

波数空間展開を用いた1次元電磁波伝搬解析

Analysis of One-dimensional Electromagnetic Wave Propagation using Wavenumber Space Expansion

○椿英駿¹, 岸本誠也², 大貫進一郎²

Hidetoshi Tsubaki¹, Seiya Kishimoto², Shimichiro Ohnuki²

Abstract: The electromagnetic field is expanded in wavenumber space. The expansion coefficients are determined by replacing the spatial derivatives in the Maxwell equation with the Finite-Difference Method. The validity of this method is verified by solving the problems of electromagnetic waves propagation in the one-dimensional space.

本報告では、電磁界を波数空間にて展開する。展開係数はマクスウェル方程式の空間微分を差分法(FDM: Finite-difference method)に置き換え決定する^[1,2]。得られた解において FDFD(Finite-difference Frequency-Domain)法と比較し、本手法の妥当性について検証する。

座標系を図1に示す。解析空間はx,y方向に一樣な一次元空間であり、解析領域外には吸収境界としてPML層を挿入し、波源には電流電を設定した。また、実空間中の電界は波数空間で定義し、式(1)に示す。ここで、 E_z はz方向の電界、 H_y はy方向の磁界、 ω は電磁界の角周波数、 μ は透磁率、 ϵ は誘電率、 $E_x(k)$ は波数空間中の電界。

$$E_x(z) = \sum_{k=-N}^N E_x(k) \exp(ikz) \quad (1)$$

$$\frac{\partial E_z}{\partial x} = -i\omega\mu H_y, \quad \frac{\partial H_y}{\partial x} = i\omega\epsilon E_z + J_z \quad (2)$$

式(2)のマクスウェル方程式を FDM に基づき中心差分にて近似し、式(1)を代入する。磁界に関しても同様に波数空間に展開する。これらを $2N+1$ 個の空間上離散点に適用することで、波数空間中の電界を未知関数とした線型方程式を得る。得られた線型方程式の求解より、波数空間中の電界を得て、式(1)に代入し、実空間中の電界を得る。

図2に波数空間中の電界を未知関数とした線型方程式を解き得られた解を示す。展開係数が複素数で得られ、軸対称性を持つことが確認できる。図3は、波数空間中の電界から式(2)を用いて求めた実空間中の電界の結果であり、FDFD法との比較である。両解析結果に関して、実部、虚部共に一致している結果が得られた。

本報告では電磁界を波数空間中にて展開し、未知関数をマクスウェル方程式の中心差分より得られる線型方程式より求めた。得られた解より実空間中の電界を求め、FDFD法の解析結果と一致することを確認した。

参考文献

[1] A. Taflove and S. C. Hagness, : “Computational Electrodynamics”, 3rd ed., Norwood, MA, USA: Artech House, 2005.
 [2] C. A. Balanis, Advanced engineering electromagnetics, John Wiley & Sons, 1989.
 [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・学部・電気 2:日大理工・教員・電気

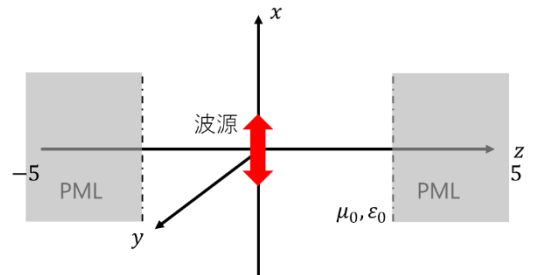


Figure1. Coordinate system

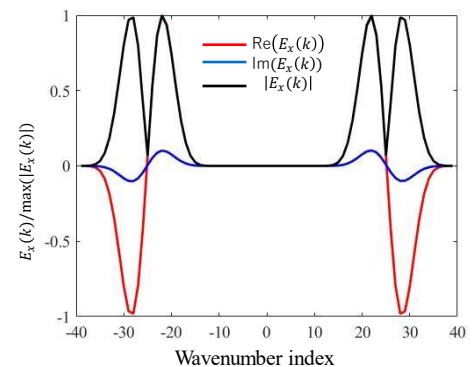


Figure2. Electric field in Wavenumber space

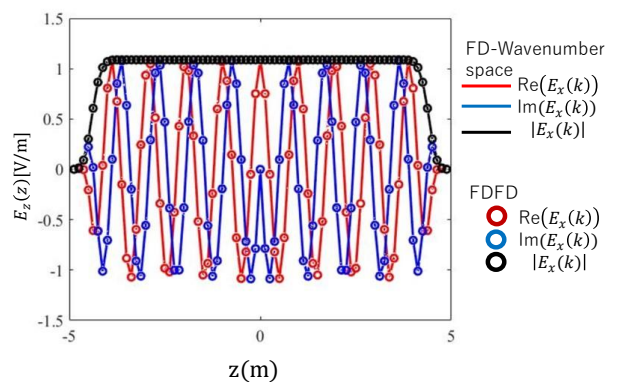


Figure3. Time response of electric field in real space