

18. SSRモードSネットワークの開発

機上等技術領域 ※古賀 禎
通信・航法・監視領域 宮崎 裕己

1. はじめに

SSR (Secondary Surveillance Radar: 二次監視レーダ) 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 年に成田近郊の山田航空路監視レーダサイトにモード S 初号機が導入され[1]、以後、モード S の配備が進んでいる。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]

近年、SSR モード S を取り巻く環境は、地上局数の増加、新しい監視システムの出現、データリンク利用の拡大などにより変化している。これらの環境変化への対応する手段として、モード S ネットワークが注目されている。[3][4] モード S ネットワークは、複数のモード S 地上局をネットワークを介して接続し、地上局間で情報を交換する。また、これらの情報に元々地上局を制御する。これにより、前述の変化に対応する機能を実現する。電子航法研究所では、将来の変化に対応するため、モード S ネットワークを開発し、その機能と性能の検証を進めている。

本報告では、SSR モード S ネットワークについて、2 節でモード S の研究の背景について述べる。3 節でモード S ネットワークによる解決、4 節でモード S 実験ネットワーク、5 節で平成 22 年度に実施した機能確認実験について述べる。最後にまとめを述べる。

2. 研究の背景

本節では、2.1 節では、現在の独立運用のモード S が使用している監視プロトコル[5][6]について説明した後、2.2 節でモード S における新たなニーズについて述べる。

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質問に含まれるモード S アドレスを確認し、自機に対する質問である時のみ、応答を返す。また、質問に含まれるロックアウト指示により、受信後 18 秒間は、地上局からの一括質問に対しては応答しない。

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、信号干渉を低減する。

2.2. モード S における新たなニーズ

モード S を取り巻く環境の変化に伴い、3 つの新たなニーズが出現している

2.2.1 SSR モード S 地上局の増加

第一のニーズは、SSR モード S 地上局の増加に伴う II コードの割当問題の解消のニーズである。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、地上局が配備数が増加した場合、隣接する地上局に異なる II コードを割り当てることが困難になる。

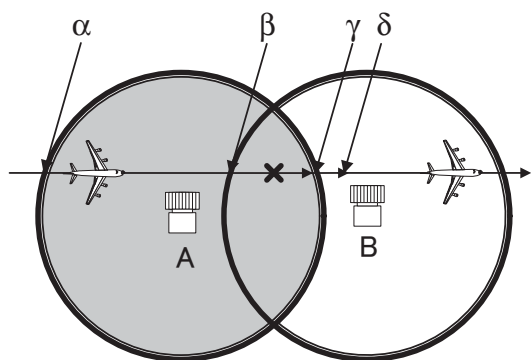


図 1. 重複覆域における監視例

隣接地空局に同じ II コードを割り当て運用を行った場合、重複覆域において航空機監視の中断が発生する。これは II コード割当問題と呼ばれる。II コードが不足する環境下において、航空機の連続的な監視を実現するためには、地上局識別番号を調整する必要がある。

2.2.2 新しい航空機監視システムの出現

第二のニーズは、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のニーズである。

近年、新しい航空機監視システムとして ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast: 放送型自動従属システム) の開発および導入が各国において進められている。ADS-B は、GPS 等で航空機の位置や速度を測定し、これらを含む情報を 1 秒あたり数回放送する。これにより、地上局や周辺航空機は、高い精度の航空機位置を高い頻度で取得できる。

ADS-B は SSR モード S 信号と同一周波数・形式の信号を使用する。このため、航空機や地上局が密集し多数の応答信号が送信される空域において、ADS-B の監視性能の低下が指摘されている。[4] これらの問題に対応するため、SSR および SSR モード S は質問信号数を削減することが求められている。

2.2.3 データリンク機能の利用拡大

第三のニーズは、動態情報の取得技術 (DAPS) の利用の拡大に伴う信号環境の改善のニーズである。動態情報 (時間と共に変化する航空機状態の情報、例えば針路・姿勢・速度など) の利用により、管制官の状況認識の向上や管制支援システムにおける衝突検出アルゴリズムの性能向上などが期待されている。DAPS では、取得する動態情報の種類や航空機の数に比

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するため、質問数の増加による信号環境への負荷の増加が予想される。このため、重複覆域における質問を効率的に行う必要がある。

3. モード S 解決

前述の 3 つのニーズを満たす技術として、SSR モード S ネットワークが注目されている。

[3] [4]

モード S ネットワークは、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、識別番号の調整、信号環境の改善、効率的なダウンリンクを実現する。

3.1 地上局識別番号の調整

3.1.1 監視の中断

まず、現監視プロトコルによる監視の中断について図 1 を用いて説明する。図において、航空機は地上局 A の覆域に進入する (位置 α) と地上局 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、地上局 B からの一括質問を受信する。しかしながら、既に地上局 A によりロックアウトされているため、地上局 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、地上局 B による航空機の監視ができない。

さらに、地上局 A の覆域を出る (位置 γ) と地上局 A からの個別質問が停止する。一方、地上局 B は、地上局 A によるロックアウトが解除された後、地上局 B による一括質問に回答を開始する。地上局 B は一括質問回答を 2 走査連続して受信すると個別質問に移る (位置 δ)。個別質問が確立するまで監視ができない。このように、地上局 A と地上局 B で位置 γ から δ の間 (A の覆域を離脱後数十秒間) 航空機の監視が中断する。

3.1.2 トラック補完

モード S ネットワークでは、ネットワークを介して、地上局 A と地上局 B が航空機の位置情報を相互に交換している。地上局 B は、航空機が位置 β に到達すると、地上局 A から受け取ったトラック (位置とモード S アドレス) を元に、個別質問による初期捕捉を行う。このような捕捉をトラック補完と呼ぶ。以後、地上局 B は、個別質問による航空機の監視を行う。これによ

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

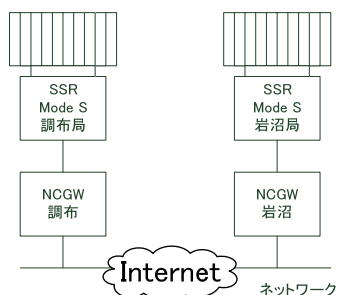


図 2 ネットワーク構成

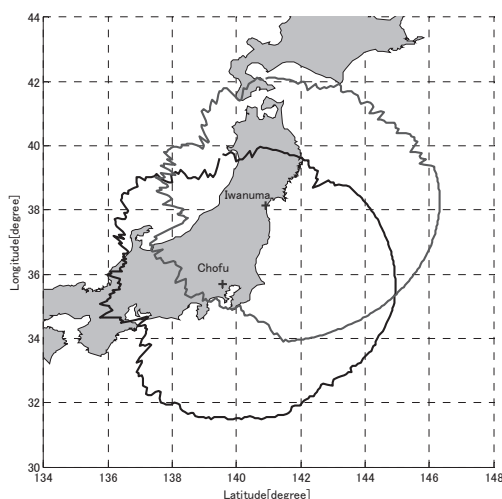


図 3. 調布局・岩沼局の監視覆域

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、重複覆域の航空機を連続的に監視する。

3.2 一括質問応答の削減による信号環境の改善

SSR モード S は、覆域に進入する航空機を一括質問で初期捕捉する。一括質問は複数回の質問と応答を送受信するため、個別質問と比べて信号環境への負荷が大きい。

モード S ネットワークでは、トラック補完により、一括質問することなく、個別質問で航空

機を捕捉する。これにより、一括質問応答を削減し、信号環境を改善する。

3.3 効率的なダウンリンク

独立運用の SSR モード S では、事前に決められた手順に従って動態情報を取得する。重複覆域においては、複数のモード S 地上局がこれらの動作を独立して実行する。このため、複数の地上局から多数の質問が送信される。

モード S ネットワークでは地上局間で相互に協調して質問を行う。これにより、重複覆域における質問数を削減し、効率的なダウンリンクを実現する。

4. モード S 実験ネットワーク

電子航法研究所では、モード S ネットワークの機能および性能を検証するため、モード S 実験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つのモード S 地上局、2つのネットワーク調整ゲートウェイ、および1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

調布局は、SSR モード S の独立運用による新技術の評価するために、平成 20 年に開局した。航空路監視用レーダと同等の性能を有する。平成 22 年にネットワーク機能を付加した。

岩沼局は、SSR モード S ネットワーク技術の検証に備え、平成 22 年に設置した。空港監視用レーダと同等の性能を有する。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。地上局の諸元を表 1 に示す。

4.2. ネットワーク制御ゲートウェイ

NCGW (Network Control GateWay, ネットワーク制御ゲートウェイ) は、図 2 で示すように、①自サイトの地上局、②隣接サイトのネットワーク制御ゲートウェイと接続しており、両者から情報を入力する。さらに、これらの情報を比較し、隣接地上局の情報から自地上局に有用な情報（トラック補完データなど）を抽出し、地上局を制御するメッセージを作成する。

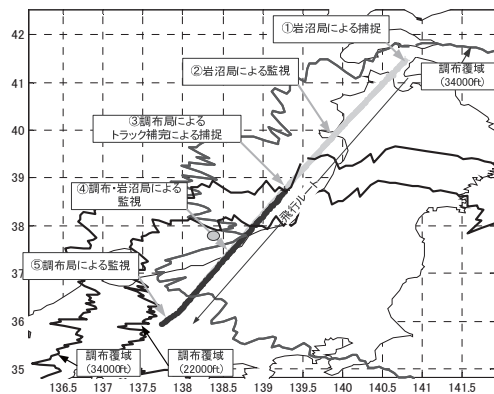


図 4.トラック補完機能による監視

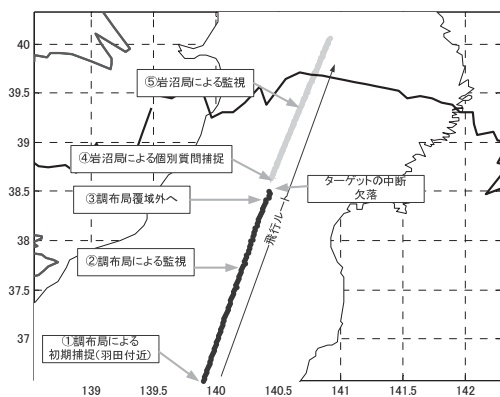


図 5 現用プロトコルによる監視

5.トラック補完機能の確認実験

ここでは、総合実験前に実施した SSR モード S 地上局のトラック補完機能の確認実験の結果を紹介する。

当所では、平成 23 年 3 月に総合実験を予定していたが、東日本大震災で岩沼局が被災したため、実験を延期した。総合実験については岩沼局復旧後に実施する予定である。

図 4 にトラック機能による航空機の監視航跡を示す。岩沼・調布地上局とも同じ II コードが割り当てられている。

監視対象機は、青森上空から長野上空へと南下している。航空機は、青森上空で岩沼局により初期捕捉され（図 4①）、個別質問により監視される（図 4②）。調布局の覆域に進入（図 4③）すると、調布局は岩沼局からの航空機情報を元に個別質問により航空機を監視を開始する。以

後、重複覆域においては、調布・岩沼両局で監視が行われ（図 4④）、調布局の単独覆域では調布局による監視が行われる（図 4⑤）。以上のように、トラック補完機能により重複覆域において、連続的に航空機を監視できることを確認した。

図 5 に、現用の監視プロトコルによる航空機の監視航跡を示す。航空機は福島上空から岩手上空方向に北上している。航空機は調布局で初期捕捉（図 5①）され、監視が開始する。航空機は、やがて岩沼局の覆域に到達するが、調布局にロックアウトされているため、岩沼局は初期捕捉できない（図 5②）。航空機が調布局の覆域外に出て（図 5③）、18 秒経過すると調布局によるロックアウトが解除される。解除により、岩沼局は一括質問により航空機を初期捕捉し、個別質問による監視を開始する（図 5④）。このように、現用の監視プロトコルでは、同じ II コードを用いた場合、覆域外に出てから個別質問を開始するまで航空機の監視が中断する。

6. まとめ

本報告ではモード S ネットワークについて、研究の背景、モード S ネットワークによる解決、モード S 実験ネットワークについて述べた後、ネットワークの重要な機能の一つであるトラック補完機能の確認実験について述べた。試験の結果、本機能により、航空機を連続的に監視できることを確認した。

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] T.Pagano, C.Tourigny, 'Techniques for Reducing 1090Mhz Interference', International Civil Aviation Organization Aeronautical Surveillance Panel Working paper, ASP07-04, Sep. 2009.
- [4] EUROCONTROL, '1090MHz Capacity Study-Final Report', ed2.6, July 2006
- [5] ICAO, 'Aeronautical Telecommunications annex10 vol.IV'[3]
- [6] ICAO, 'Manual of SSR systems', Doc 9684, second edition 1998.1