

受動型SSRを利用した航空機動態把握システム開発

Development of aircraft position data acquiring system using Passive SSR

松井 祐希* 渡辺 秀樹* 鈴木 和典* 野田 晃彦**

Yuki Matsui, Hideki Watanabe, Kazunori Suzuki, Akihiko Noda

受動型SSR (PSSR) は、電子航法研究所 (ENRI) の研究成果であり、空港等で利用されている二次監視レーダ (SSR) と同様な航空機動態 (位置情報) データを取得することができる。ENRIの研究成果は、IRT社により高性能/コンパクト/経済的な形で製品化されている。PSSRは、ADS-Bデータを放送しない航空機を含め、航空機動態 (位置情報) データを準リアルタイムで把握することができる。今回、ENRIおよびIRT社と連携を取り、PSSRで得た源泉データを航空機動態情報としてインターネットを介し、Webベースでの表示を可能とするシステム (SPACE RADAR) を開発した。これにより、PSSRの観測範囲 (覆域) 内の航空機動態を漏れなく、準リアルタイムにて確認および提供することができるようになった。本稿では、PSSRの概要および航空機動態把握システムの説明、実業務への応用実績について紹介する。

The passive SSR (PSSR) is a high-performance, compact and economical system produced by IRT Corp., using the best of the research effort of Electronic Navigation Research Institute (ENRI), which is similar to the Secondary Surveillance Radar (SSR) being used at airports etc., for acquiring aircraft position data. PSSR can acquire aircraft position data in near real-time that cannot be acquired in other systems, including aircraft that does not broadcast ADS-B data. We, in cooperation with ENRI and IRT Corp., developed a system (SPACE RADAR) that enables web-based display of a source data acquired by PSSR as aircraft position data via the Internet. Therefore, it became possible to confirm and provide aircraft position within the observation range (covering area) of PSSR in near real-time. This paper introduces the PSSR outline, explanation of aircraft position data acquiring system, and the actual applications to business.

1. まえがき

近年、インターネットを中心に航空機の動態情報を提供するサービスが増加し、プロを中心とした世界からマニア、ホビーユーザから一般ユーザまで、手軽に情報入手できるようになっている。しかしながら、これらの多くのシステムでは、航空機自ら発信した位置情報を捉えて表示しているため、自ら位置情報を発信しない航空機の位置情報は表示されていないのが現実である。

今回開発したシステムのセンサー部となる受動型SSR (以下、PSSR) は、独自の方法により、位置情報データを送出しない航空機の位置情報を、空港等に設置されている二次監視レーダ (SSR: Secondary Surveillance Radar) と同様に取得することができる。この特徴から、特に空港周辺域における航空機の動態を漏れなく取得したい方々から受動型SSRを利用したシステムに関す

るニーズが高まっている。

2. PSSRのしくみ

2.1 主な航空管制用レーダの種類

航空機の飛行中位置を把握することを目的とした航空管制用レーダには、空港に設置されている空港監視レーダ (ASR: Airport Surveillance Radar) (図1参照)、及び山の上等に設置されている航空路監視レーダ (ARSR: Air Route Surveillance Radar) がある。

一次監視レーダは航空機からの反射波を捉えるレーダであり、航空機側の装備によらず位置の把握が可能である一方、航空機の高度情報及び識別符号は得ることが出来ない。また、航空機からの微弱な反射波を精度よく捉えるため、大型のアンテナを必要とする。二次監視レーダは、第二次世界大戦中に開発された敵味方識別装置を起源とするビーコンシステムであり、地上からの質問に



図1 空港監視レーダ(ASR)の例

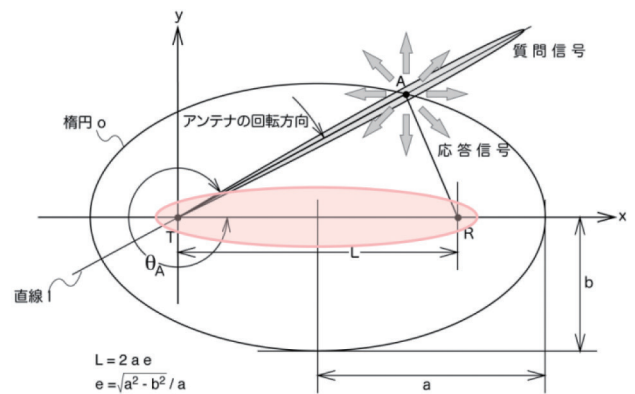


図2 PSSR測位原理図(2次元)⁽¹⁾

対し、航空機が応答信号を送出するため、地上では応答信号を比較的小型な受信アンテナで受信可能となる。二次監視レーダは、航空機の高高度情報、識別符号等を得る目的で装備され、地上からの質問(モードA:識別符号質問、モードC:気圧高度情報質問)に対応した応答を航空機から行うことで、地上では航空機の気圧高度と識別符号を認識している。PSSRでは、地上からの質問信号と航空機からの応答信号を利用し、航空機の位置を測定することができる。

2.2 PSSRの測位原理

PSSRは、電子航法研究所(ENRI)の研究開発成果(日本国特許:2991710、3041278、3277194)であり、ASRやARSRを構成するSSRによる質問信号と航空機からの応答信号から航空機位置情報を、受動的(電波を発信せず)に取得することができるシステムである。

PSSRの測位原理を図2、図3に示す。

- (1) 親局SSRの走査アンテナは点Tで一定の角速度で、一定の時間間隔で質問信号を発出しながら回転している。
- (2) 航空機は点Aで質問信号を受信し、PSSRは親局SSRの覆域内の点Rで航空機からの応答信号を受信する。
- (3) PSSRは点Rにおいて親局SSRからの正対質問信号を受信することで、親局SSRの質問周期やパターン等のプロファイルを生成する。
- (4) 親局SSRのプロファイルと航空機Aからの応答信号の受信時刻から、点Tと点Rの距離は一定のLなので、PSSRは航空機の存在する測位楕円を描くことができる。
- (5) 親局SSRのプロファイルから θ_A が分かるので、測位楕円と質問方向線の交点として航空機Aの位置を算出できる。

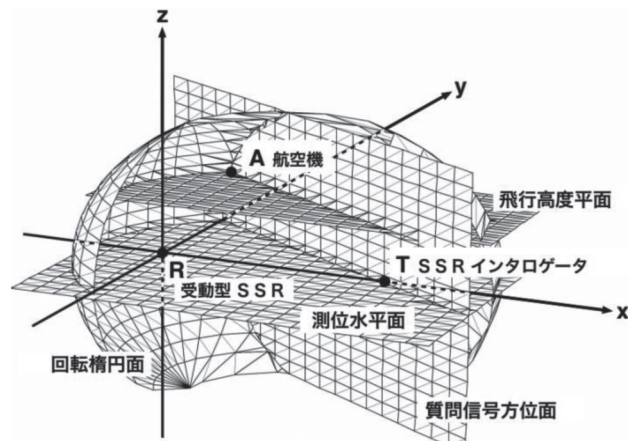


図3 PSSR測位原理図(3次元)⁽¹⁾

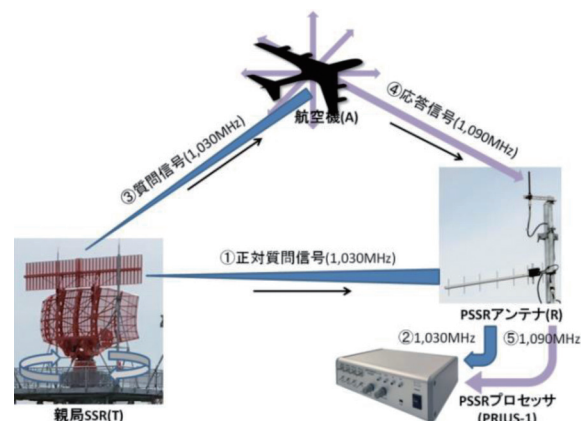


図4 親局SSRと航空機からの信号の流れ

実際の測位計算では、航空機からのモードC応答による気圧高度情報を加味し、図3で示すように三次元で計算を実施している⁽²⁾。

図4に、PSSRが受信/処理するために必要となる、親局SSRからの質問信号と航空機からの応答信号の流れを示す。

3. 航空機動態把握システム

3.1 開発目的

PSSRで得た航空機位置の測位データ（SSRの周回周期 = 約4秒毎更新）を、準リアルタイムにサーバへ集約し、WebGISを活用したネットワークシステムとして構成することで、サーバへアクセス可能な多人数に対し、航空機の位置情報等を容易に理解し易い形で提供することを目的として開発を行い、SPACE RADARと命名、航空機動態情報をWebで提供するサービスを実現することを狙った。

図5及び表1にシステム構成概要を示す。

3.2 特徴

PSSRで取得した測位データを蓄積・加工し、WebGISを利用して多人数に、Webブラウザにて航空機位置情報の提供が可能である。PSSR設置点周辺約100NM（1NM=1海里=1852m）の航空機位置情報を準リアルタ

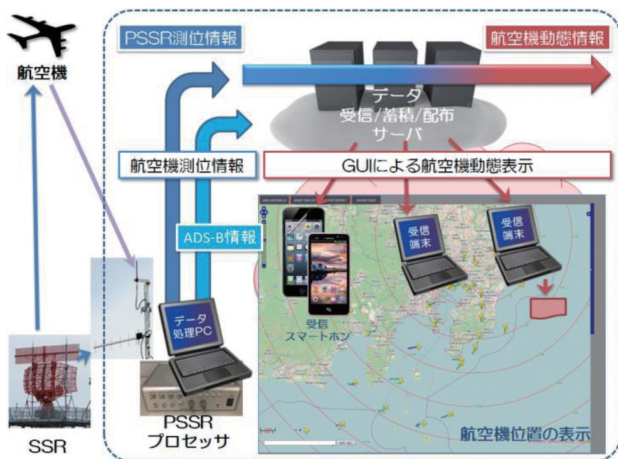


図5 システム構成概要

表1 システム構成概要

番号	概要	内容
1	受信アンテナ	SSRからの質問信号と、航空機からの応答信号を受信するアンテナ（図13参照）。
2	PSSRプロセッサ	SSRからの質問信号と、航空機からの応答信号を受信し、PSSR測位情報を生成する。同時に、ADS-B（放送型自動従属監視）情報も受信する。IRT社から製品化されたPRIUS-1を使用（図6参照）。
3	データ処理PC	PSSRプロセッサとUSB接続し、PSSR測位情報とADS-B情報を受信する。航空機測位情報としてデータ受信／蓄積／配布サーバへ転送する。
4	データ受信／蓄積／配布サーバ	データ処理PCから受信した航空機測位情報をデータベースへ保存し、航跡データとして品質管理等を実施、航空機動態情報とする。Web配信可能な状態でデータ加工を行う。
5	受信端末・受信スマートフォン	WebベースのGUIにて、航空機動態を表示する。

イムに漏れなく把握することができる。また、測位データはデータベースへ蓄積するため、任意時刻の過去再生を実施することが可能であり、騒音調査時の事実確認や過去に発生したインシデント等を調査する際に有効である。蓄積データは、航跡として加工後、csv及びkmlフォーマットのファイルとして本サービスのユーザへ提供できる。

3.3 ソフトウェア構成

本システムのソフトウェア構成を表2に示す。

3.4 機能構成

本システムの機能構成の一部を表3に示す。

3.5 画面表示例

成田空港SSRから約40kmの位置に所在するビル（つくば市）から、航空機位置データを継続取得中である。主な画面表示例を示す。

表2 ソフトウェア構成

番号	ソフトウェア名称	仕様
1	データ収集ソフトウェア	PSSRが算出した測位データと、ADS-Bを送信する航空機から得た位置データをPSSRから収集する。
2	データ転送ソフトウェア	データ収集ソフトウェアにて収集したデータを配信先のサーバへ転送する。
3	データ受信・蓄積ソフトウェア	転送されたデータをサーバ上で受信し、データベースへ登録する。
4	データ配布ソフトウェア	データベースに格納された測位データをWeb配信可能な形式に変換する。
5	データ処理ソフトウェア	測位データを加工し航跡データ等を生成する。
6	可視化GUIソフトウェア	ブラウザ上で航空機位置情報等を可視化する。

表3 主な機能構成

機能名称	機能内容
航空機表示	測位した航空機を地図上に表示する。
指定航空機航跡表示	指定した航空機に対し、30分間の航跡を表示する。
不正データ除去	ゴースト、エラー等により発生する異常データを測位データより除去する。
スコークリスト表示	地図中に表示中の航空機に関する情報を、スコーク番号毎に整理したリストに表示する。
背景地図変更	背景に表示する地図を切り替えて表示する。 OpenStreetMap 地理院標高地図 地理院白地図 地理院航空写真
背景地図明度設定	背景地図の表示明度を設定する。
IFR/VFR表示選択	スコーク番号からIFR/VFR機を識別し切替表示（IFR：計器飛行方式 VFR：有視界飛行方式）。
WayPoint表示	地図上にWayPoint等を表示する。
過去データ再生表示	蓄積履歴に存在する任意時刻の測位データをデータベースより呼出し、再生表示する。
データダウンロード	航跡データを、csv及びkmlフォーマットのファイルで提供する。複数航跡データはzipで一括提供。
遠隔操作	VPNを介し、PSSR接続PC等を制御する。



図6 PSSRプロセッサ(IRT社製 PRIUS-1)

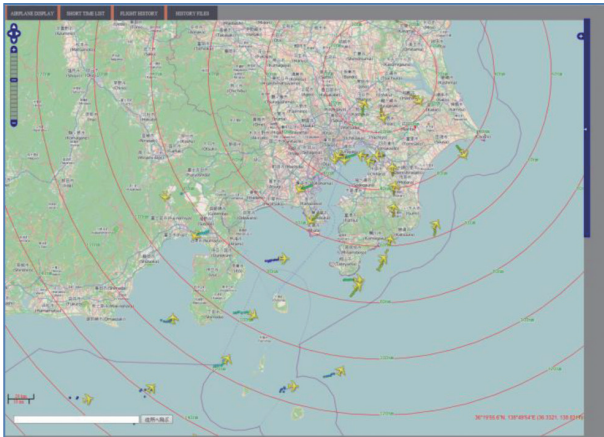


図7 リアルタイム表示



図8 過去再生と航跡表示

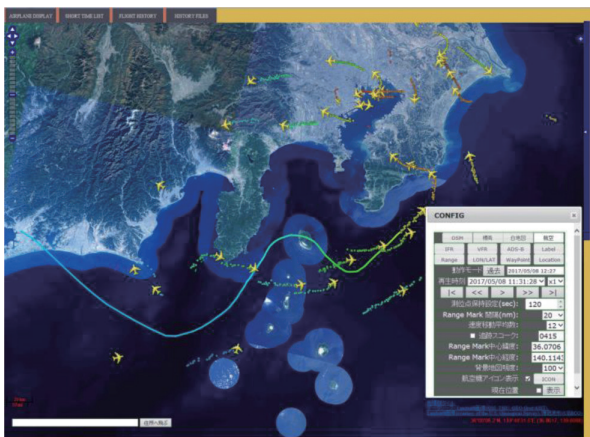


図9 背景地図切り替え(地理院航空写真)

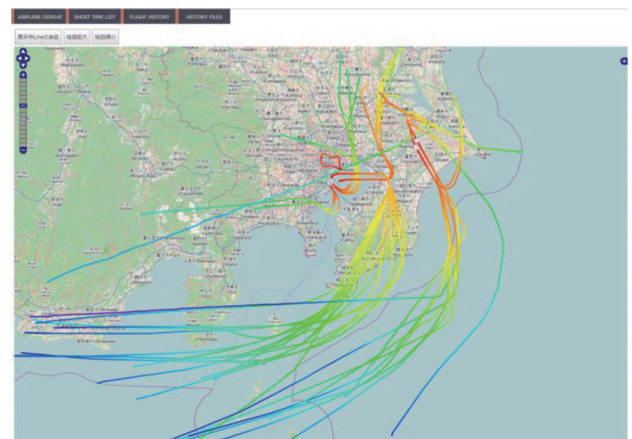


図10 航跡一括表示

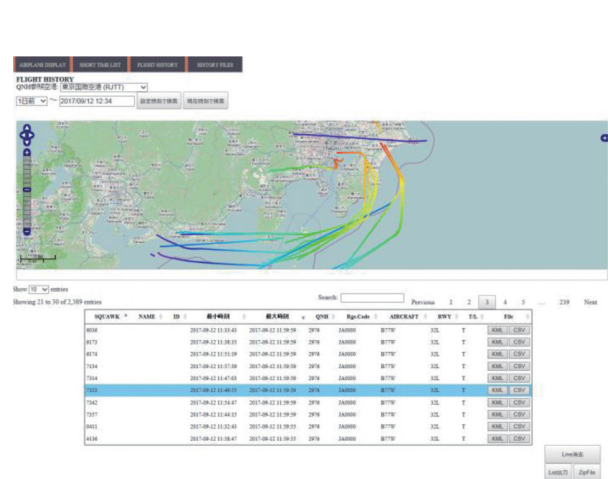


図11 航跡履歴

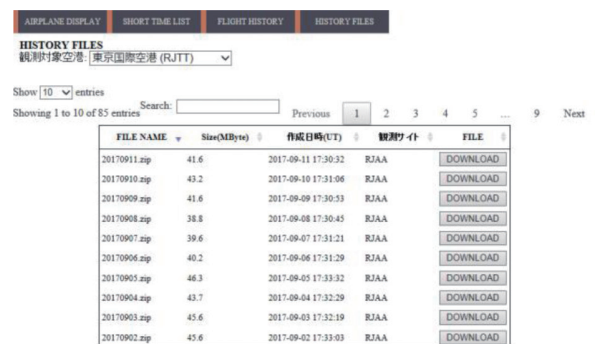


図12 ファイルダウンロード

4. 実業務への応用実績

主な実業務への応用実績を表4に示す。
表4番号3で示した、大阪国際空港(伊丹空港)におけるシステム設置事例を図13、図14に示す。
図13では、大阪国際空港(伊丹空港)北側に存在する

表4 応用実績

番号	実績
1	東京国際空港における実証実験 東京国際空港近傍で約3ヶ月にわたり、電波環境が厳しい環境下にて長期稼働実証実験を実施。
2	騒音把握基礎データ取得の航跡取得業務 国管理空港の騒音把握基礎データ取得のため、国内数カ所の空港に対し、各々1週間、屋外に機器を設置し連続データ取得を実施。
3	大阪国際空港における航跡データ提供業務 関西エアポート株式会社へ、2017年8月1日より長期にわたる航跡データ提供業務（SPACE RADARサービス）を開始。大阪国際空港（伊丹空港）にて運用中。
4	D-NET2システムとの連携 宇宙航空研究開発機構（JAXA）の研究テーマの一つであるD-NET2（災害救援航空機統合運用システム）に対し、本システムが有する他システム連携機能を使用し、PSSR測位データを提供。



図13 質問信号受信アンテナと応答信号受信アンテナ設置例



図14 システム一式設置例

大阪SSR#1に対して指向している質問信号受信アンテナと、航空機からの応答信号を受信する応答信号受信アンテナを示している。質問信号は、PSSRにおける測位計算にてSSRの回転周期等を収集する目的で使用するため、指向性の高い八木アンテナを使用している。一方、航空機からの応答信号は全方位から到来するため、指向性の低いモノポールアンテナを使用している。

図14では、PSSR装置及び遠隔操作に必要な機器一式を機器収納キャビネットへ格納した状態を示している。PSSR装置を中心に、遠隔制御用のリブータ、ルータ、アンテナ同軸ケーブル及び避雷器他からなり、機器動作監視用のWebカメラ等も収納している。

5. 今後の展開

運用実績を積むことにより、ユーザからの要望、データ処理の更なる改善、拡張性の向上等を図っていく。航空機動態把握システムとして、PSSRで得た測位データの配布・表示システムを活用し、航空機以外の動態データ、並びに気象情報等、航空機動態に関連する付随情報他のデータとの連携を実施していく。また、長期に渡り蓄積している関東圏の航空機動態データを活用し、AI技術等を活用した新たなデータ分析を通して新たな情報の抽出、並びにソフトウェアラジオ技術を活用したマルチラテ技術による測位データとの連携による測位性能向上等を図り、新たな価値の創造に挑む。

6. むすび

PSSRの測位原理と、それを応用した航空機動態把握システムの概要、並びに実業務における実績について説明した。

現在、本技報によるシステムを活用した航空機情報Web配信サービス（SPACE RADARサービス）を立ち上げ、展開中である。

最後に、本システムを開発するにあたり多大なご協力を頂いた、元電子航法研究所 塩見格一様、IRT 青山秀次様に対し、深く感謝致します。

参考文献

- (1) 塩見 格一：ネットワーク指向な受動型SSRシステムの検討と開発，平成24年度電子航法研究所研究発表会（2012）
- (2) 電子航法研究所：受動型二次監視レーダPassive Secondary Surveillance Radar（パンフレット）
- (3) 野田 晃彦：電波を発射せずに航空機の航行位置を算出できる！受動型2次監視レーダーのしくみと実際，RFワールド，CQ出版社，No.35（2016）

執筆者紹介

松井 祐希

1998年入社。関西事業部へ配属後、気象レーダ関連ソフトウェア開発業務に従事。つくば事業部異動後、衛星地上システムのソフトウェア開発及び国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう」の実験装置向け地上運用ソフトウェアの開発に従事。他、PSSRを活用したシステムの研究開発、及び災害救援航空機に関わるシステム開発に従事。

渡辺 秀樹

1984年入社。鎌倉事業所（現鎌倉事業部）配属。人工衛星、宇宙機関連の地上システムの開発に従事。1996年につくば事業部に異動。国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう」の実験装置向け地上運用ソフトウェアの開発に従事。近年はPSSRを活用したシステムの研究開発、及び災害救援航空機に関わるシステム開発に従事。

鈴木 和典

1980年入社。鎌倉分室（現鎌倉事業部）配属。1993年つくば事業所（現つくば事業部）に異動。2016年再雇用。約10機の人工衛星、数機の宇宙機（SFU、ISS、HTV）の地上システム設計開発に従事。この間、軌道制御、宇宙用AI、ランデブーの研究に携り、近年はスペースデブリの研究を行っている。

野田 晃彦

1989年（平成元年）入社。鎌倉事業部配属。技術部において各種システム構築等に携わり、その後本社に異動。近年ではセキュア大容量ファイル転送サービス（SPACE PORTER）の立ち上げ、サービス展開に営業として携わる。現在は、航空機情報のWeb配信サービス（SPACE RADAR）を提案、立ち上げ、その展開を図っている。