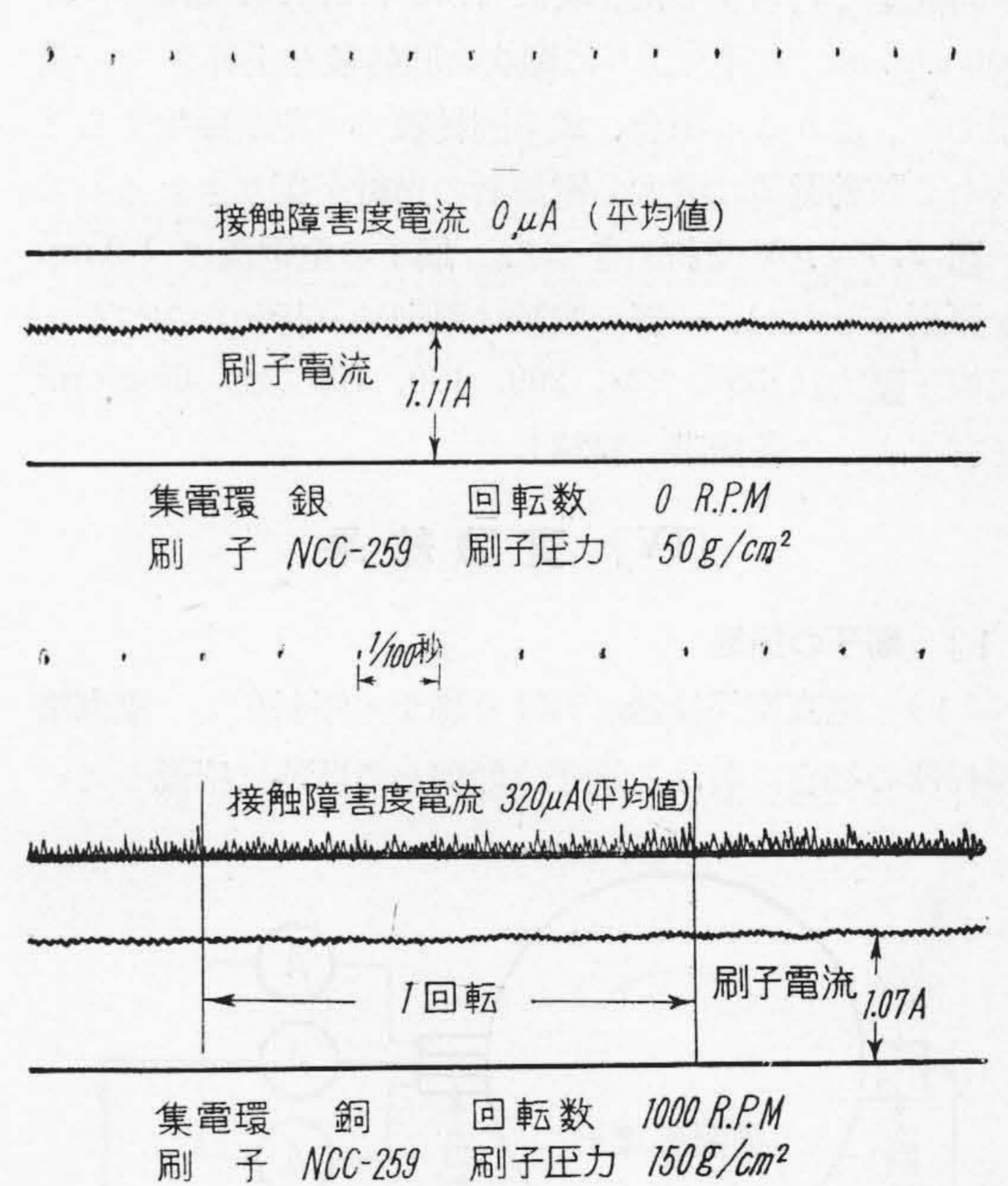
してオシログラフで撮影するか、或は電流計で平均値又は實効値を指示させれば接觸障害度が數量的に表示されるわけである。もし刷子電流を一定にして測定すれば脈動電流 (第 3 圖の接觸障害度電流) は接觸障害の程度に比例するから、この電流値を以て一應比較値とすることが出来る。本報告では取り敢えず、この電流値を以て接觸障害度と呼ぶことにした。又任意の電流に対する摺動接觸障害度  $R$  は次式により求めた。

$$R = \frac{I_a}{I} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

但し  $I_a$  は脈動電流の平均値、 $I$  は刷子全電流とする

(B) 測定上の確度 今迄述べたことが成立するのは銀環の如く摺動面に酸化皮膜の生成脱落が生じない場合である。然し實際銅環の場合には酸化膜の生成脱落に基因する脈動電流が発生し、電流計には刷子の振動と酸化膜に關係する二つの脈動電流の合成値が指示されることになる。従つて正確を期するためには銀環を併用する必要がある。實驗の結果では大體 1,000 r. p. m. 以上の高回転では銀環でも銅環でも傾向は大體同一であるが、低回転の場合には銀環を使用しないと接觸障害の程度が判別出来ない。

次に刷子に流す電流であるが、理想的に言えば蓄電池



第 3 圖 回転数 0 及び 1,000 r. p. m. の場合における接觸障害度電流 (上) 回転数 0 の場合 (下) 回転数 1,000 r. p. m. の場合

Fig. 3 Oscillograms Showing the State of Brush Contact at Stand Still and 1,000 r. p. m., Upper Stand Still. Lower 1,000 r. p. m.

を用うべきである。本実験では都合上直流発電機を電源としたので、第3圖のようにこの直流にはスロットによる交流分を含み、眞の平滑な電流は得られなかつた。そこでスロットによる交流分の影響を除去するために、測定装置について十分な注意を拂つた。その結果回轉數零の場合には刷子電流にスロットによる交流分が含まれているのにも拘らず、電流計は勿論、オシログラム(第3圖)にも接觸障害度電流はあらわれていない。次に回轉させると摺動接觸の障害に伴う脈動電流が発生し第3圖のようになった。又オシログラムにはH型振動子を用いたために500 $\omega$ 以上の周波數に對しては正確度が低下するので、定量的には検討出來なかつた。然し定性的には大體の傾向は推察出來ると思う。なお本実験では接觸障害度電流は平均値で表示した。なお本測定装置については特許第163280號に發表されている。

[2] 實驗方法

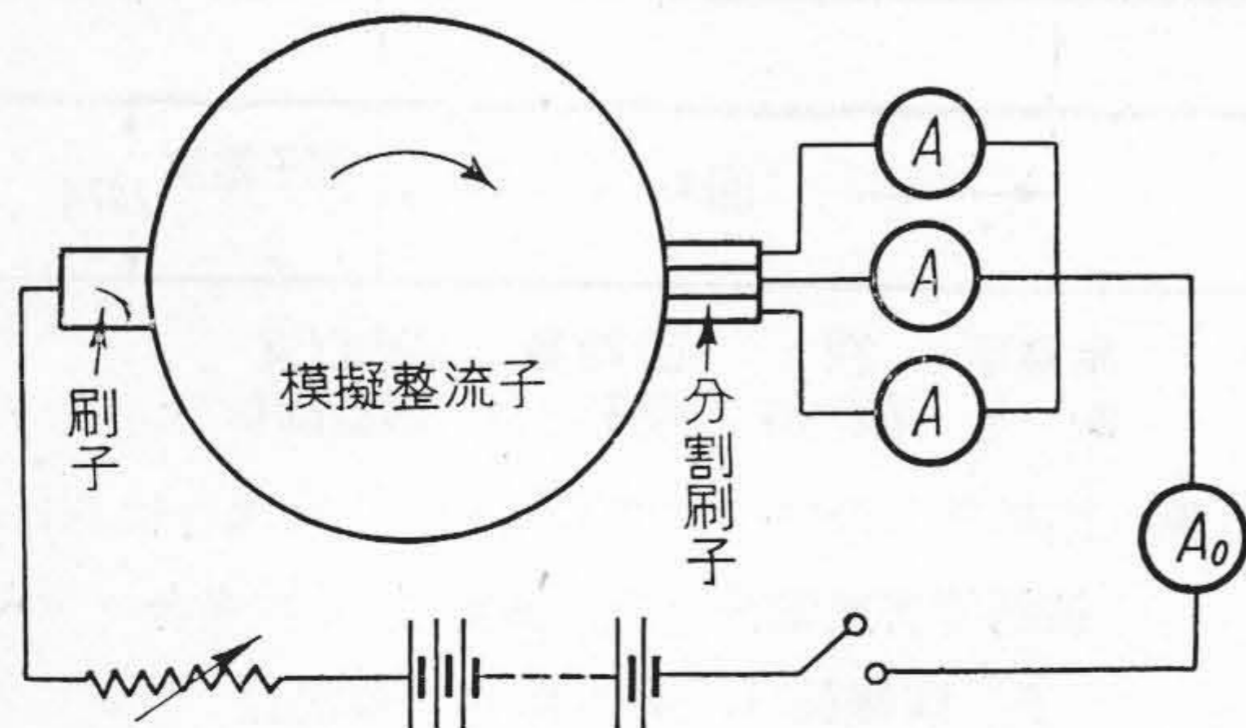
以上述べたような實驗装置で次のような方法により實驗を行つた。

最初50時間位刷子の摺り合せを行い、刷子の摺動面が全面的に光澤が出るようになってから實驗を開始した。1,000 r.p.m. の回轉數で30分毎に測定を行い、8時間位で打ちきつた。次に1,500, 2,000, 2,500, 3,000 r.p.m. と言うように順次に回轉數を上昇させて測定した。なおこの場合、或る回轉數で火花が発生すると著しく脈動電流は増大し電流計の指針が振りきれるので一應2,000  $\mu A$  で打ちきつた。刷子の全電流は1 Ampを原則としたが、一部の實驗は原則通り行わなかつた。又刷子壓力は350, 228, 200, 150, 100 及び60 g/cm<sup>2</sup> と言うように各段階に調整した。

[IV] 實驗結果

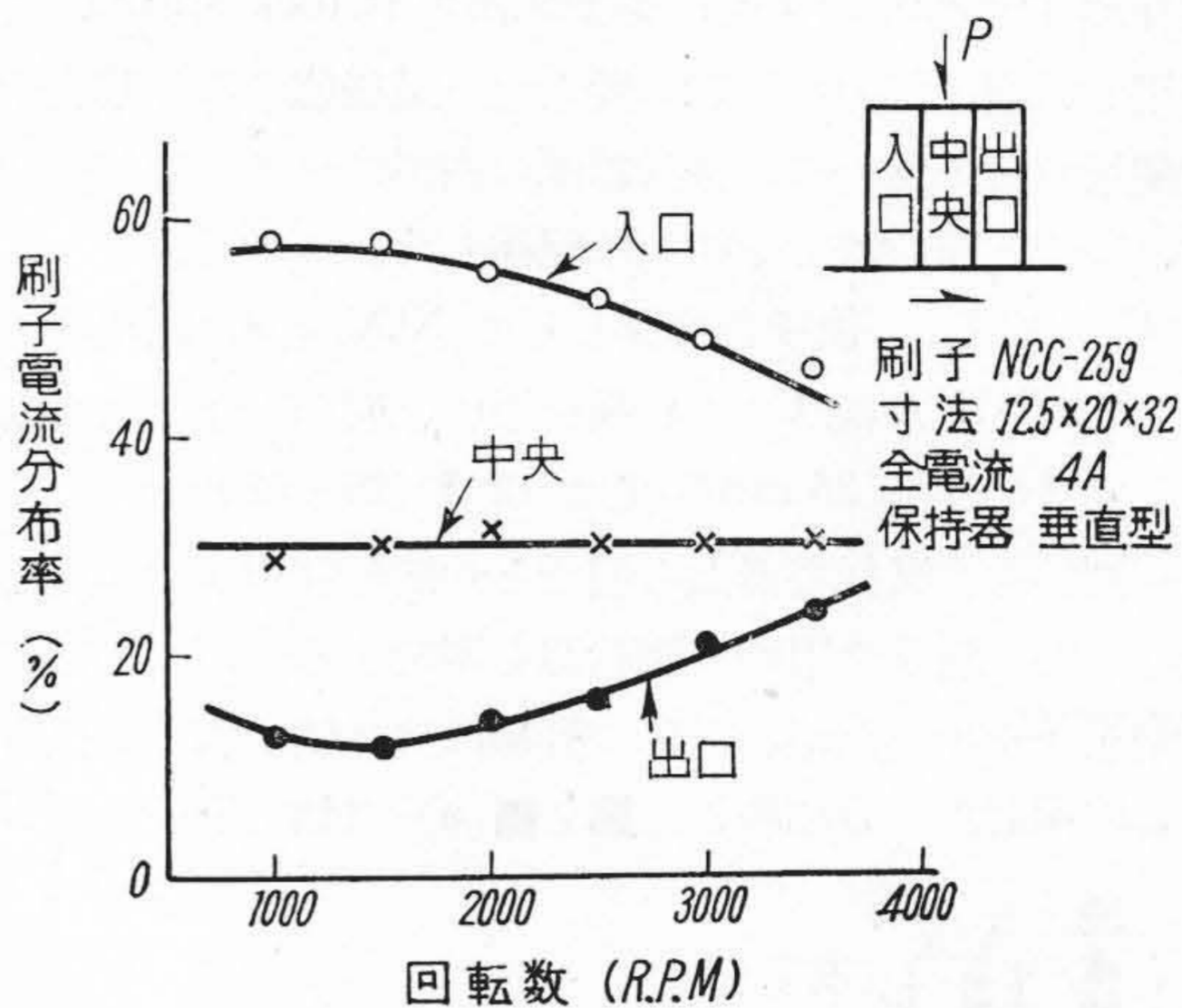
[1] 刷子の振動

(1) 垂直型保持器における刷子の傾斜角 垂直型保持器の場合における刷子は如何なる状態で摺動してい



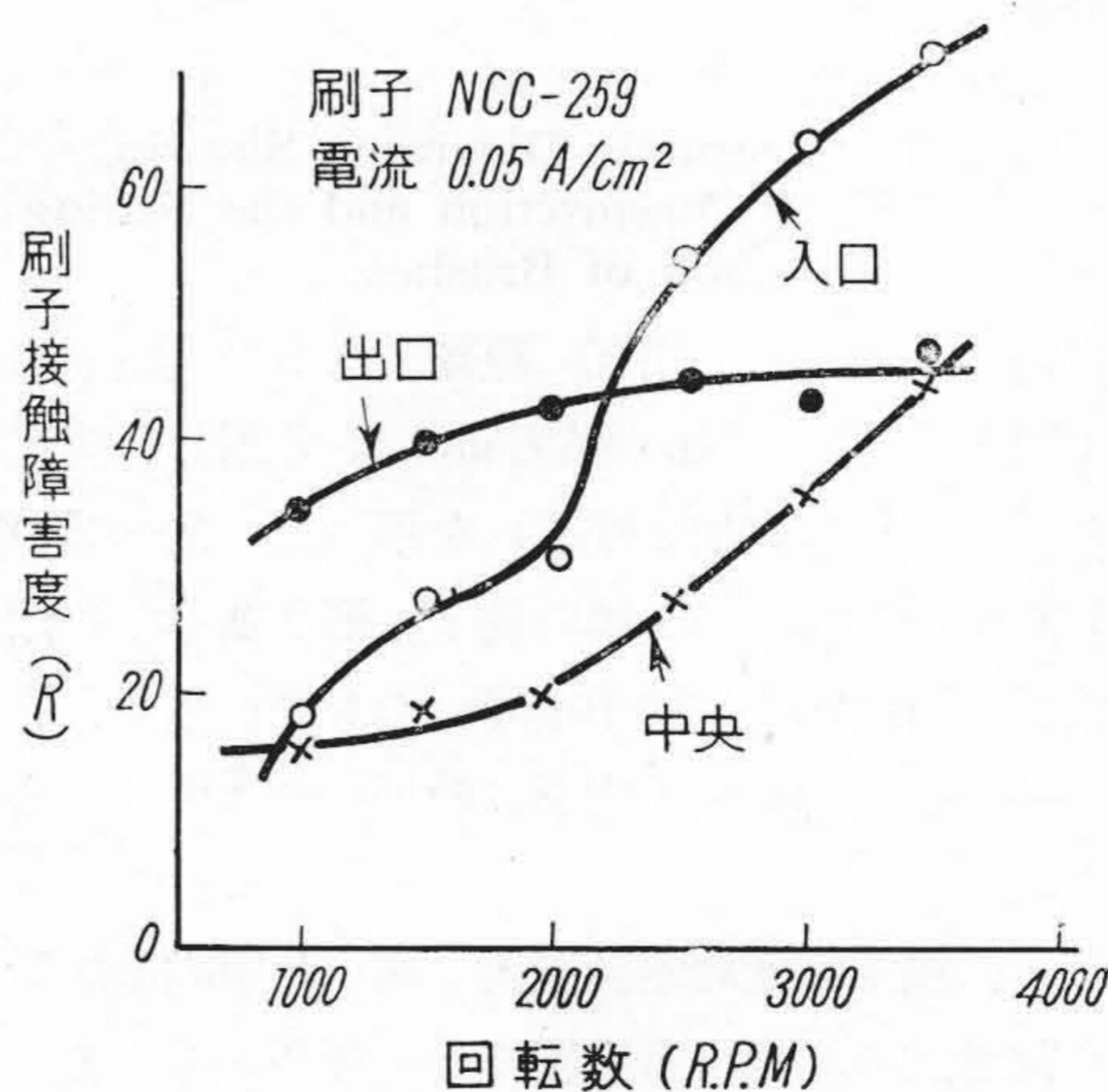
第4圖 實驗裝置略圖  
Fig. 4 Schematic Diagram of Testing Apparatus.

るかを知るために、分割刷子を用い、各分割刷子に流れる電流分布と回轉數との關係を求めた。第4圖の如く刷子を三つに分割し、分割された各部には内部抵抗の等しい電流計を接續して各回轉における電流分布を求めた所第5圖のような結果を得た。結局1,000 r.p.m. 附近では刷子の入口における電流が最も多く、次に中央、出口



第5圖 回轉數と刷子電流分布との關係  
Fig. 5 Relation between the Revolution Speed and Distribution of Current Passing the Brush Contact.

の順序になつている。次に1,000 r.p.m. から3,000 r.p.m. 迄増大させると入口の電流は減少し、出口は逆に増加する。又中央の電流は回轉數に關係なく一定である。これは摺動中の刷子が摩擦のために或る角度で傾斜していることを示し、且つ回轉數の上昇に伴い傾斜角度

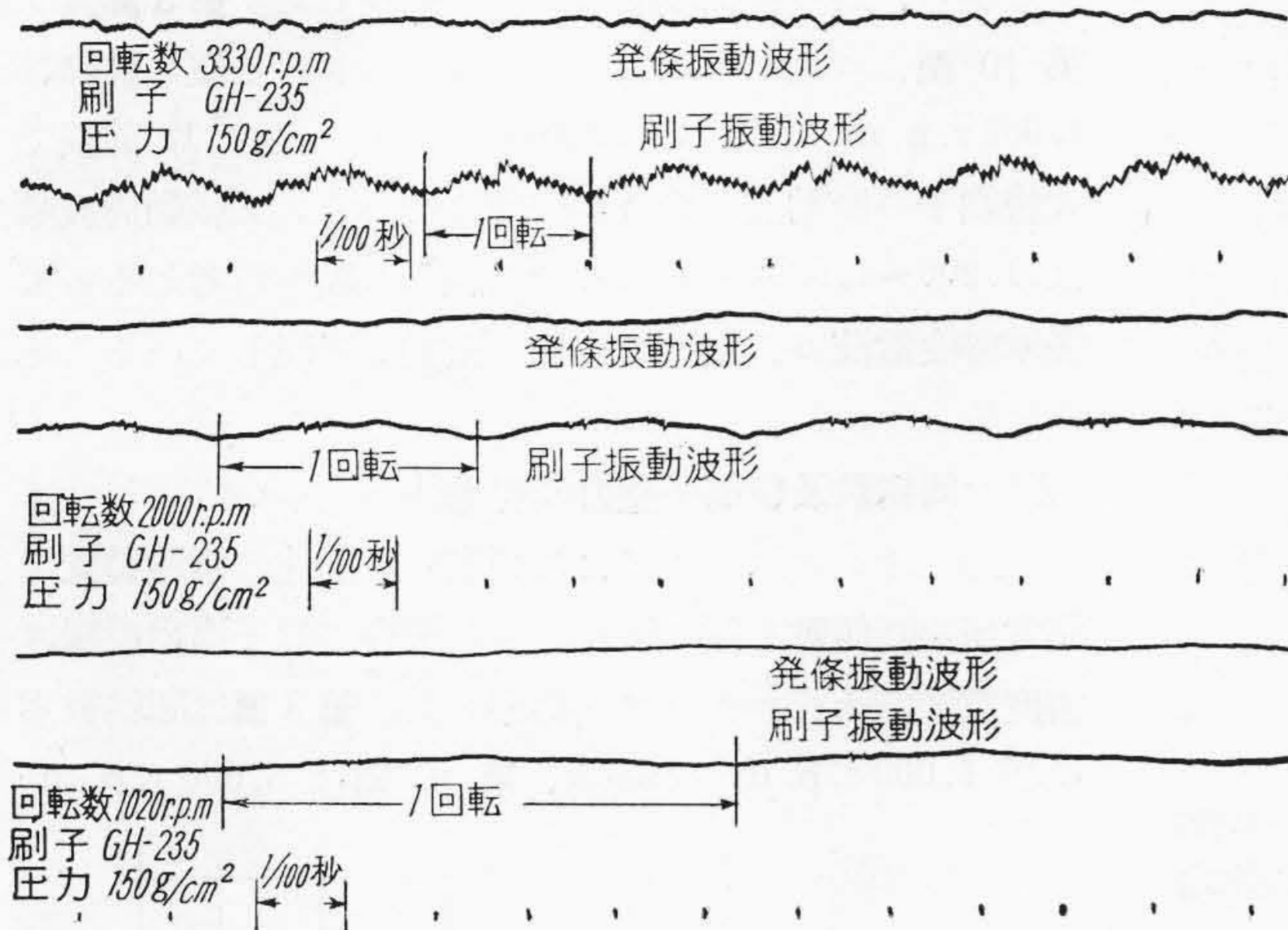


第6圖 回轉數と分割刷子の接觸障害度との關係  
Fig. 6 Relation between the Revolution Speed and the Degree of Disturbance of Sliding Contact of Divided Brush.

が減少しつゝあることを示すものである。

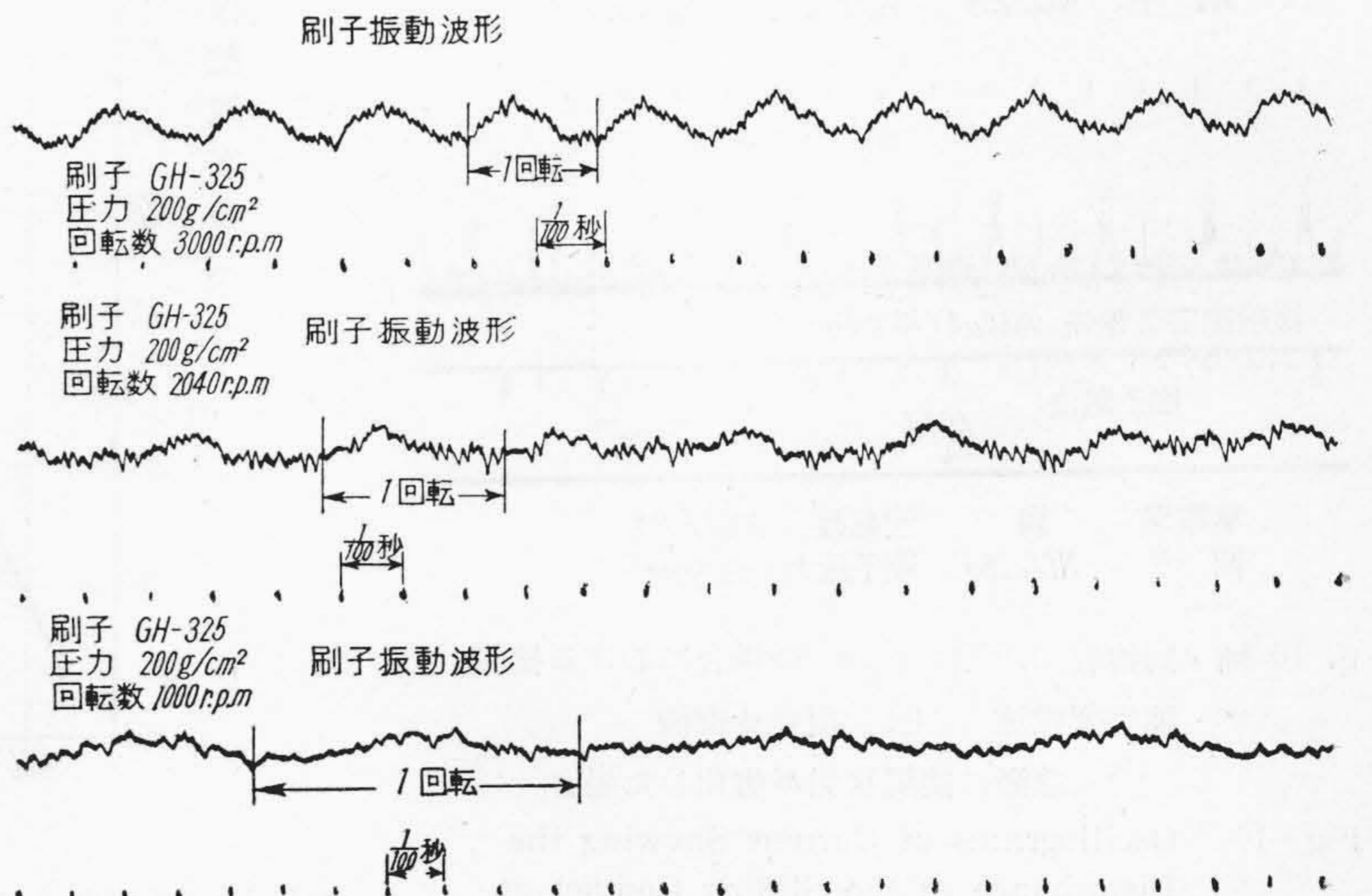
次に上述の分割刷子を用い、摺動中の刷子接觸障害度を測定した。その結果は第6圖のようで、1,000 r. p. m. 附近では刷子の出口が最も大きく、入口、中央の順序になつてゐる。然るに回轉數を上昇させると2,500 r. p. m. 附近より入口は急激に接觸障害度が増大しているが、中央、出口の順序に接觸障害度の増加率は減少している。

(2) 刷子の振動 刷子の振動波形を知るために、光學的方法及び刷子と電極間との容量變化法の二方法で測定した。

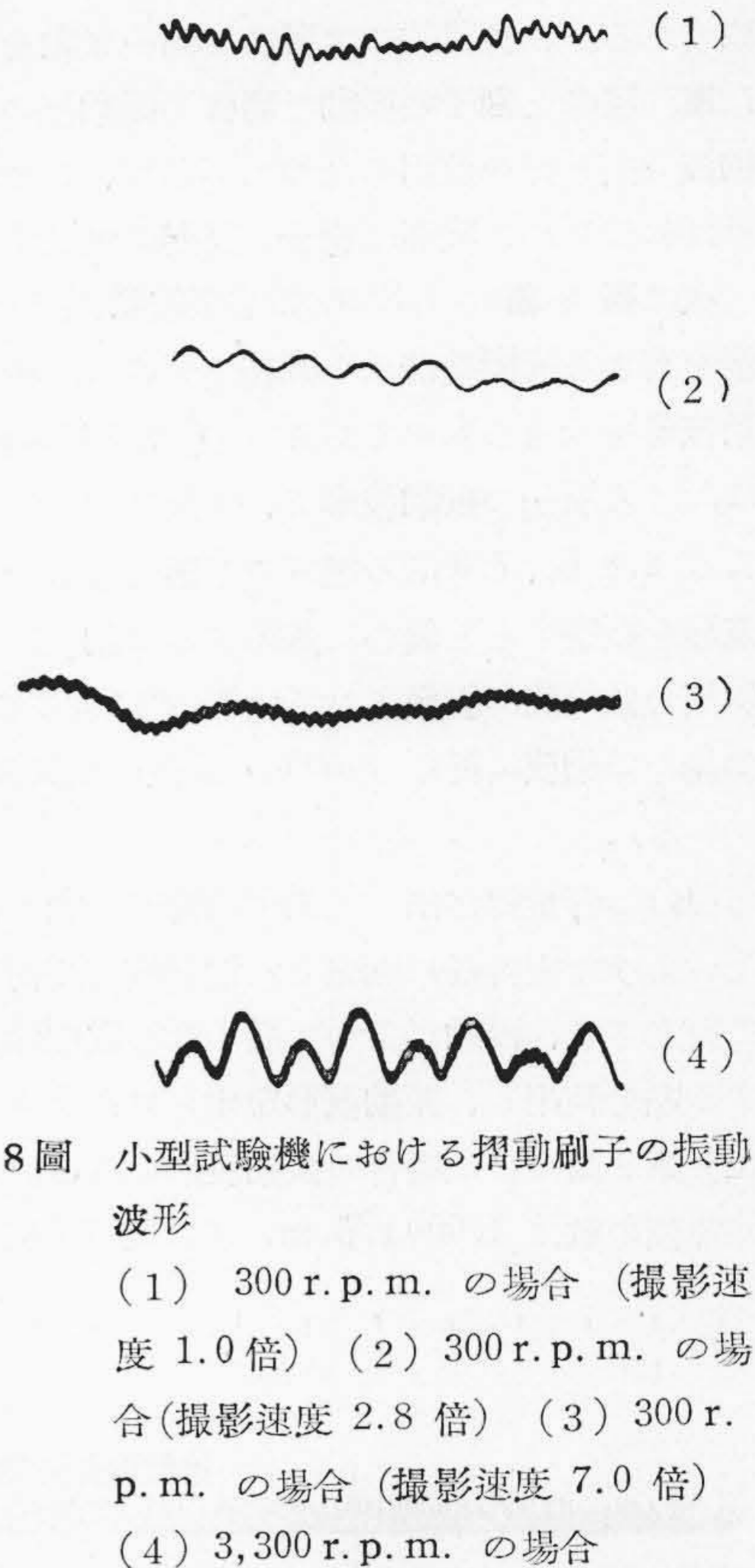


第7圖 摺動刷子及び發條の振動 (光學的方法)  
Fig. 7 Oscillograms Showing the Vibration of the Spring and Brush. (Optical method)

(A) 光學的方法 刷子の上部に直徑 1 mm 前後の凹面鏡を貼り、オシログラフの光源函を利用して刷子の角振動を撮影した所、第7圖のような波形を得た。回轉數 1,020 及び 2,000 r. p. m. の場合にはあまり振幅も大きくなく、不明瞭なので、3,330 r. p. m. の場合について述べる。この場合には偏心に基因する振動波(55 $\omega$ )に二三百サイクルの周波數を有する振動波(1回轉で約 20)が重疊され、更にその上に 1,300 $\omega$  前後の高周波が重疊されている。又上部の發條の振動波形は實際は壓力調整用ネジの振



第9圖 摺動刷子の振動波形 (容量變化法)  
Fig. 9 Oscillograms Showing the Vibration of the Brush. (Capacity Changing Method)

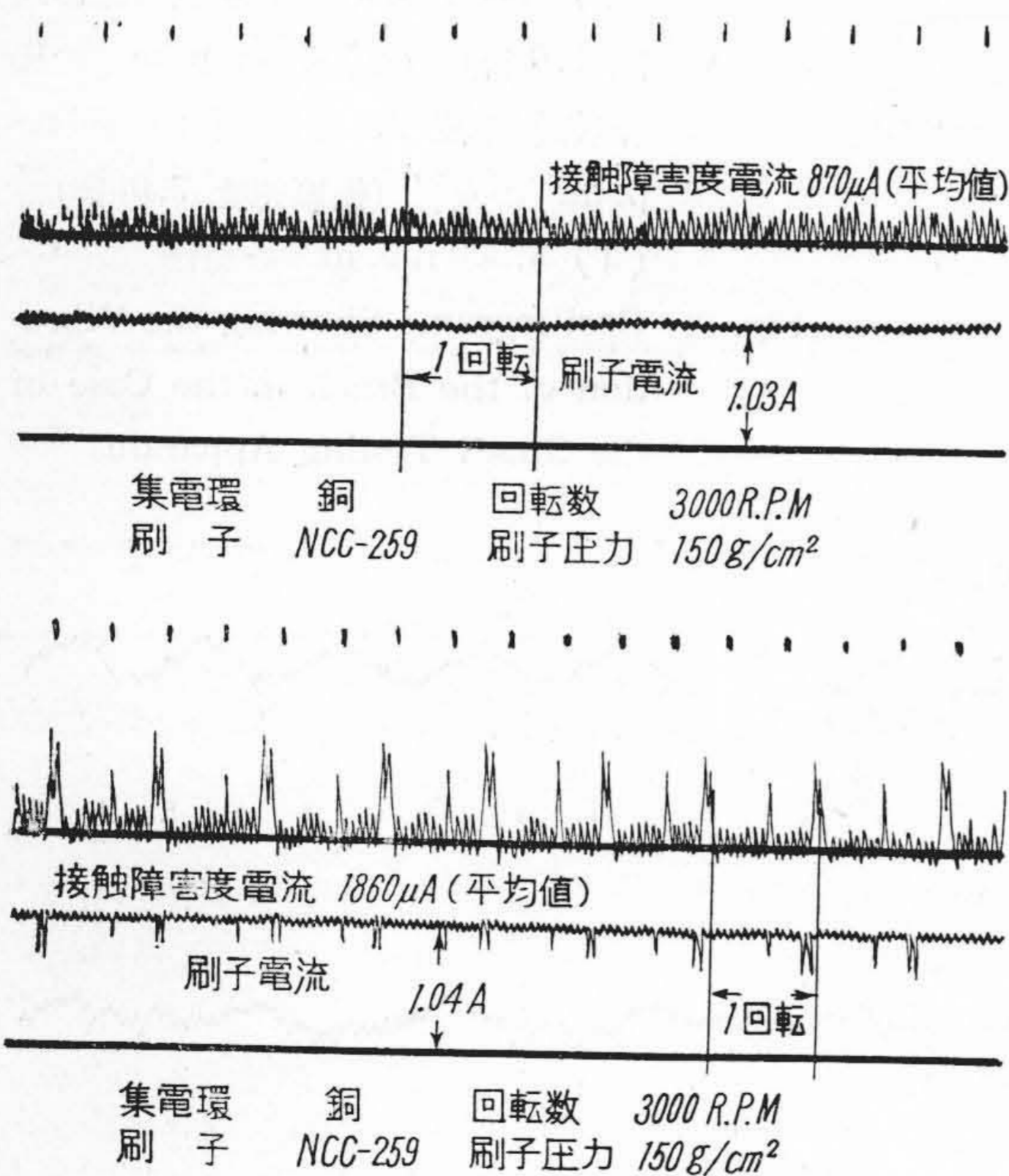


第8圖 小型試験機における摺動刷子の振動波形  
(1) 300 r. p. m. の場合 (撮影速度 1.0 倍) (2) 300 r. p. m. の場合 (撮影速度 2.8 倍) (3) 300 r. p. m. の場合 (撮影速度 7.0 倍) (4) 3,300 r. p. m. の場合  
Fig. 8 Oscillograms Showing the Vibration of the Brush in the Case of the Small Testing Apparatus.

動であるが、實質的には發條と同一振動を行う。なお第 7 圖の發條と刷子の振動で發條の振動波の谷が刷子の振動波の山と同一位相になつているが、これは發條が引張りばねのため、發條は刷子と反對に變位するためである。

次に第 8 圖は 1/10 IP の小型電動機にセグメント 39 個を有する模擬整流子を直結させ、この場合の刷子の振動波形を示せるものである。①は 300 r. p. m. の場合における刷子の振動波形で、②及び③は①の現象をそれより 2.8 倍、7.0 倍の速さで撮影せるものである。この波形を観察すると偏心に基因する振動波に 190~150 $\omega$  前後の低周波が重疊されている。更に③では 190~150 $\omega$  前後の振動波に更に 1,500 $\omega$  前後の高周波が重疊されている。

(B) 容量變化法 先ず回轉機自體の振動が傳わらないような支持臺に固定した電極板を回轉方向の刷子面に對向させ、振動によつて刷子面と電極間の容量が變化する點を利用し、振動波形をオシログラム上に記録した。第 9 圖はこの場合の振動波形である。1 回轉中における波の数は 1,000 r. p. m. では約 70 位で、其の他不



第 10 圖 回轉數 3,000 r. p. m. の場合における接觸障害度電流 (上) 摺合せ直後 (下) 急激に接觸状態が劣化した場合

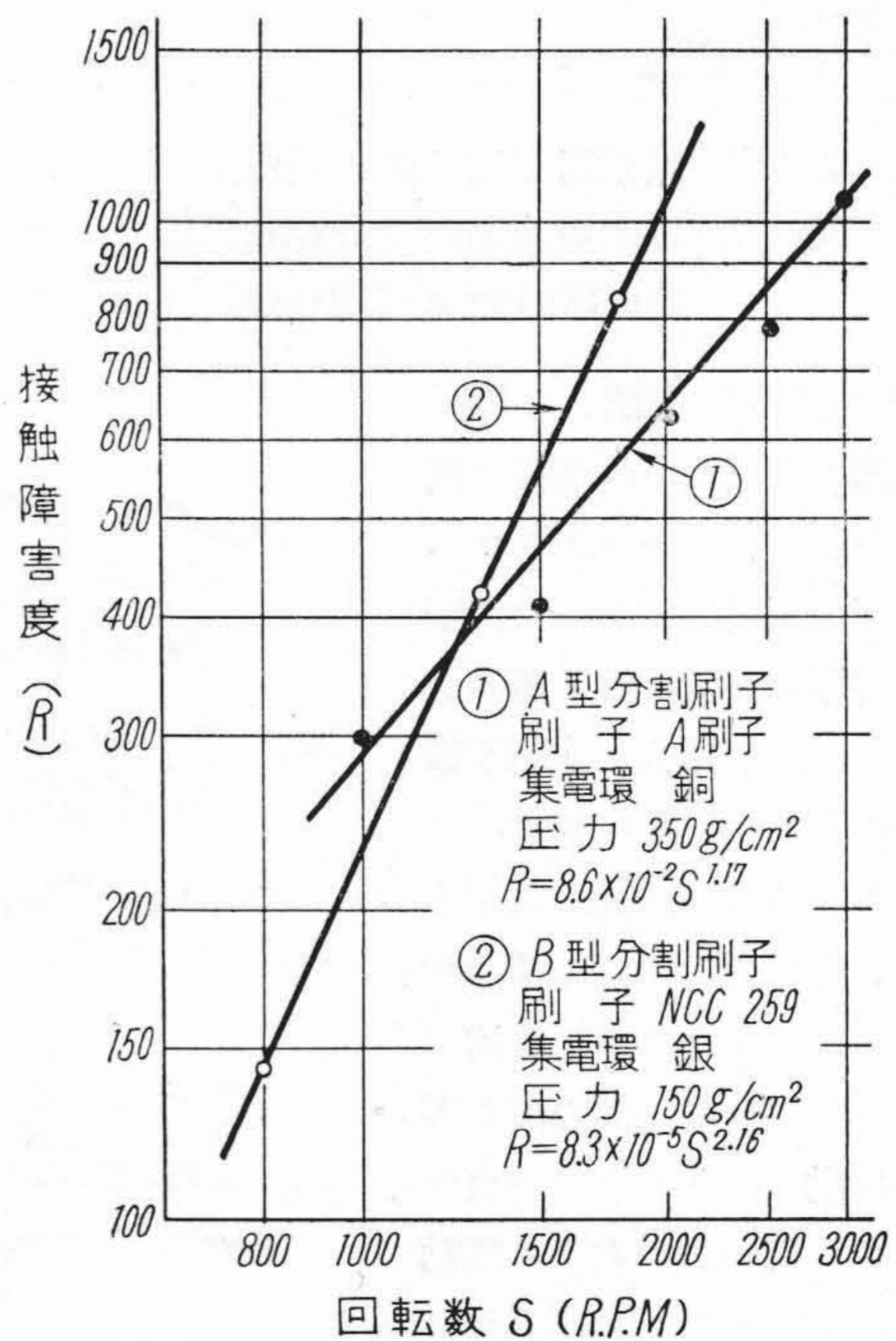
Fig. 10 Oscillograms of Current Showing the Disturbance of the Sliding Contact at 3,000 r. p. m. Upper, the Beginnig of Buning Time, Lower, When the State of Sliding Contact Growed Worse Suddenly.

明瞭のものもあるから大體整流子のセグメント數 99 に近い數の波があらわれているのではないかと思う。又、2,000 及び 3,000 r. p. m. では回轉數上昇と共に逆に減少し、大體 25 前後の波が認められる。これは恐らく高回轉になると振幅が増大し、幾つかのセグメントを飛び越すためではないかと思う。又刷子振動と思われる高周波振動の周波數は大體 1,300~1,800 $\omega$  前後である。

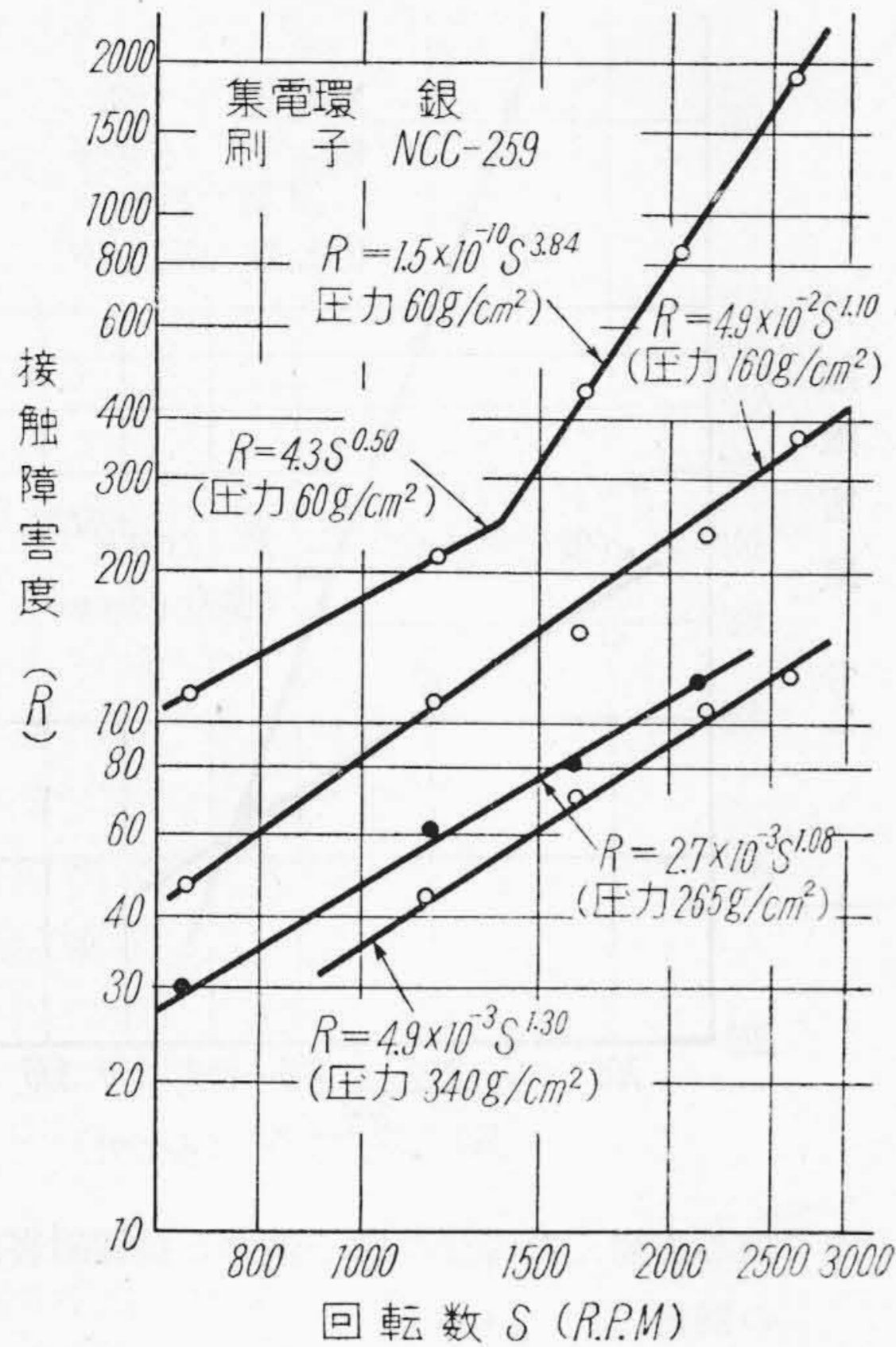
(C) 接觸障害度電流波形 以下刷子の振動と接觸障害度電流との關係について述べる。前述したように接觸障害度電流は間接的には刷子の振動をあらわすものであるから、この振動波形について觀察した。第 3 圖及び第 10 圖より明らかな如く 1 回轉中における波の數は、1,000 r. p. m. では 74, 3,000 r. p. m. では 18 前後で大體刷子の振動波の場合と一致している。又脈動周波數は 1,200~1,600 $\omega$  である。これらの點から考えると接觸障害度電流は近似的に刷子の振動を表現していることになる。

[2] 回轉數及び刷子壓力の影響<sup>(4)</sup>

(1) オシログラムによる觀察 前述の實驗裝置で集電環の回轉數を種々變化させた場合の刷子摺動接觸障害度電流をオシログラムで撮影した。第 3 圖は回轉數零及び 1,000 r. p. m. の場合、第 10 圖は 3,000 r. p. m.

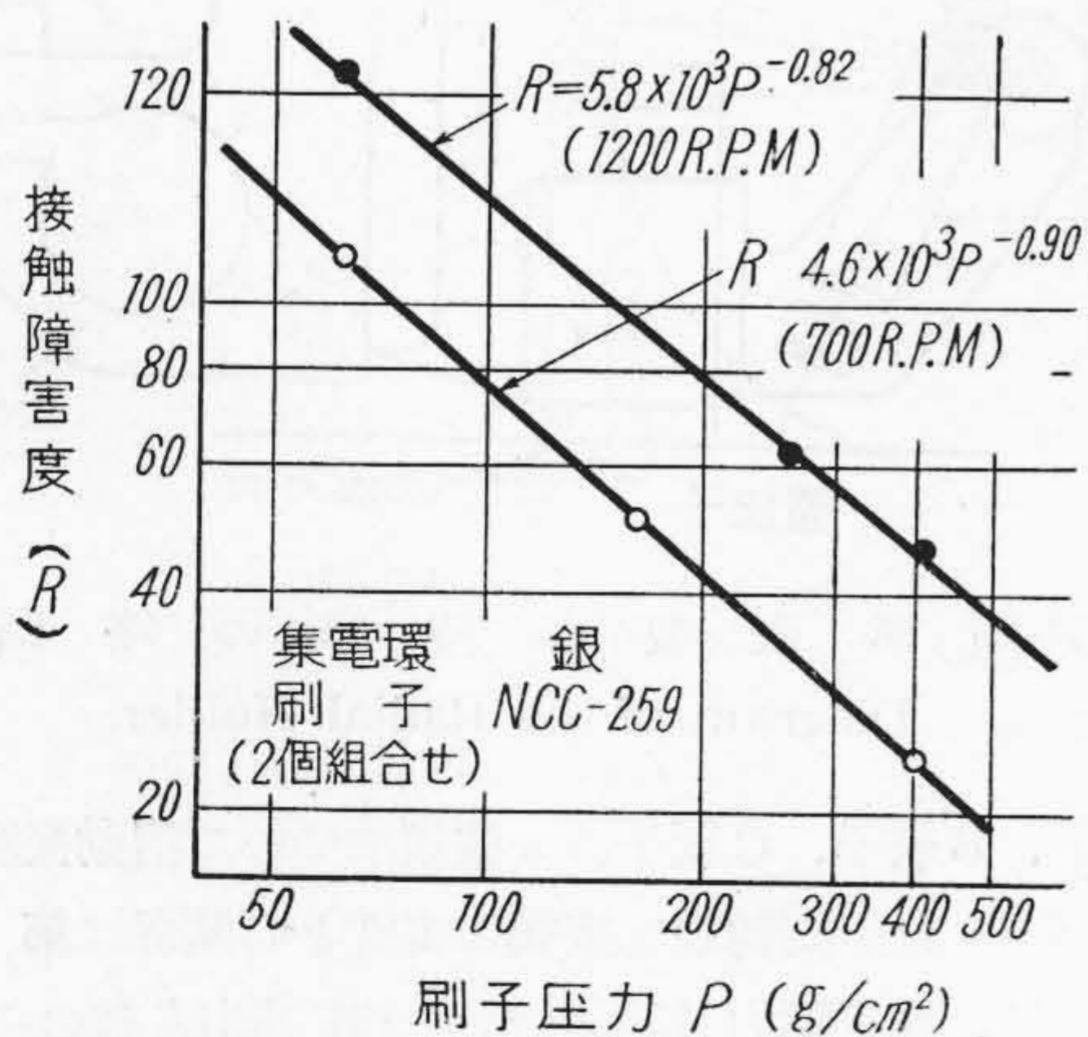


第 11 圖 分割刷子による回轉數と接觸障害度との關係 Fig. 11 Relation between the Degree of Disturbance of Sliding Contact of the Divided Brush and Revolution Speed.



第12圖 2個の刷子を用いた場合の回転数と接触障害度との関係

Fig. 12 Relation between the Degree of Disturbance of Sliding Contact of the Brush and Revolution Speed when Two Separated Brush were Used.



第13圖 刷子圧力と接触障害度との関係

Fig. 13 Relation between the Degree of Disturbance of Sliding Contact and the Brush-Pressure.

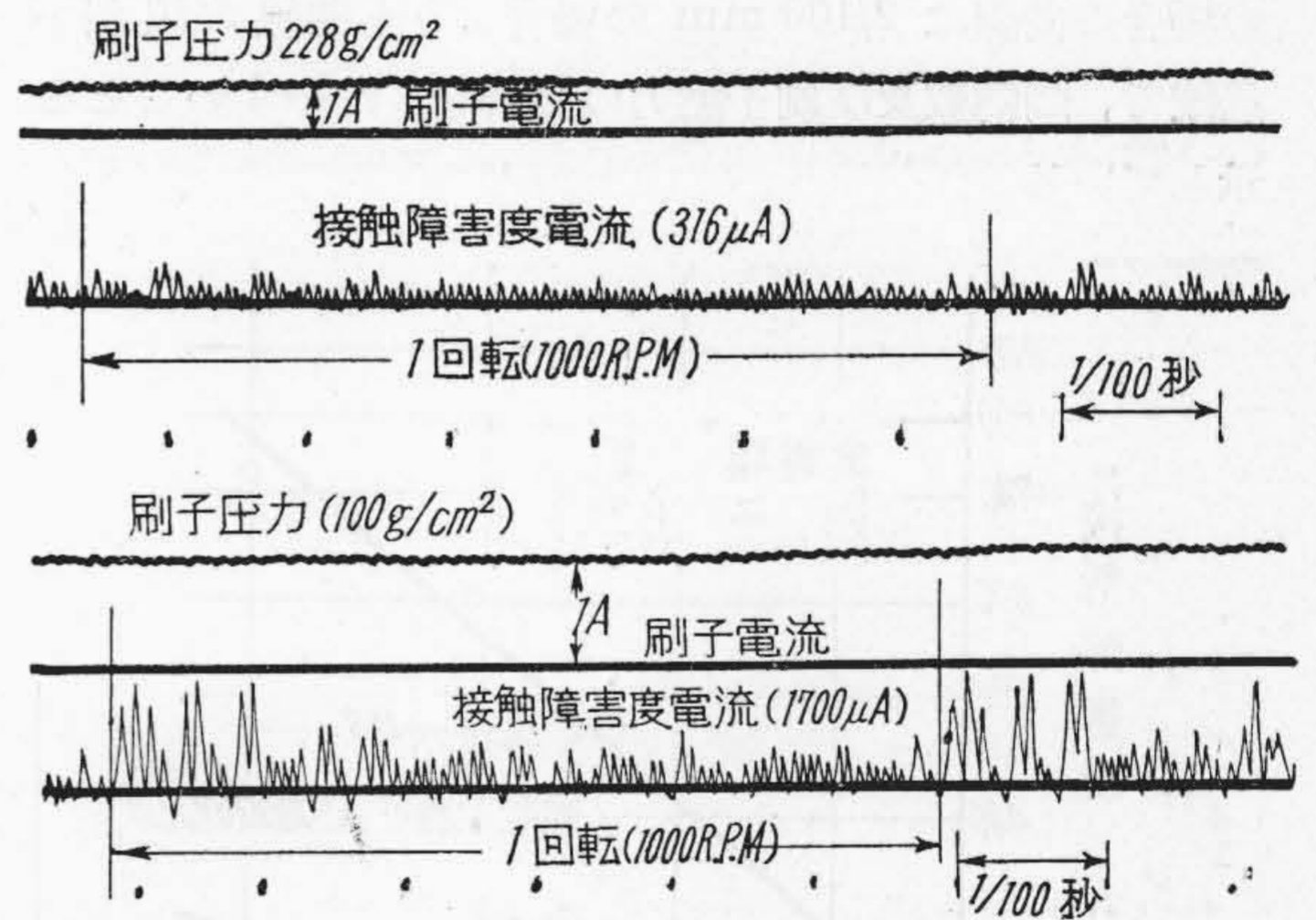
の場合である。なお第10圖において上は摺動接触状態が良好な場合、下は同一条件で実験中急激に接触状態が劣化した場合の脈動電流を示せるものである。

(2) 回転数と接触障害度との関係 電流計に指示

された接触障害度と回転数との関係を第11圖及び第12圖に示した。第11圖ではA型、B型の2種類の分割刷子を用いた場合で、B型分割刷子はA型よりも特性は悪い。これは恐らく刷子の絶縁溝がセグメントに衝突するためと思う。又第12圖は2個の刷子を組合せた場合で刷子圧力を60, 160, 265及び340 g/cm<sup>2</sup>の4段階に變えた場合の回転数と接触障害度との関係を示せるものである。刷子圧力を變えても、曲線の傾斜角は大差なく唯接触障害度のみが刷子圧力に逆比例して小さくなる。然し刷子圧力が弱い場合即ち60 g/cm<sup>2</sup>の場合には1,300 r. p. m. 附近から急激に曲線は立上っている。

(3) 刷子圧力 刷子圧力と接触障害度との関係を求めてみると第13圖のようである。刷子圧力が高くなる程、接触障害度は小さくなり、接触状態が良好になることを示している。又刷子圧力を變え、更に回転数を變えた場合には関係曲線は並行に配列され、回転数が高い程関係曲線は上部へ移動する。

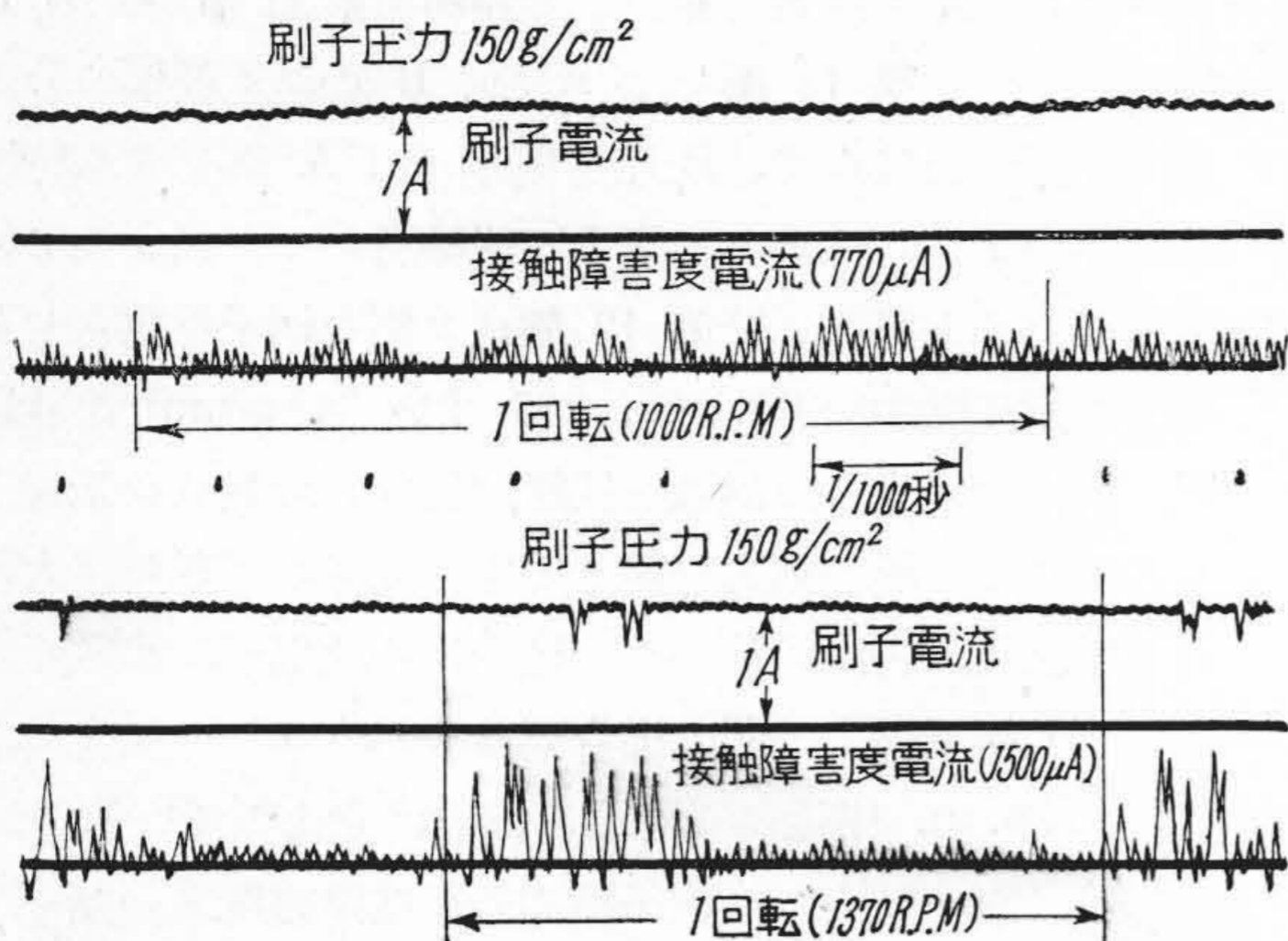
(4) 偏心が大なる場合 集電環の偏心の大小によって刷子の摺動接触状態が如何に變化するかをオシログラムにより觀察した。即ち第14圖は偏心8/100 mmを有する集電環で實驗したもので、回転数1,000 r. p. m.



第14圖 偏心8/100 mm 回転数1,000 r. p. m. の場合、刷子圧力を變えた場合の接触障害度電流

Fig. 14 Effect of Brush-pressure on the Degree of Disturbance of Sliding Contact when the Eccentricity is 2/100 mm and Revolution Speed is 1,000 r. p. m.

刷子圧力を150 g/cm<sup>2</sup>及び228 g/cm<sup>2</sup>にした場合を示す。圧力が高い時には殆ど偏心の影響があらわれないが低い時には著しくあらわれて来る。又第15圖は刷子圧力一定で、回転数のみを1,000 r. p. m. から1,370 r. p. m. に上昇させた場合の接触障害度を示せるものである。この場合にも同様に回転数が低い時には殆ど偏心の影響はあらわれないが、1,370 r. p. m. に上昇すると著

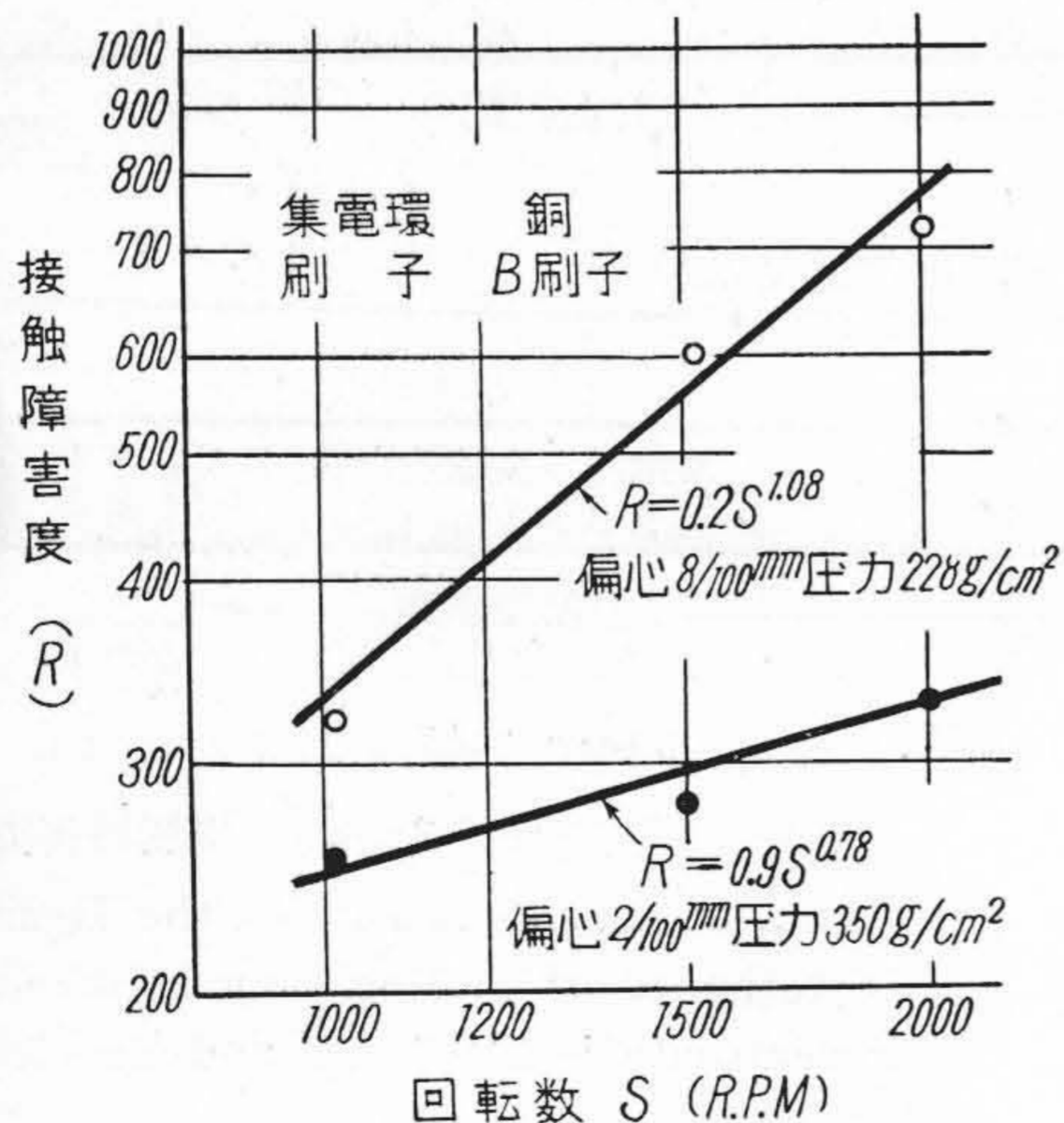


第 15 圖 偏心 8/100 mm 刷子壓力 150 g/cm<sup>2</sup> の場合、  
回轉數を變えた場合の接觸障害度電流

Fig. 15 Effect of Revolution Speed on the Degree of Disturbance of Sliding Contact when the Eccentricity is 8/100 mm and Brush-pressure is 150 g/cm<sup>2</sup>.

しくあらわれる。

次に回轉數及び刷子壓力と接觸障害度との關係曲線を示すと第 16 圖及び第 17 圖のようで、偏心 8/100 mm の場合の曲線は 2/100 mm の場合よりも曲線の傾斜が急峻で、回轉數及び刷子壓力の影響を受けやすいことを示している。

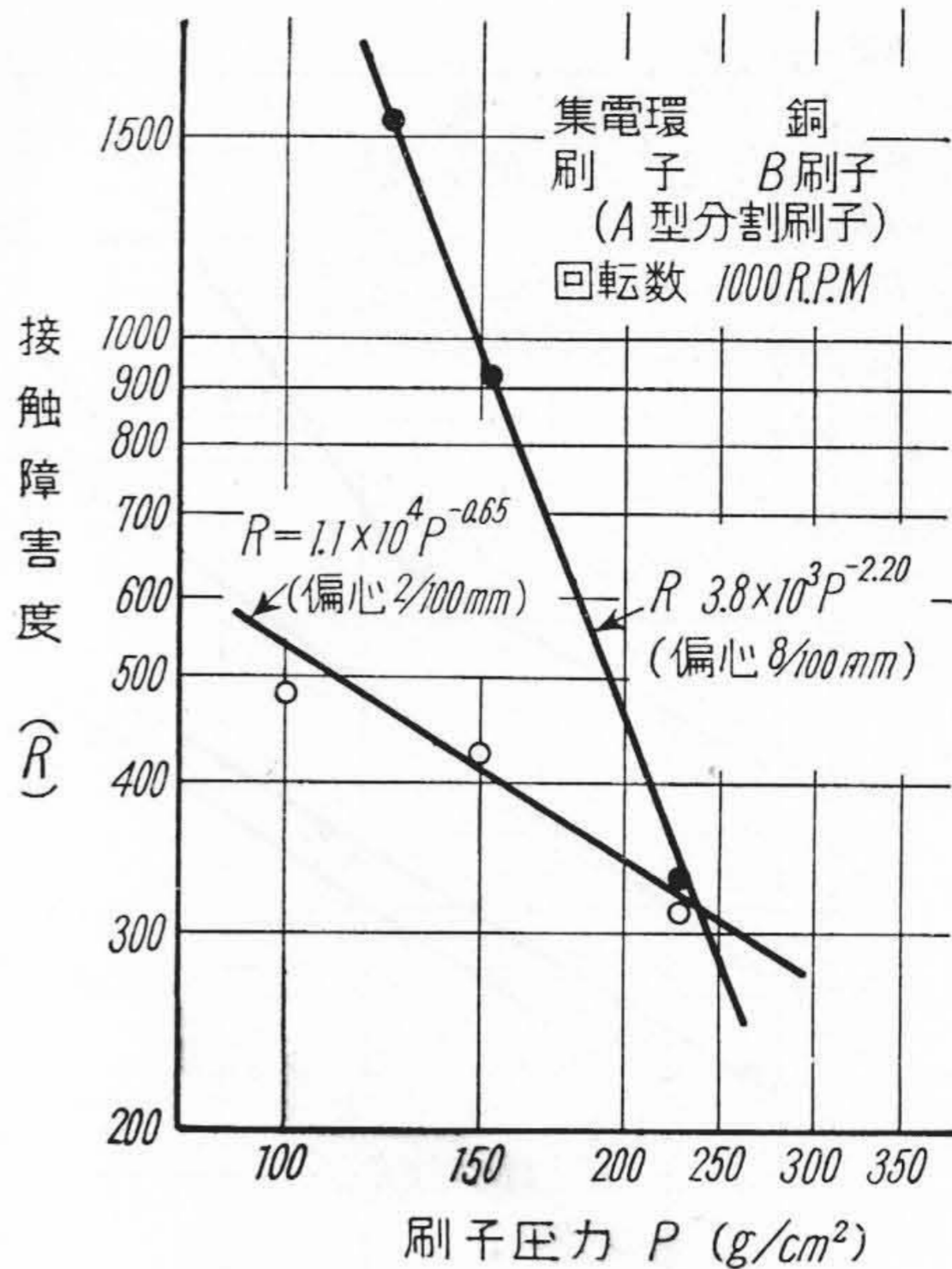


第 16 圖 偏心を變えた場合の回轉數と接觸障害度との關係

Fig. 16 Relation between the Degree of Disturbance of Sliding Contact and the Revolution Speed.

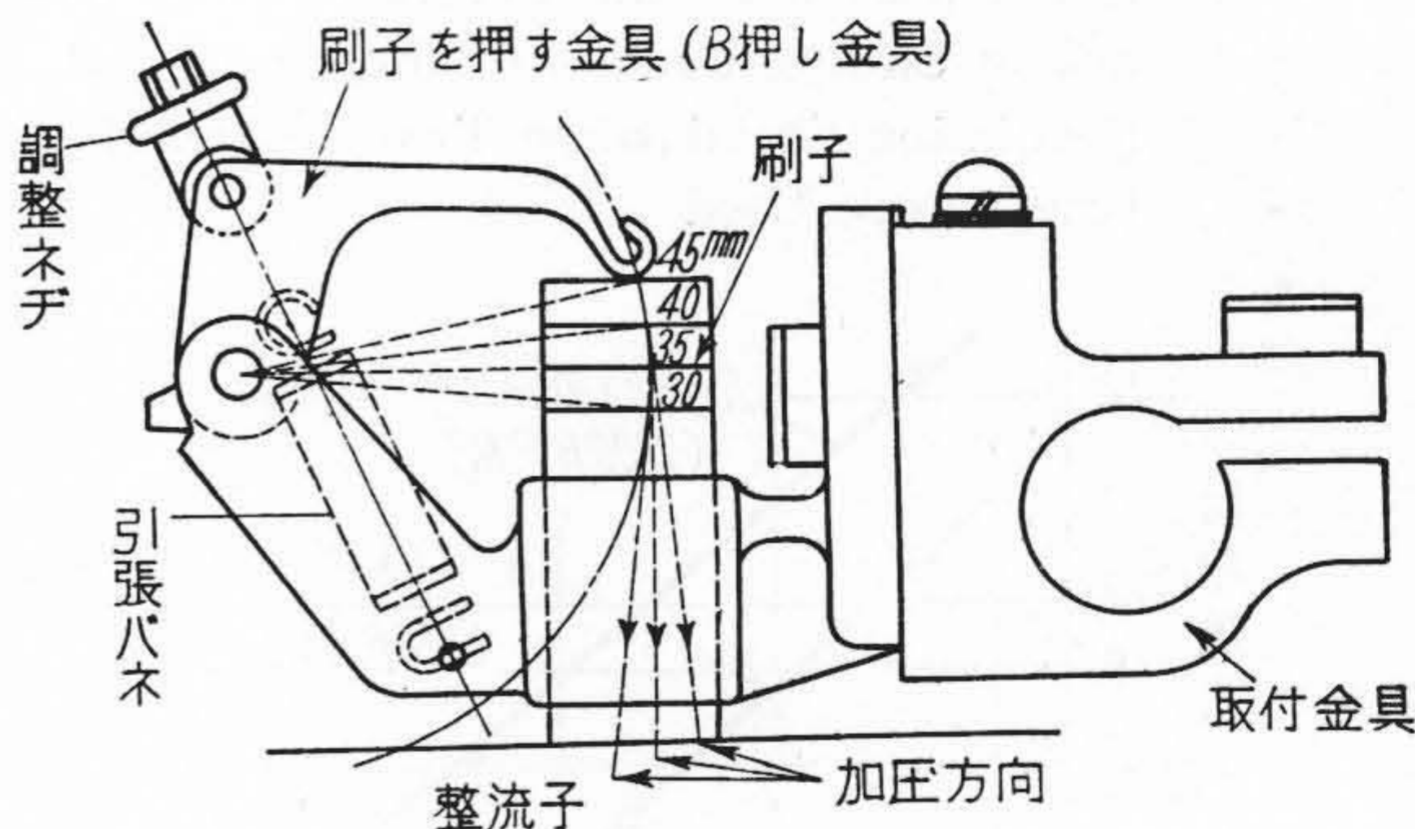
[ 3 ] 刷子材質及び寸法の影響

(1) 刷子材質の影響 刷子材質の影響をしらべるために、第 18 圖の如き垂直型保持器を用い、國產刷子



第 17 圖 偏心を變えた場合の刷子壓力と接觸障害度との關係

Fig. 17 Relation between the Degree of Disturbance of Sliding Contact and the Brush-pressure.



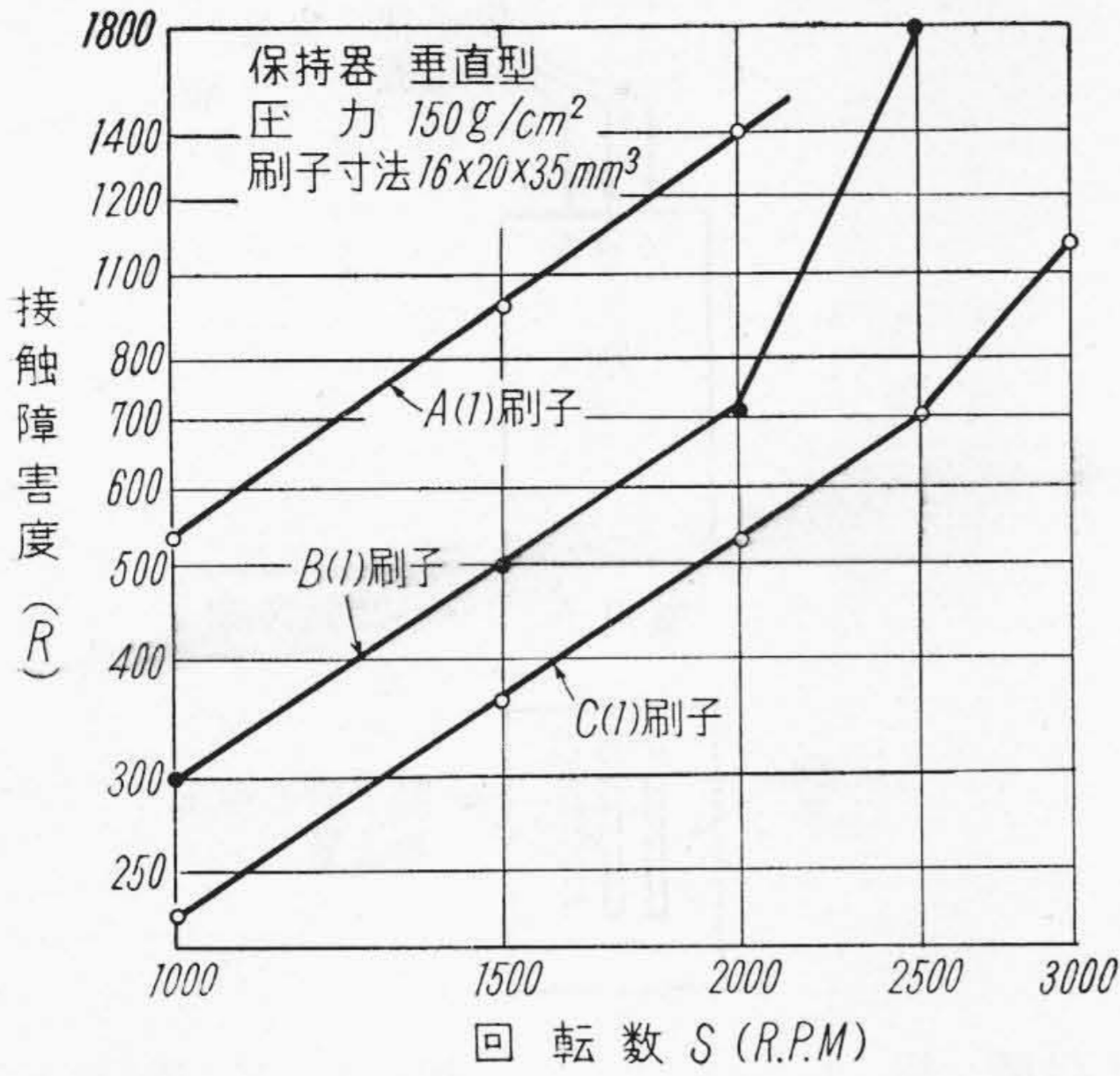
第 18 圖 垂直型保持器の略圖

Fig. 18 Diagram of the Radial Holder.

A 刷子、B 刷子、C 刷子の 3 種類について摺動接觸障害度を測定した。回轉數と接觸障害度との關係は第 19 圖のようで、刷子壓力 150 g/cm<sup>2</sup> 一定で回轉數のみを可變した場合には刷子材質の如何によつて著しい差異がある。即ち A(1) 刷子は 2,500 r. p. m. 附近では甚しく火花を發生し測定不能になつた。又 B(1) 刷子は可能であつたが、火花は若干認められた。然るに C(1) 刷子は前記の刷子に比較して火花は殆ど認められず、接觸状態は良好であつた。

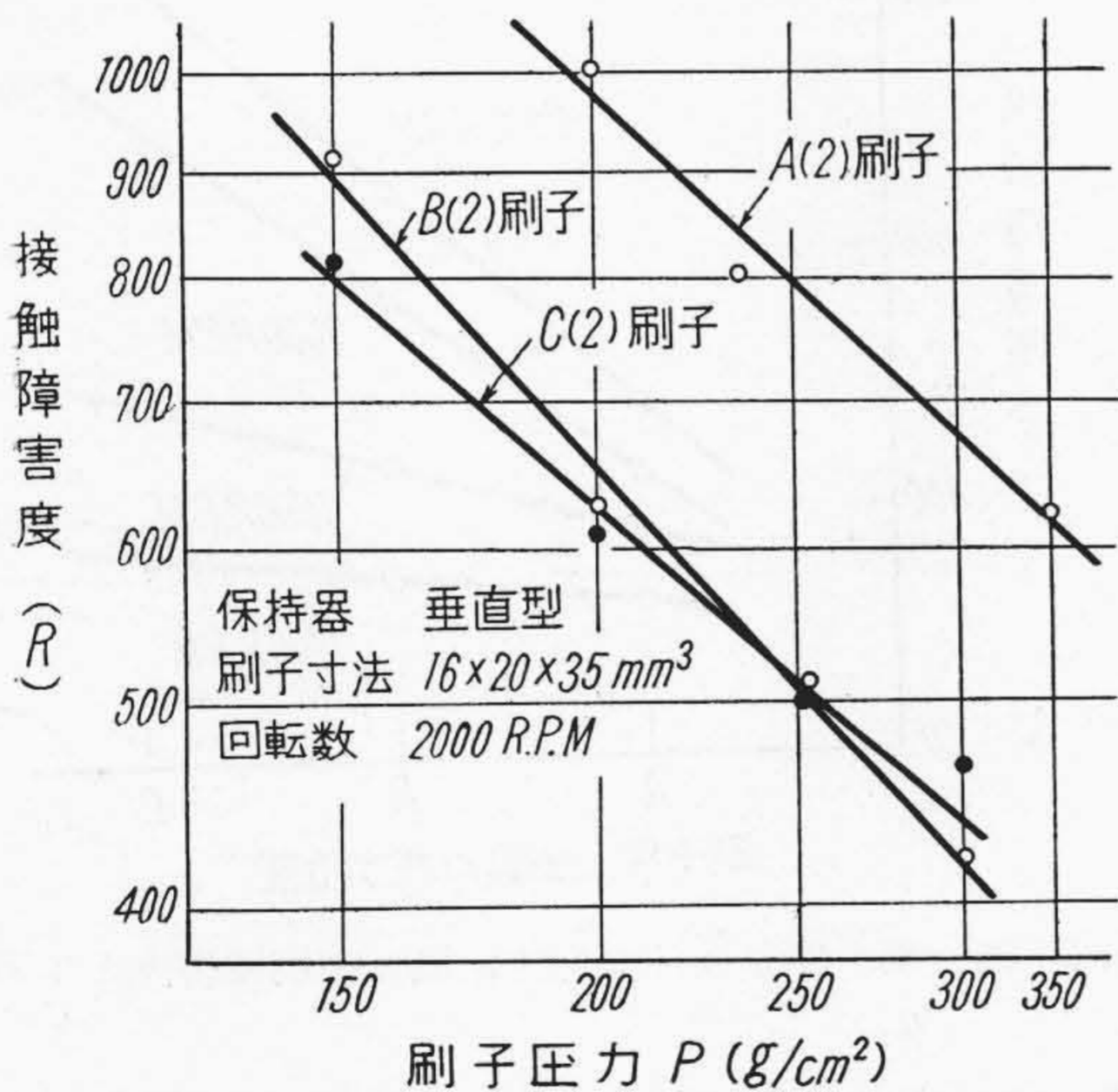
次に刷子壓力を變化した場合、第 20 圖のようで、1,000 r. p. m. では銅表面の酸化皮膜生成脱落の影響を





第19圖 刷子材質を変えた場合の回転数と接觸障害度との關係

Fig. 19 Effect of Brush Grade on Relation between the Degree of Disturbance of Sliding Contact and Revolution Speed.



第20圖 刷子材質を変えた場合の刷子圧力と接觸障害度との關係

Fig. 20 Effect of Brush Grade on Relation between the Degree of Disturbance of Sliding Contact and Brush-pressure.

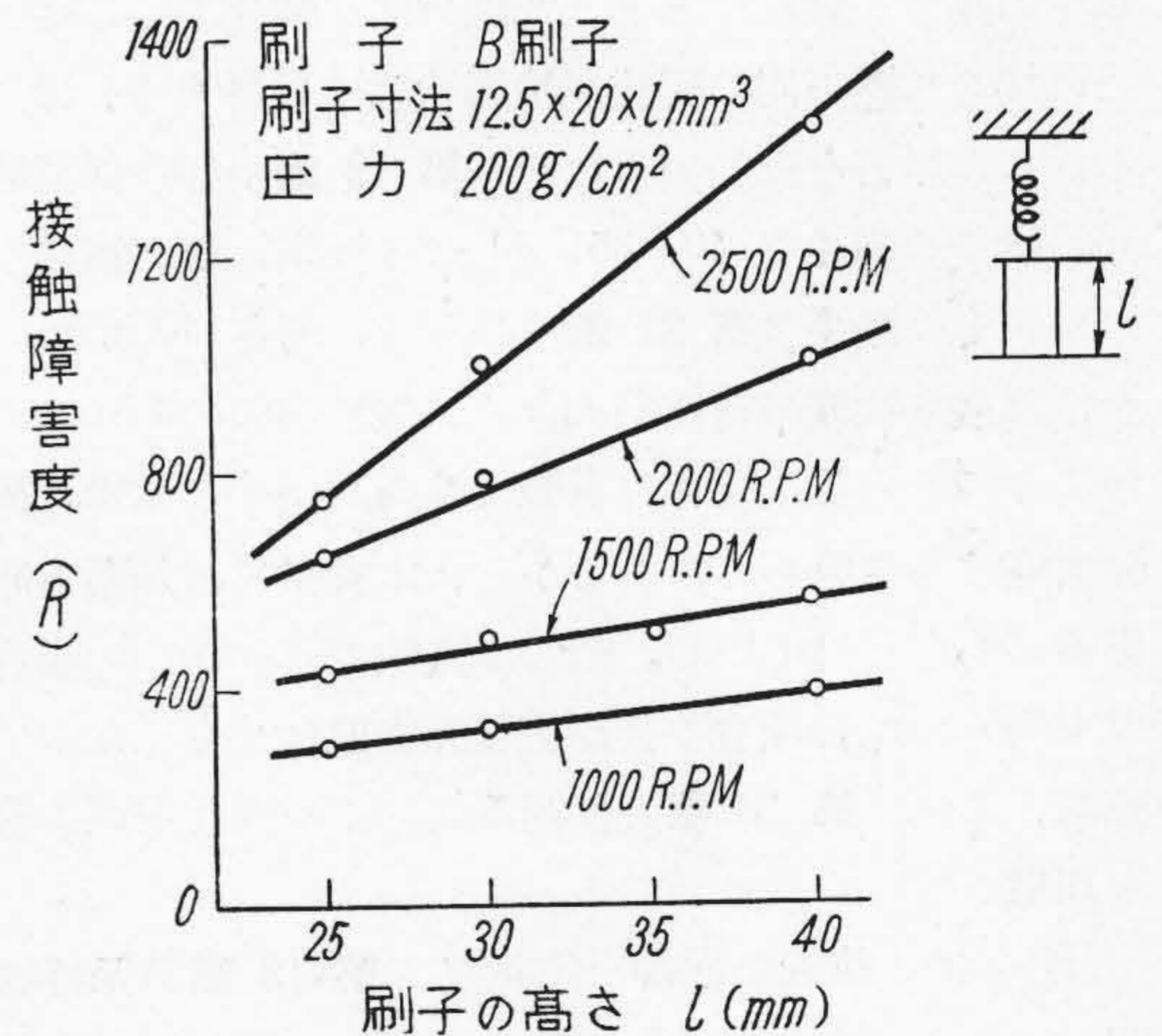
うけ、明瞭な結果は得られなかつた。又 2,500 r. p. m. 以上の高回転では刷子圧力の低いもの程、異常振動を起し易く接觸障害度は急激に増大し測定不能になつた。然し大體において 1,500 r. p. m. の場合には B(2) 刷子が最もよく、次に C(2), A(2) 刷子の順序になり、結局 C(2) 刷子は低速度では B(2) 刷子とあまり大差はないが、高回転になると本來の優秀な特性を示すことが

判る。なお第19圖と第20圖において特性が若干相違しているのは、同一名稱で、素材のみ異なる刷子を用いたためであつて、刷子材のバラツキを示すものである。

(2) 刷子の高さの影響 實驗に供した刷子の寸法は  $12.5 \times 20 \times l \text{ mm}^3$  で、 $l$  を 40, 35, 30 及び 25 mm の4段階に變えた。保持器は直接壓縮ばねで刷子を加壓する型のものを用い、刷子壓力は  $200 \text{ g/cm}^2$  一定にした。又刷子と保持器函との間隙を 0.2 mm, のぞきは 2 mm にした。次に刷子の高さを變えた場合の接觸障害度を示すと第1表のようである。

第1表 刷子の高さと接觸障害度  
Table 1 Relation between the Degree of Disturbance of Sliding Contact and the Length of Brush.

刷子	B 刷子				C 刷子				
	高さ (mm)	25	30	35	40	25	30	35	40
障害度	$\mu\text{A}$	$\mu\text{A}$	$\mu\text{A}$	$\mu\text{A}$	$\mu\text{A}$	$\mu\text{A}$	$\mu\text{A}$	$\mu\text{A}$	$\mu\text{A}$
r. p. m.									
1,000	315	330	—	377	337	440	626	567	
1,500	450	447	470	520	440	458	682	727	
2,000	672	787	—	946	496	950	980	1,220	
2,500	793	1,003	—	1,460	797	1,390	1,536	測定不能	
3,000	1,745	測定不能	—	測定不能	1,463	測定不能	測定不能	測定不能	

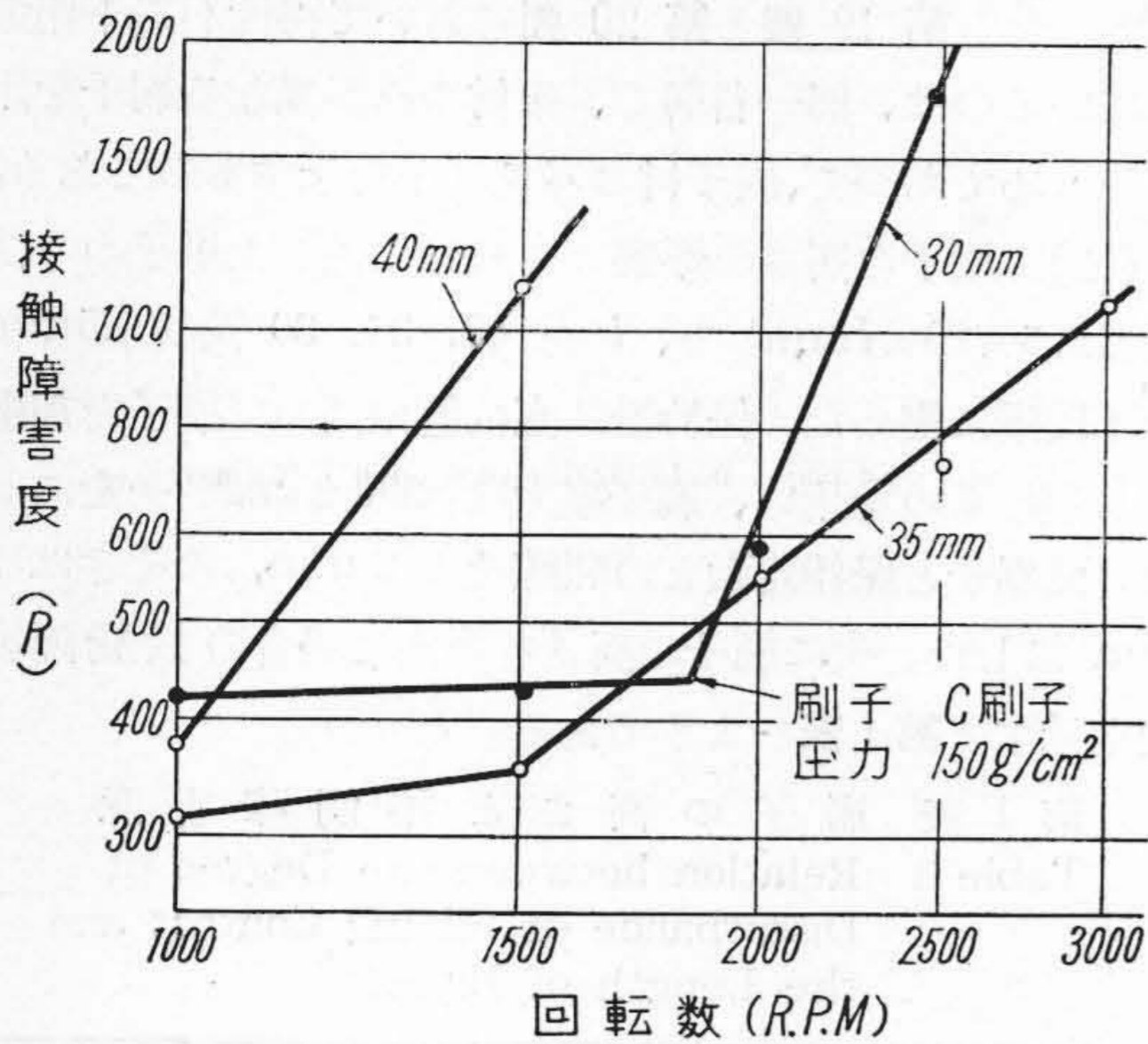


第21圖 刷子の高さと接觸障害度との關係  
Fig. 21 Relation between the Degree of Disturbance of Sliding Contact and the Length of Brush.

第1表の結果を圖示すると第21圖の如くになり、一般に刷子の高さが小さい程、刷子の接觸障害度は小さくなつてゐる。殊にこの影響は高回転になる程著しい。

[4] 發條の押し方及び間隙の影響

(1) 發條の押し方の影響 發條の押し方の影響と



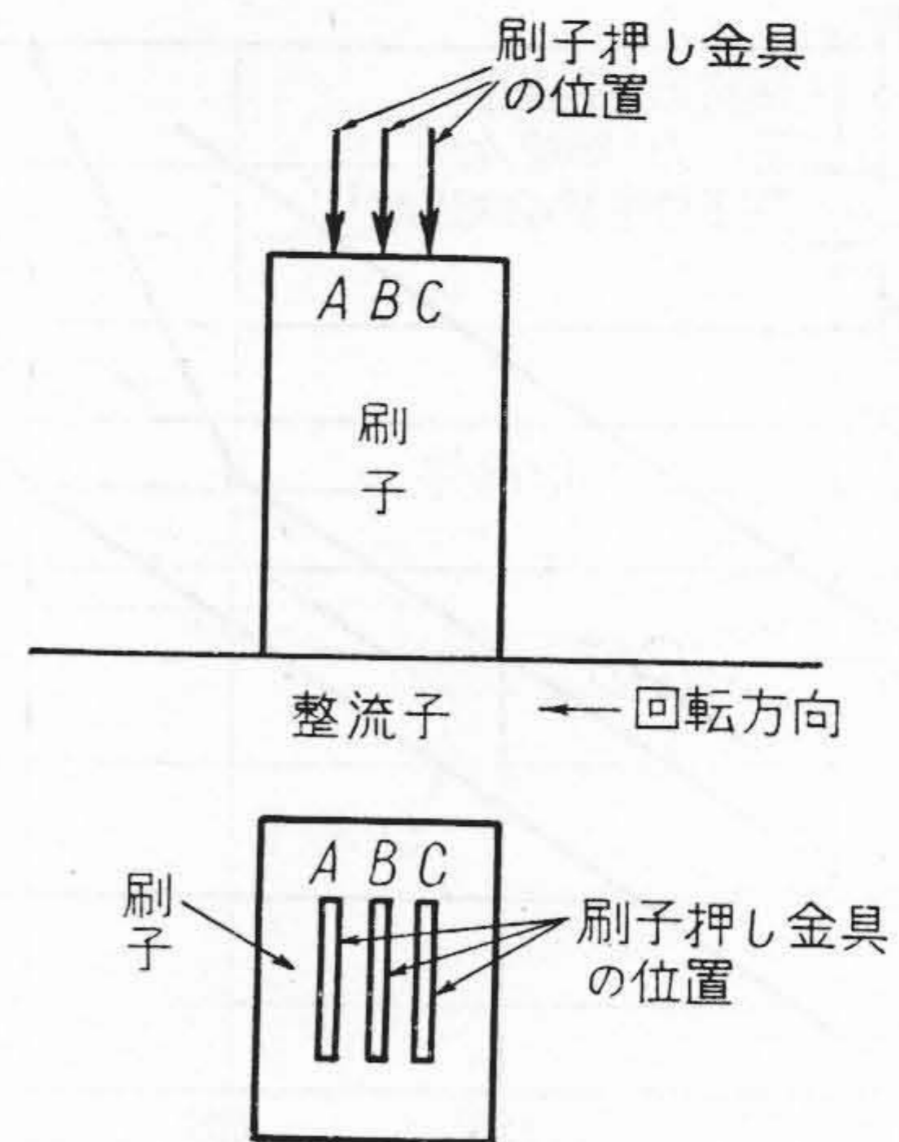
第 22 圖 垂直型保持器 (第 18 圖) を用いた場合の刷子の高さ と 接触障害度 との關係  
 Fig. 22 Relation between the Degree of Disturbance of Sliding Contact and the Length of the Brush at the Radial Holder (Fig. 18).

して加壓方向及び發條の押す位置の影響の二つを考えた。

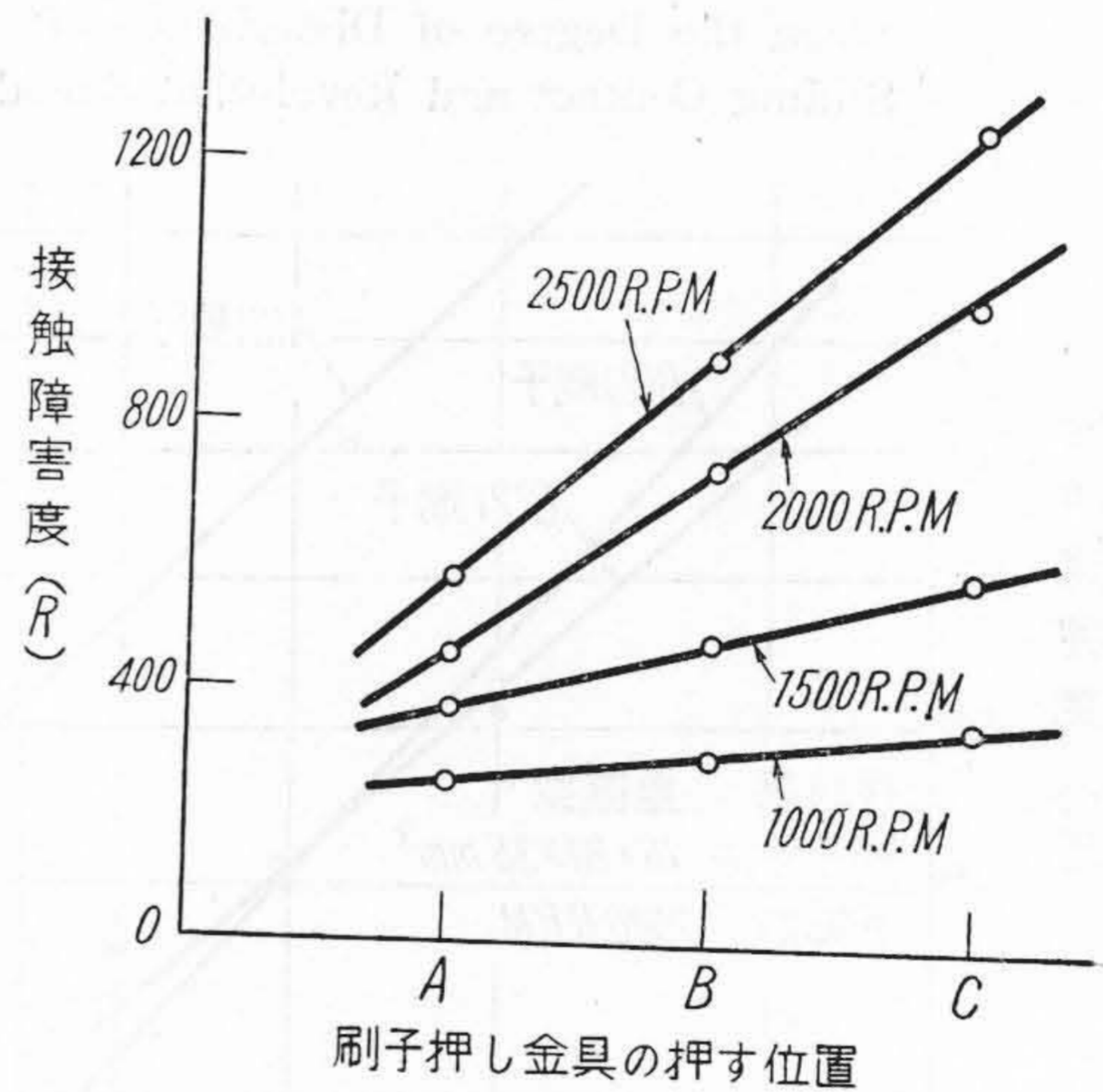
(A) 加壓方向の影響 發條の壓縮によつて直接刷子に垂直壓力が加えられるような保持器では加壓方向は刷子の高さに關係なく一定である。然るに第 18 圖の如く刷子押し金具が回轉し得るようになってゐる場合には刷子の高さが變化すると、加壓方向が變化する。従つてこの場合加壓方向の變化が接觸状態に影響するわけである。この影響を確かめるために第 18 圖の如き保持器を用い刷子の高さを 40, 35, 30 の 3 段階に變え實驗を行つた。その結果は第 22 圖の如くで、高さ 40 mm の場合には最も接觸障害度が大きく、次に 30, 35 mm の順序になつてゐる。高さの實驗では高さが小なる程、接觸障害度は小さいわけであるから、本實驗では加壓方向の影響があらわれている。即ち本實驗で 30 mm の場合よりも 35 mm の場合の方が接觸障害度は小さくなつてゐるが、これは第 18 圖より判る如くこの場合垂直に刷子を加壓しているためである。

(B) 押す位置の影響 同じく第 18 圖の保持器を用い、刷子の高さを 35 mm 一定にして刷子押し金具の押す位置を第 23 圖の如く A・B・C の順序に變えて接觸障害度を測定した。その結果は第 24 圖の如く A 點を押した場合が最もよく、次に B・C の順序になつてゐる。殊にこの影響は高回轉になる程著しくなつてゐる。この實驗で回轉方向が一定なる直流機では中央部よりも回轉方向へ幾分移動させた方が刷子の接觸状態は良好になることが判る。

(2) 間隙の影響 刷子の厚さの方向と保持器函と



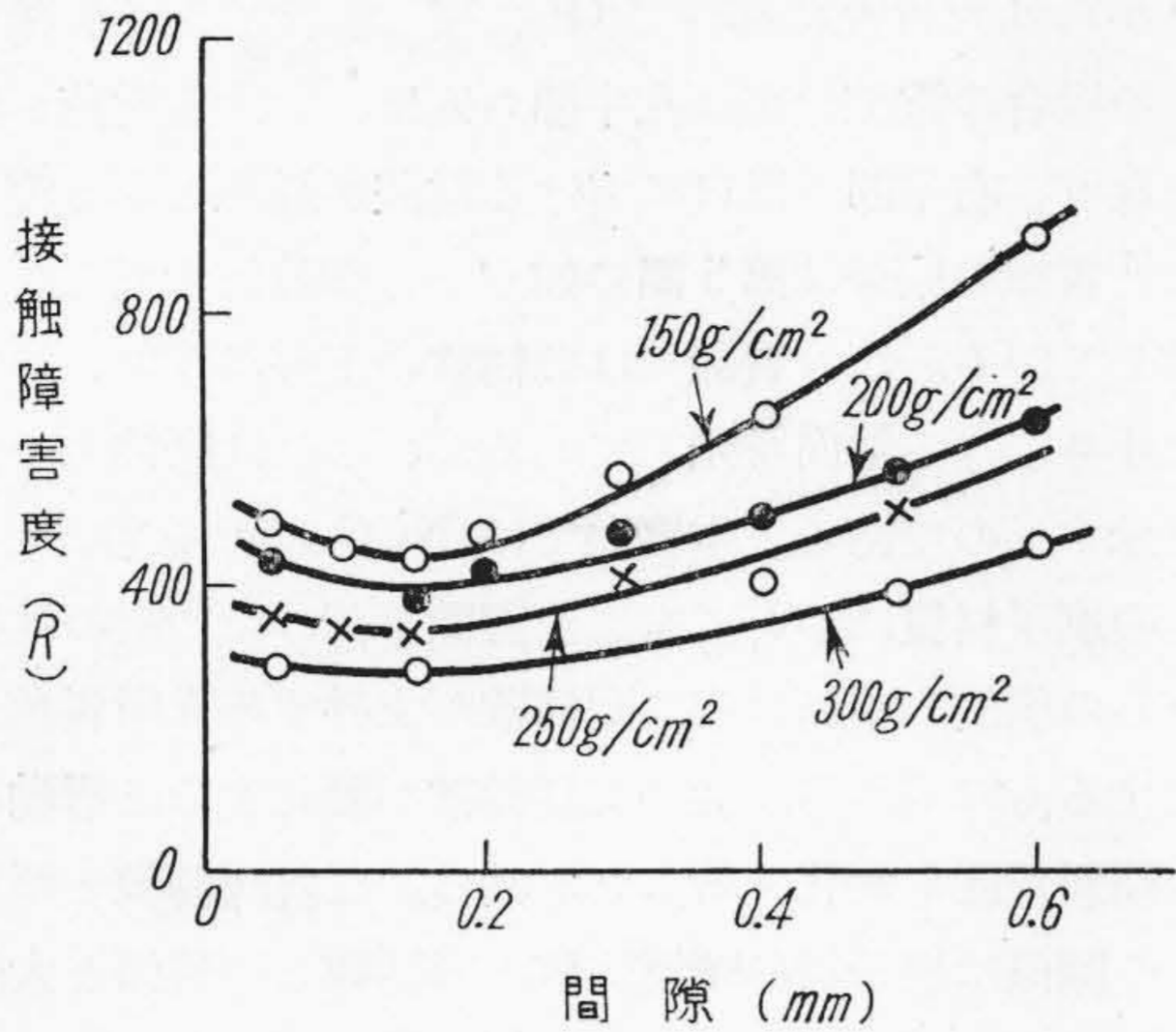
第 23 圖 押し金具の押す位置 刷子  
 Fig. 23 The Pressing Position (Acting Parallel to the Length of the Brush) of the Pressure Finger.



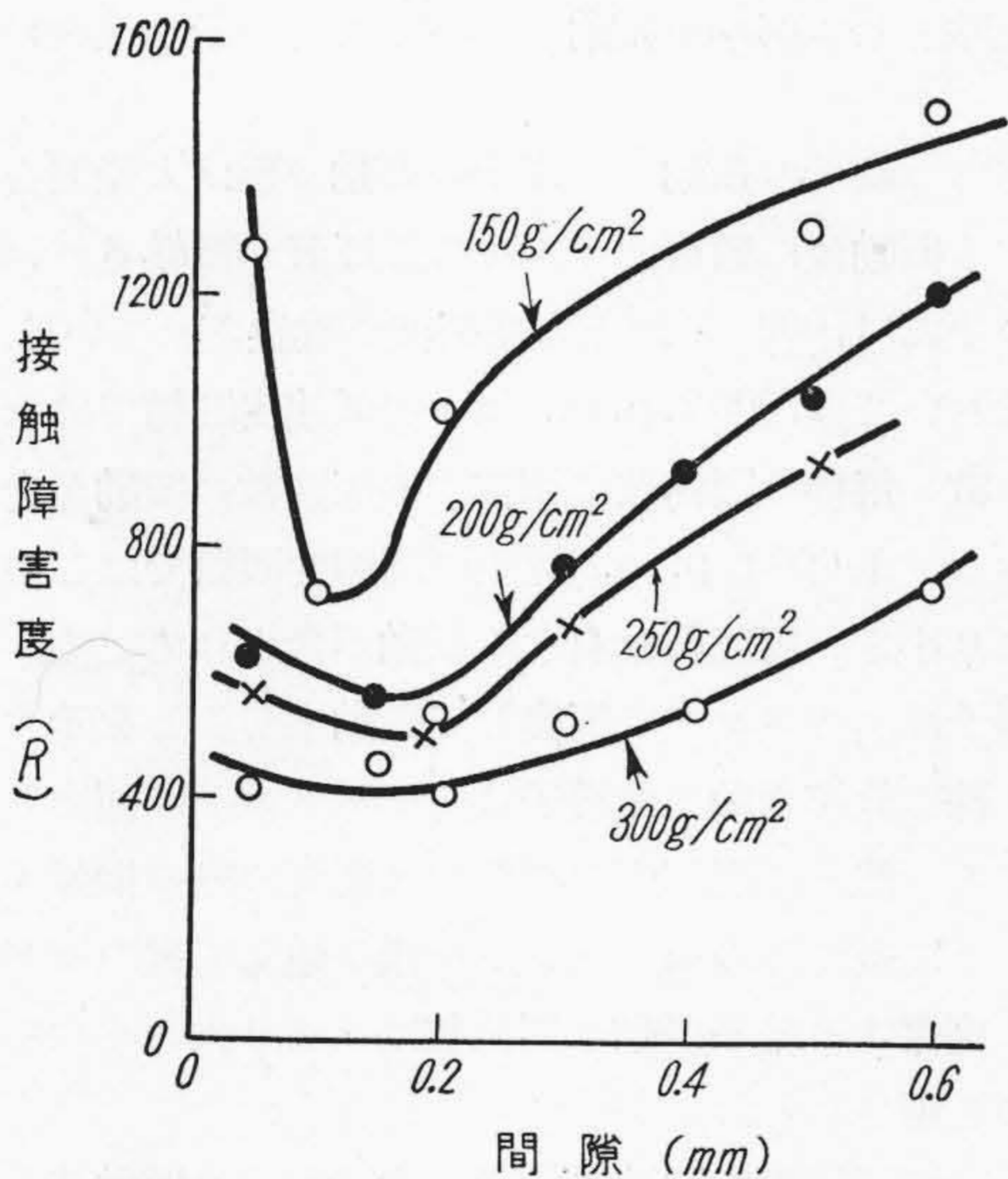
第 24 圖 刷子押し金具の押す位置と接觸障害度との關係

Fig. 24 Relation between the Degree of Disturbance of Sliding Contact and the Pressing Position (Acting Parallel to the Length of the Brush) of the Pressure Finger.

の間隙の大小によつて摺動接觸状態は著しく影響するものと思ふ。これを確かめるために、この間隙を 0.05 から 0.80 mm 迄數段階に變えて刷子の接觸障害度を測定した。第 25 圖及び第 26 圖は 1,000 及び 2,000 r.p.m. の場合における間隙と接觸障害度との關係曲線を示すものである。なお刷子ののぞきは 2 mm で従來と同じである。回轉數を高くする程間隙の影響は大きく、又刷子壓力を高くする程、間隙の影響は小さくなる。以上の實驗で間隙の値は 0.10~0.15 mm の範圍内が最も接



第25圖 1,000 r. p. m. の場合における間隙と接触障害度との関係  
 Fig. 25 Relation between the Degree of Disturbance of Sliding Contact and the Gap from the Brush to Holder at 1,000 r. p. m.



第26圖 2,000 r. p. m. の場合における間隙と接触障害度との関係  
 Fig. 26 Relation between the Degree of Disturbance of Sliding Contact and the Gap from the Brush to the Holder at 2,000 r. p. m.

觸状態は良好であることが判つた。

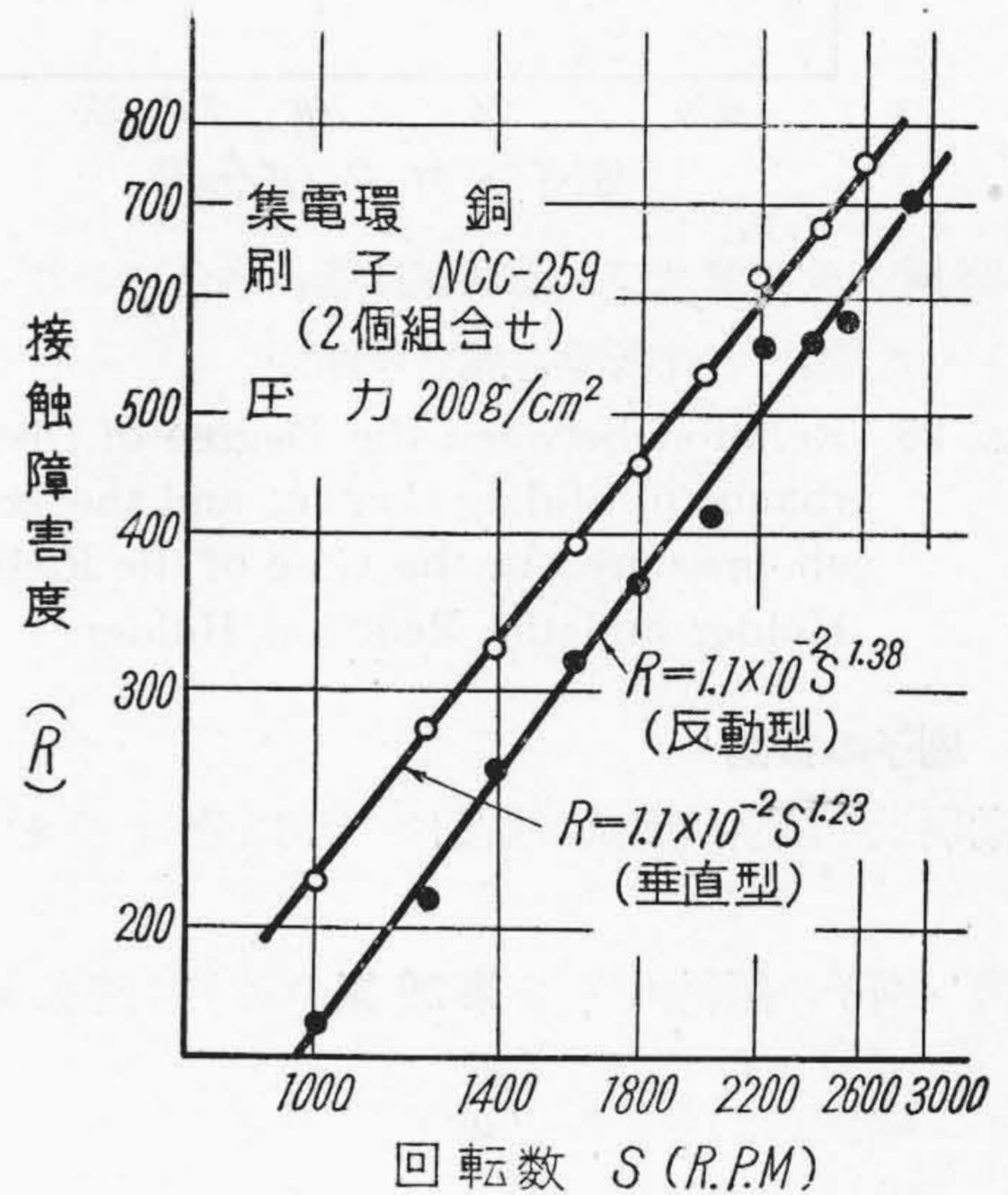
[5] 刷子取り付角度の影響

取り付角度によつて刷子の摺動接觸状態が著しい影響をうけることは既に理論的に解析され、多くの文献で報告されている(2)(5)(6)(7)(8)(9)。又實驗的研究としては Hunter Brown のオシログラフによつて觀察した結果が報

告されているが(6)(8)(9)數量的に表示されていないので、良否判別に困難を感ずる。筆者等はかゝる見地から代表的な保持器2種類について實驗を行い、その良否を數量的に表示せんとした。

先ず實驗に供した保持器は垂直型と反動型の2種類で反動型保持器に用いる刷子の頂面角は0°、取り付角度30°である。この實驗に用いた刷子は一般直流機用として定評のある NCC-259 (米國製品)である。集電環としては銅環の外に銀環をも使用した。なお刷子は分割せず、同位置に2個の刷子を使用した。

回轉數と接觸障害度との關係を求めると第27圖のよ

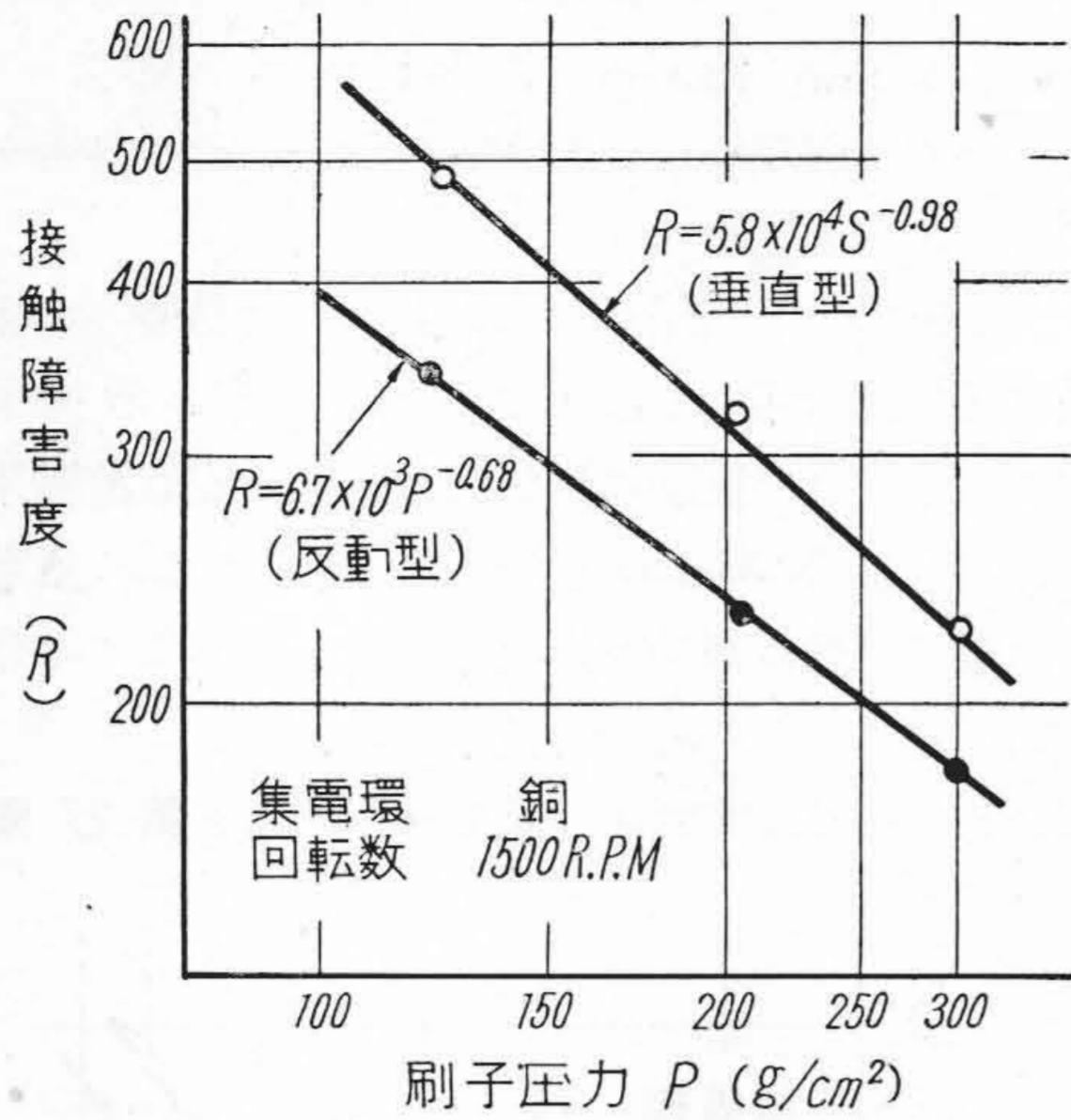


第27圖 垂直型及び反動型保持器の場合における回轉數と接觸障害度との關係  
 Fig. 27 Relation between the Degree of Sliding Contact and the Revolution Speed, in the Case of the Radial Holder and the Reaction Holder.

うである。第27圖は銅環の場合であるが、銀環の場合でも接觸障害度の値こそ違ふが、特性曲線の傾向は大體相似である。従つて一般に特性は垂直型より反動型の方が優秀であることが判る。然し高回轉になるに従つて兩者の特性は漸次接近する傾向が見受けられる。

次に刷子壓力と接觸障害度との關係であるが、都合によつて銅環のみしか實驗を行わなかつた。第28圖は1,500 r. p. m. の場合で、反動型は垂直型より特性が良好である。即ち反動型は同一刷子壓力において接觸障害度が低く、且つ刷子壓力の變動に對して安定性が大である。

[V] 實驗結果の檢討



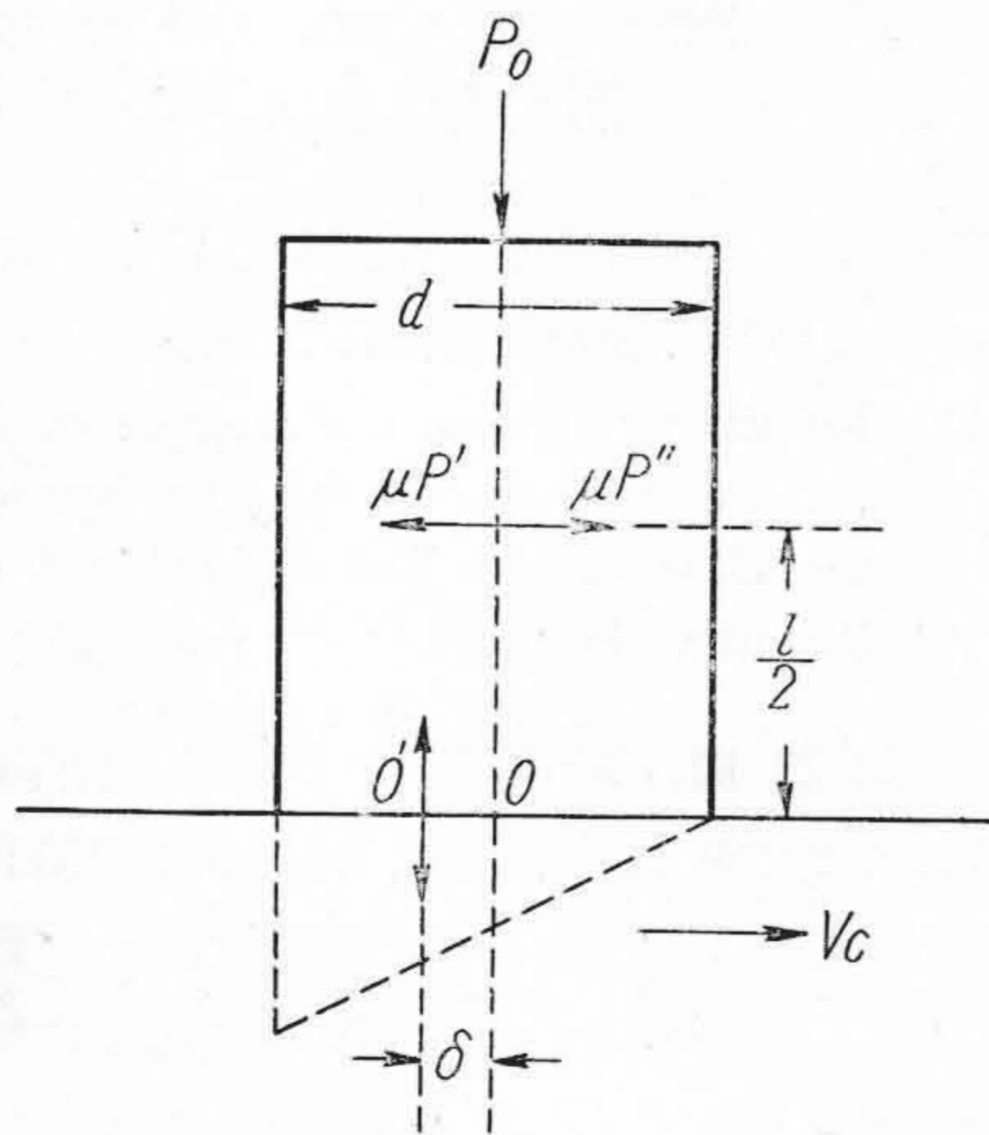
第 28 圖 垂直型及び反動型保持器の場合における  
圧力と接觸障害度との關係

Fig. 28 Relation between the Degree of Disturbance of Sliding Contact and the Brush-pressure, in the Case of the Radial Holder and the Reaction Holder.

[ 1 ] 刷子の振動

摺動刷子の傾斜角度及び振動の二つに分けて考察する。

( 1 ) 刷子の傾斜角度 第 29 圖のように速度  $V_c$  で



第 29 圖 保持器函なき直立刷子における力の平衡圖

Fig. 29 Equilibrium of Forces on the Brush Having no Holder.

整流子面を摺動せる直立刷子を考え、刷子と保持器函との摩擦を無視すると、刷子と整流子面との摩擦力のために刷子面が右に、引かれ、全體として反時計式の回転力をうける形となる。その結果接觸面壓力分布の均一性が破れ、右半は小に左半は大きくなり、壓力の中心は中點

O から  $\delta$  だけ左に移つて O' に來るわけである。従つてこの場合の電流分布は左半即ち入口における電流が最大となり、右半即ち出口における電流が最小となる筈である<sup>(5)</sup> 實驗の結果は第 5 圖の如くで、理論的考察とよく一致している。なお實驗では回転數の上昇に伴い、傾斜角は小さくなる傾向を示しているが、これは摩擦力の減少を示すものである。本實驗では NCC-259 を用いたが、他の刷子材質についても二三實驗を行つた。その結果これらの刷子の中には逆に回転數が上昇する程傾斜角が増大するものもある。従つて回転數が變化すると摺動刷子の傾斜角度も變化することが判る。なお回転數と傾斜角との關係は刷子材の摩擦係數と回転數との關係と大體一致している。

次に刷子の摺動接觸障害度は刷子の入口がセグメントに衝突するものと考えれば、刷子入口の接觸障害度は當然回転數の上昇に伴い他の部分よりも著しく増大することは容易に推定出来ると思う。又入口及び出口に比較して刷子中央の接觸障害度は小さいが、これは刷子の中央を支點として兩端が振動していることを示すものである。

( 2 ) 刷子の振動 刷子の振動波形は大體偏心に基因する振動波に數百サイクルの低周波が重疊され、更にその上に 1,000 以上の高周波が重疊されている。大體において 1,000 r. p. m. 以下の低速度回転ではセグメント數×毎秒の回転數に相當する周波數の振動が含まれており、1,000 r. p. m. 以上の高速度回転ではこの周波數より小さい周波數を有する振動が含まれている。これは刷子がセグメントに衝突して振動することを示すもので、殊に低速回転では刷子は毎セグメントに衝突して振動する。然るに高速度の回転では衝突の際の振幅が大なるために幾つかのセグメントを飛び越えて次のセグメントに衝突する結果振動の周波數はあまり大きくなりませんものと解される。

次に接觸障害度電流の波形は大體刷子の振動波と略々等しい周波數を有する脈動波を含んでおり、大體相似である。従つて接觸障害度電流は間接的に刷子の振動を表現していることが判る。又同時に刷子の摺動接觸に有害な影響を與える振動はセグメント衝突による振動であることも推察出来ると思う。

[ 2 ] 回転數及び刷子壓力の影響 實驗結果を考察するに當り、これ迄圖示した回転數—接觸障害度關係曲線より實驗式を求めてみると、接觸障害度 (R) と回転數 (S) との關係式は次式であらわされる。

$$R = AS^m \dots \dots \dots (5)$$

又 R は式(6)であらわされるから、若し電流を一定にすれば

第2表 S-R 曲線より求めた実験式  $A_1$  及び  $m$  の値

Table 2  $A_1$  and  $m$  of the Empirical Formula that is Obtained from S-R Curve.

集電環	刷子	電流 A/cm <sup>2</sup>	圧力 g/cm <sup>2</sup>	保持器		回轉數 r. p. m.	実験式の數値		摘要
				型式	發條		$A_1$	$m$	
銅	A 刷子	0.4	350	垂直	螺旋型	1,000 3,000	$8.6 \times 10^{-2}$	1.17	A型分割刷子
銀	NCC-259	〃	150	〃	時計型	700 2,000	$8.3 \times 10^{-4}$	2.16	B型分割刷子
〃	〃	2.0	60	〃	〃	700 1,300	$4.3 \times 10^{-0}$	0.50	2個の刷子
〃	〃	〃	〃	〃	〃	1,300 2,800	$1.5 \times 10^{-10}$	3.84	〃
〃	〃	〃	160	〃	〃	700 2,800	$4.9 \times 10^{-2}$	1.10	〃
〃	〃	〃	265	〃	〃	700 2,800	$2.7 \times 10^{-3}$	1.08	〃
〃	〃	〃	340	〃	〃	700 2,800	$4.9 \times 10^{-2}$	1.29	〃
〃	〃	10.0	200	〃	〃	1,000 3,000	$4.0 \times 10^{-3}$	1.07	〃
〃	〃	〃	〃	反動	螺旋型	1,000 3,000	$1.9 \times 10^{-2}$	1.16	〃
銅	〃	〃	〃	垂直	時計型	1,000 3,000	$4.5 \times 10^{-2}$	1.23	〃
〃	〃	〃	〃	反動	螺旋型	1,000 3,000	$1.1 \times 12^{-2}$	1.38	〃

備考 反動型保持器の取り付角度 30°, 頂面角度 0°

$$R \doteq CI_a = A_1 S^m \dots\dots\dots (6)$$

但し  $C$  は常數となり、接觸障害度は直接動脈電流  $I_a$  に比例することになる。なお  $A$  及び  $A_1$  は実験条件によつて定まる常數、 $m$  は実験条件及び刷子材と發條によつて定まる指數である。これと回轉數或は刷子壓力と接觸障害度との關係を示した各圖の中にある実験式(6)は式より求めたもので、 $A_1$  及び  $m$  の値が小さい程、刷子の摺動接觸状態は回轉數の變動に對して安定性の大きいことを示すものである。次に実験により得た結果を表に示すと第2表

第3表 P-R 曲線より求めた実験式  $A_2$  及び  $n$  の値

Table 3  $A_2$  and  $n$  of the Empirical Formula that is Obtained from P-R Curve.

集電環	刷子	電流密度 A/cm <sup>2</sup>	回轉數 r. p. m.	保持器		実験式の數値	
				型式	發條	$A_2$	$n$
銀	NCC-259	2.0	700	垂直型	時計型	$4.6 \times 10^3$	-0.90
〃	〃	〃	1,200	〃	〃	$5.8 \times 10^3$	-0.82
〃	〃	10.0	1,500	〃	〃	$18.0 \times 10^3$	-0.94
〃	〃	〃	〃	反動型	螺旋型	$50.0 \times 10^3$	-1.10
銅	〃	〃	〃	垂直型	時計式	$58.0 \times 10^3$	-0.98
〃	〃	〃	〃	反動型	螺旋型	$8.7 \times 10^3$	-0.68

のようになる。

次に刷子壓力  $P$  と接觸障害度  $R$  との關係式も式(6)と同様にして求めれば

$$R \doteq I_a = A_2 P^{-n} \dots\dots\dots (7)$$

但し  $A_2$  は実験条件によつて定まる常數、 $n$  は実験条件及び刷子材と發條によつて定まる指數である。次に実験結果より得た  $A_2$  及び  $n$  を示せば第3表のようである。但し刷子は2個を組合せて用いた。又反動型保持器は第2表と同じものを用いた。第3表より明らかなる如く接觸障害度は刷子壓力  $P$  の略々 0.6~1.1 乘に逆比例することが判る。

次に偏心の影響について実験を行つた結果より実験式を求めてみる。

先ず偏心の異なる集電環について回轉數と接觸障害度との關係を求めてみると

$$\left. \begin{array}{l} \text{偏心 } 8/100 \text{ mm} \\ \text{壓力 } 228 \text{ g/cm}^2 \\ R \doteq 0.20 S^{1.08} \\ \text{偏心 } 2/100 \text{ mm} \\ \text{壓力 } 350 \text{ g/cm}^2 \\ R \doteq 0.94 S^{0.78} \end{array} \right\} \dots\dots (8)$$

となる。又刷子壓力  $P$  と接觸障害度  $R$  との関係曲線 (1,000 r. p. m. の場合) より得た實驗式は

$$\left. \begin{aligned} \text{偏心 } 8/100 \text{ mm } \quad 1,000 \text{ r. p. m. } \quad R &\doteq 3.8 \times 10^9 P^{-2.20} \\ \text{偏心 } 2/100 \text{ mm } \quad 1,000 \text{ r. p. m. } \quad R &\doteq 1.1 \times 10^4 P^{-0.65} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

回轉數の方は刷子壓力が異なるので、直接比較することは困難であるが、刷子壓力は 1,000 r. p. m. の回轉においては著しく刷子壓力の變動に對して、偏心が大なる場合には接觸障害度はその影響をうけることが判る。これは前に述べた式 (3) から容易に推測出来ると思う。

[3] 刷子材質及び寸法の影響

(1) 理論的考察 刷子の摺動接觸状態は保持器のみならず、刷子自身の材質如何によつて著しい影響をうけることは日立評論第 29 卷において述べたが<sup>(1)</sup>、その概要を述べる。高振動においては發條は應動出來ず、一種の剛體として作用するものと考え、刷子のみを完全彈性體と緩衝體とを組合せた振動系と假定し、集中質量により近似解を求めた。この結果刷子下端における振幅倍率は次式によつて求められることが判つた。なお  $P_1$  は刷子自身の固有振動よる角速度  $\omega$  は周期的外力の角速度  $D$  は刷子材の減衰常數とする。

$$H = \sqrt{\frac{1 + \frac{4D^2\omega^2}{P_1^4}}{\left(1 + \frac{\omega^2}{P_1^2}\right)^2 + \frac{4D^2\omega^2}{P_1^4}}} \dots\dots\dots (10)$$

式 (10) において刷子の摺動接觸状態が良好になるためには  $H$  は最小にならねばならない。 $H$  が最小になるためには  $D/P_1$  が大きくなる必要がある。又  $P_1$  及び  $D$  はそれぞれ彈性係數  $E$  及び粘性係數  $\xi$  と次の関係がある。

$$\frac{D}{P_1} = \frac{\pi\xi}{4l\sqrt{E\rho}} \dots\dots\dots (11)$$

但し  $l$ 、 $\rho$  はそれぞれ刷子の高さ及び見掛密度をあらわす。従つて式 (11) より  $D/P_1$  を大ならしめるためには、刷子の高さが低く、彈性係數が小さく、且つ粘性係數が大きいことが必要である。なお最近筆者の一人は發條及び刷子を考慮した振動系においても同様な關係が成

立することを數値計算により證明し得た。

(2) 實驗結果の検討

(A) 刷子材質 刷子材質と接觸障害度との關係を検討するために、第 20 圖の回轉數と接觸障害度との特性曲線より實驗式 (8) の  $m$  及び  $A_1$  の値を求めてみると第 4 表のようである。

第 4 表より明らかな如く一般に  $\xi/\sqrt{E}$  の大きい刷子程、刷子の摺動接觸状態は良好である。 $m$  の値は  $B$  刷子が一番小さく、回轉數に對して安定性が大である。然しこれは 2,000 r. p. m. までの場合であつて、これを超過すると第 19 圖の如く接觸障害度は急激に増大する。これに反して  $C$  刷子は 2,000 r. p. m. 以上の場合、 $B$ ・ $A$  刷子よりも接觸状態は極めて良好である。その理由について簡単に説明する。發條及び刷子を考慮した振動系について理論的に解析した結果では、刷子材の  $\xi/\sqrt{E}$  による減衰効果は刷子の固有振動數附近で共振を起す點が最も大きい。然るに共振點より離れるに従つて減衰効果は減少し、遂には逆に悪くなる場合もある。従つて刷子面に加えらるる振動の周波數が小さい場合には  $C$  刷子の如く、たとへ  $\xi/\sqrt{E}$  が大であつても接觸状態は改善されない場合もあるわけである。

次に第 20 圖の刷子壓力と接觸障害度との關係曲線より  $A_2$  及び  $r$  を求めてみると第 5 表のようである。

刷子材の壓力接觸障害度特性が良好であるということは刷子壓力の變動に對して接觸状態が安定であることで實驗式で言えば  $A_2$  及び  $n$  の値が小さい程よいことになる。第 5 表では 1,500 r. p. m. において  $B$  刷子が最もよく、次に  $C$  刷子、 $A$  刷子の順序になつている。又 2,000 r. p. m. では  $C$  刷子が最もよく、次に  $B$ ・ $A$  刷子の順序になつている。これは刷子壓力ばかりでなく、前述の回轉數と接觸障害度との關係においても大體同様の傾向を示している。結局  $C$  刷子は高速度の回轉機に、又  $B$  刷子は比較的 low speed の回轉機に使用することによつて、刷子本來の優秀な特性が發揮されるわけである。次に  $A$  刷子は接觸障害度より他の特性が重視されるところに使用する。

第 4 表 刷子材質と S-R 曲線との關係  
Table 4 Relation between Brush Grade and S-R Curve.

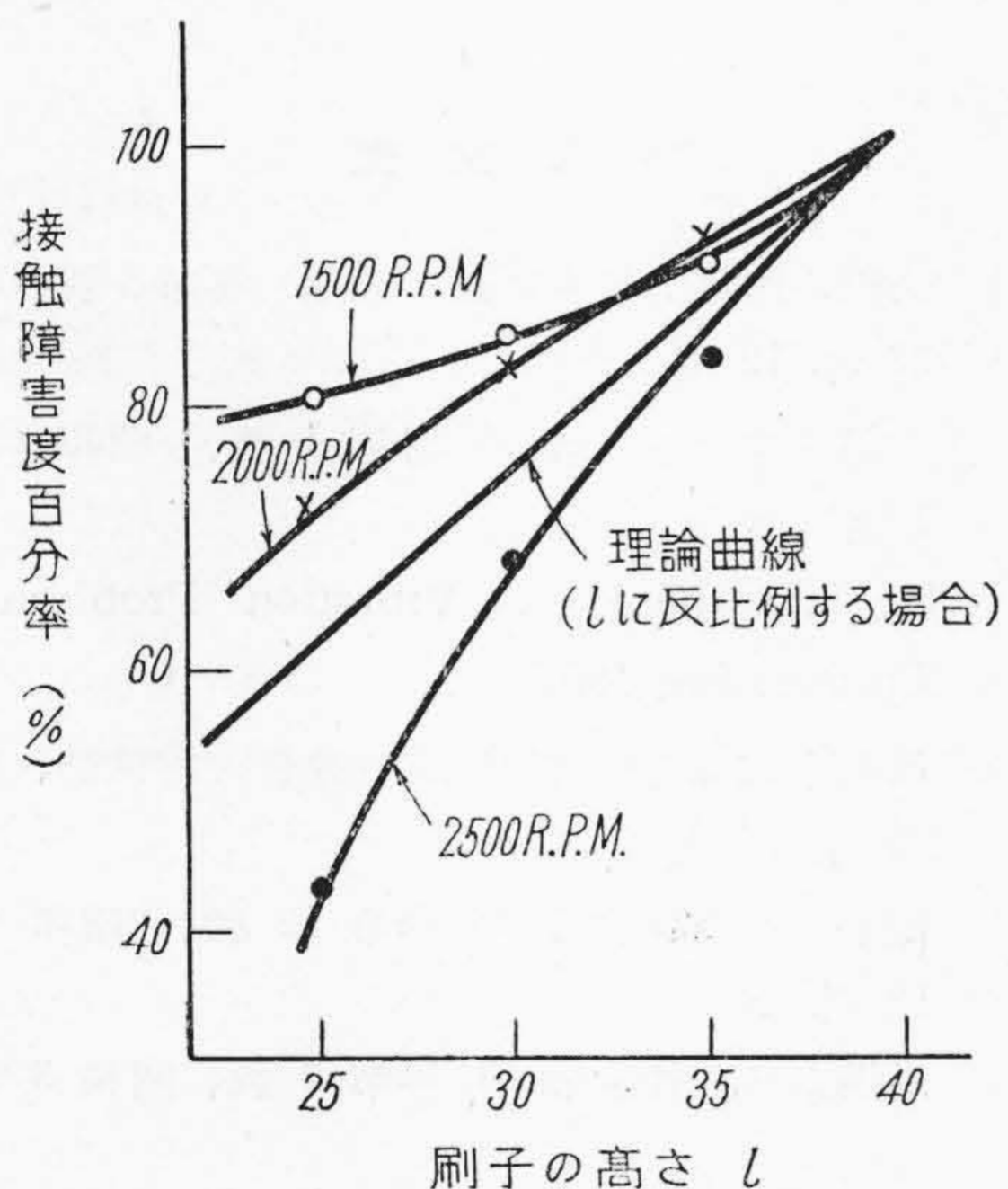
名 稱	刷 子 材 質			刷子電流 A	刷子壓力 g/cm <sup>2</sup>	回 轉 數 r. p. m.	實驗式の數値	
	彈性係數 E kg/mm <sup>2</sup>	粘 性 係 數 $\xi$ CGS	$\frac{\xi}{\sqrt{E}}$				A <sub>1</sub>	m
A	707	7.84 × 10 <sup>5</sup>	2.95	1.0	150	1,000~2,000	4.1 × 10 <sup>-2</sup>	1.38
B	544	9.00 × 10 <sup>5</sup>	3.87	1.0	150	1,000~2,000	26.8 × 10 <sup>-2</sup>	1.21
C	380	9.70 × 10 <sup>5</sup>	4.98	1.0	150	1,000~2,500	2.4 × 10 <sup>-2</sup>	1.32

第5表 刷子材質とP-R曲線との関係

Table 5 Relation between Brush Grade and P-R Curve.

名稱	刷 子 材 質			電 流 A	刷子壓力 g/cm <sup>2</sup>	回 轉 數 r. p. m.	實 驗 式 の 數 値	
	彈性係數 E kg/cm <sup>2</sup>	粘性係數 ξ CGS	$\frac{\xi}{\sqrt{E}}$				A <sub>2</sub>	n
A	707	7.84×10 <sup>5</sup>	2.95	1.0	150~300	1,500	-22.2×10 <sup>4</sup>	1.10
B	545	9.00×10 <sup>5</sup>	3.87	//	//	//	- 5.2×10 <sup>4</sup>	0.88
C	380	9.70×10 <sup>5</sup>	4.98	//	//	//	- 6.9×10 <sup>4</sup>	0.93
A	707	7.84×10 <sup>5</sup>	2.95	//	//	2,000	-29.8×10 <sup>4</sup>	1.07
B	545	9.00×10 <sup>5</sup>	3.87	//	//	//	-15.7×10 <sup>4</sup>	1.04
C	380	9.70×10 <sup>5</sup>	4.98	//	//	//	- 4.7×10 <sup>4</sup>	0.82

(B) 刷子寸法 式(11)より接觸障害度は大體刷子の高さ  $l$  に反比例して減少することが推察出来る<sup>(1)(5)</sup> (6)。若し刷子の高さ  $l$  40 mm を基準にとり、且つ接觸障害度は  $l$  に逆比例して減少すると考えた場合の理論曲線と實驗曲線とを比較すれば第30圖の如くなる。低



第30圖 刷子の高さ と 接觸障害度變化率  
Fig. 30 Relation between the Regulation of the Degree of Disturbance of Sliding Contact and the Length of the Brush.

速度の回轉では接觸障害度の變化率は實驗値は理論値より小さいが、高速度になるに従つて大きくなり、2,500 r. p. m. の場合には若干理論値よりも大きくなつてゐる。従つて低速度の回轉機では刷子の高さは問題にならないが、高回轉では著しく影響する。尙高さと斷面積との關係については目下實驗中である。

[4] 發條の押し方及び間隙の影響

(1) 發條の押し方の影響 刷子の高さが低い程、刷子の接觸障害度は小さくなるが、これは發條が刷子を

垂直に押す場合であつて、第18圖の如く刷子押し金具が回轉し得るような構造を有する保持器では、刷子の高さが變ると加壓方向が變化し、有效壓力變化の影響をうける。即ち第18圖において刷子の高さが35 mm の時には刷子押し金具は刷子を垂直に押すが、刷子の高さが40 mm 或は30 mm に變つると刷子押し金具の加壓方向は法線と或る角度  $\theta$  を持つようになる。従つて全壓力  $P_0$  とすれば有效壓力  $P_H$  は

$$P_H = P_0 \cos \theta \dots\dots\dots(12)$$

となり、接觸状態は劣化する。實驗結果においても大體豫期した通りの結果を得た。然し加壓方向の變化に對して接觸障害度の變化率は式(12)より求めた理論値より大きい。これは恐らく直立刷子では加壓方向が垂直でない、接觸面における壓力配布が不均一となり、刷子の摺動接觸状態が著しく不安定になるためではないかと思う。

次に刷子の加壓方向が垂直であつても、刷子押し金具の押す位置如何によつて、刷子の接觸状態は影響をうける。即ち第29圖において壓力の中心は  $O$  から  $\delta$  だけ左に移動して  $O'$  に移る。この移動距離  $\delta$  は  $\mu$  が大きい程大となり、刷子の重心は左へ移動する<sup>(5)</sup>。従つて發條の加壓位置を刷子の中央より回轉方向へ移動させることによつて、刷子面における壓力配布は均一となり、接觸障害度は著しく改善されることが豫想される。實驗結果では豫期した如く刷子押し金具を刷子の中央より回轉方向へ移動させた  $A$  點が最も接觸障害度は小さくなつてゐる。又この影響は回轉數が高くなる程、著しくなることも第24圖より判ると思う。

(2) 間隙の影響 實驗の結果は前述せる如く最も適當な間隙の大きさは大體 0.10~0.15 mm の範圍内にあることを確かめた。間隙の値があまり過少であると刷子と保持器函との摩擦により運動が著しく阻害せられるためか、却つて接觸障害度は大きくなつた。又間隙の影響は刷子壓力が小さく且つ高回轉である程著しい。

[5] 刷子取り付角度の影響 刷子は發條の力、整流子及び保持函から反作用、並びに摩擦力をうけ、平衡を保つて摺動している。もしこの場合刷子と整流子との接面壓力配布が不均一であればある程、平衡が破れた場合不安定になり易い。従つて刷子と整流子との接面壓力をなるべく均一にする必要がある。この點反動型保持器は垂直型に比較して優秀であることは既に理論的に明らかにされている<sup>(5)(6)(7)(8)(9)</sup>。實驗結果においても豫期せる如く反動型は垂直型保持器より特性が良好であつた。然し回轉數が高くなるとその優劣の差は漸次小さくなる傾向がある。これは前述した通り頂面角  $0^\circ$ 、取り付角度  $30^\circ$  一定なる條件で實驗を行つたためであつて、回轉數の上昇に應じて頂面角及び取り付角度の値を適當に調整すれば、高回轉において優秀な特性を發揮することが出来ると思ふ。なお頂面角及び取り付角度と回轉數との關係について實驗を行う豫定である。實際回轉機に採用するにあつては使用状態に應じ、垂直型、反動型の他特性をも考慮に入れて選擇すべきである。

## [VI] 結 言

本研究において保持器の動作特性を定性的に検討した。その結果を要約すれば次の如くである。

(1) 刷子の振動 摺動刷子は或る傾斜角を持つが回轉數及び摩擦の大小によつて變化する。又刷子の振動は刷子の中央部を支點として兩端が角振動をしている。刷子の振動數は  $1,000 \sim 2,000$  前後のものが多く、この周波數は  $1,000$  r. p. m. 以下の低速度回轉の場合にはセグメント數×毎秒の回轉數に略々一致している。

(2) 回轉數及び刷子壓力 刷子の摺動接觸障害度は回轉數の  $1.0 \sim 1.5$  乘に略々比例し、刷子壓力の  $0.5 \sim 1.0$  乘に逆比例する。又偏心が大きい場合には回轉數及び刷子壓力の變動に對して接觸障害度は著しく不安定になる。

(3) 刷子材質及び寸法 刷子の接觸障害度は刷子材の彈性係數及び粘性係數  $\xi$  より  $\xi/\sqrt{E}$  の形で影響をうける。又刷子の高さは同一斷面積に對して高さが低い程、接觸障害度は小さい。

(4) 發條の押し方及び間隙 刷子押し金具が回轉

し得るような構造を有する保持器では刷子の高さが變化すると有效壓力が變化し、且つ接面の壓力配布が變るために接觸障害度は變動する。又刷子と保持器函との間隙の最適な値は大體  $0.10 \sim 0.15$  mm で、間隙が過少であると却つて接觸障害度は増大する。

(5) 刷子取り付角度 本實驗の範圍内では垂直型と反動型保持器(頂面角  $0^\circ$ 、取り付角度  $30^\circ$ )と比較すると反動型の方が特性が良好である。然し回轉數が高くなるとその優劣の差は減少する傾向がある。

刷子保持器の動作特性について實驗結果の概要を述べた。なお刷子保持器に就いては、研究すべき多くの問題が残されているので、動作特性の良好なる刷子保持器を製作するためさらに研究をすすめている。

本研究を行うに當り、日立研究所部長三浦博士、牧課長、一木所員並びに日立工場毛利課長、木田所員より種々御指導と御援助を賜わり、又本研究に對し終始實驗に協力された西澤清司氏に對し、深甚なる感謝の意を表する。

## 参 考 文 獻

- (1) 高橋、武政：日立評論 第 29 卷第 5 號、昭和 22 年 12 月
- (2) 赤沼：オーム 第 25 卷第 1 號、昭和 13 年 1 月
- (3) S. Timoshenko : Vibration Problem in Engineering 1937
- (4) 武政：電氣三學會東京支部連合大會豫稿、昭和 24 年 10 月
- (5) 稻木：日立評論第 16 卷第 12 號、昭和 8 年 12 月
- (6) 馬場：日立評論第 11 卷第 2 號、昭和 3 年 2 月
- (7) Modern Pyrmid No. 3 "Brush angle"
- (8) P. Hunter-brown & C. J. Hewe JAIEE Vol 71 1932
- (9) F. Schr öter mitteilungen der Ringsdorf Werks Nr 415

