

【学位論文審査の要旨】

超音速旅客機の実用化のための研究において、超音速飛行時の空力抵抗とソニックブームの低減は空力分野の重要技術課題である。翼平面形はそれらの特性に影響する一方、飛行プロファイル全体の空力性能の向上を考慮すると、コンコルドで採用されたデルタ翼以外の平面形も採用の候補となる。そうした一方で、設計コンセプトに対応した平面形の選択と適用には次の課題がある。

- I. 旅客機において実績のあるクランクドアロー翼を含むデルタ翼系以外で候補となり得るテーパー翼、前進翼などに対する三次元空力形状の超音速空力特性やソニックブーム、それらの最適性に関する知見は乏しい。
- II. 数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics: CFD) に基づくソニックブームの推算では、近傍音響場を精度よくに捉えるのに十分な空間解像度 (格子数) が必要であり、評価コストが高い。三次元形状の最適性について、空力形状最適設計の結果から議論する必要があるが、大域解を得る手法において効率化が必要である。

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) クランクドアロー翼とテーパー翼を対象に、効率的な大域的最適設計法 (efficient global optimization (EGO)) を用いて、翼断面分布を設計対象に超音速域と高亜音速域での空力抵抗最小化を試み、得られた設計解集合の分析、代表的な設計解における流れ場の可視化によって、それぞれの特徴を明らかにした。
- 2) 1) で実施したことを元に、胴体や超音速インテークの干渉効果を考慮した全機形態での超音速域での抵抗最小化を行った。複雑形状である全機形態は CFD での評価コストも高いことから、形状の複雑さに基づく「形状 Fidelity」の概念を提案し、ハイブリッド近似関数法を用いた Multi-Fidelity アプローチを援用した。結果として、機体コンポーネント間の干渉がある場合の、それぞれの翼平面形に対する三次元的な最適性についての相違を明らかにした。また、提案した「形状 Fidelity」の概念の有効性も示した。
- 3) ソニックブーム低減を設計目的に加え、前進翼を含む翼平面形のパラメトリックスタディを行った。その結果として、前進翼を採用することで、同程度の空気抵抗を示すクランクドアロー翼よりも 5dB 以上のソニックブーム低減が達成されることが示された。また、ソニックブーム波形を分析し、ソニックブームが低減する原因を明らかにした。
- 4) 3) での結果を受け、前進翼をベース形状と設定し、翼断面形分布の最適設計を行った。最適設計のコストをさらに低減させることを考え、多数追加サンプリング指標を

多目的最適設計に用いる手法を提案した。提案の手法は、まず、数学ベンチマーク問題によって大域性・収束性に優れることを示した。次に、空力抵抗とソニックブームの同時低減を目的とした、前進翼断面分布の最適設計問題に適用し、JAXAでの目標値となっている85dB程度までのソニックブーム低減が達成可能であることを示した。比較としてクランクドアロー翼についても最適設計を行い、得られた設計解集合を分析することによって、それぞれの平面形の特徴の差異を明らかにした。

以上、本論文では、CFDによって「超音速翼最適設計問題解決による平面形依存性」を明らかにしつつ、「多目的最適設計におけるMulti-fidelityアプローチを援用した際の複数追加サンプリング法」を提案して高効率性を示し、「低抵抗・低ブームを達成する前進翼の三次元形状の最適性」を検証し、超音速航空機設計に大きく貢献す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設計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。