

7. 監視システム信号環境の測定と評価

監視通信領域 ※大津山卓哉，本田純一，長縄潤一，宮崎裕己

1 まえがき

航空機の監視には主に 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。図1に示すように、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。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[1]。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

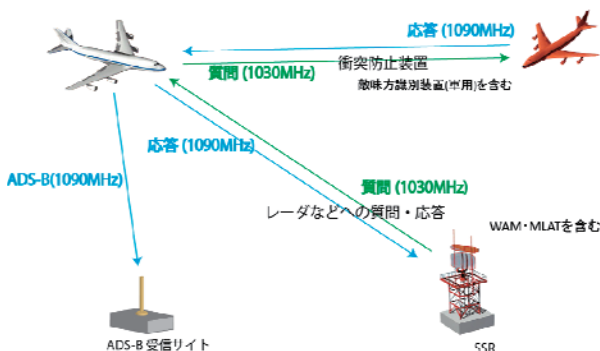


図1 1030/1090MHz システム概要

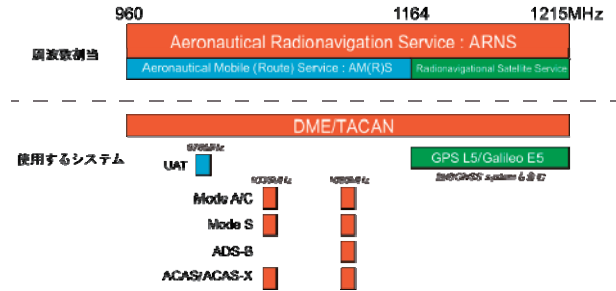


図2 1030/1090MHz システムの周波数利用状況

になっている。また図2に示すように、SSRのみであった地上に設置されている監視装置も、MLAT(マルチラレーション)や WAM(広域マルチラレーション)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、また、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。

本報告では飛行実験によって測定した日本上空における監視信号環境について報告する。日本全国の航空路および主要空港周辺で測定をおこなっているが、ここではもっとも多く信号が送受信されていると考えられる関東近辺での信号環境を実測した結果を例として、信号測定とそれによって得られた結果について報告する。

2 実験システム

電子航法研究所では以前より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(Aeronautical Radionavigation Service)帯域では多くの無線機が周波数を共有している。それら

のシステム性能を測定し性能予測を行なうために、広帯域で長時間測定可能な記録装置を導入し、各種の航行用無線周波数における信号環境のモデル化や信号干渉とそれによる運航への影響について検討を行なってきた。本研究で使用した記録装置もこれまでの研究で使用した機材と同様であり、信号環境を記録するだけでなく記録した信号をその時と同じように再生することで、実環境における無線機の動作を確認することが可能となっている。受信記録装置の構成は図3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を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。これらの記録信号はデータの信号処理によって解析することだけでなく、記録した信号を再生することによって受信状況を測定器等で確認することも可能である。本研究においては、信号処理による解析だけでなく航空機搭載のトランスポンダや地上のレーダ装置等に再生信号を入力して受信機の動作における信号検出の確認も行なっている。

3 飛行実験概要

電子航法研究所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、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場合がある。ただし、それらの送信信号は他の航空機からの

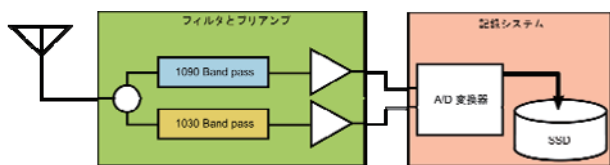


図3 信号環境記録装置の概要



図4 信号環境記録装置と実験用航空機

信号に比べて十分大きいため分離可能である。実験機材の搭載状況および実験用航空機を図4に示す。

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5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。

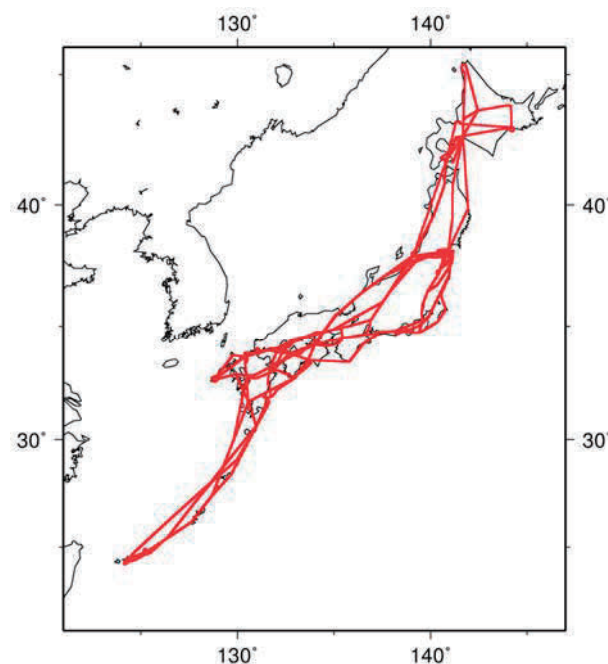


図5 飛行実験を行った経路

これらの飛行実験によって得られた記録信号から信号環境を求めめるために、記録した1030MHz および 1090MHz の信号に対して次のような検討をした。

- 信号占有率の導出
- 信号数カウント

信号占有率はある閾値を越える信号が1秒間にどの程度存在するかによって求めている。導出時は任意の閾値で信号占有率を求めているが、欧米との比較のため1030MHz の場合は-72dBm を越える信号、1090MHz の場合は-84dBm を越える信号について求めたものを信号占有率として取り扱う[2]。

飛行実験で取得したデータを用いて算出した信号占有率を図6, 7に示す。この図から明らかなように、関東付近でとびぬけて信号量が多く、また比較的交通量のあるエリアでは占有率が高い傾向にある。

4 信号量解析結果

国内での信号占有率が高い、関東付近のみを取り出して占有率と信号数の関係について検討する。図8に関東上空を通過する経路で飛行実

験を行った際の仙台空港を離陸して関東上空を通過し仙台空港まで戻った時の信号占有率変化を示す。1秒毎の信号量変化の他に10秒の移動平均をとったものを示している。この図から明らかなように関東上空で占有率が5%を超えている。他のエリアでは1~2%であることを考えると関東付近のみ非常に大きな値を持っていることがわかる。なお、ICAO 監視パネルに報告されている諸外国の信号占有率は欧州の最も高いエリアで8%程度であった。

ここで得られた信号がどのような信号によって構成されているのか確認するために、WAM 受信機に再生信号を入力して実際の信号数を求めた。図9にその結果を示す。左軸にATCRBS(Mode A/C)の信号数を右軸に Mode S の信号数を示している。この結果はWAM 受信機によって解析した結果であるため、受信機の特長によって実際の信号数とは異なる結果になってしまうが、大まかな傾向はつかめているものと考えられる。図から明らかなように信号数の変化は信号占有率(図8)と同じ傾向を示している。したがって信号占有率は信号の変化によって変わることが明らかである。

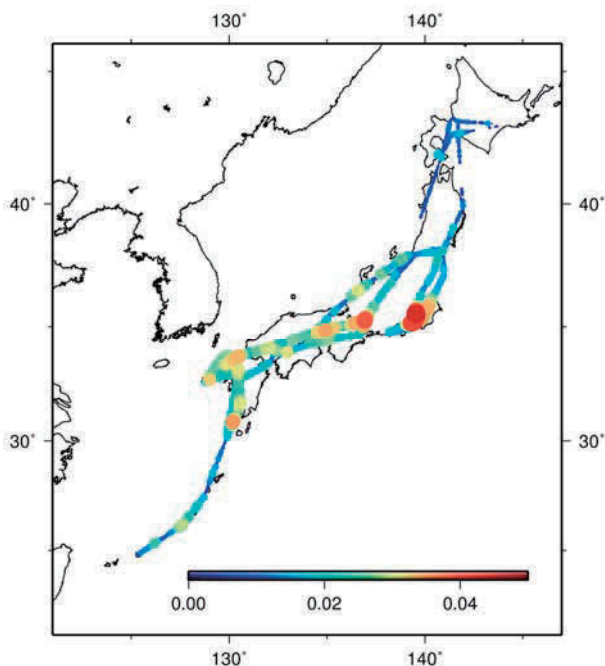


図6 2015年度に行った飛行実験での信号占有率解析結果

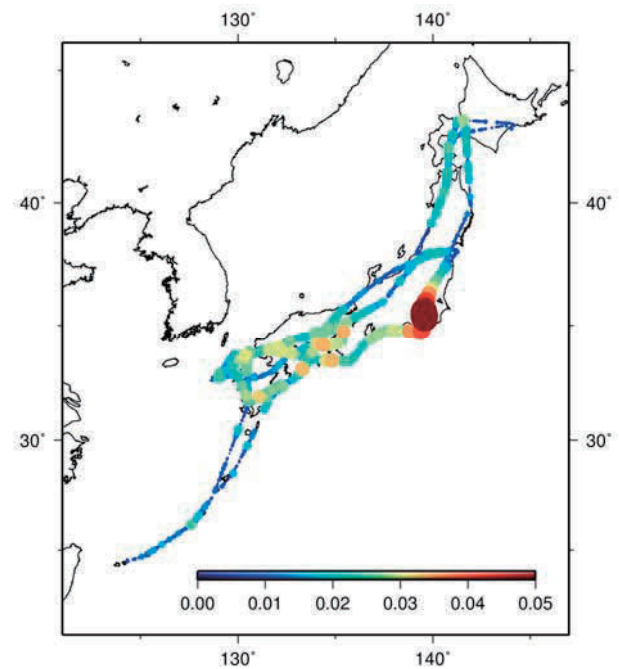


図7 2016年度に行った飛行実験での信号占有率解析結果

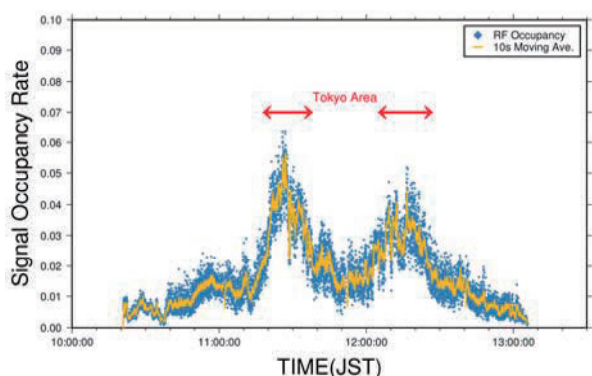


図8 信号占有率の変化

次に信号数を使って信号占有率について検討を行う。Mode A/C, Mode S Short, Mode S Longそれぞれの信号長は既知であるため、それぞれの個数に信号長をかけて積算したものを占有率として計算する。なお、信号数から占有率を求める場合に、信号長を使う考え方とパルスのある部分のみを占有率に当てはめる2つの考え方があがるが、本報告においてはパルス部分のみが占有率に寄与するものとして計算を行った。図に信号数から求まる占有率および直接解析によって求めた占有率（図10）を示す。この図から明らかのように、両者の間には大きな隔りがある。この原因としてWAM受信機の受信特性や信号の重畳によるデコードの失敗、未知信号の混入などが考えられる。

5 考察とまとめ

多くの航空機が飛行している関東付近では、1090MHzにおける信号占有率は5%程度であった。これは1秒間で考えると50msが-84dBm以上の信号で埋まっていることと同じである。

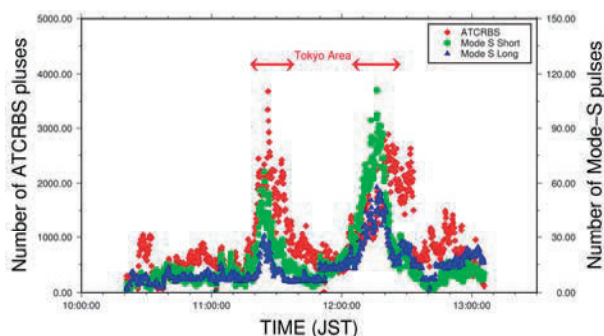


図9 信号数の変化

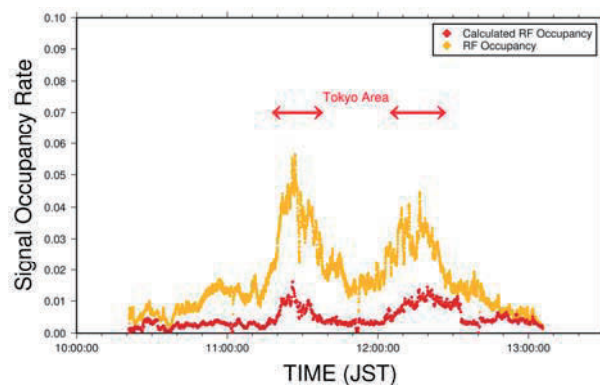


図10 直接計測した信号占有率と信号数から求めた信号占有率の比較

今回の場合、信号数の計測結果から信号数の約1/5がMode S Longスキッタであることがわかっており、したがって約8msがMode S Long信号であると考えられる。Long信号は120us間の信号のうち58us間パルスが占有しているため、5%の占有率のエリアではおよそ143個のMode S Long信号が存在していると考えられる。なお、レーダ等1090MHzを使用する受信機の受信性能はMode S Longスキッタに換算して1秒あたり400個を越えると解読率が90%を下回り性能基準を下回る[3]。

以上のことより、日本国内で測定された信号占有率から求まる受信性能は、もっとも信号環境の厳しい関東付近においても受信性能を劣化させるほどの信号数には達しておらず、今現在よりも多くの信号を航空機監視に使用可能であるといえる。今後、地上監視機材の変化や季節毎の変化等についても検討を行っていく。

参考文献

- [1] ICAO, “ANNEX 10, Volume-I, IV”, 2003.
- [2] 大津山卓哉, 長縄潤一, 宮崎裕巳, “飛行実験による監視信号環境の測定”, 信学技報, SANE2015-105, Jan. 2016.
- [3] 小瀬木滋, 住谷泰人, 白川昌之, “モードS拡張スキッタへの非同期混信妨害の統計モデル”, 電子航法研究所報告, No.102, pp 1--13, Feb. 2003.