

# 路車間通信用パッチアンテナの設計

2004MT001 足立 英明 2004MT068 仲村 嘉人 2004MT077 大河内 達矢  
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の発展により、社会の至る所で多種多様な情報交換がされており、移動体通信技術の発達や ITS（高度道路交通システム：Intelligent Transport System）の推進に伴い、様々な取り組みがなされている。路側アンテナと車載アンテナとのやりとりを行う路車間通信もその一つとして注目を集めている。車両の無人運転まで視野に入れた ITS の推進に際して、車両と道路側面に設置したアンテナ間の路車間通信を代表する DSRC（狭域通信技術：Dedicated Short Range Communication）は今後益々重要な技術となる。DSRC システムは、5.8GHz の周波数帯で、およそ直径 30m の限られた通信範囲において最大伝送速度 4Mbps の双方向通信を行うことができる。DSRC は ITS のサービスを実現するために開発された通信技術であり、路側アンテナと車載アンテナの両方に発信機が内蔵されており、それによって短距離に限られるが高速かつ大量の情報交換が可能である。DSRC システムを利用したものの例として、高速道路の ETC システムがあげられる。ETC は料金所ゲートに設置された路側の DSRC アンテナと、車両に搭載された ETC 車載器の間で双方向通信を行い、お互いの情報の交換を行う。本研究では、この DSRC システムに着目して通信可能な目標値を満たすアンテナの設計、製作を行う [1] [2]。

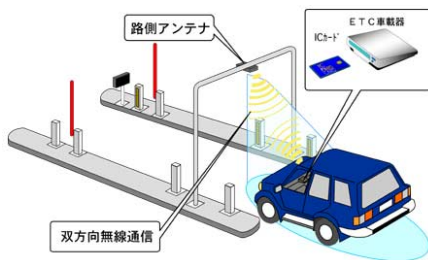


図 1 ETC システム図解 [3]

### 1.2 研究の目的と目標

本研究の目的はこの狭域通信を実用化するための効率的な車載アンテナの設計、製作である。電磁界解析シミュレーションソフトウェア FEKO によって、車載アンテナの解析値と実際に製作した車載アンテナの測定値の比較検討を行う。先行研究より、通信領域は図 2 に示すように垂直平面の  $\theta=0^\circ \sim \pm 45^\circ$  の範囲である。この範囲で車載アンテナの利得が 1dBic 以上、リターンロスの値が -10dB 以下であれば通信可能となる [4]。利得とは電

磁波の経済性の良さを表す指標であり、リターンロスとは入射電磁波に対して反射する電磁波の割合を表す指標である。路側アンテナと車載アンテナ間で通信が可能となるには、受信電力が最低 -70dBm 以上必要である [5]。この値を本研究の目標値に設定し、車載アンテナの設計と製作を行う。

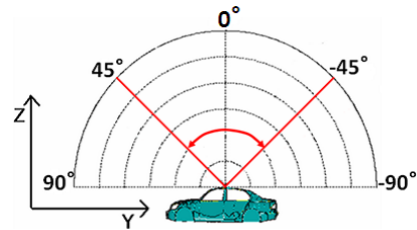


図 2 路車間通信における通信領域 [6]

### 1.3 研究の方法

解析に使用する車載用アンテナ単体、これと類似の指向性をもつクロスダイポールアンテナ、最後にクロスダイポールアンテナと車両近似モデルの組み合わせを FEKO によりモデリングする。車両近似モデルには一辺 1.5m の正方形の金属板を使用する。前年度の卒業論文を参考に車載アンテナをモデリングし、アンテナ単体での解析、アンテナの近似モデルを車両近似モデルに設置した状態での解析を行う。なお設置箇所は、車両のボディによる電磁波の反射を極力避けるため、車両の中心部分に設置したほうが良い解析結果が得られるという考えから、金属板の中央部とする。次に FEKO でモデリングした車載アンテナの実物を製作し、アンテナ単体での測定を行う。解析値と測定値を比較検討する。

### 1.4 FEKO について

FEKO とはドイツ語の *Feldberechnung bei Körpern mit beliebiger oberfläche* の頭文字を取り合わせたもので、意味は「物体の任意形状を含むフィールド計算」という意味である。3次元オブジェクトを使用し、様々な電磁界解析を行うことができるソフトウェアである。解析アルゴリズムはモーメント法を利用しており、計算機の範囲内で多種多様な構造体についての解析が可能である。また、非常に大きな金属構造体の解析については UTD または PO 法を用いている [7]。

### 1.5 PO 法

PO 法とは Physical Optics の頭文字を取り合わせたもので、対象の物体が波長に比べて十分に大きい場合の電磁界解析を行うのに適している。入射した電磁波によって散乱物体の表面に誘起された等価電磁流が源となって生じる放射界を求める方法であり、誘起された電

磁流が実際のものと同じであれば、この方法は厳密な解を与える。本研究において FEKO で正方形の金属板を用いる際に PO 法を利用する。

## 2 パッチアンテナ

### 2.1 使用するアンテナについて

路車間通信で利用するアンテナには、ダイポールアンテナ、パッチアンテナなどが挙げられる。先行研究から、ダイポールアンテナは2本のアンテナが必要であるため外観を損ねる。そのため、本研究では右旋円偏波を使用でき、低姿勢という利点から壁や天井の設置に適しているパッチアンテナを用いることにする [6]。

### 2.2 パッチアンテナ

パッチアンテナは平面アンテナの代表的なものであり、帯域が狭く、広い指向性を持つ。アンテナのエレメントの形を、誘電体の基板上に貼り付け金属にエッチングして作られる。非常に薄く、相似形のアンテナである。図3は FEKO でモデリングしたパッチアンテナである。以下のサイズで設計した。

基板の大きさ: X 方向は 80.0mm, Y 方向は 80.0mm  
 銅板部分の大きさ: X 方向は 16.0mm, Y 方向は 15.7mm  
 切り欠きの大きさ: 2.0mm  
 誘電体の厚み: 1.6mm  
 給電点の位置: 銅板部分の中心から +X 方向に 3.6mm ずらした位置

パッチアンテナの基本原理を図4に示す。給電点の位置を中心部からずらすのは、アンテナ素子部において、電圧分布は素子長が  $1/2$  波長であることから、中心部では  $V=0$ 、先端では最大となる。電流は先端が  $I=0$  に近くなり、図4の実線のように分布することがわかる。入力インピーダンスは  $Z=V/I$  であるので、アンテナ素子の中心部では  $Z=0$  となる。また先端ではフリージング電界が存在するため、無限大にはならず数百  $\Omega$  の高インピーダンスとなる。よって中心部からずれた位置に給電することによって  $50\Omega$  でインピーダンスの整合をとることができる [5]。

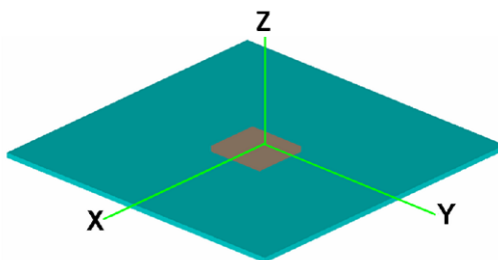


図3 パッチアンテナ単体のモデル化

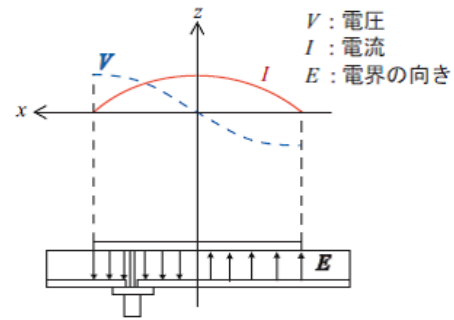


図4 パッチアンテナの基本原理

### 2.3 FEKO での解析結果

パッチアンテナで解析して得られた利得を図5、得られた S-parameters を図6に示す。

利得は  $\theta=0^\circ\sim 45^\circ, 315^\circ\sim 360^\circ$  の範囲で目標値である 1dBic を上回る利得を得ることができた。リターンロス は、5.72GHz~6.00GHz で目標値である -10dB 以下の値を得ることができ、約 280MHz の帯域幅がある。次に、スミスチャート表示とは、複素反射係数を周波数ごとに極座標上に点をプロットしたものである。図の円は抵抗 ( $r$ )、漂遊線はリアクタンス ( $x$ ) である。スミスチャート表示を見ることで電波の放射が効率よく行われているかを判断することが可能であり、理想的なスミスチャート表示ほど  $r=1, x=0$  に近づいている [6]。つまりこの値に近いアンテナほど、利得が良いということになる。解析した結果、図7のようなスミスチャート表示が得られ、5.8GHz が 1 に近くなっており、インピーダンス整合がよくとれていることがわかる。

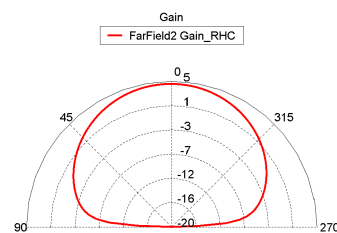


図5 パッチアンテナ単体の利得 ( $\phi=0^\circ$ )

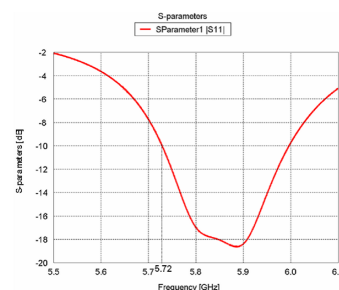


図6 パッチアンテナ単体の S-parameters

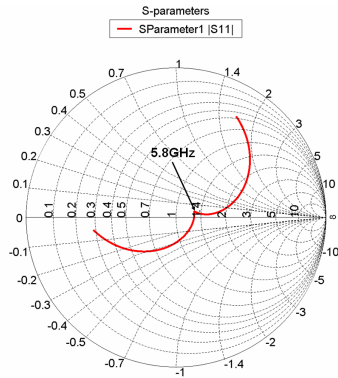


図7 パッチアンテナ単体のスミスチャート

### 3 車両近似モデル

#### 3.1 車両近似モデルについて

実際に、アンテナを車両に設置して測定することは容易なことではない。また全ての車種を使用して測定を行うことは、コストの面などから非常に困難なことである。また FEKO で解析する場合においても、車両モデルのように大きな散乱体をモーメント法によって解析するには非常に膨大な時間が必要である。これらの理由から、本研究では、車両近似モデルを使用する。アンテナをルーフに設置する場合、車両近似モデルはルーフ+ピラーモデルと正方形の金属板モデルが最も適している。本研究では、様々な車種のルーフの近似モデルであり、より簡易な正方形の金属板を使用する。ルーフに設置したアンテナを解析、測定し指向性を評価する場合において、車両近似モデルとして正方形の金属板を使用することは非常に効率的な方法である [8]。



図8 車両近似モデル

(上: 車両 左: ルーフ+ピラー 右: 金属板)

#### 3.2 数値解析

アンテナの近似モデルと車両近似モデルを使用して数値解析を行う。今回はアンテナとして車載用アンテナの近似モデルであるクロスダイポールアンテナを用いているので、S-parameters を得ることができない。得ることができるのは利得のみである。図9の赤線がアンテナの近似モデル単体の時に得られる利得であり、青線がアンテナの近似モデルを車両近似モデルに設置した時に得られる利得である。前者と後者を比較すると前者の  $\theta=80^\circ$ 、 $\theta=280^\circ$  あたりには膨らみがあるのに対して、後

者のその部分は数値が下がっている。そして金属板に設置しているので電磁波の反射により下部分にも利得が得られる。その他の角度の利得は前者と同じ指向性を示している。このことから、FEKO でモデリングしたアンテナは車両近似モデルに設置した時にも  $\theta=0^\circ \sim \pm 45^\circ$  で通信可能な利得を得ることができると考えられる。

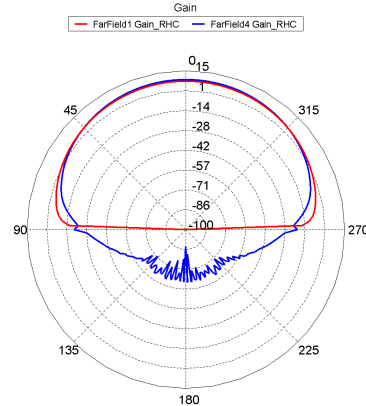


図9 アンテナ近似モデルの垂直平面内利得 [dBiC] ( $\phi=0^\circ$ )

### 4 アンテナの製作

#### 4.1 必要な部品と道具

FEKO でモデリングしたパッチアンテナのデータを元に、実際にアンテナを製作していく。使用する部品は基板となる銅板、給電点に設置する給電体の2つである。使用する道具は基板に穴を開ける電動ドリル、基板と給電体を接合する為に使う半田ごて、製作したアンテナのリターンロス測定とスミスチャート表示を得ることができるネットワークアナライザーである。

#### 4.2 製作

製作工程を以下に記す。

- 1, FEKO で解析した値に誘電体基板を切り取る。
- 2, その銅板のパッチ部分以外の銅をはがし取る。これにより誘電体を露出させる。
- 3, 給電点の穴を電動ドリルで開ける。
- 4, 半田ごてを使用して給電体の接合を行う。

#### 4.3 製作時の注意事項

製作工程2において、銅板をはがし取る際に誘電体を削らないようにする。誘電体があることでパッチアンテナの大きさを保つことができ、誘電体を削ることによって基板の厚さも変わってしまう。それによって波長の乱れが生じ、周波数の値が変化するので正確な値を得ることができなくなると考えられる。製作工程3, 4において、給電体の接合位置が1mmずれてしまうと得られる値が大きく変わってしまうので慎重に行う。また半田付けをする際に、給電体が銅板と完全に接合されていないと、給電点に十分な電流が流れなくなり正確な値が得られなくなるので注意する。製作したパッチアンテナの写真が図10である。

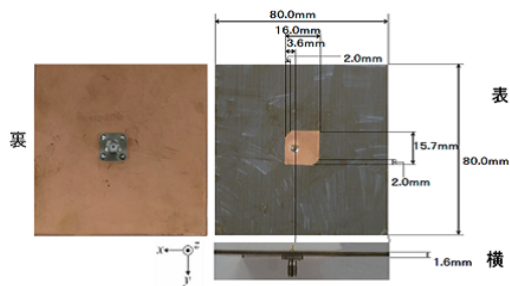


図10 製作したパッチアンテナ(左:裏 右:表 右下:横)

#### 4.4 測定結果

ネットワークアナライザーを使用して測定を行う．図11に得られた S-parameters を表示する．測定の結果，5.42GHz～5.92GHz で目標値である-10dB 以下の値を得ることができた．次にスミスチャート表示を図12に表示する．

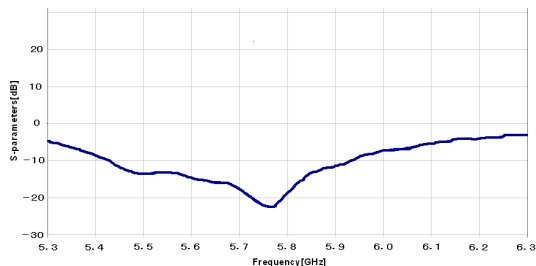


図11 製作したパッチアンテナの S-parameters

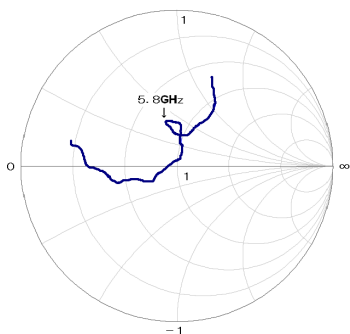


図12 製作したパッチアンテナのスミスチャート

#### 5 解析値と測定値の比較・検証

FEKO での解析結果と実物のアンテナの測定結果を比較してみると，まずリターンロスについて，前者は5.8GHz で約-17dB を得ており，最も良い数値を得ているのは5.88GHz のとき約-18.7dB を得ている．後者は5.8GHz で約-18dB を得ており，5.76GHz のとき約-22dB を得ている．両者とも共振周波数の値は5.8GHz 付近で得られ，同じ傾向のグラフを得ることができた．

次にスミスチャート表示であるが，図12は図7に比べ， $r=1$ ， $x=0$ の中心から上へずれている．しかし，グラフの傾向は非常に似ている．リターンロスについては5.8GHz 付近で目標値である-10dB 以下の値を得ることができ，スミスチャート表示についても手作業でアンテナを製作したことによる想定範囲の誤差だと思われる．FEKO では利得の解析結果を得ることができるが，ネットワークアナライザーでは実際に製作したアンテナの利得の測定結果を得ることができない．したがって，S-parameters とスミスチャート表示が同じ傾向のグラフなら，利得の値も解析値に近いものが得られると考えられる．よって，解析結果をもとに目標値を満たすパッチアンテナを製作することができたといえる．

#### 6 まとめと今後の課題

本研究では路車間通信を可能とするパッチアンテナの設計および製作を目標として進めた．その結果，製作したアンテナは目標値に達するものに仕上がったといえる．今後の課題として本研究では車両近似モデルにアンテナを設置する際，近似モデルの中央部に設置して解析している．これは近似モデルによる電磁波の反射を極力避けるために中央部に設置している．しかしすべての車両がルーフの中央部にアンテナを設置できるわけではない．ルーフの前方，または後方に設置する場合もある．その場合，近似モデルによる電磁波の反射によって得られる利得の指向性が大きく変わってくると考えられる．今回は FEKO でモデリングしたアンテナを車両近似モデルの中心にのみ設置しているが，各箇所を設置したときの解析結果，そして各箇所での通信可能なアンテナの設計，製作が求められる．

#### 参考文献

- [1] ITS ホームページ，  
<http://www.mitsubishi.co.jp/society>.
- [2] 日経エレクトロニクスホームページ，  
<http://techon.nikkeibp.co.jp>.
- [3] 三菱電機ホームページ，  
[http://www.mitsubishielectric.co.jp/society/its/dsrc/dsrc\\_b.html](http://www.mitsubishielectric.co.jp/society/its/dsrc/dsrc_b.html).
- [4] 稲垣直樹：電磁波工学，丸善株式会社(1998.2).
- [5] 則竹佳人：ETC 車車間通信用統合アンテナに関する研究，修士論文，南山大学大学院数情報学部情報通信学科(2006)．
- [6] 藤井智浩，田中雅人，山田英貴：路車間通信におけるアンテナと伝播に関する研究，卒業論文，南山大学数情報学部情報通信学科(2006)．
- [7] FEKO ホームページ，  
[http://www.feko.info/members/release\\_notes](http://www.feko.info/members/release_notes).
- [8] 則竹佳人，稲垣直樹，大石橋秀和，堀 智：車載アンテナの簡易な指向性評価法について，電子情報通信学会，総合大会(2006)．