

TSUBAME 共同利用 平成 29 年度 産業利用 成果報告書

利用課題名 自動車搭載ミリ波レーダの超大規模電磁界シミュレーション  
英文: Large scale electromagnetic simulation for automotive millimeter wave radar

松沢晋一郎  
Shin-ichiro Matsuzawa

株式会社 豊田中央研究所  
Toyota Central R&D Labs., Inc.  
URL <http://www.tytlabs.co.jp/>

#### 邦文抄録

車載ミリ波レーダは、前方車などの反射体の相対速度や方位を正確に測定可能という特徴がある。車載ミリ波レーダのフロントガラス背面への搭載を想定し、その主要課題であるフロントガラスの透過損失をシミュレーション評価し、さらにその改善方法を検討した。そのシミュレーションでは、スーパーコンピュータ TSUBAME3.0 を用いて行った。

#### 英文抄録

A millimeter wave radar can measure the relative speed and angle of the target like a front vehicle precisely. This report shows the transmission loss of the glass in the millimeter frequency when the millimeter wave radar is mounted behind the front glass. We have simulated the radiation patterns of the antenna by using the TSUBAME, and studied the improvement method.

*Keywords:* 電磁界シミュレーション、ミリ波レーダ

#### 背景と目的

近年、自動ブレーキなどの先進運転支援システム (ADAS: Advanced Driver Assistance Systems) の開発が進められている。ミリ波レーダは、ADAS のキーセンサの一つである。

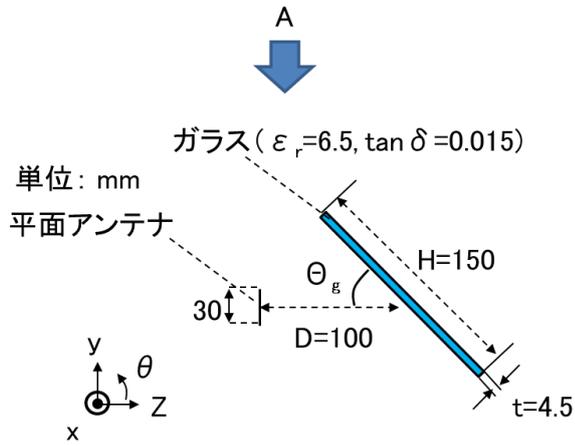
現状の車両前方監視用ミリ波レーダは、一般的に樹脂エンブレムの背面に搭載されている。一方、同じ前方監視用のカメラは、車室内のフロントガラスの背面に搭載されている。将来的にミリ波レーダとカメラを一体化したセンサをフロントガラスの背面に搭載することを検討している。ミリ波レーダをフロントガラスの背面に搭載した場合、フロントガラスの透過損失が大きく、その検出距離が悪化することが事前検討で分かった。そこで、本報告では、ミリ波帯におけるガラスの透過損失をシミュレーション評価し、その改善方法を検討した。

#### 概要

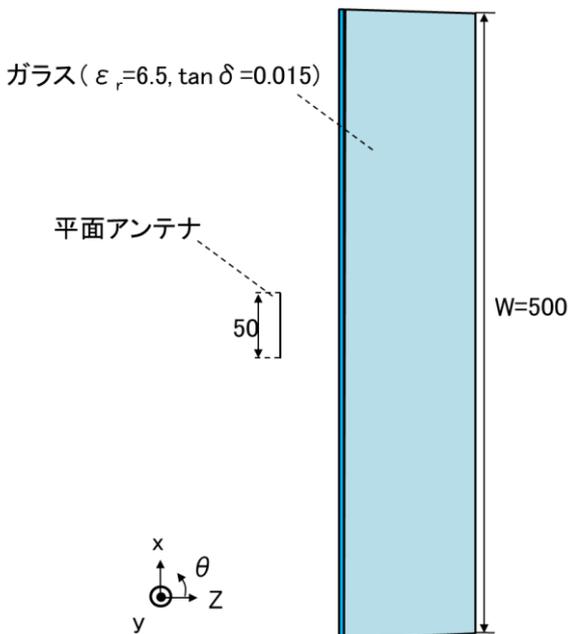
ミリ波レーダは、77GHz の高周波電磁波により、自動車と対象物の相対距離・相対速度・角度を高精度に測定可能である。一方、その波長  $\lambda_0$  は約 4 ミリと短い為、周辺の構造物、例えば車体フレーム、バンパー、フロン

トグリル等による電波散乱も生じやすい。それらは全て測定誤差要因となる為、設計の電磁界シミュレーションに際し、レーダ周辺の車体構造物を忠実にモデル化することが望ましい。しかしながら、FI 法によるシミュレーションをするに際し  $\lambda_0/10$  以下でのメッシュ分割が必要となり、総メッシュ数が約 40 億以上と膨大になるため、PC ワークステーションでは、計算が困難であった。そこで、スーパーコンピュータ TSUBAME3.0 を用いたシミュレーションを行った。

図 1 にシミュレーションモデルを示す。ミリ波レーダ用の平面アンテナの放射方向にフロントガラスを模擬したガラスが置かれている。ガラスの厚みは、一例として、 $t=4.5\text{mm}$  とした。その比誘電率  $\epsilon_r$  および誘電正接  $\tan \delta$  は、それぞれ 6.5、0.015 とした。一般的に車両のフロントガラスは、2 層ガラスの間に中間膜が挿入されているが、本報告書では、初期検討として単層で検討した。ミリ波の平面アンテナとガラスの距離は、一例として、 $D=100\text{mm}$  とした。



(a) 断面図



(b) 上面図(A)

図 1 シミュレーションモデル

現状のミリ波レーダでは、76～77GHz の周波数が用いられているが、次世代レーダとして、高分解能化のための広帯域レーダが検討されている。その周波数は、77～81GHz であるため、それらを含む 76～81GHz をシミュレーションの対象とした。ガラスの傾斜角度  $\theta_g$  は、 $45^\circ$ 、方位の検出角度範囲は、 $-45^\circ \sim +45^\circ$  とした。

ガラスの内部のメッシュサイズは 0.16mm 以下とする必要があり、実際の車両のガラスのサイズでのシミュレーションは計算負荷が高すぎるため、困難である。そこで、水平検出角度  $\pm 65^\circ$ 、垂直検出角度  $\pm 30^\circ$  の範囲にガラスが存在するように、その幅 W、高さ H を決定し、 $W=500\text{mm}$ 、 $H=150\text{mm}$  とした。

図 2 に平面アンテナのモデルを示す。1×9 列のマイクロストリップアレーアンテナとし、各素子を仮想的にワイヤで給電するモデルとした。各素子の形状およびワイヤの給電位置は、 $45^\circ$  偏波を発生するように設定し、その給電電圧は、垂直方向のサイドロープレベルが  $-20\text{dB}$  以下となるように、テーパをつけた。アンテナ基板は、縦 30mm、横 50mm のフッ素樹脂基板とした。実際のレーダでは、本アレーを一つのサブアレーとして、水平方向に複数並べられているが、本解析では、基板の中央にあるアレーアンテナのみの特性を評価した。

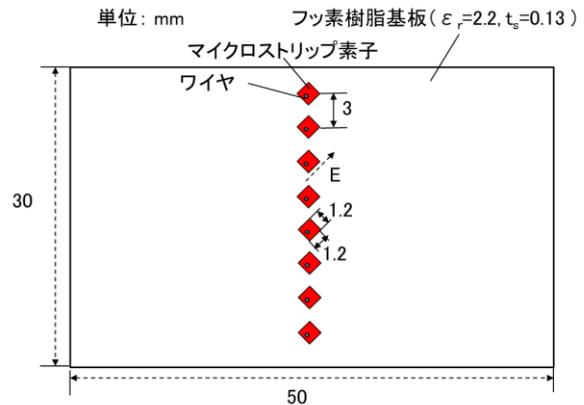


図 2 平面アンテナのモデル

ガラスの損失の主要因は空気とガラスの間の比誘電率の差による反射であるため、その反射を抑える方法として、ガラスの裏面に空気とガラスの中間の比誘電率 3.5 の樹脂フィルムを貼る方法を検討した(図 3)。樹脂フィルムの厚み  $t_s$  については、事前にフレネル係数による解析で最適値を求め、 $t_s=0.48\text{mm}$  としてアンテナの指向性を考慮して評価した。電磁界シミュレーションは、CST社の Microwave Studio Ver.2017 により行い、手法は FI (有限積分法) 法である。

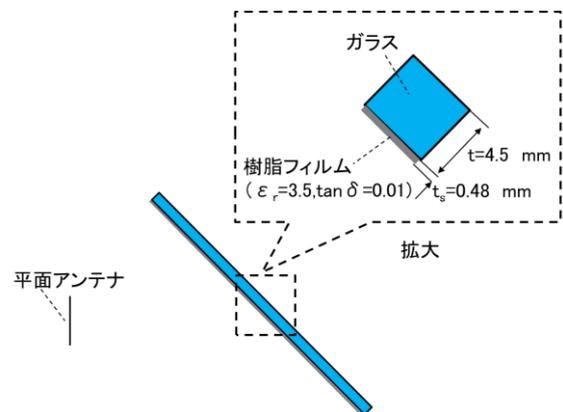


図 3 ガラスの低損失化の方法

### 結果および考察

平面アンテナ単体と前面にガラスを設置した場合の指向性を評価した。図 4(a)および(b)に 76.5GHz における平面アンテナ単体とガラスを設置した場合の水平面および垂直面の指向性の比較を示す。

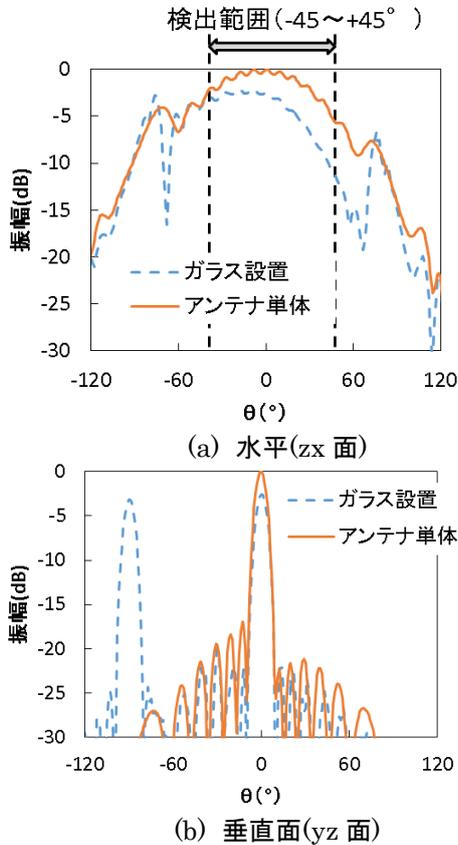


図 4 平面アンテナ単体とガラスを設置した場合の指向性の比較

縦軸は、平面アンテナ単体の利得のピーク値で規格化した相対値 (dB 値) である。水平面指向性では、ガラスを設置した場合、左右非対称の指向性となり振幅が低下していることが分かる。これは、平面アンテナの偏波が  $45^\circ$  傾いているために、水平面内において  $\theta$  が正の時と負の時、ガラス面への入射偏波が異なるため、非対称となったと考えられる。また、垂直面指向性の結果から、ガラスを設置した場合に  $-90^\circ$  方向に強い反射波が発生していることが分かる。

図 5 に周波数をパラメータとした水平面での  $\theta$  に対する透過損失の関係を示す。透過損失は、図 4(a)に示したガラスを設置した振幅の平面アンテナ単体の振幅からの差分として定義される。検出範囲内では、 $\theta = 45^\circ$  方向の損失が大きく、最大 6.5dB となった。また、

周波数が低いほど、損失が大きくなる傾向となった。

図 6(a)および(b)に、低損失化のため樹脂フィルムの有無と透過損失の関係を示す。

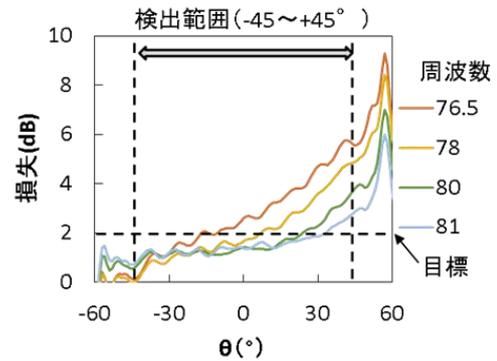


図 5  $\theta$  (水平面) および周波数と透過損失の関係

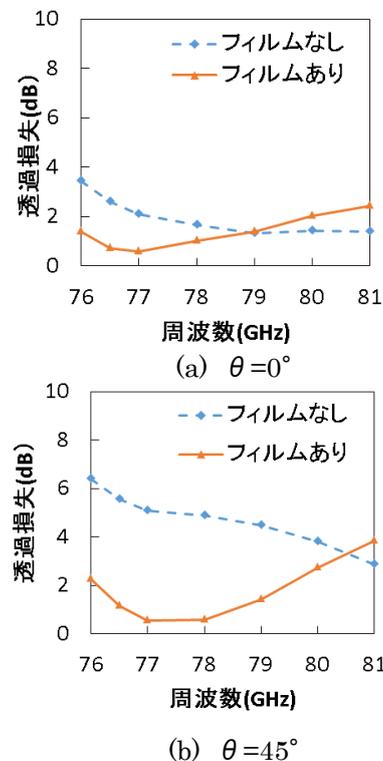


図 6 フィルムの有無と透過損失の関係

(a)は正面である  $\theta = 0^\circ$  および(b)は水平面の検出範囲内で損失の高い  $\theta = 45^\circ$  の場合の結果である。 $\theta = 45^\circ$  の場合に、フィルムを貼ることでの損失低減効果が顕著であった。

最後に計算時間について述べる。本モデルのメッシュ数は 38 億メッシュであり、その CPU タイムは 78 分 (8 ノード) であった。TSUBAME2.5 では、15 億メッシュのモデルで CPU タイムが 7 時間 11 分 (12 ノード) であり、大

幅な高速化を確認した。

#### まとめ、今後の課題

ミリ波レーダをフロントガラス背面への搭載を想定し、その主要課題であるフロントガラスの透過損失を、電磁界シミュレーションで評価し、その改善方法について検討した。

シミュレーションの結果、対策をしていないガラスを設置した場合には、アンテナの水平面指向性が非対称となり、損失が最大 6.5dB と大きいことが明らかになった。その改善方法として、反射防止用の樹脂フィルムを貼る方法を提案し、その効果を確認した。