

審査の結果の要旨

氏名 金田 良介

本論文は、「超電導コイルを用いたフォーメーションフライト衛星の相対位置制御」と題し、地球近傍軌道でのフォーメーションフライト衛星の相対位置制御において、衛星搭載の超電導コイルにより衛星間に働く磁気力を、地磁場による姿勢外乱の影響を回避しつつ利用するコイル交流駆による動制御方式を新たに提案したものである。衛星相互の交流電流間の位相差に基づいた相対位置制御系の設計、交流電流の位相を変化させる位相制御回路の提案を行い、超電導コイルを用いた実験により位相制御回路の性能を確認し、設計した相対位置制御系を衛星シミュレータに組み込み、さらに実験で用いた位相制御回路をシミュレーションループ内に含むハードウェア・イン・ザ・ループ実験により、提案方式を検証したものであり、7章で構成される。

第1章は序論であり、研究の背景、目的、論文の構成などを述べている。

第2章では、衛星フォーメーションの軌道力学的な解析を行い、必要な制御力の定式化を行っている。従来から相対位置制御のために必要とされてきた電気推進機関を用いた場合の推進剤の量を評価し、ミッション期間を長期間にとる場合には、推進燃料重量が非現実な値になることを示している。

第3章ではフォーメーションフライト衛星に超電導コイルを搭載し、コイル間に発生する磁気力により相対位置制御を行う方式を提案している。この方式の最大の利点は、原理的にミッション期間が制限されないことであり、仮定した近地球軌道ミッションを数年以上行なう場合、総重量の観点から推進機関を用いる方式に対して提案方式に優位性があることを示している。本論文で想定しているフォーメーションフライトミッションでは衛星間距離は数10 m程度であり、このような距離で必要な磁気力を発生させる超電導コイルを有する衛星には、地磁場の影響により、通常姿勢制御能力をはるかに超えた外乱磁気トルクが発生する。既存の姿勢制御機器でこのような外乱トルクを長時間抑制することは現実的ではなく、本論文では、このような問題に対し、コイルを交流駆動することにより地磁場の長期的な影響を排除しつつ、磁気力を交流磁気モーメント間の位相差により制御することを提案している。

第4章では、交流位相差に基づいたフォーメーションフライト相対位置制御系の設計について述べている。制御設計では、係数図法で設計された相対位置制御器のチューニングパラメータと制御誤差の関係、および交流磁気モーメントの駆動周波数と制御誤差の関係

を明らかにした。また、設計した制御系の性能を確認するために行ったシミュレーションの結果から、設計時に見積もった精度で相対位置が制御できることが示されている。

第5章では、超電導コイルを励磁する交流電流の位相を制御する方法について検討している。本論文では、超電導コイルとキャパシタで共振回路を構成し、共振電流をコイルの励磁電流としている。このような駆動回路に対して、共振回路に外部からインパルス的に電流を注入することで効率よく共振回路の振幅と位相を制御する方法を提案し、その位相制御回路の定式化を行い、数値シミュレーションを実施している。さらに、実際の超電導コイルを用いて共振回路を構成し実験を行い、シミュレーションと実験の良い一致がみられたことが述べられている。

第6章では、共振回路と位相制御回路の物理モデルを、軌道運動を考慮したフォーメーションフライトのクローズドループシミュレーションソフトウェアに組み込み、提案方式の総括評価を行ない、提案方式が成立するために必要な駆動回路の性能を明らかにしている。さらに、実験で用いた位相制御回路ハードウェアをシミュレーションソフトウェアに結合し、シミュレーション内の衛星のコイル駆動に関する物理モデルを実際のハードウェアに置き換えたハードウェア・イン・ザ・ループ試験により提案手法の評価を行っている。衛星搭載時に極めて近い状態を実現しているモデルをシミュレーションループ内に含む試験において相対位置制御が成立するという結果を得られたことにより、本提案方式の実用性を示している。

第7章は結論であり、本論文をまとめ、研究の成果について総括している。

以上これを要するに、本論文は、地球近傍領域での磁気力を用いた衛星フォーメーションフライトの相対位置制御方式に関して論じたものである。地磁場の影響を排除するための超電導コイル交流駆動の必要性を提示し、交流磁気モーメント間の位相差に基づく相対位置制御の精度と、制御器の性能およびコイル駆動周波数との関係を明らかにした。また、交流磁気モーメントの位相を制御する手法を提案し、超電導コイルを用いた実験により駆動回路の特性などについて有益な情報を得ることができた。これらの結果より、提案する磁気フォーメーションフライト実現可能性を検証したものであり、宇宙工学、電子工学上貢献するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。