

14. SSRモードSのネットワーク技術について

監視通信領域 ※古賀 禎、松永 圭左、宮崎 裕己

1. はじめに

SSR（二次監視レーダ:Secondary Surveillance Radar）モードSは、監視性能を向上すると共にデータリンク機能を付加したレーダである。我が国においては、2003年にSSRモードSの初号機が成田近郊の山田航空路監視レーダサイトに導入され[1]、以後、SSRモードSへの導入が進んでいる。また、近隣諸国においてもSSRモードSの導入が進んでいる。[2]

現在、多くのSSRモードS地上局は、独立運用（スタンドアローン）されている。独立運用では、モードS地上局は、地上局の相互協調は行わない

モードSにおいては、新しい航空機監視システムの出現、データリンク機能の活用、SSRモードS地上局の増加などの運用環境の変化に伴い、3つの課題が出現している。これらの課題を独立運用で解決することは困難である。

近年、これらの課題を解決する技術としてSSRモードSネットワークが注目されており、電子航法研究所では、SSRモードSネットワークを開発し、評価を進めている。

本稿では、当所において開発したSSRモードSのネットワーク技術について報告する。2節にて研究の背景について述べる。続いて3節にてモードSネットワークの特徴について述べる。更に、4節にて実験システムについて述べる。5節では、平成23年度に実施した試験の結果について報告し、最後にまとめを述べる。

2. SSRモードSネットワークの研究背景

本節では、独立運用での監視手順（プロトコル）[3][4]について2.1節にて説明した後、2.2節でSSRモードSの新たな課題について述べる。

2.1. 監視プロトコル

SSRモードSは、一括質問と個別質問の2種類の質問信号を用いて航空機の監視を行う。一

括質問は、モードSの覆域内に新たに進入した航空機を探知するために用いる。

地上局は、一定間隔(最大 250pps)で一括質問を送信し、アンテナの一回転により全方向に送信される。航空機は、一括質問を受信するとこれに対する応答（一括質問応答）を返す。地上局は、一括質問応答を数スキャン受信すると、航空機の追尾を開始する。

追尾開始後は、航空機のアドレスと地上局の識別番号（IIコード）を含む個別質問により監視を行う。この時、捕捉航空機に一括質問への応答停止命令（ロックアウト指示）を含める。

航空機は、個別質問を受信すると自分に対する質問かを確認し、自分に対する質問である時のみ、質問内の指示に従って応答を返す。ロックアウト指示が含まれた場合、受信後18秒間は、地上局からの一括質問に対しては応答を返さない。

地上局は以後走査毎にロックアウト指示を送信する。これにより、不要な一括質問応答を抑圧し、ガブルなどの信号干渉の影響を低減する。

2.2. モードSにおける新たな課題

モードSを取り巻く環境の変化に伴い、モードSには3つの新たな課題が出現している

2.2.1 新しい航空機監視システムの出現

第一の課題は、新しい航空機監視システムの出現に伴う信号環境の改善要求である。

近年、高精度で高頻度に航空機の監視を実現するため、放送型自動従属システム(ADS-B)が開発され、各国においてその導入準備が進められている。

ADS-Bは、GPS等で航空機の位置や速度を測定し、これらの情報を1秒間に数回放送する。これにより、地上局や周辺航空機は、高精度の航空機位置を高頻度に取得できる。

ADS-Bはメッセージの送信にモードS信号を

使用している。このため、航空機が多数存在する空域においては、SSR や SSR モード S などの応答による信号干渉による監視性能の低下が指摘されている。ADS-B の監視性能を向上するため、SSR や SSR モード S は信号数の削減による信号環境の改善が求められている。

2.2.2 データリンク機能の活用

第二の課題は、航空機の動態情報の取得機能 (DAPs) の利用の拡大に伴う、信号環境負荷の増加である。DAPs とは、時間と共に変化する航空機の情報をモード S によりダウンリンクする技術である。DAPs により、航空機の進路・姿勢・速度などの情報を地上で入手できるようになり、管制官の状況認識の向上や衝突検出アルゴリズムの性能の向上が期待できる。DAPs ではダウンリンクする動態情報の種類や DAPs 対応機に比例して質問数が増加する。特に、重複覆域においては、複数の地上局が独立して動態情報の取得を行った場合、多数の質問応答による信号環境負荷の増加が予想される。このため、重複覆域においては、DAPs 質問を隣接地上局間で調整し、ダウンリンクすることで、信号環境負荷を低減することが望まれる。

2.2.3 SSR モード S 地上局の増加

第三の課題は、SSR モード S 地上局の増加に伴う識別番号 (II コード) の割当問題である。SSR モード S では、地上局毎に II コード (4 ビット, 15 種類) が割り当てられる。航空機のトランスポンダは、質問応答に含まれる II コードにより、地上局を区別する。モード S 地上局の配備数が少ない場合には、隣接する地上局に異なる II コードを割り当てることができる。しかしながら、地上局の配備数が多い場合、隣接する地上局に異なる II コードを割り当てることができなくなる。この場合、いずれかの隣接地上局では、同一 II コードを割り当てることとなる。このような状況で、通常の監視プロトコルによる運用した場合、重複覆域において航空機の監視の中断が発生する。この問題は II コード割当問題と呼ばれる。連続的な監視を実現するためには、地上局間で識別番号の調整する必要がある。

3. SSR モード S ネットワーク

前述の 3 つの課題を解決する技術として、

SSR モード S ネットワークが注目されている。[5] EUROCONTROL の信号干渉に関する報告[6]では、モード S のクラスタ化(ネットワーク化)により、信号干渉を著しく減少できると述べている。

モード S ネットワークでは、複数の地上局をネットワークで接続し、地上局間で相互に情報を交換することにより、信号環境の改善、効率的なダウンリンク、識別番号の調整を実現する。

3.1. 信号環境の改善

モード S ネットワークにより、質問応答を削減できる。

①初期捕捉時の一括応答の削減

ネットワーク運用では、隣接地上局から航空機の監視情報を入手できる。隣接覆域から進入する航空機については、隣接局から入手した航空機の位置とモード S アドレスにより、個別質問により航空機を監視できる。これにより、一括質問応答が不要となり、信号環境を改善できる

②覆域外の一括応答の削減

近年、モード S 一括質問の覆域外の一括応答が問題となっている。[8] SSR モード S では、一定周期で一括質問を送信するが、一括質問は監視覆域外にも到達し、これを受けた航空機は一括応答を送信する。モード S 地上局は覆域外の航空機から応答を受信するが、処理は行わない。当然のことながらロックアウトは実施されないため、航空機は一括質問を受信毎に一括応答を返す。

ネットワークでは、隣接地上局に同一 II コードを割り当てることができる (3.3 参照)。覆域外の航空機は、隣接局によってロックアウトされるため、覆域外にあっても一括応答を返さない。以上により、一括応答が削減され、信号環境を改善できる

3.2. 効率的なダウンリンク

独立運用されている SSR モード S では、事前に決められた質問手順によって DAPs データを取得する。この場合、重複覆域においては、各モード S 地上局が同じ質問手順を行う。このため、動態情報を重複して取得することになる。

モード S ネットワークでは、重複覆域におけるデータの取得を地上局間で相互に協調して実

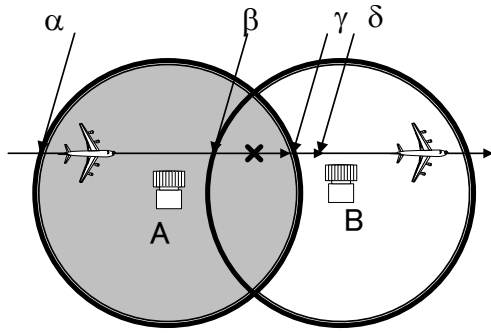


図1. 重複覆域における監視例

施することにより、質問応答の数を削減できる。

3.3. 地上局識別番号の調整

まず、従来監視プロトコルで同一 II コードを割当てた時に発生する監視の中断について図1を用いて説明した後、ネットワークによる解決法について述べる。

①同一 II コードの割当

航空機は A の覆域に進入する（位置 α ）と A により捕捉され、ロックアウトされる。航空機は、重複覆域（位置 β ）に到達したとき、B からの一括質問を受信する。しかしながら、既に A によりロックアウトされているため、B の一括質問に答えない。このため位置 β から位置 γ の間においては、B による航空機の監視ができない。

さらに、A の覆域を出る（位置 γ ）と A によるロックアウト指示は停止する。18 秒後には A によるロックアウトが解除され、B による一括質問に回答を開始する。B は一括質問応答を 2 走査連続して受信すると個別質問に移り、位置 δ からロックアウトを開始する。このように、A、B 両サイトで位置 γ から δ の間（A 覆域を離脱後数十秒間）航空機の監視が中断する。

②ネットワークによる解決

モード S ネットワークでは、ネットワークを

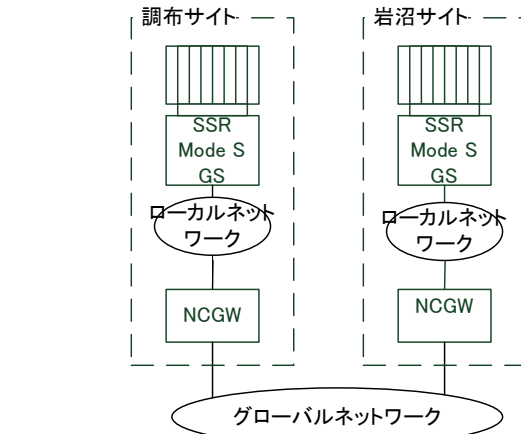


図2. ネットワーク構成

介して、A と B が航空機の位置情報を相互に交換している。B は、航空機が位置 β に到達すると、A からの航空機情報（位置と識別番号）を元に、個別質問を行う。航空機を一括質問なしに捕捉する。以上により、隣接する地上局で同じ II コードを割り当てた場合でも、航空機の連続的な監視が可能となる。

4. 実験評価システム

電子航法研究所では、SSR モード S のネットワーク技術を検証するため、モード S ネットワークを構築した。

図2にモード S 実験ネットワークの概略図を示す。実験評価システムは、2つの SSR モード S 地上局（GS）、2つのネットワーク調整ゲートウェイ（NCGW）、2つのネットワークから構成される

4.1. SSR モード S 地上局

地上局の諸元を表1に示す。図3に調布局および岩沼局の位置（図中+印）および監視覆域を示す。

ネットワーク運用を行うため、従来仕様のモード S 地上局に2つの新たな処理を実装した。

(1)トラック補完処理

トラック補完処理は、隣接地上局からの監視報を元に、航空機の捕捉を行う。地上局は、NCGW からトラック補完メッセージ（WGS84 位置、速度、時間、モード S アドレス等を含む）を受け取り、座標変換を実施し航空機トラックリストで保持する。地上局は、航空機トラック

表1. 実験局の諸元

	調布局	岩沼局
開局年	平成 20 年	平成 22 年
筐体出力	1.5kw	1.5kw
最大監視覆域 (半径)	250NM	200NM
回転周期	10 秒	4 秒

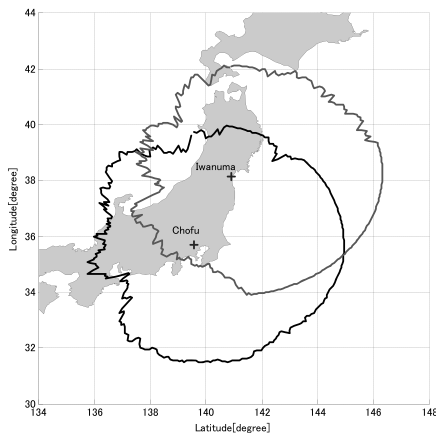


図 3. 調布局・岩沼局の監視覆域

リストの情報に基づいて、補完航空機が存在する方向にアンテナが向いた時に個別質問を行う。これにより、モード S 地上局は、一括質問無しで航空機を捕捉する。

(2)運用状態管理処理

ネットワーク運用下の地上局は隣接地上局の運用状態により、運用状態を変更する必要がある。例として、図 4 の地上局 A,B のネットワーク運用におけるロックアウト覆域を考える。通常時には、A と B は、重複覆域において領域を分けて、ロックアウトを分担している。しかしながら、地上局 B が運用を停止した場合、地上局 B が担当した領域のロックアウトが行われない。そこで、地上局 A は、ロックアウトの覆域拡大し、B 局が実施して覆域のロックアウトを担当する。

各地上局は、ネットワーク上の地上局の運用状態に合わせた、複数の状態（ソリューション）を保持している。地上局は、ネットワーク制御ゲートウェイからの指示に従って、状態の変更

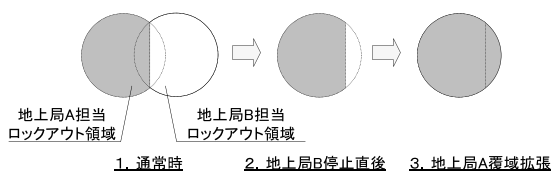


図 4. 状態変更の一例

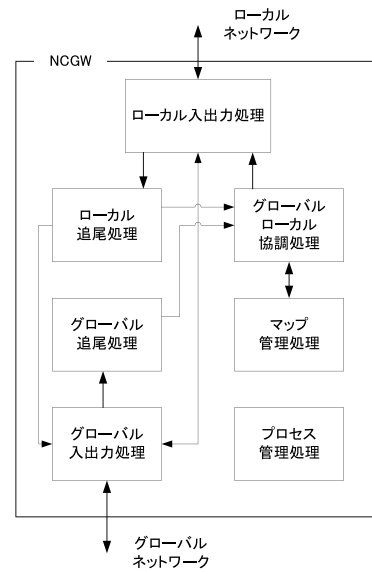


図 5. NCGW の内部処理の構成

を行う。

4.2. ネットワーク制御ゲートウェイ（NCGW）

NCGW は、ローカルネットワークを介して地上局と、グローバルネットワークを介して隣接サイトの NCGW と接続している。

NCGW は、自地上局と隣接地上局の情報を取得する。両者の情報を比較し、自サイトで不足する情報を、隣接サイト情報から抽出し、これを自サイトの地上局に送付する。

ネットワーク制御ゲートウェイは7つの処理から構成される。処理の構成を図 5 に示す。

(1)ローカル入出力処理

ローカル入出力処理では、ローカルネットワークとの入出力を管理する。ネットワークからのメッセージを受信し、メッセージ欠落の有無を検査や座標変換（地上局の極座標から WGS84 座標への変換）を行い、NCGW 内部処理に分配する。また、NCGW 内部処理からのメッセージをローカルネットワークに送出する。

(2)ローカル追尾処理

ローカル追尾処理では、自局が捕捉したモード S 機を航空機毎に追尾し、その予測位置と平滑位置の算出する。更に、追尾結果を付加したターゲットレポートをグローバルローカル協調処理に送出する。

(3)グローバル追尾処理

グローバル追尾処理では、グローバル入出力

処理からグローバル・ターゲットレポートを受信する。受信したレポートのうち、自分の地上局の監視領域内にあるモード S 機を抽出・追尾し、予測位置と平滑位置を算出する。更に追尾結果を付加したターゲットレポートをグローバルローカル協調処理に送出する。

(4)グローバルローカル協調処理

グローバルローカル協調処理は、ローカル追尾とグローバル追尾からターゲットレポートを入力し、自局と隣接局における航空機の捕捉状況を把握する。

隣接局で捕捉され、かつ、自局で捕捉していない航空機を検出すると、この航空機を捕捉するため、航空機のトラック補完メッセージを作成し、ローカル入出力処理を介して、地上局に送付する。

(5)マップ管理処理

マップ管理処理は、地上局が使用しているマップを管理する。

(6)グローバル入出力処理

グローバル入出力処理では、グローバルネットワークからの入出力を管理する。ネットワークからのレポートを NCGW 内部処理に分配する。また、NCGW 内部処理から受けたレポートをネットワークに送出する。

(7)プロセス管理処理

プロセス管理処理では、上記の 6 つの処理の状態をモニタする。

表 2. ローカル・ターゲットレポートの内容

Parameter	Description
Format	メッセージ番号
Control	オンライン・テスト情報
Time	時刻
Position	距離, 方位, 高さ
Target ID	モード S アドレス
SN	通信連番

表 3. グローバル・ターゲットレポートの内容

Parameter	Description
Format	メッセージ番号
Control	オンライン・テスト情報
Time	時刻
Position	距離, 方位, 高さ
Target ID	モード S アドレス
WGS84 Position	緯度経度
SID	サイト ID
SN	通信連番

4.3 レポート/メッセージ

本節では、ネットワーク上で送受信されるレポートおよびメッセージについて説明する。ここでは、NCGW から GS へ送出する通知をメッセージとし、GS が主な発信源となる通知をレポートと名付けた。レポート/メッセージのフォーマットは、EUROCONTROL の標準仕様である ASTERIX(17,34,48)をベースに、ASTERIX で定義されていない項目(WGS84 位置やシリアル番号等)を追加した。表 4 にメッセージの一覧と、送信元と送信先のシステムを示す。

5. 評価結果

本節では、平成 23 年には実施したトラック補完機能の連続試験の結果について述べる。

表 4. レポート/メッセージの一覧

ASTERIX	タイプ	名称	ローカル ネットワーク	グローバル ネットワーク
17	110	センサ状態要求メッセージ	NCGW→GS	
	111	センサ状態通知レポート	GS→NCGW	
	040	トラック補完メッセージ	NCGW→GS	
34	001	ノースレポート	GS→NCGW	NCGW⇔NCGW
	002	セクタレポート	GS→NCGW	NCGW⇔NCGW
	003	ブランクエリアレポート	GS→NCGW	
48	-	ローカルターゲットレポート	GS→NCGW	
48 拡張	-	グローバルターゲットレポート		NCGW⇔NCGW

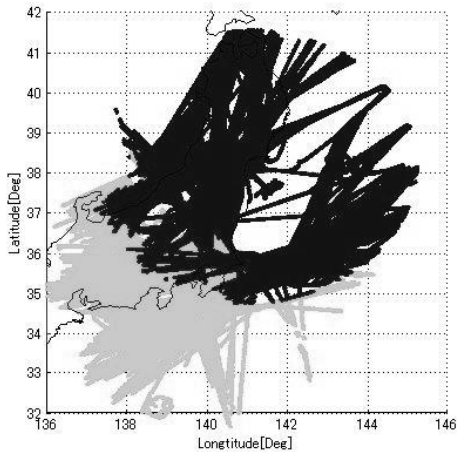


図 6. 航跡（岩沼局上、調布局下に描画）

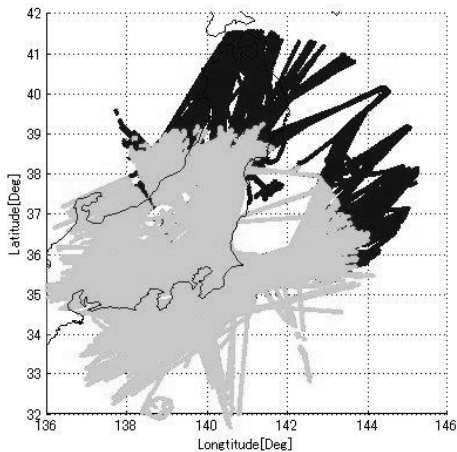


図 7. 航跡（調布局上、岩沼局下に描画）

トラック補完処理については、平成 22 年に少数の航空機による単体テスト[7]を行った。平成 23 年は、多数の航空機による長時間の連続試験を行った。

図 6,7 にトラック補完による航跡を示す。2 つの図は同じ航跡を描画したものである。図 6 は、岩沼局の航跡（黒色）を上、調布局の航跡（灰色）を下に描画した。図 7 は、調布局の航跡（灰色）を上、岩沼局の航跡（黒色）を下に描画した

両地上局ともに、連続的に航跡が得られている。また、各地上局の航跡が図 3 の監視覆域と同様の形状になっている。これより、連続的な監視が行なわれていることがわかる。

重複覆域内を通過する約 700 の航跡の検出率を求めたところ、ICAO マニュアル規定の 95% 以上となっており、ネットワーク運用でも信頼

性の高い航空機を監視できることを確認した。

6. まとめ

本稿ではモード S ネットワークについて、研究の背景、特徴、実験システムについて述べた後、平成 23 年に実施したネットワーク技術のトラック補完機能の連続試験結果について報告した。トラック補完機能が長時間および多数の航空機でも正常に動作することを確認した。

モード S ネットワークにより、地上局識別番号の割当問題を解消し、同一 II コードを割当てた地上局間での信頼性の高い航空機の監視が可能となる。

文 献

- [1] http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha03/12/121112_.html
- [2] Deng Min, 'Surveillance activities in China', ICAO IP ASP10-04, April 2011
- [3] ICAO, 'Aeronautical Telecommunications annex10 vol.IV'[3]
- [4] ICAO, 'Manual of SSR systems', Doc 9684, second edition 1998.1
- [5] T.Pagano, C.Tourigny, 'Techniques for Reducing 1090Mhz Interference', International Civil Aviation Organization Aeronautical Surveillance Panel Working paper, ASP07-04, Sep. 2009.
- [6] EUROCONTROL, '1090MHz Capacity Study-Final Report', ed2.6, July 2006
- [7] 古賀他, "SSR モード S のネットワークの開発", 第 11 回電子研講演会、平成 23 年 6 月
- [8] E.Potter, "SARPs Revision to limit number of all call interrogations in a beam dwell", ICAO-ASP TSGWP11-09R1,