

# 広い視野角で設置自由度を向上した ミリ波レーダ

Millimeter-Wave Radar with Wide Viewing Angle for Improved Installation Flexibility

八幡 雄介\*  
Yusuke Yahata

白永 英晃  
Hideaki Shiranaga

東田 宣男  
Nobuo Higashida

岸 正樹  
Masaki Kishi

東 篤司  
Atushi Higashi

葉若 秀樹  
Hideki Hawaka

交通の安全と効率向上のため、世界各国で歩行者検知センサの需要が高まっている。交差点において歩行者検知センサで十分な検知精度を得るためには、適切な設置先を確保することが課題となる。しかしながら、センサを設置するために新しいポールを設置するには大きなコストを必要とするため「既存のポールを活用できること」が、歩行者検知センサを世界に広めるために重要となる。一方で、遠方と近傍の歩行者検知を両立させることは、センサの視野角が不足するために難しく、多くのセンサはその直下の歩行者を検知できないために設置場所が制限される。この課題への対策のため、筆者らは僅かなコストアップで広いアンテナ視野角を持つレーダセンサを開発し、設置場所の自由度を向上した。本稿では、開発した新しい技術と、それをを用いて広い検知エリアを実現した検知結果を紹介する。

The global need for pedestrian detectors is increasing to improve traffic safety and efficiency. In order to achieve accurate detection at intersections, the detectors need to be placed in the right locations. However, constructing new poles requires much effort and cost, making it essential to utilize existing poles for widespread deployment of the detectors. Meanwhile, achieving effective pedestrian detection on both far and near sides presents challenges due to the limited sensor viewing angles. Additionally, many sensors are unable to detect pedestrians directly beneath them, thereby restricting the possible installation locations. In order to overcome these challenges, we have developed a cost-effective radar system with a wide vertical coverage angle, offering improved installation flexibility. This paper introduces the innovative radar and presents experimental results demonstrating its expanded detection area.

キーワード：安全、交通、歩行者検知、レーダ、視野角

## 1. 緒言

米国では、歩行者の事故死者数が最近10年間で約53%増えており、大きな社会問題となっている。歩行者を保護するために、米国政府が主導し、道路形状の改良や信号のタイミングの最適化など、様々な対策がなされている。課題の一つに、米国で多数用いられている歩行者用の押しボタン信号においては、ボタンを押すことが困難な歩行者を支援できないことが挙げられる。この対策として歩行者による操作が不要な検知センサの活用が大いに期待されている。欧州やアジアでは、歩行者検知センサを用いたシステムがテスト段階にある。しかしながら、歩行者検知センサを普及させるためには、設置場所の確保が大きな課題となる。設置用に新しいポールを建てるには大きなコストが必要であり、さらには様々な理由から新しいポールを建てるのが不可能な交差点も多い。そのため、既存のポールを活用することが、交差点に歩行者検知センサを設置するための必須条件となる。

一方で、多くの既存のセンサ（画像センサ<sup>\*1</sup>、LiDAR<sup>\*2</sup>、レーダ<sup>\*3</sup>）は、垂直方向の検知範囲角度が十分ではないため、遠方の歩行者検知と近傍の歩行者検知を両立することが難しい。この問題への対策として、複数の歩行者検知セン

サを設置することが考えられるが、必要な台数分のコストがかかるうえに、データを統合するためのソフトウェアも必要になる。そこで筆者らは、この問題への対策のため、レーダのケース内に小さな反射板を設置することで、垂直方向の検知範囲角度を拡大することに成功した。反射板は鉄製やアルミニウム製の金属板で良く、この反射板を加えても、ソフトウェアの改訂を行うことなく歩行者を検知できる結果を得た。

このように小さな反射板をケース内に加えるだけで、既存のポールに設置して、遠方の歩行者検知と、近傍の歩行者検知を両立させることができるレーダを開発した。さらには、レーダは昼と夜の明暗の差や気候の変化の影響を受けず安定して動作するため、シーンを選ばず確実な安全支援を実現できる。また、カメラなどと異なりレンズを持たないため、定期的な清掃が不要であることも、高い位置に設置されるセンサとしては大きなメリットである。本稿では、開発内容の詳細や、グラウンドで行った試作品の検証実験結果を紹介する。

## 2. レーダの仕様とアプリケーション

横断歩道や待機エリアにいる歩行者を検知するために、レーダは図1 (b) のように交差点の1つのコーナーに設置されることが多い。(図1 (a) )には、筆者らが試作したレーダの外観も示す)

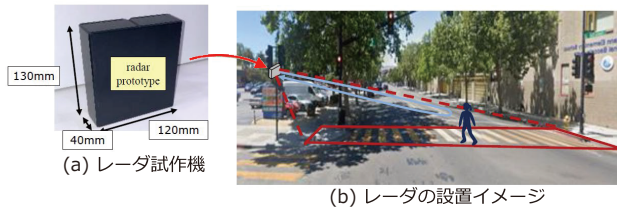


図1 レーダ試作機の外観と設置イメージ

レーダは、内部に設けたアンテナから60GHz帯の電波信号を周期的に出力し、反射された信号を受信する。反射体までの距離を信号の往復時間から算出し、正面方向と反射体の角度差を、複数の受信アンテナが受信した信号の位相差をもとに算出する。また、反射体の速度を、信号のドップラシフトから算出する。

開発した試作品のレーダの仕様を表1に示す。標準的な横断歩道や待機エリアの大きさをもとに、歩行者を検知可能なエリアを60m (前方) × 30m (側方) とした。

表1 試作品の仕様

変調方式	FMCW
電源	12-15V (DC)
消費電力	25W以下
送信周波数	61.0-61.5GHz
占有帯域幅	500MHz
送信電力	10mW
アンテナ	送信2系統 受信4系統
歩行者検知エリア	レーダ前方：1~60m レーダ側方：30m
使用温度範囲	-40~75度
大きさ	130×120×40 (mm)
重量	1.0kg以下 (取付金具を含む)

本稿では、レーダの視野角を評価する指標としてレーダ直下付近の最短検知距離に着目する。ポールにレーダを設置する場合、ポールから検知エリアの最も近い位置までの距離が、最短検知距離より大きいことが求められる。従って、最短検知距離を小さくすることが、既存のポールを活用できる可能性を高めるために最も大きな課題となる。例えば、画像センサなどのある種のセンサの垂直視野角度が

30度の場合、高さ3mに設置されたレーダで遠方60mの距離まで歩行者を検知しようとする、身長が1m50cmの歩行者の最短検知距離は3mとなる。この最短検知距離を短縮するため、筆者らは反射板をレーダ内部に設置したものを試作して評価した。

## 3. レーダの構造とソフトウェア

図2にレーダ内部の構造を示す。2系統の送信アンテナと、4系統の受信アンテナが、基板上的パッチアンテナとして実装されている。筆者らは、電波伝搬シミュレーションにより、遠方の検知エリアを維持したままレーダ直下の歩行者検知が可能になる、“反射板のサイズ”と“反射板の設置角度”のいくつかの組み合わせを求めた。これらの組み合わせの中から、ケースを小型にするために、最も反射板を小型にできるものを採用した。

アンテナ指向性のシミュレーション結果を図3に示す。垂直角度-70度から-30度 (アンテナ正面から下向き70度から30度に相当) において、大幅なゲイン拡大を得られていることがわかる。

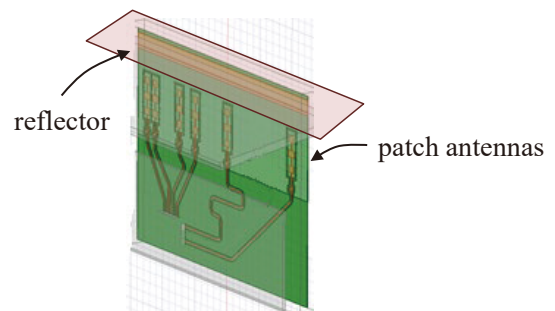


図2 反射板とアンテナの構成

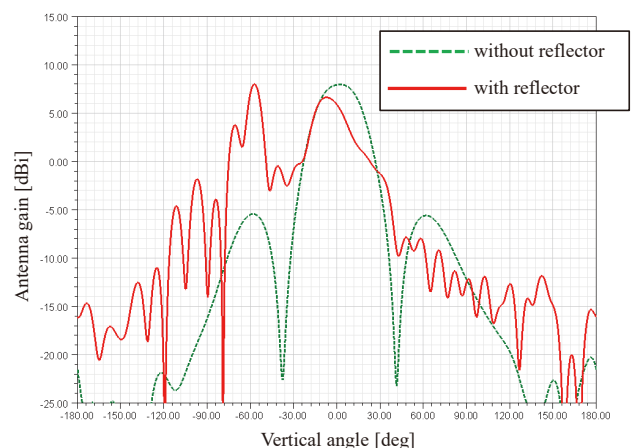


図3 アンテナ指向性のシミュレーション結果

このシミュレーション結果は、図4のようにレーダを高さ3mに設置した場合に、最短検知距離を1mにまで短縮できることを意味する。(歩行者の身長が1m50cmの場合)

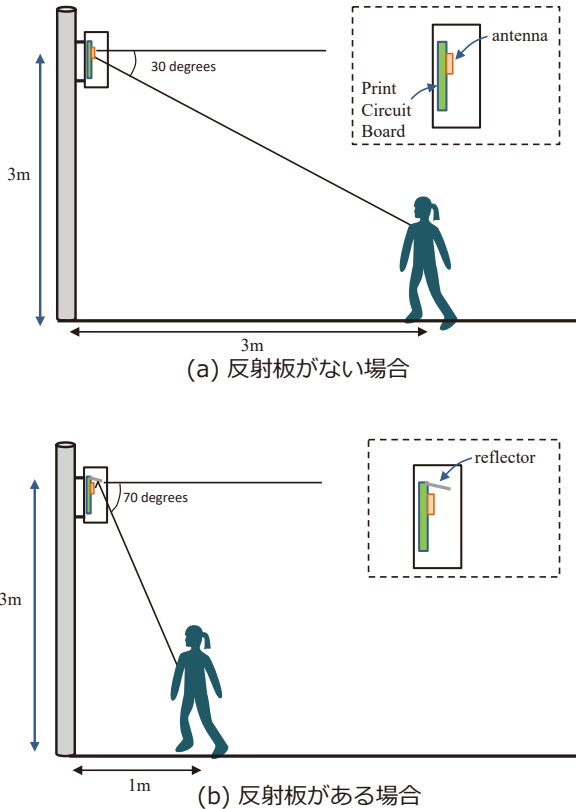


図4 反射板による最短検知距離の短縮

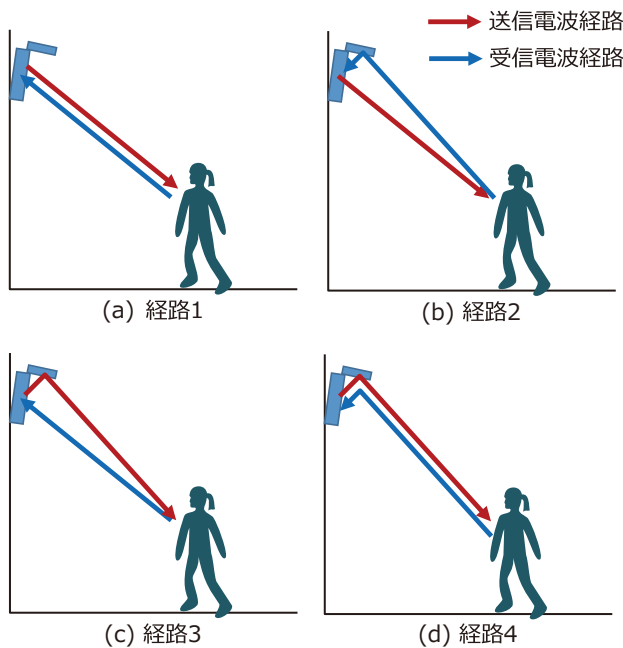


図5 電波信号の4つの経路

反射板を設置することで、電波信号は図5に示す4つの経路で受信アンテナに入射することになる。経路長に差があるため電波信号の往復時間は経路によって異なるが、経路長の差は十分に小さく、経路による時間差は歩行者形状の複雑さにより生じる時間差に対して十分に小さい。また、4つの経路により受信した信号同士の干渉により、信号が小さくなる時があるが、この干渉の影響は長い時間は継続しない。筆者らが開発したソフトウェアは、受信した信号の時間での移動平均を取得する機能を有しており、この干渉による影響は移動平均の取得により無視できることがわかった。さらには、反射板は4つの受信アンテナが受信する信号の位相差を維持できる角度に設置することが可能である。このようにして、4つの経路から入射する信号は、反射板がない場合と同じようにソフトウェアが扱うことができ、ソフトウェアの改訂を必要としない。

#### 4. 実験結果

反射板を内蔵したレーダを試作し、写真1のように屋外にて実験を行った。レーダは三脚の上に設置した。電波信号がレーダから発射され、歩行者にて反射された信号をレーダが受信する。受信した信号をPCに蓄積した。



写真1 グラウンドでの実験

図6に実験結果を示す。青い点は、その位置にて歩行者を検知できたことを示す。つまり、これらの位置では十分な信号強度を持つ反射信号を受信でき、ソフトウェアにより歩行者の存在を検出できたということである。これらの実験結果から、いずれの設置高さにおいても、反射板の追加によりレーダの直下付近の検知エリアを大きく拡大できたことがわかる。例えば設置高さが6mの場合、反射板なしのときには歩行者が4.7m以上の距離に来るまで検知できないが、反射板を追加することで、1.7mの距離の歩行者も検知できるようになった。

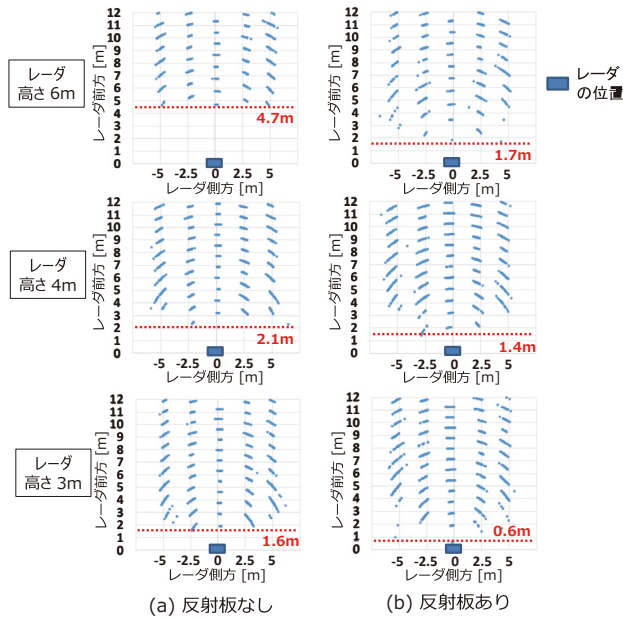


図6 レーダ付近における歩行者の検出結果

遠方の検知エリアについても測定を行った。その結果、表2のように、反射板を設置しても遠方の検知エリアを維持できていることがわかった。これらの実験結果は、シミュレーションの結果と一致する。

表2 検知エリアの実験結果まとめ

設置高さ	反射板	検知エリア	
		近傍	遠方
6m	なし	4.7m	70m
	あり	1.7m	70m
4m	なし	2.1m	70m
	あり	1.4m	70m
3m	なし	1.6m	70m
	あり	0.6m	70m

### 5. 「セットバック」を短縮する効果

実際の道路にレーダを設置する場合、図7のように検知すべきエリアから最短検知距離だけレーダを離して設置する必要がある。この距離を「セットバック」と呼ぶ。直下付近の歩行者を検知できるレーダはセットバックを短縮することができ、これは検知エリア付近のポールへの設置が可能であることを意味する。検知エリアである横断歩道のすぐ近くに歩行者用の信号灯器がある場合、セットバックが短いレーダなら、この信号灯器用のポールに設置することが可能である。このような交差点は非常に多く、既存のポールを活用できるケースが多くなる。その結果、工事にかかる費用を大きく削減することができる。

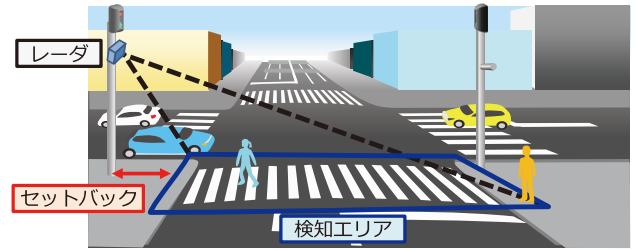


図7 レーダの設置イメージ

## 6. 結 言

小さな反射板を内蔵することにより、広い視野角で遠方と直下付近の検知を両立するレーダを開発した。このレーダにより、信号灯器用などの既存のポールを設置用活用できる可能性が大幅に向上する。この変更によるソフトウェアの改訂が不要であることも確認できた。この新しい技術の活用により、交差点に設置される歩行者検知用レーダの普及が加速し、歩行者の安全支援に寄与することを期待する。

### 用語集

#### ※1 画像センサ

デジタルカメラで撮影した画像を用いて、物体の存在を検知し、その物体の種別を判定するセンサ。

#### ※2 LiDAR

Light Detection And Rangingの略。光を照射し、その反射光から得られる情報をもとに物体までの距離や形状の計測を行うセンサ。

#### ※3 レーダ

電波を送信し、その反射波から得られる情報をもとに物体までの距離や方向、速度の計測を行うセンサ。

### 参考文献

- (1) Atsushi Higashi, A Pedestrian Detection Method based on 24-GHz Band Radar for Driving Safety Support Systems, in ITS world congress (Singapore, 2019)

執 筆 者

八幡 雄介\* : 情報ネットワーク研究開発センター  
主査



白永 英晃 : システム事業部 グループ長



東田 宣男 : システム事業部 主席



岸 正樹 : システム事業部 主査



東 篤司 : システム事業部 主査



葉若 秀樹 : 研究企画業務部



\* 主執筆者