

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 12510 号
------	---------------

氏 名 中本 謙太

論文題目

A Study on Topology Optimisation of Electro-Magnetic Devices
Based on Level Set Method and Boundary Element Method
(レベルセット法と境界要素法に基づく電磁デバイスのトポロジー
最適化についての研究)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	松本 敏郎
委員	名古屋大学	教授	荒井 政大
委員	東京慈恵会医科大学	教授	植田 毅
委員	名古屋大学	准教授	高橋 徹
委員	名古屋大学	准教授	田地 宏一

論文審査の結果の要旨

中本謙太君提出の論文「A Study on Topology Optimisation of Electro-Magnetic Devices Based on Level Set Method and Boundary Element Method (レベルセット法と境界要素法に基づく電磁デバイスのトポロジー最適化についての研究)」は、電磁デバイスの最適構造をコンピュータシミュレーションに基づく最適手法であるトポロジー最適化により決定するために必要な、Hマトリクス法を用いた高速かつ高精度な境界要素法と安定的に最適解を得るための新たな計算アルゴリズムを開発し、クローキングデバイス、電波吸収体、散乱制御デバイスなどの電磁デバイス設計問題にそれらを適用し、その有効性を明らかにしている。各章の概要は以下の通りである。

第1章は序論であり、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、設計対象構造のレベルセット法を用いた表現手法および構造形状の更新手法について基本事項を解説している。とくに、境界要素法で電磁場解析を行う際に必要となる境界要素メッシュの生成手法について詳細に述べている。

第3章ではまず、レベルセット法に基づくトポロジー最適化において、設計感度として用いられる形状導関数とトポロジー導関数の導出法を簡潔に述べており、形状導関数とトポロジー導関数がいずれも異なる2つの境界値問題(順問題および随伴問題)の解の関数として表現可能であることを示している。つづいて、形状導関数とトポロジー導関数を高速に計算する手法について述べている。順問題および随伴問題から得られる連立一次方程式の係数行列が境界要素法では同一のものとなるので、直接法を用いればこれら2つの問題を1回分の計算コストで解くことが可能となることを踏まえ、Hマトリクス法を用いた高速直接解法により高速に形状導関数およびトポロジー導関数を計算する手法を提案している。さらに、目的関数が複数の関数の汎関数として表現されるような多目的最適化問題の場合、感度の計算のために解く必要がある境界値問題の数が増えることを指摘し、これらの境界値問題を効率よく解くためのアルゴリズムを提案している。このアルゴリズムを2次元空間の電磁場における最小化問題に適用することにより、最適構造を得るために必要な計算時間を従来法よりも大きく削減できるという知見を示している。

第4章においては、第3章において提案された手法をクローキングデバイスの設計問題に適用した結果を示している。特に、従来のクローキングデバイス設計に関する研究では、円形の完全導体を不可視化するための誘電体の配置を決定するものがほとんどであったが、特別な目的関数を用いることで同一の誘電体配置にもかかわらず任意の形状・材料の散乱体を不可視化できるという革新的な手法を提案している。数値例から、得られる最適構造は散乱体の形や材料によらずに同一のクローキング効果を示すという知見を得ている。

第5章では、第3章で提案された手法を、目的関数が境界上の関数の積分として表現される場合に適用した例を示している。境界上で目的関数を定義する場合のトポロジー導関数の導出について詳しく述べた後、電波吸収体や散乱制御デバイスに提案手法を適用した結果を示し、有効性を検証している。

第6章においては、これまでに開発されてきたほとんどのトポロジー最適化手法では、形状導関数とトポロジー導関数のいずれか一方のみしか使われていなかったことを指摘し、これらを自然な形で同時に使用する手法を提案している。まず、レベルセット関数の微小変化による構造変化を数学的に明確に表現することで、レベルセット関数の微小変化による目的関数の変化量の形状・トポロジー導関数を用いた表現が可能であることを示している。つづいて、導出された目的関数の変化量を最大化するようにレベルセット関数の更新量を決定する手法を提案し、逆散乱問題およびクローキングデバイスの設計問題に適用した。その結果、提案手法ではトポロジー導関数のみを用いていた従来法と比べて安定的に最適解が得られるという知見を得ている。

第7章では、本研究で得られた知見を総括し、本研究の結論を与えている。

以上のように本論文では、電磁デバイスの最適構造を決定するために必要な高精度かつ高速な感度の計算手法、およびそれを用いて安定的に最適解を求めるための新たな計算アルゴリズムを示したものである。これらの成果は、今後のアンテナ、モーターなど電磁波や電磁場を利用したデバイスのさらなる性能向上、およびクローキングデバイスやスーパーレンズなどこれまでに存在しなかったデバイスの設計等において重要な技術であり、学術、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、本論文提出者である中本謙太君は、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。