

# 直流機におけるブラシの接触安定度と無火花帯

The Relation Between Brush Contact Stability and Black Band of D. C. Machine

一 木 利 信\*  
Toshinobu Ichiki

## 内 容 梗 概

直流機の整流状況を客観的に知るには整流曲線を測定すればよいが、しかしこれを測定するには特別のサーチコイルを必要とするため、一般の商用機では無火花帯を測定してることが整流状況を知る最もすぐれた方法とされている。

整流曲線と無火花帯の関連性を究明するならば、無火花帯をさらに有効に活用できるものと考えて本研究を行なった。その結果次のことが明らかとなった。すなわち、

- (1) 整流に最も影響する因子は接触抵抗でなく、ブラシの接触安定度である。
- (2) 適度の研摩性と潤滑性のあるブラシの無火花帯は広く、かつ時間的变化が小さい。
- (3) 無火花帯の中心位置では直線整流でなく、整流終期の  $di/dt$  は零となる。

## 1. 緒 言

直流機を満足に運転するうえで最も重要な問題の一つはいかにして良好な整流を得るかということである。しかし、整流は非常に多くの要素によって影響されるため、その実態を知るには相当の困難がある。現在のところでは、整流状況を知る最も実際的でかつ良い方法は補極強度を変えて無火花整流の範囲を求めるといわれる無火花帯法と整流子とブラシの間の接触電圧降下を接触面の円周方向に測定点を移動して測定する方法であり、各国ともこれらの方法を採用している<sup>(1)~(3)</sup>。しかし、これらの方法では整流状況を直接知ることはできない。整流状況を最も客観的に知る方法は整流曲線を観測することであるが、これを行なうためには特別のサーチコイルを必要とするため、商用機でこれを観測することはできない。商用機で整流状況を知る最も実際的な方法は何といても無火花帯法であるので、整流曲線と無火花帯の関係を明確にしておくことが必要であり、両者の関係が明確になれば、整流曲線を測定しなくても無火花帯を測定することによって整流状況の適正な判断ができ、補極の調整、ブラシの選定にきわめて都合である。かかる見地から整流曲線からみた無火花帯について考察したのが本文である。

筆者はさきにブラシの弾性率および粘性係数が整流に影響することを明らかにしたが<sup>(4)~(6)</sup>、本研究の結果整流子表面に付着するブラシ摩耗粉末はブラシの座乗性を悪くするものであり、安定な接触が良好な整流を行なう第一条件であることを明らかにした。

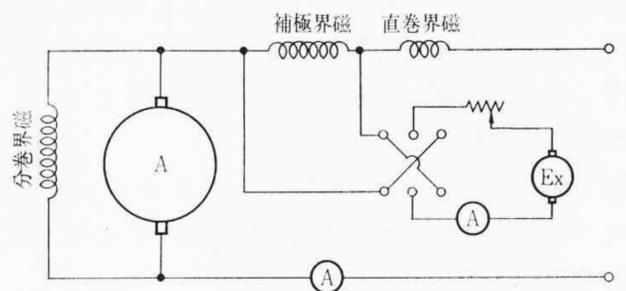
## 2. 無火花帯および整流曲線の測定法

### 2.1 無火花帯測定法

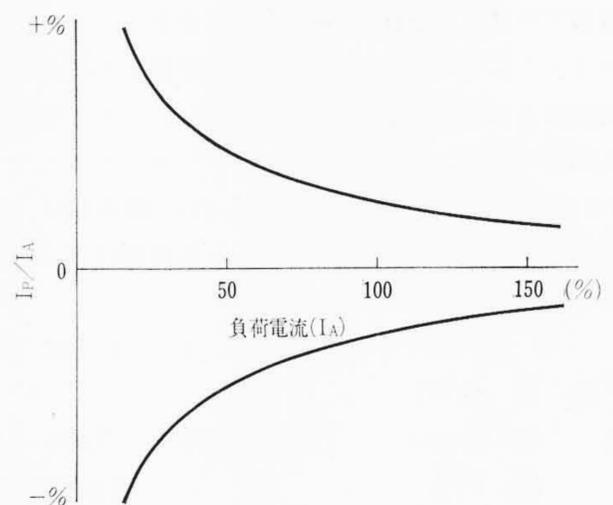
不足整流であるかあるいは過整流であるかを知るために、整流子とブラシの間の接触電圧降下を測定する方法が用いられるが、この方法は定量的な整流判断に対しては大きな誤差を持っているため、補極強度を変えて不足整流であるか過整流であるかを確認し、全負荷範囲にわたって整流の良否を求めるといわれる無火花帯法が一般に用いられている。

第1図に無火花帯を求める測定回路を示す。十分ブラシのすり合せ運転を行なった後、一定負荷電流の下で徐々に補極を加励磁して火花の発生する限界を求め、次に減磁した場合の火花の発生限界を求める。これを各負荷電流に対して求め、横軸に負荷電流 ( $I_A$ )、縦軸に負荷電流に対する補極添加電流 ( $I_P$ ) の比 ( $I_P/I_A$ ) をとって図示すれば第2図のような曲線帯が得られる。この曲線の帯域内では無

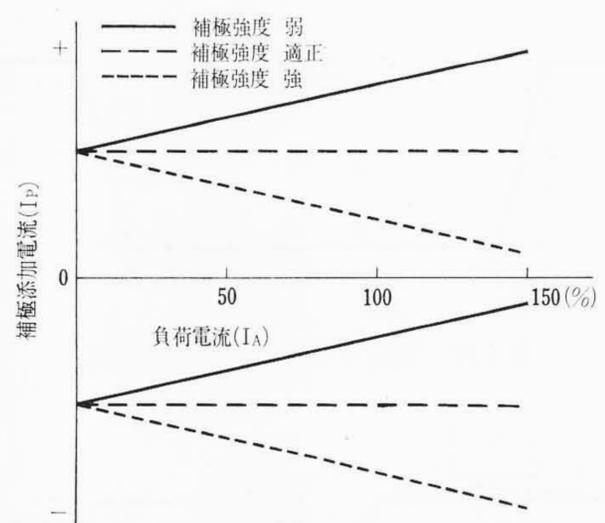
\* 日立製作所日立研究所 工博



第1図 結線図



第2図 無火花帯説明図(1)



第3図 無火花帯説明図(2)

火花であることから、この曲線帯を無火花帯あるいは Black Band と呼んでいる。第2図の縦軸を  $I_P/I_A$  でなく、補極添加電流 ( $I_P$ ) で示せば、無火花帯は第3図のような直線で表わされる。直流機の整

流性能を比較する場合には第2図のような表示方法がよく、また補極の調整を行ったり、あるいは同一機でブラシの整流性能の比較試験を行なう場合には第3図のような表示方法が便利である。

無火花帯を測定する場合には、まず無負荷における無火花の限界を求め、順次負荷を増した場合の無火花の限界を求める。この場合補極強度は無火花帯の中心位置から徐々に変え、火花が発生したら直ちに加励磁あるいは減磁するのを止め、補極強度が無火花帯の中心位置になるように補極強度を調整し、この状態で1~2分運転した後再び測定を行なうようにすることが必要である。

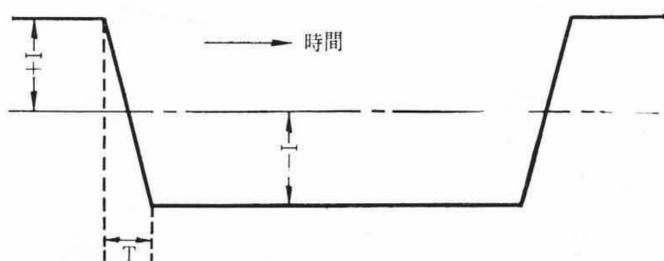
任意の負荷における無火花帯の限界を決定する際に観測者の判断を必要とする部分が若干ある。もし1個または2個のブラシにわずかに火花が出はじめ、その後添加励磁の電流を相当増してもこれらのブラシにひどい火花が出ず、またほかのブラシから通常の火花が出るようならば、最初に火花の出た1, 2個のブラシをあまり重要視せず無火花帯を決めたほうがよい。比較的少数のブラシに着目して無火花帯を求めた場合には、無火花限界を決めたときの各ブラシの火花状態を記録しておくことが必要である。時には無火花帯の存在しない場合があるが、このような場合でも、補極およびブラシ位置の調整のために無火花帯と類似の最小火花帯（最小火花の限界を示す帯域をこのように呼ぶことにする）を求めるとよい。

### 2.2 整流曲線の測定

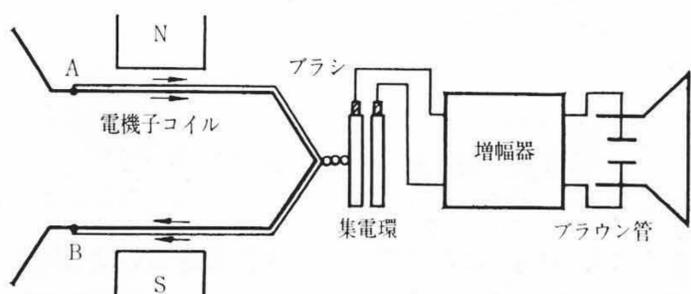
整流曲線を測定するためには特別のサーチコイルを必要とするが、これについてはすでに本誌<sup>(7)</sup>で詳細に述べたので、ここではその概要だけを述べる。

直流機の任意の電機子コイルを流れる電流は、第4図に示すように交番し、そのコイルがブラシによって短絡されている期間、すなわち整流周期 $T$ の間に $+I$ から $-I$ まで急変する。この電流変化は第5図に示すようにそのコイル内の抵抗電圧降下から得られる。現在は測定装置および測定技術が著しく発達したので、整流曲線を求めることは困難でない。実験には特別のサーチコイルをそう入した110 kW および5 kW 整流試験機を使用した。第6図は110 kW 試験機の外観を示す。なお、供試機のおもなる仕様は次のとおりである。

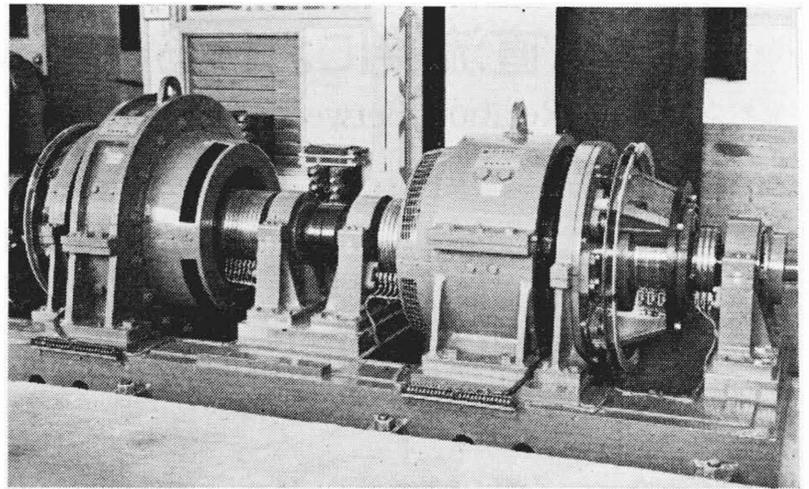
	供試機 1	供試機 2
定格出力 (kW)	110	5
回転数 (rpm)	1,500~3,000	3,000~4,500
電圧 (V)	220	最大連続 100V
電流 (A)	500	最大連続 167A
極数	4	4



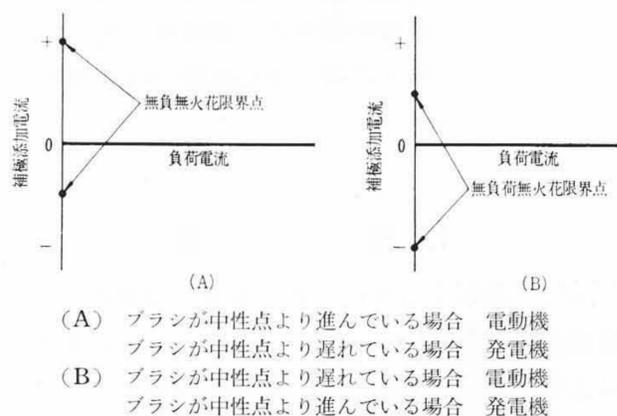
第4図 電機子コイルに流れる電流



第5図 整流曲線測定法



第6図 110 kW 整流試験機



第7図 無火花帯の無負荷点に及ぼすブラシ位置の影響

### 3. 無火花帯の意義

#### 3.1 ブラシ位置

ブラシが中性点にある場合には、無負荷において火花が出はじめるときの補極に流す加励磁および減磁の電流の値は等しいが、ブラシが中性点より移動している場合には第7図に示すように無火花限界点は横軸に対して対称でない。たとえば電動機で、ブラシが中性点より進んでいる場合と、発電機でブラシが中性点より遅れている場合には(A)のようになり、またこれと逆の場合には(B)のようになる。

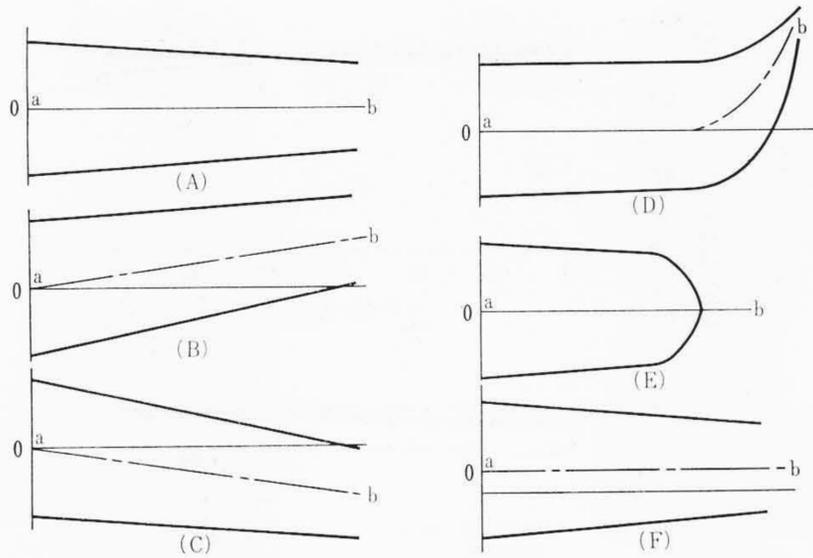
#### 3.2 補極強度

第3図において破線はブラシが電気的中性点にあり、かつ補極強度は適正の場合で、このようなときには無火花限界を示す直線は横軸に対して対称となるが、補極強度が弱過ぎたり、あるいは強過ぎると実線および点線のように傾斜する。実線は補極強度が弱過ぎる場合で、このような場合には補極の巻数を増すかあるいは補極の根元のところの非磁性ライナを磁性ライナと交換する必要がある。図の点線は補極強度が強過ぎる場合で、このときは補極電流を適当に分流するか、または補極根元の磁性ライナを非磁性ライナと交換する必要がある。

#### 3.3 無火花帯の形状

軽負荷および全負荷において無火花帯が広いと整流子皮膜の変化やブラシの座乗条件の変化などが起こっても整流の困難になることがなく、また過渡負荷で補極磁束が磁路のヒステリシスやうず電流によって電機子電流よりおくれる場合にも火花を発生しない。

無火花帯の形状は機械の構造（主として主極および補極の形状ならびに相対的位置関係）、ブラシ材質、整流子表面皮膜の状態、ブラシの座乗条件などによっていろいろ変わるためにこれを一律に論ずる訳にはゆかないが、大ざっぱにみて第8図のように大別できよう。図の(A)はブラシ位置、補極強度が適正の理想的無火花帯であり、(B)および(C)はそれぞれ補極強度が弱過ぎる場合と強過ぎる場合である。(D)は補極回路が飽和した場合あるいは重負荷におい



第8図 整流曲線の代表的形状

て磁束漏れの条件が変化する場合の無火花帯である。両者のいずれが原因であるかを確認するためには、補極の飽和曲線を実際の負荷の下で測定すればよい。この場合、補極磁束の測定にはホール素子を用いる。(E)はある負荷電流で急激に無火花帯が閉じる場合で、ブラシ材の粒子の結合が悪いとき<sup>(4)</sup>、あるいはブラシ材質が不適當であつたり、整流子面の凹凸、偏心のためにブラシがおどる場合によく見られる。(F)は補極強度は適正であるが、ブラシ位置が中性点よりずれている場合である。

整流リアクタンス電圧が補極磁束によって整流を受けているコイル中に誘起される起電力によって打ち消される場合には、整流を受けているコイル中の残留電圧は零となるが、整流リアクタンス電圧が完全に補償されないか、あるいは過補償の場合には両者の差電圧を生ずる。第8図で直線 a bは無火花帯の中心線で、これが残留電圧を表わしている。第8図(F)では残留電圧線は横軸から一定距離離れた平行線である。これは残留電圧が負荷によって変化しない主磁束によって生じていることを示す。

### 3.4 空げきの調整

無火花帯を測定した結果から補極空げき長を調整しなければならぬ場合には、次式によって修正すべき空げき長  $\delta_K$  を算出する。

$$\delta_K = \delta \frac{\theta_w - \theta_A}{K \theta_w - \theta_A} \quad (\text{mm}) \dots \dots \dots (1)$$

- ただし、  
 $\theta_w$ : 定格電流のときの補極アンペアターン (A)  
 $\theta_A, \frac{W_A I_A}{2 P 2 a}$ : 電機子アンペアターン (A)  
 $I_A$ : 電機子定格電流  
 $W_A$ : 電機子巻数  
 $2 P$ : 磁極数  
 $2 a$ : 並列電機子回路数  
 $K$ : 修正率

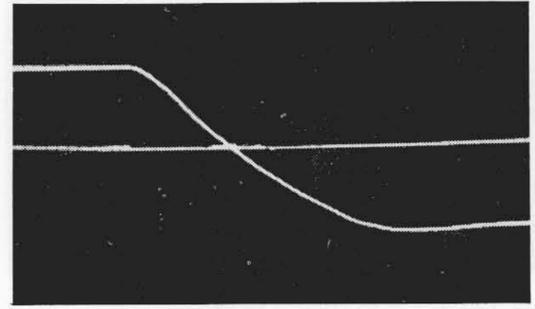
修正率  $K$  は、経験上  $1.2 > K > 0.8$  とされている。

### 4. 補極強度と整流曲線

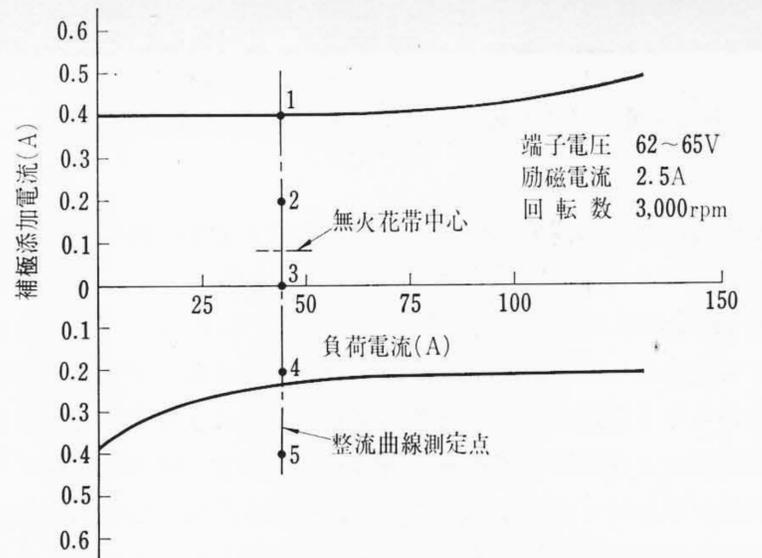
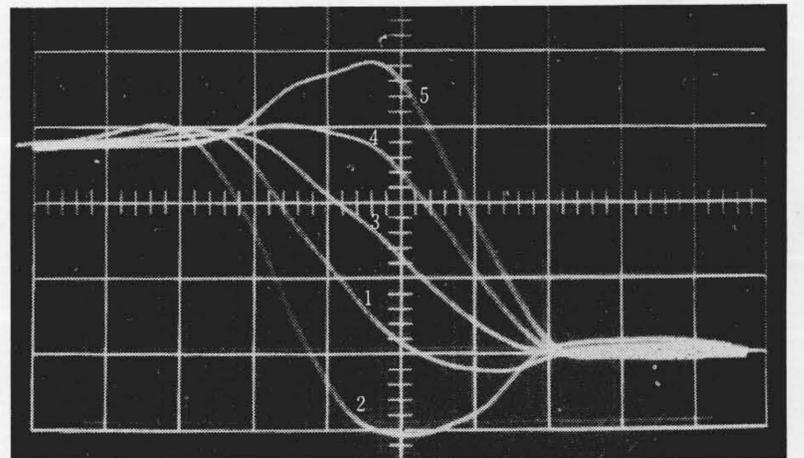
補極強度と整流曲線の形状の関係についての概念的なことはどんな参考書にも書かれているが、無火花帯との関連性からこれを明らかにしたものはない。

従来一般に直線整流が最もよいとされているが、Richter氏<sup>(7)</sup>は整流終期における電流変化が零 ( $di/dt=0$ ) の場合が最も整流のよいことを彼の著書で述べており、また服部氏<sup>(8)</sup>も整流曲線を実測した結果からこれを支持している。

筆者はさきは無火花帯の中心位置における整流曲線は直線とならず、第9図のような曲線となることを明らかにしたが<sup>(6)</sup>、今回無火花帯と整流曲線の関連性を明らかにするため、負荷電流を一定とし



第9図 無火花帯の中心位置における整流曲線



第10図 無火花帯から見た補極強度と整流曲線

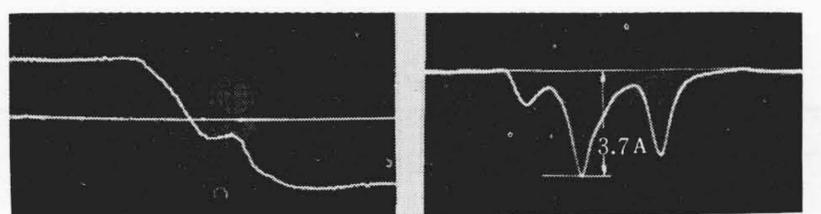
補極強度を変えた場合の整流曲線を測定し、無火花帯との対比を行なった。結果の一例を第10図に示す。図より明らかなように直線整流は補極強度が若干弱めの場合であり、無火花帯の中心位置すなわち補極強度の最も適正の場合にはやや進み整流となり、整流曲線は整流終期において  $di/dt=0$  の曲線(第9図参照)となる。

以上の結果より、従来一般に信じられている直線整流が最もよいという考えはこれを訂正する必要があるであろう。

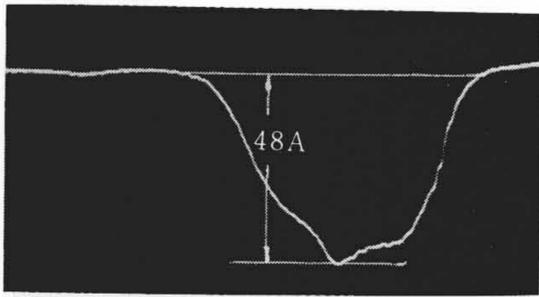
### 5. ブラシのおどりと整流

#### 5.1 ブラシのおどりと整流曲線

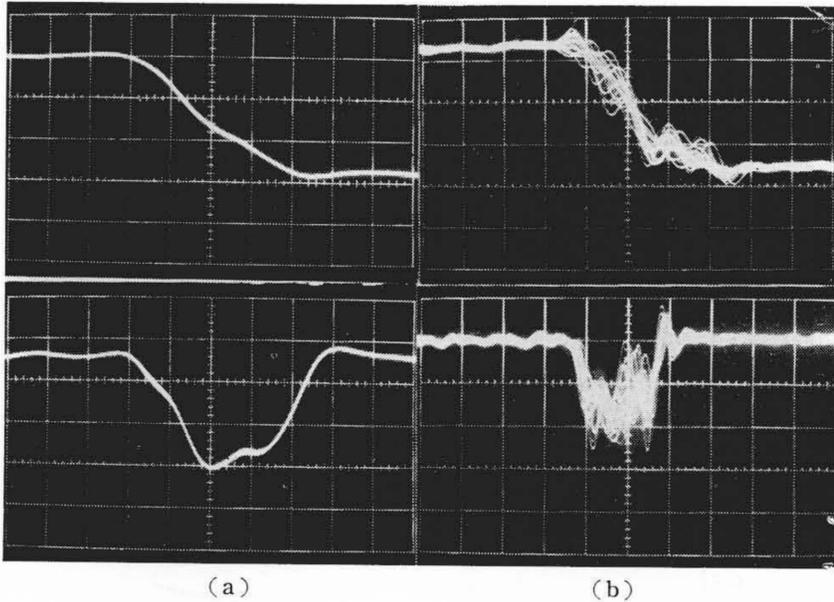
ブラシと整流子のしゅう動接触において、ブラシが安定な接触をしている場合には整流曲線はなめらかな曲線となるが、ブラシの安定が悪く、ブラシがおどる場合には整流曲線に段ができる。その一例を第11図(a)に示す。同図(b)は補極のみを励磁して短絡コイルに流れる電流を測定した結果である。ブラシが安定な接触をして



第11図 接触不良の場合の整流曲線(a)と短絡電流曲線(b)



第12図 接触良好な場合の短絡電流曲線



第13図 ブラシEおよびFの整流曲線と短絡電流曲線

いる場合には短絡電流曲線は第12図に示すように台形となる(第12図のブラシの整流曲線は第14図のブラシB)。

第11図の写真は単掃引で撮影したものであるが、カメラのシャッターを開放にして多数の整流曲線を重複撮影するとブラシの接触状態をいっそう明瞭に知ることができる。このような方法で撮影した整流曲線および短絡電流曲線を第13図に示す。同図(a)はブラシの接触がきわめて安定な場合で、重複撮影を行なったにもかかわらず整流曲線および短絡電流曲線は1本の曲線となっている。これに対して(b)はブラシの接触状態はきわめて悪く、ブラシは著しくおどっている場合である。一般にブラシがおどって整流曲線に段ができる場合でも整流子面を布で軽く拭くとブラシのおどりは一時的になくなり、整流曲線はなめらかになる。このようなことからブラシの摩耗粉が整流子面に付着した場合にはブラシの安定な接触が著しく阻害されることがわかる。

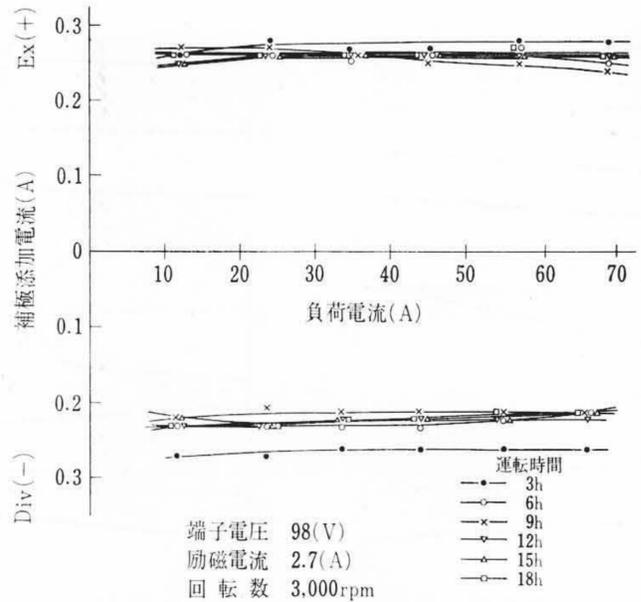
### 5.2 ブラシのおどりと無火花帯

A, B, C, D, E, Fの6種類の油煙系ブラシの無火花帯、整流曲線、短絡電流曲線および接触電圧降下を5kWおよび110kW整流試験機によって測定した。これらブラシの見掛比重、固有抵抗、弾性率、粘性係数などの物理特性はほぼ同一であるが、研磨性および潤滑性がそれぞれ違っている(第1表参照)。

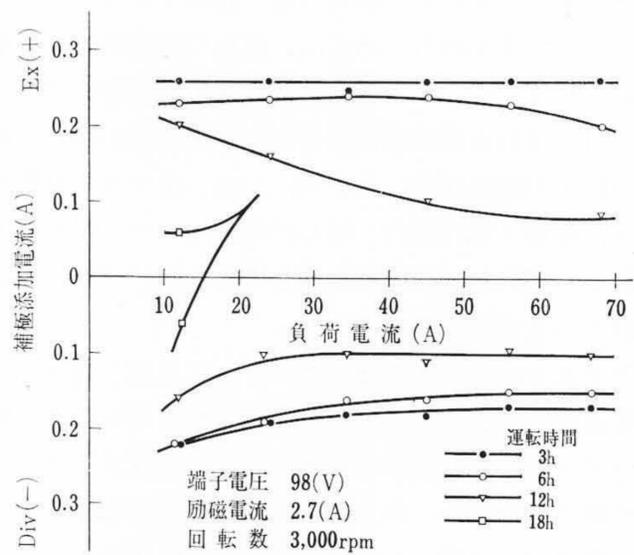
第14図および第15図はそれぞれブラシBおよびDの無火花帯の時間的変化の様態を、また第16図は供試ブラシの運転時間と接触電圧降下の関係を示す。第17図は補極強度を変えて撮影したブラシA, B, Cの整流曲線であり、第18図は15~18時間運転後の各ブラシの無火花帯である。これらの結果から直ちにわかることは接触電圧降下が低く、かつ潤滑性のあるブラシは接触が安定して

第1表 供試ブラシの性質

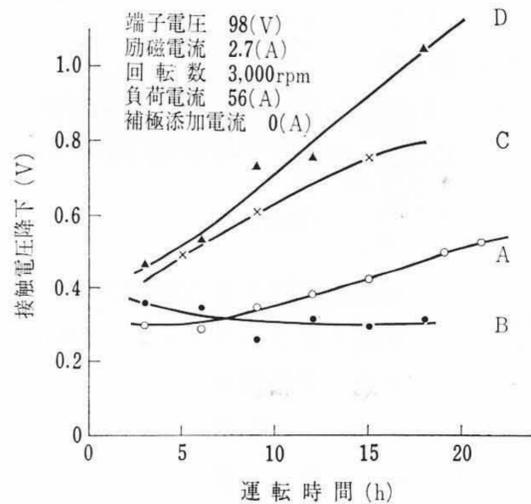
ブラシ	研磨性	潤滑性	ブラシ	研磨性	潤滑性
A	なし	小	D	なし	中
B	大	中	E	中	大
C	小	小	F	中	なし



第14図 ブラシBの無火花帯



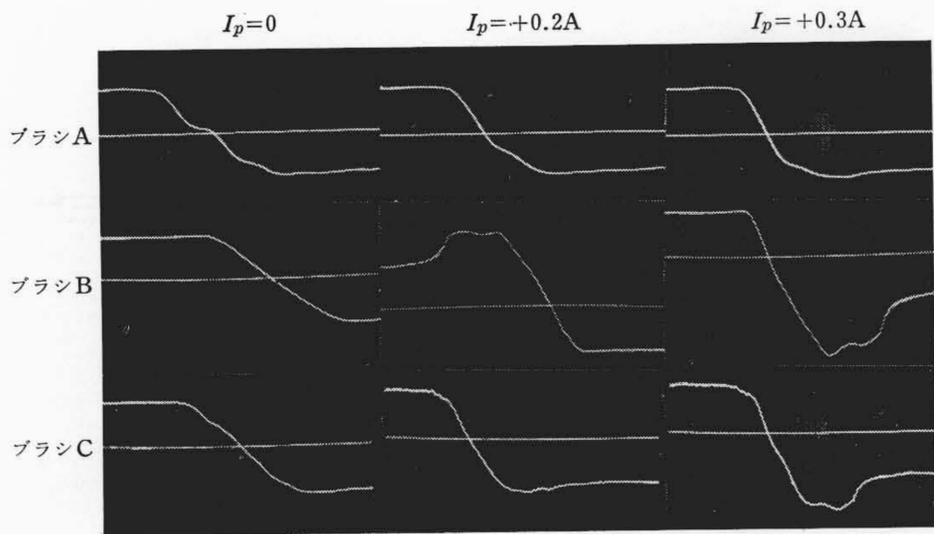
第15図 ブラシDの無火花帯



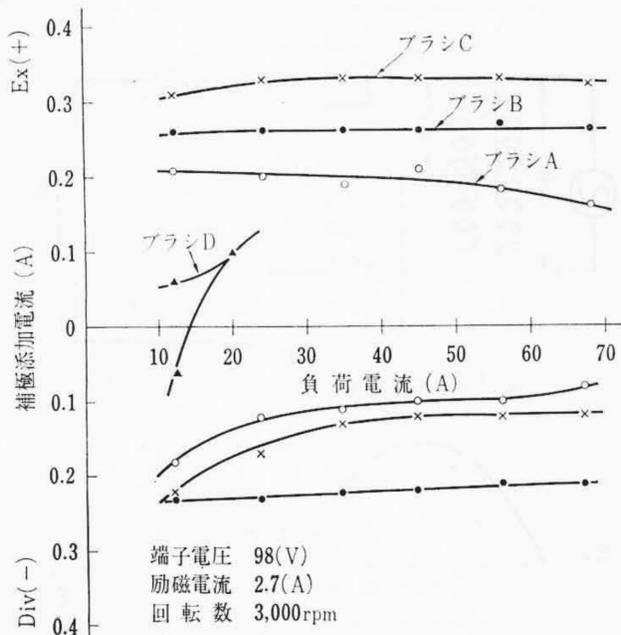
第16図 供試ブラシの接触電圧降下

無火花帯が広く、かつその時間的変化が非常に小さいが、接触抵抗が高くなるブラシほどブラシの安定が悪く、無火花帯も時間の経過とともに狭くなるということである。第16図からわかるようにブラシBの接触電圧降下は低く、そのため大きな短絡電流が流れるが(第12図および第17図参照)、ブラシの接触は安定で、無火花帯は広くかつ時間的変化がない。これに対して接触電圧降下が時間とともに著しく増大するブラシDは、ブラシの安定が悪く、無火花帯は運転時間の経過とともに著しく狭くなった。ブラシEはブラシBより研磨性が若干悪いので、接触電圧降下は運転時間とともに若干増大したが、潤滑性に富んでいるのでブラシの接触はきわめて安定で(第13図(a)参照)、無火花帯の時間的変化も非常に小さかった。

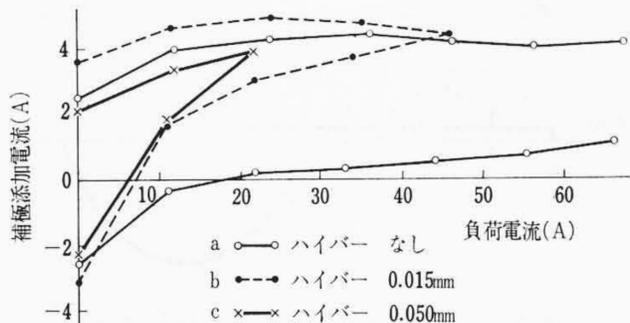
従来接触抵抗の高いブラシほど短絡電流が抑制され、整流が良好



第17図 補極強度を変えた場合のブラシA, B, Cの整流曲線



第18図 供試ブラシの無火花帯

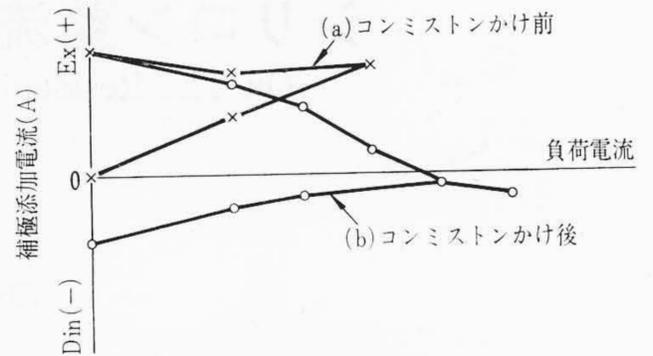


第19図 ハイパーと無火花帯の関係

だと考えられていた。しかし上述の結果より整流に最も影響する因子はブラシの接触安定度であることがわかる。またブラシの接触安定度は、機械的条件が同一であるならば、ブラシ摩耗粉末の整流子表面への付着が非常に影響し、研磨性の乏しいブラシは接触安定度が悪く、整流特性が悪いことがわかる。

### 5.3 整流子表面の凹凸と整流

これについてはすでに本誌で報告したので、ここには結果の一部を簡単に述べる。第19図はハイパーと無火花帯の関係を、第20図は整流子表面に凹凸があってブラシがおどったときの無火花帯と整



第20図 ストーンがけによる無火花帯の変化

流子にストーンがけして整流子表面を修正した場合の無火花帯を示す。第18図および第19図から明らかなように、整流子表面に凹凸があってブラシがおどる場合には無火花帯は著しく狭くなるのみでなく、弱め整流となる。これはブラシのおどりのため、接触抵抗が高くなるためである。

## 6. 結 言

以上の結果を要約すると次のとおりである。

- (1) 整流に最も影響する因子は接触抵抗でなく、ブラシの接触安定度である。
- (2) 研磨性の乏しいブラシでは、ブラシの摩耗粉末が整流子面に堆積していくため運転時間の経過とともに接触電圧降下は著しく増大し、またブラシの接触安定度が悪くなる。このようなブラシでは、短絡電流は抑制されるが、電流曲線に段あるいは脈動が現われ、無火花帯は著しく狭くなる。
- (3) ブラシの研磨性が大きく、かつ適度の潤滑性があれば接触電圧は非常に低く、かつ変化も小さく、また接触もきわめて良好で、無火花帯は広く、かつ時間的な変化もきわめて小さい。しかし、補極強度のわずかな過不足で大きな短絡電流が流れるので、研磨性があまり大き過ぎることは望ましいことではない。
- (4) 適度の研磨性と潤滑性のあることが最も望ましい条件である。
- (5) 無火花帯の中心位置では直線整流でなく、いくぶん過整流であり、整流終期の  $di/dt$  は零となり、これが最も望ましい整流条件である。

終わりに本研究に協力された石川、安田両君に対し厚く感謝の意を表す。

## 参 考 文 献

- (1) T. W. Schroeder, J. C. Aydelott: AIEE Trans., 60, 446~451 (1941)
- (2) D. Mikeleitis, H. Klötzler: Elektrische, 7, 257~261 (1961)
- (3) Max Zorn: Siemens Zeitschrift, 36, 407~413 (1962)
- (4) 一木: 日立評論論文集 (昭 24-9)
- (5) 一木: 日立評論 33, 1~12 (昭 26)
- (6) 一木, 田附, 西: 日立評論 27, 235 (昭 29)
- (7) Richter: Elektrische Maschinen, I
- (8) 服部: 日立評論 27, 235 (昭 19)