

# 車載低背アンテナの水平面指向性利得に関する研究

2002MT041 小嶋 祐紀

2002MT051 水野 雄太

2002MT054 武藤 祐嗣

指導教員 稲垣 直樹

## 1 はじめに

電波を使った無線通信の進歩、普及にはめざましいものがあり、地上波デジタル放送や ITS などの応用分野も進展している。そのシステムの発展が進むにつれて、アンテナも小形化、広域化、高利得化が望まれるようになった [1]。

本研究では車車間通信で使用されているアンテナを例にとって考える。車車間通信とは、走行する車と車の間で直接行われる通信を指し、車両制御、道路交通、周囲に関わる情報をやり取りできるようになることが望まれている。車車間通信で用いられている周波数は 5.8GHz で、水平面指向性利得は 1dBi 以上必要である。

## 2 研究の目的と方法

### 2.1 研究の目的

現在車載アンテナの研究開発の方法として、直径 1.5m の円盤の上に供試アンテナを置いて測定する方法が行われている。車載アンテナを研究開発していくなかで、実用性を踏まえてある高さ以下に保ちながらアンテナを設計すると水平面指向性利得が弱く、車車間通信における通信の効率が悪い。

こうした経緯から水平面指向性利得を大きくするためには、アンテナの高さに必要な最小値が存在するものと考えられる。そのため本研究では、水平面内の無指向性である多点給電モノポールアンテナを、高さ 6cm 以下で使用する。さらにアンテナ構造の水平方向に広がりを持たせたときに効果があるかどうかを調べるために、高さを  $\lambda/4$  で固定したモノポールアンテナを円形アレーで使用する。この二つのアンテナの電圧、半径をそれぞれ最適化することで水平面指向性利得の最大値を探索する。

### 2.2 研究の方法

研究の方法として、上述の二通りのアンテナで考える。多点給電モノポールアンテナでは、アンテナを一定の間隔で区切り、セグメントを  $N$  個つくる。そのセグメントを電源から一つおきに電圧  $v_1, v_2, \dots, v_N$  をかける。電圧ベクトル  $\vec{x}$  を式 (1) で定義する。

$$\vec{x} = (v_1, v_2, \dots, v_N)^t \quad (1)$$

その未知ベクトルを用いて得られた目的関数  $f(\vec{x})$  を水平面指向性利得とし、OptFEKO を使って最適化を行う。そのあと水平面指向性利得が大きくなるような  $\vec{x}$  の値を調べる。アンテナの高さを変化させながら、同様に最適化を行い、結果の値と実用性のある高さと比べ考察

する。

次に円形アレーアンテナでは、電源の振幅を一定、位相を同位相と進み位相の二通りで考える。このときアレーの半径を  $r$  とし、 $r$  を最適化することで、水平面指向性利得の最大値を調べ考察する。

## 3 OptFEKO

### 3.1 OptFEKO とは

OptFEKO は FEKO の機能の 1 つで、目的関数を定義することによって任意のパラメーターについて最適値を算出することが出来る。これを使うことによって正確なアンテナを設計する上で必要な最適な変数を割り出すことができ、より正確なアンテナを作ることが可能になる [2]。

### 3.2 OptFEKO による解析手順

1. EditFEKO を用いて pre ファイルを作成する。
2. opt ファイルを作成する。
3. pre ファイルで設定した変数の初期値・最小値・最大値を opt ファイルに入力する。
4. opt ファイル内に Penalty 関数を入力し、最適化の方法をシンプレックス法・共役勾配法・ニュートン法から選ぶ。
5. opt ファイル内にパラメーターの最適化に必要な目的関数を選び、必要な数値をそれぞれ入力する。必要に応じて複数選ぶことも出来る。
6. OptFEKO によって出力された log ファイルの中の一覧から最適化された値を探し出し、pre ファイルで実行する。

### 3.3 OptFEKO の最適化プロセス

OptFEKO の最適化には、3.2 節で述べたとおりシンプレックス法、共役勾配法、ニュートン法があり、それぞれの特徴を使うことで計算時間を短くすることができる [3]。共役勾配法とニュートン法で最適化を行う場合には、初期値に適切な値を入力しなければ最適化された値がローカルな値になってしまう可能性がある。本研究では最適値の予想が困難なため、簡単にグローバルな範囲で計算できるようにすべての最適化をシンプレックス法で行った。

## 4 多点給電モノポールアンテナの最適化

### 4.1 アンテナの構造

まずはじめに、円盤グラウンドの上にアンテナを取り付けた。このアンテナの名前をアンテナ A とする。

アンテナ A のデータ  
 周波数:5.8GHz H : 13mm(アンテナの高さ)  
 D : 1.5m(円盤の半径) R : 0.5mm(アンテナの半径)

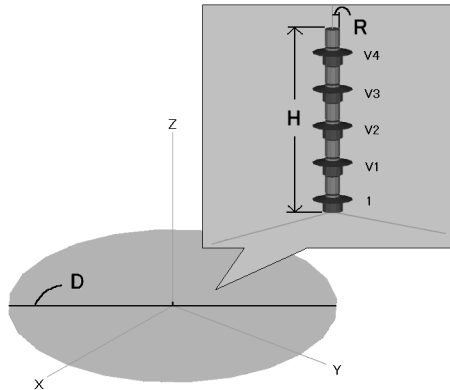


図 1 アンテナ A の構造

#### 4.2 セグメントの構造

設計したアンテナを一定の区間で区切り, 10 個のセグメントに分け, 基準点から一個おきに全部で 5 つの電圧をかけ解析を行う. 電圧  $v_1, v_2, \dots, v_N$  は振幅  $a_1, a_2, \dots, a_N$  と位相  $p_1, p_2, \dots, p_N$  を用いて式 (2) のように表すことができる.

$$v_N = a_N e^{jpN} \quad (2)$$

そこでアンテナ A の水平面指向性利得を大きくするために振幅と位相を変数として最適化を行う. 5 つある内の底部にある電圧の振幅を 1V, 電圧の位相を  $0^\circ$  で固定し, 最適化する振幅と位相の変数の範囲を表 1 の通りで設定した.

表 1 最適化するとき用いる変数の範囲

変数名	初期値	最小値	最大値
$a_1, a_2, a_3, a_4$	1	0.1	10
$p_1, p_2, p_3, p_4$	0	0	360

#### 4.3 アンテナ A の最適化結果

指向性はアンテナの方向に対する感度特性を表すものである. またアンテナの利得とはある方向へ放射される電波の電力密度をの同一電力を供給されている基準アンテナにより同一距離の点に放射される電波の電力密度の比のことをいう [4]. 基準アンテナには等方向性アンテナを用いる. この等方向性アンテナを基準にした利得を絶対利得と呼び, 単位を dBi で表す.

最適化前の指向性を図 2, 最適化後の指向性を図 3 で示し, 電界面内指向性を左図, 磁界面内指向性を右図に示した.

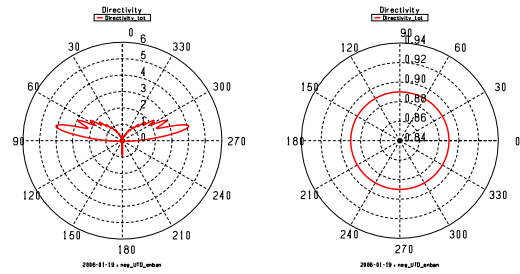


図 2 高さが  $h=4$  の最適化前の指向性 [dBi]

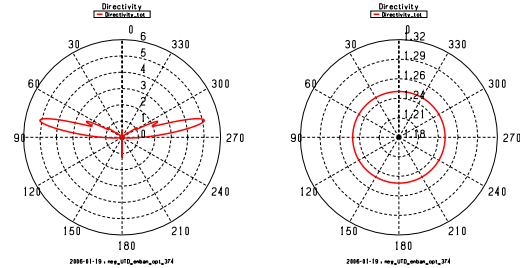


図 3 高さが  $h=4$  の最適化後の指向性 [dBi]

このときの目的関数は-0.95 となった. 最適化後の水平面指向性利得は 1.25dBi で, 最適化前に比べて 0.35dBi 増加した. また図 3 より磁界面内の指向性は共に無指向性であり, 正しく最適化されたことが分かる.

### 5 アンテナ A の高さを変えたときの最適化

#### 5.1 高さの限界値の定義

次にアンテナの高さを変えて最適化を行う. 高さの限界値は現在諸機関が研究している 6cm 以下で設定した. これは以下の理由が考えられるからである.

- 車の外観が損なわれる
- 走行中のアンテナの雑音がうるさい
- アンテナが破損する危険性がある

そこで, 4.2 節で定義したセグメントの長さや電源の個数を固定して, 1cm おきに 1cm, 2cm, 3cm, 4cm, 5cm, 6cm における水平面指向性利得を最適化前と最適化後で比べ考察していく. この解析結果を表 2 に示す.

表 2 各高さにおける最適化前後での水平面指向性利得

アンテナの高さ	水平面指向性利得	
	初期値 (dBi)	最適値 (dBi)
1cm	0.86	0.90
$\lambda/4(1.3\text{cm})$	0.90	1.25
2cm	1.01	1.66
3cm	1.00	1.96
4cm	1.90	2.21
5cm	1.91	2.71
6cm	1.07	2.85

## 5.2 高さを変えたときの電流分布

本研究では各セグメントに流れる電流分布を調べ最適化前後での振幅, 位相の違いを考える.

### ● 最適化前の電流分布

ここでは 1cm から 6cm までの各高さにおける最適化前の電流の振幅と位相の分布を図 4, 図 5, 図 6 に示す.

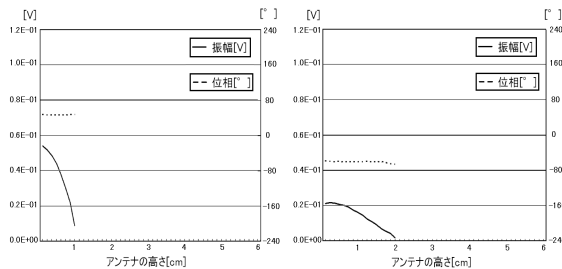


図 4 1cm と 2cm の最適化前の電流分布

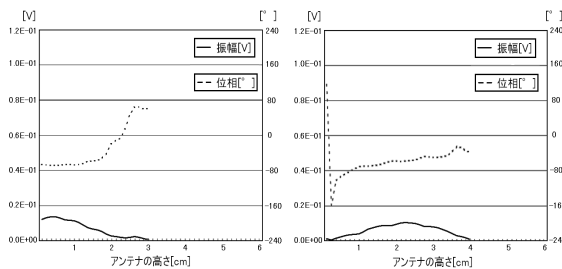


図 5 3cm と 4cm の最適化前の電流分布

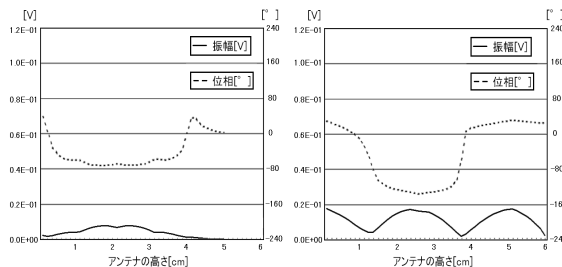


図 6 5cm と 6cm の最適化前の電流分布

最適化前ではアンテナの高さを高くするほど流れる電流は小さくなった. ただ, 6cm の場合においては振幅と位相が一定の間隔で変化している. これはアンテナの高さが 1 波長よりも大きくなったため, これにより垂直方向への指向性が強まり, 水平方向への指向性が他のアンテナに比べて小さくなったといえる.

### ● 最適化後の電流分布

ここでは 1cm から 6cm までの各高さにおける最適化後の電流の振幅と位相の分布を図 7, 図 8, 図 9 に示す.

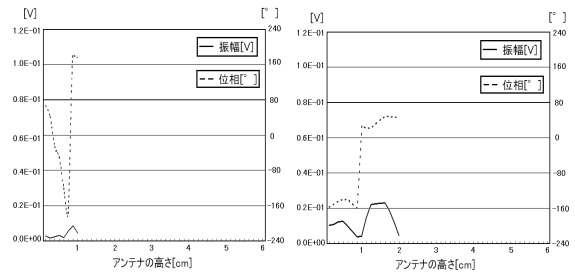


図 7 1cm と 2cm の最適化後の電流分布

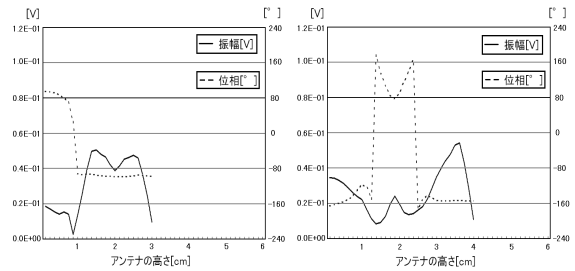


図 8 3cm と 4cm の最適化後の電流分布

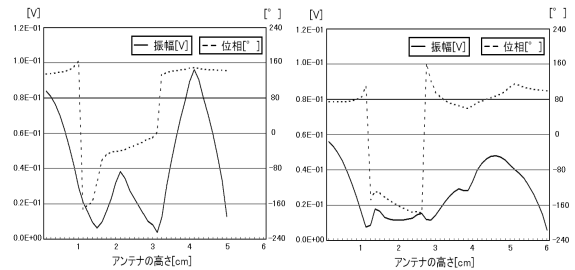


図 9 5cm と 6cm の最適化後の電流分布

最適化後の各セグメントに流れる電流は, 高さ 1cm を除いて最適化前と比べて大きくなった. 特にアンテナ上部に流れる電流が大きくなったことが分かる. また振幅が大きい部分での位相は同位相をとっていることが分かる.

## 5.3 考察

表 2 より 1cm から 6cm までのすべての高さにおいて水平面指向性利得を初期値よりも大きくすることに成功した. また, アンテナの高さを高くすればするほど最適化後の水平面指向性利得は大きくなった. 結果的に 6cm の最適化後の水平面指向性利得は一番大きくなったが, 最適化前の結果は 5cm の時よりも悪くなった. この理由はアンテナの給電部分の間隔が大きくなったために起こったと考えられ, 基準給電点を一番下から上方にずらすことでこの問題は解決された. また電流分布を調べた結果から, アンテナ高部に流れる電流を大きくすれば水平面指向性利得を大きくすることが出来ると考えられる. 車車間通信は, 短距離間の通信を行うので 1dBi 以上あれば十分であるので, 高さ 1cm をのぞけばすべて車車間通信を行うのに適したアンテナであるといえる.

## 6 円形アレーアンテナにおける最適化

### 6.1 アンテナの構造

アンテナを円盤上に  $45^\circ$  の間隔で図 10 のように立てる．この円形アレーアンテナをアンテナ R とする．

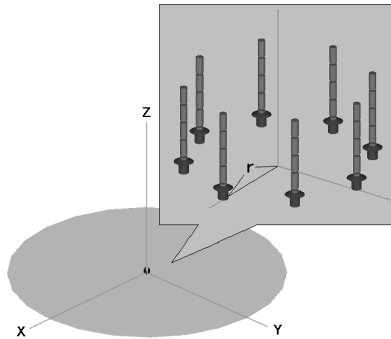


図 10 アンテナ B の構造

アンテナ B はセグメントの底部にのみ振幅  $1V$  をかけることにした．このときの位相を

1. アンテナの位相を一定 (同位相)
2. 位置角に等しく  $45^\circ$  おきの進み位相

とし，半径  $r$  の最適化を行った．

### 6.2 アンテナ B の最適化結果

同位相と進み位相における変数  $r$  の範囲を表 3，解析結果を表 4 に示す．また同位相の指向性を図 11 に，進み位相の指向性を図 12 に示す．

表 3 最適化するとき用いる変数の範囲

種類	初期値	最小値	最大値
同位相	$\lambda/2$	$0.25\lambda$	$0.75\lambda$
進み位相	$\lambda/4$	$0.125\lambda$	$0.5\lambda$

表 4 アンテナ B の最適化後の値

種類	最適化後の値	
	水平面指向性利得	$r$ の最適値
同位相	1.25(dBi)	$0.51\lambda$
進み位相	0.98(dBi)	$0.125\lambda$

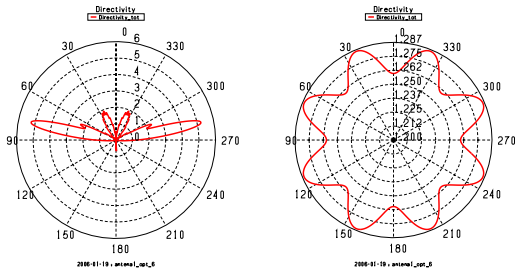


図 11 同位相の最適化後の指向性 [dBi]

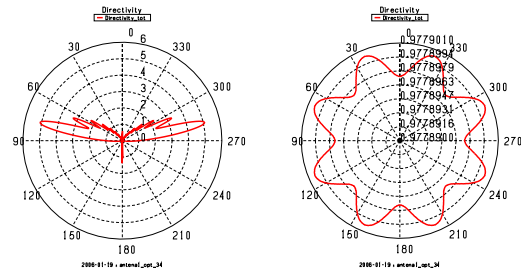


図 12 進み位相の最適化後の指向性 [dBi]

### 6.3 考察

最適化後のアンテナ B の水平面指向性利得は，進み位相よりも同位相にしたアンテナの方が  $0.27\text{dBi}$  だけ良い結果を得られた．最適化したときの変数  $r$  の値より，同位相のときはアレー直径を約 1 波長分である  $1.02\lambda$  だけ広げたときに一番良い結果が得られた．これはアレー直径を 1 波長分にすることで互いのアンテナの波長が同じになり共振することが出来るからと考えられる．また同位相，進み位相共に水平面指向性のリップルは小さくほぼ無指向性であるといえる．

## 7 おわりに

本研究では OptFEKO を使用し，車載アンテナの高さ一定における水平面指向性利得の最大値を求めた．このとき多点給電モノポールアンテナと円形アレーアンテナの二つのアンテナの場合で最適化をおこなった．多点給電モノポールアンテナではアンテナの高さを大きくすればするほど最適化後の水平面指向性利得は大きくなったことが分かる．円形アレーの最適化はアンテナ構造の横方向に広がりを持たせたとき効果があるかどうかを調べるために行った．その結果多点給電モノポールアンテナに比べて水平面指向性利得の最大値は小さくなった．

今回の研究で得られた水平面指向性利得の値は，多点給電モノポールアンテナでは  $1\text{cm}$  以外で，円形アレーアンテナでは同位相のときに車車間通信に必要な  $1\text{dBi}$  以上の値を得ることに成功した．しかし，車に載せた場合，走行中の車の振動によってアンテナが上下することがある．これを考慮して，俯角方向への指向性利得が大きくなるようにアンテナ構造を考える必要がある．さらに今回の研究において多点給電モノポールアンテナでは変数をおいた給電点を 4 個に固定して考えたが，給電点の数を増やした場合，最適化後の水平面指向性利得の最大値がどう変化するかを調べることも今後の課題である．

## 参考文献

- [1] 社会法人 電子情報通信学会：アンテナ工学ハンドブック，オーム社 (1999.3)
- [2] EM Software & System-S.A.(Pty)Ltd：FEKO User's Manual(2005.7).
- [3] FEKO ホームページ，<http://www.feko.info/>.
- [4] 稲垣 直樹：電磁波工学，丸善株式会社 (1998.2)