

前方監視用ミリ波レーダ

野田晋作*

Millimeter-wave Radar for Forward Sensing

Shinsaku Noda

要旨

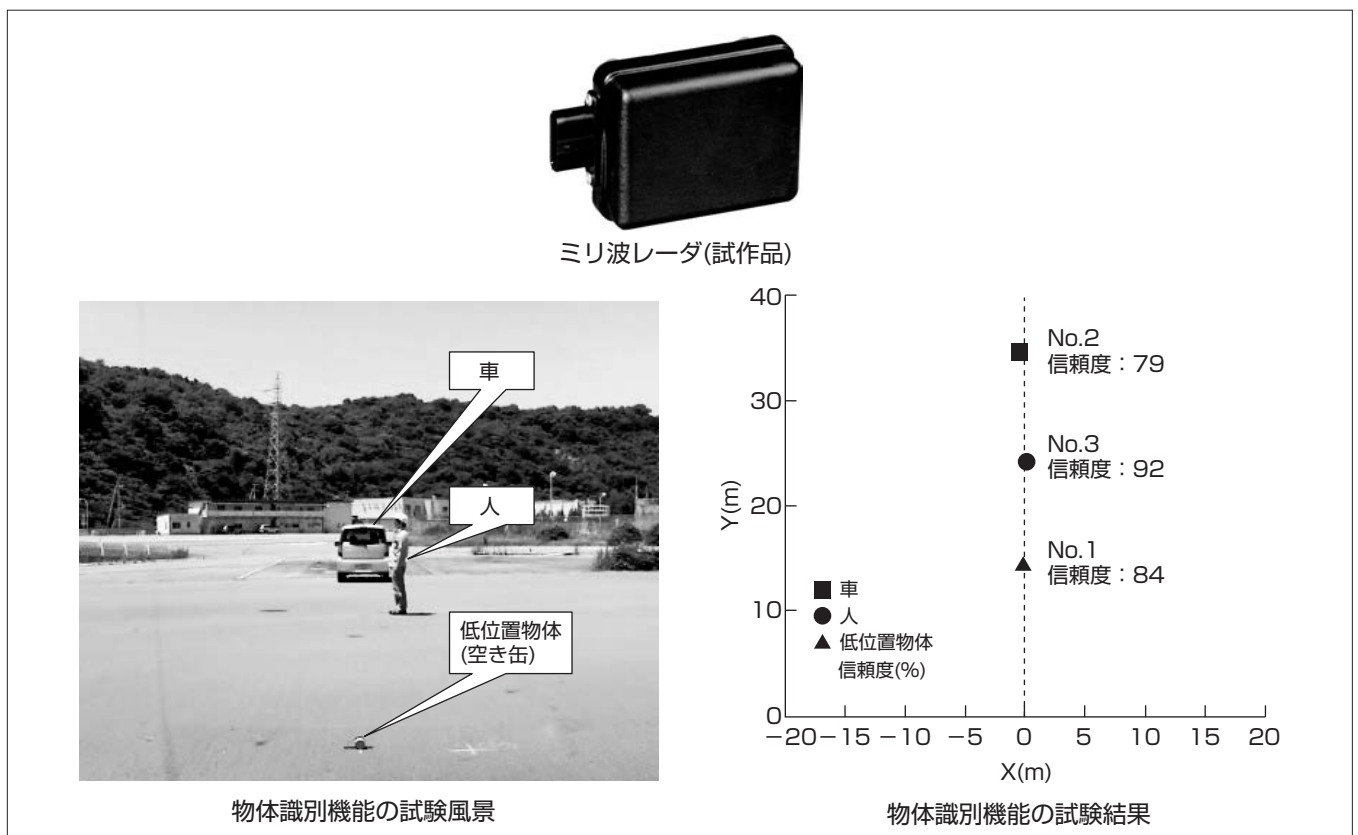
自動車の予防安全システムや自動運転の実現に向け、自動車メーカーや部品メーカーでは周囲の状況を監視するセンサや車両制御技術などの開発が急速に進められている。既に標準搭載化が進んでいる自動緊急ブレーキ (Autonomous Emergency Braking : AEB) ではNCAP (New Car Assessment Program) に基づいた安全テストが導入されており、ヨーロッパのEuro NCAPでは、2018年から夜間の歩行者、及びサイクリスト (自転車) に対するAEB性能の評価が導入される予定である。従来は、対象物が歩行者であるか否かの識別は別途搭載されているカメラだけで行われていたため、AEBの動作は夜間の歩行者への対応が

制限されていた。

そこで、三菱電機は、夜間や悪天候時でも検出性能が劣化しないミリ波レーダで対象物の識別を行う技術を開発した。

開発した識別技術では、対象物である人が手足を動かさずに止まっている場合でも“人”と識別可能であることが特長である。

また、従来ミリ波レーダは高コストな電波透過性エンブレムの裏に搭載されていたが、このようなエンブレムが不要なバンパー部などの低位置に搭載した場合でも、AEBの誤作動の原因となる“低位置物体”を識別することで誤作動を防止できる。



ミリ波レーダによる物体識別機能の試験結果

上の図は、開発したミリ波レーダ試作品の外観を示す。車両前部に搭載されることを前提に設計し、さらに、高コストな電波透過性エンブレムを必要としないバンパー部などの低位置への搭載も可能にした。下の2つの図は物体識別機能の試験風景 (車載カメラ映像) 及び試験結果を示す。車と人と低位置物体 (空き缶) をそれぞれ正確に識別できることを確認した。

1. ま え が き

自動車の予防安全システムや自動運転の実現に向け、自動車メーカーや部品メーカーでは周囲の状況を監視するセンサや車両制御技術などの開発が急速に進められている。前方自動車との車間距離に応じて自車速度を制御するACC(Adaptive Cruise Control)が既に普及車に装着されはじめており、AEBも標準搭載化が進んでいる。なお、AEBはNCAPに基づいた安全テストが導入されており⁽¹⁾、自動車の安全性能が一般的に認知される風土が醸成されつつある。現在、ヨーロッパのEuro NCAP、日本のJNCAP(Japan NCAP)では前方自動車に対するAEB性能を評価しているが、2016年からは新たに歩行者に対するAEB性能の評価も導入される。さらに、Euro NCAPでは2018年から夜間の歩行者、及びサイクリスト(自転車)に対するAEB性能の評価が導入される予定である。このような背景を踏まえると、夜間、又は雨や濃霧等の悪天候時でも有効な前方監視センサとして電波を媒体に対象物までの距離、方位角、相対速度を測定するミリ波レーダはキーデバイスと位置付けられる。

一方で、先に述べたように前方監視センサに求められる性能が高まる中、複数のセンサを組み合わせる相互に補うセンサフュージョン技術の開発も進められている。道路上の白線や信号認識、又は標識の認識などに欠かせないカメラとミリ波レーダとを組み合わせるものが代表的⁽²⁾であるが、対象物が歩行者であるか否かの識別はカメラだけで行うため、カメラの検出性能が劣る夜間や悪天候時の歩行者対応AEBの動作が制限される。そこで、当社では、ミリ波レーダでも対象物の識別を行う技術を開発して、システムの動作シーン拡大への寄与に取り組んでいる。

本稿では、当社が開発中のミリ波レーダの構成、測定原理、及び物体識別機能について述べる。

2. ミリ波レーダ

2.1 構成、仕様

図1にミリ波レーダ試作品の外観を、表1にミリ波レーダの仕様を示す。レーダ方式はFMCW(Frequency Modulation Continuous Wave)方式を採用した。

また、図2にミリ波レーダの構成を示す。電波の送受信はVCO(Voltage Controlled Oscillator)、送信MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit)、受信MMICで構成されるフロントエンド部と、送信アンテナ、及び受信アンテナで行われる。さらに、受信信号を増幅するベースバンドアンプ、及び各種信号処理を行うMCU(Micro Control Unit)で構成される。

2.2 距離測定と相対速度測定の原理

このミリ波レーダで採用したFMCW方式の基本原理を

述べる。FMCW方式は、図3に示すとおり、時間に対して周波数が上昇、及び下降する三角波状の周波数変調が施された信号を送受信して、対象物との距離を電波が往復す



図1. ミリ波レーダの試作品

表1. ミリ波レーダの仕様

項目	仕様(目標)
中心周波数	76.5GHz
レーダ方式	FMCW
距離測定範囲	0.5~200m
相対速度測定範囲	-260~+100km/h
角度測定範囲	-34~+34°
寸法	W99×H80×D40(mm)

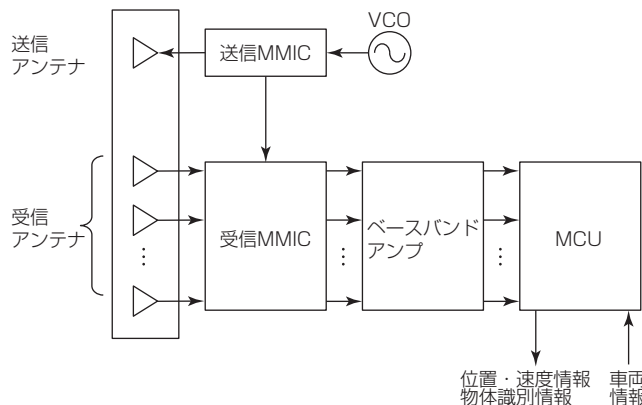


図2. ミリ波レーダの構成

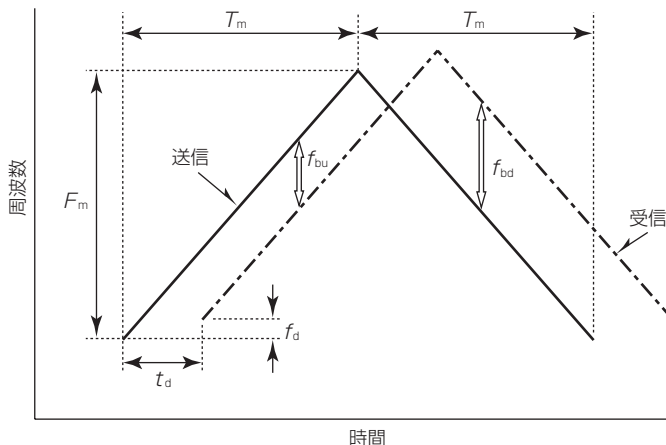


図3. 送受信信号の変調波形

るのにかかった遅延時間，及び相対速度に応じたドップラー効果を利用して対象物との距離及び相対速度を測定する方式である。

周波数が上昇する区間をUpチャープ，下降する区間をDownチャープとする。図3に示すように，送信された変調信号は対象物との距離を往復するのにかかる時間 t_d だけ遅延して受信される。また，対象物との相対速度に応じたドップラー効果によって f_d だけ周波数が変化する。これらによって，送信信号に対する受信信号の様子は図3に示すとおりとなる。

受信MMICでは送信信号と受信信号が混合されて，各チャープにおける送受信信号の差の周波数(ビート周波数) f_{bu} 及び f_{bd} を持つビート信号が出力される。

このようにして得られたビート信号は，ベースバンドアンプで増幅された後にMCUでA/D(Analog/Digital)変換して取り込まれる。MCUでは，各ビート信号に対してFFT(Fast Fourier Transform)が行われてビート周波数が観測される。これらのビート周波数から，図3に示す関係を用いて対象物との距離，及び相対速度を算出する。

2.3 方位角測定原理

このミリ波レーダは，複数の受信アンテナで対象物からの反射波を受信して，各アンテナで受信する信号の位相差から対象物の方位角を測定する方式に基づいている。図4に方位角測定の原理を示す。アンテナ間隔 d だけ離れた2つの受信アンテナで，方位角が θ の対象物から到来する信号をそれぞれ受信する。このとき，図4に示すように受信アンテナ1と受信アンテナ2とで受信する信号の各位相は，対象物からの経路差 $d \sin \theta$ によって位相差が生じる。したがって，MCUによる各アンテナの受信信号ごとのFFT結果から位相差を抽出することで，方位角 θ を算出できる。

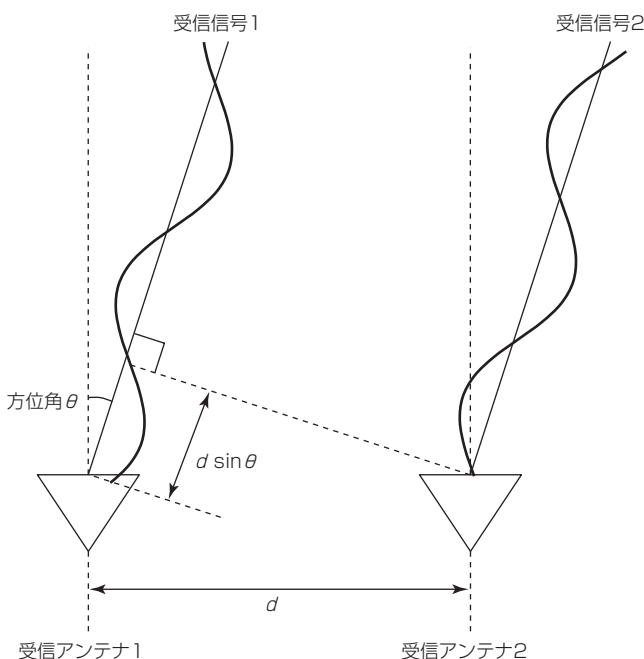


図4. 方位角測定の原理

3. 物体識別機能

3.1 ミリ波レーダによる物体識別技術

対象物が何であるかの識別を行うに当たり，カメラなどの画像センサでは対象物の形状に基づくパターンマッチングによる方式が代表的である。一方で，ミリ波レーダは波長に対するアンテナサイズの制約から，物体識別を行うための形状抽出が可能なほど十分に放射ビーム幅を狭くすることができない。

そこで，対象物の種類によって反射電波の振る舞いが異なることに着目して，受信信号から反射強度など特徴となる物理量(特徴量)を複数抽出して独自の推論アルゴリズムを用いて対象物の種類を識別する技術を開発した。図5に物体識別方法のイメージを示す。今回は，識別対象として車，人，及び低位置物体の3種類とした。

このアルゴリズムは対象物によって異なる受信信号の特徴に基づいて識別を行うため，対象物が動いているか静止しているかに関わらず識別が可能である。したがって，対象物である人が手足を動かさずに止まっている場合でも，“人”と識別可能なように設計されている。

また，現在のミリ波レーダはフロントグリル部のエンブレム裏に搭載されるのが一般的であるが，この場合，エンブレムは電波を透過させる必要があり，このような電波透

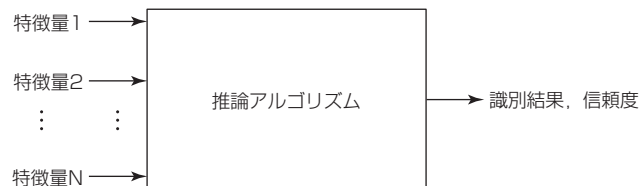


図5. 物体識別方法

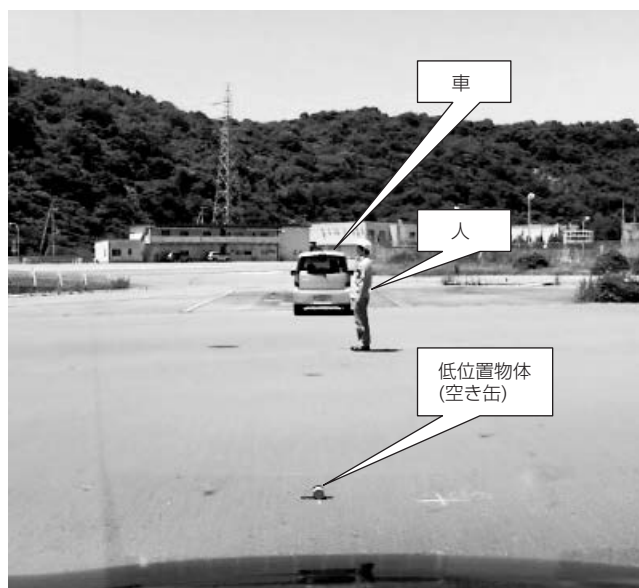


図6. 試験の様子(車載カメラ映像)

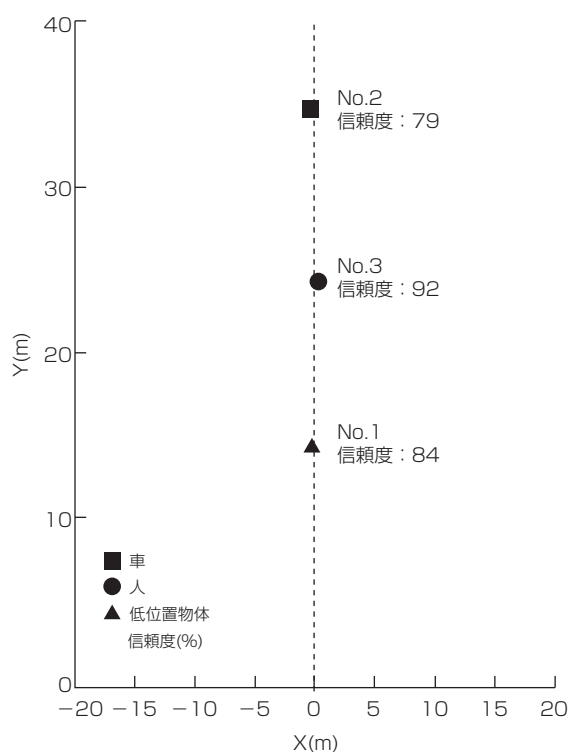


図7. ミリ波レーダの出力結果

過性エンブレムは通常のエンブレムに比べて高コストであることが課題となっている。今回開発した物体識別機能の“低位置物体”カテゴリーは、このような電波透過性エンブレムを必要としないバンパー部などの低位置に搭載された場合を想定した識別カテゴリーである。すなわち、ミリ波レーダが低位置に搭載された場合、路上の小さな落下物や路面電車のレールなど本来AEBの作動対象ではない低位置物体を障害物として検出してしまふ懸念があるが、低位

置物体であることを識別することで、AEBの作動対象であるか否かを判定できるようになる。

さらに、識別結果の信頼度を推論アルゴリズムで算出して出力できるようにしている。これによって、AEBなどのシステムアプリケーションで柔軟な制御を実現可能とした。

3.2 評価結果

開発したミリ波レーダの物体識別機能を評価するため、図6に示すように車、人、及び低位置物体として空き缶を設置して、ミリ波レーダを搭載した車両で接近する試験を行った。なお、対象物の“人”は動かずに静止した状態で試験を行った。

図7にミリ波レーダの出力結果を示す。各対象物が正しく識別されていることが分かる。

4. むすび

ミリ波レーダを用いた当社独自の物体識別技術について述べ、それを搭載したミリ波レーダの良好な試験結果を示した。この技術を用いたミリ波レーダで、夜間歩行者に対するAEBを始めとして各種予防安全システムに貢献していく。

参考文献

- (1) 宇治橋貞幸, ほか: 予防安全性能の評価と自動車アシスト事業への導入, 自動車技術, 68, No.12, 12~18 (2014)
- (2) 石田真之助, ほか: カメラとミリ波レーダのデータフュージョンによる事故低減技術の紹介, 自動車技術, 68, No.12, 31~37 (2014)