

論文の内容の要旨

論文題目 超小型衛星における姿勢制御システム高精度化の方法論に関する研究

氏 名 稲守 孝哉

近年、超小型衛星を用いたリモートセンシングや天文観測等のサイエンスミッションが短い開発期間、低コストといった特徴から注目を集めつつあり、多様なミッションへの応用が検討されている。これらのミッションの中には従来の大型衛星に劣らない高解像度の地表画像や高精度な科学データ取得を目的としたものがあり、観測中に arcsec オーダーの姿勢安定度を要求するものが出てきている。このような動向のなかで東京大学中須賀研究室は国立天文台 JASMINE 検討室と共同で、35 kg の超小型衛星を用いて全天の星の3次元位置情報を取得する Nano-JASMINE の開発を行った。本衛星は位置天文衛星 JASMINE のパスファインダーミッションとして観測原理や観測機器の技術実証の他に、星の位置や固有運動のサイエンスデータを取得する事を目的としている。本ミッションにおいては全天の星の位置を計測するため2年間のミッション期間の9割を観測に充て、その間1 arcsec という姿勢安定度を維持する事が要求される。過去に1 arcsec 精度の姿勢安定度を達成した衛星の多くは1トン級をはじめとした大型の衛星であり、50 kg 以下の衛星ではまだ達成されていない。このような高精度姿勢制御を達成するためには超小型衛星の小さなサイズや質量から生じる制約の中で、従来の衛星とは異なる新たな技術的問題点を解決する必要がある。以上より、今後超小型衛星において arcsec オーダーの姿勢安定度を要求する衛星が増加するなかで従来の大型衛星とは異なった新たな制約、問題点を明らかにし、これらの対応について検討する必要性が生じた。本研究では50 kg 以下の衛星において1 arcsec の姿勢安定度を達成するための方法論について検討を行う。

超小型衛星は打ち上げコストを抑えるため重量やスペース、さらに電力について厳しい制約が生じる。これらの厳しい制約下において従来の大型衛星と同精度の姿勢安定度を達成するためには以下三点の問題を解決する必要がある。一点目は、従来の大型衛星にて使用する高コスト、重量、高消費電力の高精度の姿勢センサー、アクチュエータの使用が困難である点である。例えば1 arcsec の姿勢安定度を計測するレートセンサーは容量、重量、消費電力、費用何れをとっても搭載が困難である。さらに高い周波数振動を制御可能なアクチュエータは高消費電力、重量が大きく、これらを用いての擾乱抑圧は非常に困難である。二点目は超小型衛星は小さな慣性モーメントから外乱に弱く姿勢が乱れやすく、さらに支配的となる外乱が従来衛星と異なる点である。例えば磁気外乱は1トン級大型衛星と比較して単位時間に100倍程度の角速度変化が生じる。従来の衛星では影響の小さな磁気外乱は重要視されないケースも存在するが、超小型衛星では最も支配的な外乱であり超小型衛星における外乱環境の検討とこれらを押さえ込む新たな枠組みが必要である。三

点目はセンサーやアクチュエータの地上較正，さらに地上での **End-to-End** 試験の実施が困難である点である．高い精度で姿勢を安定させるためには，センサーの各種ノイズや機器間のミスアライメントの高精度での補償が必須である．しかしながら研究開発機関の保有する較正施設は従来の比較的大型な衛星の較正を目的としたものが多く，超小型衛星に搭載する機器の高精度の較正が非常に困難である．例えば超小型衛星は小さな出力トルクや磁気モーメントのアクチュエータを用いるが，外乱の大きな地上でこれらを精度よく較正することは非常に困難である．さらに超小型衛星の開発は一般的に小さな組織で行われる事が多く較正施設を持たないため，施設借用，準備などを含め較正に要する時間や費用のコストも大きい．

本研究ではこれら三点の問題点の解決方法について検討を行う．従来の高精度姿勢制御機器や高周波擾乱抑圧のアクチュエータの使用が困難である点に関しては，超小型衛星に搭載可能な機器の有効利用方法や擾乱源排除についての検討を行う．例えばミッション望遠鏡やSTT，太陽センサーを用いた画像を用いた高精度姿勢レート推定，さらにRWの擾乱対応としては外乱からRWが吸収する角運動量を磁気アクチュエータで小さく抑え，擾乱の小さな小型RWを搭載して擾乱を低減する方法についての提案を行う．外乱に弱い点に関しては，構造設計及び軌道上での外乱推定とフィードフォワード補償による影響低減方法について検討を行う．地上較正が困難である点に関しては，軌道上において衛星機器のミスアライメント他，各種パラメータを推定し軌道上で機器モデルの再構築を行う事で要求姿勢精度を達成する手法について検討する．

本論文においては，これら上述した問題点とその対応について一般的な観点から議論した後，具体例として30 kg級天文衛星Nano-JASMINEと10 kg級リモートセンシング衛星PRISMにおいてそれぞれ1 arcsecと10 arcsecの姿勢安定度を達成する際の問題点と対応をより具体的な観点からまとめる．