

波数空間展開を用いた電磁波伝播解析の精度検証

Accuracy Verification in Electromagnetic Wave Propagation Analysis Using Wave Number Space Expansion

○椿英駿¹, 岸本誠也², 大貫進一郎²

Hidetoshi Tsubaki¹, Seiya Kishimoto², Shinichiro Ohnuki²

Abstract: In recent years, electromagnetic problems using electric fields in wavenumber space have been studied for designing plasmonic devices and health care problems. In this report, an electromagnetic analysis of wave propagation problems in multiple media is solved using the combination method of wavenumber space expansion and finite difference scheme.

近年、生体内における光パルスの伝播方向の推定や伝播型表面プラズモンのモード分離などの数値解析は、実空間で求めた電磁界を波数空間に変換し行われている。本報告では波数空間の電磁界を直接求める手法として、波数空間展開^[1]と差分法^[2](FDM: Finite-difference method)を併用する解析法を提案する^[3]。

本提案法では、実空間中の電界を式(1)で表される波数空間において展開する。

$$E_x(z_n) = E_x(k_0) + 2 \sum_{m=1}^{L-1} E_x(k_m) \omega_N^{mn} \quad (1), \quad k_m = \frac{2\pi m}{N} \quad (2), \quad \omega_N^{mn} = \exp\left(i \frac{2\pi nm}{L}\right) \quad (3)$$

但し、 $E_x(k)$ は波数空間中の電界とし、 N は解析範囲、 L は分割数とする。また、 z_n はプロット数と離散化幅 Δz の積であり $n\Delta z(n = 1, 2, 3, \dots, L - 1)$ である。次式はFDMに基づきマクスウェル方程式から得られた差分式である。

$$\frac{E_x(i+1)}{C_h(i+0.5)} - \frac{E_x(i)}{C_h(i+0.5)} - \frac{E_x(i)}{C_h(i-0.5)} + \frac{E_x(i-1)}{C_h(i-0.5)} - \Delta x^2 C_e E_x(i) = 0 \quad (4)$$

式(4)に式(1)を代入することで、波数空間中の電界を求める計算式を導出する。また、波数空間中の電界を式(1)に代入することで実空間中の電界が得られる。ここでは複数媒質中の伝播問題について電磁界解析を行い、本手法の妥当性と計算精度について検証する。

解析モデルを図1に示す。解析空間は x 及び y 方向に一樣な一次元空間であり、原点を中心として $-z$ 方向を真空、 $+z$ 方向は誘電体を挿入する。解析領域両端には吸収境界であるPML(Perfectly matched layer)層を挿入し、真空媒質中心に波源として電流源を設定した。図2は比誘電率 $\epsilon_r = 1$ と $\epsilon_r = 2$ の場合の解析結果を示す。比誘電率 $\epsilon_r = 1$ の場合には解析領域全体が真空であるため透過波は観測されず印加した波形が表れる。比誘電率 ϵ_r が2の場合には媒質の境界面で透過波と反射波が確認でき、誘電体中の電界の振幅は真空中に比べて低下している。

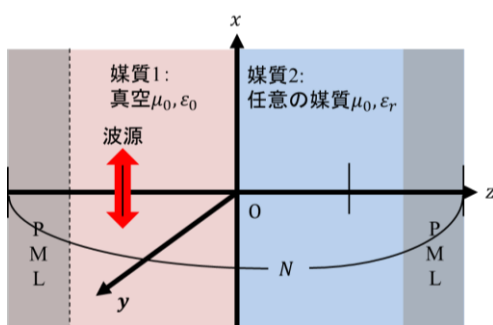


Figure1. Coordinate system

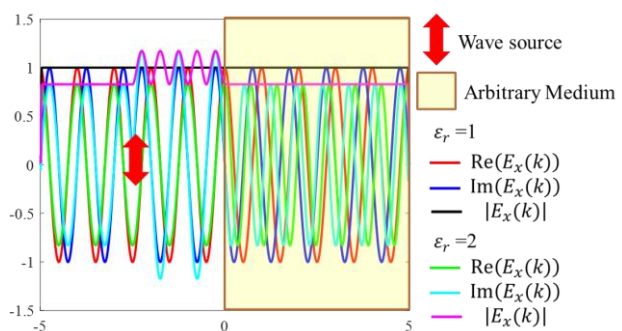


Figure2. Electric field distribution in real space (proposed method)

参考文献

[1] 桑野泰宏:「徹底解説 応用数学-ベクトル解析, 複素解析, フーリエ解析, ラプラス解析-」, コロナ社, pp.126-129, 2016年発行.

[2] A. Taflov and S. C. Hagness: “Computational Electrodynamics”, 3rd ed., Norwood, MA, USA: Artech House, 2005.

[3] 椿英駿, 岸本誠也, 大貫進一郎:「波数空間展開と差分法による電磁界解析」, 2022年電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-15, 2022年9月.

1:日大理工・院(前)・電気 2:日大理工・教員・電気