

複素周波数領域解法による電磁デバイス設計に向けた基礎検討

C-15

Fundamental Study of Designing Electromagnetic Devices Using Complex Frequency Domain Method

安藤 雄喜[†] 呉 迪[†] 大西 峻平[†] 大貫 進一郎[†]
 Yuki ANDO[†] Di WU[†] Ryohei OHNISHI[†] Shinichiro OHNUKI[†]

[†] 日本大学理工学部

[†] College of Science and Technology, Nihon University

1. はじめに

近年電磁デバイスの設計において、電磁界シミュレーションが広く用いられている。複素周波数領域有限差分 (Finite-Difference Complex-Frequency-Domain: FDCFD) 法 [1] は定常応答を高速に導くことができ、導波路やアンテナ解析において強力な手法である。更に高速逆ラプラス変換 (FILT: Fast Inverse Laplace Transform) 法を適用することによって、時間応答も計算することができる。

本報告では、FDCFD-FILT 法の計算精度の検証を行う。また電磁デバイスの解析についても併せて検討する。

2. 解析手法

本手法は、電磁界の支配方程式である Maxwell 方程式の時間微分を複素周波数 s で置き換える。入射界を \mathbf{E}^i 及び \mathbf{H}^i 、散乱界を \mathbf{E}^s 及び \mathbf{H}^s とすることで次式が得られる。

$$s^{-1}\nabla \times \mathbf{E}^s(\mathbf{r}) + \mu_0 \mathbf{H}^s(\mathbf{r}) = \mu_0(\mu_r - 1)\mathbf{H}^i(\mathbf{r}) \quad (1)$$

$$-s^{-1}\nabla \times \mathbf{H}^s(\mathbf{r}) + \varepsilon_0 \mathbf{E}^s(\mathbf{r}) = \varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)\mathbf{E}^i(\mathbf{r}) \quad (2)$$

ここで ε_r 、 μ_r はそれぞれ散乱体の比誘電率と比透磁率を示す。式(1)及び(2)をそれぞれ空間に対して離散化を行い、得られた連立方程式を解くことで複素周波数領域の電磁界を求める。更にこの式に FILT 法 [2] を適用することで、時間領域の電磁界を求めることができる。

また、式(2)における比誘電率は以下の Lorentz-Drude モデルとし、媒質は銀と仮定した。

$$\varepsilon_r(s) = 1 + \frac{f_0 \omega_p^2}{s^2 + s\Gamma_0} + \sum_{j=1}^N \left(\frac{f_j \omega_p^2}{s^2 + s\Gamma_j + \omega_j^2} \right) \quad (3)$$

3. 解析結果

図 1 に Ag 円柱の解析モデルを示す。解析領域上部から波長 $\lambda = 0.5[\text{nm}]$ の平面波を入射し、電磁界を観測する。円柱の半径を $0.5[\text{nm}]$ とする。

図 2 に $t = 4[\text{fs}]$ での電界 E_y の分布を示す。この図より E_y 成分は円柱の表面付近で電場増強が起きていることが確認できる。

図 3 に FDTD 法との相対誤差を示す。これより本手法が FDTD 法と精度の範囲で一致していることを確認した。

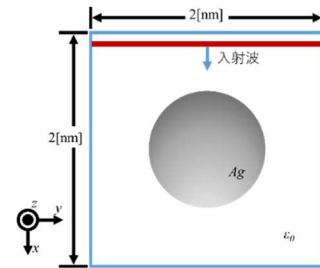


図 1 解析モデル

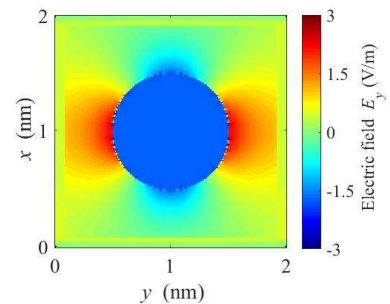
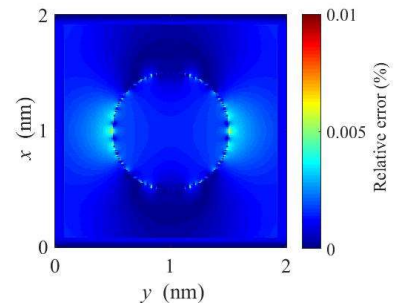
図 2 解析結果 ($t = 4[\text{fs}]$)

図 3 相対誤差

4. 今後の課題

今後は具体的なデバイスとして、金属円柱列やフォトニック結晶のモデルでの解析を行う。

参考文献

- [1] D. Wu, R. Ohnishi, R. Uemura, and S. Ohnuki, *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 30, pp1024-1027, 2018, 10.1109/LPT.2018.2828167.
- [2] T. Hosono, "Numerical inversion of Laplace transform and some applications to wave optics," *Radio Sci.*, vol. 16, no. 6, pp.1015-1019, Nov-Dec. 1981, 10.1029/RS016i006p01015.