

ISO 11452 シリーズの概要

前編: ECE R10.06 に関する規格

株式会社 e・オートマ 佐藤智典

2020 年 4 月 2 日

目次

1 はじめに	1
2 ECE Regulation No. 10	1
3 ISO 11452 シリーズ	2
4 試験法	2
4.1 共通事項 (ISO 11452-1:2005+A1:2008)	2
4.1.1 変調	2
4.1.2 ドウェル・タイム	3
4.1.3 周波数掃引ステップ	3
4.1.4 合否判定	3
4.1.5 電源のインピーダンスの管理	5
4.1.6 DUT の接地	6
4.2 ISO 11452-2:2004 (ALSE)	6
4.3 ISO 11452-3:2016 (TEM セル)	7
4.4 ISO 11452-4:2011 (ハーネス励起法)	8
4.4.1 BCI 法	9
4.4.2 TWC 法	11
4.5 ISO 11452-5:2002 (ストリップライン)	12
5 試験での合格と現実の問題の防止	12
5.1 試験方法による結果の変動	13
5.1.1 試験法	13
5.1.2 DUT の配置	13
5.1.3 DUT の接地	13
5.1.4 ロード・シミュレータのインピーダンス	13
5.1.5 ハーネスの長さや引き回し	14
5.2 試験レベル	14
5.3 温度の影響	15
5.4 DUT の経年変化	15
5.5 安全関連機能と機能安全	15
6 BCI 法 (置換法) での妨害レベルの変動	16
6.1 電流注入プローブの位置の影響	16
6.2 ロード・シミュレータのインピーダンスの影響	16
6.3 ハーネス長の影響	17
6.4 DUT の接地ワイヤの影響	17
7 参考資料	18

1 はじめに

現代の自動車は、様々な目的のための、多数の電子回路を含むようになっている。電子回路は電磁干渉に伴う誤動作を生じ得るし、自動車で用いられている電子回路の誤動作は、その機能や誤動作の症状に応じて、ちょっとした問題から大事故までに至る、様々な影響をもたらし得る。一方、携帯電話やその他の無線デバイスの普及に代表されるように電波の利用は拡大し続けており、これは電磁干渉の発生の機会を増大させている。従って、問題の防止のため、そのような電子コンポーネントが電磁妨害への高い耐性 (イミュニティ) を持つことも重要となる。

コンポーネントを供給する上での最低限のイミュニティ要求や試験法は、国際的あるいは国家的な基準、業界団体規格、自動車メーカー (OEM) 規格などで規定され得るが、本稿では国際規格である ISO 11452 シリーズのうち、国際連合が発行した規則である ECE Regulation No. 10^{[1][9]} に関する規格について述べる。

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^[2]を参照していただきたい。

2 ECE Regulation No. 10

ECE Regulation No. 10 (ECE R10)^{[1][9]} は、車両等の相互承認に関する国際的な協定 (1958 年協定) に基づいて国際連合が発行した、路上での使用が意図された車両やそのような車両への取り付けが意図されたデバイスの EMC に関する規則である。名前に ECE (UNECE; 国際連合欧州経済委員会) が含まれているものの、ECE R10 で定められてい

る技術的要求事項は欧州以外の複数の国でも受け入れられている。

ECE R10 の現時点での最新版は 2019 年に発効した Revision 6 (ECE R10.06) であり、これはイミューニティ評価に関連して以下の国際規格を参照している:

- ISO 11451 — Road vehicles – Vehicle test methods for electrical disturbances by narrow-band radiated electromagnetic energy (路上走行車 — 狭帯域放射電磁エネルギーによる電氣的妨害に対する車両試験法)
 - ISO 11451-1:2005+A1:2008 — General and definitions (一般原則及び用語)
 - ISO 11451-2:2015, Off-vehicle radiation sources (車両外放射源)
 - ISO 11451-4:2013, Bulk current injection (BCI) (バルク電流注入 (BCI))
- ISO 11452 — Road vehicles – Component test methods for electrical disturbances by narrow-band radiated electromagnetic energy (路上走行車 — 狭帯域放射電磁エネルギーによる電氣的妨害に対するコンポーネント試験法)
 - ISO 11452-1:2005+A1:2008 — General and definitions (一般原則及び用語)
 - ISO 11452-2:2004 — Absorber-lined shielded enclosure (吸収材に裏打ちされたシールドルーム)
 - ISO 11452-3:2016 — Transverse electromagnetic mode (TEM) cell (トランスバース電磁モード (TEM) セル)
 - ISO 11452-4:2011 – Harness excitation methods (ハーネス励起法)
 - ISO 11452-5:2002 — Stripline (ストリップライン)
- ISO 7637 — Road vehicles – Electrical disturbance from conduction and coupling (路上走行車 — 伝導と結合からの電磁妨害)
 - ISO 7637-2:2004 — Electrical transient conduction along supply lines only (電源線だけに沿う過渡電氣伝導)

- IEC 61000-4 — Electromagnetic Compatibility (EMC) – Testing and measurement techniques (電磁両立性 (EMC) — 試験及び測定技術)

- IEC 61000-4-4:2004 — Electrical fast transients/burst immunity test (電氣的ファスト・トランジェント/バースト・イミューニティ試験)
- IEC 61000-4-5:2005 — Surge immunity test (サージ・イミューニティ試験)

3 ISO 11452 シリーズ

ISO 11452 シリーズ^[2] は自動車用の電子コンポーネントの放射電磁エネルギー (電波、磁界など) 等に対するイミューニティの評価の方法を定めた国際規格である。これは、上記の ECE R10.06 での試験法の一部として採用されている他、自動車メーカー規格などでの試験法のベースとしても用いられている。

ISO 11452 シリーズの現時点での最新版、及び ECE R10.06 で参照されている版の、規格番号、表題、及び適用可能な周波数範囲を表 1 に示す。本稿ではこれらの規格のうち表 1 で太字で示した ECE R10.06 で参照されている規格について、後編では ISO 11452 シリーズのその他の規格について述べる。

4 試験法

4.1 共通事項 (ISO 11452-1:2005 + A1:2008)

4.1.1 変調

ISO 11452-1 では以下の変調 (図 2) が規定されており、ECE R10.06 では、800 MHz 以下では振幅変調 (AM)、800 MHz 以上ではパルス変調 (PM, PM 1) での試験が指定されている:

- 連続波 (CW)
 - 一定振幅の、単一周波数の高周波
- 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

表 1: ISO 11452 シリーズ

規格	表題	周波数範囲
ISO 11452-1:2005 + A1:2008	General principles and terminology (一般原則及び用語)	—
ISO 11452-2:2004	Absorber-lined shielded enclosure (吸収材に裏打ちされたシールドルーム)	80 MHz～18 GHz
ISO 11452-3:2016	Transverse electromagnetic mode (TEM) cell (トランスバース電磁モード (TEM) セル)	0.01 MHz～200 MHz
ISO 11452-4:2011	Harness excitation methods (ハーネス励起法) BCI 法 TWC 法	1 MHz～3 GHz 1 MHz～400MHz 400 MHz～3 GHz
ISO 11452-5:2002	Stripline (ストリップライン)	0.01 MHz～400 MHz
ISO 11452-7:2003 + A1:2013	Direct radio frequency (RF) power injection (無線周波 (RF) 電力の直接注入)	0.25 MHz～500 MHz
ISO 11452-8:2015	Immunity to magnetic fields (磁界に対するイミュニティ)	DC, 15 Hz～150 kHz
ISO 11452-9:2012	Portable transmitters (可搬型送信器)	26 MHz～5.85 GHz
ISO 11452-10:2009	Immunity to conducted disturbances in the extended audio frequency range (拡張オーディオ周波数範囲における伝導妨害へのイミュニティ)	15 Hz～250 kHz
ISO 11452-11:2010	Reverberation chamber (リバブレーション・チャンバー)	～18 GHz

- パルス変調 (PM)

GSM の TDMA (時分割多元接続) の送信を模擬する、 $t_{on} = 577 \mu s$ 、周期 = $4\,600 \mu s$ (デューティー 1/8) の間欠的な出力;

ISO 11452-1:2015 ではレーダー・パルスを模擬する $t_{on} = 3 \mu s$ 、周期 = $3\,333 \mu s$ の PM 2 が追加された

合のような) や反応に遅れがある場合 (例えばセンサ入力が時定数 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。

4.1.2 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^{†1}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る必要がある。

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

4.1.3 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、ISO 11452-1 では最大のステップ幅は表 2 の通りとなる。

4.1.4 合否判定

どの機能がどの判定基準に適合しなければならないかは、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

^{†1} device under test (被試験装置)。EUT (equipment under test) と呼ばれることもある。

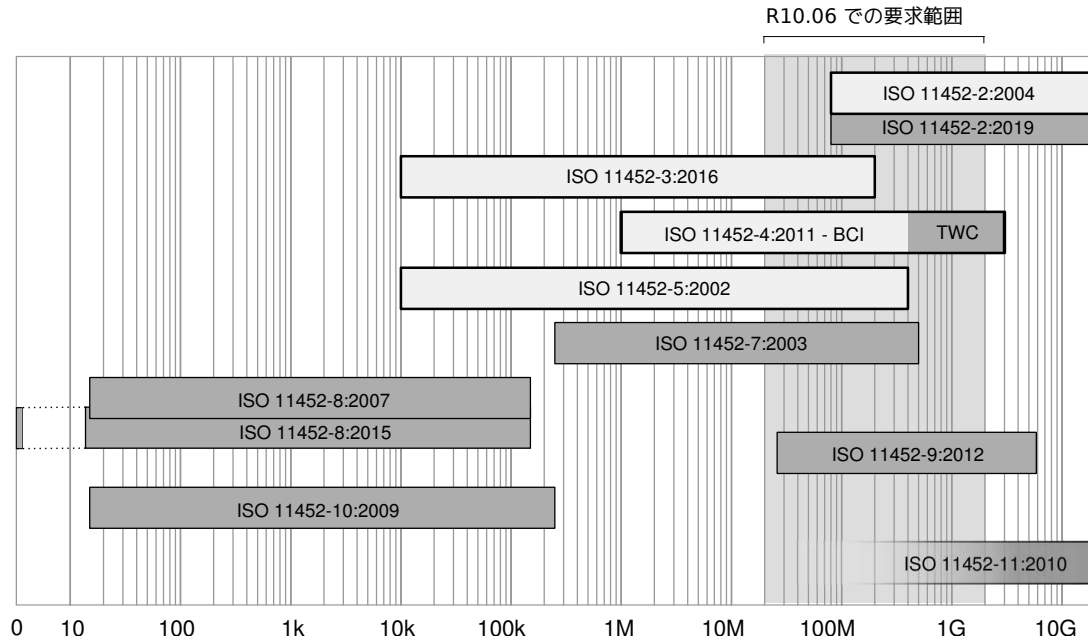


図 1: ISO 11452 シリーズの各試験法の周波数範囲

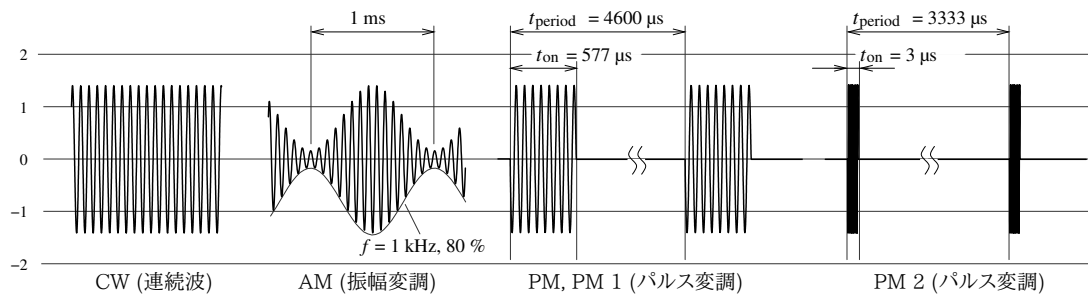


図 2: 変調

表 2: 周波数掃引ステップ

周波数帯 MHz	リニア・ステップ MHz	対数ステップ %
0.01~0.1	0.01	10
0.1~1	0.1	10
1~10	1	10
10~200	5	5
200~400	10	5
400~1 000	20	2
1 000~18 000	40	2

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。

ECE R10 に関しては、本稿で述べる範囲の試験

でイミュニティ評価の対象となるのは「イミュニティ関連機能」(ECE R10.06^{[1][9]} 参照)のみであり、妨害の印加中やその後にイミュニティ関連機能の劣化がなければ合格と判断できる。

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。

FPSC ISO 11452-1:2005+A1:2008 は、イミュニティ評価に関連して、function performance status、及び試験厳しさレベルから成る、FPSC (functional performance status classification) と呼ばれる枠組みを定めている。

Function performance status は性能の判定の枠

組みで、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。

この枠組みを用いる場合、それぞれの試験についての試験レベルでどの機能が Status I~IV のいずれかを満たす必要があるか、また 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。^{†2}

4.1.5 電源のインピーダンスの管理

一部の試験を除き、DC 12 V や 24 V などの低圧直流電源^{†3}は、電源のインピーダンスの管理のため、適切な電源から AN (artificial network)^{†4}を介して給電する。

ISO 11452 シリーズの規格での試験で低圧直流電源に使用する AN は図3に示すような $5\ \mu\text{H}/50\ \Omega$ のもので、図4に示すようなインピーダンス特性を持つ。

低圧電源自身は、

- 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

^{†2} 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。

^{†3} この分野では、通常、直流の場合は 60 V 以下の電圧が低圧 (LV)、60 V を超える電圧が高圧 (HV) とみなされる。

^{†4} LISN (line impedance stabilization network) とも呼ばれる

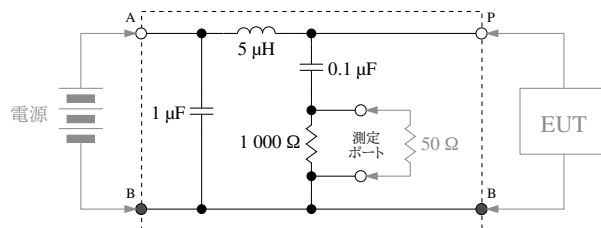


図 3: $5\ \mu\text{H}/50\ \Omega$ AN の構成 — 測定ポートは $50\ \Omega$ で終端して使用する

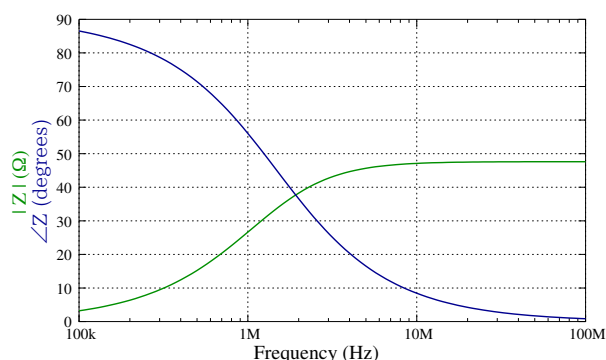


図 4: $5\ \mu\text{H}/50\ \Omega$ AN のインピーダンス Z_{PB} (端子 A-B 短絡状態での計算値)

- リップル電圧は $0.2\ \text{V}_{P-P}$ を超えず、その周波数は 400 Hz を超えない

ものでなければならない。また、電源からの配線はできる限り短くすべきである。

ISO 11452-1:2015 での変更 ISO 11452-1:2015 では電気自動車やハイブリッド自動車のためのコンポーネントの評価で必要となることがある次のような AN、AMN、AAN の規定も追加されている:

- HV-AN (high voltage artificial network)
— 高圧直流電源用
- AMN (artificial mains network)
— 交流電源用
- AAN (asymmetric artificial network)
— 通信線用

HV-AN は $5\ \mu\text{H}/50\ \Omega$ の AN で、上記の低圧直流電源用の AN と似ているが、回路例が電源入力側に $1\ \mu\text{F}$ ではなく $0.1\ \mu\text{F}$ と $1\ \text{M}\Omega$ を入れたものとなっており、また通常はシールド・ケースに入れて電源ケーブルのシールドを適切に処理できるようにすることが必要となる。必要な場合、HV-AN と

DUT のあいだにインピーダンス整合回路網を追加しても良い。

AMN と AAN は CISPR 16-1-2 で規定されたもので、従来から一般の電気機器のエミッション測定で使用されているものと同様のものである。但し、PLC (電力線通信) については特別な規定が定められている。

また、従来から用いられている低圧電源用の $5\ \mu\text{H}/50\ \Omega$ AN について、インピーダンスの位相角とアイソレーションへの言及が加わっている。

ECE R10.06^{[1][9]} はさらに DC-charging-AN やいくつかの AAN の規定を含む。

4.1.6 DUT の接地

電源のマイナス側^{†5}(電源リターン線、グラウンド線)の接続をどのようにするかは、実車ででの接続の方法から決定する。

マイナス側の線をそのコンポーネントの近くで車体に落とす場合のように、実車で 200 mm 以下のワイヤで接続することを意図している場合には、プラス側の電源のみを AN を介して給電し、マイナス側の線はグラウンド・プレーンに落とす (図 5)。

マイナス側の線をプラス側と同様に離れた場所からワイヤで引く場合のように、実車で 200 mm よりも長いワイヤで接続することを意図している場合には、プラス側と同様、マイナス側も AN を介して接続する (図 6)。

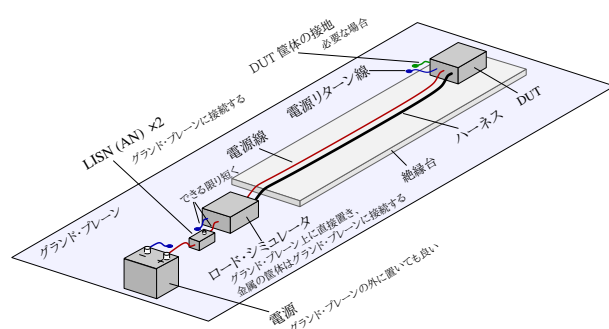


図 5: ローカルでの接地 — マイナス側の線が 200 mm 以下の場合

DUT の筐体をグラウンド・プレーンに接続するかどうか、実車で車体に接続されるかどうかから決定する。

^{†5} 現代では相当稀と思われるが、車両で電源のプラス側が車体に接続される場合にはマイナス側とプラス側を逆に読み替える。

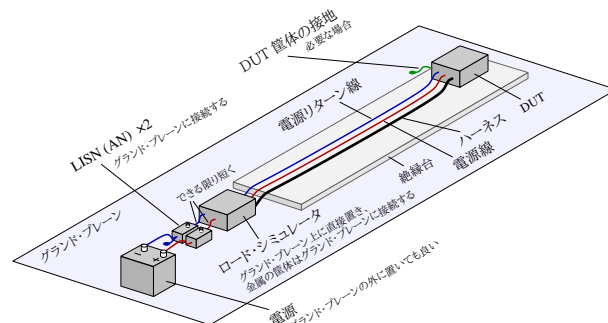


図 6: 遠隔での接地 — マイナス側の線が 200 mm よりも長い場合

4.2 ISO 11452-2:2004 (ALSE)

この試験は電波暗室 (absorber-lined shielded enclosure; ALSE) 内で送信アンテナから電磁界を放射して DUT とハーネスをその電磁界に曝すもので、最も素直な方法と言えるだろう。

だが、この実施のためには電波暗室 (反射の低減のために内面に電波吸収体を取り付けたシールド・ルーム) が不可欠であり、また高レベルの電磁界を得るためには強力な高周波電力増幅器が必要となるため、比較的高コストなものとなる。また、低い周波数では十分な強度の電磁界の発生や結合を行なうことが難しくなるため、この方法での試験はある程度高い周波数範囲に限られている。

電界強度 (試験レベル) は、DUT がいない状態で、高さ 900 ± 100 mm の机の上のグラウンド・プレーンの前縁から 100 ± 10 mm (試験時にハーネスが引かれる位置)、 150 ± 10 mm の高さに電界プローブを置き、電界プローブの正面 1000 ± 10 mm の距離、グラウンド・プレーンから 100 ± 10 mm の高さに送信アンテナを置いて校正する。

試験に際して、DUT は図 7 や 図 8 に示すように机上のグラウンド・プレーンの上の 50 ± 5 mm の低誘電率の絶縁性の台の上に置き、ハーネスの 1500 ± 75 mm の区間をグラウンド・プレーンの前縁から 100 ± 10 mm の位置に前縁と平行になるように配置したハーネスを介してロード・シミュレータ (対向器) に接続する。

1 GHz 以下の試験では図 7 のようにハーネスをグラウンド・プレーンの前縁と平行に引いた区間の中央が送信アンテナの正面となるように、1 GHz 以上の試験では図 8 のように DUT が送信アンテナの正面となるように配置し、ハーネスと DUT の双方に電磁界を照射する。

DUT とロード・シミュレータのあいだのハーネスは 2000 mm 以下でなければならず、ハーネスをグラウンド・プレーン上に置かれたロード・シミュレータに接続せずにグラウンド・プレーンの外に引き出す必要がある場合にはグラウンド・プレーンから出る前にハーネスをグラウンド・プレーンに接続された RF 境界 (例えば低域通過フィルタ) に通すようにする。

ECE R10 には REESS 充電モード^{†6}での試験のセットアップについての特別な規定も含まれており (図 9)、ISO 11452-2:2019 でもこれに類した規定が追加されている。

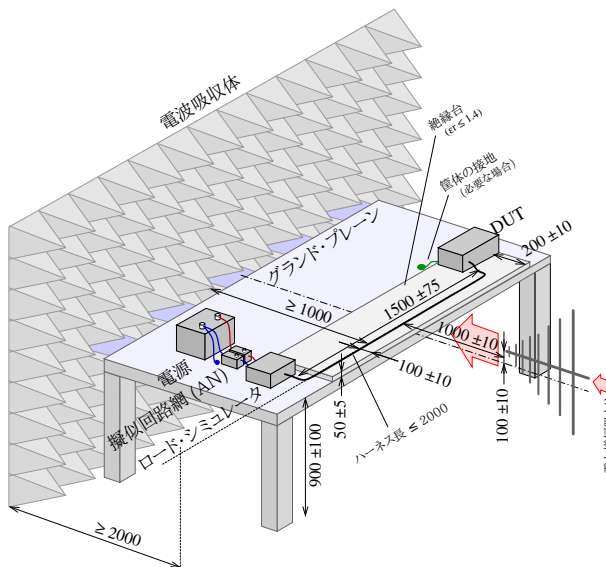


図 7: ISO 11452-2 試験セットアップの例 (≤ 1 GHz)

4.3 ISO 11452-3:2016 (TEM セル)

この試験では DUT は TEM セルの床面とセプタム (隔壁) のあいだに発生させられた TEM 波^{†7}に曝される。

この試験で用いられる TEM セルはそれ自身がシールドされていることから、本稿で述べる他の試験法と異なり、基本的には電波暗室やシールド・ルームを必要としない。^{†8}この試験法は低い周波数から

^{†6} REESS 充電モードとは、電気自動車やプラグイン・ハイブリッド自動車の動力用バッテリーを外部からの給電で充電すること。

^{†7} transverse electromagnetic wave (横電磁界波)。電磁界が進行方向と直角の方向の成分のみから成る波。

^{†8} これは TEM セルから引き出されるワイヤが十分にフィルタされていることを前提としている。TEM セルから引き出されるワイヤが十分にフィルタされていない場合は電磁界の著しい漏洩が生じる可能性があるため、シールド・ルーム内での使用が必要となるかも知れない。

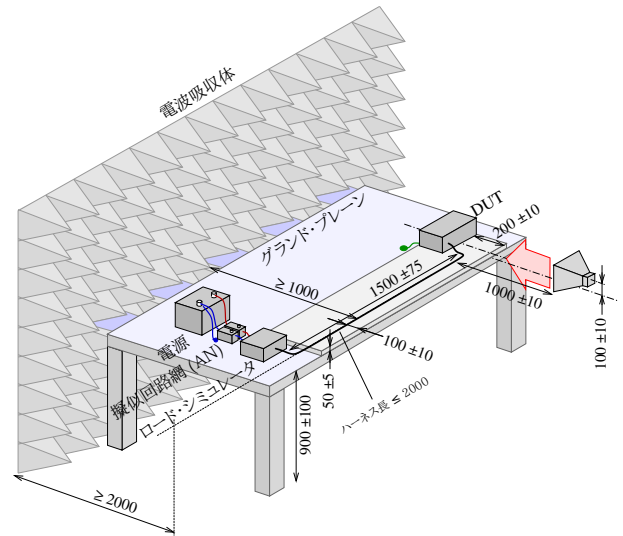


図 8: ISO 11452-2 試験セットアップの例 (≥ 1 GHz)

使用可能であり、また比較的小さい電力で高い電界強度を得ることができる。だが、標準的な 200 MHz まです使用可能なセルの高さは約 0.6 m で、DUT の高さはセルの高さの 1/6 ままでに制限されるため、大きな DUT の試験には適さない。また、ハーネスも電磁界に曝せるものの、長さが限られているため、ハーネスを介して結合する低い周波数の妨害の影響は適切に模擬できないかも知れない。

TEM セルの両端には同軸コネクタがあり、片側の同軸コネクタに電力増幅器から注入された高周波電力は、セル内を伝搬した後、反対側のコネクタに取り付けられた終端器で吸収される (図 10)。TEM セル内の電界強度^{†9}はセルに注入された正味電力 (net power) から計算によって求められ、試験レベルの設定は、

1. 発生させたい電界強度に対応する正味電力を計算で求める^{†10}
2. セルが空の状態、それぞれの周波数で上記の正味電力をセルに注入するために必要な進行波電力を記録する
3. セルに DUT を入れ、それぞれの周波数で上記の進行波電力をセルに印加する

^{†9} TEM セルの底面とセプタムのあいだの領域の中央付近、セルの幅の 1/3、底面とセプタムの間隔の 1/3 程度の領域では比較的均一な電磁界が得られる。試験では主にこの領域が用いられ、この計算で求められる電界強度はこの領域での電界強度を代表するものとなる。

^{†10} TEM セルの特性インピーダンスを Z 、セルの床面とセプタムとの間隔を d として、セルに正味電力 P を注入した時の電界強度は $E = \sqrt{Z \times P/d}$ 。

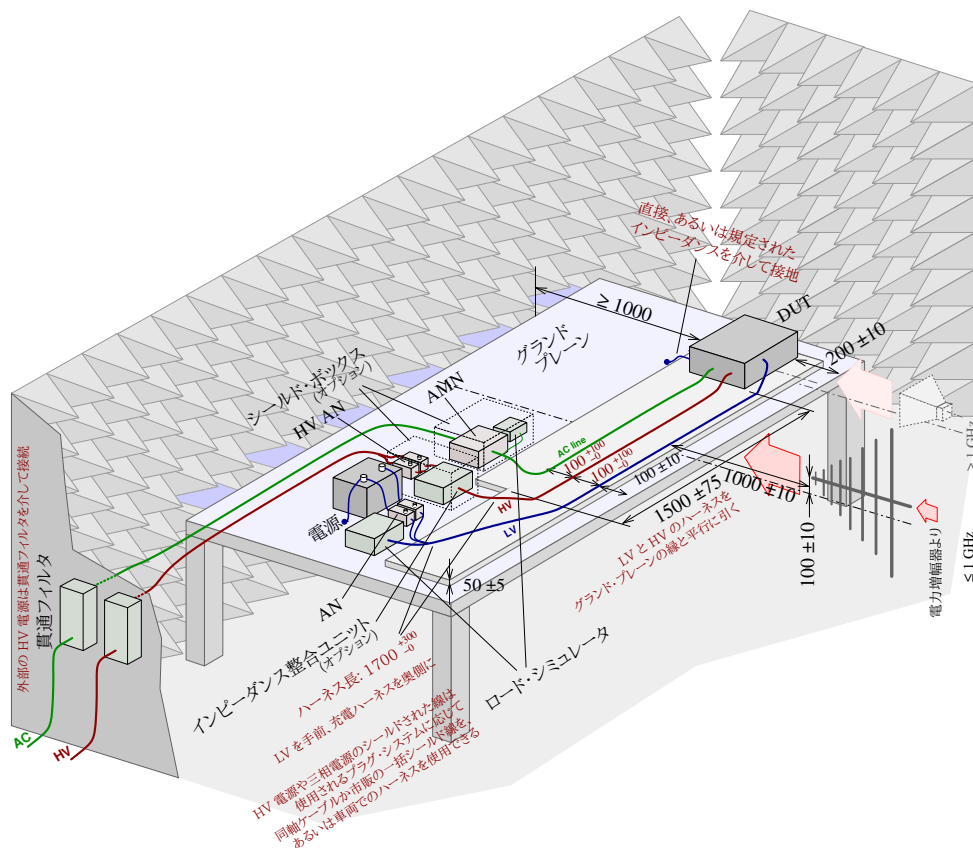


図 9: ISO 11452-2 試験セットアップの例 (ECE R10.06, REESS 充電モード)

ことで行なわれる。^{†11}

基本的にセル内では TEM 波が入力から出力に向けて伝搬するものと想定されているが、セルの寸法から決まる高次モードのカットオフ周波数よりも高い周波数の電力がセルに注入された場合、セル内で高次モードの電磁界や共振が発生し、試験に悪影響を与える可能性がある。このような問題の防止のため、この規格では試験周波数の上限はセルの寸法から決まるカットオフ周波数以下に制限されており、また電力増幅器の出力の高調波成分^{†12}がそのような問題を引き起こすことを防ぐために電力増幅器と TEM セルのあいだに例えばカットオフ周波数の 1.5 倍以上で 60 dB 以上の減衰を持つ高域遮断フィルタを入れることも必要となるかも知れない。^{†13}

DUT はセルの中央付近、セルの底面からセルの高さの 1/6 の高さに置き、DUT のみを電磁界に曝

す場合はハーネスはシールドしてセル底面に沿って引き (図 12)、ハーネスも電磁界に曝す場合はハーネスはセル側面下端に付けられたコネクタ・パネルに向けて斜めに引く (図 13)。



図 11: TEM セルの例 (写真は Teseq 社提供)

4.4 ISO 11452-4:2011 (ハーネス励起法)

低い周波数の電磁妨害は主にハーネスを介してコンポーネントに入り込む傾向があり、特にコンポーネントが小さい場合や良くシールドされている場合はかなり高い周波数でもハーネスの影響が支配的と

^{†11} この規格では電界プローブを用いて校正する方法はない。

^{†12} ISO 11452-1 で高調波成分は基本波の -12 dB 以下であることが要求されているが、このレベルの高調波も無視できない影響を与えるかも知れない。

^{†13} ISO 11452-3:2001 ではこのフィルタの挿入は要求事項となっていた。

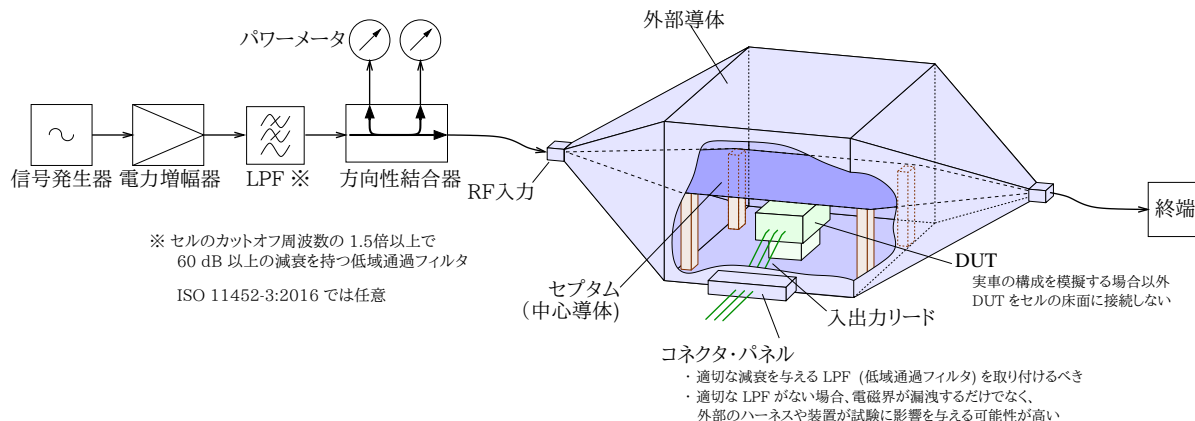


図 10: ISO 11452-3 試験構成 (正味電力での制御)

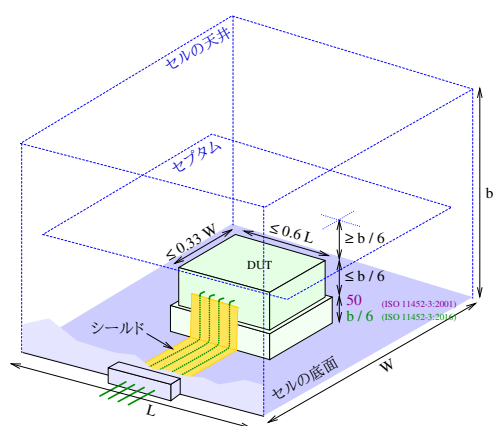


図 12: ISO 11452-3 — DUT とハーネスの配置 — DUT のみへの照射

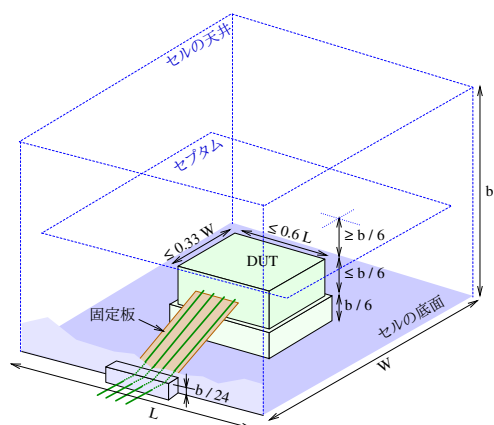


図 13: ISO 11452-3 — DUT とハーネスの配置 — DUT とハーネスへの照射

なりやすい。このようにハーネスの影響が支配的となるとみなせる状況では、ハーネスに妨害を注入することでコンポーネントの電磁妨害に対する免疫性の評価を行なえと考えられる。

ISO 11452-4:2011 では、このようにハーネスへの

妨害の注入によって試験を行なう方法として、BCI (bulk current injection) 法^{†14}と TWC (tubular wave coupler) 法が定められている。

4.4.1 BCI 法

BCI 法は電流注入プローブ (BCI プローブ) を用いてハーネスに高周波の妨害を注入してコンポーネントの免疫性を評価するもので、1~400 MHz に適用可能である。この試験では電磁界を空間に放射することは意図されていないものの、試験に際しては相当の電磁界が放射されるため、試験はシールド・ルーム内で行なうことが原則となる。

注入する妨害の強度は置換法と電力制限付き閉ループ法のいずれかの方法で設定する:

● 置換法:

図 14 に示すように、あらかじめ、電流注入プローブを校正治具に取り付けた状態で、各周波数で所望の電流を発生させるために電流注入プローブに印加する必要がある進行波電力を求めておく。

試験に際しては、図 15 に示すように DUT をグラウンド・プレーンの上の 50 ± 5 mm の絶縁性の台の上に置いて $1700 \text{ mm}^{+300}_{-0}$ のハーネスを介してロード・シミュレータに接続する。

ハーネスは DUT から少なくとも 1400 mm は真っ直ぐに引き、電流注入プローブを DUT のコネクタから 150 ± 50 mm の位置に、また必要に応じて 450 ± 50 mm と 750 ± 50 mm の

^{†14} bulk current はハーネス上のコモン・モード電流の総量のこと。

位置に取り付けて、事前に校正治具を用いて求められた進行波電力（所望の妨害を発生させるために必要な電力）を電流注入プローブに印加する。

電流注入プローブと DUT のあいだに電流モニタ用のプローブを入れることもあるが、その場合も測定された電流を出力の制御に用いることはない。

ECE R10 には REESS 充電モードでの試験のセットアップについての特別な規定も含まれている (図 17)。

- 電力制限付き閉ループ法:

この場合も、あらかじめ、電流注入プローブを校正治具に取り付けた状態で、各周波数で所望の電流を発生させるために電流注入プローブに印加する必要がある進行波電力を求めておく。

試験に際しては、図 16 に示すように DUT をグラウンド・プレーンの上の $50 \pm 5 \text{ mm}$ の絶縁性の台の上に置いて $1000 \text{ mm}^{+200}_{-0} \text{ mm}$ のハーネスを介してロード・シミュレータに接続する。ハーネスは全長にわたって真っ直ぐに引き、電流注入プローブを DUT のコネクタから $900 \pm 10 \text{ mm}$ の位置に、また電流測定プローブを $50 \pm 10 \text{ mm}$ の位置に取り付け、電流測定プローブで測定された電流が試験レベルに達するまで電流注入プローブに印加する電力を増加させる。

但し、電流注入プローブに印加する電力は事前に校正治具上で求められた電力の k 倍まで（通常は $k = 4$ ）に制限される。

ISO 11452-4 ではこれらの 2 つの方法の使い分けは述べられていないが、これを参照する規格でいずれかの方法の使用が指定されることもある。

そのような指定がない場合、少なくとも低い周波数範囲においては、

- DUT (及びロード・シミュレータ) のグランド・プレーンに対するインピーダンスが低い場合、置換法では指定された試験レベルよりもかなり大きい電流が流れるが、電力制限付き閉ループ法では実際にハーネスを流れる電流 (電流測定プローブの位置で観測される電流) が指定された値を超えないように調整される

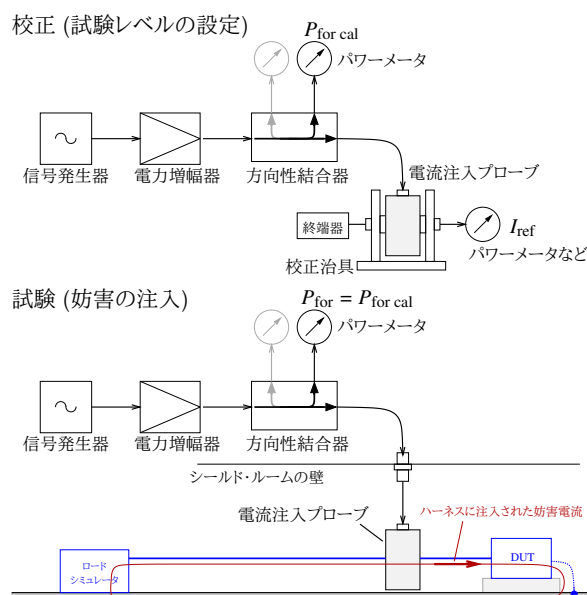


図 14: ISO 11452-4 BCI 法 (置換法) の試験の原理

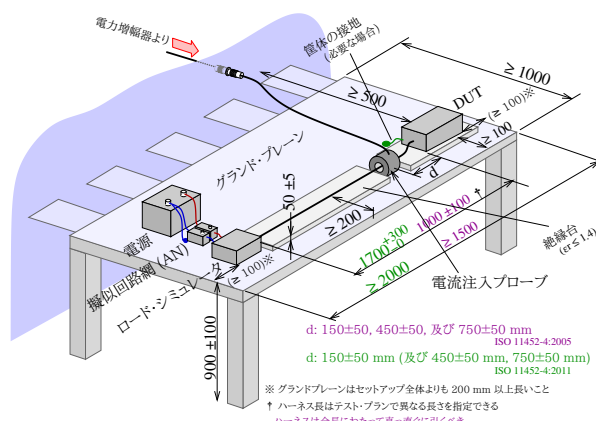


図 15: ISO 11452-4 試験セットアップの例 (置換法)

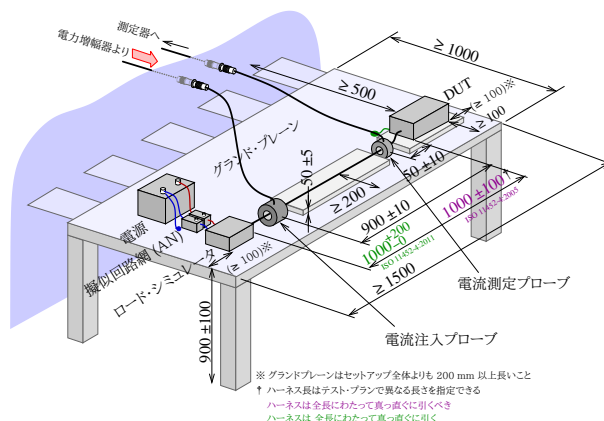


図 16: ISO 11452-4 試験セットアップの例 (電力制限付き閉ループ法)

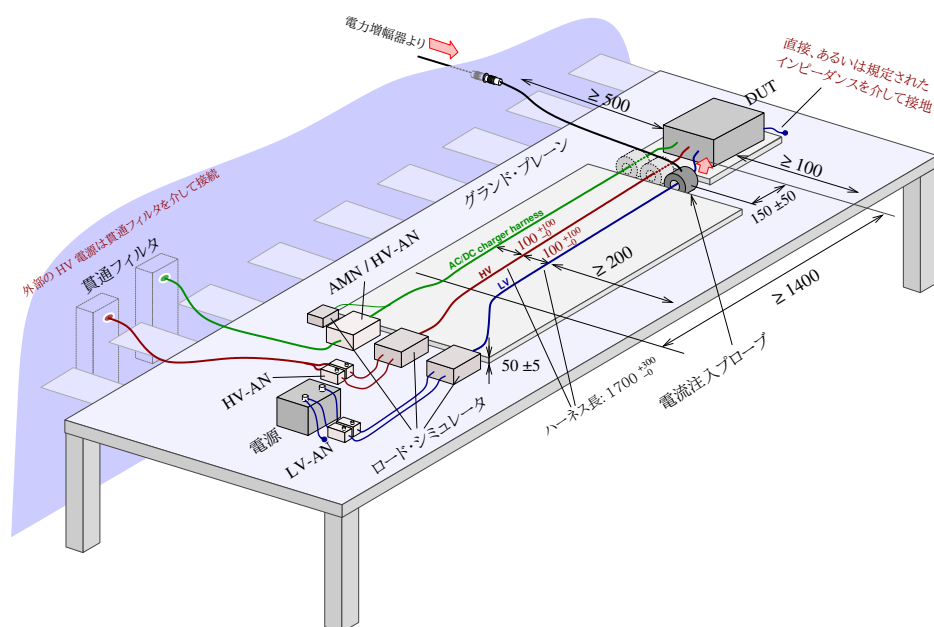


図 17: ISO 11452-4 試験セットアップの例 (ECE R10.06, REESS 充電モード) — 置換法

- DUT が接地されていない場合のように、DUT のグラウンド・プレーンに対するインピーダンスが高い場合、いずれの方法でも実際にハーネスに流れる電流は設定された試験レベルに達しないであろうが、電力制限付き閉ループ法での試験は試験レベルを 2 倍としての置換法での試験と似た状況となり、置換法を用いた場合よりも設定された試験レベルに近い電流が流れる

ことも考慮し、電力制限付き閉ループ法の方が適切であればそちらを、さもなくば置換法を選択すると良いかも知れない。最終的にどちらの方法での評価が行なわれるかがわからない状況で予備試験を行なおうとしている場合のように、いずれの方法よりも有意に甘くならないような形での評価を行ないたい場合、試験レベルを 2 倍 (ばらつきなどに対する余裕を取りたいのであればそれ以上) としての置換法での試験を考える価値もあるかも知れない。

この試験では、基本的にはそれぞれのハーネスに一括で妨害を印加する。複数のハーネスがある場合やハーネスに分岐がある場合、電流注入プローブをそれぞれの分岐にクランプし、プローブに入れられていない分岐はプローブに入れられた分岐から少なくとも 100 mm 離して配置して、それぞれの分岐について試験を繰り返すべきである。

4.4.2 TWC 法

ISO 11452-4:2005 では BCI 試験法によって 1～400 MHz の周波数範囲のみがカバーされていたが、ISO 11452-4:2011 では新たに 400 MHz～3 GHz をカバーする TWC 法^{†15}が追加された。

TWC は、結合の原理は BCI プローブとは全く異なるが、小型の注入デバイスをハーネスの外側から取り付けて妨害の注入を行なえるという点は同様である。

妨害レベルが電流で規定される BCI 法と異なり、TWC 法での試験レベルは 150 Ω 系の校正治具上で対象に結合する電力で規定され、試験に際しては試験レベルと TWC の挿入損失 (結合効率) から求めた進行波電力を TWC に印加することで所望の妨害を発生させることができる。この規格で例示されている最大の試験レベル (100 V/m かそれ以上の電界に相当すると推定される^[12]) は 1 GHz で 29 dBm、3 GHz で 26 dBm であり、1 GHz で -6 dB 程度、3 GHz で -12 dB 程度の挿入損失の TWC が市販されているので、このレベルの試験を 10 W 程度の高周波電力で行なえる計算となる。

TWC 法では 3 GHz までの周波数がカバーされるが、一般に、高い周波数においてはハーネスへの妨害の印加だけでは DUT のイミュニティを適切に

^{†15} ECE R10.06 は ISO 11452-4:2011 の BCI 法のみを参照している。

評価できなくなる可能性が高まることに注意が必要である。しかし、このような高い周波数でもハーネスを介した影響が支配的となるであろう、ごく小型の、良くシールドされたデバイスについては特に、TWC 法は魅力的な評価方法となり得る。

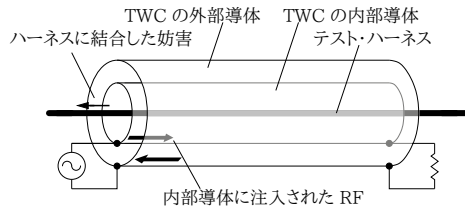


図 18: TWC の原理 — TWC の内部導体と外部導体とで構成される 50Ω の同軸線路に妨害が注入され、その内側に通されたテスト・ハーネスと内部導体とで構成される別の同軸線路への結合が生じる。3 GHz までの使用のためには、TWC の内部導体の直径は 18 mm 程度までに制限される^[12]。

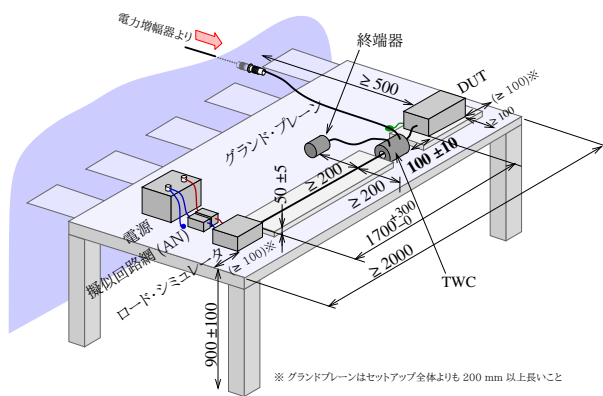


図 19: ISO 11452-4:2011 TWC 法 試験セットアップの例

4.5 ISO 11452-5:2002 (ストリップライン)

この試験法は、DUT を妨害に曝すために用いることもできるものの、主にハーネスへの妨害の注入のために用いられている。この試験で用いられるストリップラインは上述の TEM セルと異なりシールドされておらず、周辺にも強い電磁界が放射されるため、シールド・ルーム内での試験が必須となる。

この規格では 50 Ω と 90 Ω のストリップラインが規定されているが、図 20 と 図 21 では 50 Ω ストリップラインを例として示している。

試験に際しては、ストリップラインの片側のコネクタに電力増幅器から高周波電力が注入され、ス

トリップライン内を伝搬した後、反対側の終端器で吸収される。ストリップライン内の電界強度は、ISO 11452-3 (§4.3) と同様にストリップラインに入力された正味電力から計算によって求めるか、あるいは電界プローブを用いた校正を行なう。

妨害をハーネスに印加する場合、アクティブ導体の下、グラウンド・プレーンから 50 mm の高さにハーネスを 1 m 以上引き、DUT 自身はその外側に置く (図 20)。

DUT をアクティブ導体の下に置くことで DUT を直接電磁界に曝すことも可能であるが、この方法での試験では DUT の大きさはアクティブ導体の高さの 1/3 (50 mm) までの小型のものに制限される。



図 21: ストリップラインの例 (写真は Teseq 社提供)

5 試験での合格と現実の問題の防止

試験に合格させることだけが目的となり勝ちであるものの、最終的には、実際に使用された時に問題を起こすリスクが低いことが目標となろう。だが、ECE R10などで定められたイミュニティ要求は必ずしも実際の使用状況で起こり得る最も厳しい状況を模擬するものではないし、試験の方法などの違いによって大きく異なった結果が得られることも珍しくない。このため、EMC 試験に合格した装置が、実際の使用に際して電磁妨害に伴う問題を起こすという状況も起こり得る。

そのような問題の防止のためには、単に規格に従って最小限の試験を行なうだけではなく、実際の使用状況を考え、そのイミュニティをできる限り適切に評価できるように試験を行なうことが望ましい。

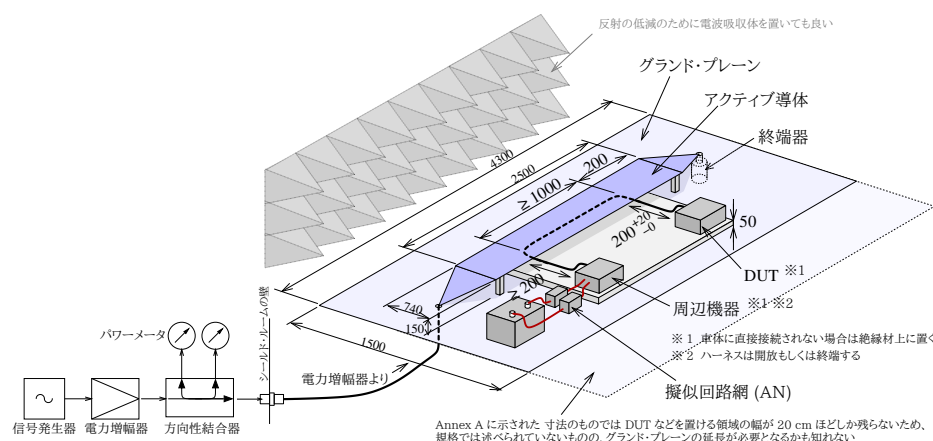


図 20: ISO 11452-5 試験セットアップの例

5.1 試験方法による結果の変動

5.1.1 試験法

上で述べた 4 つの試験法は基本的には同じ現象を模擬しようとしているものであり、ECE R10.06 の場合、試験法を任意に組み合わせて 20 MHz～2 GHz の周波数範囲をカバーすれば良いものとなっている。

だが、実際には、DUT への影響は試験法によって大きく異なり得る。例えば、ISO 11451-4 BCI 法は 400 MHz まで (ISO 11452-4:2011 TWC 法では 3 GHz まで) の周波数帯で適用可能であるが、ケーブルが良くフィルタされているが DUT 本体が良くシールドされていないなどの場合、特に高い周波数で、この試験法では DUT のイミュニティを適切に評価できなくなる可能性が高まる。

5.1.2 DUT の配置

ISO 11452-2 (ALSE) では DUT のどの面をアンテナに向けるかは述べられておらず、メーカー規格などで特に要求がない限り、ハーネスを素直に配置できるような、あるいは DUT の正面をアンテナに向けた配置のみで試験すれば良いと考えるかも知れない。だが、特に高い周波数においては、DUT のどの面をアンテナに向けるかによって結果が有意に変わる可能性がある。

ISO 11452-3 (TEM セル) では、コネクタ・パネルへの接続の都合上、DUT の置き方の自由度は下がるものの、この場合も DUT の置き方によって結果が有意に変わる可能性がある。

ISO 11452-4 (BCI) や ISO 11452-5 (ストリップライン) でのハーネスへの注入の場合でも、特に DUT

が良くシールドされていない場合、DUT のどの面を下に向けるかによって結果が変わる可能性がある。

それぞれの試験を DUT をどのように置いて行なうかは事前に検討し、テスト・プランに明記すべきである。

5.1.3 DUT の接地

ISO 11452 シリーズでは、DUT の筐体の接地に関しては、一般に、それが実車で接地されないのであれば接地しないように述べられているだけで、それ以上の詳細な規定はない。試験の結果は筐体の接地の有無によって大きく異なる可能性があるが、どちらが厳しくなるかの予測は簡単ではない。

また、DUT の筐体や 0 V (グランド) をグランド・プレーンにワイヤで接続する場合、そのワイヤがかなりのインダクタンスを、従って高い周波数ではかなり高いインピーダンスを持ち、その線の長さや配置が結果に影響を与える可能性がある。そのインダクタンスが共振 (例えば DUT とグランド・プレーンとのあいだの静電容量との並列共振) に関係している時には、§6.4 でもう少し詳しく述べるように、さらに複雑な状況が引き起こされ得る。

5.1.4 ロード・シミュレータのインピーダンス

ISO 11452 シリーズでは、一般に、ロード・シミュレータ (対向器) の金属の筐体はグランド・プレーンに接続し、それへの電源は擬似電源回路網 (AN) を介して接続する。

一見、これはロード・シミュレータを DUT 側から見たインピーダンスを低く抑えるように見えるか

も知らないが、例えば、ロード・シミュレータ内の回路が筐体に接続されていない場合や、高インピーダンスの入出力回路が用いられている場合などには、DUT 側の端子のインピーダンスは高い状態のままとなり得る。ロード・シミュレータ内の回路やその先の機器への妨害の影響を低減するためにフィルタやフェライト・コアを付けた場合、それもこのインピーダンスに影響を与える。

ロード・シミュレータの DUT 側の端子が電源入力と接続されている、あるいはロード・シミュレータなしで AN を直接接続した場合でも、AN のインピーダンスは 100 MHz 以下についてのみ規定されているため、高い周波数でのインピーダンスは不明のままとなる。

ロード・シミュレータのインピーダンスはどの試験法でも影響を与え得るが、BCI 法の場合が最もわかりやすく、これについては §6.2 で述べる。

ISO 11452-1:2005+A1:2008 はロード・シミュレータに関する詳細な規定を含まないが、ISO 11452-1:2015^[2] ではロード・シミュレータは、

- DUT に接続される I/O の負荷の種類 (実負荷、あるいはシミュレート)
- DUT に接続される 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
- 内部の配線と配置

に特に留意して設計されなければならない旨が明記されており、ロード・シミュレータの DUT 側の端子とグランドとのあいだに以下のコンデンサを入れることも推奨されている:

デジタル I/O 一般	1 nF
電力出力 (実負荷使用)	10 pF
電源	100 nF
ビデオ入力	10 pF
マイクロホン	100 nF
CAN bus	10 pF
スピードメータ	10 pF

ロード・シミュレータに関しては [10] でより詳しく扱っている。

5.1.5 ハーネスの長さや引き回し

ハーネスの長さは試験の結果に大きく影響する可能性がある (図 26)、それぞれの規格に従った長さのハーネスを、また試験の再現性が重要な場合には同一のハーネスを使用するようにするとともに、それぞれの試験で使用するハーネスの情報をテスト・プランに明記すべきである。

ハーネスの引き回し、例えば ALSE 法での試験での DUT からグランド・プレーンの前縁と平行に引かれる区間のあいだのハーネスの引き方も試験の結果に有意に影響することがあるので、必要に応じてテスト・プランでその引き回しも詳細に規定すると良い。^{†16}

5.2 試験レベル

ECE R10.06^{[1][9]} は、「イミュニティ関連機能」を持つコンポーネントに対するイミュニティ要求レベルを、そのコンポーネントの使用環境やリスクの程度とは無関係に定めている。

例えば ECE R10.06 の ALSE 法でのイミュニティ要求レベルは 30 V/m であり、これは住商業環境向けの一般的な製品で要求されることが多い 3 V/m よりもかなり高い。しかし、強力な放送設備やレーダーは、通常は地上への過度の照射を抑えるように配慮されている筈ではあるものの、自動車を強い電磁界に曝し、影響を与える可能性がある (例えば [8] の #356、#394、#758)。また、携帯電話やその他の無線デバイスが車内や車両付近で使用された場合を考えると、粗い推定^{†17}で、1 W の送信機から 20 cm 程度、10 W の送信機からならば 70 cm 程度で 30 V/m を超え得る。従って、誤動作に伴うリスクが高い場合には特に、このイミュニティ・レベルは十分なものとは言い難いだろう。

無線デバイスが近傍で使用される可能性がある場合、その要求は ECE R10.06 には含まれていないものの、例えば ISO 11452-9 (後編で述べる) で述べられているような近接試験法を用いてその影響を評価することができる。

また、ECE R10.06 はイミュニティ要求を 2 GHz までの周波数について定めているが、既にこれより

^{†16} ISO 11452-2:2019 ではロード・シミュレータに接続されるハーネスのレイアウトをテスト・プランに記載することが要求されている。

^{†17} $E \approx 7\sqrt{P}/d$ による。但し、放射源の近傍での電磁界の強度はこのような単純な計算に従うとは限らない。



図 22: 近接試験用アンテナの例 (写真は Schwarzbeck 社提供)

も高い周波数の無線デバイスが身近なところでも用いられるようになっており、その拡大は今後も続くことが予想される。古い自動車の中で新しい無線デバイスを使う、あるいは古い自動車が新しい無線設備の近くを走行するような状況は普通に考えられるであろうから、どこまでを試験するかは別として、より高い周波数の妨害に対するイミュニティへの配慮も必要となり得る。

5.3 温度の影響

一般に EMC 試験は常温でのみ行なわれるが、車載機器は実際の使用に際してはかなり広い温度範囲 (例えば、 $-20 \sim +65^{\circ}\text{C}$ 、 $-40 \sim +150^{\circ}\text{C}$ など) で所望の性能を発揮することが期待されることが多い。

電子部品の特性は温度の影響を受けるため、常温での試験で問題ないと判断されたコンポーネントが低温や高温の環境で実際に EMC 問題を起こす可能性もある。

例えば、アルミ電解コンデンサのインピーダンスは低温では著しく増大し^[11]、これは EMC の有意な悪化を招く可能性がある。半導体、抵抗、電解コンデンサ以外のコンデンサなどの特性も、それほど劇的ではないものの、温度の影響を受ける。

実際に極限温度で EMC 試験を行なうことは实际的でなく、通常はそれを行なうように要求されることはないものの、温度やその他の環境条件が EMC にどのような影響を与えそうかを検討することが、場合によってはその影響を実際に評価することが必要となるかも知れない。

5.4 DUT の経年変化

通常、EMC 試験は、健全な、ごく少数の (しばしば 1 台だけの) サンプルを用いて行なわれる。実際に出荷される製品がその試験されたサンプルと同程度の EMC 性能を持つかどうかという議論もあるものの、出荷された後での経年変化の考慮も重要となり得る。

コンポーネントが新品の状態では高いイミュニティ・レベルを持っていたとしても、実際に自動車に取り付けられた後、激しい温度変化、水分や汚染物質、振動/衝撃、電氣的サージなどに曝されながら使用されるあいだに、例えばシールドやグラウンドの接続の悪化 (図 23)、コンデンサの容量減少、防護素子の劣化などに伴い、実際に問題を生じるところまでイミュニティが低下することがあり得る。

このような問題の防止のためには、経年変化による問題を起こしにくいように設計することに加え、耐環境性試験や加速寿命試験の後のサンプルでの EMC 試験を行なうことを考える価値があるかも知れない。



図 23: 塩化カルシウムの存在下で腐食した銅のスプリング・フィンガー (上) とアルミニウムのケース (下)

5.5 安全関連機能と機能安全

安全に関するコンポーネントの場合、その安全関連機能の誤動作、特に危険をもたらす得る誤動作の発生の可能性を低く抑えることが非常に重要となる。イミュニティ試験で妨害への耐性を確認することは役に立つが、それだけで充分であるとは言えない。

この種の電気/電子システムには機能安全の枠組みの適用が求められるようになっており、ベースとなる機能安全規格として IEC 61508^[4] が、そして自動車産業向けの規格として ISO 26262^[5] が発行されている。機能安全の枠組みの中での EMC の扱いはまだ発展中であるものの、機能安全のための

EMC についてのガイド [6][7] が IET^{†18}から発行されており、これは自動車用のコンポーネントに関連しても有用となり得る。

6 BCI 法 (置換法) での妨害レベルの変動

6.1 電流注入プローブの位置の影響

図 24 はロード・シミュレータ側を短絡状態とした 1 m のハーネス (単一のワイヤ) に BCI 法 (置換法) で妨害を注入した時に 50 Ω で終端された DUT 側で観測された妨害レベル (校正治具でのレベルに対する相対値) を示す。注入プローブは、DUT 側から 15 cm、45 cm、及び 75 cm の位置に置いた。

この 15 cm の時のカーブを見ると 75 MHz 付近 (そしてその 3 倍と 5 倍) の妨害レベルが著しく低くなっているが、これは注入プローブとロード・シミュレータのあいだのハーネスの電氣的長さが $\lambda/4$ (そして $3/4 \lambda$ 、 $5/4 \lambda$) となって高インピーダンスを生じ、妨害の注入を妨げているところである。妨害が極度に入りにくくなる周波数は注入プローブの位置によって変化し、3 箇所での最大値を見れば、意図したレベル (0 dB) をかなり下回ってはいる部分はあるものの、全周波数範囲である程度のレベルを得られている。注入プローブの位置を変えて試験を繰り返すことが明示的に要求されていなかったとしても、注入プローブの位置を変えて試験を繰り返すことは、この特性の試験結果への悪影響を低減するためには有用である。

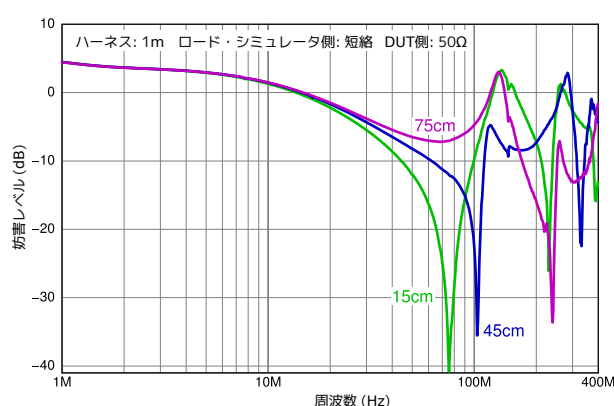


図 24: 電流注入プローブの位置の影響

6.2 ロード・シミュレータのインピーダンスの影響

図 25 は、1 m のハーネス (単一のワイヤ) のロード・シミュレータ側の状態を変化させた時の、50 Ω で終端された DUT 側で観測された妨害レベルを示す。ここで妨害レベルとして示したものは、注入プローブの位置を 15 cm、45 cm、75 cm とした時の最大値の、校正治具でのレベルに対する相対値である。

ハーネスのロード・シミュレータ側を開放とした時には低い周波数でのレベルが極度に低くなっているが、これは低い周波数の妨害を DUT に注入するためには妨害電流がロード・シミュレータを通して流れなければならない (図 14) ためであり、ロード・シミュレータの DUT 側の端子のグラウンド・プレーンに対するインピーダンスが高い時に実際に生じ得ることである。逆に、ハーネスのロード・シミュレータ側をグラウンド・プレーンに短絡した時には、低い周波数でのレベルは高めとなっている。

ハーネスのロード・シミュレータ側を 50 Ω で終端した時は、ハーネスが波長に対して十分に短くなる低い周波数でのレベルは意図した通りとなっているが、50 Ω の終端はこの測定でテスト・ハーネスとして用いたワイヤの特性インピーダンス (直径 1 mm で 300 Ω 、直径 5 mm で 200 Ω 程度と推定される) よりもかなり低いことから、高い周波数でのカーブは短絡の時と幾分似たものとなっている。ロード・シミュレータ側にチョーク・コイルを追加した時、中程の周波数での大きな低下が見られたが、これは、例えばロード・シミュレータが妨害の影響を受けるのを防ごうとしてチョーク・コイル (フェライト・コア) を取り付けた時に実際に生じるかも知れないことであり、これからハーネスのロード・シミュレータ側に不用意にフェライト・コアを取り付けるべきでないことがわかるだろう。

BCI 試験で低い周波数の妨害を適切に印加するためにはロード・シミュレータ側のインピーダンスを低く保つことが非常に重要である。そのインピーダンスが高い状態で試験を行なった場合、妨害が意図したように印加されていたならば検出できていた筈の、そして実際の使用時に大きな問題を引き起こすかも知れない、潜在的なイミュニティ問題を見落とすことになるかも知れない。

必要な場合、ロード・シミュレータの DUT 側の

^{†18} The Institution of Engineering and Technology. イギリスを中心とする工学系の学会。

各端子とその金属の筐体とのあいだにコンデンサを付け、筐体をグランド・プレーンに直接接続すれば、ある程度以上の周波数でのインピーダンスを下げるができる。[§5.1.4](#)でも触れたように ISO 11452-1:2015^[2]では例えばデジタル入出力については 1 nF のコンデンサの使用が示されており、これは 1 MHz で 160 Ω 、20 MHz では 8 Ω 程度のインピーダンスを与える。20 MHz では 0.1 nF でも 80 Ω 程度のインピーダンスが得られ、高い周波数範囲の試験ではこの程度の容量のコンデンサでも相当の効果を期待できる。高い周波数においてはこれをグランド・プレーンに接続するワイヤの影響も無視できなくなるため、ロード・シミュレータの筐体の金属面がグランド・プレーンに直接接触するようにし、その筐体にこのようなコンデンサを最短のリードで接続する(より望ましくは筐体に取り付けた貫通コンデンサを用いる)と良いだろう。

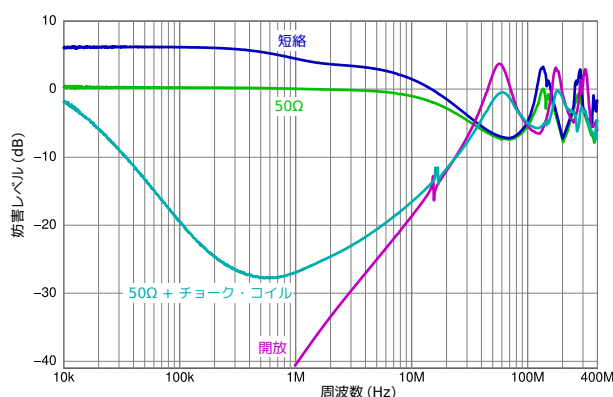


図 25: ロード・シミュレータのインピーダンスの影響

ロード・シミュレータの先に計測器やコンピュータなどを接続することも珍しくないが、その場合もロード・シミュレータの位置でインピーダンスをしっかりと管理し、その先に接続されたものが DUT 側から見たインピーダンスに影響しないようにすべきである。これが適切に行なわれていれば、その先に接続されたケーブルや装置やその接続の状況の試験への影響を抑えられることが期待できる。

単なる中継ボックスのようなもの、あるいはノーマル・モードでの終端を行なうだけのものではコモン・モード・インピーダンスは管理できず、その先に接続されたケーブルや装置やその接続の状況が妨害の注入に直接影響を与えて試験の結果に予期できない変動をもたらすことが予期されるので、そのようなものをロード・シミュレータの位置に置くべき

ではない。^{†19}

6.3 ハーネス長の影響

図 26 に示すように、ハーネス長も妨害の注入に大きな影響を与えるので、規格で規定されたハーネス長を厳守するとともに、ハーネスの端を適切なロード・シミュレータ(あるいはその代わりとなる RF 境界)に接続し、その位置でインピーダンスを管理するようにすべきである。

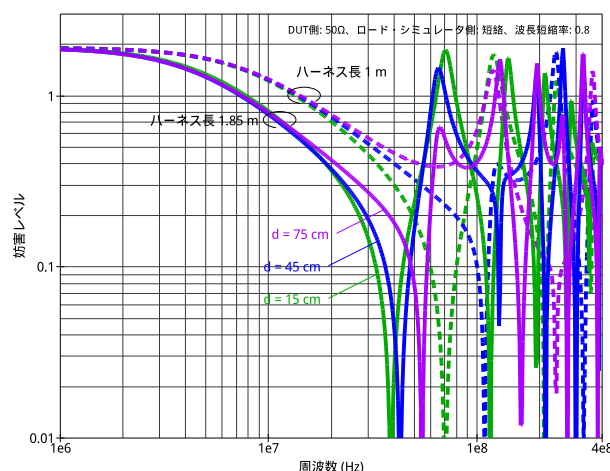


図 26: ハーネス長の影響

6.4 DUT の接地ワイヤの影響

図 27 は、DUT 側の 50 Ω の終端がグランド・プレーンではなく DUT の金属の筐体とのあいだに接続され、その筐体が接地ワイヤでグランド・プレーンに接続されている状態を考え、BCI 法で妨害を印加した際に DUT に注入される電流(あるいは、ハーネスの DUT 端と DUT の筐体のあいだに誘起する電圧)を推定した結果を示す。ここでは、接地ワイヤとして長さ 15 cm 程度の細いワイヤが用いられた場合を想定してそのインダクタンスを 150 nH と、また比較的小さい DUT を想定して DUT の金属の筐体とグランド・プレーンとのあいだの静電容量を 10 pF と仮定した。また、ロード・シミュレー

^{†19} 例えば、CAN バスについて、ロード・シミュレータの位置でノーマル・モードでの終端のみが行なわれていてコモン・モード・インピーダンスが管理されないままの状態となっており、その先にコンピュータなどが接続されているのを見ることがある。このような場合、CAN バスの終端を分割終端とするだけでも DUT 側から見たコモン・モード・インピーダンスのかなりの安定化が、従ってその先に接続されたものの試験への影響の低減が期待できそうである。

タ側は先の例と同様にグラウンド・プレーンに短絡されているものとし、ハーネスの特性インピーダンスと電氣的長さは前に示した実測結果に合わせるように設定した。

ここで、注入プローブの位置と無関係に現れる著しいディップが 130 MHz 近傍に見られるが、ここは 150 nH と 10 pF が並列共振して高インピーダンスを生じているところである。実際の試験でこのような状況となった場合、DUT が接地されているにもかかわらず、一部の周波数で DUT のグラウンド・プレーンに対するインピーダンスが高くなり、妨害電流の流入が妨げられることになる。

また、接地ワイヤのインダクタンスは接地ワイヤの寸法や配置によって変動し、DUT とグラウンド・プレーンのあいだのキャパシタンスは DUT のグラウンド・プレーンに対する置き方やそのあいだの絶縁材の誘電率によって変動するので、これらの条件の違いによって共振周波数が変化し、一部の周波数での試験結果の大きな変動を引き起こす可能性がある。

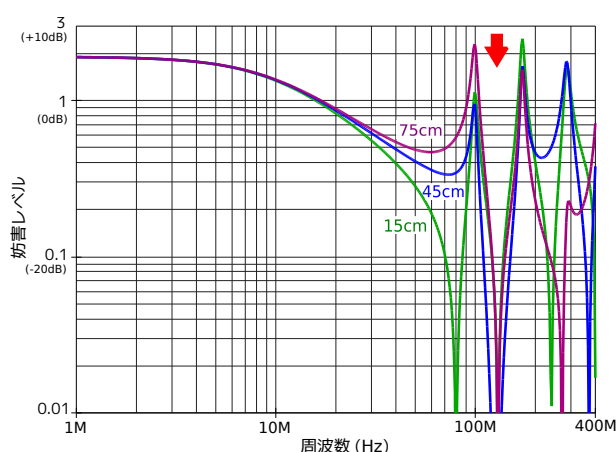


図 27: DUT の接地ワイヤの影響

7 参考資料

- [1] ECE Regulation No. 10 Revision 6, *Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to electromagnetic compatibility*, United Nations, 2019,
<http://www.unece.org/trans/main/welcwp29.html>
- [2] ISO 11452 series, *Road vehicles – Component test methods for electrical disturbances by narrowband radiated electromagnetic energy*

- ISO 11452-1:2005+A1:2008, *General and definitions*

- 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 11452-1:2015, *General and definitions*

- [4] IEC 61508 series, *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*
- [5] ISO 26262 series, *Road vehicles — Functional safety*
- [6] *Overview of techniques and measures related to EMC for Functional Safety*, The Institution of Engineering and Technology, 2013,
https://www.emcstandards.co.uk/files/iet_overview_of_techniques_measures_for_emc_for_functional_safety_aug_2013_2.pdf
(このガイドの改訂版は IET から購入可能)
- [7] 機能安全のための EMC の達成のための最初の実的なテクニック, Keith Armstrong, 佐藤 訳, 2013,
<http://t-sato.in.coocan.jp/emcj/>
- [8] バナナの皮, EMC Journal, 佐藤 訳, 2006–2013,
<http://t-sato.in.coocan.jp/banana/>
- [9] ECE Regulation No. 10.05 の概要, 株式会社 e・オートマ, 2014–2015,
<https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>
- [10] 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>
- [11] アルミ電解コンデンサテクニカルノート, ニチコン株式会社, 2008–2015,
<http://www.nichicon.co.jp/lib/aluminum.pdf>
- [12] *EMC test method for coupling into and decoupling from the wiring harness of automotive components in the VHF band*, B. Korber et al., 2004 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, IEEE, doi: 10.1109/ISEMC.2004.1349953

© 2014–2020 e-OHTAMA, LTD. All rights reserved.

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