

# 79GHz 帯レーダーシステムの高度化に関する研究開発 Advanced Research on 79GHz-band Radar Systems

## 研究代表者

宮本和彦 パナソニック株式会社  
Kazuhiko Miyamoto Panasonic Corporation

## 研究分担者

大橋洋二† Yoji Ohashi† †富士通株式会社 †Fujitsu Limited	藤島実†† Minoru Fujishima†† ††国立大学法人広島大学 ††Hiroshima University
---	---

研究期間 平成 23 年度～平成 25 年度

## 概要

本研究開発は、79GHz 帯高分解能レーダーの新規技術開発により、歩行者の広視野角な分離検知を実現。交差点における運転者の負荷や事故の低減するためのインフラシステム等として活用することを目的としている。研究開発課題の一つである広視野角・高分解能レーダー技術として、歩行者分離検知のパルスレーダー技術及び広視野角・高精度のアレイアンテナ技術の開発に取り組んだ。また、レーダーシステム間の干渉低減技術として、シミュレーションによる干渉定量化技術及び広帯域 PLL シンセサイザの回路技術の開発に取り組むとともに、ミリ波 CMOS 回路の温度補償技術として、79GHz 帯 CMOS モデリング技術及び 100°C までの特性を補償する PA 回路技術の開発に取り組んだ。

## Abstract

The objective of this research project is to separately detect pedestrians by using new 79GHz-band high-resolution radar technologies – it helps reduce driver's burden and traffic accidents at intersections. One of the research issues is to develop high resolution and wide scanning radar techniques including pulse radar method for pedestrian detection and adaptive array antenna with wide-view. Other issues are to develop interference avoidance techniques between radar systems that consisting quantification of interference phenomena and development of wide-band PLL synthesizer and temperature compensation techniques on CMOS integrated that circuit consisting 79GHz-band CMOS device modeling up to 100°C and development of power amplifier chip.

## 1. まえがき

近年、歩行者や自転車とクルマの接触事故を減らしたいとする社会要請の高まりを背景として、ミリ波デバイスの技術開発によるレーダーシステムの低コスト化が進んでおり、対象物を高い精度で検知できるレーダー技術の普及が加速している。中でも 79GHz 帯のミリ波を利用するレーダー技術は分離性能の高さを特徴とし、悪天候や夜間でも歩行者や自転車を高精度に検知できるため、クルマ周囲の状態の把握や交差点内の監視を可能とする次世代の ITS センサーとして期待されている。

現在、79GHz 帯レーダーが使用予定の 77G~81GHz のうち、77.5G~78.0GHz は国際的に無線評定業務へ分配されていないが、日本や欧州を中心に ITU-R の審議が進められた結果、2015 年の WRC（世界無線通信会議）でこの国際周波数分配を議題にすることが決定した。これは、激しい国際競争の中で、関係者の多大な努力により国際協調を優先して牽引された成果である。このように国際的にも導入検討が進められている 79GHz 帯レーダーを、交差点の路側センサーとして適応することを目標とした。歩行者と信号機、クルマとオートバイを分離検知し、運転者に通知する仕組みを想定している（図 1 を参照）。

## 2. 研究内容及び成果

### 2.1 広視野角・高分解能レーダー技術

交差点内をくまなく監視する路側センサーには、数十 m 程度の最大検知距離と広い視野角、また、歩行者などの小さな対象物を分離して検知する高い分解能が求められる。

交差点の安全性を高めるには、5m から 40m 程度の検

知距離範囲と 110 度を超える広視野角のレーダー走査が必要になるとみられる。また、クルマ同士の衝突を回避するには、高速で侵入するクルマを検知するために、100ms 以下のデータ更新周期を実現する高速な信号処理も必要となる。こうした技術要件から具体的な要求仕様が策定された上で、以下の要素技術の開発に取り組んだ。

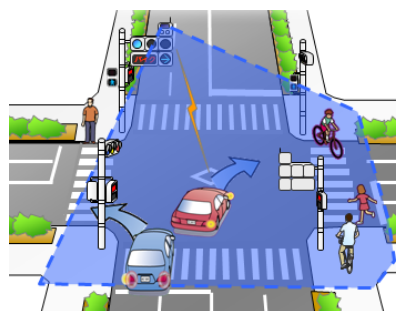


図 1. 目標とするインフラレーダーシステム応用

### 1) 歩行者分離検知のパルスレーダー技術

微弱な歩行者の反射波を検出するため、レーダー装置のノイズを抑圧できる符号化パルス方式を開発した。図 2(a) に示すように、従来の符号化 (Golay 符号) に比べて、開発した符号化パルス方式 (Spano 符号系列に位相変調を加えたパルスレーダー) は約 10dB の感度改善を達成した。また、本方式を実装したレーダー装置を試作開発して、伝搬実験を実施した。図 2(b) に示すように、車両からの強反射波の影響を受けずに、人体からの微弱な反射波に対して

も十分な感度が得られた。(査読付き誌上発表論文[1]、報道発表[1])

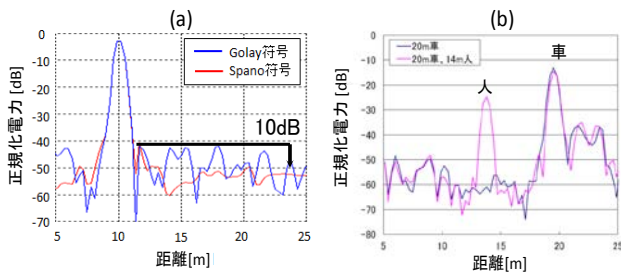


図 2. Spano 符号化の効果(a)と人／車の分離検知結果(b)

## 2) 広角・高精度走査のアレイアンテナ技術

角度領域の高速走査のため、デジタル回路による並列処理化が可能な受信アダプティブアレイアンテナを採用した。加えて、角度推定精度を高めるため、送信時の空間的なフィルタリング効果を得るためにビームフォーミング機能を統合することで、複数反射波に対する推定精度を向上させた。

## 2. 2 レーダーシステム間の干渉低減技術

符号化パルス方式のレーダーを開発するにあたり、現在車載レーダーで多く使われている FM-CW 方式のレーダーとの干渉について検討する必要がある。従来 FM-CW 方式レーダー間、符号化パルス方式を含むスペクトル拡散方式レーダー間のような同一の変調方式のレーダー間での干渉については定量的な検討はなされていたが、異なる変調方式の間の干渉については、必要とされる周波数分解能と変調周波数帯域幅の比が非常に大きい為、容易に計算することができなかった。そのため異なる方式の干渉については定性的な検討に留まっていた。今回 FM-CW 方式とスペクトル拡散方式のレーダー間でも干渉を定量的に計算できるシミュレータを、パソコン等でも計算可能なレベルまで計算を簡易化することに成功した。このシミュレータを用いて 79GHz 帯レーダーシステム間の干渉を低減する技術として周波数・タイミング制御等を基本とする干渉低減手法を開発した。実システムでは干渉が発生する確率が非常に低いことを検証した上で、本シミュレータにより実現性の高い周波数・タイミング制御による干渉低減の有効性を実証した。(図 3 を参照)

また干渉低減のための周波数・タイミング制御を行うには、発振器を精度よくコントロールできる PLL シンセサイザが必要となる。特に CMOS によって低位相雑音の発振特性を持つ PLL シンセサイザを実現することは、ミリ波レーダーを低コストに実現する上で非常に重要な技術となる。今回 CMOS によって、従来の SiGe による PLL シンセサイザと同等以上の 79GHz 帯で 100kHz オフセットにおいて -90dBc/Hz の低位相雑音特性を持つ PLL シンセサイザの実現に成功した。(査読付き口頭発表論文[1]、口頭発表[2])

今回開発した PLL シンセサイザの技術を活用して、ミリ波レーダーの低コスト化を実現する CMOS 送受信回路の試作にも結び付いている。この送受信回路は、従来の SiGe による送受信回路に比べて同等以上の性能をもちつつ 1/2 の低消費電力を実現している。(査読付き口頭発表論文[3]、報道発表[3])

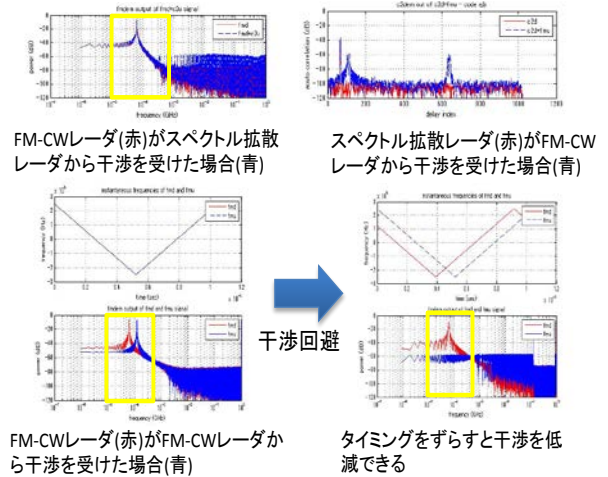


図 3. 干渉低減技術の検証シミュレーション結果

## 2. 3 ミリ波 CMOS 回路の温度補償技術

屋外設置の環境条件を想定し、ミリ波デバイスとしては特に厳しい条件となる高温時の送信性能劣化を補償する CMOS 回路技術の開発に取り組んだ。まず、79GHz 帯 CMOS の回路設計モデリングのために、チップの温度特性評価環境を構築した。その上で、0 度から 100 度の温度範囲で動作性能を補償する電力増幅回路を考案し、チップ試作実証を行った。(図 4 を参照) (査読付き口頭発表論文[2]、口頭発表[3]、報道発表[2])

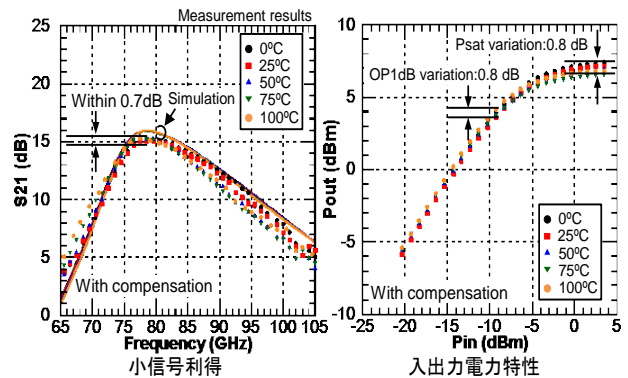


図 4. 試作した電力増幅回路の特性

## 3. 今後の研究成果の展開

本研究開発の成果は、79GHz 帯高分解能レーダーの広視野角化、耐干渉性能、小型デバイスの実現を可能とする技術であるため、交通事故対策としては、基本計画にある交差点等に設置するインフラシステムだけでなく、車両周辺の歩行者等の存在を広視野角で監視する車載用近距離レーダーへも応用できると考える。

具体的には、車載用近距離レーダーは道路走行中だけでなく、交差点、駐車場等において車両周辺の歩行者を他の物体と分離して検出することが求められる。また、車載用途のレーダー方式としては FM-CW レーダー方式が有望ではあるが、将来的には SS レーダー方式が実装される可能性があるため、車載レーダー間の干渉対策としても有効である。さらに、車両周辺監視には複数のレーダーデバ

スをバンパ内部等へ装備する必要があるため、デバイスの小型・低コスト化が普及に向けた実用化開発の要件となる。さらに、高温時の性能保証は、屋外環境使用時に共通する技術要件であるため、車載レーダーへの応用においても同様の効果が期待できる。

また、79GHz 帯高分解能レーダーの国際周波数分配について、2015 年開催予定の世界無線会議で決議される見通しであり、およそ 1 年後の RR（国際電波法）の改定を経て、各国の規格化が加速することが想定される。これにより、現行の 24/26GHzUWB レーダーの置換えが進むとともに、前方監視用途の 76GHz 帯レーダーと組み合わせると車の全周囲監視を実現する新たなセンサーとして急速な普及が見込まれる。

このように、79GHz 帯を利用した高性能なレーダーシステムを小型、低コストで実現できるデバイス技術であるため、ITS 用途を中心としつつ様々な分野への応用展開とグローバルな普及促進が見込まれる。これにより、ミリ波帯周波数の有効利用が促進されるとともに、我が国における当該産業分野の国際競争力強化への貢献が期待される。

今後は、デバイス技術の実用化およびインフラレーダーシステムとしての事業化を目指していく。当面は、応用開発段階として、路車協調型安全運転支援システム向けインフラレーダー実証実験を推進して、歩行者や二輪車の検出性能やレーダー間の耐干渉性能を検証する。その上で、実用化段階として、製品レベルの耐環境性を実現するレーダーユニットの実現や危険情報通知のためのシステム実証実験にも取り組んでいく予定である。

#### 4. むすび

以上のように、交差点監視をはじめとする ITS 用途での実現化をめざした 79GHz 帯ミリ波レーダーの技術開発に取り組んだ。図 5 に示すように、開発した方式を実装したミリ波レーダー装置を試作して、歩行者や二輪車の分離検知性能を実証してきた。図 5 はクルマと降車する人、近傍の自転車を分離検知した結果を示すデータの一例である。

今後は、本研究開発の技術成果として実現された表 2 の機能と性能に基づき、早期の社会実装を目指していきたいと考えている。また、本技術の使われ方について広く問いかけ、さらなる社会的価値を見出したいと考えている。

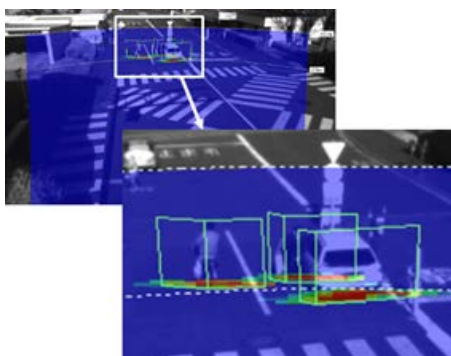


図 5. 試作ミリ波レーダー装置による検出結果

表 1. 本研究で実現された機能と性能

- ▶ 想定使用環境：交差点路側設置
- ▶ 検知対象：歩行者/二輪車/四輪車
- ▶ 検知距離範囲：5m~40m
- ▶ 方位視野角：110°
- ▶ 距離分解能：20cm
- ▶ 方位角度分解能：5°
- ▶ データ更新周期：100ms以下

#### 【査読付き誌上発表論文】

- [1] T. Kishigami, et. al., "Advanced Millimeter-Wave Radar System to Detect Pedestrians and Vehicles by using Coded Pulse Compression and Adaptive Array", IEICE Transactions on Communications, Vol.E96-B No.9 pp.2313-2322, Sept. 2013.
- [2] 中川洋一他, "歩行者を分離検知する 79GHz 帯レーダー技術", 日経エレクトロニクス誌, 2014 年 2 月 3 日号.
- [3] K. Takano, S. Amakawa, K. Katayama, M. Motoyoshi, and M. Fujishima, "Modeling of Short-Millimeter-Wave CMOS Transmission Line with Lossy Dielectrics with Specific Absorption Spectrum," IEICE Transactions on Electronics, vol. E96-C, No. 10, pp. 1311-1318, Oct. 2013.

#### 【その他の誌上発表】

- [1] 松尾道明他, "夜間や悪天候でも車両と人を分離し検出できるミリ波レーダー技術を開発", パナソニック技報, 2012 年 10 月号.

#### 【査読付き口頭発表論文】

- [1] H.Matsumura, Y.Kawano, M.Sato, T.Ohshima, T.Shimura, T.Suzuki, Y.Ohashi, and N.Hara, "Novel Millimeter-wave PLL Synthesizer with Cascaded Phase Detectors," 2013 European Microwave Integrated Circuits Symp., Oct. 2013.
- [2] T. Yoshida, K. Takano, C. Y. Li, M. Motoyoshi, K. Katayama, and M. Fujishima, "CMOS power amplifier with temperature compensation for 79 GHz radar system," Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), pp. 239-241, Nov. 2013.
- [3] T. Shimura, H. Matsumura, Y. Kawano, M. Sato, T. Suzuki, Y. Ohashi, "Multi-channel Low-noise Receiver and Transmitter for 76-81 GHz Automotive Radar Systems in 65 nm CMOS," The European Microwave Conference, Oct 2014

#### 【口頭発表】

- [1] 中川洋一, "79GHz 帯ミリ波レーダー 高精度・広視野角化技術の開発", ITS 世界会議 2013 (アトリウムイベント講演, 2013 年 10 月)
- [2] 松村宏志, 川野陽一, 佐藤優, 大島武典, 志村利宏, 鈴木俊秀, 大橋洋二, 原直紀, 「カスケード位相比較器を用いたミリ波 PLL シンセサイザ」電子情報通信学会電子デバイス研究会(2014 年 1 月 17 日)

- [3] 高野恭弥, 吉田毅, 本良瑞樹, Chen Yang Li, 片山光亮, 天川修平, 藤島実, "79GHz帯レーダーシステム用 CMOS 電力増幅器の温度補償," 電子情報通信学会総合大会, 2014年3月.

#### 【申請特許リスト】

- [1] 岸上高明他、レーダー装置、日本、2011年11月17日、PCT、2012年11月7日  
[2] 佐藤 優、「可変位相装置、半導体集積回路及び位相可変方法」、日本(2012/02/20)、米国(2013/09/17)、中国(2013/09/25)、欧州(2013/09/10)  
[3] 藤島 実、片山 光亮、半導体デバイス温度制御装置、特願 2013-065904

#### 【受賞リスト】

- [1] 小林聖峰 他 4名、APMC Prize (2012)、“Advanced Code Sequences Design for Pedestrian Detection in Millimeter-Wave Pulse-Compression Radar System”、2012年12月6日  
[2] 松村、佐藤、峰山、鈴木、原、 APMC Prize (2012)、平成24年12月6日  
[3] Takeshi Yoshida, Kyoya Takano, Chenyang Li, Mizuki Motoyoshi, Kosuke Katayama, and Minoru Fujishima, Best Paper Award of APMC 2013, Nov. 2013.

#### 【報道発表リスト】

- [1] “ミリ波レーダーの高精度・広視野角化技術を開発”、ビジネスワイヤ他、2013年10月15日  
[2] “レーダー用無線電力増幅回路の温度補償方式の開発に成功”、広島大学公式ウェブサイト、2013年11月3日  
[3] “車載ミリ波レーダーの低コスト化を実現する CMOS 送受信チップの試作に成功”、富士通プレスリリース、2014年10月8日

#### 【国際標準提案リスト】

- [1] The 13<sup>th</sup> Meeting of the APT Wireless Group ( AWG-13 )、AWG-13/INP-11、79 GHz HIGH-RESOLUTION AND WIDE-VIEW RADAR SYSTEM、2012年9月14日

#### 【参加国際標準会議リスト】

- [1] FP7 79GHzCSA 1<sup>st</sup> Plenary、ボラス (スウェーデン)、2012年5月10日  
[2] AWG-13、ダナン (ベトナム)、2012年9月12日~15日  
[3] ITU-R SG5 WP5A/5B、ジュネーブ (スイス)、2013年11月18日~29日