

## FDTD 法における大地を考慮した指向性計算

## Calculation of Directivity Considering the Ground in the FDTD Method

白沢 秀明  
Hideaki SHIRASAWA田口 健治  
Kenji TAGUCHI柏 達也  
Tatsuya KASHIWA北見工業大学  
Kitami Institute of Technology

## 1. はじめに

近年、携帯端末などの移動体通信の発達にともないアンテナの小型化、高利得化が重要な技術となっている。移動体通信におけるアンテナ設計では大地等の電磁波散乱特性を考慮した指向性が重要である。また、電磁波散乱特性の解析において FDTD 法が広く用いられている。しかしながら、FDTD 法において無限長の大地を考慮した指向性計算の実現は計算機の記憶容量の制限上不可能である。このため無限長の大地を仮定する方法として映像法[1]が用いられている。しかしながら、任意の角度の大地に対応した大地の仮定については報告されていない。そこで本研究では、任意の角度の大地に対応した指向性計算について研究を行った。

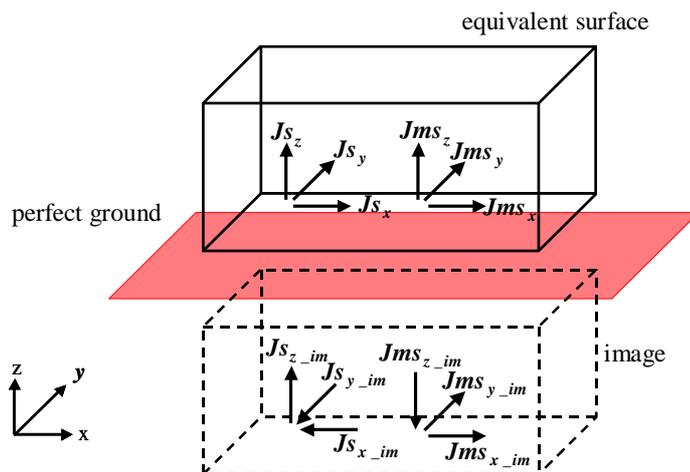


図 1. 映像法

## 2. 映像法

無限長の大地を仮定するためには映像法を使用する必要がある。ここでは簡単のため xy 面に平行な大地を仮定する場合(図 1)を考える。FDTD 計算によって得られた等価面上の電流源及び磁流源をそれぞれ  $J_{s_x}$ ,  $J_{s_y}$ ,  $J_{s_z}$  及び  $J_{ms_x}$ ,  $J_{ms_y}$ ,  $J_{ms_z}$  とする。鏡像成分の電流源  $J_{s_{x\_im}}$ ,  $J_{s_{y\_im}}$ ,  $J_{s_{z\_im}}$  及び磁流源  $J_{ms_{x\_im}}$ ,  $J_{ms_{y\_im}}$ ,  $J_{ms_{z\_im}}$  は以下のようになる。

$$\begin{aligned} J_{s_{x\_im}} &= -J_{s_x} \\ J_{s_{y\_im}} &= -J_{s_y} \\ J_{s_{z\_im}} &= J_{s_z} \\ J_{ms_{x\_im}} &= J_{ms_x} \\ J_{ms_{y\_im}} &= J_{ms_y} \\ J_{ms_{z\_im}} &= -J_{ms_z} \end{aligned}$$

従って、全電磁流源を含む等価面に対して指向性計算を行うことにより無限長の大地を考慮することが可能である。

## 3. 任意の角度の大地の仮定

次に任意の角度に対応した大地を仮定する方法について示す。ここでは大地が y 軸を軸に回転した場合に

ついて考える。

ここでは簡単のため電流源の鏡像について説明する。まず、2. で説明した映像法を用いるため電流源を大地に対して垂直な成分と水平な成分に分解する。

$$\begin{aligned} J_{s_{x\_xG}} &= J_{s_x} \cos \theta \\ J_{s_{x\_zG}} &= J_{s_x} \sin \theta \\ J_{s_{z\_xG}} &= -J_{s_z} \sin \theta \\ J_{s_{z\_zG}} &= J_{s_z} \cos \theta \end{aligned}$$

さらに、分解した電流源に対して映像法を適用する。

$$\begin{aligned} J_{s_{x\_im\_xG}} &= -J_{s_{x\_xG}} \\ J_{s_{x\_im\_zG}} &= J_{s_{x\_zG}} \\ J_{s_{z\_im\_xG}} &= -J_{s_{z\_xG}} \\ J_{s_{z\_im\_zG}} &= J_{s_{z\_zG}} \end{aligned}$$

最後に大地を考慮した指向性計算を行うために電流源の鏡像成分を元の座標へ座標変換する。

$$\begin{aligned} J_{s_{x\_im1}} &= J_{s_{x\_im\_xG}} \cos \theta + J_{s_{x\_im\_zG}} \sin \theta \\ J_{s_{z\_im1}} &= -J_{s_{x\_im\_xG}} \sin \theta + J_{s_{x\_im\_zG}} \cos \theta \\ J_{s_{x\_im2}} &= J_{s_{z\_im\_xG}} \cos \theta + J_{s_{z\_im\_zG}} \sin \theta \\ J_{s_{z\_im2}} &= -J_{s_{z\_im\_xG}} \sin \theta + J_{s_{z\_im\_zG}} \cos \theta \end{aligned}$$

従って、元の座標における電磁流源の鏡像成分は以下

で表される.

$$J_{s_{x\_im}} = J_{s_{x\_im1}} + J_{s_{x\_im2}}$$

$$J_{s_{z\_im}} = J_{s_{z\_im1}} + J_{s_{z\_im2}}$$

また, 磁流源についても同様に求める必要がある. 従って元の座標における全電磁流源を含む等価面に対して指向性計算を行うことにより任意の角度に対応した大地を仮定することが可能である.

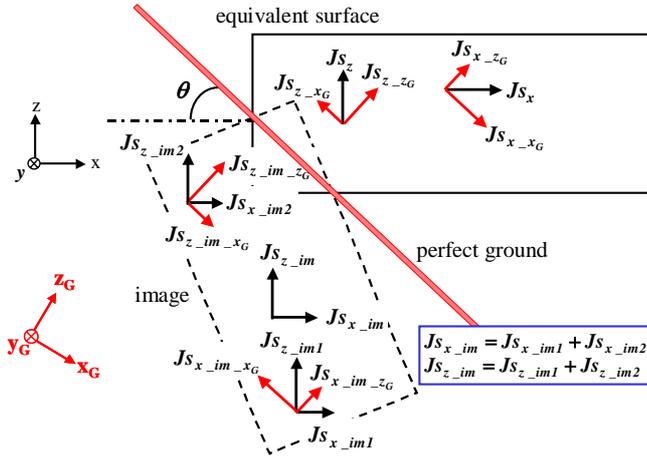


図 2. 斜めの大地の仮定

#### 4. 検証方法

次に斜めの大地を仮定した影象法の検証を行う. FDTD 法の励振の都合上, 大地の角度が  $\theta = 45^\circ$  の場合を考える. ここでは, 以下の2つについて指向性計算を行った.

微小ダイポールにおいて  $\theta = 45^\circ$  の大地の指向性計算(図 3-a).

励振方向が異なる2つの微小ダイポールの指向性計算(図 3-b).

斜めの大地と物理的に鏡像成分を含んだ FDTD シミュレーションの指向性計算から本手法の妥当性を確認する.

#### 5. 解析結果

図 4 に図 3-a 及び図 3-b の指向性を示す. 図 3-a と図 3-b の指向性が良好に一致していることが分かる. これより本研究における任意の角度に対応した大地の指向性計算の妥当性が確認出来る.

#### 6. むすび

本研究では任意の角度の大地に対応した FDTD 指向性計算の概要を説明した. また, 実際に本手法を用いて斜めの大地( $\theta = 45^\circ$ )の指向性計算を行った. その際, 物理的に鏡像成分を含んだ FDTD シミュレーションの指向性との比較を行い本手法の妥当性を確認した. 尚, 本報告では示さないが任意の角度に対しても本手法を用い

た指向性計算を行い鏡像が成り立つことを確認している.

FDTD 解析において本手法を用いることにより, 自動車通信や携帯電話の任意角度のアンテナについて大地を考慮した指向性解析が可能となった.

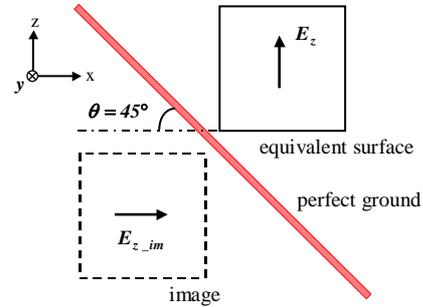


図 3-a. 斜めの大地の指向性計算モデル( $\theta = 45^\circ$ )

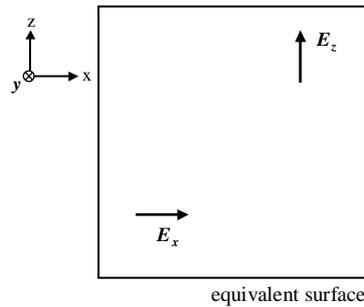


図 3-b. 物理的鏡像成分を含む指向性計算モデル

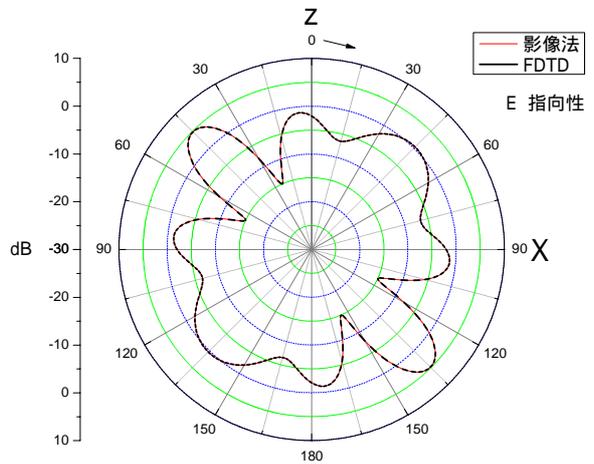


図 4. zx 面指向性 ( $\theta = 0^\circ$ )

#### 参考文献

- [1] 鹿野, 柏, 吉田, 深井, “空間回路網法による車載アンテナの遠方界解析,” 電子情報通信学会, EMCJ90-17, 1990.
- [2] 柏, 吉田, 深井, “空間回路網法による遠方界計算における等価定理の適用,” 電気学会 電磁界理論研究会, EMT-89-99, 1989.
- [3] W. L. Stuzman, and G. A. Thiele, “Antenna Theory and Design,” John Wiley & Sons, Inc., 1981.