

時分割超並列アルゴリズムの開発と電磁デバイス設計への応用

Development of time-division parallel algorithm and its application to designing electromagnetic devices

○大貫進一郎¹, 浅井朋彦², 芦澤好人³, 井上修一郎⁴, 尾崎亮介¹, 岸本誠也¹, 佐甲徳栄⁵*Shinichiro Ohnuki¹, Tomohiko Asai², Yoshito Ashizawa³,Shuichiro Inoue⁴, Ryosuke Ozaki¹, Seiya Kishimoto¹, Tokuei Sako⁵

Abstract: To achieve ultra-fast computing for designing electromagnetic devices, we develop a time-division parallel algorithm in which computational cost is distributed to multiple nodes. The proposed method is completely parallel and realized by a combination of complex-frequency-domain electromagnetic solvers, such as the FDCFD (finite-difference complex-frequency-domain) method, and FILT (fast inverse Laplace transform). Applying our method, an optical waveguide with the grating structure and surface plasmonic waveguide array are designed and their characteristics are clarified.

コンピュータの高速化及び大容量化に伴い、数値シミュレーションの重要性が増している。現在、電磁デバイスの設計及びその特性検証に向けて、時間-周波数領域における様々な計算法が提案され、中でも、周波数領域有限差分 (Finite-Difference Frequency-Domain: FDFD) 法は、金属薄膜構造の導波路設計などに対する強力な解析手法として注目されている^[1-2]。

著者らは、FDFD 法を複素周波数領域 (Complex-Frequency-Domain: CFD) に拡張し、高速逆ラプラス変換法 (Fast Inverse Laplace Transform: FILT)^[3]と併用することにより、複数ノードに計算を分散させる時分割超並列計算が可能な FDCFD-FILT 法を開発した。本手法は世界初となる時間分割の完全並列アルゴリズムで、データ通信によるボトルネックを回避できるため並列化効率が 100%で、計算ノード数に比例した高速化が実現できる。また、本アルゴリズムを FDTD (Finite-Difference Time-Domain) 法に適用することで完全並列 FDTD 法^[4]を実現する。

次に、開発した時分割超並列計算法を、電磁デバイスの設計に応用する。図2に示す誘電体装荷グレーティング構造は光通信を効率的に行うためのプラズモニックデバイスとして提案されている。グレーティングに照射された光により表面プラズモンを励起させ、金薄膜表面のみに電界を強く集中させて伝搬することができる。図3に示す金属ストリップ型 PWA (Plasmonic Waveguide Array) は金属ナノ構造を持ち、ナノサイズの量子ウォークを実現する構造として期待されている。PWA の中心に光を入射すると表面プラズモンの強度が最大となる点は伝搬につれ中央から両端に向かって線型的に広がり、入射位置から離れたストリップに電界が最も集中する。これは量子ウォークの確率分布特性を明確に表している。本報告では、これら電磁デバイスの特性検証及び計算の効率化を併せて検証する。

参考文献

- [1] D. Wu, R. Ohnishi, R. Uemura, T. Yamaguchi, and S. Ohnuki, "Finite-Difference Complex-Frequency-Domain Method for Optical and Plasmonic Analyses," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol.30, no.11, pp.1024-1027, 2018.
- [2] 呉迪, 浜島功, 井上修一郎, 大貫進一郎, "複素周波数領域有限差分法によるプラズモニック導波路の設計及び特性検証," 電子情報通信学会論文誌 C, vol. J103-C, no. 2, pp. 69-77, 2020 (招待論文) .
- [3] 大貫進一郎, "高速逆ラプラス変換を用いた電磁界時間応答解析," 電子情報通信学会誌 C, vol. J103-C, no.04, pp. 203-210, 2020 (招待論文) .
- [4] S. Ohnuki, R. Ohnishi, D. Wu, and T. Yamaguchi, "Time-Division Parallel FDTD Algorithm," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol.30, pp. 2143-2146, 2018.

1 : 日大理工・教員・電気 2 : 日大理工・教員・物理 3 : 日大理工・教員・電子

4 : 日大理工・教員・量子 5 : 日大理工・教員・一般

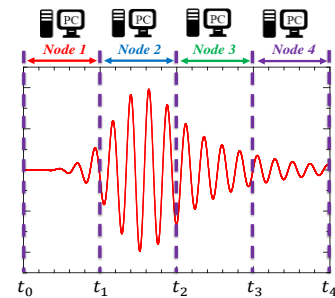
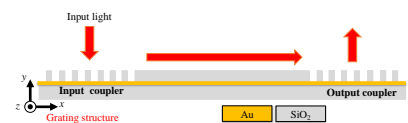
図1. 時分割並列計算の概念図^[1]

図2. 誘電体装荷グレーティング構造金属ストリップ型光導波路

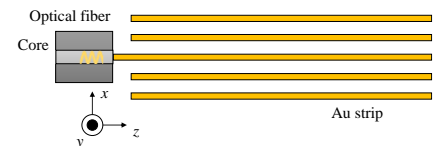


図3. 金属ストリップ型 PWA