

6. SSRモードSによる地上局間識別番号の個別調整技術について

機上等技術領域 ※古賀 禎、上島 一彦
航空交通管理領域 瀬之口 敦

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新しい航空管制用レーダである。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]、以後航空路監視レーダ（ARSR）については全て、空港監視用レーダ（ASR）は比較的規模の大きい空港において、SSRモードSに更新される計画である。

SSRモードSの導入が進むにつれて新たなニーズや課題が生じており、これらに対応するための新機能の導入が望まれている。電子航法研究所では、我が国における導入に備え、新機能を有するSSRモードSを開発し、評価を実施する。

本稿では、新機能の一つである個別調整技術について以下の内容について述べる。2節では、その導入の背景と機能詳細について述べる。3節では実験で使用した実験評価システムと設定パラメータについて述べる。4節では、平成20年に実施した個別調整技術の基本機能の試験結果について報告する。最後に、まとめを述べる。

2. 地上局識別番号の個別調整技術

本節では、2.1節で現用のSSRモードSによる航空機の監視プロトコル[2][3]について説明する。2.2節でIIコードの割当問題について述べる。2.3節で、個別調整技術の機能の詳細について述べる。

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索するために用いる。

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、自機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. IIコード割当問題

SSR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(4ビット,15種類)を付与できる。しかしながら、多数の地上局が配備された場合、隣接する地上局に異なるIIコードを割り当てることができない。この場合、いずれかの隣接地上局では、同一IIコードが割り当てられる。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。

隣接する地上局に同一のIIコードを割り当てられる場合には、これらの不具合を解消する技術(地上局識別番号の調整技術)を適用したSSRモードS地上局が必要となる。様々な調整技術が各国において検討されている[3][4][5]。

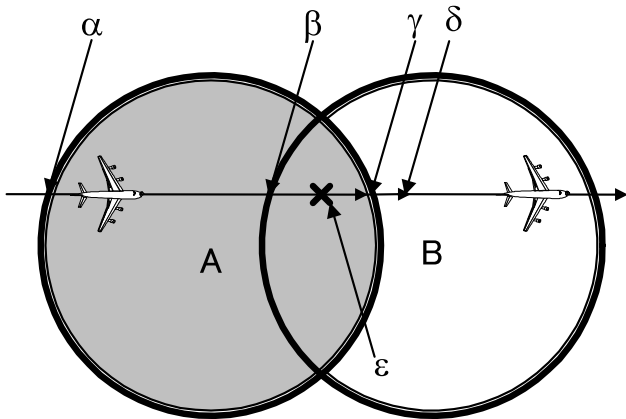


図 1. 重複覆域における監視例

2.3. 監視の中断

ここでは、監視が中断する過程について説明する。図 1 に示す地上局 A の覆域から地上局 B の覆域へと飛行する航空機を考える。A、B の監視領域は、それぞれ太線の円の内部となる。また、図 1 の灰色部分は A のロックアウト領域、白色部分は B のロックアウト領域である。

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 は一括質問回答を 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。

2.4. 個別調整技術

個別調整技術は、隣接する SSR モード S に同一の II コードを割当てた場合でも、航空機の連続的な監視を実現する。次に示す 2 つの機能に同時に使用して監視を行う。

2.4.1 確率的ロックアウトオーバーライド機能

確率的ロックアウトオーバーライド (Stochastic Lockout override) [3][4]では、一括質

問の中に強制的に一括質問回答を引き出す命令を含める。この質問を受信した航空機は、ロックアウトされている場合でも回答を返す。これにより、隣接モード S 地上局によりロックアウトされている航空機でも捕捉できる。命令には確率 ($Pr = 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16$ のいずれか) を指定できる。例えば、 $Pr = 1/2$ を含む質問を受けた航空機は乱数発生器の出力値などを使用して、確率 $1/2$ で回答を返す。

2.4.2 ロックアウト覆域制限機能

現用の SSR モード S では、覆域内にある航空機に対して全てロックアウト指示を行う。一方、ロックアウト覆域制限技術では、レーダの保持するマップに従ってロックアウトを実施する。マップは、複数のセル（1セル=約 5NM×5NM×200ft の立方体）から構成されている。セル毎にロックアウトの実施の可否を示す値を持つ。図 4 にロックアウトマップの例を示す。

3. 実験評価システム

ここでは、3.1 節で SSR モード S の実験評価システムについて紹介した後、3.2 節では実験で使用した設定パラメータについて述べる。

3.1. 実験評価システム

実験評価システムは、当所調布本所と岩沼分室に設置した 2 つの SSR モード S 地上局から構成される。それぞれの地上局の諸元を表 1 に示す。

調布局は、SSR モード S の新技術を評価するために、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。図 2 に調布局の空中線の外観を示す。

表 1. 実験局の諸元

	調布局	岩沼局
開局年	平成 20 年	平成 7 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. 調布局の空中線の外観

岩沼局は、SSR モード S 初号機の導入に備え、平成 7 年に開局した。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。

3.2. 設定パラメータ

本節では、実験で使用した設定パラメータについて述べる。

3.2.1 SLO パターン

当所 SSR モード S は、PRF=113 が割り当てられている。このため、1 秒間に 113 回（約 8.9ms 毎）一括質問の送信を行う。本実験では、3 つの確率値を (1,1/2,1/4) を 1 パターンとして、このパターンを-45 度から 75 度の範囲において繰り返し送信を行った。

3.2.2 ロックアウト領域

調布局はロックアウト覆域制限機能を、岩沼局は現用のロックアウト方式（監視領域=ロックアウト領域）を使用した。岩沼局の監視領域は地理データに基づいて算出した。ロックアウト領域は高さにより異なるが、

15000ft におけるロックアウト領域（図 4）に示す。

4. 評価結果について

ここでは、4.1 節にて在空機による評価について述べ、4.2 節にて実験用航空機による評価について述べる。

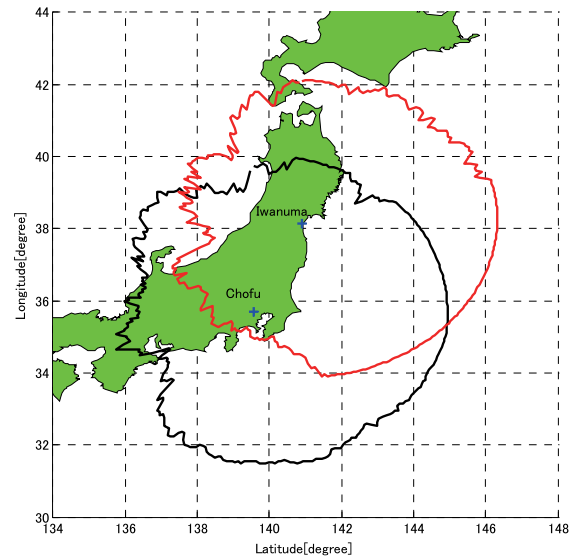


図 3. 調布局・岩沼局の監視覆域

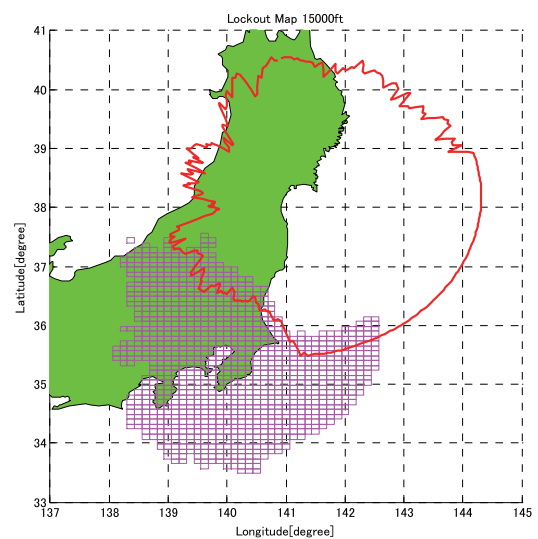


図 4. ロックアウト領域 (15000ft)

4.1. 在空機による評価

SLO 技術による一括質問応答の状況を確認した。図 5 は、一括質問応答の分布を示す。図中の点は、一括質問応答による航空機の位置を示す。

図 5 の扇形の領域が SLO 質問の送信範囲を示している。SLO 範囲では、ロックアウトされているにもかかわらず、一括質問応答が返信されて

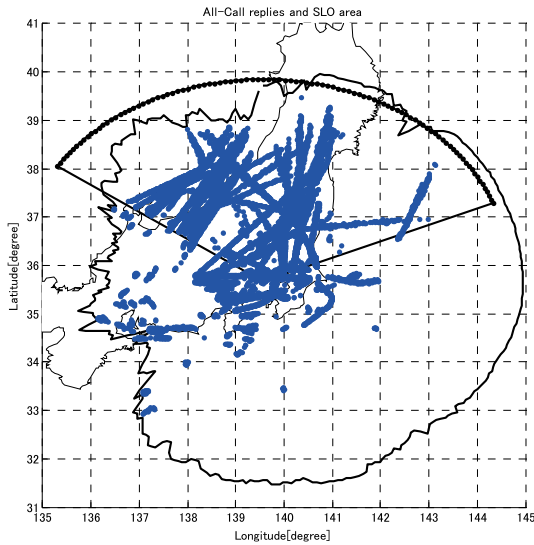


図 5. SLO 範囲と一括質問応答の分布

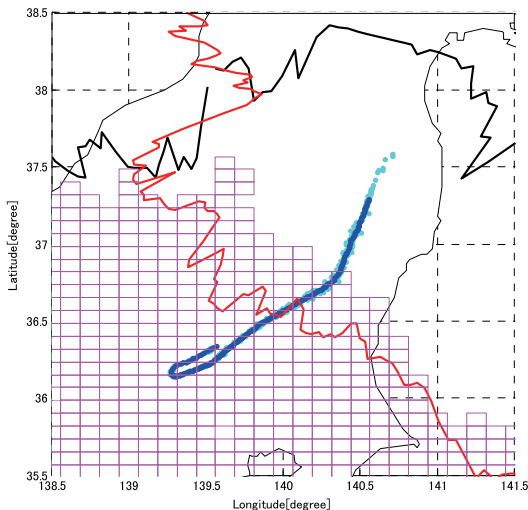


図 6. 実験用航空機の航跡

いることがわかる。

また、SLO 範囲外においては、覆域進入時や空港からの出発機などが存在する空域で一括質問応答が現れるが、その数は少ない。

以上のように、モード S 地上局およびモード S トランスポンダの SLO 機能が動作し、ロックアウト領域において 2 機の SSR モード S で監視を行えること確認した。

図 5 の SLO 範囲外の方位 0-300 度、距離 0-50NM の範囲に一括質問応答が多く現れる領域が存在した。これは、岩沼局の算出監視覆域

より実監視覆域が小さいために非ロックアウト領域が出現したことが原因である。不要な一括質問応答を減らすためには、非ロックアウト領域を小さくすることが重要であり、実監視データに基づいたマップ作成が必要である。

4.2. 実験用航空機による評価

実験用航空機を用いて調布局による測位位置の精度の検証を行った。図 6 に調布局による実験用航空機の航跡を示す。図中の黒点が個別質問応答、灰色点が一括質問応答である。実験用航空機は、岩沼局の覆域から調布局の覆域へと飛行している。岩沼のロックアウト領域内にて捕捉され、その後、連続的に監視されていることがわかる。飛行航跡もバラツキの小さいスムーズな航跡となっていた。

5. まとめ

本稿では、個別調整技術について、導入の背景、機能の詳細、実験評価システム、設定パラメータなどについて述べた後、平成 20 年に実施した個別調整技術の基本実験の結果について報告した。実験の結果、SSR モード S 地上局とモード S トランスポンダともに SLO 機能および覆域制限機能による監視を行い、重複覆域にて連続的に監視を行うことを確認した。また、測位精度についても SLO 範囲内において、精度よく測位できることを確認した。

参考文献

- [1] http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha03/12/121112_.html
- [2] ICAO, 'Aeronautical Telecommunications annex10 vol.IV',
- [3] ICAO, 'Manual of SSR systems', Doc 9684,second edition 1998.1
- [4] EUROCONTROL, 'Principles of Mode S operation and Interrogation Codes',ver2.3,2003.3.18
- [5] ICAO, 'Manual of SSR systems', Doc 9684,second edition 1998