

# 位相モノパルス方式による前側方監視用ミリ波レーダ

Front-Side- Looking Millimeter Wave Radar for Front-Side-Pre-Crash Safety System

浅 沼 久 輝 Hisateru ASANUMA  
関 口 泰 弘 Yasuhiro SEKIGUCHI  
本 田 加奈子 Kanako HONDA  
岸 田 正 幸 Masayuki KISHIDA



## 要 旨

これまで当社は前方や後方にレーダを搭載して衝突判断を行い、事故軽減を狙うさまざまなシステム用のミリ波レーダを実用化してきたが、今回自車の斜め前方から近づく直交衝突や斜突にまで制御範囲を広げた前側方PCS用ミリ波レーダを実用化した。この前側方用レーダは、位相モノパルス方式を用いて広角の検知を行い、前後方向の動きだけでなく前後左右といったさまざまな方向に移動するターゲットの検知を行っている。また今回は基本ハード構成を変えずに広角化を行ったため、位相モノパルス方式では原理的に位相折り返しゴーストという誤検知が発生する。この位相折り返しゴーストを対策するために位相差比率アルゴリズムを考案した。本対策の効果確認としてシミュレーションおよび実環境下にて検証を行うことで位相折り返しゴースト対策を行うことができた。

## Abstract

Fujitsu Ten has developed millimeter wave radars for various collision judgment systems for reducing traffic accidents by using radar mounted in the front or the rear.

Now we developed the front-side-looking radar for the collision mitigation system for traffic accidents of intersection. This radar is designed to provide a wide field of view (FOV) by using the phase shifted mono-pulse method and it detects an oncoming target not only movement of back and forth but any direction movement. And in the principle of the phase shifted mono-pulse method, the falsely detected target "ghost" is generated by having a wide FOV without changing a hardware basic composition.

We invented phase difference ratio algorithm as a countermeasure against this ghost. We achieved in dealing with the ghost by simulating the countermeasure and verifying its effectiveness in a real environment.

## 1

## まえがき

近年、交通事故による死傷者の数は多く、それらを低減するためのさまざまなシステムが開発されている。図1に日本における死亡・重傷事故のシーンの分類結果を示す。図1から、車両相互の事故は全体の64%を占めており、その中でも出会い頭事故が全体の28%で最も多くなっている。正面や追突事故に対してはすでに前方監視や後方監視用レーダーを用いた衝突軽減を目的としたシステムが開発されているが、出会い頭事故を防ぐためのシステムについては開発が未着手である。そこで、我々はすでに製品化した後方監視レーダーをベースに前側方を監視できるレーダーの開発を行った。

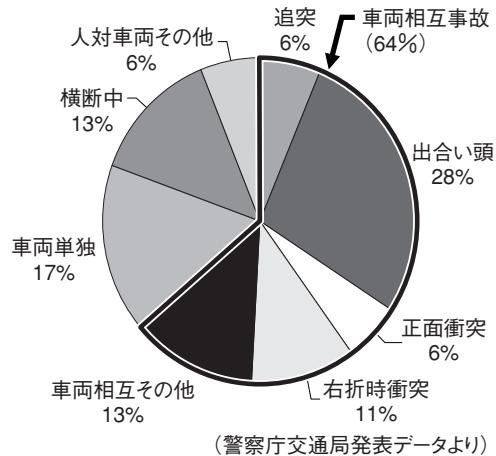


図1 平成20年死亡・重傷事故統計

Fig.1 Statistics of Fatal and Serious Injury Accidents in 2008

## 2

## 要求性能

表1に従来の後方監視レーダとの対比の形で要求性能を示す。前側方レーダでは、出会い頭衝突事故・対向車はみ出し事故などの衝突軽減を目標とするシステムに使用されることが想定され、車の側面や斜め前を検出することになることから、反射レベルの低い部分で物標検出を行う必要がある。具体的には、後方レーダと比較すると受信レベルが10dB低下する(図4にて後述)。また、表1から出会い頭を想定して視野角の広角化も必要となるため、レーダにはより高い感度(SNR)が要求される。また、プリクラッシュシステム(PCS)に供与するため後方レーダと同じく高速な応答性能が要求される。

表1 要求性能比較  
Table 1 Comparison of Required Performance

項目	後方監視レーダ	前側方監視レーダ
主な検知対象とその方向	車両・主に前部	車両・全方向
視野角	30°	52°
検知距離(車両)	45m	50m
相対速度範囲	±100km/h	±180km/h
搭載場所	後方バンパ内	フロントバンパ左右

## 3

## レーダ方式・構成

図2に本レーダの構成図を示す。富士通テクノロジでは高速に測角できる位相モノパルス方式のFM-CWレーダを量産化しており、この技術を流用することにより開発効率の向上を考慮した。

後方レーダからの新規設計項目としては以下の通りである。

- ①出会い頭シーンを想定した検知範囲の広角化のためにアンテナを再設計。
- ②斜め前方を検出するため、制御対象物の動作が前後の動きから様々な方向の変化に適応できるアルゴリズム開発。

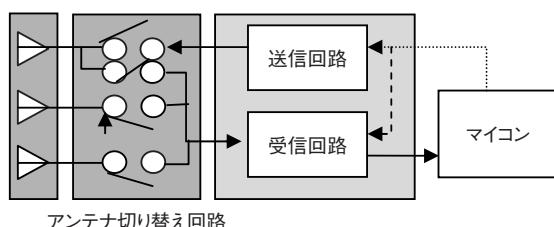


図2 構成図

Fig.2 Construction

## 4

## 位相モノパルス方式

モノパルス測角の原理を図3に示す。通常2アンテナで成立するが、アンテナの素子間隔に制限があるため位相差の折り返しが発生する。位相差の折り返しとは、一つの方位に対し、複数の位相差が算出されるモノパルスの原理的な現象である。広角化を実現するためにはこの位相差の折り返しを判断する必要があり、アンテナを一つ増やして方位演算の信頼性向上を狙い、3アンテナモノパルス方式を採用了。

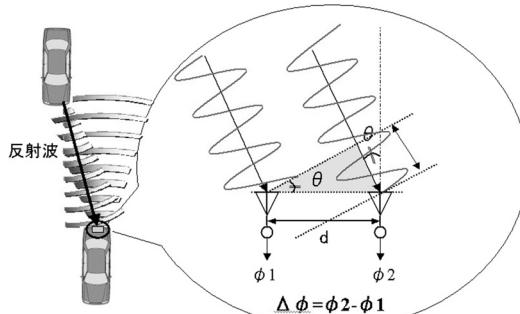


図3 レーダ構成図

Fig.3 Radar Construction

## 5 アルゴリズムの課題とその対応

先に述べたように、後方監視レーダを活用したことにより、ハードウェアの基本構成は変えず、電波の照射方向が斜め前方を向く様レーダを車両に搭載し、処理アルゴリズムを変更することにより前側方監視を実現した。評価を行った結果、以下の3点についての課題が明らかとなった。

- ①反射点による物標位置のばらつき
- ②周囲物による物標不検出
- ③検知エリア外の強反射物により本来物標が存在しない位置に物標を検出（ゴースト）

これらの現象および解決策について次に述べる。

### 5.1 反射点による物標位置のばらつき

図4に示すのは車両の反射断面積であり、同心円上のメモリは反射の大きさを表しており、放射線状のメモリは方位を表している。車両の前方や後方監視する場合、反射する方位はほぼ前面と後面方向になるが、前側方監視の場合、図5に示すようにレーダから見えている車両側面は常に変化している。そのため、物理現象として車両からの反射波の強弱の変化がおきる。その結果反射の強い位置を優先して処理するため、検出する位置が変動する（図6）。そのためレーダの出力結果を用いて判断している衝突予測計算の際に間違った予測を行い、システムの誤制御や不制御につながる。我々は、レーダ内部で判断している位置の移動量が、実際の車両が移動する範囲では起こりえない変化をした場合、誤った予測値と判断し、その予測値を除外するフィルタ処理を行うことで不要な位置変動の対策を行った。その結果、従来処理に比べ、安定して物標を検知することができた（図7）。

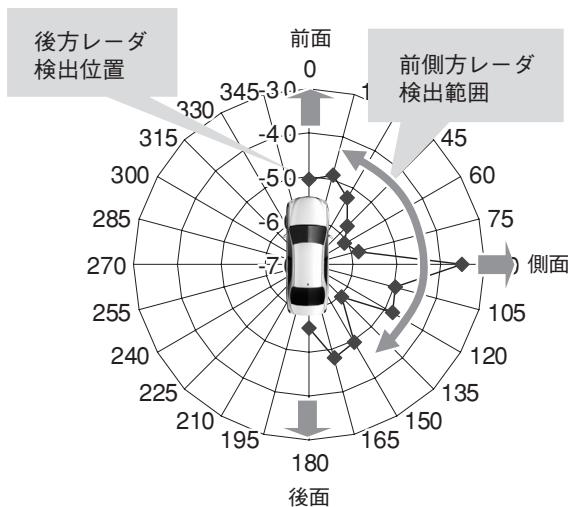


図4 車両の反射特性

Fig.4 Radar Cross Section of Car

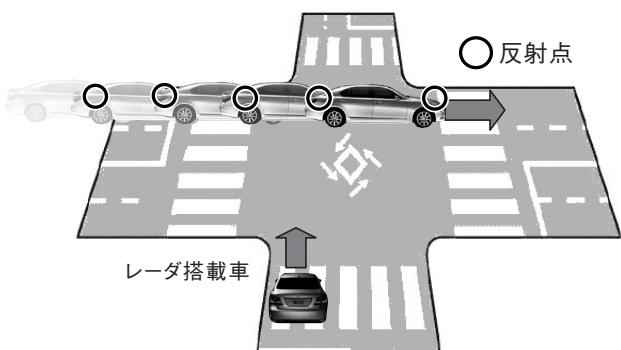


図5 車両の反射点移動

Fig.5 Movement of Reflection Point of Car

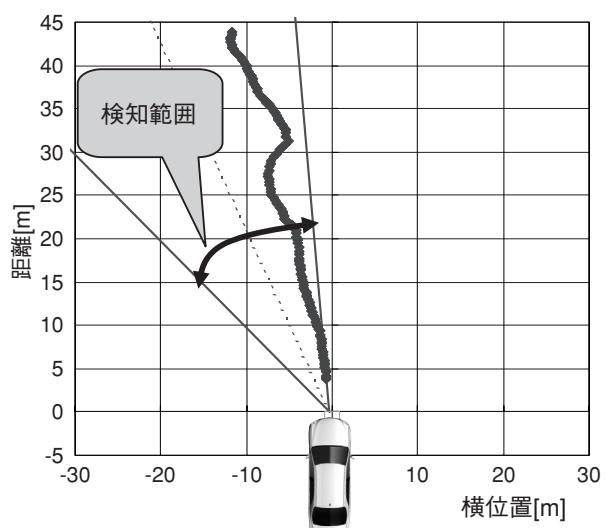


図6 出合い頭シーンでの物標検知結果

Fig.6 Target Detection for Collision at Intersection

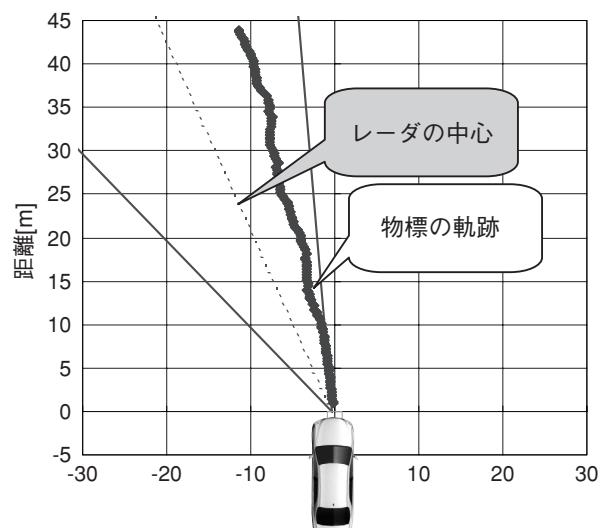


図7 対策後の物標検知結果

Fig.7 Improved Target Detection

## 5.2 周囲物による物標不検出

前側方監視レーダでは、電波の照射方向を斜め前方に向けたことにより、レーダ正面で周囲物を検出し影響を受けやすくなる。図8は対向車すり抜けシーンとそのときのFFT結果である。

レーダの電波照射方向が斜めになったことで、ガードレールからの反射信号が強くなり、対向車両の信号がガードレールの信号と重なってしまい対向車の信号が検出することができない。また、位相モノパルス方式では、同じFFT結果上に複数の物標が存在した場合、原理上個々の物標の角度を分離することは困難である。対策としては、周波数上の分離性能を向上させることにより、物標の分離性能を向上させることとした。FM-CW方式の場合、周波数上の分離性を向上させるためには、

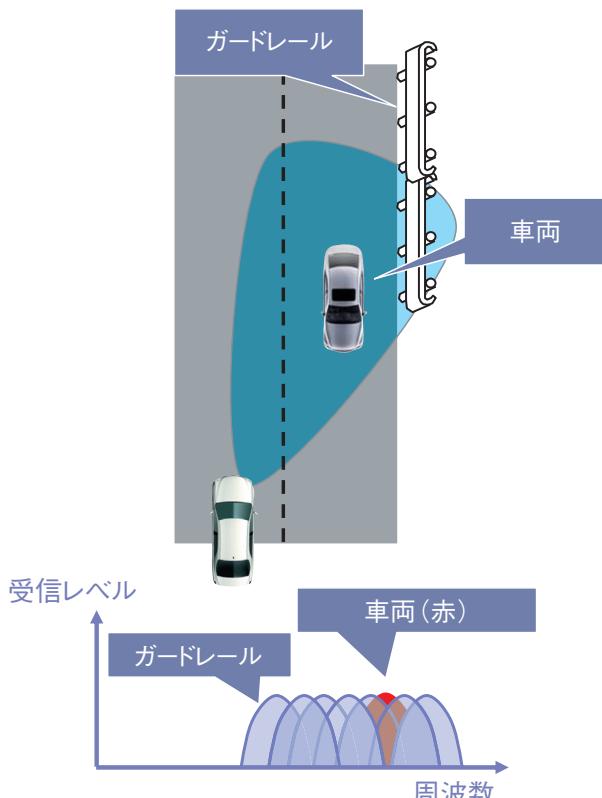


図8 対向車すり抜けシーンとFFT結果  
Fig.8 Situation of Oncoming Car and Its FFT Result

①観測時間を増やす(FFTポイント数を上げる)。  
②周波数変調幅を増やす。

があるが、①については、処理時間が長くなることから、我々は周波数変調幅を上げることでこの問題点に対処した。

図9に周波数変調幅を増やしたことによるFFT結果を示す。二つのガードレールのピーク周波数の間隔が広がり、その間で必要な物標を検出することができた。

## 5.3 検知エリア外物標によるゴースト

本レーダは測角方式に位相モノパルス方式を採用している。位相モノパルス方式での方位演算アルゴリズムについて述べる。図10に示すような三つのアンテナの組み合わせから算出された位相差をマッピングし、位相差から方位を算出している。横軸方位、縦軸位相差として表しており、FM1,2,3はそれぞれアンテナ間隔による違いを示している。(FM1: 5/4λ, FM2: 11/4λ, FM3: 6/4λ, λ: 4mm)

後方レーダの場合、物標検出範囲は図10のハッチングの無い部分である±15°以内であるため、位相差から方位を演算した結果は、3通りのFM2のなかからFM1,3の組み合わせを選択し、1つの物標を出力していた。

しかしながら前側方レーダの場合、広角化によって±26度に拡大するために図11のように±30度以上にまで拡大する必要があるため、FM1,3も折り返しが発生し、その結果複数の組み合わせを持つことによって、二つの物標が出力される可能性がでてきた。この結果、一つの本物の物標と一つの位相折り返しの物標とが見分けがつかなくなり、図12に示すように左右のレーダで方位を間違えた物標が出力していた。

位相折り返し対策を、以下の手法で実施した。位相差と方位の関係は、図3のようにアンテナの素子間隔により定まる。 $\theta = \sin^{-1}(\phi \times \lambda / (2\pi \times d))$ 【d: アンテナ間隔、 $\phi$ : 位相差、 $\theta$ : 方位、 $\lambda$ : 波長(約4mm)】つまり各素子間の位相差は素子間隔に比例することから、今回使用したアンテナの場合、素子間隔が $5/4\lambda$ ・ $6/4\lambda$ ・ $11/4\lambda$ となっているため、理論上の位相差は「5:6:11」の比率になる。この原理を利用し、位相差がこの比率になる値を真値とし、比率が5:6:11に最も近い組み合わせを折り返しではないと判定する処理を行った(図13)。

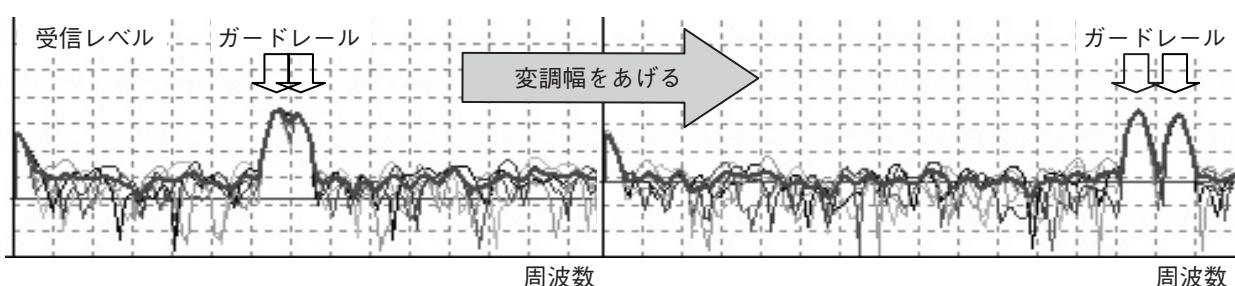


図9 変調幅を変えたときの検出結果（FFT波形）  
Fig.9 Detected Result of Changed Modulated Width (FFT Wave Form)

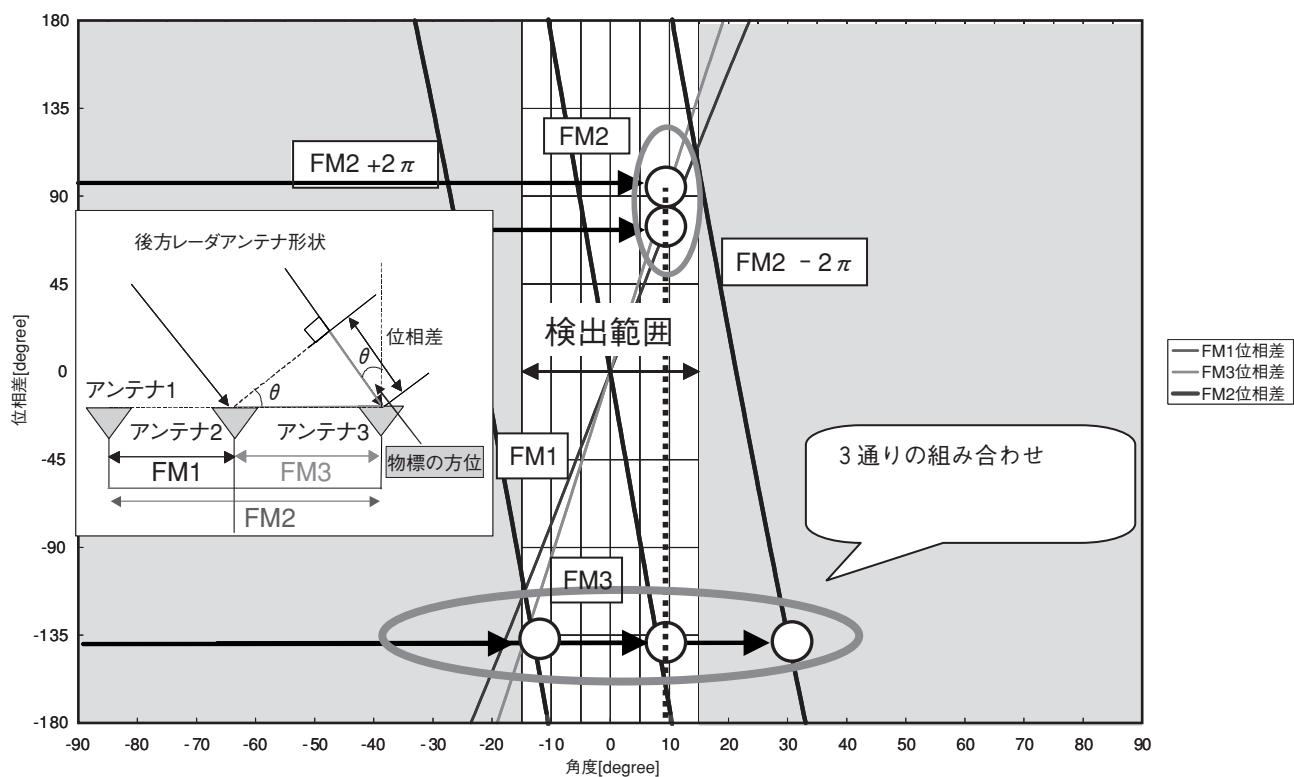


図10 後方位相マップ（理論値）  
Fig.10 Phase Difference Mapping of Rear Radar (Theoretical Value)

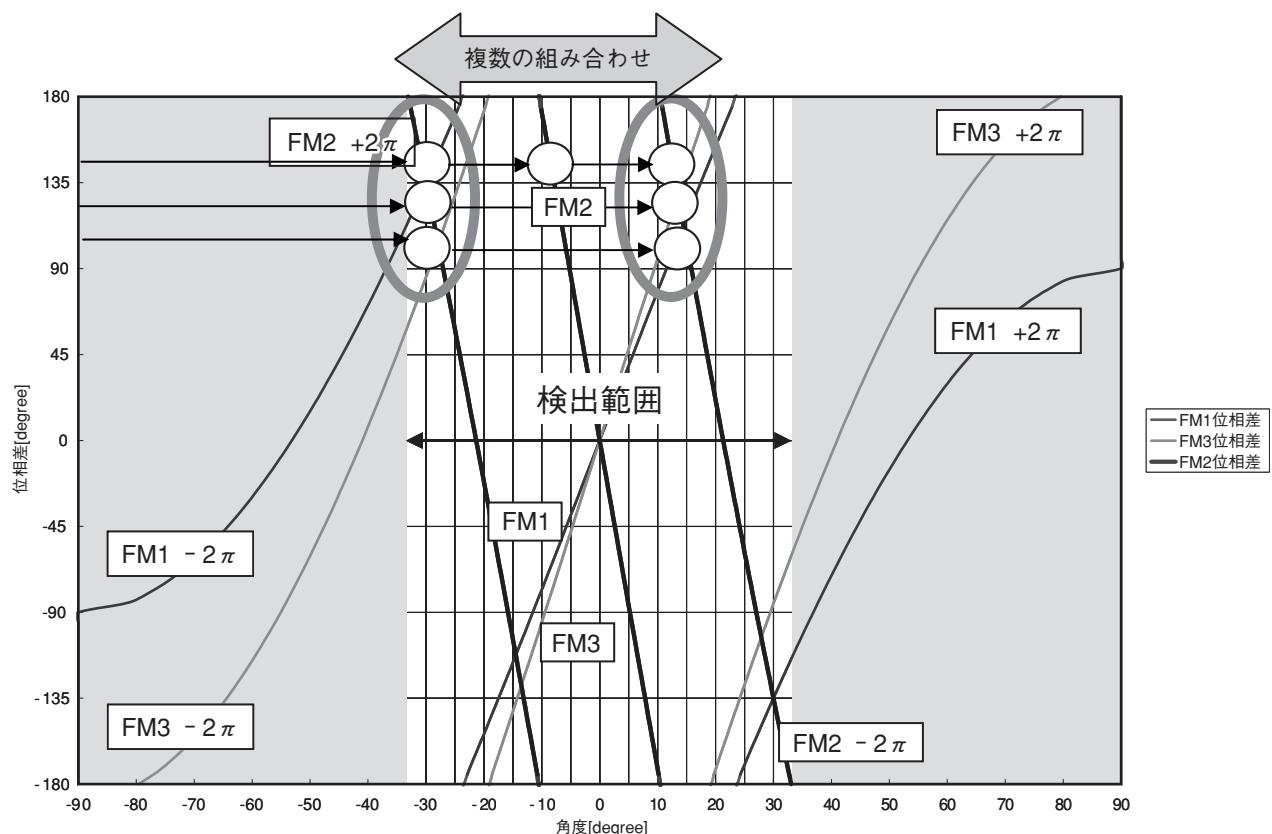


図11 前側方位相マップ（理論値）  
Fig.11 Phase Difference Mapping of Front-Side Radar (Theoretical Value)

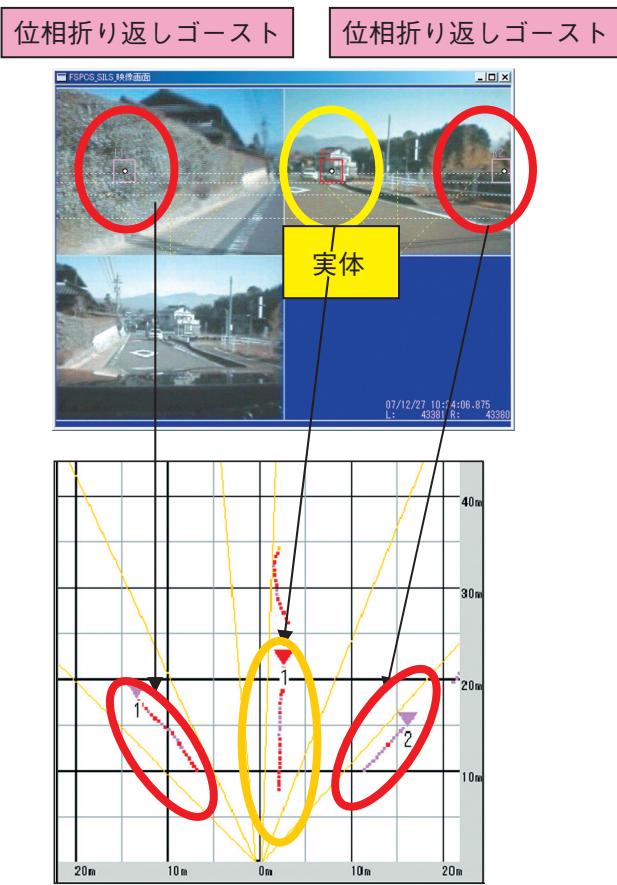


図12 位相折り返しによるゴースト

(黄色が対向車、赤がゴースト)

Fig.12 Ghost Caused by Replication of Phase  
(Oncoming Car Shown in Yellow and Ghost Shown in Red)

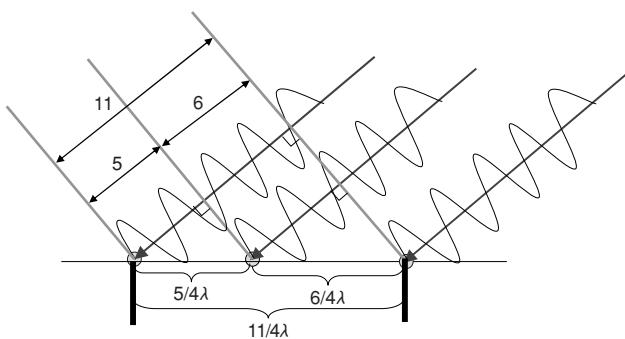


図13 電波の経路差の比率の説明

Fig.13 Explanation of Ratio Relating to Path Intervals of Millimeter Wave

図12で示した現象に対して位相差の比率を用いた処理を加えることにより、ゴースト判断を実施することで、折り返し発生を抑え、理論上では正しい位置に物標を検出することができる。しかしながら、実際の位相差はバラツキがあることから比率が5:6:11では入力されないため、誤ってゴースト判定する可能性がある。そこで、実際の位相差・方位の関係に対して線形近似を行うことで、実際の位相比率に近づけて、判定の精度向上を行い、ゴースト対策を実施した。位相折り返しが発生しやすい対向車が多いコースを選定し、対策の効果を確認した。

## 6

## あとがき

以上に述べたように、検出範囲を広角化することによりゴースト発生という大きな問題が発生したが、今回の開発においては認識処理の上流である位相差の処理上でゴースト判断処理を行うことで、ハードを変えずに根本対策を実施した。

今後、位相モノパルスのような簡単な方式でも、さまざまなアプリに対応できるように、さらなる広角化に対応したアルゴリズムや性能向上させるためのアルゴリズム開発を推進していく。

## 筆者紹介



**浅沼 久輝**  
(あさぬま ひさとる)

1993年入社。以来、車載用電子機器のソフト開発に従事。現在、AE本部 制御システム開発統括部制御システム開発部第三チームに在籍。



**関口 泰弘**  
(せきぐち やすひろ)

1998年入社。以来、車載用電子機器のソフト開発に従事。現在、AE本部 制御システム開発統括部制御システム開発部第三チームに在籍。



**本田 加奈子**  
(ほんだ かなこ)

1988年入社。以来、車載用電子機器の開発に従事。現在、AE本部 センサ開発統括部センサ技術部第三チームリーダー。



**岸田 正幸**  
(きしだ まさゆき)

1987年入社。以来、自動車用電装製品のソフト設計に従事。現在、AE本部 制御システム開発統括部制御システム開発部第三チームリーダー。