

直流機用刷子の振動について

武 政 隆 一*

On the Vibration of the Carbon Brushes for the Direct Current Machine

By Takaichi Takemasa

Hitachi Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

To investigate the characteristics of the carbon brushes and the brush-holder. We made experiment on the vibration of the carbon brush and the degree of the disturbance of sliding contact between the model commutator and the carbon brush.

The vibration of the brush is consisted of two component, one is due to collision of the brush against the segment of the commutator, the other is the vibration which is excited by the vibration of the machine.

It is clarified that the former is relation to the vibration of the brush-self and the latter is relation to the vibration of the spring and the pressing metal of the brush.

The disturbance of sliding contact occure early as far as $0.5 \times 10^{-3} \sim 3.0 \times 10^{-3}$ sec. than the vibration of brush due to the segment.

The vibration of the brush in the direction of the thickness (the direction of the rotation) is relation to the vibration in the direction of the breadth of brush mutually.

Besides we begun study on the vibration of the carbon brush of three directions, because horizontal vibration of the brush is relation to vertical vibration.

Beside above, the vibration characteristics due to the material of the carbon brush and the structure of the brush-holder were investigated.

* 日立製作所日立研究所

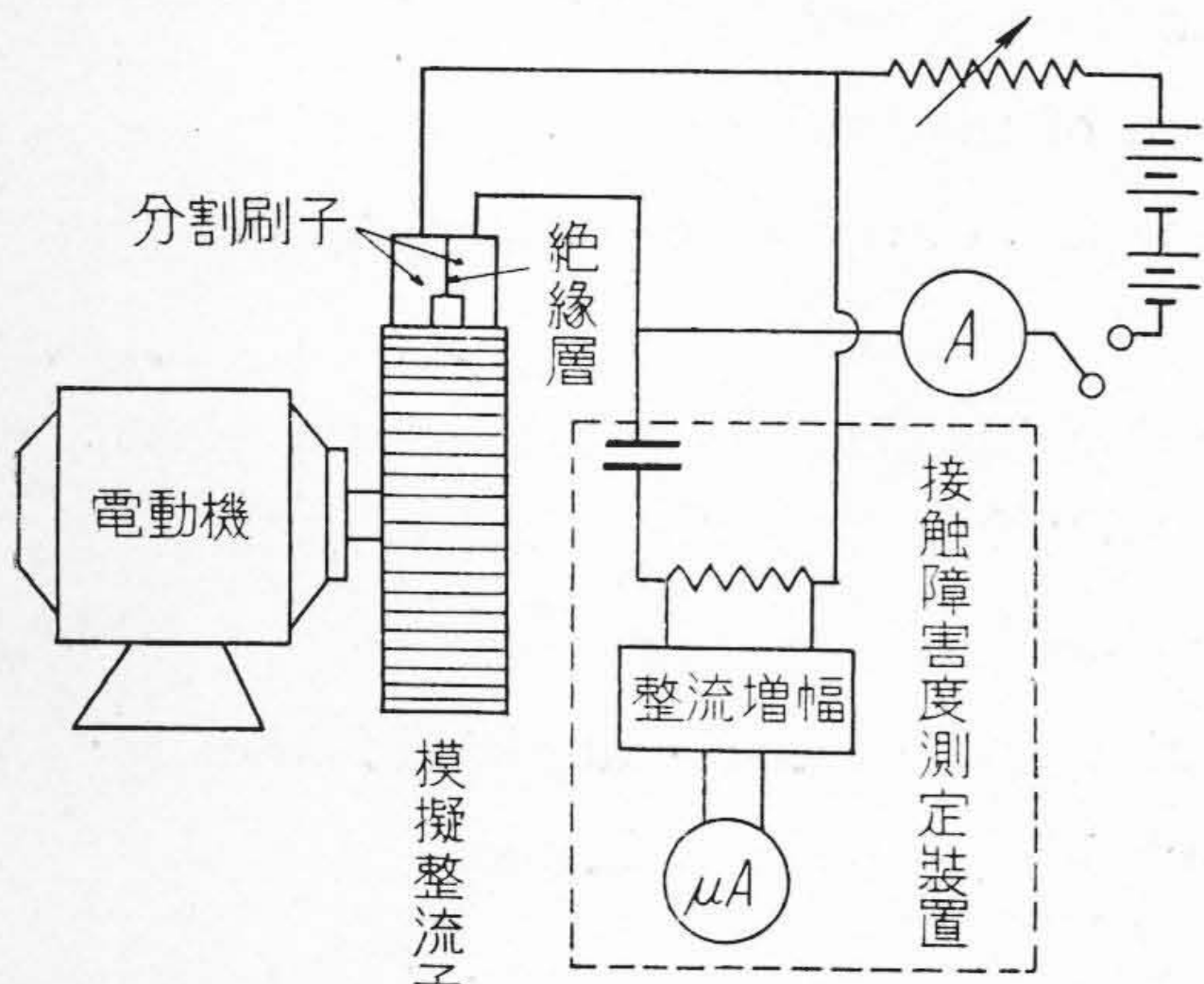
〔I〕 緒 言

直流機の整流特性を改善する上において刷子の振動状態を適確に究明する事は極めて重要な事であるが、その振動が極めて複雑なるために未だ明らかにされていない。筆者は刷子及び保持器の特性を究明するために、模擬整流子を用い、摺動時における刷子の振動並びに摺動接觸状態について実験を行つた。先ず刷子の振動では直接刷子がセグメントに衝突して起る振動と回轉機自體の振動によつて勵振される振動の二つが考えられるが、この點について検討した。更に〔V〕結言において刷子の振動は刷子材の彈性係數及び粘性係數或は刷子保持器の構造如何によつて著しい影響をうけることを明らかにした。

〔II〕 實驗裝置及び方法

(1) 試 驗 機

試驗機は第1圖のようで、直徑200 mm, 幅 85 mm, 整流子セグメント數 99 個を有する模擬整流子(硬銅)を直流分巻電動機(5 HP)に直結し、刷子を摺動させた。刷子の寸法は 12×20×35~40 mm³、保持器は垂直型、又發條は螺旋型であ

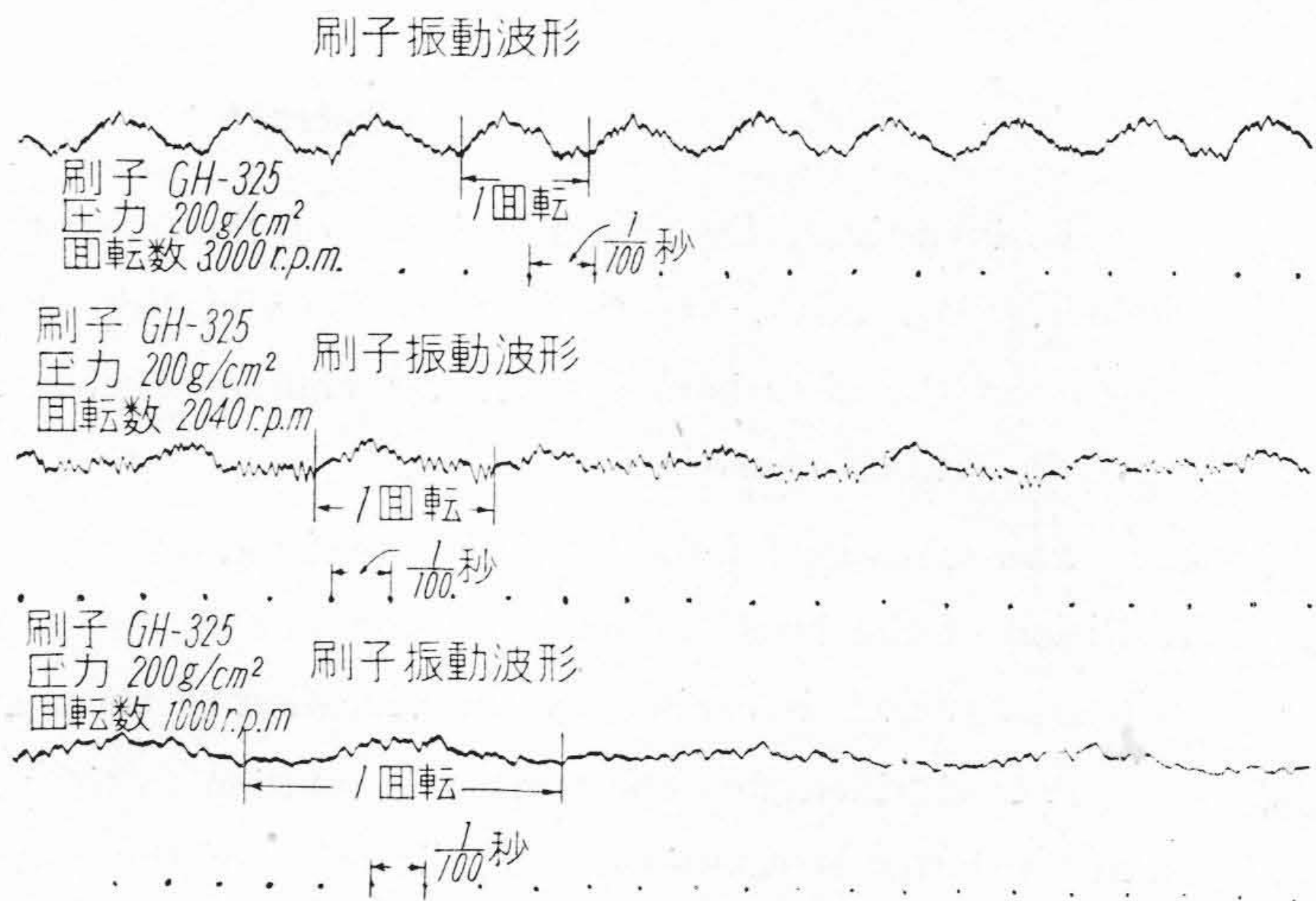


第1圖 實驗裝置略圖
Fig. 1 Schematic Diagram of Testing Apparatus.

る。

(2) 實驗方法

A. 振動測定 摺動中の刷子の振動は小振幅なので測定計器として光學的方法及び容量型振動計を用いた。然し本論文では容量型振動計の測定結果を主體としているので、容量型振動計のみについて述べる。先ず支持臺又は保持器母體に固定した電極板を刷子面(厚さ方向即ち回轉方向或は幅方向即ち回轉方向と直角の方向)と對向させて振動によつて生ずる刷子電極板間の容量變化を電流變化に變え、振動波形をオツシログラフで撮影した。なおこの場合測定せる刷子の振動は厚さ及び幅方向の横



第2圖 刷子の振動波形
Fig. 2 Oscillograms Showing the Vibration of the Brush.

振動である。

B. 摺動接觸障害度測定⁽¹⁾⁽²⁾ 第1圖に示した試驗機で、分割刷子により刷子整流子間に平滑な直流電流を通せば接觸状態が不良である程、高周波の脈動電流を生ずる。この中の交流分を適當に整流増幅して電流計にその平均値を指示させ、摺動接觸の良否の程度を數量的に表示させた。従つて本論文ではこの意味に於ける摺動接觸状態の良否を摺動接觸障害度と呼ぶことにする。なおこの場合銅整流子では摺動接觸の障害の外に、整流子面に生成される酸化皮膜の影響をうけるが、こゝに取扱う1000 r.p.m. 以上の高回轉では一應無視出来る事が判明

しているので、銅整流子を用いた。

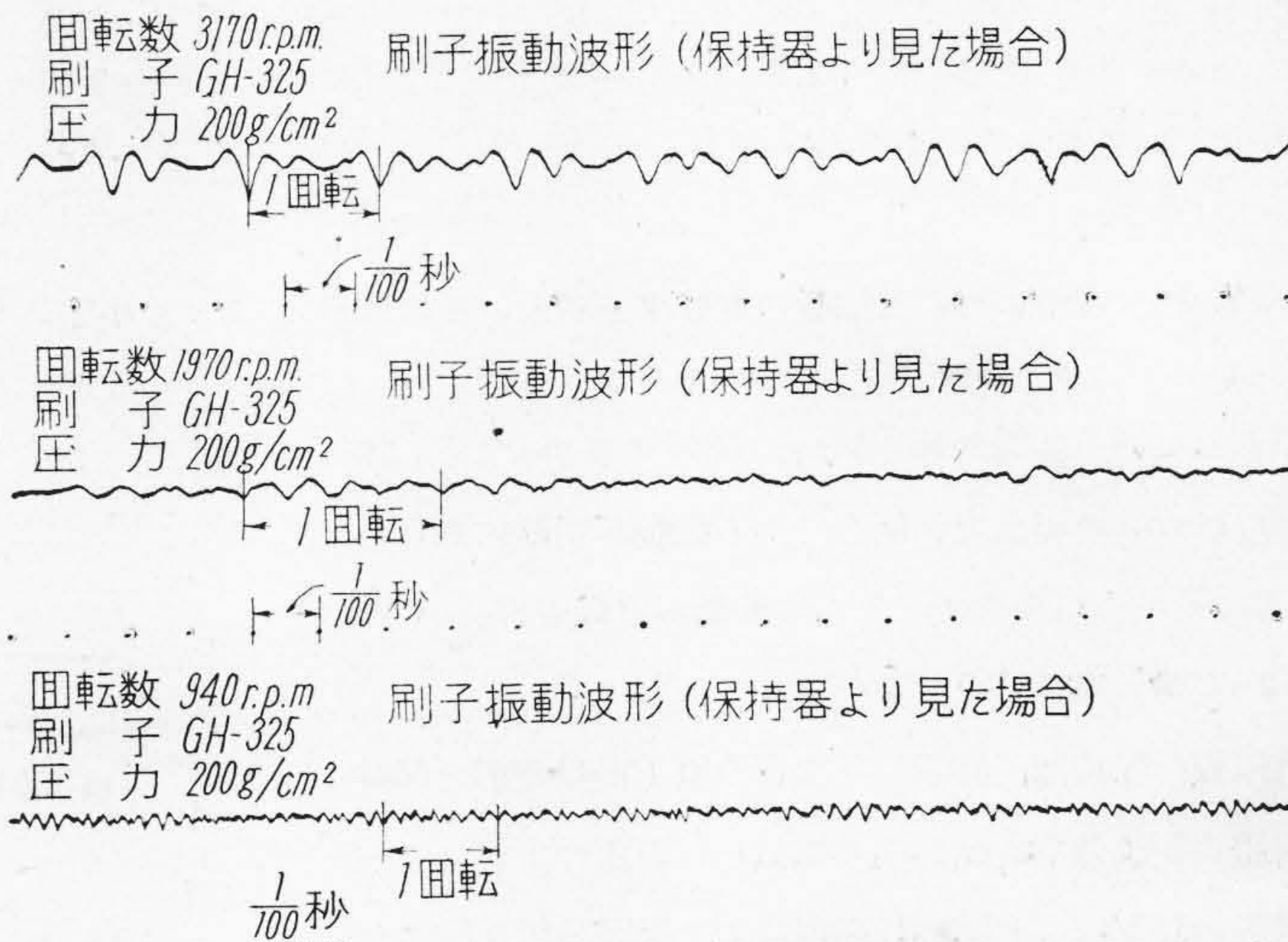
〔III〕 刷子の横振動

(1) 振動波形の観察

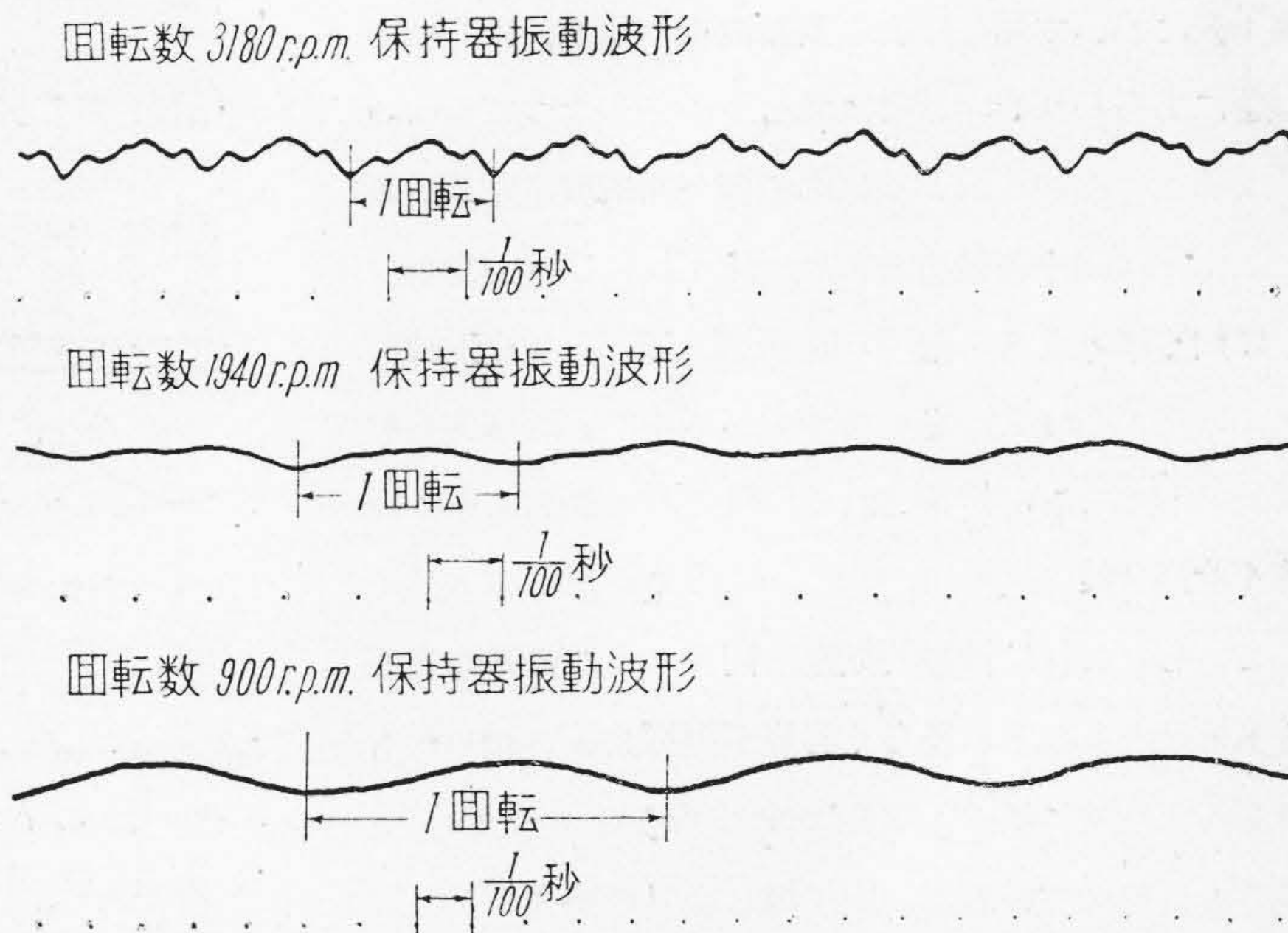
A. 電極板を支持臺に固定せる場合 電極板を支持臺に固定し、回轉機自體より來る振動を極力防止して刷子の振動を測定した。第2圖は GH-325 刷子を壓力 200 g/cm² で摺動させた場合の厚さ方向に於ける横振動波形である。第2圖(上)は 3300 r. p. m. の場合で、偏心による振動が基本波となり、更に 200~300~ 前後の低周波並びに 2000~ 前後の高調波が重疊されている。なお偏心による振動波は 2000 r. p. m. 以下では明瞭にあらわれていないが、これは刷子の横振動を測定したためであらう。

B. 電極板を保持器に固定した場合 保持器に電極板を固定すると、極板は回轉機の振動につれて動くので、測定される刷子の振動波形には回轉機より來る振動が除かれ整流子面より來る振動のみがあらわれる筈である。第3圖はこの場合の刷子の厚さ方向の横振動波形を示すもので、第2圖と波形が著しく異なっている。第3圖(上)は 3170 r. p. m. の場合で、170~340~ 前後の低周波に 2000~ 前後の高周波が重疊され、偏心による振動は殆どあらわれていない。又同圖(中)は 1970 r. p. m. の場合で、100~200~ 前後の低周波がかなり明瞭にあらわれている。次に同圖(下)は 970 r. p. m. の場合で、100~200~ 前後の低周波と 600~ 前後の振動波が交互にあらわれている。

C. 保持器の振動 保持器は回轉機の機械的振動を受け、更に發條を介して刷子に振動を伝える。従つて刷子は發條と整流子面の二方面より振動を受けるわけである。故に保持器自體の振動を知ることは刷子の振動特性を究明する上に重要である。第4圖は刷子を摺動させない場合の保持器の回轉方向の横振動波形である。第4圖(上)は 3180 r. p. m. の場合で、この波形は第3圖(上)



第3圖 刷子保持器で觀察した場合の刷子の振動波形
Fig. 3 Oscillograms Showing the Vibration of the Brush which is Observed on the Brush-holder.



第4圖 保持器の振動波形
Fig. 4 Oscillograms Showing the Vibration of the Brush-holder.

第1表 振動波形の調波分析

Table 1 Analysis of Vibration Wave.

高調波	(a) 刷子振動 (保持器より見た)				(b) 保持器振動			
	係數	%	位相角°	周波數 ω	係數	%	位相角°	周波數 ω
直流分	4.06	20.3	—	—	0.83	4.3	—	—
基本波	1.12	5.6	-68	53	-4.55	23.3	59	54
第3次	3.84	19.0	-61	157	-2.36	12.1	90	162
第4次	-3.35	16.8	74	212	2.60	13.3	-55	216
第5次	0.96	4.8	-85	265	-2.05	10.5	-86	270
第7次	0.53	2.7	-55	371	-2.62	13.4	-85	378
第10次	3.81	19.1	40	530	-0.31	1.6	85	540
第11次	-0.38	1.9	70	583	2.48	12.7	86	594

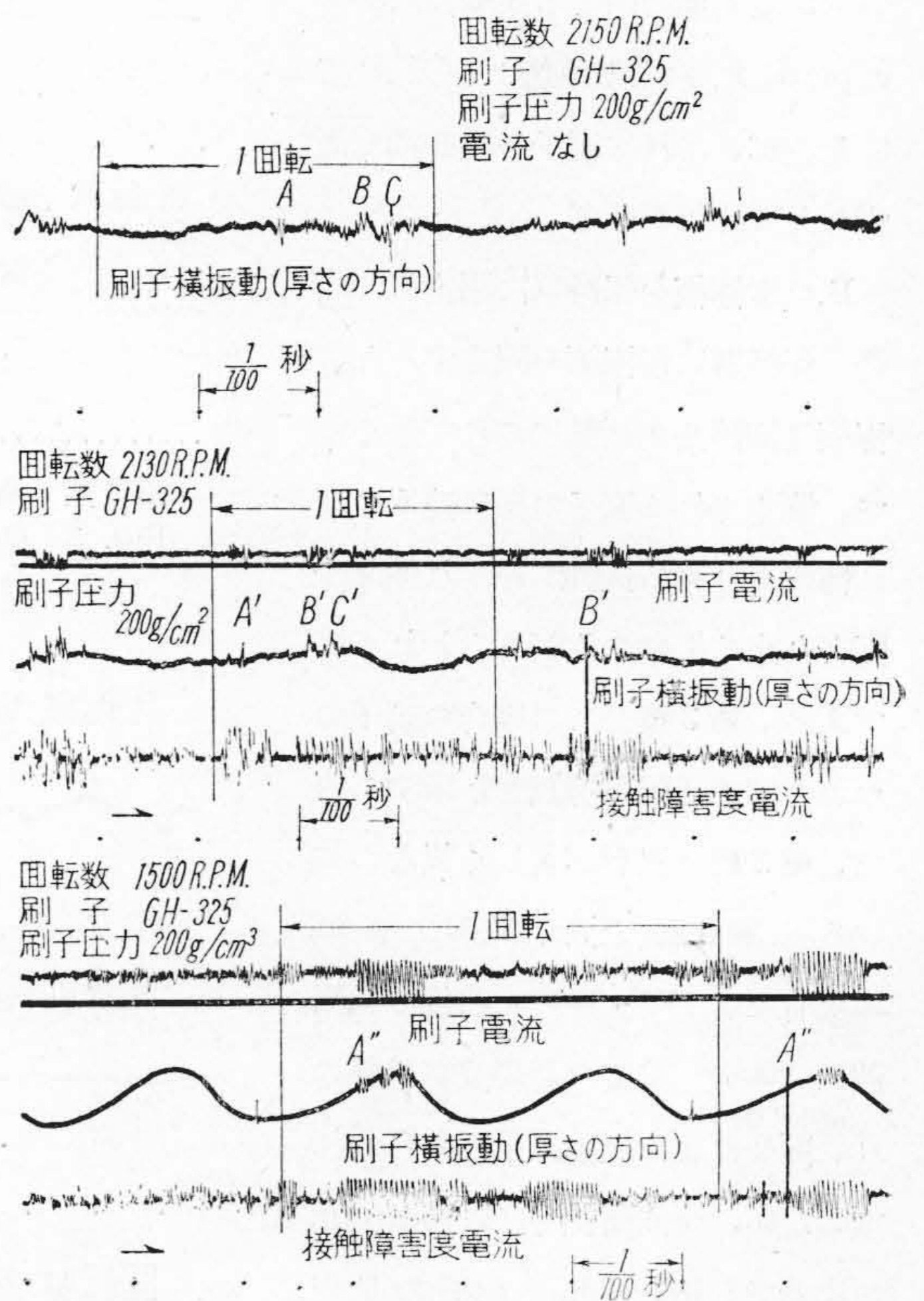
〔備考〕 表中の % は係數の百分率を示し、その値が 1 よりも小さいものは除いた。

と類似している。又同圖(中)は 1940 r.p.m., (下)は 900 r.p.m. の場合で、偏心による振動が明瞭にあらわれ、更にその上に數百サイクルの振動が重疊されている。

(2) 考察

電極板を保持器に固定した場合の刷子振動波形と保持器自體の振動波形とはかなり類似しているので、フーリエ級數の計算により第 11 高調波まで調波分析を行った所、第 1 表のような結果を得た。尙表中にある係數は歪波形をフーリエ級數で展開した場合の各高調波の係數を意味するものである。

第 1 表において偏心による振動波即ち基本波は (b) では顯著にあらわれ、(a) では著しく小さくなつてゐる。これは前述せる如く刷子及び電極板が回轉機より來る振動によつては同一運動するために除かれた結果である。かくの如くに考えると第 5, 第 7 及び第 11 次高調波も (b) で大きく (a) で小さくなつてゐるので、回轉機自體の振動であることが推定される。又これと反對に第 3 及び第 4 次高調波は (b) よりも (a) の方が却つて大きくなつてゐる。これは機械的振動に同調する振動系の存在する事を示すもので、恐らく發條が撰擇共振を起したものであろう。次に第 10 次高調波が (b) よりも (a) で著しくあらわれているが、刷子押し金具の撰擇共振ではないかと思う。なお發條の共振周波數は 200 ω 前後でかなり大きくなつてゐるが、先に行つた(2)モデル實驗の



第5圖 厚さ方向の刷子の横振動と摺動接觸障害度電流のオツシログラム

Fig. 5 Oscillograms Showing the Horizontal Vibration of the Brush in the Direction of the Thickness and the Oscillating Current Due to the Disturbance of Sliding Contact.

測定結果でも 100~200 〃で、計算値よりも大きく、局部的振動を起しているものと解される。

〔IV〕 刷子の振動と摺動接觸

(1) 波形の觀察

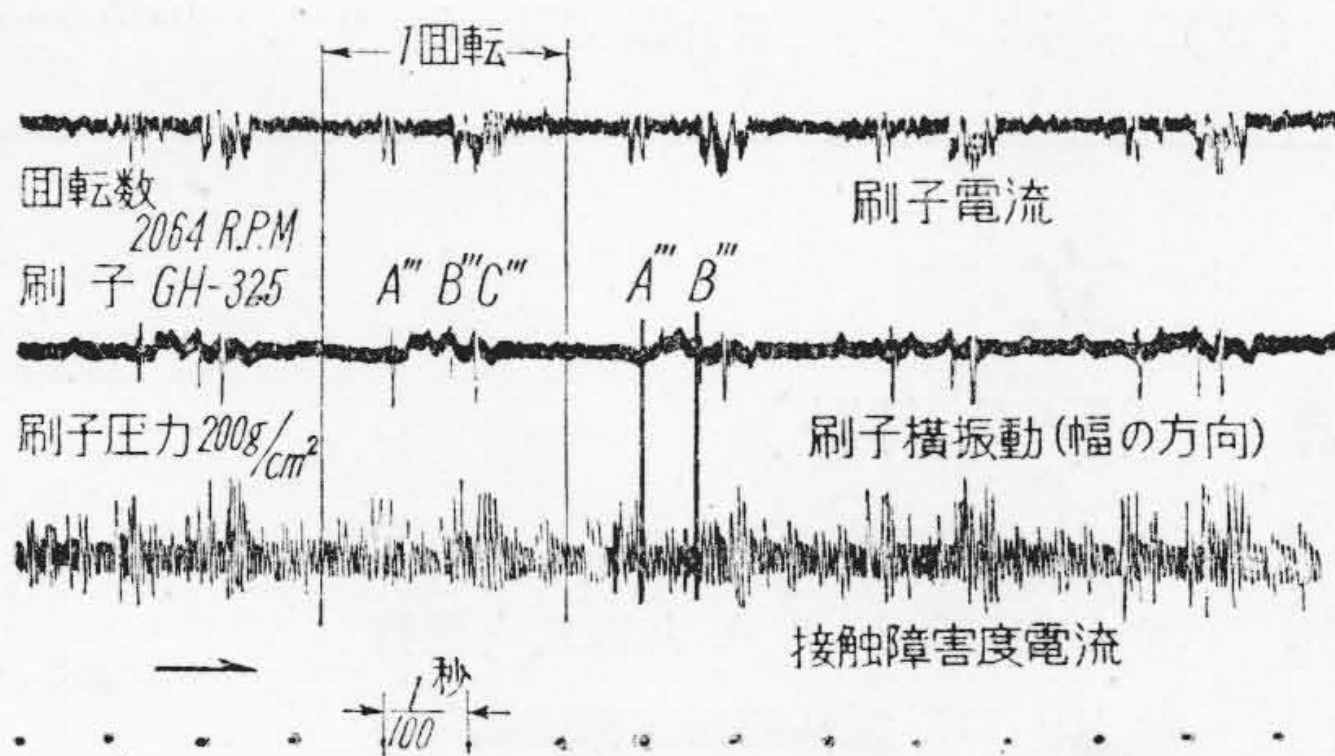
摺動時における刷子の振動が摺動接觸障害度に如何なる影響を與えるかを知るために、振動及び摺動接觸障害度をオシログラフにより同時に撮影した。第5圖は刷子の厚さ方向の横振動と摺動接觸障害度のオシログラムで、刷子は GH-325、刷子壓力は 200 g/cm² である。第5圖(上)は 2280 r. p. m., 無電流で、容量型振動計で測定した場合の振動波形で、大體 3500 〃前後の高調波が明瞭にあらわれている。同圖(中)は 2130 r.p.m. で、刷子に 1A の電流を流した場合であつて、振動計で測定した振動波形には 3400 〃前後の高調波振動が明瞭にあらわれている。又刷子は1回轉中に A', B' 及び C' の三點で急激に大きな振動を起している。一例を示せば B' 點で接觸障害度電流は刷子の振動よりも 0.8×10⁻³ 秒早く振動を起している。なお接觸障害度電流の周波數は大體 3400 〃前後で、刷子の振動數と一致している。次に第5圖(下)は 1500 r.p.m., 刷子電流 1A の場合であつて、振動波に含まれている高調波は同圖(中)に比較して少く、周波數も 2700 〃である。又接觸障害度

電流は刷子が急激に振動を起した時間、例えば A'' よりも約 2×10⁻³ 秒早く振動を起している。次に 2000 r.p.m., 刷子壓力 200 g/cm² の場合における刷子の幅方向の横振動と摺動接觸障害度との關係を示すと第6圖のようである。1回轉中において A''', B'' 及び C''' の三點で刷子は急激に大きな振動を起しているが、これは第5圖(中)の A', B' 及び C' に符號する。これは厚さ方向の横振動と幅方向の横振動とが相互に關連性を有することを示すものである。又摺動接觸障害度電流は刷子が急激に振動を起した時間 A''' よりも 2.5×10⁻³ 秒、B''' よりも 1.6×10⁻³ 秒早く振動を起している。

(2) 考 察

以上の實驗で考えられることは刷子が急激に大きな振動を起す時よりも若干早く刷子の摺動接觸状態は不安定になることと、厚さ方向と幅方向の横振動が相互に關連性を有することである。前者においては刷子が整流子面上の突起物に衝突して急激に刷子は振動を起すが、振動を起す直前刷子壓力は減少して零となり、逆方向の力が増大して刷子は躍動するのであるから當然刷子が振動を起す時間よりも早く接觸状態は不安定になる。又後者においては刷子が衝突により振動を起す場合、上下、左右及び前後の三方向に振動するから横振動の外に上下振動をも同時に觀察すれば更に刷子の振動状態は明瞭になる。筆者はかゝる見地から三次元の振動を同時に觀察すべく目下準備をすすめている。

摺動時における刷子の振動數は刷子が毎秒セグメントに衝突する回数に比例すると考えられていた。然し實驗の結果では必ずしも比例していないことが報告されている⁽³⁾。尙筆者の實驗では 1000 r. p. m. 以下の低速度の場合には、大體刷子の振動數はセグメント周波數に比例するが、高回轉になると比例しなくなることを報告した⁽²⁾。即ち回轉數が小さいと整流子面から與えられる外力が小さく、従つて振幅は小さいから刷子は毎セグメントに衝突するが、回轉數が高くなると、外力は回轉數の略2乗に比例して増大するから、振幅は大きくなり幾つかのセグメントを飛び越えて先のセグメントに衝突するようになる。その結果刷子の振動數はセグメント周波數



第6圖 幅方向の刷子の横振動と摺動接觸障害度電流のオシログラム

Fig. 6 Oscillograms Showing the Horizontal Vibration of the Brush in the Direction of the Breadth and the Oscillating Current Due to the Disturbance of Sliding Contact.

に比例しなくなるものと考えられる。この他外力が大き
いと衝突により發條を含む刷子の振動系は自由振動を起
し益々複雑になるものである。

〔V〕 結 言

摺動時における刷子の振動及び摺動接觸障害度につい
て実験を行い、更に接觸障害度と刷子材及び保持器との
關係について実験結果の概要を述べた。

(1) 刷子の振動 刷子は整流子面の突起に基因する
振動と回轉機自體の機械的振動をうけて振動する。前者
は刷子がセグメントに衝突して振動を生ずるが、低速度
の場合には刷子の振動数は大體セグメント周波數に比例
し、高速度の場合には必ずしも比例しない。なお高速度
の場合には發條を含む刷子の自由振動も生ずるので、現
象は複雑になる。次に後者においては低い固有振動數を
持つ振動系、即ち發條或は刷子押し金具を勵振させる。

(2) 刷子の振動と摺動接觸 刷子の摺動接觸状態は
刷子がセグメントに衝突して振動を起す時間よりも、約
 $0.5 \sim 3.0 \times 10^{-3}$ 秒早く悪くなる。又刷子の厚さ方向と幅
方向(即ち回轉方向とそれと直角の方向)との横振動は相
互に關連していることを確かめた。なお本実験では上下
振動を測定しなかつたが、これらも當然關係があるので、
目下三次元の振動を測定すべく準備中である。

(3) 刷子の振動は刷子の材質及び保持器の構造如何
によつて著しい影響をうける。刷子については既に⁽¹⁾

詳述したが、保持器についても⁽²⁾詳述する豫定である。
結局刷子の振動は刷子材の彈性係數 E が小さく、粘性
係數 ξ が大きい程、小さいことが実験の結果から判明し
た。又刷子のみの振動系について理論的解析を行つた
所、 ξ/\sqrt{E} が大きい程、刷子の摺動接觸状態は良好に
なることが判つたが、実験においても同様な結果が得ら
れた。なお刷子の振動と保持器との關係については、回
轉數(或は周邊速度)、刷子壓力、刷子の高さ、保持器函
と刷子との間隙(回轉方向)、發條のおさえ方の影響及び
垂直型と反動型保持器の特性比較等について行つた実験
結果を報告してある。

本研究を行うに當り、日立研究所部長三浦博士、牧元
課長及び一木利信氏より種々なる御指導と御援助を、又
日立工場毛利課長、木田眞吉氏及び桑原繁太郎氏より種
々なる御意見及び御援助を賜つた。又振動計については
日立研究所小堀與一氏より種々なる御配慮を賜わり、西
澤清司氏より終始實驗に御協力下された。以上の方々の
御厚意に對し、深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 高橋、武政：日評第 29 卷 第 5 號 昭 22. 12
- (2) 武政、桑原：日評第 33 卷 第 9 號 昭 26. 9 (豫定)
- (3) 宗宮、堀井：學研提出資料 昭 19. 11
- (4) 植田：炭素製品 p. 198~200 昭 25. 6
- (5) 一木：日評論文集 No. 9 1949

日 立

第 13 卷 第 3 號 (5~6 月號)

- ◎ 新型 30 cm 扇風機に就いて
- ◎ 日立アルマー整流管 GH₂-11 GH₂-31
- ◎ 難燃性スタンドライト積層板 392 N
- ◎ 長距離用粉體空氣輸送機
- ◎ スーパ受信用日立 GT 管
- ◎ A4 小自動交換機
- ◎ MRS-25 型無線電信電話受信機

- ◎ 有極繼電器に就いて
- ◎ 40 回線 1 號 A 共電式交換機
- ◎ PH-111 型移動用無線電話装置
- ◎ 音指 21 號指令装置及び受令機
- ◎ 日立押鉛操作式ホイスト
- ◎ 新川排水揚軸流ポンプ

東京都品川區
大井坂下町 2717

日立評論社

誌代 ¥ 30.00 〒 6.00
六册 ¥ 200.00 (送料共)