

自動車用79GHz帯 超広帯域レーダ

79GHz Band Ultra-Wideband Automotive Radar

大口 勝之 Katsuyuki OHGUCHI
生野 雅義 Masayoshi SHONO
岸田 正幸 Masayuki KISHIDA



要 旨

当社は、ミリ波帯の電波を用いて車間距離などを高い精度で測ることができるミリ波レーダの開発を行ってきた。このたび、従来の77GHz帯レーダに比べて高分解能で広角検知を可能にする79GHz帯レーダを開発し、高度な分離分解能が実現できることが確認できたので報告する。本レーダは、超広帯域なFMCW変調とセクター・アンテナによって構成され、高度な信号処理技術により実現したものである。本稿では、レーダによる全周囲監視システム構成および検出エリアの検討、レーダ方式の考え方と広帯域化による効果の理論・シミュレーションによる検証、アンテナ開発の考え方と試作機の構成について述べ、さらに試作機の試験結果を示す。このレーダにより、従来の77GHz帯レーダでは検知が難しかった車両周辺の歩行者などの検知が可能になり、より高度な安全システムの実現を可能にする。

Abstract

Fujitsu Ten has been developing millimeter-wave radar that can accurately measure, for example, the distances between the host vehicle and other vehicles by using millimeter-wave. Recently we have developed 79GHz band radar with higher resolution and wider-angle detection than existing 77GHz band radar and have confirmed that the new radar realizes high-resolution separation ability, and we report it. It is composed of an ultra-wide band FMCW modulator and a sector antenna, and is realized by sophisticated signal processing technology. This paper describes: the configuration of a peripheral monitoring radar system and study of its detection area; the concept of the radar system and the theoretical and simulation verification of advantages of wider bandwidth; and the concept of antenna development and the configuration of its prototype model. Furthermore, we present the test results of the prototype model. This radar enables the detection of a pedestrian and the like around vehicles which are difficult to be detected by the existing 77GHz band radar so that more advanced safety system will be able to be materialized.

1

はじめに

交通事故死者数は、世界的に年々増加の傾向を示している。国連総会においては2011年から2020年を「Decade of Action for Road Safety」とすることを宣言し、各国や各自動車メーカでも独自の目標を掲げ、全世界で交通事故死者数増加の歯止めと削減の取り組みを推進している。¹⁾

交通安全への取り組みとして各自動車メーカでは様々な先進安全技術の開発を進め、市場に投入している。現在、自動車メーカ各社から、ぶつからない車として衝突を未然に防ぐ技術を搭載した車両が販売されており、交通事故の低減に対する効果が大きいと注目されている。また、この技術は、今後、乗用車の新車アセスメント評価（New Car Assessment Programme, NCAP）に導入されることが決まっており、市場拡大が期待される。

近年では、監視範囲を車両の前方だけでなく周囲に拡げることによって、車両の死角や、後方からの接近車両を検知し、衝突軽減・予防効果を高める機能や、駐車支援などの利便性も向上させる機能を持った安全運転支援システムが開発されており、77GHz帯レーダや24GHz帯レーダなどを車両周囲に配置したシステムが実用化されている。このような安全運転支援システムは、将来的に衝突軽減から衝突回避、更には、自動運転へとより高度なシステムへ進化することが求められおり、自動車用レーダは検知エリアの拡大や、都市のような複雑な環境での運用のための分解能向上など、更なる高性能化が要求されている。分解能向上には、使用する周波数帯域幅を広げることが必要となるが、従来の77GHz帯レーダ^{2)~5)}では、使用可能な周波数帯域幅が0.5GHzと規格で制限されているため十分な分解能が得られなかった。そのため、使用可能な周波数帯域幅が4GHzと広帯域で、高分解能化が可能な79GHz帯レーダの開発が期待されている。

我々は、高分解能で広角検知が可能な79GHz帯超広帯域レーダを開発し、従来の77GHz帯レーダに比べて良好な分解能の結果を確認した。さらに、車両周辺の歩行者検知試験においても良好な結果を確認した。

2

検知エリアの検討

我々が考えるレーダシステムの構成を図1に示す。車両の前方および後方には、遠距離レーダと中距離レーダを搭載し、車両の側方には近距離レーダを搭載する。遠距離・中距離には、両距離に対応した77GHzマルチモードレーダ（Multi-mode Radar, MMR）、もしくは、遠距離に77GHz帯レーダ、中距離により高度な検知が可能な79GHz帯レーダを搭載する構成を想定している。これらは、アダプティブクルーズコントロール（Adaptive Cruise Control,

ACC）、自動緊急ブレーキ（Autonomous Emergency Braking, AEB）など求められるアプリケーションに応じて選択する。また、近距離は79GHz帯レーダを搭載する。

それぞれのレーダの検知エリアを表1に示す。コストを抑制のため、レーダの検知角度を上げ個々の検知エリアを広範囲にすることで搭載数を削減することも重要となるため、近距離においては、検知角度130°の非常に広角なレーダが必要となる。

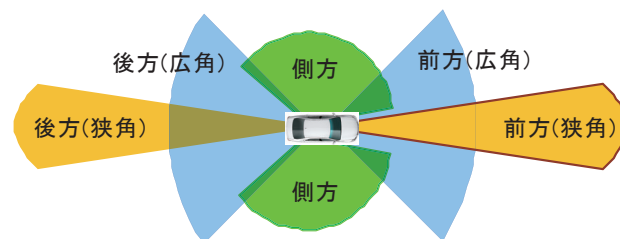


図1 レーダシステムの構成

Fig.1 Configuration of Radar System

表1 各レーダの検知エリア

Table 1 Detection Area of Each Radar Type

	前後方(狭角)	前後方(広角)	側方
用途	遠距離	中距離	近距離
検知距離	250m	70m~100m	40m
検知角度	18°	90°	130°

3

79GHz帯超広帯域レーダ開発の取組み

中距離・近距離への対応が求められる79GHz帯レーダは、高い分解能と広い検知角度性能が必要となる。そのため、開発の要素としては、変調方式や到来角度推定などのターゲット検出方式と到来角度演算処理のベースとなるアンテナになる。以下に、それぞれの開発の取り組みを示す。

3.1 レーダシステム

ターゲット検出方式は、大きく距離・相対速度を検出する変調方式と、角度を検出する到来角度推定方式に分類される。変調方式は、FMCW方式、パルス方式など様々あり選択する変調方式によって性能が決まり、デジタル信号処理で演算する到来角度推定方式は、演算方式によって性能が決まる。どちらも、方式の違いによるメリット、デメリットがあり、得られる性能や要求されるシステム構成が変わる。これらの方式の違いによる特徴を把握し、広角・高分解能だけでなく、高精度、高速処理、低価格で実現できるレーダ方式の開発が必要となる。

今回は、当社で実績があり開発資産が豊富なFMCW方式と、77GHz帯レーダで開発した高分解能な到来角度推定アルゴリズムを用いた79GHz帯超広帯域レーダを開発し検証を行った。

FMCW方式の距離分解能の定義を式(1)に示す。

$$\Delta R = A \frac{c}{2\Delta F} \quad (1)$$

上式の、 ΔR は距離分解能、 c は光速、 ΔF は変調周波数帯域幅、 A は窓関数など信号処理の影響で距離分解能が低下する定数である。式(1)により、周波数帯域幅が広がるほど、距離分解能が高くなることがわかる。開発した79GHz帯レーダは周波数帯域幅を4GHzとした。これは、従来の77GHz帯レーダの約8倍である。図2に、シミュレーションの概要と周波数帯域幅0.5GHzと4GHzの条件で距離分解能をシミュレーションした結果を示す。この結果より、79GHz帯レーダの距離分解能は0.2mと高分解能が得られることがわかる。

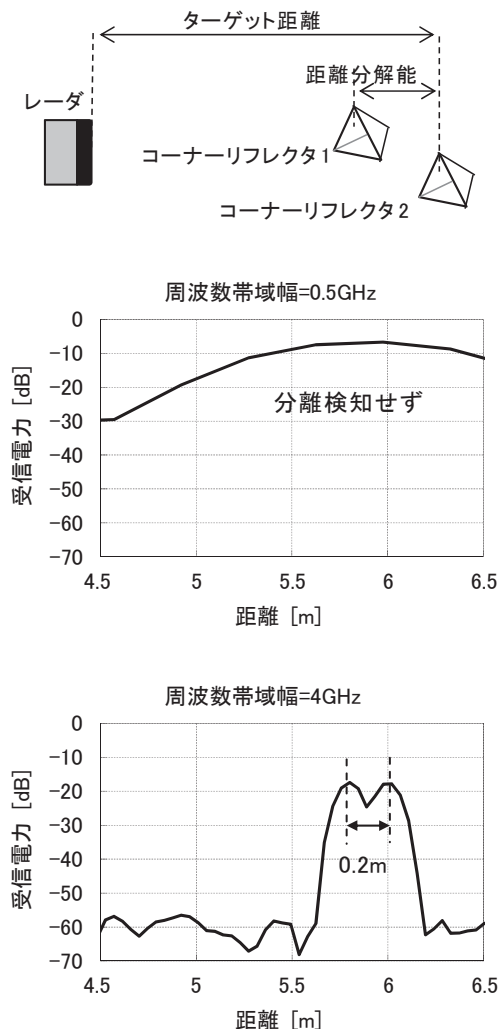


図2 距離分解能シミュレーション結果
Fig.2 Simulated Results of Range Resolution

3.2 アンテナ

79GHz帯レーダは、近距離において130°と非常に広い検知角度が要求される。そのため、アンテナにも同様に広い検知角度が求められる。また、検知角度と利得の両立、サイドローブの抑制、更に到来角度推定で発生するグレーティングローブ⁽¹⁾対策を実現させることも重要である。

これらの課題を解決するため、M個の送信アンテナのそれぞれのビーム方位を変えるアンテナを開発した。このアンテナは、各アンテナのビーム方位を変えるセクタ・アンテナ構成にすることで、広角度範囲をカバーし、サイドローブ抑制と必要な検知距離を満たすアンテナ利得を実現している。図3に広角アンテナのイメージ図を示す。

図4に到来角度推定のイメージを示す。到来角度推定は、任意の送信アンテナから送信した電波の反射波を、N個の受信アンテナで受信し演算処理を行うことで角度を検出する。そのため、N個の受信アンテナは同じ検知エリアをカバーするアンテナとした。

また、グレーティングローブの対策では、検知エリアの違うM個の送信アンテナを利用したアルゴリズムを用いている。開発したアンテナはM=N=4としている。

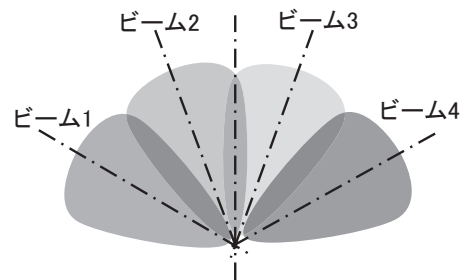


図3 広角検知方法のイメージ図
Fig.3 Image of Wide-Angle Detection Method

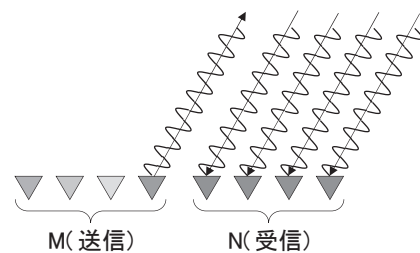


図4 到来角度推定のイメージ
Fig.4 Image of DOA Estimation

* (1) 到来方向に形成されるビームをメインローブと呼び、このメインローブと違う角度に発生する不要放射のこと。波長に対して受信アンテナ間隔が広い場合、メインローブと同相条件となる角度で発生する。

4

距離分解能試験の結果

開発した79GHz帯レーダを用いて距離分解能の試験を行った。この試験は2つのコーナーリフレクタ⁽²⁾間の距離を変更し行った。図5に試験の概要と結果を示す。この結果より、シミュレーションで求められた0.2mの距離分解能性能が実機でも実現することを確認した。また、試験結果とシミュレーション結果を比較すると、ほぼ同等の距離分解能であった。比較した結果を図6に示す。

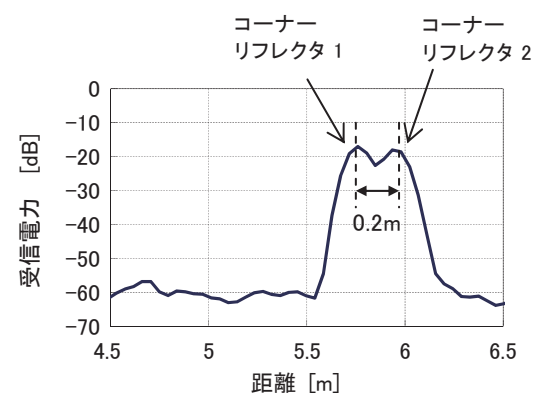
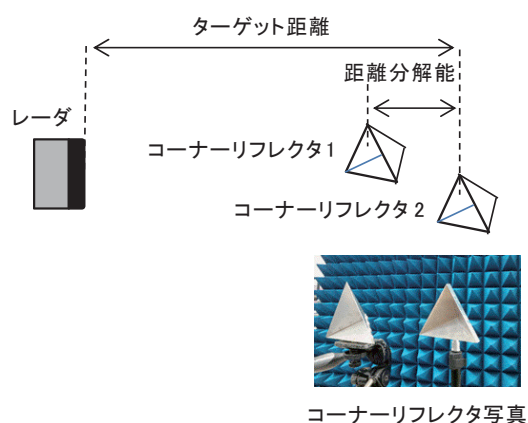


図5 距離分解能の概要と試験結果
Fig.5 Outline of Range Resolution Test and Test Result

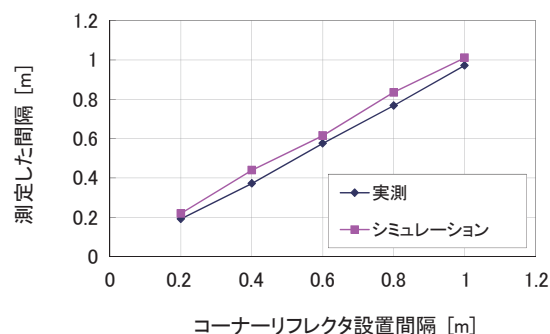


図6 試験結果とシミュレーションの比較

Fig.6 Comparison of Results between Real-World Test and Simulation

5

車両周辺の歩行者検知試験

距離分解能の向上により、従来の77GHz帯レーダで検知が難しかった車両前方に立つ人の検知が可能になるかを検証した。図7に試験の概要と結果を示す。この試験より、開発した79GHz帯レーダが、車両と歩行者を分離して検知できることを確認した。また、車両の形状が捕えられる結果も得た。これは、分解能が向上したことにより、車両の微妙な反射点の違いを分離検出できるようになったためと考えられる。

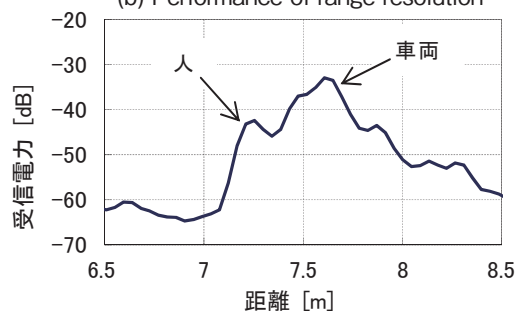
(a) 車両前方に立つ人の分離試験の概要

(a) Outline of separation test of man standing in front of vehicle



(b) 距離分解能性能

(b) Performance of range resolution



(c) 鳥瞰図

(c) Birds-eye view

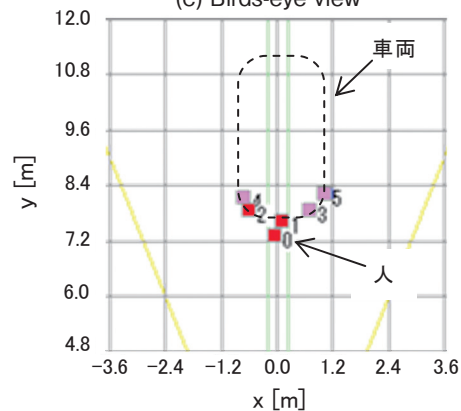


図7 車両前方に立つ人の分離試験結果

Fig.7 Results of Separation Test of Man Standing in Front of Vehicle

* (2) 入射した電波をその入射方向に送り返すための反射体

次に、図8に示す車両周辺の歩行者検知の試験を実施した。また、この試験は周波数帯域幅が0.5GHzと4GHzでの性能比較も実施した。周波数帯域幅0.5GHzの結果を図9に、周波数帯域幅4GHzの結果を図10に示す。周波数帯域幅0.5GHzは、歩行者を連続して検知できず見失う所があったことに対し、帯域幅4GHzでは歩行者を見失うことなく連続して検知する結果となった。これは、レーダの距離分解能が向上したことにより、車両と歩行者を分離して検知したためと考えられる。

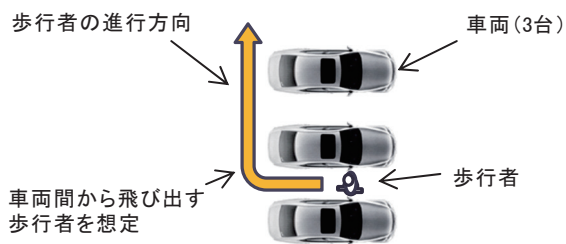


図8 車両周辺の歩行者検知試験の概要

Fig.8 Outline of Detection Test of Pedestrian Walking around Vehicles

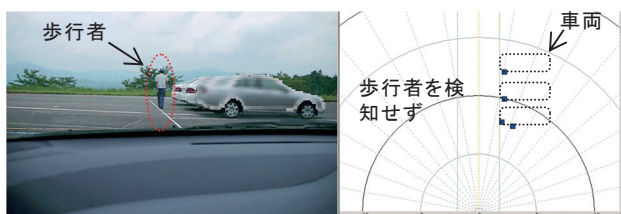
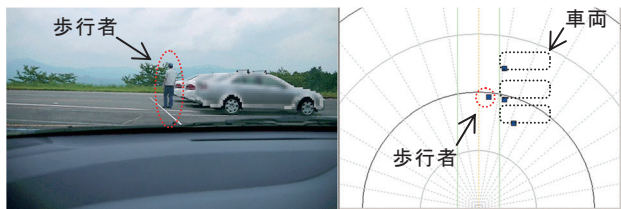
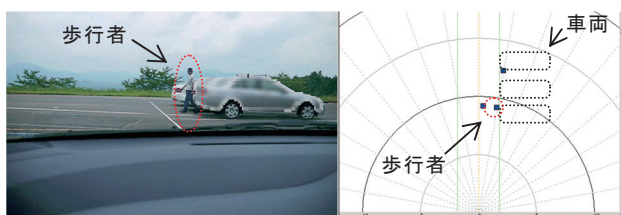


図9 車両周辺の歩行者検知試験（帯域幅=0.5GHz）

Fig.9 Detection Test of Pedestrian Walking around Vehicles
(bandwidth=0.5GHz)



図10 車両周辺の歩行者検知試験（帯域幅=4GHz）

Fig.10 Detection Test of Pedestrian Walking around Vehicles
(bandwidth=4GHz)

6

おわりに

本稿では、我々が考えるレーダシステムの構成、検知エリア、79GHz帯超広帯域レーダ開発の取組み、実機を用いた試験の結果を示した。レーダ試験においては、開発したレーダが車両周辺の歩行者を分離検知するだけでなく、車両の形状を捕らえられるイメージングのような性能が得られることを確認し、このレーダが安全運転支援システムの高機能化に対して有効であることを確認した。我々は、このレーダの開発を通して事故のないクルマ社会の実現に貢献していきたい。

参考文献

- 1) <http://www.roadsafetyfund.org/UnDecadeOfAction/Pages/default.aspx>, "UN Decade of action for road safety 2011-2020".
- 2) N. Shima, O. Isaji, M. Kishida, N. Okubo and S. Yamano, "High Resolution Long Range Radar with Small Aperture", IS:04-24, Media Interactive Sessions, ITS-WC 2010.
- 3) K. Honda, K. Yoneda and K. Yamane, "Development of 76GHz Millimeter-Wave Radar", Fujitsu Ten Technical Journal, no.30, pp.60-64, 2008.
- 4) H. Asanuma, Y. Sekiguchi and M.Kishida, "Side Forward Looking Millimeter Wave Radar for Front Diagonal Pre-Crash Safety System", IS:3167, TS102, Technical Session, ITS-WC 2009.
- 5) Shuhei Kobashi, Yasuhiro Kurono, Masayoshi Shono, Kazuo Shirakawa, Osamu Isaji, Masahiro Fujimoto and Naofumi Okubo, "3D-Scan Radar for Automotive Application", TS107, Preventive & active safety systems [2] Sessions, ITS-WC 2012.

筆者紹介



大口 勝之
(おおぐち かつゆき)

AS技術本部
Aプロジェクト推進室



生野 雅義
(しょうの まさよし)

AS技術本部
Aプロジェクト推進室



岸田 正幸
(きしだ まさゆき)

AS技術本部
センサ先行開発室室長