

## 論文の内容の要旨

論文題目 「仮想ポテンシャル場を用いた  
人工衛星の相対軌道計画法に関する研究」

氏 名 永 井 将 貴

近年の情報通信技術の発展により、小型高性能な衛星の設計/制作が可能となり、複数の小型衛星を用いてミッションを遂行する「フォーメーションフライト」の概念が注目されてきた。また、国際宇宙ステーション建設に代表される滞在型/持続的宇宙開発により、宇宙機の保守管理やデブリの除去など、「軌道上サービス」も重要となってきた。これらのミッションでは、衛星同士のコラボレーションが不可欠であり、衛星の相対的位置関係を扱う誘導則や軌道計画法が必要となる。

従来は、ある基準点に対する相対軌道計画法として「CW誘導則」が用いられてきた。CW誘導則では、マニューバ時間を設定し、CW座標上(軌道上の基準点周りのローカル座標)の離れた2点を結ぶ軌道を設計する。マニューバ開始/終了時にそれぞれインパルス増速を必要とする。CW誘導則は、増速回数(2回)や増速特性(インパルス)が固定されており、誘導則の設計自由度が少ない。また、マニューバ時間の指定はできるが消費燃料の最適性が保障されない。その上、消費燃料を減らすための設計指針が見えず、最適化には時間空間で全数探索するなどの数値計算が必要となる。

これらの問題を解決するために、本研究では簡易で低消費燃料の相対軌道計画法を提案することを目的とする。CW誘導則には扱えない事例や条件に対応するため、「仮想ポテンシャル場」の概念を導入する。人工的に設定することや重ね合わせが可能であるポテンシャル場は、経路設計や衝突回避など、ロボット工学をはじめ様々な分野で応用されている。本研究では、相対軌道計画においてポテンシャル場の概念を導入し、基礎的な考え方を考察するが、ポテンシャル場の概念の可能性は大きく、将来にわたる発展が期待できる。

本研究ではまず、従来は位置/速度で把握していた衛星運動を、ポテンシャル中心位置(振動中心位置)とポテンシャル内運動(振動運動)の振幅/位相のパラメータで理解する。各パラメータを制御するための必要最小増速を明らかにし、燃料消費の少ない軌道計画法につなげる。単一衛星の軌道計画法は、軌道上サービスのミッションに応用でき、群衛星の軌道計画法はフォーメーションフライトへの応用が期待される。

群衛星の軌道計画では、隊形を完全に維持した誘導則を導き、これは具体的なInSARミッションにおいて有用であることを示す。また、InSARミッションにおける最適隊形が円隊形を含む等位相間隔配置であることを証明し、そのための隊形展開誘導則を導く。この隊形展開手法は、過去の研究と比較して必要増速を抑えられることを示す。

そして最後に、CW誘導則に倣って時間指定した軌道計画を導く。2インパルスだけでなく、3インパルスによる誘導則も提案する。3インパルスによる誘導則は、2インパルス時に比べて必要増速を少なくできることを示す。また、CW誘導則では必要増速を最小化するために時間空間における探索が必要となるが、ここでは全探索をすることなく準最適なマニューバ時間や制御力を導く方法を提案する。

本論文は以下のような流れで構成される。第1章の序論では、研究背景や従来手法の問題点などを述べる。第2章では、仮想ポテンシャル場の概念を導入して衛星運動を表現し、軌道計画に必要な基礎式を導出する。第3章では単一衛星の軌道計画を考える。単一衛星を扱う場合、群衛星を扱う場合と比べて拘束条件数が少なく、理論的最小増速の軌道計画を容易に提案できる。第4章では群衛星の軌道計画法を提案する。隊形を維持した軌道遷移や、隊形を変化させる手法を提案する。第5章では、提案手法を具体的なミッションへ応用する。群衛星による干渉合成開口レーダーミッションを例に、まずは最適隊形を数学的に導き、それに向かう誘導則を導く。第6章では、時間を指定した軌道計画法を提案する。同じく時間を指定するCW誘導則との違いや利点を明確にする。第7章では、提案手法に関して、特徴や利点、欠点についてまとめる。そして第8章では、本研究の結論と今後の課題について述べる。