

C-1-19

トポロジー最適化手法を用いた誘電体メタマテリアルの最適設計

Design Optimization of Dielectric Metamaterials using Topology Optimization Method

乙守正樹¹ 山田崇恭² 泉井一浩¹ 西脇真二¹ Jacob Andkjær³
 Masaki Otomori Takayuki Yamada Kazuhiro Izui Shinji Nishiwaki Ole Sigmund³

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

名古屋大学大学院工学研究科²

Department of Mechanical Science and Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya University

Technical University of Denmark, Department of Mechanical Engineering³

1 緒言

誘電体のみで負の透磁率，誘電率などの特性を実現する誘電体メタマテリアルが提案されている [1, 2]。その利点として，製造の容易性や等方性，広帯域なメタマテリアル材料の実現可能性などが挙げられる。誘電体メタマテリアルの設計において，設計者の経験や力量に依らず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た設計手法が報告されており，その有効性が示されている [3, 4]。しかしながら，所望の負の透磁率を実現するメタマテリアルの明確な最適構造を求める有効な手法は未だ十分に確立されていない。そこで本研究では，負の透磁率を示すメタマテリアル構造を求めることを目的とし，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 [5] を用いて誘電体メタマテリアルの最適設計を行った。

2 レベルセット法を用いたトポロジー最適化

図1に，誘電体メタマテリアルの構造とそのユニットセルの設計領域を示す。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，固定設計領域 D 内の物体領域 Ω と境界 $\partial\Omega$ を，レベルセット関数 $\phi(x)$ を用いて陰的に表現する。最適化計算において，このレベルセット関数を更新することで誘電体の最適材料分布を求める。最適化問題として，所望の周波数において有効透磁率を最小化させる問題を定式化した。有効透磁率は転置行列法 [6] に基づいて求めた。また，最適化計算に必要な感度は随伴変数法を用いて求めた。

3 設計例

有効透磁率を最小化する対象周波数を 0.3THz として最適化計算を行った。図2に最適化計算で得られた有効透磁率の周波数特性，図3に初期構造と最適構造，またその電界分布を矢印で示す。図2において， μ' と μ'' は有効透磁率の実部と虚部を表す。初期構造として体積が固定設計領域の 40% の体積を持つ円形状の構造を与えた。許容する体積の上限値は 70% とした。最適化計算の過程で，反共振周波数が遷移し，最終的に対象周波数に到達することで有効透磁率が最小化されていることが確認できた。図3より，最適構造の電界分布では固定設計領域の中心に円環上の電場が発生し，それにより入射磁場に反抗する磁場が発生していることがわかった。以上の数値例により本手法の有効性・妥当性が確認できた。

参考文献

- [1] Ahmadi 他, *Physical Review B*, **77**-4, 2008, 045104
- [2] Zhao 他, *Materials Today*, **12**-12, 2009, pp.60–69
- [3] Sigmund, R. Pyrz and J.C. Rauhe (eds.), *IUTAM Symposium*, **13**, 2009, pp.151–159.
- [4] 山崎他, 信学技報, AP2009-128, 2009, pp. 55–58.
- [5] Yamada 他, *Comput. Method. Appl. M.*, **199**-45–48, 2010, pp.2876–2891.
- [6] Smith 他, *Physical Review E*, **71**, 2005, 036617.

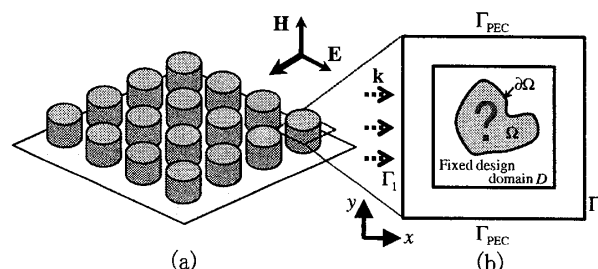


図1 (a) 誘電体メタマテリアル構造, (b) 設計領域

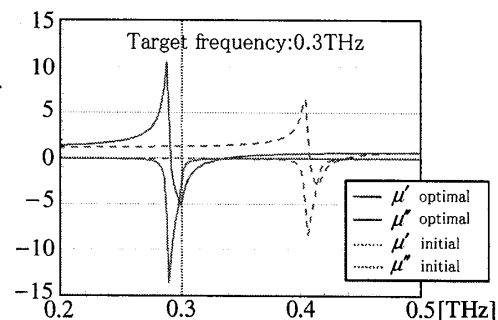


図2 有効透磁率の周波数特性

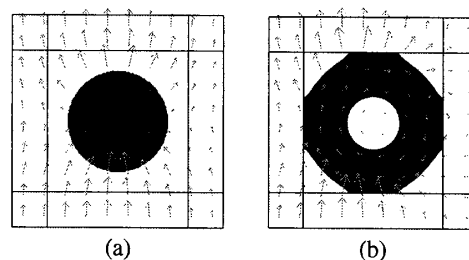


図3 初期構造，最適構造とその電界分布：(a) 初期構造, (b) 最適構造