

24 GHz帯周辺監視レーダの開発

Development of a 24 GHz Band Peripheral Monitoring Radar

青柳 靖*
Yasushi Aoyagi

〈概要〉

近年、自動車の安全技術は、事故発生を未然に防ぐ衝突回避、軽減対策へと進化しており、その中でも各種センサを活用して安全を確保する先進運転支援システム(ADAS: Advanced Driver Assistance System)は、将来の自動運転にも繋がるものと期待されている。このADASにおいて、周辺監視レーダは、夜間、悪天候時でも車両後方や死角の障害物を検知することが求められる。本稿では、日本で初めて本格量産を実現した「24 GHz周辺監視レーダ」の概要を紹介する。

1. はじめに

現在、ADASは広く社会的に認知され、特に車線変更における死角検知、車両周辺の物体情報などを探る、「周辺監視レーダ」の普及が急速に進んでいる。図1に周辺監視の主な用途を示す。各ビームには1アプリケーションのみ記載されているが、前、後、左、右に同一機能のビーム配置を想定している。

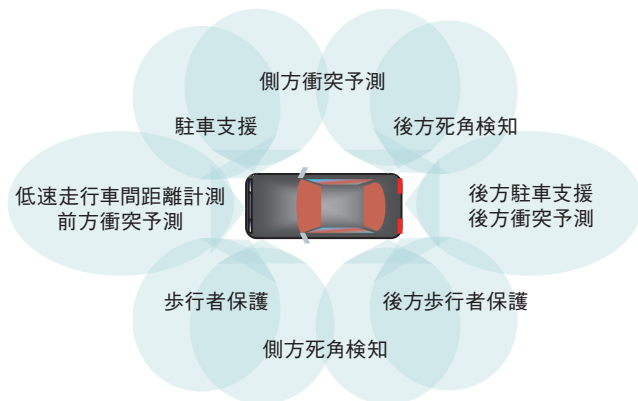


図1 周辺監視レーダの主な用途
Main applications of the peripheral monitoring radar.

レーダ(RADAR: Radio Detection And Ranging)は電波を照射し、物体からの反射波を受信することで、伝搬時間から物体の存在と、その距離、相対速度、及び角度などを検出する装置である。

周辺を監視する方式はレーダ以外にも、従来からカメラや、

レーザ、超音波などが実用化されている。表1にこれらの周辺監視センサの比較を示す。レーダは広覆域、耐候性、夜間対応、速度検知などの周辺監視センサとしての要求に合致しており、最も適合性が高いことが分かる。

表1 周辺監視センサの比較
Comparison of the peripheral monitoring sensors.

方式	レーダ	レーザ	超音波	カメラ
相対速度直接検出	○	×	×	×
耐候性(霧、雨)	○	△	×	△
夜間(暗闇)対応	○	○	○	△

○: 適している, △: 利用可能, ×: 利用不可能

2. 車載レーダの概要

2.1. 法制化動向

表2に車載レーダ用帯域の法制化動向を示す。車載レーダが利用可能な周波数帯は、準ミリ波帯(24.05 ~ 24.25 GHz, 24 GHz帯)、ミリ波帯(76 ~ 81 GHz)の2種類が主流である。特に準ミリ波帯は、世界の多くの地域で法制化済みであり、主に後側方アプリケーション用途に広く採用されており、搭載のしやすさや、環境ロバスト性、法制化対応から、今後も利用が期待される。また、自動運転など、さらなるレーダ利用拡大のため、79 GHz帯の開発が推進されている。同帯域は、今後、世界各地で将来の周辺監視レーダ用の帯域として活用されていくものと考えられる。

* 古河AS(株) 技術本部RA統括部

表2 車載レーダ用帯域の法制化動向
Legislation trend of the Radio frequency allocation for the automotive radar.

国・地域	準ミリ波帯	ミリ波帯	
	24 GHz帯	76 GHz帯	79 GHz帯
	24.05 ~ 24.25 GHz	76 ~ 77 GHz	77 ~ 81 GHz
欧州	帯域幅200 MHz	帯域幅1 GHz	帯域幅4 GHz (77 ~ 81 GHz)
米国	帯域幅100 MHz または200 MHz	帯域幅1 GHz	2015年2月に法改正提案中
日本	帯域幅200 MHz	帯域幅1 GHz	帯域幅4 GHz (77 ~ 81 GHz)
中国	帯域幅250 MHz	帯域幅1 GHz	—

2.2. 周波数毎の特性比較

表3に周波数帯域毎の特性を示す。一般に、準ミリ波帯(24 GHz帯)は、ミリ波帯(76 ~ 81 GHz帯)に比べて、降雨などの環境による減衰、レーダ搭載付近のバンパ塗装や、表面付着物を含めた透過損失、空間伝播損失が小さく、ロバストなセンシングが可能である。一方、割り当て帯域幅が200 MHzと狭いため、レーダの相互干渉や、距離分解能が劣る。周辺監視レーダとしては、24 GHz帯と、79 GHz帯の利用が主で、所要時期、コスト、性能、地域の制限に合わせて適宜選択されていくと考えられる。

表3 車載レーダの周波数帯域毎の特性比較
Performance comparison of the automotive radar for each frequency band.

		準ミリ波帯	ミリ波帯	
周波数		24.05 ~ 24.25 GHz	76 ~ 77 GHz	77 ~ 81 GHz
主用途		周辺監視	前方センシング 自動ブレーキ	周辺監視
降雨減衰 係数 γ (dB/km) ¹⁾	強い雨 10 mm/h	1.42	5.65	
	弱い雨 3 mm/h	0.40	2.23	
バンパ透過性 ²⁾ (トリプルコーティング、 往復)		1 dB程度	7 dB程度	

3. 周辺監視レーダの開発

周辺監視レーダの開発に当たり、耐環境性、搭載性などの長所から、24 GHz帯を選択し、開発を推進してきた。図2に主な方式の概要を示す。「FCM方式(Fast-Chirp Modulation)」は、「FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave:周波数変調連続波)方式」を基本とし、送信する周波数を数~数十マイクロ秒単位で高速に掃引しながら連続的に送出し、その反射波との周波数の差分を分析することで、距離、速度、角度の計測を実施する。他方、「パルス方式」は電波を断続的に放射し、距離は純粋にパルスの往復時間を計測し、速度、角度を周波数の分析で計測するという方式である。従来、車載用レーダは、FCM(FMCW)方式が一般的であるが、本製品は物体検知性能を重視し、「パルス方式」を採用した。

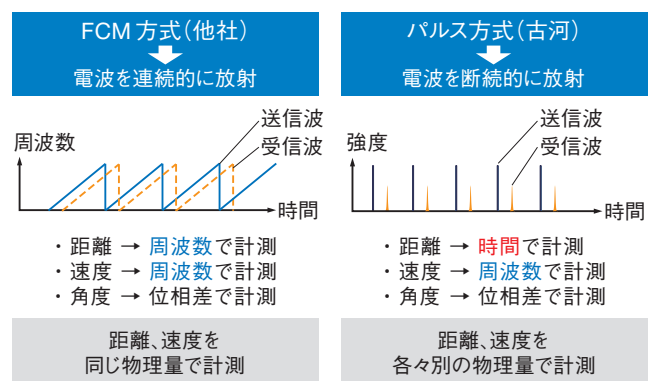


図2 レーダ方式の概要
Outlines of the radar system.

本レーダは従来から開発を実施してきた超広帯域レーダの信号処理、回路技術により、通常の狭帯域レーダにくらべて高分解信号処理を実現している。図3(a)のようなシーンを想定した場合、後方2台の車両を分離し、それぞれを確実に検知することを可能とするコンセプトである。

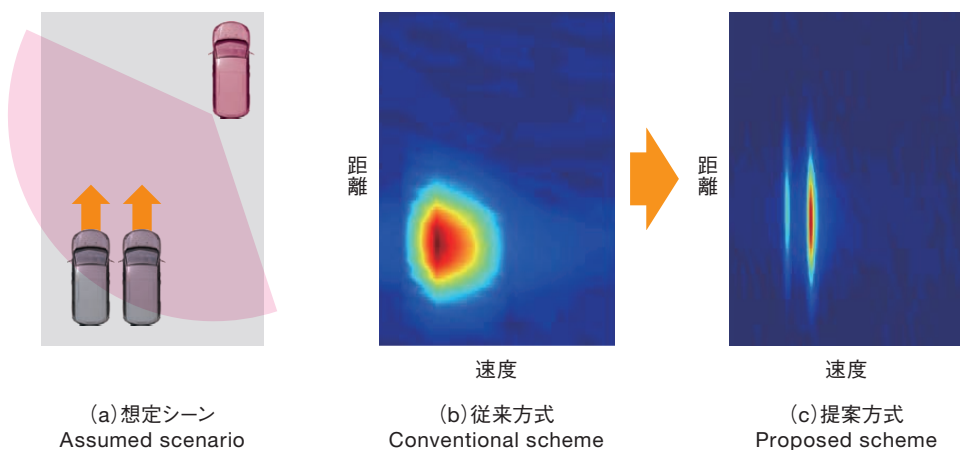


図3 高分解信号処理の概念
Concept of the high resolution signal processing.

3.1. 仕様

図4に車載レーダの外観を、表4に主要諸元を示す。バンパ背面のスペースを考慮し、薄型・軽量の筐体となっている。測角方式は4ビームの位相情報から角度を算出するデジタルビームフォーミングを採用することで、更にデータの安定性を高めている。



図4 車載レーダの外観
The picture of the automotive radar.

表4 主要諸元
Main specifications.

項目	仕様値(参考)
検出方式	パルスドップラ/DBF
使用周波数	24.05 ~ 24.25 GHz
動作温度範囲	-40℃ ~ +85℃
動作電圧範囲	DC+9 ~ +16 V
外形寸法	W131 × D129 × H23 (mm)
外部通信I/F	CAN

図5に車載レーダの構成を示す。主な回路部品は、アンテナ、準ミリ波モジュール、信号処理部、電源部からなり、レドーム、メイン基板、シールドケース、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するため防水構造となっている。

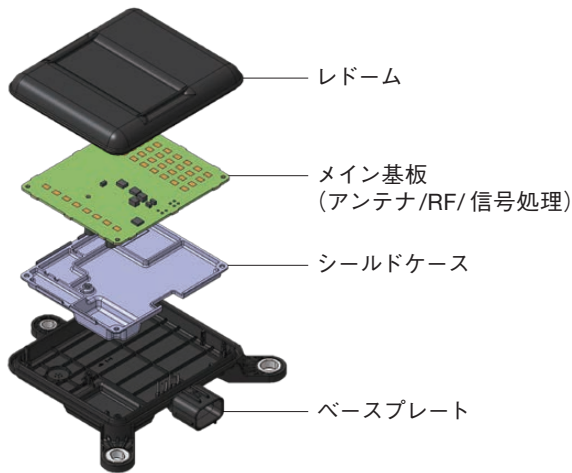


図5 車載レーダの構成
The configuration of the automotive radar.

本レーダは、さらに、従来のFCM (FMCW) 方式レーダに比べて多彩な環境下に対応するため、性能改善を行い、以下のような特長を有している。

①分離性能

強反射物が存在しても、同ピークの裾に弱い受信信号が埋もれてしまう状況を制限できるため、車両や自転車、歩行者などの複数物標に対しての検知性能を高めることができる(図6)。

②搭載性

距離毎に検知性能を調整できるため、近傍の強反射物の影響を受けにくく、搭載性に優れている。車両バンパ内には、多くの反射物があり、従来のFCM方式では、バンパ変形などにより搭載のバランスが崩れると、連続波がアナログ/デジタル変換部を飽和させてしまい、検知が不安

定となることがあるが、パルス方式では、その影響は限定的で、全体的な検知は安定している(図7)。

③極近傍検知

FCM方式では、0 m付近での大きな反射(回り込み)を抑圧し、受信回路の飽和を避ける必要がある。このためアナログ/デジタル変換器の直前にハイパスフィルタが接続される。この副作用で原理的に0 m付近に不感帯が発生³⁾が、パルス方式においては、距離毎の検知処理が可能であるため、極近傍の感度を遠方の検知性能と独立に調整することで極近距離の対象物も検知することができる(図8)。

これらの特長を確認するため、車両前側方に搭載したパルス方式レーダ(左右各1個、±45度傾けて搭載)を用いて市街地にて計測した例を図9に示す。金属シャッター(右側)、トラック(前方)などの強反射物に埋もれることなく、歩行者を検知できていることがわかる。

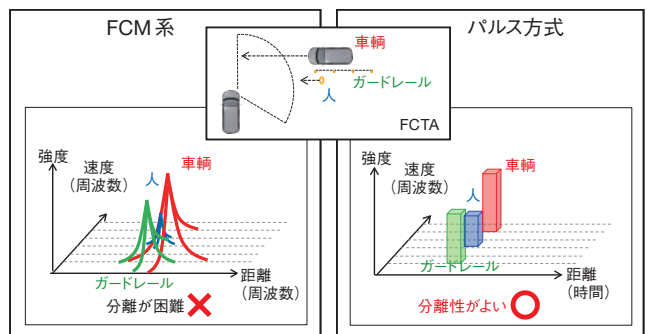


図6 分離性の比較
Comparison of the separability.

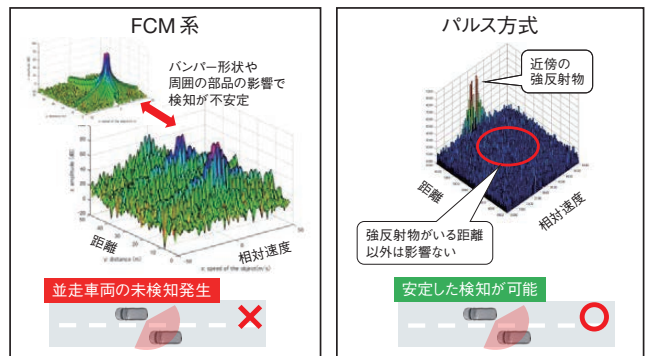


図7 搭載性の比較
Comparison of the mountability.

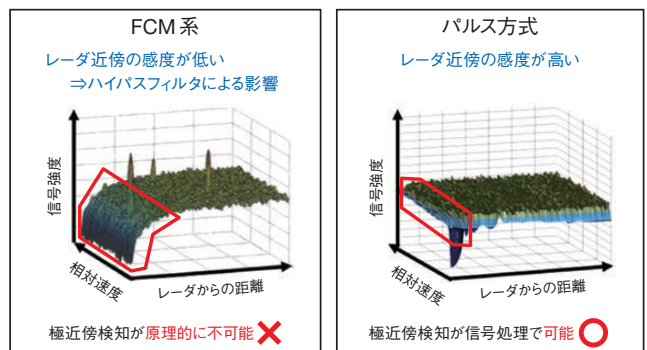


図8 極近傍検知
Detection in the ultra-vicinity.

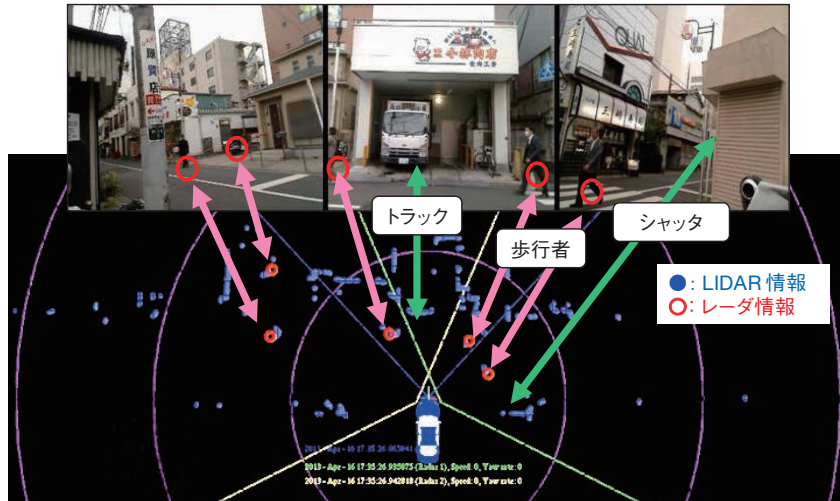


図9 計測結果の例
Example of the measurement result.

4. 予防安全システムの開発

前章までは物体の検知についてのみ紹介したが、図10のレーダ単体で構成される車載予防安全システムとしての基本動作に示すように、本レーダに危険判断を予測する機能を組み込み、危険度合を運転者や、車両上位システムに報知する機能を付加し、さらに、車両ネットワークに接続して、自車速度情報、ヨーレート、ギア状態、ウインカ状態などをコントローラエリアネットワーク (CAN) から読み取る構成とすることで、予防安全シ

ステムを構築することが可能である。また、左右のレーダを連携して動作させるために上位ネットワークに接続された側がマスターとなり、危険判断が可能である。危険判断の基準はアプリケーション仕様に準拠し、かつ、報知手段として、ユーザコネクタからドアミラーに内蔵されたLEDを駆動する回路を実装した。図11に車両システム構成を示す。

予防安全システムに適用したアプリケーション (LCDAS, RCTA) を図12に示す。

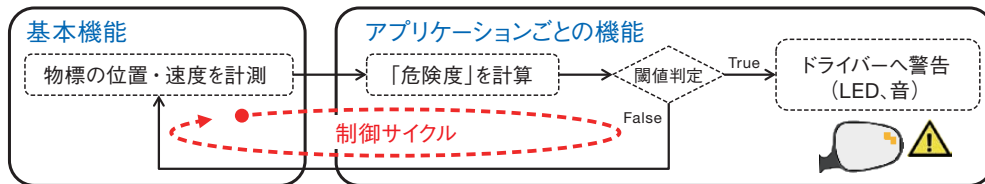


図10 レーダ単体で構成される車載予防安全システムとしての基本動作
The basic operation as implemented in the automotive preventive safety system composed of the radar alone.

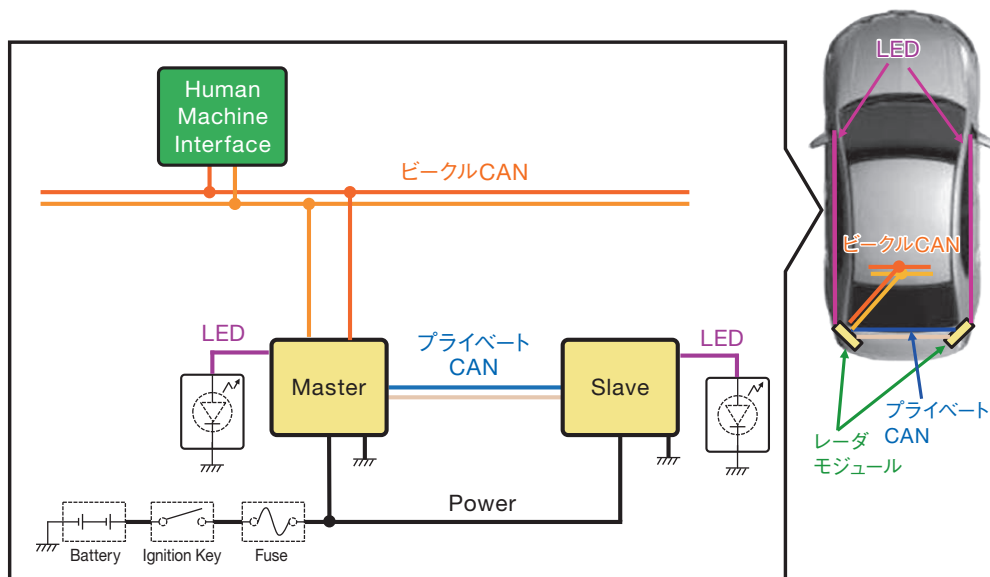


図11 車両システム構成
The configuration of the vehicle system.

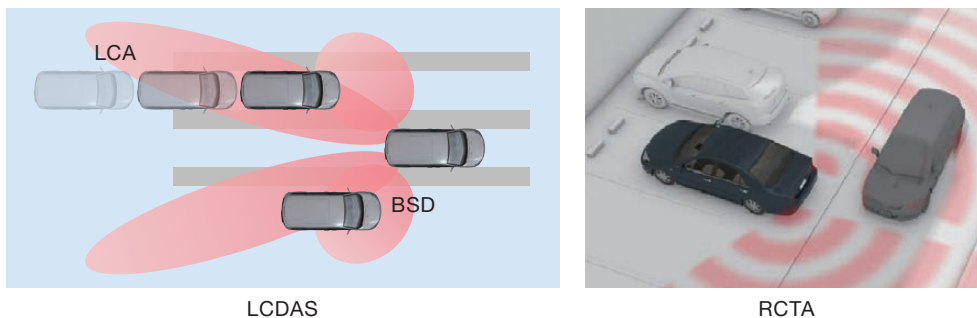


図12 適用アプリケーション
Applicable applications.

車両状態情報	ギア状態	後退			前進	
	車速	高速	低速	停車	低速	高速
アプリケーション状態		待機状態	RCTA		待機状態	LCDAS (BSD/LCA)

図13 アプリケーションと車両状態の連動
The linkage between the application and the vehicle status.

LCDAS (Lane Change Decision Aid System)³⁾は斜め後方の他車両の存在を検知してドライバーに注意喚起する、安全な車線変更を支援する機能である。また、LCDAS Type-Ⅲは自転車周辺の死角(左右の隣接車線と後方10 m程度の範囲)に入る他車を検知するBlind Spot Detection (LCDAS Type-I)と、死角に加えて隣接車線を急速接近する他車を検知するClusing Vehicle Warning (LCDAS Type-Ⅱ, Lane Change Assist: LCAとも呼ばれる)を両方備えたシステムである。

RCTA (Rear Cross Traffic Alert)は、駐車場から後進で出庫する際、ブラインドスポットに存在する車両、もしくは歩行者を検出し、人身事故などの重大な事故を未然に防ぐアプリケーションである。図13にアプリケーションと車両状態の連動を示す。

これらのアプリケーションは、切り替えが必要であるが、前述のように、車両のボディ CANに接続することで得られる車両情報(車速, ウィンカON/OFF, ギア)を利用して、レーダが動作モードを自動で選択する構成となっている。

5. おわりに

本稿では、周辺監視レーダの位置づけ、周波数帯域の特質を紹介し、夜間、悪天候時でも車両後方や死角の障害物を検知することを可能とし、日本で初めて本格量産を実現した「24 GHz 周辺監視レーダ」の概要を紹介した。今後、次世代ADAS, 自動運転に対応するため、レーダの高信頼化、及び機能の拡大を進めていく。

参考文献

- 1) 高田, “電波伝搬の基礎理論” MWE, 2005. [オンライン]. Available: <http://www.apmc-mwe.org/mwe2005/src/TL/TL05-01.pdf>.
- 2) R. Lachner, “Development Status of Next Generation Automotive Radar in EU,” ITS Forum, 2009. [オンライン]. Available: <http://www.itsforum.gr.jp/Public/J3Schedule/P22/lachner090226.pdf>.
- 3) M. Fujimoto, “先進運転支援システム (ADAS) を実現するための76/79GHz帯ミリ波レーダ・システム・ソリューション,” [オンライン]. Available: <http://cache.freescale.com/ja/files/FTF-AUT-F0736.pdf>.
- 4) ISO, “ISO17387 :Intelligent transport systems - Lane change decision aid systems (LCDAS) - Performance requirements and test procedures,” (2008).