

# AM/FM ラジオ共用車載アンテナに関する研究

2001mt028 堀 英晴 2001mt037 石津 良輔 2001mt045 加藤 倫也  
指導教員 稲垣 直樹

## 1. はじめに

AM/FM ラジオは現在自動車に標準的に装備されており、用途として交通情報や天気情報、他には音楽やスポーツ中継の放送など様々であり、快適なカーライフをおくるにあたって最も基本的な装備の一つであると言える。このAM/FM ラジオを自動車という移動体の中で安定して感度よく聞くために重要な役割を果たすラジオアンテナは一昔前までは波長特性により45cmという長さが必要だとされており、このころのアンテナはモーターアンテナやマニュアルアンテナと呼ばれる1m前後のアンテナを主流としていた[7]。しかしこのアンテナは金属製で長尺であるためにドライバーの不注意により折れてしまうこともあり、メーカーはアンテナの回収や修理の工数にかかる費用を支払わなければならない負担となっていた。この問題を解決するために折れないアンテナを作るには短いアンテナを作ることが基本という考え方のもとアンテナの小形化を進めるようになった。このアンテナの小形化は広域化、高利得化と並んでアンテナの設計技術における重要な課題である。アンテナの小形化は約100年前に Guglielmo Marconi がダイポールアンテナの一端を大地に埋めるイメージで設計したモノポールアンテナを発明したことから[9]始まり、モノポールアンテナをらせん状にすることによって小形化を実現した。このらせん状のアンテナをヘリカルアンテナと呼び、本研究ではヘリカルアンテナの中のノルマルモードヘリカルアンテナをさらに短縮化することを目指す。

## 2. 研究の目的と方法

### 2.1. 目的

本研究は現存しているノルマルモードヘリカルアンテナをさらに短縮化することである。このような操作を行うと帯域幅、利得、放射効率などに影響を及ぼすので、車載AM/FM ラジオアンテナとしての機能を備えたより短いアンテナを設計することが本研究の目的である。ちなみに最小限の性能とはAM/FMの周波数域が受信でき、ラジオの電波がどの方向から飛んでくるかわからないことからアンテナの方向に対する感度の特性を示す指向性があまり狭い範囲ではないということにする。

### 2.2. 方法

本研究を進めるために、FEKOを使って導線の材質の変化、らせん状の導線の形状の変化、らせん芯材に用いる磁

性体の透磁率の変化による指向性や有効周波数域の範囲や共振周波数を調べ、設計方法ごとの性能への影響を解析し、短縮化したAM/FM共用車載アンテナを設計する。AMは増幅器でカバーすることにし、FMを受信する周波数帯域が有効周波数帯域であるようにする。

## 3. AM/FMの特性

AMとFM放送の違いとして、おもに変調方式の違いと周波数帯の違いがあげられる。

まず変調方式の違いとしてAMは振幅変調方式を用いており、一方FMは周波数変調方式を用いている。AM方式とは異なりFM方式では受信機の構成において、AMの方式の回路とほぼ同じ回路の構成となるが、それに振幅制限回路とデエンファシス回路が加わる。振幅制限回路は受信機側で振幅方向の雑音を取り除くことのための回路である。また一般に可聴周波数の高いほうが雑音としての感じ方が大きいため、送信側であらかじめ高い周波数の出力を強めておき、受信側で高音部を減衰させる。このようにして周波数特性も保たれ、雑音も軽減できることになる。この役割を行うのがデエンファシス回路である。

また周波数帯のちがいで、AMの周波数は535~1605kHz、FMの周波数は76~90MHzである。電波は周波数が高いほど多くの情報量を送れるようになり、到達距離は短くなるという特性を持つ。

FM放送は周波数帯が高いため、広い間隔で周波数が割り当てられるので混信が少なくすむがAM放送は周波数が低いので狭い周波数帯しか割り当てることができないので隣の放送と混信がしやすいといえる。このことからAMは電波の届く範囲は遠いが音質は良くないといえる。一方FMでは音質は良いが電波の届く範囲は狭いといえる。以上のことからAM/FM放送の特性をまとめると次のようになる。

AM放送の長所としては電波の到達距離が長く占有周波数帯は狭くてすむが、反面雑音に弱く混信を受けやすく音質が良くないといえる。

一方FM放送の特徴として、音質が良く外部雑音につよくて混信が少ないといえるが、反面占有周波数帯が広くなり回路が複雑になる。また電波の到達距離が短いことも短所となる。

#### 4. FEKO について

本研究によって使用される FEKO(German phase Feldberechnung bei Korpen mit beliebiger Oberfläche)とはアンテナを設計し、指向性や利得、共振周波数、帯域幅などをモーメント法を使って計算するものである。FEKO の構成はどのようなアンテナを作るのかというプログラムを載せる EditFEKO, 設計したアンテナの形状を出力する WinFEKO, 指向性や利得、共振周波数などをグラフによって表示する GraphFEKO などがある。本研究では EditFEKO によってアンテナを設計し、GraphFEKO によってそのアンテナがどのような性能なのかを調べる。本研究の GraphFEKO で表示する情報の中で重要となる S-parameter とは電源から負荷に向かう波である入射波の電圧に対する、負荷で反射されて戻ってくる波である反射波の電圧の比のことであり、アンテナが効率よく整合できているかという指標である。

#### 5. Q について

小形化したアンテナが理論的によく整合できているかどうかという判断を下すための指標として、設計したアンテナの Q とその大きさの下限 Q 値を比較する方法がある。この Q に関して現在、Q に依存する物理的性質と実験に基づいたデータやシミュレーションにおける数値的データを比較し、検証されている。過去数十年間いろいろな論文が発表されてきたが、多素子アンテナの Q の定義や解決方法は一致してない。しかし本研究の対象である一素子アンテナにおいては細かい分析を無視すると Q は電圧に対する電流の遅れであるインピーダンス角とほぼ等しくなる。

アンテナを小形化すると帯域幅は狭くなる。このことは共振回路のよさである Q に依存する。Q が大きいと狭帯域となり、Q が小さいと広帯域となる。Q はアンテナの等価回路の電気抵抗(R)とコイルのリアクタンス(L)を使った式で表せられる。Lはコイルのインダクタンスで、 $(\omega = 2\pi f)$

$$Q = \omega L / R \quad (1)$$

他に、Qは電源の電圧(V)とコイルの端子電圧(V<sub>L</sub>)で表せられる。

$$V_L = QV \quad (2)$$

この Q と帯域幅の関係を示すために RL 回路の電圧を一定にして、周波数を変化させたときの電流の変化を表す特性がある。

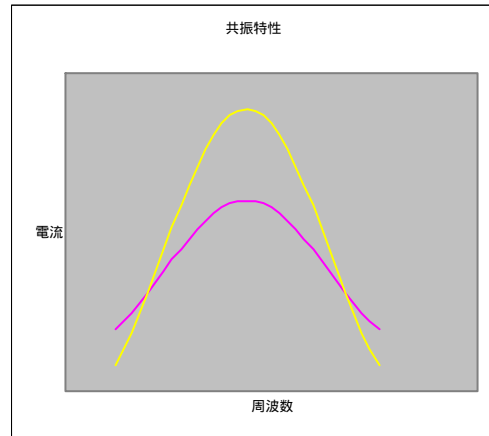


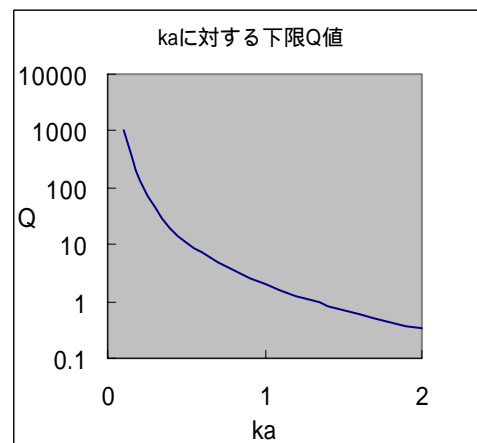
図1

図1は共振特性の図で Q はこのグラフの共振特性の鋭さを表す。Q が大きければ大きいほど鋭いグラフになり Q が小さいとなだらかなグラフになる。

Q 値によってアンテナの性能を評価するため下限 Q 値を示す。下限 Q 値とはある球面波モードを放射するために必要な Q の最小値のことである。下限 Q 値の算出方法は Chu によって示された[2]。Chu は球面座標系で展開される電磁界表現を使い、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 Q を算出した。その式は蓄積エネルギーが主となるように  $ka < 1$  となる条件のもと理論的な Q 値は式(3)で表せる。

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

この式をグラフにままとすると下の図(図2)となる。



この下限 Q 値を求める過程で用いたアンテナを取り囲む半径 a の球を小形アンテナの大きさの指標に使うことができる。実際に放射素子は形状やインピーダンス整合のために蓄積エネルギーが大きくなるために下限 Q 値より大きくなる。他の下限 Q 値を求める方法として Collin によって半径 a の

球面上の Poynting Vector から求められる複素電力から無限遠で等しくなる電氣的、磁氣的エネルギーを算出する方法で式(3)と同じ式を得ている[3]. Poynting Vector とはアンテナから放出されるエネルギーに方向を付け、そのベクトルが単位時間あたりにおいて単位体積に移動するエネルギーのことであり、つまり単位時間あたりの電力密度を与えるものである。これは電磁波の電界と電磁波の磁界の外積であらわすことができる。

他に Maclean によって微粒電流素子による電磁界成分を用いて球の外側に存在する放射によらない電気エネルギーを全エネルギーから差し引くことで下限 Q 値を算出する方法がある[4]. 式(4)を次に示す。

$$Q = 1/(ka)^3 + 1/ka \quad (4)$$

これらの式から算出される下限 Q 値と近い Q を持つ微小アンテナが設計できれば理論的限界のアンテナに近いと考えられる。

## 6. 設計したヘリカルアンテナ

我々が設計したヘリカルアンテナの形状と性能を表す。

### 6.1. 形状

共振周波数: 102[MHz]

巻き数: 7.0[回]

線間ピッチ: 4.0[mm]

アンテナの高さ: 34[mm]

芯材径: 40[mm]

線材径: 0.50[mm]

導電率: 0.30E5[S/m]

グラウンド: 無限導体平面

### 6.2. 性能

このアンテナのリターンロス図を示す。

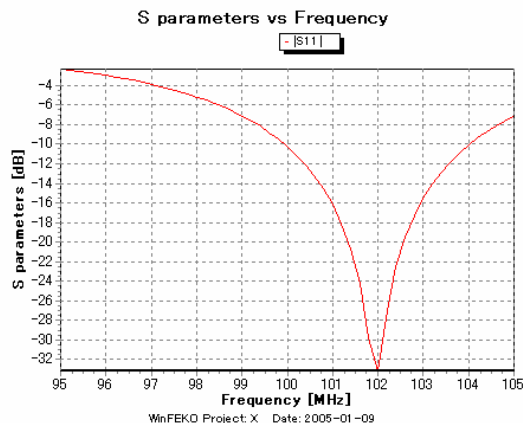


図3

我々が最初に参考にしたヘリカルアンテナの高さが 183[mm]であったが芯材径を大きくすることで約 1/5 にまで短縮できた。また導電率を調整することで受信時のアンテナの性能を保つことができた。しかし共振周波数がFMラジオに用いられる周波数に比べ高いため、芯材に磁性体を用いる必要がある。

### 6.3. 導電率の変化による特性

導線の導電率が上がると共振周波数はわずかに下がる。導電率を下げると共振周波数はわずかに下がる。各アンテナには理想的な導電率が存在し、アンテナの構造が変化すると理想的な導電率も変化する。

### 6.4. 電流経路の変化による特性

線間ピッチを狭めアンテナを短縮すると共振周波数が上がる。また、線間ピッチを広げるとアンテナの共振周波数は上がる。コイルの半径を大きくしてコイルの巻き数を減らし、エレメント長を変えずにアンテナの高さを抑えると共振周波数下がる。またコイルの半径を小さくし、コイルの巻き数を増やし、エレメント長を変更せずにアンテナの高さを伸ばすと、アンテナの共振周波数は上がる。線材径を変更しても共振周波数は変化しない。

## 7. 有限グラウンドと磁性体の芯材を用いたアンテナ

このアンテナの構造図を示す

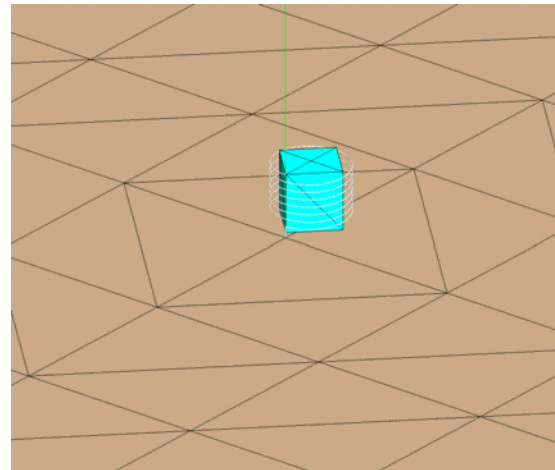


図4

6で示したヘリカルアンテナの中心に芯材となる磁性体を入れた。また、グラウンドを無限から、車の屋根の大きさを想定した、一辺が1.6 mの正方形変更した。

このアンテナのリターンロス図を示す

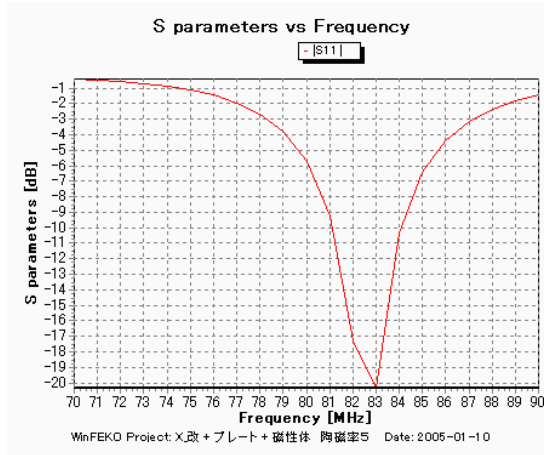


図5

### 7.1. 磁性体の特性

磁性体の透磁率を上げるとアンテナの共振周波数はさがる。しかし、透磁率を上げれば上げるほど共振周波数は下がらなくなり、やがて横ばいになる。理論上、磁性体を入れると共振周波数は

$$\frac{\lambda}{\sqrt{\mu_r}}$$

となるのだが、アンテナの構造及び小型化の尺度によって理論値と同じにはならない。

### 7.2. 誘電体の特性

誘電体は磁性体と同様に共振周波数を下げのために用いられる。性質もまた磁性体同様に誘電率を上げれば上げるほど共振周波数は下がらなくなり、やがて横ばいになる。誘電体をアンテナに入れると理論上共振周波数は

$$\frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

となるが、磁性体同様にアンテナの構造及び小形化の尺度のため理論値にはならなかった。

### 7.3. 磁性体と誘電体の比較

磁性体と誘電体を比較すると、誘電体は磁性体より、理論値にかけ離れているので磁性体の方が芯材として優れている。

### 7.4. グラウンド板を有限にする

グラウンド板を有限にするとアンテナの共振周波数が下がった。よって透磁率を下げることでアンテナの共振周波数を調整した。

### 7.5. アンテナ性能

グラウンド版が無限導体平面から有限になったことで特に大きな変化は無かった。しかし、共振周波数が下がり、透磁率を下げる事ができた。しかし磁性体を挿入後に、若干ではあるが帯域幅が狭まった。

## 8. まとめ

この研究において現行のアンテナの高さである 18.3cm のアンテナから高さ 3.4cm のアンテナを設計することができた。反面、アンテナの構造を小形化したことによりアンテナに対する他の性能を犠牲にしてしまう新たな問題も生じてくる。

その問題点として三点が挙げられる。第一にアンテナの高さを 3.4 cm まで小さくしたためにアンテナのコイルの直径のほうが長くなってしまった点があげられる。

第二に作成したアンテナの帯域幅が 1MHz ほど、狭くなってしまったことである。

第三に導線の導電率が当初想定していたより低い導電率となった。それは、導線の抵抗率が上がるということで、電気エネルギーが熱エネルギーにより多く変わってしまう。そのため、エネルギーのロスが多くなるために良いアンテナとは言い難い。

以上のような点を解決し、より効率のよく、より小さなアンテナの設計及び解析ができるよう努力することが望まれる。

## 参考文献

- [1] L. J. Chu : Physical Limitittions of Omni-Directions Antennas,J.Appl.Phys.,Vol.19,1163-1175(1997).
- [2] R. E. Collin : Minimum Q of small Antennas,J.Electro. Waves and Appl.,Vol.12, pp.1369-1393(1999).
- [3] J. S. McLean : A Re-Examination of the fundamental Limits on the Radiatioon Q of Electrically small antennas, IEEEET ransactions on AP,Vol44,pp.672-676,(1996.)
- [4] 稲垣 直樹 : “電気・電子学生のための電磁波工学” 丸善株式会社 (1980).
- [5] 新井 宏之 :小形アンテナ(小形化手法とその評価法), 電子情報通信学会論文誌 B Vol.J87-B NO.9, pp.1140-1148, (2004).
- [6] new product story (株)ヨコオ  
www.co.jp/recrute/nextyear/jpb/antenna.html
- [7] 稲垣 直樹 : “電磁気学” コロナ社 (1999).
- [8] Guglielmo Marconi  
“www.221b.tv/~ysx/system/01/07\_marconi.html”
- [9] 佐藤 源貞 : “現代アンテナ工学” 総合電子出版社 (2004).
- [10] 高橋 寛[監修]福田 務・栗原 豊・向坂 栄夫・扇 浩治[共著] “絵ときでわかる 電子回路”, オーム社(2004).