

車載ミリ波レーダによる 合成開口イメージングに関する基礎検討

Fundamental Study on Synthetic Aperture Imaging
by using Millimeter Wave Automotive Radar

杉山 裕一
Yuichi SUGIYAMA

山田 寛喜
Hiroyoshi YAMADA

岸田 正幸
Masayuki KISHIDA

要旨

仮想的に大開口アンテナを生成し、高精度化を図る手法である合成開口レーダ(以下、SAR)を用いて車載ミリ波レーダの高精度化を図った。車載レーダーを想定し、三種類の手法でシミュレーションを実施し、それらの結果を比較した。また、数種類の物標を実測したデータをシミュレーション同様に処理し、それらについても比較を行った。現状ではBackprojection法が精度も高く、従来手法よりも計算時間が短いことから有力であると考えられる。しかし、車載レーダに要求されるリアルタイム処理には至っておらず、現状では応用が難しいが、情報圧縮技術などを用いてこの問題を解決できればこの手法はミリ波レーダ高精度化の有力な手段となると考えられる。この稿ではSARを用いた車載レーダの基礎的な実験を実施し、その結果について述べる。

Abstract

We challenged to realize a high accuracy of millimeter wave automotive radar by means of a synthetic aperture radar (hereafter, referred to as SAR) with virtually synthesized large-aperture antenna, which was a method to obtain the high accuracy. Assuming millimeter wave automotive radar, we performed simulations with three kinds of method, and compared those results. Also we processed actual measurement data for several targets in the same manner of simulation, and compared those results. Under present circumstances, we consider Backprojection method effective, because it is highly accurate and shorter in calculation time than current method. However, it doesn't reach real time processing required for millimeter wave automotive radar, then it is difficult to apply to millimeter wave automotive radar right now. If we can solve this problem with data compression technology etc. this method is considered to be promising one of realizing a high accuracy of millimeter wave radar. In this paper, we perform a basic experiment of millimeter wave automotive radar by means of SAR, and introduce the result.

1. はじめに

近年、事故防止のための先進運転支援システムとして、車載ミリ波レーダが注目されている。ミリ波レーダはドップラ周波数を計測することで、

車同士の相対速度の検出が可能であることから車載アプリケーションとして実用化されている。また、光学カメラや赤外線レーダなど、そのほかの運転支援システムと異なり、雨、霧、雪などへの高い耐環境性や長い検出距離を持つため、更なる

事故防止性能が期待される。車載ミリ波レーダは前方の車両や周囲近傍の障害を検出するシステムが中心である。しかしながら、交差点での出会い頭の事故や歩行者の飛び出し事故を防ぐためには、前方だけでなく前側方における物標の検知が必要となる。物標を高精度に検知するにはアンテナビームを先鋭化できる大開口アンテナをもつレーダを搭載するなどして、センサシステムの高精度化を実施する必要があるが車両にミリ波レーダを搭載するスペースは限られている。限られたスペースで高精度なセンサシステムを実現するという要求に沿う方式として、電子スキャン方式や統計処理を使った仮想アレイなどがあるが、その中でもハードウェア構成が簡単なのが SAR (Synthetic Aperture Radar) イメージングである。

SAR イメージングは、図 1 のようにレーダを移動させながら検知し、その結果を合成することで仮想的に大開口アンテナを生成し、高精度化を図る手法であり、レーダに大開口アンテナのためのスペースを確保できない場合、有力である¹⁾。

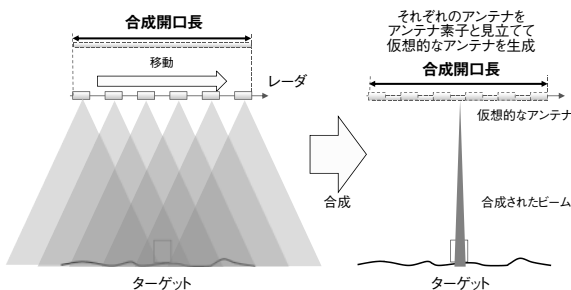


図 1 SAR の原理

図 1 でレーダの進行方向をアジマス方向、進行方向に垂直な方向をレンジ方向という。レーダで取得したデータを SAR イメージング処理することでアジマス方向における高精度な検知が可能となる。一方、レンジ方向は SAR イメージングでは高精度化は実現できず、送信波にパルス圧縮技術などを適用することで高精度化が可能となる。車載レーダに SAR イメージングを応用する場合は自動車の進行方向がアジマス方向、進行方向に垂直な方向がレンジ方向となる。

SAR イメージングは主に人工衛星や航空機による地表計測などに応用され、精度の高い検知が実施されている。車載レーダにも SAR イメージングを応用できれば、地表計測のように精度の高い検知が可能であると思われる。

この稿では SAR イメージングを用いた車載レーダの基礎的な検討を実施した結果について述べる。

2. 車載ミリ波レーダへの応用

車載ミリ波レーダを用いた SAR イメージングでは、前側方に存在する物標の検知が主な目的となる。図 2 に車両の前側方に向けた車載ミリ波レーダのイメージ図を示す。

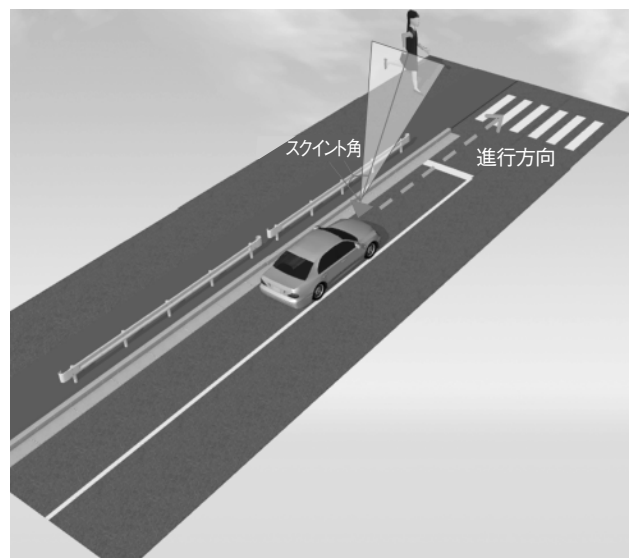


図 2 車載ミリ波レーダのイメージ

実際の運用では、図 2 に示すように前方に横断歩行者などの検知物が存在する場合、その手前までで合成開口を実施する。自動車の走行速度と許容観測時間により合成開口長は歩行者までの距離で制限され、良好なイメージング領域はレーダを向けている方向であるスクイント角を中心としたある角度範囲に制限される。このためイメージングの結果はスクイント角から離れた地点では検知誤差が生じる。

また、人工衛星や航空機によって取得されるデー

タを SAR イメージング処理して地形図を作製する場合などと異なり、車載レーダは取得したデータをリアルタイムで処理してイメージングする必要がある。

このように車載レーダに SAR を応用し、実運用するには次に示す課題がある。

- ①検知誤差の最小化
- ②リアルタイムでのイメージング

3. SARイメージング手法について

現在、研究されている主な SAR イメージングの手法として BeamFormer 法、レンジ・ドップラ法、Backprojection 法を挙げる。

BeamFormer 法は図 3 のようにイメージングしたい範囲内のアジマス方向とレンジ方向の座標の全組合せを走査し、出力電力が大きくなる位置を探索することでターゲットの位置を割り出す方法である。イメージング領域、座標系を任意に設定できるという利点があるが、二重ループによるイメージングを行うため、イメージングを実施するピクセルが増加すると計算の所要時間が指数関数的に増加する²⁾という欠点がある。この手法を車載レーダに応用するには計算の所要時間の短縮が課題となる。

レンジ・ドップラ法は図 4 のように取得したデータを処理する際、近似を用いた計算でターゲットの位置を割り出す方法である。BeamFormer 法と比較して圧倒的に計算時間が少ないという利点がある一方、レーダ近傍領域やスクイント角から離れた地点で誤差が大きくなるなどの欠点がある。

Backprojection 法は BeamFormer 法を改良したものであり、図 5 のようにターゲットからの距離を示すビート信号を二次元平面上に展開し、同距離のピクセルにあてはめることでターゲットの位置を割り出す方法である。この方法だと計算が一重ループとなるので BeamFormer 法と比較して計算時間が短縮できるがレンジ・ドップラ法と比較すると計算時間は約 8～9 倍となることがわかっている³⁾。

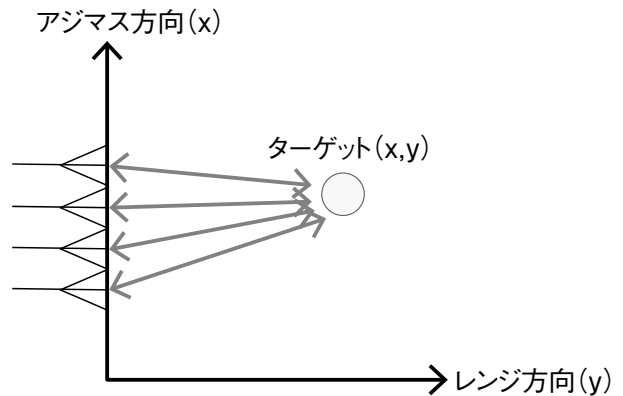


図 3 BeamFormer 法のイメージ

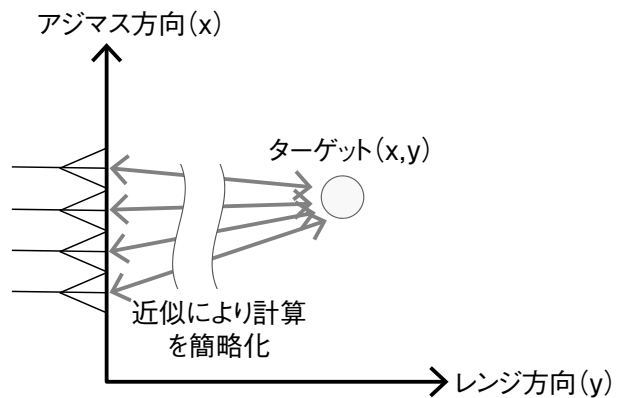


図 4 レンジ・ドップラ法のイメージ

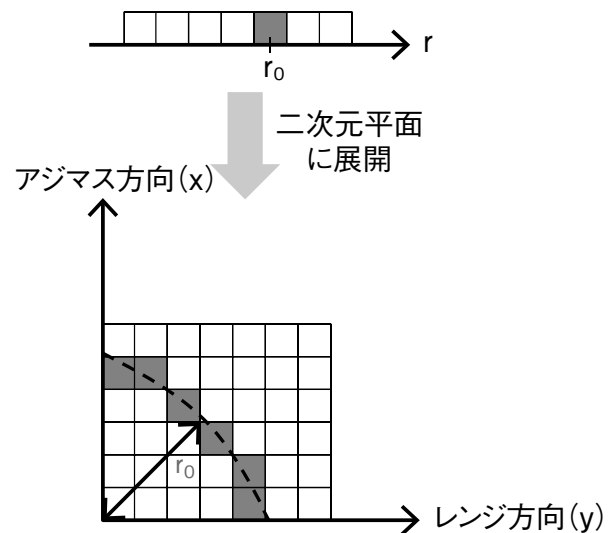


図 5 Backprojection 法のイメージ

4. シミュレーション結果と実験結果

図6にシミュレーションのイメージ、表1にシミュレーションパラメータを示す。レーダは77GHz帯のFMCW方式を想定しており、このレーダが図3に示すとおり、斜め前方のターゲットに対してスクイント角を55°とし、0.5m移動した場合のSARイメージについてシミュレーションを実施した。ターゲットは9個存在することを想定し、まず、合成開口の中心からの距離が5m、10m、15mとなるように3個配置し、それぞれの左右両側に2.5mの間隔で1個ずつターゲットを配置した。

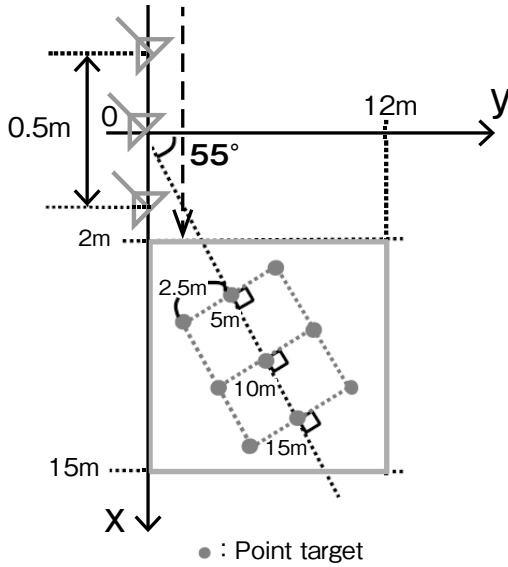


図6 シミュレーションのイメージ

表1 シミュレーションパラメータ

レーダ方式	FM-CW
中心周波数	76.5GHz
掃引周波数帯域幅	0.9GHz
掃引時間	0.5msec
合成開口長	0.5m
スクイント角	55°

図7～10にシミュレーション結果を示す。図7は合成前の実開口によるイメージングを示している。図8～10はそれぞれSARイメージングを示しており、図8はBeamFormer法、図9はレンジ・ドップラ法、図10はBackprojection法に

よるイメージングである。図7では電力の強い部分が線状に出現しているのに対し、図8～10では合成開口の効果で点として出現している。また、図8、図10はターゲットが存在する座標上に電力が強い部分があるのに対し、図9のレンジ・ドップラ法の結果ではスクイント角方向から離れたターゲットは誤差が生じており、帯状に検知されているものもある。これは処理の過程で発生する近似誤差による影響だと考えられる。

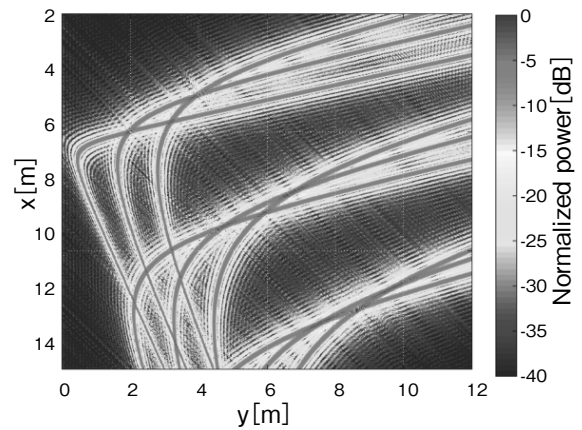


図7 シミュレーション結果(実開口)

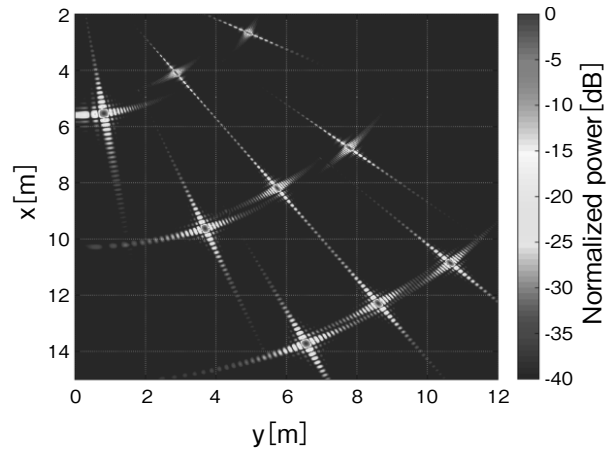


図8 シミュレーション結果(BeamFormer法)

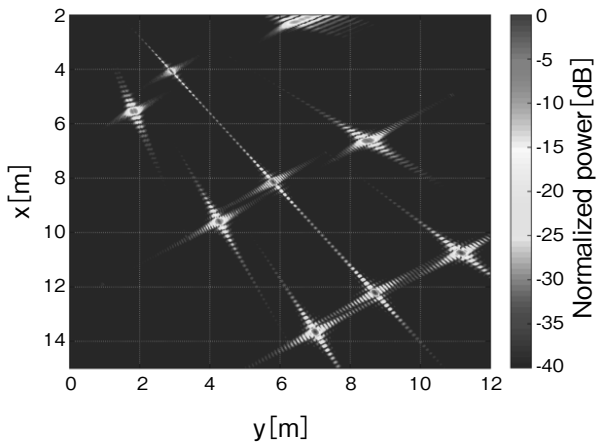


図9 シミュレーション結果
(レンジ・ドップラ法)

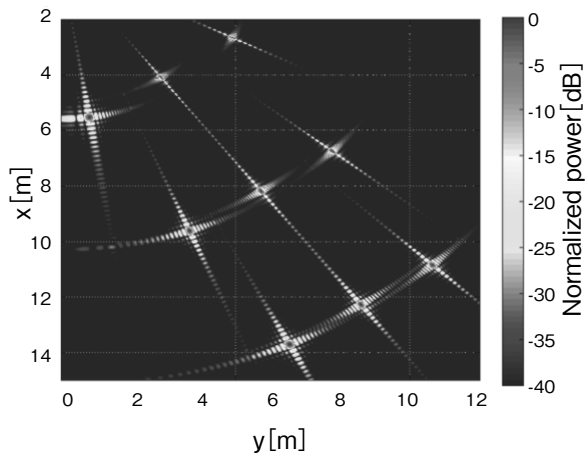


図10 シミュレーション結果
(Backprojection法)

次に実験結果を示す。図11に示す実験環境において、レーダを自動車に搭載し、数種類の物標を検知した。物標としては三面コーナリフレクタ、ガードレール、ラバーポール、標識、ダミー人形を配置した。また、表2の実験パラメータに示すとおり、実験に使用したレーダのパラメータは合成開口長以外シミュレーションパラメータと同様としている。

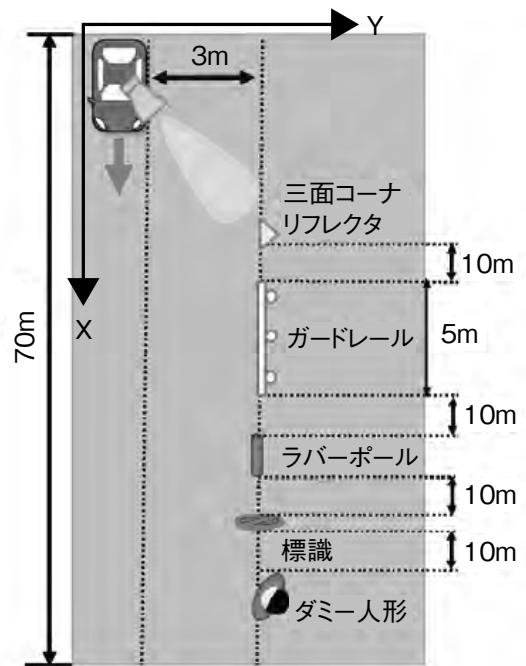


図11 実験環境 (上面図)

表2 実験パラメータ

レーダ方式	FM-CW
中心周波数	76.5GHz
掃引周波数帯域幅	0.9GHz
掃引時間	0.5msec
合成開口長	1m
スクイント角	55°

図12～15に実験結果を示す。これらの結果はレーダから見てアジマス方向(x座標)に5m、レンジ方向(y座標)に3m離れた物標を検知しており、物標が三面コーナリフレクタの場合の結果を示している。図12は合成前の実開口によるイメージングを示している。図13～15はそれぞれSARイメージングを示しており、図13はBeamFormer法、図14はレンジ・ドップラ法、図15はBackprojection法によるイメージングである。シミュレーション同様、図12では電力の強い部分が線状に出現しているのに対し、図13～15では合成開口の効果で点として出現している。これらのSARイメージング結果、誤差がみられるがこれは車速が厳密に一定ではないためと考

えられる。また、レンジ・ドップラ法においてシミュレーションでは近似による誤差がみられていたが実験ではスクイント方向のターゲットに着目しているため、結果はほかの手法と同等であった。

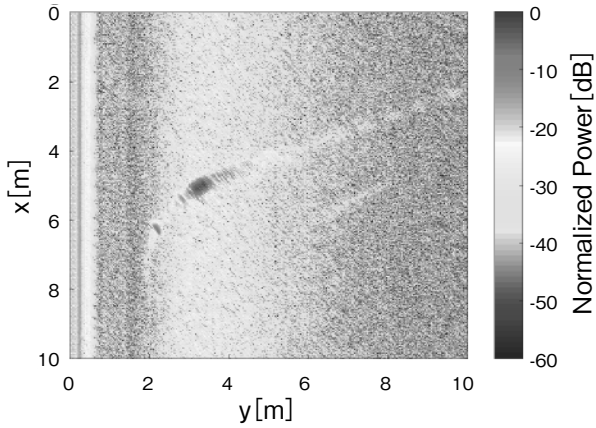


図 12 実験結果 (実開口)

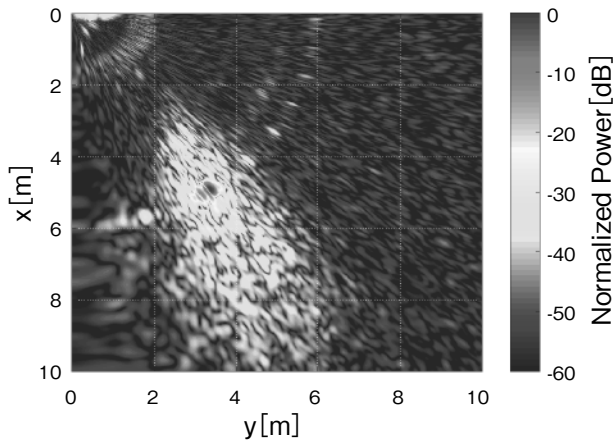


図 13 実験結果 (BeamFormer 法)

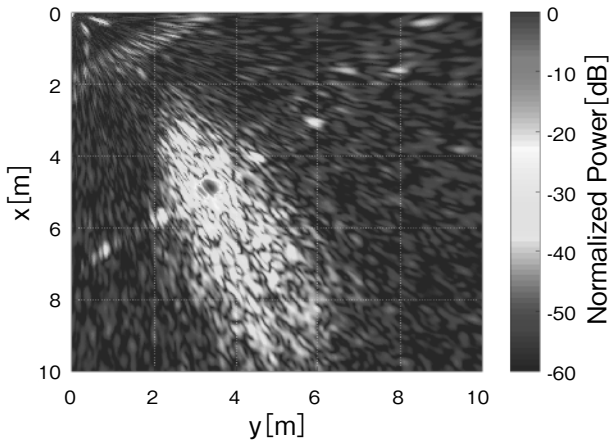


図 14 実験結果 (レンジ・ドップラ法)

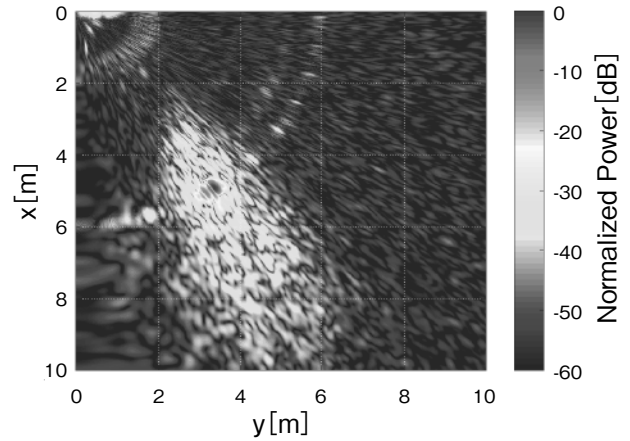


図 15 実験結果 (Backprojection 法)

5. おわりに

この稿では車載ミリ波レーダによる合成開口イメージングに関する基礎検討について述べた。シミュレーション結果を見ると、レンジ・ドップラ法はスクイント角方向から離れたターゲットは誤差が大きくなるため、現状では精度の点ではほかの手法より劣る。BeamFormer 法と Backprojection 法は共に高精度な結果が得られているが両者の計算時間を比較すると、Backprojection 法の方が短時間で済むため、表 3 に示すように現状では Backprojection 法が最も優れているといえる。

表 3 SAR イメージング手法のまとめ (シミュレーション結果)

	Beam Former 法	レンジ・ドップラ法	Back projection 法
精度	ほぼ誤差なし	最大約 1m の誤差	ほぼ誤差なし
計算時間	約 2 時間 20 分	約 5 秒	約 41 秒

今後の課題としては、まず計算時間の更なる短縮が挙げられる。Backprojection 法は計算速度が BeamFormer 法のものと比較して向上しているもののリアルタイムでイメージングするには更なる計算時間短縮が要求される。また、実運用を考慮すると第 4 章の実験結果に示すとおり、車速が必

ずしも一定ではないことから誤差が生じるため、この点について対策を実施し、精度を維持、向上させる手段が必要となってくる。これらの課題が克服できれば現状の車載ミリ波レーダは更なる精度向上が期待できると思われる。

参考文献

- 1) 美濃谷潤、山田寛喜、山口芳雄、杉山裕一:「車載ミリ波レーダによる SAR イメージングに関する基礎検討」, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.115, No.200, SANE2015-40, pp.37-42, [2015]
- 2) 小林佑輔、山田寛喜、山口芳雄、杉山裕一:「圧縮センシングを用いた車載ミリ波 SAR に関する基礎検討」, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.116, No.143, SANE2016-30, pp.47-52, [2016]
- 3) 小林拓光、山田寛喜、杉山裕一、村松正吾、山口芳雄:「車載ミリ波レーダを用いたスクイントモード SAR におけるイメージング手法に関する検討」, vol.117, No.182, SANE2017-41, pp. 71-76, [2017]

筆者紹介



杉山 裕一
すぎやま ゆういち

VICT 技術本部
技術開発室



山田 寛喜
やまだ ひろよし

新潟大学
工学部
波動情報研究室



岸田 正幸
きしだ まさゆき

VICT 技術本部
技術開発室