

複式発条型刷子保持器の特性改善に就いて

武 政 隆 一* 桑 原 繁 太 郎**

The Improvement of Characteristics of the Double Spring-Type Brush Holder

By Takaichi Takemasa and Shigetaro Kuwahara

Hitachi Research Laboratory and Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The writers, in their study of the vibration characteristics of the spring and the sliding contact characteristics of the brush by means of the results of their past experiments, found that the vibration takes vertical and angular direction and that the spring vibration exerts conspicuous effect on the sliding contact characteristics of the brush.

They also made experimental analysis of many types of the combination of springs to find one best for the characteristics of double spring type brush holder. The investigation clarified that the constant now being applied in general to the spring must be lessened to some value if the sliding contact characteristics and the commutation are to be improved.

〔I〕 緒 言

直流機に於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。従つてかかる場合刷子及び保持器の構造の優劣が整流を支配する重要な因子の一つとなる⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。然らば刷子の摺動接触特性を良好にするためには、いかに保持器の構造を改善すべきかが問題になる。勿論刷子の摺動接触特性は直流機の回転数(あるいは周辺速度)、刷子の材質及び寸法、刷子と保持器との間隙、発条による刷子の押え方、刷子圧力、刷子の取り付け角度及び頂面角等によつて著しい影響を受けるが⁽²⁾⁽³⁾、発条の振動特性の良否によつても顕著な影響を受けることが考えられる。本論文では刷子及び発条の振動特性に就いて行つた実験結果より発条の振動と摺動接触特性との関係に就いて考察し、更に複式発条型保持器を用い発条の組合せに就いて実験を行い、発条の振動特性と刷子の摺動接触特性との関係を明らかにしようとした。

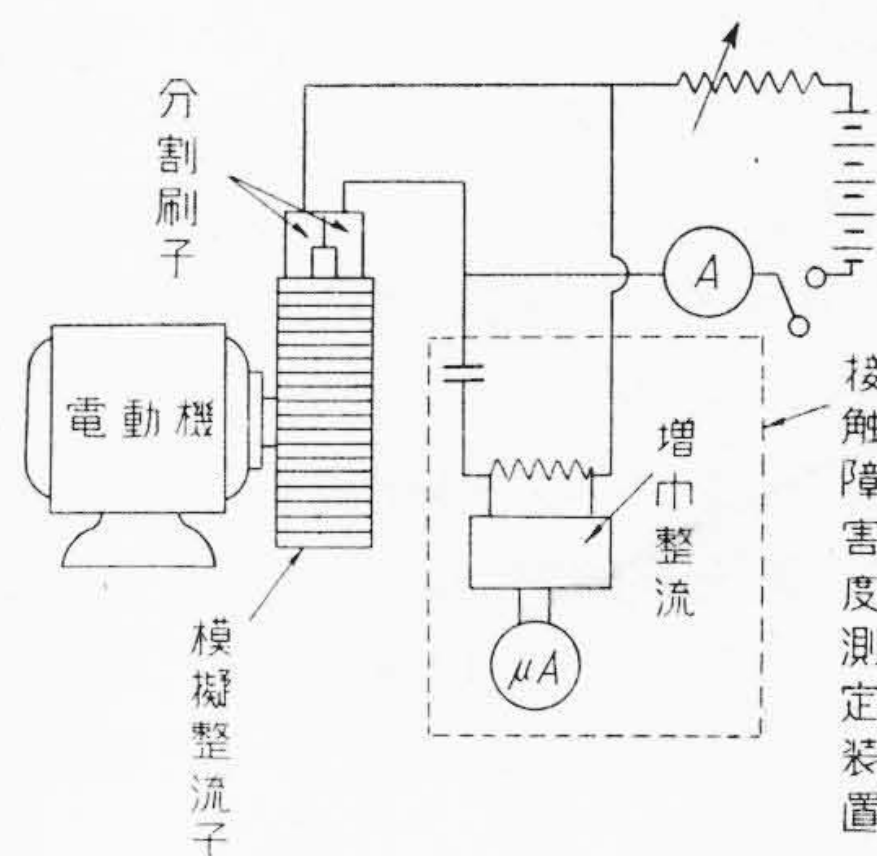
〔II〕 実 験 方 法

(1) 刷子保持器試験機

刷子保持器試験機は第1図に示したように、直径200φ、

* 日立製作所日立研究所

** 日立製作所日立工場



第1図 刷子保持器試験機略図

Fig. 1. Schematic Diagram of Testing Machine for Brush Holder

幅 85 mm の模擬整流子 (セグメント数 99) を 3 HP の直流分巻電動機に直結して回転させた。回転数は 1,000 ~ 3,000 r.p.m. の範囲内で数段階に変えた。これに供試用保持器を取りつけ、GH-45 或は GH-235 等の刷子を摺動させた。次に保持器特性の良否を判別する一手段として摺動時に於ける刷子の摺動接触特性を後述の如き方法で測定し、この結果より保持器特性の良否を判別した。

(2) 振動測定

刷子及び発条の振動は振幅が小さいので振動測定にあ

たつては光学的及び電気的方式を採用した。光学的方式としては直接刷子或は発条に直径 1 mm 前後の小凹面鏡をはり、オシログラフの光源箱を利用して振動波形を撮影した。又電気的方式としては容量型振動計を用い、支持台(除振台)に固定した電極板を刷子或は発条に対向させて、振動によつて生ずる振動体と電極板との間隙即ち容量変化を電流変化に変え、振動波形を撮影した⁽²⁾。又刷子の角的振動は刷子と保持器函(出口方向の側壁)との接触電圧降下を電磁オシログラフにより測定した。

(3) 刷子の摺動接触特性測定

第 1 図に示した試験機で分割刷子により刷子整流子間に平滑な直流を流せば接触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当に増幅整流して電流計に平均値あるいは実効値を指示させれば、電流計の読みは刷子の摺動接触特性が不良なる程増大する。従つて本論文ではこの意味に於ける刷子の摺動接触状態の良否を摺動接触障害度と呼ぶことにする。最良なる保持器の特性は摺動中の刷子を常に整流子に密着させることであり、刷子が密着しておれば刷子の摺動接触障害度は小さい筈であるから一応接触障害度の良否によつて、保持器の特性を間接的に判別した⁽²⁾。

なお接触障害度測定の際銅整流子の場合には摺動接触障害の外に、整流子面に生成される酸化皮膜の影響をうけるが、こゝに取り扱う 1,000 r.p.m. 以上の高回転ではこれを一応無視し得ることがわかつたので、本実験では銅整流子を用いた。

〔III〕 発条及び刷子の振動

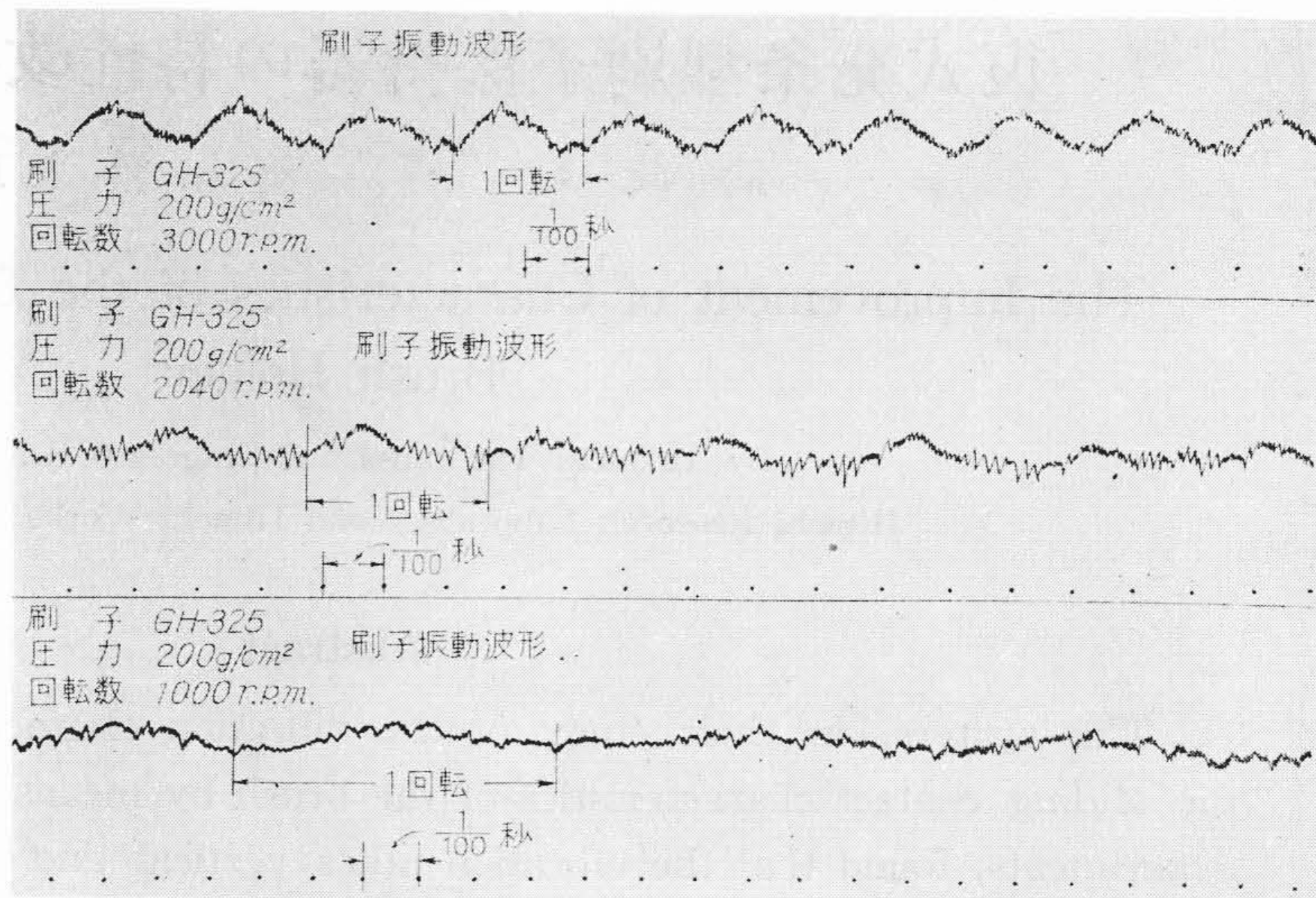
発条の振動特性によつて刷子の摺動接触特性がいかなる影響を受けるかを明らかにするため行つた実験の結果に就いて考察する。

(1) 刷子の振動

刷子の振動は整流子の偏心、セグメント、整流子表面の微小凹凸等によつて起るものと考えられているが、これに関する研究は少く、未だその実体は明らかにされていないようである。

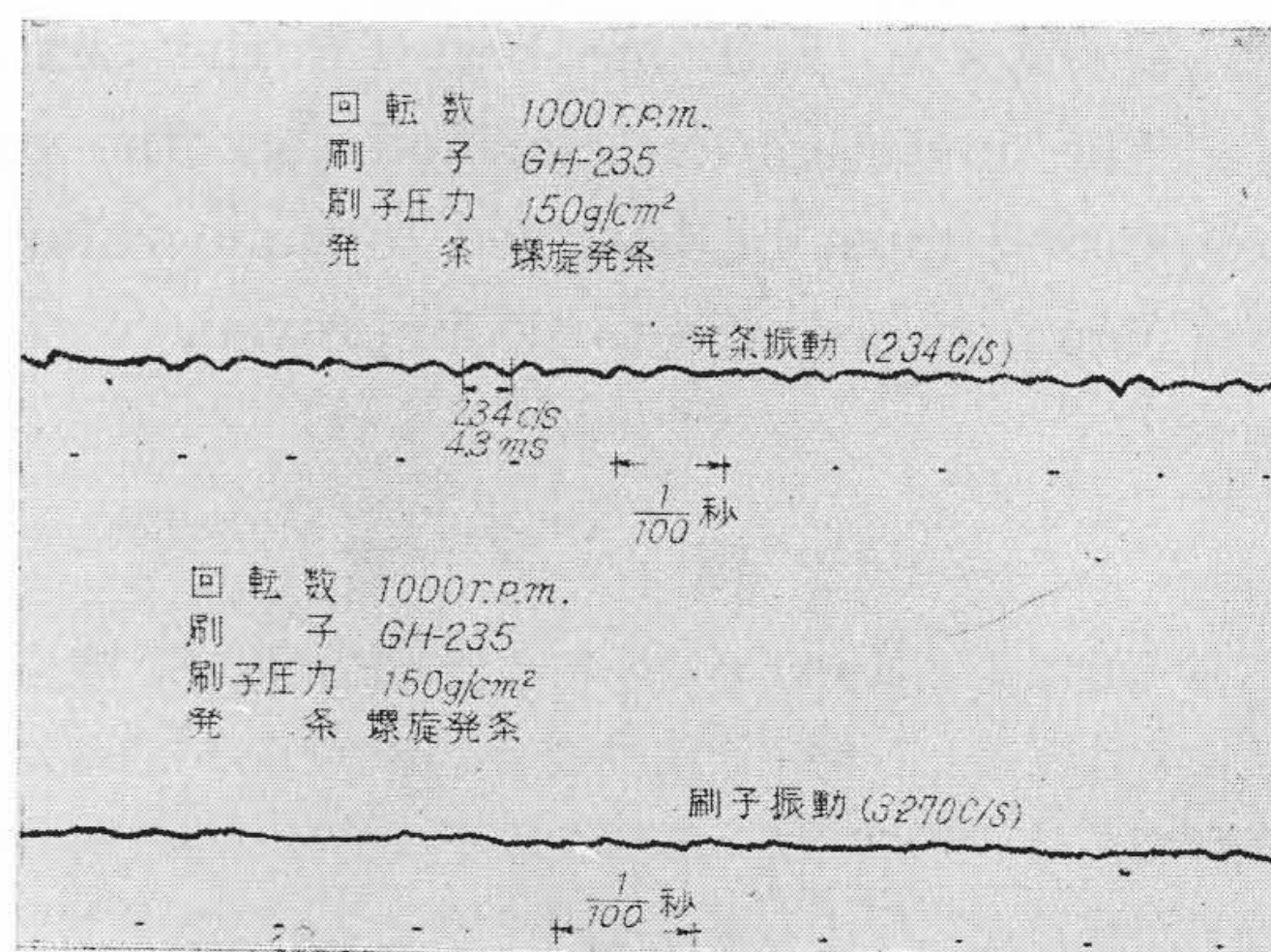
(A) 振動波形

第 2 図は容量型振動計により測定した刷子の振動波形であつて、回転数と一致する振動数の振動が基本波とな



第 2 図 摺動時に於ける刷子の振動

Fig. 2. Oscillograms Showing Vibration of Sliding Brush



第 3 図 刷子及び発条の振動

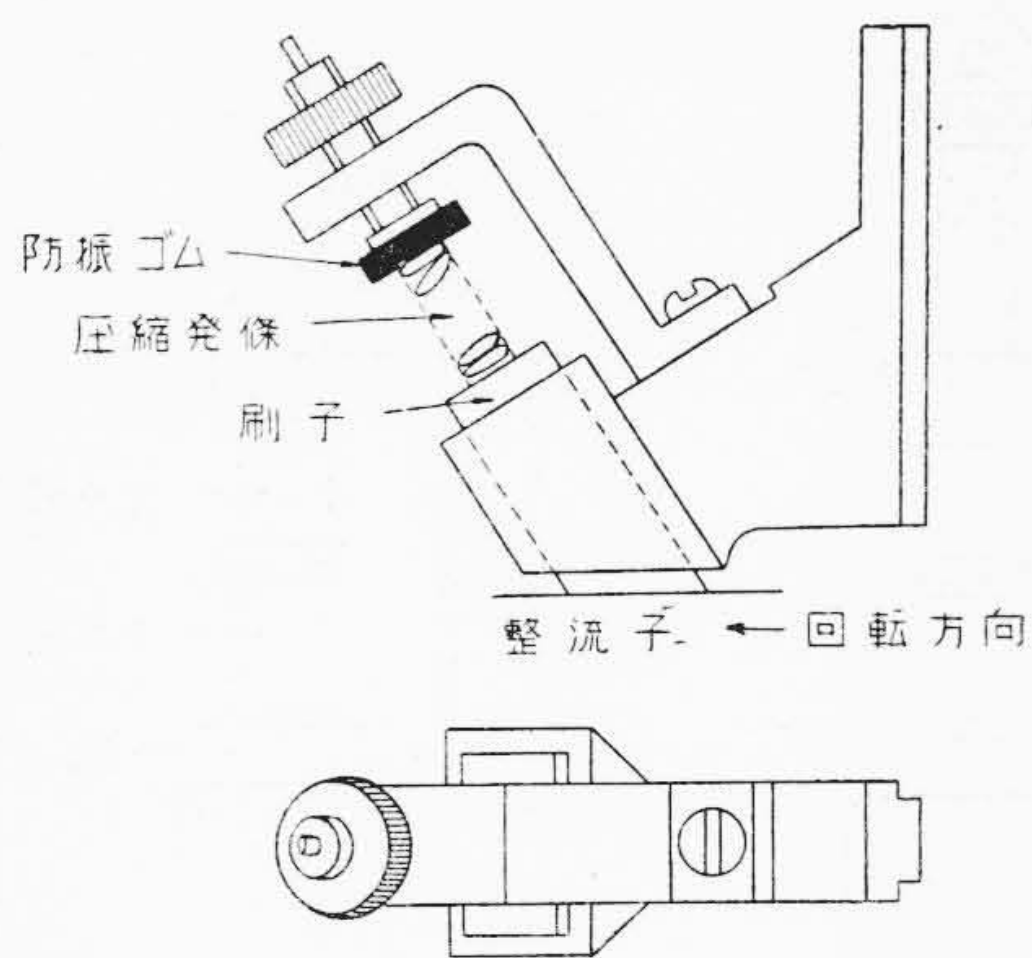
Fig. 3. Oscillograms Showing Vibration of Brush and Spring

り、これに 200~300~ 及び 2,000~4,000~ の高周波が重畳されている。100~400~ の振動は発条自体の振動により⁽²⁾、又 2,000~4,000~ の振動は刷子がセグメント及び微小凹凸面を摺動するために起るのではないかと考えられる。

このように刷子の振動は極めて複雑なので、説明の便宜上これを上下振動と角的振動との二つに分けて考える。

(B) 上下振動

刷子は整流子の偏心及びその他の因子によつて上下振動を起すことは容易に推察される。試みに摺動中の刷子(垂直型保持器)及びこれを加圧しているコイル発条下端の上下振動波形を撮影したところ第 3 図に示す如く発条の振動は、正弦波形に近い波形であり⁽⁴⁾、刷子の振動は



第4図 防振ゴム付反動型保持器
Fig. 4. Rubber Spring and Reactive-Type Brush Holder with Vibration Prevention Rubber-Spring

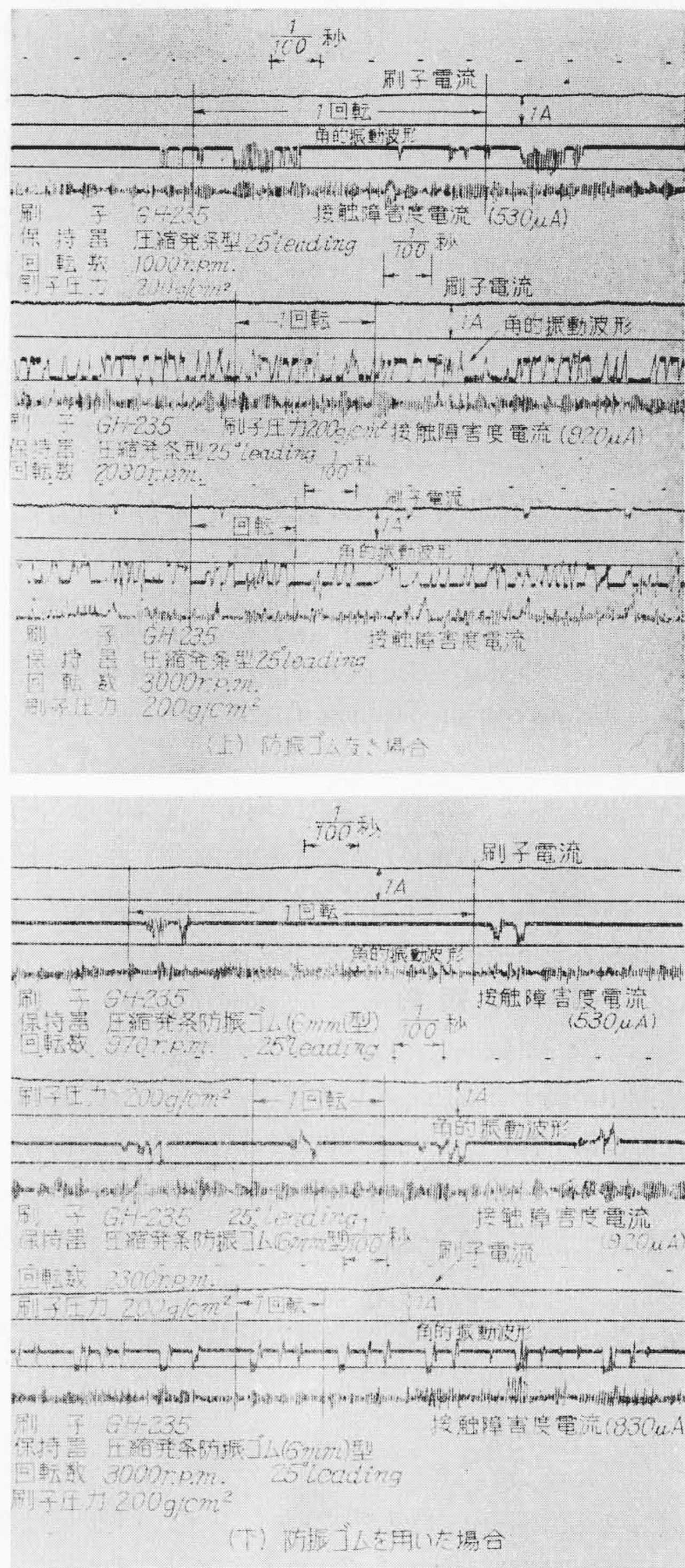
かなり不規則な波形であつた。これは次に述べる角的振動の影響と考えられる。いずれにしても発条で刷子を加圧している場合、発条下端に上記の如きほぼ正弦波の上下振動があれば発条上端は略々固定されているから発条による刷子圧力に正弦波形に近い周期的変化が起ることは明らかである。

(C) 角的振動

刷子の振動に就いて実験したところ、刷子は摺動面のほぼ中央を支点として、その両端が交互に上下振動をしていること、即ち角的振動をしていることがわかつた。

角振動を起す原因としては次の二つが考えられる。一つは摩擦力の変化によるもの、他は摺動面上にある微小凹凸面に刷子が衝突した場合である。これらを究明するため反動型(Leading)刷子の取り付け角度を変えて角振動を測定したところ、角振動は取り付け角度が大きくなる程減少した。これは角振動が衝突によるよりも主として摩擦力の変化によることを示すものである。

刷子の角的振動が摩擦力の変化によるものとすれば次のことが考えられる。摩擦力が変化する原因としては摺動面の状態（刷子材質及び整流子面）の変化のため刷子と整流子面との摩擦力が刻々に変化する場合と、発条の振動に基因する接触圧力の変化のため摩擦力が変化する場合との二つである。前者は主として整流子表面の不良及び刷子材質の不良によつて起る。後者即ち発条の振動による角的振動は、ばね圧力の変動により摩擦力が変化して誘起されるものである。ばね圧力の変動と刷子の角的振動との関係を知るために、**第4図**のごとき反動型保持器（ゴムなし）を用い、十分に黒鉛化された刷子を摺動させたところ、**第5図**（上）のオシログラムを得た。次にこの保持器に防振ゴムを入れ、刷子を摺動させた場



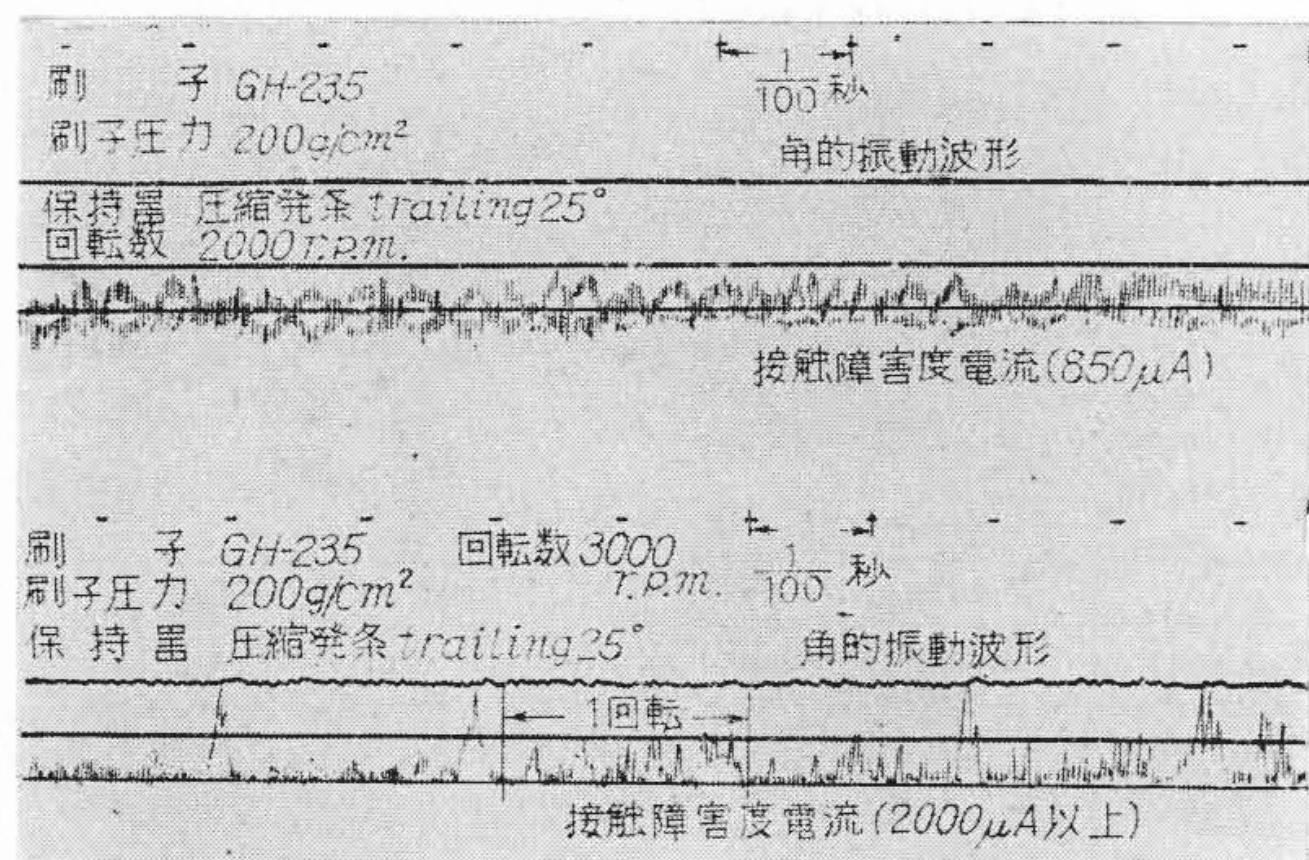
第5図 上下振動防振による角的振動の減衰効果
(反動型刷子保持器 25° Leading)

Fig. 5. Damping Effect of Angular Vibration by Vertical Vibration Prevention (Reactive-Type Brush Holder 25° Leading)

合のオシログラムは同図（下）のようで、後者は前者に比し角的振動が小さくなった。これは防振ゴムによりばね圧力の変動が小さくなったことによると推定される。

(D) 上下振動と角的振動

刷子の取り付角度を Trailing 25° にした場合の実験結果は第6図のようで、この場合の角的振動は第5図(上)に比較して小さいが、火花は1回転1回の割合で発生し、刷子の摺動接触特性はあまり改善されなかつた。



第6図 Trailing 25° の場合に於ける角的振動
及び接触障害度電流のオシログラム

Fig. 6. Oscillogram Showing Angular Vibration of Brush and Current Due to Disturbance of Sliding Contact in the Case of Trailing Angle 25°

これは追従型 (Trailing) の場合は刷子が保持器函 (出口方向) に圧着されるため、角的振動は減少するが、上下振動が阻害されるのによるのであり⁽⁵⁾、摺動接触特性が角的振動と上下振動の両者に依存することを示す。

(2) 発条の振動

(A) 振動数

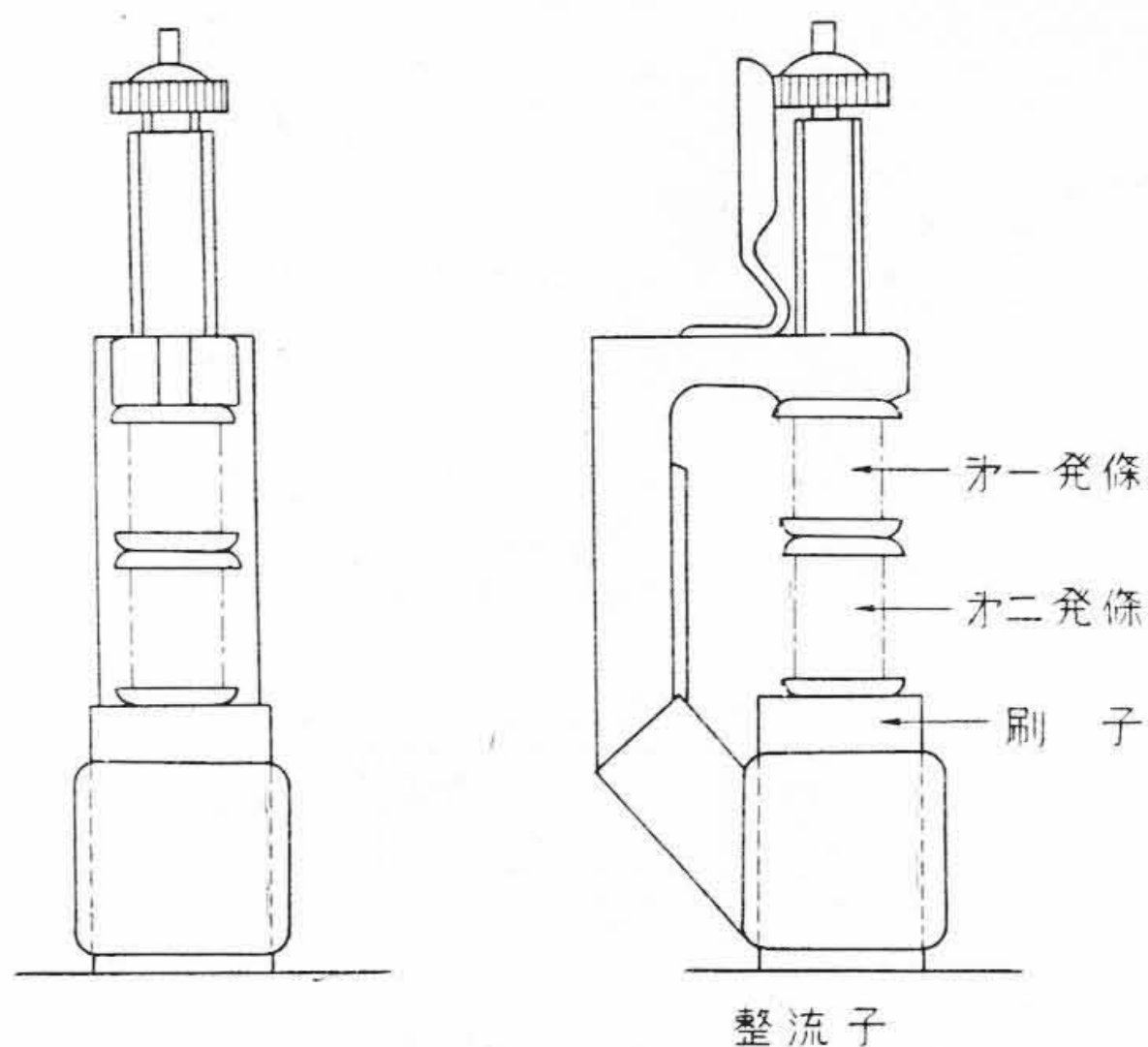
摺動中の刷子を加圧している場合の発条の振動数を知るために第7図に示したようにばね常数の異なる二つの発条をとりつけ実験を行つた。第1表に発条の仕様並びに実験結果を示し、第8図はこの場合のオシログラムである。

第1表中の f_1 の計算値は発条の質量 m を考慮した次式^{(6)a}より求めた。

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3k}{m}} \dots \dots \dots (1)$$

但し k は発条のばね常数である。又 f_1 の実測値は発条の一端を固定し、他端を自由にして強制振動を起させた場合の共振周波数である。

第1表からわかる如く摺動中の刷子を加圧している二つの発条はそれぞれ独自の振動数で振動し、その振動数 f_2 は発条の質量を一定とすれば k と特定の関係がある。なお f_1 と f_2 とは一致せず一般に $f_1 < f_2$ の関係があり、又種々の圧縮発条に就いて測定した結果 f_2 は 100~500 ~前後のものが多かつた。又 f_1 と f_2 とが一致しないのは振動条件が異なるためではないかと考えられている。即ち f_1 は一端固定、他端自由の場合の振動数で、又 f_2 は両端固定に近い状態で振動しているためではないかと推定される。今両端固定と仮定し振幅が中央から両固定端に向い直線的に減少する自由振動を考えると次式のようなになる。



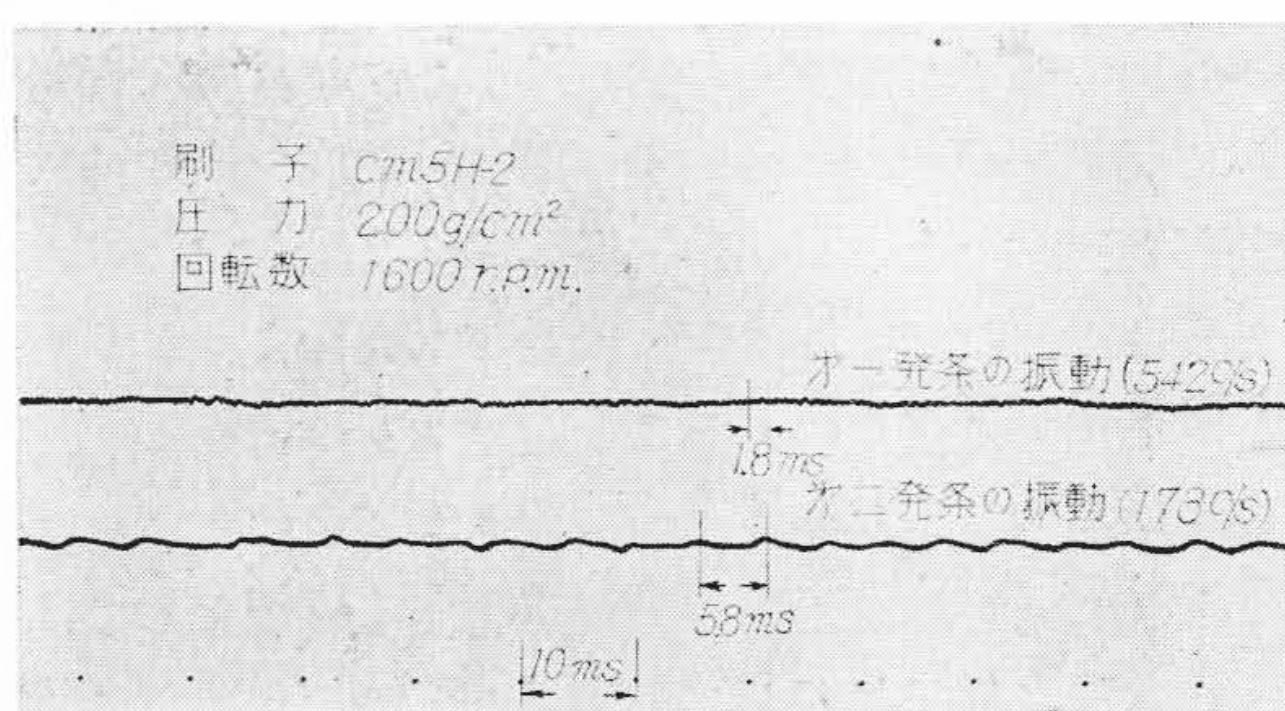
第7図 圧縮発条型刷子保持器
Fig. 7. Compressive Spring-Type Brush Holder

第1表 発条の仕様及び振動数

Table 1. Specification and Natural Frequency of Springs

項目 発条	ばね常数 k (kg/cm)	重量 (g)	$f_1 (\infty)$		$f_2 (\infty)$
			計算値	実測値	実測値
No. 1 (上)	6.0	6.40	265	270	542
No. 2 (下)	0.5	4.18	117	120	173

f_1 : 発条の一端固定、他端自由なる場合の振動数
 f_2 : 摺動中の刷子を加圧している場合の振動数

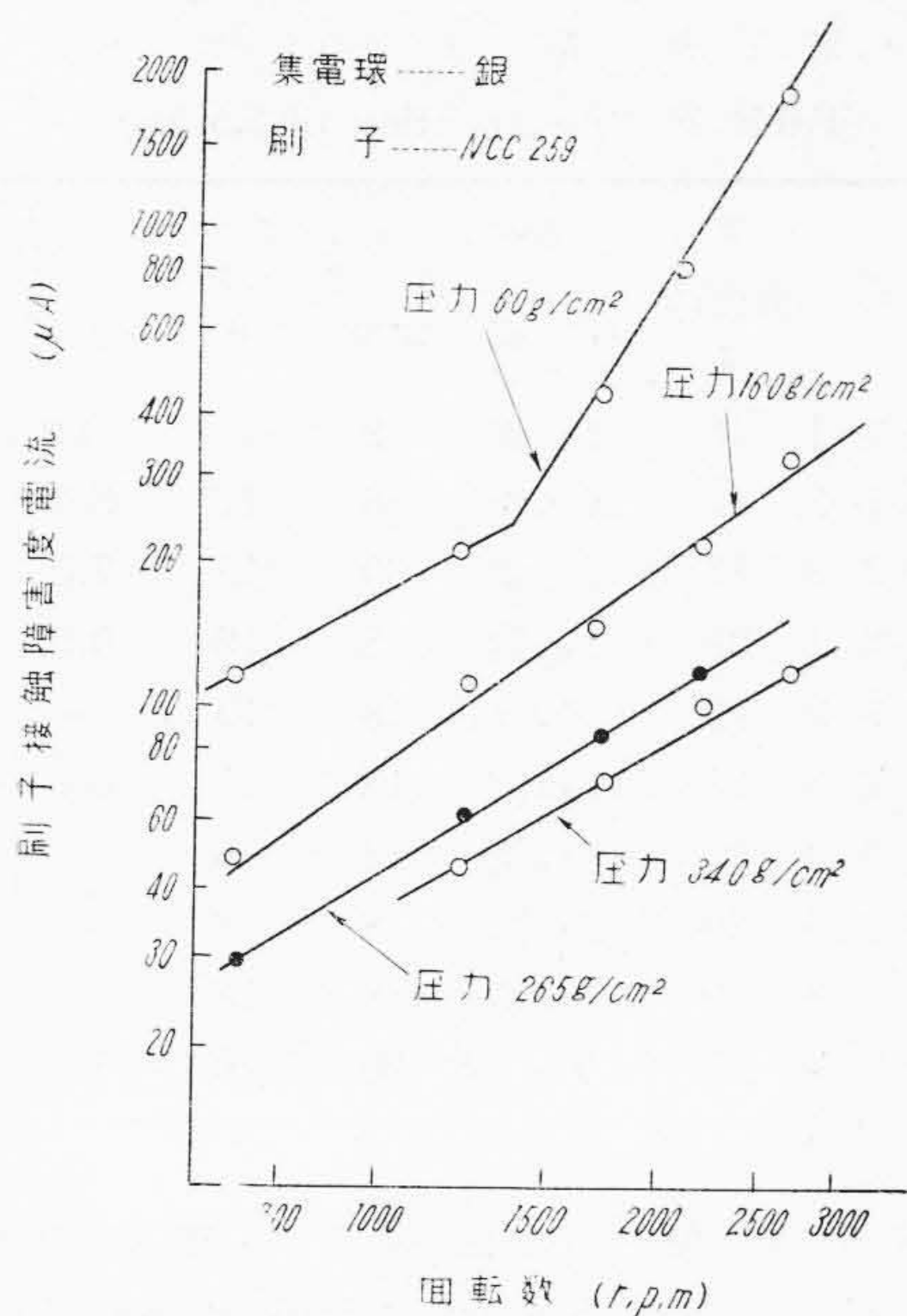


第8図 刷子摺動時に於ける発条の振動

Fig. 8. Oscillogram Showing Vibration of Spring when Brush in Sliding

$$f_2 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{12k}{m}} \dots \dots \dots (2)$$

(2) 式による f_2 の計算値は圧縮量が過小或いは過大でない限り、実測値と近似的に一致する。例えば第1表の No. 1 発条の f_2 は 521~, No. 2 の f_2 は 183~ となる。



第9図 刷子圧力を変えた場合に於ける回転数と刷子接触障害度との関係

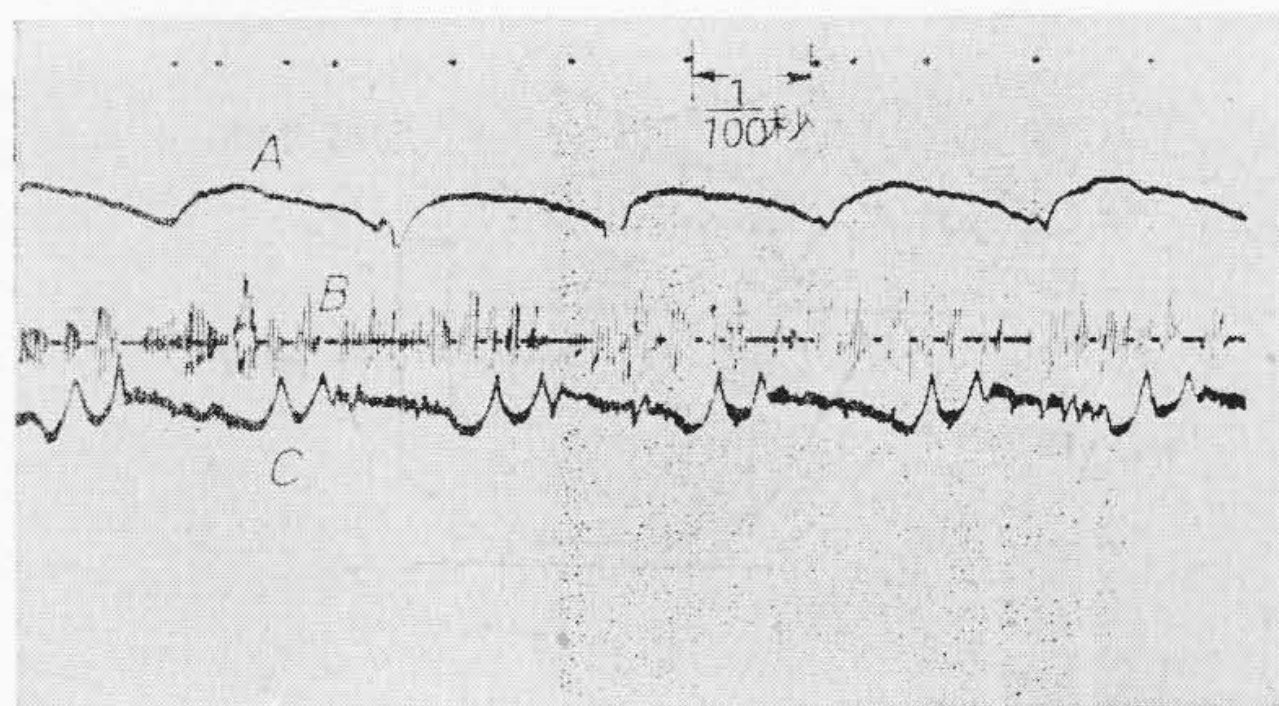
Fig. 9. Relation between Revolution Speed at Various Brush Pressure and Degree of Disturbance of Sliding Contact of Brush

(B) 共振

発条の振幅が増大する原因の一つとして共振が考えられる。即ち刷子を加圧している発条に対して、発条の固有振動数に近い周期的外力が刷子に作用すれば共振を起す可能性がある。特に機械的振動が大きい場合例えば電車の主電動機用刷子保持器の発条等には屢々共振の現象が認められる。走行中の電車で発条の振動及び刷子の摺動接触特性を実測した一例によると、或る刷子保持器では発条が共振を起し、その振幅が1 mm 前後に達したものがあつた。発条が共振したときは刷子の振動も増大し、摺動接触特性は非常に不安定になつた。

(C) 発条のばね圧力

摺動中の刷子を加圧している発条のばね圧力は大きい程、刷子の摺動接触特性は良好であることは一般に周知の事実である。第9図は発条のばね圧力と刷子の摺動接触特性（接触障害度）との関係を示すもので、ばね圧力が大きい程刷子の摺動接触特性が良好になつている。同図からわかるように、ばね圧力が60 g/cm² の場合には1,400 r.p.m. 附近より急激に接触障害度が増大し、摺動接触特性は不安定になつている。これは最初与えられたばね圧力が小さいと発条の振幅増大（回転数の上昇による）によるばね圧力の変動が或る程度以上大きくなると刷子の摺動接触特性が不安定になることを示すものである。第10図は発条の振動振幅と刷子の摺動接触特性との



第10図 発条の振幅増大による刷子の振動及び摺動接触特性

(A) 刷子振動 (B) 接触障害度
(C) 発条の振動

Fig. 10. Characteristic of Sliding Contact and Vibration of Brush Due to Abnormal Vibration of Spring

(a) Vibration of Brush, (B) Degree of Disturbance of Sliding Contact (C) Vibration of Spring

関係を示すもので、発条の振幅増大に応じて接触障害度が増大しているのが認められる。

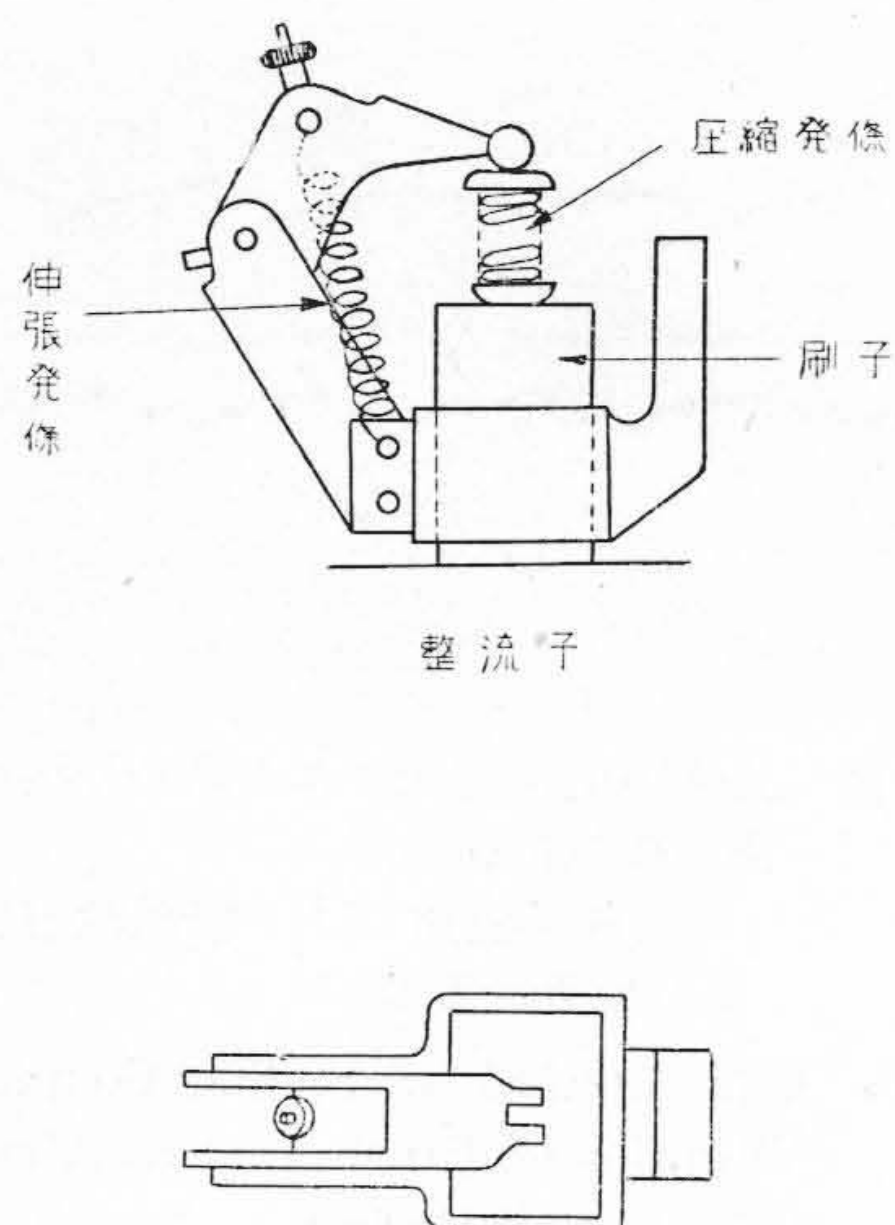
〔IV〕 発条の組合せ条件

(1) 発条の振動特性の改善

刷子を安定に摺動させるためには常に発条が一定な圧力で刷子を押えることが必要であるが、実際には前述のように、発条は振動し、ばね圧力は変動している。特にばね圧力が過小であつたり、或いは発条が共振した場合には振幅は増大し、ばね圧力は著しく変動する。これを避けるためには圧力を適当に調整すると共に発条の振動数が周期的外力の周波数に一致しないような値を選定すれ必要がある。しかし刷子に作用する振動は種々雑多の周波数を含み、且つ単式発条では所定のばね圧力を必要とする関係もあり、上記のような値を選定することは事実上困難な場合もある。次に考えられるのは防振ゴムのような緩衝体を用いて、ばね圧力の変動を軽減する方法である。ゴムを用いて刷子の摺動接触特性を改善した報告は文献にも見られ⁽⁷⁾⁽⁸⁾、又実際に実験した結果では、その運用方法さえ正しければ効果があることが認められた⁽⁹⁾。第三に考えられることは二つの発条を適当に組合せて制振する方法であつて、これは動制振器又は動吸振器と呼ばれている。この原理は一般の振動学書⁽⁶⁾に掲載されており、実際にも使用されている。保持器にもこの原理が応用され、その代表的のものとして複式発条型がある。以下この種保持器の発条組合せに就いて実験を行つた結果を報告する。

(2) 発条の組合せ条件

複式発条型保持器は第11図に示したように、伸張発条



第11図 複式発条型刷子保持器

Fig. 11. Double Spring-Type Brush Holder

と圧縮発条とを組合せて刷子を加圧する方式である。

然るに周知の如く、二つの自由度を持つ振動系では一般に二つの共振点があるが、共振時に於ける振幅は発条のばね常数、振動体の質量及び緩衝体の有無によつて影響される⁽⁶⁾。殊に発条のばね常数は共振点の移動及び共振時に於ける振幅に重要な影響を与える因子である⁽⁶⁾。したがつて複式発条型保持器に於ても発条の組合せを適当に選定することにより、特性を改善し得ることが想像出来る。この点に関し次の実験を行つた。

〔V〕 実験結果及び検討

(1) 供試発条

発条の組合せと刷子の摺動接触特性及び整流との関係を知るために、第2表及び第3表のような発条を試作し実験を行つた。

(2) 伸張発条のばね常数を変えた場合

第11図のような複式発条型保持器を用い、圧縮発条のばね常数は 1.5 kg/cm 刷子圧力 200 g/cm^2 一定とし、伸張発条のばね常数のみを第2表の如く変えて刷子の摺動接触特性（接触障害度）を測定した。その結果は第12図のようで、伸張発条のばね常数が小さい程、刷子の摺動接触特性は良好になつた。尚この傾向は回転数が高くなる程著しい。

(3) 圧縮発条のばね常数を変えた場合

伸張発条のばね常数を 6.6 kg/cm 、刷子圧力を 200 g/cm^2 一定にして、圧縮発条のばね常数を第2表のように変えた場合の刷子の摺動接触特性を測定した。その結果は第13図に示した通りで、ばね常数が 0.65 kg/cm 程度のとき刷子の摺動接触特性は最良となり、ばね常数がそ

第2表 発条の仕様

Table 2. Specification of Springs

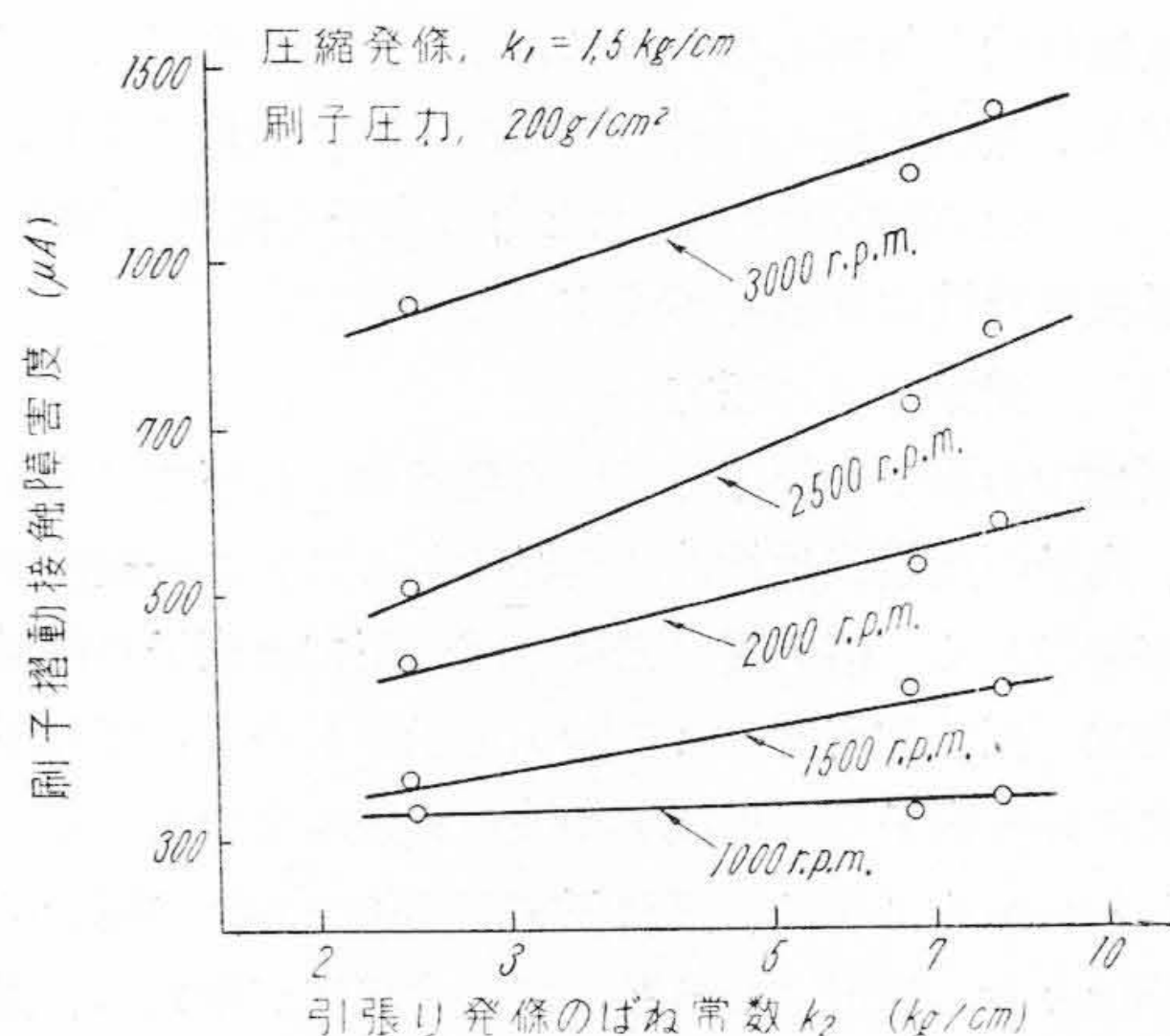
発条	素線		コイル長さ (mm)	有効巻数 (n)	ばね常数 (kg/cm)	
	BWG #	材質			設計値	実測値
伸張発条 1	18	ばね鋼	32	17	3.0	2.4
伸張発条 2	17	ばね鋼	36	17	5.0	6.6
伸張発条 3	17	ばね鋼	39	12	7.0	8.0
圧縮発条 1	22	ばね鋼	18	16	0.5	0.44
圧縮発条 2	22	ピアノ線	18	15	—	0.60
圧縮発条 3	21	ばね鋼	18	17	0.7	0.77
圧縮発条 4	20	ばね鋼	18	16	—	1.0
圧縮発条 5	20	ばね鋼	18	18	—	1.6
圧縮発条 6	19	ばね鋼	18	18	—	3.0
圧縮発条 7	21	ピアノ線	20	20	1.4	1.5

第3表 発条の仕様及び整流特性

Table 3. Specification of Springs and Commutating Characteristics

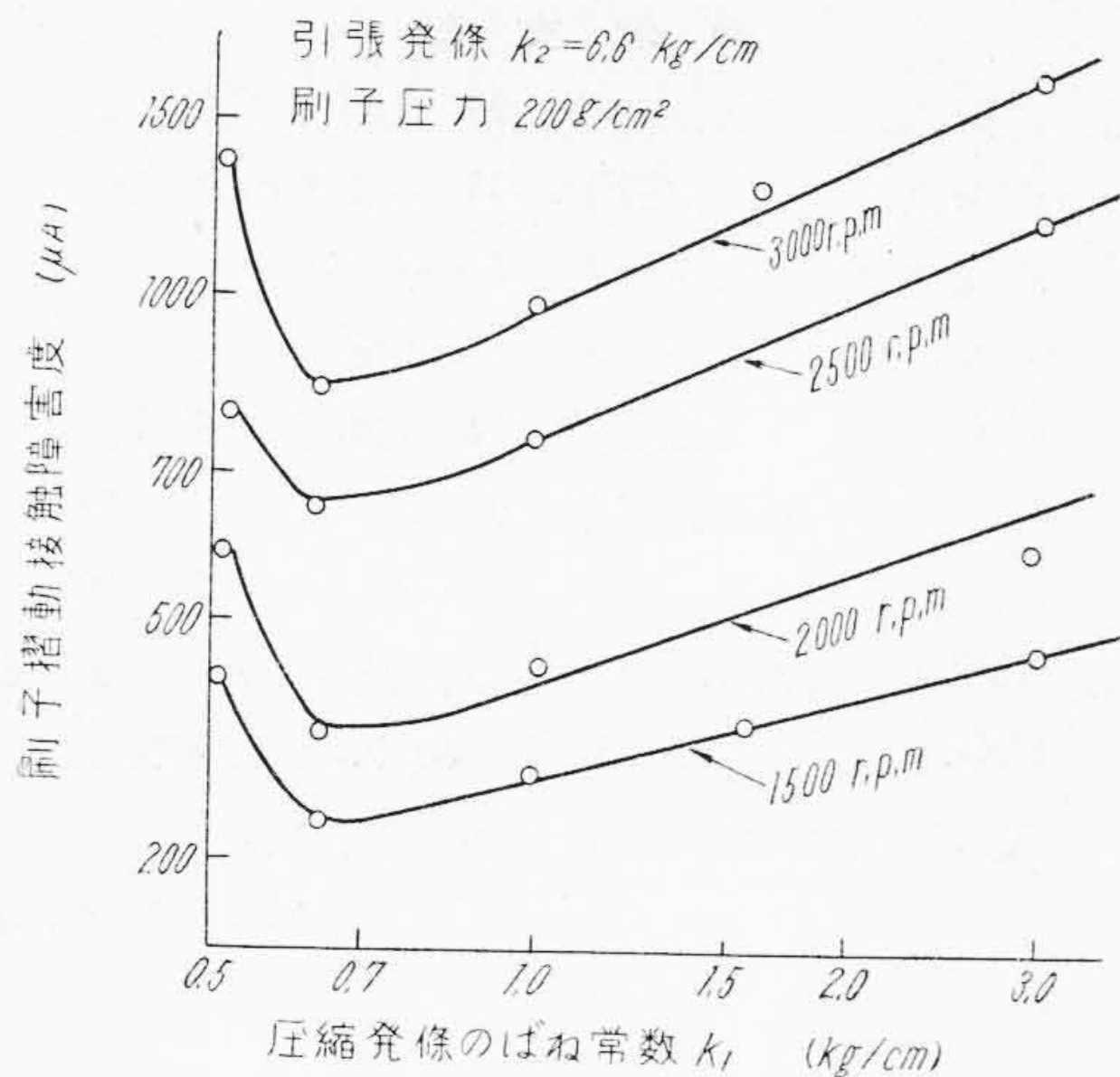
圧縮発条 No.	圧縮発条仕様			回転数 r.p.m.	整流特性 (整流帯の幅)	
	BWG #	素線材質	ばね常数 (kg/cm)		圧力350 g/cm ²	圧力220 g/cm ²
No. 1	22	ピアノ線	1.18	4,000	—	5.0
No. 2	22	ばね鋼	1.90	4,000	7.5	7.5
No. 3	20	ばね鋼	4.30	4,000	0.4	—
No. 4	18	ばね鋼	14.00	4,000	0.0	—
No. 5	17	ばね鋼	25.00	4,000	4.1	2.7

備考 整流特性として負荷 100% に於ける無火花整流帯の幅を示した（補極電流より換算）



第12図 引張り発条のばね常数と刷子摺動接触障害度との関係

Fig. 12. Relation between Spring Constant and Degree of Disturbance of Sliding Contact of Brush



第13図 圧縮発条のばね常数と刷子接触障害度との関係

Fig. 13. Relation between Spring Constant of Compressive Spring and Degree of Disturbance of Sliding Contact of Brush

れより小さくても大きくても接触障害度は増大している。

(4) 発条の組合せ条件と整流との関係

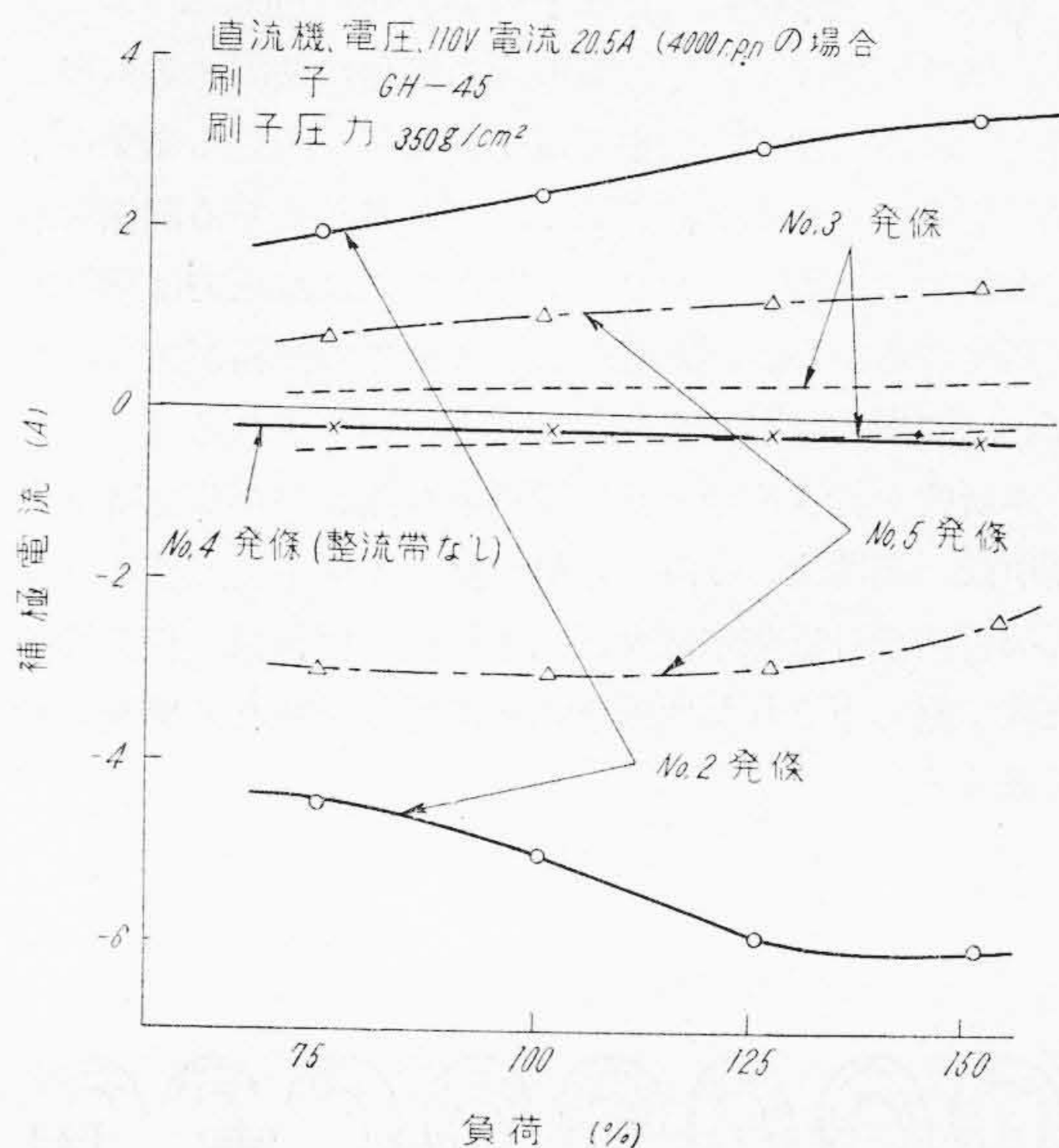
発条の組合せ条件によつて実際の直流機の整流特性は如何なる影響をうけるかに就いて実験を行つた。供試直流機の仕様は次の通りである。

種別 直流分巻電動機

出力.....	1 kW
電圧.....	110 V
電流.....	14.4~20.5 A
回転数.....	2,000~4,000 r.p.m.
刷子 (寸法)....	10×16×20 mm ³
材質.....	GH-45 (日立製)

保持器は複式発条型を用い、伸張発条はばね鋼 BWG #19, ばね常数 2.4 kg/cm を用い、圧縮発条は第3表のように5種類の発条を用いた。4,000 r.p.m. 実験の結果は第14図及び第3表に示したように、ばね常数の小さいNo. 2 及び No. 1 発条が良好であつた。又 No. 5 発条のように極端にばね常数が大きいものも整流特性が良好であるが、No. 2 及び No. 1 発条より特性が劣つてい。次に No. 3 発条の場合は急激に整流特性が悪くなつており、No. 4 発条の場合には無火花整流帯が存在していない。

尚ばね常数の大きい No. 5 発条の場合は刷子圧力 350 g/cm² の時はかなり良好で、220 g/cm² にすると急激に整流が悪くなつたが、No. 2 発条の場合は刷子圧力の変化に関係なく整流特性は良好であつた。



第14図 発条のばね常数と整流特性との関係

Fig. 14. Relation between Spring Constant and Commutating Characteristics

(5) 実験結果の検討

上記の実験結果によると、複式発条型刷子保持器に於て圧縮発条を一定にすると、伸張発条のばね常数が小さい程、刷子摺動接触特性は良好となる。又伸張発条を一定にした場合は、圧縮発条のばね常数には刷子摺動接触特性を最良ならしめる。特定の値があり、ばね常数がそれより大きくても小さくても摺動接触特性は悪化する。

次に 1 kW の直流電動機に就いて実験した結果によると、伸張発条を一定にした場合は、圧縮発条のばね常数が小さい間は整流は良好で、ばね常数が大きくなると整流は急激に悪化するが、ばね常数が更に大きくなると整流は再び少々改善される。

以上の結果は特定の機械に関する一実験例であるから、これをそのまま他の場合に当嵌めることは勿論危険であり、特にばね常数の数値は機械が変り刷子が変れば当然変る量であるから、前掲の実験数値も単なる参考例に過ぎないものである。

併し以上の結果から判明することは両発条のばね常数の選定が刷子摺動接触特性の良否、従つて整流性能に至大の影響をもつているということであり、複式発条型刷子保持器の長所を真に発揮するためには、その設計に当りこの点を慎重に検討する必要があるのである。

〔VI〕 結 言

刷子の振動を仮に上下振動と角的振動との二つに分け

て考えると上下振動は整流子の偏心その他によつて起り、角的振動は主として摩擦力の変化に基因するものと考えられる。次に摺動中の刷子を加圧している発条の下端の振動は大体正弦波に近く、ばね常数とある関係を持つ振動数で振動しており、したがつてばね圧力は周期的に変化するから、共振等によつて発条の振幅が大になれば、ばね圧力は不安定になることが推察される。

本研究を行うに当り終始御指導を賜つた日立研究所副所長三浦博士、今尾主任研究員一木係主任並びに日立工場電機設計部稲木部長、山本課長、甲賀係主任又終始実験に協力下された西沢清司氏に対し深甚なる感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 高橋、武政：日立評論 29 134 (昭 22. 12)
- (2) 武政、桑原：日立評論 33 9 (1951. 10)
- (3) 武政、桑原：炭素 3 15 (昭 27. 10)
- (4) 武政：炭素 3 (予定)
- (5) 稲木：日立評論 16 593 (昭 8. 12)
- (6) 松平：基礎振動学 a) 272 (昭 25. 12)
b) 145 (昭 25. 12)
- (7) XYZ生(尾河)：カーボン評論 4 77 (昭 11. 8)
- (8) H.G. Taylor：J.I.E.E. 68 1356 (1930. 10)
- (9) 武政：昭和 28 年電気三学会連合大会予稿
250 (昭 28. 5)



実用新案 第 400288 号

小 泉 富 士 夫

車 輛 用 主 幹 制 御 器 の 操 作 装 置

車輛の運転室は可及的圧縮して狭小に設計される。而も一般に車輛の主幹制御器は、必ず運転室内に設置され、操作軸に把手が直接取付けられているので、制御器の高さ及びその設置位置は区々であり、必ずしも運転手の疲労を最少にするようには設計されていない。

本案はこの点に鑑み、図面に示すように主幹制御器を横置し、又はこれを運転室以外の適当な空所に設置し、その操作軸を傘歯車及び自由接手等により連結された軸をもつて運転室内の任意の位置に導入し、操作把手を適当な位置及び高さに、適当な角度をもつて取付け得るようにしたものである。この構造によれば、運転手の疲労を十分考慮して、最少に止めるよう、把手位置を選定することができ、運転能率を向上することができ、又運転室の広さも何等支障を生ずることなく更に圧縮することも可能である。

(滑 川)

