

FDTD 法を用いた 3 次元建物モデルにおける 電波侵入損失に関する数値的検討

川畑 侑生¹⁾・横田 光広²⁾

Numerical Examination of Radio Wave Penetration Loss for Three-Dimensional Building Model Using FDTD Method

Yusei Kawabata, Mitsuhiro YOKOTA

Abstract

In recent years, due to the exponential increase of mobile communication devices such as smart-phones, the number of customers has increased and enormous data transmission / reception is carried out. As a result, it is pointed out that the frequency range gradually increase in future cellular mobile communications. As the frequency range increases, it becomes more susceptible to shielding buildings, the human body. Therefore, it is very important to know the radio wave fluctuation under various environments. Currently, various studies on building penetration losses have been conducted, but most of them are experiments by actual experiments and simulations using ray tracing method. In this study, we numerically calculate the propagation characteristics when various shielding objects are placed between transmitter and receiver using the FDTD method. We construct a three-dimensional building model and investigate the shadowing characteristics. Assuming various environments, the scattered power by objects is calculated for various conditions, and the influence of the penetration loss is considered.

Keywords: penetration loss, FDTD method, Propagation loss, three-dimensional building model

1. まえがき

近年の無線通信システムの普及と発展は、現在の情報化社会において大きな影響を与えている¹⁾。日本国内を例に挙げると、ここ数年で固定電話やパソコンの保有状況が下がる一方で、スマートフォンやタブレット型端末の保有率は著しく上がっている。スマートフォンの特徴の 1 つとして、これまでの携帯電話と比較して画面が大きく、多くの文字、画像や動画が見やすいことなどが挙げられる。これに伴う情報量の増加を移動通信のトラヒック（1 加入者あたりの月間延べトラヒック）の推移を通してみると、2012 年には 542MB であったのが、2017 年には 2886MB と 5 年間で約 5 倍に増加している²⁾。通信速度の上昇や電磁波の混乱を避けるために周波数の割当てを行っており、現在は 3.9 世代移動通信シス

テムの LTE が主流であり、第 5 世代の移動通信システムの開発が行われている中、実用化の面では周波数が 3~ 5GHz 帯である第 4 世代の普及を目指し技術開発が行われている。そのため莫大な手間と時間がかかる実験にとって変わるシミュレーション技術が重要視されている³⁾。現在の移動通信システムは、複数の基地局でサービスエリアをカバーするセルラ方式を採用している。周波数の変化における大容量化に伴い、新たな周波数帯を用いたシステムの評価や基地局設計を行うためには、様々な環境下での各種伝搬特性の把握が重要である。

これまで屋外から屋内に侵入する電波の伝搬損失特性の検討は数多く報告されている^{4),5)}。実測とレイトレース法との比較^{6),7)}や実測とミニチュアモデルの比較⁸⁾などが報告されているが、3 次元で FDTD 法⁹⁾を用いたシミュレーションはあまり報告されていない。

本論文では、仮想領域内に受信する 2 階建て建物

1) 工学専攻大学院生

2) 工学教育研究部教授

と、基地局を模した送信局モデルを作成し、2階建て建物と送信局との相対的な位置関係を変化させた場合の電波侵入損失特性について、FDTD法を用いて数値的に検討している。なお、紙面の関係上、伝搬路に遮蔽物を設置した場合については、文献¹⁰⁾で詳細に検討している。2つのモデルの送信アンテナから出た電波が、受信建物の1階、2階それぞれに侵入する平均受信電力を用いて、比較検討している。なお、本論文では、「角度なし」は2階建て建物と送信局が同一線上に存在する場合、「角度あり」は同一線上に存在しない場合として定義している。また、吸収境界条件は、Murの2次吸収境界条件を適用し、送信アンテナは微小ダイポールアンテナを使用している。

た。双方の建物は0.5[m]浮かせており、その空間は自由空間としている。その際、送信アンテナは微小ダイポールアンテナを使用し、吸収境界条件として、Murの2次吸収境界条件を用いている。

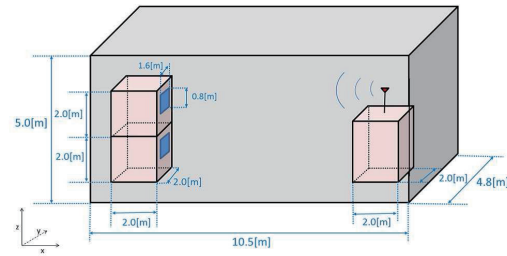


図1: 「角度なし」の解析モデル

2. 3次元建物モデルを用いた電波侵入損失の検討

2.1 問題設定

図1及び2に「角度なし」及び「角度あり」の解析モデルをそれぞれ示す。ここでは、送信建物と受信建物の角度が無いとき、角度をつけたときの建物モデルを作成し、それぞれの受信建物に届く電波の建物侵入損失について検討する。解析領域は $x = 10.5$ [m]、 $y = 4.8$ [m]、 $z = 5.0$ [m] とし、周波数 $f = 3.35$ [GHz]、波長 $\lambda = 8.95 \times 10^{-2}$ [m]、セルサイズ $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 6.0 \times 10^{-3}$ [m] としている。受信局は1階部 2.0 [m] \times 2.0 [m] \times 2.0 [m]、2階部 2.0 [m] \times 2.0 [m] \times 2.0 [m] の高さ 4.0 [m] の2階建て建物とし、送信局は 2.0 [m] \times 2.0 [m] \times 3.0 [m] のコンクリートを敷き詰めた建物で、屋上を中心に 1.0 [m] のアンテナを設置する。モデルを実物と近づけるため、壁、床、天井の厚さを 0.2 [m] とし、1階、2階ともに床から 0.8 [m] のところに 0.8 [m] \times 1.6 [m] の厚さ 2.0×10^{-3} [m] の窓ガラスを設置した。また、コンクリートのパラメータとして、比誘電率 $\epsilon_r = 2.0$ 、導電率 $\sigma = 0.2$ [S/m]、窓ガラスは一般的なソーダ石灰ガラスを仮定して、比誘電率 $\epsilon_r = 2.28$ 、導電率 1.0×10^{-12} [S/m] とする。角度なしの場合、図1に示すように送信局と受信局が直線上に位置するよう配置し、角度ありの場合、図2に示すように、角度なしを基準とし部屋の中心と送信アンテナの角度が 15° になるように配置し、シミュレーションを行っ

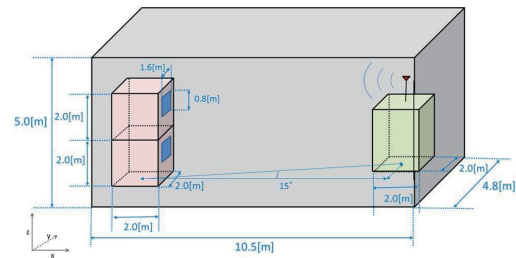
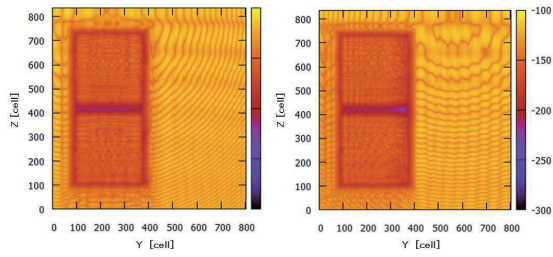


図2: 「角度あり」の解析モデル (15°)

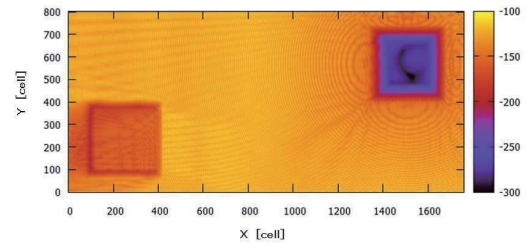
2.2 角度なしと角度つけた場合の比較

受信建物と送信アンテナが同一直線状にあるのと角度をつけたときの受信電力を図3に示す。ここで、受信電力は時間領域での1周期分で平均したもので計算する。また、各部屋における平均受信電力は、各部屋の空間領域で電力を平均して求める。

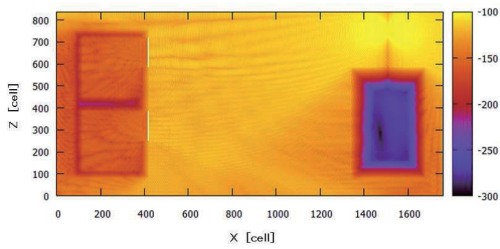
図3(a), (b)は受信建物の中心の $X=1.5$ [m] を観測面としており、同様にして図3(c), (d)は観測面が $Y=1.4$ [m] の XZ 面、図3(e), (f)は観測面が $Z=1.5$ [m] の XY 面(1階部)、図3(g), (h)は観測面が $Z=3.5$ [m] の XY 面(2階部)を表している。



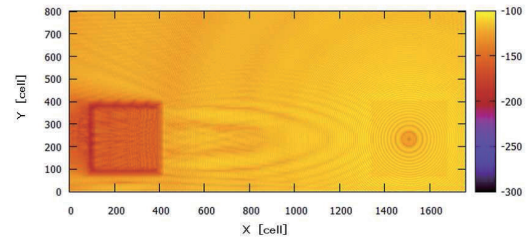
(a) 角度なしの YZ 面: X=1.5[m] (b) 角度あり (15°) の YZ 面: X=1.5[m]



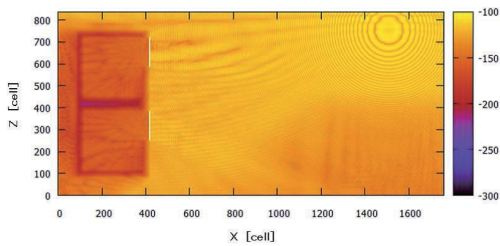
(f) 角度あり (15°) の XY 面: Z=1.5[m](1 階部)



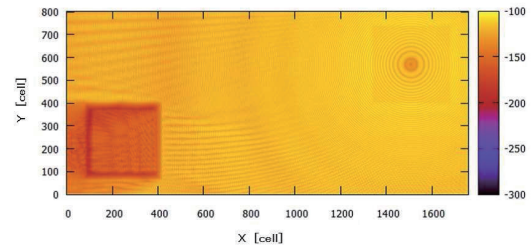
(c) 角度なしの XZ 面: Y=1.4[m]



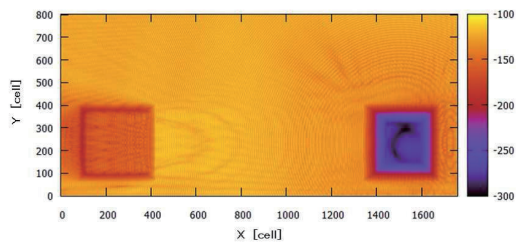
(g) 角度なしの XY 面: Z=3.5[m](2 階部)



(d) 角度あり (15°) の XZ 面: Y=1.4[m]



(h) 角度あり (15°) の XY 面: Z=3.5[m](2 階部)



(e) 角度なしの XY 面: Z=1.5[m](1 階部)

図 3: 角度なしと角度あり (15°) のときの比較

送信アンテナの角度がないときの図 3(e), (g) を見ると、角度が 15° のときに比べ、1 階部、2 階部ともに受信建物からの反射が見て取れる。反射して送信側に向かう波紋は、1 階部よりも二階部のほうがより楕円になっており、受信建物から離れたところまで波紋が広がっている。これは、図 4 に示すように、1 階部と 2 階部に届く電波の入射角によるもので、入射角と反射角は等しくなるため、入射角の小

さな 2 階部は反射角も小さく、1 階に比べ観測面での波紋が広がったものだと考える。表 1 より、どちらも 1 階部より 2 階部のほうが高い電力値となっていることが分かり、これは 2 階部と送信アンテナの高さがほぼ同じ高さであるために、2 階部に電波が直接入るためと考えられる。角度がない場合、角度をつけたときに比べて平均でおよそ 0.8[dB] の違いが見られた。これは、電力換算でおよそ 1.2 倍違っている。

表 1: 角度なしと角度あり (15°) の平均受信電力

階	平均受信電力 [dB]	
	角度なし	15°
2 階部	-173.47	-174.37
1 階部	-174.81	-175.48

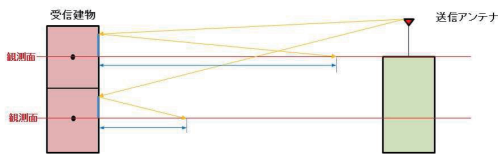


図 4: 解説図 (XZ 面)

3. まとめ

本論文では、3 次元建物モデルを作成し、角度をつけた場合、また様々な環境下での電波遮蔽特性を建物侵入損失の観点から FDTD 法を用いて数値的な検討を行った。建物の角度なし、角度ありの場合ではすべての場合で角度なしの方が約 1[dB] 高い電力値が見られ、送信電力ではおよそ 1.26 倍の違いが出る結果となった。これは、電波の直進性によるものが原因であると考えられる。よって、角度をつけるほど減衰していくのではないかとの予測が出来る。

本論文の検討結果から、入射波の角度は電力受信に大きな影響を与えることが言える。しかし、高い位置では、他の建物の形状によっては反射波を利用して受信電力を大きく出来る可能性があることが示された。

今後の課題としては、住宅地のように遮蔽する建物が複数存在する場合や、遮蔽する建物の形状による受信電力の変化、さらに周波数を高くした場合の影響、電波が混雑している中での伝搬特性の変化などがあげられる。

参考文献

- 1) 後藤, 新井: “電波工学”, 昭晃堂, 1992.
- 2) 総務省: “スマートフォン経済の現在と将来”
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/pdf/n1100000.pdf>
- 3) 安達: “電波伝送工学”, コロナ社, 1981.
- 4) H. Okamoto, K. Kitano, S. Ichitsubo: “Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area”, IEEE Trans. on Veh. Technol. vol.58, no.3, pp.1059-1067, 2009.
- 5) 小松原, 西森, 北尾, 今井: “屋外, 屋内および屋外-屋内伝搬特性を考慮したヘテロロジーネットワークにおける干渉量評価”, 信学技法, AP2011-168, 2012.
- 6) 猪俣, 佐々木, 鬼沢, 北尾, 今井: “0.8GHz 帯から 37GHz 帯における建物侵入損失モデル”, 信学技法, AP2016-38, 2016.
- 7) 表, 宮下: “移動通信における見通しビル間での屋内-屋内電波伝搬特性解析”, 信学技法, AP2016-37, 2016.
- 8) 青木, 川崎, 本田, 市坪: “都市内と住宅地の移動伝搬損失を対象としたスケールモデル手法”, 信学技法, AP2012-128, 2013.
- 9) 宇野: “FDTD 法による電磁界及びアンテナ解析”, コロナ社, 1998.
- 10) 川畑: “3 次元建物モデルにおける電波侵入損失に関する数値的検討”, 平成 29 年度宮崎大学工学研究科修士論文, 2018.