

車車間通信用アンテナの平板化に関する研究

M2006MM023 小川 泰史

指導教員 稲垣 直樹

1 はじめに

移動体通信技術の発達は近年目覚しく、自動車においてはITS(Intelligent Transport Systems) [1] の進化と普及により、安全運転の支援、交通渋滞の軽減などに大きく貢献することが期待されている。その移動体通信は無線通信が主体であり、アンテナの果たす役割はますます重要になる [2]。車車間通信用アンテナの水平面内指向性利得は車載時に平均 1.0 dBi、車を実験用の円形導体板に置き換えた場合には 4.0 dBi が必要とされている。

先行研究 [3] では、リアクタンス装荷モノポールアンテナが研究され、それを実現する一形態として「たけのこアンテナ」が提案されたが、円形導体板搭載時の水平面内指向性利得 3.5 dBi であり、更に 0.5 dBi 以上利得を高くすること、大量生産にふさわしい構造にすること、の2点が課題として残されていた。そこで、本研究では円形導体板搭載時の水平面内指向性利得が 4.0 dBi 以上、大量生産に適した平板構造のアンテナ設計・製作を行い、要求性能を満たすアンテナにすることを目的とする。

2 研究目的と方法

2.1 車車間通信の概要

本研究では、円形導体板搭載時に水平面内指向性利得が 4.0 dBi 以上、大量生産に適した平板構造であること、の2点を満たすアンテナの設計を行う。設計を行ったアンテナを製作し、理論値と実測値の利得、リターンロスと比較から、要求性能を満足させる車車間通信用アンテナにすることを目標とする。はじめに、先行研究で用いられた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	5.8 GHz
偏波の種類	垂直偏波
水平面内指向性	無指向性
水平面内指向性利得	4.0 dBi

2.2 たけのこアンテナ

先行研究で提案された「たけのこアンテナ」の構造を図 1 に示す。アンテナの構造は、中心が内部導体で、内部導体から $\frac{1}{4}$ 波長短い外部導体、さらに等間隔に内部スリーブ、外部スリーブを被せている。OPTFEKO で

最適化した深さの位置に短絡をさせることにより、最適なリアクタンス値としての働きをさせている。また、寸法は表 2 で表す。短絡部分の最適化・解析には、3次元電磁解析シミュレーションソフト FEKO [4] が用いられた。

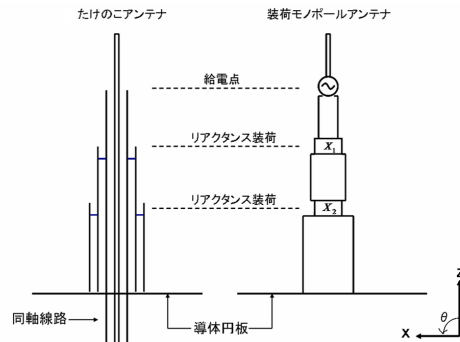


図 1 たけのこアンテナの構造

表 2 たけのこアンテナの寸法

アンテナの高さ	60 mm
内部導体の半径	0.5 mm
外部導体の半径	1.15 mm
内部スリーブの半径	2.15 mm
外部スリーブの半径	3.15 mm

「たけのこアンテナ」の問題点を 2 つ挙げる。

- アンテナの構造上製作が困難であること
短絡部分の少しのずれでアンテナ特性が大きく変わる・給電位置が高い問題
- 水平面内指向性利得が 3.5 dBi に留まること

2.3 目的

「たけのこアンテナ」の製作を試みたが、ハンダ付けの問題、スリーブの切断の問題から、製作が難しく再現性に欠ける問題点が挙げられる。また、給電場所が高い位置であり設置が難しいこともあり、「たけのこアンテナ」は構造的に量産に適していない。そこで、「たけのこアンテナ」を改善するために行うべきことは以下の通りである。

- 給電位置とリアクタンスを加える場所の数
円形導体板搭載時に水平面内指向性利得が 4.0 dBi 以上であれば低位置に給電を設置する。リアクタンスを加える場所の数を 0~5 とする。

● アンテナの平板化

量産が容易になるように誘電体基板を使用し、アンテナを平板化させる。

3 車車間通信用アンテナの設計と平板化

3.1 装荷モノポールアンテナの解析方法

装荷モノポールアンテナを、FEKO を用いて解析を行った。電磁界解析には、すべての自動車を近似的に代表するものとして、図 2 のような半径 1.5m の円形導体板上の中央にアンテナを搭載して解析を行う。

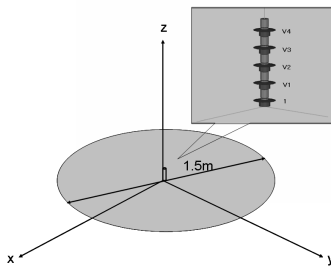


図 2 円形導体板を用いた解析モデル

先行研究では、リアクタンスを装荷させる場所の数が 2, 高位置で給電を行う条件でリアクタンス値の最適化が行われたが、今回は最適なリアクタンスを装荷させる場所の数、給電位置を決めることから始めた。そのため、給電位置を高位置・低位置の 2 箇所、リアクタンスを装荷させる場所の数を変化させることにした。

FEKO で電磁解析を行う際、直径 1.5 m の円形導体板上にアンテナを搭載し、周波数 5.8 GHz 帯で解析を行うと計算機の記憶容量の制限に加え、莫大な計算時間がかかってしまう。そこで、PO(Physical Optics) 法を用い、計算量を短縮させることにした。

3.2 高位置・低位置に給電を設置した時の比較

図 3 は、多給電モノポールアンテナに見立てた装荷モノポールアンテナに、給電位置が高位置・低位置の 2 種類に対して、リアクタンスを等間隔に装荷させたアンテナを表している。アンテナの高さは 6.0 cm である。リアクタンスを装荷させる場所の数は 0~5 である。

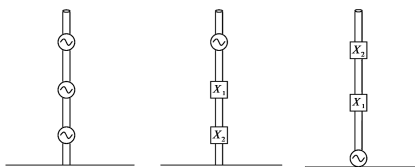


図 3 多給電・高・低位置給電のリアクタンス装荷アンテナ

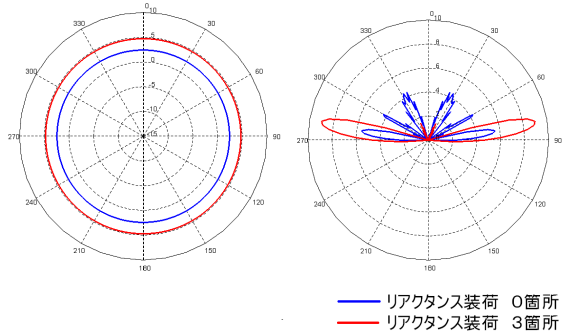
それぞれの水平面内指向性利得を表 3 にまとめた。

表 3 水平面内指向性利得

リアクタンス装荷数	水平面内指向性利得 [dBi] (高位置に給電)	水平面内指向性利得 [dBi] (低位置に給電)
0	2.4	-7.6
1	4.3	4.4
2	2.7	4.2
3	4.7	4.5
4	5.0	-2.4
5	4.9	1.1

リアクタンスを装荷させたことにより、水平面内指向性利得が高くなった。また、給電を低位置で行った場合、リアクタンスを装荷させなかったアンテナはグラウンドの影響を大きく受けてしまったと考察する。

次に、リアクタンスを装荷させることにより、どの程度アンテナの特性が変化するのか比較を行った。給電を行う位置が高位置、低位置の両方で水平面内指向性が高いリアクタンスを装荷させる場所の数が 3 のアンテナ、リアクタンスを装荷させないアンテナの水平面内指向性利得 ($\theta=90^\circ, \phi=0\sim 360^\circ$)、垂直面内指向性利得 ($\theta=-90\sim 90^\circ, \phi=0^\circ$) を図 4 に掲載する。



高位置に給電の水平面内・垂直面内指向性利得

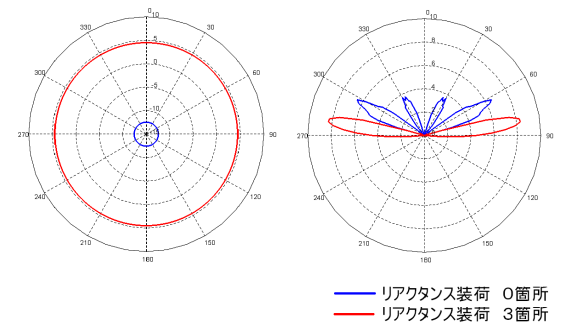


図 4 低位置に給電の水平面内・垂直面内指向性利得

リアクタンスを装荷させなかったアンテナは、仰角(30°, 60°, 300°, 330°) 辺りでおおよそ 4 dBi のサイドローブが現れた。特に給電を低位置で行った場合は、水平面内指向性利得が 0 dBi とグラウンドの影響を受けた分、仰角(60°, 300°) でおおよそ 6 dBi となった。リアクタンスを装荷させたアンテナは、グラウンドの影響を受け、水平面から数十度上向きに最大の利得となってしまうものの、高位置・低位置で給電を行っても目標の 4.0 dBi 以上の水平面内指向性利得となった。そこで、アンテナ製作が容易な低位置で給電を行うことにした。

続いて、給電が低位置の条件で、リアクタンスを装荷させる場所の数が 1~3 で目標の水平面内指向性利得が得られるため、量産に適しているリアクタンスを装荷させる場所の数の検討を行う。そこで、最も水平面内指向性利得の高いリアクタンスの装荷させる場所の数が 3 と 1 の水平面内指向性利得 ($\theta=90^\circ, \phi=0\sim 360^\circ$)、垂直面内指向性利得 ($\theta=-90\sim 90^\circ, \phi=0^\circ$) の比較を図 5 に表す。

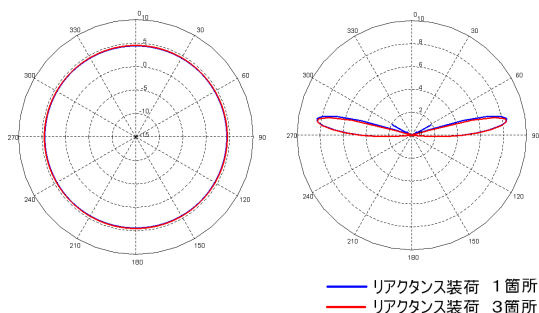


図 5 リアクタンス装荷場所数が 1 と 3 の水平面内・垂直面内指向性利得

水平面内性利得、垂直面内指向性利得の両方で、アンテナ特性にあまり違いがないことが分かるが、リアクタンスを装荷させる場所の数が 1 の指向性利得は、仰角(60°, 300°) 付近に 2 dBi のサイドローブが現れた。しかしながら、サイドローブは小さく、リアクタンスの値を大きくすることでサイドローブを抑制することができる。したがって、給電を低位置で行い、リアクタンスを装荷させる場所の数 1 を採用することにした。

3.3 アンテナの平板化

アンテナは、片面銅箔の誘電体基板を用いてアンテナを平板化させた。素材はガラスクロスとテフロン (PTFE) で構成され、その誘電体基板は比誘電率 2.5、厚さ 1.6mm の積層基板である。今回、誘電体基板は銅箔部分のアンテナの補助を目的として用いるため、低い

値を選んだ。素材は、高い寸法安定性、低い比誘電率、物理的強度の高さ、価格を考慮した。実際にアンテナを車に取り付ける時、ゴムキャップなどを被せることが容易になること、アンテナの意匠を考慮し、台形(上底 10mm、下底 20mm)とした。また、平行な 2 本の円筒電極を用いたリアクタンス装荷方法を用いた。

水平面内指向性利得が最大となるように Grid Search 法、simplex 法を用いて最適化を行った。その結果、リアクタンス値 175、装荷リアクタンスの中心位置 28.25mm となるようなアンテナ設計を行った。

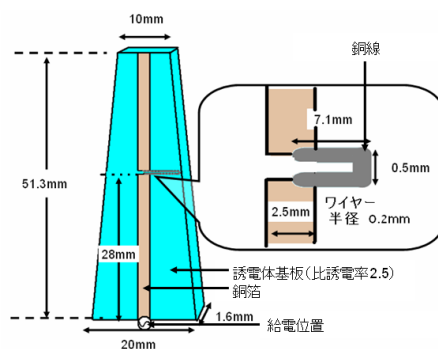


図 6 平板化したアンテナの構造

アンテナの高さを 6.0cm から 5.13cm に変更した点は、車車間通信に利用される 5.8 GHz 帯を共振周波数にするためである。アンテナの高さが 6.0cm では、5.1GHz 辺りで最もリターンロスが小さい値となり共振周波数となっていることがわかる。そこで、アンテナの高さを 0.86 倍し、サイズの変更を行った。その結果、5.8 GHz 辺りが共振周波数となり、車車間通信用のアンテナでのリターンロス値の目標 -10 dB 以下が実現できた。図 7 は、アンテナの高さ 5.13cm と 6.0cm のリターンロスの比較を表している。

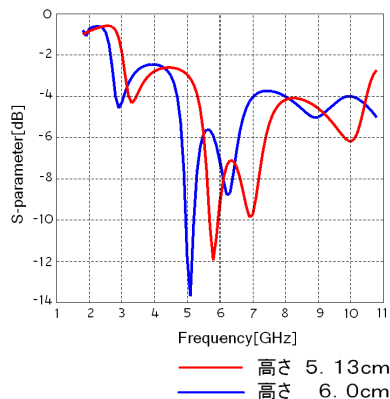


図 7 リターンロスの比較

4 実測値と理論値の比較

4.1 実測値と理論値

設計をもとに製作したアンテナの測定値と，FEKOでの解析結果の比較を行った．それぞれ，5.3～6.3 GHzのリターンロス，周波数 5.8 GHz の時の水平面内指向性利得 ($\theta=90^\circ$, $\phi=0\sim 360^\circ$)，垂直面内指向性利得 ($\theta=-90\sim 90^\circ$, $\phi=0^\circ$)，($\theta=-90\sim 90^\circ$, $\phi=90^\circ$) を図 8 に表している．

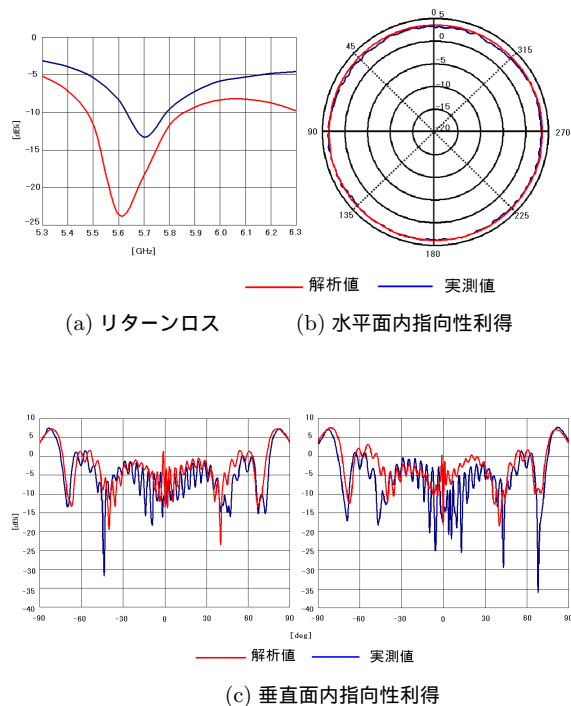


図 8 平板構造のアンテナの特性

水平面内指向性利得，垂直面内指向性利得で似たアンテナ特性が得られた．サイドローブも小さく，水平面内指向性利得も 4.0 dBi となり，車車間通信用アンテナの要求を理論値，実測値の両方で満たす結果となった．リターンロスは，FEKO の解析では 5.5～5.8 GHz の帯域幅 300 MHz で -10 dB 以下となるが，実測値では，5.65～5.8 GHz の帯域幅 150 MHz と狭い範囲となった．実測値は，解析値と比較してリターンロスの影響を理論値以上に受けてしまう結果となった．続いて，図 9 は平板構造のアンテナの実測値と理論値を 100 MHz ごとに区切った，周波数 5.3～6.3 GHz の S パラメータをスミスチャートで表したものである．

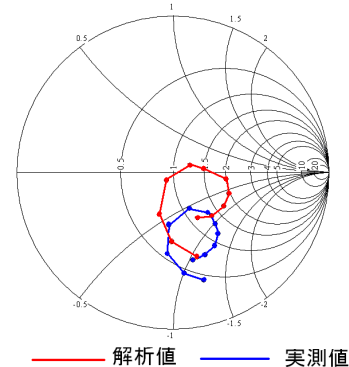


図 9 実測値と理論値の S パラメータの比較

実測値と理論値で特性は似ているが，実測値は静電容量が加わってしまったことが分かる．

4.2 まとめ

水平面内指向性利得は，5.8 GHz で最も高い部分で 4.0 dBi の利得となった．最大と最小の利得の差がおおよそ 0.5 dBi となり，完全な無指向性にはならなかった．また，リターンロスが -10 dB 以下となる帯域幅がおおよそ 150 MHz と狭いため，製作の誤差によってアンテナの特性が大きく変わってしまう可能性が考えられる．

5 おわりに

設計・製作したアンテナの利得，リターンロスの比較を行い，実測値と理論値と良く一致する結果が得られた．そして，円形導体板上に搭載したアンテナの水平方向指向性利得が理論値，実測値の両方で 4.0 dBi と目標の利得となり，要求性能を満足するものとなったことから，この平板構造をしたアンテナは量産に適している．また，リターンロスの問題解決のため，アンテナの高さ 0.87 cm の小形化も実現した．

今後の課題は，リターンロス -10 dB 以下となる帯域幅を広くする点，静電容量が加わってしまった原因究明の 2 点である

参考文献

- [1] 総務省ホームページ (<http://www.tele.soumu.go.jp>).
- [2] 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) .
- [3] 島田裕一，“車車間通信用車載アンテナの低背化に関する研究，” 南山大学 2006 年度修士論文 .
- [4] FEKO ホームページ (<http://www.feko.info/>).