

特集 長寿命カーボンブラシ材の開発*

Development of Long Life Carbon Brush

村上 洋一 熊谷 哲 池島 昌三 松田 健 内田 哲司
 Youichi MURAKAMI Satoshi KUMAGAI Shyouzou IKEJIMA Takesi MATSUDA Testushi UCHIDA

Long life carbon brushes have been demanded by miniaturization and higher power of motors and alternators. In this paper, carbon brushes developed for alternators and fuel pumps are introduced. For alternators, the binder is improved through the theory of graphite lubrication. The binder characteristically generates gas that is likely to be adsorbed by graphite. The life of developed brush is about two times longer than conventional brushes. For fuel pump, the addition of special carbon decreases the amount of sparks in the fuel. The developed brush has more than ten times the life of conventional brushes. Its effect is considered to be due to the action of breaking the oil film between the brush and the commutator.

Key words : Carbon brush, Wear, Binder, Graphite, Commutator, Alternator, Fuel pump

1. はじめに

当社におけるカーボンブラシの位置付けは、次の三つの数字で表現できる。“1/200”、“6/16”、“1”。最初の“1/200”は当社の全材料購入金額に対するブラシの購入金額の割合を示す。金属・樹脂といった主要材料に比較し、格段に少量の材料で、使用量だけからみれば、希少な材料である。次の“6/16”はデンソーグループの世界一製品の中で、ブラシが使用される製品の割合を示す。スタータ・オルタネータ・フューエルポンプ・パワーウインドモータ・ウオッシャーモータと世界一製品の多くは、ブラシを用いたモータ関連製品が占める。最後の“1”は、モータの中で、ブラシが第一寿命部品であることを示す。言うまでもなく、モータの信頼性を左右するキーマテリアルである。この三つの数字からわかるように、ブラシはデンソーグループの世界一製品を支える小さなキーマテリアルである。

2. モータ製品へのニーズと課題

スタータ・オルタネータを初めとしたモータ関連製品については、小型化・高出力・低コスト・低騒音がニーズの柱である。中でも小型化は、車両への搭載性・省燃費への寄与が大きいことから、車両メーカーからの要求も高い。現在流動中のH-38フューエルポンプ(F/P)は、従来のF/Pと比較し、小型化1/2(重量比)を達成し、上記ニーズに込んでいる。2001年1月流動したPSスタータにおいても、重量比25%減を達成し、車両搭載性を大幅に向上させている。小型化によりブラシにかかる負荷の電流密度・PV値(ブラシ面圧、しゅう速の積)は増加し、ブラシ寿命が著しく低下する。したがって、モータ関連製品の小型化要求

に応えるためには、これら高負荷に対応可能な長寿命ブラシ開発が不可欠である。

3. ブラシの構成材料と摩耗形態

ブラシの基本機能は、通電としゅう動であり、構成材料も電気伝導性を確保するためのCu粉、潤滑・耐摩耗性を確保するための天然黒鉛、これらを結合させるためのバインダ(主にフェノール)からなる。

ブラシにおける長寿命化すなわち摩耗低減の難しさは、二つある。一つはF/Pを除くすべての製品が、無潤滑で使用されるため、潤滑性の確保である。黒鉛が基本ではあるが、環境条件によってその効果が異なるため、環境を考慮した材料設計が必要となる。二つ目は、モータにおける整流火花によって生じる電氣的摩耗の存在である。通常の機械的な接触によって生じる摩耗(機械的摩耗)に加え、電氣的な摩耗が加わり、これら摩耗形態の割合が環境・負荷条件により異なるため、摩耗現象は一層複雑なものとなる。

以下、整流の無い機械的摩耗が支配的なオルタネータ用ブラシと整流が存在しガソリン中で使用されるフューエルポンプ用ブラシについて、長寿命ブラシ開発事例を述べる。

4. ブラシ開発事例

4.1 オルタネータ用長寿命ブラシ材開発¹⁾

4.1.1 長寿命化の考え方

ブラシ中に含有されるCuは、相手スリップリングが同種の材質であるため、凝着摩耗を増加させ、機械的摩耗にとっては有害である。従来の長寿命化手法は、このCu量を低減させ機械的摩耗低減を図ったが、ブラシの固有抵抗が増加し、性能に悪影響を与える欠点

* 2002年8月30日 原稿受理

がある．そこで黒鉛とバインダーに着目し，可能な限り性能を低下させない長寿命手法開発に着手した．

黒鉛の潤滑を考える．一般に黒鉛の潤滑性が良好な理由は，その結晶構造にある．黒鉛は，Fig.1に示すように，六方晶網目構造を有し，六方晶網目構造内は強い共有結合であるが，層間は弱いファンデルワールス力を有する．この結合力の弱い層間で滑ることにより，低摩擦を発揮する．ところが，結晶端部には，結合の切れた原子が存在し，遊離結合力を有しているため，この遊離結合力を飽和させないと低摩擦が発揮されない．この役目を果たすのが空気中の水分子である．水分子が，結晶端部に吸着し，遊離結合力を飽和させ，低摩擦を促し，摩耗を低減させる．湿度の低い雰囲気下で摩耗が増大したり，水分子の無い宇宙空間等で黒鉛が固体潤滑剤として使用されないのは，この理由による．

我々は，この水分子の潤滑作用に着目し，水分子に変わる吸着ガスをしゅう動時の発熱によりバインダーから発生させ，潤滑向上を狙った．

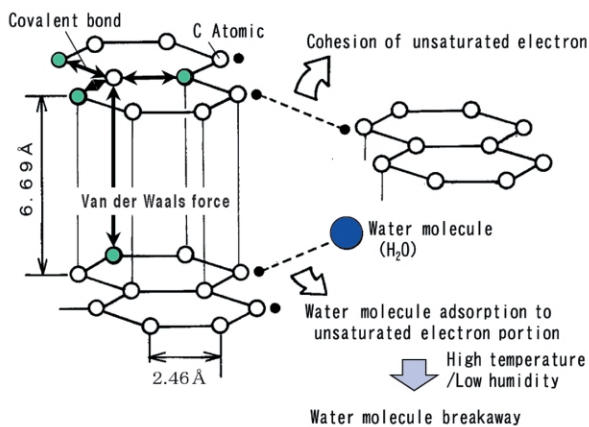


Fig.1 Theory of graphite lubrication

4.1.2 バインダー選定

ポイントは，黒鉛に吸着しやすいガスを発生させるバインダーの選定である．ギブスの自由エネルギー論によれば，吸着前後のエネルギー変化： G が小さい程吸着しやすいガスである． G は次式 (Fig.2) で与えられ， G を小さくするには H を小さくする，すなわち黒鉛と気体分子の溶解度パラメータの差 ($\delta_1 - \delta_2$) を小さくする．溶解度パラメータ差は，分散力 (δ_d)，双極子力 (δ_p)，水素結合力 (δ_h) のそれぞれの成分 (凝集エネルギー) の差からなる．黒鉛と水の凝集エネルギー計算結果をFig.2に示す．黒鉛は，凝

集エネルギーが分散力のみで構成される．したがって，黒鉛に吸着しやすいガスとは，分散力が大きく黒鉛に近いガスである．各種候補バインダー材をGC・MSにより発生ガスを分析し，その分子構造から分散力を計算した結果をFig.3に示す．分散力が最も大きい有機ガスCを多く発生するバインダー種を選定した．狙いであるしゅう動熱により，この有機ガスを発生させるためには，ブラシ中に有機成分を残留させる必要がある．通常，ブラシは600 以上で焼成し，バインダーを炭化させて用いる．今回，有機成分を残留させるために，低温で焼成する手法を併用した．開発したブラシの組成，物性をTable 1に示す．

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \dots\dots\dots (1)$$

ΔH : change of enthalpy (J/mol)

ΔS : change of entropy (J/mol)

T : absolute temperature (K)

$$\Delta H = V_1 (\delta_1 - \delta_2)^2 / RT \dots\dots\dots (2)$$

V_1 : molar volume of gas (cm³/mol)

R : gas required number

δ_1, δ_2 : solubility parameter (J/cm³)^{1/2}

$$\Delta S = -R (n_1 \ln \phi_1 + n_2 V \ln \phi_2) \dots\dots\dots (3)$$

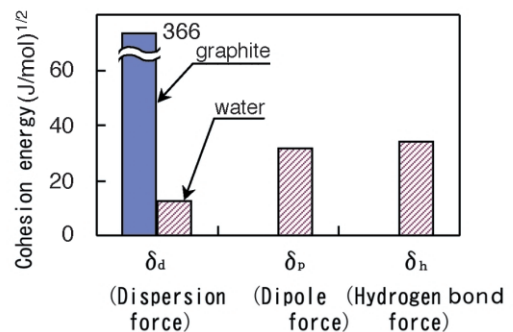


Fig.2 Idea of adsorption

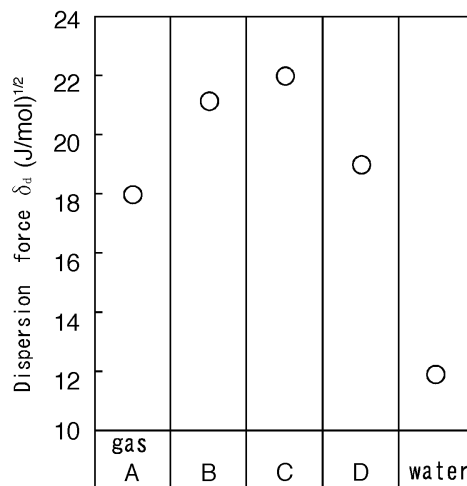


Fig.3 Dispersion force of gas occurring from binder resin

Table 1 Composition and physical property of developed brush

	Developed	Conventional
Cu (wt%)	41	41
Binder resin	Special phenol	Phenol
Baking temperature	Low	High
Apparent density	2.45 ~ 2.70	2.7 ~ 3.0
Resistivity ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)	200 ~ 500	80 ~ 230

4.1.3 耐摩耗性評価

(1) 摩耗評価法

耐摩耗性のテストピース評価は、Fig.4に示すカラー*プレートにより行った。プレートにブラシ材を、カラーにスリッピング材であるりん脱酸銅を用い、図中に示す評価条件のもと所定時間しゅう動させ、摩耗深さを求めた。なお、摩耗に大きく影響する湿度については、0.1~2.5kPaまで変化させた。実機オルタネータを用い、実使用条件下での摩耗量も評価した。性能については、実機出力電流により評価した。

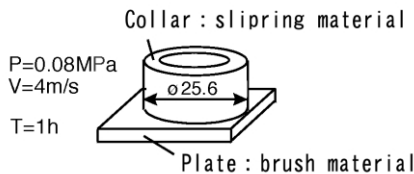


Fig.4 Test piece evaluation method

(2) 摩耗評価結果

開発ブラシのカラー*プレートによる摩耗量評価結果をFig.5に示す。開発ブラシは、従来ブラシに比較し、湿度2kPa以上では1/2の摩耗量、それ以下の超低湿度条件下では1/10以下の摩耗量に低減されている。図中に示すしゅう動面SEM写真から、従来ブラシ材は、しゅう動により溝が深く形成されているのに対し、開発ブラシ材は、低湿度下でもわずかにしゅう動跡がみられる程度で、溝はほとんど形成されない。オルタネータの実機耐久試験による評価においても、従来ブラシの1/2の摩耗量に低減されている。性能を表す出力電流については、従来ブラシ：70.6~70.8A、開発ブラシ：70.2~70.3Aとほぼ同等の値が得られている。これは、開発ブラシの固有抵抗が、従来ブラシに比較し焼成温度低減により増加はするものの、Cu量が同一なため、その増加が抑制されている結果である。参考までに、ほぼ同等の摩耗量をCu量低減により達成

する場合、現状の41%から20%へ低減する必要がある。その際の固有抵抗は、開発ブラシの固有抵抗 $350\mu\cdot\text{cm}$ に比較し $2000\mu\cdot\text{cm}$ と約6倍の固有抵抗になる。

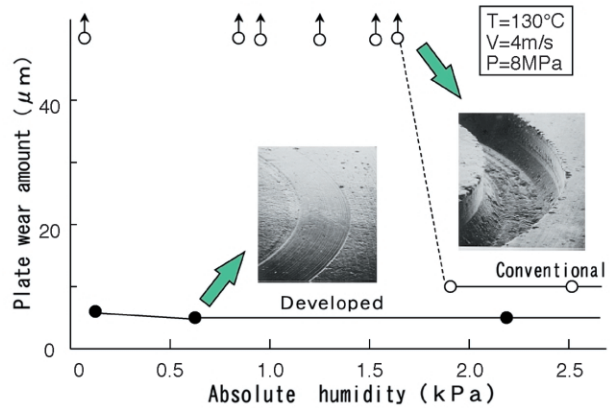


Fig.5 Output of wear amount

4.2 F/P用長寿命ブラシ材開発²⁾

4.2.1 ガソリン中での支配的摩耗形態

F/Pの支配的摩耗形態を把握するため、ガソリン中、無通電で外部駆動させた際の摩耗量（機械摩耗量）と通電時（モータ作動時）の摩耗量を比較評価した。結果をFig.6に示す。F/Pでのブラシ摩耗は、大気中と同様、全摩耗中に占める機械的摩耗は約1/10と少なく、大半が火花に起因した電氣的摩耗であることがわかる。したがって、F/P用モータにおける摩耗低減は、火花抑制が重要である。

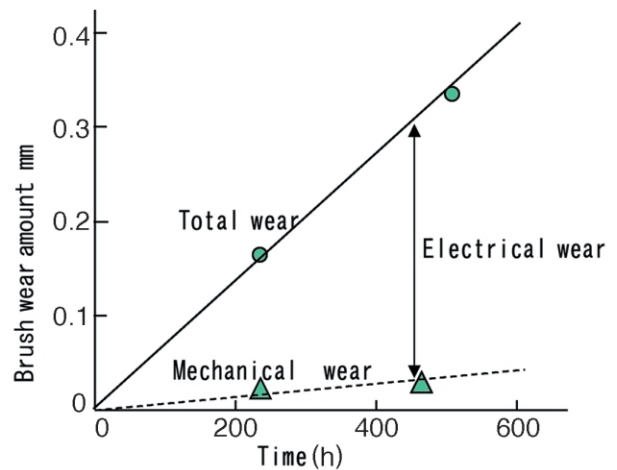


Fig.6 Electrical and mechanical wear

4.2.2 火花低減手法の検討

整流理論における抵抗整流により、火花抑制手法として、固有抵抗を増加させる手法がある。従来ブラシ

に対し、Cu粉0化・成形方向の長さ方向の採用により、固有抵抗増加を図った。特に成形方向長さ方向の採用は、しゅう動面と黒鉛結晶面が平行になるため、機械的摩擦に対しては不利である。前述の検討結果より、火花による電氣的摩擦が支配的なことから、火花抑制重視で成形方向の長さ方向を採用した。また、ガソリン中で使用されることから、ブラシ*コンミテータの間には油膜が形成し、この油膜圧力によりブラシ・コンミ間の接触が不安定になり、火花が発生しやすいと考えられる。この油膜を破断してブラシ*コンミテータの導通を安定的に確保するため、導電性がありかつ硬質な炭素系添加剤による火花抑制を検討した。

4.2.3 耐摩耗性評価

(1) 摩擦・火花評価法

ブラシ及びコンミテータの摩耗量は、実機F/Pを用い、一般ガソリン燃料中で所定の回転数・時間作動させた後、ブラシについては寸法変化を、コンミテータについては非しゅう動面、しゅう動面の段差を求めた。火花量はFig.7に示すように、フォトダイオードにより3分間の積分値を求めた。

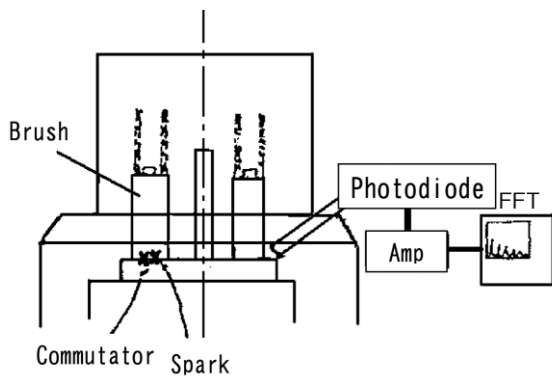


Fig.7 Spark evaluation method

(2) 摩耗評価結果

Fig.8に従来ブラシからCu粉0化、成形方向の長さ方向採用、特殊炭素系添加剤を添加したブラシの実機F/Pによる摩耗量評価結果を示す。Cu粉0化・成形方向の長さ方向を採用したブラシBは、従来ブラシと比較し、ブラシ・コンミテータ摩耗速度とも、1/10以下に低減される。さらに特殊炭素系添加剤を添加した開

発ブラシは、ブラシ材Bと同一の固有抵抗でありながら、ブラシ摩耗速度で約2割低減・コンミテータ摩耗速度で1/5に低減される。これら手法により小型化を狙いとしたH-38F/Pの目標摩耗速度を満足するブラシ材を開発した。

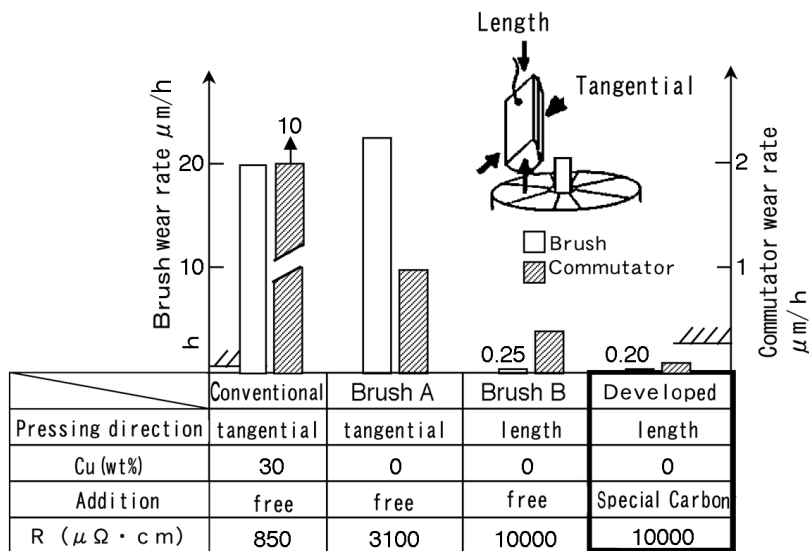


Fig.8 Output of wear evaluation

Cu粉0化・成形方向の長さ方向により、固有抵抗が増加し、抵抗整流により火花は抑制されることは周知である。固有抵抗がほぼ同じで特殊炭素系添加剤を添加したブラシの火花抑制効果を確認した。結果をFig.9に示す。特殊炭素系添加剤を添加した開発ブラシは、添加剤無しのブラシBと比較し、火花量が1/3に低減されているのがわかる。Fig.10にブラシしゅう動面のSEM観察結果を示す。開発ブラシは、マトリックスの天然黒鉛中に硬質な特殊炭素系添加剤が凸に浮きでているのがみられる。この凸部によりブラシ*コンミテータ間のガソリン膜を破断し、真実接触部の安定な通電を確保して火花抑制をしていると考えられる。

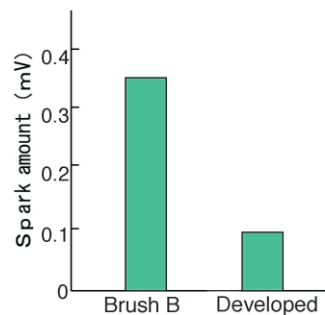


Fig.9 Output of spark evaluation

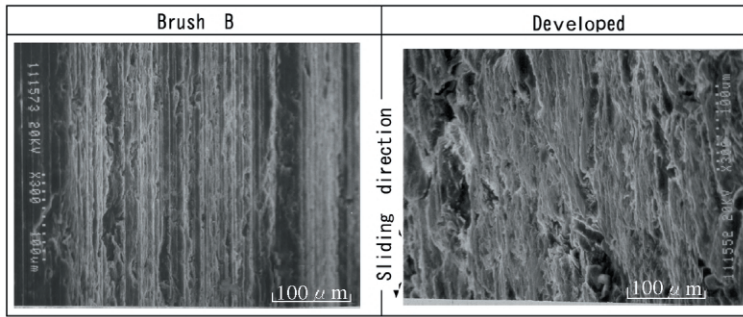


Fig.10 SEM photograph of sliding surface

音ブラシ，スタータなどのブラシに使用される鉛フリー化などの環境負荷物質規制対応などニーズは多い．これらニーズに対応した高性能なカーボンブラシを開発し，当社の世界一製品作りに貢献していく．

5. おわりに

今後、自動車用モータは増加の一途をたどり、車種によっては、車1台当たり50個（2001年）のモータ使用数が、2005年には70以上にもなると予想される．一方では、高信頼性・静粛性の面からモータのブラシレス化の動きもあるが、コストパフォーマンスでは、ブラシ付きモータには到底及ばない．したがって、今後もますますブラシに関するニーズは高まる．長寿命化は当然のことながら、車室内の静粛性ニーズから低騒

<参考文献>

- 1) 村上洋一，他：“自動車用オルタネータ長寿命ブラシ材の開発” 粉体粉末冶金協会予稿集（1998.11）
- 2) 村上洋一，他：“自動車燃料ポンプ用長寿命ブラシ開発”，日本トライボロジ学会予稿集（2000.5）



<著者>



村上 洋一
(むらかみ よういち)
材料技術部
トライボロジ研究に従事



熊谷 哲
(くまがい さとし)
電機技術2部
オルタネータ設計に従事



池島 昌三
(いけじま しょうぞう)
材料技術部
トライボロジ研究に従事



松田 健
(まつだ たけし)
(株)日本自動車部品総合研究所
エンジン関係の解析業務に従事



内田 哲司
(うちだ てつじ)
ガソリン噴射技術部
ガソリン製品の実験業務に従事