

土木機械/建設機械の EMC — ISO 13766-1, -2 の概要

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2020 年 3 月 16 日

目次

1	概要	1
2	一般	2
2.1	機械の EMC の評価	2
2.2	エミッション限度やイミュニティ試験レベルの適用	2
2.3	イミュニティ関連機能	2
2.4	イミュニティ試験における性能基準	2
2.4.1	電磁放射へのイミュニティ	2
2.4.2	ESD や伝導性トランジェントへのイミュニティ	3
2.5	試験の準備	3
3	機械での試験	4
3.1	電磁放射のエミッション	4
3.1.1	測定セットアップ	4
3.1.2	エミッション限度	4
3.1.3	動作条件	5
3.2	電磁放射へのイミュニティ	6
3.2.1	代替試験法	7
3.3	ESD	8
4	ESA での試験	9
4.1	電磁放射のエミッション	9
4.2	電磁放射へのイミュニティ	10
4.3	ESD	10
4.4	伝導性トランジェントのエミッション	10
4.5	伝導性トランジェントへのイミュニティ	11
5	ISO 13766-2	13
6	類似の規格等	14
6.1	EN 12895:2015 (フォークリフトなど)	16
6.2	EN 13309:2010 (建設機械)	16
6.3	ISO 14982:1998 (農林用機械)	17
6.4	Commission Delegated Regulation (EU) 2015/208 (農林用車両)	17
6.5	ECE Regulation No. 10 (路上走行車両)	18
7	参考資料	18

1 概要

ISO 13766-1:2018^[1] は土木機械^{†1} や建設機械^{†3} の EMC の規格であり、機械の、またその ESA^{†4} のエミッションとイミュニティの要求を定める。

この規格は、内燃機関で駆動されるものなど、外部からの電源供給なしに動作する機械にのみ適用される。機械が搭載されたバッテリーの充電のために電源に接続される場合、電源に接続された状態での EMC は通常は IEC 61000 シリーズの該当する規格でカバーされる。

この種の機械は安全に関係する制御系を持つことがある^{†5}が、ISO 13766-2:2018^[2] (§5) は $10^{-5}/h$ よりも低い危険側故障発生確率を持つように設計された ESA やそのような ESA を含む機械に対する追加のイミュニティ要求を規定する。

この種の機械には通常の自動車と同様に路上走行が可能なものもあり、そのような機械では路上走行車両に対する要求 (おそらくは車両としての型式認定の要求を含む) の考慮も必要となるだろう。

^{†1} 土木機械 (earth-moving machinery) は、主に土砂、岩、あるいは他の素材の掘削、積載、運搬、穿孔、撒出し、締固め、あるいは溝掘りを行なうために設計された、車輪、カタピラ^{†2}、あるいは脚を持つ自走式もしくは牽引式の機械。ISO 6165 では土木機械のファミリーとして以下のものが示されている: ブルドーザ、ローダ、バックホウローダ、エキスカベータ、トレンチャ、ダンパ、スクレーパ、グレーダ、ランドフィルコンパクタ、ローラ、パイプレイヤ、水平方向ドリル、コンパクトツールキャリア。

^{†2} ここで“カタピラ”としたものは ISO 6165 では crawler と呼ばれているもので、これは無限軌道、履帯、クローラなどとも訳されるが、本稿では道路運送車両法施行規則などに合わせて“カタピラ”とした。

^{†3} この規格の適用範囲の記載では建設機械 (building construction machinery) のうち以下のものが参照されている: 削孔/基礎工事用の機器、コンクリートなどの調製、運搬、及び締固めに用いられる機器、及び道路建設/保守用の機械類や機器。

^{†4} 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氣的もしくは電子的な構成要素。

^{†5} 例えば、機械の動作 (例えば車輪やアームなどの可動部の動き) が電子的に制御されている場合、電磁妨害に伴ってそれが誤動作を生じて機械の意図しない動きを引き起こし、安全を損なう可能性が予期される。



本稿ではこの ISO 13766-1:2018^[1] の概要を述べ、また ISO 13766-2:2018^[2] にも簡単に触れる (§5)。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][2]} を参照していただきたい。

2 一般

2.1 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；
- 機械の大きさや環境条件などのために機械全体のイミュニティ試験が困難な場合、ESA を試験する。

機械に組み込まれる全ての ESA がこの規格への適合が確認されたものであれば、組み立てられた機械に対する EMC 試験は不要となる。だが、この場合も機械のレベルで組み合わせられた最終的なシステムのインテグリティを試験することが推奨される。

^{f6}

2.2 エミッション限度やイミュニティ試験レベルの適用

単一のサンプルの試験結果から一連の同様の機械や ESA の適合性を判断する場合は、

- エミッション試験 (§3.1, §4.1) 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 (§3.2, §4.2) では、25 % 高い試験レベルで試験する。

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。

^{f6} 例えば、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、§3.1 に準じた形でエミッションを確認すること、あるいは選択されたハーネスに §3.2.1 に準じた形で妨害を印加してイミュニティを確認することを考えても良いかも知れない。

2.3 イミュニティ関連機能

以下のような機能はイミュニティ関連機能と呼ばれる：

- オペレータの制御に関係する機能；

例えば：ステアリング、ブレーキング、推進制御などの車両の動きに関係する機能、またアームなどの可動部の制御に関係する機能

- 視界への影響によって機械の直接的な制御や操作に関係する機能；

例えば：前照灯、ワイパー、デフォグガーなど

- 妨害を受けた時にオペレータや近くの他の人の混乱を引き起こす機能；

例えば：方向指示器や制動灯などの周囲に情報を伝える灯火類、オペレータの制御に関係する計器や警告灯、盗難防止装置、警笛、「後退/動作警告」など

- 妨害を受けた時に法定データへの混乱を引き起こす機能；

例えば：タコグラフ、走行距離計など

- 機械のデータ・バスの機能に関係する機能。

例えば：機械の制御に関係する CAN バスに接続されるもの全般

ESA での試験で電磁放射へのイミュニティの評価 (§4.2) が要求されるかどうかはその ESA がイミュニティ関連機能を提供するかどうか、また機械での試験で電磁放射へのイミュニティの評価 (§3.2) が要求されるかどうかはその機械がイミュニティ関連機能を提供する ESA を含むかどうかによって依存し、ESA がイミュニティ関連機能を提供しない場合はこの評価の実施は任意となる。

2.4 イミュニティ試験における性能基準

2.4.1 電磁放射へのイミュニティ

電磁放射へのイミュニティの試験 (§3.2, §4.2) では、機械や ESA が意図されたように、かつ受容できない性能低下なしに動作することが求められる。

無線受信器は受信帯域内の妨害を印加しているあいだは機能を失っても良いが、機械は性能状態 A を維持するか、あるいは製造業者があらかじめ規定した安全状態に移行しなければならない。

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	Annex B & C (§3.1)	Annex D & E (§4.1)
電磁放射へのイミュニティ	ISO 11451-2 (§3.2)	ISO 11452-* (§4.2)
ESD へのイミュニティ	ISO 10605 (§3.3)	ISO 10605 (§4.3)
伝導性トランジェントのエミッション	—	ISO 7637-2 (§4.4)
伝導性トランジェントへのイミュニティ	—	ISO 7637-2, ISO 16750-2 (§4.5)

表 1: 試験項目の一覧

2.4.2 ESD や伝導性トランジェントへのイミュニティ

ESD (静電気放電) や伝導性トランジェントのイミュニティの試験 (§3.3, §4.3, §4.5) では、以下の性能状態クラスが適用される:

- クラス A: 妨害の印加中とその後、デバイスやシステムのすべての機能が設計通りに動作する。
- クラス B: 妨害の印加中、デバイスやシステムのすべての機能が設計通りに動作する。だが、その 1 つ以上が規定された許容幅を超えても良い。妨害が止められた後、すべての機能は自動的に通常の限界内に戻る。メモリ機能はクラス A のままでなければならない。
- クラス C: 妨害の印加中、デバイスやシステムの 1 つ以上の機能が設計通りに動作しないが、妨害が止められた後、すべての機能は自動的に通常の限界内に戻る。
- クラス D: 妨害の印加中、デバイスやシステムの 1 つ以上の機能が設計通りに動作せず、妨害が止められ、デバイスやシステムが単純な「オペレータ/使用」アクションによってリセットされるまで通常の限界内に戻らない。
- クラス E: 妨害の印加中とその後、デバイスやシステムの 1 つ以上の機能が設計通りに動作せず、デバイスやシステムの修理か交換なしでは正しい動作に戻らない。

- 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^{†7}、またその監視や判断の手段;
- 電磁放射に対するイミュニティの試験 (§3.2, §4.2) での周波数掃引ステップ、及びドウェル・タイム。^{†8}

また、試験に際して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;
- 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やブレーキなどの操作を行なう必要がある場合;

2.5 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;

^{†7} 性能基準の枠組みは規格で示されている (§2.4 参照) が、これらは「意図されたように動作する」や「受容できない性能低下がない」のような表現を含んでおり、特定の機械や ESA に直接適用するのに適していないので、その特定の機械や ESA に適用する具体的な、望ましくは客観的な判断を行なえるような性能基準をその枠組みに沿って決定することが必要となるだろう。

^{†8} 各周波数の妨害は、あらかじめ決定されたドウェル・タイム (dwell time) のあいだ印加される。動作サイクルが長い、間欠的に動作する機能がある、あるいは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。

- 試験中にアームやショベル、旋回機構などの可動部を動かす必要がある場合。^{†9}
- 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が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速、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、機械で使用す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。

3 機械での試験

3.1 電磁放射のエミッション

3.1.1 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^{[8][13]} と同様に半径 30 m の範囲に反射物^{†10}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。

受信アンテナは機械の基準点の左右、機械の側面から 10 ± 0.2 m、地面から 3 ± 0.05 m の高さに、あるいは機械の側面から 3 ± 0.05 m、地面から 1.8 ± 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)。機械の基準点はエミッションを最大とすることを考慮して機械毎に決定し、試験報告書に記載する。

^{†9} アームなどの可動部を駆動する油圧がコントロール・レバーで直接制御される場合、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、それらを駆動する油圧が電子的に制御されている、あるいはモータで駆動さ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。

^{†10} 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)。

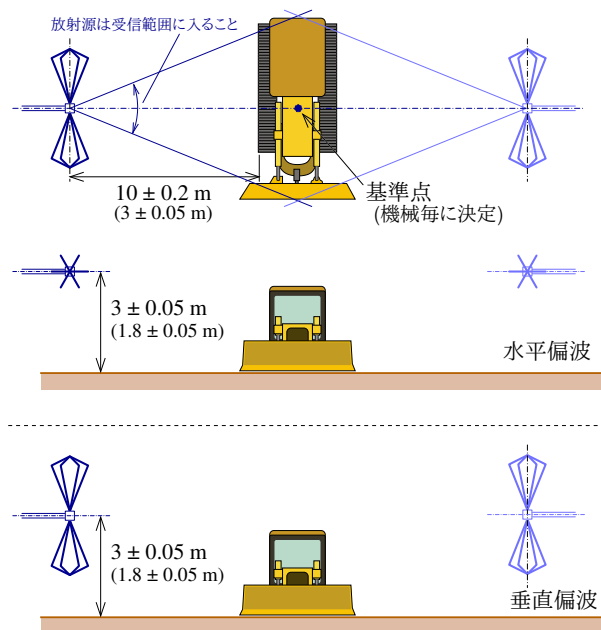


図 2: 機械の電磁放射のエミッションの測定でのアンテナの配置

10 m と 3 m のいずれの距離で測定するかは任意だが、アンテナの受信範囲はエミッションの放射源を適切にカバーしなければならない。^{†11}

3.1.2 エミッション限度

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か尖頭値検波で、狭帯域限度に対しては尖頭値検波か平均値検波で測定する。

測定時の機械の動作条件 (§3.1.3) 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エミッションの測定は不要、また機械が広帯域エミッションの発生源を含まない場合は広帯域エミッションの測定は不要となる。

^{†11} アンテナの 3 dB ビーム幅で考えると、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。

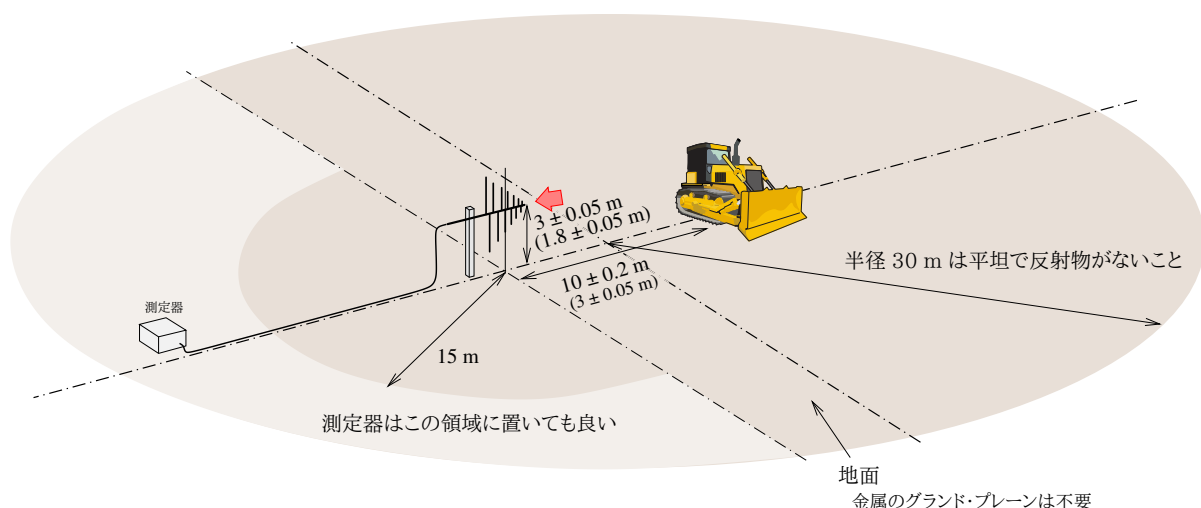


図 1: 屋外テスト・サイトでの機械の電磁放射のエミッションの測定のイメージ

だが、エミッションの発生源や実際のエミッションの性質を気にせずに無条件で

1. 広帯域エミッションの測定に対する動作条件 (§3.1.3.1) で準尖頭値検波か尖頭値検波で測定した結果が該当する広帯域限度に適合し、かつ
2. 狭帯域エミッションの測定に対する動作条件 (§3.1.3.2) で尖頭値検波か平均値検波で測定した結果が狭帯域限度に適合する

ことを確認しても適合性を確認することができ、その方が簡単で確実かも知れない。

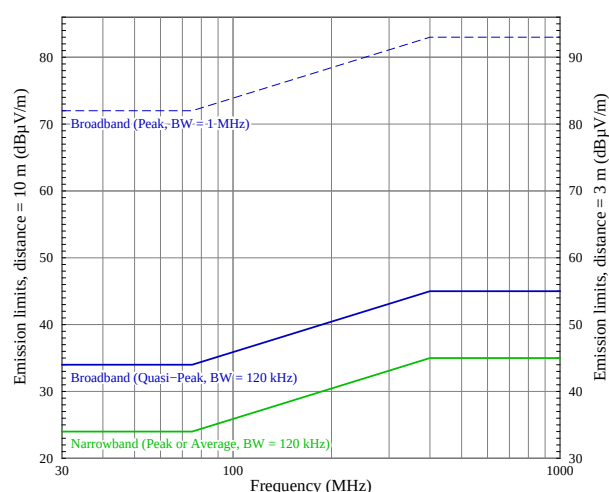


図 3: 機械の電磁放射のエミッションの限度

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。^{†12}

3.1.2.1 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。

3.1.3 動作条件

機械の動作条件は広帯域限度と狭帯域限度 (§3.1.2) のいずれの限度に対する測定かによって異なる。^{†13}

^{†12} 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。

^{†13} これらの動作条件は CISPR 12^[8]^[13] の “Engine-Running” モードと “Key-On, Engine-Off” モードに似ている。

3.1.3.1 広帯域エミッションの測定

- 連続的に動作するとみなせる (使用時に 15 秒以上オンとなる) 広帯域エミッションの発生源全てを動作させるべき^{†14}
- 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 $\pm$ 10 %
2 気筒以上	1500 rpm $\pm$ 10 %
ディーゼル	公称速度 $\pm$ 10 %

3.1.3.2 狭帯域エミッションの測定

- イグニッション・スイッチをオンにする
- エンジンは動作させない
- 車両の電子システムは通常の動作状態とする

3.2 電磁放射へのイミュニティ

ISO 11451-2^[3] で述べられた試験法を用いて、機械に 20～2000 MHz の周波数範囲の電磁波を水平偏波と垂直偏波で照射する。

ISO 11452-2 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^{†15}が、ここでは前者のアンテナによる方法のみを示している。

機械がイミュニティ関連機能を提供する ESA を含まない場合はこの試験の実施は任意となる。

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 で試験する。

^{†14} 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、連続的に動作するもの全てを動作させれば良い。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。

^{†15} 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 0.1～30 MHz で 30 V/m を発生させるために必要な電力は TLS の高さを 2.5 m とした時で 0.7 kW 程度以下となりそうである。

印加する妨害には以下の変調を適用する (図 6):

- ≤ 800 MHz — 1 kHz 80 % の振幅変調
- ≥ 800 MHz — $t_{on} = 577 \mu s$, period = 4600 μs のパルス変調

機械の動作モード^{†16}や基準点^{†17}をどのようにするのが適切かは機械に依存するため、試験に先立って試験対象の機械に応じて決定し、試験報告書に記載する。

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^{†18}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。^{†19}

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) の影響^{†20†21}、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。また、基礎工事用の削孔機や杭打機のように著しく高くなること

^{†16} 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。

^{†17} 例えば機械の電子制御システムが機械の前面にあり、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。

^{†18} 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・アンプが必要となる。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) を距離 2 m で使用した場合、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想される。

^{†19} この方法での試験の実施が困難な場合、ESA での試験 (§4) 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。

^{†20} 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^{[4][10]} を使用できるかも知れない。

^{†21} 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さなければならない。また、そのような無線機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さなければならない。

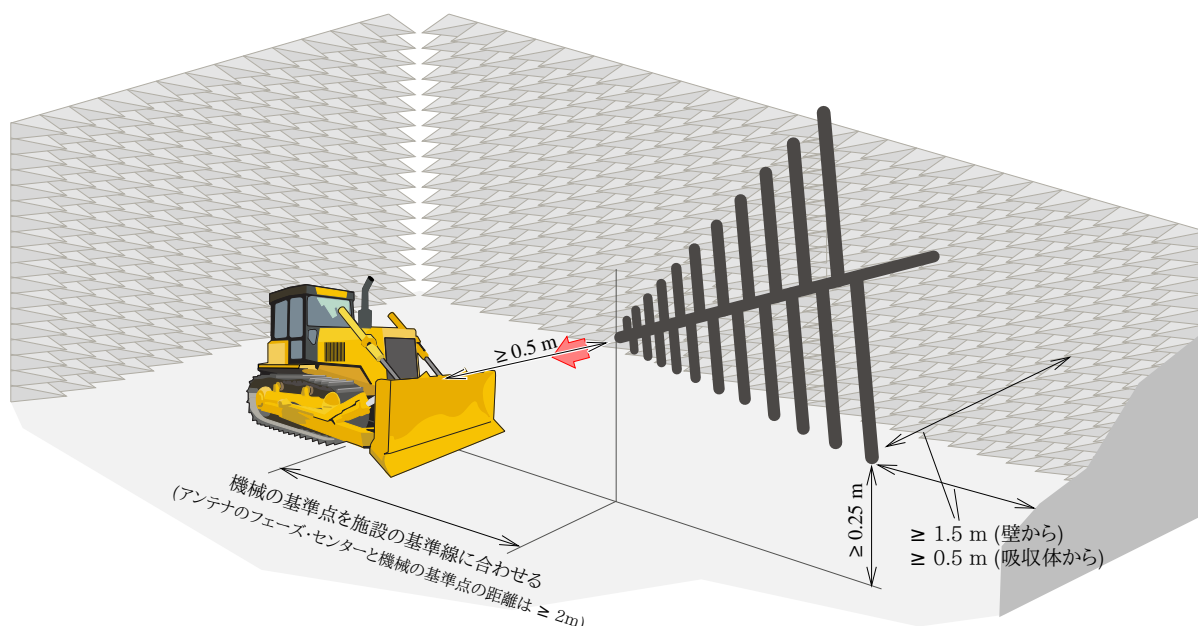


図 4: 機械の電磁放射へのイミュニティの試験 (アンテナでの照射) のイメージ

がある機械の場合は特に、例えば 1 MHz 前後の周波数帯で高出力の放射を行なっている中波放送のような、20 MHz よりも低い周波数の電磁界の影響の考慮も必要となるかも知れない。^{†22}

3.2.1 代替試験法

20～1000 MHz については、ISO 11451-2 による試験の代替として、機械のそれぞれのハーネスに対して BCI 法や TWC 法での試験を行なうこともできる。^{†23}

試験レベルは BCI 法では 48 mA、TWC 法では 22.5 dBm で、単一のサンプルの試験では 25 % 高い試験レベルを適用する。変調は ISO 11451-2 の場合と同様である。

どのようなハーネスを試験の対象とするかの規定はないが、一般に、

- 機械が金属板で被われているとしても、それは高周波に対するシールドとして有効なものとはならない
- 高い周波数ではごく短いハーネスも効率的に電磁波を拾い上げるようになる^{†24}

ことを考えると、機械の内側のごく短いハーネスを含めて、少なくともイミュニティ関連機能 (§2.3) を提供する ESA に繋がる全てのハーネスに対する試験を考慮すべきであろう。^{†25}

1000 MHz 以上についてはこの方法での代替試験は許容されず、

- 機械を放射 (ISO 11451-2) で試験する、かつ/もしくは
- イミュニティ関連機能 (§2.3) を提供する全ての ESA を §4.2 で述べるような方法で試験する

が必要となる。^{†26}

^{†22} クレーン [20] と同様、この種の機械は数十メートルの高さに達することがあり、その構造自身が、またそれに沿ってケーブルが引かれている場合はそのケーブルが中波放送のような比較的低い周波数の電磁界を拾い上げやすくなる可能性が予測される。また、このような機械は雷の影響も受けやすくなるが、また雷撃を受けるリスクも高まるが予測され、その影響の考慮も必要となるかも知れない。

^{†23} BCI (bulk current injection) はトランスの原理を用いて、TWC (tubular wave coupler) は方向性結合器の原理を用いてハーネスに妨害を結合させる。ここで参照されている ISO 11451-4:2013^[3] は BCI 法による 1～400 MHz の試験のみを含むが、ISO 11452-4:2011^{[4][10]} は BCI 法による 1～400 MHz の試験に加えて TWC 法による 400 MHz～3 GHz の試験を含む。

^{†24} 1 GHz では波長 λ は 30 cm で、このような高い周波数では 10 cm に満たないハーネスも効率的なアンテナとして振る舞う可能性がある。

^{†25} どのハーネスを試験の対象とするかは事前に検討し、試験計画で示すべきだろう。試験が不要と判断したハーネスがある場合、その判断の根拠も文書化しておくことを推奨する。

^{†26} 1000 MHz 以下でも、高い周波数範囲では ESA 自身 (その内部のプリント板や電子部品など) がハーネスと同様に電磁界を拾い上げやすくなる傾向も高まり、BCI 法のようなハーネスへの注入による試験では電磁波への曝露の影響をうまく模擬できない可能性が高まると考えられる。

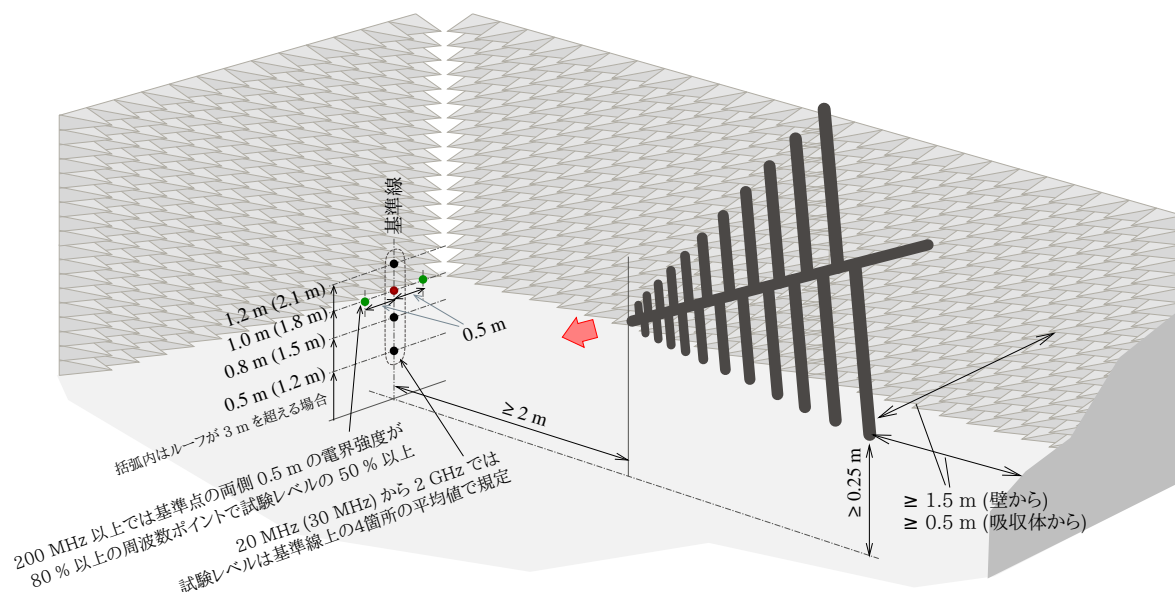


図 5: ISO 11451-2 での試験レベルの設定

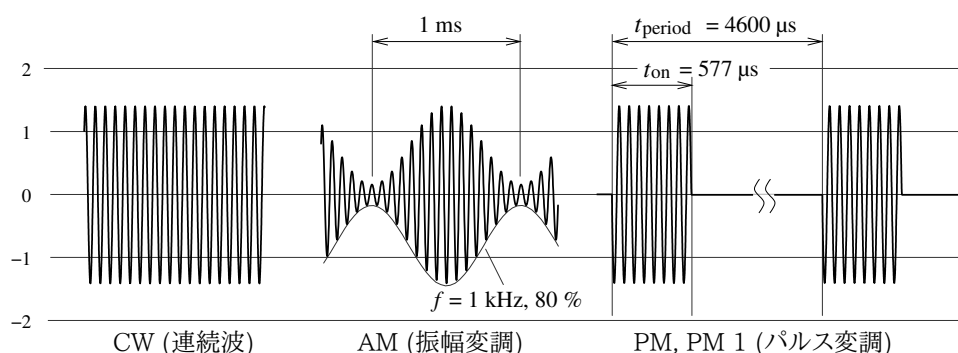


図 6: 変調

3.3 ESD

ISO 10605:2008^{[7][12]} に従い、実際の使用に際してオペレータが触れる箇所などの ESD (静電気放電) が発生し得る箇所に所定のレベル (単一のサンプルの試験でも試験レベルは同一で良い) までの ESD を印加する:

性能状態クラス	接触放電	気中放電
A	±4 kV	±4 kV
C	±6 kV	±8 kV

ESD 発生器のパラメータは印加を行なう箇所に応じて以下のように選択する:

- 機械の中から容易に触れることができる箇所 — 330 pF / 2 kΩ
- 機械の外側からのみ容易に触れることができる箇所 — 150 pF / 2 kΩ

ESD 発生器のグラウンドは、機械の中から近付ける箇所の試験では機械の金属部に、機械の外から近付ける箇所の試験では機械の金属部が印加箇所に近い車輪などの下に敷いた金属板に接続する (図 7)。

それと異なる温湿度で試験を行なうと事前に合意した場合を除いて温湿度は $25 \pm 10^\circ\text{C}$ 、20~60 % RH とし、試験時の温湿度を記録する。

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

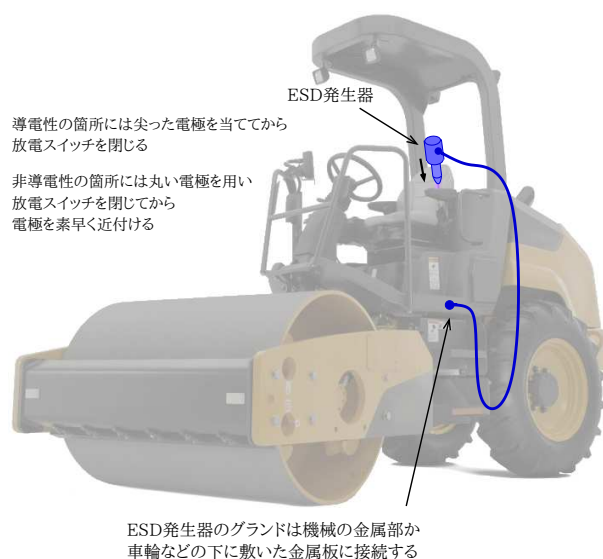


図 7: 機械の ESD 試験のイメージ

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。

4 ESA での試験

4.1 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 8)、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^{†27}などで行なう。

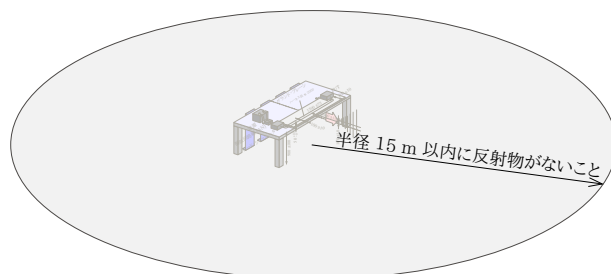


図 8: ESA エミッション測定サイトの例

ESA のセットアップは CISPR 25^{[9][14]} と似ており、その例を 図 9 に示す。

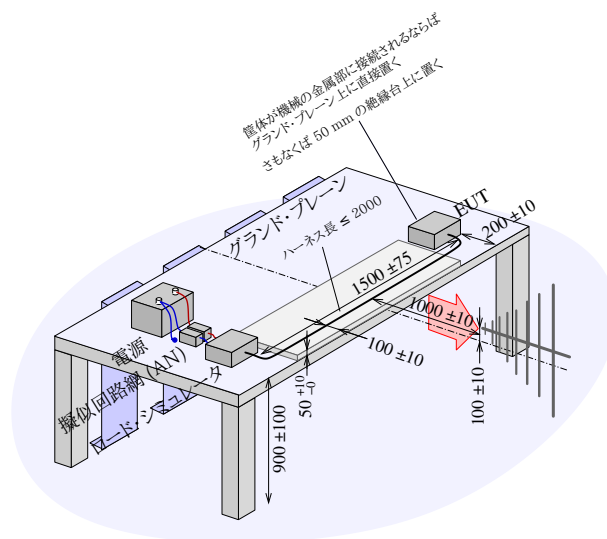


図 9: ESA エミッション測定のセットアップの例

限度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か平均値検波で測定する (図 10)。

ESA 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エミッションの測定は不要、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エミッションの測定は不要となる。

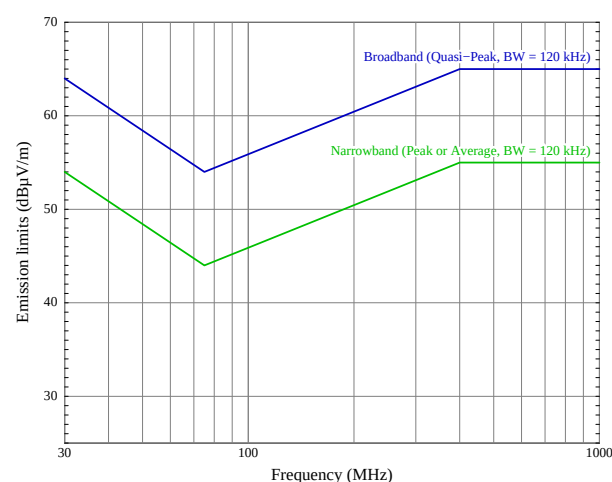


図 10: ESA の電磁放射のエミッションの限度

^{†27} 例えば CISPR 25:2016^[9] に従って特性を確認した ALSE (absorber-lined shielded enclosure) のような。

機械でのエミッション測定 (§3.1.2) 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10)は、機械からある程度離れた場所、例えば近隣の家屋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。^{†28}

4.2 電磁放射へのイミュニティ

表2 に示した ISO 11452 シリーズ [4][10] の試験法の1つ以上を用いて 20～2000 MHz の周波数範囲の妨害に対するイミュニティを試験する。⁺²⁹ 適用可能な周波数範囲や試験レベルは試験法によって異なり、これも 表2 に示している。

変調は機械の電磁放射へのイミュニティの試験 (§3.2) の場合と同様である。

イミュニティ関連機能 (§2.3) を提供しない ESA については、この試験の実施は任意となる。

4.3 ESD

ESA を試験台上に配置し (図 17)、機械での意図された位置に応じて §3.3 と同様に試験する。機械での位置が不明な場合は 150 pF と 330 pF の双方を適用する。

パッケージング/ハンドリング試験（非通電状態での試験）は不要である。

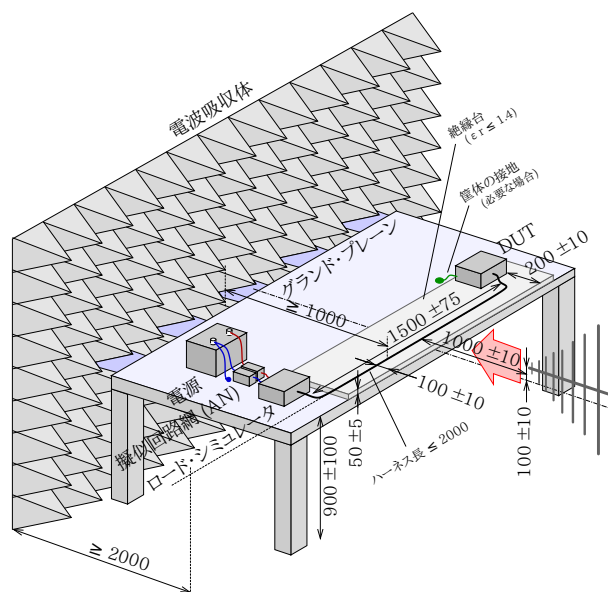


図 11: ISO 11452-2 (ALSE 法) のセットアップの例 ($\leq 1 \text{ GHz}$)

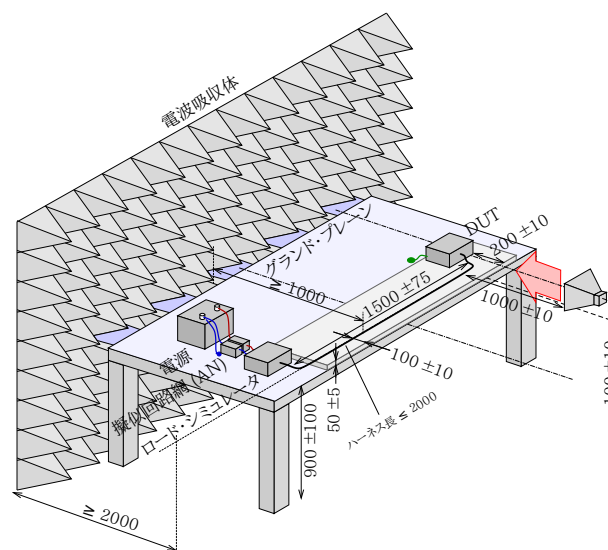


図 12: ISO 11452-2 (ALSE 法) のセットアップの例 (≥ 1 GHz)

4.4 伝導性トランジエントのエミッション

ESA の電源のオン/オフやその他の動作に際して DC 12 V や DC 24 V などの電源線に発生する伝導性トランジェントを ISO 7637-2:2011^{[5][11]} に従って測定する (図 18、図 19)。

ESA が発生する伝導性トランジェントは、伝導性トランジェントへのイミュニティ試験レベル (§4.5; 試験パルスによって異なる) を超えてはならない。

^{†28} 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^{[9][14]} で扱われている。

²⁹⁾ これらは全て同一の現象（電磁放射への曝露）に対する免疫性の評価を意図したものであり、試験法の選択は任意であるが、その ESA が実際に電磁放射に曝された際の影響を適切に模擬できそうなものを選択すべきである。例えば、ISO 11452-4 TWC 法で 2 GHz までの周波数範囲を試験できるものの、ESA が大きい、良くシールドされていないもの場合は特に、その試験法ではその ESA が高い周波数の電磁放射に曝された際の影響を良く模擬できないかも知れない。

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	セットアップの イメージ
ISO 11452-2:2004 (ALSE)	80 MHz～18 GHz	24 V/m	30 V/m	図 11, 図 12
ISO 11452-3:2016 (TEM セル)	0.01～200 MHz	60 V/m	75 V/m	図 13
ISO 11452-4:2011 (BCI)	1～400 MHz	48 mA	60 mA	図 14
ISO 11452-4:2011 (TWC)	400 MHz～3 GHz	22.5 dBm	24.5 dBm	図 15
ISO 11452-5:2002 (ストリップライン)	0.01～400 MHz	48 V/m	60 V/m	図 16

表 2: ESA の電磁放射へのイミュニティの試験法と試験レベル

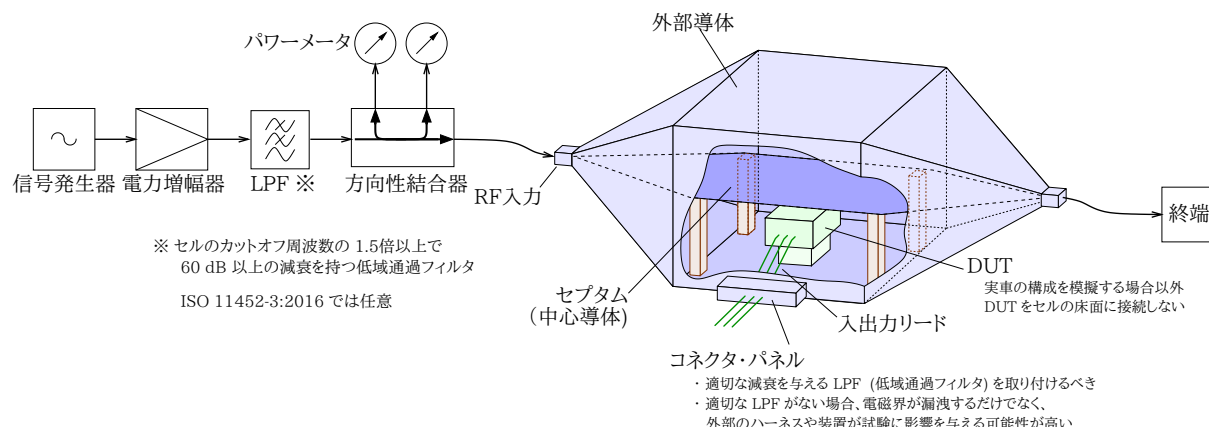


図 13: ISO 11452-3 (TEM セル法) のセットアップの例

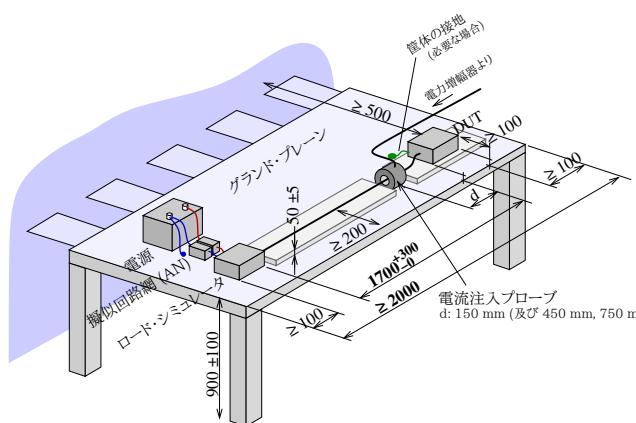


図 14: ISO 11452-4 (BCI 法) のセットアップの例

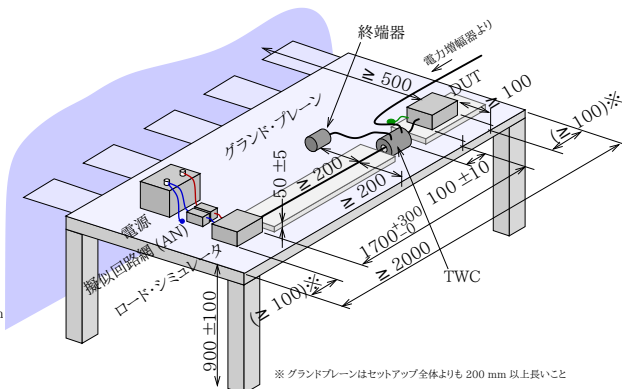


図 15: ISO 11452-4 (TWC 法) のセットアップの例

4.5 伝導性トランジェントへのイミュニティ

ISO 7637-2:2011、及び ISO 16750-2:2012^{[5][6][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、ESA の挙動を確認する (表 3)。

多くの試験では機械の動作に関する機能についても機能状態 B～C が許容されるが、その場合も可動部の指示されない動作や危険な挙動は許容されない。

機械が外部の電気/電子システムとの接続のためのインターフェースを持たない場合はこの試験は不要である。

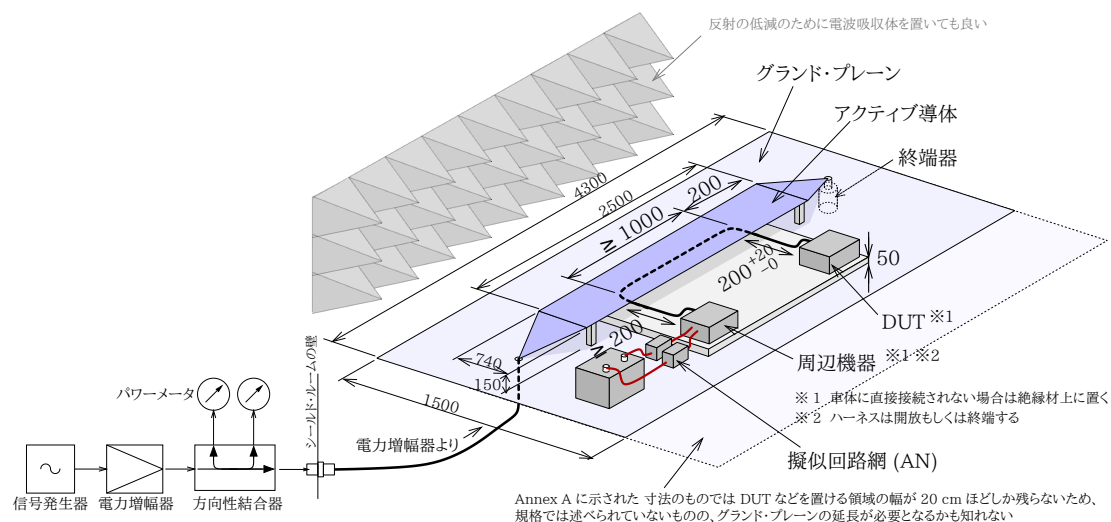


図 16: ISO 11452-5 (ストリップライン法) のセットアップの例

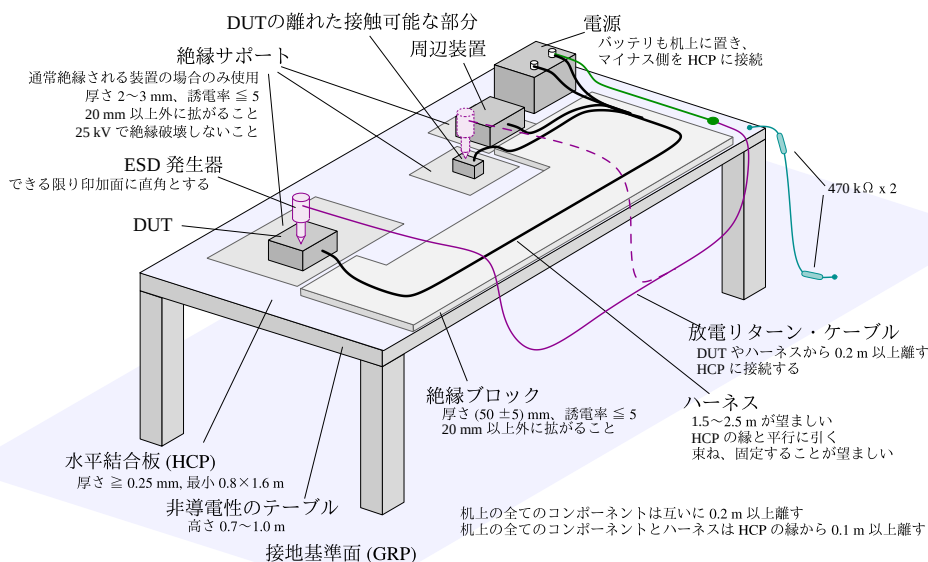


図 17: ISO 10605 直接放電試験の例

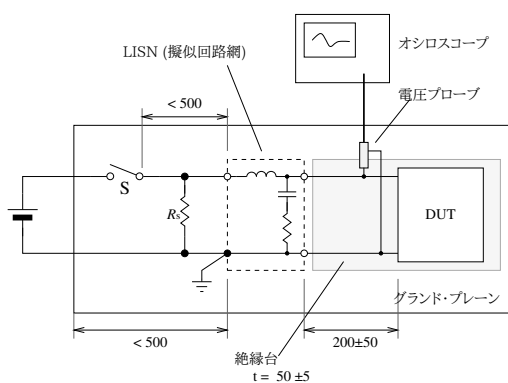


図 18: 伝導性トランジェントのエミッションの測定 — 遅いパルス

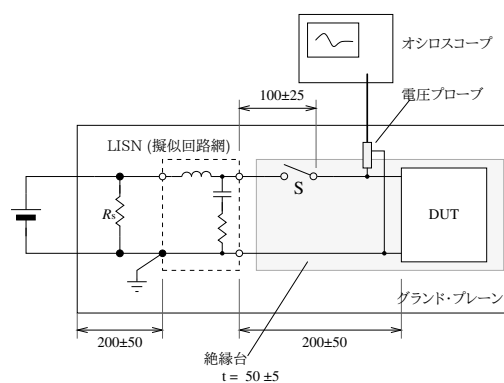


図 19: 伝導性トランジェントのエミッションの測定 — 早いパルス

試験パルス	参照規格	試験レベル		機能状態	波形
		12 V 系	24 V 系		
1	ISO 7637-2	III (−112 V)	III (−450 V)	C ^a / D ^b	図 20
2a	ISO 7637-2	III (+55 V)	III (+55 V)	B ^a / D ^b	図 21
2b	ISO 7637-2	III (+10 V)	III (+20 V)	C ^a / D ^b	図 22
3a	ISO 7637-2	III (−165 V)	III (−220 V)	A / D ^b	図 23
3b	ISO 7637-2	III (+112 V)	III (+220 V)	A / D ^b	図 24
始動プロファイル	ISO 16750-2	IV	II	A ^c / C ^d	図 25
ロード・ダンプ (クランプなし)	ISO 16750-2	ISO 16750-2 Table 5		C ^a	図 26
ロード・ダンプ (クランプあり)	ISO 16750-2	ISO 16750-2 Table 6		C ^a	図 27

^a 指示されない動きや危険な挙動を生じないこと

^b 利便性を与えるだけのもの

^c クランキング中 (エンジン始動中) に動作するもの

^d c 以外の ESA

表 3: 伝導性トランジェント イミュニティ試験

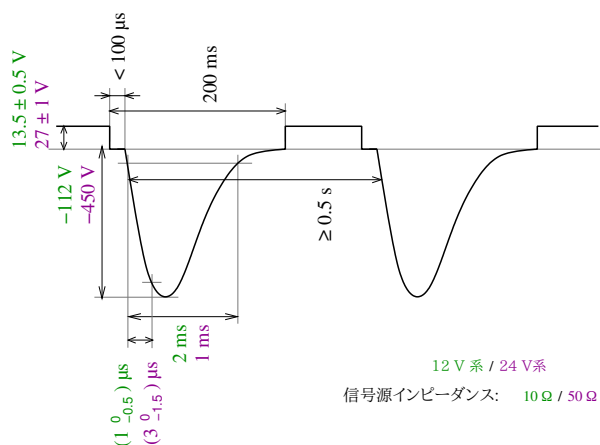


図 20: ISO 7637-2:2011 パルス 1 (Level III)

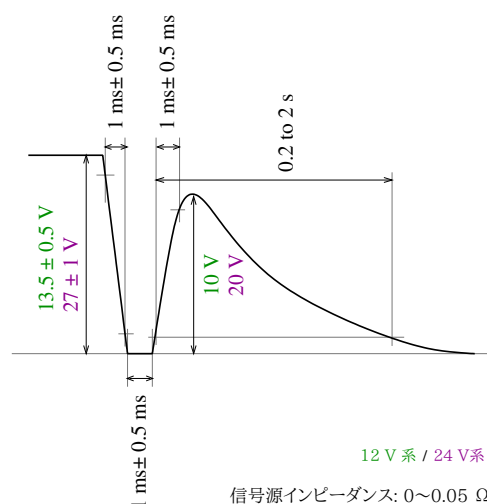


図 22: ISO 7637-2:2011 パルス 2b (Level III)

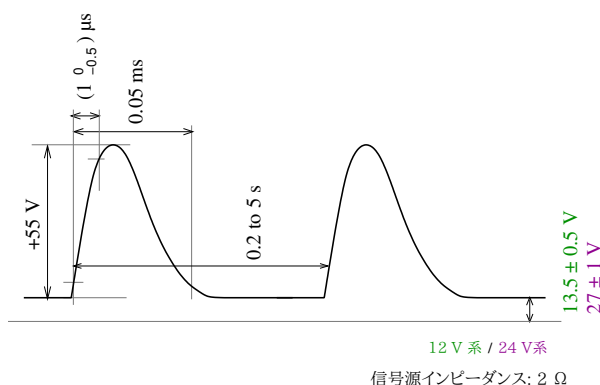


図 21: ISO 7637-2:2011 パルス 2a (Level III)

5 ISO 13766-2

ISO 13766-2:2018^[2] は ISO 13766-1 の対象となる機械の制御システムの安全関連部に適用される追加のイミュニティ要求を規定するもので、 $10^{-5}/h$ よりも低い危険側故障発生確率を持つように設計された ESA やそのような ESA を含む機械に対して、ISO 13766-1:2018 に加えて適用される。

ISO 13766-2 では、表 4 に概要を示すような、ISO 13766-1 よりもやや高いイミュニティ試験レベルで試験した時、機能状態 A を維持するか、さもなくば規定された安全状態 (FS) となることが要求される。

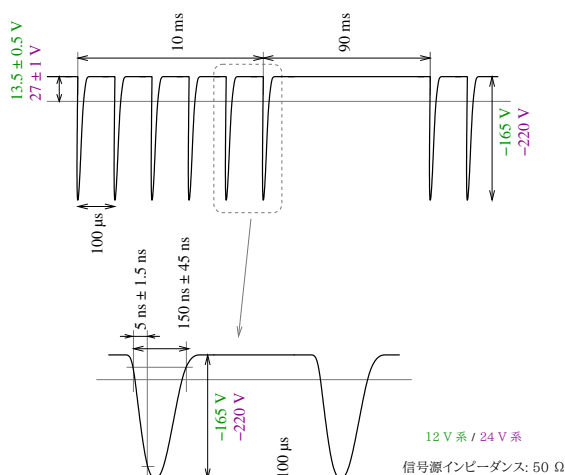


図 23: ISO 7637-2:2011 パルス 3a (Level III)

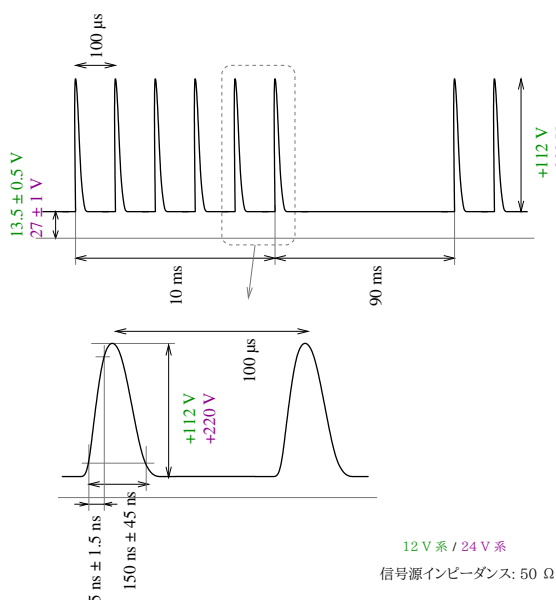


図 24: ISO 7637-2:2011 パルス 3b (Level III)

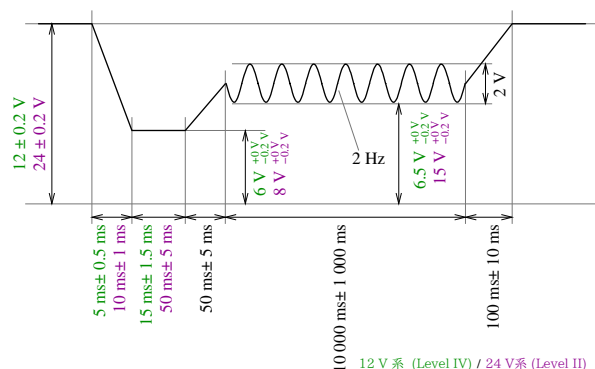


図 25: ISO 16750-2:2012 始動プロフィール

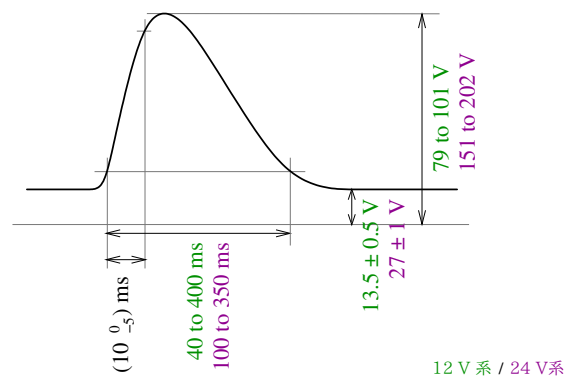


図 26: ISO 16750-2:2012 ロードダンブ (クランプなし)

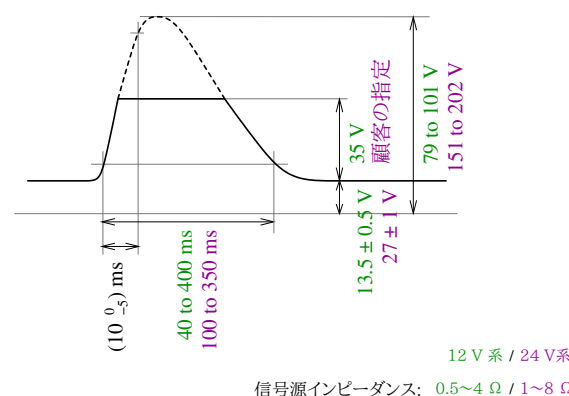


図 27: ISO 16750-2:2012 ロードダンブ (クランプあり)

表 4 で示した放射電磁界に対する試験レベルは外部の放射源からの影響の評価を意図したものとなる。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)の影響に対する具体的な試験要求は定められていないが、そのような無線機の使用が想定されるのであれば想定される最大出力での評価を行なうべきである。

6 類似の規格等

例えば以下のような規格や規則もこの規格と似た要求を含む:

- EN 12895:2015^[5]
— フォークリフトなど
- EN 13309:2010^[6]
— 建設機械^{†30}

^{†30} EMC 指令 2014/30/EU の整合規格として使用できるのは 2021 年 6 月末まで。

試験		試験レベル (単一サンプル)	
		ISO 13766-2:2018	ISO 13766-1:2018
機械での試験			
ISO 11451-2	20~80 MHz	60 V/m	30 V/m
	80~800 MHz	100 V/m	30 V/m
	800~1000 MHz	100 V/m	30 V/m
	1.0~2.0 GHz	—	30 V/m
	2.0~2.4 GHz	10 V/m	—
	2.4~2.7 GHz	5 V/m	—
ISO 11451-4 / ISO 11452-4	20~80 MHz	60 mA or 25 dBm	60 mA or 24.5 dBm
	80~800 MHz	100 mA or 27 dBm	60 mA or 24.5 dBm
	800~1000 MHz	100 mA or 27 dBm	60 mA or 24.5 dBm
	1.0~2.0 GHz	—	†
	2.0~2.7 GHz	†	—
ISO 10605	接触放電 (330 or 150 pF, 2 kΩ)	±8 kV	±4 kV (A), ±6 kV (C)
	気中放電 (330 or 150 pF, 2 kΩ)	±15 kV	±4 kV (A), ±8 kV (C)
ESA での試験			
ISO 11452-2	1~20 MHz	†	—
	20~800 MHz	100 V/m	30 V/m
	800~1000 MHz	100 V/m	30 V/m
	1.0~2.0 GHz	—	30 V/m
	2.0~2.4 GHz	10 V/m	—
	2.4~2.7 GHz	5 V/m	—
ISO 11452-3	1~20 MHz	100 V/m	—
	20~200 MHz	100 V/m	75 V/m
	200~1000 MHz	†	†
	1.0~2.0 GHz	—	†
	2.0~2.7 GHz	†	—
ISO 11452-4	1~20 MHz	100 mA or 27 dBm	—
	20~800 MHz	100 mA or 27 dBm	60 mA or 24.5 dBm
	800~1000 MHz	100 mA or 27 dBm	60 mA or 24.5 dBm
	1.0~2.0 GHz	—	†
	2.0~2.7 GHz	†	—
ISO 11452-5	1~20 MHz	100 V/m	—
	20~400 MHz	100 V/m	60 V/m
	400~1000 MHz	†	†
	1.0~2.0 GHz	—	†
	2.0~2.7 GHz	†	—
ISO 10605	接触放電 (330 pF, 2 kΩ)	±8 kV	±4 kV (A), ±6 kV (C)
	気中放電 (330 pF, 2 kΩ)	±15 kV	±4 kV (A), ±8 kV (C)

† この試験法は適用できない

表 4: ISO 13766-2:2018 と ISO 13766-1:2018 の試験レベルの対比

- ISO 14982:1998 (EN ISO 14982:2009)^[3]
— 農林用機械
- Commission Delegated Regulation (EU) 2015/208^[18]
— 農林用車両
- ECE Regulation No. 10 (ECE R10)^[19]
— 路上走行車両

以下では ISO 13766-1 とそれらの規格の主な違いを示す。但し、違いがある点を網羅しているわけではなく、また参照されている規格の版の違いに起因する違いには基本的には触れていない。

6.1 EN 12895:2015 (フォークリフトなど)

- 広帯域エミッション (準尖頭値検波で測定) と狭帯域エミッション (平均値検波か準尖頭値検波で測定) の要求があるが、それらのエミッション限度が ISO 13766-1 の広帯域限度と同等のレベルで共通となっている (図 28)

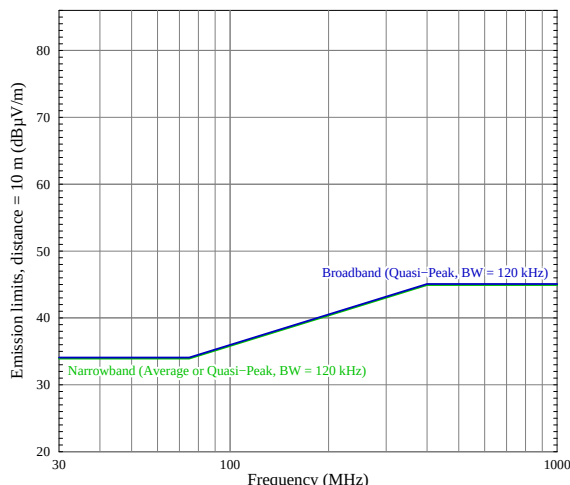


図 28: EN 12895:2015 エミッション限度

- 単一のサンプルでの試験の場合に、エミッション限度を下げ、あるいはイミュニティ試験レベルを上げるという規定がない
- エミッション測定でのアンテナの高さの 2~4 m の昇降の要求がある

- イミュニティ試験法として、ISO 11451-2 ではなく EN 61000-4-3 が、ISO 10605 ではなく EN 61000-4-2 が用いられる
- 放射電磁界イミュニティの周波数範囲が 27 MHz ~ 2.7 GHz で、試験レベル (表現の違いのため、20 V/m は ISO 11451-2 の AM では 36 V/m に相当) は:
 - 27~1000 MHz: 20 V/m, 1 kHz 80 % AM
 - 1~2 GHz: 3 V/m, 1 kHz 80 % AM
 - 2~2.7 GHz: 1 V/m, 1 kHz 80 % AM
- 放射電磁界イミュニティの伝導での試験による代替はない
- ESD 試験は EN 61000-4-2 (150 pF / 330 Ω) で行ない、試験レベルは接触放電で ±8 kV、気中放電で ±15 kV
- 磁界の影響を受けるかも知れない安全関連コンポーネントに対する 0 Hz 1 kA/m、及び 50 Hz 30 A/m の磁界イミュニティの要求がある
- AC 電源に接続される場合、EN 61000-6-2:2005 が追加で適用される
- 静止状態と低速走行状態での試験、また荷役システムやパワー・ステアリングなどの試験についての具体的な記載がある
- 磁界へのイミュニティの要求がコンポーネントに適用されるのを除き ESA での試験についての規定がないが、機械から分離されたシステムも機械と同様に試験できる

6.2 EN 13309:2010 (建設機械)

- 伝導性トランジェント・イミュニティに ISO 7637-2:2011 と ISO 16750-2:2012 ではなく ISO 7637-2:2004 が使用され、適用される試験レベルや性能基準にも相違がある (表 5)
- 機械が長さ 20 m、幅 3 m、あるいは高さ 4 m よりも大きい場合、放射電磁界イミュニティ試験の代替として 20~2000 MHz について ISO 11451-4 BCI 法を適用できる

パルス	試験レベル		機能状態	
	12 V 系	24 V 系	イミュニティ 関連	イミュニティ 関連以外
1	−75 V (Level III)	−450 V (Level III)	C	D
2a	+37 V (Level III)	+37 V (Level III)	B	D
2b	+10 V (Level III)	+20 V (Level III)	C	D
3a	−112 V (Level III)	−150 V (Level III)	A	D (−25 V / −35 V で A)
3b	+75 V (Level III)	+150 V (Level III)	A	D (−25 V / −35 V で A)
4	−6 V (Level III)	−12 V (Level III)	B / C	D
5	+65 V (Level III)	+123 V (Level III)	C	D

表 5: EN 13309:2010 の伝導性トランジェント・イミュニティ要求 (抜粋)

6.3 ISO 14982:1998 (農林用機械)

- 放射電磁界イミュニティの周波数範囲が 20～1000 MHz
- 変調は 1 kHz 80 % AM のみ
- 機械の放射電磁界イミュニティの伝導での試験による代替はない
- 伝導性トランジェント・エミッションの規定がない
- 伝導性トランジェント・イミュニティに ISO 7637-2:2011 と ISO 16750-2:2012 ではなく ISO 7637-2:1990 が使用され、性能状態 A が要求されるものの、試験レベルはかなり緩い (表 6)

パルス	試験レベル		機能状態
	12 V 系	24 V 系	
1	−25 V	−50 V	A
2	+25 V	+25 V	A
3a	−25 V	−35 V	A
3b	+25 V	+35 V	A
4	−4 V	−5 V	A
5	+26.5 V	+70 V	A

表 6: ISO 14982:1998 の伝導性トランジェント・イミュニティ要求 (抜粋)

- ESD は ISO/TR 10605:1994 による ± 4 kV の試験で性能状態 A が要求される

6.4 Commission Delegated Regulation (EU) 2015/208 (農林用車両)

- 車両のエミッションの測定では、アンテナをエンジンの中央に合わせて、また前後の車軸の中間の位置に合わせて、左右の側面から測定する

- 車両の電磁放射へのイミュニティに関して、

- ISO 11451-2 が参照されておらず、試験法は Annex XV で述べられている
- 周波数範囲は 20～1000 MHz、変調は 1 kHz 80 % AM のみ
- 周波数掃引は 2 % 以下の周波数ステップで行なう
- 車両の放射電磁界イミュニティでは、前方からの、もしくは後方からの照射を行なう
- 送信アンテナのフェーズ・センターの高さは、1.5 m 以上、車両のルーフが 3 m を超えるならば 2 m 以上とする
- 試験レベルは基準点 (車両の中心線上の、高さ 1 m、車両のルーフが 3 m を超えるならば 2 m の位置) で設定する; その両側 0.5 m の位置での電界強度は 80 % 以上の周波数ポイントで試験レベルの 50 % 以上のこと
- 車両の放射電磁界イミュニティの伝導での試験による代替はない

- ESA の電磁放射へのイミュニティの試験は、ISO 13766-1 と同様のいずれかの方法、あるいは 800 mm ストリップラインを用いて、20～1000 MHz について行なう

- ESD 試験の要求がない

- 伝導性トランジェント (エミッション、及びイミュニティ) の試験の要求がない; トランジェントに耐えられることを確かとする責任は製造業者にある

- イミュニティ試験時の各機能の動作の規定がある

- ESA の試験でのグラウンド・プレーンの高さは 1 ± 0.1 m で、アンテナはグラウンド・プレーンの縁から距離 1 ± 0.05 m、グラウンド・プレーンの上 150 ± 10 mm の位置に合わせる
- ESA の試験で、車両の金属構造に電氣的に接続することが意図された ESA はグラウンド・プレーン上に置いて電氣的に接続する

6.5 ECE Regulation No. 10 (路上走行車両)

- 充電モードと充電モード以外に対する要求が別に定められており、充電モード以外に対する要求はこの規格と似ているが、充電モードではそれに似た要求に加えて IEC 61000 シリーズでの試験が追加で適用される (表 8)
- 単一のサンプルの試験でエミッション限度を 20 % (2 dB) 下げ、あるいはイミュニティ試験レベルを 25 % 上げるという要求がないが、その調整はエミッション限度やイミュニティ試験レベルに既に含まれている
- 車両での電磁放射へのイミュニティは 20～2000 MHz を ISO 11451-2 (垂直偏波) で試験するのが標準だが、車両が 12 m よりも長い、2.6 m よりも広い、あるいは 4 m よりも高い場合は ISO 11451-4 BCI 法を 20～2000 MHz まで拡大して適用できる
- ESA の電磁放射へのイミュニティの試験は、以下の 1 つ以上の方法を用いて 20～2000 MHz について行なう：
 - － 自由空間 (ALSE): ISO 11452-2
 - － TEM セル: ISO 11452-3
 - － BCI: ISO 11452-4
 - － 150 mm ストリップライン: ISO 11452-5
 - － 800 mm ストリップライン: Annex 9
- 車両のイミュニティ試験時の動作条件として「50 km/h モード」と「ブレーキ・モード」が各機能の動作や合否判定の基準とともに規定されている

- 伝導性トランジェント・エミッションの限度は、12 V 系では +75 V / -100 V、24 V 系では +150 V / -450 V
- 伝導性トランジェント・イミュニティに ISO 7637-2:2011 と ISO 16750-2:2012 ではなく ISO 7637-2:2004 が使用され、適用される試験レベルや性能基準にも相違がある (表 7)
- ESD 試験の要求がない

7 参考資料

- [1] ISO 13766-1:2018, *Earth-moving and building construction machinery – Electromagnetic compatibility (EMC) of machines with internal electrical power supply – Part 1: General EMC requirements under typical electromagnetic environmental conditions*
- [2] ISO 13766-2:2018, *Earth-moving and building construction machinery – Electromagnetic compatibility (EMC) of machines with internal electrical power supply – Part 2: Additional EMC requirements for functional safety*
- [3] ISO 11451 シリーズ, *Road vehicles – Vehicle test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy*
 - ISO 11451-2:2015, *Off-vehicle radiation sources*
 - ISO 11451-3:2015, *On-board transmitter simulation*
 - ISO 11451-4:2013, *Current injection (BCI)*
- [4] ISO 11452 シリーズ, *Road vehicles – Component test methods for electrical disturbances by narrowband radiated electromagnetic energy*
 - ISO 11452-2:2004, *Absorber-lined shielded enclosure*
 - ISO 11452-3:2016, *Transverse electromagnetic mode (TEM) cell*
 - ISO 11452-4:2011, *Harness excitation methods*
 - ISO 11452-5:2002, *Stripline*
 - ISO 11452-9:2012, *Portable transmitters*
- [5] ISO 7637-2:2011, *Road vehicles – Electrical disturbances from conduction and coupling – Part 2: Electrical transient conduction along supply lines only*
- [6] ISO 16750-2:2012 *Road vehicles – Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment – Part 2: Electrical loads*
- [7] ISO 10605:2008 *Road vehicles — Test methods for electrical disturbances from electrostatic discharge*

パルス	試験レベル		機能状態	
	12 V 系	24 V 系	イミュニティ 関連	その他
1	−75 V (Level III)	−450 V (Level III)	C	D
2a	+37 V (Level III)	+37 V (Level III)	B	D
2b	+10 V (Level III)	+20 V (Level III)	C	D
3a	−112 V (Level III)	−150 V (Level III)	A	D
3b	+75 V (Level III)	+150 V (Level III)	A	D
4	−6 V (Level III)	−12 V (Level III)	B / C	D

表 7: ECE R10.06 の伝導性トランジェント・イミュニティ要求 (抜粋)

現象	車両	ESA
広帯域エミッション	CISPR 12	CISPR 25
狭帯域エミッション	—	—
12/24 V 電源線上の過渡伝導エミッション	—	ISO 7637-2
電磁放射へのイミュニティ	ISO 11451-2	ISO 11452-2, -4
12/24 V 電源線上の過渡妨害へのイミュニティ	—	ISO 7637-2
AC 電源線への電源高調波エミッション	IEC 61000-3-2, -3-12	
AC 電源線への電圧変動/フリッカのエミッション	IEC 61000-3-3, -3-11	
電源線への無線周波伝導エミッション	IEC 61000-6-3	
有線ネットワーク・ポート上の無線周波伝導エミッション	IEC 61000-6-3	
電源線上の EFT/B へのイミュニティ	IEC 61000-4-4	
電源線上のサージへのイミュニティ	IEC 61000-4-5	

表 8: ECE R10 の REESS 充電モードでの試験に関する規格

- [8] CISPR 12:2007+A1:2009, *Vehicles, boats and internal combustion engines – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement for the protection of off-board receivers*
- [9] CISPR 25:2016, *Vehicles, boats and internal combustion engines – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers*
- [10] ISO 11452 シリーズの概要 (前編 / 後編), 株式会社 e・オートマ, 2016
<http://www.emc-ohatama.jp/emc/reference.html>
- [11] ISO 7637-2 & ISO 7637-3 の概要, 株式会社 e・オートマ, 2017
<http://www.emc-ohatama.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
<http://www.emc-ohatama.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,
<http://www.emc-ohatama.jp/emc/reference.html>
- [14] CISPR 25 の概要, 株式会社 e・オートマ, 2016
<http://www.emc-ohatama.jp/emc/reference.html>
- [15] ISO 14982:1998, *Agricultural and forestry machinery – Electromagnetic compatibility – Test methods and acceptance criteria*
- [16] ISO 16315:2016, *Small craft — Electric propulsion system*
- [17] EN 12895:2015, *Industrial trucks – Electromagnetic compatibility*
- [18] 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
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R0208&from=EN>
- [19] ECE Regulation No.10, *Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to electromagnetic compatibility*, United Nations
<http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs1-20.html>
- [20] *Problems Between AM Transmitters and Cranes Using a 3D Field Solver*, Marcelo Bender Perotoni and Roberto Menna Barreto, 2014,
https://www.researchgate.net/publication/277211760_Resolving_Safety-Critical_EMI_Problems_Between_AM_Transmitters_and_Cranes_Using_a_3D_Field_Solver/link/55647b7108ae86c06b6a7854/download