

審査の結果の要旨

氏名 立川 智章

修士（工学）立川智章提出の論文は、「多目的遺伝的プログラミングを用いた流体設計情報の抽出」と題し、本文4章から構成されている。

多目的進化計算等により得られるパレート最適解における設計変数と目的関数との相関情報や目的関数間のトレードオフ情報など有益な設計情報を抽出することを多目的設計探索(Multi-Objective Design Exploration, MODE)と呼ぶ。設計探索における情報抽出には各種のデータマイニング手法が利用できるが、既存手法では非線形な関係を効率よく見つけ出すことが難しいなどの課題が存在する。

一連のデータが持つ関数形を自動的に引き出す手法として遺伝的プログラミング(Genetic programming, GP)という進化計算手法がある。GPはこれまで関数同定やロボット制御プログラム自動生成などに利用されてきたが、パレート最適解を構成する設計変数と目的関数との関係を関数形と理解すると、設計情報抽出手法としてGPを利用することができる。このような観点から、筆者は多目的設計探索における新しい設計情報抽出手法としてGPの利用を提案し、その実証を行った。

第1章は序論で、多目的設計探索と既存の設計情報抽出手法、各手法に共通する課題を概観し、課題解決の手法として遺伝的プログラミングについて説明した上で、本論文の目的と意義を述べている。

第2章では、本研究で用いるGPについて説明した後、GPの多目的設計探索への導入およびその実証を行っている。設計最適化目的関数とGPが作る関数との残差最小化と関数ノード数最小化の2つをGPの目的関数とし、これらを満たす関数形を導くことを提案し、非線形項を含むテスト関数への適用によって既存手法では見出すことが難しい非線形の関数形を見いだせることを確認している。つづいて、2次元羽ばたき運動の多目的空力設計探索問題にGPを適用している。多目的進化計算によって得られたパレート最適解にGPを適用した結果、パレート最適解における必要パワー係数は無次元振動数の二乗と正の相関を持つといった新たな非線形流体設計情報を抽出できることを示している。

第3章では、第2章で明らかになったコストや初期値依存性といった課題を解決する手法として、すべての目的関数への関数同定を一度に行う多目的GP(MOGP)をさらに提案し、実証を行っている。多目的GPでは、全ての設計最適化目的関数との相関係数最大化とノード数最小化をGPの目的関数としている。最初に、テスト問題によってMOGPの初期値依存性も計算コストもGPに比べて小さいことを示している。続いて、遷音速2次元翼型の多目的設計探索問題にMOGPを適用している。多目的進化計算によって得られたパレート最適解を特性に従った2つのクラスタに分け、それぞれにMOGPを適用して得られたパレート最適式を分析した結果、翼型形状と空力特性との関係を示す多数の流体設計情報を抽出できることを示している。

さらに、実用空力問題として、再使用観測ロケットの多目的設計探索問題にMOGPを適用している。キルク座標を設計変数とし3つの空力特性と機体内容積を目的関数とした多目的進化計算により得られたパレート最適解にMOGPを適用した結果、各目的関数と高い相関を持つGPパレート最適式が一度に得られることを示している。これにより、同時に複数の目的関数と高い相関を持つ関数形が得られることを示し、かつ得られた関数と特定の設計変数との相関関係を調べ、キルク角度が重要な設計パラメータであることを明らかにすることで、MOGPが空力設計問題における設計パラメータ発見の有効な道具でもあることを示している。

第4章は、結論であり本研究で得られた結果をまとめている。

以上要するに、本論文は、多目的進化計算によって得られたパレート最適解から効率よく設計情報を抽出する手法として遺伝的プログラミング(GP)の利用を新たに提案し、その有効性を実証したものである。提案されたGPによる設計探索手法は、流体設計情報を有効な形で抽出する優れた道具であり、空気力学設計の観点で今後の航空宇宙工学に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。