

DCP-FDTD法を用いた周期構造の解析

岩本, 哲弥 / IWAMOTO, Tetsuya

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学研究科編

(巻 / Volume)

63

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

2

(発行年 / Year)

2022-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00025317>

DCP-FDTD法を用いた周期構造の解析

AN ANALYSIS OF A PERIODIC STRUCTURE USING THE DCP-FDTD METHOD

岩本 哲弥

Tetsuya IWAMOTO

指導教員 柴山 純

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

We introduce the dispersive contour-path algorithm into the finite-difference time-domain method based on a trapezoidal recursive convolution technique. The transmittance characteristics of a two-dimensional metal cylinder array are evaluated. It is found that the present method gives a reasonably accurate solution, even when a large sampling width is used.

Key Words : Finite-difference time-domain (FDTD) method, Trapezoidal recursive convolution (TRC) technique, Dispersive contour-path (DCP) algorithm, Periodic boundary condition (PBC).

1. まえがき

電磁界の数値解析手法の一つとして有限差分時間領域(FDTD)法[1]がよく用いられている。しかし、通常の直交座標系でのFDTD法を用いて曲面を含む構造の解析を行うと、階段近似を用いる必要がありモデリングに注意を要する。そこで、曲面などを含む任意形状を精度よくモデリングするための研究が行われている[2],[3]。我々は、分散性媒質と誘電体の任意境界を精度よく取り扱うDispersive Contour-Path (DCP) アルゴリズムをTrapezoidal Recursive Convolution (TRC) 法[4]に基づくFDTD法に導入した[5]

本稿ではDCP-FDTD法を用いて、2次元金属円柱配列を解析し、透過特性の評価を行う[6]-[15]。

2. 本論

周波数分散性媒質を以下に示すDrude-Lorentzモデル[16]で表現する。

$$\epsilon_r(\omega) = \epsilon_\infty + \frac{\omega_D^2}{j\omega(\nu_D + j\omega)} + \frac{\Delta\epsilon\omega_L^2}{j\omega\nu_L + \omega_L^2 - \omega^2}$$

ここで ϵ_∞ は周波数無限大における比誘電率、 ω は角周波数、 ω_D はプラズマ周波数、 ω_L は共振周波数、 ν_D 、 ν_L は衝突周波数、 $\Delta\epsilon$ は重み係数である。上式で示したDrude-Lorentzモデルに対して2次元TM波での定式化を行う。周波数領域のDrude-LorentzモデルをDCPアルゴリズムを用いてTRC法に基づくFDTD法に取り込むと、電界の更新式は

$$E^n = \frac{1 - C_a}{1 + C_a} E^{n-1} + \frac{D_a c \Delta t}{1 + C_a} \nabla \times H^{n-\frac{1}{2}} + \frac{1 - C_a}{1 + C_a} \phi^{n-1} + \frac{1 - C_a}{1 + C_a} \xi^{n-1}$$

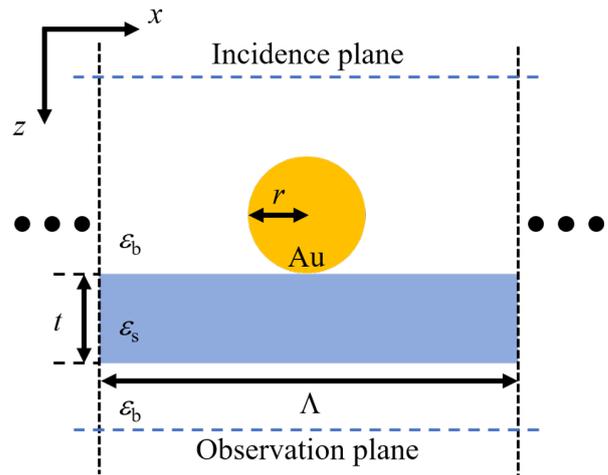


図1 金属円柱配列 (1周期分)

となる。ここで、

$$\phi_D^n = C_c(E^n + E^{n-1}) + e^{-\nu_c \Delta t} \phi_D^{n-1} + C_d(\xi^n + \xi^{n-1})$$

$$\phi_L^n = C_e(E^n + E^{n-1}) + e^{\gamma \Delta t} \phi_L^{n-1} + C_f(\xi^n + \xi^{n-1})$$

$$\phi^n = \phi_D^n + \text{Re}\{\phi_L^n\}$$

$$\xi^n = C_a(E^n + E^{n-1}) - \phi^{n-1} + C_b \xi^{n-1}$$

である。係数 C_a, \dots, C_f 及び D_a はセル内の金属/誘電体境界の位置によって変化し、DCPアルゴリズムにより算出される。

図1に解析する構造を示す。 x 方向に対する無限周期構造の1周期のみを示している($\Lambda = 350 \text{ nm}$)。金

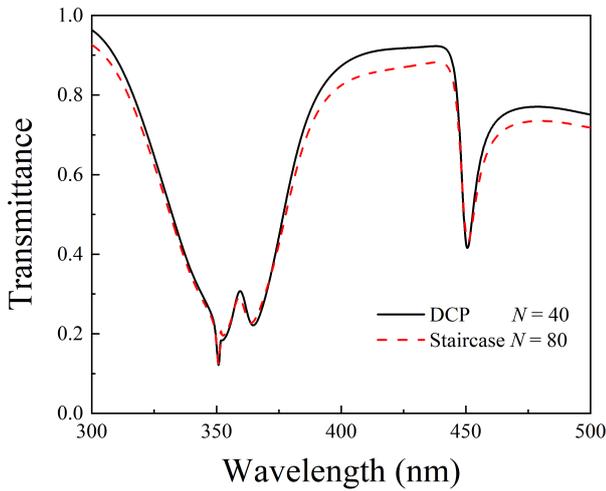


図 2 透過特性

属円柱には Au を使用し, Drude-Lorentz モデルとして扱う. 基板の比誘電率を $\epsilon_s = 1.5^2$, 厚さを $t = 200$ nm とする. 背景を空気 ($\epsilon_b = 1.0$) とする. 金属円柱の直径を $d = 80$ nm に選ぶ.

透過特性を評価する. 図 2 に直径の分割数を $N = 40$ に選び, DCP-FDTD 法を用いて解析した結果を示す. 階段近似による結果 ($N = 80$) を併記する. 複数の透過ディップが観測される. DCP-FDTD 法を用いることにより刻みの粗い $N = 40$ と刻みを細かくした $N = 80$ の階段近似の結果が同等の精度を有することがわかる.

ディップ波長 $\lambda = 350$ nm における H_y 成分の界分布を図 3 に示す. 図 3(a) と図 3(b) を比較すると両者のよく一致することが確認される. このとき, レイリーアンマリーが生じ, 関係式 ($\lambda = \sqrt{\epsilon_b} \Lambda$) を満たす.

3. まとめ

DCP アルゴリズムを導入した TRC-FDTD 法の定式化を示した. 金属円柱配列の透過特性の評価を行い, 刻み幅の大きい場合でも精度の良い解析が可能であることを明示した.

参考文献

- 1) A. Taflove and S. C. Hagness, *Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method*, Norwood, MA: Artech House, 2005.
- 2) A. Mohammadi, H. Nadgaran, and M. Agio, "Contour-path effective permittivities for the two-dimensional finite-difference time-domain method," *Opt. Exp.*, vol. 13, no. 25, pp. 10367-10381, 2005.
- 3) A. Mohammadi, T. Jalali, and M. Agio, "Dispersive contour-path algorithm for the two-dimensional finite-difference time-domain method," *Opt. Exp.*, vol. 16, no. 10, pp. 7397-7406, 2008.
- 4) J. Shibayama, R. Ando, A. Nomura, J. Yamauchi, and H. Nakano, "Simple trapezoidal recursive convolution technique for the frequency-dependent FDTD analysis of a Drude-Lorentz model," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 21, no. 2, pp. 100-102, 2008.

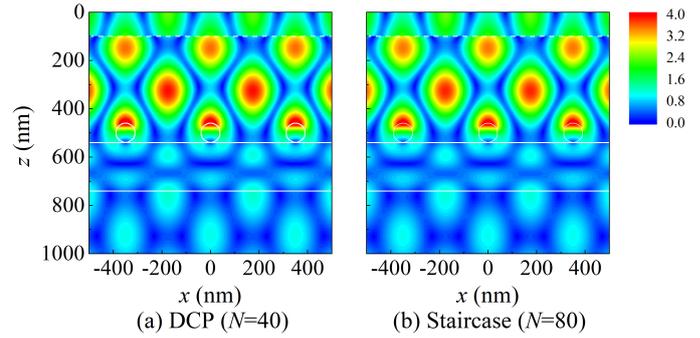


図 3 界分布

- 5) J. Shibayama, K. Suzuki, J. Yamauchi, and H. Nakano, "Trapezoidal recursive convolution-based FDTD method for arbitrary-shaped dispersive materials," *Electron. Lett.*, vol. 54, no. 25, pp. 1429-1430, 2018.
- 6) 柴山, 岩本, 鈴木, 山内, 中野, "DCP-TRC-FDTD 法を用いた金属円柱配列の解析," 信学総大, C-1-21, 2020.
- 7) 柴山, 岩本, 山内, 中野, "傾斜入射時における周期構造解析のための DCP-TRC-FDTD 法," 信学ソ大, C-1-4, 2020.
- 8) J. Shibayama, K. Suzuki, T. Iwamoto, J. Yamauchi, and H. Nakano, "Dispersive contour-path FDTD algorithm for the Drude-Lorentz model," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 19, no. 10, pp. 1699-1703, 2020.
- 9) 柴山, 岩本, 山内, 中野, "任意形状をもつ分散性媒質解析のための FDTD 法の開発," 信学技報, EST2020-59, vol. 120, no. 328, pp. 34-38, 2021.
- 10) 柴山, 岩本, 山内, 中野, "DCP-TRC-FDTD 法を用いた金属円柱配列の解析 (II)," 信学総大, C-1-11, 2021.
- 11) J. Shibayama, T. Iwamoto, T. Kuroda, J. Yamauchi, and H. Nakano, "DCP-FDTD analysis of an InSb-coated dielectric cylinder array in the THz regime," in *International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium (ACES)*, pp. 1-2, 2021.
- 12) 岩本, 柴山, 黒田, 山内, 中野, "THz 帯における InSb コート誘電体円柱配列の DCP-FDTD 解析," 信学ソ大, CS-1-2, 2021.
- 13) T. Iwamoto, J. Shibayama, J. Yamauchi, and H. Nakano, "Extension of the DCP-FDTD method to the analysis of a periodic structure at oblique incidence," in *Proc. Progress in Electromagnetic Research Symposium*, Hangzhou, 2021.
- 14) 岩本, 柴山, 山内, 中野, "DCP-FDTD 法を用いた THz 帯における任意形状分散性媒質の解析," 信学技報, EST2021-93, vol. 121, no. 358, pp. 178-182, 2022.
- 15) 岩本, 柴山, 山内, 中野, "DCP-FDTD 法の 3 次元解析への拡張," 信学総大, C-1-4, 2022.
- 16) A. Vial, A.-S. Grimault, D. Macías, D. Barchiesi, and M. L. de La Chapelle, "Improved analytical fit of gold dispersion: Application to the modeling of extinction spectra with a finite-difference time-domain method," *Phys. Rev. B*, vol. 71, no. 8, pp. 085416-1-7, 2005.