



2

2 つの偏波に対する電磁波散乱モデルにおける散乱電力の比較検討

メタデータ	言語: jpn 出版者: 宮崎大学工学部 公開日: 2020-06-21 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 榊原, 昌太, 丸下, 翔大, 西浦, 徹, 横田, 光広, Sakakibara, Shota, Marushita, Shota, Nishiura, Toru メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10458/5884

2つの偏波に対する電磁波散乱モデルにおける散乱電力の比較検討

榊原 昌太¹⁾・丸下 翔大²⁾・西浦 徹³⁾・横田 光広⁴⁾

Comparison of Scattered Power of Electromagnetic Scattering Model for E- and H-Polarized Waves

Shota SAKAKIBARA, Shota MARUSHITA, Toru NISHIURA, Mitsuhiro YOKOTA

Abstract

The communication under various environments of indoor and outdoor is increasing rapidly because of the rapid spread of mobile terminal. In addition, there are various kinds of the indoor environment, and these affect to radio wave phenomena. Due to these reasons, it is important to analyze the radio wave propagation in indoor. On the other hand, with respect to the propagation loss characteristic of the outdoors, has been examined, and the propagation model and presuming method of the propagation loss is standardized.

In this study, the two kinds of the two-dimensional electromagnetic scattering models are examined by using FDTD method. One is the room model and another is the human bodies model. The incident wave is polarized in the vertical and parallel directions to the incident plane. The room model is surrounded by the wall with the conductivity. Also, a human body is assumed to be a loss dielectric cylinder. The electric power distribution are calculated and the effect of the parameters are examined.

Keywords: Numerical techniques, FDTD method, Propagation loss, Indoor communication, Mobile communication terminal

1. まえがき

近年、計算機の進歩により情報処理技術の性能が高まってきたため、シミュレーションによる電磁波の解析が簡単になり莫大な手間と時間がかかる実験にとって代わるシミュレーション技術が重要視されている¹⁾。一方、移動通信はスマートフォン、タブレット端末、無線 LAN を使用したノート型パソコン等の通信機器の急速な普及により屋内外の多様な環境下での通信が急増している。また、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²⁾、実験的な検証が行われている³⁾。

本論文では、簡易的な屋内の二次元モデルを構成し、送・受信アンテナの位置や部屋の構造などを変化させた場合の屋内電波伝搬について解析を行い、検討する。また、屋内における自由空間を想定し、送信点、受信点を固定したとき、送信点から 1[m] ほどはなれた位置に人体が複数存在する場合の伝搬損失特性について数値的に検討をする。人体を 2 次元損失誘電体円柱と仮定し電磁界理論に基づく数値的な立場から電磁波散乱問題として取り扱い、FDTD 法を用いて数値的に受信電力の計算を行う。FDTD 法とは、マクスウェルの連立偏微分方程式を差分化し、時間領域で解く方法であり、1966 年に K.S.Yee によって基本的なアルゴリズムが考案され⁴⁾、電磁界問題の基本ソルバーの 1 つとなっている。

2. 部屋モデルでの数値解析

2.1 問題設定

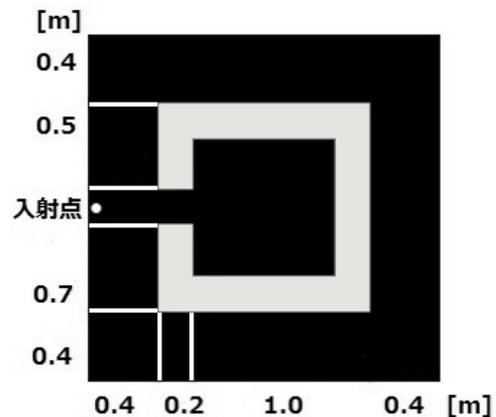


図 1: 部屋モデル

今回の解析では図 1 に示すような部屋モデル図について考察する。その屋内モデルを基本屋内モデルとし壁の導電率や異なる偏波に対して、屋内電波伝搬の様子について解析を行う。図 1 の基本屋内モデルのパラメータについては、セルサイズ $\Delta x = \Delta y = 2 \times 10^{-3} \text{m}$ 、セル数 1000×1000 、モデルサイズ $2 \times 2 \text{m}$ 、壁の比誘電率 $\epsilon_r = 5.0$ 、壁の導電率 $\sigma = 0.02 [\text{S/m}]$ から $\sigma = 0.2 [\text{S/m}]$ 、0.2m 幅の入り口を廊下に面した各部屋中央の壁に設置した。本報告では、電界が紙面に垂直な E 偏波（垂直偏波）及び紙面に平行な H 偏波（水平偏波）の 2 つ

¹⁾ 電気電子工学専攻大学院生

²⁾ 電気システム工学科学部生

³⁾ 電気システム工学科学部生

⁴⁾ 電気システム工学専攻助教授

の偏波について検討を行う。波源をセル (30,500) の位置に配置し、波源周波数を 3.35G Hz に設定している。垂直偏波の入射波を式 (1) の連続波で与える。

$$E_z(i, j) = \sin(2\pi fn\Delta t) \quad (1)$$

また、水平偏波の入射波を式 (2) の連続波で与える。

$$H_z(i, j) = \sin(2\pi fn\Delta t) \quad (2)$$

2.2 基本部屋モデル

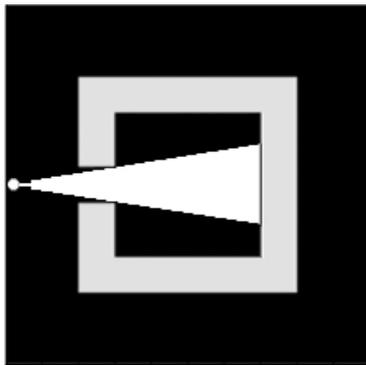


図 2: 部屋内部への直接波範囲図

図 2 は、送信点から部屋内部への幾何学的な直接波の範囲図を示す。白い点は送信点を示している。部屋内部の白い部分は見通し内領域、黒い部分は見通し外領域を示している。

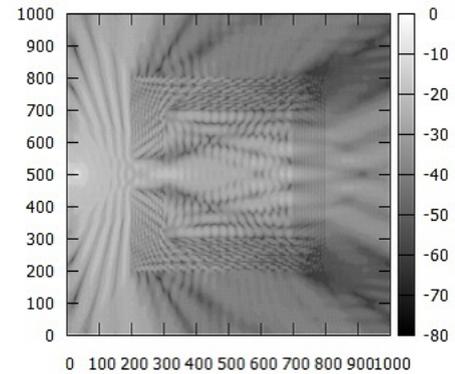
2.3 数値計算結果

本節では壁の材質変化の例としてコンクリートの導電率を変化させ、円筒波における垂直偏波と水平偏波に対する電力分布について比較検討する。今回の解析においては壁の導電率を $\sigma = 0.020.2[\text{S/m}]$ まで変化させ比較・検討を行う。凡例の数値は [dB] 表示である。また、部屋の平均受信電力を表 1 及び図 5 に示す。式 (3)、式 (4) で受信電力 $P[\text{dB}]$ を、式 (5) で部屋内部の平均受信電力 $P_t[\text{dB/m}^2]$ を計算している。ここにおける e_{\max} は瞬時電力の最大値、 E_z 、 E_x 及び E_y はそれぞれの入射波と散乱波を足し合わせたものである。また、式 (5) では部屋内部の平均受信電力を求めるために壁内部のセル数で平均をとっている。

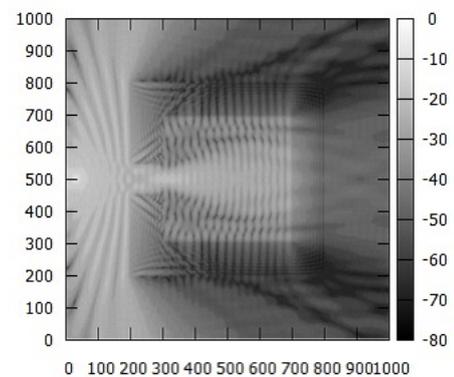
$$P = 20 \log_{10} \frac{\sqrt{E_z^2}}{e_{\max}} \quad (3)$$

$$P = 20 \log_{10} \frac{\sqrt{E_x^2 + E_y^2}}{e_{\max}} \quad (4)$$

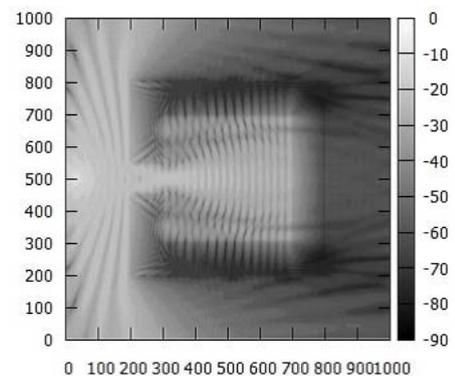
$$P_t = \frac{\sum_{i=301, j=301}^{i=699, j=699} P(i, j)}{399 \times 399} \quad (5)$$



(a) $\sigma=0.02$



(b) $\sigma=0.1$



(c) $\sigma=0.2$

図 3: 導電率を変化させた場合の垂直偏波に対する全電界の平均電力

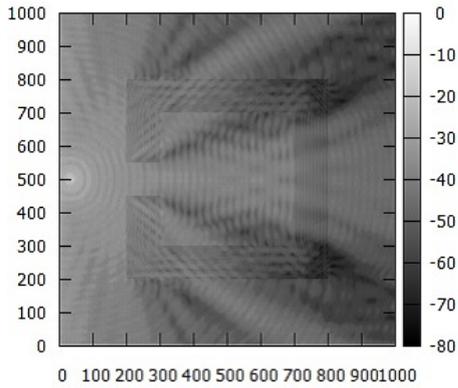
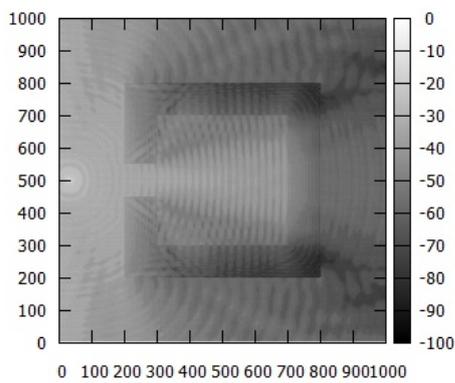
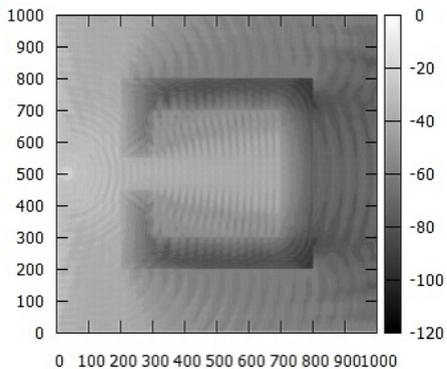
(a) $\sigma=0.02$ (b) $\sigma=0.1$ (c) $\sigma=0.2$

図 4: 導電率を変化させた場合の水平偏波に対する全電界の平均電力

表 1: 円筒波における部屋内部の平均受信電力

導電率 [σ]	垂直偏波 [dB]	水平偏波 [dB]
0.02	-31.70	-45.85
0.06	-33.57	-50.86
0.1	-34.24	-52.29
0.14	-34.42	-53.14
0.18	-34.43	-53.73
0.2	-34.42	-53.96

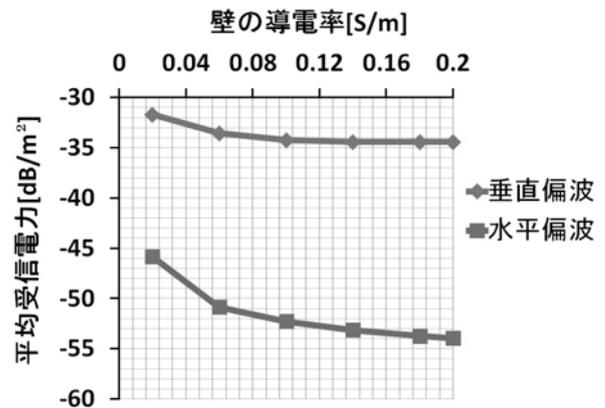


図 5: 円筒波における部屋内部の平均受信電力

図 3 図 5 及び表 1 より、 $\sigma = 0.02$ [S/m] の場合は壁による影響がほとんどないことが分かり、 $\sigma = 0.1$ 、 $\sigma = 0.2$ の場合は部屋後方への透過がほとんど見られない。 σ が大きくなるにつれて壁内部の受信電力が低くなっているのは、電波が透過しにくくなったためと考えられる。また、垂直偏波に比べて水平偏波の受信電力が小さいことが確認された。これは、インピーダンス分の差だと考えられる。

3. 人体モデルでの数値解析

3.1 解析モデル 1 の設定

本節では FDTD 法を用いて数値解析を行う設定について述べる。領域に定め人体と仮定した直径 0.35[m] の円柱を配置する。

パラメータは以下の様に設定する。セル数 2000×1000 、周波数 $f = 3.35$ [GHz]、波長 $\lambda = 8.955 \times 10^{-2}$ [m]、セルサイズは $\Delta x = \Delta y = 2 \times 10^{-3}$ [m] とする。人体と仮定した円柱のパラメータとして、比誘電率 $\epsilon_r = 50$ 、導電率 $\sigma = 2$ [S/m] とし、直径 0.35[m] としている。入射波は垂直偏波の場合は式 (1)、水平偏波の場合は式 (2) で与えられる。なお、受信面については入射点より最も遠い人体モデルの後方 1[m] の位置とし、入射点、受信面を視覚化した座標を図 7 に示す。

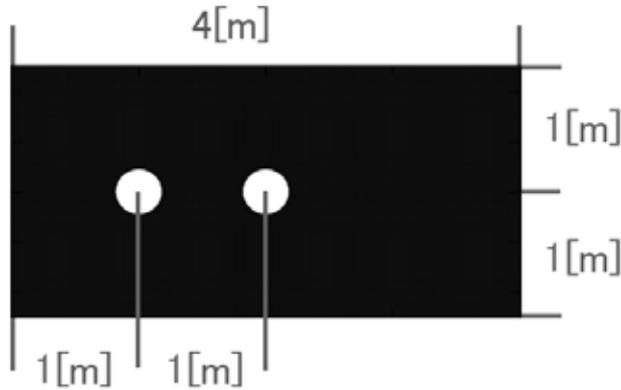


図 6: 解析モデル 1

表 2: 解析モデル 1 平均受信電力

人体間の距離 [m]	平均受信電力 [dB]
1.0	-44.63

表 3: 解析モデル 1 平均受信電力

人体間の距離 [m]	平均受信電力 [dB]
1.0	-54.51

3.1.2 節の場合と比べて受信電力が 10[dB] 程小さくなっている。

3.4 異なる偏波に対する平均受信電力の比較

本節では解析モデル 1 のように 1[m] 間隔で 2 人配置した場合の受信面での平均受信電力を用いて異なる偏波に対する比較を行う。

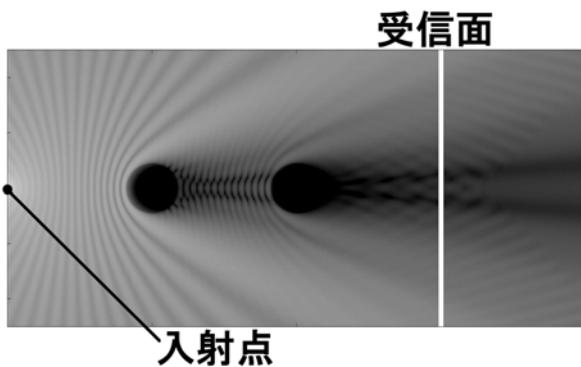


図 7: 入射、受信モデル

また、垂直偏波及び水平偏波の受信電力は、それぞれ式 (6) 及び式 (7) である。

$$P(i, j) = 20 \log \frac{\sqrt{E_z^2}}{E_{max}} \quad (6)$$

$$P(i, j) = 20 \log \frac{\sqrt{E_x^2 + E_y^2}}{E_{max}} \quad (7)$$

入射点より最も遠い人体モデルの後方 1[m] の位置を受信面 $x = x_p$ とおき、平均受信電力 $P(x_p)$ を次式で計算する。

$$P(x_p) = \frac{\sum_{j=500}^{1500} P(2000, j)}{1500 - 500} \quad (8)$$

3.2 垂直偏波での平均受信電力

本節では人体モデルを解析モデル 1 のように 1[m] 間隔で 2 人配置し垂直偏波を与えた場合の受信面での平均受信電力を垂直偏波で検討する。

3.3 水平偏波での平均受信電力

本節では人体モデルを解析モデル 1 のように 1[m] 間隔で 2 人配置し水平偏波を与えた場合の受信面での平均受信電力を水平偏波で検討する。

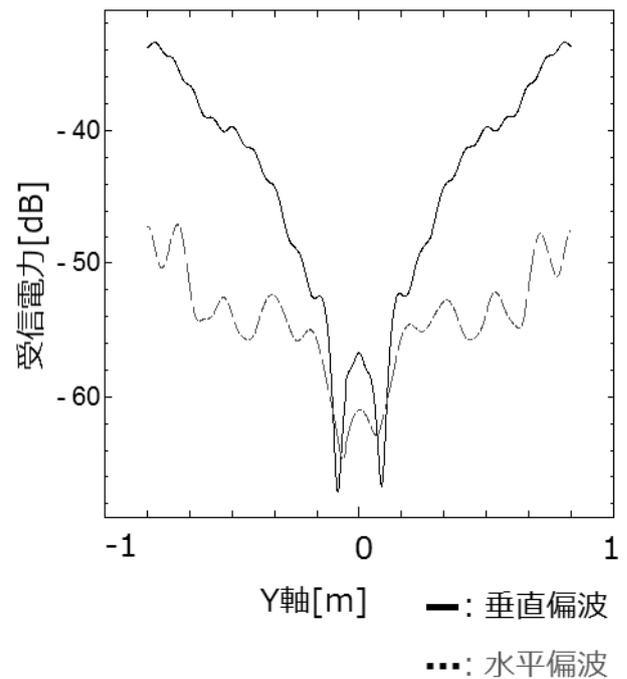


図 8: 異なる偏波に対する受信電力

表 4: 異なる偏波に対する受信電力

垂直偏波 平均受信電力 [dB]	水平偏波 平均受信電力 [dB]
-44.63	-54.51

図 8、表 4 より、解析モデル 1 において、異なる偏波の間では 9.88[dB] ほどの受信電力の差があることが分かる。

3.5 解析モデル 2 の設定

本節では FDTD 法を用いて数値解析を行う設定について述べる。領域を定め人体と仮定した直径 0.35[m] の円柱を配置する。

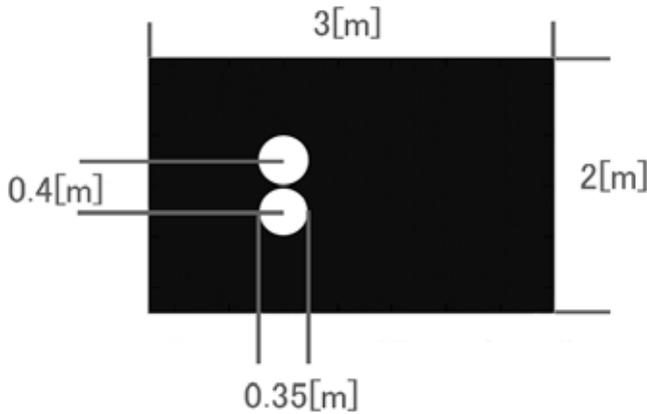


図 9: 解析モデル 2

パラメータは 3.1.1 節での設定をそのまま用い、受信面に対して横に配置した 2 人の距離を 0.4 1.6[m] の間で 0.4[m] 間隔で動かし、偏波ごとに平均受信電力を検討する。また、解析モデル 2 場合入射点から受信面までの距離が異なる。

入射点より最も遠い人体モデルの後方 1[m] の位置を受信面 $x = x_p2$ とおき、平均受信電力 $P(x_p2)$ を次式で計算する。

$$P(x_p2) = \frac{\sum_{j=500}^{1500} P(1500, j)}{1500 - 500} \quad (9)$$

なお、異なる偏波に対する平均受信電力の比較は解析モデルを問わず 0.4[m] の場合での比較とする。

3.6 垂直偏波での平均受信電力

本節では解析モデル 2 のように受信面に対して 2 人横に配置し、さらに 0.4[m] 間隔で最大 1.6[m] まで離してみた場合の平均受信電力を垂直偏波で検討する。

表 5: 解析モデル 2 平均受信電力

人体間の距離 [m]	平均受信電力 [dB]
0.4	-43.09
0.8	-38.26
1.2	-35.18
1.6	-31.54

表 5 より解析モデル 2 において人体の距離を開き、入射点からの見通しがよくなると受信電力が大きくなっている様子がみえる。

3.7 水平偏波での平均受信電力

本節では解析モデル 2 の場合の平均受信電力を水平偏波で検討する。

表 6: 解析モデル 2 平均受信電力

人体間の距離 [m]	平均受信電力 [dB]
0.4	-51.86
0.8	-49.63
1.2	-45.94
1.6	-44.21

表 6 より、解析モデル 2 の人体の距離を開き、入射点からの見通しがよくなると受信電力が大きくなっている様子がみえる。

3.8 異なる偏波に対する平均受信電力の比較

本節では解析モデル 2 の場合の受信電力の様子を視覚的に見えるようにグラフ化したものと、平均受信電力を用いて異なる偏波に対する比較を行う。

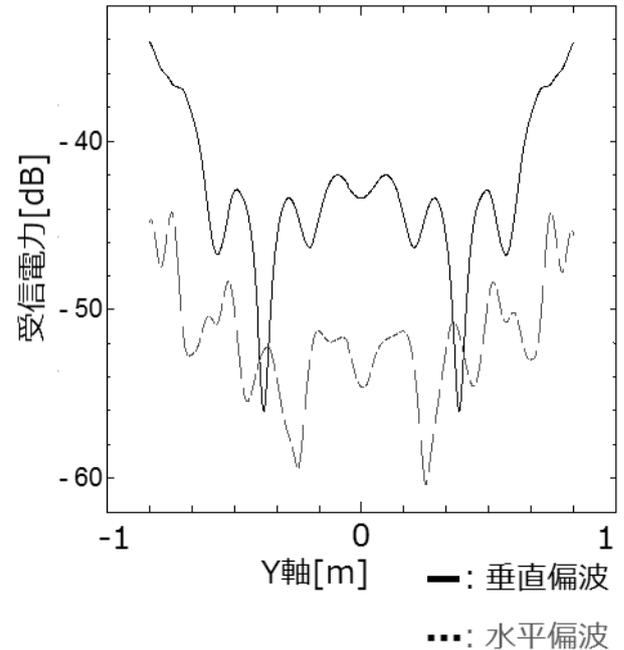


図 10: 異なる偏波に対する受信電力

表 7: 異なる偏波に対する受信電力

垂直偏波 平均受信電力 [dB]	水平偏波 平均受信電力 [dB]
-43.09	-51.86

図 10、表 7 より、本節の人体モデルにおいて、異なる偏波の間では 8.77[dB] ほどの受信電力の差があることが分かる。

4. まとめ

本研究では、異なる偏波に対する 2 次元壁モデルにおける電波伝搬について FDTD 法を用いて数値解析を行った。また、異なる偏波に対する 2 次元複数人体モデルによる電力分布の比較検討を FDTD 法を用いて数値解析を行った。基本部屋モデルに関しては、部屋内部に侵入する直接波の量により部屋内部で反射する電波に差が生まれ部屋の受信電力に影響することが分かり、幾何光学的観点から説明することが可能であった。二つの偏波において壁の導電率を小さくするにあたり部屋内部の受信電力が大きくなることが確認できた。これは導電率が大きくなることにより壁により電波の反射・減衰の影響が大きく現れたからだと考えられる。また、人体モデルに関しては、本研究で検討を行ったどの解析モデルに対しても水平偏波による受信電力が垂直偏波のそれと比べ平均で 9[dB] ほど低くとなっていることがわかった。これは垂直偏波と水平偏波の間では電力で散乱の様子を見た場合、90°分の差が出るためと考えられる。また、偏波によらず入射点から受信面を見たときの見通しがよいほど受信電力が大きくなることを確認した。今後の課題としては、壁モデルについては、実モデルに近づけたパラメーターに変更することや、波源箇所の増加及び位置変更を行うことがあげられる。また、人体モデルについては、人数や配置を変えた場合について検討することがあげられる。

参考文献

- 1) 安達 三郎: "電波伝送工学", コロナ社, 1981.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 宇野 亨: "FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析", コロナ社, 1998.
- 5) A. Taflov: "Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method", Norwood, MA, Artech House, 1995.
- 6) C. C. Johnson, A. W. Guy: "Nonionizing electromagnetic wave effects in biological materials and systems", Proc. IEEE, Vol.60, pp.692-718, 1972.
- 7) 橋本 修: "実践 FDTD 時間領域差分法", 森北出版株式会社, 2006.