

送電線下における電磁界の E/H 比に関する検討

Study on CISPR procedure to calculate electric field from magnetic field near transmission lines by using FDTD method

水村 優斗¹, 津久井 雄¹, 田邊 一夫²
Yuto Mizumura¹, Yu Tsukui¹, Kazuo Tanabe²

Abstract: The procedure that gives an electric field from the magnetic field, which is described in CISPR TR18, of IEC(International Electrotechnical Commission) standard, is examined by using FDTD method.

1. まえがき

IEC(International Electrotechnical Commission:国際電気標準学会)規格 CISPR TR18 において用いられている磁界から電界を求める式についての検討を目的とする。

検討に当たっては電磁波の伝搬モードを問わずに用いることができる数値電磁界解析法, その中でも計算アルゴリズムが比較的わかりやすい FDTD 法^(1, 2)(Finite Difference Time Domain Method:時間領域有限差分法)を利用し, 送電線下の電磁界解析を行った。

送電線下の電磁界解析を行うには VSTL⁽³⁾(Virtual Surge Test Lab:サージ解析プログラム)を用い, 自由空間と完全導体大地がある場合において検討する。

2. FDTD 法の計算原理

FDTD 法では(1)式と(2)式のマクスウェルの方程式を, 時間領域と空間領域について直接中心差分し, 時間領域で電磁界を計算する。座標系を直角座標系とすると, 解析空間を微小な直方体(FDTD セル)で分割する。

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

$$\frac{\partial H}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \nabla \times E \quad (2)$$

E:電界[V/m], H:磁界[A/m], σ :導電率[S/m], ϵ :誘電率[E \cdot m⁻¹], μ :透過率[H/m]

マクスウェルの方程式は, 「電界の時間微分が磁界の回転」, 「磁界の時間微分が電界の回転」の関係になっていることから, 図1のように電界と磁界は $\Delta t/2$ 時間ステップずれた時刻に配置され, かつ図2に示すように, 先の二つの関係を満たすように, その辺と各面の中心に電磁界成分が置かれる。

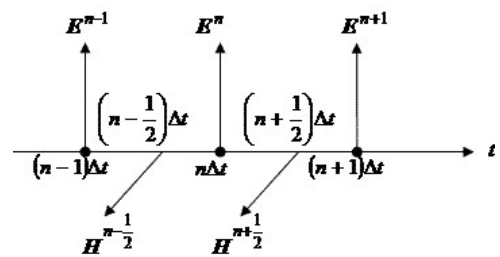


図1 電磁界の時間配置

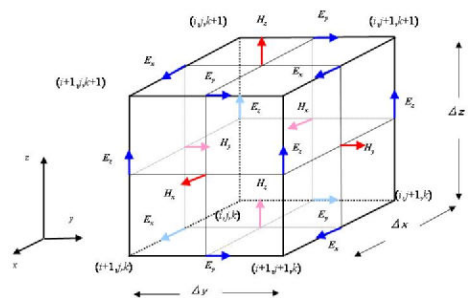


図2 FDTD セルの電磁界成分配置

3. 導体の鉛直下における磁界の計算方法

図3に TR18 における細線導体の鉛直下における電界 E の計算方法の概略を示す。高さ h の場所に y 方向に電流の流れる導体が配置され, 電界 E は磁界 H から $E=120\pi H$ を用いて求めるものとしている。

4. E/H 比の解析

(4.1) 解析条件について

自由空間, 完全導体大地上における電磁界解析条件を図4に示す。空間刻みを $\Delta s=\Delta x=\Delta y=\Delta z=0.5[m]$ とした。ただし α は発散防止定数で 10^{-3} とする。解析領域はそれぞれ $0 \leq x \leq 40$, $0 \leq y \leq 500$, $0 \leq z \leq 20$ とした。解析時間は各観測点で 2 周期分観測できるように $0 \leq t \leq 2.0 \times 10^{-6}$ とした。

1:日大理工・学部・電子 2:日大短総

波源の位置を $(x,y,z)=(20,0,10)$ とし, 振幅 $V=300[V_p]$, 周波数 $f=1[MHz]$ の正弦波とした.

また波源から y 方向に伝搬する電流を模擬するために, 細線導体を配置した. 細線導体の半径 r は Δs の 0.2298 倍とした. また長さは解析領域に合わせて $499.5[m]$ とした. また, 電界プローブを $(x,y,z)=(20,250,0.25\sim 9.75)[m]$ に $0.5m$ 間隔でそれぞれ 20 ヶ所ずつ配置した.

〈4.2〉自由空間での解析結果

自由空間での解析結果として, 電界 E の各方向成分を図 5, 磁界 H の各方向成分を図 6 に示す. 電界の主要な成分は E_x, E_y, E_z で, 磁界が H_x, H_z となっている. すなわち TM 波が伝搬している. 自由空間での E_z/H_x はおよそ 116π となった. CISPR TR18 との誤差率は 3.4% 程度とわかった.

〈4.3〉完全導体大地上での解析結果

完全導体大地上での E_z/H_x はほぼ 120π であった.

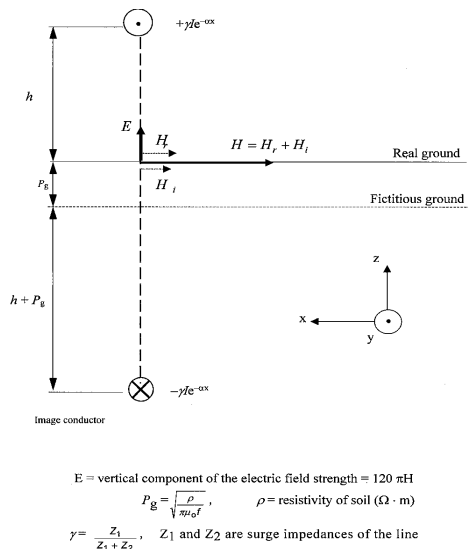


図 3 TR18 に記載されている細線導体の鉛直下における磁界 H と電界 E の関係

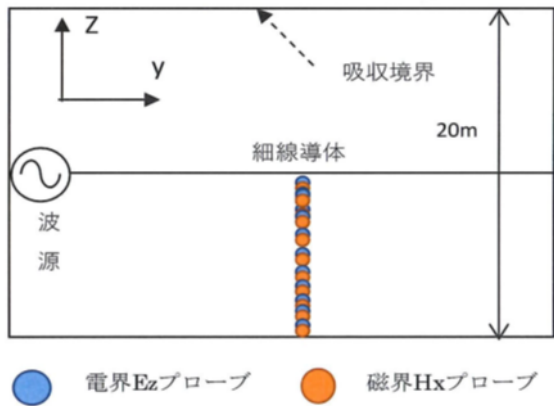


図 4 電磁界解析条件

5. まとめ

本稿では, FDTD 法により送電線下の 3 次元電磁界解析を行い, CISPR TR18 において用いられている磁界から電界を計算する方法について検討した. 自由空間では TM 波が伝搬しており, CISPR TR18 とは 3.4% 程度の誤差があることがわかった.

今後は, 不完全導体大地上で導体が複数本ある場合の E/H 比の検討を行う予定である.

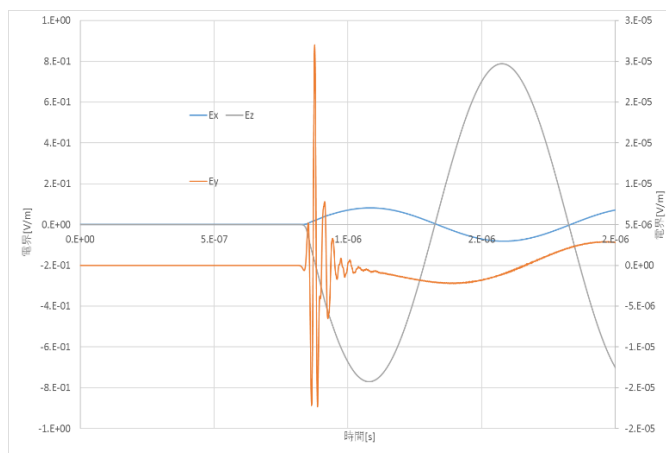


図 5 各方向成分の電界の大きさ(自由空間)

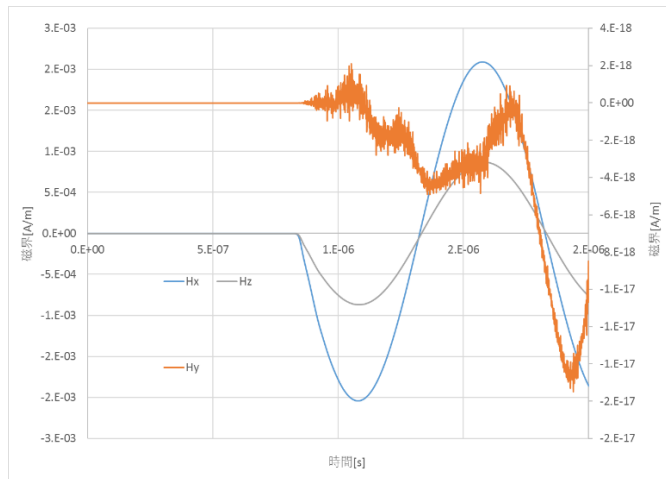


図 6 各方向成分の磁界の大きさ(自由空間)

参考文献

- (1) 宇野 亭: “FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析”, コロナ社(1998)
- (2) 田邊 一夫: ”時間領域差分法(FD-TD)を用いた雷サージ解析”, 電学論, 125 巻 5 号, pp. 397-401(2005)
- (3) 立松 明芳: “FDTD 法を用いた建築物雷撃時の内部過度電磁界解析コードの開発”, 電力中央研究所, H05007(2006)