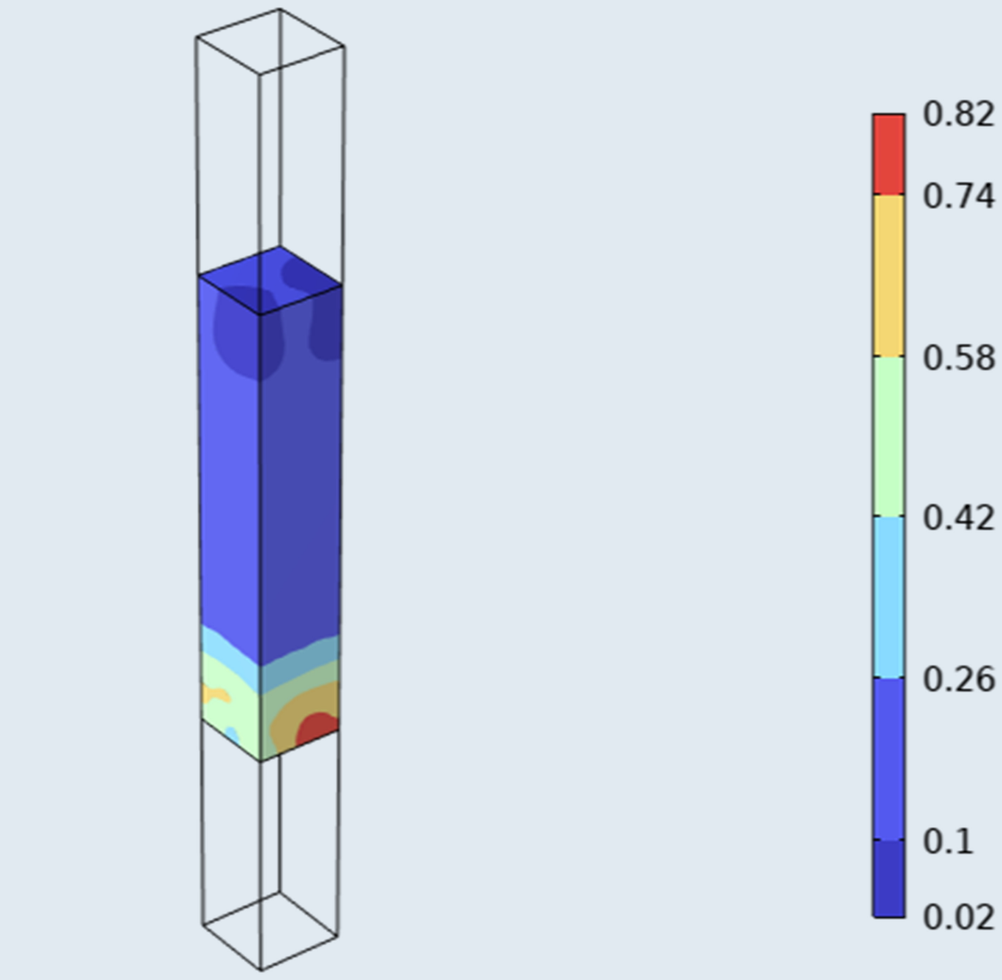


フルカラーホログラフィに向けたメタ原子のトポロジー最適化

RGB 3波長に対する位相再現性の向上を目指し，メタ原子形状を最適化する.

中田幸多[1], 城田一舟[1], 岩見健太郎[1]
1. 東京農工大学大学院, 先進学際科学府, 184-0012 東京都 小金井市

概要

メタサーフェスは, 波長よりも小さいメタ原子を配置することで, 光の振幅・位相を制御できる薄型光学素子であり, ホログラフィやメタレンズへの応用が期待される. 従来は円柱や十字形状などの単純なメタ原子について寸法を変化させ, 所望の位相に近い構造を選択する順設計が用いられてきた. 当研究室では偏光依存性を抑えつつ, 設計自由度が確保できる十字型メタ原子を用いてきたが, 得られる位相の範囲には偏りがあり, RGBの所望位相を十分な精度で再現できていない場合がある.そこで本研究では, RGB各波長の位相を3水準に離散化した27(= 3^3)種類の位相組合せをターゲットとし, メタ原子形状そのものを設計変数とするトポロジー最適化により位相再現性の向上を目指す.

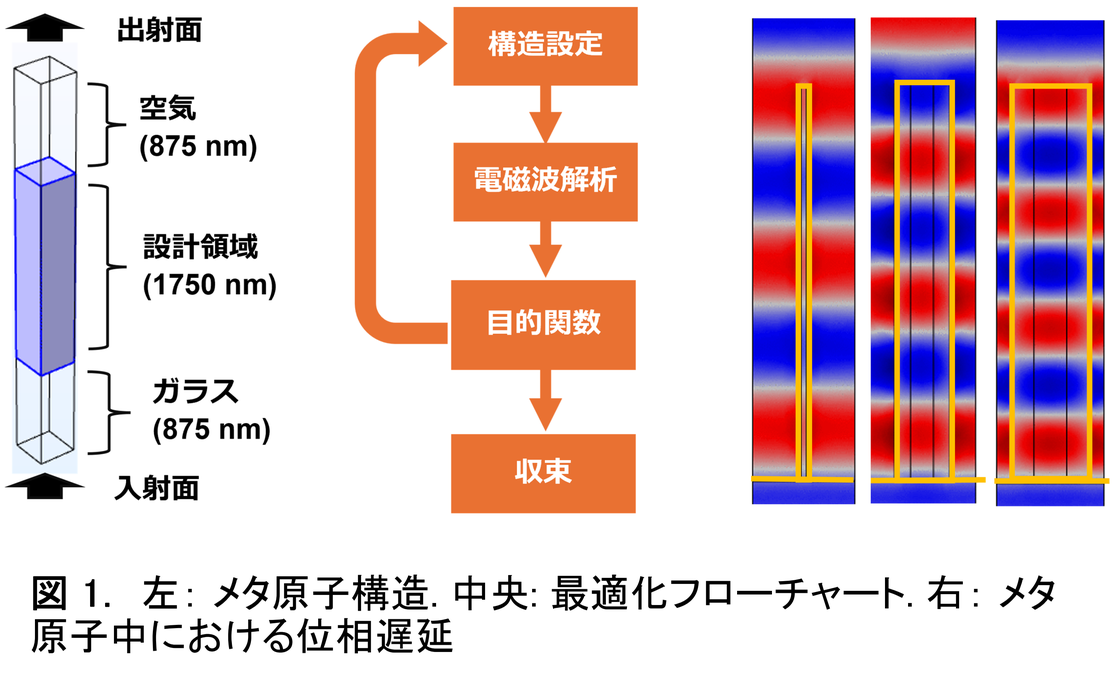


図 1. 左: メタ原子構造. 中央: 最適化フローチャート. 右: メタ原子中における位相遅延

解析内容

算出した複素透過係数とターゲット複素透過係数との複素平面上の距離を評価し, RGB3波長における誤差の総和を最小化する
以下の式を目的関数とした.

$$F(A_{calc}, \varphi_{calc}) = \sum_{\mathrm{R,G,B}} \left|1\exp\left(i\varphi_{\mathrm{target}}\right) - A_{calc}\exp(i\varphi_{\mathrm{calc}})\right|$$

設計領域内の材料分布を設計変数とする密度法を用いた. 初期値を0.5として, ヘルムホルツフィルタと投影処理とMMAによりメタ原子形状を更新した.

結果

RGBの27種類のターゲットに対して, トポロジー最適化を行った. 初期値を0.5とした場合. 図2に示すように1条件において, 目的関数の低減ができた.

また, 最適化後の密度分布には, SiNと空気の中間に相当する中間密度や, 基板から分離した浮遊構造が残存する条件が確認された. 勾配法によるトポロジー最適化は初期値依存性を持つため, 一様な初期値からの探索では局所解に収束した可能性が考えられる. 以上から, 初期条件の設定に加え, 製造制約を考慮した最適化条件の検討が必要である.

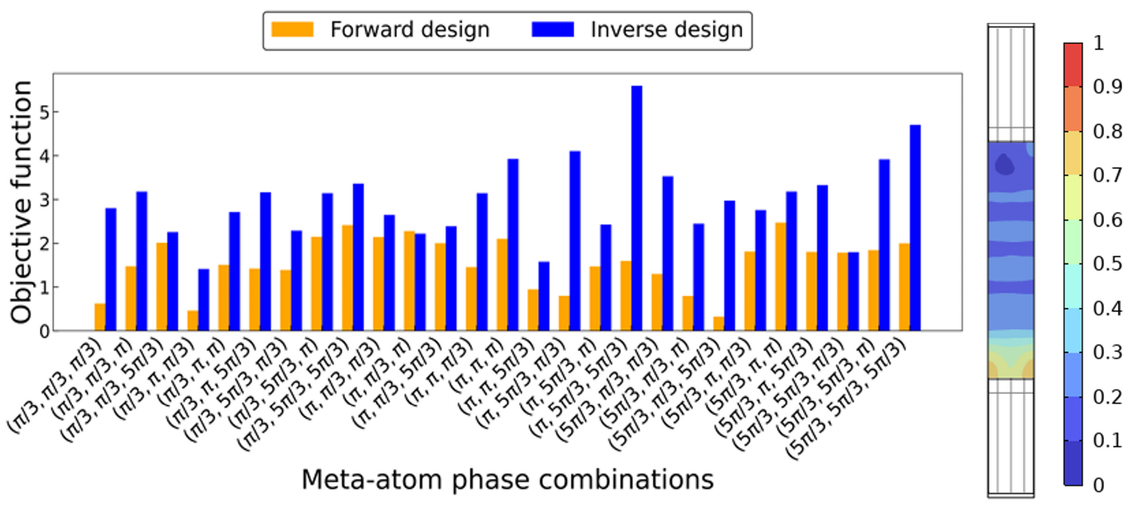


図 2. 左: 順設計と逆設計の目的関数比較. 右: $\left(\frac{5\pi}{3}, \frac{5\pi}{3}, \frac{\pi}{3}\right)$ に対して, 最適化されたメタ原子構造.

参考文献

1. T. Omori and K. Iwami, “Wavelength- and angle-multiplexed full-color 3D metasurface hologram”, Nanophotonics, 14(25), 4665-4674, 2025.

Tokyo University of Agriculture and Technology

The Proceedings of the COMSOL Conference 2026 Tokyo より抜粋