

# 特集 電磁界シミュレーションを用いた車両周辺の電波伝搬解析\*

## Analysis of Wave Radiation from Car Body Using Electromagnetic Simulation

高岡 彰

Akira TAKAOKA

福井伸治

Shinji FUKUI

古屋秀貴

Hidetaka KOYA

A shielded loop antenna which enables measurement of the current flowing over a car body surface was demonstrated. The simulation model of electro-magnetic wave radiation from the car body was improved by surface current modulation, measured by our newly developed shielded loop antenna. In the course of this work, it was found that the outside radiation of electro-magnetic waves is strongly affected by the surface current on a pillar of the car body.

**Key words** : Simulation, Antenna, Propagation / Electro-magnetic simulation, Current flowing on a car body surface

### 1. はじめに

現在、車両には様々な周波数帯の製品が搭載されており、今後も増加していくことが予想される。これら無線通信機器間の安定した通信を確保するには、電波伝搬特性の変化要因であるアンテナの指向性、車載位置、ポデー形状を考慮し、車室内外における電磁波の発生、物理的要因を明らかにする必要がある。

本研究では、車載無線機（300MHz帯）の作動時に車両表面に電流が流れ、車両周辺の電波放射特性に影響を及ぼしていると推定し、車両表面を流れる電流を計測するアンテナを開発した。開発したアンテナを用いて実際に車両表面の電流を実測し、その値を車両シミュレーションモデルに微小ダイポールの電流値として入力することで、車両表面の電流を模擬し、車両周辺の電磁場解析の精度向上を確認でき、車両表面に流れる電流が電波放射の特性に影響を及ぼしていることを明らかにした。

車両表面電流を計測するアンテナ構造、シミュレーションへ反映するモデル化手法の概要について報告する。

### 2. 電磁場解析技術

車両内外の電磁場解析については、シミュレーションを用いた解析事例が中心である<sup>1)3)</sup>。それら解析事例の多くが、Fig. 1に示すような簡易的なモデルを用いたものが中心であり、電波環境を正確に把握して各無線機器用アンテナの製品設計等に活用するには充分ではない。

解析精度を向上させる方法として、モデルをより詳

細に入力することが考えられるが、要素数が増加して更なる計算時間増大につながり、手軽にワークステーション等で計算することは困難になる。

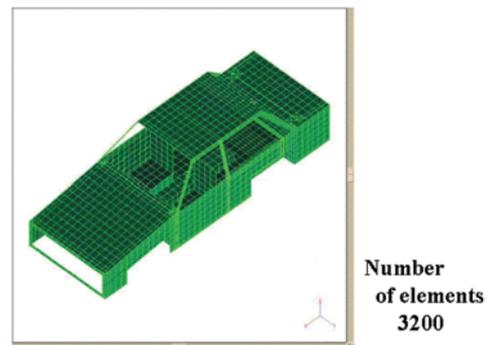


Fig. 1 Car model

### 3. シミュレーション精度向上へのアプローチ

シミュレーションモデルをすべて詳細に入力するのではなく、電波の放射に大きく寄与する車両部位を特定し、その部分を詳細にモデル化することに着目した。この方法であれば、要素数の増大を抑えることができる。Fig. 2に示すように、アンテナから放射した電波は金属板に到来すると、金属板中に電流が流れ反射、二次放射を発生させる。このことから、全体の放射特性は、アンテナ単体の放射特性と近傍の導体中に流れる電流による電磁界によって決定される。車両においてもFig. 3のように無線機を搭載して電波を放射させた場合、車両（導体）表面に電流が流れて、そこから電磁波が放射されて車両周辺への放射特性を決定すると考えられる。

\* (社)自動車技術会の了解を得て、2002年秋季大会学術講演会前刷集No. 117-02, 214より転載

そこで我々は、電波放射に大きく寄与する車両部位、つまり車両表面上の電流の集中する部位を特定する電流計測技術を確立し、求めた電流値をシミュレーションモデルに入力することで解析精度の向上を目指す。

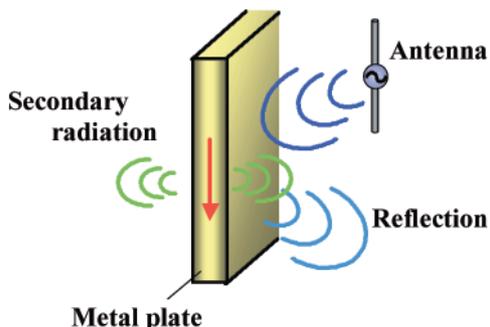


Fig. 2 Mechanism of radio wave propagation

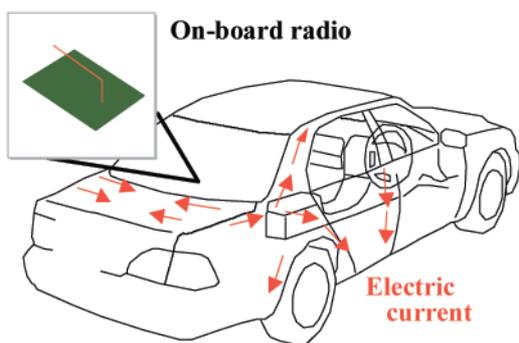


Fig. 3 Electric current which flows on car body surface

#### 4. 車両表面を流れる電流検出

##### 4.1 電流検出手法の選定

車両表面の電流を計る技術として、EMC (Electro-Magnetic Conpatibility: 電磁両立性) で行われている近傍磁界計測による電流検出技術を応用した。EMCでは、Fig. 4に示すように、基板上にシールドドロープアンテナを配置し、基板に流れる電流が発生する磁界を検出して電流を推定する。

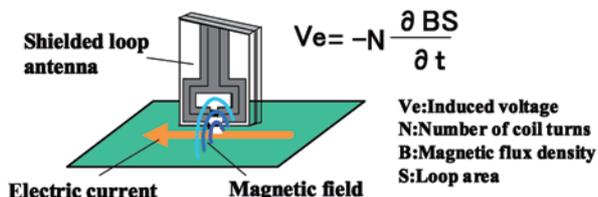


Fig. 4 Magnetic field detection principle by the antenna

この技術を応用して車両表面上を流れる電流を計測しようとする時、計測用アンテナの多くはFig. 4に示すような直線的な形状で構成されるため、Fig. 5のようにポデー曲面とアンテナ間にクリアランスが発生してしまう。車両表面の電流計測を行った場合、このクリアランスが計測の誤差、再現性の低下などの要因となる。

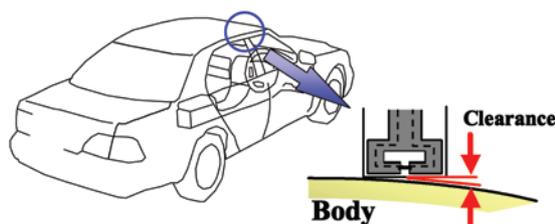


Fig. 5 Error factor of measuring by the antenna

このクリアランスによる検出電圧の変化は、Fig. 6のように計算でき、高さ0.5mmの差で大きく変化してしまうため、車両表面の電流を計測するには、車両曲面に密着できる形状が必要となる。

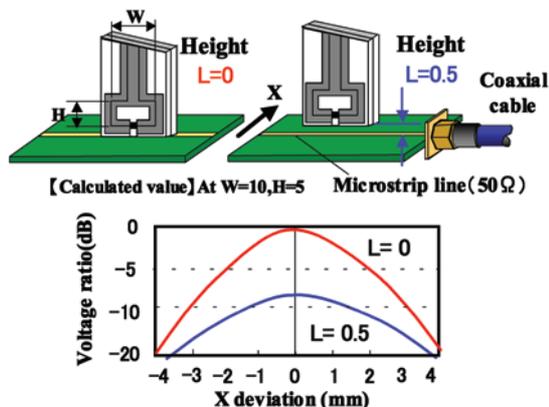


Fig. 6 Detection error by the modification of height from microstrip line

##### 4.2 車両表面電流検出用アンテナの開発

従来シールドドロープアンテナはセミリジッドなど硬い材質の同軸線、または基板でのマイクロストリップラインを用いて形成される。しかし、車両の曲面にフィットさせるため、柔らかい材質であるポリイミド基板で構成した。アンテナの構造はFig. 7に示すように、ポリイミド基板に生成したストリップラインをループ状に形成し、もう一層グランド面を生成した基板ではさみ込む構造を採用した。アンテナの中心部分

にはゴム材を挿入して形状を保持することで、車両曲面に設置した時にクリアランスなく計測できるアンテナを開発した。アンテナ形状は、今回解析する周波数が300MHz帯であることから、シミュレーションへのデータ反映を考慮して、波長の1/20に相当する長さとなる50mmとし、高さは周辺で発生する磁界の影響を受けないように10mmとした。

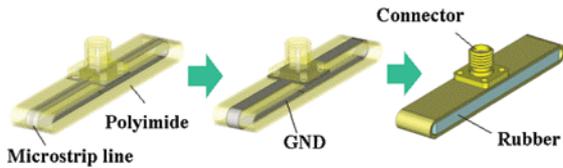


Fig. 7 The configuration of the antenna developed in our present work

## 5. 開発したアンテナの電流，位相検出精度の検証

### 5.1 検証方法

開発したアンテナの電流，位相検出精度の検証は，モデル化誤差が含まれない1m四方の金属板にモノポールを設置したモデルを用いた。50mm間隔で金属板を流れる電流値と位相をシミュレーションで算出し，実測との検証用データとした。

電流の実測は，Fig. 8に示すようにネットワークアナライザを用いてシールドドローブアンテナで検出される電流値とモノポールアンテナに給電する波源との位相差を50mm間隔で計測し，シミュレーションで算出した値と比較した。

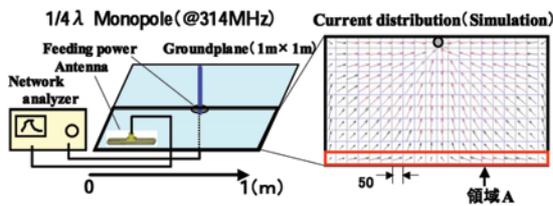


Fig. 8 Verification of antenna accuracy

### 5.2 検証結果

Fig. 8中に示す領域Aにおける電流値と位相データを比較した結果，Fig. 9に示すように，電流値は $\pm 3\text{dB}$ 以内の精度で一致することが確認できた。Fig. 10に示すように，位相の検出においてもFig. 8中の領域Aの中心部で位相が反転していることを正確に検出できた。

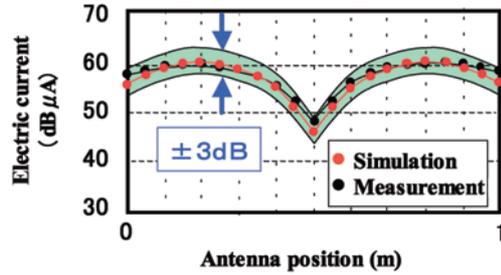


Fig. 9 Current values

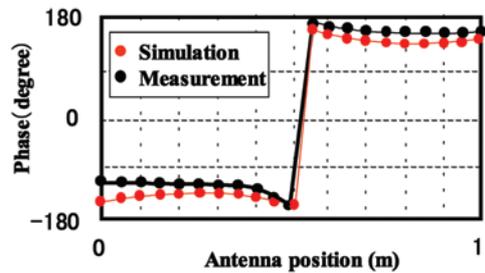


Fig. 10 Phase values

## 6. 車両表面電流計測

車両内のリアアパートレイ上部に送信機(300MHz)を搭載して動作させた時に，開発したシールドドローブアンテナを車両表面上に密着させて波長の1/20に相当する50mm間隔で，電流値と波源である無線機のアンテナとの位相差を計測した。計測風景と各計測部位における電流値の結果をFig. 11に示す。

Fig. 11中に示す車両表面各部位での平均電流値をみると，ピラー部分に電流が集中していることが確認できた。

ピラーは300MHz帯の半波長サイズである50cmに近いため，共振しやすく電流が流れやすいと推定できる。この部分の電流によって生成される電磁界は，車外への垂直偏波放射に大きく寄与していることが予想されるため，ピラーに流れる電流，位相情報をシミュレーションモデルに反映することで，シミュレーション精度の向上が可能になる。

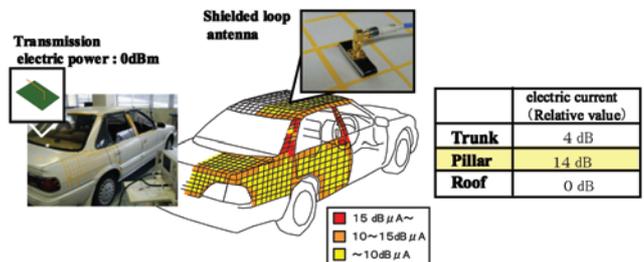


Fig. 11 Position dependence of surface current on a body

## 7. シミュレーションモデルの作成

まず、ピラーに流れる電流を実車相当に模擬するため、ドア、トランク、ボンネットなどパーツ毎にモデルを作成し、ボデーとの結合状態を実車同等となるように考慮、工夫した。パーツ毎に構成した結果、高周波電流は端面を流れる性質を持つため、ピラー部分への電流を集中させることができる。

これに加えて、シールドドームアンテナにより測定した位相、電流値をFig. 12に示すように、ピラー各部に微小ダイポールとして与えることで微調整を行い、実車におけるピラーを流れるベクトル電流を反映した車両モデルを構築した。

この手法を用いれば、車両モデルを構成する要素数を増やす必要がないため、メモリへの負担を増加させることなく計算が実行できる。今回の解析に使用したモーメント法の計算時間は、モデルの要素数に依存するため、本手法は有効であると考えられる。

今回の解析モデルにおける計算時間の目安は、メモリ1Gbyte、CPU300MHzのマシンで12時間程度である。

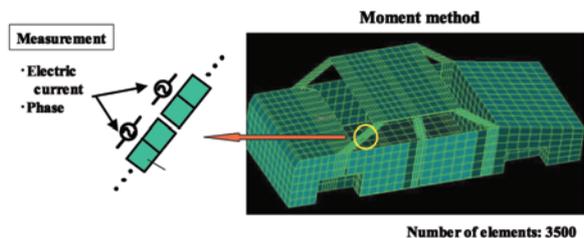


Fig. 12 Improved modelling

## 8. シミュレーションの検証

作成したモデルを用いて、車外への10m四方水平面（高さ1m）の垂直偏波放射特性をシミュレートした。ピラーに流れる電流値、位相を車両モデルに入力していない従来の簡易的な車両モデルも併せてシミュレートした。

実測した車両表面電流値をシミュレーションモデルに入力した本手法の有用性を確認するため、電波暗室にて測定した結果と併せてFig. 13に示す。

シミュレーションと実測を比較すると、今回ボデー電流を反映して構築した車両モデルでは、主放射方向の解析精度が向上していることが確認でき、電波の届きにくい部分等の推定精度が向上していることが分かる。

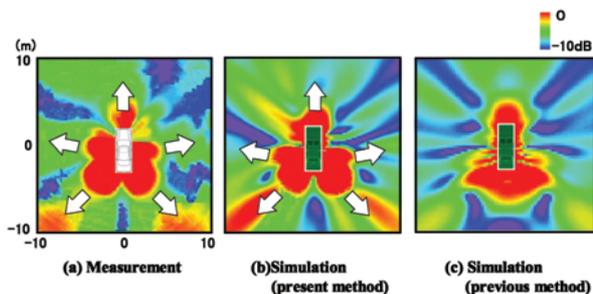


Fig. 13 Similarity of the simulated radiations to the measured radiation

## 9. 放射方向を決める要因

車両においてはピラーに集中して電流が流れていることから各ピラーがアレイアンテナとなって放射特性を決定していることが考えられるため、ピラー部分だけを取り出して解析、検証した。

各ピラーの電流と位相を微小ダイポール状に与えて模擬した。シミュレーション結果をFig. 14に示す。放射特性を比較すると、主放射方向は一致することが確認できた。

このことから、ピラーがアレイアンテナとして働き、ディップを発生させる主要因となることが分かる。

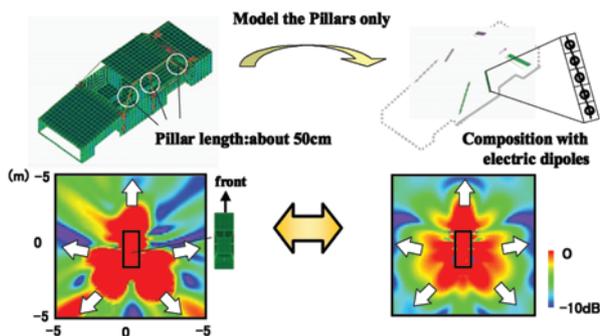


Fig. 14 Simulation result (pillar - only model)

## 10. おわりに

シミュレーションを用いた車両周辺の電波伝搬解析における精度向上のために、車両表面の電流を検出可能なシールドドームアンテナを開発し、車両表面の電流をシミュレーションモデルに入力する手法が有用であることを確認した。

また、300MHz帯の車外周辺の電波伝搬特性は、ピラーに流れる電流が車外への放射特性を決定する主要因であることが明らかになった。

本手法を車載無線機搭載箇所の検討、アンテナの設計に活用していく。

< 参考文献 >

- 1) 弓長他2002年信学総合大会 B-1-174
- 2) 田平他2001年信学総合大会 B-1-72
- 3) 松沢他2000年信学総合大会 B-1-46



< 著 者 >



高岡 彰  
(たかおか あきら)  
(株)日本自動車部品総合研究所  
第7研究室  
車載アンテナ技術関連の開発に従事



福井 伸治  
(ふくい しんじ)  
(株)日本自動車部品総合研究所  
第7研究室  
EMC, 車載アンテナ技術関連の開発  
に従事



古屋 秀貴  
(こや ひでたか)  
ボデー機器技術2部  
キーレス受信機的设计に従事