

氏名(本籍)	よし の とも ゆき 吉 野 智 之 (埼玉県)
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	博 甲 第 5696 号
学位授与年月日	平成 23 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	数値解析による電磁力を用いた地球再突入飛行体の熱防御に関する研究

主	査	筑波大学准教授	博士(工学)	藤 野 貴 康
副	査	筑波大学教授	工学博士	石 川 本 雄
副	査	筑波大学教授	博士(工学)	西 岡 牧 人
副	査	筑波大学教授(連携大学院)	博士(工学)	船 木 一 幸 (宇宙航空研究開発機構)
副	査	筑波大学准教授	博士(工学)	笠 原 次 郎

## 論 文 の 内 容 の 要 旨

本論文は8章から構成されている。第1章では論文全体の構成を述べると共に、地球再突入飛行体の能動的熱防御法の一つとして提案されている電磁力を用いた熱防御法(MHD Flow Control)に関して、これまでの研究を総括的に記述し、それを踏まえ、本論文の目的を述べている。

第2章では、電磁流体解析で用いた物理モデルと数値解析手法を記述している。

第3章では、簡略化した電磁流体モデルのもと、MHD Flow Controlに及ぼすホール効果とイオンスリップ効果の影響について数値解析から検討している。ホール効果が強く発生する場合、MHD Flow Controlを有効に機能させるためには、電気伝導性の高い材料を壁面に使用することは望ましくないことを解析結果から示した。また、イオンスリップ効果の影響については、電子とイオンのそれぞれのホール係数の積で表されるイオンスリップパラメータが上昇すると、周方向電流が低下し、MHD Flow Controlの効果が弱まることを解析結果から示した。

第4章では、熱化学的非平衡性を含むプラズマ電磁流体方程式と飛行物体の運動方程式を連成して解き、MHD Flow Control適用時の飛行軌道の変化を考慮して地球低周回軌道再突入時の空力加熱に及ぼすMHD Flow Controlの影響を検討している。解析結果から、MHD Flow Controlの熱低減効果は、高高度領域ではMHD相互作用による衝撃層内の流れの減速、それに伴う境界層内の温度勾配の低下によって主にもたらされ、低高度領域ではMHD Flow Controlの抗力増大効果に伴う飛行速度の低下によって主にもたらされることがわかった。

第5章では、輻射熱流束を無視することのできない超軌道再突入環境下で、MHD Flow Controlの空力加熱に与える影響について検討している。超軌道再突入のような輻射熱流束が無視できない環境下では、MHD Flow Controlに伴う衝撃層拡大効果によって輻射熱流束が著しく増加してしまい、磁場の強い条件でMHD Flow Controlを運転すると、かえって空力加熱が増えてしまう事を指摘した。

第6章では、ノーズ半径1m程度の大型の宇宙輸送機への搭載を想定した超電導磁石について検討してい

る。その検討結果に基づいた数十 kg 程度の超電導磁石の作る磁場分布を用いて、地球低周回軌道再突入条件下で MHD Flow Control の数値解析を行い、MHD Flow Control の衝撃層拡大効果、対流熱流束の低減効果を確認している。

第 7 章では、MHD Flow Control の地上実験を行う際、衝撃波の前方の流れは電気伝導性を持たず、衝撃波の背後では電気伝導性を持つという試験気流を用意することが望ましいことを数値解析から確認した。著者はそのような試験気流を生成するための方法として、微量のアルカリ金属（セシウム）を添加した空気を衝撃風洞で用いることを提案した。また、その提案の現実性や有用性を数値解析から確認した。

第 8 章では、本研究の結論と今後の研究課題に関してまとめている。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、高度なプラズマ電磁流体解析から、地球再突入時の能動的熱防御法の一つとして提案されている MHD Flow Control に関して研究を行ったものをまとめたものである。特筆すべき研究成果として、再突入軌道とプラズマ電磁流体の連成解析から MHD Flow Control の抗力増大効果と熱低減効果の定量的関係を初めて明確に示した。また MHD Flow Control の数値解析で初めて輻射熱流束を取り扱い、輻射熱流束を無視できない超軌道再突入環境下では MHD Flow Control は熱防御法として機能しない可能性があることを初めて指摘した。これら二つの成果は MHD Flow Control の研究に極めて意義のある新たな知見を与えており、著者の研究は高く評価できる。

よって、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。