

L-1

## 分散性媒質を含む2次元シンプレクティック電磁界解析 2D Symplectic EM Field Analysis with Dispersive Media

○宮本浩志郎<sup>1</sup>, 岸本誠也<sup>2</sup>, 佐甲徳栄<sup>3</sup>, 大貫進一郎<sup>2</sup>

\*Koshiro Miyamoto<sup>1</sup>, Seiya Kishimoto<sup>2</sup>, Tokuei Sako<sup>3</sup>, Shinichiro Ohnuki<sup>2</sup>

**Abstract:** The symplectic integrator method ensures stable energy analysis even in long-time EM propagation problems. However, the analysis of the case involving frequency-dispersive media has not been fully investigated. We applied the SI method to the coupled Maxwell equations and the auxiliary differential equations for computing dispersive media. By comparing the present method with the exact solution in a 2D problem, we found that this method is effective for analyzing dispersive media in metals.

近年、プラズモニックデバイスの設計・開発に向けた電磁界解析が広く行われている。特に、電磁波の伝搬距離が長い問題を差分法で解く場合、数値分散誤差の影響が大きくなることから、空間及び時間離散化幅を小さくする必要がある。著者らはこれまでに差分法を用いないシンプレクティック数値積分 (SI: Symplectic Integrator) 法<sup>[1]</sup>を均質および不均質媒質の電磁界解析に適用することで、数値分散誤差を低減できることを明らかにした<sup>[2]</sup>。しかし、周波数分散性媒質を含む電磁界解析への本手法の適用は十分に検討されていない。

本報告では、周波数分散性を考慮するため電子運動の補助微分方程式 (ADE: Auxiliary Differential Equation) を Maxwell 方程式に基づく SI 法と連立して解く、ADE-SI 法の精度検証を行う。計算には、金属の分散性を表す Drude モデルの ADE と Maxwell 方程式をシンプレクティック形式で表した以下の式を用いる。

$$\frac{\partial}{\partial t} \begin{pmatrix} \mathbf{E} \\ \mathbf{B} \\ \mathbf{j} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & c_0 \nabla \times & -\omega_p \\ -c_0 \nabla \times & 0 & 0 \\ \omega_p & 0 & -\Gamma \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{E} \\ \mathbf{B} \\ \mathbf{j} \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、電界  $\mathbf{E}$ 、磁束密度  $\mathbf{B}$ 、電流密度  $\mathbf{j}$ 、 $\hat{\mathbf{B}} = c_0 \mathbf{B}$ 、 $\hat{\mathbf{j}} = \mathbf{j}/(\epsilon_0 \omega_p)$  であり、 $\epsilon_0$ 、 $c_0$  は真空の誘電率と真空中の光速、 $\omega_p$ 、 $\Gamma$  はプラズマ角周波数と衝突係数である。式 (1) の形式解を求めることで行列指数関数による時間発展式が得られる。なお、行列指数関数は直接数値計算を行えないため、指数分解の近似式を用いることで行列積に変換し計算を行う。図 1 に解析モデルを示す。解析領域内に周波数分散性をもつ銀 (Ag) 円柱媒質を設置した。入射波を連続波とし、自由空間から銀円柱媒質に入射する。観測点において得られた時間応答波形をもとに厳密解と比較することで本手法の妥当性を検討する。

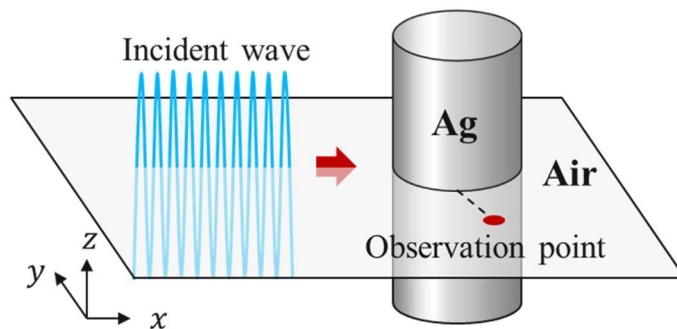


Figure. 1 解析モデル

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP21K17753 及び JP 23K03961 の援助を受けて行われた。

参考文献

- [1] H. Yoshida, "Construction of higher order symplectic integrators", Physics Letters A, vol. 150, no. 5,6,7, pp. 262-268, 1990.  
 [2] K. Miyamoto, S. Kishimoto, T. Sako, and S. Ohnuki, "Electromagnetic field analysis by the symplectic integrator method", IEICE Electronics Express, vol. 21, no. 17, pp. 20240389 - 1-5, 2024.

1 : 日大理工・院 (前)・電気 2 : 日大理工・教員・電気 3 : 日大理工・教員・一般