

## 審査の結果の要旨

氏名 森田 直人

修士（工学）森田直人提出の論文は、「分布物理量を不等式制約に持つ大規模解析を含む複合領域最適化に関する研究」と題し、9章から構成されている。

次世代の航空宇宙輸送の実現のためには、航空機設計に対する定量的な技術の蓄積が必要不可欠である。多くの解析や最適化を統合的に取り扱い、機体形状を求める複合領域最適化は客観性をもって機体設計が行われるため、定量的な経験蓄積という観点から重要な航空機設計法である。特に最適制御問題を含む機体・軌道同時最適化はミッションの実現可否の判断に有効であり、これまで多くの研究が行われてきた。しかしながら、高度化する空力・構造等の各種解析を軌道最適化と連成させることは難しく、低精度の統計推算式が利用されることが多い。そのため、より高精度の解析手法との連成が可能な最適化手法が望まれていた。以上を踏まえ、本論文ではこれを可能とする新たな複合領域最適化法を提案し、いくつかの航空宇宙輸送機の最適設計問題に適用している。

第1章は序論であり、複合領域最適化の定式化の分類、機体・軌道同時最適化、空力・構造領域の複合領域最適化の既存研究および課題をまとめたうえで、本論文の位置づけを述べている。

第2章では軌道最適化法の擬スペクトル法について説明している。

第3章では、連成した空力解析の説明と設計変数に対する微分可能性を保証する手法について述べ、解析の精度検証を行っている。設計変数に対する微分可能性は、機体表面のパネル間の位置関係を保存することと、パネル角度に対する圧力係数の事前計算と補間曲線の活用により保証している。この解析を一様断面の矩形翼および極超音速航空機モデルに適用し、精度を検証している。

第4章では、連成した解析の一つである準2次元薄板要素構造解析について説明し、その精度検証を行っている。

第5章では、上述した解析を一つの複合領域最適化問題にまとめる際の不等式制約の取り扱いについて検討し、新たな最適化手法の提案を行っている。提案手法は最適化問題における全微分法と随伴変数法を組み合わせた予測器を作成し、既存手法では求めることが難しかった不等式制約の随伴変数を線形計画

問題によって求める。そこからすべての随伴変数を復元することができ、解更新の方向を求めるために必要なラグランジアン<sup>2</sup>の二階微分行列を近似することができる。得られた二階微分行列を用いて二次計画問題を解き、制約条件を満たしつつ評価関数を改善する解の更新量を得る。提案手法によって、制約条件に機体パネルに分布した物理量すべてを加えるような大規模最適化が実行可能となり、軌道最適化と各種解析の連成が可能となった。

第 6 章では提案手法を全翼機の設計問題に適用し、一般的な制約の取り扱い手法であるペナルティ関数法や、二階微分行列の近似を用いた場合と用いない場合との比較を行っている。ペナルティ関数法では評価関数が改善しない場合や最適化が途中で停止する場合は生じたのに対し、提案手法では妥当な最適解が得られている。また、二階微分行列の近似を用いない場合、最適解の収束過程で振動が見られ、評価関数値も劣っている。

第 7 章では、予冷ターボジェットエンジンを搭載した極超音速ビジネスジェットの設計問題に対し、提案手法を適用している。まず、極超音速ビジネスジェットにおける空力・構造の機体定義について説明し、続いて軌道最適化および空力・構造解析の制約条件について説明を行っている。提案手法を使用することで、従来手法ではできなかった炭素繊維複合材を用いた構造様式の検討も最適化計算に含まれている。また、一定の需要が見込まれる太平洋横断可能な極超音速ビジネスジェットについて、エンジン重量の軽減係数を導入することで実現性の高い機体の検討を行い、有用な知見が得られている。

第 8 章では、フライバック可能な、最高高度 110km に到達するサブオービタル無人機の最適設計問題を提案手法によって求めている。この問題においては最高高度への到達が制約条件として課されており、これを充足するために最適化途中で疑似的に切り替わるような評価関数が導入された。これに起因する強い非線形性を持つ複合領域最適化についても、提案手法は解を求めることができることが確認された。加えて、従来では極超音速機として設計がすすめられることが多かったサブオービタルプレーンについて、再突入時の制約条件によっては亜音速飛行状態が多くの割合を占めるため、低速時の性能を優先して設計を行う重要性が示される等、有用な知見が得られた。

第 9 章は結論であり、本研究の成果と新規性をまとめ、提案手法の発展性を述べている。

以上要するに、本論文は複合領域最適化に新たな手法を提案し、それを将来の航空宇宙輸送機の設計問題に適用している。今後、様々な解析手法と軌道最適化法を組み合わせた場合においても、より精度の良い最適解を求めることが可能となり、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。