

大規模光電磁場解析および機械学習を用いたメタレンズの設計

Design of metalens by using large-scale electromagnetic analysis and machine learning

竹内嵩
理化学研究所

1. 研究目的

本課題はナノ構造を二次元平面上に配列した「メタレンズ」を光電磁場解析により数値的に設計することを目的としている。本年度はカラーフィルター機能を有するメタレンズの設計、およびそのための環境構築を行った。

2. 研究成果の内容

メタレンズは nm オーダーの薄さにもかかわらず従来の光学レンズと同等以上の性能を発揮でき、大きな注目を集めている。特に昨今では、更なる高機能化として、レンズ以外の光学機能を有したメタレンズの研究開発が盛んに行われている。しかし、一般にメタレンズは多数のナノ構造から構成されるため、計算規模が容易に大きくなる。また、前述の高機能化を実現するためには、各ナノ構造に求められる役割が増え、設計が難解となる。そこで本課題では、計算の大規模化には SALMON(幅広い光と物質の相互作用をターゲットとしたオープンソース・ソフトウェア。MPI, OpenMP, GPU に対応した高い並列計算性能を有する)を用いることで対応し、さらに設計に機械学習(Deep learning : DL)を取り入れることで、高機能なメタレンズの設計を試みた。

本年度は設計対象にカラーフィルター機能を有するメタレンズを選んだ。このメタレンズは単位周期内に数十個程度のナノ構造を有し、赤・緑・青の光をそれぞれ別の箇所に集光する機能を持つ。これをイメージセンサーに応用することで、エネルギー効率・応答速度の劇的向上が見込め、近年活発に研究されている。本課題では、SALMON に上述の赤・緑・青の光に対する集光効率を計算させる機能を新たに追加し、計算を行った。また、DL の学習データ作成用に大量の計算パターンを処理できる環境を構築した。これにより、指定した個数のナノ円柱の直径と座標をランダムに決定し計算、そして得られた結果を学習データに用いた DL に基づく設計が可能となった。

3. 学際共同利用プログラムが果たした役割と意義

本年度計算したメタレンズは、単位周期内に最低数十個のナノ構造が集積された系であり、さらにDLの学習データ用に1万個のパターンを計算した。このような計算を行うにはスーパーコンピュータの活用が不可欠であり、学際共同利用によるリソースを用

いた役割と意義は大きい。

4. 今後の展望

本年度の進捗により、カラーフィルター機能を有するメタレンズの光電磁場解析およびDLによる数値設計環境が整った。これを応用すれば他の高機能メタレンズの開発も可能になる。また、本年度設計したメタレンズは、ナノ構造に円柱以外の複雑な形状を用いることで更なる高性能化が期待できる。

5. 成果発表

(1) 学会発表

竹内嵩, 田中拓男, “光・物質科学融合計算による「量子」メタマテリアルの設計”, 公開シンポジウム「光がもたらす未来社会 ～ICO の新たな発展に向けて～」, no.48, 日本学術会議講堂, 2023 年 7 月.

使用計算機	使用計算機に ○	配分リソース※		
		当初配分	移行*	追加配分
Cygnus				
Pegasus				
Wisteria/BDEC-01	○	180,000		
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。 *バジェット移行を行った場合、「+2000」「-1000」のように記入				