

氏名	いずい かず ひろ 泉 井 一 浩
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	論工博第 3849 号
学位授与の日付	平成 17 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	An Optimum Design Methodology for Mechanical Systems Using Genetic Algorithms (遺伝的アルゴリズムを用いた機械システム最適設計法)
論文調査委員	(主査) 教授 吉村 允孝 教授 松久 寛 教授 樫木 哲夫

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、多様な機械システムの最適化のための遺伝的アルゴリズムの様々な適用法について論じている。機械システムは多種多様な様態を持っており、その最適設計に際して常時利用可能な一つの決まりきった万能の最適化手法というものは存在しない。本論文では、1) 自動車の初期設計におけるフレーム構造断面設計という離散変数、連続変数が混在し、多くの評価基準が存在する場合、2) 2階層的な設計変数の関係を有する場合、3) 設計変数の間に多階層の制約関係と階層関係が混在する場合、4) 最適化問題が大規模になった場合、というそれぞれにおいて、最適化問題の定式化方法と遺伝的アルゴリズムによる適用方法を展開している。本論文は全7章より構成されており、この中で明らかにしたことは、以下の4点にまとめられる。

まず、第1章は序論であり、機械設計問題に限らず、最適化手法が多様な問題に対して適用されている世界的な研究の流れを紹介し、その中で、遺伝的アルゴリズムの位置づけ、利点について論じている。そして、機械設計問題における最適化手法の問題点を挙げ、それらの問題点を解決するための遺伝的アルゴリズムの可能性について議論している。

第2章では、自動車の初期設計におけるフレーム構造断面設計という離散変数、連続変数が混在し多くの評価基準が存在する設計問題に対して、遺伝的アルゴリズムによる最適化を適用する方法について議論している。この問題は断面の形状という連続変数、材料の選択、板厚の選択という離散変数で表現される。そして、複数の断面形状を同時に考慮しつつ、製造性の制約条件の違反が発生しないように遺伝子のコード化を行う方法が提示され、さらに、多目的最適化によるパレート最適解を導出する手順が示された。パレート最適解集合の代表的な解を3つピックアップし、それぞれの解の形状や離散変数値を比較し、妥当な解が得られていることが確認された。また、このようなパレート最適解集合を得ることが、多数の評価基準間のレードオフを検討する上で非常に効果的であることを明らかにしている。

次に、第3章においては、階層的な代替案な設計変数の関係を有する場合の最適化手法について議論している。機械設計においては、ある決定を行わなければ、次の決定が行えないような問題が無数にある。このような場合の決定変数の関係は、通常の遺伝的アルゴリズムで用いられているベクトル型の遺伝子ではうまく表現することができなかった。本論文では、階層的な関係をそのまま遺伝子として表現することのできる、2階層の遺伝子型を提案している。この新しい遺伝子型の第1階層の遺伝子に対しては、遺伝子のツリー構造の枝を一つの単位とした、交叉と突然変異を適用している。さらに第2階層の遺伝子には、勾配法による最適化を用いる。このように、遺伝的アルゴリズムを数理計画法と組み合わせた全く新しいハイブリッド最適化手法を適用することで、代替案に階層性がある場合にも最適解が得られることを示している。この手法のケーススタディとしてリンク機構の最適設計問題を取り扱っており、リンク形状の代替案と断面形状の代替案の階層性を含んだ問題を、本手法により最適化することができることが確認された。

第4章では、3階層以上のより一般的な多階層問題に活用できる方法が示された。2階層問題では、ハイブリッド型の遺伝的アルゴリズムが有効であったが、多階層問題に対応できないことと初期収束の問題があった。そこで階層的遺伝子に対して、新しい交叉法、突然変異法を提案している。この方法を用いることで、階層的な原問題を直接解くことができるため、

設計空間を狭めずにより良い解を探索できることが大きな特徴である。この章では、工作機械の構造設計を対象として、階層的な遺伝子を持つ遺伝的アルゴリズムの有効性を確認した。

また、続く第5章で、階層的な遺伝子型を用いた設計変数間の制約関係を表現する方法が提案されている。機械システムの概念設計段階において製品仕様の検討を行う際に、コンポーネントのさまざまな代替案の間に、相性により両者を同時に選択することができない場合がある。これをここでは制約関係と呼んでいる。第4章の代替案の階層関係と、ここで示された制約関係がある最適化問題を効率的に最適化するために、階層的な遺伝子構造をどのように構築すればよいかを、数値例を用いて検討し、その構築手順を明らかにしている。ロボットアームのライフサイクルを考慮した設計仕様決定問題に本手法を適用し、階層・制約関係を含む問題において階層型の遺伝子構造を用いていることの優位性を示し、さらに、提案した遺伝子構造の構築手順の有効性を確認している。

第6章では、大規模機械システムの最適化問題を取り扱っている。大規模機械システムを一つの最適化問題として解いても、大域的最適解を得るのは難しい。したがって、大規模問題をより単純な部分問題に分割し、その最適化結果を統合する形でシステムを最適化する。ここでは、遺伝的アルゴリズムの問題の分割と並列的最適化を行うための手法を展開している。ロボットアームの機構最適設計問題に本手法を適用し、並列的最適化を用いることにより、より良い解をより早く求めることが可能であることが確認された。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、多様な機械システムの最適化のための遺伝的アルゴリズムの様々な適用法について論じている。機械システムは多種多様な様態を持っており、その最適設計に際して常時利用可能な一つの決まりきった万能の最適化手法というものはない。本論文では、1) 自動車の初期設計におけるフレーム構造断面設計という離散変数、連続変数が混在し、多くの評価基準が存在する場合、2) 2階層的な設計変数の関係を有する場合、3) 設計変数の間に多階層の制約関係と階層関係が混在する場合、4) 最適化問題が大規模になった場合、というそれぞれにおいて、最適化問題の定式化方法と遺伝的アルゴリズムによる適用方法を展開している。本論文は全7章より構成されており、この中で明らかにしたことは、以下の4点にまとめられる。

まず、自動車の初期設計におけるフレーム構造断面設計という離散変数、連続変数が混在し多くの評価基準が存在する場合において、制約条件の違反が発生しないように遺伝子のコード化を行う方法が提示され、さらに、多目的最適化によるパレート最適解を導出する手順が示された。パレート最適解集合を得ることが、多数の評価基準間のトレードオフを検討する上で非常に効果であることを明らかにしている。

次に、階層的な設計変数の関係を有する場合、2階層に限定された最適化手法と、より一般的な多階層問題に活用できる方法が示された。2階層問題においては、遺伝的アルゴリズムを数理計画法と組み合わせ、ハイブリッド的に運用することで、最適化が行えることが示されている。多階層問題では、階層的な遺伝子型を用い、設計変数間の関係を表現する方法が提案されている。階層的な問題を直接解くことができるため、設計空間を狭めずにより良い解を探索できることが大きな特徴である。

さらに、設計変数に階層関係だけでなく、制約関係が存在する場合であっても、同様の階層的な遺伝子型を利用して、設計変数間の関係を表現する方法が示されている。その結果、様々なパターン of 遺伝子型の候補が存在することになるが、複数の数値実験により、より効率的に最適解を得るための遺伝子型設計の指針を提案している。

最後に、非常に大規模な機械システムのための、システム的な最適化手法を示している。最適化問題を複数のプロセスに分割し、並列的に遺伝的アルゴリズムを適用することで、より効率的に最適化が行えることを明らかにしている。

以上のように、本論文は、機械システム最適設計において、多目的最適化あるいは、連続変数・離散変数混合問題、階層的代替案の問題、大規模問題の並列最適化という、従来の構造最適化の範疇にとどまらない新しい展開を行うための基礎的研究として、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。平成17年1月31日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。