

13. 航空機で観測される1030MHz信号環境

電子航法開発部

※小瀬木 滋 住谷 泰人 白川 昌之*

*管制システム部

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)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通信チャンネルへの負荷が軽く、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]。

ADS-B 用データリンクには VDL mode 4 や UAT (Universal Access Transceiver)も提案されているが、本稿ではモード S 拡張スキッタ (拡張スキッタと略称する) 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)や航空機間隔維持支援装置 ASAS (Airborne Separation Assistance 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 受信機とする例も報告されている^[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ータとして、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 1030MHz 信号環境の現状を報告する。また、性能予測シミュレーションに使用される信号環境モデルを構成する際の注意点について、測定された信号環境をも

とに考察した結果を報告する。

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]。

3. 非同期混信妨害の発生

拡張スキッタが使用する 1090MHz チャンネルは、各種トランスポンダの応答信号に割り当てられている。ACAS や SSR 等インタロゲータが送信する 1030MHz チャンネルの信号が、トランスポンダの応答動作を制御する。これらの装置は、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、図 1 に示すように、これらの応答信号が拡張スキッタに対する非同期混信妨害になる。

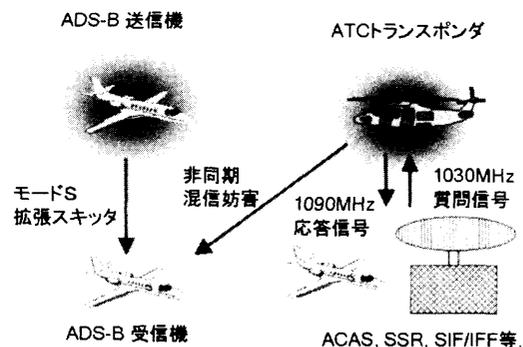


図 1 非同期混信妨害の発生

応答信号発生量は、インタロゲータが送信する質問信号発生量とこれに応答する各種トラ

ンスポンダの運用数により算出できる。

位置 r にある微小体積 dv 内において、あるモード m の質問信号に応答するトランスポンダの密度 $D_m(r)$ と dv 内で観測される質問信号受信レート $I_m(r)$ が既知である場合、位置 r_0 にある ADS-B 受信機において観測される応答信号受信レート $R_m(r_0)$ は次の式で算出される。

$$R_m(r_0) = \int_{V_c} D_m(r) I_m(r) dv$$

ただし、積分範囲 V_c は ADS-B 受信機の覆域を示す体積であり、アンテナの受信指向性や受信機の検出性能で決まる。

トランスポンダは、その動作に応じて表 1 のように分類できる。この表と覆域 V_c 内のトランスポンダ運用数を用いて、 $D_m(r)$ が得られる。

表 1 トランスポンダの動作

質問信号モード	応答信号モード			
	従来型		モード S 対応型	
	軍用	民間用	軍用	民間用
1, 2	従来型	無応答	従来型	無応答
3/A, C	従来型	従来型	従来型	従来型
A/C 限定	従来型	従来型	抑圧	抑圧
A/C/S 一括	従来型	従来型	S	S
S 個別	抑圧	抑圧	S	S

SSR からの質問信号電力が十分大きい空域においてサイドローブ抑圧 SLS (Side Lobe Suppression) が有効に働いている場合、SSR 等の質問信号発生量 I_m は、次の式で表される。

$$I_m = f_m TB / 2\pi$$

ただし、 f_m はモード m 質問信号送信レート (Hz)、 T はアンテナ回転周期 (s)、 B はメインビーム幅 (radian) である。 I_m の値は、SLS が有効な覆域内において、SSR までの距離と無関係である。

4. 飛行実験の方法

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 2 に示す。

実験装置の構成を図 2 に示す。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。実際のトランスポンダが受信

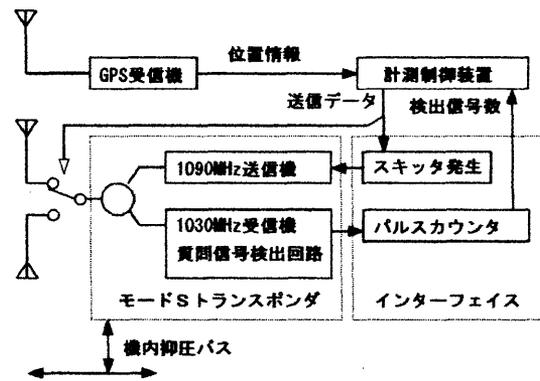


図2. 実験装置の構成

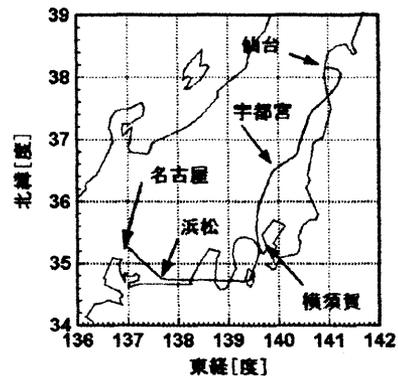


図3. 飛行経路(2000年11月22日)

する信号数を測定するため、質問信号検出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。また、1090MHz チャンネルへの影響を知ることが目的であるため、表 1 の質問信号の分類毎にまとめて計数した。2000年以降の実験では機器を改良し、1999年の実験で測定できなかったモード S 質問信号等も観測対象に加えることができた^[13]。

実験中はモード S 拡張スキッタの送信レートを 5Hz とし、受信機抑圧についても ADS-B 送受信機の運用環境に近づけた。

表2. 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本を切換
送信レート	合計 5Hz (プログラマブル)
受信感度	-74dBm 1030MHz
付加機能	質問信号受信弁別計数

5. 測定された質問信号発生量

2000年11月22日の実験結果について報告する。B99の飛行経路を図3に示す。B99は、名古屋空港を離陸後、浜松上空を通過し、相模湾上空で変針、高度約10,000ftで調布にある当研究所上空を通過し、仙台空港に着陸した。

1030MHz帯の信号検出レートを図4に示す。横軸は測定開始後の経過時間である。また、比較のために1999年の測定結果を図5に示す。

図4では、SSR等地上インタロゲータから約15NM以内でP1-P2パルスペアによるSLS信号が増加している。一般に、この信号はインタロゲータ近傍で増加することが知られている。入間、福生、立川、羽田、厚木、その他のSSR等地上インタロゲータが密集する東京空域と相模湾近傍でSLS信号が多く、最大値は約400Hzであった。

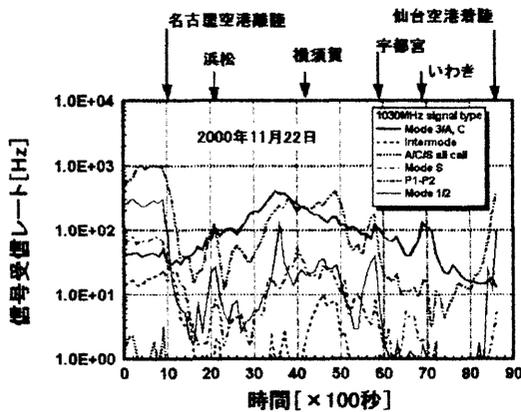


図4. 1030MHz 信号検出レート(2000年)

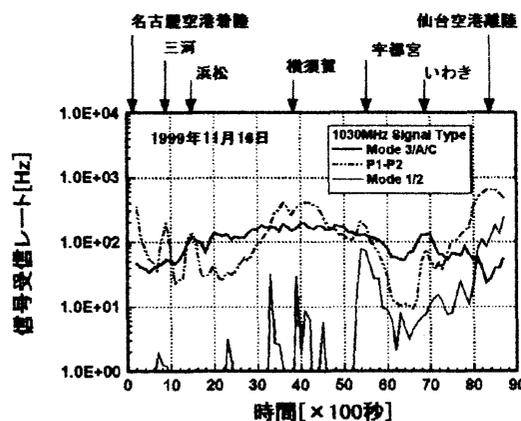


図5. 1030MHz 信号検出レート(1999年)

6. 質問信号環境に見られる特徴

飛行実験により観測された1030MHzチャネルの信号検出レートについて、信号環境シミュ

レータ製作の観点から考察をまとめる。

6. 1. 移動式インタロゲータの存在

東京空域等、一部にモードS質問信号が記録されている。実験日には地上でSSRモードSが運用されていないため、ACAS等の航空機搭載インタロゲータによる信号である。モードS信号発生量は約50Hzが観測され、無視できない要素であることがわかる。

モード1と2の質問信号は、1999年の測定では図5のように北宇都宮駐屯地上空やいわき仙台間の洋上を除き発生量が少なかった^[13]。しかし、2000年の測定では相模湾や浜松を含めて大幅に増加する一方で、いわき仙台間の信号は減少した。また、相模湾ではモードAとCの質問信号も増加が著しい。

相模湾近傍やいわき仙台間の洋上で観測された信号の送信源は、艦載型SIF等と考えられる。また、浜松近傍については、適宜運用される教育用機材である可能性がある。

移動式インタロゲータは、運用期間や位置の長期的予測が困難であり、信号環境予測において不確定要素となる。特に、大量同時運用され得る移動式軍用インタロゲータが信号環境に与える影響が懸念される。

6. 2. インタロゲータ近傍の質問信号増加

図4図5とも、SSR等地上インタロゲータ近傍では一定であるべき質問信号量に増加が見られる。この原因として、SLSアンテナと質問信号アンテナの垂直指向性の違いにより発生するディファレンシャルローブ現象(SLSパンチアウト)、マルチパスによるSLS動作不良や質問モード誤解釈などが知られている。

特に、「いわきORSR」近傍で上記の現象が顕著に現れている。原因を究明するためには、受信波形の測定実験と分析等が必要である。

6. 3. 空港面における信号数増加

空港面においては、信号数が極端に上昇している。特に、名古屋空港のモードA/C/Sオールコールや仙台空港のモード1,2等、送信していないモードの質問信号も観測されているが、実験用航空機の離陸とともに急激に減少する。

また、空港面の一部の区域では、SLSが正常に機能せず、トランスポンダが解読する質問信号レートが300Hzを越える例も見られた。

これらは、各空港のASR併設SSRの質問信号と空港建築物による反射波（マルチパスエコー）が重畳して受信されることにより発生した現象である。特に、仙台空港のヘリパッド近傍において、ホバリングするヘリコプタがATCトランスポンダを運用すると、数百Hzの応答信号が発生することが確認されている。

7. 信号環境シミュレーションに関する注意事項

信号環境シミュレーションを行う際の注意事項として、以上の測定結果から次の各点を考慮すべきことが明らかになった。

- ・インタロゲータ等のアンテナ特性
- ・マルチパスの効果
- ・移動式インタロゲータの運用
- ・各種モードSインタロゲータの運用

代表的なモードSインタロゲータであるACASは、応答信号が受信されない場合の再質問動作や干渉制限等、状況に応じて信号発生量が変化する質問制御方式を採用していることに注意を要する。また、SSRモードSのデータリンク運用も、信号発生量に影響する。

8. 今後の課題

今後は、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。さらに、ASASやACAS干渉制限方式等、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なると期待される。

拡張スキッタ以外についても、DME等とチャンネルを共有するUATの信号環境について同様の手法が適用可能であると期待される。

9. 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、1090MHzの通信チャンネルを共用するシステムとの混信等、信号環境を考慮する必要がある。そこで、1090MHzチャンネルの信号環境に強く影響する1030MHz信号環境を飛行実験により測定した。その結果、信号環境シミュレーションで考慮すべき事項がわかった。

今後は、信号環境の測定を継続し、その結果をもとに拡張スキッタを含む1090MHz通信チャンネルの信号環境シミュレーションを行い、チャンネルの最適運用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得ました。

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, 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
- [13] 小瀬木他: 「拡張スキッタを用いるADS-Bの実験」電子航法研究所研究発表会、平成12年6月