

審査の結果の要旨

氏名 パラル プラムヂタ サトリア

修士（工学）パラル プラムヂタ サトリア提出の論文は、「Multi-Fidelity Uncertainty Quantification and Surrogate-Based Memetic Algorithm for Design Under Uncertainty（不確実性下での設計に対する Multi-Fidelity 不確実性定量化と Surrogate-Based Memetic アルゴリズム）」と題し、6章および付録から構成されている。

現在、不確実性下でロバストかつ高い信頼性をもった設計を行うロバスト最適化が工学的最適化の分野で注目されている。予備設計段階においてロバスト最適解を求めるために、大域的最適化法は重要な役割を果たしており、遺伝的アルゴリズムなどのメタヒューリスティックス手法が広く用いられている。しかしながら、関数評価値を求めるために高い計算負荷を必要とするような最適化問題では限られた計算資源の中でこれら最適化法を十分に活かすことは困難であり、利用できる計算資源を最大限に活かして、できるだけ最善な解を見つける工夫が求められている。以上を背景にして、本論文では、ロバスト最適化法の基盤技術として最適化手法と不確実性定量化法に注目し、これら2つの方法へ取り込む新たな手法を提案している。

第1章は序論であり、本研究の背景と先行研究、関連文献についてまとめた上で、本研究の位置づけと目的、本論文の構成を述べている。

第2章では、多目的最適化、遺伝的アルゴリズム、サロゲートモデル、ロバスト最適化、および多項式カオスを用いた不確実性定量化の基礎理論が説明されている。また、本論文が与える関連研究領域への貢献内容がまとめられている。工学の諸分野で最適化計算を適用する際の困難は、その計算負荷の大きさにある。特に最適化計算を繰り返すロバスト最適化では、計算負荷の問題は顕著となる。本論文は、その改善を目標にすると述べている。

第3章は高負荷の多目的最適化問題を解くため、既存の local surrogate-assisted multi-objective memetic algorithm の改良を説明している。はじめに、アルゴリズムの基盤となる single surrogate-assisted multi-objective memetic algorithm (SS-MOMA) が説明され、次に、SS-MOMA の改良点の

詳細が論じられている。SS-MOMA における多目的関数の扱い方として、関数の加重和に代わる **achievement scalarizing function**、また **random mutation hill climber** 法が説明されている。さらに、目的関数の正規化、制約条件の取り扱い法に関する新たな提案もされている。これらを組み込んだ SS-MOMA の有効性は幾つかのテスト問題に適用することで確認され、また空気力学的な最適設計問題にも適用することで、改良された最適化法の有効性と従来手法の SS-MOMA 及び他の多目的遺伝的アルゴリズムとの比較がされている。その結果、提案された SS-MOMA によって求められた最適解の質は、従来手法のそれらより優れていることが示されている。

第4章では、多項式カオスを用いた **multi-fidelity** 不確実性定量化に対する新たな手法を論じている。まず、多項式カオスを用いた **multi-fidelity** 不確実性定量化の基礎概念を説明した上で、多項式係数を計算するために、**spectral projection** を用いた従来の多項式カオスに代わって、**multi-fidelity point collocation non-intrusive polynomial chaos (MF-PCNIPC)** を新たに提案している。MF-PCNIPC はサンプル点と多項式基底の選択を柔軟にし、高次元の最適化問題の近似誤差を減少させることを述べている。最後に、提案手法は幾つかのテスト問題に適用され、提案手法の特徴がまとめられている。

第5章では、これまで提案されてきた新たな SS-MOMA と MF-PCNIPC をより実践的なロバスト最適化問題に適用している。ここで取り上げられた問題は、オイラー方程式を支配方程式とする遷音速翼型のロバスト最適化問題であり、ノミナル条件で高い揚抗比性能を持ち、かつ不確実なマッハ数と迎角条件下で性能劣化を抑えるロバストな翼型を設計する問題である。本章では、このような実践的なロバスト最適化問題に対しても提案手法が有効であることを実証している。

第6章は結論であり、**surrogate-assisted multi-objective memetic algorithm** と、**multi-fidelity point collocation non-intrusive polynomial chaos** を取り込んだ多項式カオスによる **multi-fidelity** 不確実性定量化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。

以上要するに、本論文は、工学設計における不確実性下での大規模なロバスト設計問題に対し、新たな最適設計手法を提案し、これは航空宇宙工学上貢献するところが多い。

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。