

移動体通信のための車両モデル化の検討

A Study on Vehicular Modeling for Wireless Communication

電気電子情報通信工学専攻 石藤 太地
Taichi ISHIFUJI

1. はじめに

携帯電話や無線 LAN など様々な場面で電磁波が用いられる現在では、電波干渉による周辺機器の誤作動などが問題となっている。それに伴い、安定した無線通信環境の確保のために通信機器から放射される電磁波がどのように伝搬しているのかを把握することが必要となる [1]。本来であれば、実際に測定機器を使って放射電磁界強度を実環境で測定することが必要であるが、実際の測定は困難であり、実験上の制約で同じ環境条件で実験を行えない場合がある。例えば、車両内に設置されたアンテナの特性を実際の測定や実験で評価する場合には、実物大の自動車や大規模な測定サイトや特殊な測定設備を必要とするため、実験による評価は容易ではない [2]。数値シミュレーションはこうした実際の測定をする前に計算機上で実行できるため、予め放射電磁界の様子を把握することができるため都合が良い。このような場合、電磁波数値解析における主要な解析方法の一つである FDTD (Finite-Difference Time-Domain) 法が有効である。

また、特に CAD などを使用せず FDTD 解析のために SfM (Structure from Motion) や Kinect を使用して数値モデルを構築する研究 [3], [4] がある。実環境下の物体などをカメラや Kinect による赤外線センサを使用して寸法計測作業をすることなく数値モデルを構築する方法である。この手法は実環境の散乱体の位置、媒質情報を得る方法として重要であるが、可視領域しか求めることができないので、車内のような閉空間内の情報は窓を通して得ることは難しい。

本研究では、CAD やその他のモデリングソフトなどを使用せずに物体内部の状況を考慮した FDTD 解析のための車両数値データを構築する方法について検討を行った。特に、当研究室では今まで車両数値データの構築を簡単なプログラムによって行っていたため、複雑な形状を作るのが困難であった。精度の高いシミュレーションをする上で実車に近いモデルが必要となるため、本研究ではペイントや gimp などの画像編集ソフトを使用し、画像フォーマットから FDTD 解析モデルの数値データを取り出す方法について提案する [5]。

こうして作られた車両モデルを用い、車両内で使用し

た携帯電話からの放射電磁波の指向性について、FDTD 法によって解析を行った。また、車両内に人体頭部モデルを設置して電磁波伝搬解析を行い、人体頭部モデルの有無が放射電磁波に与える影響を示す。

2. 車両モデルの作成方法

本章では、3次元の車両モデルを効率よく作成するための手法を考える。車両モデルは一般的に横方向にほぼ同一の形状をしていることから、横断面の2次元モデルから軸方向に延長した3次元モデルを作成する。その手法を以下に示す工程に分けて紹介する。

1. 画像データを画像編集ソフトで開く。

図 1 (a) のような画像データを画像編集ソフトで開き、FDTD 解析に合わせて画像のピクセル数を選ぶ。ここでは画像の横、高さが 420, 230 ピクセル (1 ピクセルはセルサイズ 10.0 mm に相当) として編集した。このとき画像のピクセル数を後で使用する FDTD 法のセル数に一致するように選ぶ。特に傾

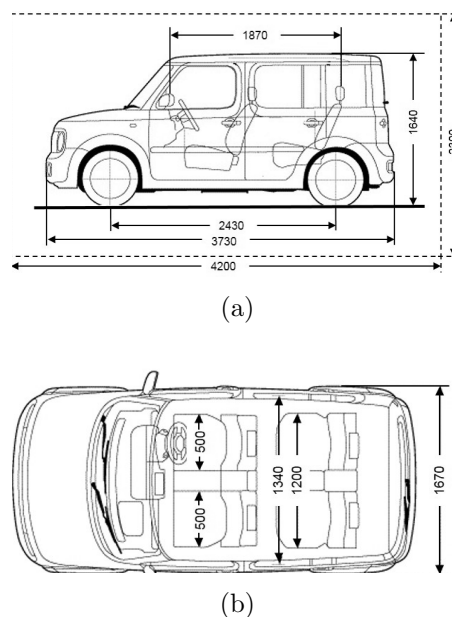


図 1: 車両モデルの参考画像 [6] (a) 側面図, (b) 上面図

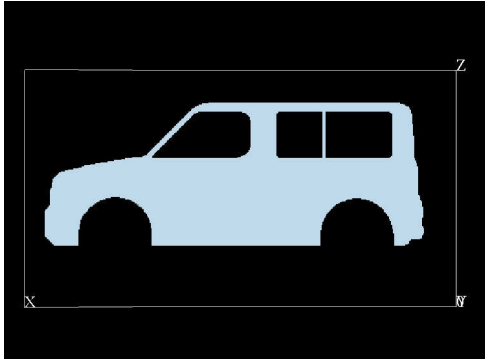


図 2: 可視化した 2 次元車両モデル

いた薄い金属板を模擬するためにはセルが連結するようにセルサイズを選ぶ必要がある。

2. 着色を行い，PPM 形式に変換する。

散乱体モデルの中心となる車両の部分のみを黒色で塗りつぶし，それ以外を白色にして PPM (Portable PixMap file format) 形式に変換する。

3. 保存した PPM ファイルから 3 つおきに数値データを取り出す。

PPM 形式はファイル内に 1 ピクセルを 3 列ごとに RGB 表記し，それぞれ Red (赤)，Green (緑)，Blue (青) の値を 0 から 255 の計 256 色で表している。白は (R, G, B) がそれぞれ (255, 255, 255) となり黒は (0, 0, 0) と表されるため，3 つおきに数値を取り出すことによって各ピクセルが何色かがわかることになる。形状の抽出が正しく白や黒の 2 値で塗られていない場合は 255 や 0 以外の数値が PPM ファイル上に表示されるため，塗りつぶす際には十分注意が必要である。

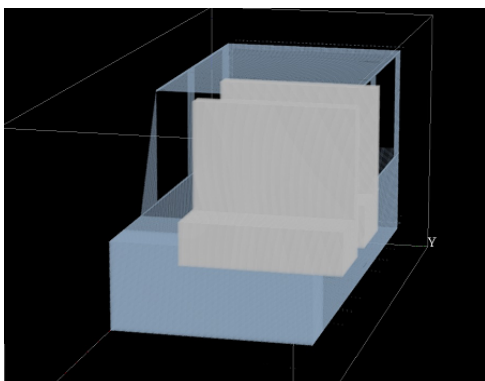


図 3: 比較のために使用した従来モデル [7]

4. 取り出した数値データに 2 次元座標データを割り当てる。

3 つおきに取り出した値に座標を割り当てる際，左上のピクセルが FDTD 解析での左上のセルに対応するように位置関係を考慮して FDTD 解析の数値データに変換していくことが必要となる。こうして取り出した数値データを可視化したものが図 2 である。

5. 2 次元モデルを軸方向に延長させ，3 次元モデルを作成する。

車両モデルの場合，図 2 は車両モデルの一番外側にあたる部分となるため，図 2 の他に外枠のみを黒く塗りつぶし，内側を白く塗りつぶしたものを作成する。これは車両内の空間を作成するためである。また，前後の窓ガラス，窓ガラスのフレーム部分，タイヤ等を考慮しながら数種類の 2 次元モデルを作成する。最後に図 1 (b) の横幅を参考にして y 軸方向に柱状に付け加え，それぞれを組み合わせていくことによって 3 次元車両モデルを作成する。

座席はヘッドレストが有る部分，無い部分を考慮する。前方座席なら運転席と助手席の間に隙間を考慮して座席を作成する。また，タイヤ，窓も同様の方法で作成する。組み合わせて完成させた車両モデルが図 4 である。図 3 の従来モデルと比較すると，より実車に近づいたことがわかる。大きな違いとして 4 つ挙げられる。1 つ目は窓ガラスの面積の違いである。特に図 3 では前後左右の窓ガラスは縦の長さが 900 mm であるのに対して，図 4 は 450 mm となっている。2 つ目は座席の形状である。図 3 の座席は縦の長さが 1400 mm で座椅子のような形状をしているのに対して，図 4 では少しゆったりできるような形状であり，縦の長さが 1100 mm ほどとなっている。3 つ目はタイヤを取り付けたことによる外形の変化であ

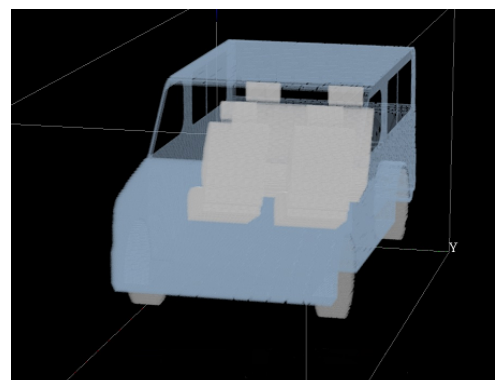


図 4: 作成した車両モデル

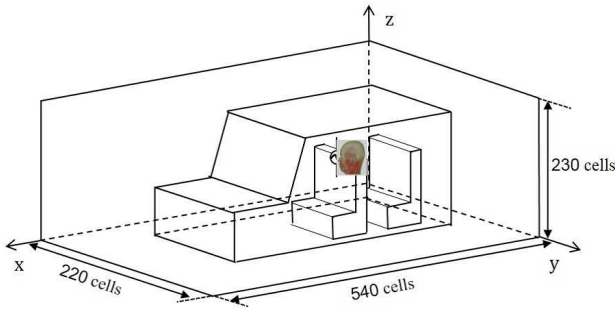


図 5: FDTD 解析空間

る。これにより、特に車両内部の面積が狭まっている。4 つ目は車両モデル全体の高さが低くなったことである。

3. 人体モデルを用いた電磁界解析

車両内の助手席に人体頭部モデルを設置する。そして右耳付近で携帯端末を使用した場合を、携帯端末を半波長ダイポールアンテナで模擬し、車両から十分遠方における放射電磁界を FDTD 法を用いて導出した。アンテナが車両内に置かれた場合は、アンテナ本体だけではなくその近傍にある車体や人体にも電流が流れるため車両を含めた全体の指向性は、アンテナ単体時の場合の指向性と異なる。したがって、指向性を考える時には車体を含めたアンテナ解析が必要であり、車両形状モデルによっても大きく異なる。そのため、本研究では今回考案した方法によって作成した車両モデルを使用して放射電磁界の指向性について比較を行う。なお今回の自動車モデルは日産自動車の CUBE を基にして作成した [6]。車両モデルを含む FDTD 解析空間の概略を図 5 に示す。

3.1 近傍界からの遠方界導出

遠方放射界を導出するには一般に 2 つの方法がある。パルス波励振の近傍界から時間領域における遠方界を導出し、フーリエ変換によって、必要な周波数の遠方界を

表 1: 車両モデルを用いたシミュレーションパラメータ

アンテナ	半波長ダイポールアンテナ
周波数	$f = 1.0 \text{ GHz}$
解析領域	540 セル \times 220 セル \times 230 セル
セルサイズ	$\Delta x = \Delta y = \Delta z = 10.0 \text{ mm}$
給電方法	1 セルギャップ給電
吸収境界条件	PML (8 層)

求める方法と、調和振動した周波数領域の近傍界から遠方界を求める方法である。広い周波数帯の遠方界導出の場合において E 面、H 面というような特定の面における遠方界周波数特性を求めたい場合は前者の遠方界導出法が適切である。一方、単一の周波数に対する放射指向性パターンを高速に解析する目的に対しては後者の遠方界導出法が便利であり、本研究では周波数領域における近傍界からの遠方界の導出は文献 [7] の方法を用いた。

3.2 解析結果及び考察

図 6 は FDTD 法で求めた波源を含む $x - z$ 断面における近傍界の全電界を可視化したものである。図 7 は近傍界を用いて導出した遠方放射 E_θ パターンである。車両内にアンテナと人体頭部モデルを設置し入力電力を同一にした結果を Antenna with head (以下: AWH)、車両内にアンテナのみを設置した結果を Antenna only (以下: AO) とする。

図 6 より、半波長ダイポールアンテナから放射された電磁波が車両の上下に反射しながら前後の窓ガラスから車外へと放射していく様子が見える。また、人体頭部モデルの影響により、車内に伝搬されにくくなっており、図 6 (b) の方が内部の電界の強度分布が強い部分が多いことがわかる。

図 7 は車両の側面から見た $x - z$ 面の遠方放射 E_θ パターンである。半波長ダイポールアンテナから放射され

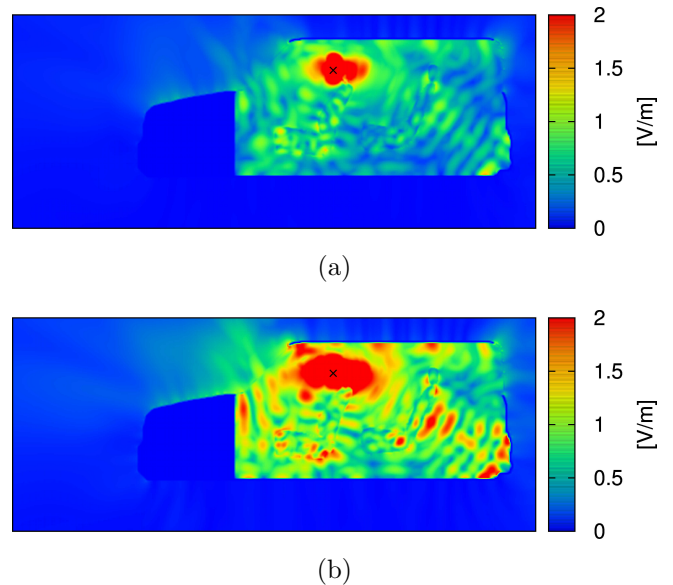


図 6: 車両モデル近くの垂直断面内の近傍電界の強度分布 (a) 人体頭部モデル有り, (b) 人体頭部モデル無し

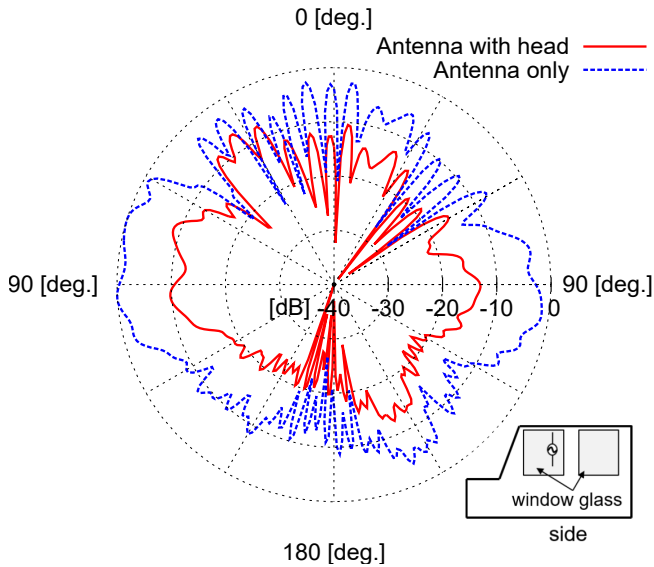


図 7: 車両モデルを含む人体頭部モデルの影響による遠方放射 E_θ パターン (x - z 面)

た電磁波は前後の窓ガラスを通して車外へ放射していくため、車両の前後の放射強度が強い。特に前方の場合はボンネットが丸みを帯びているため、 $\theta = 90^\circ$ 方向に一番強く放射されていることがわかる。AWH の場合、人体頭部モデルの影響により AO に比べて大きいところで 12 dB ほどの差がある。頭部モデルが有り且つアンテナと頭部モデルの距離が 1 cell の場合は頭部モデルが有る方がアンテナ線の電流値が大きくなる。アンテナと頭部モデルが近いことで 1 つの大きなアンテナとみなされるため電流値が大きくなる。そのため、アンテナからの入力電力を同一にした結果では差が大きくなることがわかる。

アンテナと頭部モデルの距離が 5 cell の場合は頭部モデルが有る方がアンテナ線の電流値が小さくなり、その後距離を大きくしていくとその値の変化は小さくなり 10 cell の場合には電流値の違いはほぼ見られなかった。

4. 結論

本研究では車両形状を含む電磁波散乱問題を FDTD 法によって解析するために、効率よく車両モデル化する方法について研究した。今回の作成方法は、断面形状に 2 次元座標を与え、さらに幅を設けことにより 3 次元に拡張する方法である。したがって車両や建物など柱状の形状をしたものに対して効果的であると考えられる。本研究は車両に限定して話を進めてきたが、車両以外のより複雑なモデルには適用することが困難なため、汎用性に欠けることが課題となる。また柱状に作成するために、曲線形状を表現しにくいことが懸念される。

今後の展開として、得られたデータを信頼性のある実測値と比較することや人体モデル全体を車両内に組み込んだシミュレーションを行うことで人体にどのような影響をもたらすかを検証することも必要である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、本研究室の白井 宏教授には何不自由ない研究環境を提供していただき、また、お忙しい中最後までご指導していただいたことを心から感謝申し上げます。さらに本研究を進めるにあたり、貴重なアドバイスをいただいた同研究室の鄭 子才様に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] M. K. Alsliety and D. N. Aloï, "A study of the radiation pattern of a GPS antenna on several vehicle platforms," *Proc. of 2007 IEEE International Conference on Electro Information Technology*, pp.1-5, May 2007.
- [2] L. Low, R. Langley, R. Breden and P. Callaghan, "Hidden automotive antenna performance and simulation," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.54, no.12, pp.3707-3712, 2006.
- [3] 小関 勇気, 藤原 脩, 園田 潤, 金澤 靖, 佐藤 源之 "SfM を用いた実環境 FDTD 数値モデル構築システムの開発," 信学会論文誌 B, vol.J95-B, no.11, pp.1508-1516, Nov. 2012.
- [4] 嶺岸 拓磨, 小関 勇気, 園田 潤, 金澤 靖, 佐藤 源之 "Kinect による室内電波環境解析のための FDTD 数値モデル構築," 2012 信学総大, B-4-27, pp.357, March, 2012.
- [5] 石藤 太地, 鄭 子才, 白井 宏, "FDTD 解析のための効率のよい車両モデル化について," 信学技報, EMT-16-152, pp.177-182, 2016.
- [6] <http://history.nissan.co.jp/CUBE/Z11/0612/GRADE/main4.html>
- [7] 鄭 子才, 白井 宏, "車内アンテナの遠方放射指向性の解析," 信学技報, EMT-15-125, pp.57-62, 2015.