

農業用/林業用機械の EMC — ISO 14982 の概要

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2023 年 3 月 7 日

目次

1	概要	1
2	適用範囲	1
3	参照規格	2
4	一般	2
4.1	機械の EMC の評価	2
4.2	エミッション限度やイミュニティ試験レベルの適用	3
4.3	広帯域エミッションと狭帯域エミッション	3
4.4	試験の準備	3
5	機械での試験	4
5.1	電磁放射のエミッション	4
5.1.1	測定セットアップ	4
5.1.2	エミッション限度	5
5.1.3	動作条件	5
5.1.3.1	広帯域エミッションの測定	5
5.1.3.2	狭帯域エミッションの測定	5
5.2	電磁放射へのイミュニティ	6
5.3	静電気放電 (ESD) へのイミュニティ	8
6	ESA での試験	8
6.1	電磁放射のエミッション	8
6.1.1	エミッション限度	8
6.2	電磁放射へのイミュニティ	10
6.3	静電気放電 (ESD) へのイミュニティ	10
6.4	伝導性トランジエントへのイミュニティ	10
7	試験法	10
7.1	ISO/TR 10605:1994	10
7.2	ISO 11452-2:1995 (ed. 1)	13
7.2.1	置換法	15
7.2.2	閉ループ・レベリング法 (閉ループ法)	15
7.3	ISO 11452-4:1995 (ed. 1)	15
7.3.1	校正済み注入プローブ法 (置換法)	17
7.3.2	電流モニタ・プローブ法 (閉ループ法)	17
8	補足	18
8.1	類似の規格	18
9	参考資料	18

1 概要

ISO 14982:1998^[1] は主として農業や林業で用いられるような機械類の EMC の規格であり、機械類の、またそのような機械類で用いられる ESA^{†1} のエミッションとイミュニティの要求を定める。

ISO 14982 の現時点での最新版はこの 1998 年版であり、非常に古いですが、欧州では 2009 年にそのままの内容で EN ISO 14982:2009 として改めて発行されており、これらの規格は本稿の執筆の時点でも有効なものとなっている。

本稿ではこの ISO 14982:1998^[1] (EN ISO 14982:2009) の概要を述べる。なお、本稿は規格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、規格についての正確な情報は規格そのもの^[1]を参照していただきたい。

2 適用範囲

ISO 14982:1998^[1] は農業用、林業用、また造園用/園芸用の機械類、及びその ESA に適用される。

対象となる機械類には大型のトラクタのような乗用のものから可搬型や手持ち型のものまでが含まれる。

対象となる機械類の例は:

- トラクタ、耕耘機、コンバイン、田植機、類似の主として農業用の機械類;
- 刈払機、ヘッジトリマ、芝刈機、ブロア、噴霧器、類似の主として農業用、造園用/園芸用等の機械類;
- チェーンソー、伐倒機 (フェラーバンチャ)、伐倒造材機 (ハーベスタ)、造材機 (プロセッサ)、類似の主として林業用や造園用の機械類。

^{†1} ESA (electrical/electronic sub-assembly) は、1 つ以上の機能を実現する、機械の一部となる電気的もしくは電子的な構成要素。



但し、

- この規格のイミュニティ要求はドライバによる機械類の直接的な制御や機械類の機能の状態の変更に関係する ESA を含まない機械類、またそれに該当しない ESA には適用されない。

ドライバによる機械類の直接的な制御は、例えば操舵、制動、走行速度、あるいはエンジン速度の制御を、またハザードを引き起こし、あるいは他者を惑わすかも知れない機能の状態の変化を含む。^{†2}

- この規格は、内燃機関で駆動されるものなど、外部からの電源の供給を受けない状態で動作する機械類にのみ適用される。

外部の電源に接続できる機械類は、少なくとも電源に接続した状態については他の適切な規格の適用が必要となるであろう。^{†3}

- 公道の走行が可能な機械類は、少なくとも公道を走行する際の状態ではその地域の車両に対する規則の対象となるかも知れない。
- EU では農業用や林業用のトラクタ、トレーラ、及び交換可能な被牽引機械類、またそれらへの取り付けが意図された ESA は一般には指令 2009/64/EC^[2] の、また機能安全に関する場合は Commission Delegated Regulation (EU) 2015/208^{†4} の対象となるだろう。
- クレーンやブルドーザーのような重機械類、また丸ノコやウィンチのような機械類もこれらの用途で用いられることがあるが、その種の汎用的なものは一般にこの規格の対象とならない。

この種のもののうち、土木工事などで用いられるような重機械類は一般に ISO 13766-1^[18] の対象となるだろう。

^{†2} これは ECE R10^[17] や ISO 13766-1^[18] で「イミュニティ関連機能」と呼ばれているものと似ている。

^{†3} 電動工具に類した機械類については CISPR 14-*, また車両やそれに類したものの充電に関しては IEC 61851 シリーズのような電気自動車の充電に関連した規格の準用が、他に適当な規格がない場合は IEC 61000 シリーズの該当する規格の適用が候補となるかも知れない。

^{†4} Commission Delegated Regulation (EU) 2015/208 of 8 December 2014 supplementing Regulation (EU) No 167/2013 of the European Parliament and of the Council with regard to vehicle functional safety requirements for the approval of agricultural and forestry vehicles

3 参照規格

この規格では試験法として多くの古い規格、例えば

- ISO 7637-2:1990
- ISO/TR 10605:1994
- ISO 11451-2:1995
- ISO 11452-2:1995
- ISO 11452-4:1995

などが日付付きで参照されており、規格上はこの規格に対する評価では参照された版の試験法(多くの規格で現代の版とはかなりの相違がある)を適用すべきということになる。

それらの版の代わりに新しい版の規格を適用することにする場合もあるかも知れない^{†5}が、そのような場合はテスト・プランにはその旨、またその試験で適用する規格とその版も明示すべきである。また、参照された版の規格を適用する場合も、テスト・プランにはそれらの規格と版を明示すると良いだろう。

4 一般

4.1 機械の EMC の評価

機械の EMC の評価は、以下のいずれか、あるいはその組み合わせによって行なう:

- 機械全体を試験する;
- この規格への適合が確認された ESA をその製造業者の推奨事項に従って組み込む。^{†6}

^{†5} 参照されているこれらの規格は非常に古く、それらが使用されることはかなり少なくなっているように思われる。このため、試験所でもこれらの版には対応していない、あるいは少なくとも試験員がこれらの版に慣れていないこともありそうである。ISO 14982:1998 はそれらの版を明示して参照しているため、規格上は参照された版の使用が必要となるものの、参照されている古い規格の代わりにより新しい版を適用しても試験の目的を損なうことはない判断されることもあるかも知れない。但し、認証機関やその他の第三者機関が関与する場合には、この種の判断には関係する機関との協議も必要となるであろう。ちなみに、この規格に類似した規格や規則、例えば ISO 13766-1:2018^[18] (土木/建設機械)、EN 12895:2015 (フォークリフトなど)、ECE R10.06^[17] (路上走行車両)のような規格や規則の多くではそれらの規格のより新しい版が参照されている。

^{†6} 適合が確認された ESA から組み立てられた機械についてもエミッションやイミュニティの確認を可能な範囲で行なう(規格に従った形でなくても)ことは良い考えかも知れない。

試験項目	機械での試験	ESA での試験
電磁放射のエミッション	ISO 14982 Annex B & C (§5.1)	ISO 14982 Annex D & E (§6.1)
電磁放射へのイミュニティ	ISO 11451-2:1995 (§5.2)	ISO 11452-2:1995 (§6.2, §7.2) ISO 11452-3:1995 (§6.2) ISO 11452-4:1995 (§6.2, §7.3) ISO 11452-5:1995 (§6.2)
ESD へのイミュニティ	ISO/TR 10605:1994 (§5.3, §7.1)	ISO/TR 10605:1994 (§6.3, §7.1)
伝導性トランジェントへのイミュニティ	—	ISO 7637-2:1990 (§6.4)

表 1: 試験項目の一覧

4.2 エミッション限度やイミュニティ試験レベルの適用

この規格は型式試験、すなわち一連の同様の機械や ESA を代表する単一のサンプルに対する試験に用いることができ、その場合、

- エミッション試験 (§5.1, §6.1) では 20 % (2 dB) 下げたエミッション限度を適用する;
- 電磁放射に対するイミュニティの試験 (§5.2, §6.2) では 25 % 高い試験レベルを適用する。

そのようにして適合と判断されたものと同様の機械や ESA の評価では、示されているエミッション限度やイミュニティ試験レベルをそのまま適用できる。

4.3 広帯域エミッションと狭帯域エミッション

広帯域エミッションは測定器の帯域幅 (この規格での測定では 120 kHz) よりも大きい帯域幅を持つエミッション、狭帯域エミッションはそれよりも小さい帯域幅を持つエミッションである。

広帯域エミッションの発生源の例としては火花点火式エンジン (ガソリン・エンジン) やブラシ・モータなどを、狭帯域エミッションの発生源の例としてはマイクロ・プロセッサの類を挙げられる。

この規格では機械 (§5.1.2) と ESA (§6.1.1) のいずれについても広帯域限度に対しては準尖頭値検波で、狭帯域限度に対しては尖頭値検波で測定する。^{†7}

^{†7} これは ISO 13766-1^[18] などが狭帯域限度に対する測定で平均値検波の使用を認めているのとは異なる。一般に狭帯域エミッションでは尖頭値検波と平均値検波で大きな違いは生じないが、広帯域エミッションでは尖頭値検波よりも平均値検波の方がかなり小さい値を示す可能性がある。このため、尖頭値検波で狭帯域限度を超える広帯域エミッションが観測される状態でも平均値検波であれば狭帯域エミッションを測定できるかも知れないが、そのような状況で尖頭値検波で狭帯域エミッションを測定することは困難となるかも知れない。

あるいは、広帯域エミッションを準尖頭値検波の代わりに尖頭値検波で測定し、補正した限度値 (例えば尖頭値検波で帯域幅 1 MHz とした場合は +38 dB、帯域幅 1 kHz とした場合は -22 dB) を適用することもできる。

4.4 試験の準備

試験に先立って、少なくとも次のような事項を決定し、テスト・プランに文書化することが必要となるだろう:

- 機械、ESA、あるいはその組み合わせのいずれで試験するか。
- それぞれの試験での機械や ESA の動作条件、またその動作条件を達成する手段。
- イミュニティ試験については、適用する具体的な性能基準、またその監視や判断の手段。

この規格では全てのイミュニティ試験で機能状態クラス A、すなわち「妨害への曝露中とその後、デバイス/システムの全ての機能が設計された通りに機能する」ことが要求されている。従って、試験では少なくとも評価の対象となるそれぞれの機能が設計された通りに機能しているかどうかを確認することが必要となるであろうが、このためには、少なくともどの機能が評価の対象となるか、その動作をどのように監視するか、またそれぞれの機能がどのように動作していればそれが「設計された通り」であると判断できるかを具体的に、可能な限り客観的な判定を行なえるような形で (それが実際的な場合は定量的に) 規定することが必要となるであろう。

- 電磁放射に対するイミュニティの試験 (§5.2, §6.2) での周波数掃引ステップ、及びドウェル・タイム。

周波数掃引ステップは、規格で規定された最大周波数ステップ (表 2) よりも大きくない値を指定する。

規格ではリニア・ステップでの周波数間隔のみが規定されているが、その代わりにそれと同じかそれ以上のポイント数となるような対数ステップでの掃引を行なっても良い。^{†8}

周波数帯 MHz	最大周波数ステップ MHz
0.01~0.1	0.01
0.1~1	0.1
1~10	1
10~200	2
200~1000	20
1000~18000	200

表 2: 周波数掃引ステップ (ISO 11452-1:1995 Table 2, ISO 11451-1:1995 Table 2)

ドウェル・タイム (dwell time)、すなわちそれぞれの周波数の妨害を印加する時間は最小 2 秒で、試験対象となる部分の応答時間よりも長い時間とする。^{†9}

また、試験に際して機械を所定の動作状態とするために、あるいはイミュニティ試験での動作の監視などのために、例えば次のようなことも必要となるかも知れない:

- エンジンの回転数や走行速度が所定の値となるようにスロットルを適度に開いて固定することが必要となるかも知れない;

^{†8} 10~200 MHz を 2 MHz ステップで掃引すると 96 ポイント、200~1000 MHz を 20 MHz ステップで掃引すると 41 ポイントで、対数ステップでのステップ数がそれを下回らないようにするためにはそれぞれ約 3 % 以下、及び 4 % 以下とすることが必要となる。なお、これらの周波数ステップは周波数範囲の多くで ISO 11451-1:2005 以降や ISO 11452-1:2005 以降で規定された、すなわち ISO 13766-1:2018^[18] などで適用されるであろう最小の周波数ステップよりも小さいものとなっている。

^{†9} 例えば間欠的に動く機能 (例えば通信やセンサの読み込みを 30 秒毎に行なっている場合のような) や妨害への反応が遅い (例えば時定数の長いフィルタが関係する) 機能がある場合、それに応じてドウェル・タイムを長くすることが必要となるだろう。なお、最小 2 秒という時間は ISO 11451-1:2005 以降や ISO 11452-1:2005 以降で規定された、すなわち ISO 13766-1:2018^[18] などで適用されるであろう最小 1 秒という時間よりも大きいものとなっている。

- 走行状態の模擬のため、機械をダイナモメータに乗せるか、あるいは駆動輪やカタピラを浮かせるか機械的に切り離すことが必要となるかも知れない;

- 例えば次のような場合、試験に影響を与えないような形で、かつ危険を生じないような形で適切な操作を遠隔で行なえるように、あるいは自動的に繰り返すようにすることが必要となるかも知れない:

- 試験中にステアリング、ブレーキ、その他の操作部の操作を行なう必要がある場合;
- 試験中に昇降機構などの可動部を動かす必要がある場合。^{†10}

- イミュニティ試験での性能の判定のため、例えば次のようなことも必要となるかも知れない:

- キャビン内の計器や警告灯などの監視;
- 車輪やカタピラの手数、車輪の舵角、アームなどの可動部の動作速度やトルクなどの測定;
- 機械が姿勢や負荷などを検出するセンサを備えている場合、イミュニティ試験時にそのセンサが反応する状態を生じさせる手段、あるいはその代わりとなる確認手段の用意。

- ESA での試験の場合、機械で使用される時の状態を模擬するための、また ESA の動作を確認するための適切な対向器の準備などが必要となるかも知れない。

5 機械での試験

5.1 電磁放射のエミッション

5.1.1 測定セットアップ

機械からの電磁放射のエミッションの測定は、CISPR 12^{[7][13]} と同様に半径 30 m の範囲に反射

^{†10} 可動部を駆動する油圧や動力がコントロール・レバーで直接制御されるような場合、そのような可動部を試験時に動かす必要性は低いだろう。だが、それらがモータで駆動されている、あるいはその動作に電子的な制御が用いられているような場合、試験時にそれらの可動部を実際に動作させることが必要と判断されるかも知れない。

物^{†11}のない平坦な場所 (図 1) で、あるいはそのような場所での測定との相関を示せる電波暗室などで行なう。

屋外での試験の場合、降水中や降水が止んでから 10 分のあいだは試験してはならない。

外来雑音は意図的な狭帯域の送信を除き限度よりも 10 dB 以上低くなければならない。

受信アンテナは機械の基準点の左右、機械の側面から 10 m ± 0.2 m、地面から 3 m ± 0.05 m の高さ、あるいは機械の側面から 3 m ± 0.05 m、地面から 1.8 m ± 0.05 m の高さに置き、水平偏波と垂直偏波で測定する (図 2)。機械の基準点はエンジンが搭載されている場合はエンジンの中央、エンジンが搭載されていない場合はその機械の中央である。

10 m と 3 m のいずれの距離で測定するかは任意である。^{†12}

5.1.2 エミッション限度

機械のエミッション限度 (図 3) は広帯域限度と狭帯域限度として規定されており、広帯域限度に対しては準尖頭値検波で、狭帯域限度に対しては尖頭値検波で測定する (§4.3)。

測定時の機械の動作条件 (§5.1.3) もそれぞれについて規定されており、通常は動作条件を変えてそれぞれの測定を行なうことが必要となる。だが、機械が 9 kHz よりも高い周波数の発振器を含まない場合は狭帯域限度に対する評価の、また広帯域エミッションの発生源を含まない場合は広帯域限度に対する評価の省略を正当化できるかも知れない。

CISPR 12 と同様、単一サンプルでの試験では測定結果が該当するエミッション限度よりも 2 dB 以上低ければ適合とみなす。

この規格の限度は意図的な無線送信には適用されないが、そのような送信がエミッション測定に悪影響を与えないように留意することが、場合によっては無線送信機を除いた部分からのエミッションの確

認のために測定時に無線送信を停止させることが必要となるかも知れない。^{†13}

5.1.3 動作条件

機械の動作条件は広帯域限度と狭帯域限度 (§5.1.2) のいずれの限度に対する測定かによって異なる。^{†14}

5.1.3.1 広帯域エミッションの測定

- 持続的に使用される広帯域エミッションの発生源全てを動作させるべき^{†15}
- エンジンの動作

エンジンのタイプ	動作条件
火花点火	エンジン速度
1 気筒	2500 rpm ± 250 rpm
2 気筒以上	1500 rpm ± 150 rpm
ディーゼル	公称速度 ± 10 %

5.1.3.2 狭帯域エミッションの測定

- イグニション・スイッチをオンにする
- エンジンは動作させない
- 狭帯域エミッションを発生するかも知れない電子システムは通常の動作状態とする; 必要であれば広帯域エミッションの発生源を停止させる^{†17}

^{†11} 例えば建屋、車両、鉄塔、架空線など。測定器、また測定器を置いた小屋や車両は、アンテナよりも後ろ側、アンテナから 15 m 以上離れた場所に置くことができる (図 1)。

^{†12} 対象の機械が大きい場合は 3 m での測定は避けた方が無難かも知れない。なお、LPDA (対数周期アンテナ) の 1 GHz までの最小の 3 dB ビーム幅は 60° 前後 (アンテナによって異なる) となりそうで、このビーム幅は距離 3 m では 3.4 m、距離 10 m では 11 m 程度の幅をカバーする。

^{†13} 無線送信機からの意図的な送信のレベルは通常はこの規格のエミッション限度よりもかなり高く、エミッション測定に悪影響を与える可能性があるばかりでなく、場合によっては測定器を損傷させる可能性も考えられる。また、測定場所の近くでの携帯電話などの無線送信機の使用にも注意することが望ましい。

^{†14} これらの動作条件は CISPR 12^{[7][13]} の “Engine-Running” モードと “Key-On, Engine-Off” モードに似ている。

^{†15} より簡単には、広帯域エミッションを発生するかどうかに関わらず、連続的に動作させられるもの全てを動作させれば良く、また広帯域限度に対する評価に際して狭帯域エミッションを排除する必要もないだろう。^{†16} これは例えば次のようなものを含むかも知れない: ワイパー、ウィンカー、LED や HID の前照灯や作業灯、電動の機械の動力用モータや油圧ポンプなど。パワー・ウィンドウのように短時間のみ動かされる機能は動作させなくても良い。

^{†16} この規格の限度と検波の規定から、広帯域限度に対する評価を顕著な狭帯域エミッション (狭帯域限度を超えないもの) が含まれた状態で行なったとしてもその狭帯域エミッションが広帯域限度を超えることはない。

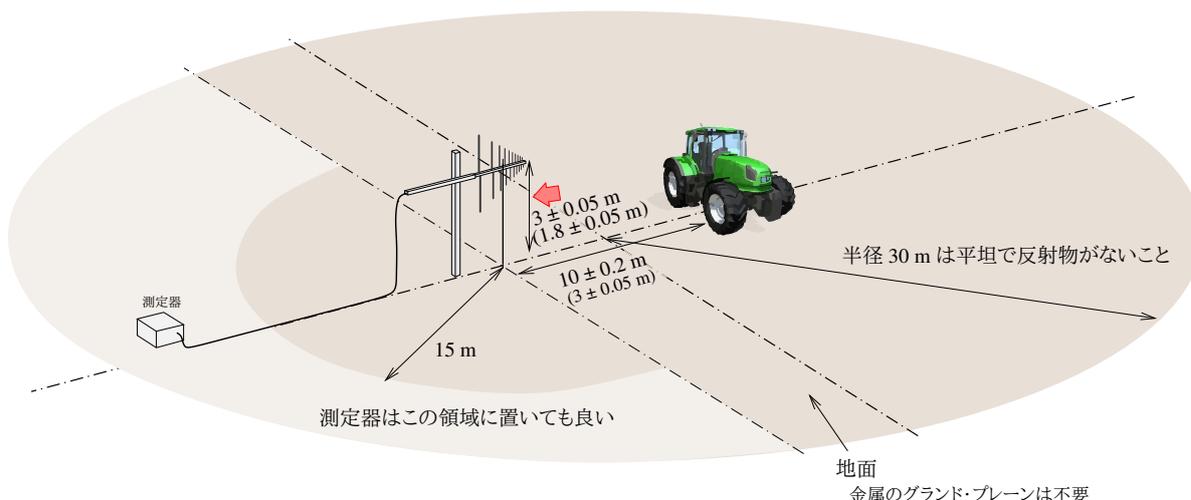


図 1: 屋外テスト・サイトでの機械の電磁放射のエミッションの測定のイメージ

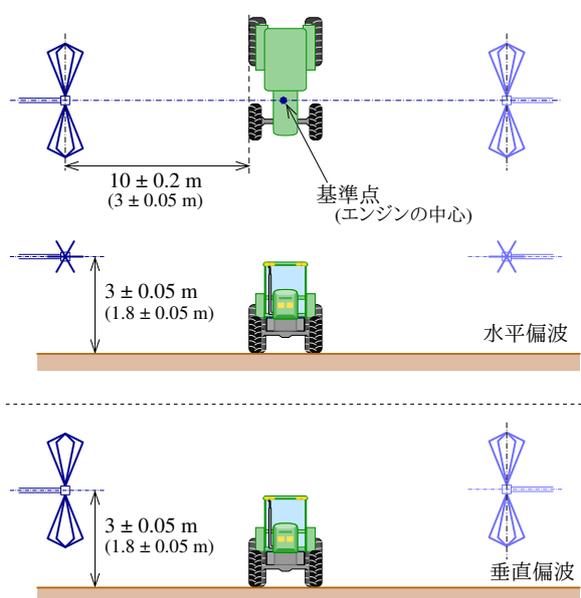


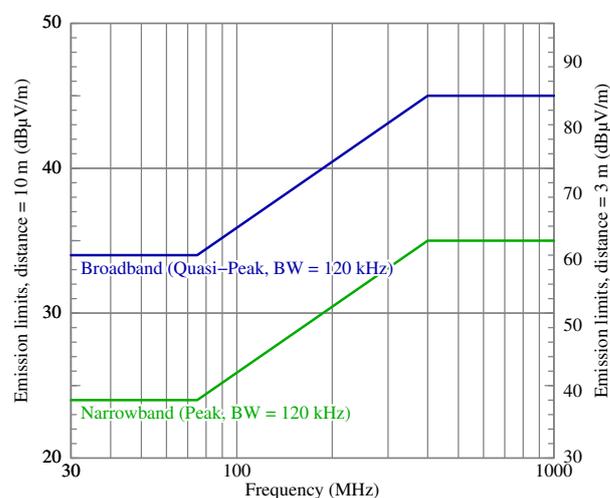
図 2: 機械の電磁放射のエミッションの測定でのアンテナの配置

5.2 電磁放射へのイミュニティ

ISO 11451-2:1995^[3] で述べられた試験法を用いて、機械に 20~1000 MHz の周波数範囲の電磁波を照射してイミュニティを確認する。

ISO 11451-2 では電磁界をアンテナで照射する方法 (図 4) と TLS (transmission line system) と呼ばれるデバイスを用いる方法が規定されており、30 MHz 程度以下の周波数帯ではしばしば後者が用いられる。^{†17}

^{†17} TLS は、大きさの制約はあるが、低い周波数の電磁界の発生に適している。例えば ETS Lindgren 5502 では条件にもよるが 1 kW 前後の電力で 0.1~30 MHz で 30 V/m を発生させ



(単一のサンプルの試験では 2 dB 下げた限度を適用する)

図 3: 機械の電磁放射のエミッションの限度

本稿では ISO 11451-2:1995 の具体的な規定には踏み込まず、一般論的な事項、またアンテナでの照射による試験のセットアップのイメージ (図 4) を示すだけとする。^{†18}

- 試験は水平偏波と垂直偏波のいずれか不利な方の偏波の妨害のみで行なうことが許容される。

だが、多くの場合はいずれが不利かは事前には

られるかも知れない。一方、アンテナでの照射で低い周波数で所望の電磁界を発生させるためには大型のアンテナとパワー・アンプが必要となり、例えば ETS Lindgren 3151 (20~200 MHz に対応した、最大幅約 5 m の大型の LPDA) で距離 2 m において 20 MHz で 30 V/m を得るためには 5 kW 近くが必要になることが予期される。

^{†18} ISO 11451-2 については [9] で触れている。但し、その内容は ISO 11451-2:2015 に基づいており、ISO 14982:1998 から参照されている ISO 11451-2:1995 とはかなりの相違がある。

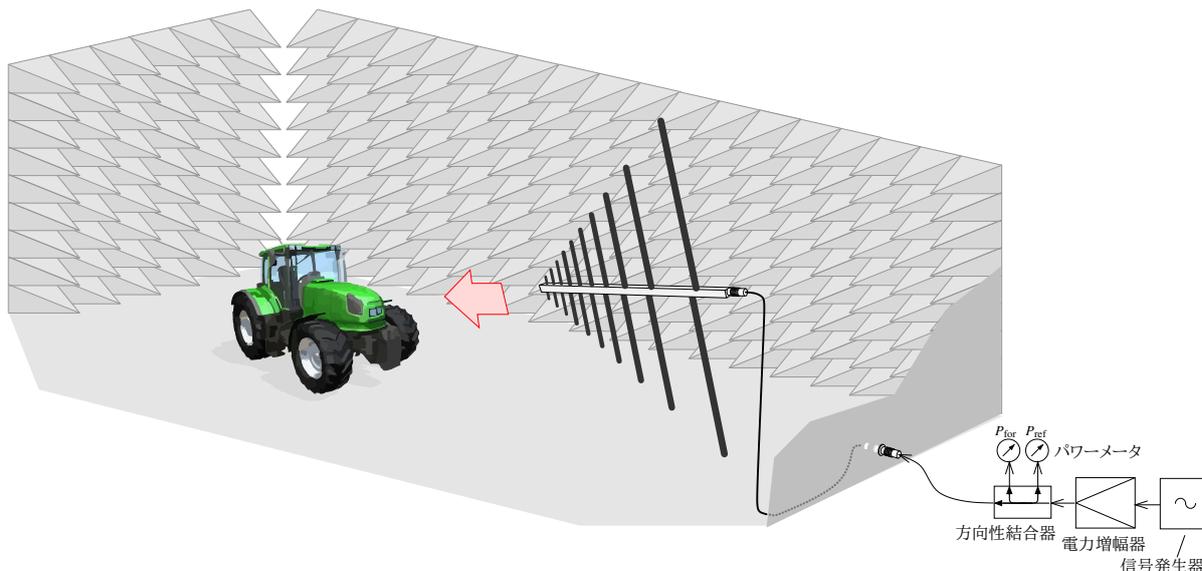


図 4: 機械の電磁放射へのイミュニティの試験 (アンテナでの照射) のイメージ

わからず、双方の偏波での試験が必要となりそうである。

- 試験レベルは 24 V/m と規定されているが、単一のサンプルの試験では 25 % 上げた 30 V/m の試験レベルを適用する。
- 印加する妨害には 1 kHz 80 % の振幅変調を適用する (図 5)。

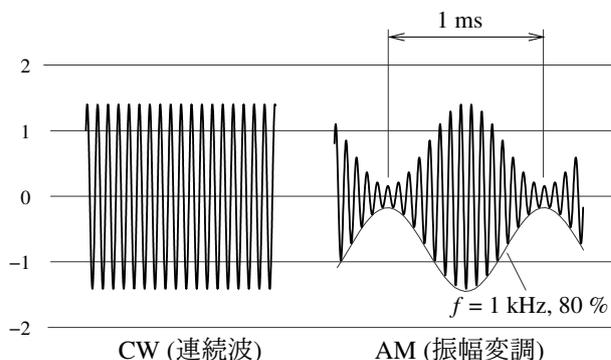


図 5: 変調

- 周波数掃引ステップ、及びドウェル・タイムは §4.4 を参照。
- 放射アンテナや TLS に対する機械の配置、例えばアンテナに対する機械の向き、機械の基準点 (アンテナを向ける位置)、またアンテナと機械の基準点のあいだの距離などは規格の規定

と試験対象の機械の性質に従って決定し、テスト・プランに文書化する。^{†19}

- 試験時の機械の動作モード^{†20}も試験対象の機械に応じて決定してテスト・プランで規定する。

この試験の実施のためには、必要な周波数範囲にわたって所定の妨害を発生するための設備を備えた、試験対象の機械を持ち込んで稼働させることのできる電波暗室が必要となる。^{†21}

この試験は典型的な電磁環境で予期される外部からの電波の影響を想定したもので、機械に取り付けられた無線機、あるいは機械の上や近傍でオペレータなどが使用する可搬型の無線機 (携帯電話を含む)

^{†19} 例えば機械の電子制御システムが機械の前部にあり、その他には電磁波の影響を受けそうなものがないならば、その制御システムの位置を機械の基準点として機械の前方から照射すれば良さそうである。だが、電子化が進み、様々な場所に電子コンポーネントが取り付けられた機械では、その決定は難しくなるだろう。この規格では機械 (あるいはその中の電磁波の影響を受けやすい部分) 全体をこの妨害に曝すなどの要求はないが、例えば電磁波の影響を受けやすいようなものが大型の機械の様々な場所に取り付けられているような場合、それら全てを電磁妨害に曝すために複数の場所に向けての照射を行なうという判断もあるかも知れない。

^{†20} 可動部の制御が電子化されている場合などは、妨害を受けている時でも可動部 (例えば車輪やカタピラ、アームなど) が指示通りに動くかどうかを確認するために可動部を動かしながら試験することが、また可動部が意図せずに動かないことを確認するために可動部を静止させた状態でも試験することが必要と判断されるかも知れない。また、例えば機械の姿勢の異常や過負荷などの検出のために電子式のセンサを用いている場合、そのセンサへの妨害の影響の確認も必要と判断されるかも知れない。

^{†21} この方法での試験の実施が困難な場合、ESA での試験 (§6) を行なうことを、そして ^{†6} で触れたように機械に対して追加の確認を行なうことを考えると良いかも知れない。

の影響^{†22†23}、また放送施設やレーダー施設の近傍で受けるかも知れないような強力な電磁界の影響は別途考慮が必要となるかも知れない。

5.3 静電気放電 (ESD) へのイミュニティ

ISO/TR 10605:1994^[6] に従い、実際の使用に際して人が触れることのできる箇所に ± 4 kV の ESD を印加し、機能状態クラス A (§4.4) が維持されるかどうかを確認する。

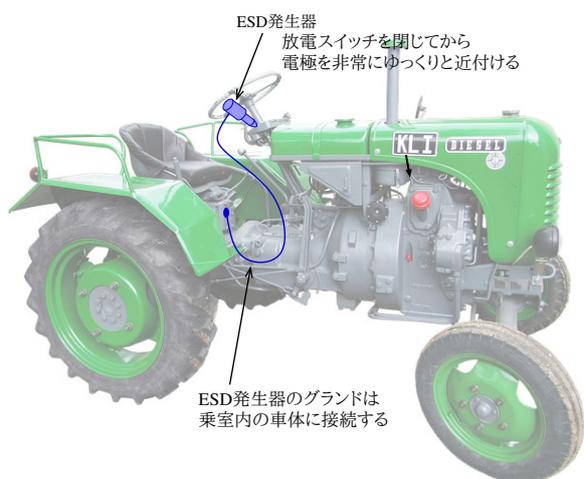


図 6: 機械の ESD 試験のイメージ

実際の使用に際して人が触れるかも知れない箇所全てを試験しようとするのは実際的ではないので、実際に印加を行なう箇所は ESD の受けやすさや ESD が発生した時に影響を受ける可能性の高さなども考慮して選択することが必要となるだろう。例えば、スイッチやジョイスティックのような電気的な操作部、LCD や LED などの表示デバイス、オペレータがアクセス可能なコネクタやカード・スロットの周囲、露出した ESA などが優先的な印加箇所の候補となるかも知れない。

この試験では試験員が機械の上やその近くで妨害の印加を行なうことになるため、機械の動き (機械を静止させた状態での試験の場合も機械が意図しない動きを生じるかも知れない) によって危険を生じないように特に注意が必要となるかも知れない。

^{†22} このような無線機からの放射の影響の評価には ISO 11451-3^[3] や ISO 11452-9^[10] を使用できるかも知れない。

^{†23} 無線機や携帯電話やその他の送信機の設置や使用に関する注意事項があれば製造業者はそれをオペレータ向けの説明書で示すべきであろう。また、そのような無線機の設置が想定される場合、その設置によって機械の性能が悪影響を受けないという証拠を示すべきであろう。

ISO/TR 10605:1994 については §7.1 で改めて触れる。

6 ESA での試験

6.1 電磁放射のエミッション

ESA からの電磁放射のエミッションの測定は半径 15 m の範囲に反射物がない屋外試験サイトで (図 7)、あるいはそのような場所での測定との相関を示せる電波暗室^{†24}などで行なう。

外来雑音は意図的な狭帯域の送信を除き限度よりも 10 dB 以上低くなければならない。

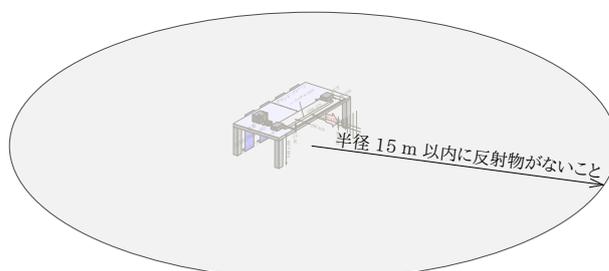


図 7: ESA エミッション測定サイトの例

測定対象となる ESA やハーネスなどは床から高さ 1000 ± 100 mm の位置に設置されたグラウンド・プレーンの上に配置する。ESA は実際の使用で機械の金属部に接続されるならばグラウンド・プレーン上に直接置き、さもなくば 50 ± 5 mm の絶縁台の上に置く。ハーネスは 1500 ± 75 mm の長さとし、その大部分がグラウンド・プレーンの前縁から 100 ± 10 mm の距離に前縁と平行となるように 50 ± 5 mm の絶縁台の上に引く。受信アンテナはハーネスの中央の正面、 1000 ± 50 mm の距離、グラウンド・プレーンから 150 ± 10 mm の高さに置く。この測定セットアップの例を 図 8 に示す。

6.1.1 エミッション限度

エミッション限度 (図 9) は広帯域限度と狭帯域限度として規定されており、広帯域限度に対しては準尖頭値検波で、狭帯域限度に対しては尖頭値検波で測定する (§4.3)。

通常は広帯域限度と狭帯域限度の双方に対する評価が必要となるが、ESA が 9 kHz よりも高い周波

^{†24} 例えば CISPR 25:2016^{[8][14]} 以降に従って特性を確認した ALSE (absorber-lined shielded enclosure) のような。

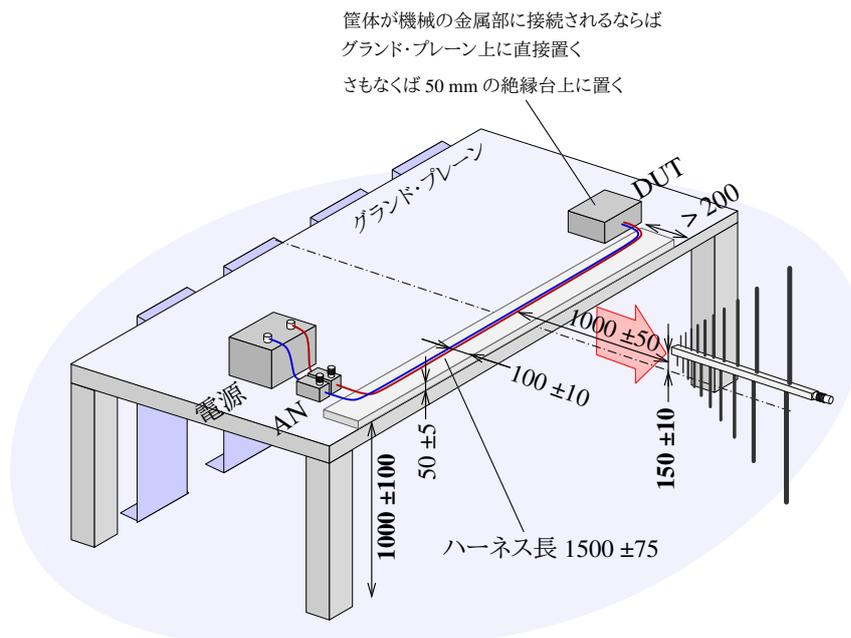


図 8: ESA エミッション測定の設定アップの例

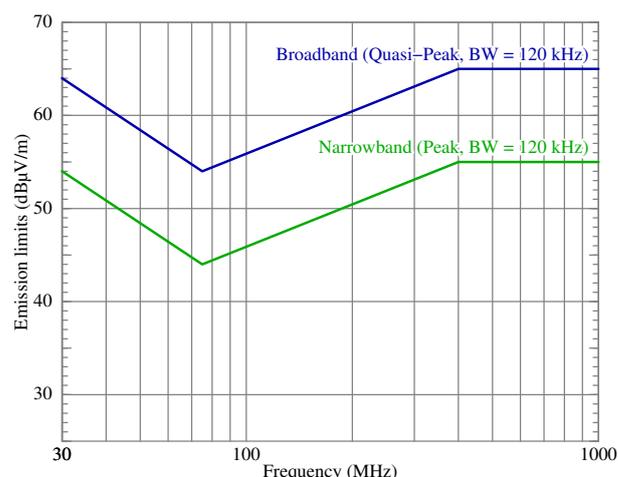
数の発振器を含まない場合は狭帯域限度に対する評価の、また広帯域エミッションの発生源を含まない場合は広帯域限度に対する評価の省略を正当化できるかも知れない。

また、広帯域エミッションと狭帯域エミッションを区別せずに尖頭値検波で測定した結果が狭帯域限度を超えないならば広帯域限度も超えないこともわかり、そのような場合は広帯域限度に対する測定の省略が可能となるかも知れない。

尖頭値検波での測定の結果が狭帯域限度を超える場合、それが広帯域エミッションによるものであるかも知れないとしてもその状態のままの狭帯域エミッションの測定は難しいものとなるかも知れず、場合によっては狭帯域エミッションの測定に際してはその測定の支障となる広帯域エミッションの発生源の動作を止めることなども必要となるかも知れない。^{†7}

機械でのエミッション測定 (§5.1.2) と同様、単一サンプルでの試験では測定結果がエミッション限度よりも 2 dB 以上低ければ適合とみなす。

この測定法は車両上の受信器の保護の目的で良く用いられているものと同様であるが、この規格で示されているエミッション限度 (図 9) は、機械からある程度離れた場所、例えば近隣の家で用いられる受信器への有害な干渉を抑制できる程度のものとなる。機械自身の上の受信器への干渉の防止のために



(単一のサンプルの試験では 2 dB 下げた限度を適用する)

図 9: ESA の電磁放射のエミッションの限度

は、その機械への搭載やその中での使用が予期される受信器が利用する周波数帯に関してより厳しいエミッション限度の適用が必要となるであろう。^{†25}

^{†25} 例えばその機械に GPS 受信器を搭載する場合、この規格では限度が設定されてさえない 1.6 GHz 前後の周波数帯のエミッションを相当低くすることが必要となるだろう。このような機械に搭載される受信器の保護は CISPR 25^{[8][14]} で扱われている。

6.2 電磁放射へのイミュニティ

表3に示したISO 11452 シリーズ^[4]の試験法の1つ以上を用いて20~1000 MHzの周波数範囲の妨害を印加してイミュニティを確認する。

- 試験レベルはそれぞれの試験法について表3に示すように規定されており、単一のサンプルの試験の場合には規定されたイミュニティ参照限度よりも25%高い試験レベルを適用する。
- 印加する妨害には1 kHz 80%の振幅変調を適用する(図5)。
- 周波数掃引ステップ、及びドウェル・タイムは§4.4を参照。
- ISO 11452-2:1995などの規格では置換法における制御パラメータとして正味電力(=進行波電力 - 反射波電力)を用いるように規定されているが、ISO 14982:1998ではそれらの試験で試験系のSWRと無関係に正味電力の代わりに進行波電力を制御パラメータとして用いても良い。

適用する試験法の選択は任意であるが、しばしば20~400 MHzではISO 11452-4(BCI法)、200~1000 MHzではISO 11452-2(ALSE法)が、200~400 MHzのあいだで試験法を切り替えて使用されている。

これらの規格のうち、ISO 11452-2:1995については§7.2で、ISO 11452-4:1995については§7.3で改めて触れる。

6.3 静電気放電(ESD)へのイミュニティ

試験対象のESAを試験台上に配置し(図14)、ISO/TR 10605:1994^[6]に従って±4 kVのESDを印加し、機能状態クラスA (§4.4)が維持されるかどうかを確認する。

ISO/TR 10605:1994については§7.1で改めて触れる。

6.4 伝導性トランジェントへのイミュニティ

ISO 7637-2:1990^{[5][11]}に従って、ESAのDC 12 Vなどの電源入力に規定されたレベルの妨害(単一の

サンプルの試験でも試験レベルは同一で良い)を印加し、機能状態クラスA (§4.4)が維持されるかどうかを確認する(表4)。

ISO 7637-2:1990は公称24 Vの電源系に対する規定のみを含むが、ISO 14982:1998では公称12 Vの電源系にもこの規格が試験レベルを調整して適用される。^{†26}

セルモーターを搭載していない(おそらくリコイルスターターを用いる)機械での使用のみが意図されたESAについてはパルス4(始動プロファイル)に対する評価の省略を正当化できるかも知れない。

7 試験法

7.1 ISO/TR 10605:1994

ISO/TR 10605:1994^[6]はテクニカル・レポートとして発行されたもので、国際規格としてのステータスは持たないが、それと同様の役割で利用されることがある。

ISO/TR 10605:1994の後継となるものはISO 10605:2001(ed. 1)として規格化され、その後、改訂版となるISO 10605:2008(ed. 2)^[12]が発行されている。この試験法を用いる規格の多くはISO 10605のいずれかの版を参照するようになっており、ISO/TR 10605:1994が参照されることはかなり稀と思われる。

これらの文書で参照されているESD発生器は同様のものであるが、ISO 10605:2008^[12]とISO/TR 10605:1994では試験法やESD発生器の検証にはかなりの相違がある:

- 試験時の温湿度は $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 、30~60% RHと規定されており、これはISO 10605:2008の $25 \pm 10^{\circ}\text{C}$ 、20~60% RHという規定よりも厳しい。
- 気中放電では電極はできる限り垂直に(15°以内)保持し、放電が発生するまで、あるいは電極がDUT^{†27}に触れるまで非常にゆっくりと(5 mm/s程度の速さで)接近させる。

^{†26} ISO 14982:1998での試験レベルは著しく甘い。例えばISO 13766-1:2018^[18]では24 V系に対する試験レベルはパルス1が-450 V、パルス3a/3bが220 Vなどとなっている。

^{†27} device under test(被試験装置)。EUT(equipment under test)と呼ばれることもある。

試験法	適用可能な周波数範囲	イミュニティ参照限度	単一サンプルでの試験レベル	参照
ISO 11452-2:1995 (ALSE)	200 MHz~18 GHz	24 V/m	30 V/m	図 10, §7.2
ISO 11452-4:1995 (BCI)	1~400 MHz	48 mA	60 mA	図 11, §7.3
ISO 11452-3:1995 (TEM セル)	0.01~200 MHz	60 V/m	75 V/m	図 12
ISO 11452-5:1995 (ストリップライン)	0.01~400 MHz	48 V/m	60 V/m	図 13

表 3: ESA の電磁放射へのイミュニティの試験法と試験レベル

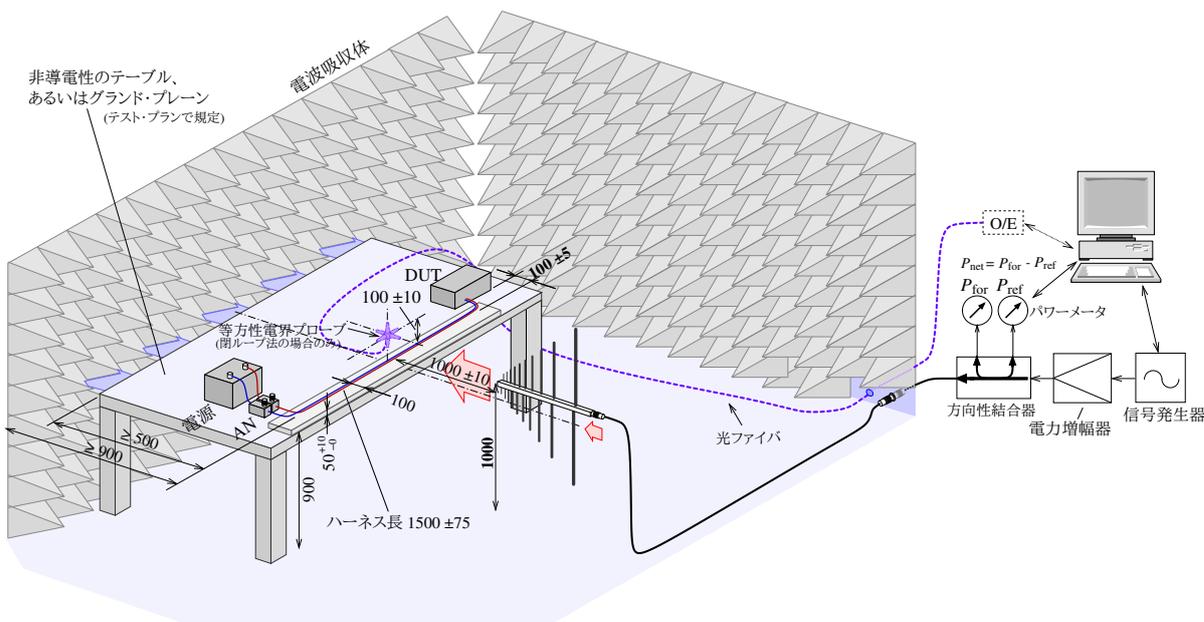


図 10: ISO 11452-2 (ALSE 法) の試験セットアップの例

パルス	試験レベル		機能状態	最小パルス数か 試験時間 †	パルス周期 †		波形
	12 V 系	24 V 系			最小	最大	
1	-25 V	-50 V	A	5000 パルス	0.5 s	5 s	図 15
2	+25 V	+25 V	A	5000 パルス	0.5 s	5 s	図 16
3a	-25 V	-35 V	A	1 h	100 ms		図 17
3b	+25 V	+35 V	A	1 h	100 ms		図 18
4	-4 V	-5 V	A	1 パルス	—	—	図 19
5	+26.5 V	+70 V	A	1 パルス	—	—	図 20

† ISO 7637-2:1990 Table A.1 に基づく

表 4: 伝導性トランジェント・イミュニティ要求

- 放電の印加は各極性で少なくとも 3 回、5 秒以上の間隔で行なう。
- 車両の試験では ESD 発生器のグランド・ケーブル (放電リターン・ケーブル) を乗室内の車体、例えば金属のシート・レールやシャーシに接続し、気中放電の試験法を用いて試験する (図 6)。試験中、様々なシステムを操作して正常な応答を確認する。
- 車両の試験では車両の中から触れることができる全ての試験箇所を 330 pF / 2 kΩ で 4 kV、

8 kV、及び 15 kV で試験し、それに加えて車両の外から容易に触れることができる試験箇所のみを 150 pF / 2 kΩ、25 kV で試験する。

ESA の試験に関してはこれに相当する明確な規定が見当たらないが、通常はこれと同様の定数で、また接触放電と気中放電で試験すれば良いと思われる。

- ESA の試験では、
 - グランド・プレーンは面積 1 m² 以上、全周で DUT の周囲に 100 mm 以上拡が

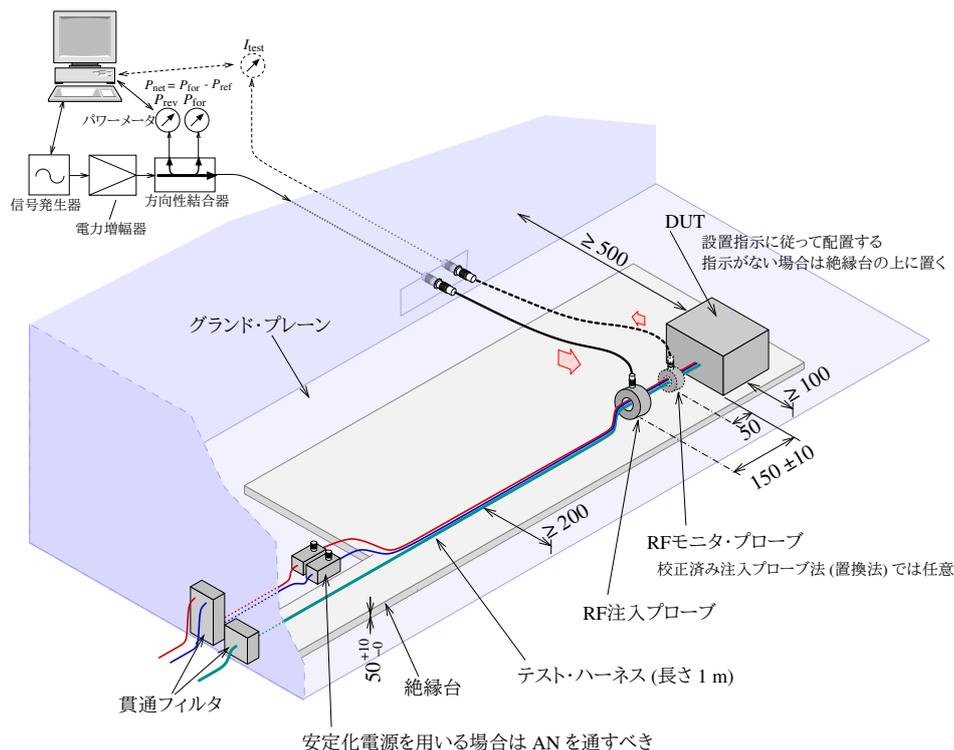


図 11: ISO 11452-4 (BCI 法) の試験セットアップの例

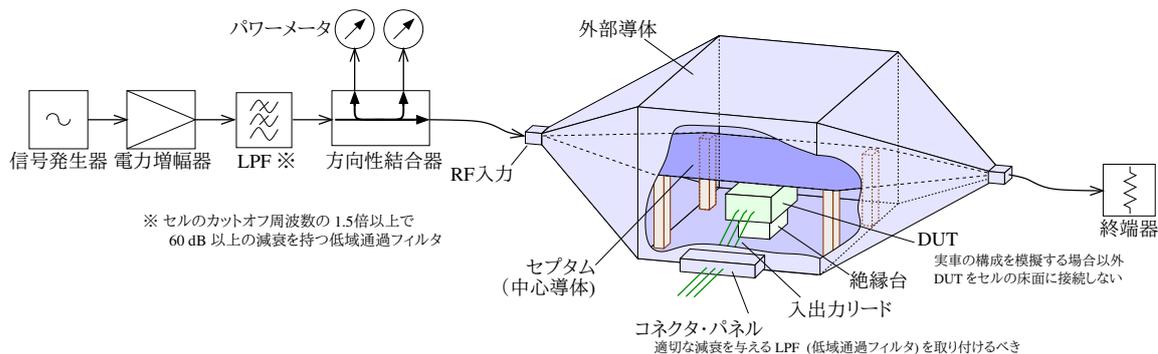


図 12: ISO 11452-3 (TEM セル法) の試験セットアップの例

る大きさのものとし、長さ 1 m 以内、幅 5 mm 以上の接地ストラップで施設のグラウンドに接地する。

- 試験は試験対象の ESA をグラウンド・プレーンの中央に置いて行なう。
- 通常の使用でシャーシに取り付けられる ESA はグラウンド・プレーン上に直接置き、通常の使用で絶縁される ESA は厚さ 25 ± 2.5 mm の絶縁ブロックの上に置く。
- ISO 10605:2008 にあるような間接放電試験 (グラウンド・プレーンへの放電による試験) の規定はない。

- ESD 発生器の検証の要求にかなりの違いがある:

- 放電波形観測用のターゲットとして ISO 10605:2008 など で用いられるものとは異なる放電箇所が $\phi 8$ mm の球状となっているものが用いられる。
- 直接放電に加え、気中放電での放電電流波形の検証の要求がある。
- RC 時定数の確認の要求がある (図 21)。
- 電極電圧のエレクトロメータ (入力インピーダンス $100 \text{ G}\Omega$ 以上) での測定を日次検査として行なうことが求められている。

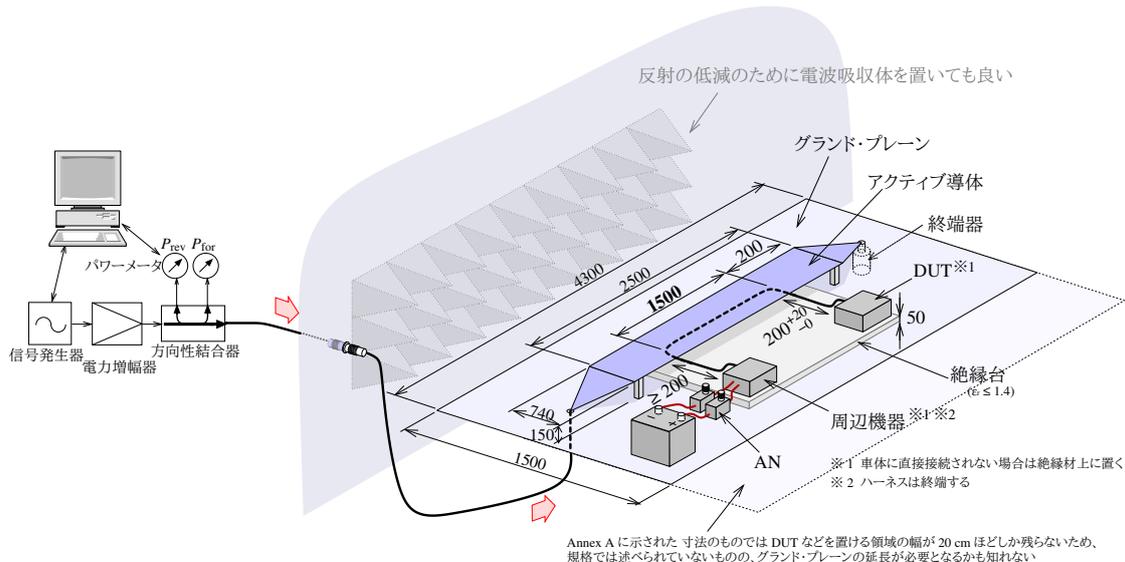


図 13: ISO 11452-5 (ストリップライン法) の試験セットアップの例

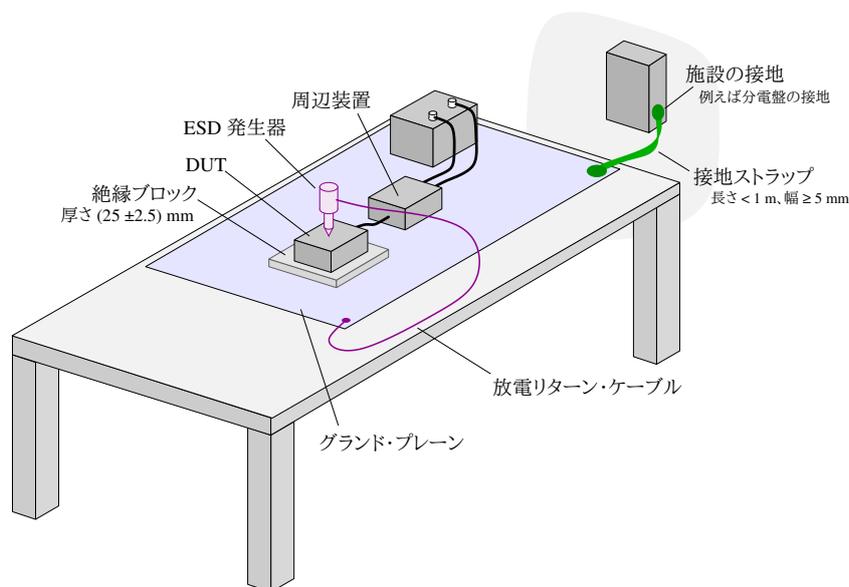


図 14: ISO/TR 10605 直接放電試験のセットアップの例

7.2 ISO 11452-2:1995 (ed. 1)

この試験では電波暗室 (ALSE) 内で DUT とハーネスに向けてアンテナから電磁界を照射して免疫の確認を行なう。

試験の原理は ISO 11452-2:2004 (ed. 2) 以降 [15] と同様であるが、具体的な試験法にはかなりの違いがある:

- 置換法 (§7.2.1) と閉ループ・レベリング法 (閉ループ法; §7.2.2) のいずれを用いても良い。
- 試験台を非導電性のものとするか金属製のもの

とする (あるいはグランド・プレーンを敷く) かはテスト・プランで規定する。^{†28}

金属製の試験台やグランド・プレーンは 300 mm 以下の間隔で取り付けられた接地ストラップで、シールド・ルームの壁に直流抵抗が 2.5 mΩ 以下となるように接続する。

- 試験は DUT を直交するそれぞれの向きで配置して、また垂直偏波と水平偏波の双方で実施する (図 22)。

^{†28} 規格ではこの選択の基準は規定されていないが、実際の使用をより良く模擬できそうな方を選択すれば良いだろう。

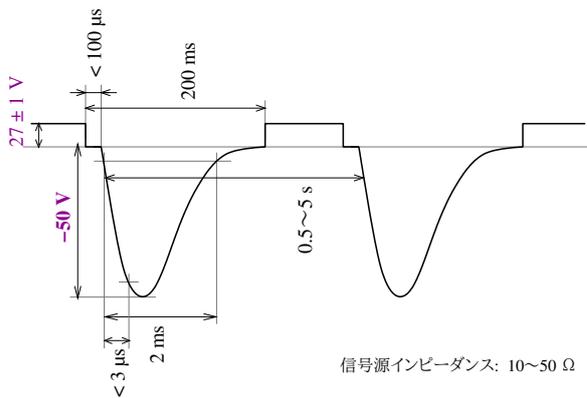


図 15: ISO 7637-2:1990 パルス 1a (Level I) — 誘導性負荷への電源の遮断に伴うトランジェント

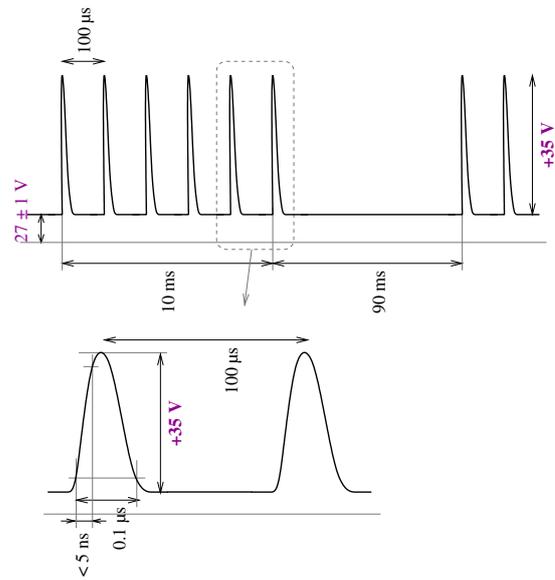


図 18: ISO 7637-2:1990 パルス 3b (Level I) — スイッチの開閉に伴うトランジェント

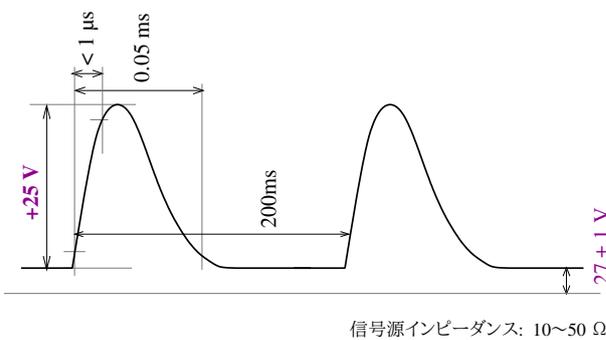


図 16: ISO 7637-2:1990 パルス 2a (Level I) — DUT と並列に接続された負荷の遮断

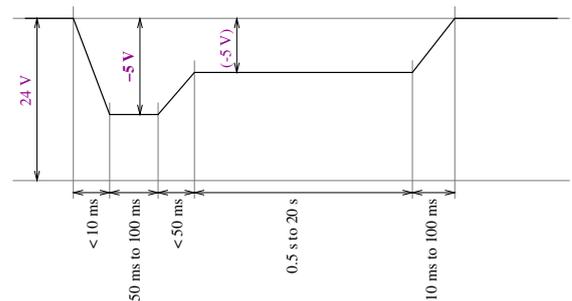


図 19: ISO 7637-2:1990 パルス 4 (Level I) — セルモーターの動作による電圧低下 (始動プロファイル)

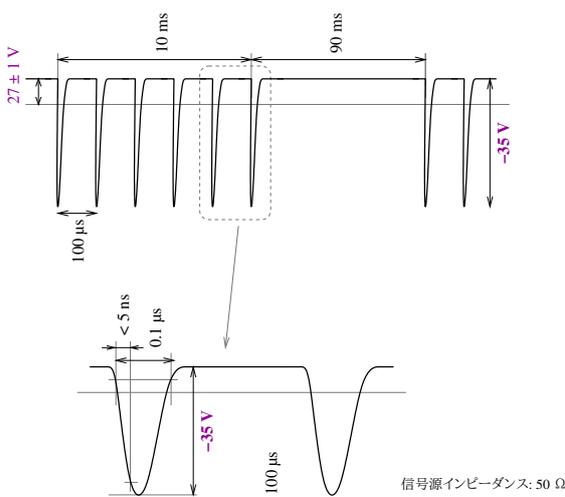


図 17: ISO 7637-2:1990 パルス 3a (Level I) — スイッチの開閉に伴うトランジェント

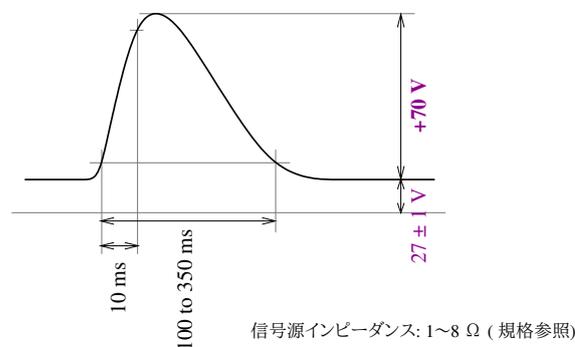


図 20: ISO 7637-2:1990 パルス 5 (Level I) — オルタネータの動作中にバッテリーが切り離された時の過電圧 (ロード・ダンプ)

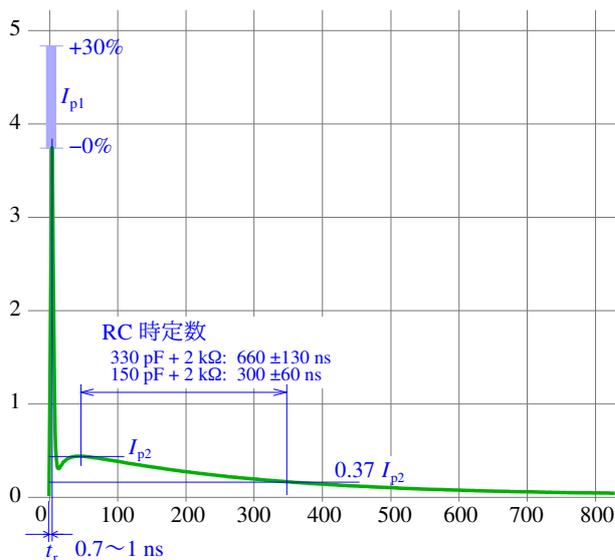


図 21: ISO/TR 10605:1994 接触放電波形のパラメータ

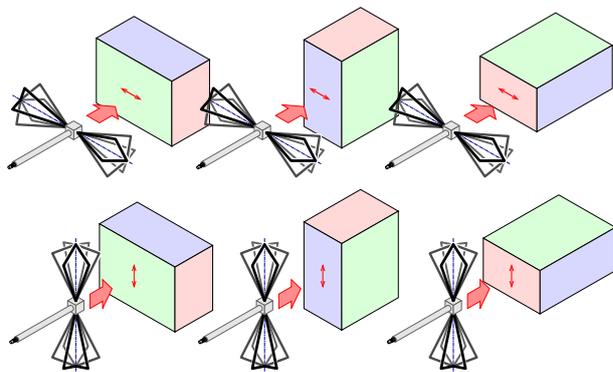


図 22: ISO 11452-2:1995 での直交する 3 つの方向の配置、垂直偏波と水平偏波での照射のイメージ

- 評価は最も重要な条件で、少なくとも待機モードと全てのアクチュエータが動作できる状態で行なう。

7.2.1 置換法

1. 校正:

- DUTなどを配置しない状態で、試験時にハーネスを引く位置の中央の 100 ± 10 mm 上に等方性電界プローブを置く (図 23)。
- 送信アンテナは等方性電界プローブの正面、 1000 ± 10 mm の距離 (試験時と同じ位置) に置く。
- それぞれの周波数ステップで等方性電界プローブで測定された電界強度が所定の値となる

ように信号発生器の出力を調整し、その時の進行波電力と反射波電力を記録する。

2. 試験:

- 試験台の上に DUT やハーネスを配置する (図 24)。
- 送信アンテナはハーネスの中央の正面、 1000 ± 10 mm の距離 (校正時と同じ位置) に置く。
- 指定された周波数ステップのそれぞれの周波数で、所定の妨害レベルを発生させるために必要な正味電力 (試験系の SWR が 1.2:1 未満であれば正味電力の代わりに進行波電力を制御パラメータとして用いても良い) が送信アンテナに注入されるように信号発生器の出力を調整し、所定の変調の妨害を所定のドウェル・タイムのあいだ照射し、DUT への影響を確認する。

7.2.2 閉ループ・レベリング法 (閉ループ法)

- 試験台の上に DUT やハーネスを配置し、ハーネスの中央の 100 ± 10 mm 上に等方性電界プローブを置く (図 25)。
- 送信アンテナはハーネスの中央の正面、 1000 ± 10 mm の距離に置く。
- 指定された周波数ステップのそれぞれの周波数で、等方性電界プローブで測定された電界強度が所定の値となるように信号発生器の出力を調整し、所定の変調の妨害を所定のドウェル・タイムのあいだ照射して DUT への影響を確認する。

7.3 ISO 11452-4:1995 (ed. 1)

この試験法は電流注入プローブ (BCI プローブ) を用いて DUT のハーネスに妨害電流を注入してイミュニティの確認を行なうものである。

試験の原理は ISO 11452-4:2004 (ed. 2) 以降 [16] と同様であるが、具体的な試験法にはかなりの違いがある:

- 校正済み注入プローブ法 (置換法; §7.3.1) と電流モニタ・プローブ法 (閉ループ法; §7.3.2) のいずれを用いても良い。

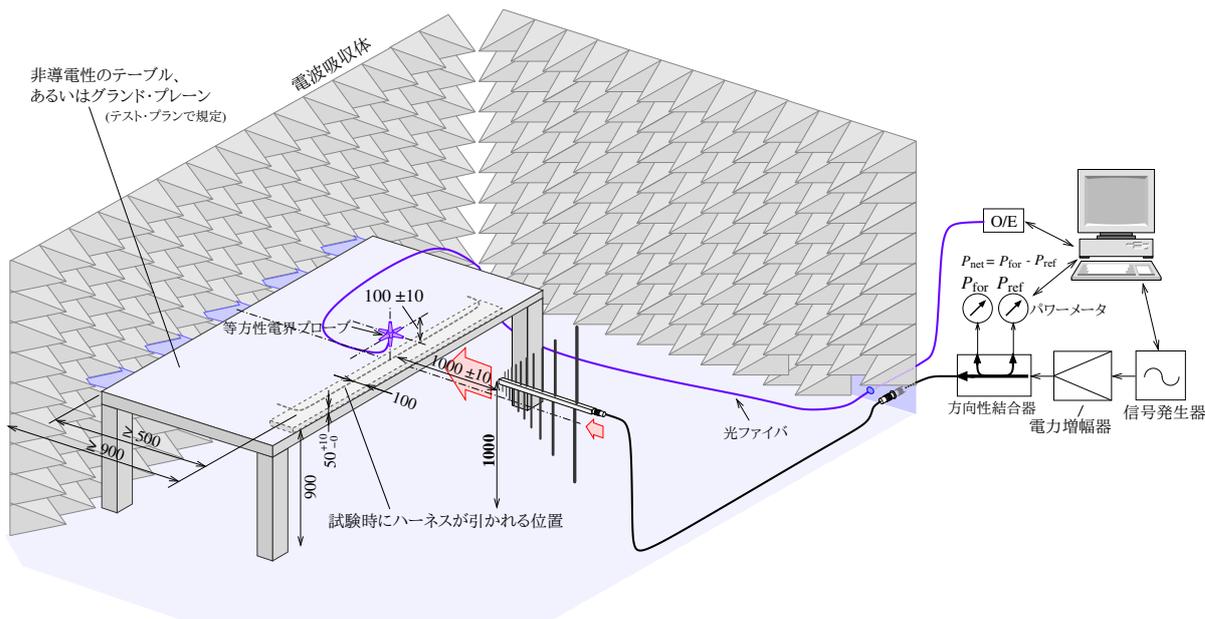


図 23: ISO 11452-2 (ALSE 法) の校正セットアップの例 — 置換法

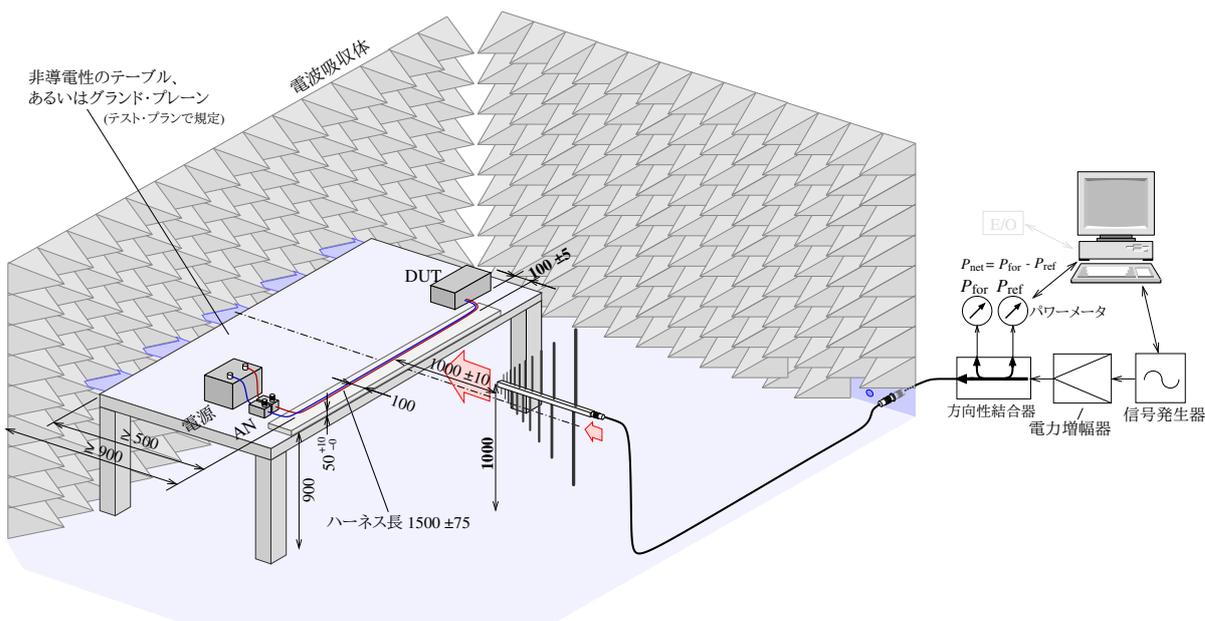


図 24: ISO 11452-2 (ALSE 法) の試験セットアップの例 — 置換法

- DUT やハーネスはグラウンド・プレーン上に配置するが、DUT やその他のユニットのグラウンド・プレーンへの接続は製造業者の設置指示に従い、指示がない場合は 50_{-0}^{+10} mm の絶縁台の上に置く (図 11)。
ハーネスは 50_{-0}^{+10} mm の絶縁台の上に引く。
- 別の規定がない限り 1 m のテスト・ハーネスを用い、適切に (可能な場合は実際の負荷やアクチュエータで) 終端する。
- 安定化電源装置を用いる場合は AN を介して給電するべきである。
- ハーネスに分岐がある場合、注入プローブをそれぞれの分岐から 150 ± 10 mm の位置に取り付けても試験する。
- 評価は最も重要な条件で、少なくとも待機モードと全てのアクチュエータが動作できる状態で行なう。

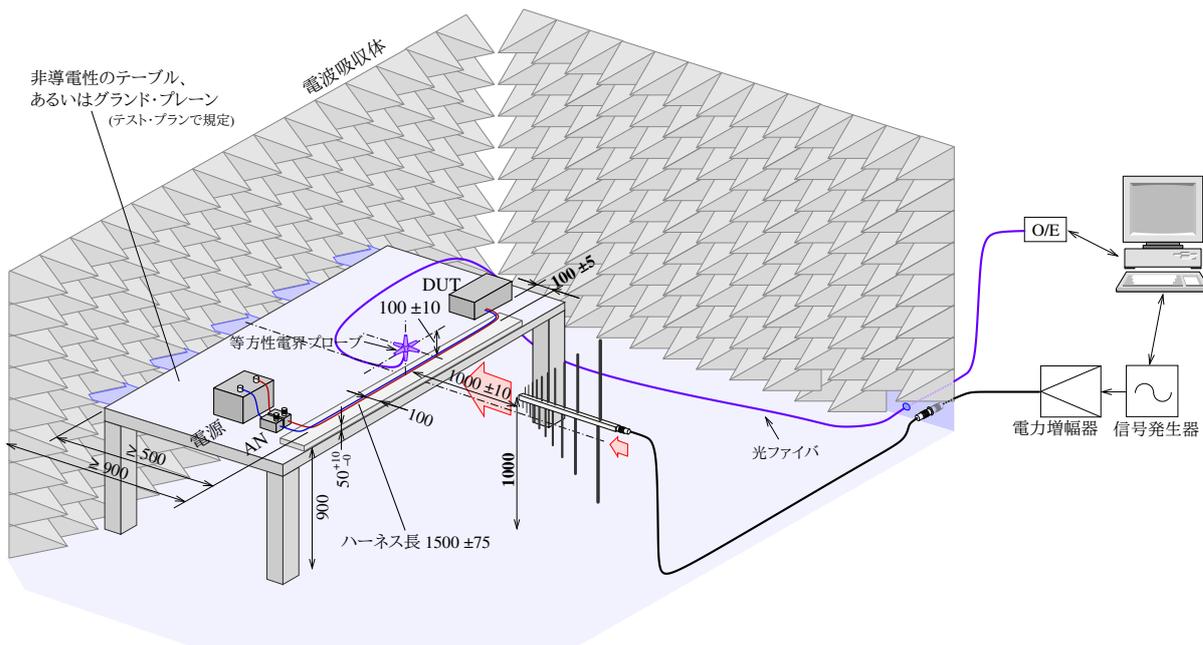


図 25: ISO 11452-2 (ALSE 法) の試験セットアップの例 — 閉ループ・レベリング法

7.3.1 校正済み注入プローブ法 (置換法)

1. 校正:

- (a) 校正器具に注入プローブを取り付け、電力増幅器などを試験の際と同様に接続する (図 26)。
- (b) それぞれの周波数で所定の妨害電流を発生させるように信号発生器の出力を調整し、その時の進行波電力と反射波電力を記録する。

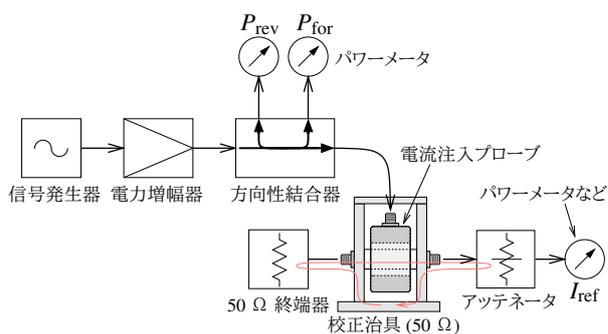


図 26: ISO 11452-4 — 注入プローブの校正

2. 試験:

- (a) グランド・プレーンの上に DUT などを配置する (図 11)。

- (b) DUT から 150 ± 10 mm の位置に注入プローブを、またモニタ・プローブの使用が指定された場合は DUT から 50 mm の位置にモニタ・プローブを取り付ける。
- (c) 指定された周波数ステップのそれぞれの周波数で、所定の妨害電流を発生させるために必要な正味電力 (試験系の SWR が 1.2:1 未満であれば正味電力の代わりに進行波電力を制御パラメータとして用いても良い) が注入プローブに注入されるように信号発生器の出力を調整し、所定の変調の妨害電流を所定のドウェル・タイムのあいだ印加して DUT への影響を確認する。

7.3.2 電流モニタ・プローブ法 (閉ループ法)

1. DUT などを校正済み注入プローブ法 (置換法; §7.3.1) の場合と同様に配置する (図 11)。
2. DUT から 150 ± 10 mm の位置に注入プローブを、また DUT から 50 mm の位置にモニタ・プローブを取り付ける。
3. 指定された周波数ステップのそれぞれの周波数で、モニタ・プローブで測定された電流が所定の値に達するまで、あるいは注入プローブに注

入する正味電力が事前に決定した上限に達するまで信号発生器の出力を増加させ、所定の変調の妨害電流を所定のドウェル・タイムのあいだ印加して DUT への影響を確認する。

8 補足

8.1 類似の規格

ISO 14982:1998^[1]、指令 2009/64/EC^[2]、及び ISO 13766-1:2018^[18] のイミュニティ試験レベルの対比を表 5 に示す。

ISO 14982:1998 と比較して ISO 13766-1:2018 では放射電磁界イミュニティ要求が設定された周波数範囲が 2 GHz までに拡大されていること、ESD と伝導性トランジェントの試験レベルがかなり高い(但し、ここでは示していないが要求される機能状態クラスには相違がある)ことが目に付き、これらの試験レベルの準用を(あるいは、対象の機械の性質や意図された使用環境などに応じてより厳しいイミュニティ要求の適用も)考慮する価値があるかも知れない。

また、機能安全に関連する場合、ISO 13766-1:2018^[18] で示されたより厳しいイミュニティ要求の準用も考慮する価値があるかも知れない。

ISO 13766-1:2018 のエミッション限度は車両と ESA のいずれも ISO 14982:1998 と同様であるが、狭帯域エミッションの測定で尖頭値検波の使用が指定されている ISO 14982:1998 と異なり、ISO 13766-1:2018 では尖頭値検波と平均値検波のいずれかを用いることができる。

また、ISO 13766-1:2018 には過渡エミッションについての要求が含まれるが、これは ISO 14982:1998 には含まれていない。

指令 2009/64/EC は静電気放電と伝導性過渡妨害へのイミュニティの要求も含まれず、伝導性過渡妨害についてはそれに耐えるようにすることは製造業者の責任である旨の記載がある。2009/64/EC での型式認定のための評価ではこれらは不要となるものの、ISO 14982:1998、あるいは他の適当な規格を準用して評価を行なうことは良い考えかも知れない。

9 参考資料

- [1] ISO 14982:1998 (EN ISO 14982:2009), *Agricultural and forestry machinery — Electromagnetic compatibility — Test methods and acceptance criteria*
- [2] *Directive 2009/64/EC of the European Parliament and of the Council of 13 July 2009 on the suppression of radio interference produced by agricultural or forestry tractors (electromagnetic compatibility)*, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A02009L0064-20130701>
- [3] ISO 11451 シリーズ, *Road vehicles – Electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy – Vehicle test methods*
 - ISO 11451-2:1995, *Off-vehicle radiation sources*
- [4] ISO 11452 シリーズ, *Road vehicles – Electrical disturbances by narrowband radiated electromagnetic energy — Component test methods*
 - ISO 11452-2:1995, *Absorber-lined shielded enclosure*
 - ISO 11452-3:1995, *Transverse electromagnetic mode (TEM) cell*
 - ISO 11452-4:1995, *Bulk current injection (BCI)*
 - ISO 11452-5:1995, *Stripline*
- [5] ISO 7637-2:1990, *Road vehicles – Electrical disturbances by conduction and coupling – Part 2: Commercial vehicles with nominal 24 V supply voltage – Electrical transient conduction along supply lines only*
- [6] ISO/TR 10605:1994, *Road vehicles — Electrical disturbances from electrostatic discharge*
- [7] CISPR 12:1990, *Vehicles, boats and internal combustion engines – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement for the protection of off-board receivers*
- [8] CISPR 25:2016, *Vehicles, boats and internal combustion engines – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers*
- [9] ISO 11451-2 の概要[†], 株式会社 e・オータマ, 2021, <https://www.emc-ohatama.jp/emc/reference.html>
- [10] ISO 11452 シリーズの概要 (前編 / 後編)[†], 株式会社 e・オータマ, 2016, <https://www.emc-ohatama.jp/emc/reference.html>

試験	イミュニティ参照限度			
	ISO 14982:1998	指令 2009/64/EC ^[2]	ISO 13766-1:2018 ^[18]	
機械での試験				
ISO 11451-2	参照規格	ISO 11451-2:1995	Annex VIII	ISO 11451-2:2015
	20~1000 MHz 1.0~2.0 GHz	24 V/m —	24 V/m —	24 V/m 24 V/m
ISO 10605	参照規格	ISO/TR 10605:1994	—	ISO 10605:2008
	接触放電	±4 kV (A)	—	±4 kV (A), ±6 kV (C)
	気中放電	±4 kV (A)	—	±4 kV (A), ±8 kV (C)
ESA での試験				
ISO 11452-2	参照規格	ISO 11452-2:1995	Annex XI Appendix 4	ISO 11452-2:2004
	20~80 MHz	†	(24 V/m)	†
	80~200 MHz	†	(24 V/m)	24 V/m
	200~1000 MHz 1.0~2.0 GHz	24 V/m —	24 V/m —	24 V/m 24 V/m
ISO 11452-4	参照規格	ISO 11452-4:1995	Annex XI Appendix 2	ISO 11452-4:2011
	20~400 MHz	48 mA	48 mA	48 mA
	400~2000 MHz	†	(48 mA)	†
ISO 10605	参照規格	ISO/TR 10605:1994	—	ISO 10605:2008
	接触放電	±4 kV (A)	—	±4 kV (A), ±6 kV (C)
	気中放電	±4 kV (A)	—	±4 kV (A), ±8 kV (C)
ISO 7637-2 [‡]	参照規格	ISO 7637-2:1990	—	ISO 7637-2:2011
	パルス 1	-25 V	—	-112 V
	パルス 2	+25 V	—	2a: +55 V, 2b: +10 V
	パルス 3a	-25 V	—	-165 V
	パルス 3b	+25 V	—	+112 V
	パルス 4	-4 V	—	-12 V 相当 (ISO 16750-2)
	パルス 5	+26.5 V	—	+65.5~+87.5 V 相当 (ISO 16750-2)

† この試験法は適用できない

‡ ISO 7637-2 の試験レベルとして示したものは 12 V 系のもの

表 5: ISO 14982:1998、指令 2009/64/EC、ISO 13766-1:2018 の試験レベルの対比 (抜粋)

[11] ISO 7637-2 & ISO 7637-3 の概要[†], 株式会社 e・オートマ, 2017,<https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>[12] ESD 試験規格 ISO 10605 ed. 2 の概要[†], 株式会社 e・オートマ, 2016,<https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>

[13] 車両等からの電磁波の放射の制限 — CISPR 12 の概要, 株式会社 e・オートマ, 2020,

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

[14] CISPR 25 の概要, 株式会社 e・オートマ, 2016,

<https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>[15] ISO 11452-2 の概要 — 車載機器のイミュニティ試験 (ALSE 法)[†], 株式会社 e・オートマ, 2023,<https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>[16] ISO 11452-4 の概要 — 車載機器のイミュニティ試験 (BCI 法、TWC 法)[†], 株式会社 e・オートマ, 2023,<https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>

[17] ECE Regulation No. 10.06 の概要, 株式会社 e・オートマ, 2021,

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

[18] 土木機械/建設機械の EMC — ISO 13766-1, -2 の概要, 株式会社 e・オートマ, 2021,

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

† これらは ISO 14982:2009 から参照されているものよりも新しい版に基づいており、内容にはかなりの相違がある。

© 2023 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。