

## 18. 航空無線航法用周波数の信号環境測定とその応用

機上等技術領域 ※小瀬木 滋、大津山 卓哉、古賀 禎

### 1. はじめに

航空無線航法サービス（ARNS: Aeronautical Radio Navigation Service）に使用される電波は、960から1215MHzの周波数に割り当てられている。この周波数帯域（以下 ARNS 帯域と略称）には、DME など既存システムに加え、GPS-L5 やデータリンクなど新しい航空無線システムの電波が割り当てられた。しかし、航空機搭載機器の世代交代には比較的長い移行期間が必要であり、この間は新旧の航空無線システムが周波数を共用することになる。

新旧のシステムが周波数を共用することで、信号発生数や干渉発生状況などを示す信号環境が大きく変化する。信号環境は、無線システムの運用環境の一つであり、実現可能な運用性能の決定要因である。

本稿では、その測定手法や当研究所が実施した測定例を報告する。測定結果の活用として、信号環境や機器運用性能予測の精度向上、不良システムの特定、信号環境再生による機器評価試験などについて例を示す。

### 2. 航空無線航法用周波数の状況

世界電気通信連合（ITU: International Telecommunication Union）は世界無線通信会議（WRC: World Radio-communication Conference）を開催し、多国間の周波数割り当て調整をしている。ARNS 帯域は、航空の安全性維持や効率的運用のために国際的な調整の上で保護されている。この帯域内では、DME/TACAN、SSR/IFF、ACAS などが使用されてきている[1]。

その他の周波数帯域において、携帯電話の普及など、航空分野以外の電波利用も著しく進展している。このため、新たに別の周波数帯域を航空用に割り当てる事が困難であり、将来の航空無線システムの信号も従来の ARNS 帯域内に追加割り当てされつつある。

WRC2000 会議では GPS-L5 や Galileo-E5 など

GNSS 用周波数が検討開始され、WRC-03 会議にて ARNS 帯域内への割り当てが決定された。また、WRC-07 では、ARNS 帯域内に航空移動通信サービス（AMRS: Aeronautical Mobile Radio Service）が新たに割り当てられた。このため、主に 960～1024MHz を想定し、新しい民間航空用データリンクが標準化されつつある。

一方で、多様な軍用無線システムもこの帯域に導入されている。軍用データリンク JTIDS（Joint Tactical Information Distribution System）は、SSR 用の周波数帯域を除く ARNS 帯域のほぼ全域を周波数ホッピングしながらパルス信号を送信する[2]。JTIDS は、先に導入されている DME 等に対して有害な干渉を与えない条件で運用が認められている。

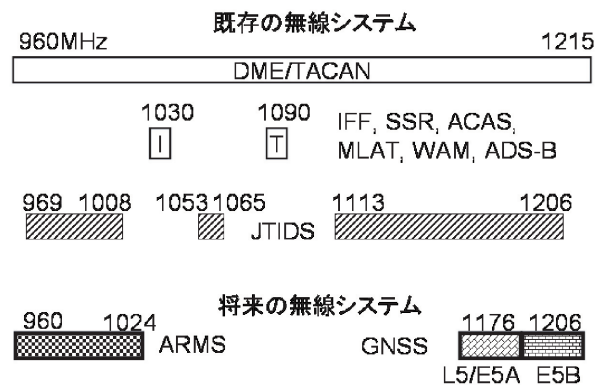


図1 ARNS 帯域内の周波数利用状況

新旧無線システムの移行期間が長い場合、新しい無線システムは既存の無線システムに有害な干渉を与えないことが求められる。また、既存の無線システムからの干渉を配慮して、新しい無線システムを標準化する必要がある。

### 3. 無線システムの周波数共用

#### 3.1. 既存システムの周波数共用手法

近年、周波数共用の手法として、TDMA（Time Division Multiple Access）や CDMA（Code

Division Multiple Access) などが知られている。しかし、これらの方式の実現に必要な精密時刻同期や符号処理機能が普及する前に、DME や SSR などビーコンシステムが実用化された。ビーコンシステムは、多数の送受信機が周波数を共用するが、相互干渉による性能劣化を前提にシステム設計されている。

ビーコンシステムは、質問装置と応答装置で構成され、パルス列を用いる質問信号や応答信号を送受信する。このとき、パルスパターンの違いを判別することにより、送受信相手や応答情報の選択が可能である。また、質問装置は、質問信号をランダムなタイミングで繰り返し送信しながら、質問からほぼ同じ遅延時間で受信される応答信号を選別検出するトラッキング処理をする。これにより、多数の応答装置が多数の質問装置に対して同じ周波数で応答信号を送信しても、質問装置は自らの質問信号に対する応答信号のみを選択検出できる。

この他に、スキッタと呼ばれる信号も使用されている。これは、ランダムなタイミングで送信され、多数の受信機に情報を同報する目的で使用される。この信号に対するトラッキング処理は不可能である。

ビーコンシステムの受信機において希に複数の信号がほぼ同時に受信され、相互に干渉する場合がある。しかし、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維持できれば、干渉発生確率が減少し、性能劣化を軽減できる。このため、規格を満たす信号を適切な送信レートで運用すれば、十分な性能が得られることが知られている。

### 3.2. 周波数共用の新たな課題

近年、ARNS 帯域内に新しい無線システムの周波数割り当てが行われつつあり、これへの対応が必要である。特に、新しい無線システムは GPS-L5 信号に見られる CDMA 方式などの新しい信号を採用しており、既存システムとの間で干渉評価が必要である。

GPS-L5 信号の場合、これが DME/TACAN に与える干渉を制限するため、GPS 信号電力は DME/TACAN インタロゲータ受信機入力にてその雑音レベルより十分低い値になるよう制限されている。また、GPS-L5 信号が受ける干渉

について RTCA が検討を進め、GPS-L5 信号の送信電力増加による受信信号 SN の向上、大電力干渉を排除するパルスブランカなど受信機の改良、人工雑音発生量の監理など、十分な航法性能を得るために各種の干渉対策の必要性を指摘している[3]。しかし、実環境で観測されるマルチパスの影響が無視されるなど、想定事項の妥当性について再確認が求められている[4]。

### 3.3. 信号環境測定の必要性

ビーコンシステムは、3.1.に示すようにランダムなタイミングの混信の発生確率が十分低ければ、周波数共用しても実用的性能を発揮できる。このため、信号環境の維持管理がビーコンシステムの性能維持改善のために重要である。

新しい無線システムについても、3.2.に示すように、周波数割り当てやシステム導入の前に周波数共用の前提などの確認が必要となる。また、無線システムの運用中も、必要に応じて有害な干渉波源の特定と排除など、信号環境監視と保全対策が必要となる。

以上のように、信号環境測定は、航空無線システムの導入シナリオ策定から運用維持まで各段階の検討に必要な情報を得るために必要である。

## 4. 信号環境の測定手法

信号環境の測定は、帯域内の受信信号波形の記録によりすべての情報が得られる。しかし、測定機器や記録装置の性能に限界があるため、目的に応じた情報のみを測定記録する簡便な手法がとられてきている[5,6,7,8]。

- デジタルオシロスコープ等による短時間の受信検波出力波形記録
- 受信機デコーダの信号検出トリガパルスの計数
- スペクトラムアナライザによる受信電力の周波数分布測定

しかし、GPS-L5 等の広帯域信号に対する干渉測定については限界がある。干渉信号環境下での GPS-L5 性能評価に必要な情報は、パルスブランカの動作予測に必要な干渉信号電力と発生時間率の関係である。GPS-L5 信号のように 20MHz を超える帯域に周波数拡散されている場合、多数の DME/TACAN のチャンネルがこの帯

域で運用されており、これらの干渉を一括して必要な時間にわたり測定する必要がある。

このため、当研究所では広帯域電磁信号環境記録装置を試作した[9,10,11]。本装置は、図2に示すように、高速高精度のAD変換回路に高速大容量の記録装置を接続して構成されている。記録された受信信号波形は、時間周波数分析や特定受信周波数の信号抽出など多様な信号処理に使用される。

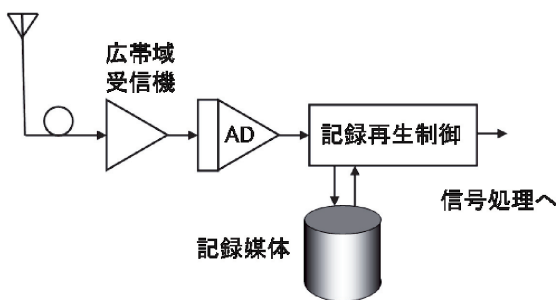


図2 広帯域電磁信号環境記録装置の構成

実験装置の基本構成は同じであるが、予備実験や機動的な測定を目的とした携帯型のものと、長時間連続して高精度記録が可能なものを製作した。これらの仕様を表に示す。

表 広帯域電磁信号環境記録装置の仕様

仕様	携帯型	高精度長時間型
AD変換精度	12 bit	16 bit
最大AD変換速度	100 MS/s	100 MS/s
スループット	10 MS/s	100 MS/s
最大連続記録時間	10 秒	1 時間以上

## 5. 信号環境の測定例

携帯型の広帯域電磁信号環境記録装置と実験用L5受信機を用いた測定例を図3に示す。使用した受信機は、1176MHzを中心に30MHzの3dB受信帯域幅を持ち、それ以外の周波数ではイメージ混信を防止するために十分な減衰を持つ。1151MHzの局部発信器を持つスーパーヘテロダイン方式であるため、1176MHzの受信信

号は25MHzの出力信号に変換される。

記録された信号には、各種のデジタル信号処理を適用することができる。図3では、時間周波数分析をしている。

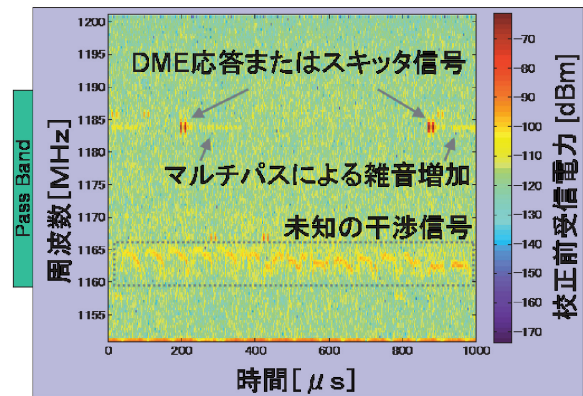


図3 GPS-L5帯域内の信号の時間周波数分析例  
(宮崎市2500ft上空、2006年10月)

GPS-L5受信機のパルスブランクの影響を予測するために必要な干渉パルス電力とデューティ比の関係もデータ処理により得ることができる。また、特定周波数の信号を抽出して受信波形を処理することで、マルチパス波のレベルや継続時間が得られる。

この他、DME/TACAN等以外の干渉も確認できる。記録されている周波数やレベルの変化状況は、波源の種類を推定に活用することも可能である。図3の干渉波の例では、16kHzの変化周期と数MHzの帯域幅を持つことから、テレビカメラ等の信号に似ていることがわかる。

## 6. 今後の課題：信号環境測定の応用

信号環境を測定する手段は整いつつあり、今後の課題は、測定データの活用やそれに適したデータ処理手法の開発である。次のような応用が期待されている。

### 6.1. 新システム導入シナリオ策定支援

新しい無線システム導入シナリオの策定においては、信号環境の維持整備が運用環境整備の一項目として必要である。

GPS-L5の例では、帯域内のパルス信号等干渉発生状況の測定結果を元に、将来の運用環境予測を支援できる。これをもとにして、GPS-L5

の実現性能を推定できる。Galileo-E5 についても同様である。

また、予測される航法性能が不十分である場合、信号環境測定結果を用いて、DME 等の周波数割り当て変更の費用対効果の向上や、想定外干渉源の排除などの対策立案を支援できる。

#### 6.2. 信号環境や機器運用性能予測の精度向上

信号環境測定結果と予測計算結果を比較することで、予測計算手法の精度の確認や向上に寄与できる。

#### 6.3. 信号環境再生による機器評価試験

新しい無線システムの物理層は、既知の信号源の信号発生状況から運用信号環境を想定し、信号や受信処理方式が設計される。信号環境測定により、想定すべき信号環境を確認できる。

また、未知の干渉波源が発見された場合、干渉波源の特徴を適切に表現できる信号源を入手できない限り、ベンチ試験により試作機器の運用性能への影響を確認することは困難である。受信記録された信号を再生してベンチ試験することができれば、実環境における多様な干渉の影響を確認できる。

#### 6.4. 不良システムや干渉波源の特定

信号環境の記録データには、運用中の無線機器の信号が記録されている。これを分析することで、不良システムの特定が可能である。また、機材毎の信号パラメタの変化を監視することで、機材の不具合発生を予測できる場合もある。

当研究所による 1090MHz 信号環境測定データ等を活用して、モード S トランスポンダの送信波形や周波数の異常等を分析している。

### 7. まとめ

本報告では、信号環境測定の必要性和活用例を示すとともに、当研究所による測定例と今後の課題を紹介した。

### 謝辞

信号環境の測定結果の活用については、国土交通省航空局各位のご指導を得ました。実験装置の試作では、パベック電子開発株式会社ご協力を得ました。また、飛行実験は、多くの皆様のご支援ご協力により実施されています。

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: "ANNEX 10, Volume-I, IV", 2003
- [2] Lokuta: "JTIDS Electromagnetic Compatibility in the 960-1215 MHz Band", AD-A247834, January, 1992
- [3] RTCA SC-159: "Assesment of Radio Frequency Interference Relevant to the GNSS L5/E5A Frequency Band", DO-292, July, 2004
- [4] S. Ozeki, et. al.: "Onboard Measurement for Multi-path echo - Trial in 2006", RTCA SC-159 / WG6, November, 2006. [http://www.enri.go.jp/info/katsudou/pdf/etc2006/RTCA\\_SC159\\_WG06.pdf](http://www.enri.go.jp/info/katsudou/pdf/etc2006/RTCA_SC159_WG06.pdf)
- [5] 小瀬木他：「L バンドで測定された人工雑音」、信学技法、EMC2001-15、2001年5月
- [6] 小瀬木他：「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、2003年2月
- [7] 小瀬木他：「1030MHz 帯の信号環境測定」、電子航法研究所報告、No.107、2004年1月
- [8] 小瀬木他：「GPS-L5 帯域で観測されるマルチパス反射」、電子情報通信学会、2007年総合全国大会、B-2-2、2007年3月
- [9] 大津山他：「ARNS 帯域の信号環境記録予備実験」、電子情報通信学会、2006年ソサエティ大会、B-2-6、2006年9月
- [10] 大津山他：「ARNS 帯域の信号環境記録予備実験 - 測定例」、電子情報通信学会、2007年総合全国大会、B-2-3、2007年3月
- [11] 大津山他：「ARNS 帯域にて観測された干渉信号の解析」、電子情報通信学会、2007年ソサエティ大会、B-2-18、2007年9月