

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 14062 号
------	---------------

氏 名 QIN Jincheng

### 論 文 題 目

Robust topology optimisation for wideband acoustic devices based on the boundary element method  
(境界要素法に基づく音響機器の広帯域化のためのロバストトポロジー最適化)

### 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	東京慈恵会医科大学	医学部	教授	植田 毅
委員	名古屋大学	工学研究科	准教授	高橋 徹
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	奥村 大
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

Qin Jincheng君提出の論文「Robust topology optimisation for wideband acoustic devices based on the boundary element method (境界要素法に基づく音響機器の広帯域化のためのロバストトポロジー最適化)」は、新たなトポロジー導関数の導出と高速境界要素法および自動微分法を駆使することにより、広帯域の入射周波数変動に対しても所望の特性を有する音響デバイス構造を計算するためのロバストトポロジー最適化法を開発したものである。音響デバイスの設計に関しては、従来の研究のほとんどは、単一の周波数で振動する音波を制御することを目的としていた。したがって、入射音波の周波数が設計段階で想定したものとは異なる場合には、既存のトポロジー最適化によっては設計の高性能化を保証することができなかった。これに対して、本研究では、周波数の変化に対する周波数応答を、境界積分方程式の高次の周波数微分を用いて近似する方法を提案し、広帯域の周波数でも最適化された特性を失わないロバストなトポロジー最適化を開発している。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、ロバストトポロジー最適化を含む不確実性に関する様々な種類のトポロジー最適化について比較する。関連する研究のサーベイを行った後にBEMに基づく波動デバイスのロバストトポロジー最適化法の開発の必要性と、周波数の不確実性のモデリングに使用される高次近似の利点を示す。

第2章では、ロバストトポロジー最適化の前段階として、決定論的トポロジー最適化問題を述べる。加振周波数が正規分布に従うという仮定の下で、高次のテイラー級数展開を用いて、関心のある帯域幅にわたる周波数応答を近似的に計算する。ロバストトポロジー最適化の目的関数は、決定論的目的の期待値と標準偏差の間の線形結合として定義される。その後、対応するトポロジー導関数の一般式が与えられる。また、トポロジー最適化の操作に採用されるレベルセット法についても紹介する。

第3章では、同次ノイマン境界条件によって特徴づけられる音響的に硬い材料に対するロバストトポロジー最適化を提案する。Helmholtz方程式で支配される問題における状態量の周波数微分を評価するために、その境界積分表現を考え出した。自動微分機能を備えた境界要素法を用いることにより、高次導関数を簡便に評価することができる。また、モンテカルロ・シミュレーションを実施し、異なる帯域幅において、与えられた近似精度に必要な工事導関数の最小打ち切り次数を検討する。さらに、2次元外部ノイマン問題に対するトポロジー導関数を導出する。得られたトポロジー導関数の数値的検証の後に、2つの異なる広帯域音響問題の例題に対してトポロジーの最適化を行い、得られた最適解のロバスト性について述べる。

第4章では、インピーダンス境界条件を伴うソフトマテリアルに対してロバストトポロジー最適化を拡張する。開領域中に置かれたインピーダンス境界条件下の散乱体構造に対するトポロジー導関数を厳密に導出し、数値的にも検証を行った。広帯域音響構造設計問題に対する数値例を示し、手法の有効性を検証している。

第5章では、より現実的な音響特性を持つ材料を扱うために、2次元の音響弾性波で結合された粘弾性構造に対するロバストトポロジー最適化をさらに発展させる。Navierの方程式に支配される状態量の周波数に関する導関数に対して、もう一つの境界積分表現を示している。開領域における音響・粘弾性体の連成構造に対してトポロジー導関数を導出し、数値的に検証している。一方、離散化された連成問題は音響問題のみの場合よりも大きな自由度を有するため、高次導関数を評価するためのBEMの加速が必要となる。そこでHマトリクス法とFMMをBEMに取り入れた。提案した方法の有効性と高速化の効果を、ロバストなトポロジー最適化の例によって示している。

第6章では、結論と今後の研究の方向性について述べている。結論として、本論文では広帯域の入射周波数変動に対しても所望の特性を有する音響デバイス構造を計算するためのロバストトポロジー最適化法を開発している。本論文が開発した手法は、広帯域の周波数や不確実な周波数変動に対しても最適な音響・振動特性を有する音響デバイス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Qin Jincheng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。