

路車間通信におけるアンテナと伝播に関する研究

2003MT010 藤井 智浩 2003MT100 田中 雅人 2003MT108 山田 英貴
指導教員 稲垣 直樹

1 はじめに

1.1 研究の背景

近年、情報通信ネットワークが発展し、いつでもどこでもインターネットなどの情報ネットワークにアクセスできるユビキタスネットワーク社会が実現されつつある。そして今後、自動車内でもインターネット利用の拡大が予想される [1]。本研究では、路車間通信を代表する DSRC (Dedicated Short Range Communication) を用いて車内でのインターネット利用ができるように、アンテナの設計と、路側アンテナと車載アンテナ間の伝播について研究する。DSRC システムは、5.8GHz の周波数帯で、伝送速度は 4Mbps の専用狭域通信方式である。車載器と路側アンテナの間で情報をやりとりするシステムとして、有料道路の料金所における ETC (自動料金収受システム) があり、通信可能な範囲は、およそ数 m から 30m 程度である [2] [3]。

1.2 研究の目的・目標

よりスムーズな路車間通信を実現することにより、移動中の車内でインターネット利用を目指す。路車間通信を行う上で、車両形状が、アンテナの指向特性にどのような影響を及ぼすかを検証する。この影響を電磁界解析し、考察することにより、移動中の車でも送受信できるアンテナの実現を目指す。通信領域は、図 1 の示すとおり、YZ 平面の $\theta = 0^\circ$ から $\pm 60^\circ$ の範囲である。この範囲内で、車載アンテナの利得が 1dBic 以上、リターンロスの値が -10dB 以下であれば、伝播可能となる [4]。路側アンテナと車載アンテナ間の伝播条件は、通信電力が最低 -75dBm 以上必要であるため、この値を目標値とする [5]。

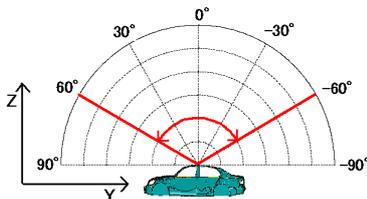


図 1 通信領域

1.3 研究方法

車両の代表的なモデルであるセダン、ワゴン、軽自動車の 3 パターンを FEKO によりモデリングする。高周波で電磁界解析を行うため UTD 法 (一様幾何光学的回折理論: Uniform Geometric Theory of Diffraction) が適用できるようにモデリングする。それぞれのモデルの大きさの一覧を表 1 に示した [6] [7]。路車間通信に用い

られるアンテナの条件として、車両の外観を損ねないことや右旋円偏波を受信できることが挙げられる [8]。以上の点から、本研究ではパッチアンテナを用いる。アンテナ設置箇所の条件としては、運転の妨害にならないことや、外観を損ねないことがあげられる。また、車両のボディによる電磁波の反射を極力避けるために、車両の中心部分に設置した方が良い解析結果が得られると考えられるため、ルーフの中央部にアンテナを設置し解析結果を出す。



表 1 車両の大きさ一覧 [mm]

	全長	車幅	車高	ルーフの大きさ
セダンモデル	5000	1500	1300	1640 × 1260
ワゴンモデル	5000	1800	1710	2655 × 1393
軽自動車モデル	3500	1476	1575	1867 × 1170

2 パッチアンテナの設計

2.1 一層パッチアンテナ

利得とリターンロスの目標値を満たすパッチアンテナを作成する。図 2 にパッチアンテナの大きさ別の利得を示す。1 波長のパッチアンテナ層は、 0° 付近で 1dBic を下回っているため条件を満たしていない。半波長のパッチアンテナ層では、 45° から 60° と、 300° から 315° の範囲で条件を満たしていない。また、 $3/2$ 波長のパッチアンテナ層では、 20° 付近と 340° 付近で 1dBic 以上という条件を満たしていない。以上のことから、パッチアンテナ層で目標の利得を得るのは困難であることがわかった。

2.2 二層統合パッチアンテナ

アンテナ層では、指向性の足りない部分を補うために、 $0^\circ \cdot 60^\circ \cdot 300^\circ$ 付近で指向性の強い $3/2$ 波長のパッチアンテナと、ほぼ無指向性である半波長のパッチアンテナを図 3 のように統合することにより、図 4 のような利得が得られた。この統合アンテナは、 0° から 60° と、 300° から 360° の範囲で 1dBic 以上の利得を得ることに成功し、図 4 の示すとおり、リターンロスの値も 5.73GHz ~ 5.95GHz の範囲で目標値の -10dB を超える値が得られて、5.8GHz では -52dB という値が得られた。

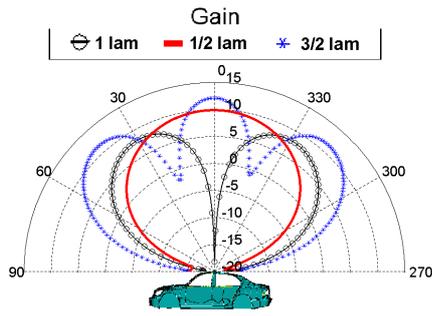


図2 パッチアンテナの大きさ別 利得 (lam=波長)

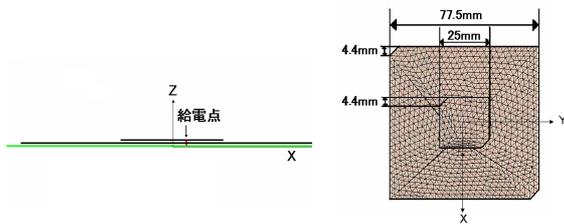


図3 パッチアンテナのZX平面図とXY平面図

3 車両モデルに搭載したアンテナの特性

3.1 解析のためのモデル選択

統合したパッチアンテナを車両に搭載して解析する。自動車の電磁界解析において自動車全体をモデリングし解析すると、計算量が非常に多く膨大な解析時間がかかる。そのため、車両全体、ルーフとピラー、ルーフのみの三種のモデルに対して数値解析を行い、それぞれの結果を比較、検証する。表2は、それぞれの場合の利得の最大値・最小値・変動幅・平均値(0°から90°, 270°から360°)を数値化したものである。表2より、車両全体とルーフとピラーは、ほぼ同じ解析結果が得られることがわかった。ルーフのみで解析すると他の2つの値に比べ大きく異なった値が得られた。よって、今後は解析時間短縮のためルーフとピラーのみで電磁界解析を行うこととする。

表2 利得一覧 [dBic]

	ルーフのみ	ルーフとピラー	車両全体
最大	11.31	8.72	8.72
最小	-19.24	-6.18	-6.18
変動幅	30.55	14.90	14.90
平均	3.347	4.08	4.08

3.1.1 セダンモデルに搭載

二層統合パッチアンテナをルーフとピラーのみの車両モデルに搭載して電磁界解析する。図5に利得とリターンロスを示す。

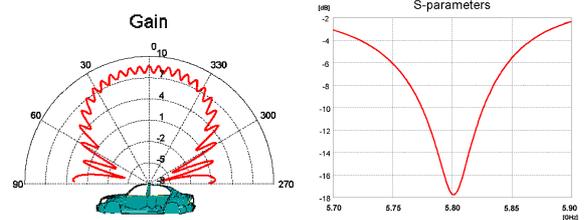


図5 セダンモデルの利得と S-parameters

パッチアンテナ単体で-52dB あったリターンロスは、車両に搭載することにより-17.7dB まで下がった。利得は、全体的に小さくなったものの、通信に必要な範囲内での利得は 1dBic を上回っていた。また、ピラーによる影響で利得にリップルが現れた。

3.1.2 ワゴン・軽自動車モデルに搭載

車種による指向性の違いを検証するために、パッチアンテナをワゴンモデル・軽自動車モデルに搭載する。ワゴンモデル・軽自動車モデル搭載時のリターンロスと利得を図6と図7に示す。

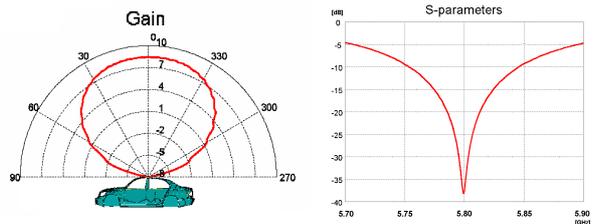


図6 ワゴンモデルの利得と S-parameters

ワゴンモデル・軽自動車モデル共に通信が必要であるリターンロス-10dB という値を大きく下回ることができた。利得も単体時と形は変わったものの、目標の値を得ることができた。

3.2 考察

セダンモデルと軽自動車モデルでは、給電位置が同じままで目標値を得ることに成功したが、ワゴンモデルのみリターンロスが悪くなってしまった。そこで、給電位置を適切に変えることにより図6のような良好な結果を得ることができた。なお、ワゴンモデルのみリターンロ

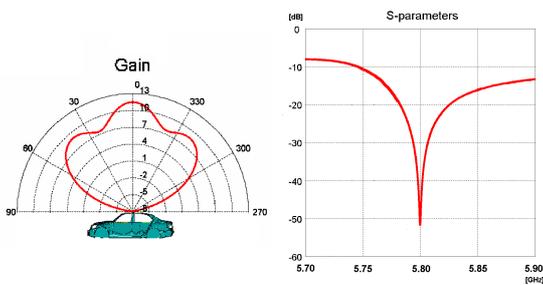


図4 統合パッチアンテナの利得と S-parameters

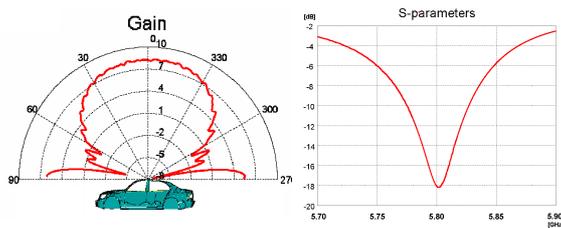


図7 軽自動車モデルの利得と S-parameters

この値が悪くなった原因としては、ルーフの面積が他の2つのモデルに比べて広いため、電磁波が反射されてしまったからであると考えられる。

4 路側アンテナと車載アンテナ間の伝播

4.1 仮想路側アンテナ

4.1.1 仮想路側アンテナ概要

路車間通信の伝播を検証するために、車載アンテナから送信した電磁波が、どの程度路側アンテナに受信されるかを数値解析する。仮想路側アンテナは、二層統合アンテナが、車載アンテナから $10/\sqrt{3}$ m の高さに、20m 間隔で上下逆向きに設置されていると仮定する [6] [9]。なお、この仮想路側アンテナの送信電力は 13dBm と仮定する。この範囲で図8のように、 10° 毎に計 13 点での電界強度を算出し数値解析を行う。

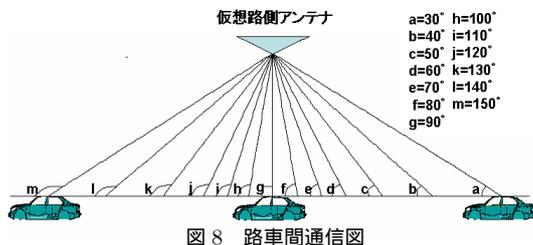


図8 路車間通信図

4.1.2 受信電力値解析結果

セダンモデル・ワゴンモデル・軽自動車モデルをそれぞれ数値解析する。図9には、三つの車種を比較、検証するために受信電力を一つのグラフにまとめた。

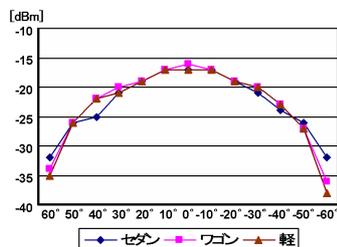


図9 モデル別 受信電力 [dBm]。縦軸は受信電力を示し、横軸は車載アンテナと路側アンテナの角度を示す。角度の値は図1を参照とする。

セダンモデルは、最高電力が-17dBm で最低電力が-32dBm、ワゴンモデルは最高電力が-16dBm で最低電力が-36dBm、軽自動車の最高電力が-17dBm で最低電力が-38dBm という値を得られた。三つの車両モデル全ての解析結果で、車載アンテナと仮想路側アンテナの角度が小さくなる（距離が小さくなる）につれて、高い受信電力を得られることがわかった。また、図9より、三つのモデルは各点においてほぼ同じ値が得られた。

4.1.3 考察

それぞれの車両を比較すると、各点における受信電力にそれほど差が見られないため、通信に車両の大きさは影響されないことがわかった。また、フリスの伝達公式の理論上ではアンテナ同士の距離が近く、利得が大きいほど受信電力は大きくなる。今回の解析結果は理論通りの結果となった。このことから、効率良く受信電力を大きくするためには距離を小さくしてアンテナの利得を大きくすれば良いことが分かる。今回の解析モデルは、一番距離が遠いところで利得が弱くなる設定になっている。この場合、受信電力の大きさに差が開いて効率の良い路車間通信を行うことが困難である。以上のことから、より高い受信電力を得るため、路側アンテナと車載アンテナの位置関係が最適になるような配置を導き出す。

4.2 仮想V字配列路側アンテナ

4.2.1 V字配列

より高い受信電力を得るため、仮想路側アンテナと同様に 20m 間隔で、図10のように一箇所に2つの路側アンテナを設置する仮想V字配列路側アンテナを考えた。なお、この仮想路側アンテナには4.1.1と同様のアンテナを用い、送信電力は 10dBm と仮定する。仮想V字配列路側アンテナは、角度を 60° 傾け、路側アンテナと車載アンテナの距離が一番遠くなる場所に路側アンテナの最も指向性が高くなる場所を向けるように設置する。仮想V字配列路側アンテナの間隔は 20m で、10m おきに路側アンテナを切り替え、計 13 点で電界強度を算出し数値解析を行う。得られた受信電力を図11に示す。

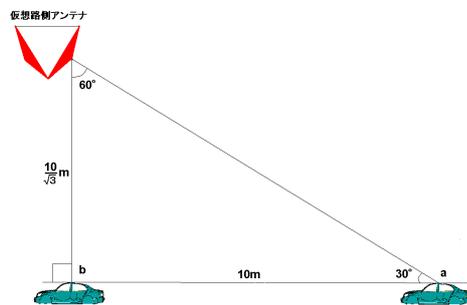


図10 仮想V字配列路側アンテナ路車間通信図

仮想V字路側アンテナの最高電力は最高-22dBm で最低電力は-30dBm という結果が出た。前回の仮想路側

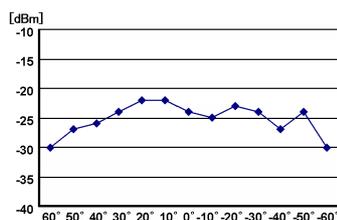


図 11 仮想 V 字配列路側アンテナ受信電力 [dBm]. 縦軸は受信電力を示し、横軸は車載アンテナと路側アンテナの角度を示す. 角度の値は図 1 を参照とする.

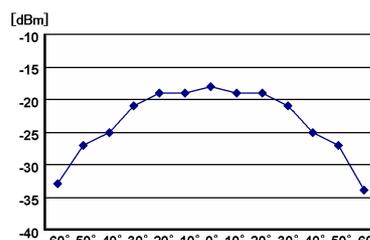


図 12 走行時散乱体の影響 受信電力 [dBm]. 縦軸は受信電力を示し、横軸は車載アンテナと路側アンテナの角度を示す. 角度の値は図 1 を参照とする.

アンテナと比べて、最高値は 5dB 低くなったが最低値は 2dB 高くなった.

4.2.2 考察

仮想 V 字配列路側アンテナの方が仮想路側アンテナより、最高電力が低くなってしまふものの、平均的に高い値を得ることができることがわかった. 電力の差は仮想路側アンテナでは 15dB であったのに対し、仮想 V 字路側アンテナでは 8dB という結果が得られた. つまり、仮想 V 字配列路側アンテナより仮想路側アンテナの方がなめらかなグラフを描いており、効率的な路側間通信を行えているといえる.

5 走行時散乱体の影響に関する考察

5.1 他車の影響による利得の変化

前項までは平面の大地に自動車一台で解析していたが、実際には対向車やガードレール、建築物など様々な散乱体が存在する. よって、散乱体の影響による受信電力の変化を考察する. 他車の影響による利得の変化を検証するため、アンテナを設置した自動車に対して他車とガードレールを設置する. なお、同車線上で軽自動車モデルを 5m 前方、ワゴンモデルを 5m 後方に設置し、反対車線上に 2m の間隔を空けてセダンモデルを設置する. 車間の根拠としては、前の車との車間が最も近くなる停車中の車間を採用して、セダンモデル一台分のスペースを基準とする. 道幅は 7m、ガードレールは高さ 770mm の位置に、それぞれ実際の大きさと同じものを設置する. 以上の条件で、路側アンテナには 4.1.1 と同じ大きさのアンテナを用い、10° 毎に計 13 点での電界強度を算出し数値解析を行う.

5.2 受信電力値解析結果

走行時シミュレーションの数値解析結果を図 12 に示す. 図 12 より、受信電力の最高値は -18dBm で最低値は -34dBm である. この結果は、セダンモデル単体で路側間通信を行ったときに得られる値とほぼ一致する.

5.3 考察

周囲に散乱体がある状態で解析した時と、セダンモデル単体で解析した時とでほぼ同じ結果が得られたため、今回の散乱体では解析に影響が出ないことがわかった. 今回は車間をセダンモデル一台分 (5m) としたが、実際

はこれよりも近距離でトラックなどさらに大きな散乱体がある場合も考えられるため、散乱体が解析に影響しないとはいいきれない.

6 まとめと今後の課題

本研究では、大きさの違う 2 枚のパッチアンテナを統合し、利得を合成した. その結果、車載アンテナとして高い利得を得ることが出来た. また、路側アンテナにおいても目標値である受信電力 -75dBm を超える値を得ることに成功した. 目標値達成の理由としては、車載アンテナの性能が良く広範囲で高い利得を得られたことや、仮想路側アンテナを V 字型に設定したことが挙げられる. 本研究で設計した統合パッチアンテナは、車内でインターネット通信をする条件を十分に満たしている.

今後の課題としては、天候や路面の状態の変化が、伝播に及ぼす影響の検証が挙げられる. また、アンテナをワゴンに搭載した際に、リターンロスが悪くなってしまったことから、車種の違いに関わらず安定した値を得ることができるアンテナ作りも必要である.

参考文献

- [1] 総務省ホームページ, <http://www.tele.soumu.go.jp>.
- [2] ITS ホームページ, <http://www.mitsubishielectric.co.jp/society>.
- [3] 日経エレクトロニクスホームページ, <http://techon.nikkeibp.co.jp>.
- [4] 稲垣直樹: 電磁波工学, 丸善株式会社 (1998.2).
- [5] 5.8GHz 帯における電波環境シミュレーション, <http://www.kajimaroad.co.jp>.
- [6] 雨森康司, 中森和孝, 横井麻美: 路側間通信における数値解析モデリングに関する研究, 南山大学数理情報学部情報通信学科 2005 年度卒業論文.
- [7] HONDA ホームページ, <http://www.honda.co.jp>.
- [8] 社会法人 電子情報通信学会, アンテナ工学ハンドブック, オーム社 (1999.3).
- [9] 山本平一 監訳, 小牧省三, 斉藤洋一, 小川英一 訳: デジタル移動通信, 科学技術出版 (2002.5).