

特定小電力無線のための誘電体アンテナに関する研究

2002MT015 平松 孝仁 2002MT024 岩橋 大輔

指導教員 稲垣 直樹

1 はじめに

無線通信の技術の進展によって人々の電波利用に対する需要が飛躍的に増加し、特に工場やビル内、また一般社会・家庭等において比較的狭い範囲内をサービスエリアとする無線通信の需要が高まっている。これまでの電波利用や無線通信に対する需要には、免許不要で非常に微弱な電波を利用した無線局が使用されてきたが、雑音や混信に弱く、非常に短い距離の間でしか使用できなかった。この問題を改善するために、空中線電力が10mW程度の特定小電力無線局が制度化され、現在もより良い無線局にしていくために、特定小電力無線設備の高度化が行われている。

以上の背景の下で、現在Y社から市販されているテレコントロールエンジンスターターの改良・小形化を目的として研究を進める。昨年の研究ではエンジンスターターの送信リモコンの改良を行った[1]。そこで本研究では特定小電力無線である400MHz帯車載アンテナの改良を行う。放射電力の効率を上げることにより、送信リモコンとの電波到達距離の拡大を目指す。

2 研究方法

本研究で改良の対象とされるY社の車載アンテナに使用しているアンテナの概要を表1に示す

表1 車載アンテナ概要

中心周波数	429MHz
帯域幅	20MHz
指向性	無指向性
利得	-8dBi以下
リターンロス	-10dB以下

近年の携帯用無線端末の急速な普及により、電波需要の増大や無線サービスの多様化が進んでいる。それらの要求を受けて通信機器の小形化に伴い、電波を効率良く送受信する小形アンテナの開発が望まれるようになってきた。小形アンテナの多くは、誘電体共振器アンテナに代表されるように、誘電体を含む構造になっている。

本研究では誘電体を用いたアンテナを設計し、設計したアンテナを3次元電磁界解析シミュレーションソフトFEKOを用いて電磁界解析を行う[2]。解析結果をY社の車載用アンテナ概要と比較することにより、設計したアンテナが車載用アンテナとして実用化するのに十分かどうかを考察する。

3 パッチアンテナ

平面アンテナの一種であるパッチアンテナは線状アンテナに比べ面積を必要とするが、低姿勢という利点から

壁や天井の設置など、車内でアンテナの突出を避けたい場合に適している。受信アンテナは車体内部に取り付けることを前提としているため、平面アンテナを用いることが利便性の面からも適していると考えられる[3]。

3.1 アンテナの設計

パッチアンテナ素子の放射エッジ間の寸法 l は、波長 λ 、比誘電率 ϵ_r とすると式(1)で求められる。パッチアンテナ素子の寸法は通常2分の1波長である。

$$l = \frac{\lambda}{2\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

比誘電率 $\epsilon_r = 2.5$ とし、 l, w 等の寸法を図1のように設定し数値解析を行った。この設計したアンテナを以後、パッチアンテナと呼ぶ。

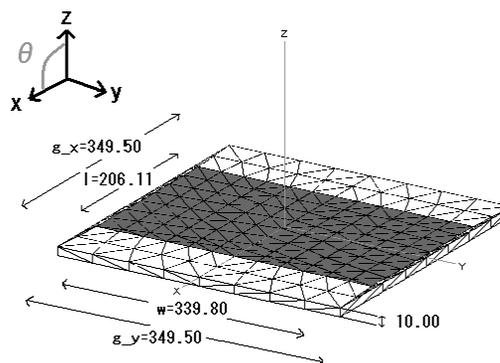


図1 パッチアンテナの構造

3.2 指向性

図2, 図3にパッチアンテナの指向性を示す。指向性とはアンテナの方向に対する感度特性を表すものである。パッチアンテナは受信アンテナとして用いるので無指向性に近い指向性を持つことが理想である。

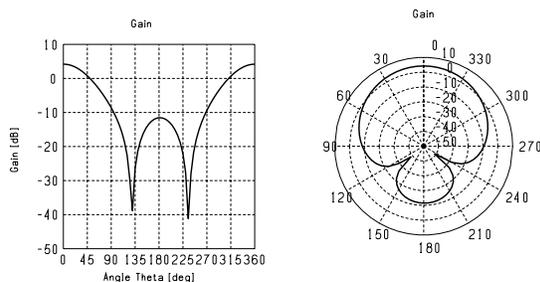


図2 パッチアンテナの垂直面指向性

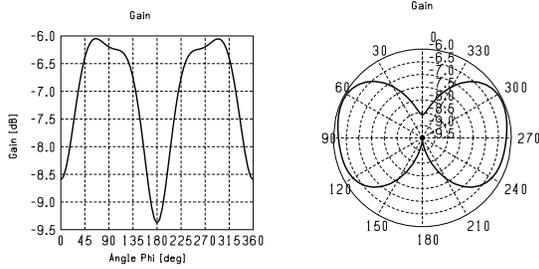


図3 パッチアンテナの水平面指向性

3.3 リターンロス

図4にパッチアンテナのリターンロスを示す。リターンロス図を検証することでアンテナの中心周波数，帯域幅を調べる。リターンロスが -10dB 以下になることが良いアンテナとしての最低条件である。

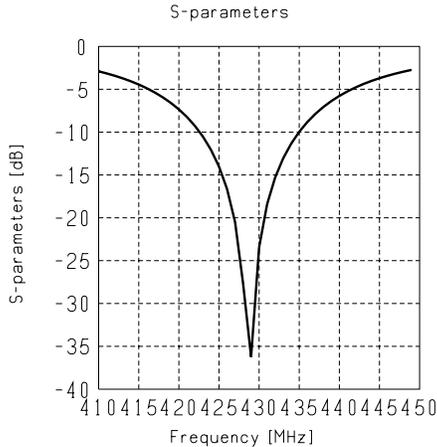


図4 パッチアンテナのリターンロス特性

3.4 解析結果

表2にパッチアンテナの解析結果をまとめる。

表2 パッチアンテナ：解析結果1

中心周波数	429.1MHz
帯域幅	13.0MHz
最大利得	4.67dB
最小リターンロス	-36.5dB

3.5 アンテナの小形化

表2の数値解析では2分の1波長に合わせて，アンテナ素子の大きさを $l = 206\text{mm}$ ， $w = 350\text{mm}$ としているが実際に車載アンテナとして実用するには $l = 80\text{mm}$ ， $w = 80\text{mm}$ 以内にすることが望ましい。そこで誘電体の誘電率を変化させアンテナを小形化する。

誘電率を変化させると，波長が変化するのでアンテナ素子の寸法 l を短くすることができる。幅 w は十分な帯域幅を得られるように270mmと250mmで解析を行った。誘電体の誘電率を $\epsilon_r = 2.5$ から5 10 15のように増加させて，各誘電率における数値を小形化を行う前のパッチアンテナの数値と比較するとともに誘電率の変化によって，アンテナの小形化がきちんと行われているか検証する。

表3に $w=270$ の時の解析結果をまとめる。

表3 解析結果2

誘電率	$l[\text{mm}]$	帯域幅 [MHz]	最大利得 [dB]	最小リターンロス [dB]
$\epsilon_r = 5$	145.37	14.0	4.02	-19.9
$\epsilon_r = 10$	100.22	12.0	2.75	-17.2
$\epsilon_r = 15$	79.92	13.0	3.01	-23.4

表4に $w=250$ の時の解析結果をまとめる。

表4 解析結果3

誘電率	$l[\text{mm}]$	帯域幅 [MHz]	最大利得 [dB]	最小リターンロス [dB]
$\epsilon_r = 5$	146.89	12.0	2.49	-15.0
$\epsilon_r = 10$	99.29	14.0	2.77	-18.9
$\epsilon_r = 15$	81.12	7.0	1.17	-11.8

表1のアンテナ概要と表2の解析結果を比較すると帯域幅が13.0MHzと若干狭く，垂直上方向に指向性を持つアンテナであることがわかる。以上から $l = 206\text{mm}$ ， $w = 350$ の場合のパッチアンテナは数値からみるとY社の基準を満たし車載用アンテナとして用いるのに十分な結果得られた。

次に表3，表4から誘電率を増加することでアンテナ全体の小形化が行われていることが証明できる。パッチの大きさ l については実際に車載アンテナとして利用できる $l = 80\text{mm}$ を満たすことができた。しかし，表2の数値と小形化した時の数値を比較してみると，最大利得と最小リターンロスは小形化する前よりも数値が低下している。今回のパッチアンテナの小形化は数値からみると成功したとはいえない。

4 誘電体共振器アンテナ (DRA)

誘電体共振器アンテナ (Dielectric Resonator Antennas; DRA) は，電気絶縁体としての誘電損失率が小さく，ミリメートルの周波数帯での利用に強誘電体アンテナとしてのポテンシャルを示している。また，低周波数帯での使用にも小形で低コストのアンテナとして利用できる[4]。

4.1 アンテナの設計

図5で示したような構造のDRAの数値解析を行う。設計したアンテナを以後，DRAと呼ぶ。

プローブの中央にアンテナの給電点を配置し， xz 平面で対称になるように直方体誘電体を配置する。DARの構造データは以下の通りである。プローブの高さ $h=115\text{mm}$ ，プローブの半径 $a=7\text{mm}$ ，プローブ中心から誘電体側面までの距離 $d=0.8\text{mm}$ ，グラウンド板の一边 $s_q=330\text{mm}$ ，誘電体の誘電率 $\epsilon_r=12.6$ ，誘電体の大きさ $x=130\text{mm}$ ， $y=83\text{mm}$ ， $z=133\text{mm}$ 。

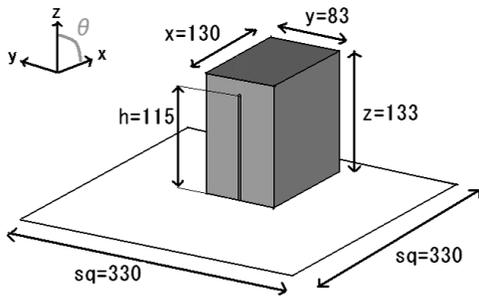


図5 DRAの構造

4.2 指向性

図6, 図7にDRAの指向性を示す.

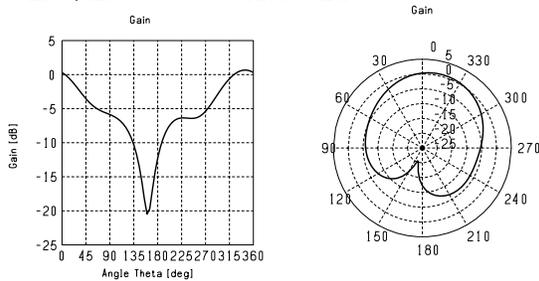


図6 DRAの垂直面指向性

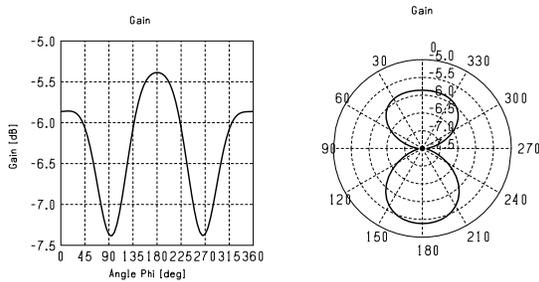


図7 DRAの水平面指向性

4.3 リターンロス

図8にDRAのリターンロスを示す.

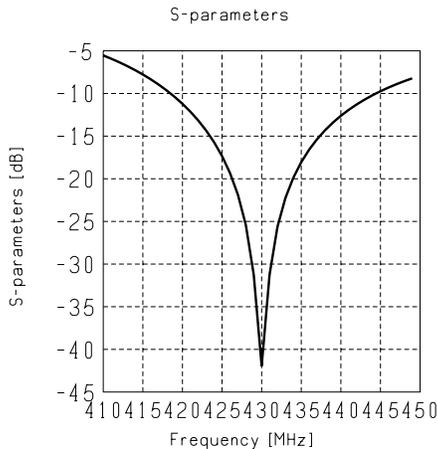


図8 DRAのリターンロス特性

4.4 解析結果

表5にDRAの解析結果をまとめる.

表5 DRA:解析結果

中心周波数	429.6MHz
帯域幅	27.0MHz
最大利得	1.0dB
最小リターンロス	-42.1dB

表5からDRAについて検証する. 帯域幅が27MHzとなっているので前章のパッチアンテナと比べると約2倍となっている. また放射効率も高くなっている. しかし, 指向性利得は垂直上方向が最も強く約1dBで, 水平方向の利得は約-5.8dBで要求を満たしているが, パッチアンテナと比べると値が小さくなってしまった.

5 アンテナのQによる考察

小形化を行ったアンテナが理論的にによりよく整合できているかどうか判断するための指標として, 設計したアンテナのQ値とその大きさの下限Q値を比較する方法がある.

5.1 下限Q値とは

下限Q値は, a を定めたときに可能なQの最小値と定義する. この a はアンテナを取り囲む球体の半径を示している. 下限Q値の算出方法についてはChuによる文献から導き出すことができる [5]. Chuは球面座標系で展開される電磁界表現を使用し, アンテナを取り囲む半径 a の球体の中で蓄積されたエネルギーを回路的に導出することにより下限Q値を算出した. 理論的な下限Q値を式(2),(3)として示す.

$$Q = \frac{1 + 3(ka)^2}{(ka)^3 \{1 + (ka)^2\}} \quad (2)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f}{c} \quad (3)$$

上の式から導き出すことができる下限Q値と設計したアンテナのQ値とを比較することによって設計したアンテナが本研究の目的である特定小電力無線用車載アンテナの小形化を効率良く行われているか判断することができる.

5.2 設計したアンテナの評価

設計したアンテナが効率良く小形化されているか評価する. 評価するアンテナとして受信用車載アンテナであるパッチアンテナとDRAを取り上げる. 以下に取り上げたアンテナのQ値の計算結果を表6に示す.

表6 設計したアンテナの計算結果

アンテナ名	ka	下限Q値	Q値
パッチアンテナ	0.359	26.55	33.01
DRA	0.618	6.578	15.89

下限Q値と設計したアンテナのQ値を比較してみると誤差は多少出たが近い数値を得ることができた. よっ

て今回設計したアンテナは効率良く小形化を行うことができたと考えられる。

6 リモコン送信用アンテナとの組み合わせにおける総合特性の解析・評価

リモコン送信用アンテナと受信用車載アンテナを組み合わせて送受信における総合特性を解析・評価する。送信アンテナは共同研究で設計する三重折り返し板状逆 F アンテナ (Triply Folded Planar Inverted-F Antenna; TFPIFA) を用い、受信アンテナは本研究で設計したパッチアンテナと DRA を用いて電磁界解析し、算出した値と、Y 社の基準アンテナをフリスの伝達公式から求めた理論値で評価する [6]。また、Y 社の基準アンテナと我々が設計するアンテナを比較し電波到達距離の拡大を検証する。基準とする送信アンテナの利得は -12dB、受信アンテナの利得は -8dB である。

6.1 フリスの伝達公式

アンテナが置かれた地点の電界強度からアンテナの受信電力を算出することができる。このときフリスの伝達公式を利用して送受信における総合特性を解析・評価する [7]。送信アンテナから放射された電波が同じ偏波のアンテナで受信されるとき電波は、式 4 によって求めることができる。また式 5 はアンテナにおける電界強度を求める公式である。ここで、各パラメーターは P_t :送信電力, P_r :受信電力, G_t :利得 (送信), G_r :利得 (受信), $L = (4\pi r/\lambda)^2$:自由空間損失, r :送受信距離, E :電界強度, λ :波長である。

$$P_r[W] = \frac{G_t G_r P_t}{L} = \frac{\lambda^2 G_t G_r P_t}{(4\pi r)^2} \quad (4)$$

$$E[v/m] = \frac{\sqrt{30 P_t G}}{r} \quad (5)$$

6.2 総合特性の解析・評価

解析結果を表 7, 表 8 に示す。

表 7 パッチアンテナと基準アンテナの受信電力 [dBW]

距離 [m]	5	50	500	1000
角度				
$\theta=0^\circ$	-49.1	-69.1	-89.1	-95.0
$\theta=90^\circ$	-62.4	-82.5	-102.5	-108.4
基準アンテナ	-76.2	-96.2	-116.2	-122.3

表 8 DRA と基準アンテナの受信電力 [dBW]

距離 [m]	5	50	500	1000
角度				
$\theta=345^\circ$	-52.1	-72.1	-92.2	-98.1
$\theta=270^\circ$	-58.2	-78.2	-98.2	-104.2
基準アンテナ	-76.2	-96.2	-116.2	-122.3

本研究で設計するパッチアンテナ・DRA と TFPIFA における受信電力の実効値は Y 社が基準として定めているアンテナの受信電力の理論値を上回る結果を得られ

た。TFPIFA とパッチアンテナにおける受信電力は Y 社の基準アンテナより、最大利得である $\theta = 0^\circ$ の時は約 27.2dB、水平面である $\theta = 90^\circ$ の時は約 14.8dB 増加し良い結果を得られた。これは送受信距離に換算すると約 23 倍、約 5 倍になり電波到達距離の拡大に成功したと考えられる。次に、TFPIFA と DRA における受信電力は Y 社の基準アンテナより、最大利得である $\theta = 345^\circ$ のとき、約 24.3dB、水平面である $\theta = 270^\circ$ の時は約 18.1dB 増加し良い結果を得られた。これは、送受信距離に換算すると約 16 倍、約 8 倍になり、DRA においても電波到達距離の拡大に成功したと考えられる。

7 おわりに

本研究では、小形化するために誘電体アンテナに着目した。誘電体アンテナは、誘電体が共振することによって波長が $\frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}}$ 倍になることを利用している。

車載受信用アンテナとしてアンテナ高を低姿勢にできる平面アンテナを採用し、パッチアンテナを設計して電磁界解析を行った結果、帯域が若干狭いが電力放射が行われ十分な値をとることができた。しかし、アンテナ全体が大きくなり過ぎてしまい実用化には向かなかった。

次に、小形で放射効率の良い DRA を設計した結果パッチアンテナに比べ 2 倍の帯域をとることができた。しかし最大利得が 1dB と低いので改良の必要がある。

今後の課題として、本研究で作成した二つのアンテナは総合特性の評価から、Y 社が定める基準値を上回り結果として電波到達距離を大幅に拡大することに成功した。しかし数値の面では十分満足できる結果を得ることができたが、実用化の面から考えるとまだアンテナのサイズが大きいのでさらなる小形化が必要である。また実際には道路や障害物等の影響があるので反射波を考慮して解析することでより実用化に向けて精度を高い解析をすることができる。

参考文献

- [1] 登坂展与, 吉田朋子: 特定小電力無線に関する研究, 南山大学 2004 年度卒業論文 (2005)。
- [2] EM Software & System-S.A.(Pty)Ltd:FEKO User Manual(2005.7)。
- [3] 佐藤源貞, 川上春夫, 田口光雄: 現代アンテナ工学, 総合電子出版, pp.175-176(2004.4)。
- [4] 井上貴司:モード展開分極電流モデル解放に関する研究, 名古屋工業大学博士論文 (2003)。
- [5] L.J.Chu:“Physical Limitations of Omni-Antennas”, J.Appl.Phys., Vol.19,pp1163-1175(1984)。
- [6] 鈴木洋佑: 多重折り返し板状逆 F アンテナ, 南山大学 2005 年度修士論文 (2006)。
- [7] 木村磐根: 光・無線通信システム, オーム社出版局, p.25(1998.11)。