

審査の結果の要旨

氏 名 米 倉 一 男

機械、航空、建築をはじめとする工学の種々の分野で行われる設計という意思決定行為では、多くの場合、要求性能を満たした上でより性能が高い解を見出すことを目指す。従って、設計行為に対する工学的アプローチとして、最適化を用いた設計手法を考えることは自然である。このような方法論は、最適設計とよばれている。現在実務で用いられている代表的な最適設計の手法は、支配方程式を解いて場の変数を求めることと、設計変数を更新することとを、順次繰り返すものである。しかし、実用上重要な設計問題では、支配方程式の計算時間が非常に大きいことが多い。これは、特に流れ場の最適設計において顕著である。前述のような既存の手法は、設計変数の更新のたびに流れ場の支配方程式を解き直すため、実務で用いられるような大規模なモデルには事実上適用できないのが現状である。これに対して、本論文では、大規模な最適設計問題を実用的な計算時間で解く手法として、逐次感度近似法 (instantaneous sensitivity approximation method; iSA法) と名付けられた手法を提案している。この手法は、目的関数の感度 (設計変数に対する偏微分係数) を逐次的に近似することにより、場の支配方程式の収束計算と設計変数の更新の収束計算を並行して行うことに特徴がある。そして、iSA法と格子Boltzmann法を組み合わせることで、流れ場のエネルギー損失最小化問題の計算時間を実用上許容できる程度にまで短縮することに成功している。

本論文は「最適設計における逐次感度近似法の提案とその流れ場のトポロジー最適化への適用」と題し、8章からなる。

第1章「緒言」では、構造物の最適設計法の発展の概観を与え、本論文で扱う流れ場の最適化の既存手法の問題点をまとめ、本論文の目的および主要な成果を説明している。

第2章「準備：格子Boltzmann法の定式化」では、本論文で用いる流れ場の数値解法として、格子Boltzmann法の基礎式や境界条件の取り扱いなどをまとめて記している。

第3章「iSA法の提案とその応用」では、続く第4章から第7章において構築される手法に共通する考え方として、iSA法の一般的な枠組みを説明している。

第4章「多孔質媒体モデルによる最適化」では、Reynolds数が小さい流れ場を対象とし、多孔質媒体モデルで流体領域と固体領域を表現する流れ場の最適設計問題に対して、iSA法に基づく解法を構築している。この問題設定は流れ場の最適設計で基本的なもの

の一つであるが、本章では提案手法の計算時間が極めて小さいことを示している。

第5章「Newton法を利用した高速化」では、第4章で提案した手法に対し、局所的な収束速度を改善する方法を構築している。すなわち、iSA法と格子Boltzmann法との特性から目的関数のHesse行列が対角行列であることを利用し、部分的にNewton法を用いることで計算コストを増やすことなく局所的に速い収束を実現する手法を提案している。

第6章「境界条件を適切に考慮した定常流れの最適化」では、固体壁における流れの非滑り条件を適切に考慮するために、bounce-back条件を用いたiSA法を提案している。数値実験により、提案手法は、中程度のReynolds数をもつ流れ場に対しても妥当な設計解を見出せることを明らかにしている。

第7章「時間周期的な境界条件の下での流れ場の最適化」では、産業応用の観点からも重要な問題設定として流れ場の境界条件に時間的な周期性が存在する場合を取り上げ、その解法を構築している。そして、提案手法が工学的に妥当な解を見出すことと、並列計算に適していることを、実験的に示している。

最後に第8章「結言」では、本論文の成果を簡潔にまとめ、今後の研究課題を記している。

以上を要するに、本論文は最適化の一分野である最適設計において、流れ場の最適設計問題の計算時間を大幅に短縮する手法の枠組みを与えたものであり、学術のみならず産業面からも有用であることから、数理情報学分野の発展に大きく寄与するものである。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。