

中部国際空港向け SSR モード S レーダ

SSR Mode S Radar System for Central Japan International Airport

梶尾 浩史 橋田 芳男 伊野 正美

■ KAJIO Hiroshi

■ HASHIDA Yoshio

■ INO Masami

航空交通管制は、空港間の航空路を監視する航空路監視レーダと、空港周辺を監視する空港監視レーダの2種類のレーダによって支えられている。これらのレーダは新しい方式の二次監視レーダ(SSR)モードSへの更新が始まっており、航空路監視レーダについては2003年から導入され、空港監視レーダについては2005年1月、中部国際空港において国内で初めて運用が開始された。東芝は、同空港向けにSSRモードSを適用した空港監視レーダ1号機の製作・評価を担当し、運用を開始している。これにより当社は、既に運用されている航空路監視レーダと合わせて全2種類の製品ラインアップが整った。

Two types of radar systems are the key to air traffic control (ATC) operations: air route surveillance radar (ARSR) and airport surveillance radar (ASR). Mode S, the radar designation of an upgraded version of a system called secondary surveillance radar (SSR), has been introduced in ARSR systems since 2003 as the first step. As the next step, it was introduced in an ASR system in January 2005 when it was deployed at Central Japan International Airport, the first deployment at a Japanese airport.

Toshiba delivered the Mode S radar system to Central Japan International Airport and has obtained good results from a series of operational field evaluation tests. We have therefore completed our lineup of both types of Mode S radar systems by delivering them to both ARSR and ASR systems.

1 まえがき

航空交通管制にとって、航空機の位置検出を担う航空路監視レーダと空港監視レーダは、なくてはならない重要なシステムである。これらのレーダシステムの中核である二次監視レーダ(SSR: Secondary Surveillance Radar)は、近年の航空交通量の著しい増大に対して、その能力の限界に近づいている。

1980年代に国連の機関であるICAO(International Civil Aviation Organization: 国際民間航空機関)にて、改善型のSSRとして、SSRモードS^(注1)(以下、モードSレーダと呼ぶ)に関する国際標準の検討が開始された。以来、長年にわたって東芝はモードSレーダに関する調査、基礎研究を行ってきた。1991年には独立行政法人電子航法研究所に実験評価システムを納入し、実運用システムのベースとなる技術を確認するとともに継続して技術の蓄積に努めてきた⁽¹⁾。

航空路監視レーダについては、2003年から国土交通省にてモードSレーダ単独運用への更新整備が開始された。当社は、福島県のいわき洋上航空路監視レーダ及び大阪府の三国山航空路監視レーダとしてモードSレーダを納入し、現在、航空路監視の運用に供せられている^{(2),(3)}。

空港監視レーダについては、2005年に新設された中部国際空港において国内初のモードSレーダの運用が開始され、当社は第一レーダ局舎のレーダ装置製作と据付調整から評価までを担当した。

ここでは、空港監視レーダとしてのモードSレーダと中部国際空港におけるフィールド試験結果について述べる。

2 空港監視レーダ

空港監視レーダ(ASR: Airport Surveillance Radar)は、空港に離着陸する航空機の監視に用いられるレーダで、最大半径60~100海里(111km~185km)の比較的狭い範囲をカバーしており、一般にSSRと一次監視レーダ(PSR: Primary Surveillance Radar)が組み合わされて構成される。

PSRは、回転する指向性アンテナから電波を放射し、航空機自体からの反射波(エコー)を受信処理して、航空機の距離と方位の情報を得るものである。PSRは目標となる航空機側が特別な装置を搭載しなくても機影をとらえることができるが、得られる情報は限られる。

一方、SSRは、PSRアンテナと共に回転する指向性アンテナから電波を放射し、航空機に搭載されたトランスポンダ(応答機)と呼ばれる特殊な送受信装置を介して送り返されてくる電波を受信処理して、航空機の距離、方位、識別コード、

(注1) 航空機を1機ごとと呼び出して質問/応答するSSRのモード。

高度の情報を得るものである。

SSRが質問信号と呼ばれる1,030 MHzの電波を送信すると、照射された航空機側のトランスポンダは即座に1,090 MHzの電波で応答信号を返す仕組みになっている。このとき、電波が往復する時間から距離情報が、アンテナビームの向きから方位情報が得られる。

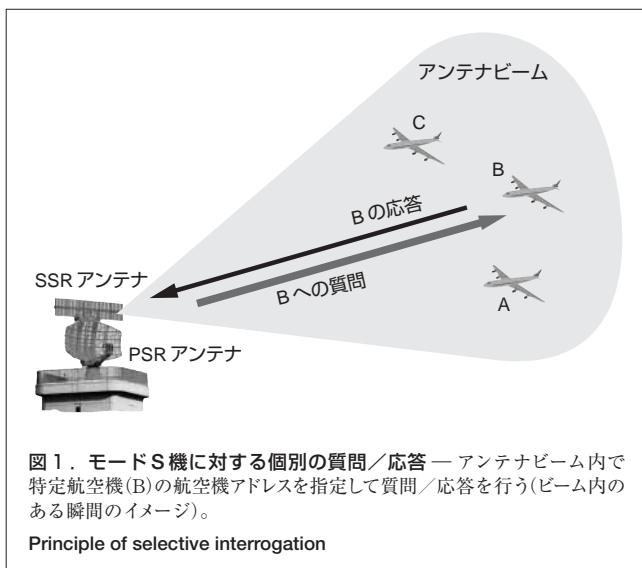
更に、機上のトランスポンダには航空機の識別コードと高度計データが入力されており、地上からの質問信号のモード（モードA：識別コードの質問，モードC：高度情報の質問）に応じて、航空機の持つこれらの情報も同時に得ることができる⁽⁴⁾。

このように、ASRは原理の異なるPSRとSSRという二つのレーダを同時に運用し、それぞれのレーダから得られる情報を融合することで信頼性の高い情報を得るレーダシステムとなっている。一方で航空交通量の著しい増大に伴い、従来型SSRでは密集する複数の航空機からの応答に対応できないという問題が出ており、新しい方式のSSRが望まれてきた。

3 モードSレーダ

モードSレーダは、従来型SSR^(注2)の欠点を克服すると同時にデータ通信機能も備え、しかも従来型SSRと混在運用が可能な改善型のSSRとして、ICAOにより国際標準が規定されている⁽⁵⁾。

モードSレーダの第1の特長は、**図1**に示すようにモードS対応のトランスポンダ^(注3)を搭載した航空機（モードS機）に



(注2) モードA/Cトランスポンダにのみ対応できるSSR。

(注3) トランスポンダには従来から使用されているモードA/CトランスポンダとモードS機能を持ったモードSトランスポンダがある。

対して、1機ごとに個別に指定して質問/応答が行えることである。

従来型SSRでは、同じアンテナビーム内において等距離にある複数の航空機に質問を送信した場合、一斉に応答が返ってくるため、それぞれの応答信号が時間的に重なってしまい、個々の航空機を分離して検出することができなくなる現象(ガブル現象と呼ぶ)が避けられなかった。

モードSレーダでは、個別質問を行うことによって従来型SSRの方式上の問題を解決できるため、結果として航空機の検出率の向上が図れる。

モードSレーダの第2の特長は、監視範囲内のすべてのモードS機を正確に追尾する機能を持つことである。各航空機の現在までの航跡から、次のアンテナスキャンタイミングにおけるそれぞれの位置を予測計算し、個々の航空機へタイムリーに質問/応答して位置情報を得ることにより、正確な追尾を維持する。追尾性能は、航空機の検出率を左右するため、加速度変化の大きい離着陸時の航空機をとらえる空港用のモードSレーダでは特に重要である。

モードSレーダの第3の特長は、地上から機上、あるいは機上から地上へのデータ通信機能を備えていることである。このため従来型SSRにはない、質問/応答データの誤り検出/訂正機能を備えており、地上と機上とでやりとりする情報の信頼性が向上している。また、今後このデータ通信機能によって航空機と様々な情報をやりとりし、航空管制システムの更なる能力向上に寄与することが期待されている^{(2), (6)}。

4 中部国際空港向けモードSレーダ

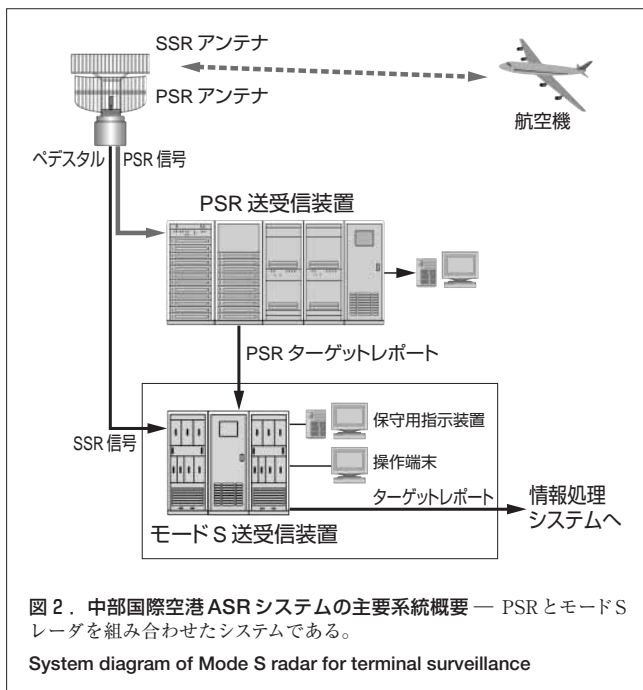
4.1 概要

中部国際空港のASRはPSRとSSRが併設された構成を取っている(**図2**)。

アンテナは大きな反射板を持つものがPSR用、その上部に搭載されている長方形のものがSSR用であり、ベダスタルと呼ばれる装置によって1回転4秒の速さで回る。

PSRアンテナは局舎内のPSR送受信装置に接続され、信号処理を経てPSRターゲットレポートと呼ばれる航空機の検出データを出力する。またSSRアンテナはモードS送受信装置に接続され、モードS方式による質問信号の送信、応答信号の受信・信号処理を行って、SSRターゲットレポートと呼ばれる航空機の情報出力する。PSRターゲットレポートはモードSレーダにおいて航空機の検出データの比較に使われる。同一航空機のデータと判断されればPSRにて取得したデータによって情報が補強され、別の航空機のデータと判断されれば個々のターゲットレポートとして情報処理システムへ出力される。

第一レーダ局舎の屋上に設置されたPSRアンテナ及び



SSRアンテナの外観を図3に示す。

局舎の屋内に設置されたモードS送受信装置を図4に示す。左側の3筐体(きょうたい)は中央が制御監視装置、その両側が二重系を成す送受信装置である。

4.2 主要機能・性能と特長

今回中部国際空港に納入したモードSレーダの主要仕様を表1に示す。

当社製のモードSレーダは、ユーザーインターフェースとして



表1. モードSレーダの主要仕様
Major specifications of Mode S radar

項目	仕様
カバーレージ	100 NM (仰角0.5~45°)
アンテナ回転数	15 rpm
空中線	プリントダイポールアレー
送信周波数	1,030 ± 0.01 MHz
尖頭(せんとう)電力	1.0 kW ± 50 %
送信変調方式	パルス+ DPSK
受信周波数	1,090 ± 3 MHz
最低受信感度	- 87 dBm 以下
解読レベル	- 81 dBm 以下
質問モード	モードA/C, モードA/C専用 ^(注4) , モードS
受信モード	モードA/C, モードS
最大処理機数	250機/スキャン
検出率	95 % 以上

DPSK : 差動位相変調

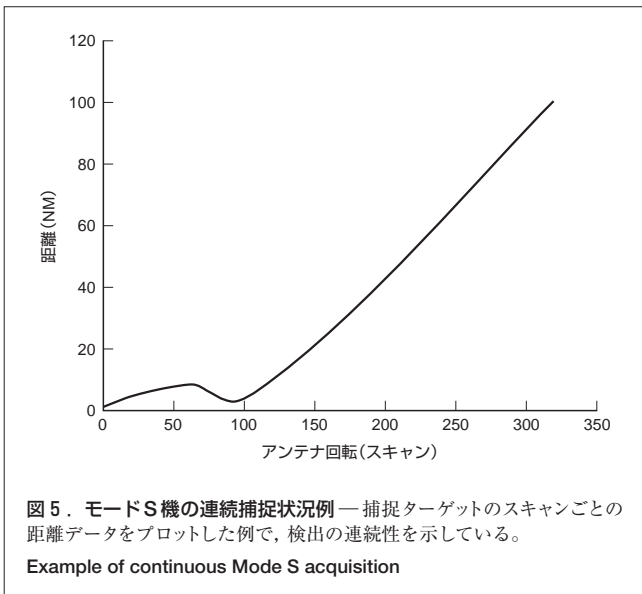
操作部にタッチパネル方式を採用入れ、装置の基本操作が従来に比べてわかりやすく、運用者に優しい方式となっている。

一般にレーダにはその動作状態、航空機の検出性能などを調整するために多くの装置パラメータが付随している。当社製のモードSレーダでは、専用操作端末から容易にこれらのパラメータが設定でき、最終納地の環境に適した調整が容易にできるよう配慮されている。

4.3 フィールドでの性能確認

今回納入したモードSレーダは、工場における設計検証段階から空港で使用されることを前提として追尾処理の

(注4) 従来型モードA/C トランスポンダだけが応答するモード。



最適化を図った。実際に中部国際空港に設置した後、所定の調整期間内に十分なフィールドデータに基づいて性能確認を行い、設計どおりの追尾性能が得られていることを確認した。

性能確認結果の一例として、中部国際空港から離陸後に方向を変えてモードSレーダの上空を通過し、その監視範囲外へ飛行するモードS機の捕捉(ほそく)状況を、図5に示す。

これは縦軸に距離、横軸にアンテナの回転を示しており、離陸後に航路を大きく変化させて飛行する航空機に対し、スキャンごとに連続して追尾できていることを示している。

航空機検出率の性能確認として、多数の航跡データを取得し、これらのデータを解析した結果、モードS機については99.4%の検出率を得た。この検出率は、ICAOの推奨値である95%を超えるものであり、所要の性能を十分満足している⁽⁴⁾。このような良好な結果は、モードSレーダの方式による改善効果とフィールドデータに基づくモードSレーダの信号処理の最適化によるものである。

5 あとがき

モードSレーダは改善型のSSRであり、従来型に比べて高品質・高信頼な航空機情報を提供することにより、航空管制に貢献できる。

更に、あわせ持つデータ通信機能の有効利用は諸外国において実際に検討されており、一部は欧州にて監視の改善のために運用に供せられることが決まっている。

モードSレーダは、運用者のニーズに即した機能を将来付加できる拡張性の高い方式であり、今後の有効利用に向け更なる検討を進めていきたい。

謝 辞

中部国際空港モードSレーダの設置・調整にあたり様々のご指導、ご助言をいただいた国土交通省航空局 関係官署及び独立行政法人 電子航法研究所の関係各位に感謝の意を表します。

文 献

- (1) 三吉 襄, ほか. “SSRモードS監視機能の評価試験について”. 平成8年度(第28回)電子航法研究所研究発表会講演概要集. p.25 - 30.
- (2) 伊野正美, ほか. “SSRモードS性能評価”. 電子情報通信学会研究報告, SANE2003-37 ~ 43. 2003, p.33 - 36.
- (3) 伊野正美. いわきORSR更新整備の概要. 航空無線. 39, 2004, p.14 - 16.
- (4) Manual of Secondary Surveillance Radar (SSR) Systems. Doc. 9684, Second Edition. ICAO. 1998.
- (5) International Standards And Recommended Practices, Aeronautical Telecommunications. Annex 10, IV (Surveillance Radar And Collision Avoidance Systems), Amendment 77. ICAO. 2002.
- (6) 橋田芳男, ほか. 航空管制用二次監視レーダSSRモードS. 東芝レビュー. 59, 2, 2004, p.58 - 61.



梶尾 浩史 KAJIO Hiroshi

社会ネットワークインフラ社 小向工場 レーダ・センサ技術部。
航空管制レーダシステムの開発・設計に従事。
Komukai Operations



橋田 芳男 HASHIDA Yoshio

社会ネットワークインフラ社 小向工場 レーダ・センサ技術部
主務。航空管制レーダシステムの開発・設計に従事。
Komukai Operations



伊野 正美 INO Masami

社会ネットワークインフラ社 官公電波システム事業部 電波システム技術部参事。航空監視システムの開発に従事。
Defense & Electronic Systems Div.