

# 車車間通信の安定化に関する研究

2002MT066 小川 泰史      2002MT088 鶴見 友昭  
指導教員 稲垣 直樹

## 1 はじめに

### 1.1 背景

平成 17 年の交通事故死者は 6871 人で、5 年連続減少が続き、1956 年以来 49 年ぶりに 7000 人を下回った。しかし、依然として事故発生件数、負傷者数は高い水準となっており、その中でも高齢者が事故に関与する割合は年々増加傾向にある。したがって、これから高齢社会がより進む中、これまでに増して交通安全対策を行っていく必要がある。また、村田吉隆国家公安委員長は「2003 年に立てた『10 年間で交通事故死者数を 5000 人以下とする』との政府目標を達成するため、引き続き、強い決意をもって交通事故死者のさらなる減少に取り組んでまいりたいと考えている」とコメントしている。その安全対策として、すべての車両に車車間通信システムを搭載することが考えられている。このシステムの搭載により交通事故の死亡、重傷者は 4 割程度減ると予想されている。本研究では、車車間通信が実際に行われた時、電波の障害となる地面によって起こるフェージングの影響や、アンテナの最適搭載位置について考察する。

### 1.2 研究の方法

アンテナがいかに優れていたとしても、車体の影響や、電波の強さに影響を及ぼす障害物などが通信に悪い影響を与える要因になる。研究を行うにあたって、自動車の車体がなくては正確なアンテナの電磁波を測定することができない。そこで、アンテナと自動車の形状を EditFEKO で設計し、FEKO で電磁界解析をする。アンテナは 4 分の 1 波長のモノポールアンテナを設計し、また車体の影響によって特性が大きく変化するので、車体の形状が大きく異なるセダンタイプとワゴンタイプを設計する。FEKO での電磁界解析では、車車間通信に適したアンテナの位置を調べるために、車載アンテナの設置箇所を変えて解析を行う。また、EditFEKO で送信を行う車載アンテナと、送信された電波を受信する車載アンテナを別々に電磁気学的な特性の設定を行う。特に、受信アンテナでは送信を行う車載アンテナから電波を受信する車載アンテナ間の距離と、地面の反射の影響を考慮して解析を行う必要がある。そのようなことを行うことで、車体の形状、アンテナの設置位置、地面の反射が車車間通信にどのような影響がでて、どのような条件で、高い車車間通信を実現することができるのか調べる。

## 2 車車間通信とは

### 2.1 現状

自動車交通の安全性向上の取り組みが世界的に進む中で、その通信手段として車車間通信が注目されている。

四輪車や、二輪車が無線通信で互いに情報交換する技術で、ホンダが開発したものであり、早ければ 2008 年から実用化されるが、1999 年に公表された日本のシステムアーキテクチャでは、車車間通信は路車間通信と並んで ITS の狭域通信を担う技術であったが、ETC が普及し、その多方面への応用が具体化されつつある路車間通信に比べ、車車間通信はいまだ実用化には至っていない。

### 2.2 他国との比較

表 1 日、米、欧における車車間通信の主要周波数 [1]

国名	日本	米	欧州
周波数	5.8GHz	5.9GHz	2.4GHz
方式	DSRC	DSRC	無線 LAN

- 日本、米ではコミュニケーションのための周波数帯として DSRC が割り当てられているのが、欧州では未だ許可されていない。そのため欧州では無線 LAN を利用している。
- 日本では、車車間通信と路車間通信の融合が遅れているが、欧州では既存の無線 LAN のインフラを利用し車車間通信と路車間通信を融合させている。
- 欧州は無線 LAN により既存のインターネット回線から、ラジオや音楽等のエンターテインメント的な配信により、無線機搭載の普及率を上げる為の解決手段の一つとして考えている。

### 2.3 アプリケーション

#### 車車間通信のアプリケーション

- 運転動作を直接支援するもの
- 車両間で道路環境や、安全関連の情報を伝達しあうもの
- 安全とは関係なく仲間内の娯楽的な情報交換を行うもの

## 3 車車間通信におけるフェージング

### 3.1 フェージングとマルチパスについて

無線通信ではアンテナから送信された信号は電波を受信する方向によって様々な経路を通過して受信点に到着する。大きな建物などが多い市街地での通信では電波の強さの影響を及ぼす障害物が多い為、電波の強さが時間的に変動する現象がよく起こる。このような現象をフェージング (fading) という。電波が送信アンテナと受信アンテナの間を伝搬する際、送信点から受信点に一直線に向かう直接波の他に、障害物によって影響が及ぶ、

反射波、透過波、回折波などがあると考えられる。この様に一つの信号に対して複数の伝送路が存在することをマルチパス（多重波伝送路:multipath）[2] と呼び、無線通信の大きな特徴である。

### 3.2 マルチパスフェージングとは

マルチパス環境では送信点では同一であった信号が、様々な経路を通過して変動を受け、受信点で合成される。この時、通過した経路長の違いから、それぞれの波の強度や位相が互いに異なり、強め合う場所と弱め合う場所ができる。よってマルチパス環境では、送信アンテナと受信アンテナの微妙な位置関係で受信する電界の強度は複雑になり、大きく変動する。このようにマルチパスによる電界強度の変動はマルチパスフェージングと呼ばれる。

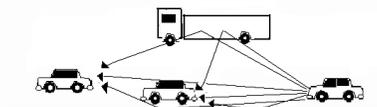


図1 車車間通信のマルチパスフェージング

## 4 研究の考察

本研究ではアンテナの位置を図2に示すようにセダンでは車体の7箇所、ワゴンでは車体の5箇所に取り付け、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のが最も車車間通信に適しているのか車体形状ごとに解析を行った[3]。

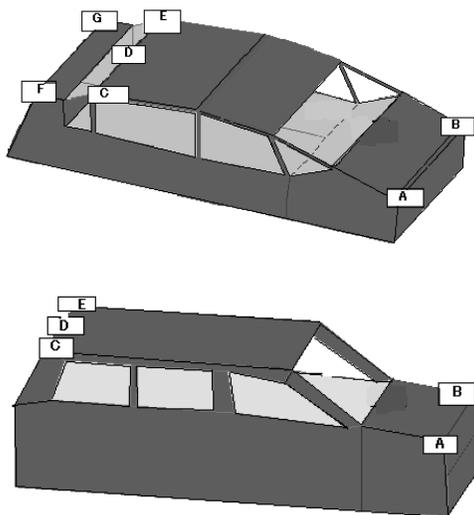


図2 アンテナの位置

## 4.1 送信の車載アンテナの考察

### 4.1.1 セダンタイプの考察

(a) 地面の反射を考慮しない場合（直接波）

自動車が一直線上にある場合を考えると、(C) 右後ろ (D) 中央後ろ (E) 左後ろの3箇所アンテナを設置した場合、利得の高い結果となった。また、アンテナを車の後方に搭載した(H) 後ろ右 (I) 後ろ左の場合は、送信を行う前方向の利得が前方にアンテナを設置した場合に比べて低い結果となった。また、アンテナの角度を傾けることによって、利得が低くなった。

表2 直接波の利得 [dB]

設置箇所	利得
(A) 右前	2.6
(B) 左前	2.6
(C) 右後ろ	5.3
(D) 中央後ろ	3.4
(E) 左後ろ	5
(F) 後ろ右	0.5
(G) 後ろ左	0.5
(C') 右後ろ斜め	3.3
(D') 中央後ろ斜め	1.6
(E') 左後ろ斜め	2.6

(b) 地面の反射を考慮する場合（地面の反射点に向かう電波）

距離が10mの時、地面へ向かう反射波は利得がほとんどの設置箇所でも低くなり、長距離になるほど利得は良くなるのがわかった。また、直接波に比べて地面へ向かう電波の方が若干であるが、利得が低くなる結果となった。これは、通信が近距離である場合、車のボディーが障害物となり、地面へ向かう電波の障害になる為と考察する。

表3 地面の反射点に向かう電波の利得 [dB]

設置箇所/距離	10m	40m	70m	100m
(A) 右前	1.6	2.7	2.4	2.6
(B) 左前	1.6	2.7	2.4	2.6
(C) 右後ろ	-8.8	4.7	5.3	5.3
(D) 中央後ろ	-8	2.8	3.4	3.4
(E) 左後ろ	-13.1	3.2	5	5
(F) 後ろ右	0.3	-4.4	1	0.8
(G) 後ろ左	0.3	-4.5	1	0.8
(C') 右後ろ斜め	-14.8	2.8	3.2	3.3
(D') 中央後ろ斜め	-10.6	0.8	1.3	1.7
(E') 左後ろ斜め	-16.1	2.5	2.5	2.6

### 4.1.2 ワゴンタイプの考察

(a) 地面の反射を考慮しない場合（直接波）

アンテナの設置箇所ごとに利得の大きさをみていく

と、前方に設置した(A)右前,(B)左前が高いことが分かる。後方の利得の大きさに関しては左右とも同じで、中央部に比べて高い利得が得られた。また、アンテナを斜めに設置した場合、平面に垂直に設置した場合よりも利得が低くなった。

表4 直接波の利得 [dB]

設置箇所	利得
(A) 右前	2.5
(B) 左前	2.0
(C) 右後ろ	-0.4
(D) 中央後ろ	-0.8
(E) 左後ろ	-0.4
(C') 右後ろ斜め	-3.9
(D') 中央後ろ斜め	-4.4
(E') 左後ろ斜め	-3.9

(b) 地面の反射を考慮した場合 (地面の反射点に向かう電波)

地面の反射点に向かう電波の利得は、アンテナを前方に設置した場合には高い結果が得られたが、その他の設置箇所に関しては、送信アンテナと受信アンテナの距離によって大きく変化し、高い利得が得られなかった。前方に設置したアンテナは、後方に設置したアンテナと違い車体による影響が少ないので、電波の強さが変化することなく高い利得を得られると考えられる。またワゴンは天井の横幅が長いので、電波の強さに影響を及ぼす車体が障害となり、地面の反射点に向かう方向では電波の強さが弱くなって高い利得を得られなくなると考えられる。よって、受信アンテナに一直線上に向かう電波の利得よりも低くなる。

表5 地面の反射点に向かう電波の利得 [dB]

設置箇所/距離	10m	40m	70m	100m
(A) 右前	1.9	2.6	2.6	2.3
(B) 左前	1.9	2.6	2.6	2.3
(C) 右後ろ	-1000	-24.1	-21	-20.2
(D) 中央後ろ	-1000	-16.2	-13.6	-10.9
(E) 左後ろ	-437	-24.1	-22	-20.2
(C') 右後ろ斜め	-44.5	-17.3	-16.5	-15.6
(D') 中央後ろ斜め	-44.5	-26.8	-22.9	-19.8
(E') 左後ろ斜め	-44.5	-17.3	-16.7	-15.7

## 4.2 受信の車載アンテナの考察

### 4.2.1 セダンタイプの考察

(a) 地面の反射を考慮しない場合 (直接波のみ)

直接波の受信電力は、セダンでは、天井部分に設置した(C)右後ろ(D)中央後ろ(E)左後ろに設置したアンテナの受信効率が良い結果となった。特に、(D)中央

後ろが最も高い結果となった。また、アンテナを斜めに設置した場合、平面に垂直に設置した場合よりも、およそ7dB程低い値となった。

表6 直接波の受信電力 [dBW]

設置箇所/距離	10m	40m	70m	100m
(A) 右前	-105.1	-117.7	-122	-125.4
(B) 左前	-105.1	-117.7	-121.3	-125.1
(C) 右後ろ	-87	-98.5	-104.1	-107.5
(D) 中央後ろ	-80.7	-93	-97.8	-99.7
(E) 左後ろ	-108	-118.9	-124.7	-128.3
(F) 後ろ右	-106.7	-118.9	-124.4	-126.2
(G) 後ろ左	-106.9	-118.5	-123.4	-127.7
(C') 右後ろ斜め	-94.1	-105.3	-110.8	-113.9
(D') 中央斜め	-86.1	-97.2	-102	-105.5
(E') 左後ろ斜め	-114.5	-126.6	-131.1	-134.9

(b) 地面の反射を考慮する場合 (直接波と反射波)

受信の時の反射を考慮した場合、距離が遠くなるほど受信電力が低くなることが分かる。最も高い受信電力であったのは、天井にアンテナを設置したときであった。また、前方に設置したアンテナと後方に設置したアンテナを比較すると、通信距離が長い100mの時は、後方に設置したアンテナの受信電力の方が高い結果となった。

表7 直接波と反射波の受信電力 [dBW]

設置箇所/距離	40m	70m	100m
(A) 右前	-105.1	-119.1	-127.5
(B) 左前	-103	-125.4	-127.5
(C) 右後ろ	-94.5	-99.8	-105.3
(D) 中央後ろ	-89	-93	-97.6
(E) 左後ろ	-115.6	-120	-125.2
(F) 後ろ右	-117	-123.3	-125.9
(G) 後ろ左	-117.5	-123	-124.4
(C') 右後ろ斜め	-103.1	-106.1	-112.8
(D') 中央後ろ斜め	-92.8	-97.2	-101.9
(E') 左後ろ斜め	-124.4	-128	-132.2

### 4.2.2 ワゴンタイプの解析結果

(a) 地面の反射を考慮しない場合 (直接波のみ)

アンテナの設置箇所ごとに見ていくと、送信と受信アンテナを前方に設置した場合の受信電力が一番高い。アンテナを斜めに設置した場合は、平面に垂直に設置した場合より受信電力が低いので、平面に垂直に設置した場合の方が受信の効率が高いと言える。また、送信アンテナと受信アンテナ間の距離ごとに見ていくと、どの設置箇所も距離が長くなるほど受信電力が減少していることが分かった。

表 8 直接波の受信電力 [dBW]

設置箇所/距離	10m	40m	70m	100m
(A) 右前	-95.2	-120.3	-120.9	-121.5
(B) 左前	-105.1	-117.3	-122	-125.3
(C) 右後ろ	-111	-124	-128.8	-131.5
(D) 中央後ろ	-110.6	-126.6	-143.8	-129.4
(E) 左後ろ	-112.7	-124.3	-129	-132.8
(C') 右後ろ斜め	-122.3	-134.4	-141.8	-142.9
(D') 中央斜め	-119.9	-124.8	-130.6	-136.3
(E') 左後ろ斜め	-120.6	-134.1	-139.1	-142.5

(b) 地面の反射を考慮した場合 (直接波と反射波)

地面の反射を考慮した場合も直接波のみを受信する場合と同様に、送信と受信アンテナを前方に設置した場合が一番受信電力が高いことが分かった。また、アンテナを斜めに設置した場合も平面に垂直に設置した場合より受信電力が低いので、平面に垂直に設置した場合の方が受信の効率が高いと言える。直接波のみを受信する場合の受信電力と比較すると、地面の反射を考慮した場合の方が低くなるので、受信効率に大きく影響されると考えられる。

表 9 直接波と反射波の受信電力 [dBW]

設置箇所/距離	40m	70m	100m
(A) 右前	-111.1	-125.7	-122.8
(B) 左前	-116	-120.6	-122.8
(C) 右後ろ	-122.2	-127.3	-134.8
(D) 中央後ろ	-126.6	-123.7	-126.6
(E) 左後ろ	-126.2	-78.6	-135.7
(C') 右後ろ斜め	-134.4	-138	-144.7
(D') 中央後ろ斜め	-124.8	-127	-141
(E') 左後ろ斜め	-135.5	-138.7	-145.1

5 まとめ

5.1 送信の車載アンテナ

セダンとワゴンの共通する点

- 後方に設置した場合に関して、アンテナを斜めに設置すると利得が低くなる。
- 近距離で通信を行う場合、利得の低い時が多い。
- 地面の反射点に向かう電波は、直接波の利得と比べて低くなる。
- 中央部に設置した場合のアンテナ利得は高く、左右にアンテナを設置した場合に比べて低くなる。

セダンとワゴンの異なる点

- セダンでは、車の天井部分に設置するとアンテナ利得が高くなるが、ワゴンでは、天井部分に設置すると低い利得となる。

5.2 受信の車載アンテナ

セダンとワゴンの共通する点

- 距離が遠くなるほど受信電力が低くなる。
- アンテナを天井に斜めに設置すると、受信電力が低くなる。

セダンとワゴンの異なる点

- セダンでは、車の天井部分の中央で最も高い結果が得られたが、ワゴンでは、アンテナを前方に設置した場合が最も高い結果となった。

6 おわりに

本研究では、FEKO を用いて車にアンテナを設置し、車車間通信を行う時に影響があると考えられる地面の反射の変化からの電磁界強度の変化、通信効率の高いアンテナの設置箇所について考察をすることが目的である。送信側では、直接アンテナに向かう直接波、地面から反射をして受信アンテナへ向かう反射波を考え、直接波、反射波それぞれ送信側での利得を FEKO で解析結果を調べた。車者間の距離が 40m を越えると、直接波に近似したベクトルとなったので、反射波も直接波と同じベクトルとして考えた。送信、受信の両方考え、セダンは、車の天井中央部分にアンテナを設置すると高く、ワゴンでは、車の前方に設置する時に高い結果を得られた。また、車車間の距離が遠い条件で通信を行う時の反射する電波の方向の利得は直接波の利得と同一、もしくは近似したが、車車間の距離が近い条件の時、反射波の利得は低くなった。これは、車体が障害物になったと考えられる。セダン、ワゴンの両方とも、アンテナを傾けて設置することより、アンテナを平面に垂直に設置する方が高い結果となった。受信側では、通信の距離が遠くなるほど受信効率が低下する結果となった。

今回、車車間通信を行う場合、常に車が同一方向で、アンテナの設置箇所が同じ場合を想定したが、実際は、通信を行う車が対角線方向に存在し、アンテナの設置箇所が車によってそれぞれ異なる場合が考えられる。また実際は、地面へ向かう反射波と直接波はベクトルが異なるため別々に考える必要がある。そして、地面の反射以外にも、ビルやガードレールなどの電波の障害物で反射を想定する必要があり、これらの問題を解決することが今後の課題である。

参考文献

[1] 財団法人 日本自動車研究所 (JARI) ITS センター:5.8GHz 帯を用いた車車間通信の伝達特性 [http://www.jari.or.jp/kenkyu/kenkyu-3/its\\_topics/050118/050118.pdf](http://www.jari.or.jp/kenkyu/kenkyu-3/its_topics/050118/050118.pdf)

[2] 唐沢 好男, “ITS ミリ波車車間通信の路面反射フェージングとスペースダイバーシティに関する基礎的検討”, 電子情報通信学会論文誌, pp518-524(2000).

[3] 成田周司, 則武佳人, 鳥居正浩, “自動車の電磁解析のためのモデリングに関する研究”, 南山大学数理工情報学部情報通信学科卒業論文, (2004)