航空用機器の EMC — RTCA DO-160G の概要

Part 1: 無線周波サセプティビリティ、及びエミッション

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2020年10月22日

目 次

熌	党				
試馬	試験法				
2.1	共通事項				
	2.1.1 基本的なセットアップ				
	2.1.2 LISN				
	2.1.3 電波暗室				
無線周波サセプティビリティ					
3.1	共通事項				
	3.1.1 適合の判定				
	3.1.2 機器の構成				
	3.1.3 機器のカテゴリ				
	3.1.4 変調				
	3.1.5 増幅器の高調波の影響の考慮				
	3.1.6 周波数掃引				
	3.1.7 無線受信機の扱い (除外帯域)				
	3.1.8 振幅の測定				
	3.1.9 試験報告書				
3.2	伝導サセプティビリティ				
	3.2.1 校正				
	3.2.2 試験				
33	放射サヤプティビリティ				
0.0					
	229 計路				
24	放射サヤプティビリティ(リバブレーション・チャ				
0.4	M(3) = (2) + (2) + (2) + (2) = (2) + (2) + (2) = (2) + (2)				
	2/1 リバブレーション・チャンバーの検証				
	9.4.9 前定の拡重を発生させるために必要な進				
	3.4.2 所たり知音を光王させるために必要な進 伝述電力の計験並の同党				
	11 (双电力の 試験 前の 内足				
	3.4.3 試験の美施				
無線周波エネルギーのエミッション					
4.1	共通事項				
	4.1.1 機器のカテゴリ				
	4.1.2 無線機器の扱い				
	4.1.3 テスト・レシーバやスペクトラム・アナ				
	ライザ				
4.2	伝導 RF エミッション				
4.3	放射 RF エミッション				
4.4	放射 RF エミッション (リバブレーション・チャ				
1.4	·//··································				
	<i>4.4.1</i> チャンバーの挿入損生の測定				
	4.4.9 エミッション測定				
	4.4.4 エッソンコン側足				
補知	<u>ک</u>				
5.1	送受信アンテナのビーム幅の考慮				
5.2	関係する FAA 規則の例				
5.3	MIL-STD-461G との比較				
5.5					
参考資料					

1 概要

RTCA DO-160G^[1] は RTCA^{†1} が発行した航空 機搭載機器の環境条件や試験法を定める文書である。

RTCA は主に航空機や関連機器の製造業者や関 連機関などが加盟する非営利団体であり、FAA (米 国連邦航空局)の支援を受けており、また FAA の 諮問機関の1つとなってはいるものの、それが発行 した文書が直接法的な効力を持つわけではない。だ が、FAA が基準として DO-160G を受け入れる^[4]、 国土交通省航空局の「装備品等型式及び仕様承認に 係る一般方針」^[5] で DO-160 が参照されるなど、こ れは航空機搭載機器に対する基準として広く用いら れている。

また、RTCA は欧州で同様の活動を行なってい る EUROCAE^{†2} と連携しており、EUROCAE ED-14G は DO-160G と整合している。

本稿ではこの DO-160G の要求事項のうち、20章 の無線周波サセプティビリティ、及び 21 章の無線 周波エネルギーのエミッションの要求について解説 する。

なお、本稿はその内容全てをカバーするものでは なく、また正確であるとも限らないので、正確な情 報は当該の規格そのもの^[1]や関連する公式な文書 を参照されたい。



^{†1} 旧称 Radio Technical Commission for Aeronautics; https://www.rtca.org/

^{†2} European Organisation for Civil Aviation Equipment; https://www.eurocae.net/



2 試験法

DO-160G の 20 章と 21 章では下記の試験が述べ られている:

- 無線周波サセプティビリティ(§3)
 - 伝導サセプティビリティ(§3.2)
 - 放射サセプティビリティ(電波暗室) (§3.3)
- 無線周波エネルギーのエミッション (§4)
 - 伝導 RF エミッション (§4.2)
 - 放射 RF エミッション (電波暗室) (§4.3)

サセプティビリティとエミッションのいずれについて も伝導と放射での試験があり、それぞれの適用周波 数範囲 (意図的に重なりが設けられている) は図1に 示すようになっている。

放射での試験は電波暗室を用いた伝統的な方法と リバブレーション・チャンバーのいずれかで行なう ことができ、その選択は任意である。

2.1 共通事項

2.1.1 基本的なセットアップ

基本的なセットアップの例を図2に示す。

EUT はグランド・プレーン上に置く。EUT とグ ランド・プレーンとの接続には EUT の設計や設置 指示に含まれているもののみを用いる。

製造業者がそのように指示している場合、EUT は衝撃・振動アイソレータ (例えば防振ゴム) が組み 込まれた取付台^{†3}に固定し、取付台に接続ストラッ プが含まれていればそれをグランド・プレーンに接 続する。取付台に含まれていない接続ストラップを 試験セットアップで用いてはならない。 機器の電気的な接続、コネクタ、ワイヤやその束 ねは、図面などで示された、航空機への設置を代表 するものとする。

EUT の接地のための接地端子がある場合、設置 指示書で指定された長さ、あるいはその指定がない ならば 30 cm 程度の接地線でグランド・プレーン に接続する。

ケーブルは航空機への設置の際と同様の形で束ね、 航空機への設置を代表するものとしてより高い位置 が指定されない限り、ケーブルの束の下端がグラン ド・プレーンから最小 50 mm となるようにする。

これと異なる指定がない限り相互接続線の長さは 3.3 m 以上とする。また、実際の設置で非常に長い ケーブルが使われるとしても、試験でのケーブル長 は 15 m 以下とすることが推奨される。相互接続線 がグランド・プレーンよりも長い場合は少なくとも 1 m をグランド・プレーンの前縁から 10 cm の位 置にグランド・プレーンの前縁と平行に引き、余長 を後側にジグザグに配置する。

EUT でのケーブルの屈曲はグランド・プレーン の縁から出てはならず、必要であれば最小曲げ半径 を守るために EUT を後ろにずらしても良い。

機器の仕様でこれと異なる指定がない限り、EUT と LISN (§2.1.2) のあいだの電源リード (また、ロー カル接地でない場合の電源リターン線)の長さは1m ± 10 cm とし、適切な長さをグランド・プレーンの 前縁から 10 cm の位置にグランド・プレーンの前 縁と平行に引く。ローカル接地 (1 m 以下の導体で の機体への接続)の場合、該当する設置図面などに 従って電源リターン線をグランド・プレーンに直接 接地して良い。

電源リードと電源リターン線が通常は他の配線と 束ねられる場合は分ける必要がある箇所まで束ねた ままとし、その他の場合は EUT の近くで他の配線 の束から分けて別に引く。

同じ側に引かれるケーブルの束が複数ある場合、 それらの間の結合を最小限とするため、最も手前側 の束をグランド・プレーンの前縁から 10 cm の位 置に引き、結合を最小限とするために互いに実際的 な範囲で離すようにする。^{†4}相互接続線を電源リー ドと同じ側に引いても良いが、その場合、設置指示

^{†3} 航空機搭載機器は、保守を容易にするために、ラックに防 振ゴムなどで固定された取付台(トレー)に固定されることも多 く、また他の機器への配線が取付台に備えられたコネクタを介 して接続されることも多い。このような場合、取付台が機器の EMC に影響する可能性が予期されるため、実際の設置で使用 する取付台を含めて試験することが適切と考えられる。

^{†4} ケーブルの束のあいだをどれだけ離すべきかは述べられて いないが、グランド・プレーンからの高さが 5 cm であるので、 結合を抑えるためにはそれよりもかなり離すことが、例えば少 なくとも 10 cm 程度以上とすることが望ましいかも知れない。





図 2: 基本的なセットアップの例

書でこれと異なる指定があるのでない限り電源リー ドをグランド・プレーンの縁の側に引き、互いに実 際的な範囲で離すようにする。

アンテナ・ケーブルは、ケーブルの特性インピー ダンスと等しい負荷、あるいは実際のアンテナの特 性を模擬するシールドされた疑似空中線で終端して 良い。

試験時に EUT に接続される周辺機器や負荷など は EUT を配置するシールド・エンクロージャの外 に置くことができるが、サセプティビリティ試験で 試験で発生させられる妨害がケーブルを介して外部 に漏洩して受信障害などの干渉問題を引き起こすこ とを防ぐため、またエミッション試験で放送や無線 通信などに伴う電磁界がケーブルを介して入り込ん でエミッションとして測定されることを防ぐため、 周辺機器などを置く場所も充分にシールドされてい ることが必要となるだろう。

また、周辺機器はケーブルを流れる妨害の経路の 一部となり、試験で使用する周辺機器やケーブル、 またその配置や接続 (特に EUT に接続されるケー ブルの側から見たコモン・モード・インピーダンス)



は試験の結果に大きな影響を与える^{†5}ため、周辺機 器の選択やその接続は試験への影響を考慮して行な うべきである。

周辺機器やその接続の試験への影響を低減し、試 験の再現性を改善するため、ISO 11452-2 や -4^[8] で要求されているのと同様、グランド・プレーン上 でケーブルを終端することも考えると良いかも知れ ない。

2.1.2 LISN

EUT への電源は LISN (line impedance stabilization network) を介して給電する。

電源リターン線は、航空機への設置でローカル接 地 (1 m 以下の導体での機体への接続) とされる場 合は LISN を用いずにグランド・プレーンに接続し、 さもなくば LISN を介して接続する。

LISN が 10 kHz よりも上で自己共振する^{†6}場合、 LISN の電源入力とグランド・プレーンのあいだに 10 μF のコンデンサを挿入する。^{†7}

 5μ H LISN に 10 μ F のコンデンサを接続したもの (図 3) を EUT 側から見たインピーダンスは、電 源入力を開放とした状態で、図 4 のようになる。

5 μ H LISN に 10 μ F のコンデンサを接続したも のは 20 kHz 強で直列共振を生じ、共振点付近での インピーダンスは図 4で緑の実線と破線で示したよ うにインダクタやコンデンサの等価直列抵抗 (ESR) に強く依存する。^{†8}このため、この規格では 100 kHz 以上ではインピーダンスの上限と下限 (図 4で赤線で

¹⁷ そのように要求されているわけではないが、しばしば貫通 コンデンサが使用される。貫通コンデンサの場合、コンデンサの ボディーをグランド・プレーンに低インピーダンスで確実に接地 し、電源からの線をコンデンサの片側の端子に、LISN への線を 反対側の端子に接続する。AC 電源の場合はこのコンデンサには 常に相当の電流 (例えば電源リードとグランド・プレーンのあい だの電圧が 115 V 400 Hz の場合は 3 A 程度) が流れるため、 コンデンサはその電圧と電流に見合った定格のものでなければ ならない。電源電圧 (ピーク) が 60 V 以上の場合、電源を切っ た後もこのコンデンサには感電の危険があるとみなされる電荷 が長時間残る可能性があるため、感電にも注意すべきである。

^{†8} 図 4の緑の破線は ESR がゼロとした時の計算値。緑の実 線は DO-160G Figure 20-1 のカーブに近付くように ESR を 調整したもので、ESR を 0.7 Ω として計算している。 示した) が規定されているが、100 kHz 以下につい てはインピーダンスの上限のみが規定されている。 (図 4)。



図 4: LISN のインピーダンス

2.1.3 電波暗室

放射サセプティビリティ試験 (§3.3) や放射エミッ ション測定 (§4.3) では、エンクロージャ内での反射 の試験への影響を抑えるため、単なるシールド・エ ンクロージャではなく、100~250 MHz で 6 dB 以 上、250 MHz 以上で 10 dB 以上の吸収率の電波吸 収体を壁と天井に取り付けた電波暗室を用いる。

この電波吸収体は、少なくとも、試験セットアッ プの背面とアンテナの背面の壁、またセットアップ の 50 cm 以上手前までの側面の壁と天井を覆い、ア ンテナから 30 cm 以上離れるようにする (図 5)。

電波暗室は外部への電磁界の漏洩を充分に低減で きるだけのシールド性も必要となる。^{†9}

¹⁵ 特に低い周波数範囲の伝導サセプティビリティ試験や伝導 エミッション試験では、周辺機器のコモン・モード・インピーダ ンスが高い (例えばフローティングとなっている) とケーブルに 妨害電流がほとんど流れなくなるため、試験が極度に甘いもの となることが予期される。

⁺⁶ 5 µH LISN は、入力段のコンデンサが 1 µF (CISPR 25 や ISO 11452-*^[8] で用いられるもの)の場合は約 70 kHz、入 力段のコンデンサが 2 µF (CISPR 16-1-2 で規定された 50 Ω / 5 µH + 1 Ω V-network での最小値)の場合は約 50 kHz で 共振を生じる。

^{†9} 例えば 7 kV/m (カテゴリ L の 4~6 GHz の試験レベル —図 15 参照) を発生させた時の室外への漏洩を 35 μ V/m (微 弱無線局に対する 332 MHz~10 GHz の許容値 ^[6]) 以下に抑 えようとした場合、距離減衰や吸収体の効果なども加えて、電磁 界の強度を 2×10⁸ 分の 1 に低減することが、すなわち 170 dB 近く減衰させることが必要となる。





図 5: 電波暗室の概観



図 6: 実際の電波暗室の例

3 無線周波サセプティビリティ

DO-160G の 20 章では無線周波サセプティビリ ティについて述べられている。

これらの試験は機器やその配線が電磁界に曝 された時の影響を評価するもので、HIRF^{†10}、T-PED^{†11}、設置されたシステムのエミッションなど の様々な RF 妨害に対する機器の反応の同定のため に、また機器の伝導や放射での RF サセプティビリ ティ試験レベルを規定するカテゴリ (§3.1.3)を割り 当てるために用いることができる。

3.1 共通事項

3.1.1 適合の判定

サセプティビリティ試験での適合の判定は以下の いずれかに基づいて行なう:

- 1. EUROCAE Minimum Operational Performance Specifications (MOPS/MOPR)
- 2. RTCA Minimum Performance Standards (MPS)、及び/もしくは RTCA Minimum Operational Performance Standards (MOPS)
- 3. 製造業者の仕様

衝突防止システム、誘導管制システムのような重 要なシステムや機器の多くについては EUROCAE や RTCA が定めた性能上の要求事項があり、通常、 実際の運用中に予期されるような電磁妨害を受けて いる時も少なくともその最小限の性能を満足するこ とが必要となるだろう。

そのような要求事項がない場合、また製造業者が より厳しい仕様を定めている場合は製造業者の仕様 の考慮が必要となる。^{†12}

^{†10} HIRF は high intensity radiated fields の略で、放送、 無線通信、レーダーなどの設備から意図的に放射される高レベ ルの電磁界を意味する。

^{†11} T-PED は transmitting-portable electronic device の 略で、意図的に電波を放射する携帯電子機器を意味する。

^{†12} この仕様は、それが適切な場合、妨害を受けている時に許 容される性能の低下や機能の喪失を含む形で規定されるかも知 れない。



3.1.2 機器の構成

サセプティビリティ試験では、試験対象の機器は 実際の使用で生じ得る最も敏感な構成とする。また、 機器にソフトウェアが組み込まれる場合、試験環境 に対して最大の感受性を示すように機能させる。試 験報告書には試験時の機器やソフトウェアの状態の 説明とその選択の根拠を示すか、あるいはその情報 への参照を示す。

該当する最小性能規格でこれと異なることが規定 されていない限り、ハードウェアとインターフェー スを全面的に動作させて良好なテスト・カバレッジ をもたらす、その構成が管理されている試験用のソ フトウェアやファームウェアを用いて良い。

3.1.3 機器のカテゴリ

カテゴリは RF 試験レベルを、また EUT の最小 限の RF イミュニティ・レベルを示す。

以下で各カテゴリを簡単に説明するが、これは単 なるガイダンスである:

- カテゴリ B、D、F、G、L、M、及び O
 HIRF 規則で規定された最重要のシステムのための、HIRF 外部電磁界環境に直接関係する試験レベル
- カテゴリ R

HIRF 規則で規定された重要なシステムの HIRF 適合のためにベンチ試験が許容される 場合の、あるいは T-PED に対するバックドア 耐性^{†13}を示すための試験レベル

• カテゴリ S

外部電磁環境からの影響が小さく、かつ干渉を 受けない動作が望ましいとしても不可欠ではな い場合の最小限の試験レベルで、このカテゴリ は航空用機器からの内部 EMI 環境も代表する かも知れない

● カテゴリ T

HIRF 規則で定められた中程度の重要性を持つ システムの HIRF 適合のためにベンチ試験が 許容される場合の試験レベルで、このカテゴリ は航空用機器からの内部 EMI 環境も代表する かも知れない カテゴリ W、及び Y

HIRF 特別要件への適合の裏付けとするための ベンチ試験のための、またバックドア T-PED 耐性を示すための試験レベル

● カテゴリ Q

この手続きで規定された以外の試験レベルや変 調で行なわれた試験

試験で適用すべきカテゴリは試験対象の機器の航 空機内での位置、予期される曝露、相互接続線の位 置、搭載対象の航空機の大きさや構造などに依存し、 機器の仕様で与えられるかも知れない。

機器の仕様でカテゴリが指定されていない場合、 予期される状況に見合ったカテゴリに対応するよう に機器の設計や試験を行なうべきである。

3.1.4 変調

伝導サセプティビリティ試験 (§3.2) や放射サセ プティビリティ試験 (§3.3) では以下の変調が用い られる (図7):

- a. 連続波 (CW)
- b. 1 kHz 矩形波変調 (SW)
- c. パルス繰り返し周波数 1 kHz、パルス幅 1 μs (デューティー 0.1 %) 以上、4 μs (デューティー 0.4 %) 以上、あるいは 40 μs (デューティー 4 %) のパルス変調 (PM)
- d. パルス変調波形を、1 Hz、デューティー 50 % (t_{on} = 0.5 s, t_{off} = 0.5 s) でオン/オフしたもの
- e. EUT に応じて選択されたその他の変調

いずれの場合も、妨害の振幅は実効値の包絡線の ピーク、すなわち同じ振幅の連続波の実効値 (波形 のピーク値の $1/\sqrt{2}$) で表現される。

3.1.5 増幅器の高調波の影響の考慮

増幅器は顕著な高調波を発生させることがあり、 このような高調波は、

 妨害レベルの測定が広帯域のセンサや測定器で 行なわれる場合、妨害の高調波歪みは妨害レベ ルの測定に誤差をもたらす;

^{†13} ここで言う「バックドア」は妨害が受信アンテナ以外を介 して被害者へ結合することを意味する。





 特に無線受信機のように EUT が特定の周波数 範囲の妨害に対する正常な応答として感受性を 示す場合、EUT が高調波に反応して誤った試 験結果をもたらすことがある。

従って、試験システムの出力の高調波を充分に低 く抑えるとともに、試験に際して観測された EUT への影響が妨害の高調波成分の影響でないかどうか を必要に応じて確認すべきである。

3.1.6 周波数掃引

掃引速度 (あるいはステップでの掃引の場合の周 波数ステップやドウェル・タイム) は、EUT の応答 時間、サセプティビリティの帯域幅、監視機器の応 答時間などを考慮して決定する。

ステップでの掃引の場合、100 kHz 以下では 10 ステップ/ディケード、100 kHz 以上では 100 ステッ プ/ディケード以上とする。^{†14}

各周波数ステップでのドウェル・タイム (それぞれ の周波数の妨害を印加する時間) は1秒以上でなけ ればならず、EUT が所定のモードで動作して反応 できるようにそれよりも長くすることが必要となる かも知れない。低い周波数の変調が用いられる場合 はそれを少なくとも2サイクル印加し、例えば1Hz でのオン/オフ (図7 (d)) が行なわれる場合は最小 のドウェル・タイムは2秒となる。 選択された掃引速度やドウェル・タイムは、EUT や監視機器の応答時間、用いられる変調などに基づ いて正当化し、試験報告書に文書化する。

3.1.7 無線受信機の扱い (除外帯域)

無線受信機は帯域内の周波数の妨害に対して高 い感受性を示すかも知れないが、この動作は正常で ある。

他の規定がない限り、そのバンド内の最小動作周 波数の10%下から最大動作周波数の10%上まで はカテゴリSの試験レベルで試験し、その試験で 試験対象の受信機が満足すべき性能は試験手順と報 告書で、あるいは受信機の性能規格で示す。

無線受信機の同調周波数の1%下から1%上ま での範囲はカテゴリSの試験レベルで損傷の評価 のみを行なう。

3.1.8 振幅の測定

妨害の振幅は実効値の包絡線のピーク、すなわち同 じ振幅の連続波の実効値 (波形のピーク値の 1/√2) で表現され、その測定は、適切な応答の RF パワー メータやスペクトラム・アナライザなどを、場合に よってはオシロスコープを用いて行なうことができ るだろう。

スペクトラム・アナライザやテスト・レシーバを 用いる場合、測定器の検波器の帯域幅、また分解能 帯域幅、及びビデオ帯域幅は変調周波数よりも高く

^{†14} 25 % ステップ $(f_{n+1} = 1.25f_n)$ で 10 ステップ/ディケード強、2.3 % ステップ $(f_{n+1} = 1.023f_n)$ で 100 ステップ/ディケード強となる。

なければならない。測定帯域幅は帯域幅を3倍にし た時の測定値の変化が1dB以下となるまで拡げる。

3.1.9 試験報告書

試験報告書には試験セットアップなどに関する以下の情報も含める:

- ケーブルの構成 それぞれのケーブルの長さ、
 種類、シールドの有無や終端方法、テスト・ハー
 ネスの配線図
- 試験セットアップ ケーブルの配置、注入プローブや測定用プローブの位置、EUTの接地の情報を含む、それぞれの試験セットアップのブロック図や写真
- EUT の動作モード
- 負荷 疑似負荷の場合はライン間、及びラインとケースのあいだのインピーダンスの範囲を含む、全ての負荷(実際の、あるいは擬似的な)の説明
- 合否判定基準
- 試験結果

3.2 伝導サセプティビリティ

試験対象のケーブルに注入クランプを取り付けて 妨害を注入するもので、10 kHz~400 MHz の周波 数範囲に適用される。

試験時にケーブルへ印加する妨害のレベルの設定 は閉ループ法で行ない、事前に校正治具上で取得し たデータは電力の制限のために用いる。^{†15}

3.2.1 校正

図8のような構成で、それぞれの周波数について、 振幅測定器 A で測定された電流が該当する試験レ ベル (図11) になる時に振幅測定器 B で測定された 進行波電力を記録する。

校正は規定された試験レベルで行なうことができ るが、試験時にはこの時のレベルの +6 dB (4 倍) までの進行波電力を発生させることがあるため、試 験システムはその出力に対応した、またその出力で 顕著な高調波 (§3.1.5) を発生しないものであるべき である。

そのため、校正時にその +6 dB の進行波電力を正 常に発生させられることを確認する、あるいは校正 時の進行波電力があらかじめその試験システムで正 常に出力できることが確認された進行波電力の 1/4 (-6 dB)を超えないことを確認すると良いだろう。

注入プローブは、DO-160G の Figure 20-3^{†16}で 示された挿入損失を満足するものを使用する。

校正治具のプローブを取り付けない状態での VSWR は図9 に示す値以下、アッテネータや終端 器の VSWR は 1.2 未満でなければならない。



図 8: 伝導サセプティビリティ — 試験レベルの設定の セットアップの例



図 9: 伝導サセプティビリティ — 校正治具の最大 VSWR

3.2.2 試験

EUT やケーブルは §2.1.1 で述べたようにセット アップし、妨害の注入を行なうケーブルの EUT か ら 5 cm の位置 (バックシェルの終わりまでの距離

^{†15} この試験法は、MIL-STD-461G CS114^{[2][7]}、また ISO 11452-4^[8] の電力制限付き閉ループ法と類似している。

^{†16} これは MIL-STD-461G^[2] Figure CS114-2 と整合してい る。



が 5 cm を超える場合はそのできる限り近く) に電 流プローブを、電流プローブから 5 cm の位置に注 入プローブを取り付ける (図 10)。

ステップでの掃引 (§3.1.6) の場合、それぞれの試 験周波数で、電流プローブで測定された電流が所定 の試験レベルとなるように注入プローブに印加する 進行波電力を調整し、あらかじめ決定されたドウェ ル・タイムのあいだその妨害を印加する。

必要な場合、注入プローブに印加される進行波電 力をあらかじめ校正治具上で求められた電力 + 6 dB までに制限しても良い。

3.2.2.1 試験レベル

各カテゴリ (§3.1.3) に対する試験レベルを図 11に 図示する。

3.2.2.2 変調

以下の変調 (図7) を適用する:

- CW (図7 (a))、及び1 kHz SW (図7 (b))
- EUT に関連する (クロック、データ、中間周波、 内部処理、変調周波数など)他の変調の適用も 考慮し、特に起こり得る EUT の低周波応答特 性(例えば飛行制御機器の1Hz 変調への応答) も考慮する

3.3 放射サセプティビリティ

電波暗室 (§2.1.3) の中で送信アンテナから放射さ せた電磁界に EUT やそのケーブルを曝すもので、 100 MHz 以上の周波数範囲で適用される。

試験は、所定の電界強度を発生させるためにアン テナに注入する必要がある進行波電力を EUT など を置かない状態で事前に同定し、EUT などを配置し た状態ではその進行波電力をアンテナに注入する、 置換法で行なう。^{†17}

3.3.1 校正

試験 (§3.4.3) に際して EUT が置かれるのと概ね 同じ位置、グランド・プレーンから 30 cm の高さに 等方性電界プローブを置き、各周波数で送信アンテ ナから連続波を放射して電界プローブで測定された 電界の強さが該当する試験レベル (図14, 図15) と なる時の進行波電力を記録する (図12)。

この校正はそれぞれの試験に先立って行ない、校 正の後で試験機器の接続が外されていない限り前の 試験での校正データを使用しない。校正の後で校正 ループ内のいずれかの機器 (同軸ケーブル、アンテ ナなどを含む) が外された場合、試験の前にその校 正が依然として有効であることを検証する。

3.3.2 試験

EUT やケーブルは電波暗室 (§2.1.3) 内に §2.1.1 で述べたように、また送信アンテナは §3.3.2.1で述 べるように所定の範囲に電磁界を照射できるように セットアップする。

ステップでの掃引 (§3.1.6) の場合、それぞれの試 験周波数で、所定の試験レベル (図 14, 図 15) を発 生させるために必要な進行波電力 (§3.3.1) を送信ア ンテナに注入し、あらかじめ決定されたドウェル・ タイムのあいだその妨害を印加する。

照射は垂直偏波と水平偏波の双方で行なう。また、 EUT の他の面や他の範囲への照射が必要な場合、配 置を変えて試験を繰り返す。

3.3.2.1 セットアップ

送信アンテナ (ダイポール、バイコニカル、あるい はホーン) はその中心をグランド・プレーンの 0.3 m 上として、グランド・プレーンの縁から 0.9 m (最 も手前側のケーブルから 1 m) に配置する (図 13)。

試験は、EUT の開口部 (例えば表示器、コネク タなど)を送信アンテナの視野に直接入れるように して行なう。アンテナの 3 dB ビーム幅が EUT 全 体と EUT に接続された配線の波長の 1/2 までの 範囲をカバーしない場合、その全体を照射するため に、配置を変えて複数回の試験を行なう。^{†18}

^{†17} この試験法は、ISO 11452-2^[8]の試験法と類似している。

^{†18} 例えば 150 MHz では $\lambda/2 = 1$ m で、距離 1 m で 2 m 強の幅 (図2 のようにケーブルが左右に引かれている場合を想 定)を1 回でカバーするためには 100°程度以上のビーム幅が必 要となりそうであるが、多くのアンテナのビーム幅はこれより も狭く、従って 200 MHz 以下の周波数範囲でも複数回の照射 が必要となりそうである。周波数が高くなると波長は短くなり、 従ってケーブルのビーム幅に入れる必要がある範囲は狭くなる が、アンテナのビーム幅も小さくなる傾向があるため、使用す るアンテナ、EUT の大きさ、また配置によってはかなり多くの 回数の照射が必要となるかも知れない。§5.1 も参照。





図 10: 伝導サセプティビリティ — 試験セットアップの例



アンテナのビーム幅は試験報告書に記載する。ま た、照射しない面がある場合は試験記録にそれを正 当化する根拠を示す。

送信アンテナが標準ゲイン・ホーンや類似の放射 器の場合、送信アンテナの遠方界となる範囲で距離 を1mよりも近付けても良い。また、送信アンテ ナの遠方界となる距離が1m未満であれば送信ア ンテナを1mよりも離しても良い。

送信アンテナの遠方界となる距離 x は、アンテ ナの開口面の最大寸法を D、波長を λ として、 $x = 2D^2/\lambda$ より求められる。 3.3.2.2 試験レベル

各カテゴリ (§3.1.3) に対する試験レベルを、図14 (CW、及び SW)、及び 図15 (PM) に図示する。

3.3.2.3 変調

以下の変調 (図7) を適用する:

- カテゴリ R
 - 100~400 MHz
 CW (図 7 (a))、及び 1 kHz SW (図 7 (b))
 - 400 MHz~8 GHz
 パルス繰り返し周波数 1 kHz、デューティー4 % の PM を1 Hz、デューティー
 50 % でオン/オフ (図7 (d))
- カテゴリS、T、W、及びY
 - CW (図7(a))、及び1kHz SW (図7(b))
 - EUT に関連する (クロック、データ、中間周波、内部処理、変調周波数など) 他の 変調の適用も考慮





図 12: 放射サセプティビリティ — 試験レベルの設定のセットアップの例



図 13: 放射サセプティビリティ — 試験セットアップの例





図 14: 放射サセプティビリティ試験レベル (CW & SW)



図 15: 放射サセプティビリティ試験レベル (PM)

- カテゴリB、D、F、G、及びL
 - CW/SWの試験レベル (図14)
 CW (図7(a))、及び1kHz SW (図7(b))
 - PMの試験レベル (図15)
 - * 400 MHz~4 GHz
 パルス繰り返し周波数 1 kHz、パルス幅 4 µs 以上の PM (図7 (c))
 - * 4~18 GHz パルス繰り返し周波数 1 kHz、パル ス幅 1 μs 以上の PM (図7 (c))
 - EUT に関連する (クロック、データ、中間周波、内部処理、変調周波数など)他の 変調の適用も考慮
 - PM 信号を 1 Hz、デューティー 50 % で オン/オフする (図7 (d)) ことも考慮

1 GHz 以上では、CW と SW の試験の代わりに 1.42 倍の試験レベルで SW で試験しても良い。

3.4 放射サセプティビリティ(リバブレー ション・チャンバー)

放射サセプティビリティの試験は、§3.3 で述べた 伝統的な試験法の代わりにリバブレーション・チャ ンバーを用いて行なうこともできる。

この試験法は、伝統的な送信アンテナからの電磁 界の照射による試験と同様、送信アンテナから電磁 界を放射して EUT とケーブルをその電磁界に曝 すものである。だが、この試験で用いられるシール ド・チャンバーは電波吸収体を持たず、その逆に意図 的に反射を起こすように作られている。このような チャンバー内の電磁界は反射に伴って著しく不均一 なものとなるが、この試験で用いられるリバブレー ション・チャンバーでは、送信アンテナから放射され た直接波が EUT に当たらないようにし、またチャ ンバー内に取り付けられたチューナー (可動の金属 板で、スターラー、パドルなどとも呼ばれる)を試 験中に回転させてチャンバー内の反射の状態を変化 させることで、全体としては概ね均一な特性が得ら れるようにしている。これにより、EUT とハーネ スを主としてアンテナからの直接波に曝すように意 図された伝統的な試験法と異なり、この試験法では EUT やケーブルが様々な方向からの様々な偏波の 電磁界に曝されるようにもなる。また、チャンバー が共振に伴うゲインを与えるため、比較的小さい電 力で広い範囲で高い電界強度を得ることも可能と なる。

この規格でのリバブレーション・チャンバーでのサ セプティビリティ試験は、大きく分けてリバブレー ション・チャンバーの電界均一性の検証、所定の妨 害を発生させるために必要な進行波電力の試験前の 同定、及び実際の試験の実施の3つの段階を必要と する。

3.4.1 リバブレーション・チャンバーの検証

チャンバー内を空にして受信アンテナや電界プ ローブを適切に配置し (図16)、少なくとも最低の 試験周波数からその10倍までの周波数範囲で、送信 アンテナから CW の信号を放射した状態でチュー ナーをステップで回転させながらワーキング・ボ リュームの各頂点と中央のそれぞれの位置での各軸 の電界強度を3軸電界プローブで測定し、所定の電 界均一性を得られることを確認する。





図 16: リバブレーション・チャンバーの電界均一性の検証のセットアップの例

チャンバーの時定数 (RF の放射の開始/終了の後 チャンバー内の電磁界が平衡に達するまでの時間の 指標となる) もこの結果から求められるが、チャン バーの Q が高い場合はチャンバーの時定数が長く なり、特に短いパルス幅のパルス変調 (図7 (c)) に 対する応答が顕著に遅くなるかも知れない。この規 格ではパルス変調での試験ではそのチャンバーの時 定数分だけパルス幅を長くするように述べられてい るが、時定数が長い場合、チャンバーの時定数を短 となどして Q を抑えてチャンバーの時定数を短 くすることも必要となるかも知れない。

3.4.2 所定の妨害を発生させるために必要な進行 波電力の試験前の同定

EUT とケーブルをワーキング・ボリューム内に 配置して動作させる。電界プローブは置かないが、 受信アンテナもワーキング・ボリューム内の適切な 場所に置く (図 17)。

それぞれの周波数で送信アンテナから CW の信 号を放射した状態でチューナーを回転させ、チュー ナーの1回転のあいだの最大の進行波電力 P_{fwd}、及 び受信アンテナでの受信電力 P_{rev max} を測定し、

$$E_{\rm max} = \sqrt{\frac{377 \times 8 \times \pi \times P_{\rm rcv\,max}}{\lambda^2}}$$

より最大の電界強度を求め、記録する。

3.4.3 試験の実施

機器の配置は §3.4.2のままとする。

それぞれの周波数で、進行波電力が

$$P_{\text{target}} = 20 \log \left(\frac{E_{\text{desire}}}{E_{\text{max}}}\right) + P_{\text{fwd}}$$

から求めた P_{target} となるようにした所定の変調信 号を送信アンテナに注入し、チューナーを 1 GHz 以下では毎分 4 回、1 GHz 以上では毎分 2 回以下の 速度で連続的に回転させる。但し、妨害が 図 7 (d) のように長い周期でのオン/オフ (典型的には繰り返 し周期 1 Hz、デューティー 50 % で)を伴う場合、 そのデューティー比に応じて (例えばデューティー 50 % であれば半分に)回転を遅くする。また、EUT が所定のモードで動作して妨害に反応するのに必要 な時間などによっては回転をこれよりも遅くするこ とが必要となるかも知れない。

チューナーは連続的に回転させるのが標準だが、 送信アンテナへの電力が持続的に印加されており、 かつステップ間でのチューナーの回転速度が毎分4 回転を超えないならば、適当なステップでチューナー を停止させても良い。

それぞれの周波数でチューナーを1回転以上さ せる必要があるため、各周波数を印加する時間は 1 GHz 以下では15 秒以上、1 GHz 以上では30 秒





図 17: リバブレーション・チャンバーでのサセプティビリティ試験のセットアップの例

以上(図7(d)のようにデューティー 50% でのオ ン/オフを伴う場合はそれぞれ 30秒以上と 60秒以 上)となり、1回の周波数掃引に要する時間は電波 暗室での試験(§3.3)の場合よりもかなり長くなるこ とが予期される。一方、先に述べたように EUT や ケーブル全体が様々な方向からの様々な偏波の電磁 界に曝されるため、一般に EUT の向きやアンテナ の偏波を変えての試験を考えることは不要で、また セットアップの所定の範囲全体をアンテナの 3 dB ビーム幅に入れるために位置を変えて試験を繰り返 す必要もない。

4 無線周波エネルギーのエミッション

DO-160G の 21 章では無線周波エネルギーのエ ミッションについて述べられている。

これらの試験は、受信機やその他の敏感な機器へ の干渉の可能性の評価のために、また機器の伝導や 放射での RF エミッション・レベルを規定するカテ ゴリ (§4.1.1) を割り当てるために用いることがで きる。

4.1 共通事項

4.1.1 機器のカテゴリ

機器は意図された設置場所に応じてカテゴリに分 類され、カテゴリによって異なるエミッション限度 が適用される。

● カテゴリ B

干渉を許容可能な水準に管理すべき機器。^{†19}

• カテゴリ L

機器や相互接続線が航空機の開口部 (窓など)や 受信機のアンテナから離れた領域に配置される 機器。このカテゴリは航空機の電気室内に配置 される機器や相互接続線に適当かも知れない。

• カテゴリ M

機器や相互接続線が開口部が電磁的に有意な影響を持つ、だが受信機のアンテナの視野に入ら ない領域にに配置される機器。このカテゴリは 旅客機の客室や操縦室に配置される機器や相互 接続線に適当かも知れない。

^{†19} カテゴリ B のエミッション限度は著しく緩く設定されてお り、航空機への設置に際して追加で適切な保護が行なわれる場 合にのみ選択されると思われる。



● カテゴリ H

無線受信機のアンテナの視野に入る領域に配置 される機器。このカテゴリは典型的には航空機 外に配置される機器に適用可能である。

• カテゴリ P

HF、VHF、あるいは GPS 無線受信アンテナ の近くの領域、あるいは航空機の構造があまり 遮蔽を与えない箇所に配置される機器や配線。

• カテゴリ Q

VHF、あるいは GPS 無線受信アンテナの近く の領域、あるいは航空機の構造があまり遮蔽を 与えない箇所に配置される機器や配線。^{†20}

4.1.2 無線機器の扱い

このエミッション要求では無線送信機からの意図 的な放射や無線送信機や受信機のアンテナ端子から 漏洩するスプリアスは扱わない。

無線送信機や送受信機は非送信モードや受信モー ドで所定のエミッション限度に適合しなければなら ない。

4.1.3 テスト・レシーバやスペクトラム・アナラ イザ

エミッションの測定には表1に示した帯域幅の、 尖頭値検波のテスト・レシーバやスペクトラム・ア ナライザを用いる。

尖頭値検波の応答の時定数は測定器の帯域幅を BWとして1/BW以上でなければならず、ビデ オ帯域幅 (VBW)を選択可能な場合は分解能帯域幅 (RBW)以上としなければならない。

測定は、周波数掃引をステップで行なう場合は各 周波数ステップでのドウェル・タイムが表1の最小 ドウェル・タイムよりも短くならないような、掃引 をアナログで行なう場合は周波数幅毎の測定時間が 最小測定時間よりも短くならないような(掃引率が 高くならないような)条件で、必要な周波数範囲を 掃引して行なう。

"max hold"機能が利用可能な場合、最終的な測 定時間が表1を満足するように、より早い掃引速 度での複数回の測定の "max hold" を行なっても 良い。

表1 で示したドウェル・タイムや測定時間は最小 値であり、エミッションが間欠的に発生する、ある いは顕著な変動があるような場合、その動作に応じ てドウェル・タイムを長くする、あるいは帯域幅毎 の測定時間を長くする (掃引率を下げる) ことが必 要となるかも知れない。

4.2 伝導 RF エミッション

測定対象のケーブルに電流プローブを取り付け てケーブルに漏洩したノイズを測定するもので、 150 kHz~152 MHz の周波数範囲で適用される。

測定は次のように行なう。

- EUT やケーブルを §2.1.1 で述べたようにセッ トアップする。
- 各電源リード (ローカル接地でない場合の電源 リターン線を含む)と相互接続線について、
 - (a) EUT から 5 cm の位置 (バックシェルの 終わりまでの距離が 5 cm を超える場合 はそのできる限り近く) に電流プローブを 取り付ける (図 18)。
 - (b) §4.1.3 で述べたように周波数掃引を行なっ てエミッションを測定し、該当するエミッ ション限度 (図 19) を超えないことを確認 する。

4.3 放射 RF エミッション

電波暗室 (§2.1.3) の EUT やケーブルから放射さ れたノイズを測定用のアンテナで受信して測定する もので、100 MHz 以上の周波数範囲で適用される。

測定は次のように行なう。

- EUT やケーブルを電波暗室 (§2.1.3) 内に §2.1.1 で述べたようにセットアップする。
- 2. 受信アンテナ (ダイポール、バイコニカル、あるいはホーン) はその中心をグランド・プレーンの 0.3 m 上として、グランド・プレーンの縁から 0.9 m (最も手前側のケーブルから 1 m) に配置する (図 20)。

^{†20} カテゴリ Q ではカテゴリ P から HF 無線受信アンテナの 近くの領域が除かれ、それを反映して 30 MHz 以下での限度が 緩くなっている。



周波数範囲	6 dB 带域幅	最小ドウェル・タイム	最小測定時間
		(ステップ掃引)	(アナログ掃引)
$0.150 \sim 30 \text{ MHz}$	1 kHz	$0.015 \ { m s}$	0.015 sec/kHz
$30 \sim 100 \text{ MHz}$	$10 \mathrm{~kHz}$	$0.015 \mathrm{~s}$	1.5 sec/MHz
$100{\sim}400~{\rm MHz}$	$10 \mathrm{~kHz}$	$0.015 \mathrm{~s}$	1.5 sec/MHz
$0.400{\sim}0.96~\mathrm{GHz}$	$100 \mathrm{~kHz}$	$0.015 \mathrm{~s}$	0.15 sec/MHz
$0.96{\sim}6~{ m GHz}$	1 MHz	$0.015 \mathrm{\ s}$	15 sec/GHz

表 1: 測定器の帯域幅と測定時間



図 18: RF 伝導エミッション測定セットアップの例

測定は、EUT の開口部 (例えば表示器、コネ クタなど) を受信アンテナの視野に直接入れる ようにして行なう。全ての開口部が視野に入ら ない場合は試験報告書にそれを正当化する根拠 を記載する。

- §4.1.3 で述べたように周波数掃引を行なってエ ミッションを測定し、該当するエミッション限 度 (図 21) を超えないことを確認する。
- 少なくとも EUT のエミッションが限度の 3 dB 下よりも高い場合、EUT の電源を切り、他の 機器の電源を入れた状態でのアンビエントの測 定も行なう。

アンビエントが限度の 6 dB 下よりも低いこ

とを測定前に確認するのは良いプラクティスで ある。

5. アンテナの 3 dB ビーム幅が EUT 全体と EUT に接続された配線の波長の 1/2 までの範囲を カバーしない場合、その全体をカバーするため に、配置を変えて測定を繰り返す。

4.4 放射 RF エミッション (リバブレーション・チャンバー)

放射エミッションの試験は、§4.3 で述べた伝統的 な試験法の代わりに放射サセプティビリティ(§3.4)



で述べたものと同様のリバブレーション・チャンバー を用いて行なうこともできる。

使用するリバブレーション・チャンバーは、放 射サセプティビリティ試験で使用する場合と同様、 §3.4.1で述べたように電界均一性が確認されている 必要がある。

測定の作業は、リバブレーション・チャンバーの 挿入損失の測定、及び EUT からのエミッションの 測定の2つの作業を伴う。

4.4.1 チャンバーの挿入損失の測定

テスト・ベンチ、EUT、ケーブルなどをリバブレー ション・チャンバーのワーキング・ボリューム内に 配置し、また適切な位置に送信アンテナと受信アン テナを配置する (図 22)。

EUT や周辺機器の電源を入れない状態でワーキ ング・ボリューム内に置いた送信アンテナに既知の 大きさの信号 P_{input} を注入してチューナーを回転さ せながら受信アンテナでの受信電力 P_{rec} を測定し、 送信アンテナへのケーブルでの損失を L_{loss} 、アンテ ナの効率を η (対数周期アンテナの場合は $\eta = 0.75$ 、 ホーン・アンテナの場合は $\eta = 0.9$) として、

 $IL = (P_{\text{input}} - L_{\text{loss}}) + 10\log(\eta) - P_{\text{rec}}$

よりチャンバーの挿入損失 IL のカーブを求める

4.4.2 エミッション測定

§4.4.1と同じ配置のままで、送信アンテナを終端 し、EUT を所定の動作条件で動作させる。 チューナーを回転させながら受信アンテナでの受 信電力 *P*_{rec} (dBm) を測定し、§4.4.1で求めた挿入 損失 *IL* で補正して、

$$P_t = \frac{10^{(P_{\rm rec} + IL)/10}}{1000}$$

より各周波数での放射電力 P_t (W) を求め、半波長 ダイポールと同等のゲイン (= 1.64) を仮定して

$$E = \sqrt{\frac{D \cdot P_t \cdot 377}{4\pi}}$$

として電界強度 E (V/m) に換算する。

5 補足

5.1 送受信アンテナのビーム幅の考慮

図 24 に図示したように、また 図 25 の青のカー ブで示すように、EUT の中心に面して 1 m の距 離にアンテナを置き、EUT の中心から 20 cm の位 置からケーブルが出ていると仮定すると、EUT と $\lambda/2$ までのケーブルをアンテナの 3 dB ビーム幅に 入れるためには 200 MHz で 90° 弱、300 MHz で も 70° のビーム幅が必要となる。

図 25 の破線でいくつかのアンテナのビーム幅の カーブを例示しているが、3109 や 3106B のビー ム幅は青のカーブで示されたビーム幅よりも狭く、 従ってこれらのアンテナでは上記の条件ではケーブ ルの λ/2 までをカバーできず、少なくとも図 2のよ うにケーブルを EUT の両側に引き出した場合には 位置を変えての複数回の試験が必要となる。

5.2 関係する FAA 規則の例

14 CFR 25.1317^[3] では、トランスポート・カテ ゴリのエアラインの耐空規格の一部として、次のよ うなことが要求されている。

- その障害が航空機の持続的な安全な飛行と着陸 を妨げ得る機能を実行する電気/電子システム は下記のように設計され設置されなければなら ない:
 - 航空機が HIRF environment I に曝され ている時、またその後でその機能が悪影
 響を受けず、





図 20: 放射 RF エミッション測定セットアップの例



図 21: 放射 RF エミッション限度

- 航空機が HIRF environment I に曝され た後、システムは自動的にその機能の通 常の動作をタイムリーに回復し、システ ムの回復がシステムの他の要求との齟齬 を生じず、かつ
- 航空機が HIRF environment II に曝され ている時、またその後でシステムが悪影

響を受けない。

- その障害が航空機の能力や乗務員が悪条件に対応する能力を著しく低下させる電気/電子システムはそれらの機能を提供する機器が HIRF 試験レベル1、もしくは2に曝された時に悪影響を受けないように設計され設置されなければならない。
- その障害が航空機の能力や乗務員が悪条件に対応する能力を低下させる電気/電子システムはそれらの機能を提供する機器が HIRF 試験レベル3に曝された時に悪影響を受けないように設計され設置されなければならない。

ここで言及されている HIRF environment I / II を、DO-160G の放射サセプティビリティ試験レベル と対比する形で図 26 に示す。このグラフに示されて いるように、400 MHz~18 GHz については HIRF environment I は DO-160G のカテゴリ G と一致 している。

また、機器 HIRF 試験レベル 1~3 は、

 機器 HIRF 試験レベル1 — DO-160G カテゴ リ R 相当 (図 11, 図 14)









図 24: アンテナのビーム幅の考慮



図 25: 図 24 の配置で EUT とケーブルの λ/2 までの範 囲をカバーするために必要なビーム幅とアンテナのビー ム幅の例

- 機器 HIRF 試験レベル 2 HIRF environment II (図 26) から航空機の伝達関数と減衰のカーブを差し引いたもの
- 機器 HIRF 試験レベル3 DO-160G カテゴ リ T 相当 (図 11, 図 14)



図 26: 14 CFR 25 の HIRF environment I / II と DO-160G の放射サセプティビリティ試験レベルの対比

5.3 MIL-STD-461G との比較

MIL-STD-461G^{[2][7]}の CS114 と RS103 のサセ プティビリティ試験レベルとの比較を図 27と 図 28 に、また RE102 の放射エミッション限度との比較 を図 29に示す。



図 27: DO-160G 伝導サセプティビリティ試験レベルと MIL-STD-461G CS114 の試験レベルの比較

となる。





図 28: DO-160G 放射サセプティビリティ試験レベル (CW/SW) と MIL-STD-461G RS103 の試験レベルの 比較



図 29: DO-160G 放射エミッション限度と MIL-STD-461G RE102 放射エミッション限度の比較

6 参考資料

- RTCA DO-160G, Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment, RTCA, Inc., 2010
- [2] MIL-STD-461G, Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment, Department of Defense, 2015
- [3] Code of Federal Regulations (CFR), https://www.govinfo.gov/app/collection/cfr/
- [4] FAA Advisory Circulars AC 21-16G, RTCA Document DO-160 versions D, E and F, "Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment",

https://www.faa.gov/documentLibrary/media /Advisory_Circular/AC_21-16G.pdf

[5] 装備品等型式及び仕様承認に係る一般方針,平成17年4月26日制定,平成23年6月30日一部改正(国空機第282号),国土交通省航空局安全部航空機安全課長

http://www.mlit.go.jp/notice/noticedata/pdf /201107/00005485.pdf

[6] 総務省 電波利用ホームページ → 微弱無線局の 規定,

https://www.tele.soumu.go.jp/j/ref/material/rule/

[7] 軍需機器の EMC — MIL-STD-461G の概要, 株 式会社 e・オータマ 佐藤, 2020,

https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html

- Part 1: 主なエミッション要求 (CE101, CE102, RE101, RE102)
- Part 2: 主なサセプティビリティ要求 (CS101, CS109, CS114, CS115, CS116, CS118, RS101, RS103)
- [8] ISO 11452 シリーズの概要,株式会社 e・オータ マ 佐藤, 2016,

https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html

© 2020 e-OHTAMA, LTD.

All rights reserved.

免責条項 — 当社ならびに著者は、この文書の情報に関して細心 の注意を払っておりますが、その正確性、有用性、完全性、その 利用に起因する損害等に関し、一切の責任を負いません。