

特定小電力無線に関する研究

エンジンスタート-の改良

2001MT104 登坂 展与 2001MT112 吉田 朋子

指導教員 稲垣 直樹

1. はじめに

近年、無線通信分野が普及するにつれて、通信機器はますますの小形化、性能の向上が要求されるようになった。通信機器が小型化されるに従い、アンテナにも小形化が望まれるようになってきた。また、電波利用に対する需要が急激に増加し、特にビル内や一般家庭などの比較的狭い範囲をサービスエリアとする無線設備に対し、需要が急激に増大している。その背景を受け 10mW 程度の比較的小さい空中線電力をもった特定小電力無線局が制度化され、現在ではさらに利便性の向上が図られている。

本研究では、最近開放された 400MHz 帯の特定小電力無線を取り上げる。現在 Y 社では 429MHz 帯のテレコントロールエンジンスタート-を開発しており、さらに利便性を改善させようと改良に取り組んでいる。我々は Y 社と共同研究し、特定小電力無線用小形アンテナに関して研究をする。

2. 研究目的

エンジンスタート-の利用者が携帯するリモコン側に組み込まれるアンテナが長く、利便性が悪いという問題点に着目し、リモコンとして使用するアンテナの縮小、また電波飛距離の拡大を目指すため放射電力の効率を上げるアンテナの構造を考え、FEKO を利用し電磁界解析を行う。

3. FEKO

FEKO とはドイツ語で FEldberechnung bei Korpern mit beliebiger Oberflache (人体の任意形状等を含むフィールド計算)の頭文字を取り合わせたものである。FEKO は三次元の幾何構造を作成し、その電磁界解析に使用することができる。解析アルゴリズムはモーメント法を採用しているので、計算機の性能の範囲内で多種多様な構造体についてのフィールド解析が可能となる。また、非常に大きな金属構造体の解析については、PO (Physical Optics: 物理光学)もしくは UTD (Uniform Theory of Diffraction: 一様回折理論)を採用している。このモーメント法解析に PO、及び UTD 法を混在させることにより、計算上必要とされる資源を縮小する

ことができ、高速かつ正確な計算結果を導くことができる。これによりアンテナ設計、アンテナ配置、マイクロストリップアンテナおよび回路、ストリップライン、誘電媒質、散乱などの解析が可能となる[1]。

4. 特定小電力無線

電波を使用するためには、無線設備などを備えた無線局を開設することになるが、その無線局を開設するためには通常総務大臣の許可を受ける必要がある。しかし次の規定に則していれば免許不要で利用することができる。その無線のことを総称して特定小電力無線と呼んでいる[2]。

- 送信出力 10mW 以下である。
- 総務省で定められる周波数帯、電波方式を利用している。
- 呼出符号・信号を自動的に送受信する機能を持つ。
- 混信防止機能を持つ。
- 定められた連続送信時間内である。
- 無線設備が技術基準適合証明を受けている。

5. エンジンスタート-概要

Y 社で改良の対象とされるエンジンスタート-のリモコンに使用されているアンテナの概要を次に挙げる。

表 1 リモコンのアンテナ概要

周波数帯	429MHz
帯域幅	20MHz
指向性	無指向性
平均利得	-17.15dB

エンジンスタート-のリモコンとして実際に使用しているアンテナの中心周波数は 429.2375MHz であり、帯域幅は 10KHz となっている。

6. 研究内容

改良するエンジンスタート-のリモコンとして使用するアンテナについて、その問題点と改善点を次に挙げる。

6.1. 問題点

- ・ 線状アンテナであるため、アンテナが本体に収まらず利便性が悪い。
- ・ 無指向性であるため全方向に電波を放射し、またあらゆる方向からノイズを拾う。
- ・ 平均利得が低いため、電波到達距離が短い。

6.1. 改善点

- ・ 平面アンテナを用い、本体に組み込む。
- ・ 指向性を持たせ周囲に余計な電波を放射させないことで、小電力でも効率よく伝送できる。
- ・ 指向性を鋭くし、利得を上げることで電波到達距離を拡大する。

本研究ではこれらの要求を満たすアンテナを考え、そのアンテナについて FEKO を用い電磁界解析を行う。

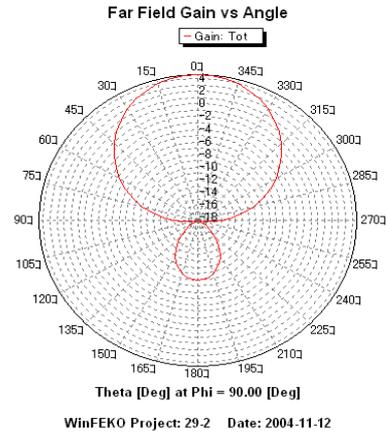


図2 パッチアンテナ A: 垂直面指向性・利得(単位: dB)

7. ピン給電パッチアンテナ A

アンテナに指向性を持たせ一方、つまり前方に向かって電波が放射されるアンテナとして、ピン給電パッチアンテナを用いる。数値実験を行ったアンテナをピン給電パッチアンテナ A とする[3][4]。

7.1. 構造・指向性

パッチアンテナとは誘電体基盤の上に金属板を置き、もう一方の面をグラウンド板(金属板)とした、平面アンテナのことである。平面アンテナは線状アンテナに比べ面積が必要になるが、低姿勢にできる利点がある[5]。

パッチアンテナ素子の放射エッジ間の寸法は、波長 λ 、比誘電率 ϵ_r とすると次式で求められる。本実験では放射エッジを X 軸と平行にした。Y 軸方向の幅 w は十分な帯域幅を得られるように設定する。

$$l = \frac{\lambda/2}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad [\text{m}] \quad (1)$$

給電は本来ケーブルで行っているが、シミュレーションでは時間短縮のため内導体だけをピンとして置き、給電点とする。ピンはアンテナ内で抵抗が 50Ω になる位置に置き、整合を取った。 $\epsilon_r = 3$ とし、 l, w 等の寸法を図 1 のようにして数値実験を行った。また、図 2 にその指向性を挙げる。

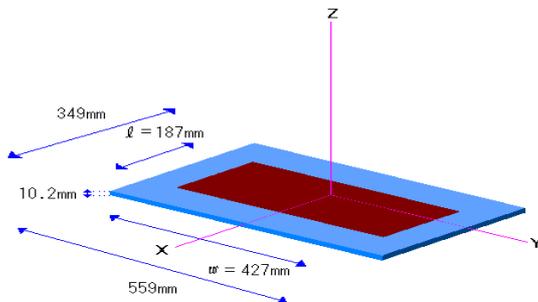


図1 パッチアンテナ A: 構造

図 2 の垂直面指向性を検証すると、上部に向かって一方方向に電波が放射されており、最大利得は 4.3dB となっており、パッチアンテナとしては十分な利得が得られている。

7.2. リターンロス

送信アンテナから放射された電波が、負荷によって反射する電流量、つまり複素反射係数のことを S-パラメータといい、S-パラメータを dB で表し周波数毎に図にしたものをリターンロスという。複素反射係数は次式で求められる。放射インピーダンス (Z_r) を特性インピーダンス (Z_0) で除することにより、規格化インピーダンス (z) を求め簡略化している。

$$S_{11} = \frac{Z_r - Z_0}{Z_r + Z_0} = \frac{z - 1}{z + 1} = \frac{R + jX - 1}{R + jX + 1} \quad (2)$$

式から負荷インピーダンスと反射係数の関係がわかり、電波の放射が効率的に行われているかを確認できる。

さらに、リターンロスを検証することで、アンテナの中心周波数、また帯域幅を調べることができる。リターンロスは 0dB の場合、電源からアンテナへ供給される電力が放射されずに全て反射して電源へ戻ってくる。アンテナで電波が放射されるなどして電力が消費されると反射して戻り電力は減少するため、リターンロスが減少する。これが良いアンテナの条件となり、アンテナとして利用する場合、-10dB 以下にすることが目安である。

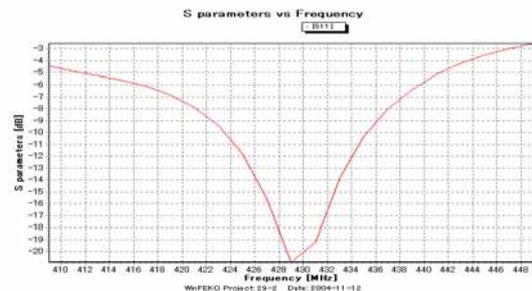


図3 パッチアンテナ A: リターンロス

図3を検証すると、429MHzの時に最小リターンロスが-20.7dB、また-10dB以下になる帯域幅が約10MHzとなり、特定小電力無線として利用するには足り得るものである。

7.3. 考察

指向性、リターンロス等を検証した結果、このピン給電パッチアンテナAは、エンジンスターターのリモコンに使用するアンテナとして用いるのに十分であると結論する。

しかし、この形状ではリモコンに装着することが困難であると判断したため、次にアンテナ素子は大きい状態で、全体の大きさを縮小できるLPFMAを考案する。

8. リモコン用LPFMA

LPFMA(Linear Polarization Folded Microstrip Antenna)は直線偏波折り返しマイクロストリップアンテナのことである。このLPFMAはアンテナ素子が大きい状態で、アンテナ全体の大きさを縮小できる利点を持つ[6]。しかし、電波の放射が上部に向いてしまうので、放射エッジの一方を短絡にし電波が前方に放射される構造を考えた。また、短絡にすることで4分の1波長になり、アンテナ素子を縮小できる。この考案したLPFMAをリモコン用LPFMAとする。

8.1. 構造・指向性

アンテナの構造は、リモコンの大きさに合わせ、パッチを10mm短絡させ、そこから70.6mmの位置で内部に折り返した。内部に折り返したパッチを一直線に伸ばすと、4分の1波長に対応した156.9mmになっている。本数値実験では、軽量化、広帯域化を目的とし、誘電体を使用していない。考案したリモコン用LPFMAの横から見た構造を図4に、正確な計算のため擬似的なりモコンを装着させた全体の構造と指向性を図5に示す。



図4 リモコン用LPFMA：構造

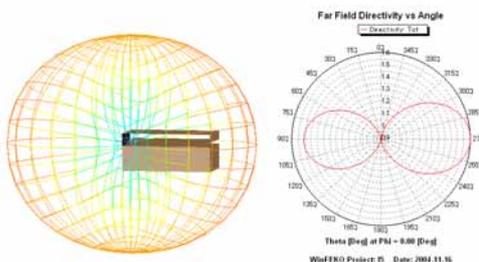


図5 リモコン用LPFMA：構造・垂直面指向性(単位: dB)

図5の垂直面指向性を見ると、最大利得が1.6dBとなっており、ピン給電パッチアンテナAに比べ小さいが、前方

に電力の放射が行われており、エンジンスターターのリモコン用アンテナとして理想的な指向性を持っている。

8.2. リターンロス

リモコン用LPFMAのアンテナとして利用可能な帯域幅の広さや中心周波数、また最小リターンロスの値等の詳細を確認するため、リターンロスを検証する。

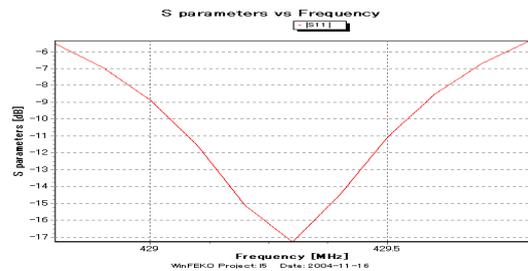


図6 リモコン用LPFMA：リターンロス

図6を検証すると、最小リターンロスは429.3MHzの時に-17.3dBであり、-10dBの帯域幅は約500KHzとなる。この帯域幅はリモコンの要求を満たしているが、実際にリモコンのアンテナとして利用するには、広帯域であることが望ましい。

8.3. 考察

リモコン用LPFMAの実験結果を表2にまとめる。

表2 リモコン用LPFMA：結果

中心周波数	429.3MHz
帯域幅	500KHz
最大利得	1.6dB
最小リターンロス	-17.3dB

リモコン用LPFMAは、全体的にピン給電パッチアンテナAより性能は劣るが、前方に指向性が向いており、エンジンスターターのリモコンとして使用するアンテナとして適切であるといえる。しかし、このリモコン用LPFMAは手の影響を受けやすい表面に装着する構造であり、アンテナを手の影響を受けない最前部に装着することが最も理想的である。この問題点を改良する構造を次に考える。

9. 改良版LPFMA

9.1. 構造・指向性

リモコン用LPFMAを手の影響を受け難い、リモコンの前方から2-3cmの位置に装着し、指向性を前方に向けるため、短絡と給電を前方から2-3cmの位置に置き、開放を最前部にした構造を考案した。横から見た構造を図7に、全体の構造と指向性を図8に挙げる。このアンテナを改良版LPFMAと呼ぶことにする。

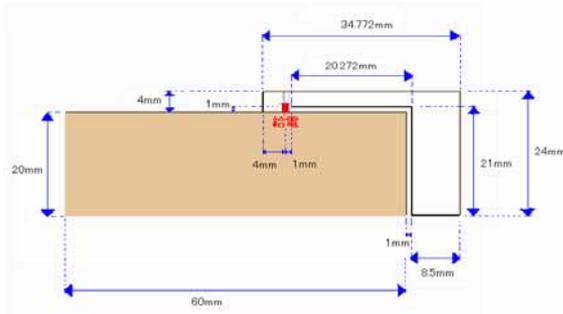


図7 改良版 LPFMA：構造

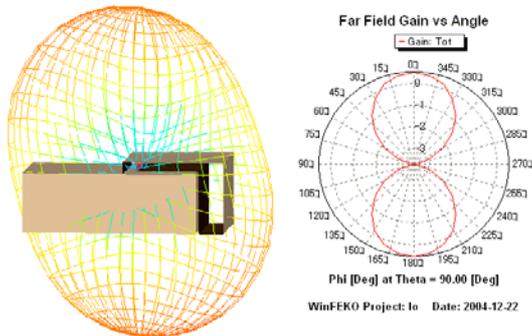


図8 改良版 LPFMA：構造・水平面指向性(単位: dB)

図8で全体の指向性を見てみると、指向性が斜め下を向いているが、水平面指向性の最大利得は1dBであり前方にもリモコンのアンテナとしては十分な利得が得られている。

9.2. リターンロス

最も電波の放射効率が良い周波数、また-10dB以下になる帯域幅を確認するため、リターンロスを検証する。



図12 リモコン用 LPFMA：水平面指向性(単位: dB)

図12から帯域幅は300KHzと確認でき、これはリモコン用 LPFMA より約200KHz 狭くなったことになる。さらに細かく調べた結果、429.239MHz の時に最小リターンロスは-35.4664dB となり、リモコン用 LPFMA に比べ約 18dB 良くなり、電波の放射効率が上がった。

9.3. 考察

本数値実験の結果を以下にまとめる。

表3 リモコン用 LPFMA: 結果

周波数	429.239MHz
帯域幅	300KHz
最大利得(水平面)	1dB
最小リターンロス	-35.4664dB

改良版 LPFMA は手の影響をほとんど受けない位置にアンテナを装着した構造で、中心周波数を 429.2375MHz に近づけることができた。数値実験結果を見ると、リモコン用 LPFMA に比べリターンロスが低く効率は良いが、帯域幅が狭いため、使用周波数が限られてしまう。また、指向性が斜め下を向いており、利得が水平面では1dBと少し劣り、前方に放射される電波が弱くなっている。しかし、リモコンに使用するアンテナとしては十分な放射を得ており、アンテナ全体の長さも縮小できたことから、改良版 LPFMA はさらに小形化を可能にしたといえる。

10. おわりに

本研究ではエンジンスターターのリモコンに使用するアンテナの小形化を目指した。小形化が臨まれる平面アンテナに着目し、その形状を工夫し、FEKO を用い電磁界解析を行った。その結果、放射が効率良く、手の影響を受けない小形アンテナを考案することに成功した。

今後の課題として、本研究で考案したアンテナを実際にリモコンのアンテナとして使用するには帯域幅が狭いため、中心周波数が雑音により少しずれただけで通信できなくなってしまう可能性を持つ。そこで、広い帯域幅を持ち、リモコン用 LPFMA のように指向性が完全に前方を向く構造のアンテナを検討する必要がある。

参考文献

- [1] FEKO ホームページ。
http://www.feko.info/members/release_notes_4-2.html
- [2] 総務省電波利用ホームページ。
<http://www.tele.soumu.go.jp/>
- [3] EM Software & Systems-S.A.(Pty)Ltd: FEKO User's Manual (2004.7).
- [4] EM Software & Systems-S.A.(Pty)Ltd: FEKO Examples Guide, pp.108-117 (2004.7).
- [5] 佐藤源定, 川上春夫, 田口光雄: 現代アンテナ工学, 総合電子出版 (2004.4).
- [6] Hee-Moo Heo, Jong-Myung Woo: Miniaturization of Microstrip Antenna using Folded Structure, Proceedings of ISAP'04, Sendai, JAPAN, pp.985-988 (2004).