

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13799 号
------	---------------

氏 名 吉武 勇一郎

論 文 題 目

回転機における電気絶縁および熱設計技術に関する研究
(Electrical Insulation and Thermal Design Techniques for Rotating
Machines)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	工学研究科	教授	早川 直樹
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	横水 康伸
委員	名古屋大学	工学研究科	准教授	小島 寛樹
委員	豊橋技術科学大学	工学研究科	准教授	村上 義信

論文審査の結果の要旨

吉武勇一郎君提出の論文「回転機における電気絶縁および熱設計技術に関する研究」は、ゼロカーボン化に向けた温暖化対策を推進する上で、全世界において共通する回転機の消費電力の低減の重要性を述べ、回転機の小型化と省エネルギー化の観点から、回転機高熱伝導絶縁システムの開発およびインバータサージ急峻化と高放熱化を両立した絶縁システムの開発を目指したものである。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、産業・自動車・家電・電力および社会インフラなど広範な分野における回転機の消費電力低減の重要性を述べ、回転機の小型化・省エネルギー化と電気絶縁技術に関する技術動向、次世代インバータ駆動システムの将来動向や要求事項をまとめ、本研究の目的と内容を述べている。

第2章では、産業用低圧回転機を対象に、新たな高熱伝導絶縁方式として「樹脂被膜絶縁方式」を提案し、開発した。熱回路網法およびロバストデザインによるアプローチにより、回転機のステータに対して最適な放熱構造が導かれた。現行と提案方式を適用した試作を行い、実測および計算の面から検証した。

(1) 高熱伝導樹脂(5W/mK)および樹脂被膜絶縁方式の適用により、回転機内部の温度上昇は23K→4Kまで低減され、コイル温度上昇は73%となる。

(2) 樹脂熱伝導率が0.6W/mKの場合、樹脂被膜絶縁方式の適用により、回転機内部温度上昇は23K→13Kまで低減されコイル温度上昇は85%となる。

(3) 樹脂被膜絶縁方式におけるPDIVおよびBDVとして、従来の絶縁シート方式と同等な絶縁特性が得られた。

以上より、提案した樹脂被膜絶縁方式は放熱性を高めながら絶縁性を両立できることを明らかにした。これにより、温度上昇の低減分に対して出力密度の向上が可能となり、その上昇分に対して回転機を小型化することができると。

第3章では、産業用高圧回転機を対象に、SiC-IGBTを想定したインバータサージに対し、カーボン遊離現象が発生しうることを見出した。その発生条件を評価可能な要素モデル実験系を構築することで、パラメータサーベイが可能とした。これにより、発生メカニズムが明らかになり、カーボン遊離現象を低減できる構造について検証した。

(1) カーボン遊離発生開始において、絶縁紙間の電位差はパッシェン曲線の極小値の80%未満になることから、カーボン遊離の発生原因は部分放電ではなく、サージ漏れ電流が局所的に集中であることを明らかにした。

(2) 遊離抑制電圧 V_c について、離型面と非離型面が面したRN-RN構造よりも非離型面同士が面したRN-NR構造の方が高くなることを明らかにした。

(3) 上部電極荷重が大きい領域では、カーボン遊離抑制という観点から、RN-RN構造に対してRN-NR構造が有効であることを実証できた。

(4) RN-NR構造では電圧立ち上がり時間が150nsと高速化したときの遊離抑制電圧は、RN-RN構造で800nsとしたときの遊離抑制電圧と同等にできることを実測で確認した。

(5) SiCインバータ駆動機に対して、主絶縁厚みを厚くせず、現行同等のカーボン遊離耐性を実現可能な見通しを得た。

以上により、インバータサージ電圧の高 dV/dt 化に対して、カーボン遊離が生じる電圧を明らかにできた。また、絶縁紙の離型部位を適正化しつつ、絶縁紙間の接触性を管理することによって、カーボン遊離を抑制できることを原理的に実証できた。

第4章では、実機を分割したステータを製造して評価することで、要素モデルとの相関性が定量的に明らかになった。また、カーボン遊離防止構造の製品適用性を実証した。

(1) 絶縁厚み83%と薄肉化した場合、離型面と非離型面が面したRN-RN構造(従来構造)ではカーボン遊離の発生確率が60%であったのに対し、非離型面同士が面したRN-NR構造(開発構造)ではカーボン遊離は発生しなかった。

(2) 要素モデルの妥当性について実機分割ステータに対する合致度を設けて評価した結果、電界強度は120%となり誤差が大きいことが分かった。一方で、サージ漏れ電流における合致度は9%であり、温度上昇の合致度は17%と良好なことを示した。

(3) RN-NR構造の適用により、サージ漏れ電流の許容閾値を15%ほど向上となり、RN-NR構造の有意差が確認できた。

以上により、要素モデルで得られたパラメータサーベイの結果を基に、実機分割ステータを製造し、両者の相関性を明らかにすることができた。カーボン遊離の評価手法を確立し、絶縁紙の構造を適正化することによって、カーボン遊離を抑制可能な絶縁設計指針を得ることができた。

第5章では、本研究で得られた成果をまとめ、本研究の意義と今後の展望について総括している。

以上のように、本研究で得られた成果は、産業用回転機を対象に、電気絶縁と放熱技術の境界領域にフォーカスを当て、その両立を実現可能な技術開発を推進し、ゼロカーボン化に向けた回転機の小型化と省エネルギー化の観点から、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である吉武勇一郎君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。