

# 自動車の電磁界解析のためのモデリングに関する研究

2001MT074 成田 周司

2001MT076 則竹 佳人

2001MT102 鳥居 正浩

指導教員 稲垣 直樹

## 1 はじめに

### 1.1 研究の背景

情報化が進む中で、いつでもどこでも情報を手に入れたという要求が高まり、自動車に対しても移動体通信としての可能性の向上が求められている。自動車電話から始まり、無線同士の情報交換などがあり、現在では従来の AM/FM ラジオ以外にも携帯電話や、カーナビゲーションシステムなどが電波を利用している。

今後、これらの技術が進むことでより多くの自動車での情報交換が出来るようになることによって(インターネット等)、様々な電波が情報を得たり、提供したりするスピードや精度に対して与える影響が大きくなることが考えられる。

### 1.2 研究の目的

自動車などの移動体で通信するためには電磁波に頼らざるをえないことから、電磁波の出入口となるアンテナ、特に自動車側のアンテナの役割が大変重要となる。しかし、実際にはこれらのアンテナが最適な条件で用いられているとは限らない場合が多い。これはアンテナの特性がその周囲にある散乱体によって影響を受けるため、アンテナ単体での特性とは違ってしまい、アンテナの取り付けられる自動車の車体形状と取り付け位置に大きく左右されるからである。

本研究では様々な車種に対してモデリングし電磁界解析する。そして自動車の形状の違いによって影響を受けにくいのかなどを考察し、効率的に電波を送信し、電波による悪影響を減らし、例えばより安定にすばやく情報を得ることの出来る自動車に関して研究する。

### 1.3 研究方法

上記で述べたようにアンテナがいかに優れていたとしても、車体の影響などが大きな要因になる。研究を行うにあたっては自動車の車体がなくてはアンテナの電磁波の測定を行うことが出来ない。

そこで、自動車を FEMAP でモデリングし、それを FEKO に連動させて、4分の1波長のモノポールアンテナを搭載し電波による影響を解析する。モノポールアンテナはアンテナ素子周囲にある散乱体、特に、車体の影響によって特性が大きく変化するため、必ずしも最適な条件で用いられているとは限らない。そういったことから典型的な三つの車種、セダン、ワゴン、小型車、の形状をモデリングする。解析した結果を分析することによって、電波での通信に適したアンテナの位置を調べる。

## 2 FEMAP と FEKO

### 2.1 FEMAP とは

FEMAP とは設計者が高度な電波工学シミュレーションを、迅速かつ的確に実施できるように作られた有限要素モデリング/ポストプロセッシングシステムである。FEMAP を使用することで、応力、温度および複雑な動特性解析などの高度な解析結果処理を、計算機で行うことができる。その他にも CAD をはじめ、他の解析ソフトとの連携が容易なため生産性が格段に向上する。本研究では自動車のサイズ等のデータから座標値を調べ、そのデータをもとに簡単な自動車の概形をモデリングし、様々な位置にモノポールアンテナを取り付け車体の散乱体のある場所にメッシュ(電流の流れ道)を作り、FEKO に連動させるためのニュートラルファイル(NEUtral file)に変換し出力する。

### 2.2 FEKO とは

FEKO(German phrase Feldberechnung bei Korpern mit beliebiger Oberflache) は 3 次元オブジェクトを使用し、様々な電磁界解析に使用することができるソフトウェアである。解析アルゴリズムにはモーメント法を用いており、計算機の性能の範囲内で多種多様な構造体についての解析が可能である。他にも基板上に、配線および実装されたマイクロ波回路・アンテナ等の伝送特性や放射性特性なども求めることが可能である。

本研究では FEMAP でモデリングしたニュートラルファイルのデータを用いてそのアンテナから出る電磁波とその影響を調べる。そして、電波の指向性などを 2 次元と 3 次元の図とグラフで表現し、自動車の形状により、アンテナの場所によってどれくらいの違いが出るのかということ調べるのに用いる。

## 3 モーメント法

モーメント法(Method of Moments)とは R.F.Harrington(1967)によって命名されたもので、電磁界解析手法の一つである。金属でできたアンテナの解析や金属による散乱問題を得意とし、電磁界の界等価定理により境界上に仮定した未知電磁流を求める方法である。

一般的に、モーメント法は次のような積分方程式を線形連立方程式に変換して解く方法である。

$$\int_V K(r, r') J(r') dV' = -E^i(r) \quad (1)$$

ここで、 $V$  は散乱体を表し、 $J(r')$  は散乱体上の未知電磁流分布であり、 $E^i(r)$  は入射電磁界である。また、 $K(r,r')$  は Green 関数である。

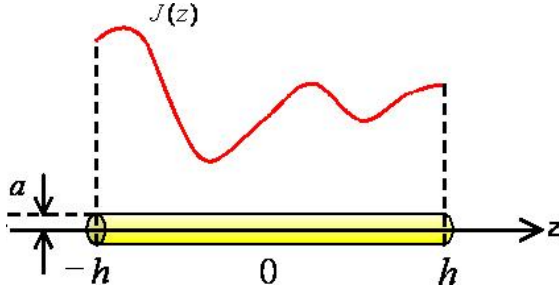


図1 未知電流分布

最も簡単な図1のような線状アンテナの放射問題の場合、 $z$  軸方向の一次元のものとなり、

$$\int_z K(z, z') J(z') dz' = -E^i(z) \quad (2)$$

未知である電流分布  $J(z)$  は次のような基底関数で展開する。

$$J(z') = \sum_{n=1}^N I_n j_n(z') \quad (3)$$

式(3)を式(2)に代入し、両辺に重み関数  $W_m(z)$  を掛けて内積を取ると、

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^N I_n \langle W_m(z), \int_z K(z, z') j_n(z') \rangle \\ = \langle W_m(z), -E^i(z) \rangle \end{aligned} \quad (4)$$

行列の表現を用いると、次のように表せる。

$$[I][Z] = [V] \quad (5)$$

ここで、

$$Z_{mn} = \langle W_m(z), \int_z K(z, z') j_n(z') \rangle \quad (6)$$

$$V_m = \langle W_m(z), -E^i(z) \rangle \quad (7)$$

したがって、

$$[I] = [V][Z]^{-1} \quad (8)$$

式(8)より電流分布を求めることができる。

## 4 解析

### 4.1 FEMAP から FEKO へ

FEMAP でモデリングをし、アンテナを取り付けて完成した自動車のデータを Model file から NEUtral file に変換する。この後に EDITFEKO のファイルを作成する。EDITFEKO とは電波の問題の構成を作り、出力を制御し、どのように FEKO で解析するかを決めるためのテキストファイルエディターである。EDITFEKO を使うことでアンテナから出る電波の周波数を変えることが出来たり、それ以外にもモデリングした自動車の外形や向きを変化させたりすることが出来る。これらの機能を用いて FEMAP でモデリングしたデータを FEKO 上で電流を流しその指向性などを解析する。

本研究ではアンテナの位置を自動車の4箇所(車体の右前、車体の右後ろ、車体天井の右前、車内)に取り付け、そこから散乱体に反射して電磁波にどのような影響が表れて、どの位置に取り付けることが最も良い指向性を出すことが出来るのかということを手車体形状ごとの違いとアンテナの使用用途によって求められる性能なども考慮し、解析を行う。

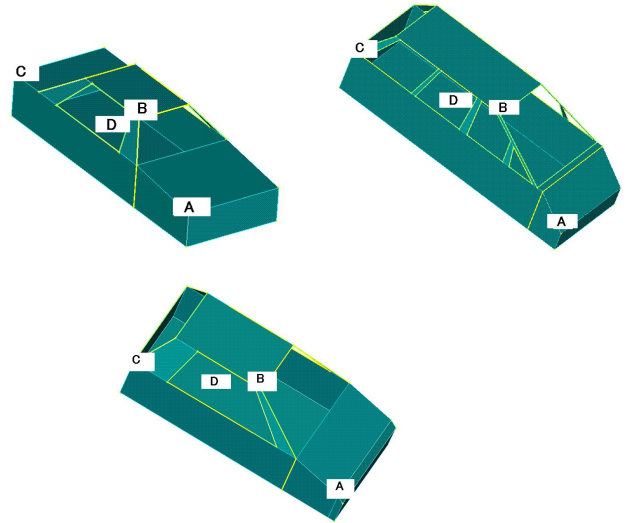


図2 アンテナの設置位置

アンテナは様々な用途によって必要な指向性が異なる。例えば自動車と自動車などの車車間通信など、移動体同士で通信を行う場合には水平方向の指向性が必要になる。それ以外には、カーナビゲーションシステムなどのような衛星などに情報を送り通信をする場合には、上方方向への指向性が必要になる。携帯電話や TV など特定の基地局のある場合のアンテナでは指向性のない均等な結果のアンテナが求められる。

指向性利得には最低 1dB は確保することが望ましい。

## 4.2 結果

以下の表1~8は解析結果の2次元のグラフを元に車体の横、前方から見た数値をまとめたものである。

右前	横から見たアンテナの指向性利得 (dB)		
	前	後	最大
セダン	-1.8	-1.3	4.3
ワゴン	-2.3	-3.8	3.2
小型	0.5	-0.4	4.4

表1 アンテナ右前の横視点

右前	前から見たアンテナの指向性利得 (dB)		
	右	左	最大
セダン	2	-1.3	4.9
ワゴン	0.1	-1.5	4.2
小型	0.4	-1.8	3.5

表2 アンテナ右前の前視点

後ろ	横から見たアンテナの指向性利得 (dB)		
	前	後	最大
セダン	1.1	-3.7	3.7
ワゴン	8.2	-0.6	1.5
小型	-2.6	-2	4

表3 アンテナ右後ろの横視点

後ろ	前から見たアンテナの指向性利得 (dB)		
	右	左	最大
セダン	3.3	-5.3	6.5
ワゴン	2.9	-2	5.1
小型	-2.6	-1.5	1.8

表4 アンテナ右後ろの前視点

天井	横から見たアンテナの指向性利得 (dB)		
	前	後	最大
セダン	1.1	-1.8	7.5
ワゴン	5	1.6	5
小型	2	-1.5	6.1

表5 アンテナ天井の横視点

天井	前から見たアンテナの指向性利得 (dB)		
	右	左	最大
セダン	-0.7	2.6	3.4
ワゴン	-0.7	3.7	6.1
小型	0.8	0.7	3.9

表6 アンテナ天井の前視点

## 4.3 考察

本研究では解析を行い、同じ形状で設置箇所による違い、同じ設置箇所でも車体形状による違いの二つを別々に考察し、総合的に考える。

- 同じ形状での設置箇所別  
同じ形状ごとに見比べた場合、3車種ともほぼ

車内	横から見たアンテナの指向性利得 (dB)		
	前	後	最大
セダン	3.5	-4.4	10.1
ワゴン	-2.8	-5	8.5
小型	2.3	4.7	10.8

表7 アンテナ車内の横視点

車内	前から見たアンテナの指向性利得 (dB)		
	右	左	最大
セダン	-1.6	-1.4	3.1
ワゴン	4.3	4.1	10.9
小型	-4	-4.2	5.8

表8 アンテナ車内前視点

んどの設置箇所でもアンテナを天井に設置したときが適しているというデータが得られたが、一部において車内に設置することが良いというデータも得た。しかし、今回モデリングした自動車のデータには、座席や人間が乗ったりするという事を考慮しないで解析を行なった結果である。車内に座席等を設置するということは散乱体が増える事を再度考慮する必要がある、尚かつ人間が乗車することも考えると設置箇所も無くなり実用的ではないことが考えられる。

実用性を考えて車内に設置することがよいと結果が出た箇所についてデータを再度見比べてみると全てにおいて次点で優れているのは天井に設置したときが適している事がわかる。

以上のことを踏まえると、設置箇所として最も適しているのは天井であるという結果を得ることができた。

- 同じ設置箇所での車種別  
車種別に同じ設置箇所でも比べた結果、水平方向での指向性利得では小型車、それ以外の場合にはワゴンが良い結果が出ており、アンテナの設置車種として優れているという事がわかった。水平方向においてもワゴンは小型車の次によい結果を残しており、全体的にみてワゴン車のような形状が優れた結果を出せるということがわかった。ワゴンと小型車には全体的によい結果を示すことができた。しかし、前方や後方に設置したときには、セダンの形状のほうが安定した結果を残している。これはアンテナを車の前方に設置したときと、後方に設置したときの水平方向への指向性についての結果がとても悪いものになっていた。これはアンテナを前方に取り付けた場合には、設置箇所からすぐに車体の高さが高くなっていく形になっていて後方への散乱体が増えてしまい、後方への指向性が悪くなるということが分かる。これは後方に設置した場合に前方への指向性をみたと

きにも言えることである。セダンの天井に設置した場合には車体が前後に長い事と、アンテナの設置箇所がワゴンと小型車に比べて他の前方と後方の散乱体に近くなってしまうことから結果が悪くなったと考えられる。

● 総合考察

上記の二つの考察と研究データから安定性と数値的に見比べて最も最適なアンテナの設置箇所はワゴン車の形状の天井であることがわかった。今回アンテナの設置箇所が車内以外は車体の右側に設置をしたため、特に左右への指向性が偏っていた。天井に設置する場合は中央にアンテナを設置することは可能なので天井のみにおいては中央に設置してよりバランスのとれた結果が出せるかもしれないが、前方や後方では中央に設置することはできない。つまり天井には改善の余地が見えるがそれ以外の場所ではこれ以上の結果が望めないことがわかる。

4.4 周波数に対する依存性の解析

上記の研究では周波数を 600MHz で計算して研究を行った。しかし、アンテナは様々な用途によって周波数帯が変わってくるので、周波数を変えての解析をする必要がある。今回は、セダンの右前の位置にアンテナを設置し、周波数を変えることによって指向性の違いを調べた。

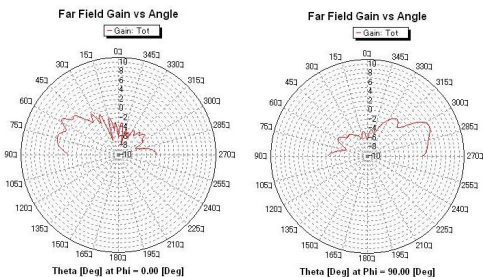


図 3 周波数 600MHz の場合の指向性

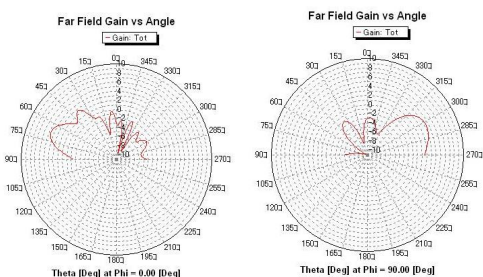


図 4 周波数 300MHz の場合の指向性

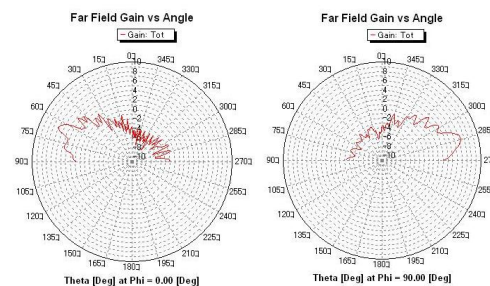


図 5 周波数 1.5GHz の場合の指向性

300MHz と 1.5GHz の指向性のグラフを見比べると、周波数が大きくなるにつれ指向性の変化が速くなったが、概形や最大値などには大きな変化が無いことが分かる。これはアンテナ自体が全て同じ 4 分の 1 波長のモノポールアンテナを使っているため、指向性が変化しなかったと考えられる。したがって、指向性は周波数の違いによる変化はほとんど無く、車体によって大きな影響を受けている事がわかる。

5 おわりに

今回の研究では、単一の特性のアンテナを用いての解析が主になった。別の特性の、違った用途で用いられるアンテナを自動車に設置した場合には違った結果が得られるのかも知れない。そして解析をするに当たって地面を設置して解析を行ったが、天候の変化によって雨が降り地面が濡れたりすることで今回の解析で得られたデータとは全く違った解析結果が得られることも予想される。これら様々な考えられる状況を想定し、全ての解析をすることでより正確で、如何なる状況にも適したアンテナの設置箇所について再度考察する事が今後の課題である。

参考文献

- [1] 佐藤 源貞, 川上 春夫, 田口 光雄: “現代アンテナ工学”, 総合電子出版社 (2004.4).
- [2] 稲垣 直樹: “電磁気学”, コロナ社 (1999.5).
- [3] 社団法人 電子情報通信学会: “アンテナ工学ハンドブック”, (1980.10).
- [4] 西川 訓利: “車載アンテナの VHF 帯および UHF 帯における特性解析に関する研究”, 名古屋大学博士論文 (1986).
- [5] 平野 拓一: モーメント法入門 - 帯電導体棒状の電荷分布 -, <http://www-antenna.ee.titech.ac.jp/~hira/hobby/edu/em/mom/index-j.html>
- [6] トヨタ自動車: 私信.