

ワイヤレスネットワーク構築を想定した電磁波伝搬の基礎検討

Fundamental Study of Electromagnetic Wave Propagation for Establishing Wireless Network

○遠藤源博¹, 大貫進一郎²* Motohiro Endo¹, Shinichiro Ohnuki²

Abstract: High-speed communication is indispensable for our daily life, since end users need to handle huge data using mobile devices. In this presentation, we will discuss fundamental study of electromagnetic wave propagation by using the finite-difference time-domain method and perform simulation to establish high-speed wireless network system.

1. はじめに

近年、大容量高速通信の実現に向けた、高周波帯の利用が注目されている。そのため生活環境下における電磁波伝搬解析の重要性が増しており、高周波帯の伝搬経路をシミュレーションにより検討する必要がある。本報告では電磁界解析手法として広く用いられる Finite-Difference Time-Domain (FDTD) 法 [1]により、生活環境を模擬した建物内の伝搬解析を行う。

2. 解析手法

FDTD 法は式(1)及び(2)に示すMaxwell 方程式を時間空間で差分化し、電磁界解析を行う手法である[2].

$$\nabla \times \mathbf{E} = \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J} \quad (2)$$

これらに構成方程式, $\mathbf{B}=\mu\mathbf{H}$, $\mathbf{D}=\epsilon\mathbf{E}$, $\mathbf{J}=\sigma\mathbf{E}$ を代入すると次式が得られる。

$$\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon} \nabla \times \mathbf{H} - \frac{\sigma}{\epsilon} \mathbf{E} \quad (3)$$

$$\frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \nabla \times \mathbf{E} \quad (4)$$

ここで中心差分により時間微分を近似すると、以下の電界及び磁界に対する差分式が得られる。

$$\mathbf{E}^n = \frac{1 - \frac{\sigma\Delta t}{2\epsilon}}{1 + \frac{\sigma\Delta t}{2\epsilon}} \mathbf{E}^{n-1} + \frac{\frac{\Delta t}{\epsilon}}{1 + \frac{\sigma\Delta t}{2\epsilon}} \nabla \times \mathbf{H}^{n-\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$$\mathbf{H}^{n+\frac{1}{2}} = \mathbf{H}^{n-\frac{1}{2}} - \frac{\Delta t}{\mu} \nabla \times \mathbf{E}^n \quad (6)$$

FDTD 法では時間と空間で電磁界を離散化する。

Figure 1. に電磁界成分の時間配置を示す。FDTD 法では中心差分を用いることにより、磁界と電界を交互に配置する。また空間配置には Figure 2. に示す Yee 格子を用いる。

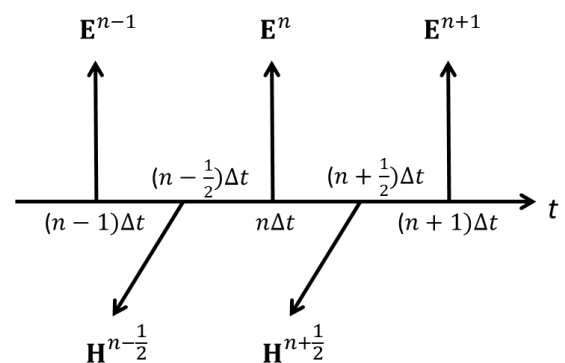


Figure 1. Placement of the electromagnetic field in the time domain.

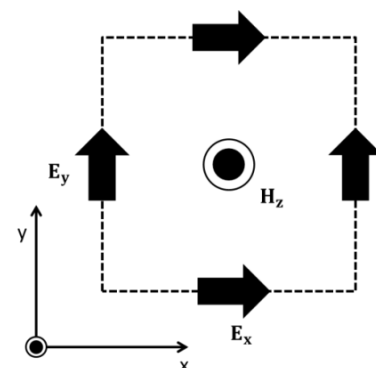


Figure 2. Yee's grid for two-dimensional space.

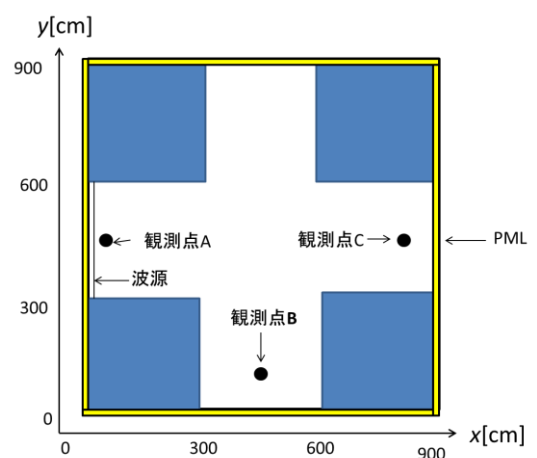


Figure 3. Computational model

3. 解析結果

解析モデルを Figure 3. に示す. 生活環境下として建物内の通路を想定し, x 方向に 900 cm, y 方向に 900 cm, 4 隅に 300 cm $\times$ 300 cm の完全導体を設置した. また, 入射波として周波数 300 GHz の sin 波を $x = 20$ cm, $300 \text{ cm} \leq y \leq 600 \text{ cm}$ の位置に発生させた. 観測点 A (25 cm, 450 cm) における電界の時間応答波形を Figure 4. に示す. A 点での受信電界強度はほぼ一定値となる.

Figure 5. に, 観測点 B (450 cm, 100 cm) での時間応答波形を示す. 観測点までの時間遅れのため, $t = 2.7 \times 10^{-6}$ s 付近で波頭部が到達する. 高周波のため電磁波の直進性が強く, B 点でも入射波にほぼ等しい電界強度となる.

観測点 C (800 cm, 450 cm) での結果を Figure 6. に示す. C 点は波源から見通しの悪いコーナ部にあるため, 電界強度は A 点および B 点に比べ 1/10 程度となる.

4. まとめ

本文では FDTD 法を用いて建物内の電磁波伝搬の基礎検討を行った. 高周波帯の電磁波は直進性が強く, 波源から見通しの良い観測点ではほぼ同じ特性が得られた. 一方, 見通しの悪い観測点では回折波の影響が弱く, 受信電界強度は減少する.

今後は, 人間や設置物の影響を検討し, より一般的な建物内での電磁波伝搬を解析する.

謝辞

本研究の一部は, 私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の援助を受けて行われた.

5. 参考文献

- [1] 宇野亨, FDTD 法による電磁界及びアンテナ解析第 1 版, コロナ社, 1998 年
- [2] 何一偉, 有馬卓司, 数値電磁界解析のための FDTD 法-基礎と実践-, コロナ社, 2016 年
- [3] 遠藤源博, 大貫進一郎, : “高性能太陽電池開発に向けた光-電気変換効率の検討”, 電気学会 2016 第 6 回学生研究発表会, 8-29, 2016.

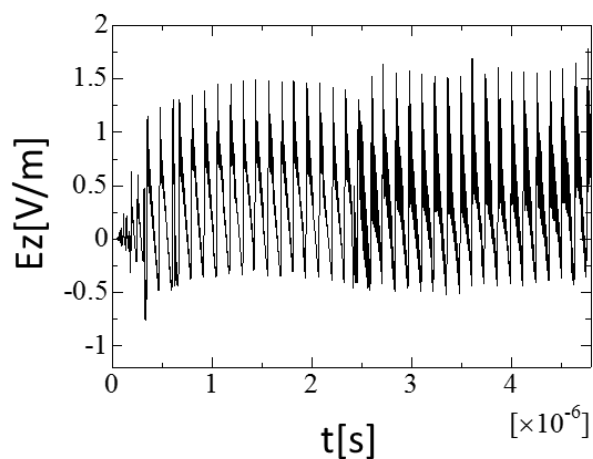


Figure 4. Time-domain response at point A.

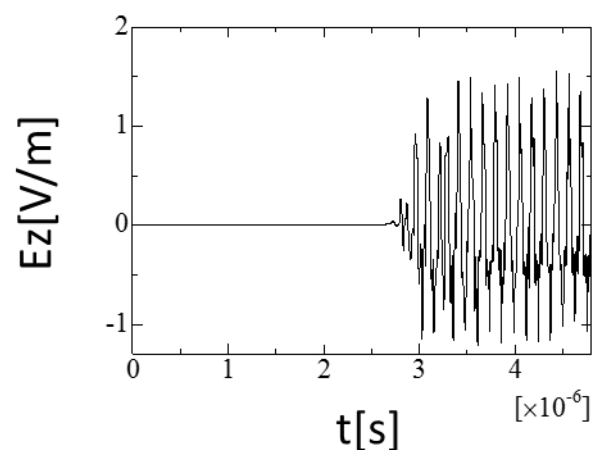


Figure 5. Time-domain response at point B.

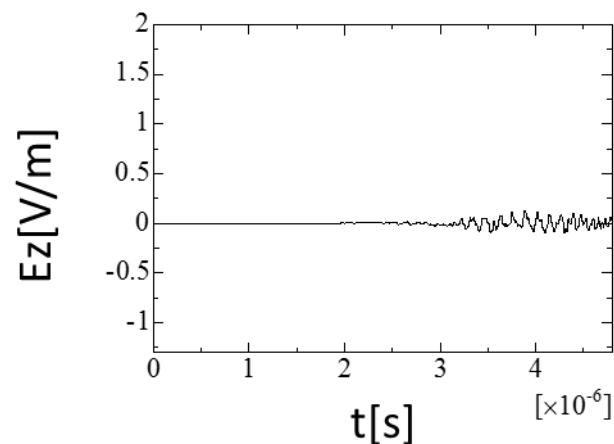


Figure 6. Time-domain response at point C