

1. 監視システム信号環境の動向と測定評価

航空交通管理領域 ※大津山 卓哉
監視通信領域 本田 純一, 宮崎 裕己

1. まえがき

航空機の監視には図1に示すように主に1030/1090MHzで質問応答をやりとりする二次監視レーダシステムが使われている。監視する側が送信する質問信号には1030MHzが使われ、監視される側(航空機)は質問信号への応答として1090MHzで信号を送信する(図1)。現在航空機監視に使われている二次監視レーダの元となった軍用の敵味方識別装置の設計は古く、現在のように広範囲で精密時刻の同期を行なうことや、それに基づく符号処理を実装することは困難であった。そのため、複数の端末間で周波数を共有するために、ランダムアクセスシステムが使われている。一般的にランダムアクセスのシステムではある程度の信号量を越えるとその効率が著しく悪化する。したがってシステムを有効に活用するためには信号量を適切となるように管理する必要がある

また、近年は自機の飛行情報を放送するADS-B(Automatic Dependent Surveillance - Broadcast)の導入が世界的に進められている。ADS-Bは自身の持つ、位置情報や速度情報を放送しているため、地上のレーダのみを使った航空管制とは異なる新たな応用が多く提案されている。一部の国では搭載の義務化が進められる等、すでに多くの航空機にADS-B装置が搭載されており、航空機数の増加によるものだけでなく、以前よりも多くの信号が飛び交うよう

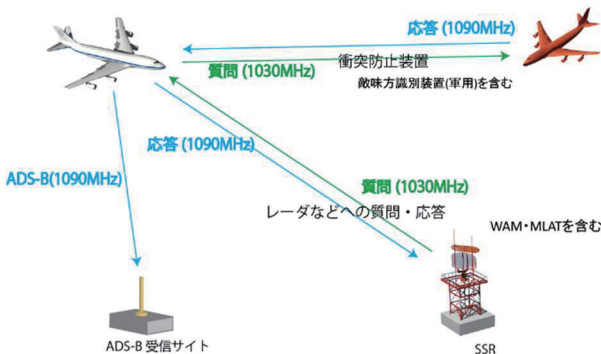


図1: 1030/1090MHz システム概要

になっている。また SSR のみであった地上に設置されている監視装置も、MLAT(マルチラテレーション)や WAM(広域マルチラテレーション)などの次世代の監視装置が導入されており、1030/1090MHzの周波数では効率的な航空管制のために今後もより多くの信号が使われることが予想される。ますます需要の高まるこれらの監視システムを有効に活用するためには、信号の継続時間と単位時間あたりの発生数の積を十分小さくなるように維持して性能劣化を防ぐ必要がある。そのため現在の信号量を測定し、交通量等から将来の信号発生数を予測することは、監視システムを適切に運用するために大切なことと考えられる。

本報告では監視システムに関してその信号環境の観点から考察した結果について述べる。電子航法研究所では以前より実験用航空機を使った飛行実験により国内の航空路上における信号環境測定を行っているが、これらの解析結果について報告するとともに、ICAO 監視パネルにおける検討状況についても報告する。

2. 信号環境評価手法の開発

電子航法研では以前より監視システムに限らず航空無線に使われる帯域の信号環境測定を実施してきた。特に960MHz~1215MHzの航空無線航行サービス(ARNS: Aeronautical Radio Navigation Service)帯域では図2に示すように監視・航法そして将来的には通信にと多くのシステムが周波数を共有している。それらのシス

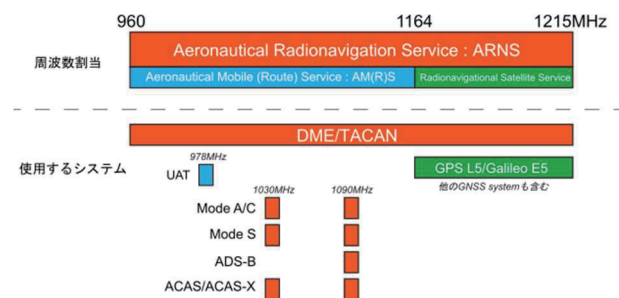


図2: ARNS 帯域の周波数利用状況

テム性能を測定し性能予測を行なうためには現状を把握しモデル化することが重要であるとの考えに基づき、広帯域で長時間測定可能な記録装置を導入し帯域内の信号波形を記録している。記録した信号波形は信号を再生して再び受信機で受信することによって信号の状態および無線機の動作を調べることも、記録した波形をデータ処理することで信号環境のモデリングが可能となっている。

これらの記録信号を受信機(無線機)に入力し、その動作を確認する場合には再生信号をそのまま入力するだけではなく、受信機の感度を変更するもしくは増幅器や減衰器を使って入力する受信強度を変化させることにより信号強度毎の動作を調べる。この方式は実際に使われている受信機等と同じ動作が期待できるため、既知の信号しか処理することが出来ないが現在の性能を求めるにはよい手法である。監視システムに使われている 1030/1090MHz 帯の場合、航空機搭載のトランスポンダ等をつかってこれらの解析を行っている。

一方で実際の信号では未知の信号も含まれているが、信号の劣化や重畳等によって既知であっても解読できず信号としてみなされないものも多く含まれている。これらを含めた信号環境の実体はトランスポンダ等を使った処理では測定することができない。この場合には帯域内の信号占有率を求める必要がある。信号占有率であれば信号種別に関係なく信号強度と継続時間が測定可能であり、受信機にとってノイズのみなされる波形であってもそれらが占める量を示すことが可能となる。信号環境を評価するためにはこれら2つの方法を用いることが重要である[2]。

監視システムに使われている 1030/1090MHz の信号環境評価について、上記内容を取りまとめた結果を ICAO 監視マニュアル(DOC9924)に反映させた。

3. 飛行実験による信号環境評価

電子航法研の所有する実験用航空機(B350 よつば)には、運航用とは別に実験用の各種アンテナが取り付けられている。本実験においてはこれらのアンテナの中でトランスポンダ等の実験に使われるアンテナに受信記録装置を接続し、

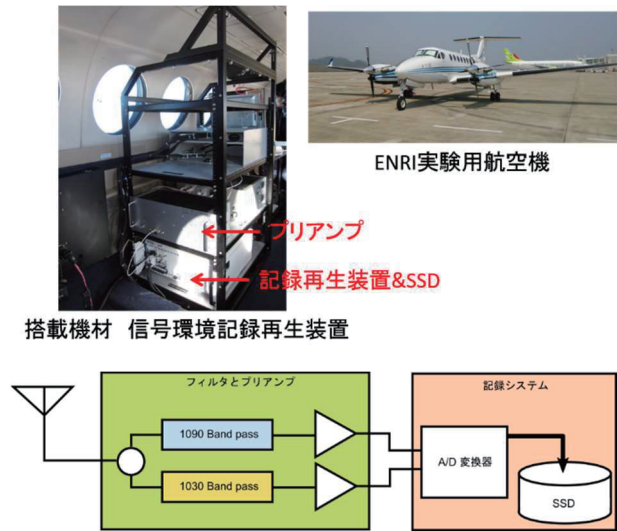


図 3: 実験用航空機と信号環境記録装置

飛行経路上での信号環境記録を行なった。航空機上ではアンテナ設置場所に制限があるため、実験用のアンテナと運航用のアンテナの距離が近く、運航用トランスポンダから信号が送信される時には広い周波数に渡って自分自身の信号による干渉が発生する可能性がある。ただし、それらの送信信号は他の航空機からの信号に比べて十分大きいと分離可能である。実験機材の搭載状況および実験用航空機を図3に示す。

前節で述べた信号環境記録装置は地上での測定だけでなく「よつば」にも搭載して信号環境を行っている。受信記録装置の構成は図の通りである。アンテナで受信した信号はプリアンプで増幅したあと、1030MHz および 1090MHz の帯域通過フィルタそれぞれ通過したのち信号記録装置に入力される。記録装置では 6GHz までの信号を最大 30MHz の帯域で記録することが可能である。飛行実験にて得られたデータは機上でそのまま解析するのではなく実験終了後、様々な手法を組み合わせる信号環境評価を行っている。

これらの機材を使用して日本全国の航空路上で信号環境の測定を実施した。飛行する航空機数の多い羽田空港周辺だけでなく、北海道や南西諸島も含めた日本列島上に存在するほぼ全ての航空路をカバーできるように飛行経路を計画した。また、毎年同時期に同様の経路を飛行することによって、機材の変更に伴う変化が確認

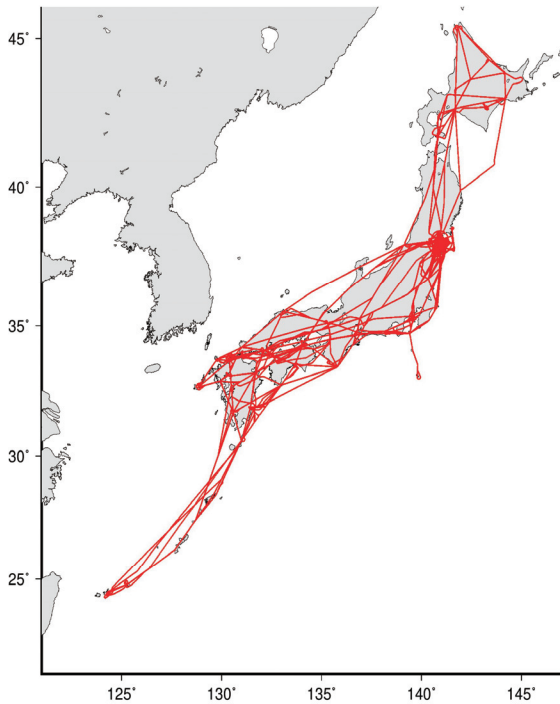


図 4: 飛行実験を行った経路

できるよう飛行実験の計画を行なっている。本研究に関連した飛行実験を行なった経路を図 4 に示す。この図で示した経路は複数年にわたって実験した経路の重ね合わせであり、実施時期により飛行したエリアは異なる。

3.1. 信号量解析結果

飛行実験で取得した信号環境データから求めた信号占有率を図 5 に示す。この図では羽田空港を中心とした半径 60NM での 1030 および 1090MHz の信号数を示している。地図上に示したのは飛行経路上での各占有率であり、中段は占有率毎の分布数。そして下段は占有率と中心からの距離を示している。1030MHz と 1090MHz では使われている信号が異なるため一律に比較することは難しいが、全ての地点において 1090MHz 帯は信号量が多いことがわかる。これは図に示したように、1030MHz 帯は地上や航空機からの質問信号が全てであることに対して、1090MHz 帯はこれらの質問に対する応答信号だけでなく、自律的に送信しているスキッタ信号も含まれていることによる。したがって、占有率毎の分布数では占有率は異なるものの同じ傾向を示しているのに対して、距離と占有率との関係では 1090MHz の場合には周

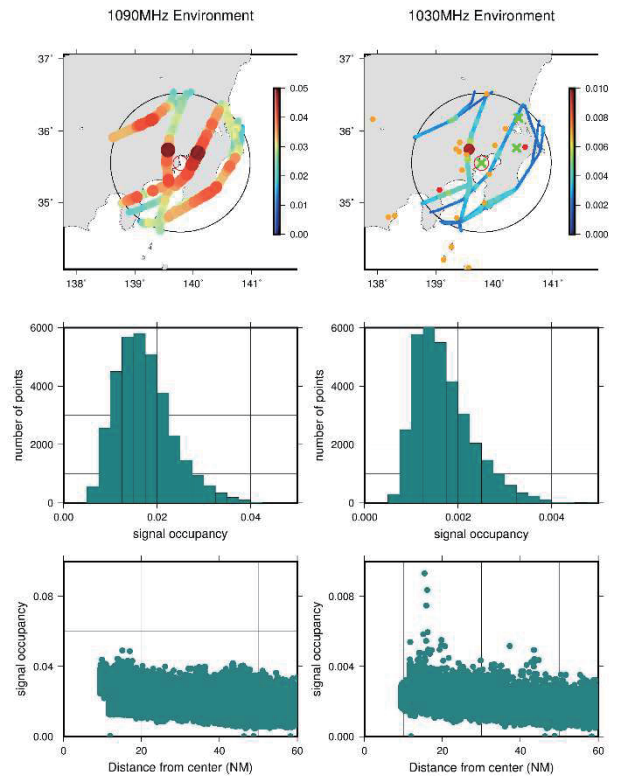


図 5: 羽田空港周辺における監視信号環境

辺航空機数が多いと考えられる空港周辺に近づくにつれて徐々に占有率が大きくなる傾向があるのに対して、1030MHz の場合には距離とは関係なく地上施設の分布に依存して占有率が変化している。本報告に示していない日本国内の他の空港においても同じ様な傾向が見られるほか、米国など諸外国でも同様の傾向がみられるとのことである。

3.2. OCTPASS による信号環境評価

飛行実験等で記録した信号環境データの再生による環境評価と同時に、既存の監視システムをつかった信号環境評価についても検討を始めたところである[3]。電子航法研ではマルチパスに強い新型 MLAT の開発に取り組んでおり、プロトタイプシステムとして光ファイバ接続型受動監視システム(OCTPASS: **O**ptically **C**onnect**E**d **P**assive **S**urveillance **S**ystem)を仙台空港に展開している。OCTPASS では光ファイバ無線を用いて各受信機で得られた信号を中央処理部で集約して処理することにより、従来の MLAT であれば破棄されて測位に用いられなかった信号も使用することで検出率の向上を測っ

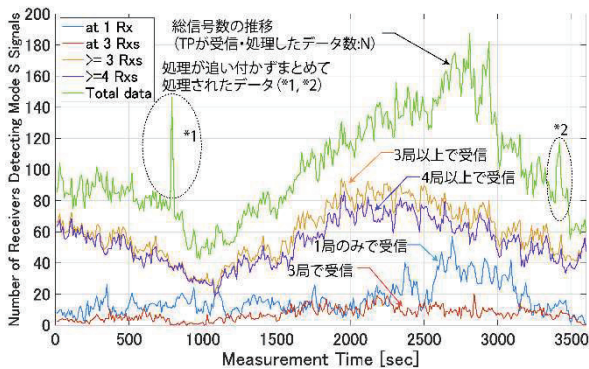


図 6: OCTPASS における受信局数の時間変化

ている。この能力を活用して仙台空港内の信号環境推定を試みた。図 6 にある 1 時間の受信局数変化を示す。この図から明らかなように、多くの場合では送受信信号数に対して実際に MLAT 処理に使われる 3 局以上の受信局で信号が得られているが、1 局のみで受診している信号が多く発生している事がわかる。このように得られたデータの解析結果から空港内で受信される信号の 20%程度は信号の衝突やマルチパスによって歪んでいる傾向にあることがわかっている。

4. ICAO 監視パネルの動向

ICAO 監視パネル(SP)では主に航空機監視システムの国際標準や技術マニュアル等規定類の取りまとめを行っている会議である。近年は、新しい監視機材について議論するだけでなく既存の監視システムが適切に動作する環境についても議論が行われている。特に現在の監視システムにとって最も重要な 1030/1090MHz の信号環境について検討する専門グループ(SSFT: Surveillance Spectrum Focus Team)を構成して、集中的に議論を行っている。SSFT では

- 1030/1090MHz 帯の有効的な活用法
 - 新しい監視システムと既存システムとの共用
 - 1030/1090MHz 帯信号量を減らすための検討
- 等が行われている。

また、昨年 EUROCAE/RTCA にて新しい拡張スキッタの MOPS(1090ES Version 3)が出版されたことを受けて、これらの内容を SARP 等に

反映させるための作業も行われている。これには ADS-B のメッセージとして新たに気象情報が追加される他、トランスポンダの質問および応答状況モニタ等が含まれている。さらに無人機に搭載されることを考慮したメッセージも追加された。このようにトランスポンダから送信される信号数の増加に伴い、メッセージの送信数を現在の 5.6 メッセージ/秒から 7.4 メッセージ/秒に増やす提案も検討されている。現在これら SARP の改訂提案を作成する作業が進められていて、今年秋の会議に改訂提案が提出される見込みとなっている。

5. まとめ

本報告では電子航法研で行っている監視システム信号環境測定について述べるとともに、ICAO 監視パネルで議論されている監視システム信号環境関連の動向について報告した。監視信号環境において 1030MHz は地上装置の配置や質問方法に依存して変化し、1090MHz は主に航空機数に応じて変化することが明らかになっている。通常、応答信号である 1090MHz の方がより信号が多く使われているため、適切な応答量になるように質問信号やスキッタ数を管理することが重要である。1090MHz で送信されている信号に含まれている情報は、航空管制のために有効な情報が多く、また将来はより多くの情報が 1090MHz で送信されるようになる見込みである。これらの情報を有効に活用するためには、現在の信号環境を適切に理解し、交通量等から将来の信号発生数を予測することが大切なことと考えられる。

参考文献

- [1] 大津山卓哉, 小瀬木滋, “飛行実験による GPS-L5 帯域の信号環境評価,” 信学論(B), Vol. J95-B, No. 11, pp 1576-1583, Nov 2012.
- [2] ICAO Aeronautical Surveillance Manual (Doc 9924), Appendix M, Third Edition, 2020.
- [3] 本田純一, 角張泰之, 大津山卓哉, “空港内のモード S 信号環境とマルチラテレーションの検出率について,” 信学論(B), Vol. J104-B, No. 1, pp. 10-22, Jan. 2021. DOI:10.14923/tanscomj.2020JBP303