

24 GHz帯高分解能マルチモードレーダの開発

Development of 24 GHz-band High Resolution Multi Mode Radar

井上大輔*
Daisuke Inoue

高橋 慶*
Kei Takahashi

矢野寛裕*
Hiroyasu Yano

室伏規雄*
Noritaka Murofushi

松嶋禎央*
Sadao Matsushima

飯島 崇*
Takashi Iijima

概要 近年、センサデバイスを搭載し、周辺物体を検知することで、車両の事故を未然に防ぐ先進運転支援システム(ADAS: Advanced Driver Assistance System)の普及が始まっている。レーダ技術を用いることで、電波の天候に応じた減衰特性やドップラ効果の検知により、カメラやレーザに比べて高信頼なセンシングが可能となる。このため、今後ますます需要が増加すると考えられている。当社では、これまでにパルス方式レーダをベースとして、特定小電力無線局 移動体検知センサ用無線設備に準拠する各種アプリケーションに適合可能なマルチモードレーダを開発した。このレーダは、コンパクトで車両への搭載の自由度が高く、バンパ内部に搭載できるため、前側方監視、後側方監視などの、各種アプリケーションに適用可能である。本稿では、開発コンセプトと基本性能、車両搭載検討について紹介する。

1 はじめに

交通事故死傷者数を減少させるための自動車安全システムは、予防安全技術、衝突安全技術に大別される。

衝突安全技術は、シートベルト、エアバックなど衝突安全技術を中心に開発が進められてきた。近年は、エレクトロニクス技術の進化により、予防安全技術の開発が進み、これまでにレーザレーダ、ミリ波レーダ、画像センサなど、様々なセンサが商品化されてきている。既に製品化されているセンサは正面衝突や追突事故の軽減・防止を目的としたシステムへの適用を想定しているものである。

本稿では、新たに我が国の事故類型別の状況と特徴分析、および、交通事故件数の道路形状別の状況から開発コンセプトを策定し、これに対応したセンサを新たに設計・開発した。

2 開発コンセプト

2.1 要求性能

交通事故発生状況「日本における事故類型別の状況と特徴の分類」によると、車両相互の事故が8割以上を占め、その中でも出会い頭衝突、右左折時衝突の割合が高い。その他、横断中の人对車輛事故の割合も高い。また、交通事故発生状況「日本における交通事故件数の道路形状別の状況と特徴の分類」によると、交通事故の半数以上が交差点において発生していること

が確認できる¹⁾。そこで、我々は交差点で発生する出会い頭衝突、右左折時衝突を抑制するシステムのためのセンサ開発を行った。表1、2にアプリケーション毎の代表的な要求特性を示す。

表1 出会い頭衝突防止の要求特性
Requirement to avoid the accident of cars having bumped into each other.

項目	値	単位
主な検知対象	自動車	-
検知方向	車両前側方	-
視野角	60	deg
検知距離	50	m
相対速度	60	km/h

表2 右左折時衝突防止の要求特性
Requirement to avoid the accident of cars turning to right/left

項目	値	単位
主な検知対象	人	-
検知方向	車両前側方	-
視野角	120	deg
検知距離	30	m
相対速度	60	km/h

* 研究開発本部 自動車電装技術研究所

2.2 仕様

出会い頭衝突、右左折時衝突を抑制するシステムの要求性能を実現するセンサとして、搭載位置も考慮し、電波式のレーダを選択することとした。各種アプリケーションに適合可能なマルチモードレーダの主要諸元を表3に示す。自動車用レーダとしては、ミリ波(76 GHz帯, 79 GHz帯)を利用するもの、準ミリ波(24 ~ 29 GHz帯)を利用するものがあるが、コスト、検知距離などの観点から、準ミリ波ISMバンド(24.05 ~ 24.25 GHz)²⁾レーダを開発することとした。

表3 24GHz帯高分解能マルチモードレーダ主要諸元
Specification of the multi-mode radar.

項目	値	単位
変調方式	パルス	-
周波数帯域	24.05 ~ 24.25	GHz
最小探知距離	0	m
最大探知距離	72	m
水平角度範囲	120	deg
サイズ	100 × 100 × 30	mm

2.3 レーダ構成と特徴

レーダの構成を図1に示す。アンテナ、準ミリ波モジュール、信号処理部はメイン基板の両面に配置されている。サブ基板には電源部が配置されている。レドーム、メイン基板、シールドケース、サブ基板、ベースプレートを積み重ねて構成する。レーダはバンパ内部に搭載されるため防水構造となっている。

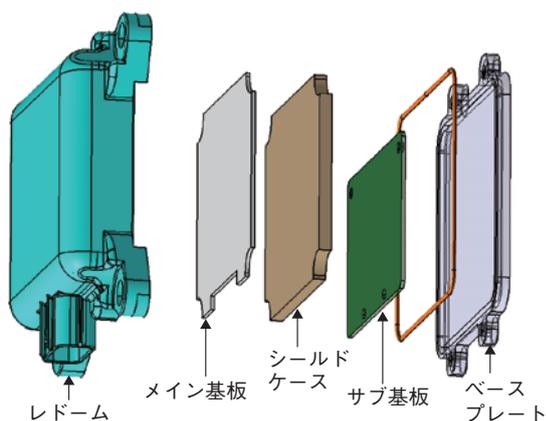


図1 レーダ構成図
Radar configuration.

図2に開発したレーダの外観を示す。ブラケット固定部や、電源/CAN (Control area network) との接続用コネクタ部を含め100 mm角以下の投影面積となっており、厚みも25 mmとバンパ内部の限られたスペースに搭載しやすいサイズとなっている。



図2 レーダ外観図
Appearance.

図3にモノパルス方式によるレーダの基本ブロック図を示す。主たる高周波部品は局部発振器、発振器からの信号を送信系と受信系に分配する分配器、送信系スイッチ、送信アンテナ、受信アンテナ、受信アンテナ切替スイッチ、ローノイズアンプ、ダウンコンバータミキサである。さらに、制御・信号処理部および電源・通信部からなる。送信は一つのアンテナ、受信は二つのアンテナの構成で、角度計測を行う。

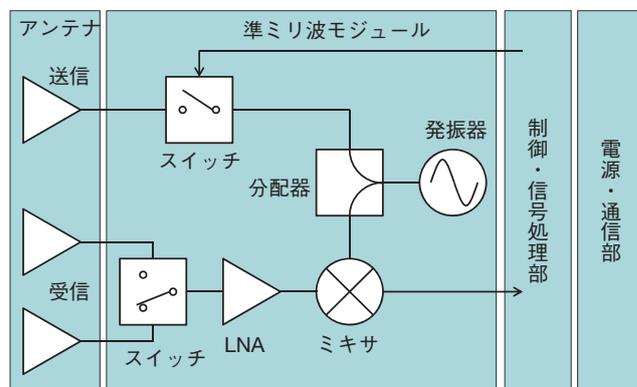


図3 レーダブロック図
Block diagram.

次に動作について述べる。送信回路は制御・信号処理部でタイミング調整された信号で送信系スイッチを開閉し、送信パルス信号を生成している。ターゲットで反射した信号は、2つの受信アンテナで受信する。受信アンテナ切替スイッチにより、受信アンテナの一方からの信号を選択的にローノイズアンプに伝達する。ローノイズアンプで増幅したのちに、ダウンコンバータミキサでRF信号をベースバンド信号に変換後、制御・信号処理部に含まれるA/Dコンバータでデジタル値に変換している。デジタル信号は、積分処理、FFT処理後にターゲット検出判定される。ターゲット検出判定後の処理については別紙に譲る。

2.4 レーダの基本性能

自動車(セダン)がレーダに近づいてくる状況を、時間対検出距離で表示した検知性能を図4に示す。遠方より接近してくる自動車を72 mの距離から検出し(時刻0秒)、0 mの距離まで(時刻6秒)検出し続けていることがわかる。近傍では同一時刻に複数の距離でターゲット検出がされているが、これは自動車の反射点が複数あることなどに起因している。本データはターゲット検出判定後の信号処理を加えておらず、実使用では、信号処理によりターゲット個数識別、位置精度の向上が可能である。このデータから、自動車に対して50 m以上の検知性能を有しており、表1に示す出会い頭衝突防止の要求性能、および表3に示す最大探知距離を満たしていることが確認できる。

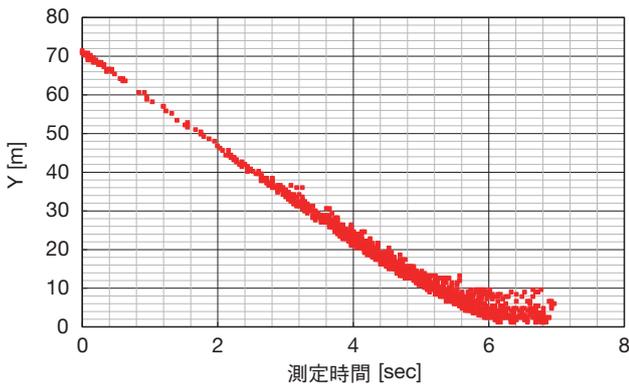


図4 自動車の検知性能
An automobile's detection performance.

次に、歩行者(成人男性)の検知性能を図5に示す。同図はレーダ前面を歩行者が遠ざかり、再び近づいてくる状況を計測した結果を、時間対検出距離で表示したものである。レーダ近傍(2 m)から歩行を開始し、38 mの距離まで(時刻24秒)検出できていることがわかる。以上より、歩行者に対して30 m以上の検知距離を有しており、表2に示す右左折時衝突防止の要求性能を満たしていることが確認できる。

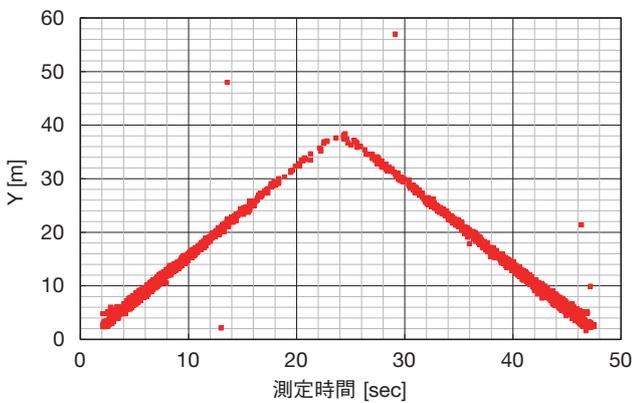


図5 歩行者の検知性能
A pedestrian's detection performance.

次に、レーダの角度精度特性を図6に示す。レーダ中心から120度の範囲で角度検出をおこなった場合、全角度範囲で±1度以内の角度精度が実現できており、表2に示す右左折時衝突防止の要求性能、および表3に示す水平角度範囲を満たしていることが確認できる。

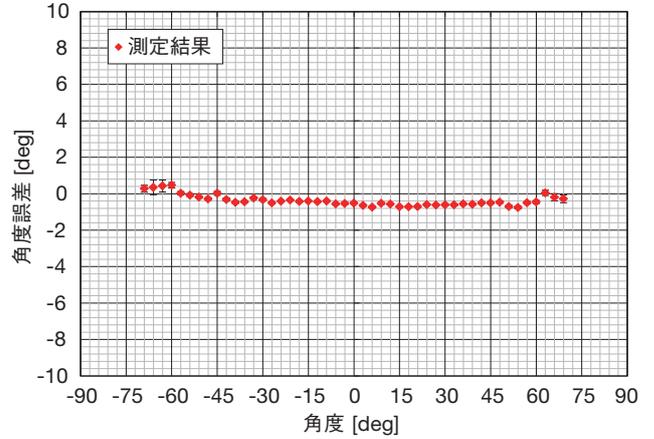


図6 角度精度特性
Accuracy of detected angle performance.

3 車両搭載の検討

3.1 電磁界シミュレーションによる解析

レーダの実使用条件下での検出性能の劣化や、誤検知のリスクを抑えるためには、レーダ単体での特性だけでなく、自動車搭載環境における特性の把握や設計が必要となる。準ミリ波帯は、ミリ波帯に比べてバンパ等の影響を受けにくいですが、レーダ単体の特性に比べ、車両搭載での特性への影響が顕著である。

車両搭載検討として電波主放射方向、例えばバンパやエンブレムを載置した電磁界解析は既知であるが、主たる放射方向以外の構造物も解析に寄与することが分かりつつある。

3.2 バンパ・車両等の影響

レーダ周辺のバンパや車両の構造体を平板に簡素化したモデルの電磁界解析の状況を図7に示す。

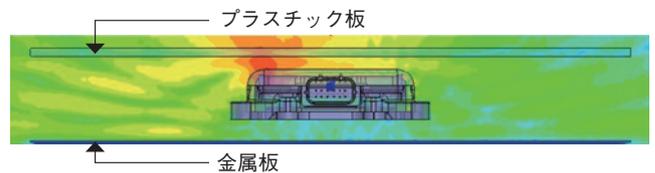


図7 電磁界解析モデル
EM simulation model.

図7は、レーダ前方にバンパを模擬したプラスチック板を、レーダ後方に車両を模擬した金属板を設置した状態にて、送信アンテナから電波放射した際の電界分布を示している。これから、レーダ前面とプラスチック板の間だけでなく、プラスチック板と金属板の間にも電界の分布がみられる。

図8に、送受信アンテナの放射パターンを、

- ①レーダ単体
- ②プラスチック板+レーダ
- ③プラスチック板+レーダ+金属板

で対比して示す。レーダ後方に存在する車両構造の存在が特性に寄与しており、放射方向外の構造物が主放射方向へ影響を及ぼしていることが分かる。

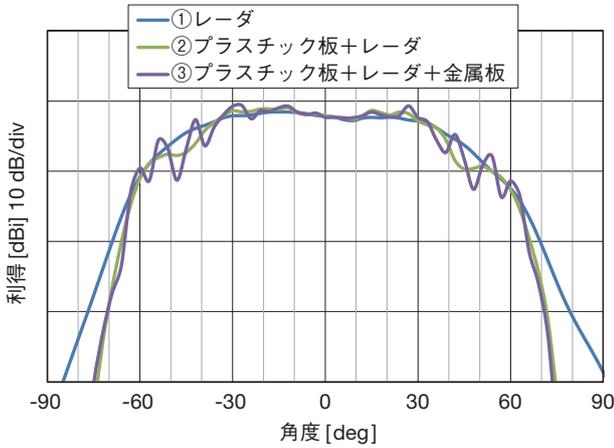


図8 放射パターン特性
Radiation pattern.

また図7に示す前方のプラスチック板とレーダの間隔を変化させた場合の、レーダ前方から45度方向、60度方向利得の計算結果を図9に示す。

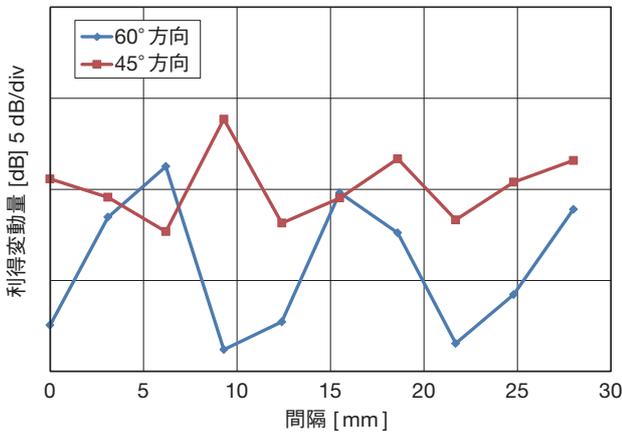


図9 バンパまでの距離による放射パターンの変化
Change of the radiation pattern by the gap to a bumper.

これらの結果から、レーダ設置位置が車両搭載時の特性に大きく寄与することが分かる。実際のバンパ構造は曲面をもつこと、またレーダ周辺には車両の構造物機能構造が多々あることから、レーダを小型化し、設置の自由度を大きくすることにより、適切な搭載条件を見出すことが容易となる。特に本稿のような広覆域なレーダにおいては、車両構造影響や搭載位置に留意した検討を十分実施し、車両搭載の影響を緩和する設計を行う必要がある。

4 おわりに

バンパ内に収まるコンパクトで広覆域な高分解能マルチモードレーダを開発した。本レーダは、車両前側方、車両後側方を監視するアプリケーションへの適用を想定している。今後、さらなる安全向上、交通事故死傷者低減に貢献するため、レーダ単体の機能アップと、適用可能な車種拡大に向けた、小型・低コスト化を進めてゆく。

参考文献

- 1) 平成24年中の交通事故発生状況, 警視庁
- 2) ARIB-STD-T73「特定小電力無線局 移動体検知センサ用無線設備」