

# Analytical Approach to Position and Attitude Control of an Underactuated Satellite Using Thrusters

吉村, 康広

<https://doi.org/10.15017/1398376>

---

出版情報：九州大学, 2013, 博士（工学）, 課程博士  
バージョン：  
権利関係：全文ファイル公表済

氏名・(本籍・国籍)	よしむらやすひろ 吉村康広 (山口県)
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	工博甲第2289号
学位授与の日付	平成25年9月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学府 航空宇宙工学専攻
学位論文題目	Analytical Approach to Position and Attitude Control of an Underactuated Satellite Using Thrusters (解析的アプローチによるスラスタを用いた劣駆動衛星の位置・姿勢制御)
論文調査委員	(主査) 教授 外本伸治 (副査) 教授 宮沢与和 教授 梶原宏之

## 論文内容の要旨

本論文では、惑星探査に必要な人工衛星の位置・姿勢制御を少数のスラスタを用いて行う劣駆動制御手法を提案する。少ないアクチュエータ数により衛星の制御を可能にすることで、制御機器故障時においてもミッションを継続することができ、衛星の信頼性と寿命を大幅に向上することに貢献する。提案手法は解析的なアプローチによって並進運動・回転運動への影響を導出できる。そのため、本論文で扱うシステムに限らず、入力制約をもつ劣駆動システムに対して有効な手法のひとつの指針になるものである。

第1章では、研究背景と関連研究の調査をまとめる。これまで打ち上げられてきた惑星探査機は、その位置と姿勢を制御するために、スラスタやリアクションホイールをはじめとした制御アクチュエータを数多く搭載している。その結果、衛星の各運動を独立に考えることができ、制御を簡単化できる。また、アクチュエータ故障時のバックアップとしても有効である。しかし、多くの制御アクチュエータ搭載は、重量制限の下ではミッションで最も重要な観測機器の搭載を制限するというトレードオフの関係にある。また、いくつかのアクチュエータが故障した際に、残されたアクチュエータでどのように制御するか、どのような制御が可能であるかという議論は行われていない。そこで、本研究では、少数のスラスタを用いて衛星の位置・姿勢同時制御を達成するための手法を構築することを目的とする。このような劣駆動システムに対する一般的な制御手法は、未だに確立されていない。さらに、スラスタはその機構上、一方向に

のみ推力発生するという入力制約を持つ。したがって、本研究で扱うシステムは入力制約を持つ劣駆動システムとなり、既存研究の手法を直接適用することが困難である。その解決手段として、本論文では一定推力を加える場合に生じる位置・姿勢運動への影響を解析的に表現することで、制御手法を提案する。

第2章では、いくつかのスラスタが姿勢制御に必要であるかを議論する。スラスタの一方向入力制約を考慮し、スラスタが発生可能なトルク領域を厳密に示すことで、必要スラスタ数を導出する。劣駆動姿勢制御を考慮した結果、既存の結果より少ない3基の平行配置スラスタで制御可能であることを示す。さらに、そのスラスタ数・配置をベースに劣駆動姿勢制御則を導出する。既存の制御手法は慣性モーメント比が軸対称に近い、もしくは軸対称から大きく離れると制御効率が大きく低下すると問題がある。本研究で導出した制御手法は、慣性モーメント比に応じて変化するゲインを導入することで、どのような慣性モーメント比をもつ衛星にも適用可能な制御則である。制御則の有効性は数値シミュレーションによって確認する。また、必要スラスト量を小さくするスラスタ配置についても議論している。

第3章は、小惑星表面などの局所的な慣性系に対して浮遊している衛星の3次元位置・姿勢制御を扱う。衛星は4基のスラスタのみを有し、一定値かつ一方向入力という制約を持つ。一定値推力を発生させる場合の並進運動と回転運動の解析解を導出することで、所望の位置と姿勢へ制御するための入力タイミングと入力時間を明らかにする。その解析解を用いた制御手法を示し、数値シミュレーションにて有効性を確認する。さらに提案手法を、月面ピンポイント着陸ミッションに適用することも検討している。ここでは、実システムに近い質量変化を伴うモデルに対して、部分積分を用いた高精度の近似解析解を導出し、提案手法の有効性を示す。

第4章では、軌道運動の影響を考慮して、フォーメーションフライトにおける劣駆動衛星の位置・姿勢制御問題を扱う。フォーメーションフライトにおいて重要な、ランデブー問題と軌道再配置問題という2つの問題に対して制御手法を提案する。ランデブー問題では、主衛星をカメラで追従するために姿勢変更を少なくしながらも、軌道ドリフト速度を利用した燃料効率の良いマニューバ手法を示す。この必要増速量は、半径方向と進行方向の入力に対して、モード解析を用いることで解析的に得られる。一方、軌道再配置問題では、慣性系に対して姿勢制約を満たす最適軌道再配置手法を提案する。衛星を少ないスラスタ数で制御するために、まず任意の参照入力ベクトルへスラストベクトルを向けるための参照入力追従制御を示す。それにより、姿勢制約は入力方向制約と等価となる。したがって、入力方向制約を満たす最適軌道再配置入力を設計することで、姿勢制約を満たす最適軌道再配置手法を提案する。

第5章では、本論文の結論をまとめ、さらなる発展の方針や課題について述べる。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、人工衛星の位置と姿勢を少ない数のスラスタで制御する手法を論じており、スラスタ出力が一定値である場合には、並進運動への影響を解析的に表現できることを示し、その表現式を用いることで、衛星の位置と姿勢の両方を所望の値にする制御則を提案している。また、軌道運動まで考慮した劣駆動衛星の位置・姿勢運動を論じており、その制御法を示している。このように本研究は、少ないスラスタで衛星の位置・姿勢を目標値に制御する手法について新しい知見を与えたもので航空宇宙工学上寄与するところが大きく、博士（工学）の学位論文に値すると認める。