

# ETC・車車間通信用統合アンテナに関する研究

M2005MM018 則竹 佳人

指導教員 稲垣 直樹

## 1 はじめに

移動体通信技術の発達や ITS の推進に伴い、様々な取り組みがなされている。自動車での通信は無線が主体であるため、車載アンテナが非常に重要である。また、電波応用機器の新規開発に伴い、1 台の自動車に搭載されるアンテナの数が増加の一途をたどっている。現状では、それぞれのシステムに対応するアンテナを別々に取り付ける必要がある。今後、車車間通信や路車間通信の導入により、さらに必要な車載アンテナの数が增加することが予測される。しかし、アンテナの林立によって、搭載性の低下や相互干渉の問題が生じ、通信性能が劣化することが考えられる。このような問題の解決策として、アンテナの統合化が検討されている。本研究では、ETC 用と車車間通信用アンテナを統合化し、シミュレーションソフト FEKO[5] によって特性を評価する。

## 2 研究の目的と方法

本研究では、ETC と車車間通信用アンテナの統合化を目的とする。現在提案されている統合アンテナとして、多層構造多周波共振 MSA がある [3]。これは、ETC、VICS、GPS の統合アンテナであり、全て上方のアンテナとの通信である。提案する統合アンテナは、必要な指向性が異なるアンテナであり、2 点給電にすることで 2 つの通信を同時に行うことを可能にする。

第 1 のアンテナは、ETC 用として MSA(Micro Strip Antenna)、車車間通信用としてフランクリンアンテナを用いたフランクリン・MSA 統合アンテナを提案する。第 2 のアンテナとして、より低背化するために車車間通信にも MSA を用いた 2 層構造 MSA を提案する。

次に、車載アンテナの放射特性は車体によって影響を受けるため、アンテナを車載した状態での解析を行う。その際、自動車モデルの代わりに円板モデルを用いて簡易に指向性を評価することを試みる [2]。また、アンテナの設置位置による指向性の変化を考慮し、フリスの伝達公式を用いてアンテナの送受信総合特性を評価する。

ETC 用アンテナおよび現状で候補とされている車車間通信用アンテナの概要を表 1 に示す。

表 1 ETC と車車間通信用アンテナの要求される特性

	ETC	車車間通信
周波数	5.8GHz	5.8GHz
偏波	右旋円偏波	垂直偏波
指向性	上方向 ( $\theta = 23^\circ$ )	水平面内 ( $\phi = 0^\circ, 180^\circ$ )
利得	4dBic	1dBi
受信電力	-70dBm	-80dBm
通信距離	6m	前 100m, 後 10m

## 3 フランクリン・MSA 統合アンテナ

### 3.1 アンテナの構造

従来 ETC 用アンテナとして用いられている MSA と、MSA をグラウンドに用いた車車間通信用のフランクリンアンテナを統合したアンテナである。フランクリン・MSA 統合アンテナの構造を図 1 に示す。

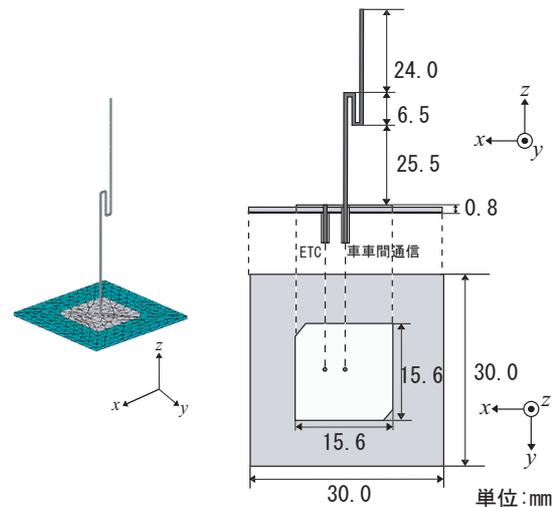


図 1 フランクリン・MSA 統合アンテナの構造

MSA はパッチ中心部の電圧が 0 となるので、同軸ケーブルの外導体を短絡させることができる。また、内導体は上方に伸ばし、車車間通信用のアンテナとする。車車間通信用のアンテナとして、モノポールアンテナでは水平面内の利得が  $-3\text{dB}$  以下であるため、十分な利得が得られない。したがって、アンテナを折り曲げてフランクリンアンテナとする。

フランクリンアンテナは、アンテナ素子が約  $3/2$  波長であり、中央部分の約  $1/2$  波長を折り曲げることによって、電流が逆向きとなり打ち消し合う。そのため、ダイポールアンテナを 2 つ並べたような特性が得られ、水平面内の利得を高めることができる。

MSA はパッチ一辺の長さを約  $1/2$  波長 ( $=15.6\text{mm}$ ) とし、端に切り欠きを入れることで右旋円偏波を実現している。MSA に用いる誘電体は誘電率  $\epsilon_r = 2.5$  とする。また、MSA への給電も同軸ケーブルで行い、 $x$  軸上のインピーダンスが 50  $\Omega$  で整合がとれる位置とする。

### 3.2 アンテナ単体の数値解析

フランクリン・MSA 統合アンテナの MSA(ETC) およびフランクリンアンテナ (車車間通信) に給電した場合に対して、数値解析により求めた放射特性を以下に示す。周波数は ETC、車車間通信ともに 5.8GHz である。

### 3.2.1 ETC

MSA に給電した場合の垂直面内指向性 ( $\theta = 0^\circ \sim 360^\circ$   $\phi = 0^\circ$ ) を図 2 に示す。

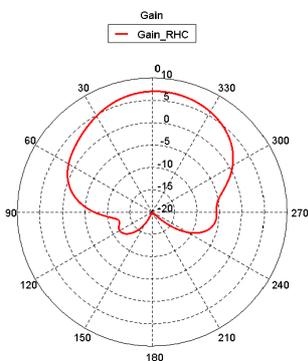


図 2 垂直面内指向性

ETC の路側アンテナ方向である  $\theta = 23^\circ$ ,  $\phi = 0^\circ$  では利得が約 5.5dBic であり、目標値である 4dBic 以上の利得が得られている。

### 3.2.2 車車間通信

フランクリンアンテナに給電した場合の水平面内指向性 ( $\theta = 90^\circ$ ,  $\phi = 0^\circ \sim 360^\circ$ ) を図 3, 垂直面内指向性 ( $\theta = 0^\circ \sim 360^\circ$ ,  $\phi = 0^\circ$ ) を図 4 に示す。

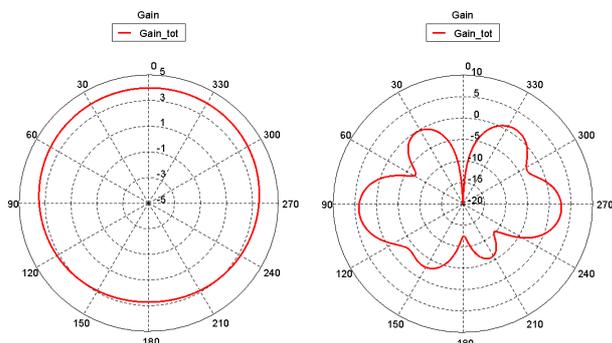


図 3 水平面内指向性

図 4 垂直面内指向性

図 3 より、水平面内の利得は約 2.8 ~ 4.0dBic であり、 $\phi = 0^\circ \sim 360^\circ$  の全方向に目標値 1dBic 以上の値を得られている。また図 4 から、水平面内 ( $\theta = 90^\circ$ ,  $270^\circ$ ) の利得が高くなっていることが分かる。

### 3.3 考察

ETC 用の MSA, 車車間通信用のフランクリンアンテナ共に、通信方向で目標値以上の利得が得られた。リターンロスの結果は、どちらのアンテナに給電しても -10dB 以下であり、整合がとれていることが分かる。また、2 つのアンテナ結合度は -20dB 以下であり、低い結果であった。車車間通信用アンテナとしてフランクリンアンテナを用いた結果、水平面内に高利得を得られたが、アンテナの高さが 56mm と高いため、次にアンテナを低背化することを考える。

## 4 2層構造 MSA

### 4.1 アンテナの構造

アンテナをより低背化するために、車車間通信にも MSA を用いる。2層構造 MSA の構造を図 5 に示す。

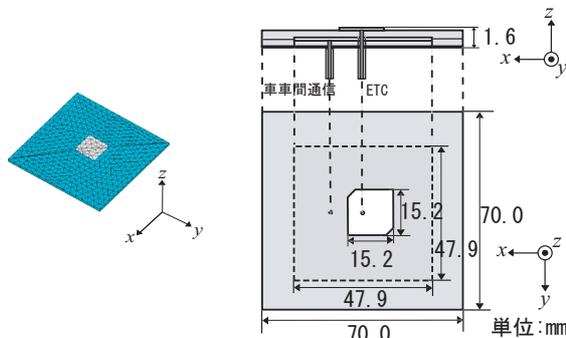


図 5 2層構造 MSA

MSA の基本モードでは水平面内に高利得で無指向性にするのは難しい。したがって、高次モードの MSA を利用し、車車間通信に必要な車の進行方向に対し前後方向の指向性となるようにする。第 1 高次モード, 第 2 高次モードは水平面内の利得がそれぞれ前後方向に、0.42dBic と 2.95dBic であるため、本研究では第 2 高次モード MSA を車車間通信用として用いる。

第 2 高次モードの MSA は、中心部の電圧は 0 となるため、同軸ケーブルの外導体を短絡させることができ、内導体で ETC 用 MSA に給電する。ETC 用 MSA と車車間通信用 MSA は共に  $x$  軸上のインピーダンスが 50 で整合がとれる位置とする。

### 4.2 アンテナ単体の数値解析

ETC 用 MSA および車車間通信用 MSA に給電した場合に対して、数値解析結果を以下に示す。

#### 4.2.1 ETC

ETC 用 MSA に給電した場合の垂直面内指向性 ( $\theta = 0^\circ \sim 360^\circ$   $\phi = 0^\circ$ ) を図 6 に示す。

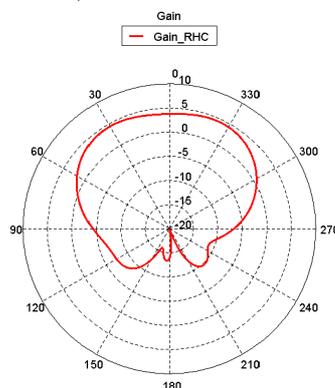


図 6 垂直面内指向性

ETC 路側アンテナ方向である  $\theta = 23^\circ$ ,  $\phi = 0^\circ$  では利得が約 4.3dBic 得られている。

#### 4.2.2 車車間通信

車車間通信用 MSA に給電した場合の水平面内指向性 ( $\theta = 90^\circ, \phi = 0^\circ \sim 360^\circ$ ) を図 7、垂直面内指向性 ( $\theta = 0^\circ \sim 360^\circ, \phi = 0^\circ$ ) を図 8 に示す。

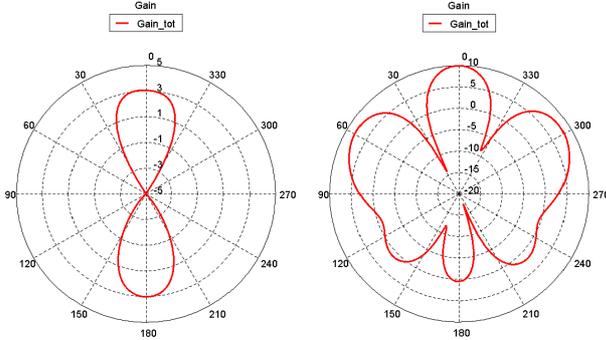


図 7 水平面内指向性

図 8 垂直面内指向性

図 7 より、水平面内の利得は前後方向 ( $\phi = 0^\circ, 180^\circ$ ) に約 3.0dBi である。通信に必要な利得 1dBi 以上を確保できる範囲は  $\phi = 0^\circ \sim 22^\circ, 159^\circ \sim 201^\circ, 337^\circ \sim 360^\circ$  であり、前後方向に約  $40^\circ$  の範囲である。また、図 8 より、 $\theta = 0^\circ, 60^\circ, 300^\circ$  に約 8 ~ 10dBi の不要な放射が見られる。

#### 4.3 考察

ETC、車車間通信用 MSA とともに通信方向に目標値以上の利得を得られた。リターンロスはいずれにも給電しても -10dB 以下であり、整合が取れている。また、結合度は -15dB 以下であり、低い結果であった。しかし、車車間通信用 MSA では斜め上方に不要な放射があるため、これを抑圧することで、より水平面内の利得を高めることができると考えられる。また、アンテナの幅と奥行きが長い場合、誘電率やアンテナの形状を変えることによって、より小形化が可能だと考えられる。

### 5 車載アンテナの数値解析

車載アンテナの放射特性は車体によって影響を受けることから、車体を考慮した評価をする必要がある。しかし、自動車モデルのような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を要する。また、実験でアンテナの特性を評価する場合、あらゆる車種を用いて実験を行うことはコストがかかる。よって、本研究では自動車モデルの近似モデルとして円板モデルを用いる簡易な指向性評価法によって、提案するアンテナを評価する [2]。また、自動車、ルーフ + ピラーモデルでも同様に解析を行ない、簡易な指向性評価の有用性を検証する。

本研究では、車体モデルを含めた解析に PO(Physical Optics) を利用しているが、FEKO では PO と誘電体を同時に使用することはできない。したがって、2 層構造 MSA 単体の解析結果から等価磁流アンテナを作成し、解析に用いる。

#### 5.1 解析モデル

自動車モデル、ルーフ + ピラーモデル、円板モデルで解析を行う。解析モデルを図 9 に示す。アンテナはルーフ前方端から 20cm の位置に設置する。

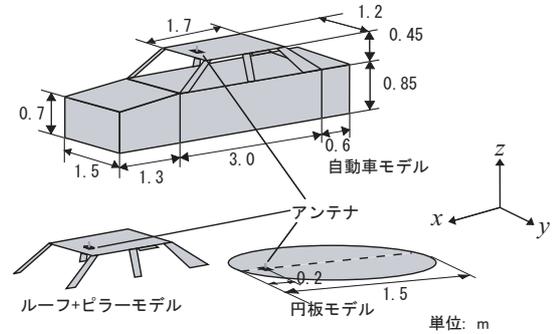


図 9 解析モデル

#### 5.2 車載アンテナの数値解析

フランクリン・MSA 統合アンテナと 2 層構造 MSA の車車間通信用アンテナに給電し、数値解析を行う。紙面の都合により車車間通信用のみについて記す。

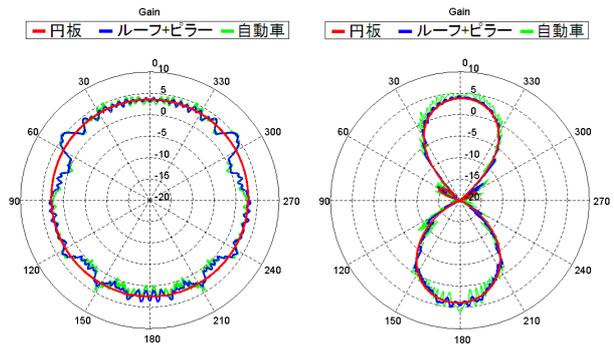


図 10 フランクリン・MSA

図 11 2 層構造 MSA

図 10, 11 より、どちらのアンテナも指向性の概形は類似しており、ルーフ + ピラーモデルと自動車モデルには細かいリップルがあることが分かる。また、円板モデルでの解析結果から、水平面内の利得はフランクリン・MSA 統合アンテナは 2.5 ~ 3.5dBi、2 層構造 MSA では前後方向に 3.5 ~ 4.0dBi 得られている。水平面内 ( $\theta = 90^\circ, \phi = 0^\circ \sim 360^\circ$ ) の平均利得値を表 2 に示す。

表 2 水平面内の平均利得値 (dBi)

	フランクリン・MSA	2 層構造 MSA
自動車	2.62	0.26
ルーフ + ピラー	2.71	-1.15
円板	2.96	-1.77

表 2 より、フランクリン・MSA 統合アンテナはどのモデルでも平均利得の差が約 0.34dBi であり、差が小さいことが分かる。2 層構造 MSA では、約 1.5dBi の差があるが、通信に用いる  $\theta = 0^\circ \sim 30^\circ, 150^\circ \sim 210^\circ$ ,

330° ~ 360° の平均利得の差は約 0.9dBi であり、通信方向にはより近い値が得られた。

### 5.3 考察

アンテナを車載して解析した結果、どちらのアンテナを車載しても必要な利得が得られることが分かった。また、自動車モデルと円板モデルの解析結果より、類似した指向性が得られ、平均利得も近い値となった。解析時間は自動車モデルと比較して円板モデルでは 1/5 以下で計算が可能であった。したがって、自動車の近似モデルとして円板を用いることは有用であるといえる。

## 6 アンテナの設置位置と通信電力

アンテナの設置位置は、電波の放射に影響すると考えられるため、図 12 のようにアンテナの設置位置を変えて解析を行う。

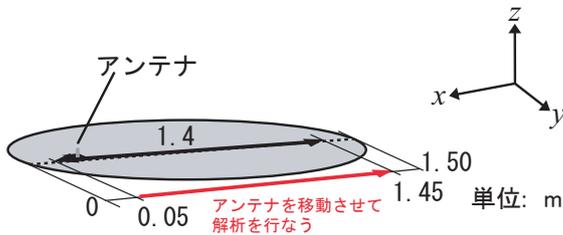


図 12 アンテナ設置位置の変化

アンテナは、円板モデルの前端から 0.05 ~ 1.45m の範囲で 5mm 間隔 (281 箇所) に移動させ数値解析を行った。

解析の結果、水平面内における前後方向 ( $\theta = 90^\circ, \phi = 0^\circ, 180^\circ$ ) の利得は、フランクリン・MSA 統合アンテナでは変動幅が約 0.09dBi であり、変化が小さかった。2 層構造 MSA では約 0.8dBi の変動が見られた。

次に、フリスの伝達公式を用いて、送受信総合特性を評価する。本研究では自由空間での通信とした。距離  $r$  離れた送受信アンテナの利得をそれぞれ  $G_t, G_r$  とし、送信アンテナに電力  $P_t$  が供給されたときの受信電力  $P_r$  は次の式で表される [6]。

$$P_r = \frac{\lambda^2 G_t G_r P_t}{(4\pi r)^2} \quad (1)$$

式 (1) より、受信電力は送受信アンテナの利得の積となる。したがって、利得の積が最大となるアンテナの設置位置において、フリスの伝達公式を用いてアンテナの受信電力を計算した。送受信アンテナ間の距離に対する受信電力を図 13 に示す。

図 13 より、どちらのアンテナでも通信距離が約 260m 以内で目標値である -80dBm を得られており、十分な距離で通信できることが分かる。

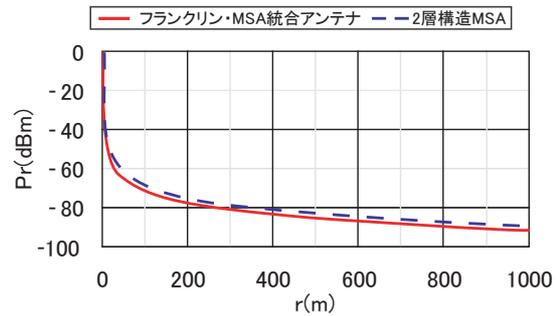


図 13 アンテナ間の距離と受信電力

## 7 おわりに

2 種類の ETC・車車間通信用統合アンテナを提案した。どちらのアンテナも ETC と車車間通信の目標値を得ることができた。しかし、誘電率やアンテナの構造を考慮することでより小形化の必要があると考えられる。

車載時のアンテナを解析するために簡易な指向性評価を行なった。解析結果の比較から、類似した指向性が得られ、解析時間も大幅に短縮することができるため、この簡易な評価法は有用であるといえる。また、その結果から、提案したアンテナを車載しても十分な利得が得られることが分かった。

アンテナの設置位置を考慮し、フリスの伝達公式を用いて受信電力を求めた。車車間通信では 260m の通信範囲が確保できることが分かり、提案したアンテナは十分な性能であるといえる。しかし、計算は自由空間での通信としたものであるため、道路や建造物による反射の影響を考慮していない。より現実に近い電波伝搬環境での計算を行うことが今後の課題である。

## 参考文献

- [1] 西川訓利, “車載アンテナの VHF 帯および UHF 帯における特性解析に関する研究”, 名古屋大学博士論文 (1986).
- [2] 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).
- [3] 弓長捷, 木村恒人, 道下尚文, 山田吉英, “多層構造多周波共振マイクロストリップアンテナとその車内設置時の特性”, IEICE Technical Report, AP2005-68.
- [4] 国土交通省道路局ホームページ, <http://www.its.go.jp/ITS/j-html/>.
- [5] FEKO ホームページ, <http://www.feko.info/>.
- [6] 稲垣直樹, 電磁波工学, 丸善株式会社 (1998).
- [7] 羽石操, 平澤一紘, 鈴木康夫, 小型・平面アンテナ, 電子情報通信学会 (1996).