

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13791 号
------	---------------

氏 名 松島 慶

論 文 題 目

Topology optimization of acoustic metamaterials and phononic structures based on the scattering matrices
(散乱行列に基づく音響メタマテリアルとフォノンニック構造のトポロジー最適化)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	工学研究科	教授	松本 敏郎
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	荒井 政大
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	奥村 大
委員	名古屋大学	工学研究科	准教授	高橋 徹
委員	慶應義塾大学	理工学部	講師	飯盛 浩司

論文審査の結果の要旨

松島慶君提出の論文「Topology optimization of acoustic metamaterials and phononic structures based on the scattering matrices (散乱行列に基づく音響メタマテリアルとフォノンニック構造のトポロジー最適化)」は散乱行列と境界要素法を用いた多体・多層構造中の音響・弾性波の数値散乱解析法を構築し、それに基づきフォノンニック構造と音響メタマテリアルの新たなトポロジー最適化法と大規模構造の設計法を開発したものである。各章の概要は以下の通りである。

第1章序論であり、本研究の研究背景、研究目的、本論文の構成について述べている。

第2章においては、多数の散乱体が配置された空間における音響散乱解析について、散乱行列と境界要素法に基づく高速な数値計算法の提案、および高周波問題における計算量の削減のために新たな散乱行列の定式化と、無限個の散乱体が周期的に配置された系における散乱問題の解析手法への拡張を行っている。提案法と従来の境界要素法とを数値実験で比較し、提案法が高精度かつ効率的に多重散乱問題を解析できることを示した。

第3章では、散乱行列と境界要素法に基づき多層周期構造を伝播する弾性波を解析する手法を提案している。まず一層の周期構造の散乱特性を表す散乱行列を新たに定義し、これを境界要素法により数値計算する方法を示し、layer-doubling法により複数の周期構造を積層した多層構造の散乱特性へ拡張している。その際、指数関数的に減衰・発散するモードに起因して生じる数値的不安定性を回避するための定式化を提案した。さらに、この方法を同一の層を周期的に無限個積層した半無限結晶構造の散乱特性とフォノンニックバンド構造の解析にも適用できることを示した。提案した解析法に対する数値実験では、境界要素法の計算精度を維持しつつ計算量を大きく削減できることを示した。

第4章では、周期的に配列された弾性材料から構成される開放型音響導波路のトポロジー最適化法を提案した。この導波路の固有値と対応する固有モードを計算するために、第2章で導入した多重散乱方程式を用いた。この定式化の下で、固有モードは多重散乱方程式に関する非線形固有値問題の解によって計算できることを示し、所望の周波数で固有モードの放射によるエネルギー損失を最小化することを目的とするトポロジー最適化法を提案した。最後に、導出したトポロジー導関数の妥当性の確認とトポロジー最適化の数値実験を行い、設計された構造が損失の小さい導波モードを示すことを散乱解析によって検証した。

第5章では、大規模フォノンニック構造のトポロジー最適化のための新たなアルゴリズムを提案した。設計対象は外部媒質中に置かれた多数の散乱体の形状であり、その散乱特性は第2章で提案した散乱行列法によって記述した。提案した方法は、多体系の単位構造の形状に関するトポロジー最適化と散乱体の配置角の最適化を組み合わせるものであり、目的汎関数を放射場の多重極展開の係数の関数として表現することにより、その設計感度を散乱行列法によって計算する方法を示した。この方法を数値実験により従来法と比較し、提案法により計算時間が削減され、かつ得られた目的関数値が従来法のそれと比較して大幅に向上されることを示した。

第6章では、Helmholtz共鳴器を配列した音響メタマテリアルの新たなトポロジー最適化法を提案した。提案法は、音響メタマテリアルの負の実効パラメータが単位構造の局所共鳴に由来することに着目し、サブ波長域に固有値を有するHelmholtz共鳴器をトポロジー最適化によって設計することで音響メタマテリアルを構成した。この目的のために、まずHelmholtz共鳴器の複素固有値のトポロジー導関数を新たに導出した。この問題は外部問題であるため、Dirichlet-to-Neumann写像を用いることで外部問題を厳密に内部問題に置き換え、対応する弱形式を考察することで新たにトポロジー導関数を導出した。さらに、数値実験により、設計したHelmholtz共鳴器をハニカム格子に並べることにより負の屈折が実現されることを示した。

第7章では、本論文の結言を述べる。

結論として、本論文では散乱行列と境界要素法に基づく新たな散乱解析手法と大規模構造の設計のための最適化アルゴリズムを開発している。本論文が開発した手法は新規な音響・振動特性を有する構造や高性能な制振構造の開発過程において重要かつ有益であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である松島慶君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。