

15. 代表的な航空機を用いた携帯電話電波の影響評価

機上等技術領域 ※米本 成人、河村 暁子、ニッ森 俊一、磯崎 栄寿、山田 公男、朝倉 道弘

1. はじめに

飛行機に搭乗の際の携帯電話等の電波を発生する機器の使用は乗客が航空機内において安全阻害行為等として平成 16 年 1 月 15 日から改正航空法により禁止されている[1]。航空機内で様々な悪質な行為により職務執行が妨げられるケースが多く、安全阻害行為を取り締まるために制定されている。その安全阻害行為の一つとして電子機器を正当な理由なく作動させる行為が規定されている。

現代の航空機には多くの搭載電子機器を使用しているため、外来の電磁波による電磁干渉が懸念されている。ところが、外国では航空機内で携帯電話や無線 LAN 等の電波を利用しながら商用飛行が行われている。このような背景の中、当研究所では航空機内で安全に電子機器の使用を許容するための技術要件、そして真に危険な状態を明らかにするために研究を行っている。

航空機における電磁干渉問題の調査は、国土交通省航空局、航空会社の協力のもと 15 年以上に渡り実施してきた[2]。図 1 に航空会社から航空機内で発生した原因不明の障害時に、乗客等が電子機器を使用しており電磁干渉が疑われた事象について報告件数を示す。これらの報告の受領後に追跡調査を実施すると、電磁干渉に起因しない不具合であるケースも少なくない[3]。

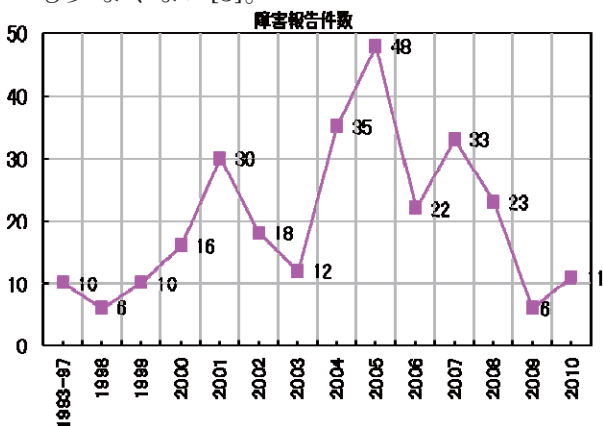


図 1 電磁干渉事例の件数

本稿では航空機の安全性を担保しながら電波を発生するさまざまな電子機器の使用を許容するための電磁波耐性の検証手法について解説する。また、これらの検証手法を利用して、携帯電話の影響を代表的な航空機を用いて評価した結果について述べる。

2. 電子機器を許容する指針

航空機搭載電子機器は厳しい環境試験を行うことが義務付けられている。それらは米国の航空無線技術委員会 (RTCA: Radio Technical Commission of Aeronautics) で文書 160 「航空機搭載機器—環境条件および試験手順」 (DO-160) シリーズとしてまとめられている[4]。DO-160 には航空機搭載機器が満足しなくてはならない、機械的、電氣的、温度・気圧等の様々な環境条件と試験手順が規定されている。電波に関しても、搭載機器が強電界で誤動作しないこと、および不要放射が抑えられていることを証明しなくてはならない (型式証明)。また、1990 年代以降に設計された航空機では航空機全体として強電波 (HIRF: High Intensity Radio Frequency) 試験を行う、もしくは強い電波に耐えることを証明することが、米国航空局の連邦航空法等にも定められている[5]。このことから、航空機はそもそも外来の電波に対して強い構造であるといえる。

2.1 各種電子機器の電磁放射基準

乗客が持ち込む電子機器の電磁干渉問題については 1980 年代より RTCA 等の国際機関でも調査検討されている。すべての民生機器が DO-160 に規定された不要放射レベルを常に満足するよう製作されていれば、航空機への影響は無いと結論付けることができ、航空機内で常時使用することが可能となる。しかしながら、乗客が持ち込む可能性のある電子機器は、異なる電磁放射基準で製作されてい

る。図 2 に DO-160 の強電界試験値 (Cat. T) と不要放射許容値 (Cat. M)、および 1 m 法に換算した各種電磁放射基準を列挙する。

ここで、無線機器に関する基準については、許容された電力を等価等方放射電力 (EIRP) として電界強度に換算した値を使用した。図 2 に示されるように、多くの民生用機器の電磁放射は Cat. M の許容値を超過している。また、図 2 青線では、意図的な電波放射がない電動玩具からの電磁放射の一例である。1000 MHz や 1500 MHz 周辺で Cat. M の許容値を超過した。よって、現在では安全性の証明がない機器は、原則使用が制限されている。

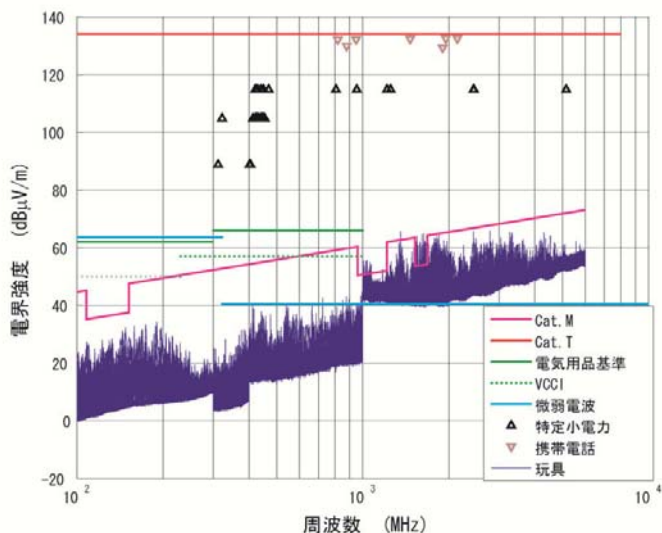


図 2 DO-160 の規定値と電磁放射基準

2.2 電波を発する機器の安全性評価

無線 LAN や携帯電話等の意図的に電波を発する機器が 1990 年代後半を境に急速に普及し、RTCA では 2002 年に特別委員会 202 携帯電子機器 (SC-202) を設立して、意図的に電波を発する携帯電子機器の使用時の安全性を証明するための試験方法について検討した。これらの成果は、2004 年に「航空機内で乗客が持ち込む電波を発する電子機器を許容する指針」を文書 294 (DO-294) として安全性検証手順をまとめた[6]。また、2007 年 10 月、各国航空当局向けに「携帯電子機器許容のための航空機設計、および認証」を文書 307 (DO-307)[7]としてまとめたところである。

電子機器から発せられた電波が航空機搭載機器に侵入するイメージを図 3 に示す。電波を発する電子機器を客室内で作動した場合、航空機内の搭載機器へ侵入するための結合経路を分類する。結合経路の一つは電波が搭載機器のアンテナを經由して航空無線機器へ侵入する場合、二つ目は電波が直接搭載機器の筐体から侵入する場合、そしてケーブルを經由して搭載機器へ侵入する場合の三つに分類できる。この結合経路に対して、携帯電子機器から発せられる電波の二つの形態、また電源ケーブル等の接続線からの不要放射の 3 つの形態から電磁干渉の影響を検討すべき事項を抽出する。これを表 1 にまとめる。

意図的に放射された電波は、一般的に意図せず放射された電波に比べて強い傾向がある。航空無線機器には使用する周波数以外の成分に対して干渉を起こさないように措置が取られているため、アンテナを介した干渉の可能性は無い。よって、意図的な電波に対しては、強い電界が発生し、航空機搭載機器が耐えうる電界強度を超える可能性を検討する必要がある。

他方で、不要放射は一般的に意図的な電波放射に比較して弱い電波となるため、航空機搭載機器が耐える電波の強さを超過する可能性はほとんど無いと結論付けることができる。しかしながら、それらはどの周波数に発生するのかが不明である。航空用無線周波数帯域では非常に高い受信器感度を持っているので、他の周波数に比べて弱い電波でも干渉を起こす恐れがあるため、その影響を評価する必要がある。これらの評価には航空機内から発せられた電波が搭載アンテナを經由して搭載無線機器の入力端に発生する度合いを統計的に評価することとする。

これらの指針は安全を脅かすことなく使用するための検証手順を定めることを主目的としており、DO-160 のように具体的な数値を勧告していない。なぜならば、航空機の大きさや搭載される機器は千差万別であるため、航空機毎に試験評価する必要があるためである。また、個別の無線機能を持つ電子機器ごとに安全性を確認する手続きは非常に煩雑と

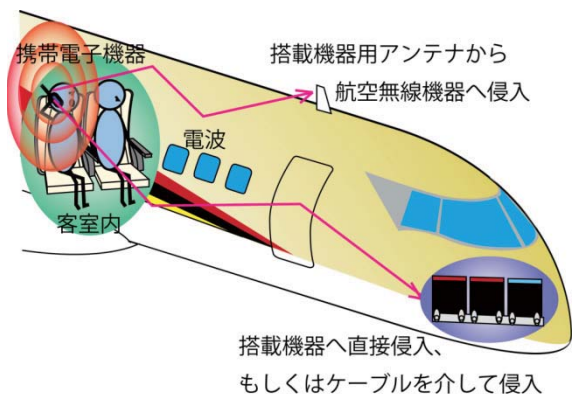


図 3 電磁干渉のメカニズム

表 1 起こりうる電磁干渉の分類

電波の形態	結合経路	過去の結論
意図的に放射された電波 (有用な信号)	無線用アンテナを介した結合 (IRA)	干渉の可能性なし
	機器筐体への直接結合 (IRU)	<u>検討する必要あり</u>
	機器入力と配線に対する結合 (IRC)	<u>検討する必要あり</u>
意図せず放射された電波 (不要放射)	無線用アンテナを介した結合 (NIRA)	<u>検討する必要あり</u>
	機器筐体への直接結合 (NIRU)	干渉の可能性なし
	機器入力と配線に対する結合 (NIRC)	干渉の可能性なし
伝導不要放射 (接続線上の不要放射)	機器入力との結合 (CEI)	機器認証で検討済
	混信 (CC)	機器認証で検討済

なる。そこで RTCA では、航空機の設計段階で認証を与える手法を検討し、これらの評価・認証手順を 2007 年 10 月に DO-307 として策定した。将来的に DO-307 で認証された航空機が出現すれば、航空機内で様々な無線機器が安全に使用できるようになる[8]。

3. 携帯電話の電波の影響調査

先に述べたように DO-307 で認証を受けた航空機であれば、電波を発する無線機器であっても航空機内で自由に使用することができる。しかしながら、2011 年 4 月現在で DO-307 に適合した航空機はまだ開発されていない。これらの背景の中、国土交通省航空局監理部航空安全推進課では地上停止中の航空機内に係る規制の見直しを検討することとなった。電子航法研究所では安全推進課からの依頼を受けて、地上停止中の航空機内で様々な携帯電子機器の使用を許容した場合の電磁干渉の影響を調査した。ここでは一例として携帯電話の電波の影響評価法について述べる。

3.1 意図的に放射される電波の影響

意図的に放射される電波に対しては、航空機搭載電子機器が耐えうる電波の強さを超過するリスクを評価する。電磁干渉を考慮しなければならない航空機搭載電子機器は型式証明の段階で最低限 134 dB μ V/m の強い電界中でも正常動作することが証明されている。そこで、携帯電話から意図的に発せられる電波が 134 dB μ V/m を超過する可能性を評価する。

携帯電話は旧世代の電話機で最大 800mW、現在主流の規格のもので最大 250mW の出力で電波放射が許容されている。これらの機器から発せられた電波が一様に拡散し、134 dB μ V/m より強くなるのは、携帯電話からそれぞれ 0.98m、0.55m 以内の範囲となる。航空用電子機器と携帯電話をこの距離以上離せば航空用電子機器に加わる電界は小さくなる。そこで、この距離を必要離隔距離とする。航空機の種類にも依存するが、電子機器室は客室と必要離隔距離以上離れている場合が多い。よって、通常の運用状態であれば運航に重要な搭載機器に対して乗客が必要離隔距離以下に近寄る可能性は非常に低いこととなる。これにより、一つの携帯電話から発せられる電波の強さで航空機搭載電子機器の耐えうる電界強度を超過する可能性は低いといえる。

また複数の携帯電話が使用されている場合の複数装置係数を検討する。第 3 世代の携帯電話は発呼時に基地局へ強い信号を送り、基

地局からの出力を調整するような指令に応じて送信レベルを調整する機能を有している。これらの測定の一例を図 4 に示す。図 4 では 5 秒間記録した携帯電話周波数帯の電力変化を表し、上の図は周波数軸、時間軸を平面として高さ方向に電力軸を取り、携帯電話の電力変化を 3 次元的に表現した図である。この図面から白い枠で示した断面を、左下に携帯電話の中心周波数における電力の時間変化、右下に携帯電話が使用している周波数として示した。

この例では、記録を行った約 3 秒前に携帯電話は発呼し、通話を開始した。50ms 以下の強い発呼用の電波の後、0.2 秒ほど送信が止まり、通信が開始されている。通信を始める時、基地局からの情報を元に、送信電力を 10dB 程度低く制御しながら通信を行っていることが伺える。これらの電力制御量は 10-30dB 程度と携帯電話を使用する場所の電波環境によって異なるが、接続時の手続きは同様である。この強い信号の時間が非常に短い場合、複数の携帯電話からの電波強度が重畳される可能性は低くなるのが過去の研究で明らかにされている[6]。よって、複数の携帯電話が航空機内にあっても、複数装置係数は 1 に近くなり、携帯電話 1 台あたりの影響と同等とみなしてよいことになる。第 2 世代の携帯電話は時分割であるため、複数の携帯電話があっても、同時に送信しているのは 1 台となり、同様に複数装置係数は 1 とみなしてよい。上記を考慮すると、通常の運用状態

では携帯電話から発せられる強い電界が航空機の運航に支障を及ぼすレベルになる可能性はほとんどない。

また、先に紹介した HIRF 試験では航空機全体として Cat. T で規定された値を超える強い電界にさらされている中で航空機全体として正常に動作することが確認されている。よって、設計が比較的新しい航空機はより強い電波に耐えうる事が想定される。

3-2 不要放射の影響

航空機は使用している無線機材やアンテナの位置が機種毎に異なるため、無線機器に電波が侵入する可能性は千差万別となる。そこで、今回は全体的な傾向を見るため、国内で使用されている座席数 74 席から 565 席までの代表的な航空機 6 機種を用いて実測、および統計的な分析を行った。具体的には航空機に搭載されている 8 種類の無線機に対する影響を、携帯電話規格で定められた最悪のスプリアスを用いて、搭載無線機への電波侵入の可能性を評価した。

客室内から発せられる電波はすべての電力が搭載無線機器へ侵入するわけではなく、搭載アンテナや空間、配線等を経過する間に減衰して侵入する。これを干渉経路損失 (IPL) と呼ぶ。この IPL が大きければ、航空機搭載無線機への電波の侵入量が小さくなり、安全な航空機といえる。また、IPL は電波が送信される場所や周波数によって大きく変化するため、多数の測定データを用いて統計的に扱った。

試験信号の送信位置は各航空機の操縦席から各出入り口、すべての列の窓際席、あるいは通路など、航空機の大きさ、座席列数によって異なるが、一機あたり 23 か所から 76 か所を選定した。それぞれの送信位置で各無線機の受信帯域内で周波数を変えながら 50 個 IPL データを取得した。これにより、各無線機あたり 1000 個以上の経路損失の実測値が取得される。小型プロペラ機 (74 席) の ILS ローライザの IPL の測定結果を累積密度分布として図 5 に示す。

累積密度分布の傾向として、中央値 (50%

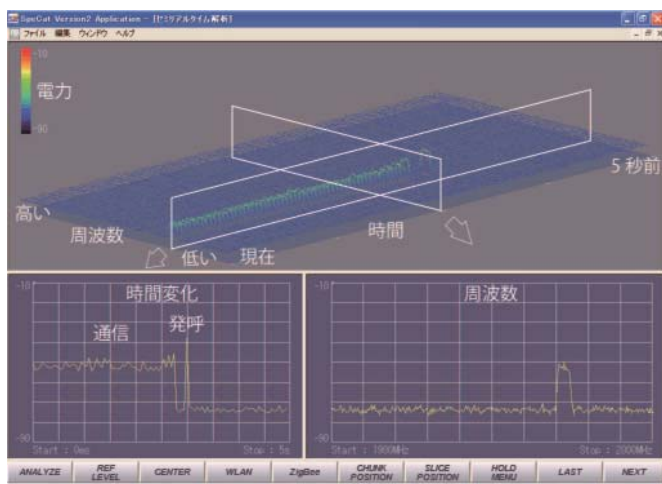


図 4 携帯電話からの電波放射の一例

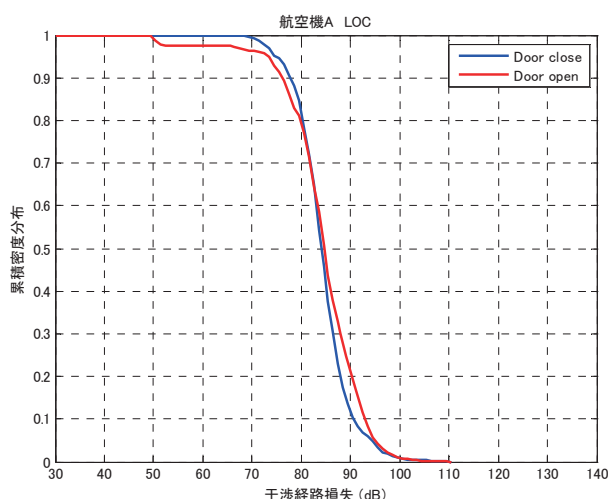


図 5 小型プロペラ機の ILS 測定値

の出現確率となる値)を中心としておおむね点対称の IPL 分布となった。そこで、最悪値と中央値を用いれば、およその干渉経路損失、およその傾向がつかめる。また周波数が低い VHF 帯の無線機器で IPL は小さく、最悪値も小さくなる傾向となった。航空機のサイズも全長が長いほど、IPL が大きくなる傾向もみられた。

今回測定したすべての航空機、および無線機の組み合わせにおいて、DO-307 で規定された航空機設計の目安となる目標干渉経路損失値を超える干渉経路損失を持つことが明らかとなった。このことから金属製の胴体をもつ航空機では機体構造によってある程度の電波遮蔽効果が得られているといえる。ヘリコプタなど樹脂製開口が大きい、あるいは胴体そのものが電波を透過する樹脂で製作されているものでなければ、比較的大きな干渉経路損失を有するといえる。

また、今回は乗客の搭乗時を模擬して、乗降口の開閉による違いも測定した。図 5 に示されるように、IPL 測定値は最悪値が低下するけれども、ドア付近を除いてドアを閉じている場合とほぼ同等となる傾向があることが実験的に示された。通常の運用時では解放されたドア付近で携帯電話の使用をしなければ、開放されたドアの影響はほとんどないと考えてよいことがわかる。

この IPL の測定値と起こりうるスプリアス

放射レベルを用いれば、搭載無線機器への影響を評価することができる。通常スプリアスは通信に使用する機器の調波成分で強く、その他の周波数領域では低い傾向がある。よって、調波成分が航空用無線帯域に合致しない限り、高いスプリアスが侵入してくる可能性はない。過去の調査においても、航空用周波数帯域で携帯電話等の意図的に電波を出す機器のスプリアス規格に規定された上限レベルのような強い電波が観測された事象は確認されていない[7]。しかしながら今回は最悪のケースを想定して、各規格における上限のスプリアス条件を用いて、8 種類の搭載無線機器の受信機感度を超過するリスクを評価した。

携帯電子機器から発せられる最悪のスプリアスが航空用無線帯域内に発生しても、無線機が選択しているチャンネル外であれば、上記の干渉経路損失値が十分に大きいため、すべての航空機と搭載無線機組み合わせにおいて搭載無線機に全く影響がないことが確認された。他方でさらに確率的には非常に低くなるが、最悪のレベルのスプリアスが無線機チャンネルと合致した場合については、ほとんどの無線機器で受信感度を超える可能性があることが示された。とりわけ、VHF 通信と GPS 受信機で受信機の許容される干渉ノイズレベルを超過する可能性が高いことが示された。

今回の評価試験では、各種電子機器のスプリアスが受信機のチャンネル内に規格で定められた最高の値で発生する場合であり、通常では起こり得ない条件で評価した。また受信感度を超過しても即座に不具合が生じるわけではなく、無線機構造においては干渉を受けないものもある。その意味では、理論上最悪のケースで受信感度を超えることはあるが、実際にはスプリアスによって引き起こされる電磁干渉の可能性はほとんど 0 といってもよいと考える。

今回の調査では携帯電話以外にも様々な電子機器に対して評価を行った。電波を発しない電子機器については安全であること、電波を発するものについては、正常に機能する各種電子機器ではスプリアス規格上限の不要放射が受信機感度を超過する可能性はあるが、

確率は極めて低いことが示されている。

また、これらの評価の結果から、電磁干渉を起こしやすい例として、

- a. 高調波が航空用無線帯域に合致する機器
- b. 故障した航空用無線帯域に隣接する機器
- c. 意図的な妨害

が挙げられる。このような事象については、今後も慎重に管理する必要がある。上記を踏まえると、地上にて乗客が携帯電話を通常の通話やメール等で使用する場合には、安全に使用できるといえる。これらの膨大なデータは報告書としてまとめられ安全推進課に保管されている[9]。

DO-307 に示されるように、種々の安全性を証明すれば、上空も含めて常時電子機器を使用できる。このような航空機が主流となれば、安全性、利便性を共存しながら航空機内で様々な電波を発する電子機器が使用されることであろう。

4. まとめ

本稿では電波を発する電子機器の使用を航空機内で許容するための検討すべき事項を放射される電波の形態と結合経路に分けて説明し、干渉が起こらないことを証明できれば、使用が認められることを示した。

これらの考え方をを用いて、代表的な航空機を用いて地上停止中の航空機内で携帯電話の使用を許容した場合の影響を調査した。その結果、意図的な電波が航空機搭載機器に対して直接的に強電界にさらされるリスクは低く、発生するスプリアスが航空機搭載無線機に対してチャンネル外であれば、電磁干渉の可能性は無いと言えること、無線機チャンネル内で発生した場合、受信機への侵入レベルが搭載無線機のノイズフロアを超過する可能性があるが、そのような状況が発生する可能性は著しく低いことを示した。これらをまとめると、地上の航空機内で携帯電話の使用を行った場合の電磁干渉のリスクはほとんど 0 といってよいと結論付けた。

今後は、今回明らかになった干渉電波によ

って起こる搭載電子障害の程度分析を行い、乗客の利便性を向上させながら航空の安全を担保する手法を検討していきたい。また、将来的な樹脂製の胴体を有する航空機の電波環境の変化についても研究を進める。

参考文献

- [1] 航空法 第七十三条、「安全阻害行為等の禁止等」。
- [2] K. Yamamoto et. al. “ PED Interference reporting system in Japan ”, The proceedings of 7th international symposium on Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Ecology, pp.220-223, June 26-29, 2007
- [3] 電子航法研究所、「平成 21、22 年度航空機内の電磁干渉障害報告の統計分析及び該当事象の事後追跡調査報告書」、平成 23 年 5 月
- [4] RTCA Inc., “Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment”, RTCA DO-160F, Dec. 2007.
- [5] FAA, "High-intensity Radiated Fields Protection", FAR Part 25 "Airworthiness standards: Transport category airplanes" Sec. 25.1317
- [6] RTCA Inc., “Guidance Allowing Transmitting Portable Electronic Devices in Aircrafts”, RTCA DO-294B, Dec. 2006.
- [7] RTCA Inc., “Aircraft Design and Certification for Portable Electronic Device Tolerance”, RTCA DO-307, Oct. 2007.
- [8] 米本成人、「イミュニティ技術で変わる航空機内無線通信」、月間 EMC、2010 年 8 月号、2010.08.05、No.258、pp.103-111
- [9] 電子航法研究所、「地上停止中の航空機内における携帯電子機器の使用に関する調査報告書」、平成 23 年 2 月 25 日、2011 年