

3. 航空機内データ通信および電波高度計の電磁環境評価に関する研究開発

監視通信領域 ※ニッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 米本 成人

1 はじめに

2015年に開催された世界無線通信会議(WRC-15)において、電波高度計に割り当てられている4 GHz帯(4.2 GHz-4.4 GHz)を航空機内データ通信(Wireless Avionics Intra-Communications, WAIC)にも配分することが決議された。WAIC機器は航空機内の配線を無線化することで航空機の重量低減を図り、運航の効率化を目指すことを主な目的の一つとしている。一方で、既存の電波高度計と同一の周波数を用いることから、WAIC機器と電波高度計との共用条件の策定が必要である。

RTCA(米国航空無線技術委員会)およびEUROCAE(欧州民間航空装置機構)では、WAIC機器の実現に向けて、特別委員会236(SC-236)および96作業班(WG-96)を設立し、2016年9月から合同でMASPS(最低性能要件)およびMOPS(最低運用要件)を策定する活動が行われている。さらに、ICAOのFSMP(周波数管理パネル)では電波高度計とWAIC機器に関する共用条件に関するSARPs(標準および勧告方式)の策定作業が実施されている。上記の活動の中で、WAIC MASPS RTCA DO-378 [1]/EUROCAE ED-260が2019年7月に発行されたが、電波高度計への干渉影響を避けるため、現在、WAIC機器の最大放射電力値の見直しを検討中である。

本稿では、WAIC機器および電波高度計の電磁環境評価に関する研究について概要を述べる。まず、大型航空機においてWAIC機器からの詳細電磁界放射特性を評価可能な、大規模電磁界数値解析の結果例を示す。次に、小型航空機を用いて実施した、電波高度計およびWAIC機器放射特性試験の結果例を示す。さらに、電波高度計への干渉経路損失(Interference Path Loss, IPL)測定結果および電波高度計の電磁干渉特性測定について概要を述べる。

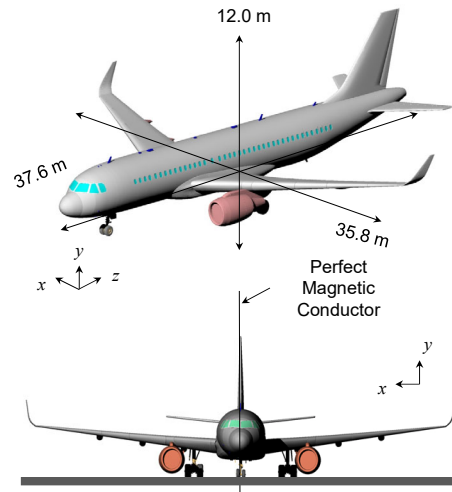


図1 エアバス A320-200 型機の3次元数値モデル

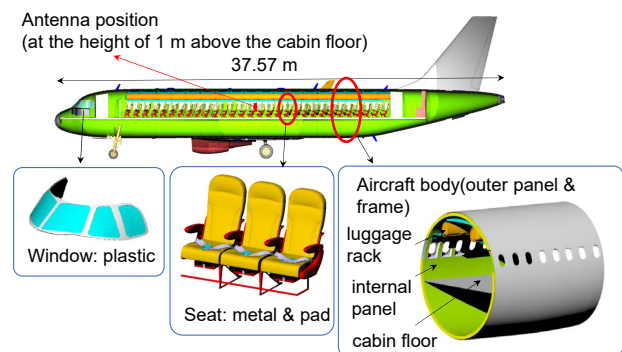


図2 エアバス A320-200 型機の機内モデル

2 WAIC 周波数帯電磁干渉推定技術の開発

WAIC 周波数帯において適用可能な航空機電磁界電波伝搬特性の推定技術として、大規模電磁界数値解析技術を用いた推定法を開発する。数値解析を用いて航空機電波高度計や WAIC 機器の詳細な電波伝搬推定を行うことが可能である。時間領域差分法(Finite-Difference Time-Domain method, FDTD)を用い、図1および図2に示すエアバス A320-200 型機の3次元数値モデルを用いた電磁界数値解析を行う。送信

表1 FDTD 数値解析パラメータ

解析空間 (mm ³)	20,100 × 20,100 × 40,660
セルサイズ (mm)	5
解析セル数	4,020 × 4,020 × 8,132
周波数 (GHz)	4.4
吸収境界条件	Convolutional perfectly matched layer (10 layers)
解析ノード数	40
必要解析メモリ	12,800 GB
アンテナ	1/2 dipole (0.1 W input power)

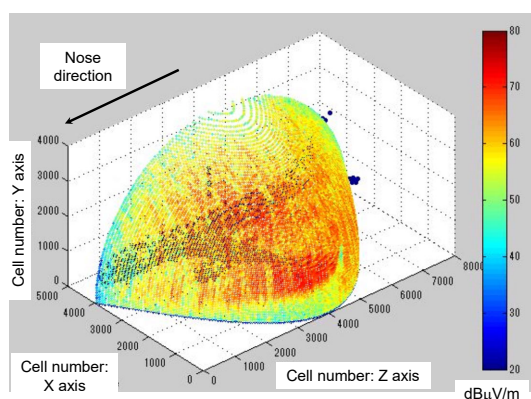


図3 航空機を中心とした半球上における電界強度解析結果例

アンテナは機内通路中央部、高さ 1 m に設置した 2 分の 1 波長ダイポールアンテナである。表 1 に、FDTD 数値パラメータを示す。全領域に対して 5 mm³ の均一立方体セルを用いて解析を行う。解析に必要な主記憶容量を減らすため、胴体中央部に磁気壁を設置する。この解析領域は 40 個のエリアに分割して計算され、吸収境界を含むセル数は合計で 4,020 × 4,020 × 8,132 である。また、解析に必要な主記憶容量は約 12.8 TB である。

図 3 に、航空機を中心とした半球上における電界強度解析結果例を示す。航空機を取り囲む半球上における電磁界強度値の評価は WAIC MASPS[1]で規定され、実機での評価試験が必要となるが、開発した大規模電磁界数値解析法では、世界で初めて数値解析により詳細な球面評価を実現しており、電磁環境評価での活用が期待されている。



図4 WAIC 機器を想定した航空機地上放射特性評価試験状況概観

表2 送受信アンテナ仕様および測定条件

受信アンテナ	ログペリオディックアンテナ
受信アンテナ利得	5.2 dBi (4.3 GHz)
受信アンテナ偏波	垂直および水平
送信アンテナ	標準ダイポールアンテナ
送信アンテナ偏波	垂直
測定周波数	4.2–4.4 GHz

3 電波高度計および WAIC 放射特性評価

航空機電波高度計と WAIC 機器の周波数共用検討を実施するための基礎データとして、電波高度計および WAIC 機器を想定した地上放射特性評価を、小型航空機を用いて実施した。例として、電子航法研究所所有の小型航空機ビーチクラフト製 B300 型機 (King Air B350) を用いた、WAIC 機器を想定した地上放射特性評価結果例を述べる。図 4 に、WAIC 機器を想定した送信アンテナ設置状況の一例を示す。ここでは、右翼端灯部分に WAIC 機器の設置を想定し、標準ダイポールアンテナを垂直偏波で設置している。アンテナ設置高さは地面から 1.92 m である。表 2 に、評価に用いた送受信アンテナ仕様および測定条件を示す。

WAIC MASPS[1]に記された電界強度測定法に基づき、航空機周辺における放射特性を取得する。機体の最大寸法の 1.5 倍を半径 (26.5 m) とする円周上において、異なる高さ (航空機窓高さ、航空機窓高さ ± 1 m) と両偏波 (垂直および水平) で電界強度測定を実施する。

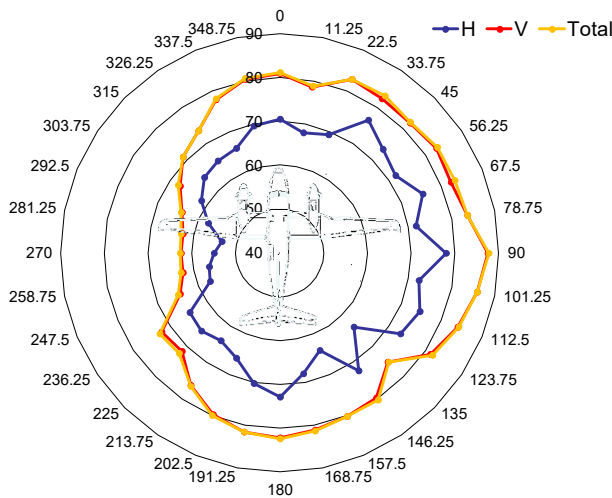


図5 航空機周囲の電界強度特性
(測定高：航空機窓高さ，単位：dB μ V/m)

また、上記円周上を 11.25 度間隔で 32 点において測定を行う。図 5 に、測定高を航空機窓高とした場合の電界強度特性を示す。なお、ここでは送信アンテナ入力電力を 0 dBm に規格化した場合の値を示している。測定結果から、送信偏波と同一の垂直偏波が支配的であること、および送信アンテナ設置位置に最も近い 90 度方向で電界強度が最大値となっていることが確認できる。

WAIC MASPS[1]では、WAIC 機器の設置箇所に拘わらず、他の航空機の電波高度計への干渉を避けるため、航空機周辺からの全放射電力測定結果に基づき、航空機中心における点波源電力値を計算し、その値が制限値以下であることが求められる。例えば、図 5 では、90 度方向で電界強度値が 87.7 dB μ V/m となり、航空機中心の点波源電力は、11.4 dBm となる。この場合、WAIC 機器が翼端に設置されていることにより、機体中心における点波源電力値が、アンテナ入力電力値より大きく計算される。

4 電波高度計への干渉経路損失測定

航空機電波高度計とその隣接および同一周波数帯を用いる機器の周波数共用検討を実施するための基礎データとして、小型固定翼機およびヘリコプタを用いて、電波高度計への IPL の測定評価を実施する。小型固定翼機は、図 6 に示す前述の電子航法研究所所有のビーチクラフト



図6 電波高度計の干渉経路損失測定状況
(ビーチクラフト B300)

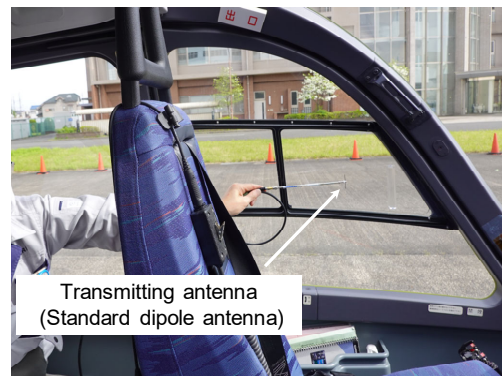


図7 コックピット左席窓における
送信アンテナ設置状況 (川崎 BK117C-2)

製 B300 型機である。また、ヘリコプタは、図 7 に示す宇宙航空研究開発機構所有の川崎重工業製 BK117C-2 であり、共同研究の一部として測定評価を実施する。IPL は、航空機の電磁干渉耐性を評価するための値の一つとして用いられ、航空機に設置もしくは持ち込まれている機器のアンテナから放射された電磁波が空間を伝搬し、航空機のアビオニクスアンテナ端子に伝わる電力損失量を示す。本測定では、実際の航空機を用いて被干渉のアビオニクスを航空機電波高度計、与干渉機器を機体内外に存在する通信機器と想定し、IPL 測定評価を実施する。なお、IPL の測定評価には、RTCA DO-307A[2]に基づく測定を実施する。

航空機内外の複数箇所に WAIC 機器等の通信機器を想定した送信アンテナを設置し、場所を変えながら電波高度計アンテナ端子に伝わる電力量を測定し、基準値との差を計算する。送信アンテナは標準ダイポールアンテナを用い、3 軸に変化させ、各偏波で測定を実施する。こ

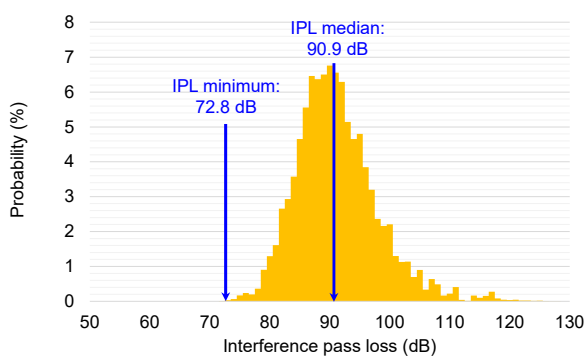


図8 小型固定翼機における機内送信アンテナ設置時の IPL 値ヒストグラム (ビーチクラフト B300)

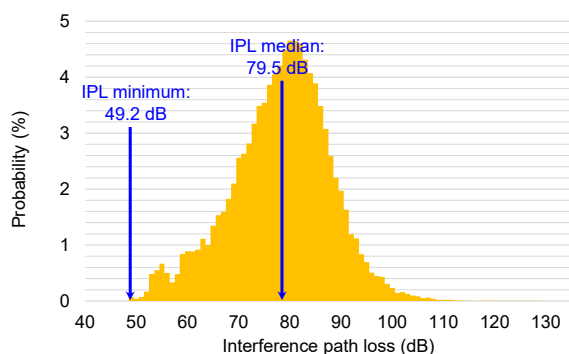


図9 ヘリコプタにおける機内送信アンテナ設置時の IPL 値ヒストグラム (BK117C-2)

ここでは例として航空機内部に送信アンテナを設置した場合の、IPL 測定結果を示す。図8および図9は、それぞれ小型固定翼機およびヘリコプタの機内送信アンテナ設置時の IPL 値ヒストグラムである。小型固定翼機およびヘリコプタの IPL 最小値は、それぞれ 72.8 dB および 49.2 dB である。

5 電波高度計の電磁干渉特性測定

被干渉側となる航空機電波高度計の電磁干渉特性を詳細に評価するため、電磁干渉評価測定を行う。本測定は、令和4年度から実施している指定研究「電波高度計と同一隣接周波数利用システムの周波数共用に関する研究」に先行して実施するものであり、代表的な電波高度計の電磁干渉特性を取得して、課題抽出を行う。図10に、RTCA DO-155[3]の測定評価系に基づく電波高度計の電磁干渉特性の測定状況を示す。これまでに延べ7台の電波高度計の測定評価を実施しており、代表例の報告と結果取りまとめ

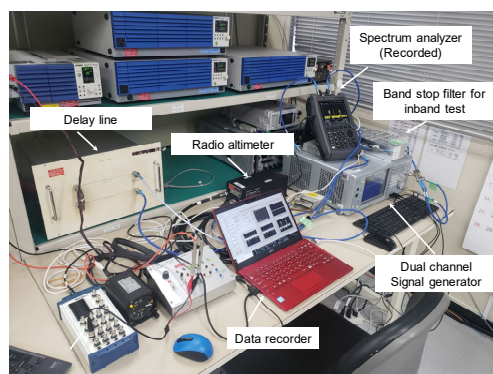


図10 電波高度計の電磁干渉特性測定状況

を実施中である[4]。今後、後継研究において、WAIC 機器および隣接周波数帯を用いる Sub-6 5G モバイルシステムの電磁干渉評価のために活用する予定である。

6 まとめ

WAIC 機器および電波高度計の電磁環境評価について、WAIC 機器と電波高度計を共用する条件を明らかにするために実施した研究項目の概要を述べた。WAIC 機器の電磁界放射特性を詳細に評価可能な電磁界数値解析技術を開発した。また、航空機電磁環境評価および IPL 測定結果例を述べた。さらに、電波高度計の電磁干渉特性測定の概要を記した。

参考文献

- [1] Radio Technical Commission for Aeronautics (RTCA), “DO-378 - Minimum Aviation System Performance Standard (MASPS) for Coexistence of Wireless Avionics Intra-Communication Systems within 4200-4400 MHz,” Jul. 2019.
- [2] Radio Technical Commission for Aeronautics (RTCA), “DO-307A - Aircraft Design and Certification for Portable Electronic Device (PED) Tolerance,” Dec. 2016.
- [3] Radio Technical Commission for Aeronautics (RTCA), “Minimum Performance Standard for Airborne Low-Range Radar Altimeters,” DO-155, Nov. 1974.
- [4] S. Futatsumori, “Interference Susceptibility Evaluations of Pulsed Radio Altimeters Due to 5G Mobile Base Station Signal,” ICAO Frequency Spectrum Management Panel, WG12, Oct. 2021.