直流機用刷子の振動と摺動特性

日立製作所・日立研究所 武 政 隆 一

Vibration of the Carbon-Brush for D. C Machine Characteristics of Its Sliding-Contact

By Takaichi Takemasa

Hitachi Laboratory, Hitachi, Ltd Abstract

This experimental study was executed for the purpose of studying the Characteristics of Carbon-brush and brush-holder.

In this experiment a model of commutator being used, Vibration of the brush in case of sliding contact and mechanism of the contact were investigated.

From results of this experiment following items were concluded:

(1) The vibration of brush being accompanied by the friction between brush and segment, consists of two components.

One being occurred by collision with segment directly, the other by forced vibration arising from rotating machine itself.

On the vibration by collision the vibration of brush itself being the most important subject, on the vibration by forced vibration the spring of holder is similarly.

(2) The Characteristics of vibration do not only depend on the material of brush, but also the vibration of external part considerably.

In addition to above, this report deals with a proposal of preventing the vibration.

要 旨

この実験的研究は炭素刷子と刷子保持器の特性を研究するためになされた。この実験には模型整流子が用いられ、摺動接觸時における刷子の振動及び接觸の機構が探究された。

実験の結果次の事項が結論された。

(1) 刷子の振動は刷子とセグメント間の摩擦に伴つて生ずるものであり、要素から成立つ、一方は直接セグメントとの衝突によつて起り、他方は回転機自體から生じた強制振動によつて起る。衝突による振動では、刷子自體の振動が最も重要な事柄であり、同様に強制振動による振動では保持器のバネが最も重要な事柄である。

(2) 刷子の振動の特性は刷子の材質に左右されるばかりでなく、外部の振動にもまた著しく左右される。

この報告では上記の振動防止の一案についても取り扱つてゐる。

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ことは極めて重要であるが、その振動は極めて複雑な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て摺動時における刷子の振動並びに摺動接觸特性について、実験を行つた。まず刷子の振動では直接整流子面より與えられる振動と回転機自體の振動によつて勵振される振動即ち外部よりの振動と摩擦振動の二つが考えられるが、これらの點について検討した。

II 実験装置及び方法

〔1〕 試験機 試験機は第1圖のようで直径200mm、幅85mm、セグメント數99箇を有する硬銅模擬整流子を直流分巻電動機(3HP)に直結し刷子を摺動させた。刷子の寸法は、 $12.5 \times 20 \times 35 \sim 40$ (mm) 或は $16 \times 25 \times 35 \sim 40$ (mm)、保持器は垂直型及び反動型(第12圖)又發條は何れもコ

第 1 図 実験装置略図

イル型を用いた。

〔2〕 実験方法

A. 振動測定⁽¹⁾⁽²⁾ 摺動時における刷子の振動は小振幅なので、測定器として光學的方法（鏡による反射光を用いる方法）及び電氣的方法（容量型振動計）を用いた。兩者共測定結果は大體一致しているので、本文では主として容量型振動計を用いて測定した結果について述べる。

容量型振動計は周知のように、測定せんとする振動體に電極板を對向させて、振動によつて生ずる容量變化を電流變化に變え、振動波形を測定する装置である。

B. 摺動接觸障害度測定⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾ 第1圖に示した試験機で、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増幅整流して電流計にその平均値を指示させ、摺動接觸の良否を數量的に表示させた。したがつて本文ではこの意味における摺動接觸

第 2 圖 摩擦振動測定用刷子和保持器

状態の良否を摺動接觸障害度 (R) で表すことにする。なおこの場合銅整流子では摺動接觸障害の他に、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 1000 R. P. M. 以上の高回転では、一應無視出來ることが判明しているので銅整流子を用いた。

C. 摩擦振動 第2圖のように摺動中の刷子は摩擦力のために傾き、刷子はA及びB點で壓接される。したがつてA點における刷子と保持器函との接觸抵抗の變化を測定すれば、間接的に摩擦振動が推定し得られる。本實驗では一定電流 20 mA に對する接觸電壓降下の時間による變化をオシログラフで撮影した。なお保持器函を構成している砲金は酸化皮膜が生成され易く、加壓力以外に溫度或は電流の大小によつて接觸抵抗が變化し易く不適當である。よつて酸化皮膜の生成が少く、安定な接觸特性を有する炭素板を保持器函の内部に貼り實驗を行つた。

Ⅱ 刷子の振動

〔1〕 振動波形の觀察

實驗1 電極板を支持臺に固定し、摺動時における刷子の振動を容量型振動計で測定したところ第3圖のようなオシログラムを得た。これを見ると1回轉を周期とする振動が基本波になり、これに 200~300 c/s 前後の低周波及び 2000~3000 c/s 前後の高周波が重疊され、極めて複雑な波形を示している。

實驗2 刷子を摺動させない場合の保持器自體

第 3 圖 刷子の振動波形

の振動を前述の方法により測定した所、第4図のような波形を得た。この振動波形も1回転を周期とする振動が基本波になり、更にその上に数百サイクルの振動が重疊されている。なお 900 R. P. M. の場合には高次振動があらわれていないが、これは計器の感度を落して測定したためである。

実験3 電極板を保持器に固定して刷子の振動を測定すると、電極板は回転機の振動によつて振動するので、測定される刷子の振動波形には回転機よりくる振動が除かれ、整流子面より與えられる振動のみがあらわれる筈である。第5図はこの場合における刷子の振動波形を示すもので、第3図の波形に比較して著しく波形が異つており、且

つ1回転を周期とする振動も著しく不明瞭になつている。

実験4 摺動時における刷子の振動と摺動接触特性(接触障害度を測定)との関係を知るために、振動及び接触障害度をオシログラフにより同時に撮影した。第6図は、この場合の振動波形で、同圖(上)は無電流の場合で、大體、350 c/s 前後の振動が明瞭にあらわれている。又同圖(下)は刷子に1 Aの電流を流した場合であつて、大體刷子の火花は刷子の振動振幅が大になつた時に発生している。(勿論多少の位相差はある)刷子の振動数は大體 3400 c/s 前後であるが、接触障害度電流の周波数も 3400 c/s 前後でよく一致している。

〔2〕考 察

刷子の振動波形を観察すると雑多の周波数を有する振動が含まれており、簡単に解析することは困難である。

電極板を保持器に固定した場合の刷子振動波形〔第5圖(上)〕と保持器自體の振動波形〔第4圖(上)〕について、フーリエ級数の計算により第11次高調波まで波形分析を行つた。その結果1回転

を周期とする基本振動波(53 c/s)は第5圖(上)では著しく小さく、第4圖(上)では明瞭にあらわれていた。これは前述せるように、刷子及び電極板が回転機による振動のために同一運動をするために除かれた結果である。かく考えると第5次(265 c/s)、第7次(371 c/s)及び第11次(583 c/s)高調波が第4圖(上)で大きく、第5圖(上)で小さくなつてゐるのは、回転機自體の振動であることが推察される。又これと反對に第3次(157 c/s)及び第4次(212 c/s)高周波は第4圖(上)よりも第5圖(上)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ことを示すもので、恐らく發條が選擇共振を起

したものであろう⁽¹⁾。なお摺動時における發條の振動数は 100~300 c/s 前後である。

次に摺動中の刷子は整流子の溝を通過する毎に振動することが考えられるので、セグメントに關係する振動を調査した所大體 1000 R. P. M 以下の低速度回轉では明瞭に認められた。しかし 3000 R. P. M 前後の高回轉になると、セグメントによる振動の周波数も 5000 c/s 前後になるので明瞭に認められなかつた。

刷子の振動と摺動接觸特性との關係については第 6 圖に示したように 3000 c/s 前後の振動が摺動接觸特性に惡影響を與える。この外刷子の摩擦振動も考えられるが、これについては、後述する。何れにしても實驗 4 によつて刷子の振動と摺動接觸特性との間に重要な關係があることは明らかである⁽¹⁾。一方刷子の振動と刷子材質との間にも極めて密接なる關係がある。即ち刷子の摺動接觸特性は刷子材の彈性係數 E 及び粘性係數 ξ に關係し、 $\xi/\sqrt{E}$ が大きい程良好であるこれに關しては、日立評論第 29 卷 5 號に詳述した⁴⁾。

IV 刷子の摩擦振動

[1] 實驗結果

(A) 垂直型保持器を用いた場合

實驗 5 無電流及び通電せる状態で刷子を模擬整流子表面を摺動させ、刷子材質及び回轉數を變えた場合の摩擦振動波形をオシログラフにより撮影した。第 7 圖は無電流の状態で、NCC SA-45 刷子を摺動させ、回轉數を種々變えた場合の摩擦振動波形である。この外 GH-45 をはじめ内外定評ある刷子を用い實驗を行つたが、SA-45 刷子と同じく摩擦振動が認められ、回轉數が上昇する程摩擦振動は増大した。次に通電せる状態で前述と同一方法により摩擦振動を測定し、更に摺動接觸障害度を求めた。第 8 圖は日立刷子 GH-235 のオシログラムであつて、セグメントに關係する振動數（以下セグメント振動と呼ぶ）が明瞭にあらわれている。

(B) 刷子に取り付角度をつけた場合

實驗 6 刷子の取り付角度を trailing（第 14 圖参照）にして角度を 15°、20° 及び 25° に變えた場合の刷子接觸障害度を測定した。但し頂面角は 0° 一定とした。この場合の接觸障害度は第 9

圖に示せる如く取り付角度 20° の時最小になり、摺動接觸特性は最も良好であつた。又この場合の摩擦振動も測定したが、取り付角度が大きくなる程、摩擦振動は減少した。第 10 圖は取り付角度 25° の場合であるが、同轉數 2000 R. P. M の場合(同圖上)には殆ど摩擦振動はなく、3000 R. P. の場合(同圖下)には若干摩擦振動は認められ、1 回轉に 1 回火花を發生している。

第 9 圖 刷子の取り付角度 (trailing) と摺動接觸障害度との關係

第 10 圖 Trailing 25° の場合における刷子の摩擦振動と摺動接觸障害度電流

實驗 7 刷子の取り付角度を leading (第15圖参照) 25° にした場合の摩擦振動を測定した。その結果は第 11 圖のようで、trailing 25° の場合に比較してかなり摩擦振動が大きい。しかるに第 12 圖の如く發條固定板と發條との間にゴム板(白

第 11 圖 Leading 25° の場合における刷子の摩擦振動と摺動接觸障害度電流

第 12 圖 防振用ゴムを用いた反動形保持器

觸特性は最良になるわけである。本実験の結果は取り付角度 20° の場合に相當する。

刷子の取り付角度を **leading** にした場合の力の平衡圖は第 15 圖に示すようで、 P_2 と P_3 とが

第 15 圖 **Leading** の場合における力の平衡圖

相等しい時に平衡する。したがって上下振動に對しては **trailing** の場合のように刷子は保持器面に壓接されないから、應動度は良好となる筈である。しかしその反面 P_3 が變動すれば摩擦振動は **trailing** の場合よりも起り易くなる。実験 6 及 7 びの結果では取り付角度 25° を一定にした場合、摩擦振動は **trailing** の場合よりも **leading** の場合の方が大きい。なお **leading** の場合は、**trailing** の場合よりも上下振動に對する應動度が良好なるにも拘らず、摺動接觸特性が劣るのは摩擦振動が大きいためである。したがって何等かの方法で摩擦振動を防止すれば摺動特性は改善し得られる筈である。

摩擦振動は前述せるように外部よりの振動により著しい影響をうけることが考えられ、又外部の振動は回轉機自體の振動並びに整流子面より與えられる振動の二つが考えられる。実験 7 では白色ゴム板を發條固定板と發條との間に挿入し實驗を行つた。これは回轉機自體の振動が保持器發條を通して刷子に傳達されるのを防ぐためである。その結果は豫期せる如く摩擦振動は減少し、刷子の摺動接觸特性は著しく改善され **trailing** 20° の場合でも 3000 R. P. M. の場合には無火花になし得なかつたが、この場合には無火花にすることが出来た⁽⁵⁾。

以上述べたように刷子の摺動接觸特性は外部よりの振動及び摩擦振動によつて著しい影響をうけるので、單に取り付角度のみによつて摩擦振動のみを防止しても刷子の摺動接觸特性を飛躍的に改

善することは極めて困難であることを知つた。又摩擦振動は十分に黒鉛化された刷子の場合でも發生し、しかも外部の振動によつて著しい影響をうけることが判つた。従つて刷子の摩擦振動をなるべく減少させるためには外部よりの振動を防止することが肝要であると同時に、振動の激しい回轉機に對しては摩擦係数の小なる刷子を用いることが望ましい。

V 結 言

直流機用刷子の振動について實驗を行つたが、その結果を要約すれば次の通りである。

刷子の振動には雑多の周波数を有する振動が重疊されその解析は困難である。その中で特に顯著に認められる振動は發條及びセグメントに關係する振動であつて、前者は 200~300 c/s、後者は低速度回轉では明瞭に認められるが、高速度になると不明瞭になる。刷子の摺動接觸特性に著しき悪影響を與える振動数は 3000 c/s 前後である。又刷子の振動は整流子面ばかりでなく、回轉機自體の機械的振動によつて著しい影響をうける。

次に摺動時における刷子は十分に黒鉛化された材質でも摩擦振動を生じ、外部の振動によつて著しい影響をうける。従つて取り付角度を **trailing** にして摩擦振動を防止しても外部の振動を防振しない限り、刷子の振動接觸特性を飛躍的に改善することは困難である。**leading** にした場合には、**trailing** の場合の如く上下振動を阻害する恐れは少いが、摩擦振動の防止効果は少い。**leading** にして防振用ゴムで外部の振動を防振すると、著しく摩擦振動は減少し、摺動接觸特性も改善されることを實驗によつて確かめた。

本研究を行うに當り、終始御指導と御援助とを賜わつた當研究所副所長三浦博士、今尾主任研究員、一木係主任及び工場關係者並びに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 献

- (1) 武政：日立評論 33 No.5 1951
- (2) 武政，桑原：日立評論 33 No.10 1951
- (3) 武政，桑原：炭素 3 No.1 1952
- (4) 高橋，武政：日立評論 29 No.5 昭22.12
- (5) 武政：電氣三學會東京支部連合會講演豫稿 昭27.10
- (6) 稻木：日立評論 16 No.12 昭8
- (7) 一木：日立評論 30 No.6 1949