

審査の結果の要旨

氏名 上野 篤史

修士(工学)上野 篤史 提出の論文は、「極超音速旅客機の空力形状最適化と航続性能向上に関する研究」と題し、本文6章および付録6項から成っている。

極超音速旅客機は次世代高速輸送機として各国で活発に研究開発が進められている。しかし、空力形状設計に対する考えは試行錯誤の段階であり、その指針が定まっているとは言えない。筆者は、旅客機として重要な航続性能を向上するための検討を行って、空力形状および機体システムに対する設計指針を示し、さらに、世界の主要都市を結ぶ輸送ネットワークを提案して極超音速旅客機の利便性を示すことに成功している。本論文は、極超音速旅客機の空力形状設計に際し、有用な知見をもたらすものである。

第1章は序論で、本論文の目的と意義を明確にしている。極超音速旅客機に期待される利点および過去の研究を概観した上で、その空力形状設計における重要な点として、1)機体材料の耐熱温度で決まる最大空力加熱の制限下で空力性能を向上させること、2)全機空力形状設計と推進系の統合設計、特に加速時と巡航時の両方でエンジン性能に過度な要求をしないために極超音速空力性能と遷音速空力性能のバランスをとること、3)機体システムを踏まえた空力形状設計、特に航続距離改善のため、燃料搭載スペースの確保と極超音速飛行時の揚抗比向上のバランスをとること、を指摘している。そのため、空力形状最適化は、空力加熱の制約条件をつけて遷音速揚抗比と極超音速揚抗比と燃料タンク容量のパレート最適解を探索、航続距離解析により航続距離最大の解を最適として抽出、の2段階で行うこととしている。

第2章では、本研究で対象とする巡航マッハ数5の極超音速旅客機のモデルについて説明がなされている。第1世代の極超音速旅客機の規模として超音速旅客機コンコルドと同程度が適当であるとして、中央胴、内翼、外翼で構成された全翼機タイプの形状と飛行プロファイルが設定されている。推進系として、加速用に予冷ターボジェットエンジン、巡航用にラムジェットエンジンの組合せが選択されている。

第3章では、第2章で設定されたモデルを初期形状とした空力形状最適化の問題設定とその結果が示されている。機体形状をベジエ曲線およびベジエ曲面で表現し、その制御点を設計変数として定義している。極超音速揚抗比を目的関数として、翼前縁での最大空力加熱、すなわち最小前縁半径や、遷音速揚抗比、燃料タンク容量等に関する各種拘束条件が適切に定義されている。機体周りの流れ場は3次元オイラー方程式の数値解析により求め、Adjoint 法による勾配計算と逐次2次計画法を用いて効率よくパレート最適解を求めている。その結果、空力形状に関しては、前縁半径を保ちつつ極超音速揚抗比を改善することは可能であること、極超音速揚抗比改善と燃料タンク容量増加は両立しないが、燃料タンク容量の増加による極超音速揚抗比低下を少なくすることは可能であること、遷音速揚抗比改善と極超音速揚抗比改善を両立する形状が存在すること、を明らかにし、そのための空力形状設計の指針を示している。機体システムに関して、客室エリアは居住性確保

のため機体形状に拘束を与えるので、そのサイズは航続距離と乗客数のバランスを考慮して適切に決定すべきであること、縦の静安定確保のため、遷音速では収納式のカナードを設けるのが好ましいこと、極超音速域で効率的に巡航するためには低翼面荷重化が重要であること、などを指摘している。

第4章は、第3章で得られた空力形状に対し航続距離解析を実施した結果が示されている。揚抗比を犠牲にしても燃料タンク容量を大きくした方が航続距離は改善されることがあり、必ずしも空力性能最適なもの航続性能最大となるとは限らず、燃料タンク容量増加と極超音速揚抗比低下のバランスによって最適形状を見出すべきであると述べている。また、遷音速空力性能を考慮して空力形状を最適化することは、航続距離を損なうことなく遷音速域での必要エンジン推力を緩和でき、単一の推進装置で極超音速旅客機を成立させるために有効であることを指摘している。

第5章では、第4章で得られた航続距離をもとに極超音速旅客機による輸送ネットワークが提案されている。極超音速機における航続距離の短さは、世界の主要都市を結ぶ輸送ネットワークを構築して運用することでカバーでき、日本とヨーロッパ、アメリカを結ぶルートで飛行時間は既存遷音速旅客機に対し約 70%の低減が可能であるとしている。

第6章は結論であり、本研究で得られた知見をまとめている。

付録は6項から成り、初期形状の設計法、流体数値解析法の詳細、Adjoint 法の定式化、最適設計手法の詳細、本研究で得られた最適形状のデータベース、ベジエ曲線を用いた形状最適化の検証、について述べられている。

以上要するに、本論文は、将来の高速輸送機として有望な極超音速旅客機を対象とし、機体システムとしての成立性の観点に立って旅客機として重要な航続性能を向上するための検討を行い、その結果から空力形状、及び、機体システムに対する設計指針を示し、また、世界の主要都市を結ぶ輸送ネットワークを提案し、極超音速旅客機の利便性を示した点で、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。