

トポロジー最適化手法によるフェライトを用いた クローキング装置の構造最適設計に関する一考察

A Study of Structural Optimization for Electromagnetic Cloaking with Ferrite Inclusions
using Topology Optimization Method

乙守正樹¹
Masaki Otomori

山田崇恭¹
Takayuki Yamada

Jacob Andkjær²

泉井一浩¹
Kazuhiro Izui

西脇眞二¹
Shinji Nishiwaki

小木曾望³
Nozomu Kogiso

京都大学大学院工学研究科¹

Department of Mechanical Engineering and Science, Graduate School of Engineering, Kyoto University
デンマーク工科大学²

Department of Mechanical Engineering, Technical University of Denmark

大阪府立大学大学院工学研究科³

Department of Aerospace Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University

1 緒言

近年、メタマテリアルの応用デバイスとして注目されているものに、クローキング装置がある [1]。クローキング装置とは、対象物のまわりに配置されたクローキング物質により、光もしくは電磁波が対称物を迂回して伝搬することで、対象物があたかも存在していないようにする技術である。クローキング装置の設計において、数学的および力学的根拠に基づく設計手法として、トポロジー最適化手法を用いて、誘電体クローキングの構造最適設計手法が報告されており、その有効性が示されている [2]。一方、フェライトは外部印加直流磁界との磁気共鳴現象により、周波数に依存した透磁率を持つ。そのためフェライトを用いたクローキング装置を実現した場合の利点として、外部印加直流磁界の有無による、クローキング機能の On-Off が挙げられる。本研究では、最適構造の境界を明確に表現可能なレベルセット法に基づくトポロジー最適化手法 [3] を用いてフェライトを用いたクローキング装置の構造最適設計手法を構築し、数値例にてその考察を行った。

2 レベルセット法を用いたトポロジー最適化

図 1 に、数値例に用いたクローキングの設計領域と境界条件を示す。左側から電磁波が入射し、中央の円領域を対象物とし、その周りのクローキング領域とする。レベルセット法による形状表現を用いたトポロジー最適化手法では、レベルセット関数 $\phi(\mathbf{x})$ を用いて、固定設計領域 D 内の物体領域 Ω と物体境界 $\partial\Omega$ を表現する。最適化計算では、このレベルセット関数を更新し、クローキング領域内のフェライトの最適な材料配置を求める。構造最適化問題として、所望の周波数帯域においてクローキングを実現することを考え、下式で示す、散乱電場のノルムを最小化する最適設計問題の定式化を行った。

$$\inf \int_{\Omega_{out}} (E_z - E_z^i)^* (E_z - E_z^i) d\Omega, \quad (1)$$

最適化計算に必要な感度は随伴変数法を用いて求めた。またフェライトの透磁率は Landau-Lifshitz モデル

を用いて表現した。最適化計算には有限要素法汎用ソフト COMSOL Multiphysics を用いた。

3 構造最適設計例

クローキングの動作周波数を 1.5GHz とし最適化計算を行った。また、外部印加磁界を $\mu_0 H_0 = 30\text{mT}$ 、飽和磁化を $\mu_0 M_s = 173\text{mT}$ とした。図 1(b) に最適化計算で得られたフェライトの材料配置を示す。また、図 2(a) にクローキングがない場合の電場分布、図 2(b) にクローキングがある場合の電場分布を表す。結果より、動作周波数においてクローキング機能を実現するフェライトの材料配置が求められており、本手法の有効性・妥当性が確認できた。

参考文献

- [1] D. Schurig 他, *Science*, **314**, 977, 2006.
- [2] J. Andkjær 他, *Appl. Phys. Lett.*, **100**, 101106, 2012.
- [3] T. Yamada 他, *Comput. Method. Appl. M.*, **199**, No. 45-48, 2010, pp.2876-2891.

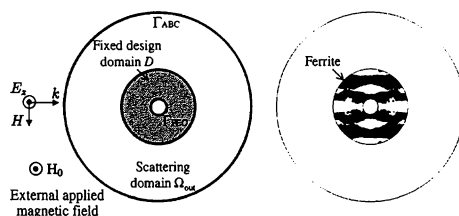


図 1 (a) 数値計算に用いた設計領域と境界条件, (b) 構造最適化計算により得られた構造

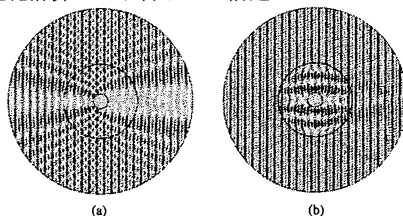


図 2 電場分布, (a) クローキングなし, (b) クローキングあり