

新型二次監視レーダの開発

Newly Developed Secondary Surveillance Radar

村松 徹也
MURAMATSU Tetsuya

加納 徳治
KANO Tokuji

橋田 芳男
HASHIDA Yoshio

二次監視レーダ(SSR: Secondary Surveillance Radar)は、航空機の三次元位置情報及び航空機識別信号(ビーコンコード)を提供することができる装置であり、航空管制システムの中で重要なセンサである。

従来、航空機の位置情報は一次監視レーダ(PSR: Primary Surveillance Radar)でとられ、SSRは補足情報を提供する装置であった。しかし、近年SSRに注目が集まり、可搬型SSR装置、航空機位置情報表示装置など用途に応じたSSR単独局の要求が増えている。当社は、これらの装置の将来性に注目し、今後世界的に運用される航空機個別識別機能を持つSSR(SSRモードS)装置を開発した。

Secondary surveillance radar (SSR) is one of the essential facilities in air traffic control, providing three-dimensional position information and identification signals (beacon codes) of aircraft. So far, aircraft position information has been provided by primary surveillance radar (PSR), and SSR has provided only supplemental information. Recently, however, SSR has been attracting considerable attention and there has been increasing demand for SSR-only stations, such as a movable type SSR system and the Aircraft Position Information Display (APID) system, according to the application.

Toshiba has been producing these SSR systems and has developed a Mode S-compliant SSR that will be deployed worldwide in the future.

1 まえがき

航空管制用レーダは、PSRとSSRに分類される。PSRは、地上レーダ装置から電波を放射し、その反射波を処理して航空機の位置情報を得るものである。SSRは、地上レーダ装置からの質問信号に対して航空機に搭載されたトランスポンダ(レーダ信号応答装置)が応答信号を返し、その信号を処理して航空機の位置及び識別情報を得るものである(図1)。

航空管制レーダシステムにおいては、長い間、航空機の位

置情報はPSRでとられ、SSRは航空機識別情報(モードA)や高度情報(モードC)という補足情報を提供する位置づけであった。しかし、近年のSSR技術の向上により、SSRへの期待が高まり、SSR単独局として可搬型SSR装置、並びに航空機位置情報表示装置が開発された。SSRシステムは、更に航空交通量増大に対応し、かつ、データリンク機能を備えたSSRモードSへの展開が予定されている。

ここでは、最近開発した可搬型SSR装置、並びにSSRモードS装置についてその概要を述べる。

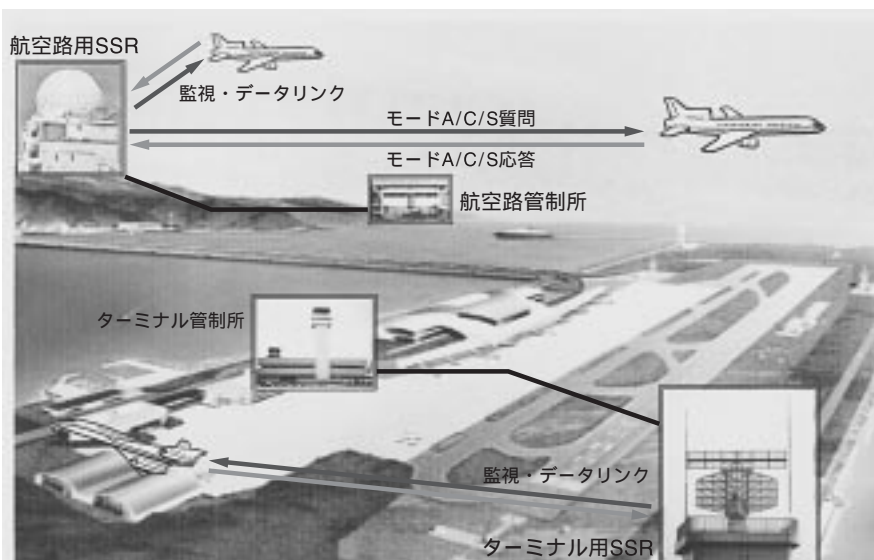


図1. SSRシステムの運用概念 SSRシステムは、位置情報や航空機識別情報を管制官に提供する。

Air traffic control radar system

2 可搬型 SSR 装置

可搬型 SSR 装置は、航空路監視用レーダ装置の設備更新により生ずる監視覆域の欠落を補完するために設置され、レーダサイトを中心とする半径およそ 450 km 範囲の航空機の監視を行う。この装置は、監視覆域の欠落が発生した場合の移動性を考えたシェルタ構造となっている(図 2)。



図 2 . 可搬型 SSR 装置 鉄塔上部にアンテナが設置され、その近くに移動性を重視したシェルタ構造の装置(写真下)が設置される。
Movable type SSR system

全固体化送信機から尖頭(せんとう)出力 1.5 kW の高周波パルスがアンテナから輻射される。これに対する航空機からの応答信号は、マルチチャネル受信機で増幅・検波され、量子化ビデオ信号、及び高精度方位測角を行うためのモノパルスビデオ信号として信号処理部へ送り出される。信号処理部では、受信機からの各ビデオ信号を基に航空機位置及び識別コードの検出を行い、ターゲットレポートとして所轄の航空交通管制部へ出力する(図 3)。

可搬型 SSR 装置は SSR 単独局であるため、トランスポンダを内蔵した RPM(Radar Performance Monitor)装置を可搬型 SSR 装置近くの見通しの良い場所に設置し、検出した航空機の位置・識別情報の妥当性を常時監視している。

3 SSR モード S 装置

3.1 なぜ SSR モード S か

航空交通量の増大により過密化が進んだ空域を管制するためには、より高い信頼性と精度が SSR に要求される。

しかし、現用の SSR においては、質問信号を受信したすべての航空機が一斉に回答するため、交通量が增大すると

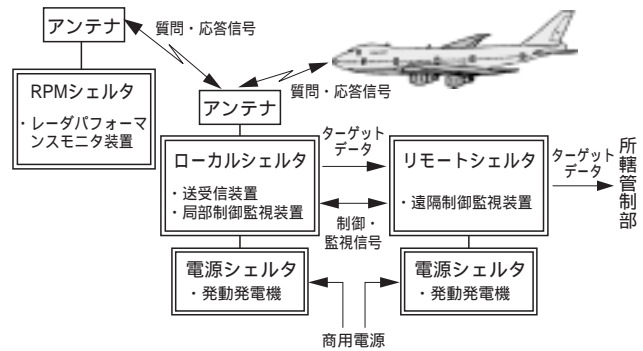


図 3 . 可搬型 SSR 装置の系統 各機材を機能ごとに分散配置し、シェルタに収納しているため、シェルタ単位の設置並びに移動が行える。

Configuration of movable type SSR system

お互いの応答信号が干渉し、ターゲット情報の欠落が発生する。また、複数の SSR からの質問信号を受信する航空機では、そのたびに回答を返すため、地上装置及び機上装置双方にとって過剰な質問回答によりシステムが飽和し、監視に必要な対応ができなくなる。

SSR モード S は、このような現用の SSR の性能改善、機能向上を目的とした SSR システムであり、航空機に対する個別質問を基本としている。世界中の航空機には 24 ビットのアドレスが割り当てられ、SSR モード S では、このアドレスを用いて航空機に個別質問を行い、質問された航空機だけが応答信号を送信する。これにより、応答信号の干渉による問題

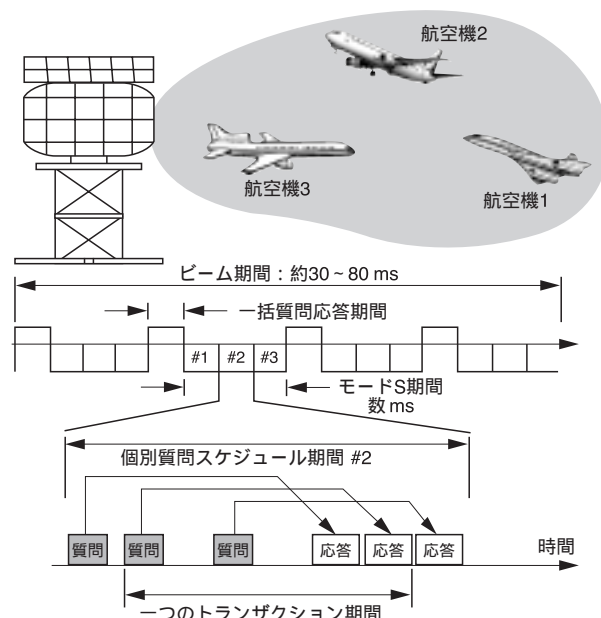


図 4 . SSR モード S の個別トランザクション SSR モード S では、航空機に割り当てられたアドレスを使用して個別に質問を行う。個別質問は、航空機の位置に応じて、個別質問スケジュール期間内にスケジューリングされる。

Selective roll call procedure by SSR Mode S system

が改善され、信頼性の高い監視が可能となる。また、SSRモードSは個別質問・個別応答(以下、個別トランザクションと呼ぶ)を用いたデータリンク機能を持っており、地上と航空機との間のデータ通信回線としての用途もある(図4)。

3.2 装置概要

今回開発したSSRモードS装置は、送信機、受信機、信号処理器及びトランザクション制御器から構成される。装置の外観を図5に、機能系統を図6に示す。また、主な仕様を表1に示す。信号処理器及びトランザクション制御器の一部ユニ



図5. SSRモードS装置 送信機、受信機、信号処理器及びトランザクション制御器が収容される。
SSR Mode S equipment

ットの構成変更により、モノパルスSSR装置に対応できる構成となっている。

SSRモードSでは、航空機の初期捕捉(ほそく)及びモードSトランスポンダ非搭載機を監視するための一括質問応答期間と、モードSトランスポンダ搭載機を監視するための期間(以下、モードS期間と呼ぶ)を時分割で運用する。モードS期間は、レーダの覆域やアンテナの回転速度によって異なるが、通常は数msオーダーである。

モードS期間では、各航空機に対して個別のトランザクションを実行する。したがって、この数msという極めて短い時

表1. SSRモードS装置の主な仕様
Basic specifications of SSR Mode S equipment

項目	仕様				
監視処理機数	400				
アンテナ回転速度	15 rpm				
覆域	1 ~ 200 NM(海里)				
レンジ精度	バイアス	±30 ft(±9.14 m)以下			
	ジッタ	25 ft (7.62 m)以下			
方位精度	バイアス	±0.033°以下	仰角2°未満		
	ジッタ	0.060°以下	仰角20°未満		
モードS性能諸元	モードSターゲット数	Comm-A送信回数	Comm-B受信回数	Comm-C送信回数	Comm-D受信回数
ビーム幅	2.8°	28	56	12	0
セクタ	11.25°	43	132	26	7
クオドランド	90°	217	590	104	35

Comm-A: 地上→航空機方向標準長メッセージデータ
Comm-B: 航空機→地上方向標準長メッセージデータ
Comm-C: 地上→航空機方向拡張長メッセージデータ
Comm-D: 航空機→地上方向拡張長メッセージデータ

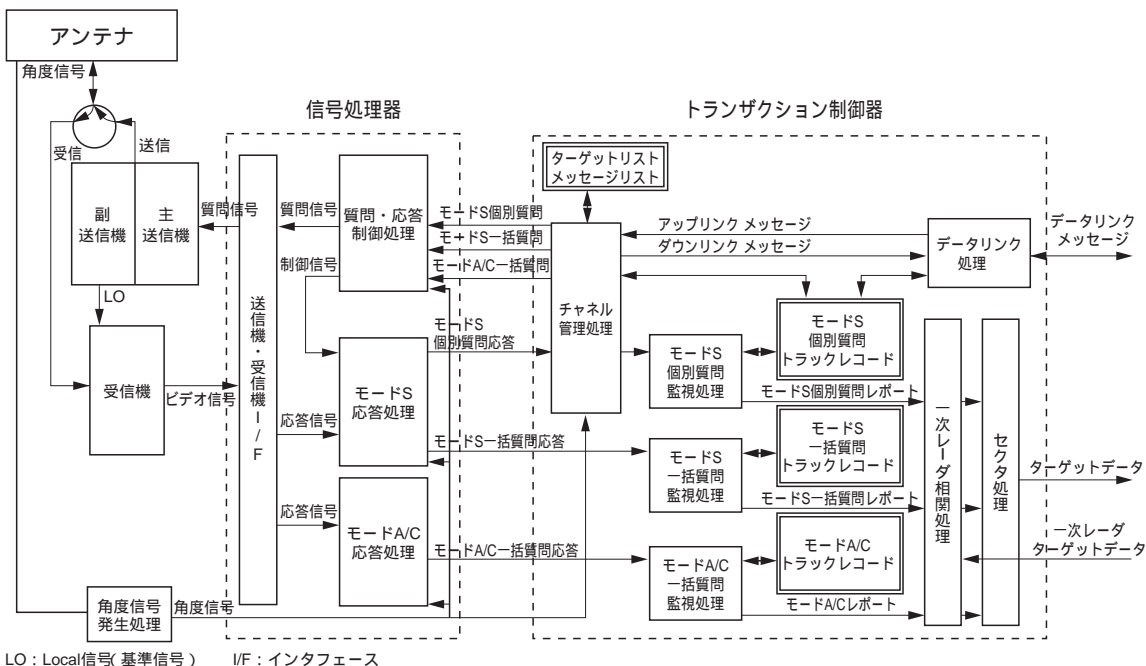


図6. SSRモードS装置の機能系統 SSRモードS装置は、送信機、受信機、信号処理器及びトランザクション制御器により構成される。
Functional block diagram of SSR Mode S equipment

間内に、いかに多くの個別トランザクションを実行するかでSSRモードSの性能は決まる。

個別トランザクションを実行するための最適化スケジューリング処理は、トランザクション制御器内のソフトウェアによって高速に実行される。スケジューリング方式については、レーダから遠い航空機から順に、より近い航空機に向けて応答が並ぶように質問をスケジューリングするのが、もっとも効率的であることがわかっている。航空機からの応答が重複しないようにするためには、航空機の位置を正確に予測する必要がある。この航空機の位置の予測についても、トランザクション制御器内のソフトウェアが実行している。

信号処理器は、トランザクション制御器からの質問データに従い、質問信号の作成や送信タイミング制御、応答信号に対するゲート制御及び応答信号の解釈を実行する。

航空機と地上間のデータリンク機能については、SSRモードS装置ではOSI(Open System Interconnection)^(注1)参照モデルの7階層プロトコル(データ送受信のための手順や規約)におけるデータリンク層だけを提供する。データリンク層における再送を含めた通信プロトコル制御は、トランザクション制御器のソフトウェアが実行する。

3.3 リアルタイム性

数msという極めて短い時間内に多数の個別トランザクションを実現するため、トランザクション制御器のソフトウェアには極めて高いリアルタイム性が要求される。また、トランザクション制御器では、スケジューリング処理や航空機の位置予測のための追尾処理などの複雑な処理が要求される。このため、単に処理効率だけでなく開発効率や保守性を考えて、ソフトウェアはアセンブラではなく高級言語で記述した。

今回開発したSSRモードS装置では、トランザクション制御器を機能分散した二つのCPUで、信号処理器をDSP(Digital Signal Processor)を用いて実現した。ソフトウェアはすべてC言語で記述した。トランザクション制御器の基本ソフトウェア(OS)にはリアルタイムOSを用いた。また、システムバスには十分なバス転送速度を持つコンパクトPCI(Peripheral Component Interconnect)バスを採用し、SSRモードSシステムで要求されるリアルタイム性能を実現した。

3.4 小型化と保守性の向上

装置の小型化を図ることは、保守性を高めるだけでなく、低コスト化につながる。信号処理器にはDSPを用いてソフトウェア化を行い、トランザクション制御器には高性能汎用プロセッサボードを採用して大幅な小型化を達成した。

一方、送信機においては、図7に示す電力増幅器をはじめ、各機能部ごとのモジュール化、並びにプラグイン実装化による小型化及び保守性の向上を達成した。

(注1) 国際標準化機構(ISO)と国際電気通信連合(ITU)により標準化されたネットワークの基本的な考え方。また、この標準化の際に、通信の機能をいくつかの階層に分類・整理したものがOSI参照モデルで、七つの階層で構成されている。



図7. 電力増幅器 送受信機の各モジュールは、小型化、低コスト化の実現のためにプラグイン実装を採用している。
Power amplifier

4 あとがき

航空管制システムでは、長期にわたる安定稼働、保守性などが不可欠であり、コスト面との調和をいかに図るかが大きな課題である。今回述べたSSRシステムでは、信号処理器のソフトウェア化、トランザクション制御器への高性能汎用プロセッサボードの採用、及び送信機のモジュール化・プラグイン実装化により、小型化、低コスト化及び保守性の向上を達成することができた。

今後も、ますます多様に発展していく航空管制システムの分野において、客先及び市場のニーズを敏感にとらえたSSRシステムの開発に努めていきたい。

謝辞

可搬型SSR装置の開発にあたり、ご意見、ご指導いただいた運輸省航空局無線課の関係各位に深く感謝の意を表します。



村松 徹也 MURAMATSU Tetsuya
情報・社会システム社 小向工場 電波応用システム技術部主務。
航空管制システム機器の設計・開発に従事。
Komukai Operations



加納 徳治 KANO Tokuji
情報・社会システム社 小向工場 電波応用システム技術部。
航空管制システム機器の設計・開発に従事。
Komukai Operations



橋田 芳男 HASHIDA Yoshio
情報・社会システム社 小向工場 電波応用システム技術部。
航空管制システム機器の設計・開発に従事。
Komukai Operations