



Title	電磁デバイスの最適設計および機械学習による高速化に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	地引, 琢人
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第16516号
Issue Date	2025-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/95192
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Takuto_Jibiki_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（情報科学） 氏名 地引 琢人

学 位 論 文 題 名

電磁デバイスの最適設計および機械学習による高速化に関する研究

(Study on optimal design of electromagnetic devices and acceleration by machine learning)

情報化社会の進展に伴って通信トラフィックが急速に増大しており、ネットワーク機器の高性能化、小型化が要求されていることから、無線通信に使われるマイクロ波回路の新たな設計手法が必要とされている。

電磁デバイスの設計では、目標の特性と電磁界シミュレーションで計算した特性の差を目的関数として定義し、これを最小化する形状を求めることで設計を行う最適設計のアプローチがよく用いられる。最適設計の一手法であるトポロジー最適化 (TO: topology optimization) は高い自由度の設計が可能であり、革新的な構造を見出すことができる。ただし、マイクロ波回路の基本要素であるマイクロストリップライン (MSL: microstrip line) により構成される回路への適用例は少なく、その有効性は不明である。また進化計算を用いた TO は大域的な探索が可能な代わりにその計算コストが問題となっている。

電気電子機器の小型化のためにインダクタやモータなどのデバイスが高周波化しており、周波数に比例して増加するヒステリシス損失 (ヒス損) を正確に考慮した設計が重要となっている。正確なヒス損解析には近似式を用いた簡便な解析手法よりも多くの計算コストが必要となり、多数のヒス損解析を行うインダクタやモータなどの最適設計では、その計算コストの増大が問題となる。

上記の最適設計における計算コストの問題に対処するために、時間のかかる計算を機械学習により置き換える代替モデル法が知られている。計算を置き換えるだけの典型的な代替モデル法では、代替モデルによって特性を精度よく予測できることが前提となっている。一方で MSL で構成されるフィルタ回路は高精度な代替モデルの作成が難しく、精度が不十分な代替モデルで最適設計を実行すると、予測誤差に起因して最適設計が失敗してしまう問題がある。

本研究の目的はマイクロ波回路の小型化、および電磁デバイスの最適設計の高速化であり、以下の 3 つの課題を考える。

1 つ目は、マイクロ波回路へのトポロジー最適化の適用例が少なく、その有効性が不明な点である。

2 つ目は、マイクロ波のフィルタ回路はその特性の正確な予測が難しく、計算を置き換えるだけの典型的な代替モデル法が MSL 回路の TO に適用できない点である。

3 つ目は、ヒステリシス特性を正確に考慮できる既存のヒス損解析手法は実行に時間を要するため、最適設計などの多数のヒス損解析が必要な際に問題となる点である。

第 3 章では 1 つ目の課題を解決するために、MSL で構成されるフィルタ回路および電力分配回路を TO により設計し、その有効性を検証する。本研究ではガウス基底関数法 (NGnet 法) および幾何射影法の二つの TO 手法を検討し、従来の設計手法もあわせて比較する。最適設計を実施した結果、フィルタ回路の設計については NGnet 法の方が従来法よりも回路長を短くできることが分かった。また二つの TO を比較した結果、スタブ構造を活用できる、扁平なメッシュが生成されづらいという二つの理由から、幾何射影法の方が NGnet 法よりも MSL 回路の設計に適していることが明らかに

なった.

第 4 章では 2 つ目の課題を解決するために, 代替モデルの精度を予測する手法およびそれを用いた最適設計手法を提案する. 提案法では畳み込みニューラルネットワークにより代替モデルの精度を予測し, その予測結果に基づいて電磁界解析と代替モデルを切り替えて最適設計を行う. 提案法により MSL からなるフィルタ回路を設計した結果, 代替モデルの予測誤差に起因する最適化の失敗 (誤誘導) を回避しつつ, 最適化時間を 6 倍高速化できた. 提案法を用いることで, 高精度な代替モデルの作成が難しい MSL のフィルタ回路であっても代替モデルを利用した TO が可能であることを示した.

第 5 章では 3 つ目の課題を解決するために, 機械学習により電磁デバイスのヒス損解析を高精度かつ高速に実行する手法を提案する. ヒステリシス特性は入力波形の極値によって特徴づけられるという性質を利用し, 提案法では入力波形を極値で分割した区間ごとに代替モデルを適用する. インダクタのヒス損解析に対して提案法を適用した結果, 従来の高精度なヒス損解析手法と同様の解析結果を得つつ, 計算時間を約 2,000 倍高速化できた. さらに提案法を用いてヒス損を最小化するインダクタの最適設計を実行した結果, 代替モデルの作成に要する時間を含めて最適設計の所要時間を 2.5 倍高速化できた.