

準ミリ波 UWB における乗用車レーダ断面積の測定

Measurements of Ultra Wideband Radar Cross Sections of an Automobile at Ka Band

高橋 直人[†] 吉川 誠[†] 角田 紀久夫^{††} 天野 信之^{††} 小林 岳彦^{†††, ††††}
Naoto TAKAHASHI Makoto YOSHIKAWA Kikuo TSUNODA Nobuyuki TENNO Takehiko KOBAYASHI
[†]NTT アドバンステクノロジー株式会社 ^{††}株式会社村田製作所 ^{†††}独立行政法人通信総合研究所 ^{††††}東京電機大学
NTT Advanced Technology Corp. Murata Manufacturing Co., Ltd. Communications Research Laboratory Tokyo Denki University

[†]〒239-0847 神奈川県横須賀市光の丘 3-2 YRP2 番館 2 階
Phone:046-847-6027
E-mail: naoto@yrp.ntt-at.co.jp

1. はじめに

UWB(ultra wideband)無線技術は、数百ピコ秒以下の短いパルス状の信号を用いる無線技術として近距離超高速無線通信、高分解能レーダ等への応用を念頭に近年急速に注目が集まっている。しかし、UWB 技術は、数 GHz にもわたる極めて広い周波数を利用するため、その実用化には、法規制の整備、広帯域をカバーするアンテナやデバイスの実現など数多くの課題がある。

2002 年に米国連邦通信委員会(FCC)は、UWB 技術の利用に関する規制緩和に踏み切り、欧州や日本でも UWB 技術の規制緩和に関する検討が進められている。無線 Personal Area Network(WPAN)の標準化を行っている IEEE802.15 委員会では、高速データ転送規格を策定する TG3a、低速データ転送規格を策定する SG4a で標準化案を策定している。

日本では、UWB 技術の研究開発を促進するため、独立行政法人通信総合研究所(CRL)は 2002 年に UWB 結集型特別グループを組織すると共に、横須賀リサーチパーク(YRP)を中心に組織化した UWB 産学官コンソーシアムを結成し活動を行っている。[1]

このコンソーシアムでは、UWB アプリケーションの一つとして 22~29 GHz 帯を車載レーダに用いる検討を行っており、この車載レーダは FCC でも周波数の割り当てが行われている。

車載レーダは移動する目標物として自動車、バイク、自転車および人等が想定され、固定してある目標物としてガードレール、標識等が想定される。この UWB を用いた車載レーダの開発には、目標物のレーダ断面積を明らかにする必要がある。CW を用いたレーダ断面積は、自動車、人等については報告されている資料があるが、UWB を用いたレーダ断面積を報告した資料はない。

これらのことからレーダの開発に不可欠なデータである車輛のレーダ断面積を実測したので、報告する。

2. 測定方法

2.1 コーナーリフレクタ

20.5 m(W)×15.5 m(D)×9.0 m(H)の EMC 測定用電波暗室内のターンテーブル上に、投影面積 0.09 m²(0.3 m 平方)の 2 面コーナーリフレクタを床面から 0.85 m に設置し、正面方向から±15° 方向までの 30° を 1° 刻みに回転させた。床面には電波吸収体を敷き詰めた。これにより、地面の影響を除いたコーナーリフレクタそのもののレーダ断面積を測定できる。

送受信には平行して配置した 2 個のリジッド WG ホーンアンテナを用いて、送受信偏波の組合せが V-V, H-H, +45° -45° の 3 通りについてベクトルネットワークアナライザにより S₂₁を測定した。

表 1 に測定諸元を示す。また、図 1 にアンテナ設置例、図 2 に実験風景を示す。図 1(a), (b)はそれぞれ V-V, +45° -45° 偏波時のアンテナ設置例である。アンテナ主ビーム方向は水平で、アンテナ高はコーナーリフレクタの中心である 0.85 m とした。アンテナとコーナーリフレクタとの平均距離は 10 m で、アンテナのフットプリントはコーナーリフレクタの投影面積よりも十分大きくなる。

表 1 測定諸元

項目		諸元
測定系		ベクトルネットワークアナライザ
周波数		22~29 GHz(帯域幅 7 GHz)
送受信偏波		V-V, H-H, +45° -45°
送受信アンテナ	種別	リジッド WG ホーンアンテナ
	利得	22.5 dBi (25.5 GHz)
アンテナ高		0.85 m
平均距離		10 m (被測定物-送受信アンテナ間)
被測定物	コーナーリフレクタ	投影面積 0.09 m ² (0.3 m 平方)
	乗用車	全長 4.75 m×全幅 1.75 m×全高 1.39 m



(a)V-V 偏波 (b) +45° - -45° 偏波
図1 送受信アンテナ設置例



図2 実験風景(コーナーリフレクタ)

2.2 乗用車

コーナーリフレクタ測定時と同様に EMC 測定用電波暗室内のターンテーブル上に、4ドアセダン型乗用車(排気量 2 l)を床面から約 0.3 m ジャッキアップして設置し、正面方向から真後方向までの 180°を 1°刻みで回転させた。アンテナにはリジッド WG ホーンアンテナを用いて、送受信偏波の組合せが V-V, H-H, +45° - -45° の 3 通りについて S_{21} を測定した。

表 1 に測定諸元、図 3 に実験風景を示す。アンテナ高はフロントバンパの中心である 0.85m とした。アンテナのフットプリントは車輛を真横にした場合に車輛の投影面積よりも最大 10 %程度小さくなることもある。しかし、投影面積 10%の減少は電力にして 0.5dB 以下となるため、ほとんど影響はない。



図3 実験風景(乗用車)

3. 測定結果

3.1 コーナーリフレクタ

図4に送受信偏波 V-V とした場合のコーナーリフレクタの角度特性を示す。同図から角度 0° は送受信アンテナとコーナーリフレクタとが正対していることがわかり、この時の受信電力からレーダ断面積を求めることができる。また、図 5 に送受信偏波の組合せを V-V, H-H, +45° - -45° とした場合の正対時の周波数特性を示す。同図はコーナーリフレクタの周波数特性を示しているが、この周波数特性の傾きは送受信アンテナ等の測定系の周波数特性によるものと考えられる。また、各偏波における周波数特性はほぼ一致していることがわかる。

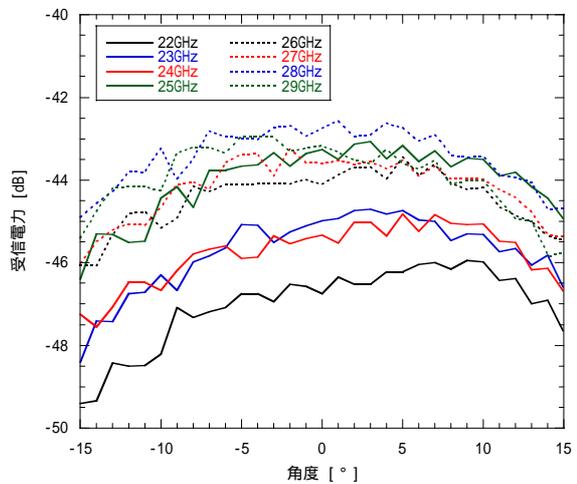


図4 コーナーリフレクタの角度特性(V-V)

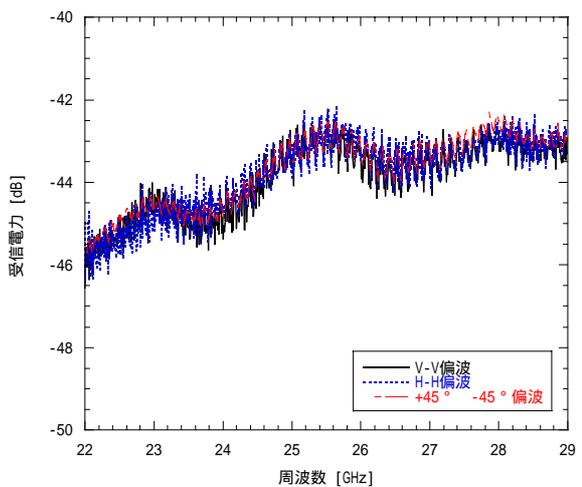


図5 コーナーリフレクタの周波数特性

ここで、受信電力 P_r [dB]は、式(1)に示すレーダ方程式より算出できる。また、コーナーフレクタのレーダ断面積(有効反射面積) σ [m²]は式(2)で表される。 [2]

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (1)$$

P_t : 送信出力[dBm]

P_r : 受信電力[dBm]

G : 送受信アンテナ利得[dBi]

λ : 波長[m]

R : 目標物とアンテナとの距離[m]

$$\sigma = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2} \quad (2)$$

A : 投影面積[m²]

投影面積 **0.09 m²(0.3 m 平方)**の2面コーナーフレクタを用いた時の受信電力 P_r [dB]は、周波数 **22, 25.5, 29GHz** の時にそれぞれ**-44.5, -42.0, -41.7 [dB]**となる。

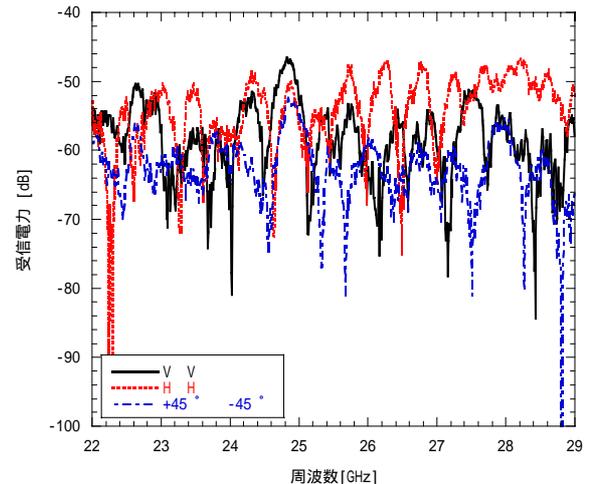
このことから2面コーナーフレクタを用いた較正を行うことにより、平均 **1 dB** 以内の精度でレーダ断面積が求められることを確認した。

3. 2 乗用車

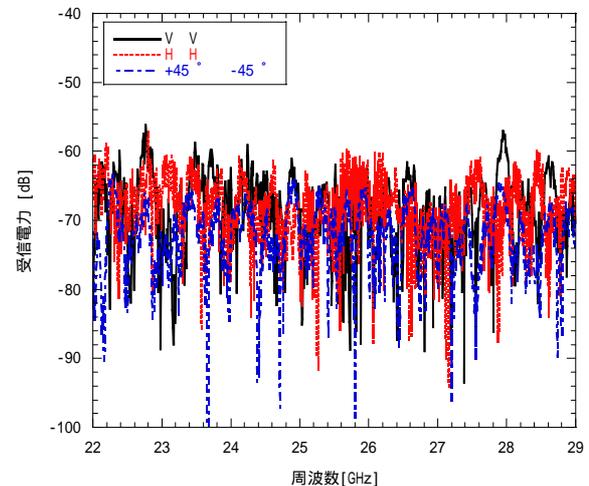
図6に乗用車の各方向における周波数特性を示す。(a)~(e)は車輛前方から後方までを **45°** 毎に回転させた時の測定結果である。図中には送受信偏波の組合せを **V-V, H-H, +45° -45°**とした場合の測定結果を示してある。

V-V および **H-H** の測定結果から車輛前方、真横、後方では、受信電力は最大**-50 dB** とほぼ同程度であるが、前後方 **45°** の場合は **10 dB** 程度低い**-60 dB** 程度となっている。このことから車輛の前後左右の4方向が高いレベルとなることがわかる。これに加え、ノッチ間隔等が方向により異なることから、車輛の方向依存性が顕著に現れていることがわかる。これは乗用車の構造によるものが大きく影響していると考えられる。

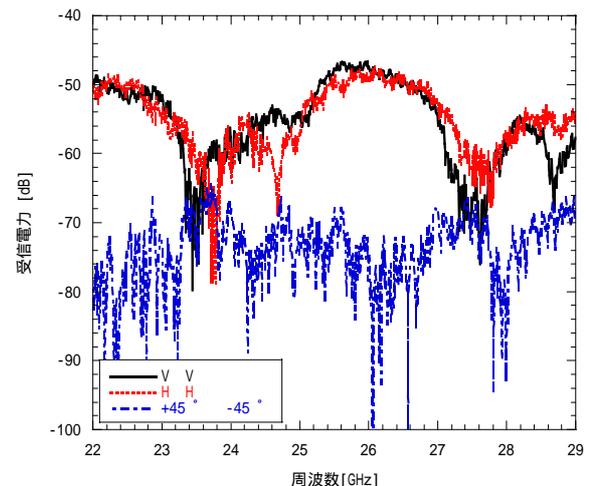
また、送受信偏波による違いを比較すると、**V-V** および **H-H** では、ほぼ同様の傾向を示しているが、**+45° -45°**では、**V-V** および **H-H**と比較すると、**5~20 dB** 程度のレベル差が生じており、特に真横方向でレベル差が最大となっている。この真横方向は比較的平面に近いことから偏波を回転させる構造となっていないためと考える。



(a)Front

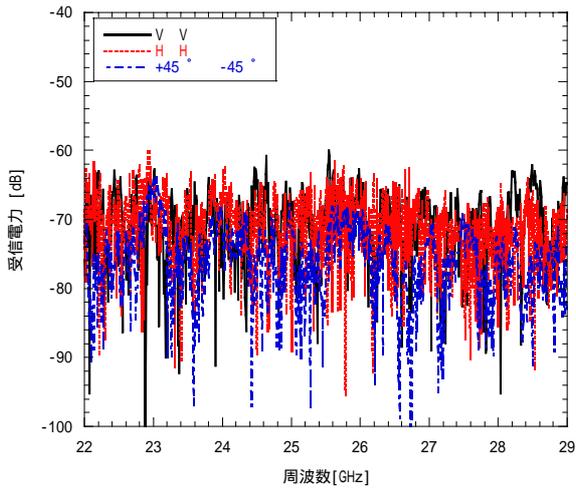


(b)Front45°

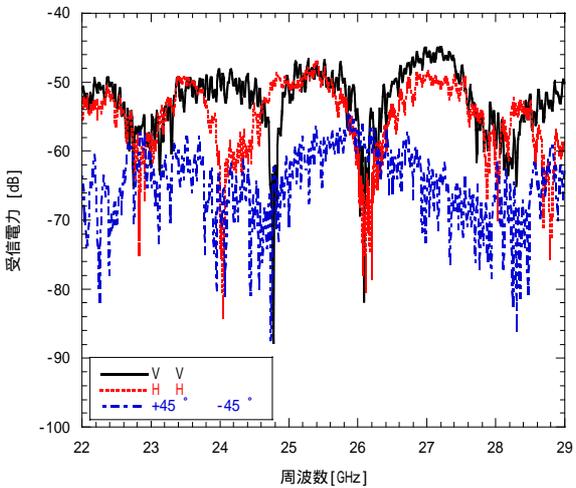


(c)Side

図6 乗用車の各方向における周波数特性



(d)Rear45°



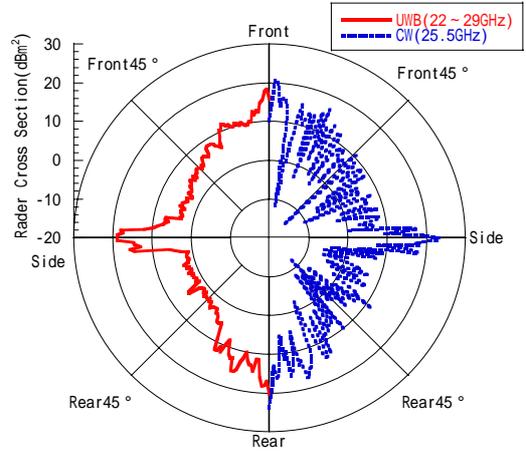
(e)Rear

図 6 乗用車の各方向における周波数特性

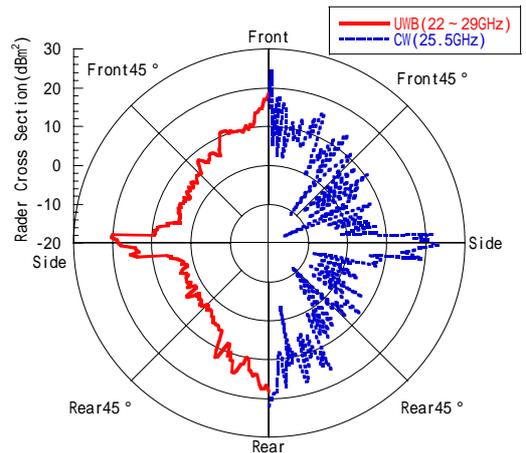
図 7 に各偏波におけるレーダ断面積の測定結果を示す。(a)~(c)にはそれぞれ送受信偏波の組合せを V-V, H-H, +45°-45°とした場合の測定結果を示してある。各レーダチャートの左半分が UWB(22~29 GHz), 右半分が CW(25.5 GHz)のレーダ断面積を表している。ここでの UWB 測定結果は周波数 22~29GHz の平均電力を求め、この平均電力から算出したレーダ断面積を用いている。

V-V および H-H 偏波では, UWB のレベル変動は最大 20dB 程度であるが, CW は 35dB 程度である。同様に, +45°-45° 偏波では UWB が 10dB 程度, CW が 30dB 程度である。このことからどの偏波の組合せでも, UWB のレーダ断面積の方が CW のそれと比べて, 方向依存性が著しく小さい(落込みが浅い)。UWB の V-V および H-H 偏波では, 正面, 真横および真後方向で $\sigma = 20 \text{ dBm}^2$ 程度, 斜め 45° 方向で 5 dBm^2 程度であった。 $\sigma = 20 \text{ dBm}^2$ は文献[3]に与えられているマイクロ波帯における乗用車のレーダ断面

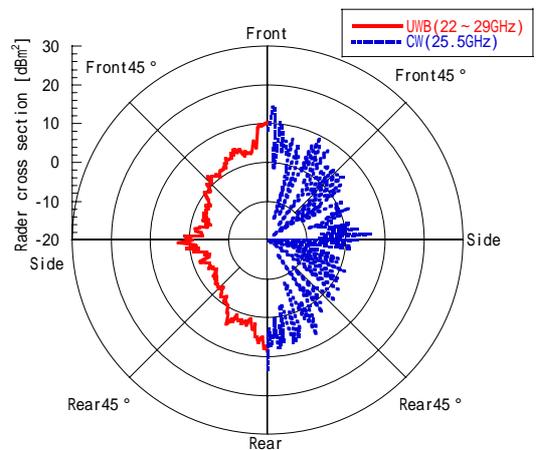
積の代表値(100 m²) と合致している。一方, +45°-45° 偏波では正面および真後方向で $\sigma = 10 \text{ dBm}^2$ 程度, 真横から ±45° 方向の範囲で -3~0 dBm² 程度であった。



(a)V-V 偏波



(b)H-H 偏波



(c)+45°-45° 偏波

図 7 各偏波におけるレーダ断面積

4. まとめ

一般的な乗用車の UWB レーダ断面積を測定した。それによると乗用車のレーダ断面積は車前方向、真横、後方では 20 dBm² 程度、斜め 45° 方向で 5 dBm² 程度であった。また、CW レーダに比べ UWB レーダを用いた方がレーダ断面積の方向依存性を小さく抑えられる。これに加え、偏波は V-V または H-H を使用する方がレーダ断面積を大きくとることができる。

今後、UWB レーダの開発に必要な人間、自転車およびバイク等のレーダ断面積データを蓄積していくと共に、システム開発に必要なパラメータを検討していく予定である。

謝辞 本研究は、通信総合研究所 UWB 結集型特別グループおよび UWB 研究開発コンソーシアムが実施したものである。測定にご協力頂いた同グループの荒木純道、高田潤一、西山巖、陸田裕子および同コンソーシアムの廣瀬敏之、佐々木収、明山哲、大久保文男の各氏に感謝致します。

参考文献

- [1] 河野, “UWB システムの総論—研究・開発・法制化の動向—”, MWE2003, WS1-1
- [2] 吉田 孝(監修), “レーダ技術”, 社団法人電子通信学会, 1984.
- [3] M. I. Skolnik, “*Introduction to Radar Systems*, 2nd ed.”, McGraw-Hill, New York, 1980.
- [4] 高橋, 吉川, 角田, 天野, 小林, “乗用車の Ka 帯 UWB レーダ断面積の測定”, 2004 信学総大, B-1-44 (投稿中)