

## 審査の結果の要旨

氏名 永井 将貴

修士（工学）永井将貴提出の論文は、「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」と題し、8章と付録からなっている。

近年、軌道上サービスや干渉型合成開口レーダー(In-SAR)のような複数衛星の相対関係が重要となる宇宙ミッションが実際に行なわれるようになり、衛星間の位置関係を望ましい状態に誘導する方法論の必要性が増している。その問題に対し、従来は円軌道を飛ぶ基準物体との相対運動を線形方程式で記述し、その厳密解を利用して誘導を行なうCW誘導則が主として用いられてきた。その場合、相対軌道はある時刻における位置・速度の6自由度で記述されることが多く、地球周回軌道の6要素のような直感的に理解しやすい表現法がなかった。また、CW誘導則は増速回数や増速特性が固定されているなど設計自由度は少ない上、消費燃料低減の設計指針が見えず、消費燃料最小化には移行時間を時間空間で全数探索するといった高負荷の数値計算が必要であることなど、その実問題への適用には問題点があった。

これに対し本論文は、移動ロボットの経路設計などの分野で実績のある「ポテンシャル場」の概念を導入し、相対軌道を記述する新しい枠組みと、それを利用した、設計自由度が高く簡易で消費燃料低減可能な相対軌道の計画手法を提案している。

本論文ではまず、従来は位置・速度で記述していた衛星の相対運動を、振動中心位置とポテンシャル内振動運動の振幅・位相のパラメータで表現している。これはちょうど、地球周回軌道を衛星の位置・速度ではなく軌道6要素で表現する方法と似ており、直感的に衛星の相対運動を理解することを助け、消費燃料低減化の指針を見えやすくしている。つぎに、相対軌道の設計問題を、その振幅・位相の変化の設計問題に翻訳することで、CW誘導則より見通しのよい設計ができることを示し、その応用として、消費燃料を低減できる誘導則や、群衛星隊形を維持・変更する誘導則へ適用できることを示している。また、初期・目標条件や軌道移行時間を自由に設定できる点や、障害物回避や接近方向指定などの要求を付加ポテンシャルの重ね合わせで簡易に導入できるなどの有利な点を述べ、それらをまとめて、本提案手法は実際に起こりうる様々な相対軌道設計問題に効果的に適用できると主張している。

第1章は序論であり、相対的な軌道計画法が必要とされる背景、および従来手法の問題点などを述べ、研究の目的を明確にしている。

第2章では、運動方程式から仮想ポテンシャル場を数学的に導出し、相対運動を表現する新たな枠組みを提案している。また、誘導を各パラメータの変化の計画と定式化し、それを変化させるために必要な最小増速を理論的に導出し、これは続く第3、4章で提案する手法の消費燃料最小性を判断する基準となっていることを示している。

第3章では、調整するパラメータが1つ、ないしは2つの場合の軌道移行を提案している。これらの手法は消費燃料最小性が保証されており、連続スラストにも適用できるなどの利点

を持っていることを示している。

第4章では群衛星の軌道計画法を提案している。隊形を維持した軌道遷移や、隊形を変化させながら軌道遷移をする、消費燃料最小の誘導法を提案している。また、ここで提案された誘導法は衛星同士が衝突しない軌道移行であることも示されている。

第5章では、提案手法が具体的なミッションへ適用できることを示すために、複数衛星による干渉型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、具体的な誘導法を導出している。

第6章では、初期・目標状態、移行時間を自由に設定できる軌道計画法を提案している。提案手法は、時間や状態を指定するCW誘導則と比較し、その利点を明確にしている。また、ロボット工学において既の実績のある手法を応用し、消費燃料を減らすための指針を提案している。

第7章では、提案手法に関して、特徴や利点・欠点を包括的に考察している。また、考察の一環として、重ね合わせが可能というポテンシャル場の特徴を利用した衛星経路設計法を提案し、障害物回避、接近方向の指定に応用している。さらに、移動ロボット経路設計におけるポテンシャル法には現れない本手法の問題点を明確にし、それらを解決してポテンシャル法を適用する方法や限界を述べている。

第8章では、本論文の結論と今後の課題について述べている。

付録では、本論文で比較対象となったCW誘導則の基礎、移動ロボットの経路設計の分野で用いられているポテンシャル法、そして、具体的なミッションとして第5章で取り上げた干渉型合成開口レーダーについて詳しく述べ、論旨を補完している。

以上要するに、本論文は、衛星間の相対軌道運動の設計が重要になってきた背景を踏まえ、従来誘導則の限界を明らかにした上で、ポテンシャル場の概念を用いて新たな相対軌道の表現の枠組みと相対軌道の計画法を提案し、いくつかの問題に適用してその有効性を検証し、特徴を明らかにしたものであり、宇宙工学上貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。