

氏名	竹澤 晃弘
----	-------

(論文内容の要旨)

本論文では、様々な機能を有する構造物の最適設計に適用することを目的とした構造最適化に関する研究を行った。即ち、構造の表現方法に関する基礎研究及び、特定の機能の最適化を目標とした構造最適化法の構築の応用研究を行った。以下、各章について結論をまとめる。

序章では、構造最適化の分類について述べ、パラメトリック形状最適化とジオメトリック形状最適化、トポロジー最適化の定式化について述べた。さらに、ジオメトリック形状最適化の一種である、レベルセット法に基づく形状最適化の定式化について述べた。

第二章では、形状最適化の基礎研究として、フェーズフィールド法を用い、オイラー型メッシュで数値計算可能な形状最適化法を提案し、簡単な数値例により提案する方法の妥当性を検証した。即ち、最初に、最適化の対象とする領域をフェーズフィールド関数により表現した。次に、感度解析の結果に基づき極小値が決定される二重井戸型ポテンシャルを定式化し、仮想的な時間発展とともに設計変数が目標関数を減少させる方向に変化する発展方程式を構築した。さらに、最適化問題として、剛性最大化問題とコンプライアントメカニズム創生問題、固有振動数最大化問題を考え、それぞれについて目標関数を定式化した。また、それぞれの目標関数の、フェーズフィールド関数に対する感度を導出した。以上の定式化に基づき、有限体積法を用いた最適化アルゴリズムを構築した。最後に、簡単な数値例により、本研究で提唱する方法論の検証を行った。

第三章では、トポロジー最適化の応用研究として、単軸荷重変換器及び多軸荷重変換器の最適設計法を構築した。最初に連続的材料分布の節点補間によるトポロジー最適化法に基づき、構造最適化法を構築した。そして、単軸荷重変換器の起歪構造に要求される二つの性能である、荷重負荷時のホイートストーンブリッジの出力電圧変化と荷重に抗することができる剛性について定式化を行った。また、多軸荷重変換器の起歪構造に要求される二つの性能である、荷重作用時の変換器構造の荷重検出感度及び荷重成分検出の精度の、特異値を用いた評価法と、荷重に抗する剛性について定式化を行った。さらに、目標関数の設計変数に関する感度を導出し、この感度に基づき、逐次線形計画法を用いた最適化アルゴリズムを構築した。最後に、簡単な数値例により、本研究で提唱する方法論の検証を行った。

第四章では、構造最適化法を用いた設計支援方法の研究として、構造最適化の構想設計支援に対する有効性について述べ、それを実現するために、機械製品開発における構想設計段階での設計支援を目的とした、フレーム要素とパネル要素を用いた構造最適化手法を提案した。最初に、フレーム要素とパネル要素の定式化を行った。フレーム要素の断面形状は断面主軸方向を設計変数として考慮可能で、かつ断面の寸法の比を設計変数とすることで断面の形状の変化を考慮可能な、

氏名	竹澤 晃弘
----	-------

最も単純な形状である楕円とした。パネル要素に関しては、異なる性質のパネル要素によって得られた最適構造を比較することにより、構造の力学的メカニズムを明確化できると考え、真応力とせん断応力を支持できる通常のパネルと、せん断応力のみを支持するせん断パネルの二種類のパネルを定義した。そして、構想設計段階における基本的な問題である剛性最大化問題と固有振動数最大化問題について、目標関数の定式化を行うとともに、フレーム要素の正規化された断面積、断面主軸方向を示す角度、断面の長軸と短軸の長さの比、パネル要素の板厚を設定した最適化問題を定式化した。さらに、フレーム要素の断面主軸方向を示す角度と断面形状の更新方法として、KKT 条件と補ひずみエネルギーに基づく新しい方法を開発した。さらに、この方法と逐次凸関数近似法とを用いた最適化アルゴリズムを構築した。最後に、この方法を用いることで、設計対象の構造の力学的検討が容易に行えることを、数値例により示した。

第五章では、第四章で提案した離散構造要素を用いた構造最適化法の応用研究として、特定の周波数帯の弾性波を透過させないバンドギャップ構造の創生を目的とした構造最適化法を提案した。最初に、進行波問題を扱う際に必要な仮想的な吸収境界である PML 境界条件を設定し、弾性波における進行波問題を定式化した。さらに、複数の周波数におけるバンドギャップ効果を持つ構造の創生を目標として、目標関数の定式化を行った。即ち、バンドギャップ構造内では弾性波の振幅が空間的に減衰するという性質から、設計領域全体における振幅を考慮した、新しい目標関数を提案し、さらに、重み付き総和法を用いた多目的問題の目標関数を提案した。また、最適化に用いる離散構造要素として、フレーム要素とパネル要素を定式化し、設計変数の更新に逐次凸関数近似法を用いた最適化アルゴリズムを構築した。最後に、簡単な数値例により、本研究で提唱する方法論の検証を行った。さらに、数値例での力学的検討により、周期構造によりバンドギャップ効果が生じること、設計領域の全長とバンドギャップ効果が生じる周波数帯に強い依存性があることがわかった。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、構造最適化に関する基礎研究および、構造最適化を機械構造物の最適化に適用した応用研究についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 構造最適化の方法論に関する基礎研究として、フェーズフィールド法に基づくオイラー型形状最適化法を提案した。本手法では、レベルセット法に基づく形状最適化と同様の機能、即ち、穴の消失等のトポロジー変化が可能な、構造の境界移動に基づく構造最適化を、安定かつ高速な数値計算で実現した。

2. 構造最適化の応用研究として、荷重変換器構造を対象としたトポロジー最適化法を提案した。単軸荷重変換器構造の最適化においては、ホイートストーンブリッジの出力電圧の最大化により、荷重検出感度の向上を実現し、多軸荷重変換器構造の最適化においては、特異値分解を用いた評価指標に基づき、荷重検出感度の向上、およびひずみ検出誤差が荷重検出に与える影響の低減を実現した。

3. 構造最適化の、機械設計における構想設計支援技術としての有効性に着目し、構想設計支援を目的とした、離散構造要素を用いた構造最適化法を提案した。即ち、離散構造要素を用いた構造最適化の特徴である、単に最適構造が得られる点のみならず、得られた最適構造の力学的理解が容易である点を利用した、設計者に有効な力学的知見を与えることが可能な構造最適化法を構築した。

4. 離散構造要素を用いた構造最適化法の応用研究として、特定の周波数帯の弾性波を透過させないバンドギャップ構造の創生を目的とした構造最適化法を提案した。本手法を用い、未だ力学的背景が明確でない弾性波バンドギャップ構造に対して最適化を行い、その構造に対し初等力学からの考察を行い、バンドギャップ構造に関する有効な力学的知見を得た。

本研究で構築された方法論は、基礎と応用の両面において、今後の最適設計の研究に大きく貢献するものと期待される。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。また、平成21年1月8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。