

論文の内容の要旨

論文題目 Simultaneous Optimization of Flight Trajectory and
Robust Controller and its Application to Hypersonic Aircraft
(飛行軌道とロバスト制御則の同時最適化と極超音速機への適用)

氏 名 晝間 正治

修士（工学）晝間正治提出の論文は、「飛行軌道とロバスト制御則の同時最適化と極超音速機への適用」と題し、6章から構成されている。

次世代極超音速機において、飛行軌道と制御性能のカップリングが亜音速に対して極超音速ではより強く表れるため、制御則の安定性と制御性能の厳しい設計要求を達成するには、飛行軌道と制御則の統合が必要不可欠である。また、飛行マッハ数は大幅に変化し、加えて空力特性も同様に変化する中システムの安定性を確保することは難しい場合がある。飛行条件の変化やシステムの不確実性に対して安定性を確保するためには、ロバスト制御が提案できる。しかしながら、制御性能は飛行軌道によって大きく左右されるため、追従誤差を最小限に抑える制御よりの軌道を生成するという点では、飛行軌道とロバスト制御則の同時最適化が必要である。以上のことから、極超音速機や飛行軌道と制御性能に強いカップリングを持つ機体に対し、飛行軌道と飛行条件の変化ならびに飛行軌道に対してロバストな制御則の同時最適化の手法を提案し、極超音速機に加えて航空宇宙工学と航空宇宙工学の分野外における例題の最適化問題に適用している。

第1章は序論であり、過去の打上げ実験機の先行研究例、および飛行軌道とロバスト制御器設計に関する既存研究ならびに研究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、飛行軌道とロバスト制御則の同時最適化について、追従誤差の許容最大値を非線形不等式制約として課す軌道最適化問題を設定し、新たな同時最適化手法の提案を行っている。軌道最適化の反復計算ごとに、飛行軌道を複数区間に離散化して各区間を線形回帰モデルより伝達関数へと同定し、構造化 H^∞ 制御設計にこの伝達関数を適用して飛行条件の変化に加えて飛行軌道に対してもロバストな PI ゲインを求める。そして、飛行軌道を追従目標とし、求められた PI ゲインによるフィードバック制御を行った場合の最大追従誤差を非線形シミュレーションによって求め、設定された許容値以下になるよう飛行軌道とロバスト制御則の設計が行われる。提案手法では、飛行軌道を伝達関数として表すことによって、飛行軌道とロバスト制御則の同時最適化が可能となった。

第 3 章では、提案手法を航空宇宙工学と航空宇宙工学の分野外における最適化問題へ適用し、飛行軌道とロバスト制御則を別々に設計する従来手法との比較を行っている。従来手法では、飛行軌道に対してロバストな制御器設計を行うことは難しく、さらにシステムへの要求が満たされなければ、軌道と制御器の再設計が必要であった。従来手法と比較し、提案手法では評価関数が改善され、追従誤差の許容最大値を非線形不等式制約に含めることで追従性能も向上した。さらに飛行軌道に対するロバスト性も確保することができた。

第 4 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機について、飛行軌道とロバスト制御則に加えてエレボン面積を求める最適化問題に対し、提案手法を適用している。この最適化問題は、飛行軌道において打上げの軌道は固定される一方、高度 100km 到達後に実験機は分離され揚力飛行へと移るため、飛行軌道に対する自由度が高いことから、提案手法により飛行軌道を制御性能が高くなるよう設計できる。そこで初めに、極超音速機の機体設計と空力モデルの構築について説明し、続いて実験機が搭載される固体ロケットブースタについて説明を行っている。提案手法を使用することで、実現性の高い飛行軌道とロバスト制御則を設計でき、従来手法では不可能であった飛行軌道に対するロバスト性の検討が可能となった。また、最適なエレボン面積を設計変数に含むことで、追従性能を満たすための最適なエレボン面積が得られ、有用な知見が得られた。

第 5 章では、上述より得られた飛行軌道とロバスト制御則、及びエレボン面積を用いて、ブースタと実験機の分離時に生じる状態量への不確かさがエンジンと巡航試験のミッション成功率に与える影響を、モンテカルロシミュレーションより評価している。状態量の不確かさによる軌道の分散が生じた場合においても高い成功確率を示すことができ、有用な知見が得られた。

第 6 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，本論文では飛行軌道とロバスト制御則の同時最適化の新たな手法を提案し，極超音速機の飛行軌道とロバスト制御器設計に適用している．今後，様々な空力や状態推定誤差，および外乱を組み込んだ制御システムの構築においても，提案手法を用いることで，ミッション要求を満たす飛行軌道とロバスト制御則を同時に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．