

直交表を用いた大域的最適化手法に関する研究

学位論文内容の要旨

一般に、工業製品の開発設計の現場では、製品に要求される種々の特性(性能・信頼性・納期・コスト)を実現するために、解析や試験による種々の検討が行われている。この検討プロセスを効率的に進めるためには、技術者の知識や経験とそれらに基づく洞察力が必要となるが、問題に適した最適化手法を活用することも製品開発を短時間でを行うための有効な手段となる。最近では、種々の最適化手法の改良が進むとともに、市販のソフトによって各種手法を手軽に使用できる環境になってきている。このため、容易に各種計算ツールと最適化手法とをリンクさせて最適解が得られるようになってきた。反面、1回当たり多大な計算時間を必要とする3次元流体解析や構造解析と、最適化手法とを組み合わせる最適解を探索する場合には、膨大な計算時間が必要となる場合がある。このことは、設計現場において最適化手法を積極的に活用する場合の阻害要因になっている。

本研究は、従来の最適化手法よりも少ない探索回数で大域的最適解を求めることができる最適化手法の開発を目的としている。

第1章では、緒論として本研究の目的と研究概要を述べている。

第2章では、従来の各種最適化手法について述べている。従来手法のうち、勾配法ベースの数値計画法は目的関数に対する微分情報を要因毎に評価するため、計算回数が多くなるとともに、要因毎に特性を評価するために複数の要因間に存在する交互作用の影響を考慮することが困難となる。このため、大域的最適解を得るためには、初期値の組合せを多数作成して最適解を探索する必要がある。また、探索的手法の一つである遺伝的アルゴリズムの場合には、設計要因に対応する染色体の遺伝的操作により非常に多くの組合せを作成すること、初期値の組合せである初期個体群の数を大きくしないと大域的最適解に到達しないケースが多いことのために膨大な探索回数を必要とする。

第3章では、本研究で開発した手法の内容を説明している。開発した手法は、最適解の探索ステップにおける設計要因の変化のさせ方に直交表を使用する点に特徴がある。直交表はある要因のどの水準に対しても、他の要因の水準が全て同数回ずつ現れる特徴があり、バランスの良い要因の組合せを複数個作成することができる。これは、特に要因数が多い問題で最適解を探索する場合に有利な特徴と言える。最適解の探索は、探索ステップ毎に直交表の大きさを提案するアルゴリズムに基づいて拡大・縮小を繰り返すことにより行う。この方法によって局所的最適解に捕捉されても抜け出ることができるとともに、大域的最適解に少ない探索回数で到達することができる。

第4章では、最適化手法のベンチマークに使用されている種々の関数問題に開発手法を適用して手法の有効性を検証している。このうち、単峰性関数、2種類の多峰性関数、多次元関数の最適解探索では、従来手法の約1/18~1/4の計算回数で大域的最適解に到達することを検証している。

第5章では、最適化手法のベンチマークに使用されている種々の設計問題に開発手法を適用して手法の有効性を検証している。設計変数が離散値である歯車問題、設計変数が連続値と離散値である圧

力容器問題, 多くの制約条件を持つ溶接はり問題の何れの場合も, 開発手法は優れた最適解を少ない探索回数で得られることを確認している。

第 6 章では, 蒸気タービン通路部の最適設計問題に開発手法と従来手法を適用して手法の有効性を検証している。設計要因間の交互作用図および初期値を変化させた勾配法による探索結果より, 設計要因とタービン効率との間には多峰性の関係があることを確認している。また, 開発手法と従来手法による最適解を比較した結果, 開発手法は最も優れた最適解に到達できること, 開発手法は従来手法の約 1/7 の計算回数で大域的最適解に到達できることを確認している。

第 7 章では, 開発手法に設計要因のばらつきを考慮する機能を組み込み, 蒸気タービン通路部のロバスト設計に適用して開発手法の有効性を検証している。探索ステップ毎に誤差要因を変化させた直交表に基づく特性の平均値と標準偏差を算出してロバスト性を評価している。設計要因の公差を誤差要因としてタービン効率に与える影響を評価した結果, 誤差要因の大きさによって効率レベルが大きく変動すること, また誤差要因が変化しても効率レベルが変動しないロバスト性に優れた最適解が存在することを確認している。また, 目的関数の変動に対する影響力の大きさを表す寄与率に基づいて各要因の公差幅を変化させることにより, 製品コストの低減につながる最適解を探索できることを示している。

第 8 章では, 本研究で得られた結論を述べている。

以上より, 開発した手法は従来の最適化手法よりも少ない探索回数で大域的最適解を求めることができる手法といえることができる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 工 藤 一 彦

副 査 教 授 池 川 昌 弘

副 査 教 授 大 島 伸 行

学 位 論 文 題 名

直交表を用いた大域的最適化手法に関する研究

工業製品の開発設計においては、問題に適した最適化手法の活用が、製品開発を短時間で行うための有効な手段となる。最近では、種々の最適化手法の改良が進むとともに、市販のソフトによって各種手法を手軽に使用できる環境になってきている。このため、容易に各種計算ツールと最適化手法とをリンクさせて最適解が得られるようになってきた。反面、1回当たり多大な計算時間を必要とする3次元流体解析や構造解析と、最適化手法とを組み合わせる最適解を探索する場合には、膨大な計算時間が必要となる場合がある。このことは、設計現場において最適化手法を積極的に活用する場合の阻害要因になっている。

本研究は、従来の最適化手法よりも少ない探索回数で大域的最適解を求めることができる最適化手法の開発を目的としている。

第1章では、緒論として本研究の目的と研究概要を述べている。

第2章では、従来の各種最適化手法について述べている。従来手法のうち、勾配法ベースの数値計画法は目的関数に対する微分情報を要因毎に評価するため、計算回数が多くなるとともに、要因毎に特性を評価するために複数の要因間に存在する交互作用の影響を考慮することが困難となる。このため、大域的最適解を得るためには、初期値の組合せを多数作成して最適解を探索する必要がある。また、探索的手法の一つである遺伝的アルゴリズムの場合には、設計要因に対応する染色体の遺伝的操作により非常に多くの組合せを作成すること、初期値の組合せである初期個体群の数を大きくしないと大域的最適解に到達しないケースが多いことのために膨大な探索回数を必要とする。

第3章では、本研究で開発した手法の内容を説明している。開発した手法は、最適解の探索ステップにおける設計要因の変化のさせ方に直交表を使用する点に特徴がある。直交表はある要因のどの水準に対しても、他の要因の水準が全て同数回ずつ現れる特徴があり、バランスの良い要因の組合せを複数個作成することができる。これは、特に要因数が多い問題で最適解を探索する場合に有利な特徴と言える。最適解の探索は、探索ステップ毎に直交表の大きさを提案するアルゴリズムに基づいて拡大・縮小を繰り返すことにより行う。この方法によって局所的最適解に捕捉されても抜け出ることができるとともに、大域的最適解に少ない探索回数で到達することができる。

第4章では、最適化手法のベンチマークに使用されている種々の関数問題に開発手法を適用して手法の有効性を検証している。このうち、単峰性関数、2種類の多峰性関数、多次元関数の最適解探索では、従来手法の約1/18～1/4の計算回数で大域的最適解に到達することを検証している。

第5章では、最適化手法のベンチマークに使用されている種々の設計問題に開発手法を適用して手

法の有効性を検証している。設計変数が離散値である歯車問題、設計変数が連続値と離散値である圧力容器問題、多くの制約条件を持つ溶接はり問題の何れの場合も、開発手法は優れた最適解を少ない探索回数で得られることを確認している。

第6章では、蒸気タービン通路部の最適設計問題に開発手法と従来手法を適用して手法の有効性を検証している。設計要因間の交互作用図および初期値を変化させた勾配法による探索結果より、設計要因とタービン効率との間には多峰性の関係があることを確認している。また、開発手法と従来手法による最適解を比較した結果、開発手法は最も優れた最適解に到達できること、開発手法は従来手法の約 1/7 の計算回数で大域的最適解に到達できることを確認している。

第7章では、開発手法に設計要因のばらつきを考慮する機能を組み込み、蒸気タービン通路部のロバスト設計に適用して開発手法の有効性を検証している。探索ステップ毎に誤差要因を変化させた直交表に基づく特性の平均値と標準偏差を算出してロバスト性を評価している。設計要因の公差を誤差要因としてタービン効率に与える影響を評価した結果、誤差要因の大きさによって効率レベルが大きく変動すること、また誤差要因が変化しても効率レベルが変動しないロバスト性に優れた最適解が存在することを確認している。また、目的関数の変動に対する影響力の大きさを表す寄与率に基づいて各要因の公差幅を変化させることにより、製品コストの低減につながる最適解を探索できることを示している。

第8章では、本研究で得られた結論を述べている。

これを要するに、著者は工業製品の開発設計において、従来手法より少ない探索回数で大域的最適解を求める手法に関する新知見を得たものであり、設計工学に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。