

FDTD法を用いた人体モデルによる 電磁波散乱特性に関する数値的検討

迫田 裕介¹⁾ ・ 長崎 敏幸²⁾ ・ 横田 光広³⁾

FDTD Numerical Examination of Electromagnetic Wave Scattering by a Human Body Model

Yusuke SAKODA, Toshiyuki NAGASAKI, Mitsuhiro YOKOTA

Abstract

A physical channel model for a static terminal used in indoors has been proposed. The proposed model can consider physical parameters such as moving people, their moving speed in order to evaluate various situations precisely, and an experimental verification is done. The model is two dimension, and assumes that a moving person is represented as a disk with diameter of Δw [m] and its moving person absorbs a part of the power of the paths across his width of Δw . In this article, we examine the scattering property by a human body which is modeled by the lossy dielectric cylinder using the FDTD method. Incident wave is assumed to be a Gaussian beam wave whose energy is concentrating on the propagation axis. The effect of the position of the cylinder and size of the spot size are examined.

Key Words :

Numerical technique , FDTD Method , human body shadowing

1. まえがき

セルラー移動通信において、携帯電話やノートパソコンなどの静止環境下や歩行程度の低速移動環境下での通信が急増している。このような環境下では自ら走行する場合とは異なり、周囲の環境変化による伝搬変動を受ける。端末が静止し、その周辺環境が変化する場合の伝搬モデルとして、これまで屋内環境下で使用する無線 LAN を対象としたチャンネルモデルがある^{1)–4)}。このモデルは特定の屋内環境下での測定結果に基づいて作成されたモデルであり、人の数や歩行速度など周囲の環境変化を与えるパラメータを直接考慮できる物理モデルではない。そこで、屋内環境下で端末が静止している場合に、周囲の環境変化を与えるパラメータとして運動体である人体を考慮できる新たな伝搬モデルが提案され、実験的な検証が行われている⁵⁾。提案モデルは二次元モデルであり、人体を直径 ΔW の円盤である完全吸収体を仮定している^{6)–8)}。

電磁波変動の実験結果及びモーメント法による数値

解析結果から、周波数が 3.35[GHz] では直径 ΔW を 0.35m としたとき、測定結果を比較的よく説明できている。本報告では、2次元柱状物体による電磁波散乱問題として取り扱い、FDTD法を用いて時間領域での散乱電界について数値的に検討する。人体を比誘電率 ϵ_r および導電率 σ をもつ損失誘電体円柱と仮定している。

2. 2次元 TM-FDTD 法

本研究では、 z 軸方向に変化のない 2次元として問題を扱う。ここでは、 H_x, H_y, E_z 成分を持つ TM モードにおいて定式化を行う。マクスウェル方程式から Yee のアルゴリズムを使い、差分化を行う。電界、磁界に関して次式を得る⁹⁾。

$$\begin{aligned}
 E_z^n(i, j) = & C_{EZ}(i, j) E_z^{n-1}(i, j) \\
 & + C_{EZLX}(i, j) \left\{ H_y^{n-\frac{1}{2}} \left(i + \frac{1}{2}, j \right) - H_y^{n-\frac{1}{2}} \left(i - \frac{1}{2}, j \right) \right\} \\
 & - C_{EZLY}(i, j) \left\{ H_x^{n-\frac{1}{2}} \left(i, j + \frac{1}{2} \right) - H_x^{n-\frac{1}{2}} \left(i, j - \frac{1}{2} \right) \right\}
 \end{aligned} \tag{1}$$

¹⁾電気電子工学専攻大学院生

²⁾電気電子工学科学部生

³⁾電気電子工学科教授

$$H_x^{n+\frac{1}{2}}\left(i, j+\frac{1}{2}\right)=H_x^{n-\frac{1}{2}}\left(i, j+\frac{1}{2}\right)-C_{HXL Y}\left(i, j+\frac{1}{2}\right)\left\{E_z^n(i, j+1)-E_z^n(i, j)\right\} \quad (2)$$

$$H_y^{n+\frac{1}{2}}\left(i+\frac{1}{2}, j\right)=H_y^{n-\frac{1}{2}}\left(i+\frac{1}{2}, j\right)-C_{HYL X}\left(i+\frac{1}{2}, j\right)\left\{E_z^n(i+1, j)-E_z^n(i, j)\right\} \quad (3)$$

i, j は格子点の座標を, n は時間ステップを表している。 C_{EZ}, C_{EZX}, C_{EZY} は比誘電率, 損失にかかわる係数で, $C_{HXL Y}, C_{HYL X}$ は比透磁率にかかわる係数である。

開放領域の問題を扱う場合には, 解析領域を仮想的な境界で閉じておく必要がある。本研究では, 吸収境界条件として Mur の 2 次吸収境界条件を使用している。

3. 数値計算結果

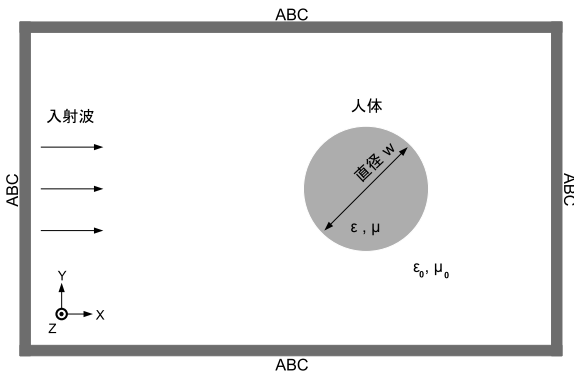


図 1: モデル図

解析モデルは図 1 を用いている。以下の計算において, 比誘電率及び導電率は $\epsilon_r=50, \sigma=2[S/m]$ としている¹⁰⁾。 x 方向は $-1m \sim 2m$ の計 $3m$, y 方向は $-1m \sim 1m$ の計 $2m$ とっている。

3.1 入射波が平面波の場合

まずはじめに, 入射波が平面波の場合を考える。図 2 は FDTD 法と実験データとの比較である。物体の中心を原点としたときの観測面 $x=1m$ の結果である。FDTD 法は直径 w の円柱とし, $w=29[cm], 32[cm], 35[cm], 38[cm]$ における近傍全電界を示している。FDTD 法の

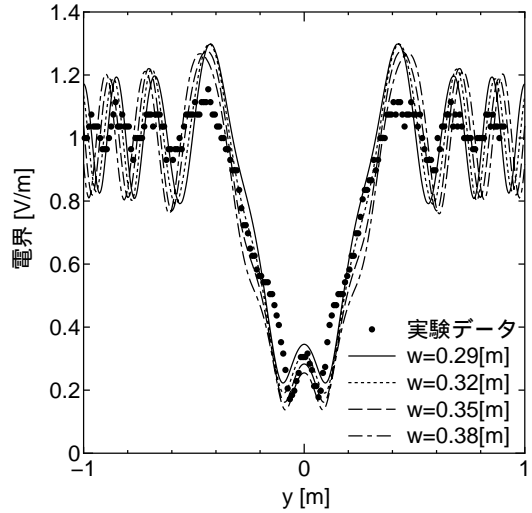


図 2: 実験結果との比較

結果は入射波の一周期分のタイムステップで平均したものである。実験データは人が入射波に対して正面を向いているときの結果である。数値解析の結果, 測定データと数値計算結果は人体の直径 w が $35[cm]$ のときに最も特性に近いことを確認した。以後, この直径 $w=35[cm]$ を使用して数値解析を進めていく。

次に, モーメント法と FDTD 法の結果を比べてみることにする。物体の中心を原点としたときの $x=1m$ の結果である。これらの結果より, 人体の背後では電磁

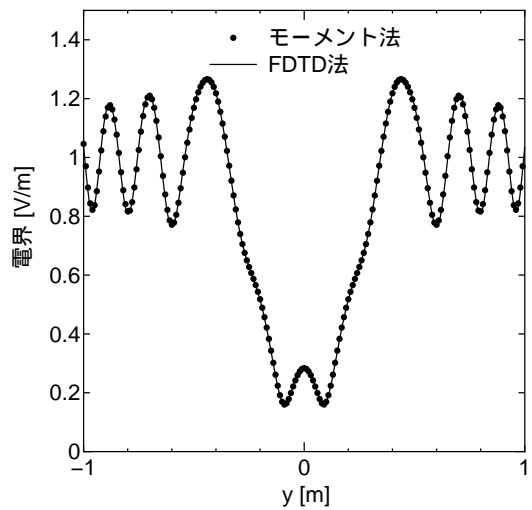


図 3: FDTD 法とモーメント法との比較

波が大きく遮蔽され相対受信電力が下がっていることがわかる。また, 見通し領域においては入射波と散乱波が干渉しているのがわかる。また, FDTD 法とモーメント法の結果は大変良く一致していることが分かる。

3.2 入射波がガウスビームの場合

次に、電磁波のエネルギーが伝搬軸付近に局在しているビームが入射する場合について検討する。入射波は次式で与えられる。

$$E_z = \exp\left\{-\left(\frac{y-y_0}{\omega_s}\right)^2\right\} \sin \omega t \quad (4)$$

3.2.1 円柱の中心座標の違いによる電波伝搬の様子

人体と仮定した円柱の中心座標を $(x,y)=(0,-0.5)$, $(0,0)$, $(0,0.5)$ [m] と移動させたときの入射波の伝搬の様子を以下に示す。スポットサイズは $w_s = 4.0\lambda(1.0\lambda \approx 0.0895[m])$ とする。

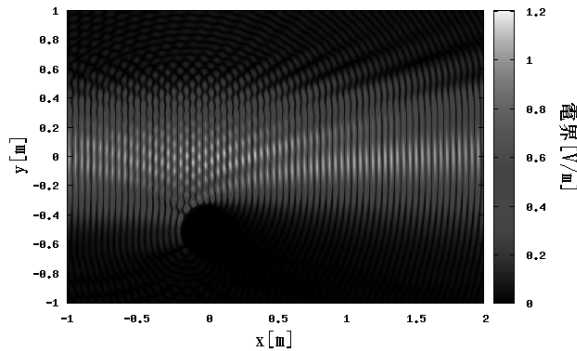


図 4: 円柱の中心座標 $(x,y)=(0,-0.5)$ [m]

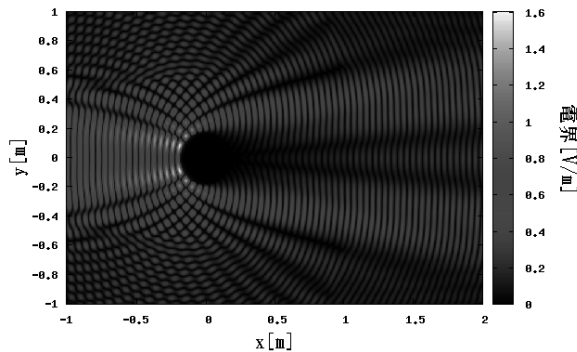


図 5: 円柱の中心座標 $(x,y)=(0,0)$ [m]

中心座標が $(0,-0.5)$ [m] , $(0,0.5)$ [m] のときは、入射波の影響が少ない所に円柱があるので、 $(0,0)$ [m] の時と比べると遮蔽していないのがわかる。

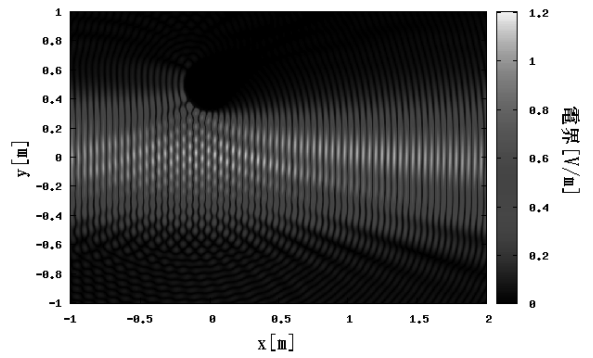


図 6: 円柱の中心座標 $(x,y)=(0,0.5)$ [m]

3.2.2 観測位置による比較

円柱と観測面の距離を $x=0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ [m] と変化させたときの電界強度を図 7 に示す。スポットサイズは $w_s = 4.0\lambda$ とする。円柱と観測面の距離を長く

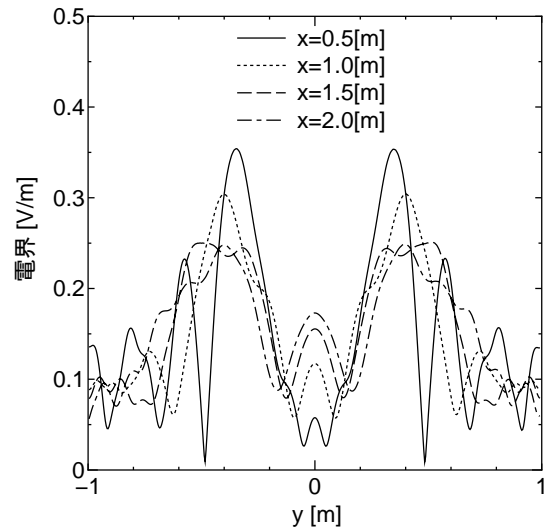


図 7: 観測面の距離による違い

するにつれ、電界強度の振幅変化が小さくなり、円柱による影響が小さくなった。これは相対的に物体が小さく見え、物体による減衰効果が弱まっているためだと考えられる。

3.2.3 スポットサイズの違いによる電磁波遮蔽特性

入射波のスポットサイズ w_s を $0.5\lambda, 1\lambda, 5\lambda, 10\lambda$ の時の等高線分布を図 8 に示す。

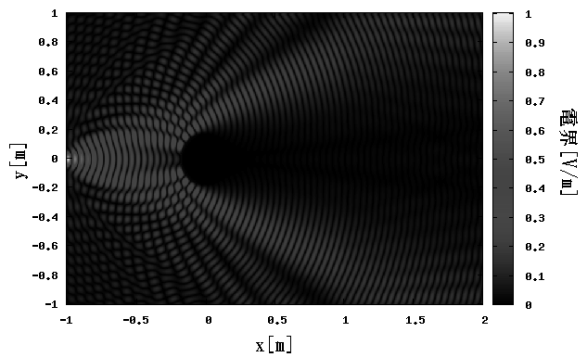
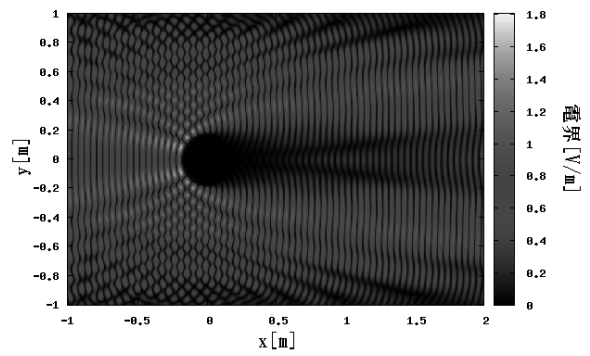
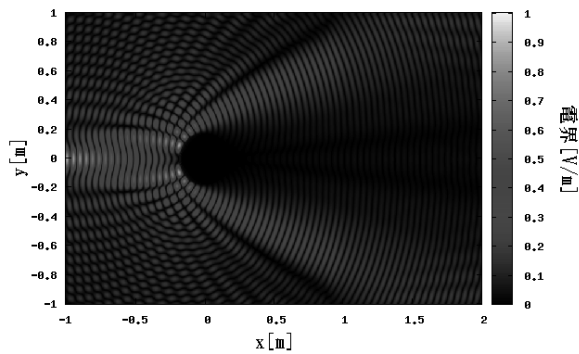
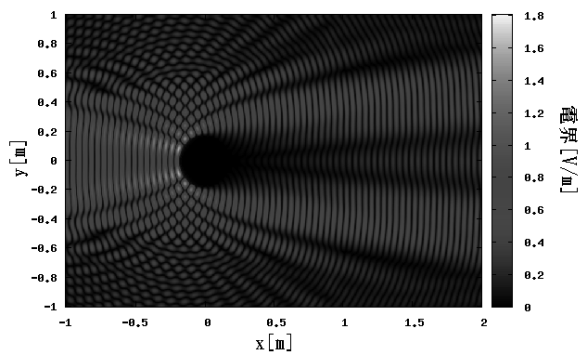
(a) $w_s=0.5\lambda$ (d) $w_s=10\lambda$ (b) $w_s=1.0\lambda$ (c) $w_s=5\lambda$

図 8: 入射波の最小スポットサイズ w_s を変化させた場合の近傍散乱界の等高線分布図

がわかる。

4. まとめ

本論文では、室内通信での送受信点の周りで人が動いた場合の電磁波の状態変化、遮蔽特性などを FDTD 法を用いて数値的に検討を行った。入射波が円柱に入射すると円柱の背後の領域に回り込んで伝わっていく回折が生じていることが観測できた。さらに、円柱の中心から観測面までの距離が長くなるにつれて、電界強度の振幅変化が小さくなり、円柱による影響が小さくなった。原因として、相対的に物体が小さく見え物体による減衰効果が弱まっているためと考えられる。最小スポットサイズは小さくすることで回折波の電界強度が減少し、物体後方の電界強度も減衰した。スポットサイズを小さくすることで、波長に比べて物体が大きく遮蔽効果が大きくなったので物体後方では減衰が大きくなったと考えられる。今後は、より現実的な室内通信システムのモデリングとして、多人数がランダムに配置され動く場合について時間領域で数値的に検討する予定である。

参考文献

- 1) R. J.C. Bultitude, "Measurement, characterization and modeling of indoor 800/900 MHz radio channels for digital communications", IEEE Communications Magazine, Vol.25, No.6, 1987.
- 2) H.Hashemi, et al., "Measurement and modeling of temporal variations of the indoor radio propagation

最小スポットサイズが 0.5λ , 1λ のとき、入射電磁波は物体より小さい領域に局在するため、入射波がほとんど物体で遮蔽され、後方にも回折波の影響があまりでないことがわかる。一方、スポットサイズが 5λ , 10λ のときは、入射電磁波が物体より大きな領域に広がるため物体の後方に回折波がすぐでていること

- channel”, Trans. Veh. Vol.43, No.3, Aug.1994
- 3) V.Erceg, et al., ”TGn Channel Models”, Doc. IEEE 802.11-03/904r4, May 2004.
 - 4) 水谷, 阪口, 高田, 荒木, ”時変動屋内 MIMO 伝送路のドップラスペクトル解析”, 信学総大, B-1-14, 2006.
 - 5) 太田, 藤井, ”人体による電波の遮蔽特性に関する実験的検討”, 信学技法, AP2008-159 , 2009.01.
 - 6) 藤井, 太田, ”屋内・周辺環境下における伝搬変動モデルの提案(その1)”, 信学技法, AP2006-55, 2006.
 - 7) 太田, 藤井, ”屋内・周辺環境下における受信レベル変動特性”, 信学技法, AP2006-54, 2006.
 - 8) T.Fujii and Y.Ohta, ”Dynamic Channel Modeling for Static Mobile Terminals in Indoor NLOS Environments”, Proc. of IEEE 2007VTC fall,2007.
 - 9) 宇野, ”FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析”, コロナ社, 1998.
 - 10) C.C.Johnson and A.W.Guy, “Nonionizing electromagnetic wave effects in biological materials and systems”, Proc. IEEE, vol.60, pp.692-718, 1972.