



火星探査航空機主翼翼型の多目的最適設計探査とクラスタ分析を用いたデータマイニング

著者	佐々木 岳
発行年	2015-03-25
学位授与番号	17104甲工第379号
URL	http://hdl.handle.net/10228/5371

氏名	佐々木 岳
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博甲第379号
学位授与の日付	平成27年3月25日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	火星探査航空機主翼翼型の多目的最適設計探査とクラスタ分析を用いたデータマイニング
論文審査委員	主査 教授 米本 浩一 " 梅景 俊彦 " 坪井 伸幸 " 田中 和博 JAXA/ISAS 准教授 大山 聖

学位論文内容の要旨

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所（JAXA/ISAS）は、2020年代の打上げを計画している次期火星複合探査ミッションMELOS（Mars Exploration with Lander Orbiter Synergy）において、大学と連携して世界初の航空機による火星探査プロジェクトを推進している。本論文は、その重要な開発課題の一つである低レイノルズ数領域における翼型設計の研究を行ったものである。火星の大気密度は、地球の約1/100と非常に希薄であり、また探査速度も小さいことから、地球大気で運用される航空機に比べて、飛行レイノルズ数は非常に小さい。低レイノルズ数飛行では、空力性能が悪くなるだけでなく、翼型や前縁後縁形状、また迎角等の微細な変化に対して、空力特性の非線形性が顕著に現れることが知られている。そのため、低レイノルズ数特有の空力的現象に対応し、既存翼型よりも更に高揚抗比を実現する翼型設計法の確立と新翼型の発見が求められている。

本研究の独自性は、数値流体力学CFD（Computational Fluid Dynamics）と、進化的多目的最適化EMO（Evolutionary Multi-objective Optimization）の一つである遺伝的アルゴリズムGA（Genetic Algorithm）を組み合わせた翼型設計法を提案したことにある。先行研究では、計算コストの軽減を目的として乱流モデルのRANS（Reynolds-Averaged Navier-Stokes equations）解析が主に用いられてきたが、実際に層流であっても乱流として解析する恐れがある。流体现象に近い翼型性能を評価することを目的として、層流計算としたことも本研究の特徴の一つである。

JAXA/ISASのスーパーコンピュータを用いて、座標を遺伝子とする100個体の翼型集団に対して、100世代まで揚力係数と揚抗比を最大化する大規模な多目的

設計探索を行った。低レイノルズ数領域において高揚抗比性能が得られることで知られている既存の石井翼型に対し、20%以上の揚抗比向上を設計目標とした。その結果、4934個体もの設計目標を満たす新翼型を発見した。その最適解（非劣解）として得られた202個の中には、石井翼型に比べて更に120%も揚抗比が向上した翼型が含まれている。また、得られた新翼型の性能を検証するため、代表的な3つの供試体を製作し、風洞試験を実施した。その結果、すべての翼型について、石井翼型より高い最大揚抗比を持つことを実証することができた。さらに、失速迎角が大きくなるなど、設計段階では明らかでなかった翼型性能もわかった。

次に本研究の新規性として、修正PARSEC（PARAmetric SEction）法による翼型表現パラメータと階層的クラスタリングを組み合わせた新しい翼型形状のデータマイニング法を提案したことにある。前述のCFDとEMOを組み合わせた翼型設計法により得られた5000個の翼型を対象に、本データマイニング法を適用したところ、例えば、低レイノルズ数において高揚抗比が得られる翼型形状の特徴として、揚力係数の増加に伴って、剥離泡を形成させて前縁からの剥離を抑えるように上面が平面から波形に変化すること、その後下面がキャンバーを持つように変化していく様子などが明らかになった。このように、従来のデータマイニング法では難しかった翼型形状と空力性能の相関関係について、一覽で把握可能とすることに成功したとともに、翼型のような全体形状が空力現象理解のための重要な評価対象の場合には、翼厚や前縁半径などの情報を個別に分けて扱うよりも、形状変化の様相の把握が非常に有効であるという空気力学的にも重要な知見が得られた。

また、上記の研究成果から、CFDとEMOを組み合わせる翼型設計法に階層的クラスタリングを組み合わせる新しい翼型設計法を提案した。すなわち、翼型の進化過程において階層的クラスタリングを適用することで設計解を類似の部分集団に分類し、進化の特徴を把握しやすくすること、あるいは、その分析結果に基づき設計者の選好する特定の形状のクラスタを優先して進化を促す等の発展が可能となる。

学位論文審査の結果の要旨

審査委員並びに公聴会出席者から、本論文に関して、数ある最適計算法の中から遺伝的アルゴリズムを用いた理由、得られた翼型の構造的実現可能性、クラスタリング結果から得られる低レイノルズ数翼型の設計指針、形状特性と流れ場の相関関係等について、種々の質問がなされたが、いずれについても申請者本人により適切な回答がなされた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。