

報告番号	甲 第 14251 号
------	-------------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 自動車燃料中 DC モータの整流過程における過渡アーク放電特性とブラシ摩耗プロセスの分析に基づいた材料開発に関する研究
(Brush Material Development for DC Motor Immersed in Automotive Fuel: Based on Analysis of Transient Arc Discharge and Resultant Brush Wear during Commutation Process)

氏 名 福塚 隆司

論 文 内 容 の 要 旨

現代の自動車における高機能化、高性能化に向け、電動化が加速しており、モータの果たす役割は多様化している。これらの車載用モータの 90 % 以上には、低コストの観点からブラシ付きの DC モータが採用されている。ブラシ付き DC モータの寿命は、一般的にブラシの寿命によって決定づけられる。したがって、ブラシの長寿命化技術は車載用モータの製品競争力を左右するキー技術であり、最も重要な研究課題の 1 つである。

一般的に、ブラシ付き DC モータはほとんどが大気中で使用されるものであり、車載用では、スタータモータ、エアコン送風用ブロワモータ、ワイパ駆動用モータなどが存在する。一方、燃料タンク内でブラシ付き DC モータを燃料に完全浸漬して使用する燃料ポンプが存在する。この燃料ポンプにおいて、昨今の地球温暖化や排出ガス低減への取り組みが世界規模で進められる中、CO₂ 削減の観点から従来の石油系ガソリンに加えてエタノールに対する性能向上が求められている。しかし、エタノール浸漬下におけるブラシ付き DC モータに関する研究事例はほとんどない。したがって、本論文では、

- ・エタノール浸漬下における DC モータのブラシ・整流子片間の転流過程が残留電流におよぼす影響を明らかにすること。
- ・残留電流により発生するアーク放電がブラシ摩耗を導くことから、エタノール浸漬下に

における摩耗プロセスを明確化し、耐摩耗性を向上させたブラシ材料の開発を目的としている。

第1章では、研究の背景、目的、および研究方針を述べている。

第2章では、研究の第1フェーズとして、ブラシ・整流子片の開離前に主眼を置き、燃料種や回転子の回転数が残留電流に及ぼす影響について検討してきた。実機ではブラシ・整流子片間電圧および整流子片に流れる電流の測定は困難であるため、模擬 DC モータ試験機を作製し、独立させた電流で測定できる手法を確立した。本試験機の測定結果より、エタノール浸漬下ではガソリンに比べ、残留電流が増加すること、さらに高回転数によりその差が顕著になることを見出した。その傾向より、残留電流に対する影響要因として燃料の粘性に着目し、ブラシ・整流子の接触状態が変化することを明らかにした。また、ブラシ接触荷重に着目し、ガソリンに比べエタノール浸漬下では摩擦力が低くなることで、ブラシ後端部における接触荷重の上昇が残留電流の増加を引き起こすことを説明している。さらには、アーク継続時間の定式化を試み、実測値と計算値がおおむね一致しており、アーク継続時間は残留電流に比例することを検証している。

第3章では、研究の第2フェーズとして、ブラシ・整流子片の開離後に主眼を置き、ガソリンおよびエタノール浸漬下において、アークエネルギーについて検討した。ガソリンに比べエタノール浸漬下のほうがアークエネルギーは大きくなり、約1.2~2倍程度に大きくなることがわかった。さらには、アークエネルギーの定式化を試み、実験結果および計算結果からも残留電流の関数として整理でき、二次関数的に増加することがわかった。したがって、Stress 要因であるアークエネルギーの主要因は残留電流であることを明らかにした。

第4章では、前章により導かれたアークエネルギーによるブラシの摩耗量の増加に着目し、ブラシの損傷形態を詳細に考察した。アーク放電による損傷を再現させるために、エタノール浸漬下での連続運転を実施し、ブラシ摩耗量を測定した。ガソリンに比べエタノール浸漬下でのブラシ摩耗量はガソリン浸漬下に対して大きく、約3.4倍であり、この摩耗量の増加はアークエネルギーが起因しているものと考えられる。さらに、前章のアークエネルギーの増加割合に比べて、摩耗量が大きくなる点にも着目し、アーク放電による火花摩耗の増加に加えて、ブラシ摩耗を加速させる材料要因があるものと考えて、詳細に試験後のブラシ損傷形態をSEM観察した。従来バイндаブラシ摺動面の摩耗形態として、黒鉛周辺のバイнда部の損傷が大きく、その結果、黒鉛粒子相当の脱落痕が観察された。そのメカニズムとして、摺動面の黒鉛を保持するバイнда部が損傷し、機械的な摺動が加わることで黒鉛粒子が脱落するものと考えた。このメカニズムに基づき、耐摩耗性を向上させるブラシを材料面から対策する方法を検討した。アーク放電によるバイнда部損傷を低減する手段として、高ガラス転移温度、高電気抵抗率、耐加水分解性や耐薬品性という特徴を有するバイндаを適用するブラシを開発した。この開発バイндаブラシは従来バイндаブラシに比べて、電気抵抗率0.5倍、気孔率5vol%低減、曲げ強度4.5倍と物性を向上させることができた。さらに、開発バイндаブラシをエタノール浸漬下で連続運転評価し、その後のブラシ

を SEM 観察することで、従来バイндаのような黒鉛部の脱落による摩耗形態を抑制する効果を確認できた。本開発ブラシを採用することで、エタノール浸漬下の摩耗量は従来ブラシに比べ 24 %低減することが実現できた。

本研究によって明らかになった技術は、①エタノール浸漬下におけるブラシの傾きがブラシ後端部の接触荷重の上昇を導き、残留電流を増加させる現象。②絶縁性バイндаをブラシに適用することでアークによるバイндаの損傷を低減し、黒鉛の脱落を防ぐことを実現したオリジナルの対策材料開発である。

第 5 章では、本研究の成果と今後の展望について総括する。