

航空管制用二次監視レーダ - SSR モード S

Secondary Surveillance Radar for Air Traffic Control - SSR Mode S

橋田 芳男 大友 恒 久慈 義則

HASHIDA Yoshio

OOTOMO Hisashi

KUJI Yoshinori

二次監視レーダ(SSR: Secondary Surveillance Radar)は、航空機の識別情報、高度情報、及び位置情報を取得する装置であり、航空管制システムにおける重要な位置づけにある。しかし、近年の航空交通量の増大に伴い、現行SSRでは運用に限界があるため、高機能・高性能化されたSSRモードSが国際民間航空機関(ICAO: International Civil Aviation Organization)により標準化された。日本においても、国土交通省航空局にてSSRモードSの導入が開始されており、東芝はSSRモードSの開発・製造を行い同局へ納入した。

Secondary surveillance radar (SSR), an essential part of air traffic control, provides aircraft identification and altitude information. Recent years, however, have brought increased air traffic congestion, which has magnified the limitations inherent in the present SSR system. To resolve this problem, an improved SSR, that is, SSR Mode S, is being standardized by ICAO (International Civil Aviation Organization). Thus, Japan's Civil Aviation Bureau, which is administered by the Japan Ministry of Land, Infrastructure and Transport, is planning replacement of the conventional SSR system with SSR Mode S. Toshiba has, at the request of the Civil Aviation Bureau of Japan, developed and implemented SSR Mode S system.

1 まえがき

航空管制に用いられる航空機監視用レーダは、PSR(Primary Surveillance Radar)及びSSR(Secondary Surveillance Radar)に分類される。PSRが地上レーダ装置から電波を放射し、その反射波を受信処理して航空機の位置情報を取得するのに対して、SSRは航空機に搭載されたトランスポンダ(航空機側に搭載される応答装置)が持つ識別情報と高度情報を得るための質問を行い、位置情報とともにこれらの情報を取得することを目的としている。

SSRは、空港に離着陸する航空機や航空路を航行する航空機の監視用として、空港及び航空路下に配備されており、空港監視用SSRにおいては半径約100NM(約185km)範囲内の航空機監視を、航空路管制用SSRにおいては半径約250NM(約460km)範囲内の航空機の監視が行われる。

このようにSSRは航空管制システムにおける重要な役割を担っているが、近年の航空交通量の増大に伴い、従来のSSR(以下、現行SSRと呼ぶ)では近接した複数航空機の識別ができないなど、システムに起因する問題が生じてきた。

これらの問題を解決するためICAOにおいてSSRモードSの国際標準が制定され、米国における整備の後、欧州各国でその導入が計画あるいは開始されており、日本においてもSSRモードSの導入が開始された。このたび東芝は、国土交通省航空局からSSRモードS装置を受注し、運用機材としての新規開発を行い納入した。

ここでは、現行SSRの問題点とSSRモードSの利点、SSRモードSの原理、及び当社製SSRモードS装置の概要について述べる。

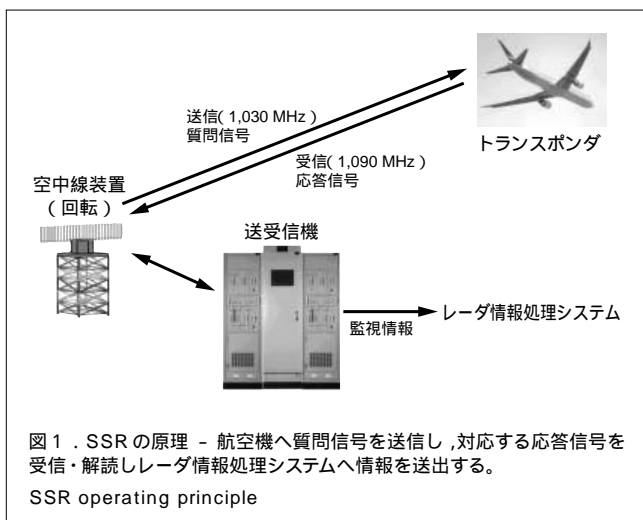
2 現行SSRの問題点とSSRモードSの利点

現行SSRでは、トランスポンダを搭載した航空機の監視情報(位置、高度、識別情報)を取得するために、質問(モードA/C質問^{注1)})信号を周波数1,030MHzのパルス変調信号として送信する。トランスポンダは質問信号を受信し、質問内容に対応した応答(モードA/C応答)信号を周波数1,090MHzのパルス変調信号として送出する。現行SSRはこの応答信号を解読し、レーダ情報処理システムへ情報の送出行う(図1)。

現行SSRは世界的に普及したシステムとなっているが、近年の航空交通量の増大に伴い、運用に問題が生じるようになってきた。現行SSRではレーダ覆域内のすべての航空機に対

(注1) モードA/C質問とモードS質問(一括質問・個別質問)

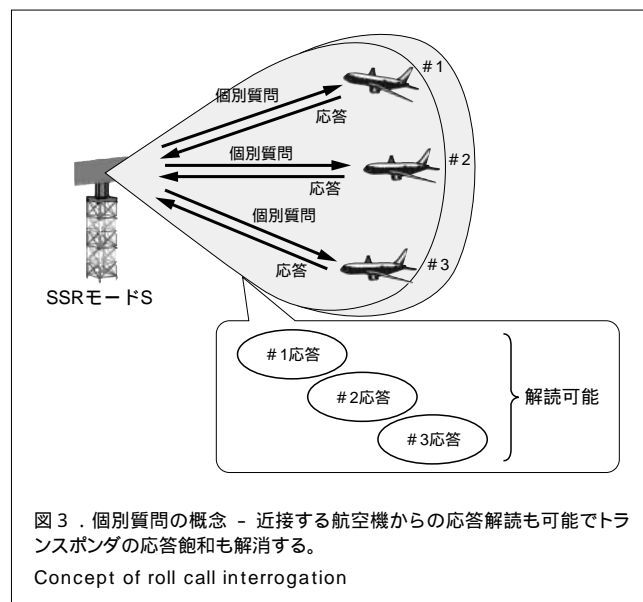
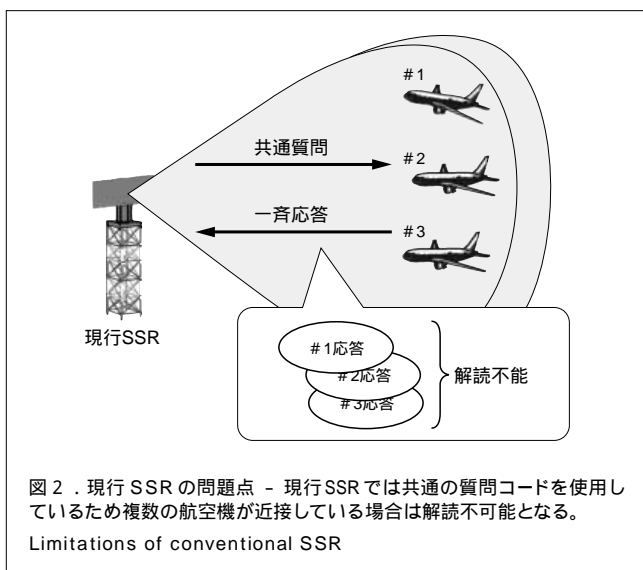
現行SSRは、モードA/C質問を行っており、全方位に質問パルスを送信して航空機の位置、高度及び識別情報を取得している。一方、SSRモードSでは、一括質問及び個別質問からなるモードS質問を行っている。一括質問では、全方位に質問パルスを送信し、モードA/C又はモードSトランスポンダを搭載した航空機から応答を受信し、航空機の位置、高度及び識別情報(モードSではモードSアドレス)を取得する。以降モードSトランスポンダ搭載機については、航空機位置を追尾して予測方位にだけ航空機のモードSアドレスを指定したモードS個別質問を行う。



して共通の質問を使用するため、複数の航空機が近接している場合には応答が重複し、解読不可能となってしまう(図2)。また、現行SSRは指向性を持った空中線を一定周期で回転させ全方位に共通の質問を行うため、多数のSSRが隣接して存在するエリアでは、トランスポンダの応答飽和を生じさせてしまう。

これらの課題を解決する方法として、SSRモードSがICAOにおいて国際標準として制定された。SSRモードSでは航空機への個別質問を行うことにより、近接する航空機からの応答の解読が可能となり(図3)、更に、トランスポンダの応答飽和という問題も同時に解決することができる。また、空地データ通信にも対応が可能である。

このように、SSRモードSは現行SSRが抱える問題点を改善する次世代のSSRとして各国で開発及び整備が進められており、日本においても多くの現行SSRが今後SSRモードSに順次換装される計画である。特に、日本の航空路監視用のSSRモードSは、航空機衝突防止装置のRA(衝突回避指



示)情報を、SSRモードSの空地データ通信機能により自動的にダウンリンクする機能を備えている。これは運用機材としては、世界で初めて採用された機能である。

3 SSRモードSの原理

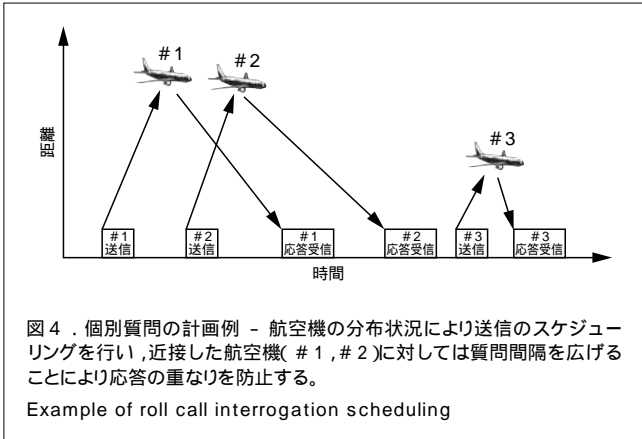
SSRモードSの主な特長として、航空機への個別質問の機能、及び航空機とのデータ通信機能が挙げられる。以下にこれらの原理を述べる。

3.1 航空機への個別質問

SSRモードSでは、質問時間を一括質問期間と個別質問期間^(注1)に分けており、一括質問では現行SSRと同様に共通の質問を行い、SSRモードS対応の航空機も、空中線回転の最初の数スキャンは質問に対する一括応答を行う。一括応答にはSSRモードS対応の航空機に付与されたユニークなモードSアドレスが含まれており、この一括応答を連続して検出することにより、モードSアドレスの取得が行われるとともに、次スキャンでの予測位置が算出される。この航空機に対しては以降、モードSアドレスを用いた個別質問が行われ、アドレスを指定された航空機のみが応答を行う。このため、不要な応答を減らすことが可能となるとともに、航空機からの応答が重ならないように計画的な質問(スケジューリング)を行うため、複数航空機が近接状態になっても応答の解読が可能となる。個別質問のスケジューリング例を図4に示す。

3.2 データ通信機能

SSRモードSでは、航空機識別のための個別質問・応答だけでなく、航空機とのデータ通信を行うことが可能であり、データ通信のプロトコル及びメッセージフォーマットはICAOによって定められている。メッセージには標準長メッセージと拡大長メッセージがあり、標準長メッセージでは最大224ビット



(56 ビット×4連続), 拡大長メッセージでは最大1,280 ビット (80 ビット×16連続) のデータ通信が可能となる。

4 東芝製 SSR モード S 装置の概要

今回, 当社が開発・製造した SSR モード S 装置の主要性能を表1に示す。また, システム系統を図5に示す。

送受信装置は冗長性を考慮したデュアル構成であり, 送信部, 受信部, 信号処理部などから構成されている。送信部から送出されるモード S 質問信号は, 局部制御監視装置及び空中線装置を介して全方位に送出される。一方, 航空機からのモード S 応答信号は逆の経路にて送受信装置に入力された後, 増幅・検波され航空機目標検出処理が行われる。検出された航空機目標情報(ターゲット情報)は, 局部制御監視装置を経由してレーダ情報処理システムへ送出される。局部監視制御装置はシステムの制御監視の中核として機能し, 保守用指示装置は航空機目標情報を表示画面上にリアルタイムで表示する。

SSR モード S の核である送信部と信号処理部について次に述べる。

4.1 送信部

送信部の系統を図6に示す。送信部は, 現行 SSR と同様にトランジスタ増幅方式による全固体化送信機であり, エキサイタ部で発生する 1,030 MHz の連続波信号を外部からの送信変調信号により変調した後, 電力増幅部にて所定電力まで増幅する。

モード A/C 質問しか行わない現行 SSR では, 送信デューティは 0.1% 程度であるが, SSR モード S ではその質問信号形式の相違から 1 回の送信期間が長くなることに加えて, 個別質問を行うため, 短期的に送信の偏りが生じる。更に, 標準長メッセージ及び拡大長メッセージを用いたデータ通信を行うため, 高デューティな送信機の開発が必要であった。今回開発した送信部はこれらを満足させるために, 送信デューティ 7%, 尖頭(せんとう)電力 2.5 kW の電力増幅部となつて

表1 . SSR モード S 装置の主要性能

Typical performance characteristics of SSR Mode S

機能・性能項目	仕様値	備考
カバレッジ	250 NM	仰角 0.5 ~ 45 °
アンテナ回転数	6 rpm	
空中線	プリントダイポール型	
送信周波数	1,030 ± 0.01 MHz	
尖頭電力	1.5 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	正接感度
解読レベル	- 81 dBm 以下	
質問モード	モード A/C 質問	
	モード A/C 専用一括質問	
	モード S 専用一括質問 (UF = 11)	
受信モード	モード S 個別質問 (UF = 4, 5, 20, 21)	
	モード A/C 応答	
	モード S 専用一括応答 (DF = 11)	
モード S 個別応答 (DF = 4, 5, 20, 21)		
データリンクプロトコル	Comm - B プロトコル	RA データリンク
最大処理機数	250 機/スキャン	

NM : 海里 DPSK : 差動位相変調
UF : Uplink Format DF : Downlink Format
Comm-B : Communication-B RA : Resolution Advisory

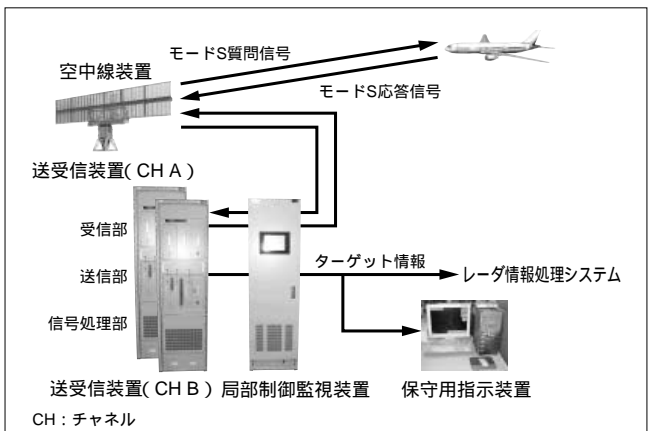
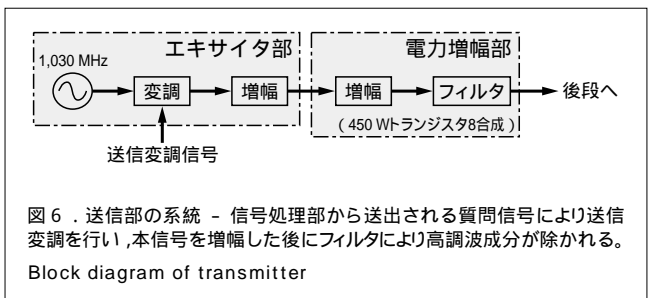
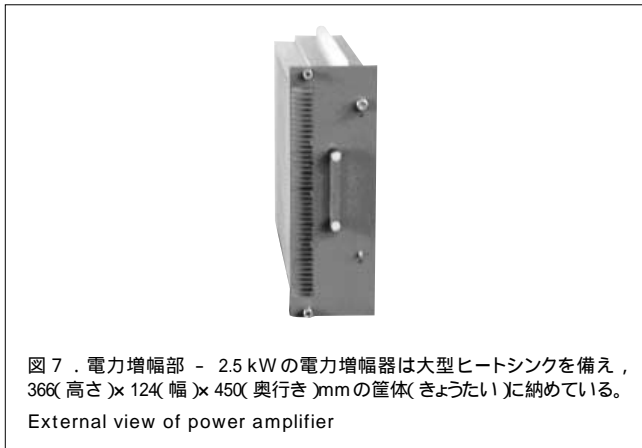


図5 . SSR モード S 装置の系統 - 送受信装置は冗長性を考慮したデュアル構成で, 検出された航空機目標情報は局部制御装置を経由してレーダ情報処理システムへ送出する。

System diagram of SSR Mode S



おり、内部は450 Wトランジスタの8合成により必要電力を出力するモジュール構成となっている。そのほか、大容量コンデンサバンクを備えて電源レギュレーションを改善するとともに、高デューティであることによる発熱を考慮した大型ヒートシンクを備えている。電力増幅部の外観を図7に示す。

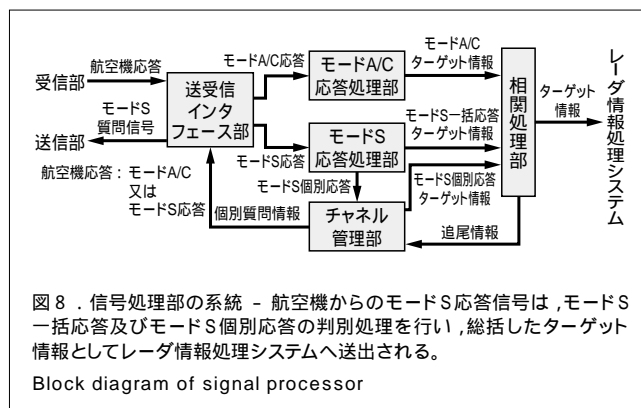


4.2 信号処理部

信号処理部の機能システムを図8に示す。

受信部からのモードS 応答信号は、送受信インタフェース部を経由してモードS 応答処理部に送出される。モードS 応答処理部では、モードS一括応答及びモードS個別応答の判別をし、モードS一括応答ターゲット情報は相関処理部へ送出される。一方、モードS個別応答はチャンネル管理部に送出され、次回(空中線が再び航空機と対向する約10秒後)に行われるモードS個別質問のスケジューリングを行うとともに、モードS個別応答ターゲット情報を相関処理部へ送出する。次回の個別質問情報は送受信インタフェース部に提供され、モードS質問信号が送出される。相関処理部では、入力されたモードS一括応答情報及びモードS個別応答ターゲット情報を基に航空機目標の追尾処理を行っており、追尾情報はチャンネル管理部へ送出され、次回の個別質問スケジューリングが行われる。受信部からのモードA/C 応答信号は、送受信インタフェース部を経由してモードA/C 応答処理部へ入力される。モードA/C 応答処理部は、モードA/C 応答のデコード及びスイープ間相関処理によりモードA/C ターゲット情報を検出し、相関処理部へ出力する。また、相関処理部では、モードA/C ターゲット情報、モードS一括応答ターゲット情報及びモードS個別応答ターゲット情報を総括したターゲット情報としてレーダ情報処理システムへ送出される。

上述したモードS信号処理は数msという短い時間内に実行する必要があり、極めて高いリアルタイム性が要求される。これを達成するために、追尾処理などの複雑な処理を行う機能はリアルタイムOS(基本ソフトウェア)による高性能汎用CPUボードを用い、また応答検出処理や個別質問スケ



ジューリング処理など、高速の繰返し処理を必要とするものについてはDSP(Digital Signal Processor)を用い、それぞれソフトウェア化によって実現を図った。

5 あとがき

SSRモードSは、長らく次世代のSSRとして導入が期待され、当社は以前から研究を進めてきた。今回の開発・製造はその集大成である。国土交通省航空局へ納入したSSRモードS装置は、納地における第1期調整工事が終了し、2003年12月から運用に供されている。SSRモードS装置への換装は今後も順次予定されており、引き続きこの分野へ貢献していきたい。

文献

- (1) International Standards And Recommended Practices, Aeronautical Telecommunications, Annex 10, Volume IV (Surveillance Radar And Collision Avoidance Systems), Amendment 73. ICAO.
- (2) Manual of Secondary Surveillance Radar (SSR) Systems, Doc. 9684, Second Edition. ICAO, 1998.
- (3) 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.
- (4) 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.



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・センサ技術部部长附。航空管制レーダシステムの設計・開発に従事。
Komukai Operations



大友 恒 OOTOMO Hisashi

社会ネットワークインフラ社 小向工場 技術開発担当。航空管制レーダシステムの設計・開発に従事。
Komukai Operations



久慈 義則 KUJI Yoshinori

社会ネットワークインフラ社 小向工場 技術開発担当。航空管制レーダシステムの設計・開発に従事。
Komukai Operations