

カーボンブラシとスリップリングのしゅう動接触における ブラシ摩耗低減に向けた取り組み

Study for reducing brush wear in sliding contact between carbon brush and slip ring

日本工大・基幹工（正）*上野 貴博

Takahiro Ueno*

*Nippon Institute of Technology

1. はじめに

カーボンブラシは、しゅう動材料として長年の歴史の中で使用され続けている。ブラシが誕生してからこれまでの間、ブラシの材料開発がされ、用途に応じてブラシ材質を選定できるが万能ブラシは未だ確立されていないのが現状である。これらは、自動車に搭載された何百個ものモータ、発電機、医療機器など、電気で駆動する機構に使われることが多い。近年、取り組みが進んでいる再生可能エネルギーの洋上風力発電においても、メンテナンスフリーがますます求められている。ブラシの役割は、動いているものに電流を流すこと、電気信号を伝達することが主であるが、100年もの間、この技術が使われ続けていることはとても興味深いことである。非接触電力伝送も発展してきているが、効率よく確実に電気を伝えるというこの技術は、今後も使用され続けると推測する。ブラシは可動部と摩擦することにより材料が摩耗する。摩耗しにくく接触信頼性が高い材質が望まれるが、ブラシは雰囲気環境によっても大きく摩耗量に影響するため、現在でも取り扱いには経験によるところが多い。

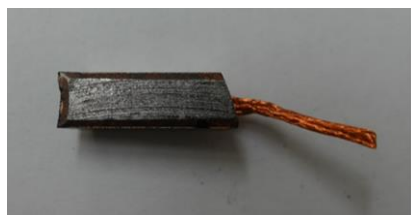
そこで、この技術が使われ続けるにあたり、産業界で求められているブラシ摩耗量の低減というテーマに着目し、実用化も視野に入れた基礎研究を行い、材料の配合や潤滑剤の選定等のデータを定量化して貢献できることを目指す。使用環境は千差万別であり、ガソリン中、氷点下、宇宙空間の真空状態など様々であるが、基本となる大気中における常温範囲の雰囲気環境を用いることにする。なお、本報告では、ブラシの歴史から使用用途、課題点などを取り上げ、スリップリングシステムにおけるブラシ摩耗低減に向けた取り組みを紹介する。

2. ブラシの歴史と使用用途

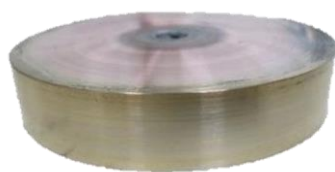
ブラシの歴史としては、最初のころエジソンダイナモ（直流発電機）に始まったとされている。当初は刷毛の形状であり材質も金属が使われていたが、負荷がかかると激しく火花を発生し出力が制限されることで運転・保守が困難になることが懸念されていた。1890年頃に公開された電気鉄道で直流電動機を用いており、この電力は直流発電機から供給されていた。ブラシは日本の発電および電動機応用を支え発展させる一助となった。その後、固形状のカーボンブラシが開発され、発電機や電動機の出力アップや保守性の向上がなされるようになった。1980年代になるとパワーエレクトロニクスが急速に発展し、インバータが普及することで低圧電動機の交流化とブラシレス化が加速した。このことからブラシ産業とブラシ研究の縮小に拍車がかかったと言われる。

しかし、現代においてもカーボンブラシが使用される背景には、例えば未だ多くの電力事業者が、発電機の励磁機構に応答性に優れたブラシ／スリップリング方式を選択していることも挙げられる。もちろん用途に応じてブラシレス励磁方式も用いられるが、ブラシ方式が使用される実績がある。また誘導電動機は交流機であるが、高負荷での始動を強いられるフィールドでは、巻線形（ブラシ付き）が多用されている。

これ以外にも産業・医療・航空宇宙・自動車・家庭など、現代においてもブラシは多方面で使用され続けているのが現状である。なお、ブラシは黒鉛質が直流機整流用として用いられ、短絡電流抑制のために高抵抗ブラシが用いられ、金属黒鉛質ではスリップリング用（集電用）として多く使用され、低抵抗ブラシであり電流容量確保のために銅や銀を配合したブラシが開発されてきた¹⁾。



(a) Brush



(b) Slip-ring



(c) Commutator

Fig. 1 Examples of brush, slip-ring and commutator

3. 銀黒鉛質ブラシとスリップリングを用いたブラシ摩耗低減

ブラシとスリップリングまたは整流子とのしゅう動において、それぞれの材質組み合わせによって特性が異なってくる。例えばブラシには天然黒鉛質、銅黒鉛質、銀黒鉛質などがあり、スリップリングには銅、鋼、金メッキ、銀メッキなどがある。これらは使用用途によって組み合わせが多岐にわたり、目的に合うような材料選定が必要になってくる。摩耗低減を優先したいのか、電気的な接触抵抗低減を優先したのか、など条件が必要になる。

本報告では、近年の利用状況から銀黒鉛質ブラシと鋼スリップリングの組み合わせによる、電気的特性とブラシ摩耗特性について一例を述べる。銀黒鉛質は、銀を含有していることから接触抵抗の低減とブラシ摩耗低減特性に効果があると考え、基礎特性を求めている。

まず Fig.2 に実験回路の概略を示す。鋼材のスリップリングに対して、銀黒鉛質ブラシを接触させ、接触電圧降下とブラシ摩耗量の測定を実施した。なお、銀黒鉛質ブラシのカーボンと銀の含有率割合をパラメータとしている。

実験条件は、しゅう動速度 2.67m/s、通電電流 6A/cm²、接触圧力 2.45N/cm²、試験時間 20 時間とした。実験結果を Fig.3 に示す。ブラシに含有している銀の配合率を変化させることで、接触抵抗低減に有効な銀と、摩擦係数低減に有効なカーボンの割合を変化させているが、この配合率によって、接触電圧降下とブラシ摩耗量の両者へ影響を及ぼすことがわかる。とくに、カーボンを多く含む 50wt%においてはカーボンの潤滑性が有効に働くが、カーボンが多く摩耗することで摩耗量としては多くなる。また 80wt%では銀の含有率が増加するため接触電圧降下は低下し、またカーボンの含有率は低下するがブラシ摩耗量としては低く抑える効果を示す。しかし、銀の含有率がさらに増加すると、接触電圧降下とブラシ摩耗量ともに増加傾向を示している。この特性は、一例として鋼スリップリングを使用したか、材質を変えることでまた異なる特性を示すことになる。参考までに、ブラシ摩耗量が増加した 90wt%における実験後のブラシ表面の元素分布を Fig.4 に示す。通電時と無通電時を比較のため記載しているが、通電時にはブラシ表面に Fe 成分が付着しているが、無通電では付着が少ない。また Ag, C の分布も通電による影響が表れている。実験後の元素分析を行うことで、接触電圧降下とブラシ摩耗量の変化に対する定性的な考察は可能となる²⁾³⁾。

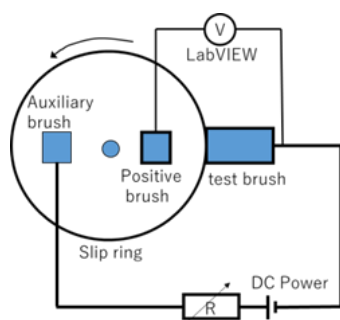


Fig.2 Experimental Circuits

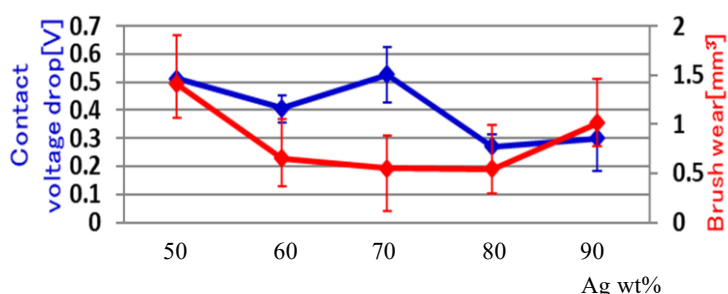


Fig.3 Relation between contact voltage drop and wear characteristics

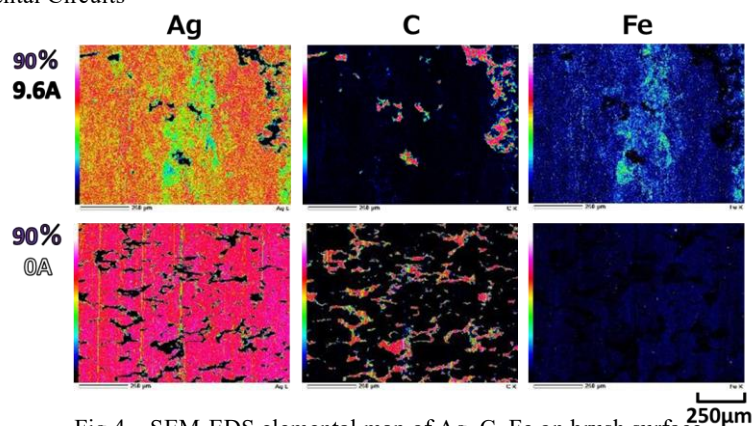


Fig.4 SEM-EDS elemental map of Ag, C, Fe on brush surface

4. おわりに

ブラシ摩耗量を低減させることは、スリップリングシステムや整流子を用いる機器の長寿命化や高信頼性、そしてメンテナンスフリーへの貢献度が大きいと、この分野の研究継続は重要であると考えます。本報告では、ほんの一部のみの紹介に留まるが、今後の研究活性化を目指すとともに、産業界への技術提供に貢献できることを期待する。

文献

- 1) 上野貴博, 福田直紀:「カーボンブラシの現状と展望」, トライボロジスト 第 66 巻第 5 号(2021) 353-357
- 2) N.Fukuda, R.Kudo, Y.Saito, Y.Kawashima, Y.Takada, K.Sawa, T.Ueno: “Sliding Current Characteristics brought about by Changes in the Silver Content of Silver Graphite Brushes” ,信学技報, Vol.120, No.275, EMD2020-22, (2020) 24-29.
- 3) 福田直紀, 高田友輔, 比嘉竜大, 澤孝一郎, 上野貴博:「銀黒鉛質ブラシの銀含有率変化に対する鉄スリップリングおよび貴金属スリップリングの摺動特性比較」, 電気学会研究会資料, 回転機研究会, MR-19-33, (2019) 7-12.