

A D S - B の技術的条件

- ① SSRモードS拡張スキッタに関する I C A O S A R P S
の改正履歴 P 4
- ② SSRモードS拡張スキッタの概要と技術的条件 P 19
- ③ SSRモードS拡張スキッタに関する研究成果 P 29

事 務 局

資料10-S作3-2

①SSRモードS拡張スキッタに関する

I C A O S A R P S の改正履歴

ICAO SARPS 改定比較調査結果

ICAO SARPS の改訂 73、77、82 について、拡張スキッタ、ADS-B に関係する項目の改訂履歴を調査した結果を下記にまとめる。

1. 改訂 73 に関する調査

参考文献 ICAO ANNEX10 Amendment 73 のための SICASP6 議題 1 報告書 (1997 年)

規則告示等該当部分	Annex10 該当部分	改定内容	説明
全体報告までに検討	2.1.2.1.3.	SI 符号の割り当ては地域航空協定による。空域内の全トランスポンダが SI 対応でないかぎり SI ロックアウト機能を使用できない。	SI 符号割り当ての具体的手順。
全体報告までに検討	2.1.5.1.6.	拡張スキッタ機能付きのトランスポンダの名称	機能レベルの表記方法
全体報告までに検討	2.1.5.1.7.	SI 機能付きトランスポンダの名称	機能レベルの表記方法
今回検討	2.1.5.4.2.	モード S 拡張スキッタ運用できるトランスポンダは、拡張スキッタを送信する場合に捕捉スキッタを停止する機能を持つこと。 注意：将来、すべての ACAS が拡張スキッタ受信可能になったときに、捕捉スキッタを抑圧できる。	拡張スキッタには捕捉スキッタが持つすべての情報が含まれており、将来の ACAS は拡張スキッタ対応になることが検討されている。
全体報告までに検討	2.1.5.5.1.	すべてのモード S 機能を含むよう既存のモード S トランスポンダを改造する場合、1999 年 1 月 1 日より前に製造されたトランスポンダは、16ELM セグメントのバースト送信を 20dBW (100W) の最小電力で送信することが認められる。 注意：3.1.2.10.2.の電力規定を 1dB 緩和する	古いトランスポンダを ELM 運用する場合の送信電力例外規定 ELM 運用では複数のモード S ロング応答信号が短時間にバースト送信されるため、送信機出力に負担が大きい。

全体報告までに検討	3.1.2.1.5.1.1.	<p>本文変更無し。注意に次の追記。</p> <p>モードA/C/S一括質問は、孤立またはクラスタ化されたインタロゲータにより使用されることが考えられている。この質問信号に関するロックアウトは、II=0を用いることに基づいている。モードSサブネットワークの開発においては、現在、IIが0ではない符号を通信目的に使用することが検討されている。このため、II=0はモードS捕捉の一形態であるストカステイック・ロックアウト・オーバーライド (3.1.2.5.2.1.4, 3.1.2.5.2.1.5) のための予約されている。モードA/C/S一括質問は、短時間のロックアウト (3.1.2.5.2.1.4.2.1.) しかできないため、完全なモードS運用とともには使用できない。この質問信号は、応答率を指定できないため、ストカステイック・ロックアウト・オーバーライドとともには使用できない。</p>	モードA/C/S一括質問の使用上の注意を追記
全体報告までに検討	3.1.2.2.1.	応答搬送波周波数 1090 +/- 1 MHz	周波数誤差を +/- 3MHz から改定
今回検討	3.1.2.3.	<p>モードSデータ構造にフォーマット17を追記</p> <p>DF=17 : (10001)(データ)(パリティ)</p> <p>SI符号のためのデータ構造を追記</p>	<p>拡張スキッタ用フォーマット</p> <p>その他、捕捉スキッタと同じパリティを使用することなど関連項目の追記</p>
全体報告までに検討	3.1.2.4.	質問応答のデータの説明にSIを追記	SI符号追加対応
全体報告までに検討	3.1.2.5.	インターモードとモードS一括質問処理手順	SI符号追加対応
全体報告までに検討	3.1.2.5.2.1.4.	ロックアウト・オーバーライドの手順を追記	
全体報告までに検討	3.1.2.5.2.1.5.	II=0を用いる補助的な捕捉手順を追記	
全体報告までに検討	3.1.2.6.1.1.	情報交換用符号の一部改定、PCフィールド	符号の変更のみ、電波に影響なし
全体報告までに検討	3.2.1.6.1.3.~ 3.1.2.6.1.4	情報交換用符号の一部改定、DIおよびSDフィールド	符号の変更のみ、電波に影響なし

全体報告までに検討	3.1.2.6.9.	ロックアウト手順の追加改定		
全体報告までに検討	3.1.2.6.10.	情報交換用符号の一部改定、SPI用情報を追加 トランスポンダの拡張スキッタ能力を示すビット追加	符号の変更のみ、電波に影響なし	
全体報告までに検討	3.1.2.8.1.	空対空監視質問符号の一部改定、応答データの選択用	電波に影響なし	
全体報告までに検討	3.1.2.8.2.	空対空監視応答符号の一部改定、クロスリンク能力表示	電波に影響なし	
全体報告までに検討	3.1.2.8.3.	空対空監視応答符号の一部改定、クロスリンク応答	電波に影響なし	
全体報告までに検討	3.1.2.8.4.	空対空監視手順の改定	電波に影響なし	
全体報告までに検討	3.1.2.8.6.1.～ 3.1.2.8.6.3.	拡張スキッタフォーマットの詳細を追記	拡張スキッタ追加対応 電波に影響なし	
今回検討	3.1.2.8.6.4.1.	トランスポンダは通電開始後捕捉スキッタのみを送信する。必要なデータが提供されたときのみ拡張スキッタを送信開始する。捕捉スキッタは、停止(2.1.5.4.)されない限り、拡張スキッタがあっても送信を続ける。また、停止されても、拡張スキッタが送信されない場合は捕捉スキッタが送信される。	拡張スキッタ追加対応 現在使用されているACASの初期捕捉には、捕捉スキッタが必要である。将来、ACASが拡張スキッタ対応になると、拡張スキッタを用いて初期捕捉可能になる。	
今回検討	3.1.2.8.6.4.2.	飛行中位置通報に使用される拡張スキッタは、航空機が飛行中と見なせる(3.1.2.8.6.7.)ときに、0.4から0.6秒の間に一様分布するランダムな間隔で送信される。		
今回検討	3.1.2.8.6.4.3.	地上位置通報に使用される拡張スキッタは、航空機が地上にいと見なせる(3.1.2.8.6.7.)とき、高低送信レート(3.1.2.8.6.9.)から選択された間隔で送信される。高送信レートが選択されたときは、0.4から0.6秒の間に一様分布するランダムな間隔で送信される。低送信レートが選択されたときは、4.8から5.2秒の間に一様分布するランダムな間隔で送信される。	移動しない機体は低送信レート、高速移動する機体は高送信レートが適用される。低送信レートの採用により、不必要に多い信号送信を防止できる。 Amendment77に改定有り	
今回検討	3.1.2.8.6.4.4.	航空機便名等識別に使用される拡張スキッタは、高送信	Amendment77に改定有り	

		レートの上位置通報または飛行中位置通報に使用される拡張スキッタが送信されている場合に、4.8から5.2秒の間に一様分布するランダムな間隔で送信される。また、低送信レートの上位置通報または飛行中位置通報に使用される拡張スキッタが送信されている場合に、9.6 から 10.4 秒の間に一様分布するランダムな間隔で送信される。	
今回検討	3.1.2.8.6.4.5.	飛行中速度通報に使用される拡張スキッタは、航空機が飛行中と見なせる (3.1.2.8.6.7.) ときに、0.4 から 0.6 秒の間に一様分布するランダムな間隔で送信される。	
今回検討	3.1.2.8.6.4.6.	必要に応じて適宜使用される (Event-driven) 拡張スキッタは、データが提供されるたびに 1 回送信される。送信頻度は、トランスポンダにより毎秒 2 回に制限される。	ACAS-RA ダウンリンクや intent 送信などに活用が検討されている。 Amendment77 に改定有り
今回検討	3.1.2.8.6.4.7.	以上の規定にかかわらず、拡張スキッタの送信は次の場合に遅延される。 <ul style="list-style-type: none"> トランスポンダがトランザクションサイクルにある場合 捕捉スキッタまたは他の種類のスキッタ送信処理中である場合 機内相互抑圧が行われている場合 	
今回検討	3.1.2.8.6.5.	拡張スキッタ送信アンテナは、アンテナダイバシチ運用 (3.1.2.10.4.) するトランスポンダに於いて、次のように選択される。 <ul style="list-style-type: none"> 飛行中 (3.1.2.8.6.7.) にあっては、スキッタの種類毎に 2 本のアンテナを交代で用いる 	SAS は UF=4 の質問信号に含まれる SD フィールド内にある Surface Antenna Subfield である。告示等では、「地上走行中にある、SSR モード S から与えられるコマンドに従う。コマンドがない場合は、Top アンテナを使用する。」などと記載で

		<ul style="list-style-type: none"> 地上走行中 (3.1.2.8.6.7.) にあつては、SAS コマンドビット (3.1.2.6.1.4.f.) の制御に従う。SAS コマンドがない場合には Top アンテナを使用し、これをデフォルト状態とする。 	<p>きる。</p>
今回検討	3.1.2.8.6.6.	トランスポンダは、飛行中位置、地上位置、飛行中速度、スキッタ状態に関する情報提供が 2 秒以内に更新されない場合、これらの値を示すビットをすべて 0 とみなし、対応する拡張スキッタの送信を停止する。この判断は、情報の種類毎に行われる。	古い監視情報は誤った情報と見なされる。情報ビットを 0 にクリアすることにより、拡張スキッタの送信が停止される。
今回検討	3.1.2.8.6.7.	自動的に在地上状態を検出する機能を持つ航空機にあつては、この情報をトランスポンダに提供し、送信情報の選択に使用すること。このような機能を持たない航空機にあつては、飛行中位置情報のための拡張スキッタを選択すること。在地上判定機能の有無にかかわらず、TCS (3.1.2.6.1.4.1.f.) に与えられるコマンドの制御に従うこと。TCS コマンドのタイムアウト後は、上記の方法に従うこと。	TCS は UF=4 の質問信号に含まれる SD フィールド内にある Type Control Subfield である。告示等では、「地上走行中にあつては、SSR モード S から与えられるコマンドに従う。コマンドがない場合は、前述の選択方法を使用する。」などと記載できる。地上の拡張スキッタ受信局は、飛行中位置情報の形式で位置通報する航空機の中から、飛行高度情報等を用いて、地上にいる機体を判定できる。このとき、SSR モード S 等インタロゲータと連携し、TCS コマンドを用いて送信形式を地上位置に指定する手段となる。
全体報告までに検討	3.1.2.8.6.8.	スキッタ送信状態を示す応答符号の書式を追加	電波に影響なし
全体報告までに検討	3.1.2.10.3.7.1.	3.1.2.10.3.7.1.に規定されるすべての応答レートは、トランスポンダに求められているいかなるスキッタ送信を追加しても満たされること。	最大応答能力とスキッタの関係を追記
全体報告までに検討	3.1.2.10.4.2.	Top アンテナと Bottom アンテナの水平面内位置関係の	3.1.2.10.4.5.の応答遅延時間の差に関する規定は、

		<p>規定を、勧告に強制力を緩和。数値は変更無し。</p>	<p>アンテナ位置が規定を満たさなくともアンテナケ ーブルを調整して実現できる。</p>
<p>全体報告までに検討</p>	<p>3.1.2.10.4.5.</p>	<p>2 系統のアンテナを選択しながら応答する場合、アンテ ナ位置やケーブル長の不揃いによる応答遅延時間差は、 同じ振幅の質問信号に対して 0.13 マイクロ秒を超えて はならない。この条件は、トランスポンダの受信機 MTL+3dB から -21dBm の質問信号に対して満たされる こと。また、各系統の応答遅延ジッタの条件はダイバー シチアンテナを使用しないトランスポンダを同じであ る。</p>	<p>アンテナ切替による応答遅延時間差により、距離測 定値のジッタを制限するための条件である。</p>
<p>全体報告までに検討</p>	<p>3.1.2.11.1.3.1.</p>	<p>モード S 個別質問に対する応答能力は、他のモード S インタローゲータとサイドローブ領域が重なっている状 態に於いて、次の条件を満たすこと。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 4 秒間平均で毎秒 1200 回以下 ・ 1 秒間平均で毎秒 1800 回以下 ・ 40 ミリ秒平均で毎秒 2400 回以下 ・ 1 秒間平均でいかなる 3 度セクタ内にも 480 回以下 	<p>電子操作レーダゲーム内の応答能力要件を追加</p>
<p>全体報告までに検討</p>	<p>3.1.2.11.1.3.2.</p>	<p>モード S 個別質問に対する応答能力は、他のモード S インタローゲータとサイドローブ領域が重なっていない 状態に於いて、次の条件を満たすこと。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 4 秒間平均で毎秒 2400 回以下 ・ 1 秒間平均で毎秒 2400 回以下 ・ 40 ミリ秒平均で毎秒 2400 回以下 <p>1 秒間平均でいかなる 3 度セクタ内にも 480 回以下</p>	<p>他のインタローゲータのサイドローブの影響を受け ない場合の応答能力について新たに規定を追加</p>

2. 改訂 77 に関する調査

参考文献 ICAO ANNEX10 Amendment 77 のための SICASP 7 議題報告書 (2002 年)

規則告示等該当部分	Annex10 該当部分	改定内容	説明
全体報告までに検討	2.1.5.1.7.1	SI コード機能は 2003 年 1 月 1 日以降 2005 年 1 月 1 日迄に搭載された全ての Mode S トランスポンダに関して 2.1.5.1.7 のプロビジョンに従い提供される。	SI コード機能の提供期間を提示 (Mandate 化の可能性を注記)
全体報告までに検討	2.1.5.1.8	拡張スキッタを送信できる Mode S トランスポンダに該当しない機器は、Mode S トランスポンダへ指定された周波数帯 1090MHz RF 信号に従う。	トランスポンダ以外の装置の拡張スキッタの要件
全体報告までに検討	Figure 3-8	Mode S 返信、あるいは、ダウンリンクフォーマットの概要について。	拡張スキッタ/トランスポンダ以外、軍用拡張スキッタのフォーマット (DF18, DF19)
今回検討	Table 3-3	フィード定義について。	略語とフォーマット
今回検討	3.1.2.3.2.1.4	AMENDMENT 73 の改訂部 (モード S データ構造) にフォーマット 18 を追記。	拡張スキッタ用フォーマット DF=18 : (10010)(データ)(パリティ)
今回検討	3.1.2.6.10.3.1	拡張スキッタメッセージをフォーマットする能力があり、地上にいる事を自動的に判断できる機体は、有効性の確認を実施する。	拡張スキッタメッセージのフォーマット能力を有する機体の地上での有効性確認(Table3-5)
今回検討	3.1.2.8.6.2	拡張スキッタのデータ部分の変更。	電波に影響なし
全体報告までに検討	3.1.2.8.6.3.1.2	拡張スキッタのデータ部分の変更。	電波に影響なし
全体報告までに検討	3.1.2.8.6.3.1.3	拡張スキッタのデータ部分の変更。	電波に影響なし
今回検討	3.1.2.8.6.2	拡張スキッタフォーマットの詳細を追記。	拡張スキッタ追加対応 電波に影響なし
今回検討	3.1.2.8.6.4.1.	NOTE 1: もし拡張スキッタのタイプを決める入力が 60 秒間止まると、データの挿入が再開されるまで、拡張スキッタタイプの送信は中止される。	拡張スキッタ追加対応 NOTE 1(改訂) & NOTE 2(追加)

			NOTE 2: タイムアウト後(3.1.2.8.6.6)、このスキッタ イプは全て0のMEフィールドを含む。	
今回検討	3.1.2.8.6.4.2.		AMENDMENT 73の改訂部へ15ミリ秒以下の時間量 子化の使用を追記。	飛行中位置通報に使用される拡張スキッタ
今回検討	3.1.2.8.6.4.3.		AMENDMENT 73の改訂部へ15ミリ秒以下の時間量 子化の使用を追記。	地上位置通報に使用される拡張スキッタ
今回検討	3.1.2.8.6.4.4.		AMENDMENT 73の改訂部へ15ミリ秒以下の時間量 子化の使用を追記。送信間隔を9.8秒から10.2秒に変 更。	航空機便名等識別に使用される拡張スキッタ
今回検討	3.1.2.8.6.4.5.		AMENDMENT 73の改訂部へ15ミリ秒以下の時間量 子化の使用を追記。	飛行中速度通報に使用される拡張スキッタ
全体報告までに検討	3.1.2.8.6.4.7		AMENDMENT 73から影響のある変更なし。	
今回検討	3.1.2.8.6.6.		拡張スキッタの送信をAnnex 10, Volume III, Part Iに 基づき停止する事を追記。	タイムアウト
全体報告までに検討	3.1.2.8.6.8.1		AMENDMENT 73から影響のある変更なし。	
全体報告までに検討	3.1.2.8.6.8.2		AMENDMENT 73から影響のある変更なし。	
全体報告までに検討	3.1.2.8.6.9		AMENDMENT 73から影響のある変更なし。	
全体報告までに検討	3.1.2.8.6.10		Mode S 拡張スキッタは、効率的にメッセージの緯度と 経度をコード化するために、コンパクト位置通報(CPR) を使用する。CPRをコード化/解読する方法は、Annex 10, Volume III, Part I, Chapter 5, Appendix 1の方程 式に適合する。	CPR 緯度/経度コーディング
全体報告までに検討	3.1.2.8.7		拡張スキッタ(ES)、トランスポンダ以外(NT)、ダウンリ ンクフォーマット18(DF18)について。	AMENDMENT 77で新規制定

全体報告までに検討	3.1.2.8.7.1	ES/NT は下記フィールドを含む 112 ビットのダウンロードフォーマット(DF18)である。 フィールド> DF, CF, AA, ME, PI	AMENDMENT 77 で新規制定 ES、NT フィールドの構成 (PI は II/SI=0)
全体報告までに検討	3.1.2.8.7.2	DF18 のダウンロードフィールドの内 3 ビット (6・8) は 112 ビット送信のフォーマット定義に使用される。	AMENDMENT 77 で新規制定 DF18 のコントロールフィールドを定義
全体報告までに検討	3.1.2.8.7.3.1	飛行中位置タイプの ES/NT は、3.1.2.8.6.2 で定義した ME フィールドに挿入したレジスタ 05(HEX)を伴う DF18 フォーマットを使用する。	飛行中位置スキッタ
全体報告までに検討	3.1.2.8.7.3.2	地上位置タイプの ES/NT は、3.1.2.8.6.2 で定義した ME フィールドに挿入したレジスタ 06(HEX)を伴う DF18 フォーマットを使用する。	地上位置スキッタ
全体報告までに検討	3.1.2.8.7.3.3	航空機便名等識別タイプの ES/NT は、3.1.2.8.6.2 で定義した ME フィールドに挿入したレジスタ 08(HEX)を伴う DF18 フォーマットを使用する。	航空機便名等識別スキッタ
全体報告までに検討	3.1.2.8.7.3.4	飛行中速度タイプの ES/NT は、3.1.2.8.6.2 で定義した ME フィールドに挿入したレジスタ 09(HEX)を伴う DF18 フォーマットを使用する。	飛行中速度スキッタ
全体報告までに検討	3.1.2.8.7.3.5	必要に応じて適宜使用される (Event-driven) タイプの ES/NT は、3.1.2.8.6.2 で定義した ME フィールドに挿入したレジスタ 0A(HEX)を伴う DF18 フォーマットを使用する。	Event-driven スキッタ

全体報告までに検討	3.1.2.8.7.4.1	<p>通電開始時、トランスポンダに該当しない機器は、いかなるスキッタも送信しないモードでオペレーションを開始する。トランスポンダに該当しない機器は、MEフィールドに飛行中位置、地上位置、飛行中速度、航空機便名等識別スキッタタイプが含まれている時、これらのES/NT スキッタの送信を開始する。これらの判断は、各々のスキッタタイプに対して個々に行われる。</p> <p>ES/NT スキッタが送信される時のレートは Paragraph 3.1.2.8.6.4.2～3.1.2.8.6.4.6に記載されている。</p>	<p>NOTE 1: 飛行中位置、飛行中速度、航空機便名等識別を通報できない機体からの拡張スキッタ送信を抑制する。スキッタのタイプの挿入が再開されるまで、秒間止まると、データの挿入が再開されるまで、拡張スキッタタイプの送信は中止される。</p> <p>NOTE 2: このスキッタタイプは、タイムアウト後(3.1.2.8.7.6)、全て0のMEフィールドを含む。</p>
全体報告までに検討	3.1.2.8.7.4.2	ES/NT スキッタ送信は、トランスポンダに該当しない機器が他のスキッタタイプの一つを混信している場合に遅延送信する。	遅延送信
全体報告までに検討	3.1.2.8.7.4.2.1	トランスポンダに該当しない機器が使用可能となり次第、遅延していたスキッタは送信される。	遅延送信
全体報告までに検討	3.1.2.8.7.5	<p>アンテナダイバシチで作動するトランスポンダに該当しない機器(3.1.2.10.4)は、下記 ES/NT スキッタを送信する。</p> <p>a) 飛行中(3.1.2.8.6.7): 二つのアンテナから代わりとして各々のタイプを送信。</p> <p>b) 地上(3.1.2.8.6.7): 上部アンテナを使用して送信。</p>	ES/NT アンテナの選択
全体報告までに検討	3.1.2.8.7.6	トランスポンダに該当しない機器は、前回の更新から2秒以内に飛行中位置、地上位置、飛行中速度のメッセージで使用した登録更新がない場合、これら全ての56ビットをクリアする。 このタイムアウトは各々のレジスタに対して別々に決められる。	登録のタイムアウト 拡張スキッタ送信の停止は、Annex 10, Volume III, Part I, Chapter 5, Appendix 1, Paragraph 2.4.3に定義されている。

全体報告までに検討	3.1.2.8.7.7	地上のコンディションを自動識別する機体は、飛行中か地上かを通報するためのメッセージタイプを選択する入力を使用する。	飛行中/地上の識別基準
全体報告までに検討	3.1.2.8.7.8	Annex 10, Volume III, Part I, Chapter 5, Appendix 1 の Table A2-7 に規定された機体の動きに関するアルゴリズムが 2 秒に 1 回実行される。地上スキッタレートは、このアルゴリズムの結果に従いセットされる。	地上スキッタレートコントロール
全体報告までに検討	3.1.2.8.8.1	DF19 用のフォーマットは、下記フィールドを含む 112 ビットのダウンリンクフォーマットである。 DF (3.1.2.3.2.1.2) AF (3.1.2.8.8.2)	軍用フォーマット
全体報告までに検討	3.1.2.8.8.2	DF19 のダウンリンクフィールドの内 3 ビット(6-8)は 112 ビット送信のフォーマット定義に使用される。	アプリケーションフィールド コード 0~7 は Reserved
今回検討	3.1.2.8.9.1	いかなる拡張スキッタ(DF : 17/18 or 19)の最大総発信回数、1 秒当たり 6.2 回を超えないレートである。	拡張スキッタ最大送信レート
全体報告までに検討	3.1.2.10.3.10	航空機が地上にいるときは、MODE A/C/S ホルコールおよび MODE-S ホルコールに対して応答しない。	
全体報告までに検討	3.1.2.10.3.10.1	航空機は地上にいるという信号を自動的にトランスポンダーに提供すべき。	GND 状態での応答の明確化
全体報告までに検討	3.1.2.10.3.10.2	地上にいる時、MODE A/C の応答を抑制	
全体報告までに検討	3.1.2.10.3.10.3	3.1.2.8.6 に規定された拡張スキッタ送信あるいは 3.1.2.8.5 に規定された捕捉スキッタ送信を除く拡張スキッタ送信の抑圧は機体が飛行中か地上かに関わらず	スキッタ送信の抑圧 NOTE: スキッタ抑圧の追加情報は SSR システムのマニュアル(Doc9684)を参照のこと。

全体報告までに検討	3.1.2.11.1.3.2.	<p>不可能である。</p> <p>AMENDMENT 73 から当該条件が下記の様に変更。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 4 秒間平均で毎秒 1200 回以下 ・ 1 秒間平均で毎秒 1800 回以下 	<p>モード S 個別質問の応答能力</p> <p>NOTE: 質問者間の一般的なサイドロローブセパレーション確認最短距離は 35km である。</p>
-----------	-----------------	---	--

3. 改訂 82 に関する調査

参考文献 ICAO ANNEX10 Amendment 82 State Letter (2007年3月30日付、2007年11月22日発効予定)

規則告示等該当部分	Annex10 該当部分	改定内容	説明
全体報告までに検討	2.1.5.1.6	Extended Squitter に関するもの。 3.1.2.8.3 および 3.1.2.8.4 に記載されている ACAS cross-link operation の能力を有することを追記。	
全体報告までに検討	3.1.2.3 (改 73)	Military に関しての記述追加	
今回検討	3.1.2.8.6.6 (改 73)	Register time-out に関するもの。 ES 送信の終了については、Doc 9871 に記載されている。	
今回検討	3.1.2.8.6.7 (改 73)	在地上判別機能を有しない航空機において、地上における情報送信のフォーマットの追記	
今回検討	CHAPTER 5	CHAPTER 5 MODE S EXTENDED SQUITTER の追加	新規設定
今回検討	5.1.1.1	ADS-B 送信は、"position", "aircraft identification and type", "airborne velocity", "event driven message"を含む。Data Format, protocols については、Doc 9871 に記載されている。	新規設定
今回検討	5.1.1.2	MODE-S ES 送信機器は、3つにカテゴリーに大別される。 Class A : ADS-B OUT & ADS-B IN Class B : ADS-B OUT Class C : ADS-B IN Class 毎の機器の性能については、Table-1 & Table-2 に記載されている。Class により、送信電力が異なる。	新規設定
全体報告までに検討	5.1.1.3	Class A の同 Class 間の空一空間の情報の最小到達範囲	新規設定

		<p>は、以下の通りである。</p> <p>A0 -A0 間 : 10 NM</p> <p>A1 -A1 間 : 20 NM</p> <p>A2 -A2 間 : 40 NM</p> <p>A3 -A3 間 : 90 NM</p>		
--	--	--	--	--

以 上

②SSRモードS拡張スキットの概要と技術的条件

②-1 SSRモードS拡張スキットの技術的条件検討

②-2 SSRモードS拡張スキットの技術的条件 素案

全日本空輸株式会社

②-1 SSRモードS拡張スキッタの技術的条件検討

1. スキッタの分類とデータフォーマット

1-1. スキッタ (Squitter) の定義

質問信号に応答するほか応答信号と同じ波形の信号であってランダムなタイムミングで送信されるもの

1-2. 捕捉スキッタ (Acquisition Squitter)

56bits

CONTROL-8bits	MODE S ADDRESS-24bits	PARITY-24bits
---------------	-----------------------	---------------

1-3. 拡張スキッタ (Extended Squitter)

112bits

CONTROL-8bits	MODE S ADDRESS-24bits	ADS Message-56bits	PARITY-24bits
---------------	-----------------------	--------------------	---------------



ADS MESSAGE 部分代表例

- (1) 飛行中位置通報フォーマット (AIRBORNE POSITION FORMAT)
- (2) 飛行中速度通報フォーマット (AIRBORNE VELOCITY FORMAT)
- (3) 地上位置通報フォーマット (SURFACE POSITION FORMAT)
- (4) 航空機便名等識別フォーマット (IDENTIFICATION FORMAT)
- (5) イベント通報フォーマット (EVEN-DRIVEN FORMAT)

注記：上記の他に、今後、各種の情報およびそのフォーマットの導入が検討されている。

2. 拡張スキッタに関する技術的条件等
検討の前提

- ・ ICAO SARPS 改訂 73、77、82 を検討対象。
- ・ 拡張スキッタ (ADS-B 機能を含む) に関する部分で、電波の質、干渉防止上重要な部分を重点的に検討。
- ・ ADS-B については、ADS-B OUT のみ検討。

項目	捕捉スキッタ (Acquisition Squitter)		拡張スキッタ (Extended Squitter)		備考
	昭和 63 年技術的条件に基づく告示 (現行) と ICAO SARPS 記載との対応	ICAO SARPS 改訂 67 の記載	ICAO SARPS 改訂 73、77、82 の記載	昭和 63 年技術的条件 答申への反映	
送信間隔	0.8 秒以上 1.2 秒以下の間隔において 1 回送信。	3.8.2.8.4.2 捕捉スキッタの送信は、下記の例外を除き、スキッタから、0.8 秒から 1.2 秒の間でランダムな間隔で行われる。 a) トランスポンダがトランザクシヨンサイクルの状態のとき、捕捉スキッタの送信は遅延される。 b) 相互抑圧が有効の場合、捕捉スキッタの送信を遅延する。 注記参照。 捕捉スキッタは、スキ	(1) 飛行中位置通報に使用される拡張スキッタは、航空機が飛行中とみなせる時に、15m sec 以下の時間の量子化を使用し 0.4 から 0.6 秒の間でランダムな間隔で送信される。 (2) 地上位置通報に使用される拡張スキッタは、航空機が地上にいるとみなせる時に、高低送信レートのどちらかの間隔で送信される。 ・ 高送信レートの時は、15m sec 以下の時間の量子化を使用し 0.4 から 0.6 秒の間でランダムな間隔で送信される。 ・ 低送信レートの時は、15m sec 以下の時間の量子化を使用し 4.8 秒から 5.2 秒の間でランダムな間隔で送信される。 (3) 航空機便名等識別に使用される拡張スキッタは、高送信レートの地上位置通報または飛行中位置通報に使用される拡張スキッタが送信されている場合に、15m sec 以下の時間の量子化を使用し 4.8	追加	ICAO 項番 (1) 3.1.2.8.6.4.2 (2) 3.1.2.8.6.4.3 (3) 3.1.2.8.6.4.4 (4) 3.1.2.8.6.4.5 (5) 3.1.2.8.6.4.6 (6) 3.1.2.8.6.4.7 (7) 3.1.2.8.9.1 注記：

		<p>ツタの送信が始まってしまう。リンクトランザクションまたは相互抑圧により中断されない。</p> <p>注記. 相互抑圧シナリズムは、相互干渉を防止するため機上で同じ周波数帯を使用する装置を接続するために使用する。相互抑圧の間隔の後、捕捉スキッタの送信は可能となる。</p> <p>秒から 5.2 秒の間に一様に分布するランダムな間隔で送信される。また、低送信レートの地上位置通報に使用される拡張スキッタが送信されている場合に、15m sec 以下の時間の量子化を使用し 9.8 秒から 10.2 秒の間に一様分布するランダムな間隔で送信される。</p> <p>(4) 飛行中速度通報に使用される拡張スキッタは、航空機が飛行中とみなせる時に、15m sec 以下の時間の量子化を使用し 0.4 秒から 0.6 秒の間の一様分布するランダムな間隔で送信される。</p> <p>(5) 必要に応じ適宜利用される Event-driven 拡張スキッタは、データが提供されるたびに 1 回送信される。送信頻度は、トランスポンダにより毎秒 2 回に制限される。</p> <p>(6) 上記に係らず、拡張スキッタの送信は、次の場合に遅延される。</p> <ul style="list-style-type: none"> トランスポンダがトランザクションサイクルにある場合 捕捉スキッタまたは他の種類の拡張スキッタ送信処理中である場合 相互抑圧が行われている場合 <p>(7) 拡張スキッタの種類を問わず、DF17、18、19 の送信される拡張スキッタの最大総数は 1 秒当たり 6.2 回を超えてはならない。</p>		<p>高低送信レートについては、3.1.2.8.6.9 を参照。</p> <p>注記： トランザクションサイクルについては 3.1.2.4.1 を参照。</p>
--	--	---	--	--

送信波形、データブロック	無線設備規則別図第八の二に示す信号。	3.8.2.8.4.1 捕捉スキッタの送信に使用されるフォーマットは、「all-call 応答、DF 11、インテロゲータ識別が 0 の状態」とする。	(1) 捕捉スキッタは DF11 を反映。 (2) 拡張スキッタは DF17 を反映。 (3) 拡張スキッタに DF18 の反映を検討。 (4) 反映方法を要検討。	追加	別図第八の二号には、データブロックに、56 ビット、112 ビット双方の記載あり。 ICAO 項番 3.1.2.3 3.1.2.3.2.1.4
空中線の使用条件	ダイバシテイを有するものにあつては、二の空中線から交互に送信する。	3.8.2.8.4.3 アンテナダイバシテイを有するトランスポンダでは、二つのアンテナを交互に使用しスキッタを送信する。	拡張スキッタ送信のためのアンテナは、ダイバシテイ運用するトランスポンダにおいては、次のように選択される。 (1) 飛行中においては、拡張スキッタの種類毎に (2) 本のアンテナを交互に使用する。 (2) 地上走行中においては、SSR MODE S から与えられるコマンドに従う。コマンドが無い場合は、トプアンテナを使用し、これをデフォルト状態とする。	追加	ICAO 項番 3.1.2.8.6.5 (注) SAS コマンドの取扱
送信制御等	記載なし。	記載なし。	(1) モード S 拡張スキッタを運用できるトランスポンダは、拡張スキッタを送信する場合、捕捉スキッタを停止する機能を持つべきである。注記：これにより、全ての ACAS が拡張スキッタを受信可能となった時、捕捉スキッタを抑制できる。 (2) トランスポンダは通電開始後、捕捉スキッタのみを送信する。必要なデータが提供されたときのみ Event-driven を除く拡張スキッタを送信開始する。捕捉スキッタは停止されな	追加	ICAO 項番 (1) 2.1.5.4.2 (2) 3.1.2.8.6.4.1 (3) 3.1.2.8.6.6 (4) 3.1.2.8.6.7 (注) TCS コマ

		<p>い限り、拡張スキッタがあっても送信を続ける。また、位置と速度に関する拡張スキッタが送信されない場合は捕捉スキッタが送信される。注記1. これにより、位置、速度、識別を報告することの出来ない航空機からの拡張スキッタの送信を抑圧する。もし、60 秒間トランスポンダ内部のレジスタへの拡張スキッタ種別情報の入力を送切れると、データ入力再開するまでの間、当該拡張スキッタの送信は止まる。注記2. タイムアウト後、この拡張スキッタのデータフィールドのデータは全て0となる。</p> <p>(3) トランスポンダは、飛行中位置、地上位置、飛行中速度、スキッタ状態に関する情報提供が 2 秒以内に更新されない場合、これらの値を示すビットをすべて 0 とみなし、対応する拡張スキッタの送信を停止する。この判断は情報の種類ごとに行われる。注記1. 拡張スキッタの送信停止については Technical Provisions for Mode S Services and Extended Squitter (Doc 9871) に記載される。注記2. 更新されていない速度、位置、スキッタレート情報を送信することを防止するためにレジスタのデータはクリアされる。</p> <p>(4) 自動的に在地上状態を検出する機能を持つ航空機にあつては、この情報をトランスポンダに提供し、送信情報の選択に使用すること。このような機能を持たない航空機にあつ</p>		<p>ンドの取扱</p>
--	--	--	--	--------------

			では、Table 3-11 に記載されている場合を除き、飛行中位置または速度情報のための拡張スキッタを選択すること。在海上判定機能の有無にかかわらず、SSR MODE S から与えられるコマンドに従う。コマンドが無い場合は、上述の選択方法を使用する。		
--	--	--	---	--	--

3. 捕捉スキッタに関する技術的条件の検討

検討の前提

- ICAO SARPS 改訂 73、77、82 を反映。

- 主に現行の告示の記載範囲を基に、電波の質、干渉防止上重要な部分を重点的に検討。

ICAO SARPS 改訂 73	内容 (改訂 67 からの改訂部分を含む)	ICAO SARPS 改訂 77	改訂内容	ICAO SARPS 改訂 82	改訂内容	備考
3.1.2.8.5.1 Acquisition Squitter format 「送信波形、データプロック」	項番変更 (旧 : 3.8.2.8.4.1) 記載内容 67 から改訂無し 捕捉スキッタの送信に使用されるフォーマットは、「all-call 応答、DF 11、インテロゲータ識別が 0 の状態」とする。	3.1.2.8.5.1 Acquisition Squitter format 「送信波形、データプロック」	無し	3.1.2.8.5.1 Acquisition Squitter format 「送信波形、データプロック」	無し	告示の改訂不要

<p>3.1.2.8.5.2 Acquisition Squitter rate 「送信間隔」</p>	<p>項番変更 (旧 : 3.8.2.8.4.2) 捕捉スキッタの送信は、下記の例外を除き、前回のスキッタから、0.8 から 1.2 秒の間で一様に分布するランダムな間隔で行われる。 a) トランスポンダがトランザクションサイクルの状態のとき、捕捉スキッタの送信は遅延される b) 拡張スキッタが処理されている時は、捕捉スキッタは遅延される。 c) 相互抑圧が有効の場合、捕捉スキッタの送信を遅延する。 注記 1 参照。 d) 地上において、トランスポンダが MODE S 拡張スキッタのうち地上位置情報を送信していない時、捕捉スキッタは送信される。 捕捉スキッタは、スキッタの送信が始まってからは、リンクトランザクションまたは相互抑圧により中断されない。 注記 1. 相互抑圧システムは、相互干渉を防止するため機上で同じ周波数帯を使用する装置を接続するために使用する。相互抑圧の間隔の後、捕捉スキッタの送信は可能となる。 注記 2. 地上での情報提供は、航空機により自動的に選択されるもしくはスキッタ地上局からのコマンドにより選択される。</p>	<p>3.1.2.8.5.2 Acquisition Squitter rate 「送信間隔」</p>	<p>・「15m sec 以下の時間の量子化による 0.8 から 1.2 秒間の間の」に変更 ・「前回の捕捉スキッタから」に変更</p>	<p>3.1.2.8.5.2 Acquisition Squitter rate 「送信間隔」</p>	<p>無し</p>	<p>告示の改訂不要</p>
---	--	---	---	---	-----------	----------------

<p>3.1.2.8.5.3 Acquisition Squitter antenna selection 「送信アンテナ の選択」</p>	<p>項番変更 (旧 : 3.8.2.8.4.3) ダイバシティアンテナを有するトランスポンダは、捕捉スキッタを下記の通り送信する。 a) 飛行中は、トランスポンダは捕捉スキッタを二つのアンテナから交互に送信する。 b) 地上にいる時は、トランスポンダは捕捉スキッタを SAS の制御に従い送信する。 注記. トランスポンダが拡張スキッタの地上情報を送信している時は、地上では捕捉スキッタは送信されない。</p>	<p>3.1.2.8.5.3 Acquisition Squitter antenna selection 「送信アンテナ の選択」</p>	<p>b) SAS の制御が無い時は、トリアンテナの使用がデフォルトである。</p>	<p>3.1.2.8.5.3 Acquisition Squitter antenna selection 「送信アンテナ の選択」</p>	<p>無し</p>	<p>飛行中：告示の改訂不要。 地上：告示の改訂要 否検討 案 SSR MODE S の制 御に従う。制御が無 い時はトリアン テナを使用する。</p>
--	--	--	--	--	-----------	--

②-2 SSRモードS拡張スキッタの技術的条件 素案

1. 検討の前提

- (1) ICAO SARPS 改訂 73、77 および 82 の反映。
- (2) スキッタ機能の送信間隔、送信フォーマット、送信アンテナ選択、送信制御に限定して検討。
- (3) ADS-Bについては、ADS-B OUT（送信機能のみ）に限定して検討。

2. 技術的条件抽出方針

- (1) 電波の質の確保、干渉防止等の観点から最低限の技術的条件を記載することが望ましい。
- (2) データフォーマットについては、今後の情報の種類の増加、データ構成の新設、変更等から大枠を規程することが望ましい。

3. 技術的条件素案

項目	56 ビットスキッタ (捕捉スキッタ)	112 ビットスキッタ (拡張スキッタ)	備考
送信間隔	0.8秒以上1.2秒以下の間隔において1回送信。	1秒当たりの送信は6.2回を超えない。	
送信波形、データブロック	DF11の大枠(コントロール、モードSアドレス、パリティ)	DF17の大枠(コントロール、モードSアドレス、ADSデータ、パリティ)	
空中線の使用条件	ダイバシティを有するものあつては、 <ul style="list-style-type: none"> ・ 飛行中では二の空中線から交互に送信すること ・ 地上ではSSR MODE Sからの指示に従う。指示がない時はトップアンテナを使用する。 	56ビットスキッタに同じ	
送信制御等	無し	<ul style="list-style-type: none"> ・ トランスポンダは通電開始後、56ビットスキッタのみを送信する。 ・ 送信すべき有効なデータが提供された時のみ112ビットスキッタを送信する。 	

資料10-S作3-2

③SSRモードS拡張スキッタ に関する研究成果

独立行政法人電子航法研究所

モードS拡張スキッタ関連改訂を支援する研究成果概要

概要

電波法関係規定（無線設備規則及び告示等）にモードS拡張スキッタ信号を追記することを支援する研究成果を報告する。これらの研究は、運輸省電子航法研究所（当時）により実験局を使用して実施された。

1 モードS拡張スキッタが有害な干渉を与えないことを示す研究成果

当研究所の実験局免許申請に先立ち、モードS拡張スキッタの送信が同じ周波数の信号を受信するSSR及びACASに有害な干渉を与えないことを示す計算結果をまとめた。

SSRモードSの受信信号の中で比較的干渉の影響を受けやすいモードSロング応答信号についても、SSRの覆域内で200機の航空機がモードS拡張スキッタを送信したとしても、応答検出率の劣化は0.3%を超えない。この計算では、各航空機が送信するモードS拡張スキッタの数は毎秒4.2回を想定しており、現在のICAO基準の上限毎秒6.5回（計算想定約1.5倍）に換算しても応答検出率の劣化は約0.5%を超えないことを示している。

ACASについても、実際の東京空域の信号環境を想定して計算した結果、比較的干渉の影響を受けやすいモードSロング応答信号についても、ACASの覆域内で16機の航空機がモードS拡張スキッタを送信したとしても、応答検出率の劣化は0.3%を超えない。上記の総量規制の変更による換算をしても、応答検出率の劣化は0.5%を超えない。

実際のSSRやACASでは、別の原因で数%の応答検出率劣化が発生することも知られており、モードS拡張スキッタの影響は無視できる値である。

以上の研究成果は、電子情報通信学会宇宙航行エレクトロニクス研究会にて発表され、研究会参加の学識経験者による討議の上で確認された。

【該当資料】

小瀬木、住谷、白川：「拡張スキッタによる二次レーダ監視性能の劣化」
電子情報通信学会技術研究報告、SANE98-88、1998年12月

2 日本の信号環境下でモードS拡張スキッタを使用できることを示す研究成果

モードS拡張スキッタの応用において、最も困難な条件で使用されるのはACAS監視方式の改良である。これは、航空機搭載用アンテナのビーム幅が広く、干渉の影響を受けやすいためである。干渉の原因となる信号は、主に他のSSR等に対する応答信号であり、日本ではSSR等のインタローゲー

々と航空機数が多い東京周辺の空域にて最も多くなる。そこで、東京周辺で観測される干渉信号の測定値から最悪の条件を求め、モードS拡張スキッタの受信検出率の劣化を算出した。計算の結果、ACASの初期捕捉は最接近の2分前には可能であり、十分余裕を持つ性能を実現できることがわかった。ただし、衝突防止のためには位置測定値を高い頻度で更新することが必要であり、従来の質問応答方式との組み合わせが必要であることもわかった。

以上の研究成果は、電子情報通信学会宇宙航行エレクトロニクス研究会にて発表され、研究会参加の学識経験者による討議の上で確認された。

【該当資料】

小瀬木、住谷、白川：「ACAS受動監視性能の概算法」
電子情報通信学会技術研究報告、SANE97-39、1997年7月

3 概念実証実験

平成11年に当研究所の実験用航空機に実験局を開設し、モードS拡張スキッタを用いる監視支援方式の実験をしている。実験局は、当研究所によるモードSトランスポンダの試作品を改造し、拡張スキッタ送信機と質問信号環境測定のための実験機器を実現している。当時は信号に載せる情報のフォーマットも初期の検討段階にあり、この実験局は試験用に割り当てられたフォーマットを採用して日本国内でのみ有効な位置情報表現等を実現している。その他、送信アンテナの選択方式や送信レートは当時のICAO標準方式(Annex 10 Amendment 73)に準拠している。

実験結果を当研究所の研究発表会にて発表している。当研究所に設置した試作受信機の受信信号解読能力が不十分ではあったが、航空機の飛行位置を受信局に伝送することに成功している。また、ATCトランスポンダやDM E等の航空機搭載無線機の相互抑圧について、抑圧時間率は1%を超えており、拡張スキッタ送信による抑圧時間約0.06%は無視できる。また、拡張スキッタ信号の干渉によりSSR等に予想される受信性能の劣化は、通常の航空機数では前述の最悪値0.5%の数分の1と予想され、搭載品の受信抑圧による応答率劣化測定値と比較しても十分小さい値であることがわかる。

【該当資料】

小瀬木、住谷、白川：「拡張スキッタを用いるADS-Bの実験」
第32回電子航法研究所研究発表会、平成12年6月

その後、モードS機能を持つATCトランスポンダ（市販品）を改造し、より本格的なADS-Bの実験も当研究所により実施されている。

以上

拡張スキッタによる二次レーダ監視性能の劣化

小瀬木 滋、住谷 泰人、白川 昌之

運輸省 電子航法研究所
〒181 東京都 三鷹市 新川 6-38-1
ozeki@enri.go.jp

あらまし

航空管制用二次監視レーダ SSR モード S の応答装置であるモード S トランスポンダは、航空機固有のアドレスを放送するためにモード S スキッタと呼ばれる信号を自発的に送信する。この信号を拡張し、航空機位置情報等の放送媒体への応用が期待されている。これを用いて、航空機相互の自動従属監視 ADS-B を実現することや、航空機衝突防止装置 ACAS の監視方式の改良等への応用が期待されている。一方で、スキッタは SSR や ACAS に与える非同期混信妨害を与えることが知られている。本稿では、スキッタが SSR 等の監視性能に与える影響の予測結果を報告する。

キーワード スキッタ、二次監視レーダ、干渉妨害、監視性能、自動従属監視、移動通信

SSR Surveillance Performance Degradation under the Extended Squitter Interference

Shigeru Ozeki, Yasuto Sumiya and Masayuki Shirakawa
Electronic Navigation Research Institute, MOT.
6-38-1, Shinkawa, Mitaka, Tokyo, 181 Japan
ozeki@enri.go.jp

Abstract

The mode S transponder for the secondary surveillance radar (SSR) mode S transmits the mode S squitter spontaneously to broadcast its unique address. The extended squitter is expected to be one of the data link media to broadcast its aircraft position and so on. With this signal, the automatic dependent surveillance - broadcast (ADS-B), the improvements of surveillance function of airborne collision avoidance system, and other applications are expected to be realized. On the other hand, it is known that the squitter is one of the source of fruit interference. In this paper, the estimated SSR performance degradation is reported.

key words squitter, SSR, interference, surveillance performance, ADS-B, mobile communication

1. はじめに

将来の監視方式として、ADS-B（放送型自動従属監視：Automatic Dependent Surveillance - Broadcast）が提案されている。このシステムは、航空機が持つ位置情報等を放送し、移動体の相互監視など多数の監視者が存在する応用にも対応できる特徴を持つ。

その実現方法のひとつとして、モードSスキッタと呼ばれる信号を拡張して使用することが提案されている。

モードSスキッタの信号周波数は1090MHzである。1090MHzの信号を受信する装置は既に多数使用されており、航空管制に利用されているSSR（二次監視レーダ：Secondary surveillance Radar）、これと類似の機能を持つ防衛用二次レーダのIFF（敵味方識別装置：Identification Friend or Foe）、航空機に搭載されるACAS（航空機衝突防止装置：Airborne Collision Avoidance System）等が知られている。

スキッタ（Squitter）とは、ランダムなタイミングで送信される短時間のパルスまたはバースト信号である。モードSスキッタは、SSRモードSへの応答信号と同じ形式を持つ。上記のSSR等の受信機においては、スキッタは目的の信号に対する非同期混信妨害（フルーツ：FRUIT：False Replies Unsynchronized to Interrogator Transmisson または False Replies Unsynchronized In Time）になる。

SSR等の監視性能は、フルーツにより劣化するため、モードS拡張スキッタの導入前にその影響を予測しておく必要がある。本稿では、スキッタを送信する装置の数を想定し、検出中の応答信号に混信する拡張スキッタの数の確率分布を仮定して応答検出率の劣化を算出する。さらに、SSRやACASが使用するアンテナの水平面内指向性や受信信号処理方式の効果も考慮する。

また、今回使用した性能予測手法の問題点を指摘し、今後の改良について考察する。

2. 非同期混信妨害の概要

2. 1. 二次レーダの概要

二次レーダは、インタロゲータ（質問装置）とトランスポンダ（応答装置）から構成され、

距離測定等の位置測定機能とともに符号通信機能を持つ。インタロゲータは、信号の伝搬時間を測定してトランスポンダまでの距離を算出している。また、応答信号は符号化された情報を伝送できるため、インタロゲータ側でこれを解読して移動体が持つ情報を得るシステムを構成できる。

SSR、IFF、ACAS等のインタロゲータは、航空機等移動体に搭載されているATCトランスポンダに質問信号を送信し、これらが応答する信号を受信解読する。これらの装置の信号周波数は、質問信号が1030MHz、応答信号が1090MHzで共通である。これらのシステムの運用の概要を図1に示す。

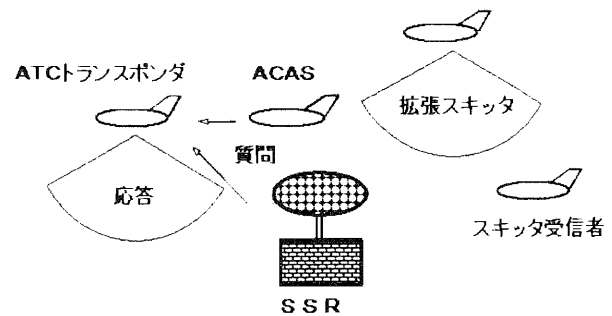


図1. システムの運用状況

従来型のSSRには、モードA、B、C、Dの4種類の質問信号が定義されているが、これらに対するATCトランスポンダの応答信号は同じ形式であり、符号化される情報のみが異なる。これらの応答信号にはATCRBS（Air Traffic Control Radar Beacon System）応答信号という総称が用いられる場合もある。本稿では、実際に多く運用されているモードの名前を用いて、モードA/C応答信号と総称する。

改良型のSSRであるSSRモードSが実用化されている。質問信号、応答信号とも、従来型のものより拡張されており、伝送可能な情報量も増加している。モードS機能を持つATCトランスポンダ（モードSトランスポンダ）には、搭載されている航空機等移動体に固有のアドレスが設定されている。SSRモードSは、このアドレスを用いて通信相手を指定しながらの位置測定や情報交換が可能である。

モードS信号には、主に位置測定や機器の制御に使用されるモードSショート信号と、デー

タリンク機能が拡張されたモード S ロング信号が定義されている。SSR モード S は、従来型の ATC トランスポンダとも信号が交換できるように、互換性を持つ質問信号も使用する。

IFF には、モード 1、2、3 等の質問信号が定義されている。モード 3 は SSR のモード A 質問信号と同じであり、軍民共用の信号である。モード 1 と 2 については、軍用移動体に搭載される IFF トランスポンダが応答する。IFF については、別のモードの存在や運用方式など不明点が多いため本稿ではこれ以上の議論をしないが、拡張スキッタの影響を受ける可能性があるシステムの一つである。

ACAS は、SSR モード S と共用性がある信号を用いて周辺の航空機を監視する二次レーダを持つ。

これらの機器が使用する質問信号および応答信号は、パルス列で構成される短時間のバースト信号である。本稿で考察する応答信号の長さを表 1 に示す。

表 1. 応答信号の長さ

応答信号名	信号の長さ(公称値)
モード A/C	20.75 μ s
モード S ショート	64 μ s
モード S ロング	120 μ s

2. 2. モード S 拡張スキッタの送信

モード S トランスポンダは、モード S スキッタと呼ばれる信号を送信している。この信号は、平均して毎秒 1 回送信され、送信タイミングはランダムにジッタしている。モード S スキッタは、航空機のモード S アドレスを放送するために使用され、これを受信した ACAS にモード S 質問を開始させる目的を持つ。

モード S スキッタはモード S ショート応答信号と同じ形式であるが、これを拡張し、モード S ロング応答信号と同じ形式にすることが提案されている。この信号は、モード S 拡張スキッタ（拡張スキッタと略称する）と呼ばれる。これにより、航空機の位置や便名等、監視に有用なデータを放送することができ、ADS-B を実現する簡易な手段になると期待されている。

拡張スキッタの送信レートは、飛行中の航空

機については 4.2Hz にすることが国際民間航空機関 ICAO の規格にするよう提案されている。地上で停止している航空機からの送信レートは、これより低い値にするよう提案されている。

また、針路変更など必要に応じて一時的に信号送信を追加することも提案されているが、詳細は未定であるため、本稿では考えていない。

2. 3. 二次レーダの性能劣化要因

二次レーダにおいて応答信号が検出されるためには、次の条件がすべて満たされる必要がある。トランスポンダが応答信号を送信できる条件としては、トランスポンダにおいて、

- ・質問信号が十分な電力で受信される
- ・質問信号が正しく解読される
- ・トランスポンダが信号送信可能な状態である

また、インタロゲータがこの応答信号を受信できる条件として、インタロゲータにおいては、

- ・応答信号が十分な電力で受信される
- ・応答信号が正しく解読される

これらの条件は、相互に独立性が高い現象の結果であり、それぞれを独立した因子として扱うことができる。このため、本稿では、二次レーダの質問信号送信に対する応答信号検出率等の総合的な性能には言及せず、モード S 拡張スキッタが影響する因子にのみ注目している。

また、これらの条件は、さらに詳細な現象の組み合わせとして、各条件が成立する要因が分析されている。この中で、スキッタの送信による影響には、下記のものと考えられる。

- ・インタロゲータの信号受信において、他のトランスポンダの応答信号へのスキッタの混信による応答信号解読率の劣化
- ・スキッタを送信するトランスポンダにおいて、信号送信可能な状態である時間率のスキッタ送信処理による低下

2. 4. トランスポンダの応答能力の劣化

トランスポンダの応答能力は、受信信号処理に使用される時間や、航空機内の抑圧バスから与えられる抑圧信号により低下する。

航空機内では、ACAS、ATC トランスポンダ、DME インタロゲータ等の送受信動作を調停するため、抑圧バスを相互に接続している。これら

の機器は、抑圧バスからの信号により送受信動作を停止する。この抑圧動作によるトランスポンダの占有時間は、抑圧バスに接続される機器の動作で決定され、ACAS 搭載機の場合は合計約 10ms になる場合がある。

トランスポンダにおける質問信号等の受信処理や応答信号の送信による占有時間は、東京空域では数 ms になると予想され、トランスポンダの周りで運用される二次レーダの数と運用方法によって大きく変化する。

拡張スキッタの送信によるトランスポンダの占有時間は毎秒約 $500 \mu s$ であり、トランスポンダが応答可能である時間を減少させる。しかし、他の要因による変化と比較してスキッタ送信による占有時間は非常に小さいため、本稿ではその影響を無視する。

2. 5. 応答信号に発生する混信

SSR の受信信号に発生する混信妨害には、その質問信号に同期した応答信号が重畳して受信される同期性ガブル、他の SSR にたいして送信された応答信号が混入するフルーツ、近隣チャンネルで運用される DME 等の信号による混信が知られている。スキッタの送信タイミングは、質問信号とは独立して選択されるため、本稿ではフルーツ発生要因の一部として考える。

多数の SSR、IFF、ACAS が同じ周波数で運用され、信号チャンネルを共用するが、これらの信号の衝突を回避する機能は存在しない。これをデータリンクのチャンネルアクセス方式として考えると、コンテンション方式のランダムアクセスである。このため、これらのインタロゲータの受信信号にはフルーツが観測される。

一般に、フルーツによる混信は、目的の信号に対してランダムなタイミングで発生する。

本稿では、インタロゲータにおける応答信号受信処理について、スキッタがフルーツとして与える混信妨害の影響に着目して考察を進める。

3. 検出性能劣化の計算

従来型のモード S スキッタを用いる ACAS の初期捕捉動作については、Mann^[9]により乱数シミュレーションが既に行われている。その後、特にフルーツ環境下の拡張スキッタによる

データ伝送容量について、Orlando ら^[10]による研究が行われている。さらに、拡張スキッタを ACAS に応用する場合についての解析も行われた。

あるフルーツ発生量のもとでの拡張スキッタの解読率は、Orlando らにより計算された^[10]。この計算手法は、拡張スキッタに混信する信号数（混信数と略称する）が、解読の障害にならない数になる確率を求めている。

本稿では、この手法をインタロゲータにおける応答信号の解読率に適用している。

3. 1. 受信される拡張スキッタの性質

飛行中の航空機による拡張スキッタの送信は、位置および速度情報の送信が毎秒 2 回ずつ合計 4 回、便名が 5 秒に 1 回ずつ行われる。これらの送信タイミングは、ランダムにジッタしている。ジッタする範囲は、位置および速度情報の送信については ± 0.1 秒、便名については ± 0.2 秒である。また、拡張スキッタの送信タイミングは、この範囲内で一様に分布している。

SSR の質問信号送信に続く受信期間が数 ms であり、スキッタの送信タイミングは受信期間より十分広い範囲にジッタしている。このため、ある受信期間に着目すればスキッタによる混信の発生はランダムであり、受信期間およびその中の応答信号に対するスキッタの混信数はポアソン分布で近似できる。

混信数が平均混信数 r のポアソン分布に従う場合、混信数が k になる確率 $P(k, r)$ は、次の式で表される。

$$P(k, r) = r^k / \{k! \exp(r)\} \quad (1)$$

ただし、平均混信数 r は、受信信号の解読を妨害できる電力で受信される単位時間あたりの拡張スキッタ数 f [Hz] と混信時間 T [s] の積で求められる。

$$r = f T \quad (2)$$

混信時間 T の値は、解読しようとしている応答信号の長さど混信する拡張スキッタの長さの和である。

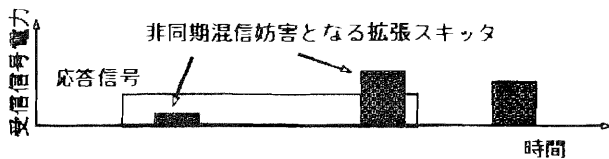


図2. 信号の重畳

拡張スキッタはモード S ロング応答信号と同じ信号形式であるため、混信時間 T は表 2 の値になる。モード S 応答信号についてはバースト誤りの検出訂正が可能であるため、混信時間は若干短い値になる。しかし、本稿では単純に信号の長さの和を用いるため、控えめな性能を算出することになる。

表2. 混信時間Tの値

応答信号名	混信時間 T
モード A/C	140.75 μ s
モード S ショート	184 μ s
モード S ロング	240 μ s

3. 2. 応答信号に混信する拡張スキッタの数

受信信号の解読を妨害できる電力で受信される単位時間あたりの拡張スキッタ数 f は、覆域内の拡張スキッタ送信機の数、SSR 等インタロゲータのアンテナパターン、信号受信処理方式等により変化する。

3. 2. 1. 受信信号処理

従来型 SSR におけるモード A/C 応答信号の受信信号処理は、信号がパルス振幅変調されているため、受信信号電力が MTL (Minimum Triggering Level) を越えるパルスパターンのみを用いている。モノパルス SSR および SSR モード S の場合は、受信されるパルスの前縁 (Leading Edge) を検出する処理回路を持つものもあるが、MTL を越えるパルスの前縁が処理されることに変わりがない。

このため本稿では、SSR におけるモード A/C 応答信号の受信処理については、MTL を越える電力を持つスキッタの混信はすべてモード A/C 応答信号への妨害になると想定した。

ACAS におけるモード A/C 応答信号の受信信号処理は、可変 MTL 機能により低レベルの混信に対して改善されている。可変 MTL は処理中の

信号の受信電力に対して 6dB 下に MTL を変更する機能で、マルチパス対策の目的で導入されたが、同時に低電力のフルーツを除去する処理にも有効である。

このため、ACAS がモード A/C 応答信号に対して行う受信信号処理は、解読中の信号より 6dB 下の電力より大きな電力を持つスキッタの混信のみが混信の影響があるものとした。

モード S 応答信号に対する受信信号処理は、信号がパルス位置変調されているため、信号期間内で受信信号の振幅比較が行われる。このため、受信信号より 6dB 低い電力を下回る混信信号の影響を無視できることが知られている。この信号処理は、SSR モード S および ACAS が使用している。

以上より、ACAS および SSR モード S がモード S 応答信号に対して行う受信信号処理は、解読中の信号より 6dB 下の電力より大きな電力を持つスキッタの混信のみが混信の影響があるものと考えられる。

小さな電力の混信信号が多数重畳して応答信号の受信に影響を与える場合があり得るが、考えている混信数が小さい場合はこの現象の発生確率がきわめて希であるため、本稿ではその効果を無視している。

3. 2. 2. スキッタの受信電力分布

航空機が面積に対して密度 ρ [機/NM²] で一様に分布する場合、SSR から距離 R 以内にある航空機数 N は次の式で求められる。

$$N = \pi \rho R^2 \quad (3)$$

インタロゲータの覆域 R_0 内に N_0 機のトランスポンダがあり、 R_0 から電力 P_0 で応答している場合、受信電力が P を超えるトランスポンダの数 N は、受信電力が距離 R の二乗に反比例するとして、次の関係が得られる。

$$N = N_0 P_0 / P \quad (4)$$

3. 2. 3. アンテナパターンの影響

SSR は回転するビームアンテナを使用している。一般に、ビーム方向の電力利得 G は 22dBi 以

上のものが使用され、代表的なものは 26dBi である。また、サイドローブのピーク利得はメインビームに対して -22dB より下の利得になるよう設計され、通常は 0dBi を超えることがない。

ここで、あるビームアンテナを回転させながら受信できる範囲内に、 N_0 機のトランスポンダが面積に対して一様に分布しながら運用されているとする。このアンテナを用いて受信され得るトランスポンダ数 N は、アンテナのビーム幅を θ [radian] として、次の式で近似する。

$$N = \left\{ \theta / 2\pi + (1 - \theta / 2\pi) S \right\} N_0 \quad (5)$$

ただし、 S はメインビームに対するサイドローブのピーク電力利得比である。この計算では、図 3 のような水平面内アンテナパターンのモデルを用いたことになる。

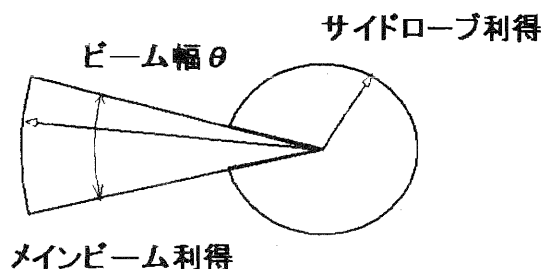


図 3. 水平面内アンテナパターンのモデル

実際は、サイドローブの方向で電力利得がさらに低い値になるが、ワーストケースとして控えめな性能を計算するため、この近似方法を採用する。サイドローブのピーク利得がメインローブの 22dB 下の場合、 S の値は約 1/158 である。

サイドローブ方向の応答信号を弁別する手法として、受信 SLS が知られている。この手法は、サイドローブの方向でサイドローブより大きな利得を持つアンテナを用いて受信した信号と振幅を比較することにより、検出された信号に混入したサイドローブ方向からの信号を弁別する手法である。しかし、本稿の計算はメインビーム

の信号とともに受信される混信による信号検出能力の劣化についてであり、検出された信号に対する受信 SLS 処理の前段階である。このため、受信 SLS 処理による信号弁別の効果は無視している。

3. 3. 計算手法のまとめ

考えているアンテナを用いて MTL 以上の電力で信号を受信できるトランスポンダ数 N_0 を想定し、アンテナパターンの影響を考慮して (5) 式から受信可能なトランスポンダ数 N を求める。このとき、毎秒受信される拡張スキッタ数 f は、 $4.2N$ [Hz] になる。

従来型 SSR と SSR モード S におけるモード A/C 応答信号の解読については、このようにして求めた f を用いて、(2) 式から平均混信数 r を求め、(1) 式において $k=0$ として混信が発生しない確率 P を求めることができる。

ACAS におけるモード A/C 応答信号の受信、および、ACAS と SSR モード S におけるモード S 応答信号の受信については、応答信号の受信信号電力に応じて受信処理に影響する拡張スキッタ数が変化する。

本稿では代表的な値として、受信機の MTL を超える電力の拡張スキッタが混信に影響する場合を計算する。このとき、混信する拡張スキッタを送信するトランスポンダ数は、前述の従来型 SSR と同じ方法で算出できる。これは、受信信号電力が MTL+6dB であると想定したことになる。これ以外の受信電力の応答信号については、 $P = \text{応答受信電力} - 6\text{dB}$ と $P_0 = \text{MTL}$ を用いて (4) 式から混信する拡張スキッタ数 N を求め、この計算結果をもとにして換算できる。

4. 計算結果

計算結果を図 4 および図 5 に示す。このグラフの横軸は、使用するアンテナを 1 回転させた場合に信号を MTL 以上の電力で受信可能なトランスポンダ数 N_0 である。また、縦軸は、応答検出率劣化 d であり、 $1-d$ を従来の応答検出率に乗算することにより、拡張スキッタの混信により劣化した応答検出率を概算できる。

4. 1. SSR の応答信号検出率の劣化

従来型 SSR および SSR モード S のアンテナ

については、 $\theta = 3$ 度、 $S = 1/158$ を想定した。このとき、 N は約 $0.0146 N_0$ である。

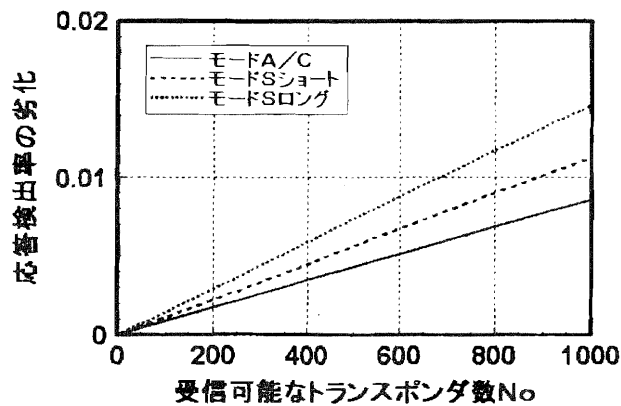


図4. SSRの応答検出率劣化

SSR モード S の受信処理容量は、トランスポンダ 200 機程度を想定する場合が多い。計算結果によれば、トランスポンダ数 N_0 を 200 とした場合の応答検出率の劣化が 0.003 (0.3%) を超えることがない。

また、この計算結果は MTL 以上の受信電力を持つ全てのトランスポンダが混信妨害を与えると想定した結果である。SSR モード S については、解読中の応答信号が $MTL+6dB$ の受信電力を持つと想定したことになる。

モード S 応答信号の受信電力が増加するにつれて、信号検出を阻害する電力を持つ拡張スキッタ数は減少する。例えば、検出中の航空機の距離が半分になり、応答信号の受信電力が $MTL+12dB$ になると、 $N_0/4$ についての計算結果がこの場合の応答検出率の劣化になり、劣化は約 $1/4$ になる。

本稿の計算方法では、従来型のスキッタがモード S ロング応答信号に与える影響は、拡張スキッタがモード S ショート応答信号に与える影響と同じである。このため、拡張スキッタの影響による性能劣化は、従来型スキッタの影響による性能劣化の 1.3 倍を越えないことがわかる。

実際の運用では、他の要因で応答検出率が 5% 程度低下することは希ではなく、拡張スキッタの混信による影響は無視できることがわかる。

4. 2. ACAS の応答信号検出率の劣化

ACAS のアンテナについては、 $\theta = 90$ 度、 $S = 1/40$ を想定した。このとき、 N は約 $0.269 N_0$ である。

ACAS のアンテナは比較的指向性が広いため、フルーツ混信の影響を受けやすい。現在でも、モード A/C フルーツの影響を受け、監視性能の劣化が発生していることが知られている。

利得が 0dBm の無指向性アンテナを用いて東京空域の電波環境を測定すると、他のインタロゲータに対して送信されたモード A/C 応答信号によるフルーツ発生数は平均で約 3.6kHz である。ただし、実験に使用した MTL は $-74dBm$ であり、ACAS と同じである。このため、拡張スキッタ以外の信号によるモード S ショート応答信号の検出率の劣化は、前述のビームアンテナを想定すると約 0.9% と予想される。

このとき、距離 14NM 以内に観測された航空機数が平均 4 機であり、受信範囲を約 28NM としても、この中のトランスポンダ数は約 16 機と予想される。この場合の拡張スキッタによる応答率劣化は、図 5 より約 0.2% であると予想される。

このため、拡張スキッタによる混信の影響は、現状の混信発生と比較して数分の 1 である。

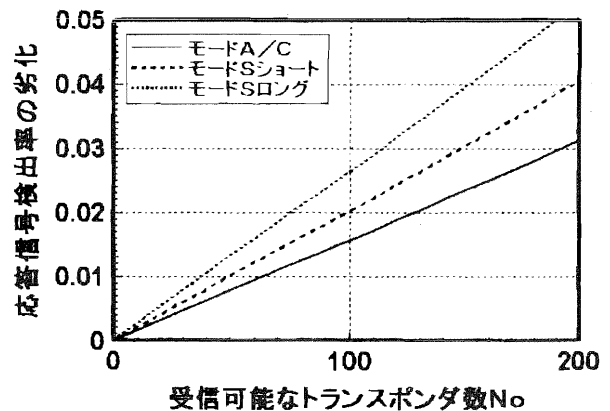


図5. ACASの応答検出率劣化

5. 考察

ACAS や SSR モード S は、応答信号を検出できない場合には質問信号を再送信する。このため、応答信号に発生する混信妨害は、これらの装置による信号発生量を変化させる効果を持つ。今回の計算手法は、このような混信妨害の二次的な効果は無視している。

計算結果に見られるように、SSR 等における応答信号検出率の変化は 1% を超えないため、拡張スキッタにより増加する質問再送信の影響は比較的小さいと予想される。

しかし、質問再送信の判定は多様な条件を用いて非線型に判定されるため、拡張スキッタの影響の正確な予測のためには、時間経過に応じた信号環境のシミュレーションを行い確認することが望ましい。

本稿の計算手法は、応答信号の検出率を低めに見積もっている。実際の検出性能を実験により確認し、この計算値と比較してより現実的な値を求める手法を開発することが望まれる。

6. まとめ

拡張スキッタの混信による応答信号検出率の低下について概算を試みた。

その結果、拡張スキッタの混信による応答信号検出率の低下は、SSR の仕様に規定される航空機密度を超える場合を想定しても 0.3% 以下であり、他の性能劣化要因と比較して無視できることがわかった。

使用した手法は簡便に混信の影響を概算できることがわかったが、ACAS の再質問制御や質問数制御等の影響が無視されている。将来の環境におけるより正確な性能予測には、これらを考慮した手法の改良が今後の課題である。

今後は、SSR や ACAS 等の機器と電磁環境の相互作用を時間経過に応じてシミュレーションしながら性能予測する手法を開発し、計算結果と実験結果の比較をする予定である。

謝辞

本研究にあたり、必要な情報を提供して下さる等、ご協力くださいました関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 【1】 ICAO : "Report of the Sixth Meeting", SICASP/6-WP/44, Montreal, February, 1997
- 【2】 小瀬木ほか : "スキッタを用いる ADS-B の性能予測"、信学技報 SANE97-142、平成 10 年 2 月
- 【3】 V. A. Orlando, et. al. : "GPS Squitter Capability Analysis", ATC-214, MIT Lincoln Lab., May 1994
- 【4】 S. Ozeki, et. al. : "Comparison of Statistical Model for FRUIT", SICASP/WG2/IP-601

- 【5】 国沢 : "確率論とその応用"、岩波全書、1982
- 【6】 小瀬木ほか : "ACAS 複合監視の検出性能"、信学技報 SANE96-34、平成 8 年 7 月
- 【7】 M. C. Stevens : "Secondary Surveillance Radar", Artech House, 1988
- 【8】 ICAO : "ANNEX-10", vol. IV, July 1995
- 【9】 P. H. Mann : "Simulation of Surveillance Processing Algorithm Proposed for the DABS Mode of BCAS", FAA-RD-77-138, February 1978
- 【10】 小瀬木ほか : "ACAS 受動監視性能の概算手法"、信学技報 SANE97-39、平成 9 年 7 月

ACAS受動監視性能の概算手法

小瀬木 滋、住谷 泰人、白川 昌之

運輸省 電子航法研究所
〒181 東京都 三鷹市 新川 6-38-1
ozeki@enri.go.jp

あらまし

航空機衝突防止装置 ACAS には、周辺を飛行する航空機の位置データを取得する監視機能が必要である。従来型 ACAS の監視方式は、二次レーダを使用して自ら電波を送信する能動監視である。能動監視方式の欠点を補うため、拡張スキッタを用いる受動監視が、ACAS 複合監視方式の一部として提案されている。本稿ではフルーツ環境下の受動監視性能の分布範囲を考慮し、99%の ACAS 運用時間で保証できる受動監視性能の概算方法とその結果を報告する。また、この概算方法に残る問題点を考察し、今後必要となる改良についてまとめる。

キーワード 衝突防止装置、自動従属監視、監視性能、干渉妨害、移動通信

Performance Estimation Method for ACAS Passive Surveillance

Shigeru Ozeki, Yasuto Sumiya and Masayuki Shirakawa
Electronic Navigation Research Institute, MOT.
6-38-1, Shinkawa, Mitaka, Tokyo, 181 Japan
ozeki@enri.go.jp

Abstract

The surveillance function which can send the intruder position data to other functions of ACAS is required. The conventional ACAS utilizes the active surveillance method of the secondary radar for this purpose. The passive surveillance method is proposed as a part of hybrid surveillance method to reduce the demerits of active surveillance. In this paper, an ACAS passive surveillance performance estimation and its result are reported with considering the distribution of fruits interference conditions. The remaining points to be improved for this estimation method are also discussed.

key words ACAS, ADS-B, Surveillance Performance, Interference, Mobile Communication

1. はじめに

ACAS（航空機衝突防止装置：Airborne Collision Avoidance System）とは、空中衝突を防止するための警報をパイロットに与える航空機搭載装置である。既に実用化されている ACAS-II は、衝突する可能性がある相手機（脅威機）を検出判定し、垂直方向の回避アドバイザリをコクピットに表示できる。この装置は、SSR モード S と共用性がある搭載型二次レーダと電子計算機等で構成される。

現在の ACAS は、搭載型二次レーダから質問信号を送信し、相手機の ATC トランスポンダに応答を求める能動監視方式である。しかし、本方式により発生する電磁干渉妨害やトランスポンダへの過負荷を軽減する必要がある。また、より正確な水平面内位置データを取得するために、ACAS の監視方式の改良が求められている。一方で、警報装置である ACAS には、他の航法装置等から独立した監視手段として能動監視の存続も望まれている。

このため、将来の ACAS の監視方式として、複合監視方式が提案されている^[1]。複合監視方式では、受動監視により初期捕捉と接近可能性の予備判定を行い、接近する相手機を従来どおり能動監視して脅威機を検出する。受動監視では、相手機が放送する位置情報を受信するのみで質問信号を使用しない。この受動監視の性能は非同期混信妨害（フルーツ）等により劣化するため、十分な脅威機検出確率を実現できるかが懸念されている。

本稿では、特に、脅威機検出確率の主な因子として、相手機を初期捕捉できる確率等に注目した。フルーツ環境下での受動監視については平均的な性能が議論された例^[1]があるが、本稿ではその分布範囲も考慮した結果を報告する。さらに、筆者らが以前行った性能予測^[7]以降に勧告された規格改定^[1]への対応を試みる。

また、今回使用した性能予測手法の問題点を指摘し、今後の改良について考察する。

2. 複合監視方式の概要

2. 1. 使用される信号の概要

ACAS は、SSR モード S と共用性がある信号を用いて周辺の航空機を監視する。使用される

信号周波数は、質問信号が 1030MHz および応答信号が 1090MHz であり、どちらも SSR のものと同じである。

また、使用される信号形式も SSR モード S と共通である^[8]。質問信号および応答信号は、パルス列で構成される短時間のバースト信号である。ACAS は、レーダ測距の測定対象および符号通信媒体としてこれらの信号を使用する。

多数の SSR/IFF や ACAS が信号周波数（信号チャンネル）を共用するが、信号の衝突を回避する機能は存在しない。このため、データリンクのチャンネルアクセス方式としては、コンテンション方式のランダムアクセスである。このため、ACAS の受信信号にはフルーツが観測される場合があることが知られている。

2. 2. 従来の監視手順の概要

従来の ACAS-II のモード S 能動監視では、相手機のモード S アドレスを一機毎に指定しながら質問信号を送信する。このため、能動監視の開始以前に周囲の相手機のモード S アドレスを知る必要がある。このアドレスは初期捕捉 (Acquisition) により得られる。

初期捕捉は、相手機のモード S トランスポンダが間欠的に放送する信号を受信することにより行われ受動的である。この放送には、従来型のモード S スキッタが使用される。スキッタとは、ランダムなタイミングで自発的に送信される短時間のパルス信号である。従来型のモード S スキッタは、モード S ショート応答と同じ信号形式であり、平均毎秒 1 回送信される。

従来型スキッタの受信頻度が十分高いと判定されたとき、受動的に初期捕捉されたとみなされる。その後は、このスキッタを解釈して得られる相手機のモード S アドレスを用いて質問信号を送信し、トランスポンダに気圧高度データ等相手機の情報を持つ応答信号の送信を求める。これにより能動的な初期捕捉を開始する。この時に得られる相手機の距離や接近速度を用いて最接近までの時間算出を試み、次のような場合は能動監視を一時停止する。

- ・最接近まで十分な時間がある
- ・能動監視が不可能であるほど相手機が遠方

十分接近していると判断された相手機に対し

ては、定期的な能動監視を継続し、毎秒1回の位置データ更新を試みる。応答信号を受信できない場合は、再質問が行われるが、干渉妨害を抑制するため再質問回数は制限される^[8]。

この能動監視方式は、信頼性が高い監視を実現し、回避方向の調整に必要な1対1のデータリンクを構成できる特徴を持つ。

一方、N機の航空機が相互に監視するために必要な最小監視回数は $N(N-1)$ 回であり、航空機数Nの増加とともに急速に信号送受信回数が増加する。このとき、干渉制限アルゴリズムの併用にもかかわらず、航空機密度が高い空域ではトランスポンダ利用率が高くなりすぎるため、ACASやSSRの監視性能の劣化要因になり得ることが知られている。特に、能動的初期捕捉の段階では相手機が比較的遠方にある場合が多く、信号を受信できる確率が低下して電波を有効に利用できない場合が知られている。

2. 3. 複合監視手順の概要

複合監視では、相手機が放送する位置データを受信する受動監視により、受動的初期捕捉の段階で相手機の位置データが得られる。

受動監視で得た相手機の位置データは、初期捕捉と接近の予備判定に使用される。一方、能動監視は、受動監視で初期捕捉された相手機の内、ある距離範囲内に接近すると予備判定されたものの監視や、受動監視で得た位置情報の検証に使用される。

複合監視方式の受動監視に対応するため、モードSトランスポンダは、モードSアドレスと同時に位置情報を放送する必要がある。データの増加に対応するため、従来型のモードSスキッタが拡張されて使用される。この信号は、モードS拡張スキッタ(拡張スキッタと略称する)と呼ばれ、信号形式はモードSロング応答信号と同じである。

このように、受動監視には、能動監視の前段階として、初期捕捉や接近する相手機の予備判定等、脅威機の初期検出のために十分な確率で位置データを更新することが要求される。一方では、拡張スキッタの信号が長いと、従来型のスキッタと比較して他の信号との衝突頻度が高くなり、混信妨害の影響を受けやすいことが知られている。

3. 受動監視性能の計算

3. 1. 計算手法の概要

現用のモードSスキッタを用いるACASの初期捕捉動作については、Mann^[9]により乱数シミュレーションが既に行われている。その後、特にフルーツ環境下の拡張スキッタによるデータ伝送容量について、Orlandoら^[3]による研究が行われている。

ここでは、特に初期捕捉の性能を知るため、相手機を初期捕捉済みである確率と相手機が最接近するまでの時間の関係を求める。本稿では、この確率を、ACASが行う初期捕捉処理の状態遷移モデル^[2]を用いて算出する。

状態遷移モデルでは、考えている監視対象機の初期捕捉処理の進行状況が、初期状態から捕捉完了状態の集合までの各種の状態にて表現される。初期捕捉処理の状態は、ある時間間隔で行われる位置データ更新の成功/失敗に応じて遷移する。ある時点において初期捕捉処理がある状態にある確率は、時間の経過とともに他の状態に遷移する確率を用いて、処理の初期状態から逐次計算できる。

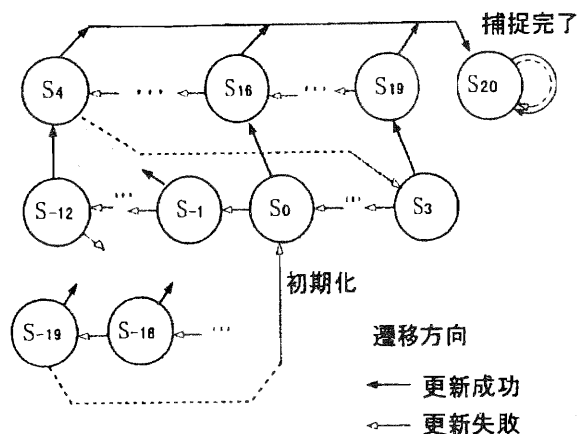


図1. 初期捕捉処理の状態遷移モデル

本稿の場合、初期捕捉処理の各状態にある確率は、スキッタ送受信毎に、その送受信による位置データ更新確率 P_{id} に応じて変化する。計算に使用した初期捕捉処理の状態遷移モデルを図1に示す。このモデルは、ランニングサム方式を表している。

ある特定のアドレスを持つスキッタの受信について、0に初期化されたランニングサム s の値は、位置データ更新に成功すれば16が加算さ

れ、失敗すれば1が引かれる。sが20を超えれば初期捕捉に成功したとみなし、-20になればこのアドレスのスキッタの受信は不可能とみなされて初期化される。

位置データ更新確率 P_d は、十分な電力でスキッタを受信できる確率 P_i (リンク成立確率) と、混信妨害のもとで受信されたスキッタの解読率 P_a の積で近似した。これらの計算方法の概要を以下に示す。

3. 1. 1. リンク成立確率

リンク成立確率 P_i は、相手機のモードSトランスポンダが送信した電波が ACAS 受信機の MTL (Minimum Triggering Level) を超える電力で受信される確率である。

受信信号電力は、送受信機等の公称性能とアンテナ間距離から概算できる。しかし、実際に観測される受信信号電力は、公称性能から算出した値とは異なり、ある範囲に分布することが知られている^[6]。主な理由は、航空機各部による遮蔽や反射・回折等の影響により、搭載アンテナの利得パターンが複雑な形状になることである。

P_i の値を知るため、Harmanらは、航空機搭載Lバンドアンテナの利得パターンをモデル実験により測定した。そのデータベースを用いて、航空機相互の通信について相手機方位の範囲を想定し、アンテナ利得の分布を求めた。これをもとに、信号受信電力の受信機 MTL に対する余裕 (リンクマージン) と信号検出確率の関係を求めた^[6]。ここでは、この関係を用いた P_i の計算例^[7]と同じ近似式を用いた。

この近似式は、リンクマージン m [dB] から P_i を求めるものである。送受信に使用するアンテナの構成に応じてパラメタ a と b が選択される。

$$P_i(m) = 1 / [1 + \exp\{-a(m-b)\}]$$

シングルアンテナとダイバーシチアンテナの間で行われる送受信の場合、 $a=0.3755$, $b=0.7546$ とした。また、シングルアンテナ間で行われる送受信の場合、 $a=0.332$, $b=2.00$ とした。

この近似式は、Harmanらのグラフにおいて、リンクマージンが0dBに近い部分の近似に有効

である。

この近似式のもとになったグラフは、航空機相互の遭遇位置関係を多数考え、これらのそれぞれについて求めたリンクマージンの分布である。一方、ある特定の遭遇を考えると相手機の方角はほぼ一定であるため、リンクマージンの分布はこの形状になるとは限らない。このため、この近似式の使用は、多様な遭遇位置関係についての平均された性能を考えることになる。

3. 1. 2. スキッタの解読率

あるフルーツ発生量のもとでの拡張スキッタの解読率 P_a は、Orlandoらにより計算された^[2]。この計算手法は、拡張スキッタに混信する信号数 (混信数と略称する) が、解読の障害にならない数になる確率を求めている。

混信数が平均混信数 r のポアソン分布に従う場合、混信数が k になる確率 $P(k, r)$ は、次の式で表される。

$$P(k, r) = r^k / \{k! \exp(r)\}$$

フルーツになる応答信号の種類毎に解読の障害にならない混信数になる確率を求め、その積として解読率を P_a 求めた。解読の障害にならない混信数は、モードA/Cフルーツに対しては、0または1個の混信が許容されるとした。モードSフルーツに対しては、0個の混信 (混信なし) のみが許容されるとした。

$$P_a = \{P(0, r_a) + P(1, r_a)\} P(0, r_s) P(0, r_l)$$

ただし、 r_a はモードA/C応答信号によるフルーツの平均混信数、 r_s はモードSショート応答信号によるフルーツの平均混信数、 r_l はモードSロング応答信号によるフルーツの平均混信数である。平均混信数 r は、フルーツレート f と混信時間 T の積で求められる。 T の値は混信する信号の長さの和である。各信号は、次のような長さである。

モードA/C応答信号 20.75 μ s

モードSショート応答信号 64 μ s

モードSロング応答信号 120 μ s

拡張スキッタはモードSロング応答信号と同じ信号形式であるため、モードA/Cフルーツ

との混信の場合、 $T = 140.75 \mu s$ になる。

ここに示したスキッタの解読率 P_d の計算では、混信数がポアソン分布することを仮定している。この混信数の分布形状は、当研究所で行われた実験により確認されている^[7]。

3. 1. 3. アンテナダイバーシチの扱い

ACAS やモード S トランスポンダは航空機胴体の上下に各 1 組のアンテナを持ち、それぞれ一定周期で切り替えながらスキッタを送受信する。拡張スキッタ送信レートとアンテナ切り替えタイミングの規格改定^[11]があり、ACAS が一方のアンテナで受信する間に、トランスポンダは上下両方のアンテナから毎秒各 1 回の位置通報用拡張スキッタを送信することになった。

ACAS は、相手機に対する脅威機検出判定を毎秒 1 回ずつ行うため、1 秒毎の位置データ更新が可能である確率を考える必要がある。本稿では、トランスポンダが上下のアンテナを用いて行う毎秒合計 2 回の拡張スキッタ送信により、少なくとも 1 回の位置データ更新が可能である確率を考える。

計算では、この 2 回の送受信の間で機体姿勢の変化が比較的小さいとし、この間のアンテナ利得の変化は無視した。このとき、2 回の送受信の少なくとも一方でリンクが成立する確率は、ACAS 側のシングルアンテナとトランスポンダ側のダイバーシチアンテナの間で 1 回の通信リンクが成立する確率 P_{lds} で近似できる。

2 回の送受信の一方をシングルアンテナ間のリンク成立確率 P_{lss} とし、もう一方がリンクする確率を P_{l2} とすると、次のような関係にある。

$$P_{lds} = 1 - (1 - P_{lss})(1 - P_{l2})$$

P_{lss} と P_{l2} は、考えている送受信アンテナの位置関係が異なるため、同じ値になるとは限らない。この関係より P_{l2} を次のように求めることができる。

$$P_{l2} = (P_{lds} - P_{lss}) / (1 - P_{lss})$$

以上より、ある 1 秒間に ACAS が相手機の位置データを更新できる確率 P_{ld} は、胴体上下のトランスポンダアンテナによるリンクそれぞれ

について解読率を考慮したデータ更新確率を考え、どちらか一方によりデータ更新に成功する確率として求められる。このとき、

$$P_{ld} = 1 - (1 - P_{lss} \cdot P_d)(1 - P_{l2} \cdot P_d)$$

と近似できる。 P_{lds} および P_{lss} の値は、前述の $Pl(m)$ の式で適切なパラメタを選択して近似できる。

この手法を改善するためには、リンク成立確率が監視の各エポック間でどの程度の相関を持つかを知る必要がある。また、胴体上下のアンテナで観測されるフルーツレートの違いを考慮すべきである。

3. 2. 性能の分布

本稿では、特に性能の分布を考慮し、平均的な性能とともに 99% の ACAS 運用時間で保証できる性能を概算する。性能を分布させる要因は、リンク成立確率 P_l と解読率 P_d の両方に存在する。

リンクの成立確率 P_l については、Harman^[6] が求めたグラフにおいて、送受信機その他の性能分布が既に考慮されている。そこで、本稿では解読率 P_d の分布について注目する。

3. 2. 1. 解読率の分布範囲

前述のように、スキッタの解読率 P_d は混信数の影響を受ける。また、混信数は時間とともに大きく変化する。このため、ある特定の空域においても、 P_d は時間とともに変化すると考えられる。以下、解読率の変動要因である混信数の分布について考察する。

ACAS 運用時間の 99% で保証できる性能を求めるためには、遭遇中の混信数の時間平均（平均混信数）の分布形状を知り、その 99% 値を知る必要がある。

一方、複合監視を使用する ACAS が導入される時期はまだ明確ではなく、また、拡張スキッタを送信できるモード S トランスポンダを含め、搭載率分布等将来の機器導入状況に対する予測がまだ完了していない。このため、本稿では、一つの目安として現在の東京空域における性能を試算する。

東京空域内の混信数の測定結果を ACAS 機と

相手機の遭遇時間毎に分割し、平均混信数の分布を求めた。遭遇時間は、航空路の対向相対速度である約 1000kts ですれ違う航空機が現用 ACAS の覆域（半径 14NM）を通過することを想定し、100 秒とした。モード A/C フルーツについて、遭遇時間毎に求めた平均混信数の時間変化を図2に示す。

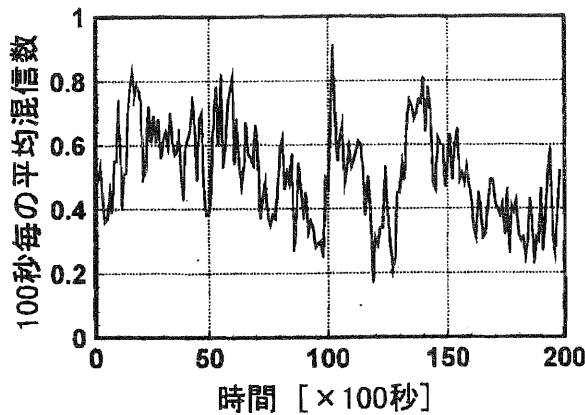


図2. 平均混信数の時間変化の例

図2のデータから求めた平均混信数の分布を図3に示す。連続した 200 回の遭遇時間で観測された平均混信数の分布は、平均が 0.51 個、標準偏差が 0.15 個であった。

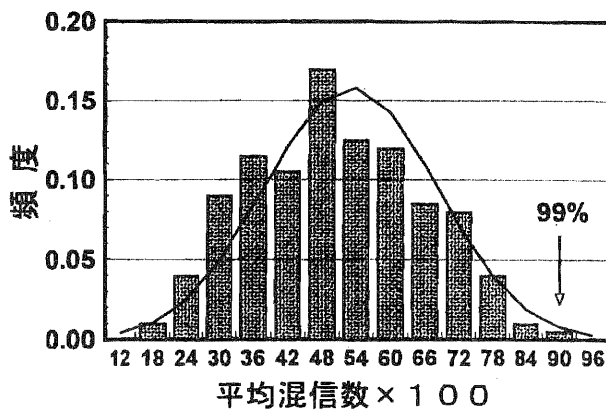


図3. 平均混信数の分布

平均混信数の分布形状の推定は、まだデータが不足しているため、完了していない。ここでは、遭遇毎の平均混信数の分布形状を計算が簡単な正規分布とみなす。図3より、99%の時間で超えることがない平均混信数（99%値）は、正規分布では 0.90 個になる。測定値の 99%値は 0.83 個であり、この方法は控えめな性能を計算することになる。

以上のように、モード A/C 応答信号によるフルーツについて、実測値から平均混信数の 99% 値を知ることができた。モード S ショート応答信号によるフルーツについても、同様に必要な数値を求めることができる。

一方、モード S ロング応答信号は、現状では ACAS の回避方向調整のみに使用されており、極めて希にしか送信されない。将来においても、SSR モード S データリンクが運用されない限り、通常は拡張スキッタ以外に使用されない。そこで、現在の東京空域で運用されているモード S トランスポンダがすべて複合監視に対応できるよう改造された場合を考え、ACAS の覆域内のモード S トランスポンダ数に拡張スキッタ送信レート 4.2Hz を想定してフルーツレートを概算した。このモード S トランスポンダ数は、平均 5 機、99% 値で 8.3 機とした。

以上のようにして求めた現在の東京空域における平均的な電磁環境および ACAS 運用時間の 99% で超えることがないフルーツレートを表 1 に示す。平均混信数は、前述のように、混信する信号に応じてフルーツレートに比例する値を持つ。

表 1. 想定したフルーツレート

モード	A/C	S short	S long
平均	3.6 kHz	20 Hz	20 Hz
99%	6.4 kHz	70 Hz	35 Hz

3. 2. 2. 性能分布予測に残る問題点

以上のように、性能の分布を考えるためにフルーツ環境を想定したが、問題点が残されている。

モード S フルーツ環境は、ACAS の監視方式や干渉制限方式など ACAS の仕様のほかに、モード S トランスポンダのスキッタ送信レートや SSR モード S の仕様等に応じて変化する。これらの仕様には討議中のものが含まれる。また、SSR、IFF、ACAS やその周辺で運用されるトランスポンダ等、チャンネルを共用する機器の運用数や運用パラメタの影響がある。より現実的なフルーツ環境を求めるためには、複合監視が導入される時点での上記の基礎データを含む運用シナリオが必要である。

また、今回の想定では、遭遇期間中の電磁環境が均一であると考えているが、実際には、下記の理由で時間相関を持つ変動があると考えられる。フルーツ環境の予測においては、応答信号の検出状況や周辺の質問装置数に応じて ACAS 質問制御が行われる。この質問制御のため、電磁環境と ACAS の送受信動作に相互作用が見られる。この相互作用を考慮して電磁環境を求めるためには、ACAS の監視動作へのフィードバック要素に使用できる応答信号検出過程モデルが必要になる。

また、ACAS の質問制御動作には、時間遅延要素や各種の非線型変換が含まれる。このため、応答信号検出過程のモデルでは、航空機搭載アンテナの利得パターンや他の航空機との位置関係および自機の姿勢の時間変化等も考慮してリンクの成立を判定する必要がある。

これらの問題点については、今後の検討課題である。

4. 計算結果

4. 1. 送信レート増加の効果

相手機の距離と位置データ更新確率 P_{ld} の関係の計算結果を図4に示す。図では表1の99%値のフルーツレートおよびACAS等の送信電力および受信感度の公称値を想定している。

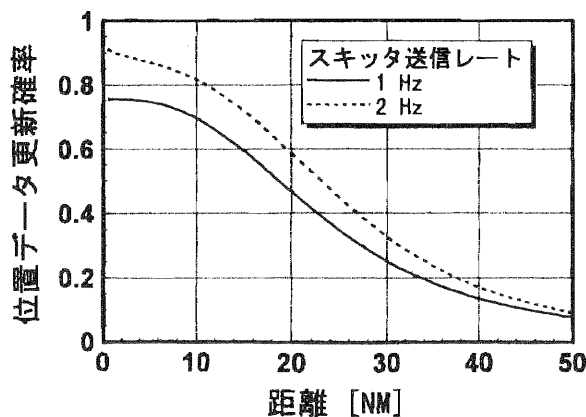


図4. スキッタ送信レート変更の効果

毎秒1回の拡張スキッタ送信が毎秒2回に増加したことにより、 P_{ld} が増加していることがわかる。特に、近距離での性能劣化要因である混信妨害の影響が、送信レート増加により軽減されている。

スキッタ送信レートの増加によりモードSロング応答信号のフルーツレートが増加するが、東京空域の航空機密度ではこれによる性能劣化は軽微であり、むしろモードA/Cフルーツの影響を軽減している。

この計算結果は東京空域の電波環境を想定したものであり、航空機密度が異なる空域については、別途検討が必要である。

4. 2. 受動監視性能の計算例

最接近までの時間とACAS受動監視性能の関係を図5および図6に示す。これらの計算においては、相対接近速度1000ktsを想定した。また、遭遇中のフルーツレートは、図5は平均値、図6は99%値で、表1に示したものを想定している。

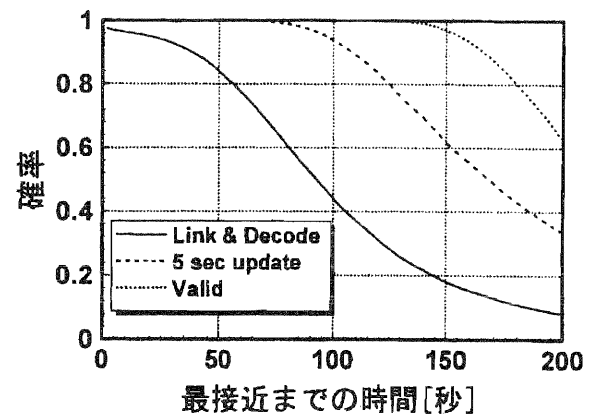


図5. 平均的な環境での初期捕捉性能

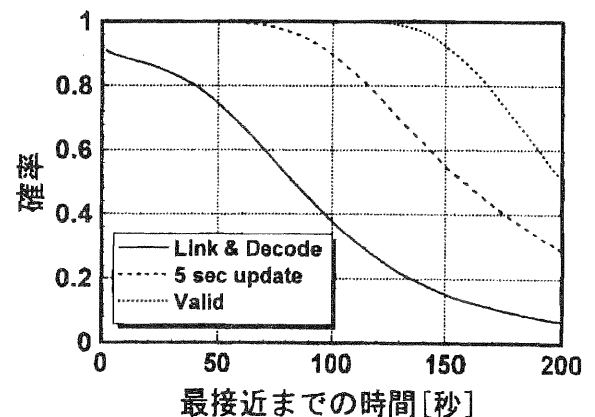


図6. 99%値の環境での初期捕捉性能

図の曲線の内、Link & Decodeはその時点の位置データ更新確率 P_{ld} である。図6に示す99%の運用時間で保証される性能は、図5の平均的な電磁環境下での性能より著しく劣化している。

脅威機検出判定が終了すべき時点（最接近約 25 秒前）の P_{id} の値は約 0.85 であり、位置データ更新に 2 秒間連続して失敗し警報発生を遅延する確率がこの時点で 2% を超える。東京空域より混信妨害が激しい空域が存在するが、このような空域において受動監視のみでは ACAS の衝突回避判定に必要な監視の信頼性が得られない可能性があることがわかる。

図の曲線 Valid は、ACAS が受動監視により相手機を初期捕捉済みである確率を示す。現用 ACAS-II のスキッタ受信処理方式^[8]を想定して求めた。どちらの場合も最接近の約 2 分前には 100% 近い確率で捕捉済みで、十分な時間的余裕がある。

図の曲線 5 sec update は、接近の予備判定等のために 5 秒以内に 1 回の位置データ更新が可能である確率を示す。最接近の約 1 分前までには 99% を超える確率で相手機を監視できるようになり、接近の予備判定結果に応じて信頼性が高い能動監視に移行可能になる。

以上のように、拡張スキッタを用いる ACAS 受動監視は、東京空域における初期捕捉と接近予備判定のための監視には十分な性能を持つものと概算された。しかし、前述のように、性能予測手法には今後の改良が望まれており、今後は、改良後の計算結果や実験結果との比較が望まれる。

5. まとめ

東京空域で測定されたフルーツ発生量をもとに、ACAS 受動監視による脅威機検出確率について、平均的な電磁環境での性能とともに運用時間の 99% で保証できる性能の概算を試みた。

その結果、使用した手法は簡便に初期捕捉性能を概算できることがわかったが、次の問題点が残されていることがわかった。将来の環境におけるより正確な性能予測には、次の要素を考慮した手法の改良が必要である。

- ・複合監視導入過程の各時点におけるトランスポンダ数や配置等のシナリオ作成
- ・電磁環境に影響する SSR 等のシステムや ACAS 質問制御との相互作用の考慮
- ・マルチパス波の効果など今回の計算ではモデル化が不十分な性能劣化要因の考慮

- ・搭載アンテナの利得指向性と他の航空機の方
向の分布等、リンク成立確率モデルの改善
- ・胴体上下のアンテナで観測されるフルーツ発
生のモデル化
- ・スキッタ信号の検出解読方式の改良など性能
向上の効果の考慮
- ・その他のシステムとの相互作用（搭載装置間
の相互抑圧パスなど）の考慮
- ・その他

以上より、今後は、ACAS 等の機器と電磁環境の相互作用を時間経過に応じてシミュレーションしながら性能予測する手法を開発し、計算結果と実験結果の比較をする予定である。

参照文献

- 【1】 ICAO : "Report of the Sixth Meeting", SICASP/6-WP/44, Montreal, February, 1997
- 【2】 S. S. Blackman : "Multiple-Target Tracking with Radar Application", Artech House, 1986
- 【3】 V. A. Orlando, et. al. : "GPS Squitter Capability Analysis", ATC-214, MIT Lincoln Lab., May 1994
- 【4】 S. Ozeki, et. al. : "Comparison of Statistical Model for FRUIT", SICASP/WG2/IP-601
- 【5】 国沢 : "確率論とその応用"、岩波全書、1982
- 【6】 W. H. Harman : "Effects of RF Power Deviations on BCAS Link Reliability", FAA-RD-77-78(NTIS No AD-A044312), June 1977
- 【7】 小瀬木ほか : "ACAS 複合監視の検出性能"、信学技報 SANE96-34、平成 8 年 7 月
- 【8】 ICAO : "ANNEX-10", vol. IV, July 1995
- 【9】 P. H. Mann : "Simulation of Surveillance Processing Algorithm Proposed for the DABS Mode of BCAS", FAA-RD-77-138, February 1978

拡張スキッタを用いるADS-Bの実験

電子航法開発部

※小瀬木 滋 住谷 泰人 白川 昌之

1. はじめに

自動従属監視 ADS (Automatic Dependent Surveillance)は、被監視者が持つ位置、速度、針路の意図(intent)等、監視に有用な情報を自動的に監視者に伝送・表示する機能を持ち、従来のレーダの覆域性能や表示機能等を補強する将来の監視システムとして期待されている。

その一種である ADS-B(ADS-Broadcast)では、放送型データリンクを使用している。放送により同一情報を多数の受信者に一括伝送できるため、ADS-Bは送受信者が多数になる移動体の相互監視等への応用が期待されている^[1,2]。

本稿では、ADS-B用データリンクにモードS拡張スキッタ(拡張スキッタと略称する)を使用する方式を考える^[3,4]。この方式は、航空機衝突防止装置 ACAS (Airborne Collision Avoidance System)や ASAS (Airborne Separation Assurance System)への応用が検討されている^[3]。拡張スキッタ送信機は、モードSトランスポンダを改造して実現できる。また、ACASを改造してADS-B受信機とする可能性も報告されている^[3]。

拡張スキッタを用いる ADS-B用データリンクはランダムアクセス方式である。このため、チャンネルを共有する他の信号との衝突がその性能を制限する要因となる。これまでに、拡張スキッタに関する各種の性能を予測するための計算手法が報告されている^[5,6,12]。これらの計算手法に使用するパラメタとして、衝突する信号の発生量などを知る必要がある。また、実験により計算結果を検証する必要がある。

本稿では、拡張スキッタを用いる ADS-Bの監視性能を予測するために必要な情報として、実験用航空機で測定した信号環境の現状を報告する。また、試作したスキッタ送信装置を用いる ADS-B 実験について、実施状況を報告する。

2. 拡張スキッタの概要

拡張スキッタは、モードSトランスポンダが送信する短時間の信号であり、モードSロング

応答信号と同じ波形(図1)と搬送波周波数(1090MHz)を持つ^[3]。伝送情報を持つデータブロックは誤り検出訂正符号化されており、若干のバースト誤りは許容される^[7]。

送信時に受信者のアドレスが指定されず、すべての受信者が情報を解読できるため、情報の放送が可能である。また、ランダムなタイミングで自発的に信号が送信されるため、ランダムアクセス方式のデータリンクになる^[8]。

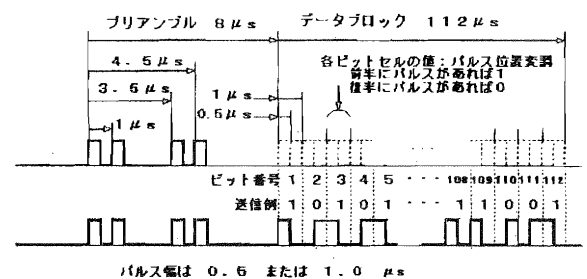


図1 モードS拡張スキッタ信号波形

拡張スキッタと1090MHzチャンネルを共用するATCトランスポンダ等の装置は、事前に信号衝突を回避する機能を持たない^[9,10]。このため、これらの信号は、相互に非同期混信妨害(フルーツ)となる^[9]。拡張スキッタに発生する混信の状況によっては、解読情報の誤り訂正が不可能になり、その情報が捨てられる場合がある。

このため、拡張スキッタを用いる ADS-B用データリンクの性能を制限する要因には、信号受信電力の低下のほかに、非同期混信妨害による信号解読率の劣化がある。

3. 飛行実験の方法

この実験の目的は、次の2点である。

- ・機上で観測される質問信号発生量の測定
- ・スキッタ送信装置の動作確認

質問信号は1030MHzの信号であり、二次監視レーダSSR、敵味方識別装置IFF、航空機衝突防止装置ACAS等から送信される。機上で観測される質問信号発生量等から、各航空機が送信する応答信号発生量を算出でき、これにより

スキッタに対する非同期混信妨害の発生状況を知ることができる。

実験用航空機 B99 には、当研究所が試作したスキッタ送信装置を搭載した。この装置は、実験用モード S トランスポンダを改造して製作した。1090MHz 送信部をスキッタ送信に使用し、1030MHz 受信部を質問信号の受信測定に使用した。実験装置の仕様を表 1 に示す。搭載実験装置の構成を図 2 に示す。

表 1. スキッタ送信装置の仕様

送信信号	1090MHz 拡張スキッタ
送信電力	140W (尖頭値)
送信アンテナ	ブレードアンテナ 無指向性 胴体上下各 1 本を切り換え
送信レート	合計 5Hz (プログラマブル)
GPS 位置	胴体上下各 1Hz
試験信号	胴体上下各 1Hz
ID	胴体上下交互に 1Hz
受信感度	-74dBm 1030MHz
付加機能	質問信号受信弁別および計数

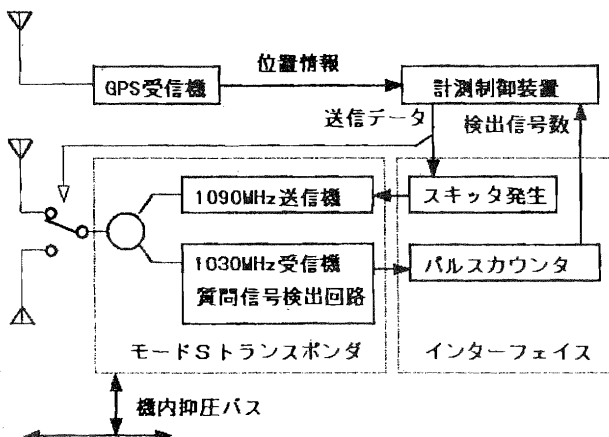


図 2. 搭載実験装置の構成

1030MHz 受信機の感度等仕様は、モード S トランスポンダと同等である。質問信号検出処理回路から各種信号の検出パルスを取り出して計数する方法を採用したため、実際のトランスポンダが受信する信号数とほぼ等しい値が得られる。また、実験装置を B99 の機内抑圧バスに接続し、抑圧パルスの発生時間合計を測定した。

拡張スキッタの送信電力は、小型機用モード S トランスポンダと同等である。拡張スキッタ

は信号の種類毎に胴体上下のアンテナを交互に選択しながら送信される。送信レートは合計 5Hz とした。アンテナは送受信共用である。

4. 測定された質問信号発生量

1999 年 11 月 16 日午前の実験結果についてまとめる。B99 の飛行経路を図 3 に示す。B99 は、仙台空港を離陸後、高度約 10,000ft で三鷹にある当研究所上空を通過、相模湾上空で変針後、浜松上空を通過し、名古屋空港に着陸した。

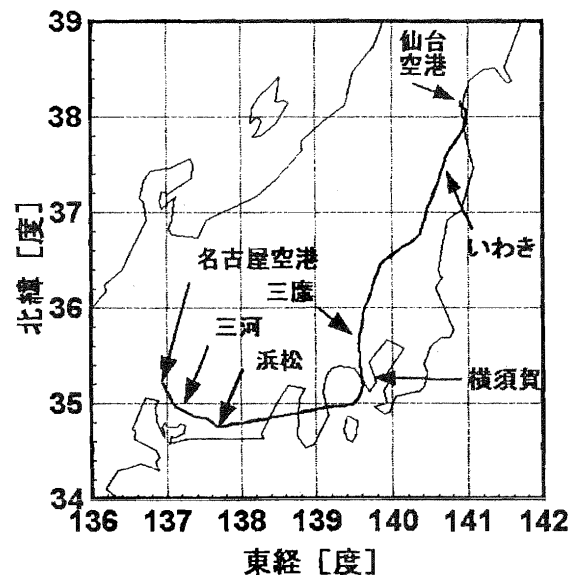


図 3. 飛行経路(1999 年 11 月 16 日午前)

1030MHz 帯の信号検出レートを図 4 に、0.5 μ s 以上の幅を持つパルス検出レートを図 5 に示す。横軸はデータファイル番号である。

東京空域では、モード 3/A とモード C 質問信号の合計検出レートが、平均約 160Hz、最大約 200Hz であり、東京空域から離れるとともに減少する。ただし、スキッタ送信とともにアンテナが切り替えられるため、SSR 等から遠距離では胴体上アンテナによる受信電力が低下し、信号数が低く測定される。

図 4 では、SSR や IFF 地上局から約 15NM 以内で P1-P2 サイドローブ抑圧信号 (以下 SLS 信号と略称) が増加している。仙台と名古屋の空港面では、ASR 併設 SSR による SLS 信号を多数検出している。また、入間、立川、羽田、厚木などの SSR/IFF 地上局が密集する空域と浦賀水道近傍で SLS 信号が多く、約 400Hz であった。浦賀水道近傍で観測された信号は、艦載型 IFF

のものと考えられる。

図5の受信パルス検出レートは、図4のSLS信号(P1-P2)と同様な変化を示している。このため、一部の空域で見られる急激な増加はSLSのためのP2パルスによるものと考えられる。

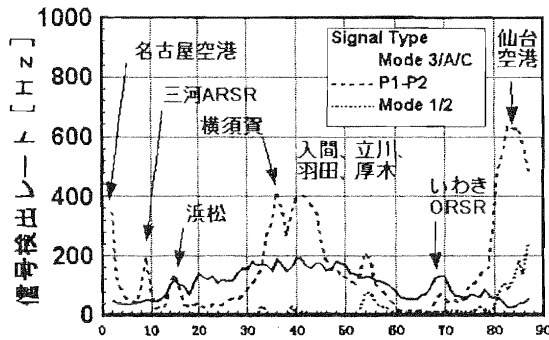


図4. 1030MHz 信号検出レート

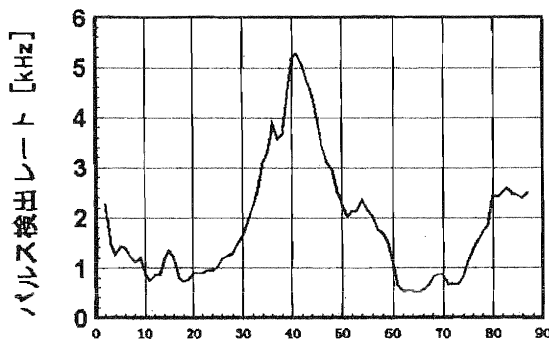


図5. 1030MHz パルス検出レート

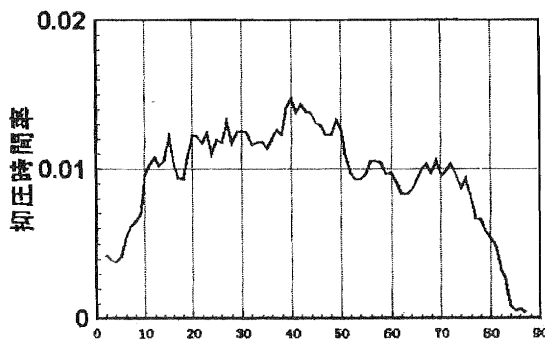


図6. 機上の抑圧時間率

IFFの質問信号モード1と2は、北宇都宮駐屯地上空を除き、発生量が少なかった。IFFが設置されていない仙台空港面で多数検出されたが、B99の離陸とともに急激に減少した。これは、建物等の反射によるマルチパス波により生成されたパルスペアと考えられる。

B99の機内抑圧パスにDMEやATCトランスポンダ等からの抑圧信号が出力される時間率を図6に示す。抑圧信号は、これらの機器が信号

を送信している間に出力され、同じ機体に搭載された他の機器が送信信号を受信する誤動作を防止する目的で使用される。

抑圧時間率はモード3/A/C質問信号数と同様の変化を示した。飛行中のB99では約1.2%であるが、搭載機器の個体差により変化し得る。

5. 測定結果から予測される運用可能機数

測定結果の利用例として、拡張スキッタを用いるADS-Bの運用可能機数を現在の信号環境の条件で概算する^[12]。

モードS質問信号が十分少ない場合、非同期混信妨害の発生率はモード3/A/C質問信号発生レートにほぼ比例する。測定値より、最悪値として200Hzを想定する。この値は、計算例^[12]で想定した80Hzより多い。

トランスポンダの応答率は、機内抑圧時間率0.012や、SLS信号発生レート100Hz等を用いて、0.98と算出される。

トランスポンダの構成比(従来型:モードS:ACAS付属モードS)を、0.2:0.1:0.7とし、全てのモードSトランスポンダによる拡張スキッタ送信を想定する。このような信号環境においてADS-B受信機感度を調節して覆域を変化させた場合、拡張スキッタ通信のスループットを最大にする覆域内航空機数の最小値は14機である。また、5秒間に1回以上の位置データ更新が可能である確率が0.99以上になる機数もほぼ同じであった。このため、この場合の運用可能機数は約14機である。

質問信号発生レートが低い空域では、非同期混信妨害が減少するため、運用可能機数が増加する。SSRのモノパルス化やモードS化は質問信号を減少させるために有効である。

6. 拡張スキッタを用いるADS-B実験

スキッタ送信装置を用いて航空機位置データ等を送信し、地上の受信機でこれを受信記録した。受信機感度はACASと同じ-74dBmであるが、アンテナ利得と給電線損失を総合した利得はACASより3dB低いいため、実験用受信機の覆域半径はACASの規格内最低値になる。

記録されたスキッタ信号を解読して得た位置データを、図7に示す。近距離になるほどスキ

ッタの検出率が向上するが、受信機直上ではアンテナ指向性の影響で検出率が低下している。

受信機のプリアンプル検出回路に発生した不具合により、検出率は20%以下であった。さらに、マルチパス波を伴うプリアンプルに対する検出率の劣化や同期ずれが観測された。

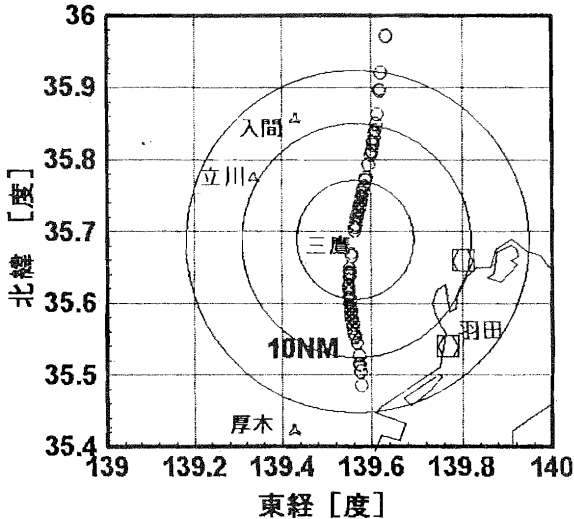


図7. ADS-B 実験結果(三鷹)

7. 今後の課題

今回の実験では、測定されない種類の質問信号が残されている。今後は、インターモードやモードS質問信号等も観測対象に加え、さらに1090MHzの信号も測定する予定である。多くの空域で測定を重ね、信号環境のモデル化と予測手法の検証のために必要なデータを得るとともに、多様な信号環境の中で拡張スキッタの通信性能測定を継続する予定である。

信号環境や機器性能を予測する計算手法が検証されれば、チャンネルを共有する各種機器の許容運用台数やチャンネルを有効利用するための最適運用条件等を算出できる。また、ASAS、ACAS 干渉制限方式、LAST (Light Aviation SSR Transponder: 軽トランスポンダ) 等、新しい機器や送信方式による信号環境への影響を予測できるようにすると期待される。

8. まとめ

拡張スキッタを用いる ADS-B の性能は非同期混信妨害等により変化するため、その予測計算では通信チャンネルを共用するシステムとの混信など信号環境を考慮する必要がある。

飛行実験により信号環境を測定した結果、東京空域では従来の計算で想定していた数より多い質問信号が発生することがわかった。一方、拡張スキッタを用いる ADS-B を実験したが、十分な量のデータ取得が今後の課題である。

今後は、1090MHz チャンネルも含めて信号環境の測定を継続し、その結果をもとに、スキッタ通信を含む 1090MHz 通信チャンネルの最適化について条件を求める予定である。

謝辞

本研究にご協力くださいました関係各位に感謝申し上げます。特に、実験装置の製作では、東洋通信機株式会社、株式会社テイアイケイ、株式会社ジャムコのご協力をいただきました。

参考文献

- [1] ICAO: AMCP4 /WP-70-Appendix A, 1996
- [2] RTCA SC-186: "Minimum Aviation System Performance Standards for Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B)", Draft 5.0, May 1997
- [3] ICAO: SICASP/6-WP/44, Montreal, 1997
- [4] E. T. Bayliss, et al.: "Demonstration of GPS Automatic Dependent Surveillance of Aircraft Using Spontaneous Mode S Broadcast Messages", Navigation, Vol.41, No.2, 1994
- [5] 小瀬木他: 「拡張スキッタによる二次レーダ監視性能の劣化」信学技報 SANE98-88、平成10年12月
- [6] 小瀬木他: 「ACAS 受動監視性能の概算手法」信学技報 SANE97-39、平成9年7月
- [7] V. A. Orlando, et al.: "GPS Squitter Capability Analysis", ATC-214, MIT Lincoln Lab., May 1994
- [8] 小瀬木他: 「スキッタを用いる監視用データリンクの概要」信学技報 RCS97-148、平成9年11月
- [9] M. C. Stevens: "Secondary Surveillance Radar", Artech House, 1988
- [10] 重野: 「無線 LAN 技術講座」SRC, 1994年9月
- [11] ICAO: "ANNEX-10", vol. I, April, 1995
- [12] 小瀬木他: 「拡張スキッタの通信容量制限要因」信学技報 SANE99-43、平成11年7月