

【論文審査の要旨】

航空宇宙工学をはじめとする大域的設計最適化において、シミュレーションの物理的忠実度 (Fidelity) の高さと計算コストは相反する。複雑な工学問題としての航空宇宙機設計に適用するための大域的最適化法には次のような機能を持たせることが必要であると考えられる。

- I. 空力諸量の評価において、数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics: CFD) の運用が必要であるが、進化計算法をはじめとする **Meta-heuristic** な手法 (発見的に近似解を求める手法) において、なるべく小さな計算コストで最適化を実施できること
- II. 少ないシミュレーション結果に対し、十分な最適解を求めるためには、探索過程における多様性と大域性の維持ができること
- III. 現実の設計問題の多くは多目的問題となるが、設計目的が複数や多分野にわたり、解空間が多峰性を有する際にも最適解の探索効率を落とさないこと

本論文では、これらの課題を認識し、解決方法を提案している。本論文での成果は、次の通りに要約される。

- 1) 進化計算法のひとつである遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) において、主要なオペレータである交叉法について、親個体の分布が複雑である場合でも良好な解集合を得ることができる多親交叉法 "**Multi-modal Cross Over (MMDX)**" を提案した。提案法は複雑なテスト関数や翼型設計問題に適用され、解の多様性、収束性ともに広く利用されている手法よりも良好であった。
- 2) 進化計算と組み合わせて用いられる近似関数法について **Kriging** 法をベースとし、2つの異なる **Fidelity** の空力ソルバを用いて効率を高める **Multi-fidelity** 法を採用し、低 **Fidelity** 評価に基づいて **Radial Basis Function (RBF)** によって解の大域情報を得、高 **Fidelity** 評価に基づいて大域情報からの局所偏差を求めて最終的な近似関数とする "**Hybrid surrogate model**" を構築する手法を提案した。探索においては **Expected Improvement (EI)** を指標とした。本手法は単目的のテスト関数や翼型設計問題に適用され、広く研究されている **co-Kriging** 法や、**Single-fidelity** による手法と比較して近似関数の精度や解探索の効率が改善されることが示された。さらに、複雑な空力問題であるヘリコプターローターブレード設計問題へも応用され、ホバリング時の性能向上を目指す最適設計に

において、他の手法と比べても効率的に優良解を得られることが示された。
3) 先に提案した近似関数法を多目的に拡張した。拡張においては、**Expected Hypervolume Improvement(EHVI)**を指標とした探索を行うものとした。拡張した手法は多目的解探索手法のテスト関数や2目的・3目的を設けた翼型設計に適用し、第3章と同様に、近似関数の精度、探索効率において優秀な結果を得た。

以上、本論文では、「GA において親個体分布の歪度を考慮した新たな **Crossover** 手法」、「**Multi-Fidelity** アプローチを実施するにあたって、**Hybrid** 近似関数法と **EI・EHVI** 値の導入」を提案して有用性を示したうえで、空力設計に大きく貢献できる有益な成果をあげている。よって、博士（工学）に値する論文と認められる。

（最終試験又は試験の結果）

本学の学位規則に従い、最終試験を行った。公開の席上で論文発表を行い、航空宇宙工学および情報工学を専門とする教員による質疑応答を行った。また、論文審査委員により本論文及び関連分野に関する試問を行った。これらの結果を総合的に審査した結果、専門科目についても十分な学力があるものと認め、合格と判定した。