

スーパーコンピュータ TSUBAME3.0 による 可変焦点メタレンズの設計

東京農工大学
岩見健太郎

1. はじめに

我々は、光メタ材料による平面レンズ「メタレンズ」の研究を行っている¹⁾。メタレンズの単位構成要素は動作波長よりも小さいため、その設計にあたっては大規模な三次元電磁場解析が必要となる。今回、東京工業大学学術国際情報センターに設置されているクラウド型ビッグデータグリーンスーパーコンピュータ“TSUBAME 3.0”をお借りし、市販の有限要素解析ソフトウェアである COMSOL Multiphysics を用いてメタレンズの構成要素の設計を行った事例を解説する。

2. メタレンズの原理

メタレンズとは、サブ波長サイズのナノ構造“メタ原子”を配列した超薄型レンズである。高NAと高効率の両立や、偏光分離イメージングなどの新機能を実現できることから注目を集めている。従来の屈折レンズ・フレネルレンズ・回折レンズとメタレンズとの比較を図1にまとめた。

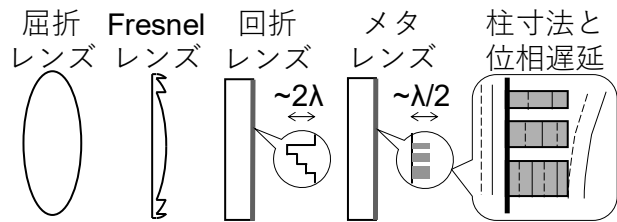


図1 メタレンズと従来レンズとの比較

我々は、誘電体のナノ柱状構造からなるメタ

原子を採用している。この構造はいわば光導波路のようなもので、柱の幅や高さに応じた位相遅延を生じる。この柱を配置して球面レンズ同等の位相分布を持たせることを考える。すなわち、基板上的位置 (x, y) において下記の位相分布関数

$$\phi(x, y) = -\frac{2\pi}{\lambda}(\sqrt{x^2 + y^2 + f^2} - f) = -\frac{2\pi}{\lambda}(\sqrt{r^2 + f^2} - f) \approx -\frac{\pi}{\lambda f}r^2 \quad (1)$$

を満たすようにメタ原子を配置すれば焦点距離 f のレンズとして動作する。ここで、 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ はメタレンズ中心からの距離を表す。

3. メタレンズの解析

3-1 過渡応答と定常応答

本稿では、メタレンズの構成要素である「メタ原子」を解析するために、有限要素法解析ソフトウェア“COMSOL Multiphysics”を利用した。メタ原子に光を照射した際の定常状態における位相遅延を求めるため、Wave optics モジュールに付属している electromagnetic wave, frequency domain (ewfd) フィジックスを用いた。Ewfd の基礎方程式は次のように求められる。

まず、Maxwell 方程式を変形すると、次の電場・磁場の時間微分が導かれる。

$$\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = -\frac{\sigma}{\epsilon} \mathbf{E} + \frac{1}{\epsilon} \nabla \times \mathbf{H}, \quad \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \nabla \times \mathbf{E} \quad (2)$$