

18. マルチスタティックレーダによる航空機監視技術の研究について

監視通信領域 ※本田 純一，大津山 卓哉

1 まえがき

航空管制に利用される空港監視レーダ(ASR: Airport Surveillance Radar)は一次監視レーダ(PSR: Primary Surveillance Radar)^[1]と二次監視レーダ(SSR: Secondary Surveillance Radar)^[2]から構成される。これからの航空機監視技術はSSR もしくは SSR の応用技術であるマルチラテレーション(MLAT: Multilateration)や広域マルチラテレーション(WAM: Wide Area MLAT)および放送型自動従属監視(ADS-B: Automatic Dependent Surveillance - Broadcast)が主流になると考えられる。これら SSR 関連技術は、航空機に搭載された応答装置(トランスポンダー)^[2]からの応答信号もしくは自発信号を利用しているため、航空機の位置だけでなく機体識別や高度情報など様々な情報を得ることができる優れた監視技術と言われている。しかし、トランスポンダ側の問題により、信号を送出しなくなった場合には航空機監視が不可能となる大きな問題も抱えている。そのため、運用上のセキュリティ向上など空港監視システムの冗長性確保のために、古典的な電波の反射を利用したPSR 応用技術に注目が集まっている。

最近、PSR の応用技術としてマルチスタティックレーダ(MSPSR: Multi-Static Primary Surveillance Radar)^[3]に注目が集まっている。MSPSR は従来のレーダのように移動物体からの電波の反射信号を利用して航空機の位置を推定する技術である。従来型の PSR と大きく異なるのは、複数の送受信機を展開して、各受信機で得られた測位データを統合することによって、現行システムより監視覆域の拡大や更新頻度の向上を実現できることである。この研究は電子航法研究所(以下、「ENRI」と称する)を含めた欧米の一部機関で検討されているが、これまでに民間航空分野に応用できる決定的なシステムは確立されていない。ENRI では、平成 26 年度より MSPSR の基礎研究に着手し^[4]、いく

つかの観点から信号処理方法を含めた監視システムの開発を進めている。本発表では、ENRI の独自技術である光ファイバー接続型パッシブPSR(OFC-PSPSR: Optical Fiber Connected Passive PSR)の基本原理について紹介し、これまで得られた実験結果を示す

2 マルチスタティックレーダについて

MSPSR は、現行 PSR の監視覆域拡大もしくは代替システムとして民間航空への応用が期待されている新しい監視システムである。

PSR と PSR 応用技術の違いについて図 1～図 3 を用いて簡単に説明する。図 1 に示すように、PSR は送信機と受信機が一体型となっており、航空機からの反射信号の往復時間と回転式レーダの角度から移動物体の位置を算出する。

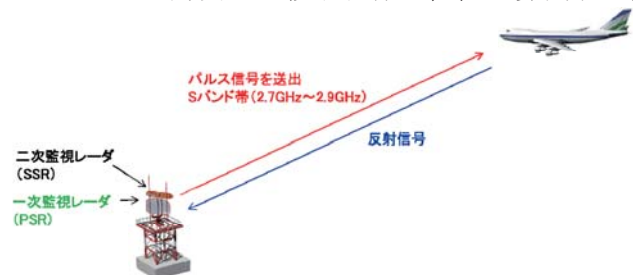


図 1 一次監視レーダの原理

一方、図 2 は送信機と受信機を分離したバイスタティックレーダ(BSR: Bi-Static Radar)もしくはパッシブバイスタティックレーダ(PBR: Passive Bistatic Radar)^[5]と呼ばれるシステムである。これらのシステムの特徴は、送信機から受信機に直接到達する信号の時間に対して、移動物体からの反射信号の到達時間との差を計算することによって楕円状に位置を算出することである。反射信号を利用する PSR は、全ての照射された電波が反射するわけではないので検出率がやや低下する。BSR や PBR は送信機側に戻らない反射信号も利用することができるため、PSR で監視できないエリアをカバーすることができる。

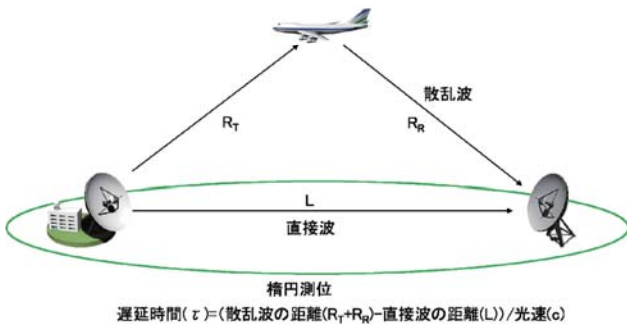


図2 パッシブバイスタティックレーダの原理

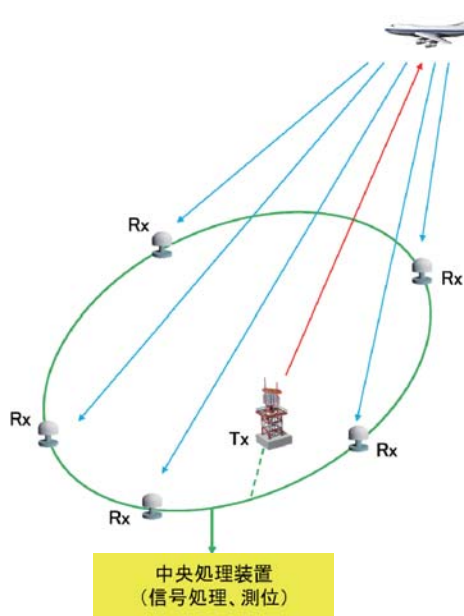


図3 マルチスタティックレーダの原理

図3に示す MSPSR は、BSR や PBR の組み合わせからなるシステムである。複数の送受信機を利用し、監視覆域の拡大を図ることができる。

更に MSPSR の画期的な要素は、信号源がレーダ信号に限定されないということである。パッシブレーダに分類される MSPSR は、例えば地上デジタル放送波^[6]、AM/FM、移動体通信信号(LTE,3G 等)、GNSS 等の信号を測位計算に利用できる可能性がある。図4はこれらの信号を利用して最終的に構成される MSPSR のイメージ図である。下記に簡単に特徴を列記する。

- [1] セキュリティーの向上
- [2] 複数の信号を利用可能
- [3] 災害に強い(複数信号を組み合わせることで安定的に運用可)
- [4] 監視覆域の拡大
- [5] 更新頻度の向上(現状は4秒周期だが1秒



図4 MSPSR のイメージ図

周期程度まで性能向上できる可能性もある)

3 光ファイバー接続型パッシブ PSR の原理

前節で説明したように MSPSR には複数の利用できる電波源が考えられる。その中でも本発表は、ENRI が研究を進めている MSPSR の技術のうちレーダ信号を利用した技術について紹介する。本節では、開発中の OFC-PPSR の基本原理について説明する。

3.1 OFC-PPSR の原理

PSR が容易に測位できる理由の一つとして、送信信号の送出タイミングと信号形式を受信機側で常に把握できることが挙げられる。しかし、PBR や BSR, MSPSR のように送受信機分離型においては送信信号の情報を直接得ることができないため、信号処理に工夫を施す必要がある。そこで、ENRI の提案するシステムは、光ファイバーを利用して離れた場所に設置した受信機まで送信

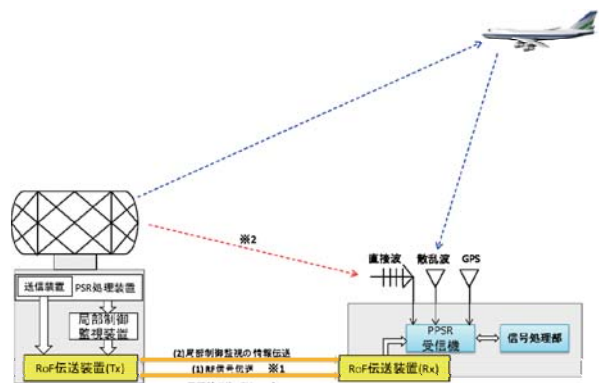


図5 OFC-PPSR の原理図

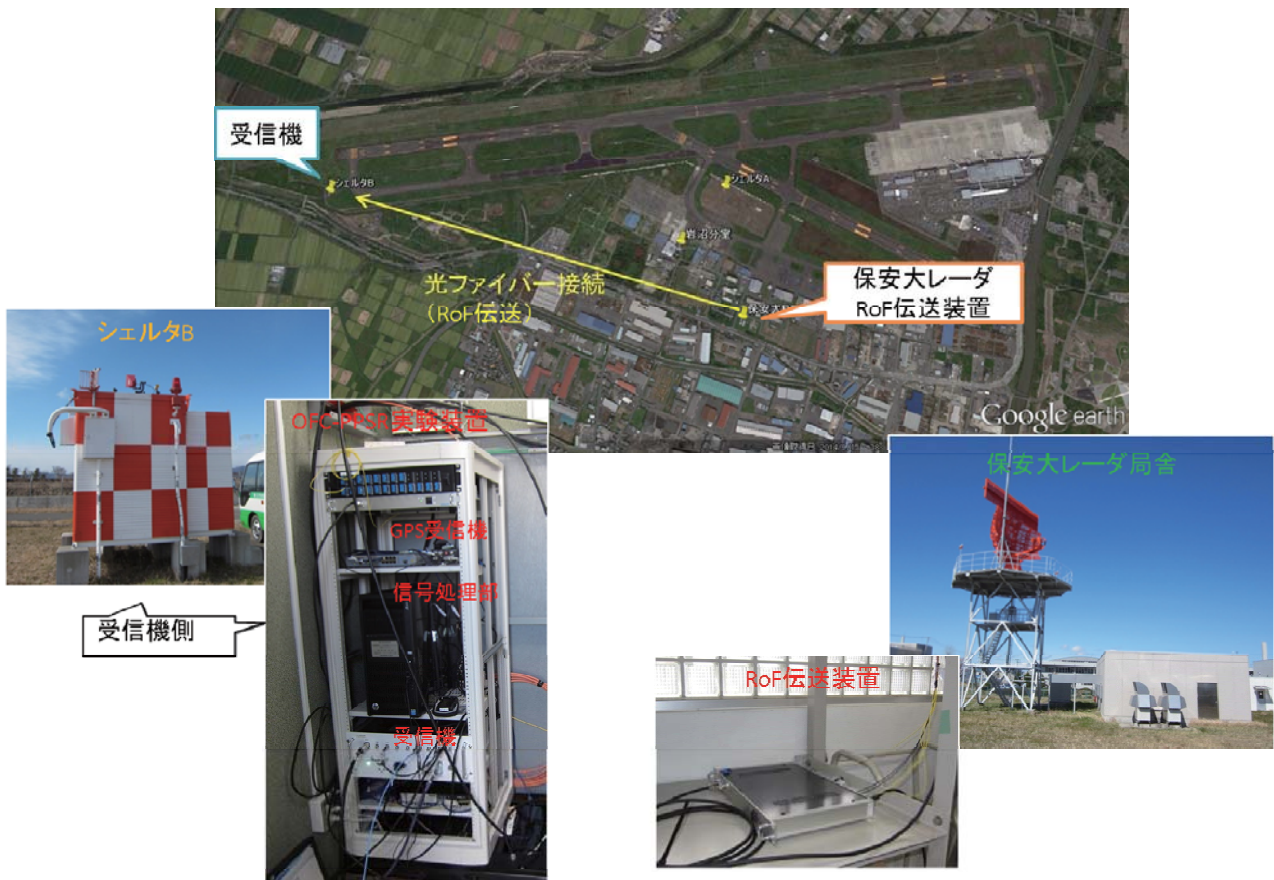


図6 仙台空港における実験環境と実験装置

信号の情報を伝達し、測位計算を実行する。

図5は提案手法のシステム概要図となる。提案システムは、光ファイバー無線(RoF: Radio over Fiber)技術を利用している。レーダ送信機から得られる送信信号と回転式アンテナの角度や送信タイミングといった情報を RoF を利用して受信機まで伝送する。光ファイバーを使っているため減衰を抑えて伝送することができる。PSR は、短パルス(1 μ s)とチャープのかかった長パルス(80 μ s)の2種類の信号を送出する。受信機側では、参照信号となる上記2つの送信信号を使って航空機からの反射信号との遅延時間を計算する。最終的に得られた信号遅延時間から、受信機からのバイスタティックレンジを推定する。

3.2 プロトタイプ

図6は製作した OFC-PPSR のプロトタイプシステムと実験装置を展開した仙台空港の実験環境を示している。使用する信号は現行 PSR

の信号として運用のレーダと同等の性能を持った航空保安大学校岩沼研修センターの研修用レーダとした。レーダ送信局のモニタ端子から得られる信号を局舎に設置した RoF 伝送装置で受信局まで伝送する。受信局側では伝送された送信信号と航空機からの反射信号を取得して測位計算を実施する。RoF によって受信機に届けられる信号は、受信機側で伝送時間分の遅延補正をする。信号処理部は、受信した短パルスと長パルスをそれぞれ処理してレーダ PPI を表示する機能となる。

4. 実験結果

仙台空港で当所実験用航空機の B-300 をターゲットとして評価試験を行った。図7～図12は短パルスと長パルスそれぞれの結果を示す。図7～9は短パルスによる結果である。図中に仙台東部道路がはっきりと映っているのが確認できる。図10～12は長パルスによる測位結果である。移動物体を検出できていることが分かる。

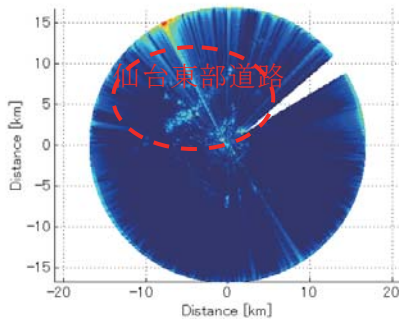


図7 測位結果(0 s)
ショートパルス

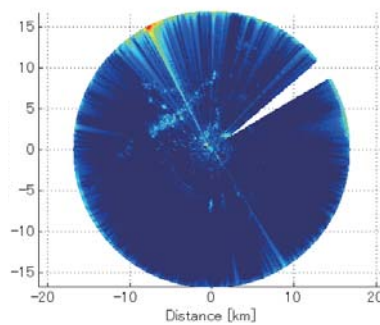


図8 測位結果(4 s)
ショートパルス

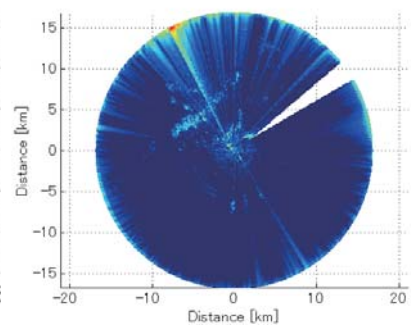


図9 測位結果(8 s)
ショートパルス

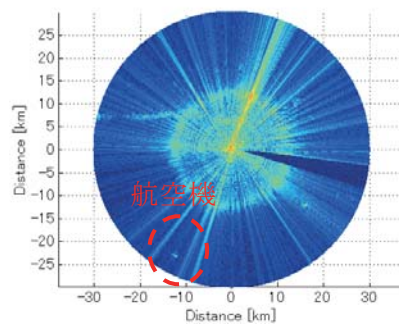


図10 測位結果(0 s)
ロングパルス

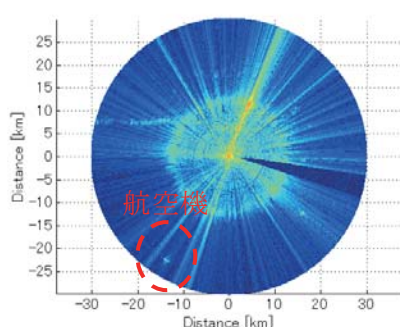


図11 測位結果(4 s)
ロングパルス

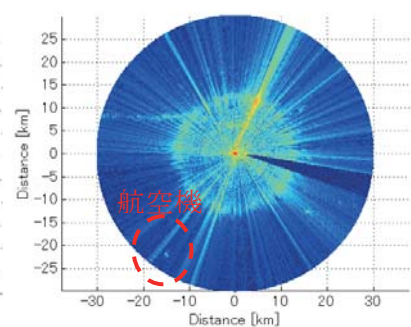


図12 測位結果(8 s)
ロングパルス

5. むすび

本稿では、MSPSR の基本コンセプトと ENRI で開発を進める OFC-PPSR の実験装置を紹介した。既存レーダ信号を用いた提案システムは移動物体の検出が可能であることが分かった。

MSPSR のシステム構成には様々なものが考えられるため、使用できる信号源と信号処理方法を検討し、日本における MSPSR の有用性について今後明らかにしていきたい。また OFC-PPSR の性能向上と他の信号源によるパッシブ測位システムの開発およびマルチ化を進めていく予定である。

謝辞

実験にご協力頂きました国土交通省東京航空局仙台空港事務所、航空保安大学校岩沼研修センターおよび関係各位に深く感謝致します。

参考文献

- [1] M.I. Skolnik et al., Introduction to RADAR Systems. 3rd ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1962.
- [2] Stevens, M.C. (1988), “Secondary Surveillance Radar”, Artech House.
- [3] S. Marquard, “Suitability of Multi-Static Surveillance System for Aeronautical Use (Passive Radar),” Int. Civil Aviation Org. Working Paper, WP ASP12-12, Mar. 2012.
- [4] J. Honda and T. Otsuyama, “Feasibility Study on Aircraft Positioning by Using ISDB-T Signal Delay,” IEEE Ant. and Propag. Letters, DOI.10.1109/LAEP, 2016.
- [5] P. Bezousek and V. Schejbal, “Bistatic and Multistatic Radar Systems,” Radioengineering, vol.17, no.3, pp.53-59, Sept. 2008.
- [6] Transmission system for digital terrestrial television broadcasting, ARIB standard STD-B31 ver.1.5, Jul. 2005