

## 審査の結果の要旨

氏名 今野 友和

修士（工学）今野友和提出の論文は、「ヒューリスティック手法による宇宙探査機の機体構成と惑星間軌道の複合領域最適化」と題し、5章からなる。

ある関数を制約条件のもとで最小化あるいは最大化する変数値を求める最適化問題は工学の多くの分野に存在し、その最適化手法は理論やアルゴリズムの面から多くの研究がなされている。このような最適化問題のなかで特に求解が難しいのが、制約条件が存在するなかで複数の局所的最適解を有する多峰性関数から唯一の大域的最適解を求める最適化問題であり、現在、その代表的な解法がヒューリスティック最適化手法（発見的最適化手法）である。本論文では大域的探索を目指した新たなヒューリスティック最適化手法を提案している。多くのヒューリスティック手法は自然現象と何らかのアナロジーを持っており、本論文で注目した自然現象は渦現象である。本論文は最適解を求める問題は渦の中心を求めることに相当すると主張し、多探索点があたかも渦をえがくように解空間を移動して、最適解を求める新たな最適化手法を提案した。また、これに探索点が局所解を脱出するためのアルゴリズムと、解空間のトーラス構造への変換といった独自のアルゴリズムを加えている。加えて、基本的な最適化テスト問題と宇宙探査機の初期概念設計問題へ本手法を適用し、提案手法の特性と有効性を示している。

第1章は序論であり、ヒューリスティック最適化手法について過去の研究と課題をまとめた上で、本研究の位置づけと目的について述べている。

第2章では、本論文の主題である新たなヒューリスティック最適化手法を提案している。提案手法のアルゴリズムと特徴を述べた後に定式化と実際の数値計算において必要になる技術を説明している。提案手法の着想は自然現象に見られる渦現象にある。最適化変数値から求められる目的関数値に応じた重力場を解空間に想定し、この重力によって多探索点を移動させて最適解を求めることが基本的な手法である。これに、コリオリ力に相当する移動量を加えることによる大域的な探索能力の向上、宇宙ジェットを模擬した局所解脱出アルゴリズム、また解空間の端を連結して解空間をトーラス構造に変換する方法を提案

している。本章の最後には、次章以降で比較を行う既存のヒューリスティック手法である遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm) と粒子群最適化手法 (Particle Swarm Optimization) についても説明している。

第3章では、提案手法と従来のヒューリスティック手法を不静定トラス問題、多峰性関数問題、ポートフォリオ問題のテスト問題に適用し、提案手法の有効性の検証を行っている。テスト問題は、制約条件の有無、目的関数の多峰性の有無、4 から 1000 までの変数の数など、多岐にわたる。これらの結果、局所的最適解を持つ大多数の最適化問題において、本提案手法はコリオリ力による探索点の移動が有効に機能し、大域的最適解を得られる可能性が高いことが分かり、従来手法より優位であることを主張している。ただし、実行不可能領域が広域にわたる場合には、本手法が持つ局所解脱出アルゴリズムだけでは不十分であり、問題設定に応じた工夫が必要であると、これを今後の課題としている。

第4章では、提案手法を宇宙探査機の機体構成と軌道の複合領域における同時最適化問題に適用し、宇宙探査機の初期概念設計問題を解くことを試みている。ミッションは地球と火星を往復することとし、推進装置として電気推進機を用いた無人探査機と有人探査機の2ケースを考えている。無人探査機は小惑星探査機「はやぶさ」を参考とし、有人探査機では宇宙飛行士を2人搭乗させて地球・火星間を往復することとしている。最小化する目的関数として機体重量とミッション期間の2つを持つ多目的最適化問題とし、宇宙機の各サブシステムの重量と電力の見積もりには簡易推算式を用い、最適化変数は地球出発日時、火星でのランデブー時間、初期全電力、推力の方向角、スラスターのノズル形状を含む。その結果、最適化計算から機体重量とミッション期間の相関関係を得ることができ、それらはミッション立案者にとって宇宙機の初期設計段階での指針となりうることを示している。

第5章は結論であり、提案したヒューリスティック手法について得られた知見をまとめ、今後の課題を述べている。

以上を要するに、本論文は新たなヒューリスティック最適化手法の提案を行い、様々な特徴を持った最適化問題に適用して、その有効性の検証を行った。適用した問題の一つは、宇宙探査機の機体構成と惑星間軌道の複合領域最適化問題であり、提案手法は宇宙探査機の初期概念設計にも有用であることを示し、航空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。