氏　名	湯淺　朋久
学位の種類	博　士（　工学　）
学位記番号	博　甲　第　９０２４　号
学位授与年月日	平成　３１年　３月　２５日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当
審査研究科	システム情報工学研究科
学位論文題目	二重円筒を有する回転電気機械の伝熱流動特性

主　査	筑波大学　教授	博士（工学）　阿部　豊
副　査	筑波大学　教授	工学博士　文字　秀明
副　査	筑波大学　教授	博士（工学）　西岡　牧人
副　査	筑波大学　准教授	博士（工学）　金子　暁子
副　査	電気通信大学　教授	博士（工学）　大川　富雄

論　文　の　要　旨

審査対象論文は、回転電気機械の駆動回転中に発熱する問題に対して、モータや発電機の構造を模擬した回転二重円筒における流動可視化実験、伝熱実験ならびに三次元非定常数値解析を行って、特に、回転電気機械のステータ内面ならびにロータ外面に周期的に溝が存在する回転二重円筒体系における伝熱流動特性を明らかにするとともに、熱回路網による温度分布予測手法の適用性を評価し、回転電気機械の最適設計手法の構築を行った結果について述べている。

第１章では、回転電気機械の性能向上に向けた最適設計手法のための回転電気機械内部の伝熱流動特性についての既存知見を集約しており、特に、溝の有無が及ぼす伝熱流動特性への影響の物理的メカニズムの解明が必要不可欠であることについて述べている。

第２章では、外円筒に溝を有する二重円筒に対して、外円筒の溝内部で渦の形成を確認し、溝のある場合と溝のない場合と比較して、ヌッセルト数が高い傾向が再現されることを確認し、その原因が、溝壁面へ流れが衝突し，溝内部の渦構造により伝熱が促進されるためであることを明らかにした。

第３章では、内円筒に溝を有する二重円筒に対して、溝内部において循環する渦の形成と回転方向の後方側壁面において剥離して逆流する渦の形成を確認し、この壁面から流れが剥離した領域で、高温の流体が滞留することで伝熱性能が変化したことを明らかにしている。

第４章では、噴流を付加した内円筒に溝を有する二重円筒に対して、噴流レイノルズ数と回転レイノルズ数の比により流動様式が分類でき、通風冷却により冷却性能を向上できることを示している。

第５章では、回転電気機械をモデル化して熱回路網法を適用することによって、各部品の温度分布が予測できること、その予測が伝熱実験装置の実測温度分布に良く一致し，熱回路網法が実機へ適用で可能であることを示している。

審　査　の　要　旨

【批評】

電気自動車（Electric Vehicle：以下 EV）用モータには、駆動中に渦電流による鉄損やジュール熱による銅損から引き起こされる発熱という問題が存在する。発熱により温度が上昇すると、電気抵抗が上昇するため、さらにジュール熱による発熱が増加することになり、コイルの焼損や磁石の不可逆減磁といった不具合が発生する。その対策のため、EV 用モータ内の効率的な冷却が必要である。EV 用モータの冷却が達成されれば、電気抵抗が下がり、結果として動力変換の高効率化にも繋がるため、冷却に適するモータ形状の最適設計を行うことが極めて重要となっている。

本論文は、EV 用モータ構造を模擬した回転二重円筒に対して、円筒間の流動特性と伝熱特性を実験的に調べるとともに、3 次元熱流動解析を用いて、EV 用モータの伝熱流動特性を詳細に調べている。また、溝のない場合とある場合のそれぞれの形状において流動可視化と 3 次元熱流動解析を行って、EV 用モータの円筒面の形状変化による伝熱流動特性への影響を調べている。その上で、EV 用モータを模擬した実験より得られた結果をもとに、熱回路網法によってモータ内部の温度推定が可能であるかについて検討している。

その結果、ロータとステータの隙間が極めて狭い二重円筒においては、テイラー渦が発生する臨界レイノルズ数を境に熱伝達が促進されるという結果を得ている。さらに、溝のある場合には、溝のない場合に比べて熱伝達率が向上するという結果を得ている。これにより、溝の配置のような設計変更が期待できない場合、低レイノルズ数において、回転二重円筒間の狭隘流路と側面空間との間の物質輸送が制限されることが明らかとなり、熱設計のうえで注意が必要となることを示している。

電気自動車の今後の発展においては、EV 用モータのさらなる小型高効率化が求められている。その達成のためにはモータの発熱と放熱をどのように制御するかが鍵である。そのためには、複雑な回転二重円筒間の伝熱流動特性を把握することが必要不可欠である。本研究では、EV 用モータ内部形状を模擬した実験装置を使って、外円筒に溝を有する二重円筒の伝熱流動特性を明らかにするとともに、除熱に最適な形状の実機設計への知見を得ている。本研究により得られた成果は、EV 用モータのさらなる小型高効率化の達成に大きく貢献する成果であり、回転電気機械により駆動される電気自動車や発電機などの普及に大きく資する成果である。

【最終試験の結果】

平成３１年２月６日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。