

## 障害物回避時における多周波ステップCPC方式 60GHzミリ波レーダーの目標マッププロファイル

芝 隆司† 安藤 嘉章† 太田 敏行† 坂本 禎治郎† 渡辺 優人†  
秋田 学† 稲葉 敬之†

†電気通信大学大学院 情報理工学研究所 〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘1-5-1  
E-mail: † shiba.takashi@inabalab.ee.uec.ac.jp

あらまし 多周波ステップ Complementary Phase Code (CPC) 方式 60GHz ミリ波レーダーを用いた、障害物回避実験時の目標マッププロファイルに関して報告する。通常、上記障害物回避時では、回避ターンにより障害物目標、あるいは近傍の物体からの、測角域外の信号が、車両正面に誤測角目標信号として現れるケースが存在する。本発表では、このようなケースを取り上げ、その対策に関して検討を行った結果を報告する。

キーワード 多周波ステップレーダー、相補符号、測角、障害物回避

## Mapping Profile of Stepped Multiple Frequency CPC Radar on Obstacle Avoidance.

Takashi SHIBA† Yoshiaki ANDO† Toshiyuki Ota† Teijiro SAKAMOTO† Masato WATANABE† Manabu AKITA† and Takayuki INABA†

†Graduate school of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications  
1-5-1 Chofugaoka, Chofu-shi, Tokyo, 182-8585 Japan  
E-mail: †shiba.takashi@inabalab.ee.uec.ac.jp

**Abstract** Mapping profile using angle measurement of Stepped multiple frequency Complementary Phase Code (CPC) Radar when obstacle avoidance has been studied in this paper. There are some case appearing error images at the front of radar by angle measurement error from targets or environment objects which are out of angle measuring area, when turning for obstacle avoidance generally. We chosen these case and reported one proposal of the countermeasure for these angle measurement error at the case of obstacle avoidance.

**Keywords** Stepped Multiple Frequency Radar, Complementary Phase Code, CPC, Angle measure, Obstacle avoidance.

### 1. まえがき

レーダーは対候性に優れ、夜間でも検知信頼性が高いため、車載用の安全監視センサとして注目されている。車載用の安全監視センサは、アンテナを複数個配置して目標物からの信号到来角度を検知する機能を有しているが、従来広く用いられているモノパルス法 [1] では、例えば、障害物を検知してそれを回避する際に、目標の角度が測角域外に移るため誤測角を起し、あたかも正面方向に障害物があるかのように、誤信号が現れる。

一方、我々はレーダーの限られた帯域を利用した、

高距離分解能化、高探知距離化を狙って、多周波ステップCPCレーダー [2][3][4] を検討している。今回、我々はこの多周波ステップCPC方式レーダーを用い、障害物回避走行時のレーダーのマッププロファイルを測定し、モノパルス方による誤測角の検証を行い、さらに、その誤測角に対し、最尤推定法 (Maximum Likelihood Estimation, 以下ML法と記載) による測角処理 [5][6] が、誤測角排除に有効である事を示す。

## 2. 多周波ステップ CPC 方式レーダー

我々は、上述のように高距離分解能化，高探知距離化を狙って，多周波ステップ CPC レーダーを検討している．今回はその試作装置（60GHz ミリ波レーダー，図 1 参照）を用いて測定を行った．多周波ステップ CPC 方式は図 2 に示すように，周波数をステップさせ，瞬時帯域は狭い状態で，各周波数のデータを帯域合成して距離分解能を上げる方式である．また，各ステップ信号は CPC パルス変調が掛かっている．受信側での信号処理を図 3 に示す．CPC 符号の相関信号を作成し，相補処理を行う事で（原理的にはゼロの）低サイドローブのパルス圧縮特性が得られる．表 1 に今回用いた 60GHz ミリ波多周波ステップ CPC レーダーのレーダ装置構成・仕様，表 2 にレーダパラメーター一覧を示した．

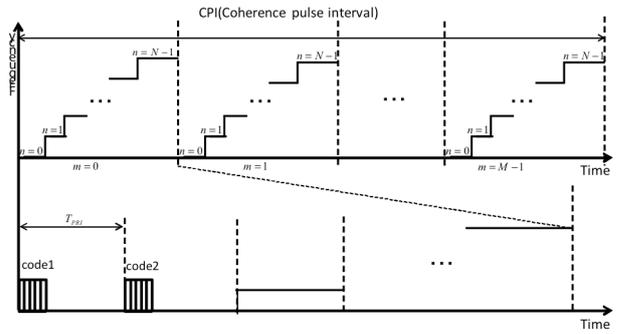


図 2 送信信号の周波数ステップと各 CPC 配置

## 3. 測角処理方法

測角は図 4 に示すように，モノパルス法のみでの処理と，モノパルス法を元に最尤推定法（Maximum likelihood estimation, 以下 ML 法と略す）を適用した 2 種の方式で比較を行った．モノパルス法に関しては，よく知られた方法のため，ここでの説明は省略する．

以下，ML 法に関して，簡単に説明を行う．特定の距離と速度の目標数が  $K$  であるとする，このときの受信信号データベクトル  $X$  は

$$X = AS = [a(\theta_1), a(\theta_2), \dots, a(\theta_K)]S \quad \text{-----(1)}$$

と表され，式中， $a(\theta)$  は到来方向による信号位相差， $S$  は目標信号である．ML 法ではこの受信信号データベク

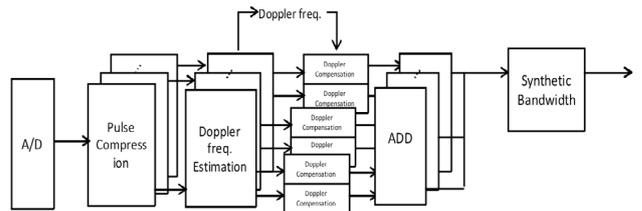


図 3 多周波ステップ CPC の受信信号処理

表 1 レーダ装置構成・仕様

送信電力	10mW
切替周波数	8ch
周波数切替時間	100nsec以下
アンテナ方式	送信 :1素子導波管
	スロットアンテナ
	送信ファンビーム覆域 :± 20deg)
	受信 :4素子導波管
	スロットアレーアンテナ
	素子間隔 :0.8λ ≒3.96mm)

表 2 レーダパラメーター一覧

送信周波数	60.5GHz
パルス帯域幅	80MHz
パルス幅	0.2μ sec(30m)
符号長	16
パルス繰返し間隔 (PRI)	3.5μ sec
パルス数M	512
周波数ステップ幅	50MHz
周波数ステップ数N	8
最大速度視野)	(± 79.64km/h)
送信帯域幅	430MHz
距離分解能)	(0.35m)
観測時間	28.6msec
(速度分解能)	(0.311km/h)
A/Dサンプリング周波数	160MHz

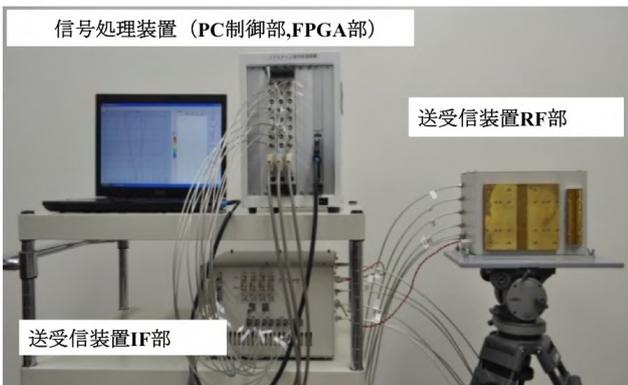


図 1 60GHz ミリ波多周波ステップ CPC レーダー

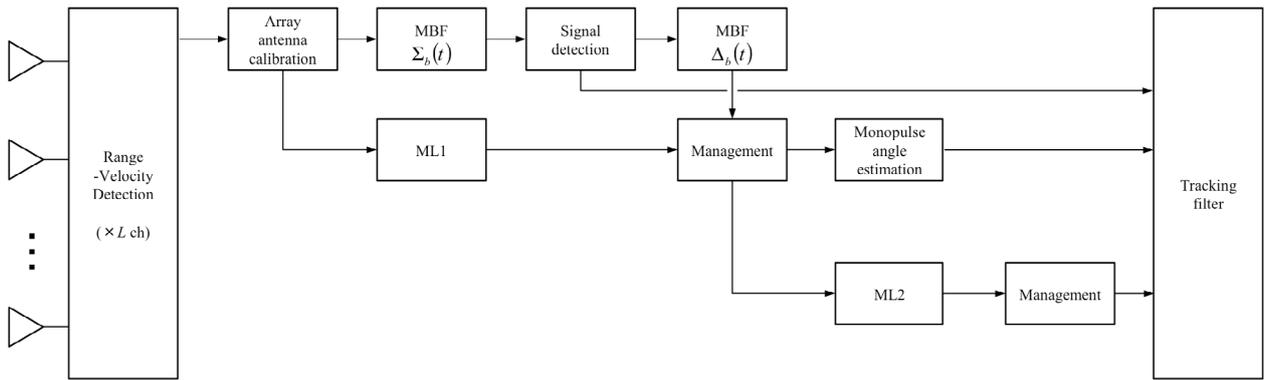


図4 モノパルス、ML法を用いた、測角処理方法

トル X を用いて、以下の評価関数の最大値（尤度）探索から目標の角度を求めることができる [5].

$$\Theta(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_K) = \arg \max_{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_K} \text{tr} \left[ A(A^H A)^{-1} A^H X X^H \right]$$

------(2)

ここで、 $\text{tr}(M)$  は行列  $M$  の対角要素を表す関数である。ML 法では上記 (2) 式の値を元に、広角目標であるかを判断し、(測角範囲外の) 広角目標の場合は、後段に出力せず、また

$$\text{Re} \left( \frac{\Delta_i(t)}{\Sigma_i(t)} \right) < \text{ThB} \quad \text{-----}(3)$$

の式より、多目標であるかどうかを判断し、多目標の場合は、後段の ML2 処理により角度を出力する処理方法となっている。ここで、 $i$  は目標番号、 $\Sigma_i(t)$  は各アンテナビームの和（所謂和ビーム）、 $\Delta_i(t)$  はエレメント半分の信号を引いた差（所謂差ビーム）である。本研究では、障害物を回避するために測角範囲外となった目標からの誤測角データが正面方向に現れる現象を回避する事が目的である事から、誤測角と判断した場合は、後段の ML による角度推定処理は行わず、後段へ

のデータ受け渡しは行わない事とした。

#### 4. 障害物回避モデルケース

我々は、障害物回避のモデルケースとして、下記の 2 パターンの実験を行った。

- (1) 正面静止車両の追い越し
- (2) 側方横切り車両との交差

##### (1) 正面静止車両の追い越し

図 5 に正面静止車両の追い越しの試験状況を示す。約 80m 正面車両から離れた位置からレーダー搭載車両をスタートし、約 30m 手前から側方車線に移るため、ハンドルをきり、車体をカーブさせ、最後には側方車線を走行する。図 5 に示すように、車体カーブ後、ある位置から、正面車両は測角域外となるため、単純なモノパルス測角方法では、誤検知となり、折り返しにより正面方向に誤信号が現れる可能性がある。実際には正面方向には障害物が無いにも拘らず、正面方向に誤信号が現れ、この場合、その信号を実際の信号と間違え、安全上問題となる可能性がある。

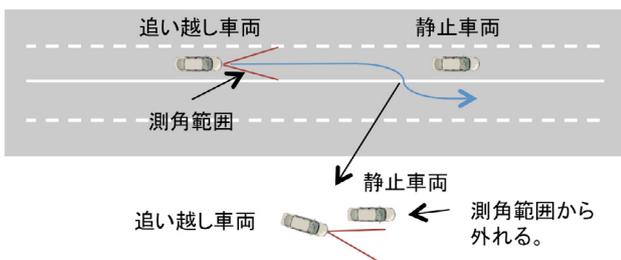


図5 正面静止車両の追い越し状況

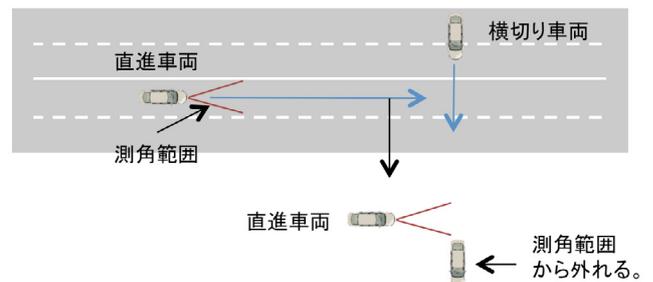


図6 側方横切り車両との交差状況

(2) 側方横切り車両との交差

図6に側方横切り車両との交差の試験状況を示す。約80m横切り車両側面から離れた位置からレーダー搭載車両をスタートし、横切り車両はレーダー搭載車両から見て左方向からスタートし、レーダー搭載車両の正面を通過して、右側方向に抜ける航跡となっている。図6に示すように、横切り車両は、ある位置から、測角域外となるため、単純なモノパルス測角方法では、誤検知となり、折り返しにより正面方向に誤信号が現れる可能性がある。この場合も、上記(1)と同様、実際

には正面方向には障害物が無いにも拘らず、正面方向に誤信号が現れ、この場合も、その信号を実際の信号と間違え、安全上問題となる可能性がある。

5. 障害物回避実験結果

各障害物回避のモデルケースの場合に関して、レーダーのマッププロファイル(距離、速度、角度、X-Yプロット)を計測した。

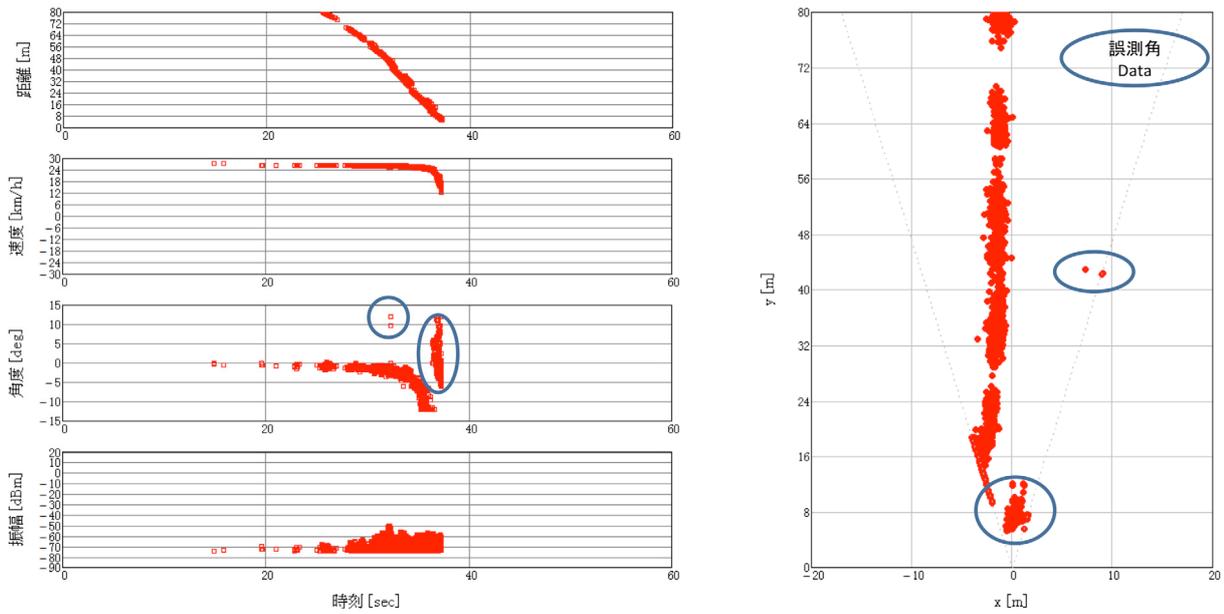


図7 正面静止車両の追い越し時のマッププロファイル (ML 処理前)

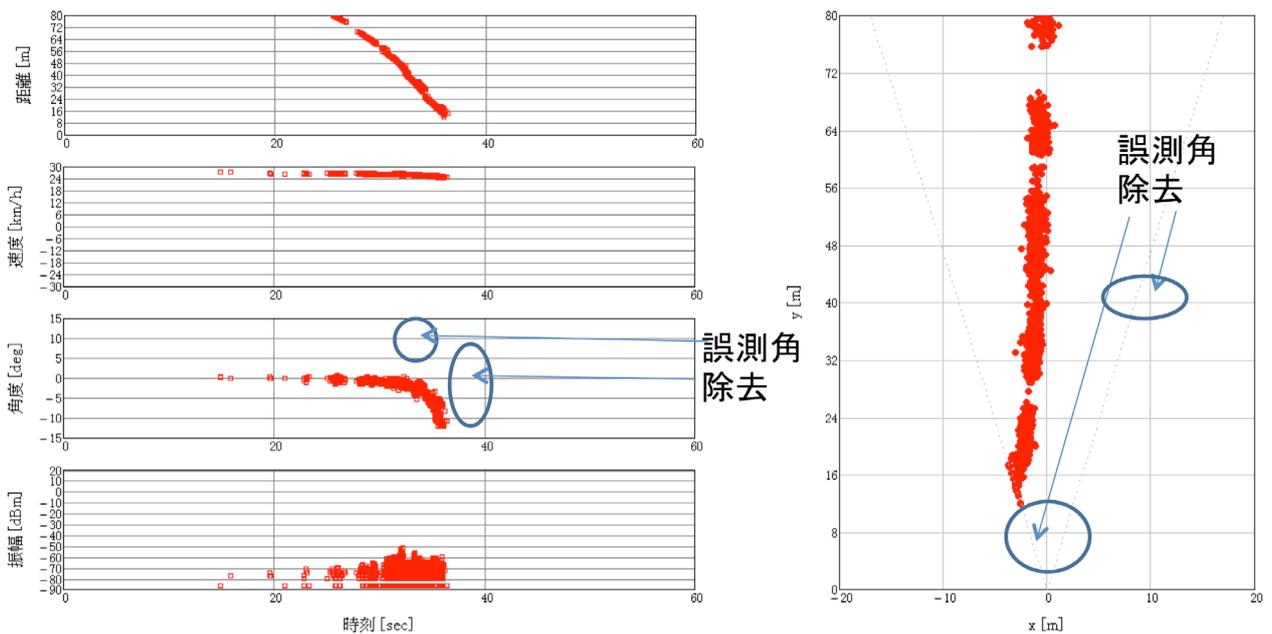


図8 正面静止車両の追い越し時のマッププロファイル (ML 処理前)

(1) 正面静止車両の追い越し

図7に正面静止車両の追い越しの場合の、前述の60GHz ミリ波多周波ステップCPC方式レーダーの出力にモノパルス処理のみを施した結果を示した。図中縦軸は左の図の上から、距離、速度、角度、信号強度を示し、それぞれ横軸が時間である。また、右側の図は、時間系全ての目標信号のX-Y座標をプロットした図である。

図の角度、X-Yプロファイルを観測すると、障害物回避のため、実際には正面方向には障害物が無いにも拘らず、正面方向に誤信号が現れている。この場合、前

述したように、その信号を実際の信号と間違え、安全上問題となる可能性がある。

図8はそのような状況を回避するため、前述の結果にML処理を施し、誤測角を排除した後のデータである。図の配置は図7と同様である。上記誤測角が排除され、カーブ後の正面方向の誤目標は無くなり、安全な状況となっている事が分かる。

(2) 側方横切り車両との交差

図9に側方横切り車両との交差の場合の60GHz ミリ波多周波ステップCPC方式レーダーの出力にモノパル

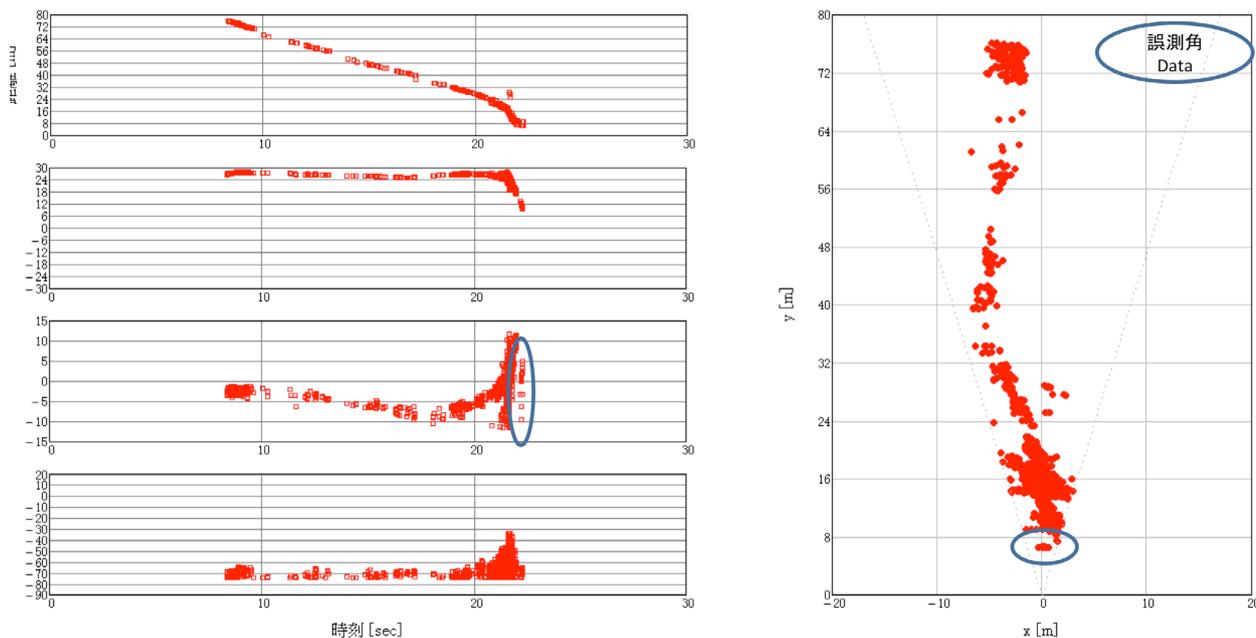


図9 側方横切り車両との交差時のマッププロファイル (ML 処理前)

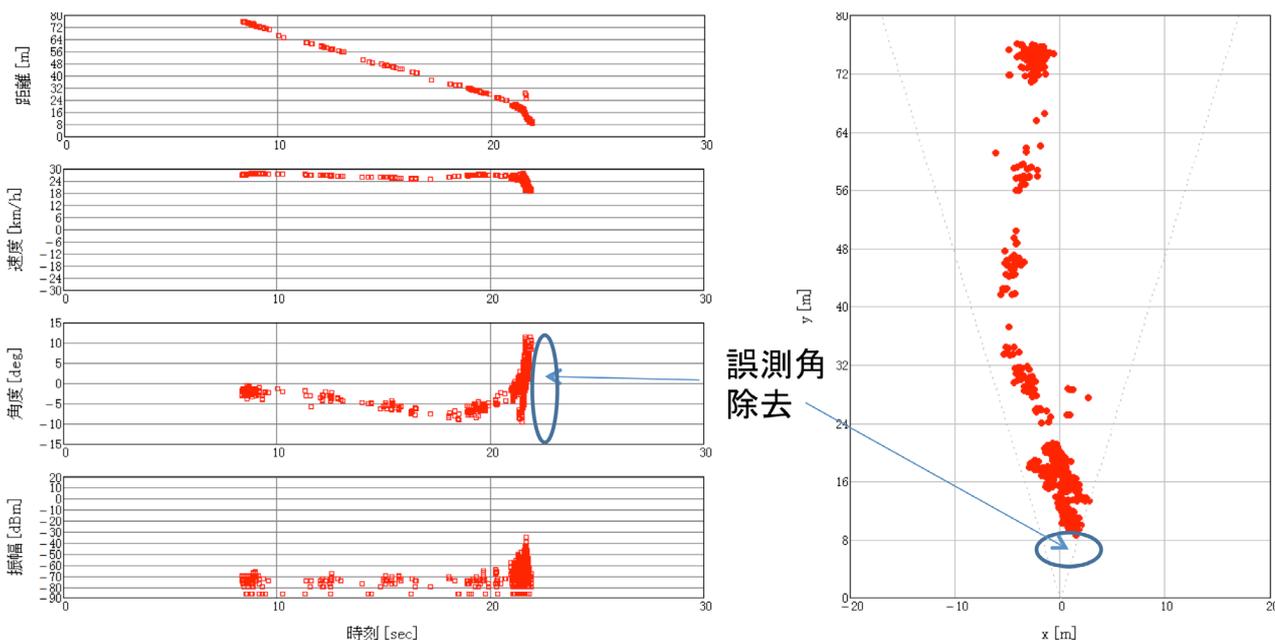


図10 側方横切り車両との交差時のマッププロファイル (ML 処理後)

ス処理のみを施した結果を示した。図の配置は図7と同様である。

図の角度、X-Y プロファイルを観測すると、障害物回避のため、実際には正面方向には障害物が無いにも拘らず、正面方向に誤信号が現れている。この場合、(1)の状況と同様、前述したように、その信号を実際の信号と間違え、安全上問題となる可能性がある。

図10はそのような状況を回避するため、前述の結果にML処理を施し、誤測角を排除した後のデータである。図の配置は図7と同様である。上記誤測角が排除され、カーブ後の正面方向の誤目標は無くなり、安全な状況となった事が分かる。

本衝突回避の基礎実験は、将来的には図11に示すような、自動運転を目指した自動車（以下、仮にロボカーと呼称する）の危険回避基礎データとする予定である。図11のロボカーは、上記来るべき時代を想定し、自動運転の基礎検討を行うために、当研究室にて開発を行っている車両であり、プログラムによる運転が可能である。

## 7. むすび

多周波ステップCPC方式60GHzミリ波レーダーを用いた、障害物回避実験時の目標マッププロファイルに関して報告した。正面車両追い越し及び側方横切り車両との交差の2パターンに関して実験を行った結果、モノパルス測角のみのマッププロファイルでは、障害物目標からの、測角域外の信号が、車両正面に誤測角目標信号として現れた。そこで、上記モノパルス測角を基とし、ML法による処理を行った結果、誤測角信号を排除する事ができた。

今後は、測角アルゴリズムを見直し、多目標環境でもある程度正確な測角値を出力する事が可能な技術手段を検討して行く予定である。

本稿に示す研究内容は、総務省の委託研究「電波資源拡大のための研究開発（狭帯域・遠近両用高分解能



図11 ロボカー機能検討車

小型レーダー技術の研究開発)」により実施されたものである。

## 文献

- [1] 稲葉敬之, 荒木純道, “車載用レーダのための2段階測角方式”, 信学論(B), vol.J86-B, no.8, pp.1652-1658, Aug.2003.
- [2] 稲葉敬之, 木島壮氏, “ミリ波車載レーダへの適用したHybrid-CFS”, 信学総大, B-2-21, 2009-03
- [3] 稲葉敬之, 坪田光, “多周波ステップCPCレーダ方式の実験的検証”, 信学総大, B-2-36, 2010-03
- [4] Masato Watanabe Takayuki Inaba Hikaru Tsubota Takahiro Yano “Development of Millimeter wave Radar using Stepped Multiple Frequency Complementary Phase Code modulation” ICSANE2011-81 Oct.2011.
- [5] I. Ziskind and M. Wax “Maximum likelihood localization of multiple sources by alternating projection” IEEE Trans. On Acoustics Speech and Signal Processing vol.36 no.10 pp.1553-1560 Oct.1988.
- [6] 山下遼, 渡辺優人, 秋田学, 稲葉敬之, “多周波ステップCPCミリ波レーダにおける最尤推定法を用いた到来方向推定”, “信学技報 SANE2014-111, 2015.