

審 査 の 結 果 の 要 旨

論文提出者氏名 小 林 弘 明

修士（工学）小林弘明提出の論文は、「二段式スペースプレーンのシステム統合設計に関する研究」と題し、5章と付録1篇からなっている。

将来の宇宙輸送システムに求められる特質には様々な要素があるが、その中でも特に重視されるべきは運用コスト低減と信頼性向上の2点である。これらを現在の旅客航空機レベルと同等にするのが将来型宇宙輸送システムの目指すべき目標とされている。空気吸い込み式エンジンを搭載したスペースプレーンは、これを実現するコンセプトの1つとして提案されているものである。スペースプレーンは常に加速状態にあり、しかもその飛行領域は航空機よりはるかに広いため、全体システム性能を評価基準とした設計を必要とする。また、推進・機体・軌道間の相関が非常に複雑であることから、これらを統合し、同時に最適化する設計手法の確立が望まれている。しかるに、従来の検討例は機体・軌道の同時最適化を目的としたものがほとんどであり、最適制御を伴う詳細な軌道計算をおこなうかわりに、推進に関しては固定、あるいは非常に簡略化されたモデルが用いられている。これは、推進システムを記述する方程式群を機体の運動方程式に含めると、最適制御に要する計算負荷が膨大となり実用的ではないためである。

本論文では、以上のような背景から、スペースプレーンの推進系に重点を置いたシステム統合最適化手法を提案している。これをターボジェットベースの複合サイクルエンジンを搭載した二段式スペースプレーンに適用し、実用に供せる時間で最適なシステム仕様を特定することに成功している。

第1章は序論であり、本論文の背景として将来型宇宙輸送システムとその推進系に関する研究開発状況を総括するとともに、研究の目的と、統合最適化計算の方法論について説明している。

第2章は「二段式スペースプレーンのモデル化」と題して、統合最適化計算で対象とするシステムのモデリング手法に関する説明をおこなっている。本手法における推進モデルの特徴として、次の2点があげられる。第1点はモデル精度の高さであり、これは、推進系の要素分解によって達成されている。インテークや圧縮機などの構成要素ごとに、実験や数値計算、統計データにもとづく熱流体特性モデルと構造重量モデルを定義し、温度制約や強度制約を考慮したサイクル計算を軌道計算と同時に実行することによって、エンジンの精確な部

分負荷性能が予測される。第2点は適用範囲の広さであり、これは包括サイクルと呼ばれる一般化された複合サイクルエンジンモデルを構成することで達成されている。包括サイクルは、全てのエンジン候補の冗長系であり、構成要素の有無によってエンジン形式の違いを表現する。構成要素の有無は、ターボ段数や伝熱面積といった他の設計パラメータと同時に最適化される。これによって、最適化を伴うエンジン選定作業の自動化を実現することができる。なお、設計変数の中に離散量が含まれるため、従来のような勾配法を最適化手法として適用することは難しい。本手法では、問題の性質に合わせて局所探索能力の改善をはかった実数値遺伝的アルゴリズムを用いている。推進系のモデルを詳細にする一方で、機体空力特性の固定や、軌道のフェイズ分割によって、軌道・機体モデルの簡略化をはかっている。しかし、推進・機体・軌道間の相関を考慮するため、翼面積やオービター分離マッハ数といった代表的な設計変数については、推進系の設計変数と同時に最適化をおこなっている。

第3章は「二段式スペースプレーンの最適化」と題して、統合最適化計算で用いる遺伝的アルゴリズムの概要を述べるとともに、最適化計算を実行した結果を示している。計算例としてターボジェットベースの複合サイクルエンジンの比較を行った結果、予冷ターボジェット、エキスパンダーATR、ガスジェネレータATR、ターボラムジェットのうち、ペイロード比を最大にするエンジン形式は予冷ターボジェットであるという結論が得られている。また、遺伝的アルゴリズムで使用する初期乱数をパラメータとして10回同じ計算を実施し、解の大域的最適性を確認している。

第4章は「考察」と題して、統合最適化計算によって得られた結果の定性的な説明を述べるとともに、エンジン要素特性に関する詳細な感度解析をおこなっている。一部の設計変数を固定し、それ以外の変数を最適化する部分最適化計算をおこなった結果、得られた値は、統合最適化の結果と全ての変数について一致しており、これは本手法の妥当性を示すものである。なお、17個の設計変数を定義域の3%以内に収束させるために要した計算時間はPC(PowerMacG4)で最大5時間であった。収束に要する計算時間は設計変数の数にほぼ比例するので、今後変数の数が増加した場合には、局所探索能力のさらなる向上が必要である。

第5章は結論であり、本研究で得られた知見を要約している。

以上要するに、本論文では、推進系に重点を置いた宇宙輸送システムの統合設計手法を提案し、これを二段式スペースプレーンの最適設計問題に適用することで、定量的に最も有望なエンジン形式の特定に成功している。さらに、システム感度解析によってエンジン要素研究において有益な指針を得ており、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。