

地上波デジタルTV車載ガラスアンテナに関する研究

－ アンテナの設置環境の検証及びアンテナの改良 －

2002MT077 白石 慶子 2002MT094 山下 辰典

指導教員 稲垣 直樹

1 はじめに

1.1 研究の背景

2003年から始まった地上波デジタルTVのサービスは、2011年にはアナログ放送から完全にデジタル放送へと移行する予定である。デジタル放送の主な特徴は、高画質の映像と高品質な音声を提供できることであるが、車内におけるTV視聴の問題点としてフェージングによる受信レベルの低下があげられる[1]。

1.2 研究の目的

本研究では、地上波デジタルTV車載ガラスアンテナについて研究を行う。前年度の研究に引き続き、今年度はT・K社が考案したガラスアンテナを用いて、車体及び解凍・防曇用の電熱線による影響について検証することを目的1とする。また、前年度の研究でT社が考案した変形H型アンテナの最適寸法をOptfekoを用いて算出したが、解析の結果帯域幅に問題があったため、この点の改良を目的2とする。

1.3 研究方法

目的1の検証にあたっては、まず金属板を車体に見立て、金属板及び電熱線の存在がアンテナの特性に与える影響について検証する。次に、車体全体をモデル化し、より実際の設置環境に近いモデルを用いて検証する。さらに自動車の高速移動や方向転換に対しても特性を維持できるように、ダイバシチ受信を使用する。

目的2については、アンテナ素子の長さを変えながら特性の変化を検証し、最適な帯域幅を持つアンテナ設計を検討する。次に、改良したアンテナを自動車モデルに取り付け、特性がどの程度維持できるのか検証する。

なお、モーメント法による電磁界解析には、FEKOを用いた。アンテナの性能の判断には、リターンロス・指向性・利得を指標とする。

2 車載ガラスアンテナ

2.1 車載アンテナに求められる特性 [1][8]

車載アンテナに求められる特性として以下の項目が挙げられる。

- 機械的要求条件...耐振動性、耐衝撃性
- 形態的要求条件...受風面積が小さく軽量である
- 水平面内指向性...無指向性である
- 垂直面内指向性...仰角及び俯角方向を抑える
- その他の指向性...適応的に制御する
- デザイン性

2.2 ダイバシチ受信について

現在、フェージング対策として利用されている受信技術のひとつである。本研究では、距離を離れた場所に複数のアンテナを設置し、より高い受信信号を選択する空間ダイバシチ方式を使用する。

2.3 ガラスアンテナについて

ガラスアンテナは、自動車のリアガラス・フロントガラス・サイドガラス等の表面に印刷された線状のアンテナである。ポールアンテナと同等の性能を持ちながら、走行時の風の影響を受けない点と自動車のデザイン性を損なわずに設置できる点が特長である[6]。

3 T・K社のガラスアンテナ

T・K社による走行実験 市街地などを移動する自動車にアダプティブ受信技術を用いて、地上波デジタルTVを受信する実験がT・K社により実施された。採用した車種は2400ccクラスの大型ワゴンで、左右後部サイドガラスに各2個ずつ設置して走行実験が行われた。放送周波数は、UHFの第15ch(485.142857MHz)が採用された。その結果、走行中映像の乱れがほとんどなく、正常に受信することができた[5]。

2004年度の研究内容 前年度は、アンテナ単体としての性能及び車体に用いられるガラスがアンテナの特性にどう影響するのか、簡単なモデルを作成して検証を行った。その結果、アンテナ単体としての優れた性能と、ガラスによるアンテナの特性への影響はほとんどないことがわかった[1]。

3.1 数値解析

アンテナの構造を図1に示す。

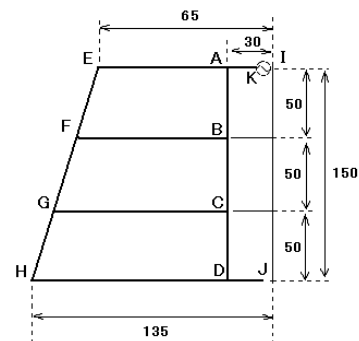


図1 T・K社のガラスアンテナの構造 (単位: mm)

3.1.1 解析 1

リアガラスへの設置，及び電熱線によるアンテナの特性への影響を検証することを目的として，4700ccクラスのセダンを参考に，車体後方部分をモデル化し解析を行う（図2）．メッシュの大きさは波長の5分の1，特性インピーダンスは200とする．電熱線については，幅1.7mm，低効率100 /m，約35.4mmの間隔で設置し，終端にはチョークコイルを入れる．インダクタンスは1Hとする[4]．なお，自動車全体をモデル化すると解析に多くの時間を要するため，モデル1は解析2の予備解析に用いる．評価対象のテレビチャンネルは，UHFの第15ch及び20ch(515.142857MHz)を採用する．解析項目は次の通りである．

1. リアガラスにアンテナを1箇所設置する
2. ダイバシチ受信を行う
(リアガラスにアンテナを2箇所設置する)
3. 2に電熱線を加える

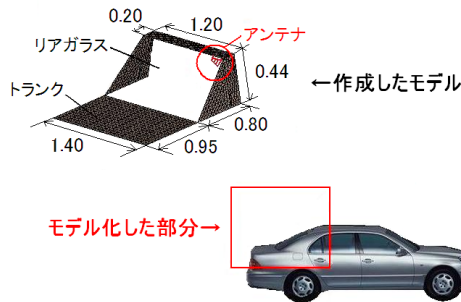


図2 モデル1 (単位：m)

3.1.2 解析 2

サイドガラスに設置したときのアンテナの特性の検証及び，より実際の設置環境に近いモデルで解析を目的として，車体全体をモデル化した（図3）．車体寸法，メッシュの大きさ，特性インピーダンスはモデル1と同様とする．解析1の結果と比較するために，リアガラスに設置した場合のアンテナの特性及び電熱線による影響について検証する．解析項目は次の通りである．

1. ダイバシチ受信を行う
(リアガラスにアンテナを2箇所設置する)
2. 1に電熱線を加える

3.1.3 解析 3

モデル2を用いて，サイドガラスに設置した場合のアンテナの特性及び電熱線による影響を検証する．解析項目は次の通りである．

1. ダイバシチ受信を行う
(左右後部サイドガラスにアンテナを各2箇所設置する)
2. 1に電熱線を加える

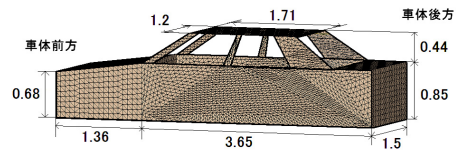
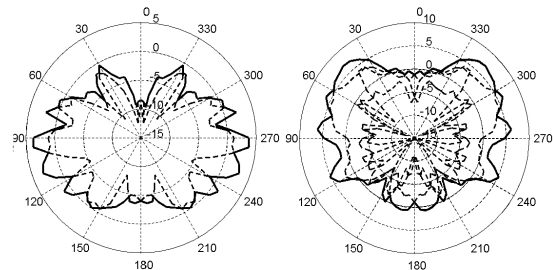


図3 モデル2 (単位：m)

3.2 結果及び考察

3.2.1 設置場所について - リアガラスとサイドガラス -

アンテナの設置場所はリアガラスよりもサイドガラスの場合に利得が安定しており，水平面内の利得においては $\pm 0 \sim 360^\circ$ でおおよそ0dB以上を維持している．また，ダイバシチ利得はサイドガラスに設置したときの方がかなり大きく，これについて，リアガラスに設置したときには2つのアンテナの相関係数が大きいため，ダイバシチ利得が小さくなっていると考えられる（図4）．図4について，実線がダイバシチ受信により高い利得を選択した結果である．



(a) リアガラス

(b) サイドガラス

図4 UHF 第15ch 水平面内指向性利得

3.2.2 電熱線による影響について

リアガラスに設置した場合 電熱線によりリターンロス値が大きくなる（図5）．また，指向性利得について，垂直面内はリアガラスが向く仰角方向への指向性が電熱線により強くなる．水平面内は，電熱線がないときアンテナの指向性はピラーの影響を受けてピラーとは反対の方向へ強くなるが，電熱線を加えるとその影響が抑制され，ダイバシチ受信を採用した結果 $\pm 60^\circ \sim 90^\circ$ かつ $270^\circ \sim 300^\circ$ 付近で指向性はやや弱くなる（図6）．

したがって，リアガラスに設置した場合に電熱線はアンテナの特性に明らかに影響を与えているといえる．

サイドガラスに設置した場合 前方に取り付けたアンテナについて，リターンロス値はやや大きくなるが変化はほとんど認められない．しかし，後方に取り付けたアンテナについては電熱線の影響を受けて，やや損失が大きくなる．また，垂直面内の指向性利得について，前方及び後方に取り付けたアンテナは電熱線のある方向で弱くなり，反対の方向で強くなっている．水平面内については後方に取り付けたアンテナへの影響が著しい．

$\pm 120^\circ \sim 240^\circ$ 付近で指向性が弱くなり， $\pm 60^\circ \sim 120^\circ$

及び 240 ~ 300 付近で強くなっている。これは、電熱線により反射した結果であるが、前方に取り付けたアンテナの利得が $\approx 150 \sim 210$ 付近で大きくなっているため、ダイバランチ受信を採用した結果、利得は著しい減少とはならず約 0dB 以上を保つ結果となった。

左右のサイドガラスに各 2 個ずつ計 4 個のアンテナを設置しているが、各アンテナへの影響に着目すると、後方部分つまり電熱線に対してより近い位置にあるアンテナが大きな影響を受ける。具体的には、電熱線に反射して車体前方方向へ指向性が強くなるといえる。

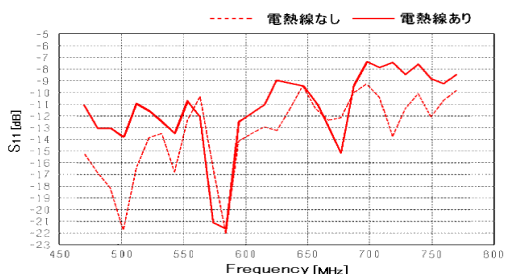
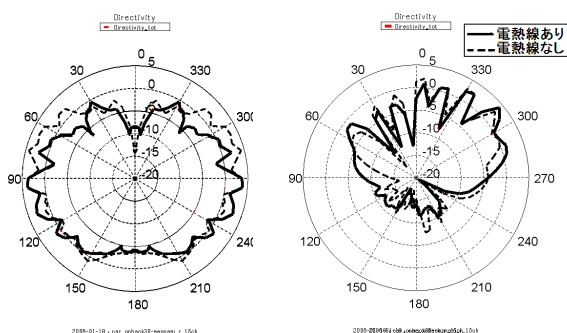
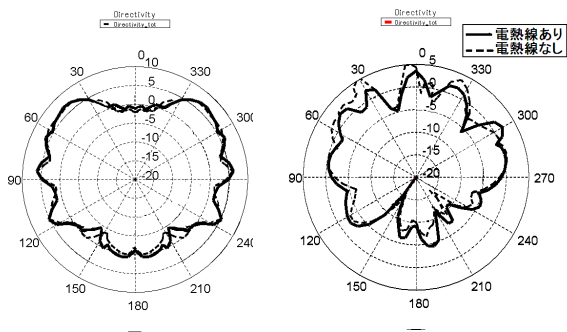


図 5 470 ~ 770MHz におけるリターンロス特性 (単位: dB)



(a) 水平面内指向性利得 (b) 垂直面内指向性利得

図 6 リアガラスに設置した場合の指向性利得 (UHF15ch)



(a) 水平面内指向性利得 (b) 垂直面内指向性利得

図 7 サイドガラスに設置した場合の指向性利得 (UHF15ch)

4 変形 H 型アンテナ

T 社によって発表された変形 H 型アンテナ [2] を用いて、地上波デジタル TV 放送受信アンテナの検討を行い、自動車に取り付けた際の特性について示す。T 社が考案した変形 H 型アンテナの基本構造を図 8 に示す。

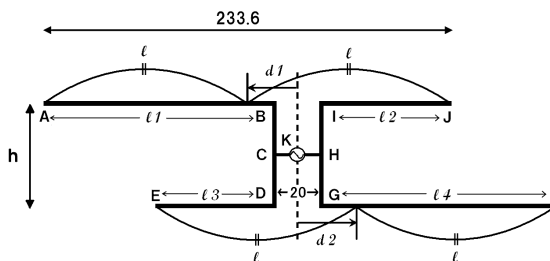


図 8 変形 H 型アンテナの構造

4.1 変形 H 型アンテナの構成

H 型アンテナには、その構造定数に自由度が高いという特徴があり、アンテナ設計の上でその特徴を有利に活用することができる。そこで名古屋工業大学の論文 [3] をもとに、図 8 に示したような、非対称化パラメータ d_1 , d_2 を用い、 $l_1 + l_2 = l_3 + l_4 = 2l - 20$, $l_1 = l + d_1 - 10$, $l_3 = l - d_2 - 10$ の場合について、 d_1 , d_2 及び h がどのような値のときに変形 H 型アンテナの帯域幅を最大にできるかを調べた。

なお、実際の自動車用ガラスに用いられるプリント線と同じ特性を持たせるために、導線の太さを最大限に太くした。また、特性インピーダンスの値は、デジタル TV を使用する際に用いる同軸線路の特性インピーダンスと同じ、75 Ω とした。

h の値は、25mm, 60mm, 80mm, 100mm の 4 通りについて調べ、各 h の値ごとに d_1 , d_2 の値を変化させていったときの最も最適な帯域幅をグラフ化した。

その結果、 $h=25$ mm, 60mm では、ほぼ一定の帯域幅を保っている一方、 $h=80$ mm, 100mm では、帯域幅に多少の開きがあった。また、 $h=100$ mm において、 $d_1=10$ mm, $d_2=50$ mm のとき、最大帯域幅は 891MHz であり、うち 470 ~ 770MHz の帯域を含む割合は 87.6% となった。100% という数値に至ることはできなかったが、各アンテナ素子の長さを微調整することにより、100% という数値に至ることも可能であろう。一般的には、アンテナの長さを長くすることによって、帯域幅は低い方へシフトする。

4.2 車体に設置したときのアンテナ特性の検証

前節で検討したアンテナを車体に取り付けた際の特性を検証する。4700cc クラスのセダン型のモデルを用いて車体のフロントガラスにアンテナを取り付け、その電磁界解析を行う。取り付け位置は、フロントガラス右上である。

4.2.1 自動車モデルとアンテナ取り付け位置

今回使用するアンテナの寸法は、 $h=100$ mm, $d_1=10$ mm, $d_2=50$ mm である。ただし、帯域幅を 470 ~

770MHz の範囲に合わせるため、各アンテナ素子 (l_1, l_2, l_3, l_4) の長さを 1.10 倍延長させた。リターンロス特性および指向性利得はを図 9, 図 10 に示す。ただし指向性利得に関しては、UHF 帯の第 20ch (515.142857MHz) を採用した。また、電界面 (水平面) 内の指向性利得図において、 $\theta = 180^\circ$ の方向が車体の前方を、 $\theta = 0^\circ$ の方向が車体の後方を表す。磁界面 (垂直面) 内の指向性利得図においては、 $\theta = 270^\circ$ の方向が車体の前方を、 $\theta = 90^\circ$ の方向が車体の後方を表している。

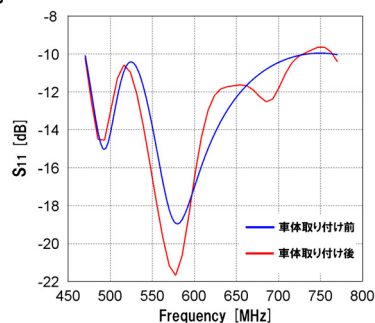
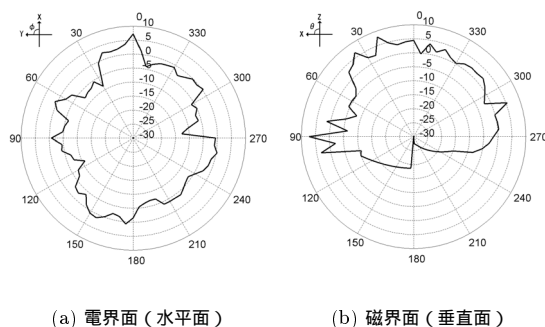


図 9 440 ~ 770MHz におけるリターンロス特性 [単位: dB]



(a) 電界面 (水平面) (b) 磁界面 (垂直面)

図 10 第 20ch における指向性利得 [単位: dB]

4.2.2 考察

リターンロスに関しては、車体に取り付ける前と比べて、ほとんど影響は受けていないことが分かる。470 ~ 770MHz のほぼ全帯域において -10dB 以下の値を維持しており、地上波デジタル放送用アンテナとしては満足な結果といえる。一方、電界面 (水平面) 内の指向性利得は、 $\theta = 0^\circ$ および 180° の方向が比較的高いものの、車体の横方向を表す $\theta = 90^\circ, 270^\circ$ の方向は弱くなっている。磁界面 (垂直面) 内の指向性利得は、車体の下方向が弱められ、車体の上方向が逆に強められている。また、磁界面 (垂直面) 内指向性と比較しても、電界面 (水平面) 内の指向性利得の値は全体的に低く、向上が求められる。

5 おわりに

アンテナを設置した際の車体及び電熱線による影響について以下のことがわかった。電熱線付近であるリアガラスからサイドガラス後方にかけて大きな影響を受ける。しかし、今回の解析で採用したダイバシチ受信方式

により、サイドガラスの設置については上記の影響を回避することができるため、設置場所はリアガラスよりもサイドガラスの場合にアンテナの受信特性は安定した。これは T・K 社の走行実験を証明する結果となった。

リアガラスへの設置は車種により車体からの影響に差が生じやすいというリスクがあるが、セダン型の自動車においてはガラスアンテナをサイドガラスではなくリアガラスもしくはフロントガラスに設置することが多い。リアガラスへの設置後もアンテナ単体としての特性を維持するために、形状の異なるアンテナを設置してアンテナ間の相関係数を小さくすること、T・K 社による走行実験でも採用されたアダプティブ受信を採用することが考えられる。それらによる検討を行いリアガラスに設置したときでも安定した受信を実現することが今後の課題である。

変形 H 型アンテナについては、リターンロス特性では、課題であった数値を達成することができた。しかし、水平面内の指向性利得については、車体横方向への指向性が弱いため、ダイバシチ受信などの受信技術を利用して水平面において十分な利得が得られるようにすることが今後の課題である。垂直面内については、地上波デジタル TV 放送の電波が水平方向から到来することを考慮すると、仰角及び俯角方向への指向性利得を抑え、水平方向への指向性利得をより向上させることが望まれる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、終始多大なご指導を賜りました稲垣直樹教授ならびに、ご助言・ご支援頂きました同研究室の先輩の皆様、その他研究にご協力下さいました関係諸氏に深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 山中万裕子, 山下美由貴, "地上波デジタル TV 受信用車載ガラスアンテナの設計に関する研究", 南山大学数理情報学部情報通信学科 2004 年度卒業論文要旨集 (2005.3).
- [2] Hideo Izuka, Toshiaki Watanabe, Kazuo Sato, Kunitoshi Nishikawa, "Study of Modified H Shaped Antenna for Digital Terrestrial Reception System", TOYOTA Central Research Development Labs (2004).
- [3] 古橋政明, 稲垣直樹, "H 型伝送線路アンテナ", 名古屋工業大学 (1982)
- [4] 電熱線及びガラスアンテナ設計図, 私信 (2005.7)
- [5] nikkeibp.jp, アダプティブアレーアンテナの走行実験, <http://techon.nikkeibp.co.jp>(2003.1)
- [6] 旭硝子, ガラスアンテナ, <http://www.agc.co.jp/>.
- [7] FEKO User Manual, EM Software&System-S.A.(Pty)Ltd (2004.7).
- [8] 桑原守二, 自動車電話, コロナ社 (1985).