

車車間通信用車載アンテナの低背化に関する研究

M2005MM029 島田 裕一

指導教員 稲垣 直樹

1 はじめに

ITS(Intelligent Transport Systems: 高度道路情報システム)[1]の進展に伴い車載アンテナの需要は増大し、新たな技術に対応するアンテナ開発の取り組みがなされている。現在ではETC(Electronic Toll Collection System: 自動料金収受システム)やVICS(Vehicle Information and Communication System: 道路交通情報システム)などのITS技術が定着し、その次の技術としてDSRC(Dedicated Short Range Communication: 狭域専用通信)の中で標準化が進められている車車間通信が注目されている。

車車間通信に用いるためのアンテナは、水平面内指向性が無指向性で指向性利得が最低1dBi以上必要とされている。しかし、自動車のルーフに搭載するアンテナの指向性は、有限グラウンドによる回折により最大方向が水平面から数十度上向きに強くなるため、車車間通信に必要な水平面内指向性利得を得るのが難しい。先行研究[2, 3]によると、給電点を一定の間隔で置いた多点給電モノポールアンテナを提案し数値解析を行った結果、アンテナが長く、アンテナ高部に多くの電流を流すと、回折による仰角方向の指向性を抑え水平面内指向性利得が大きくなることが分かった。しかしながら、車載アンテナを設計する上でアンテナの破損や車両意匠との整合性などの問題から、アンテナを低背化した小形アンテナが望ましい[4]。また、先行研究[2, 3]で提案した多点給電モノポールアンテナを実現するには給電系が複雑になり、構造的に設計するのが難しい。そこで先行研究[2, 3]の解析結果をふまえ、新たにグラウンドから高い位置で給電するために同軸線路を用いたアンテナと本来給電すべき場所にリアクタンスを装荷したアンテナを考案することで、これらの問題点を解決できると考えた。

本研究の目的は、車車間通信への応用を仮想技術目標とし、車車間通信用車載アンテナについて高利得化と低背化という相矛盾する問題点を解決するため、水平面が無指向性で指向性利得2dBiを保ちながら、自動車の意匠を損ねないように実用的なアンテナ高60mm以下の小形アンテナを設計し低背化することである。

本研究ではアンテナを考案する際に3次元電磁界シミュレーションソフトFEKO[5]を利用し電磁界解析する。そして提案したアンテナの放射特性や周波数特性を検証することにより、アンテナ特性を満たしているか考察する。はじめにアンテナ高部に多くの電流が流れる特徴を持つスリーブアンテナを用いて有効性を評価する。そしてスリーブアンテナを低背化し車車間通信に必要な指向性利得を得られるか考察する。次に先行研究[2, 3]

で提案した多点給電モノポールアンテナの実現方法として、スリーブアンテナを応用した新たなアンテナを提案する。同軸線路の外側に2つのスリーブを被せその間を短絡させた構造で、外観から「たけのこアンテナ」と呼び設計する。そしてたけのこアンテナの解析結果と先行研究[2, 3]の解析結果と比較し、実用的なアンテナ高でかつ車車間通信に十分な指向性利得を持っていることを立証する。

2 車車間通信について

DSRCとは狭域専用通信技術を意味し、国際標準の周波数5.8GHz帯の電波を使用し、直径約数mからおよそ約30mの限られた通信範囲において最大4Mbpsの転送速度で双方向通信ができる。DSRCは通信対象や形態によって車車間通信、路車間通信、路人・車人間通信に分類される。その中で車車間通信は、走行する車両同士の間で直接行われる通信のことで、自動車同士の衝突を回避したり、走路周辺の環境情報やドライバーの意思情報を周辺車両に情報通信できたりする次世代ITS技術の1つである。車車間通信の概要を表1に示す。

表1 車車間通信の概要

周波数帯	5.8GHz
偏波の種類	直線偏波
水平面内指向性	無指向性
水平面内指向性利得	1dBi以上

3 車車間通信用スリーブアンテナの提案

スリーブアンテナは垂直に立てた同軸線路の先端を給電点として、先端に長さ1/4波長の垂直導体を接続し、同軸線路の外部導体に長さ1/4波長の同筒形の管(スリーブ)を被せ、その始端を同軸線路の外部導体に短絡した構造のものである。またスリーブの終端は開放端となっており、スリーブ開放端から中を見たインピーダンスが無限大になるのでスリーブ内部に電流が流れ込まず不平衡電流を阻止することができる。

3.1 アンテナ構造

提案したスリーブアンテナの構造は図1の通りである。垂直導体の半径は内部導体より0.3mm大きい1.3mm、外部導体とスリーブの間隔を2mmにし、垂直導体先端に半径4.36mmのキャップを被せる。これは、垂直導体を太くし短くして先端にキャップを被せることでインピーダンス整合を取るためである。また同軸線路の特性インピーダンスは50Ωであり、解析の便宜上、内部導体と外部導体の間は真空(比誘電率 $\epsilon_0 = 1$)とする。

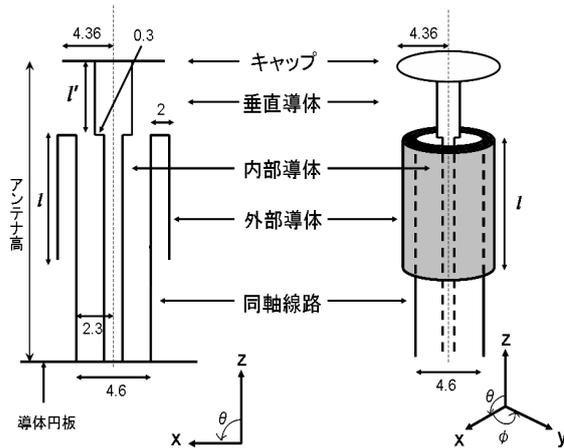


図1 スリーブアンテナの構造 [単位: mm]

3.2 数値解析結果

上記のアンテナ構造で設計したスリーブアンテナの数値解析結果を表2と以下に示す。解析にはすべての自動車を近似的に代表するものとして直径1.5mの導体円板を用い、導体円板中央にアンテナを搭載する。

表2 スリーブアンテナの数値解析結果

アンテナ高 [mm]	指向性利得 [dBi]	最小リターンロス [dB]
60	-0.22	-18.5
55	2.05	-34
50	2.11	-62
45	2.0	-44
40	1.85	-60

● 放射特性

アンテナ高60mmから解析し5mm毎に低背化していった結果、アンテナ高が50mmのときに最大水平面内指向性利得2.11 dBiを得た。また45mmまで低背化できた。一例としてアンテナ高50mmのときの指向性図を図2に示す。

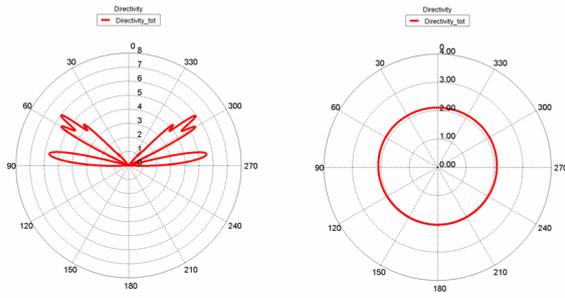


図2 スリーブアンテナの指向性利得 [単位: dBi]

● 周波数特性

すべてのアンテナ高において最小リターンロス-10dB以下を満たし整合も取れている。一例としてアンテナ高50mmのときのリターンロスとスミスチャートを図3に示す。

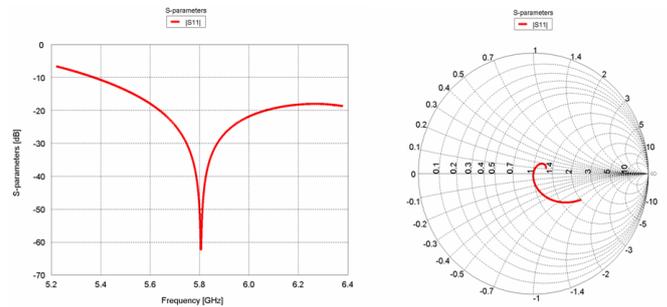


図3 スリーブアンテナのリターンロス (左図 [単位: dB]), スミスチャート (右図), (周波数範囲: 5.2GHz~6.4GHz)

3.3 考察

アンテナ高部に多くの電流が流れる特徴を持つスリーブアンテナを利用し数値解析した結果、実用的なアンテナ高で目標としていた指向性利得を得ることができた。しかし、先行研究の解析結果と比較すると、すべてのアンテナ高において指向性が仰角方向に数十度強いことが分かる。多点給電モノポールアンテナは底部の給電点が仰角方向の指向性を抑えて水平面の指向性を拡大していると考えられる。スリーブアンテナでは高部1点の給電であるため仰角方向の指向性を抑えることが望ましい。

4 車車間通信用たけのこアンテナの提案

多点給電モノポールアンテナを実現するためにスリーブアンテナを応用した新たなアンテナを提案する。同軸線路の外部導体の外側に2つのスリーブをかぶせてその間を短絡する構造で、外観から「たけのこアンテナ」と呼ぶことにする。

短絡線路のインピーダンス Z は、位相定数を β 、短絡線路の長さを l 、特性インピーダンスを Z_0 とすると、

$$Z = jZ_0 \tan \beta l \quad (1)$$

で表される。スリーブアンテナはスリーブの長さが1/4波長なのでインピーダンスが無限大となり電流が流れ込まない。一方たけのこアンテナは、スリーブの長さを1/4波長から短絡位置を上下させ長さを変化させることによって短絡線路内に電流が流れるようになる。そして短絡スリーブがリアクタンスとして動作する。本来給電すべき場所にリアクタンスを装荷することによってアンテナ上の電流分布を制御することができ、水平面内指向性利得を増加させることができるため、リアクタンス部分を作るのにこのような形状にした。

4.1 アンテナ構造

提案したアンテナの寸法と構造はそれぞれ表 3 と図 4 の通りである．同軸線路の外側に外部導体から 1/4 波長短いスリーブを被せる．さらにその外側に内側スリーブから 1/4 波長短いスリーブを被せる．そしてそれぞれの間で短絡させる．短絡位置は水平面内指向性利得が最大になるように OPTFEKO で最適化する．同軸線路の特性インピーダンス Z_0 は 50Ω とし，内部導体と外部導体の間は真空（比誘電率 $\epsilon_0 = 1$ ）とする．

表 3 たけのこアンテナの寸法 [単位: mm]

アンテナ高	60
内部導体の半径	0.5
外部導体の半径	1.15
内側スリーブの半径	2.15
外側スリーブの半径	3.15

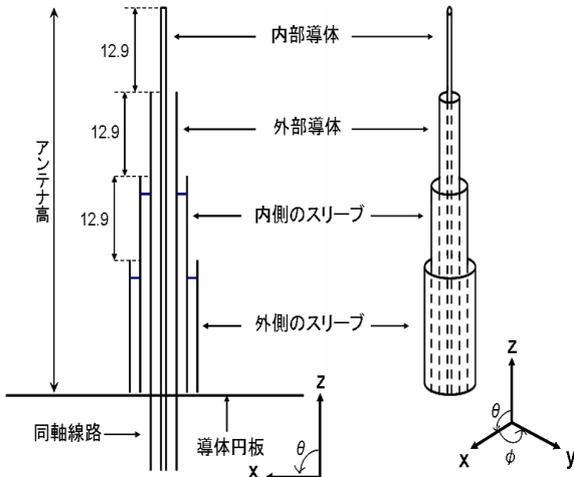


図 4 たけのこアンテナの構造 [単位: mm]

4.2 短絡位置の最適化

本研究で行った最適化方法として Grid Search 法を用い，スリーブの先端から 1/2 波長の長さの間で 1mm ごとに短絡をずらして指向性利得を求めた．各短絡位置での指向性利得を求めることで，指向性利得が最大となる短絡位置の組み合わせを求めた．

4.3 数値解析結果

上記のアンテナ構造で設計したたけのこアンテナの数値解析結果を以下に示す．

表 4 たけのこアンテナの数値解析結果

内側の短絡位置 [mm]	6.2
外側の短絡位置 [mm]	11.2
水平面内指向性利得 [dBi]	3.5

● 放射特性

図 5 とスリーブアンテナの図 2 を比較すると，垂直面内指向性は抑えることができ，水平面内指向性利得が良くなっていることが分かる．水平面内指向性利得は 3.5dBi となり，目標としていた 2.0dBi を大きく上回ることができた．

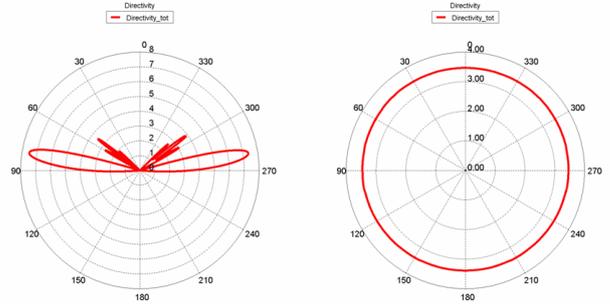


図 5 たけのこアンテナの指向性利得 [単位: dBi]

● 短絡位置を変化させたときの指向性利得の変化

短絡位置の最適化を 1/2 波長の範囲で行ったときの水平面内指向性利得の変化を図 6 に示す．図の左下端を原点とし横軸は内側の短絡位置を，縦軸は外側の短絡位置を表している．このとき，横軸 10mm 前後の縦方向と縦軸 11mm 前後の横方向を見ると指向性利得が良いことが分かる．

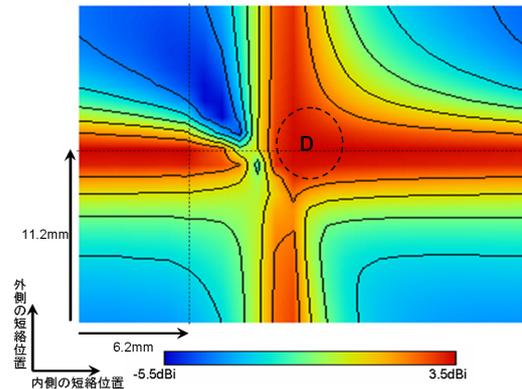


図 6 短絡位置を変化させたときの指向性利得の分布

4.4 考察

多点給電モノポールアンテナの実現に向け，短絡スリーブをリアクタンスとして動作させる目的でアンテナを設計した．その結果，アンテナ高を 60mm としたときの水平面内指向性利得は 3.5dBi を得ることができた．これは，短絡スリーブがリアクタンスとして動作することによって仰角方向の指向性が抑えられ，水平面の指向性が良くなったと考えられる．しかし，共振周波数 5.8GHz に合わせたときリターンロス -10dB 以下の周

波数帯域幅がおよそ 200MHz とやや狭帯域特性となつてしまう。また、短絡位置によって指向性利得が大きく変化するので、実際設計するときは短絡位置を利得の寸法に対する感度の良いところ、すなわち図 6 中の領域 D 内で製作することにより設計上の誤差を最小限にすることができると考えられる。

5 たけのこアンテナと装荷モノポールアンテナの特性比較

たけのこアンテナの特性を確認するため、モノポールアンテナにリアクタンスを装荷した装荷モノポールアンテナの特性を解析する。アンテナ構造はたけのこアンテナと同じ寸法で設計する。

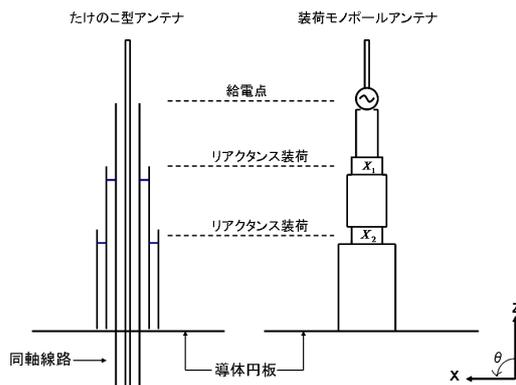


図 7 装荷モノポールアンテナの構造

5.1 装荷モノポールアンテナの解析結果

図 8 はリアクタンスを装荷しない場合の指向性 (左図) とリアクタンスを装荷したときの指向性 (右図) である。リアクタンスを装荷しないときはアンテナ高部 1 点の給電で、アンテナ高 60mm のときのスリーブアンテナのように指向性が仰角方向に強く水平面内指向性利得が悪い結果となった。リアクタンスを装荷したときは仰角方向の指向性が抑えられ水平面内指向性利得がよいことが分かる。これによりリアクタンスを装荷することで水平面内指向性利得が増加することが分かった。

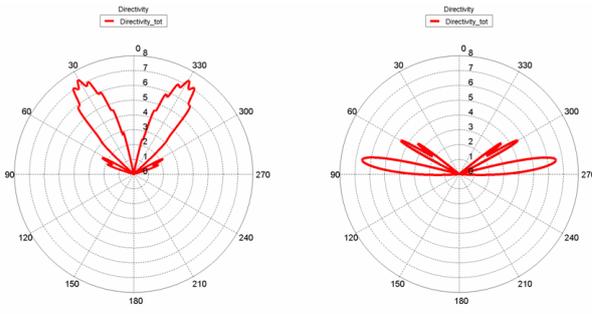


図 8 無装荷の場合の指向性利得 (左図)、装荷した場合の指向性利得 (右図)[単位: dBi]

6 むすび

本研究では車車間通信用車載アンテナの実現に向け、先行研究 [2, 3] をふまえて提案したアンテナのアンテナ特性を考察しアンテナを低背化することを目指した。

アンテナ高部に多くの電流が流れるアンテナとしてスリーブアンテナを設計し数値解析した結果、最大水平面内指向性利得はアンテナ高が 50mm のときに 2.11dBi を得ることができ、アンテナ高を 45mm まで低背化することができた。また、インピーダンス整合を取るために先端にキャップを取り付けることで解決した。しかし、先行研究の解析結果と比較すると、回折により指向性が仰角 30° 付近の方向に強く、仰角方向の指向性を抑えることで水平面内指向性利得を増加できると考えられる。

次に、先行研究 [2, 3] で提案した多点給電モノポールアンテナの実現方法として、たけのこアンテナを提案した。その結果、アンテナ高を 60mm としたとき、最大水平面内指向性利得は 3.5dBi と目標値を大きく上回る結果となった。さらに短絡位置を上下変化させることで指向性利得が大きく変化することが分かった。しかし短絡スリーブがリアクタンスとして動作することでやや狭帯域特性となってしまった。

本研究で提案したたけのこアンテナは実用的なアンテナ高で指向性利得も目標値を上回る構造を実現している。このアンテナの更なる実現化に向けて同軸線路に誘電体を入れた解析を行い、現在のアンテナ構造ではやや狭帯域であるので、構造を工夫して十分な帯域を得られるようにする必要がある。また、スリーブの数を増やし短絡スリーブを増やすことで指向性利得が増加するか、実際に自動車に搭載したときのアンテナ特性について考察することが今後の課題である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多大な御指導を頂いた稲垣直樹教授に深謝する。また、有益な御助言や御討論を頂いた藤井勝之講師ならびに研究室一同に感謝する。

参考文献

- [1] 総務省電波利用ホームページ, 高度道路交通システム (ITS), <http://www.tele.soumu.go.jp/>.
- [2] 小嶋祐紀, 水野雄太, 武藤雄嗣, “車載低背アンテナの水平面内指向性利得に関する研究,” 南山大学数理情報学部情報通信学科 2005 年度卒業論文 (2006.1).
- [3] 稲垣直樹, 武藤雄嗣, 水野雄太, 小嶋祐紀, 島田裕一, “車載低背アンテナの水平面内指向性利得について,” 電子情報通信学会総合大会 (2006).
- [4] 大江準三, 西川訓利, “自動車におけるアンテナ技術,” 電子情報通信学会論文誌 B Vol.J89-B No.9 pp.1569-1579(2006.9).
- [5] EM Software & Systems-S.A.(Pty)Ltd : FEKO User's Manual Suite 5.2(2006.8).