

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	可変形状機能を用いた宇宙機の姿勢制御と軌道上性能評価
Title(English)	
著者(和文)	渡邊奎
Author(English)	Kei Watanabe
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12523号, 授与年月日:2023年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:中西 洋喜,山浦 弘,岡田 昌史,遠藤 玄,坂本 啓
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12523号, Conferred date:2023/9/22, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		渡邊奎	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名	
	主査	中西 洋喜	准教授	審査員	坂本 啓	准教授	
	審査員	山浦 弘	教授				
		岡田 昌史	教授				
		遠藤 玄	教授				

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は、「可変形状機能を用いた宇宙機の姿勢制御と軌道上性能評価」と題し、以下の 7 章から構成されている。

第 1 章「序論」では、研究背景と目的を述べている。超小型衛星のミッションの多様化に伴い、安定かつ迅速な姿勢制御や軌道制御の実現が要求されているが、超小型衛星には体積、重量、電力の厳しいリソース制限があるため現在実用化されている制御機器では要求を満たすことが困難であること、衛星形状を能動的に変化させる可変形状機能により内力トルクや外力変化を利用した姿勢制御や軌道制御などが可能となり、衛星の多機能化、リソース制限の緩和が期待されるが、未だ理論研究のみで、変形を伴うことを考慮した宇宙機システムの実現性検討や軌道上実証例がないことの課題を指摘している。そこで、本研究では宇宙機の可変形状機能の実現を目的とし、軌道上実証衛星、特に可変形状を積極利用した姿勢制御系の設計法を明らかにし、数値シミュレーションや地上実験、軌道上実験を通して設計妥当性や性能の評価を行うと述べている。

第 2 章「可変形状機能を有する宇宙機の姿勢運動学」では、本論文で扱う可変形状宇宙機システムの運動学を浮遊多剛体系として定式化し、可変形状姿勢制御の基本原理解を説明している。

第 3 章「軌道上実証衛星の開発」では、50kg 級可変形状機能実証衛星 HIBARI について述べている。姿勢制御のために太陽電池パドルを大きな角度範囲で駆動することが衛星システムに与える影響と、その可変形状機能実現のための設計要求を整理し、要求を満たすための設計手法を示すとともに開発した衛星ハードウェアについて述べている。

第 4 章「姿勢決定制御系の開発」では、第 3 章で示した要求を満たすための姿勢制御系について設計法を述べている。可変形状による姿勢制御には、姿勢制御性能要求と、形状変化に伴うシステムの安全の担保を同時に満たす必要があることを指摘し、各要求を満たすような 2 つの独立したソフトウェア構成、迅速な姿勢変更のためのフィードフォワード制御則、高精度指向のためのフィードバック制御則、および、パドル駆動系異常時の自律的な検知手法と対応法について提案している。

第 5 章「軌道上実証衛星の地上試験」では、設計したパドル駆動系、姿勢制御系および衛星システム全体についての設計妥当性や性能を評価するための地上試験について述べている。パドル駆動系については、微小重力環境下や高温・低温真空環境下での駆動試験を行い、駆動系の軌道上動作健全性および駆動特性を確認している。また、可変形状機能を有する宇宙機に対応した軌道上環境模擬姿勢シミュレータとして、ソフトウェアのみで構成された SiLS (Software in the Loop Simulator) と、実ハードウェアを含み現実により近い HiLS (Hardware in the Loop Simulator) の 2 種類を開発し、制御アルゴリズムの妥当性評価や軌道環境を模擬した性能評価を行っている。姿勢制御の迅速性についてハードウェアの特性や通信時間に起因する影響を評価し、フィードフォワードパドル駆動制御を用いた姿勢制御を行うことで迅速な姿勢制御を達成できることを示している。さらに、衛星システム全体が可変形状機能により受ける影響について、通信系のアンテナパターン試験、構造系の振動試験、衝撃試験、質量特性測定、熱系の熱真空試験を行い、設計妥当性や課題を示している。

第 6 章「軌道上実証衛星の軌道上実験」では、2021 年に地球周回軌道へ打ち上げられた HIBARI の軌道上実験結果について述べている。初期運用結果から衛星システムの妥当性を確認し、パドル駆動実験から温度と真空環境による摩擦トルクを含む駆動系力学モデルの推定を行っている。また、同モデルを用いたパドル駆動角速度の推定補完手法を提案し、軌道上姿勢実測値との比較から、故障により取得軌道上データが低い時間分解能となった HIBARI においても必要な角速度履歴が得られることを示している。本手法を用いてパドル駆動による姿勢制御実験を行い、特に姿勢変更の迅速性や消費電力を評価し、既存の迅速な姿勢制御アクチュエータであるコントロールモーメントジャイロよりも少ない消費電力で、より迅速な姿勢制御が行えることを示している。また、軌道上実験を通じて得られた知見を基に設計法および地上での検証手法の課題について整理し、今後の改善策を提案している。

第 7 章「結論」では、本論文の結論および今後の課題を述べている。

以上を要するに、本論文は、可変形状機能を用いた迅速な姿勢制御系の設計手法と超小型衛星への実装手法を明らかにし、数値シミュレーション、実証衛星の製作、地上実験と軌道上実験を通じてその妥当性と有効性を実証しており、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があるものと認められる。