

整流用ブラシの動作不良の 原因と対策〔1〕

Correction of Unsatisfactory Brush Performance

一木利信*
Toshinobu Ichiki

1. 緒言

直流機におけるブラシはきわめて重要な役割を演ずるもので、人間でいうならば心臓のようなもので、その良否は機械の性能に直接重大な影響を及ぼすものである。したがって、良好な運転状態を保持するためには常にブラシの部分に対し深い関心を払うとともにこれを注意深く観察し、その保守点検に万全を期することが必要である。

ブラシは整流子と摺動接触によつて回転部分から静止部分に、あるいは静止部分から回転部分に電流を通ずると同時に整流を行うもので、一見はなほだ簡単なように見えるが、実はきわめて複雑なもので、直流機の事故の大半はブラシの部分にあるといつても過言でない。ブラシの動作不良の徴候はたいていブラシのところに火花として見られるため一般にその原因をブラシ不良として取り扱いがちで、事故の一次的原因を究明することなしにまずブラシの品種を替えてみようとする傾向がある。しかし、ブラシの動作不良の原因にはブラシの材質不良または品種選定の誤りのほか、周囲の大気の状態、負荷条件あるいは使用条件、運転上の取り扱い、機械の調整、機械の電氣的または機械的故障、保持器の不良など種々な原因があるから事故の原因がこれらのいずれに属するかをよく検討して見る必要がある。以下ブラシの動作不良の原因とその対策について述べるが、本文がこの方面にたずさわる人々にいくぶんなりとも参考になれば幸いである。

2. 整流子表面の不良原因と対策

2.1 整流子表面皮膜^{(1)~(5)}

ブラシと整流子が良好な摺動接触を行う場合には整流子表面にはチョコレート色の皮膜が生成されることはよく知られていることである。この皮膜は厚すぎてもまた薄すぎても良好な運転状態は保持できないので、常に整

流子面の状態をよく観察することが必要である。

整流子皮膜が厚くなると整流子面の色は若干黒味を帯びたチョコレート色となる。このような状態では(a)摩擦係数および接触電圧降下は低く、(b)ブラシおよび整流子の摩耗が少ない。しかし、整流子皮膜が厚すぎると(a)整流子の温度上昇が高く、(b)カパーピッキングおよび条痕が発生し、(c)ブラシ摩擦係数が高くなり、チャタリングを起し、(d)ブラシの摩耗が多く、(e)火花が発生し、整流子片の出口に焼損を生ずる。

整流子皮膜が薄い場合には整流子面の色は明るいチョコレート色となるがこのような状態では、(a)整流子温度は低く、(b)摩擦係数は低く、(c)ブラシの摩耗が比較的少なく、(d)ブラシの動作は円滑である。しかし整流子皮膜があまり薄すぎると(a)ブラシおよび整流子の摩耗が多く、(b)摩擦係数は高く、(c)整流子の保守が大変である。

2.2 整流子面の金属光沢

整流子表面が金属銅の色を呈する最も普通の原因としてはブラシの研磨性が強すぎる場合、ブラシ摺動面に著しく銅の付着する場合、大気が汚損している場合、平均電流密度が低すぎる場合などである。整流子面が金属光沢を呈する場合には前節に述べたように悪い結果が生じ、これを放置すると整流子面には円周方向に多数の溝ができる。空気が汚れている場合整流子表面の良好な皮膜の生成は妨げられるか、あるいはまったく生成が止つてしまう。このような場合にはすでに生成されていた皮膜も破壊することもある。このようなときには整流子表面上に電気黒鉛の皮膜を作る性質のブラシを使用すると良いことがしばしばある。電気黒鉛の皮膜は汚損した空気から整流子を十分保護し、整流子面の酸化皮膜の生成に役だつようである。電流密度が低すぎるために整流子面が金属光沢を呈する場合には平均電流密度を 6 A/cm^2 以上に上げると通常は改善される。尖頭負荷の電流を流すために全ブラシが必要な場合には良好な皮膜を生成する品種のブラシに取り替えることが望ましい。

* 日立製作所日立研究所 工博



2.3 整流子面の条痕

整流子面に円周方向の筋状の縞ができることがしばしばあるが、これが進行すると溝状の条となる。これらの条や溝のできる理由としては次の原因がある。

(A) ブラシ摺動面にマイカ片、銅あるいは塵埃そのほかの異物質がはいるために生ずる場合：もしマイカや銅が見られたならばマイカのまくれがあるか否かを調べる。またブラシの摺動面に銅が付着している場合には研磨の原因あるいは整流不良の形跡特にブラシ面の極部が高電流密度になつた形跡があるかを調べる。後者の現象が起る場合にはしばしばブラシの幅の方向にブラシ摺動面が曇つたり、焼跡が見られる。このような場合にはブラシ摺動面のその部分は非常な高電流密度になつていて、極端な場合にはブラシ摺動面に相当深いアバタを生ずる。このような現象の起るのは通常過整流あるいは不足整流に起因するものであるからブラシの位置を移動するかあるいは補極の強さを変えると直ることがしばしばある。

(B) ブラシ材質の不良の場合：ブラシ材質の研磨性が高すぎる場合には整流子面には縦縞ができるが、この場合には正負ブラシ面に銅が付着することが多い。このようなときには研磨性の少ないブラシを使用すればよい。

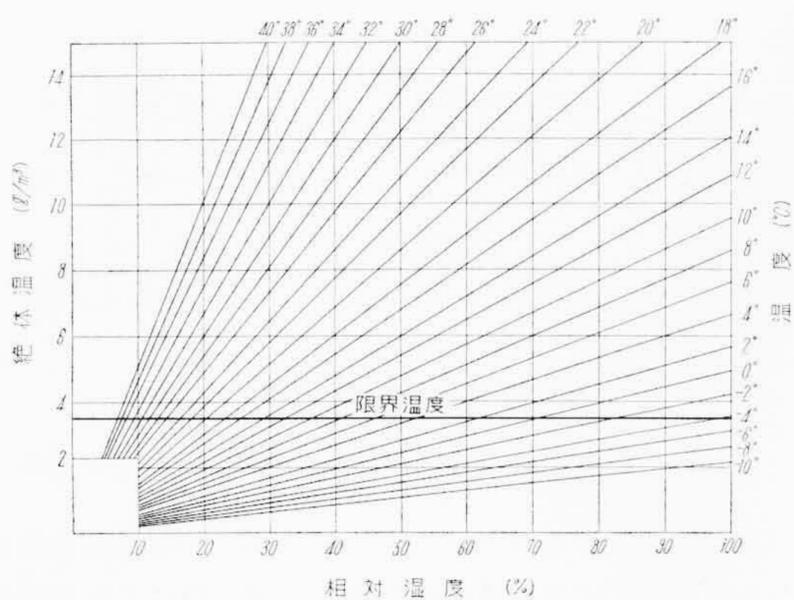
(C) ブラシの平均電流密度が低すぎる場合：ブラシの平均電流密度が低すぎる場合には整流子面に条が付くことがある。この現象は油煙系電気黒鉛ブラシを使用するとき起りやすい。この場合には毎極の刷子数を減らして電流密度を高くするか、整流子面に良好な皮膜を作る特性のブラシを使用すればよい（水車発電機の励磁機ではしばしば整流子面に条が付くが、この場合 GH-445 あるいは GH-125 を使用して良好な結果が得られている）。

(D) 有害な化学ガスの存在する場合：化学工場、コークス製造所などでは整流子に著しく溝ができる。硫酸、塩酸などの蒸気あるいは亜硫酸ガス、塩素ガス、アンモニアガスなどが存在する場合には整流子面に絶縁性皮膜ができる。この皮膜は普通の電気黒鉛ブラシの硬さでは除去されないため電流は放電によつて流れる。したがつて、電気放電によつて皮膜が破壊され、光沢銅色の条痕がつくと同時に銅がブラシ摺動面に付着する。このようになると電流の不均衡が起き条痕ははなはだしくなり、整流子面に深い溝ができる。上述のような有害なガスが存在し、しかも湿度が比較的高い場合には整流子表面に生成される水膜は著しく電解質となるため電解によつて正ブラシ（整流子からブラシに電流が流れる場合）への銅の析出は多量となり、

このため整流子面に深い溝状の条痕ができる。2.4ppm 程度のガスが存在しても良好な整流子皮膜の生成が妨げられるといわれている⁽⁶⁾くらいであるから化学工場における整流子の荒損をなくする根本的解決策は機械室のエアコンジショニングを行うことである。しかし、化学ガスの存在が比較的わずかな場合には組織が緻密でしかも研磨性のあるブラシを使用するか、ブラシ極性で異なつたブラシを使用すると効果的である。発電機の場合正ブラシに電気黒鉛質、負ブラシに天然黒鉛質を使用して非常に好成績をあげていることが報告されている。分割ブラシの場合にはブラシ出口側に電気黒鉛質を、入口側に黒鉛質を使用して良好な結果が得られた例が報告されている。

(E) 高湿度の場合：整流子とブラシが良好な摺動接触を行うためには空気中の湿度が低すぎても悪いが、また高すぎても悪い。湿度が高いと整流子表面には過剰な水膜が生成されるためこの水膜の電解によつて正ブラシに銅が析出し整流子面に溝状の条痕がつく。製紙工場とか蒸気を使用する場所において整流子面に溝状の条痕がつくのは上述の理由によるものである。特に製紙工場における整流子の荒損が著しいのは若干のガスも存在するため水膜は電解質となつて電解作用が促進せられるためと考えられる。空気中の水蒸気の量が $10\sim 12\text{ g/m}^3$ 以上になると条痕の発生が目だつてくるといわれている。高湿度のため整流子が荒損する場合で、荒損の進行が徐々であるときは材質の緻密なピッチコークス系ブラシ（たとえば GH-125）を使用するとよい。荒損の進行が比較的早い場合には材質が緻密で研磨性のあるブラシを使用するか、クリーンブラシを併用するとよいようである。高湿度中で運転する機械に油煙系のポーラスブラシや黒鉛系ブラシを使用すると非常に整流子を荒損せしめやすい。前者は有孔率が高いため水分の吸着が多く、したがつて整流子面に過剰な水膜が生成されるため電解作用によつて正ブラシの摺動面に銅が析出しやすく、しかもブラシ材質がポーラスであるので析出した銅は容易に離脱しがたく、そのため荒損が起りやすいものと考えられる。後者は研磨性に乏しいため整流子面に過剰な水膜の生成を助ける結果となり荒損を起しやすいものと考えられる。

(F) 低湿度の場合：上述の場合とはまったく逆に湿度が低すぎる場合にもブラシと整流子の良好な摺動接触は阻害される。湿度が低すぎると整流子表面には潤滑作用を行う水膜および黒鉛皮膜が生成されないため整流子面は金属光沢を呈し円周方向に条ができ、ブラシはチャタリングを起して欠損したり、異常摩耗を



第1図 相対湿度と絶対湿度の関係

起す。このような現象は湿度が $4.6 \sim 2.87 \text{ g/m}^3$ 以下になつた場合に起るとされている^{(7)~(10)}。しかしこの限界湿度はブラシ温度、ブラシ材質、電流の有無などによつて異なるようであり、たとえば潤滑性に富んだ黒鉛ブラシを使用した場合にはこの限界湿度の値は小さくなる。第1図は温度をパラメータとした場合の相対湿度と絶対湿度の関係および安全湿度の限界を示したものである。

湿度が 0.3 g/m^3 以下のごく低湿度になると通常の異常摩耗とはまったく異なつたいわゆる粉塵摩耗を起し、ブラシは2~3分で摩耗してしまふ。飛行機が10 km以上の高空を飛行する場合に通常のブラシを使用するとこの現象が起る^{(11)~(16)}。

(G) 油の付着した場合：油が軸受けから整流子に伝つてきたり、空気中の霧状の油が整流子面に析出したり、あるいはブラシの取り扱いが悪くブラシに油が吸着している場合には火花が発生するのみならず整流子は著しく削られ円周方向に深い溝ができる⁽¹⁷⁾。整流子面に油の付着することは最も避くべきことであるが、どうしても避け得られない場合には若干研磨性のあるブラシを使用すると一般にはブラシと整流子の良好な接触を行わしめることができ、良好運転状態を保持するのに役立つものである。このような場合にはカンバス、サラシなどの布で整流子面を拭くとよい。また整流子片に銀入り銅を使用すると整流子の溝摩耗を防ぐことができる。

2.4 極間隔を有する整流子片の黒化

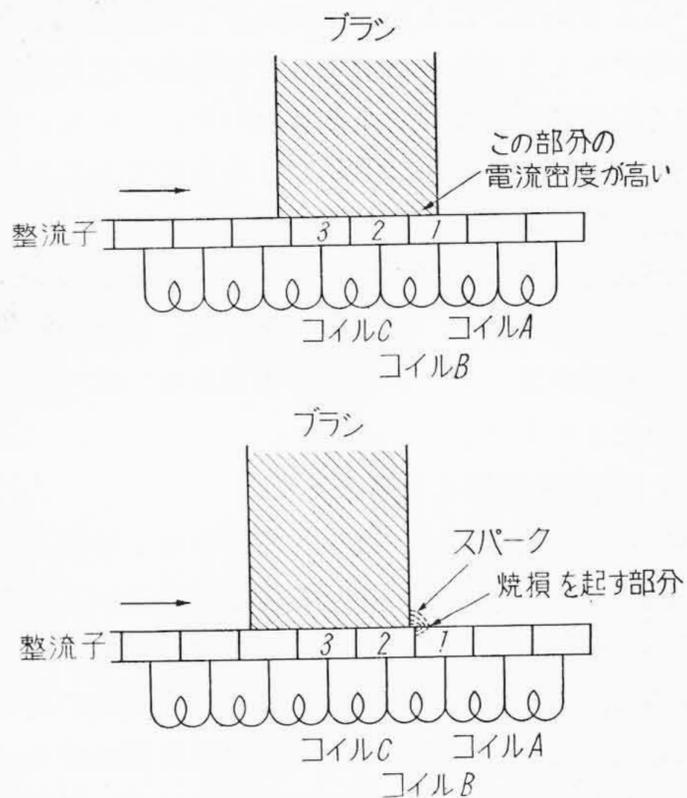
整流子片のエッチングあるいは焼損の一原因は電機子コイル端とライザの接続がゆるんで、この部分の抵抗が高くなるためである。このような場合は電機子が回転中は相当高い抵抗となるが、静止しているときは良好な接触をしているものである。したがつて、静止している機

械で接触抵抗を測定して故障部分を検出しようとしても検出できないことがしばしばある。しかし、整流子片の黒化が接触不良箇所の一つ手前の整流子片に現われるから、これによつて故障位置を検出できる。第2図でセグメント2と点線で示した電機子コイルの接触部分の抵抗が高いとする。第2図の上の図でコイルAには全負荷電流/電機子回路数の電流が流れ、その電流が接触面積に逆比例してセグメント1および2に流れなければならないわけであるが、セグメント2とコイルBの接触部分の抵抗が高いためコイルAに流れる電流の大部分はセグメント1とブラシの間の狭い部分をむりやりに流れなければならないからこの部分の電流密度は極度に高くなり、火花および整流子片の黒化を生ずる。セグメント1がブラシから離れるときブラシ出口の集中電流はコイルBおよびCを通つて接続抵抗の低い部分まで流れなければならない。しかし、セグメント1から3に移る電流はコイルのインダクタンスのため遅れる。その結果電流の一部はセグメント1の後端からブラシに火花となつて飛ぶ。もしこの状態がすぐ発見されずにいて直さないで整流子片の端に焼痕を生ずる。

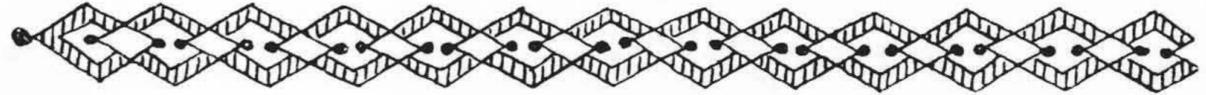
一般に整流子片の黒化は故障の点からポールピッチだけ隔てた点にも生ずるが、この部分の黒化は通常故障部分に生ずる黒化ほどひどくない。また整流子の全周にポールピッチの間隔で整流子の黒化がみられることも珍しくない。これは接続の故障による電機子回路の不均衡から生ずるものである。

2.5 溝間隔を有する整流子片の黒化

1枚おき、2枚おき、または3枚おきに生ずるブラックバーは常に同一溝中にあるコイル数に関係する。第3



第2図 電機子コイルと整流子の接触不良による整流子片の焼損



図は電機子の各溝に三つのコイルがある場合で、セグメント2がまさにブラシに接触しようとするときを示したもので、溝の中の最初のコイルの整流が始まろうとしている。このコイルの整流は溝の位置がAまで移動してセグメント1からブラシが離れるときに終る。第2のコイルの整流はブラシとセグメント3が接触するときに始まり、このときの溝の位置はBである。このコイルの整流が終るのはCの位置に溝がきたときである。最後のコイルの整流はDの位置に溝がきたとき始まり、Eの位置にきたとき終る。整流周期の間の界磁の条件は各コイルで違うことは明白である。実際の場合同一溝内にある二つまたはそれ以上のコイルが遭遇する整流磁界に明白な差があることがある。このような場合には整流子上にスロットピッチの間隔で黒化の現われる傾向がある。

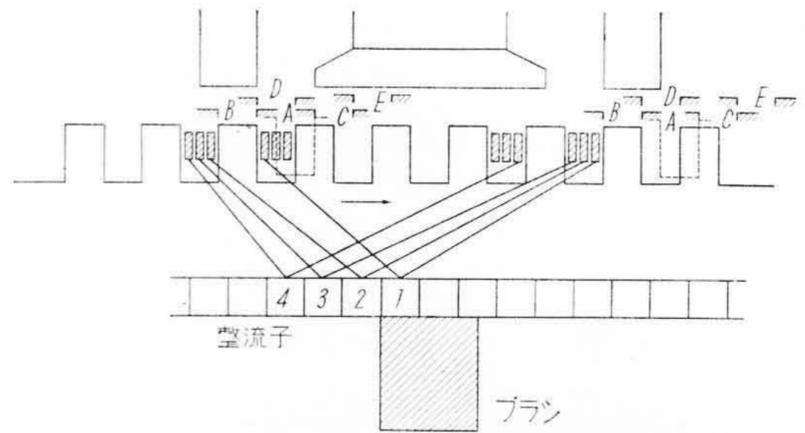
もし磁界の整流帯が十分広ければ同一溝の中の全コイルに対して良好な整流を与える位置にブラシを置くことができブラックバーの発生を防ぐことができる。しかし、このようなブラックバーの発生は機械の設計上の問題であるので、製作会社に連絡して直してもらうのがよい。ブラックバーの発生程度が軽微の場合には接触抵抗の高いブラシを使用するか、あるいは若干研磨性のあるブラシを使用するとブラックバーの発生を抑えることができる。

3. 整流不良の原因と対策

火花はしばしば運転上の障害となるため一般に事故の一次的原因であると考えられがちである。しかしながら火花は何かほかの一次的な欠陥がある場合にのみ発生するものである。しかし時々一次的原因を除くことができないこともある。たとえば正逆転をする無補極機を運転する場合のようである。このような場合には火花を完全に除くことはできないかも知れないが、たいていの場合火花発生の一因は除かれうるものであるから、まず火花発生の原因が何であるかを確かめた後、これを除くことが必要である。火花発生の原因には機械の運転条件、あるいは周囲の条件、機械の調整不良、機械の電気的および機械的欠陥、ブラシ材質の不良あるいはブラシ選定の誤りなどがある。

3.1 負荷条件による整流不良

非常に過負荷はしばしば火花を発生せしめる。特に補極の飽和している場合とか、整流を受けるコイルに誘起さるべき補償電圧が不足している場合に発生する。負荷が非常に急激に変化する場合には界磁の強度の変化がこれに追随し得ずして遅れるために火花を発生する。このような負荷条件がどうしても避け得られない場合には許容電流密度が高く、かつ整流性能の良好なブラシを選ぶ



第3図 溝間隔を有するブラックバーの発生説明図

べきである。ミルモータのように急激に非常な過負荷のかかる機械ではブラシ面から整流子面に向つて炭素粉が出やすい。このような現象が起るとブラシ面はアバタとなり整流子面は黒化する。したがつてこのような負荷条件の機械には材質が比較的緻密で、しかも整流性能がよく、若干研磨性のあるブラシを使用するのがよい(たとえばGH-40B)。このようなブラシを使用してもなお整流子面が黒化する場合にはクリーンブラシを併用すると良好な結果が得られることがある。火花をどうしても防ぐことができない場合には布で時々整流子面を拭くと良好な運転を保持することができる。なお電流密度が低すぎるために火花の発生することもある。すなわち電流密度が低すぎるため整流子面に良好な皮膜が生成されず、整流子面が荒損したり、チャタリングを起したりすることは前に述べたとおりであるが、このような場合には火花が発生する。

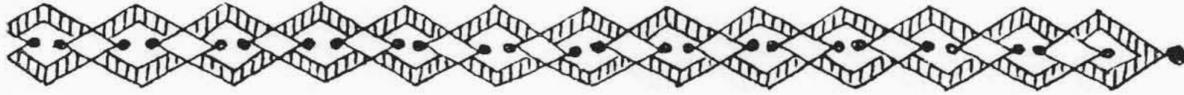
3.2 外的条件による整流不良

大気が汚損している場合には整流子面は金属光沢を呈したり、あるいは変色したりすることは前に述べたとおりであるが、これは火花発生の原因となる。化学工場の近くにある機械が風向によつて火花を発生するなどこの例である。湿度も整流に影響するものであり、湿度が非常に低いと良好な整流を行うのに必要な酸化皮膜が生成されないばかりでなく、ブラシの摩擦係数は増大してチャタリングを起して火花が発生する。このような条件下ではエアコンデショニングを行うか、良好な皮膜を生成する特性のブラシを使用することが必要である。

基礎のゆるみ、エンジンの衝撃など外部的条件による振動によつてブラシと整流子の接触が阻害される場合には火花が発生する。

3.3 機械の欠陥に起因する整流不良

火花発生の原因となる電動機および発電機の機械的欠陥にはベアリングの摩耗、空隙の不均一、界磁強度の非対称、極片間隔の不均一、極またはポールシュのゆるみ、保持器ロッドあるいはアームの間隔の不正確、整列の不正確、綯付のゆるみあるいはダイナミックバランスの不



良，電機子あるいは整流子の偏心，整流子面の欠陥などがある。電気的な欠陥としては界磁巻線または電機子巻線の欠陥であり，これらの欠陥には巻線の短絡，接地，断線，接続部の接触不良などがある。

3.4 保守および調整不良による整流不良

保守あるいは調整が悪いため整流不良を起すことがしばしばある。保持器の間隔および配列の不良，空隙およびポールフェイス間隔の不均衡，保持器と整流子の間隙の過大，保持器の取り付け不良および締付け不良，ブラシ押え圧力の調整不良，ブラシ保持器の不良，ブラシとケースの間隙僅少あるいは過大などは整流不良を起す原因となる。

ブラシの配列は第4図に示すよう正負一對のブラシが同じ面を摺動し，しかもブラシが整流子面を一様に摺動するようにすることが必要である，保持器と整流子面の間隙は2 mm くらいが適当であり，またブラシとケースの回転方向の間隙は0.15 mm，軸方向の間隙は0.2 mm くらいがよい。

ブラシの押え圧力は機械の種類，整流子の周速，機械の振動状態によつて一義的には決められないが，大体第1表のような値を選べばよい。ブラシが摩耗するとブラシ圧力が減るので，良好な運転状態を保持するためには時々点検してブラシ押え圧力を調整するようにしなければならない。ブラシが摩耗してブラシ圧力が減つたのを知らずにいて大きな事故を起した例はよくある。

最初ブラシを取り付ける場合にはブラシの全面が当るように注意してすり合わせる事，ブラシの押え圧力を均一にそろえること整流の最良位置にブラシを置くことなどが必要である。過整流であるか不足整流であるかはブラシと整流子間の接触電圧降下をブラシの下の数点で測定すればわかる(第5図参照)。発電機では過整流のある場合には反回転方向にブラシを移動するか，補極強度を弱めればよく，また不足整流の場合には電機子の回転方向にブラシを移動するか，補極強度を強めれば補正できる。過整流を救うために薄いブラシを，また不足整流

第1表 ブラシ標準圧力 (g/cm²)

用途別	電気黒鉛質	天然黒鉛質	金属黒鉛質
一般工業用直流機	120~200	100~150	
高速度直流機	150~250	150~200	
車輛用主電動機	400~600		
車輛用補助電動機	250~400		
微少馬力用	250~500	200~250	250~500
低速度集電環			
平滑環	150~250	150~250	200~300
溝付環	120~180	120~150	130~200
高速度集電環			
平滑環	150~250	150~250	250~350
溝付環	120~180	120~150	150~250
低電圧直流機			150~250
自動車用	250~400		650~850
航空機用	450~600		450~600

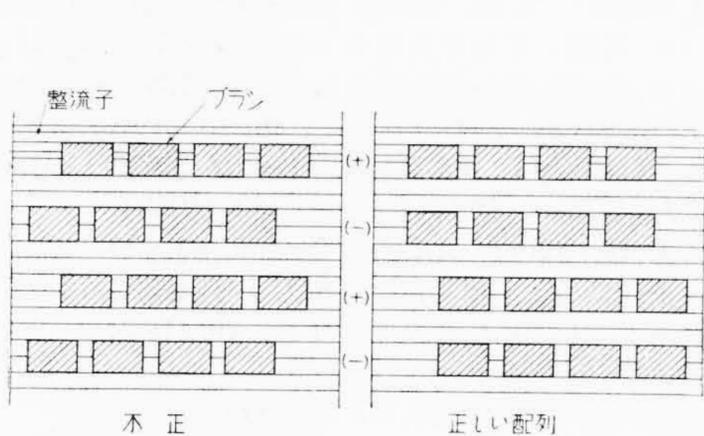
を救うために厚いブラシを使用することも時々あるが，あまり薄すぎると電流の転換が早すぎるため火花の原因となる。

チャタリングまたはブラシと整流子の接触が離れるために生ずる火花は，ブラシ圧力の調整またはブラシ取り付け角度の調整によつて止まることがしばしばある。ブラシ圧力を高くすると摩耗を増やしチャタリングを起しやすく，他方ブラシ圧力を減ざるとわずかな振動あるいは整流子の不整によつて接触が害されやすい。

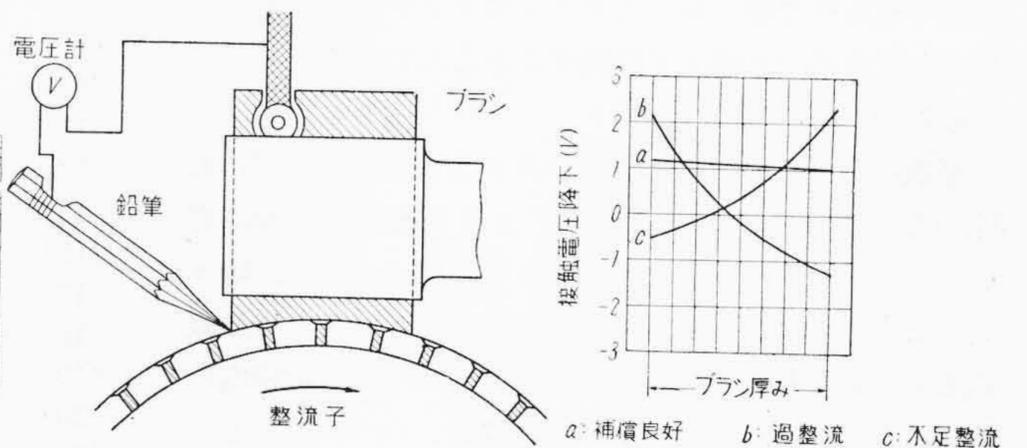
3.5 ブラシに起因する整流不良

すでに述べたように整流不良を起す因子は非常にたくさんあるにもかかわらず，火花はブラシのところで見られるため，火花発生の原因をよく調べずにブラシの品種をすぐ替えてみようとする傾向が非常に強い。しかし事故の原因を十分検討したうえでブラシの品種を替えるように心がける必要がある。ブラシの品種を替えるにあたってはブラシについて深い経験と知識をもつた人の意見を聞くか，電機製作所，あるいはブラシ製造会社に問合せてその指示に従うのがよい。

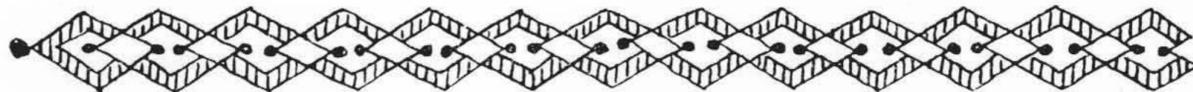
ブラシの研磨性が大きすぎて火花の発生する場合には整流子表面は銅光沢を呈し，正負ブラシの摺動面には銅が付着している場合(正ブラシの摺動面のみに銅が付着している場合はすでにしばしば述べた電解作用によるものである) 研磨性の少ないブラシを使用し，これとは反



第4図 ブラシの正しい配列



第5図 ブラシ接触電圧降下の測定



対に研磨性が少なすぎるため整流子表面皮膜が厚くなりすぎて火花が出る場合には若干研磨性のあるブラシを使用するとよい。

整流子の周速の大きい機械に弾性率の大きいブラシを使用すると整流子とブラシの良好な接触が阻害され火花が発生するので、このような場合には弾性率の低いブラシを選ぶようにすればよい^{(18)~(20)} (たとえば GH-45, GH-50)。ミルモータのように大きな尖頭負荷がかかる機械には材質の比較的緻密で抵抗が高くしかも若干の研磨性があるブラシ (たとえば GH-40B) がよい。

3.6 分割ブラシ⁽²¹⁾

分割ブラシは単体ブラシに比し整流特性がよいので、整流不良の原因を除いてもどうしても火花の発生が止まらない場合には分割ブラシを使用してみるのがよい。分割ブラシには種々の型があるので、そのいずれを使用するかはブラシ製造会社に相談して決めるのがよい。分割ブラシの中で最も特性のよいのは楔型3分割ブラシであるが、取り扱いに若干の不便がある(第6図は楔型3分割ブラシの一例)。

4. ブラシのそう音

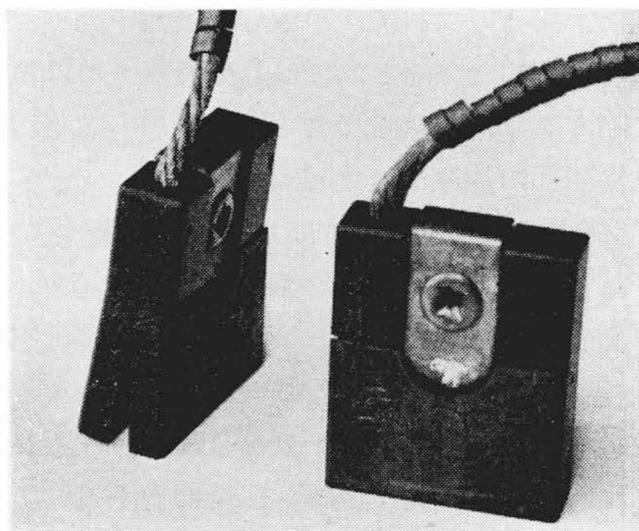
ブラシのそう音は通常チャタリングであるけれども、ある場合にはブラシの下を整流子溝が非常に早く通過するだけで可聴周波の音が出ることもある。ブラシそう音の原因としては整流子面の欠陥、接触障害を起すガスの存在、摩擦係数の高すぎ、刷子材質の不良、保持器の不良などがあるが、たいていの場合ブラシと整流子の良好な接触を防げる条件を除去すればそう音は除かれる。

4.1 整流子表面の欠陥

整流子面に欠陥があるとチャタリングおよびそう音を生ずる。これは通常比較的低い周波数であり、非常にはつきりした音というよりむしろ早い一つの振動によつて生ずる音である。整流子面の荒損、あるいは汚損、整流子片の焼損、フラットスポットはチャタリングおよびそう音を生ぜしめる。チャタリングしている機械の整流子面を布で軽く拭くとチャタリングが急に止まつて静かになることはよく経験するところである。

4.2 摩 擦

摩擦の高いために起るチャタリングは整流子面の欠陥のために起るチャタリングより周波数が一般に高い。この場合のそう音ははつきりした調子であり、時々高いピッチのこともある。摩擦の高いことがそう音の原因として考えられる場合の原因に (a) 平均電流密度の低いこと、(b) 酸化皮膜のゆるみ、(c) 低湿度、(d) コンタクトポイズン⁽²²⁾ 煙草の煙、燃焼による煙、 CCl_4 の蒸気が存在する場合に摩擦係数が非常に高くなり



第6図 3分割ブラシ

チャタリングを起すことがある。一般にブラシの摩擦係数は電流密度が低いと高くなり、特に油煙系電気黒鉛ブラシはこの傾向が大きい。油煙系ブラシを低電流密度で使用するとチャタリングを起しやすい。

4.3 ブラシの種類

ブラシの成分はブラシの摺動音に影響があり、硬い炭素質はそう音を出しやすいが、黒鉛質ブラシは軟いため静かである。一般に電気黒鉛質は摩擦係数が低い。ため運転時に静かである。整流子表面状態は良好でかつ摩擦係数を大きくするようすべての要素が除かれてもなお弾性率の高い電気黒鉛質ブラシでそう音がでたならば、弾性率の低い品種または厚い皮膜を生成する特性の品種を使用すれば改善される。(以下次号)

参 考 文 献

- (1) C. Van Brunt & R. H. Savage: G. E. Rev., 47, 16 (1944)
- (2) C. Van Brunt: G. E. Rev., 47, 28 (1944)
- (3) R. M. Baker: El. Jl., 31, 359 (1934)
- (4) R. M. Baker: El. Jl.: 31, 448 (1934)
- (5) R. M. Baker: E. E., 55, 94 (1936)
- (6) R. H. Savage & D. L. Schaefer: Jl. Appl. Phys., 27, 136 (1956)
- (7) Leond D. Cook: Iron & Steel Eng., 30, 74 (1953)
- (8) J. V. Dobson: El. Jour., 14, 527 (1935)
- (9) E. F. Bracken: El. World, 102 (1935)
- (10) R. Holm: Wiss Veröff siemens, 7, 217 (1929)
- (11) 一木, 花園: 電気学会連合大会予稿, 91 (昭31-11)
- (12) 一木, 花園: 電気学会連合大会予稿, 135 (昭32-11)
- (13) R. H. Savage: G. E. Rev., 48, 13 (1945)
- (14) H. M. Elsey: A.I.E.E. Trans, 64, 579 (1945)
- (15) R. F. Sims: P.I.E.E., 100, 183 (1953)
- (16) C. J. Herman: A.I.E.E. Trans, 63, 929 (1944)
- (17) 高橋, 武政: 日立評論, 30, 5号 (昭23-12)
- (18) 一木: 日立評論論文集, 9号, 48 (1949)
- (19) 一木: 日立評論, 33, 1 (1951)
- (20) 一木: 日立評論, 33, 57 (1951)
- (21) 一木, 花園: 電気30学会連合大会予稿 283 (昭30)
- (22) N. C. C. Modern Pyramids No. 2