

学位論文の要旨

| 専攻名 | システム工学 専攻 | ふりがな 氏名 | かなざわ けんいち 金澤 賢一 |
|---|-----------|------------|--------------------|
| <p>学位論文題目 パラメトリック曲線を用いたノンパラメトリック形状最適化法に関する研究 (Nonparametric shape optimization methods using parametric curves)</p> | | | |
| <p>現在、自動車部品をはじめとするさまざまな工業製品の設計に、コンピュータを用いた CAE が活用されている。CAE はいわゆる数値解析やシミュレーションのことであり、製品の評価試験を、実際の実験に依らず、コンピュータ内で完結できることから、設計において非常に重要な役割を担っている。さらに近年、CPU の演算能力の向上や、マルチプロセッシング技術の発展に伴い、数値解析に要する計算時間が大幅に短縮化され、これによって多数回の繰り返し解析を必要とする最適化理論に基づいた設計の自動化も可能となっている。しかしながら、このような最適設計には、最適解導出までに非常に多くの時間を要することや、設計空間の定義の仕方に難しさがあることなどが問題となる。後者はつまり、本来のあらゆる設計の可能性から、その一部を、数学的に扱いやすい有限次元の設計空間として選び出すことであり、もしその空間の選び方が悪ければ、どれだけ時間をかけたところで良好な解を見つけ出すことはできない。したがって、より優れた解をより短時間で求めるために、設計問題を定義する際の方策や、それを解くための最適化手法は、最適設計において非常に重要な要素である。</p> <p>実際に最適設計を行う場合に、まず最も基本となる方法は、幅や直径などの寸法を設計変数とする寸法最適化と呼ばれる手法である。また、より設計自由度の高い方法として、スプライン曲線などの自由曲線によって外形形状を定義し、その自由曲線の制御点座標を設計変数とする方法も広く用いられている。これらの手法に共通することは、有限かつ一定次元の実数値ベクトルによって形状を表現することであり、このような手法はパラメトリック最適化法と呼ばれる。パラメトリック最適化法は扱いやすさ、汎用性の高さなどの理由から、最適化全般において非常に広く利用されているが、一方で、このような有限個の設計変数を用いて形状を定義する方法では、前述したように、設計空間が限定されてしまい、本来の最適解を導くことはほとんど不可能となる。構造の形態自体を直接最適化するトポロジー（位相）最適化法も現在盛んに研究が進められている。これらの手法は、非常に自由度の高い構造設計が可能であり、また勾配法などがベースとなっているため、評価回数が比較的少なく、高速な最適化が可能である。しかし、対象となる設計問題が剛性最大化問題などの静的な問題に限られているのが現状であり、汎用性は高くない。</p> <p>そこで本研究では、工学的設計問題全般を扱うことが可能な、曲線を用いたノンパラメトリックな形状最適化法を提案する。本手法は、GA（遺伝的アルゴリズム）をベースとした最適化手法であるが、従来の実数値 GA のような個体を有限次元の実数値ベクトルとして扱う方法とは異なり、個体を連続的な曲線そのものとして表現可能な手法である。そして、新たな個体を生成する処理である遺伝的操作を、曲線同士を直接的に合成する演算として定義している。これにより、設計空間を</p> | | | |

ふりがな
氏名

かなざわ けんいち
金澤 賢一

本来の曲線形状の集合空間そのものとすることができ、効果的な最適化を実現することができる。実際に本論文では、簡易的なテスト最適化問題を用いることで、従来のパラメトリックな手法に対する、提案するノンパラメトリック手法の優位性を示した。

また本論文では、本提案手法を用いることで、CFD シミュレータを援用した実際の工学的設計問題の最適化を行った。設計問題としては、ボトリング装置における搬送用運動曲線の設計問題、およびダイカストにおける鋳造方案設計問題を対象とした。前者は、あらかじめ決められた軌道上で物体が移動する際の時間に対する変位の関係、すなわち一価関数で表される曲線を設計する問題であり、また後者は、液体が流れる流路形状を設計する問題で、流路形状を複数の幾何学曲線で表現することで、やはり曲線の設計問題へと帰着させている。搬送用運動曲線の設計問題では、ボトル内の液体揺動を最小化することを目的に最適設計を行い、得られた最適曲線の有効性は、シミュレーションによる結果だけでなく、実際のボトリング装置による搬送実験によっても示された。またダイカストの鋳造方案の設計問題では、製品内部の空気巻き込み欠陥の最小化を設計目的として最適化を行い、導出された最適形状は、ダイカストの水モデル可視化装置および実際のダイカストマシンを用いることで、やはり実験的に有効性を示すことができた。

本論文ではさらに、提案するノンパラメトリック最適化法をより高効率化する手法の提案も行った。これは応答曲面法と呼ばれる、設計空間の形態を推定することにより、最適解が存在する領域を予測する手法を利用したものである。本来、応答曲面法はパラメトリック最適化法のみにも適用可能な手法であったが、本論文では、応答曲面法の一つである **Kriging** 法の特徴を利用することで、ノンパラメトリック法への適用を実現し、さらに通常のノンパラメトリック法と比べ、解探索性能が向上することを数値実験により示した。

提案するノンパラメトリック形状最適化法は、設計空間を極限まで拡大し最適化を行うことができる高自由度な最適設計手法である。また、2次元・3次元の幾何学的な形状から、制御入力のような波形まで、幅広い設計問題を扱うことのできる汎用的な手法でもある。したがって、今後、本手法がさまざまな分野の設計問題の救済に利用され、また従来の手法では得られなかったより優れた解を導いてくれることが期待される。