

## 自動車搭載 UHF 帯アンテナの近傍界・遠方境界解析

青山 良輔<sup>1</sup>      今井 卓<sup>1</sup>      田口 健治<sup>1</sup>      柏 達也<sup>1</sup>

栗林 裕<sup>2</sup>      小松 寛<sup>2</sup>

<sup>1</sup>北見工大 〒090-8507 北海道北見市

<sup>2</sup>本田技研 〒321-3393 栃木県芳賀郡芳賀町

E-mail: <sup>1</sup>ktaguchi@mail.kitami-it.ac.jp

あらまし アンテナを自動車に取り付けた場合、自動車を含めた全体の指向性は一般的に自動車の形状、大地、周波数、アンテナ種類及び取付位置の影響によって変化する。指向性は無限遠地点の遠方界によって定義されるため、有限距離における測定結果は誤差を含む可能性がある。そのため、指向性の測定においてはアンテナ車載時の近傍界・遠方界境界位置及び有限距離における指向性の誤差特性を知ることが重要となる。一方、地上デジタル放送など UHF 帯車載アンテナにおける特性解析の重要性が近年高まっている。本研究では、電磁界シミュレーションを用いて自動車搭載 UHF 帯アンテナにおける有限距離指向性の解析及び遠方界指向性に対する誤差評価を行った。尚、電磁界解析手法としては FDTD 法を用いた。

キーワード 自動車, アンテナ, 遠方界, 指向性, UHF 帯

## Analysis of Boundary between Near and Far Fields for Car Antennas in UHF Band

Ryosuke AOYAMA<sup>1</sup>      Suguru IMAI<sup>1</sup>      Kenji TAGUCHI<sup>1</sup>      Tatsuya KASHIWA<sup>1</sup>

Hiroshi KURIBAYASHI<sup>2</sup>      and      Satoru KOMATSU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kitami Institute of Technology, Kitami, Hokkaido, Japan

<sup>2</sup>Honda R&D Co., Ltd. Haga-machi, Haga-gun, Tochigi, Japan

E-mail: <sup>1</sup>ktaguchi@mail.kitami-it.ac.jp

**Abstract** The directivity of a car antenna is changed by the car shape, the ground, frequency, antenna type and position. Therefore, it is indispensable to know the directivity of an antenna mounted on the car. In the directivity measurement, it is very important to grasp the boundary between near and far fields, and the error of directivity at a finite distance because the directivity is defined at the far field region. By the way, the car antenna in UHF band is recently necessary for the transition to terrestrial digital broadcasting. In this paper, the distance dependence of directivity has been analyzed to clarify the boundary between near and far fields for car antennas in UHF band. The FDTD method is used as the analysis method.

**Keyword** Car, Antenna, Far field, Directivity, UHF band

### 1. はじめに

近年の移動体通信技術の発達に伴い、地上デジタル放送、GPS、VICS、ETC、DSRC、車車間通信、路車間通信等、自動車で利用可能な無線通信サービスの提供及びその研究が活発に行われている。これら自動車通信における電波の送受信では車載アンテナの指向性が非常に重要となる。

アンテナを自動車に搭載した場合、アンテナだけではなく自動車ボディにも電流が流れるため、自動車を

含めた全体の指向性は一般的にアンテナ単体時と比較して大きく変化する[1]-[8]。更に、大地の存在により低仰角の指向性も影響を受ける[6]-[8]。また、これらの影響は周波数、アンテナ種類及び取付位置によっても異なる。これらの理由から、自動車搭載アンテナの開発では実験及びシミュレーションを用いて様々な状況下における車載時指向性の検討が行われている。指向性は無限遠地点の遠方界によって定義されるため、有限距離で測定された結果は誤差を含む可能性がある。

測定によって得られたアンテナ指向性が所望の精度を有するかどうかを検証するためには、アンテナ車載時における近傍界・遠方界境界位置及び有限距離における指向性の誤差特性を把握する事が重要となる。

一方、地上波デジタル放送への移行等に伴い、車載UHF帯アンテナの重要性が高まっている。現在、地上デジタル放送では470MHz~770MHzの水平偏波が主に利用されている。また、一部の地域では垂直偏波も用いられている。しかし、UHF帯自動車搭載アンテナの垂直及び水平偏波における指向性に関して研究された例は少ない。

従来、我々は単純な形状の車両モデルに搭載したUHF帯アンテナの近傍界・遠方界境界位置を検討するため、自動車垂直断面における有限距離指向性の解析を行った[9]。

本研究では、実車形状に近い自動車モデルに搭載したUHF帯アンテナの近傍界・遠方界境界位置について解析を行った。具体的には大地、周波数、偏波及びアンテナ取付位置を考慮した有限距離における指向性解析を行い、それらの遠方界指向性に対する誤差を評価した。尚、電磁界解析手法としてはFDTD法を用いた。

## 2. 自動車搭載 UHF 帯アンテナにおける近傍界・遠方界境界解析

### 2.1. 自動車モデル及び搭載アンテナ

図1に本研究で用いた自動車モデルを示す。車両は一般的なセダントタイプの小型乗用車とした[8]。本モデルでは自動車ボディは完全導体とし、窓ガラス、タイヤ及び自動車内装品等は考慮していない。尚、大地は乾燥大地を仮定している[10]。表1に本解析で用いた自動車寸法等の各種パラメータを示す。

UHF帯車載アンテナは1/4波長モノポールアンテナ及び半波長ダイポールアンテナの2種類とし、アンテナ取付位置はそれぞれ a)ルーフトップ、b)ボンネット、c)トランク、及び d)フロントウィンドウ、e)リアウィンドウの5パターンとした。尚、周波数は470MHz及

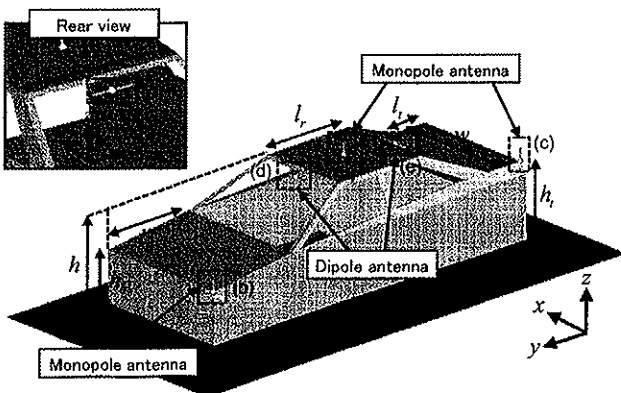


図1 自動車モデル及びアンテナ取付位置

表1 FDTD解析における各種パラメータ

Car	$l$ [m]	4.64	Ground	$\epsilon_r$	3.0
	$w$ [m]	1.76		$\sigma$ [S/m]	$1.0 \times 10^{-4}$
	$h$ [m]	1.30	Antenna	$r_0$ [mm]	2.5
	$h_g$ [m]	0.17		Spatial increment	$\Delta$ [mm]
	$l_b$ [m]	1.19			
	$h_b$ [m]	0.65			
	$l_r$ [m]	1.20			
	$w_r$ [m]	1.20			
	$l_f$ [m]	0.286			
	$h_f$ [m]	0.93			

び770MHzの2種類とした。また、線状アンテナ部分にはワイヤー近似を適用している。吸収境界条件にはCPMLを用いた。

### 2.2. 観測距離の定義

図2に指向性を観測する距離の定義を示す。図中の原点Oは大地上における自動車中心部直下の点であり、観測距離 $r$ [m]はOからの距離である。本解析における観測距離は $r=10m, 20m, 40m, 80m, 160m, 320m, \infty$ の7パターンとした。

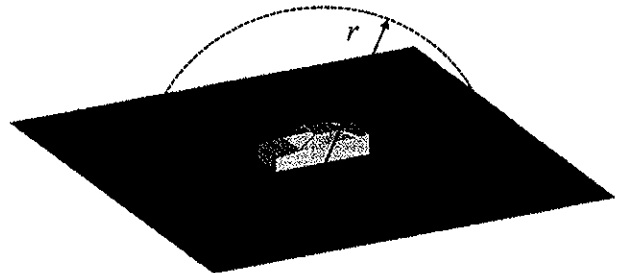


図2 指向性の観測距離

### 2.3. 解析方法

#### 2.3.1. 有限距離における指向性解析

有限距離における指向性の解析手順としては、最初に自動車、アンテナ及び大地を考慮したFDTD解析を行い、所望の周波数における自動車ボディ上の電流分布を計算する。次に大地を考慮した有限距離における電界解析式[7]を用いて大地上側半球上の3次元電界値を求める。最後にそれらの電界値を各観測距離における観測偏波の最大値を用いて正規化し指向性パターンを得る。尚、観測偏波は垂直モノポールアンテナ及び水平ダイポールアンテナでそれぞれ $\theta$ 及び $\phi$ とした。

#### 2.3.2. 有限距離における指向性の誤差評価

本研究では、無限遠方の遠方界指向性に対する有限距離指向性の誤差を解析した。具体的には以下の(1)式を用いて、大地上側半球における有限距離指向性の単位立体角当たりの平均相対誤差 $\epsilon_{all}$ を求めた。

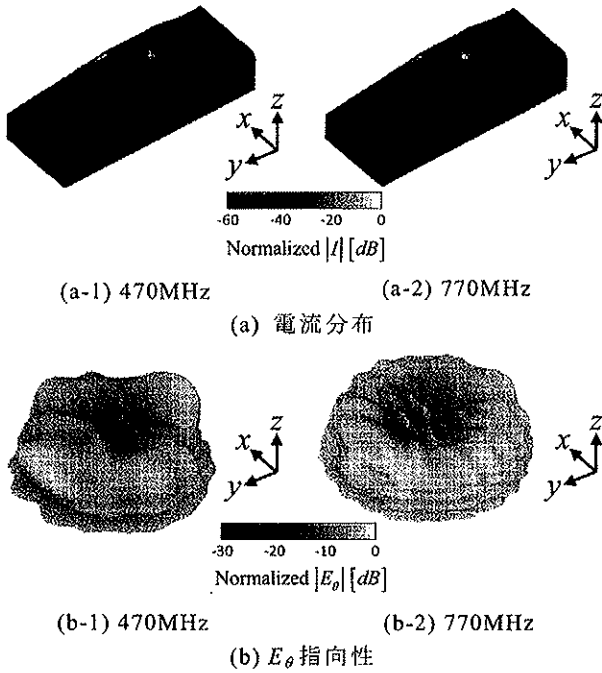


図3 ルーフトップ垂直モノポールアンテナにおける電流分布及び遠方界指向性

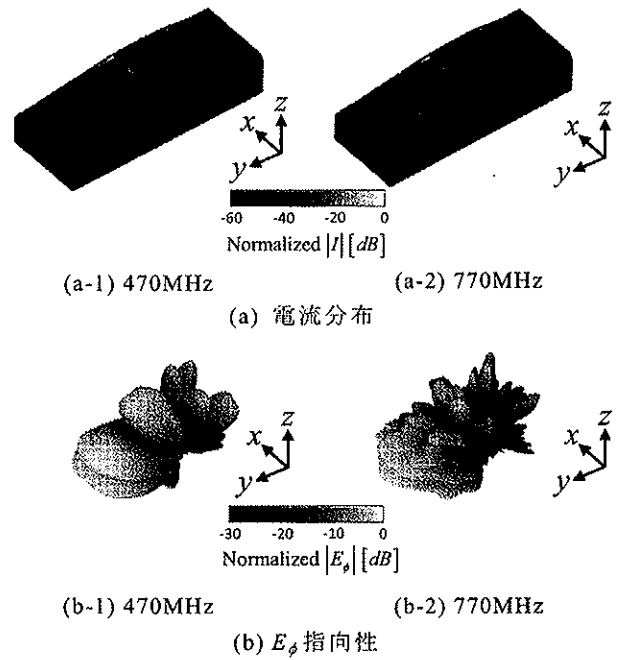


図5 フロントウィンドウ水平ダイポールアンテナにおける電流分布及び遠方界指向性

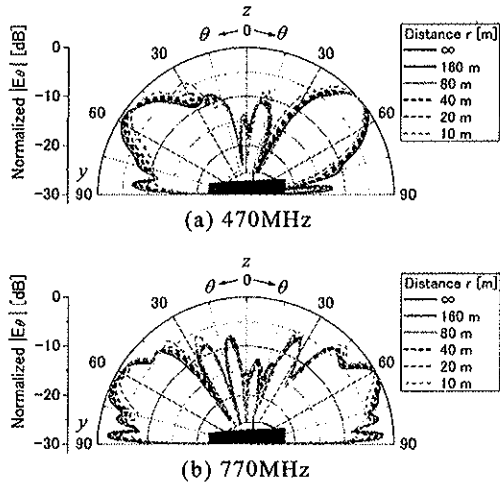


図4 ルーフトップ垂直モノポールアンテナにおける自動車垂直断面の有限距離指向性

$$\varepsilon_{all}(r) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi/2} \int_0^{2\pi} \left[ \frac{|E_{\xi}^{near} normalized(r, \theta, \phi)|^2}{|E_{\xi}^{for} normalized(\theta, \phi)|^2} - 1 \right] \sin \theta d\phi d\theta \quad (1)$$

ここで、 $|E_{\xi}^{near} normalized(r, \theta, \phi)|$  及び  $|E_{\xi}^{for} normalized(\theta, \phi)|$  は大地を考慮した有限距離指向性及び遠方界指向性[8]である。尚、 $\xi$  は観測する偏波成分を表しており  $\theta$  または  $\phi$  である。

## 2.4. 解析結果

図3にルーフトップ垂直モノポールアンテナにおける電流分布及び遠方界指向性を示す。ルーフトップに

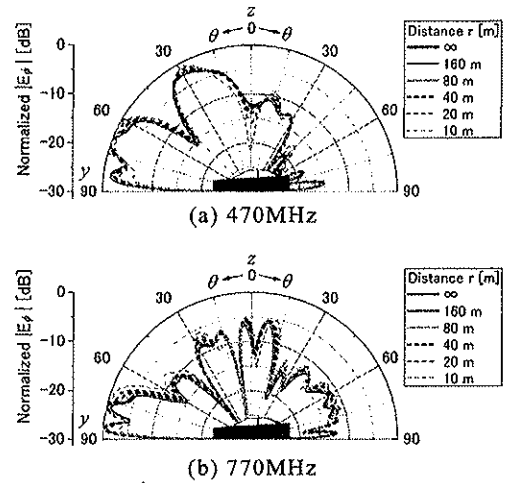
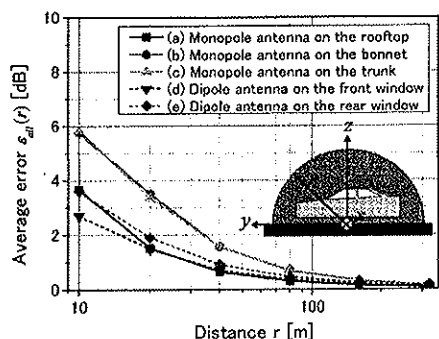


図6 フロントウィンドウ水平ウダイポールアンテナにおける自動車垂直断面の有限距離指向性

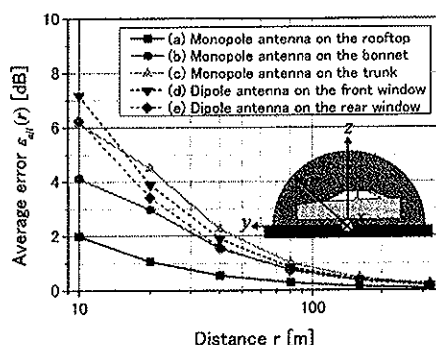
アンテナを設置した場合はピラー部にも電流が流れる事が確認できる。また、遠方界指向性は周波数によって多少異なるが水平面においては、ほぼ無指向性を有している。

図4にルーフトップ垂直モノポールアンテナにおける自動車垂直断面の有限距離指向性を示す。各周波数共に20m程度離れば遠方界と同傾向の指向性パターンが得られるが、まだ誤差が含まれている事が示されている。

図5にフロントウィンドウ水平ダイポールアンテナ



(a) 470MHz



(b) 770MHz

図7 大地上側半球における指向性誤差の距離依存特性

における電流分布及び遠方界指向性を示す。フロントウィンドウ上部にアンテナを設置した場合は、アンテナから放射された電波が車室内で多重散乱するため、結果として自動車ボディ外側より車室内に大きな電流が分布している。また、その影響によりルーフトップ垂直モノポールアンテナの場合と比較して指向性が複雑となる。

図6にフロントウィンドウ水平ダイポールアンテナにおける自動車垂直断面の有限距離指向性を示す。こちらもルーフトップ垂直モノポールの場合と同様に近距離において指向性誤差を有している。

図7に大地上側半球の全方位角に対する指向性誤差の距離依存特性を示す。UHF帯における近距離指向性は偏波及びアンテナ取付位置によらず数デシベルオーダーの誤差を含んでいる事が確認できる。また、周波数及びアンテナ取付位置等によって誤差値の違いがあるものの、距離が離れるにつれてその差は小さくなる事が示されている。

### 3. むすび

本研究では実車形状に近い車体に搭載した UHF 帯アンテナの近傍界・遠方界境界位置を明らかにするため、有限距離における指向性誤差の距離依存特性の解

析を行った。その結果、本解析パラメータを用いて得られた有限距離の指向性は、近距離において測定誤差を有する事が確認された。尚、具体的な観測距離に対する平均誤差値は、例えば 10m, 20m, 40m においてはそれぞれ最大で 7dB, 4.5dB, 2.5dB 程度であった。そのため、近距離において指向性を測定する際は、目的に応じた所望の測定精度が得られているかどうか十分な吟味が必要になる場合もあると考えられる。

今後は自動車形状並びに大地の電気定数の違いが有限距離指向性に与える影響を調べる予定である。

### 謝 辞

本研究の一部は独立行政法人日本学術振興会の科学研究費(23560433及び22760260)の助成を得たものである。ここに謝意を表する。

### 文 献

- [1] R. Ehmman, B. Wagner, and T. Weiland, "Farfield calculations for car antennas at different locations," *IEEE Trans., Magn.* vol. 33, no. 2, pp. 1508-1511, March 1997.
- [2] K. Taguchi, et al., "FDTD large-scale parallel supercomputing and its application to the analysis of radiation characteristics of an antenna mounted on a vehicle," *Int. J. RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, vol. 14, no. 3, pp. 253-261, May 2004.
- [3] F. G. Bogdanov, et al., "Validation of hybrid MoM scheme with included equivalent glass antenna model for handling automotive EMC problems," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 52, no. 1, pp. 164-172, Feb. 2010.
- [4] D. W. Hess, "The isoFilter™ technique: a method of isolating the pattern of an individual radiator from data measured in a contaminated environment," *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 52, no. 1, pp. 174-181, Feb. 2010.
- [5] M. Li and W. C. Chew "Multiscale simulation of complex structure using equivalence principle algorithm with high-order field point sampling scheme," *IEEE Trans. Antenna Propagat.*, vol. 56, no. 8, pp. 2389-2397, Aug. 2008.
- [6] K. Nishikawa and Y. Asano, "Vertical radiation patterns of mobile antenna in UHF band," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 35, no. 2, pp. 57-62, May 1986.
- [7] K. A. Norton, "The propagation of radio waves over the surface of the earth and in the upper atmosphere -part II," *Proc. IRE*, vol. 25, no. 10, pp. 1203-1237, Sep. 1937.
- [8] 田口健治 他, "自動車搭載平面アンテナの放射特性解析," *信学技報*, AP2004-339, pp. 215-220, March 2005.
- [9] 森下隆司 他, "UHF帯における自動車搭載アンテナの近傍界・遠方界に関する一検討," *信学技報*, AP2010-44, pp. 37-40, July 2010.
- [10] Rec. ITU-R P. 527-3, "Electrical characteristics of the surface of the earth," ITU-R Recommendations, 1992.