

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・オータマ 佐藤智典

2023 年 1 月 31 日

目次

1	はじめに	1
2	共通事項 (ISO 11452-1)	2
2.1	電源	2
2.1.1	低圧 DC 電源	2
2.1.2	高圧 DC 電源 (ISO 11452-1:2015)	2
2.2	AN, AMN, AAN	3
2.2.1	AN (LV-AN)	3
2.2.2	HV-AN	5
2.2.3	AMN	5
2.2.4	AAN	5
2.3	ロード・シミュレータ	6
2.4	テスト・ハーネス	7
2.5	DUT の動作	7
2.6	試験信号の品質	7
2.7	試験信号の変調	7
2.8	ドウェル・タイム	8
2.9	周波数掃引ステップ	8
2.10	FPSC	8
2.10.1	ISO 11452-1:2005	9
2.10.2	ISO 11452-1/A1:2008, ISO 11452-1:2015	9
3	ISO 11452-2	9
3.1	参照規格	9
3.2	試験手続き	10
3.3	試験場所	10
3.3.1	ALSE	10
3.3.2	グラウンド・プレーン	11
3.4	電界強度の校正	11
3.5	試験	11
3.5.1	試験対象システムの基本的なセットアップ	11
3.5.2	HV 電源に接続されるシステムのセットアップ (ISO 11452-2:2019)	14
3.5.3	試験の実施	15
3.6	テスト・プラン	17
3.7	試験レベルの例	17
4	補足	17
4.1	関連規格	17
5	参考資料	18

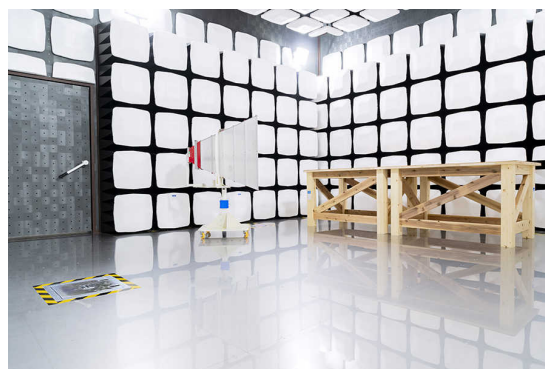
1 はじめに

本稿では、ISO 11452 シリーズで定められた車載機器のイミュニティ試験の方法のうち、ISO 11452-2^[1] で定められた ALSE 法の概要を述べる。

この試験法は車両外の放射源からの高周波電磁界の車載機器への影響の評価を意図した試験法の 1 つで、電波暗室 (ALSE) 内で評価対象の装置 (DUT) やそのハーネスに向けてアンテナから電磁界を照射する、ある意味で最も素直な形のものである。この規格は 80 MHz~18 GHz の周波数範囲をカバーし、しばしばより低い周波数範囲をカバーする ISO 11452 シリーズの他の規格、例えば ISO 11452-4 と組み合わせられて用いられる。

この規格の本稿の執筆の時点での最新版は ISO 11452-2:2019 (ed. 3) であるが、ISO 11452-2:2004 (ed. 2) が ECE R10.06^{[3][4]} での参照を含めてしばしば用いられていることから、本稿では ISO 11452-2:2004 (ed. 2) にも触れている。

なお、本稿はこれらの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。規格についての正確な情報は該当する規格そのもの^[1]を参照されたい。



ALSE と放射アンテナ (200 MHz~2.5 GHz) の例

2 共通事項 (ISO 11452-1)

ISO 11452 シリーズの他の規格と共通する事項の多くは ISO 11452-1^[2] での規定が参照される。

この章では、ISO 11452-1:2005(+A1:2008)、及び ISO 11452-1:2015 の概要を述べる。

2.1 電源

電源に対する主な要求事項を以下の章で、またテスト・プランで電源電圧が指定されていない場合の電源電圧を表 1 に示す。

充電電源以外の高圧 (HV) DC^{†1} 電源についてはこの規格上の規定はなく、テスト・プランで規定することが必要となる。

2.1.1 低圧 DC 電源

低圧 (LV) DC^{†1} 電源は以下の条件を満たさなければならない:

- 内部インピーダンスは 0~400 Hz で $< 0.01 \Omega$;
- 無負荷から最大負荷 (突入電流を含む) で電圧が 1 V を超えて変動せず、100 μs 以内に最大変動の 63 % を回復する;
- リップル電圧は 0.2 V_{P-P} を超えず、その周波数は 400 Hz を超えない。

この電源としては通常は車両用のバッテリー (典型的には 12 V 鉛蓄電池) を用いることができる。バッテリーがリップルを発生することはないが、インピーダンスや電圧変動については定期的な確認が必要となるかも知れない。また、バッテリーと負荷との接続は太く短いワイヤで行なうべきであり、バッテリーの電圧は試験前と試験後に確認すべきである。

LV DC 電源は一般に感電の危険がないとみなすことができるが、短絡に伴う発火や火傷などの事故の可能性は考えられ、短絡の防止に注意を払うとともに、短絡時のリスクの低減のための処置 (例えばバッテリーの直近への適切な定格のヒューズの取り付け^{†2}など) を講じることが望ましいだろう。

^{†1} この規格では直流電源は 60 V 以上の場合に HV (高圧)、それを下回る場合に LV (低圧) として扱われる。

^{†2} ワイヤに見合った溶断電流の適切なヒューズが取り付けられていれば短絡時もワイヤの被覆の溶融や発火が生じる前にヒューズが切れて電流が遮断される。

バッテリーの電圧の維持のためにバッテリーと並列に電源装置を接続することもある^{†3}だろうが、この場合はリップルの確認も必要となるであろう。また、電源装置はそのような使い方に対応していない (異常動作や損傷の危険がある) ことも多いため、接続の前に電源装置がその使い方に対応していることを確認すべきである。また、バッテリーの使用上の条件^{†4}や充電状態となっている時の水素ガスの発生にも注意が必要となるかも知れない。

電源装置を用いる場合、電源装置が試験で印加される妨害の影響を受けないようにするため、電源装置はシールド・ルームの外に置き、シールド・ルームへの引き込みの箇所で適切にフィルタする (通常はシールド・ルームの壁に取り付けられた貫通フィルタを通す) ことも必要となりそうである。

2.1.2 高圧 DC 電源 (ISO 11452-1:2015)

高圧 (HV) DC^{†1} 電源の特性はテスト・プランで規定する。

実際の使用に際して車両上の HV バッテリーに接続される HV DC 電源ラインには試験に際しても車両の HV バッテリーを接続すべきである。あるいは、その代わりとなる適切な電源装置 (充電器や回生型のインバータに接続した場合のように充電状態となる場合がある、すなわち負荷側から電源への電流の逆流を生じる場合があるならばそれに対応したもの) を用いることもできる。

充電用 DC 電源ライン (実際の使用で急速充電器に接続されるような) には充電器がそれに相当する電源装置から給電することができるだろう。

外部の HV 電源装置は貫通フィルタを介して接続しなければならない。

HV 電源では発火や火傷などの事故の可能性に加

^{†3} インピーダンスなどの条件を満足できるのであればバッテリーなしで電源装置のみを用いることもできるかも知れない。だが、電源装置そのものの特性、また電源装置は離れた位置 (場合によってはシールド・ルームの外) に置いて比較的長いワイヤやフィルタを介して接続することになるであろうことを考えると、電源装置を単体で用いるのは難しそうである。電源装置の端子の位置でその特性を満足すれば規格の文面上の要求は満足するとも言えるかも知れないものの、その場合も長いワイヤやフィルタを介して接続すればその実効的な特性は著しく損なわれ、電源のインピーダンスを低く抑えることが無意味となりそうである。

^{†4} 特に、充電電流がそのバッテリーの上限 (急速充電に対応していない鉛蓄電池では典型的にはバッテリー容量の値の 1/10 の電流) を超えないように、また過充電としないように (鉛蓄電池はフロート充電が可能であるが、バッテリーの充電終止電圧よりも高い電圧を印加すると満充電となった後も充電が継続し、過充電状態となる) に注意が必要となるかも知れない。

規格	低圧 (LV) DC 電源			充電電源	
	12 V 系	24 V 系	48 V 系	DC	AC
ISO 11452-1:2005(+A1:2008)	13.5 ± 0.5 V	27 ± 1 V	—	—	—
ISO 11452-1:2015	13 ± 1 V	26 ± 2 V	—	$U_N \pm 10 \%$	$U_N^{+10\%}_{-15\%}, f_N \pm 1 \%$

U_N : 公称電圧、 f_N : 公称周波数

表 1: 電源電圧

えて感電に伴う直接的な危害のリスクも高まり、絶縁の維持 (適切な絶縁材の使用、電圧に応じた沿面距離の維持など) や接近の防止 (例えば端子などの危険な箇所への接近を防ぐための適切なガードの使用など) にも相当の注意が必要となりそうである。

2.2 AN, AMN, AAN

ISO 11452-1:2015 では試験に際して電源などのインピーダンスを管理するためのデバイスとして表2に示すものが規定されている。

ISO 11452-1:2005(+A1:2008) はこのうち AN (LV-AN) のみを含む。

これらのデバイスはグラウンド・プレーン上に直接置き、その金属の筐体はグラウンド・プレーンとのあいだの直流抵抗が 2.5 mΩ 以下となるようにグラウンド・プレーンに接続する。また、これらのデバイスの測定ポートは全て 50 Ω の終端器 (AN 内蔵のもの、あるいは外付けの同軸終端器) で終端する。

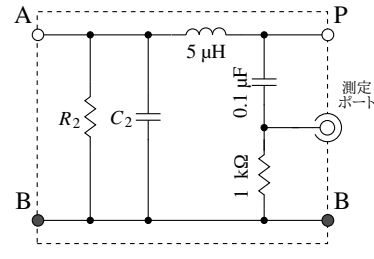
2.2.1 AN (LV-AN)

12 V や 24 V などの LV DC 電源に使用する AN (HV-AN との区別のために LV-AN と表記することもある) は、5 μH/50 Ω AN、あるいは単に 5 μH AN と呼ばれるもので、図1に示すような構成の、測定ポートを 50 Ω で終端した時に図2に示すようなインピーダンス特性を示すものである。

AN は実際の設置に際しての電源リターン線 (バッテリーのマイナス側に戻すための接続; LV-) の長さに応じて次のような形で用いられる:

- ローカルでの接地 — 電源リターン線が 200 mm 以下の場合^{†5}

^{†5} 小形のコンポーネントの配線でしばしば行なわれているように、電源リターンをワイヤで戻す代わりにコンポーネントの近くで車体に落とすような場合。



AN	C_2	R_2
AN (LV-AN)	1 μF	—
HV-AN	0.1 μF	1 MΩ

図 1: LV-AN, HV-AN の原理

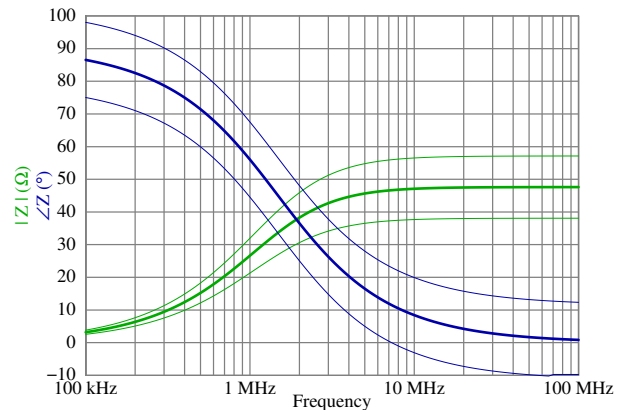


図 2: 5 μH/50 Ω AN のインピーダンス Z_{PB} (測定ポートを 50 Ω で終端、端子 A-B を短絡した状態での計算値)

AN を 1 台だけ用いて給電線 (バッテリーのプラス側への接続; LV+) のみを AN を介して接続し、電源リターン線 (バッテリーのマイナス側への接続; LV-) はグラウンド・プレーンを介して接続する (図3)^{†6}

- 遠隔での接地 — 電源リターン線が 200 mm よりも長い場合

AN を 2 台用いて給電線 (LV+) と電源リターン線 (LV-) の双方を AN を介して接続する (図4)

^{†6} 電源のマイナス側が車体に接地されるものと仮定しており、電源のプラス側が接地される場合はそのように読み替える。

電源線用 AN, AMN	
LV DC 電源線	AN (LV-AN; 5 μ H / 50 Ω) — ISO 11452-1 B.2.1 (図 1)
HV DC 電源線	HV-AN (5 μ H / 50 Ω) — ISO 11452-1 B.2.2 (図 1) [†]
AC 充電ライン	AMN (50 μ H / 50 Ω) — CISPR 16-1-2 (図 6) [†]
信号/制御/通信線用 AAN	
対称信号/制御ポート	ISO 11452-1 B.4.1 (図 8) [†]
電源線上の PLC	ISO 11452-1 B.4.2 (図 9) [†]
コントロール・パイロット上の PLC	ISO 11452-1 B.4.3 (図 10) [†]

[†] ISO 11452-1:2005(+A1:2008) には含まれない

表 2: AN, AMN, AAN (ISO 11452-1:2015)

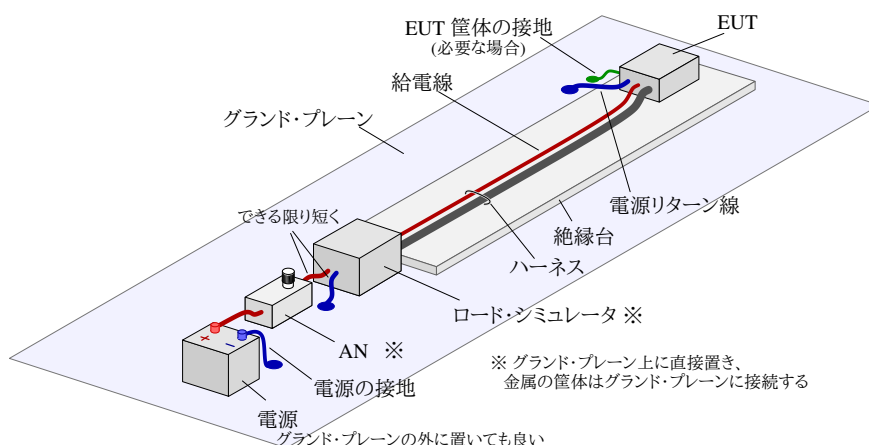


図 3: ローカルでの接地

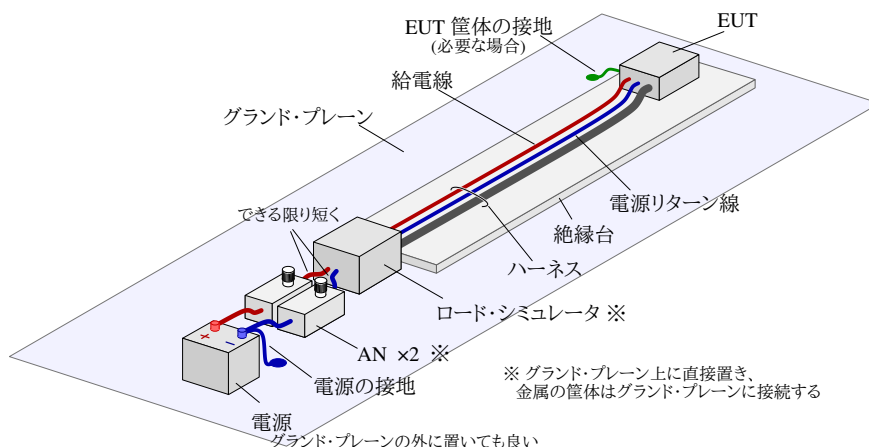


図 4: 遠隔での接地

低圧電源のマイナス側の線は、ローカルでの接地 (電源のマイナス側に AN を用いない; 図 3) の場合は勿論、遠隔での接地 (電源のマイナス側にも AN を用いる; 図 4) の場合にもその電源側でグランド・プレーンに接続する。

少なくとも ISO 11452-2:2019 では AN とロード・シミュレータのあいだの配線はできる限り短くなけ

ればならず、またテスト・プランで指定しなければならない。

AN は電源のインピーダンスを管理する役割を持つが、そのインピーダンスは 100 MHz までしか規定されておらず、それよりも高い周波数ではインピーダンスは不明となる。このインピーダンスの違いが試験の結果に影響を与えるかも知れないが、そ

の影響は §2.3 で述べるような方法で低減できるかも知れない。

2.2.2 HV-AN

HV DC 電源に用いられる HV-AN は LV DC 電源に用いられる LV-AN と基本回路 (図1) やインピーダンス (図2) の規定は同様だが、図1 に示すように、電源入力側の定数として異なる値が示されている。^{†7}

HV-AN とテスト・ハーネスのあいだには、必要に応じて適切なインピーダンス整合回路網を入れることができる。HV DC 電源線はしばしばシールドされるため、HV-AN はケーブルのシールドを適切に終端できるような構造となっているか、あるいはそのようなシールド・ケースに入れて使用されることが多い (図5)。

CISPR 25:2021^[6] や ECE R10.06^{[3][4]} と異なり ISO 11452-1:2015 では充電用の DC 電源ラインのための DC-charging-AN の規定はなく、充電用の DC 電源ラインにも HV-AN を用いるように規定されている。

2.2.3 AMN

AMN (図6) は商用電源に接続される一般の電気機器の電源ポート伝導エミッション測定で良く用いられるものと同様の $50 \mu\text{H} / 50 \Omega$ のものであり、AC 充電器の試験で交流電源ラインに用いられる。

2.2.4 AAN

AAN は充電時に車両外に接続される通信ポートに用いられることがある。

電源線上の PLC 用の AAN (図9) は AMN や HV-AN などと並列に接続することを意図しており、コモン・モード・インピーダンスを制御する機能を持つ

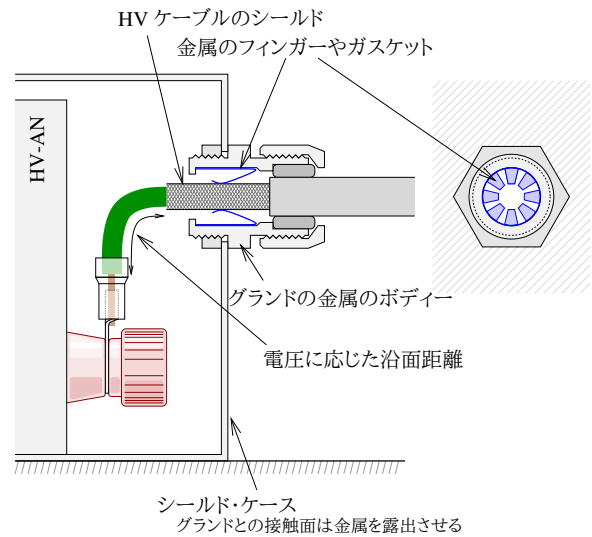


図 5: HV ケーブルの HV-AN への接続の例 — ケーブルのシールドをケーブル・グラウンドの金属のフィンガーなどを介してシールド・ケースに 360° 接続する

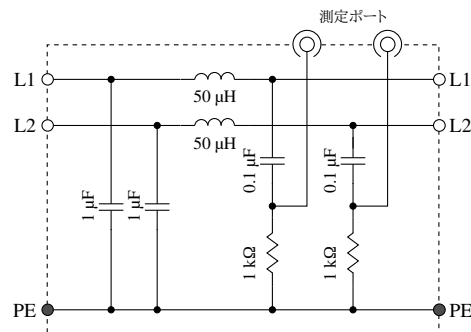


図 6: AMN ($50 \mu\text{H} / 50 \Omega$) の原理 — 単相電源用

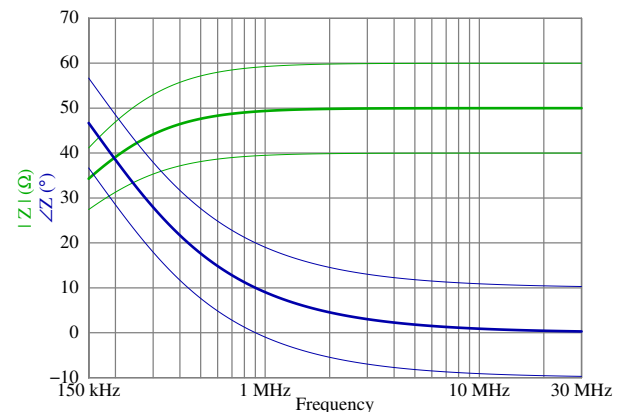
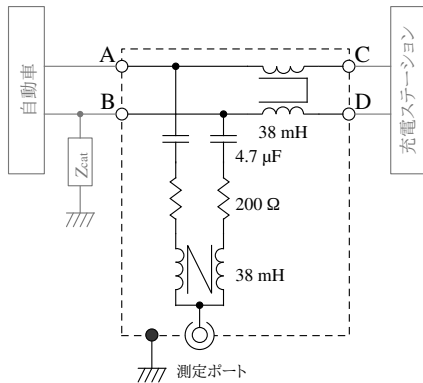


図 7: AMN ($50 \mu\text{H} / 50 \Omega$) のインピーダンス

^{†7} インピーダンス Z_{PB} は端子 A-B を (従って C_2 を) 短絡した状態で規定されているため、 C_2 の容量の違い (また、 C_2 があるかどうか) の影響を受けない。だが、 C_2 の 150 kHz におけるインピーダンスは $1 \mu\text{F}$ では約 1Ω 、 $0.1 \mu\text{F}$ では約 10Ω で、実際の使用時には $C_2 = 0.1 \mu\text{F}$ の HV-AN の端子 P-B 側から見たインピーダンスは電源入力側のインピーダンスの影響を有意に受けることが予想される。HV-AN の入力側の貫通フィルタを通して電源を接続すればこの影響はある程度緩和されるだろう。

たない^{†8}が、その他の AAN (図8, 図10) は 150Ω のコモン・モード・インピーダンスを与えるようになっている。

^{†8} PLC の信号は AMN などを通過できず、この AAN は信号を通すため代替の経路を提供する。



Z_{cat} : LCL が所定の値となるように平衡度を調整

図 8: AAN (対称信号/制御ポート) の原理 — 2 線 (1 対) 用

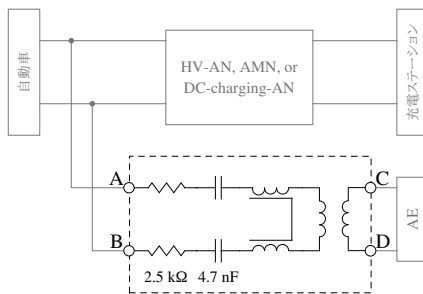


図 9: AAN (電源線上の PLC) の原理

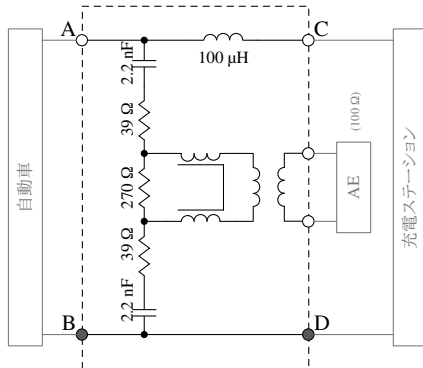


図 10: AAN (コントロール・パイロット上の PLC) の原理

対称通信線用の AAN (図8) の Z_{cat} は、LCL (longitudinal conversion loss; 不平衡減衰量) を実際の使用時に接続される装置とケーブルに合わせるように調整する。

2.3 ロード・シミュレータ

試験に際して、テスト・ハーネスは適切なロード・シミュレータで終端する。このロード・シミュレータはグラウンド・プレーン上に直接置き、それが金属

の筐体に入られている場合にはそれをグラウンド・プレーンに接続する。

グラウンド・プレーン上の適切な位置に置かれてテスト・ハーネスを終端するロード・シミュレータとは別の周辺装置が DUT (被試験装置; EUT と呼ばれることもある) の動作や監視のために必要となることもあるだろうが、そのような周辺装置は適切なロード・シミュレータを介して接続することができる。

ロード・シミュレータの先に他の周辺機器を接続する場合、ロード・シミュレータがその先の周辺機器とのあいだに適切な減結合を与えていれば、その先に接続される装置、それらの配置、またそれらを接続するケーブルやその引き回しが試験の結果にあまり影響しないようになるであろう。

そのような周辺装置をシールド・ルームの外に置く場合、導体をシールド・ルームの壁の貫通穴 (貫通スリーブ) を通して引き出すとシールド・ルームのシールド性が損なわれるため、光ファイバで接続する、シールド・ルームの壁に位置に取り付けられた貫通フィルタを介して接続する、ケーブルを引き出した先の部屋もシールド・ルームとするなどの対応が必要となるかも知れない。

ISO 11452-1:2015 ではロード・シミュレータの設計は

- DUT に接続される I/O の負荷のタイプ (実際の、あるいは模擬された)
- DUT に接続されるそれぞれの I/O のコモン・モード・インピーダンス、及び/もしくはディファレンシャル・モード・インピーダンス
- 内部配線とレイアウト

に特に留意しなければならないと規定されており、ロード・シミュレータの設計の例も参考として示されている。^{†9}

電源のインピーダンスの管理はある程度は AN などで行なうこともできるものの、AN のインピーダンス (図2) は 100 MHz までしか規定されておらず、一般にそれよりも高い周波数でのインピーダンスは不明となる。設計や実装を慎重に行なったロード・シミュレータを用い、ISO 11452-1:2015 のロード・シミュレータの設計の例などで示されているよ

^{†9} ロード・シミュレータについては [7] で解説している。

うに DUT への電源もロード・シミュレータを介して給電するようにすれば、より高い周波数までのインピーダンスを AN の特性に頼らずに管理することが可能となるだろう。

2.4 テスト・ハーネス

テスト・ハーネスやその接続は実車を代表するものであるべきで、特にシールドされたハーネスの構造と接続は実車を代表するものでなければならない。またハーネスは適用する試験法の要求を満たす長さでなければならない。

2.5 DUT の動作

イミュニティ試験に際しては、評価の対象となる機能を動作させ、妨害の印加中や印加後にそれらの機能が正しく機能するかどうかを確認することが必要となる。

妨害の印加中にもボタンやタッチパネルなどが正しく機能するかどうかの確認が必要な場合は試験中にボタンやタッチパネルなどの操作を行なうことも必要となるだろうが、このような操作を人の手で直接行なうことはできず、テスト・プランで要求される操作を電磁特性への影響が最小限となるようなアクチュエータ (例えば押しボタンを押すためのプラスチックのブロック、プラスチック・チューブで接続された空圧アクチュエータのような) を用いて行なうことが必要となるだろう。

例えば DUT の電磁妨害への反応の監視や信号の注入のために DUT から導体を引き出したいと思うこともあるかも知れないが、そのような導体は DUT の電磁妨害に対する挙動に影響を与える可能性があり、好ましくない。そのような接続は光ファイバや高抵抗リードを用いることで悪影響なしに、あるいは最小限の影響で行なうことができるかも知れない。

2.6 試験信号の品質

電力増幅器の出力の 5 次までの高調波歪みは最大の試験レベルで基本波の -12 dB 以下 (1 GHz 以上では -6 dB 以下) でなければならない。

電力増幅器やその出力の測定手段 (通常は方向性結合器とパワーメータ) が試験で使用する振幅の範

围でリニアリティを維持していることも重要となるだろう。

2.7 試験信号の変調

ISO 11452-1:2015 では以下の変調が規定されている (図 11):

- 無変調 (CW)
 - 一定振幅の、単一周波数の高周波 (連続波)
- 振幅変調 (AM)
 - AM 放送のような音声周波で振幅変調された送信を模擬する、変調周波数 1 kHz、変調度 80 % の振幅変調
- パルス変調 1 (PM 1, PM)
 - GSM の TDMA (時分割多元接続) の送信を模擬する、 $t_{on} = 577 \mu\text{s}$ 、周期 = $4\,600 \mu\text{s}$ (繰り返し周波数 約 217 Hz、デューティー 1/8) の間欠的な出力
- パルス変調 2 (PM 2)
 - レーダー・パルスを模擬する $t_{on} = 3 \mu\text{s}$ 、周期 = $3\,333 \mu\text{s}$ (繰り返し周波数 300 Hz、デューティー 約 1/1000) の間欠的な出力
(ISO 11452-1:2005(+A1:2008) には含まれない)

それぞれの変調は以下の周波数範囲での使用が想定されているが、試験で実際に適用すべき変調はこの試験法を参照した規格で、あるいはテスト・プランで規定されるだろう:

- CW: 15 Hz~18 GHz
- AM: 10 kHz~800 MHz
- PM 1: 800 MHz~1.2 GHz, 1.4~2.7 GHz
(ISO 11452-1:2005(+A1:2008) では 800 MHz~18 GHz)
- PM 2: 1.2~1.4 GHz, 2.7~18 GHz
(ISO 11452-1:2005(+A1:2008) には含まれない)

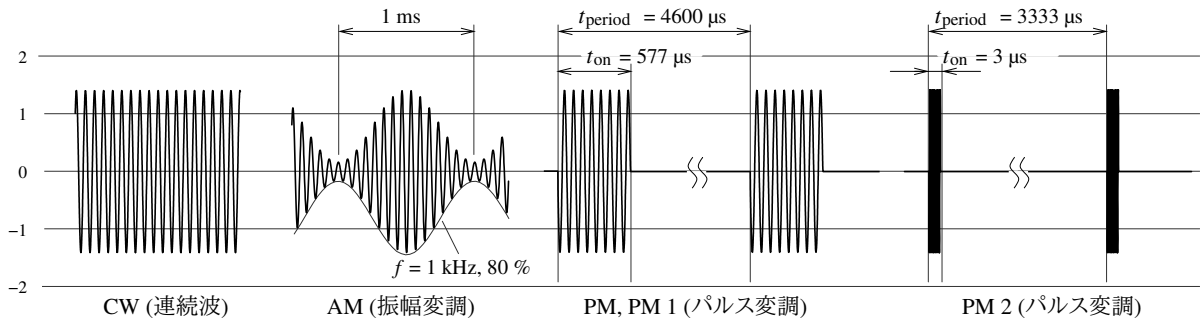


図 11: 変調

2.8 ドウェル・タイム

試験に際しては、それぞれの周波数の妨害をある時間づつ印加し、DUT^{†10}の挙動を確認する。この時間 (ドウェル・タイム、滞在時間) の最小値は ISO 11452-1 では1秒以上と規定されているが、実際の時間はそれぞれの周波数の妨害に対する DUT の応答を確実に確認できるように DUT の特性や動作条件に応じて決め、テスト・プランで規定することが必要となるだろう。

DUT が間欠的に動く機能を持つ場合 (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) や反応に遅れがある場合 (例えばセンサ入力の時定数10秒のフィルタに通されている場合のような) には、ドウェル・タイムをかなり長くすることが必要となるかも知れない。これは試験時間を長くするので、特に予備試験の段階では、動作周期を短くし、あるいは応答時間を短くした試験用のサンプルを用意することが助けとなるかも知れない。

2.9 周波数掃引ステップ

試験に際しては、必要な周波数範囲内で周波数を変えながら、それぞれの周波数の妨害を印加する。周波数の変え方には一定の周波数間隔で上げていく方法 (リニア・ステップ) と一定の比率で上げていく方法 (対数ステップ) があり、最大のステップ幅は表3の通りとなる。

試験で適用すべき掃引の方法 (リニアか対数か) やステップ幅はテスト・プランで規定することが必要となるだろう。

周波数帯	リニアステップ	対数ステップ
15 Hz~100 Hz [†]	10 Hz	10 %
100 Hz~1 kHz [†]	100 Hz	10 %
1 kHz~10 kHz [†]	1 kHz	10 %
10 kHz~100 kHz	10 kHz	10 %
100 kHz~1 MHz	100 kHz	10 %
1 MHz~10 MHz	1 MHz	10 %
10 MHz~200 MHz	5 MHz	5 %
200 MHz~400 MHz	10 MHz	5 %
400 MHz~1 GHz	20 MHz	2 %
1 GHz~18 GHz	40 MHz	2 %

[†] ISO 11452-1:2005(+A1:2008) には含まれない

表 3: 周波数掃引ステップ (ISO 11452-1:2015)

2.10 FPSC

ISO 11452-1 ではイミュニティ評価に関連して FPSC (functional performance status classification) と呼ばれる枠組みを定めている。

FPSC は試験厳しさレベルとその妨害の性能への影響に関する区分との組み合わせとなるが、性能への影響に関する区分は規格の版によって相違がある。

この枠組みを用いる場合、それぞれの試験についてどの試験レベルでどの機能が Class A~E、あるいは Status I~IV のいずれを満足する必要があるか、また Class A~E や Status I~IV がそれぞれの機能が具体的にどのような状態となることを意味するのかを試験に先立って規定することが必要となるだろう。^{†11}

どの機能がどの判定基準に適合しなければならない

^{†10} device under test (被試験装置)。EUT (equipment under test) と呼ばれることもある。

^{†11} ここで示されているものは「設計通り」や「正常動作」などの表現を含んでいるが、この枠組みに従って判定を行なうためには少なくとも何が「設計通り」や「正常動作」なのかを明確にすることが必要となるだろう。

いかは、適用する規格、そのコンポーネントの機能や用途、そしてコンポーネントの製造業者や納入先の判断などに依存する。一般には、安全に関する機能についてはどの試験レベルでも危険側の誤動作は許容されないであろうが、高い試験レベルでの安全側の誤動作は許容されるかも知れない。また、安全に関係しない機能については、機能の劣化や、場合によっては機能の完全な喪失さえ許容されるかも知れない。

試験に際しては、評価が必要な機能、動作条件、具体的な判定基準などを事前に同定し、テスト・プランに記載するとともに、例えば監視機器、信号源、試験用プログラムなどが必要であればその準備を行なうべきである。安全に関する機能については、特に慎重な検討と準備が必要である。

2.10.1 ISO 11452-1:2005

ISO 11452-1:2005 では性能への影響に関する区分は functional status classification と呼ばれており、これは次のようなものとなる:

- Class 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。
- Class 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 Class A のままでなければならない。
- Class 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。
- Class 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。
- Class 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。

2.10.2 ISO 11452-1/A1:2008, ISO 11452-1:2015

ISO 11452-1:2005+A1:2008 や ISO 11452-1:2015 では性能への影響に関する区分は function performance status と呼ばれており、これは次のようなものとなる:

- Status I: 試験中、及び試験後、機能が設計通りに動作する。
- Status II: 試験中は機能が設計通りに動作しないが、試験後は自動的に正常動作に戻る。
- Status III: 試験中は機能が設計通りに動作せず、妨害が止められた後での DUT のオフ/オンやイグニッション・スイッチの操作のような運転手や乗客の簡単な関与なしでは正常動作に戻らない。
- Status IV: 試験中は機能が設計通りに動作せず、例えばバッテリーや給電線を外して再接続するようなより広範な関与なしでは正常動作に戻らない。試験の結果として、機能が恒久的な損傷を被ってはならない。

3 ISO 11452-2

3.1 参照規格

ISO 11452-2^[1] は ISO 11452 シリーズの他の規格と共通するような事項 (§2) について ISO 11452-1^[2] を参照しており、ISO 11452-2 のそれぞれの版での ISO 11452-1 への参照は次のようになっている:

- ISO 11452-2:2004 — ISO 11452-1 (日付なし)
- ISO 11452-2:2019 — ISO 11452-1:2015

ISO 11452-2:2004 は ISO 11452-1 を日付なしで参照しているため規定上は ISO 11452-1 の最新版が参照されることになるだろうが、ISO 11452-2:2004 はしばしば ISO 11452-1:2005(+A1:2008) と組み合わせられて用いられている。また、ECE R10.06^{[3][4]} は ISO 11452-2:2004 とともに ISO 11452-1:2005+A1:2008 を参照している。

ISO 11452-1 の版の試験の実施への影響は限定的ではあるものの、いずれの版を適用する場合もテスト・プランには適用する ISO 11452-2 と ISO 11452-1 の双方の版を明記すると良いだろう。

3.2 試験手続き

この試験は、試験台の上に DUT とハーネスを配置し、指定された周波数範囲で周波数掃引を行ないながら指定されたレベルの電磁界を照射することで行なう。

照射する電磁界のレベルは等方性電界プローブを基準としアンテナへの進行波電力を制御パラメータとした置換法で設定し、これは、

- DUTなどを配置しない状態での電界強度の校正 (§3.4)
- DUTなどを配置しての試験の実施 (§3.5)

の2つの段階を含む。

この規格は 80 MHz~18 GHz の周波数範囲をカバーする^{†12}が、これは試験法を定めているだけであり、実際に試験を行なう周波数範囲や試験の実施のために必要となるその他の様々な事項はこの規格を参照した規格で、及び/もしくはテスト・プランで規定することになる。

基本的には 400 MHz 以下では垂直偏波のみ、400 MHz 以上では垂直偏波と水平偏波で試験し、電界強度の校正もそれにに応じてそれぞれの偏波で行なう。

3.3 試験場所

3.3.1 ALSE

試験で発生する電磁界の施設外の漏洩を抑えるため、試験を実施する周波数範囲で適切なシールド性能を持つシールド・ルームが必要となる。この規格ではシールド・ルームのシールド性能に関する要求はないが、例えば日本国内では 40 dB 以上のシールド性能を持つことが、また設備外への電磁波の漏洩が微弱無線の要求^{†13}を満足することが必要とな

るだろう。^{†14 †15}

この試験法では単なるシールド・ルームでは壁などでの電磁波の反射が試験に著しい悪影響を与えることから、ALSE (absorber-lined shielded enclosure) と呼ばれる、壁と天井を電波吸収体で覆ったシールド・ルームが用いられる (図 12)。

この規格では ALSE の性能に関する要求もないが、ALSE の設計上の目標は試験領域内での反射波による影響が直接波によるものよりも 10 dB 以上低くなるようにすることであり、これは反射減衰量が 6 dB 以上の電波吸収体を用いることで達成できるかも知れない。

通常は床面には電波吸収体は置かないが、ISO 11452-2:2019 では床に厚さ 25 mm 以下の平らなフェライト・タイルがあることが許容される。

通常は問題とならないであろうが、高い出力の放射を行なう場合は電波吸収体の許容電力にも注意が必要となるかも知れない。^{†16}

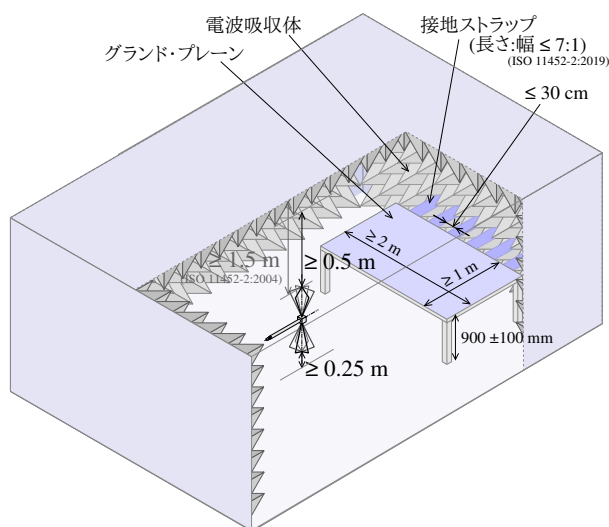


図 12: ALSE の概観

^{†14} 平成十八年総務省告示第七十三号 (電波法施行規則第六條第一項第一号の規定に基づく総務大臣が別に告示する試験設備), https://www.tele.soumu.go.jp/horei/law_honbun/72aa7939.html

^{†15} ケーブルを ALSE 外に引き出したい場合は §2.3 で述べたような対応が必要となりそうである。

^{†16} 例えば発生させられる放射電磁界の強度が最大 100 V/m とすると、それを電波吸収体に直接照射した場合でも損失は 30 W/m² 以下で、このレベルであればそれほど心配する必要はなさそうである。だが、例えば 600 V/m の連続波を電波吸収体に照射したとすると、約 1 kW/m² の損失を、従ってそれに応じた発熱を生じることになる。

^{†12} 低い周波数ではアンテナでの照射による試験は適当でなくなるため、この規格では周波数の下限を 80 MHz までに限定している。低い周波数では電磁界の機器への影響はハーネスへの電磁界の結合によるものが主となる傾向があるため、低い周波数範囲ではハーネスに妨害を注入する方法での試験、特に ISO 11452-4 (ハーネス励起法、特に BCI 法) が良く用いられる。

^{†13} 322 MHz~10 GHz では距離 3 m での電界強度が 35 μV/m 以下

3.3.2 グランド・プレーン

この試験は非導電性の試験台の上にグランド・プレーンとして厚さ 0.5 mm 以上の銅、黄銅、あるいは亜鉛めっき鋼の板を敷き、その上に試験対象となるシステムを配置して行なう。グランド・プレーンの面の高さは 900 ± 100 mm とする。

このグランド・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・ルームの壁か床に直流抵抗が $2.5 \text{ m}\Omega$ 以下となるように接続する。少なくとも ISO 11452-2:2019 では接地ストラップの長さとの比率は 7:1 以下でなければならない (図 12)。

グランド・プレーンの最小の大きさは 2000×1000 mm で、試験対象システムの大きさに応じてさらに大きい実際に必要な大きさのものを用いる。

一般に、グランド・プレーンは試験対象システム (テスト・ハーネスや周辺装置などを含む) 全体を全周に 100 mm 以上の余裕を持って配置できるような大きさが必要となる。但し、グランド・プレーン上に置かれたロード・シミュレータ (§2.3) の先に他の装置が接続される場合、ロード・シミュレータで適切に減結合されている (RF 境界が作られている) 限りはロード・シミュレータから先の配置やケーブルの引き回しは重要ではなく、そのような装置は顕著な悪影響なしにグランド・プレーンの外に置けると考えられる。

3.4 電界強度の校正

電界強度の校正は次のように行なうことができる:

1. 図 13 と図 14 に図示するように、

- 基準となる等方性電界プローブを、グランド・プレーンの前縁から 100 ± 10 mm の水平距離、グランド・プレーンから 150 ± 10 mm の高さ、かつ
 - $< 1 \text{ GHz}$ — 試験に際してテスト・ハーネスをグランド・プレーンの前縁と平行に引く 1500 mm の区間の中央
 - $> 1 \text{ GHz}$ — 試験に際して DUT が置かれる位置の正面

の位置にフェーズ・センターを合わせるように、望ましくはプローブのいずれかの軸を電界の偏波面に合わせて置く。

- 放射アンテナは試験の際と同じ位置に、すなわち電界プローブの正面、電界プローブのフェーズ・センターの位置から 1000 ± 10 mm の水平距離、かつグランド・プレーンから 100 ± 10 mm の高さにアンテナの基準点を合わせて置く。

放射アンテナとしてははしばしばダブル・リジッド・ウェーブガイド・ホーンが用いられ、この種の形状のアンテナでは基準点は開口面の中央となる。

他のタイプのアンテナを用いることもでき、対数周期アンテナ (LPDA) の場合はアンテナの先端、バイコンカル・アンテナの場合はアンテナの中央が基準点となる。

2. ISO 11452-1 で規定された最大周波数ステップ (表 3) よりも大きくない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 (等方性電界プローブの 3 軸の測定結果の RMS 値) 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^{†17}を記録する。
3. この校正は、無変調^{†18}で、また試験で使用する偏波に応じて垂直偏波と水平偏波で実施する。
4. 必要な場合、電力増幅器の出力の信号の品質が要求 (§2.6) を満たすこと、また試験系のリニアリティが維持されていることの確認も実施する。^{†27}

3.5 試験

3.5.1 試験対象システムの基本的なセットアップ

LV 系のみを含む試験対象システムの配置の例を図 15 と図 16 に示す。

放射アンテナは対応する校正の際と同じ位置に、すなわちテスト・ハーネスをグランド・プレーンの前縁と平行に引く位置から 1000 ± 10 mm の距離、

^{†17} 反射波電力は制御などには使用されないが、それを記録することが、また要求があればテスト・レポートに記載することが定められている。また、方向性結合器から先に異常 (例えば同軸ケーブルやアンテナの断線、コネクタの接触不良のような) があれば反射波電力が大きくなることが予想されるので、校正と試験に際して反射波電力にも注意を払うことは有用であろう。

^{†18} OEM (自動車メーカー) 規格などでは一部の試験について変調状態での校正が許容されている、あるいはそれが必要となることもある。^{†28} も参照。

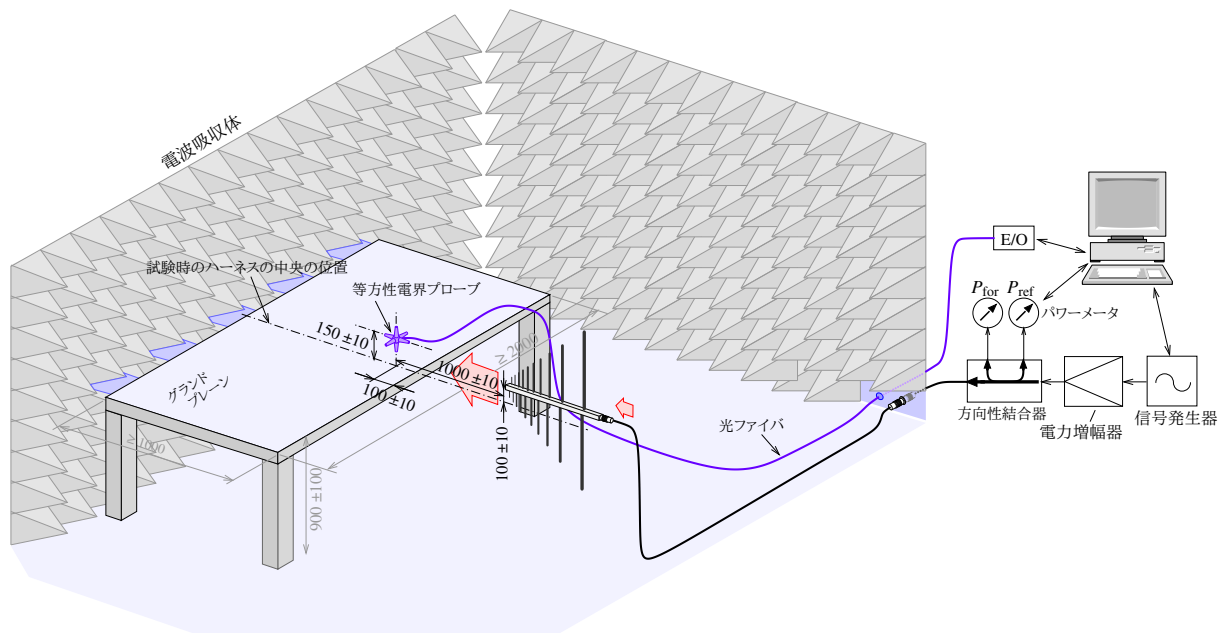


図 13: ISO 11452-2 校正セットアップの例 (≤ 1 GHz)

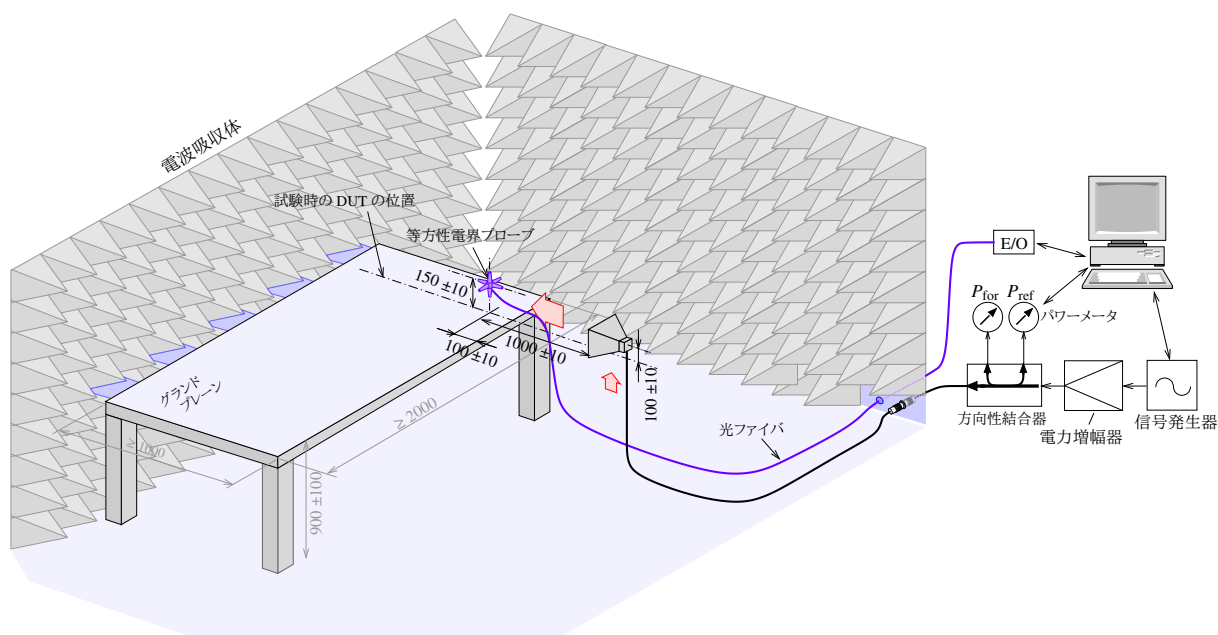


図 14: ISO 11452-2 校正セットアップの例 (≥ 1 GHz)

グラウンド・プレーンから 100 ± 10 mm の高さにアンテナの基準点を合わせて置く。

DUT は通常は厚さ 50 ± 5 mm の低誘電率 ($\epsilon_r \leq 1.4$)^{†19} の絶縁台の上に置く。但し、ISO 11452-2:2019 ではテスト・プランでこれと異なる配置を規定できる。

DUT のアンテナ側の面はグラウンド・プレーンの

^{†19} 密な材料は誘電率が高いため、発泡材 (例えば発泡ポリスチレン) が用いられる。

前縁から 200 ± 10 mm に合わせる。DUT のどの面をアンテナに向けて試験するかはテスト・プランで規定すべきである。

DUT の筐体は、それが実際の設置に際して車体に接続される場合は短いワイヤでグラウンド・プレーンに接続する。

DUT に接続されたテスト・ハーネスは厚さ 50 ± 5 mm の低誘電率 ($\epsilon_r \leq 1.4$) の絶縁台の上に置き、 1500 ± 75 mm がグラウンド・プレーンの前縁から

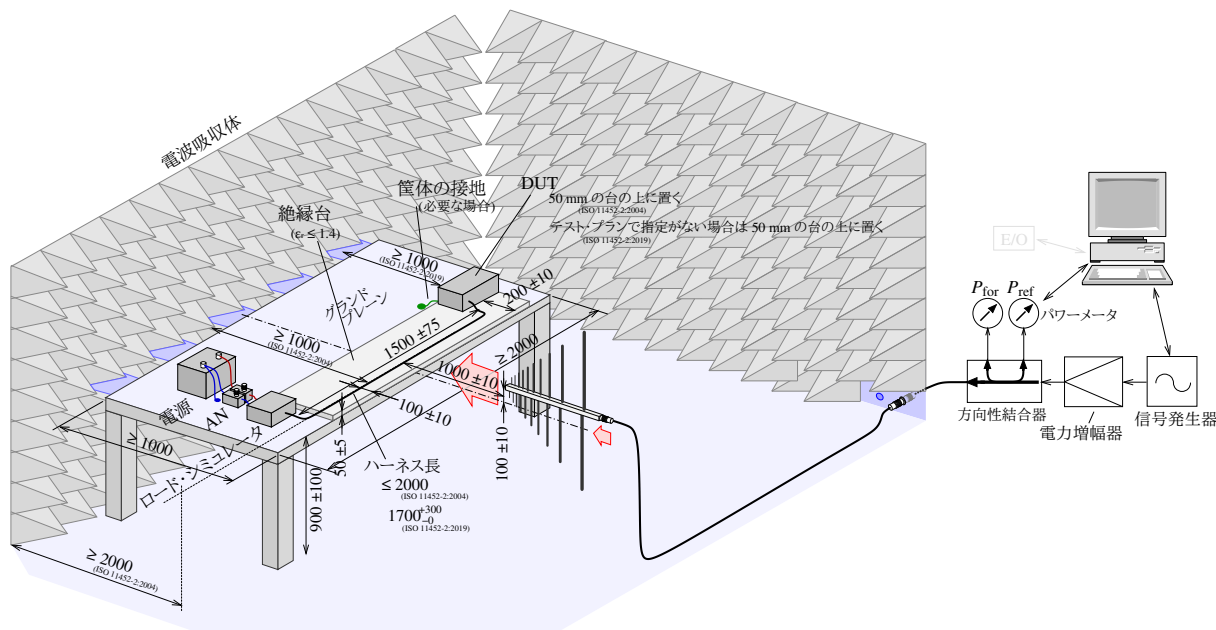


図 15: ISO 11452-2 試験セットアップの例 (≤ 1 GHz)

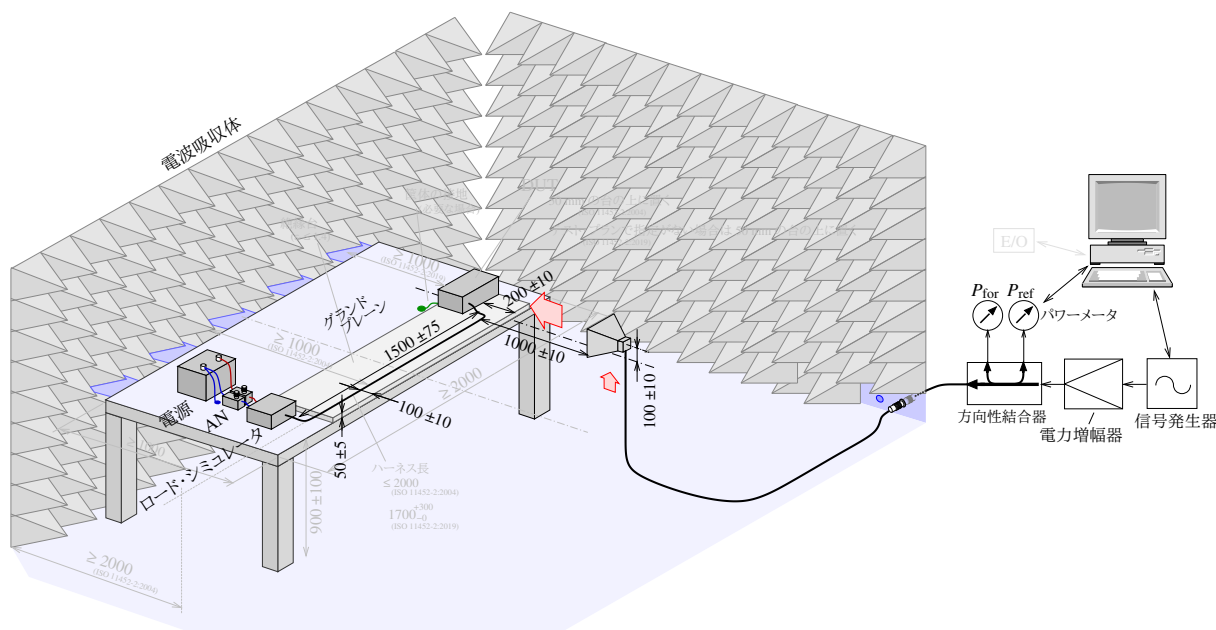


図 16: ISO 11452-2 試験セットアップの例 (≥ 1 GHz)

100 ± 10 mm の距離で前縁と平行となるように引いてロード・シミュレータ (§2.3) に接続する。

少なくとも ISO 11452-2:2019 では DUT やロード・シミュレータに接続されるハーネスの詳細な配置はテスト・プランで規定する。

また、少なくとも ISO 11452-2:2019 では(また、ISO 11452-2:2004 でも ISO 11452-1:2015 を参照する場合は) 使用するロード・シミュレータはコモン・モード・インピーダンス、及び/もしくはディファレ

ンシャル・モード・インピーダンスなどに留意して設計されたものでなければならない (§2.3)。

このセットアップ全体は、1 GHz 以下の試験ではグラウンド・プレーンの前縁と平行に引かれる 1500 mm の区間の中央が、1 GHz 以上の試験では DUT が送信アンテナの正面の位置となるように配置する。^{†20}

^{†20} これは、一般に低い周波数ではハーネスへの結合が支配的と考えられるが周波数が高くなると DUT への直接の影響の寄与が高くなるとともに使用されるアンテナの指向性が鋭くなる

3.5.2 HV 電源に接続されるシステムのセットアップ (ISO 11452-2:2019)

ISO 11452-2:2019 ではシールドされた電源システムから給電される装置に対する試験の方法が追加されており、これは電気自動車のインバータや充電システムのように HV (高圧) 電源^{†1} (例えば DC 300 ~ 500 V 程度のバッテリーのような) に接続されるシステムの試験に用いることができる。^{†21}このようなシステムは充電のために DC や AC の電源にも接続されることもある。

このようなシステムの試験セットアップの例を図 17 と図 18 に示す。

基本的な事項は §3.5.1 と共通であり、追加となる主な事項は:

- HV 電源ラインは HV-AN (§2.2.2) を介して接続する。必要な場合、実際の使用状況でのコモン・モードやディファレンシャル・モードのインピーダンスを模擬するためのインピーダンス整合回路網を HV-AN と DUT のあいだに接続することもできる。

HV 電源のハーネスがシールドされている場合、そのシールドは HV-AN のシールド・ボックスに適切に接続する。ケーブルのシールドとシールド・ボックスのあいだの接続、またシールド・ボックスとグラウンド・プレーンとのあいだの接続は測定結果に有意な影響を与える可能性があり、実際の使用での状況を模擬するために意図的に別の形とする場合以外は高周波的に良好な接続を行なうべきである。^{†22}

- バッテリ充電器の試験では、
 - 充電用の AC 電源ラインは床のグラウンド・プレーン上に置かれた AMN (§2.2.3) を介して接続し、充電器の PE (保護接地)

傾向があり、高い周波数ではアンテナをハーネスの中央に向けて置いたのでは適切な試験を行なえなくなる可能性が高まるためである。アンテナを DUT の正面に置いた場合はハーネスの大部分がアンテナの照射範囲から外れる可能性が高いが、1 GHz 以上の周波数ではハーネスは DUT から 10 cm 程度までの部分がアンテナの視野に入っていれば充分と考えられる。

^{†21} ECE R10.06^{[2][4]} は ISO 11451-2:2004 を参照しているが、これと同様の規定を含む。

^{†22} ケーブルのシールドのシールド・ボックスへの接続は、例えば HV-AN のシールド・ボックスに取り付けられた EMC 用のケーブル・グラウンド (cable gland) を用いてケーブルのシールドを全周でシールド・ボックスに接続することで行なえる (図 5)。いわゆる「ピッグ・テール」接続は一般に許容できない。

導体は卓上のグラウンド・プレーンと AMN の PE 端子に接続する^{†23}(図 17)。

- 充電用の DC 電源ラインは他の HV 電源ラインと同様に HV-AN を介して接続する。^{†24}

- AN、HV-AN、AMN の測定ポートは全て 50 Ω の終端器 (AN などに内蔵のもの、あるいは外付けの同軸終端器) で終端する。

- テスト・プランでこれと異なる規定がない限り、DUT はグラウンド・プレーン上に直接置き、直接もしくは規定されたインピーダンスを介してグラウンド・プレーンに接続する。

バッテリー充電器はグラウンド・プレーンに接続する。

- LV 系のハーネスをグラウンド・プレーンの前縁の最も近くに、HV 系のハーネスをその隣に引いた配置での試験に加え、テスト・プランでこれと異なる規定がない限り、その逆に HV 系のハーネスをグラウンド・プレーンの前縁の最も近くに、LV 系のハーネスをその隣に引いた配置での試験も行なう。

テスト・プランでこれと異なる規定がない限り、充電用電源のハーネスはグラウンド・プレーンの前縁から最も遠くに引く。

- グラウンド・プレーンの前縁の最も近くに引くハーネスのグラウンド・プレーンの前縁からの距離は 100 ± 10 mm とする。

- LV 系、HV 系、及び充電用電源のハーネスの間隔はそれぞれ 100_{-0}^{+100} mm とする。

- LV 系と HV 系のハーネス長は 1700_{-0}^{+300} mm、それらのハーネスのグラウンド・プレーンの前縁と平行な部分の長さは 1500 ± 75 mm とする。これは充電用電源のハーネスには適用しない。

- シールドされたハーネスの構造とコネクタ終端は車両での使用を代表するものでなければならず、これはテスト・プランで規定しなければならない。

^{†23} AMN の PE 端子への接続は通常は充電器の電源コードを AMN のアウトレットに挿すだけで行なえる筈である。

^{†24} CISPR 25:2021^[6] や ECE R10.06^{[3][4]} と異なり充電用の DC 電源ラインに DC-charging-AN を用いるという規定はない。

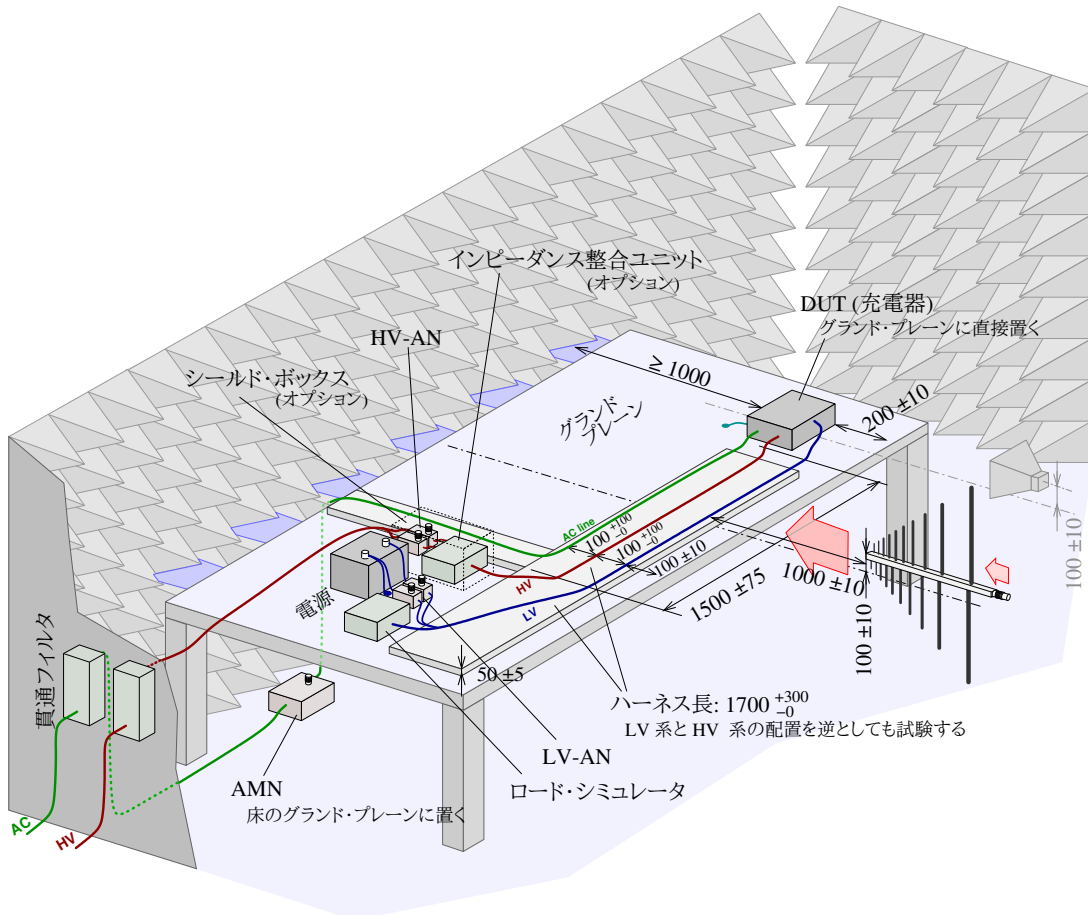


図 17: オンボード AC 充電器の試験セットアップの例

● モータが含まれる場合、

- DUT とモータのあいだのケーブル長は 1000 mm 以下とする。
- モータ (電動機) は別のグラウンド・プレーンに置いて良い^{†25}が、テスト・プランでグラウンド・プレーン間の接続の構成を規定しなければならない。
- モータは非導電性の取付台上に取り付け、そのハウジングをグラウンド・プレーンに接続する。^{†26}
- 負荷機械模擬装置を使用する場合、DUT と負荷機械模擬装置のあいだの接続の条件、また必要な接地の条件をテスト・プランで規定する。

^{†25} 強度や振動などの理由のため、グラウンド・プレーンを分離することが望ましい、あるいは必要となるかも知れない。

^{†26} 特に大型のモータでは固定部が相当の力や振動を受けるかも知れず、固定にかなりの注意が必要となるかも知れない。

3.5.3 試験の実施

指定された周波数範囲で、また ISO 11452-1 で規定された最大周波数ステップ (表 3) よりも大きくない指定された周波数ステップで周波数掃引を行ないながら、それぞれの周波数で放射アンテナへの進行波電力が指定された電界強度を発生させるために必要な値となるように信号発生器の出力を調整し、指定された変調 (§2.7) の電磁界を指定されたドウェル・タイム (§2.8) のあいだ出力させ、DUT への影響を確認する。

電界強度 E_{test} の発生のために必要な進行波電力 P_{test} は校正 (§3.4) で得られた進行波電力 P_{cal} とその時の電界強度 E_{cal} とから、

$$P_{test} = P_{cal} \left(\frac{E_{test}}{E_{cal}} \right)^2$$

として算出できる。^{†27}

^{†27} この電力の換算は試験系のリニアリティが維持されていることを前提としている。この規格ではリニアリティの確認に関

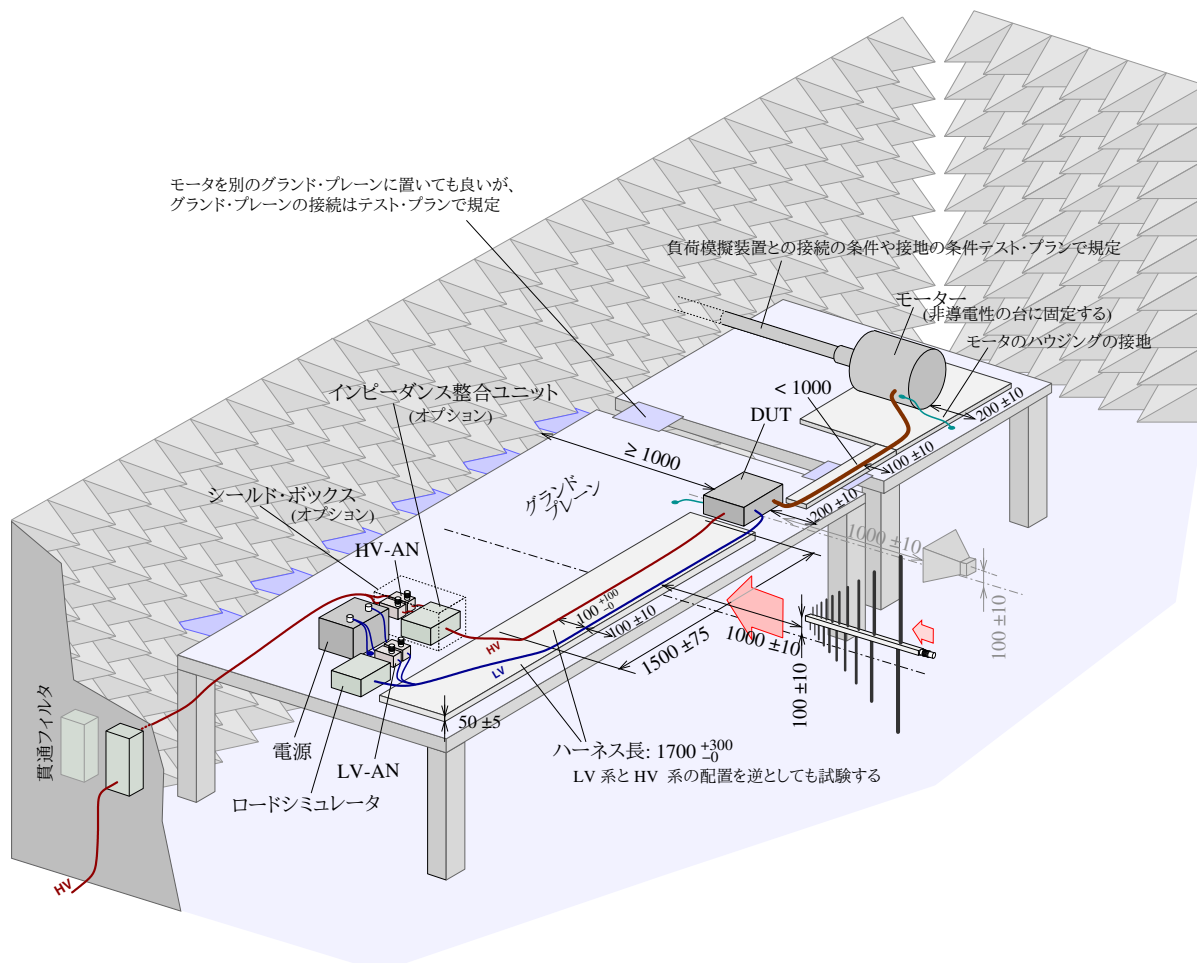


図 18: モーターを含むシステムの試験セットアップの例

試験では発生させる妨害に変調 (§2.7) を掛けることが多いが、進行波電力 P_{test} は無変調での値として定義されているため、

- 出力レベルの調整を無変調で行なった後、ピークのレベルを変えないように変調を掛ける
- アベレージ・パワー・センサを用いている場合、変調波形から求めた換算係数を用いて電力の換算を行ない、変調を掛けたままで出力レベルの調整を行なう (ISO 11452-1:2015 §C.4.2 参照)
- 所定の変調を掛けた時も無変調の時と同じ値を得られる PEP (peak envelope power) パワー・センサを用い、変調を掛けたままで出力レベルの調整を行なう

のいずれかの対応が必要となりそうである。

する要求はないものの、校正 (§3.4) の際にリニアリティを確認するのは良い考えと思われる。

PM 2 (§2.7) の場合、出力レベルの調整を無変調 (連続波) で行なうと DUT に極度に過大な電力を照射して誤った誤動作を引き起こす可能性がある (また、電力増幅器がその出力での連続波の出力に対応していることが必要となる^{†28}) ため、その変調波形に対応した PEP (peak envelope power) パワー・センサの使用が不可欠となるかも知れない。

基本的には周波数掃引は ISO 11452-1 で規定された最大周波数ステップ (表 3) よりも大きくない指定された周波数ステップで行なうが、DUT の感受性の閾値が試験レベルに非常に近そうな場合、最小の感受性閾値を見付けるためにその周波数範囲で周波

^{†28} この規格では校正は無変調で行なうので、いずれにしても電力増幅器はその出力での連続波の出力に対応していることが必要となる。だが、OEM 規格などではこの規格をベースとしながらも、PM 2 での高い電界強度 (例えば 300 V/m や 600 V/m) での試験、いわゆるレーダー・パルス試験についてはパルス出力での校正を許容していることがあり、そのような場合、その電界強度の発生のために必要となる高い出力を連続的に出力できる電力増幅器の代わりにパルス出力にのみ対応した電力増幅器を用いての対応が可能となる。

数ステップを小さくすべきである。

試験を実施したい周波数が校正が行なわれた周波数と異なる場合、例えば校正の際の周波数ステップよりも小さい周波数ステップでの試験を行ないたい場合の対応に関する記載はないが、ISO 11452-4:2020 には補間に伴う誤差が 0.5 dB 以下であれば校正された周波数のあいだの補間が許容される旨の記載があり、この試験でも同様にしても良いかも知れない。

3.6 テスト・プラン

試験に先立って試験の実施のために必要な全ての情報を記載したテスト・プランを作成する。

これには少なくとも以下の事項を含めることが必要となるだろう：

- 試験セットアップ (使用する DUT、ロード・シミュレータ、その他の周辺機器の一覧とその配置、DUT の向きなどを含む)
- DUT の動作モード
- DUT の合格基準
- 試験周波数範囲、またそれぞれの周波数範囲に対する以下のものを含む試験条件：
 - － 試験厳しきレベル (電界強度)
 - － 変調 (§2.7)
 - － ドウエル・タイム (それぞれの周波数の妨害を印加する時間; §2.8)
 - － 周波数掃引ステップ (§2.9)
- DUT の監視の条件
- DUT の近くでのテスト・ハーネスの詳細な引き直し
- アンテナの位置
- テスト・レポートの内容

また、標準的な試験方法からの逸脱やその他の特別な指示があれば、それらも全て記載する。

合格基準は、FPSC (§2.10) の枠組みに従い、それぞれの機能に対する Class A~E、あるいは Status I~IV の定義と、それぞれの試験厳しきレベルでそれぞれの機能が Class A~E、あるいは Status I~IV のいずれとなるかが許容されるかのマトリックスとして規定できるかも知れない。

3.7 試験レベルの例

試験レベルの例を 図 19 に示す。

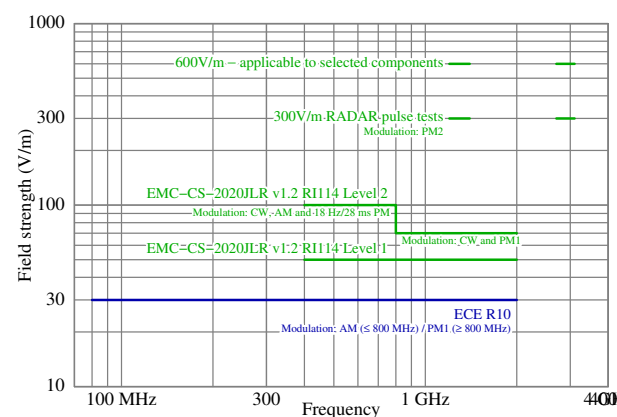


図 19: 試験レベルの例 (ECE R10.06^{[3][4]} と Jaguar Land Rover EMC-CS-2010JLR v1.2^[8])

4 補足

4.1 関連規格

ISO 11452-2 と同様の事象の評価を意図した、また ISO 11452-2 と同様に DUT とハーネスに電磁界を照射する方法に基づく別の試験法として、ALSE ではなくリバブレーション・チャンバーを用いるものが ISO 11452-11^{†29} で述べられている。

近年は例えば車内での携帯電話の使用のような近傍での無線送信の影響も懸念となっているが、ISO 11452-2 や ISO 11452-11 はこのような現象の模擬にはあまり適していない。このため、そのような近傍での無線送信の影響の模擬を意図した試験法として ISO 11452-9^{†30} が別に発行されている。

ISO 11452-2 や ISO 11452-11 のような DUT とハーネスに電磁界を照射する方法での試験は低い周波数に対する試験にもあまり適しておらず、低い周波数範囲の電磁波の影響の評価のためにはハーネスに妨害を注入することによる試験、特に ISO 11452-4^{†31} が良く用いられている。ISO 11452-4 で述べら

^{†29} ISO 11452-11, *Road vehicles – Component test methods for electrical disturbances by narrowband radiated electromagnetic energy – Reverberation chamber*

^{†30} ISO 11452-11, *Road vehicles – Component test methods for electrical disturbances by narrowband radiated electromagnetic energy – Portable transmitters*

^{†31} ISO 11452-11, *Road vehicles – Component test methods for electrical disturbances by narrowband radiated electromagnetic energy – Harness excitation methods*

れている BCI 法は 400 MHz までの周波数範囲をカバーし、しばしば 200 MHz や 400 MHz あたりを区切りとして ISO 11452-4 と ISO 11452-2 の切り替えが行なわれている。

これらの規格を含め、ISO 11452 シリーズの規格については [5] で簡単に解説している。

5 参考資料

- [1] ISO 11452-2, *Road vehicles — Component test methods for electrical disturbances from narrow-band radiated electromagnetic energy — Part 2: Absorber-lined shielded enclosure*
- [2] ISO 11452-1, *Road vehicles — Component test methods for electrical disturbances from narrow-band radiated electromagnetic energy — General principles and terminology*
- [3] ECE Regulation No. 10 Revision 6, *Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to electromagnetic compatibility*, United Nations, 2019
<https://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs1-20.html>
- [4] ECE Regulation No. 10.06 の概要, 株式会社 e・オートマ, 2014–2021,
<https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>
- [5] ISO 11452 シリーズの概要, 株式会社 e・オートマ, 2014–2020,
<https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>
- [6] CISPR 25 の概要 — 車載機器のエミッションの評価, 株式会社 e・オートマ, 2016–2023,
<https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>
- [7] 車載機器の EMC 試験の準備 — ロード・シミュレータ、テスト・ハーネスなどの準備, 株式会社 e・オートマ, 2018,
<https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>
- [8] EMC-CS-2010JLR v1.2, *Electromagnetic Compatibility Specification For Electrical/Electronic Components and Subsystems*, Jaguar Land Rover, 2012,
<http://emc.jaguarlandrover.com.edgesuite.net/docs/requirements.htm>