

論文の内容の要旨

論文題目 複合領域最適化およびその宇宙往還機概念設計への応用に関する研究

氏名 横山 信宏

従来の使い捨てロケットやスペースシャトルに代わる将来型宇宙輸送システムとして、低コスト・高信頼性を実現する完全再使用可能な宇宙往還機を開発することは、今後の宇宙開発を促進する上で重要な課題の1つである。宇宙往還機のような大規模システムの設計問題は、誘導制御、空力、構造、推進といった複数の異なる専門領域によって構成される。この場合、個々の専門領域単独で最適設計を行っても、システム全体にとって最適になるとは限らないという点に注意しなければならない。特に、専門領域間に強いカップリングが存在し、それぞれの設計の間にトレードオフ関係が生じるならば、専門領域を統合してシステム全体に対する最適化を行うアプローチ、すなわち複合領域最適化(Multidisciplinary (Design) Optimization, MDO)が必要となる。そこで、本論文では、大規模システムに対して有効なMDO手法と、その宇宙往還機概念設計問題への応用に関して検討および提案を行った。

MDO手法に関しては、従来の研究において十分に検討されていない2つの点に主眼を置き、新手法の提案を行った。1つは、拡張された軌道最適化問題として定式化されるMDO問題を、従来よりも高速に解くための手法に関するものである。軌道最適化問題を変換して得られる非線形計画問題において、Lagrange関数のHesse行列が特殊なスパース構造を有することを考慮し、従来手法よりも収束の速いHesse行列の更新法について提案すると共に、例題への適用を通してその有効性を示した。また、本論文では、MDOの高速化・ロバスト化・汎用化のために、MDO問題における個々の複雑な解析プログラムをメタモデル(入出力関係を模擬した近似関数モデル)によって置き換える手法を採用した。そこで、2つ目の主題として、従来は考慮されてこなかった、複数の制約条件が課される入力空間においてメタモデルのサンプル入力点を効果的に配置するための実験計画法について検討を行った。そして、制約付きの入力空間において、入力変数を各軸方向に投射したときの多水準性と、空間内における近傍点間のユークリッド距離の均一性を同時に実現する実験計画法を新たに提案し、それによってメタモデルの近似精度が向上することを確認した。

宇宙往還機概念設計問題においては、機体とエアブリージングエンジンの一体設計と、トリム・迎角静安定性といった剛体としての飛行特性を含めてモデル化を行った。このような詳細なモデルは、各専門領域が複雑にカップリングし、その上構成されるMDO問題が大規模になることから、従来、MDOの枠組みではほとんど扱われてこなかったものである。本論文では、上記の手法を実装したMDOプログラムを適用することで、この問題の最適解を得ることに成功し、最適な機体や軌道の特徴に関する知見を得ることができた。