

補助事業番号 2023M-362

補助事業名 2023年度 CubeSat級超小型衛星での軌道・姿勢制御自律化による

衛星間通信の開発研究 補助事業

補助事業者名 国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学 稲守 孝哉

## 1 研究の概要

複数機の小型の衛星の協調動作による地球観測など新たな宇宙利用のため、CubeSat級の超小型衛星において自律的な衛星間通信の手法の構築が求められている。従来、CubeSat級サイズの衛星ではその小さいスケールゆえに制御機器の搭載が困難であり、衛星間通信のためのアンテナ方向の制御が難しかった。本研究では、従来、外乱として扱われてきた小型の衛星ほど影響が大きな宇宙環境にて生じる力を利用し、軌道・姿勢を自律的に決定しアンテナ方向を制御する手法を構築した。

## 2 研究の目的と背景

近年、複数機の衛星を協調的に動作させる新たな地球観測や通信ネットワークが検討され、メガコンステレーション(衛星群)による新たな宇宙利用が期待されている。この新たな宇宙利用の敷居を下げる試みとして、低コスト、短い開発期間の小型の衛星の利用が進んでいる。小型の衛星においては自律的な衛星間通信による複数機の協調が重要だが、アンテナの指向制御のための従来の制御機器の搭載が難しく、小型の衛星ほど協調的な動作が難しい。従って、衛星間通信を達成した複数機による新たな宇宙利用が望まれる状況である。本研究では、複数機の小型の衛星の協調動作による地球観測など新たな宇宙利用のため、自律的な衛星間通信の技術を構築、実証し実用化を目指す。

### 3 研究内容 ([http://nanosat.nuae.nagoya-u.ac.jp/research\\_nanosat.html](http://nanosat.nuae.nagoya-u.ac.jp/research_nanosat.html))

#### ① 自律的軌道決定(アンテナ指向目標方向の把握)

各々の衛星の軌道(位置)と複数の衛星の相対軌道の推定手法について検討を行った。各々の衛星の軌道推定については、太陽センサーから得られる蝕に入る時間情報と磁気センサーから得られる計測値を用いた決定手法について検討した。本手法を数値シミュレーションにて検証した(図1)。相対軌道については衛星間通信に用いる通信機の電波強度を用いる手法について検討した。アンテナパターン試験からアンテナパターンのモデルと大きく異なる場合があり(図2)、衛星の姿勢によってはモデルを用いた推定は困難である。これは衛星の筐体の影響による。そこで、衛星のおおよその姿勢から筐体の影響が出にくい姿勢のときのみ観測値更新を行う推定則を構築した。これにより、1m~10mの精度で軌道決定できることを数値シミュレーションにより確認した。

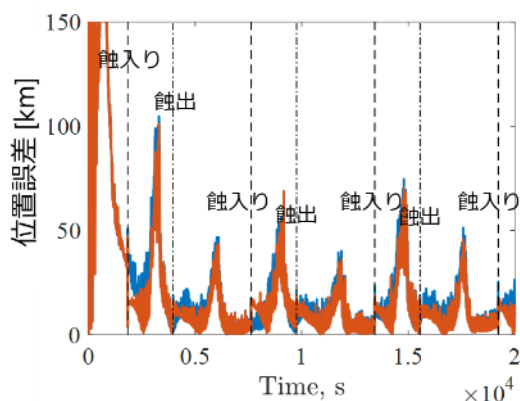


図1 太陽センサーと磁気センサーを用いた軌道決定

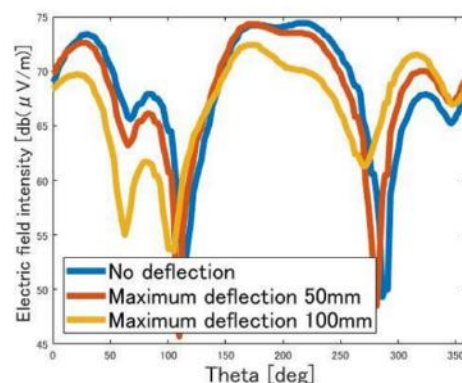


図2 アンテナパターン試験結果

#### ② 自律的姿勢制御(アンテナ指向目標方向の制御)

本研究では姿勢制御において宇宙環境にて生じる磁気力を用いることを考えた。衛星間通信を実施する場合には通信の相手側の衛星の軌道運動を考慮してアンテナを指向させる必要がある。そのため、姿勢を制御するための姿勢アクチュエータが必要となる。今回はCuebSat級の超小型衛星を用いるため、衛星構造として用いることができシステム全体の質量、スペース、電力を小さく抑える磁気トルカを用いた。磁気トルカを用いた姿勢制御則を構築し数値シミュレーションで検証した。発生する磁気外乱につ

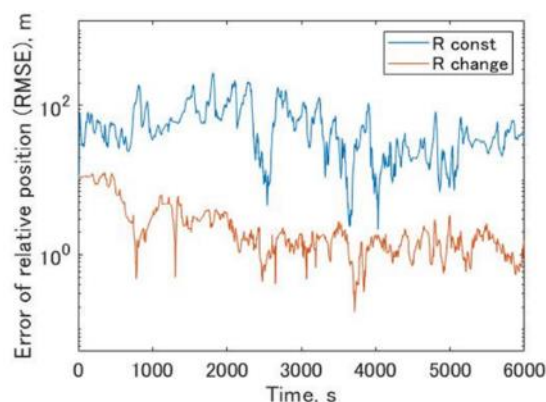


図3 電波強度を用いた相対軌道推定結果

いては外乱トルクの推定による補償により姿勢制御精度を高めた。HILS (Hardware in the Loop Simulator) を構築して、姿勢制御則を実装したプロセッサと姿勢運動を模擬するシミュレータのPCを接続して、検討した姿勢制御則の検証を行った。衛星の姿勢を安定化できることと衛星間通信を行う衛星の方向にアンテナを指向できることを確認した(図4、図5)。

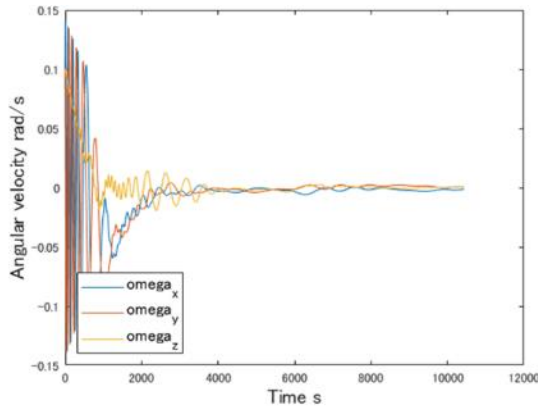


図4 姿勢安定化のHILSシミュレーション結果

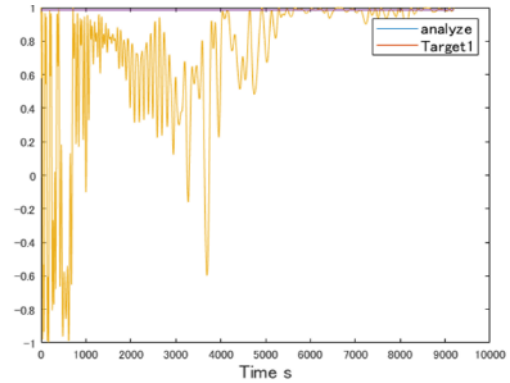


図5 衛星方向追従則のHILSシミュレーション結果

### ③ 衛星間通信システムの開発

①②の結果をもとに衛星間通信を達成するための通信システムを開発した。今回は、実績のあるUHF、VHF帯の周波数帯域の通信機を用いた。衛星用の電子基板をもとに宇宙実証を目的として放射線耐性を考慮したシステムを構築した。通信機を組み込んだ電子基板を設計・製造し(図6)、ソフトウェアを開発して動作確認試験を実施した。試験により衛星のテレメトリデータを衛星間通信により相互にやり取り可能であることを確認した(図7、図8)。



図6 開発した通信・情報処理基板

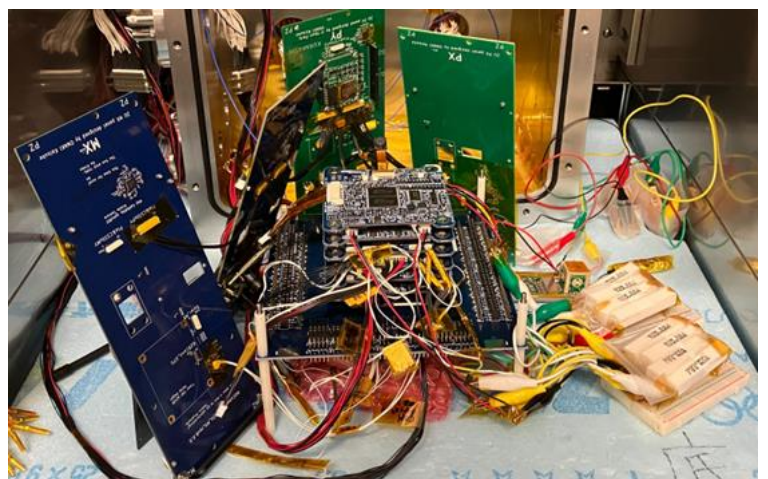


図7 機能試験構成



図 8 衛星間通信におけるテレメトリ受信確認試験の様子

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究では CubeSat 級の衛星にて姿勢制御能力を高めて衛星間通信を行う技術についての検討を行った。軌道運動を行い特定の地点を継続的に観測できない衛星において、衛星間通信を行うことで複数の衛星が情報を共有することが可能となる。これにより、ある地点の継続的な観測、また衛星間通信により観測タイミングを合わせることで多地点同時観測を行うことが可能となると期待できる。これによりリモートセンシングなど宇宙利用における様々な分野における発展に貢献できるものと期待できる。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

今回の研究では、軌道・姿勢を自律的に決定しアンテナ方向を制御する新たな技術を構築し衛星間通信を行い、これらのアルゴリズムが実用化可能であることを確かめた。今後は、実際の運用を意識した衛星システムへの組み込みを行い提案手法の軌道上実証を目指す。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

坂口友太, 稲守孝哉, Park JiHyun, HoangXuanTruongAn, GuXinbo, 藤田剛輝, 浮田大貴, 大崎嵩友, 田口真也, 玉置尚也, 安田豊, 山口隆正, 宇佐見海渡, 大脇敬介, 蟹江颯, 山口皓平: 編隊飛行実証衛星「MAGNARO-II」の開発状況について, 第 67 回宇宙科学技術連合講演会, 2B21, 富山, 2023.

大脇敬介, 稲守孝哉, 山口皓平, Park JiHyun: 高速スピン衛星にはたらく渦電流トルクの軌道上推定, 第 67 回宇宙科学技術連合講演会, P055, 富山, 2023.

蟹江颯, 稲守孝哉, 山口皓平, Park JiHyun: 人工衛星の姿勢・軌道運動に着目した太陽電池の最大電力点追従制御, 第 67 回宇宙科学技術連合講演会, P076, 富山, 2023.

D. Ukita, T. Inamori, J. Park, "Magnetic Torque Caused by Magnetic Substance Considering Three-Dimensional Attitude Dynamics", *The 34th International Symposium on Space Technology and Science*, 2023-d-63, Kurume, Japan, 2023.

Y. Fujita, T. Inamori "Relative Orbit Determination of Satellites by Radio Waves Considering Attitude Motion", *The 34th International Symposium on Space Technology and Science*, 2023-d-64, Kurume, Japan, 2023.

7 補助事業に係る成果物

特になし。

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 名古屋大学(ナゴヤダイガク)

住 所: 〒464-8603

名古屋市千種区不老町 名古屋大学 大学院工学研究科  
航空宇宙工学専攻

担 当 者: 准教授 稲守 孝哉(イナモリ タカヤ)

担 当 部 署: 大学院工学研究科(ダイガクインコウガクケンキュウカ)

E - m a i l: inamori@nuae.nagoya-u.ac.jp

U R L: <http://nanosat.nuae.nagoya-u.ac.jp/index.html>