

ISO 11452シリーズの概要

後編: その他の試験法 (ISO 11452-4:2011, -7, -8, -9, -10, -11)

株式会社 e・オータマ 業務グループ 佐藤智典

2016年8月26日

目次

1	はじめに	1
2	ISO 11452 シリーズのその他の試験法	1
2.1	ISO 11452-4:2011 (ハーネス励磁法)	1
2.1.1	TWC 法の追加	1
2.1.2	BCI 法に対する変更	2
2.2	ISO 11452-6 (パラレル・プレート・アンテナ)	3
2.3	ISO 11452-7 (無線周波 (RF) 電力の直接注入)	3
2.4	ISO 11452-8 (磁界に対するイミュニティ)	4
2.4.1	放射ループ法	5
2.4.2	ヘルムホルツ・コイル法	6
2.5	ISO 11452-9 (可搬型送信器)	6
2.6	ISO 11452-10 (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)	7
2.7	ISO 11452-11 (リバレーション・チャンパー)	8
3	ECE R10 Annex 9: 800 mm ストリップライン	9
4	ISO 11452-1:2015	10
4.1	変調の追加	10
4.2	HV-AN、AMN、AAN の追加	10
4.3	FPSC の変更	11
4.4	ロード・シミュレータ	11
5	参考資料	12

1 はじめに

前編では、ISO 11452 シリーズのうち、ECE Regulation No. 10 (ECE R10)^{[1][10]} で参照されている規格について述べた。本稿では、表 1 で太字で示した ISO 11452 シリーズの残りの規格^[2]、及び ISO 11452 シリーズで規格化されていないが ECE R10 に含まれている 800 mm ストリップラインについて述べる。

これらのうち、ISO 11452-8 と ISO 11452-10 は低周波の現象を、ISO 11452-9 はごく近傍の無線送信器からの電磁界の影響を扱う。その他のものは全て、基本的には同様の現象、主として外部からの高周波電磁界の影響を扱うものとなる。

本稿では、これに加えて、ISO 11452-1 の 2015 年の改訂についても触れている。

なお、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 ISO 11452 シリーズのその他の試験法

2.1 ISO 11452-4:2011 (ハーネス励磁法)

2.1.1 TWC 法の追加

ISO 11452-4:2005 (前編で述べた) 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、この版では新たに TWC (tubular wave coupler) 試験法^{[2][3]} が追加され、適用可能な周波数範囲が 3 GHz までに拡大された。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。

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 11452-3:2001	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 11452-4:2005 (+ cor1:2009)	Bulk current injection (BCI) (バルク電流注入 (BCI))	1 MHz ~ 400 MHz
ISO 11452-4:2011	Harness excitation methods (ハーネス励磁法)	1 MHz ~ 3 GHz
ISO 11452-5:2002	Stripline (ストリップライン)	0.01 MHz ~ 400 MHz
ISO 11452-6:1997	Parallel plate antenna (パラレル・プレート・アンテナ)	0.01 MHz ~ 200 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 (リバレーション・チャンバー)	~ 18 GHz

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 系の校正器具上で対象に結合する電力で規定される。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 [3]) 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。

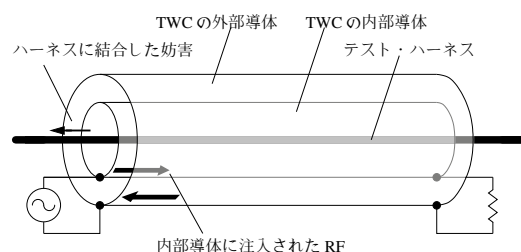


図 1: TWC の原理 — TWC の内部導体と外部導体とで構成される 50Ω の同軸線路に妨害が注入され、その内側に通されたテスト・ハーネスと内部導体とで構成される別の同軸線路への結合が生じる。3 GHz までの使用のためには、TWC の内部導体の直径は 18 mm 程度までに制限される [3]。

2.1.2 BCI 法に対する変更

ISO 11452-4:2011 では、置換法での BCI 試験の際のハーネス長が $1 \text{ m} \pm 0.1 \text{ m}$ から $1.7 \text{ m}_{-0}^{+0.3 \text{ m}}$ に変更され、ISO 11452-2 (ALSE 法) や CISPR 25 (電流プローブ法と ALSE 法) などの試験の際と同じハーネスを使用できるようになった。但し、電力制限付き閉ループ法の場合のハーネス長は 1 m の

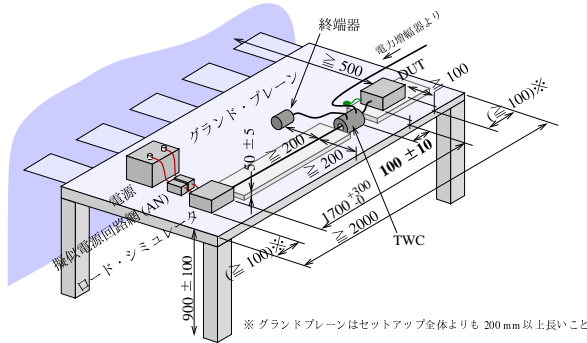


図 2: ISO 11452-4:2011 TWC 法 試験セットアップ

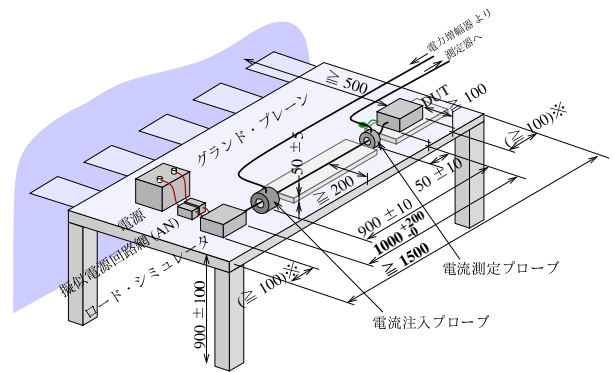


図 4: ISO 11452-4:2011 BCI 法 試験セットアップ (電力制限付き閉ループ法)

まま (だが、許容差が変更され、 $1\text{ m} \pm 0.1\text{ m}$ から $1\text{ m}^{+0.2}_{-0}\text{ m}$ となった) となっている。

この置換法でのハーネス長の変更により、前編で述べたようなケーブル共振の影響がより低い周波数から現れるようになるとともに、注入プローブを DUT から 15 cm ~ 75 cm の範囲で変えた時のロード・シミュレータ側のハーネス長の変化の割合が小さくなる。さらに、実際に注入プローブをどの位置に置いて試験を行なうかはメーカー規格やテスト・プランなどで規定されることが多いであろうが、この規格上は注入プローブを DUT から 15 cm 以外の位置 (45 cm と 75 cm) に置いての試験はオプションとなっている。ハーネス長と注入プローブの位置は妨害の注入に影響し (図 5)、これらが実際の試験の結果に有意な影響を与えることが予想されるため、試験の実施や試験結果の比較などに際しては、試験方法に注意することが望ましい。

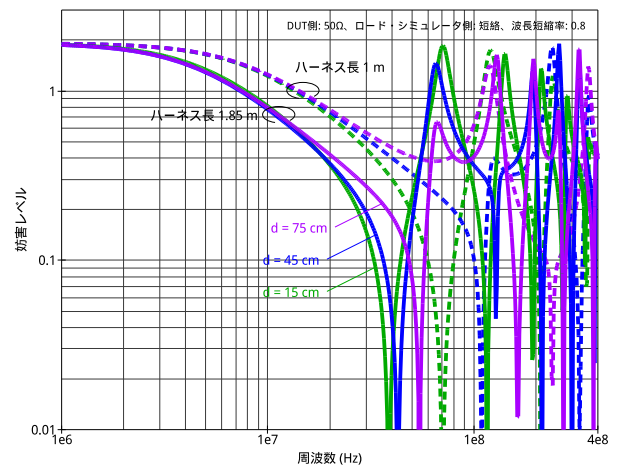


図 5: ISO 11452-4 置換法でのハーネス長の影響の推定

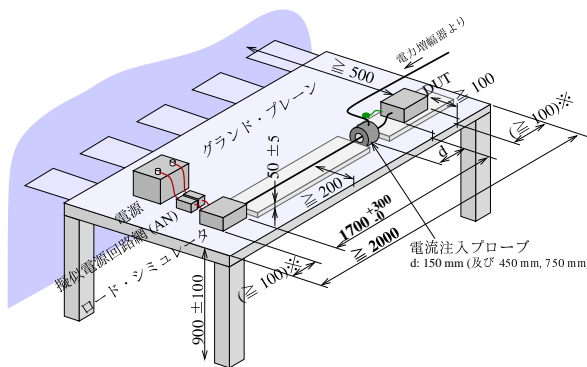


図 3: ISO 11452-4:2011 BCI 法 試験セットアップ (置換法)

2.2 ISO 11452-6 (パラレル・プレート・アンテナ)

ISO 11452-2 (ALSE 法) よりも低い周波数の高周波電界を照射する試験法として ISO 11452-6 (パラレル・プレート・アンテナ) が存在していた (図 6)。だが、これは 1997 年版に第 1 版が発行されただけで、既に廃止されている。

2.3 ISO 11452-7 (無線周波 (RF) 電力の直接注入)

この試験法では、Broadband artificial network (BAN) と呼ばれるデバイスを用いて高周波の妨害を DUT の端子に直接注入することにより、外部からの電磁界によって配線に結合した妨害や伝導性の妨害へのイミュニティを評価することができる。

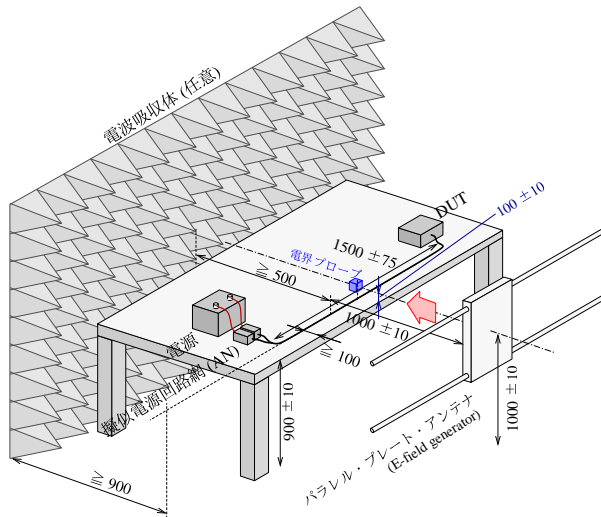


図 6: ISO 11452-6 試験セットアップ

この試験法は、BAN が対向器とのあいだに 20 dB 以上の減結合を与えることから、注入した妨害が対向器に影響を与えにくく、また対向器側の状態にあまり影響されずに確実に妨害を注入できるという利点を持つ。だが、BAN は DUT と対向器のあいだの信号にも相当の影響を与え、これがこの試験法の適用上の最大の制限となるかも知れない。

この試験法では妨害は一度にひとつの端子だけに印加され、ハーネスへの高周波の妨害の注入を行なう他の試験法 (ISO 11452-4, -5) と異なりハーネスへのコモン・モードでの印加を行なうことはできない。従って、この試験法で多芯のハーネス全体を試験しようとした場合、その線の数だけ試験を繰り返すことが必要となる。また、外部からの電磁界はハーネスに主としてコモン・モードの妨害を発生させる傾向があり、この試験法はこのような妨害の影響の評価の目的ではあまり適切ではないものとなるかも知れない。

試験に際して、DUT と BAN はグラウンド・プレーン上に直接置いて低インピーダンスで接続し、DUT の各端子と BAN のあいだを 150 mm 以下のできる限り短いリードで接続する。妨害の印加は電力増幅器の出力をアッテネータを介して BAN に接続して行なうが、BAN にはリード上の電圧の電力増幅器側への逆流を阻止するコンデンサが含まれていないため、そのあいだに DC ブロック・コンデンサを接続することが必要となる。試験は置換法で行なわれ、妨害レベルは DC ブロック・コンデンサの先に BAN の代わりにパワーメータを接続した時にその

ポイントで観測される電力で規定される。

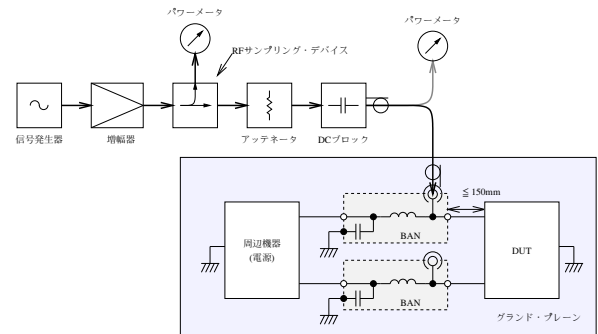


図 7: ISO 11452-7 試験構成

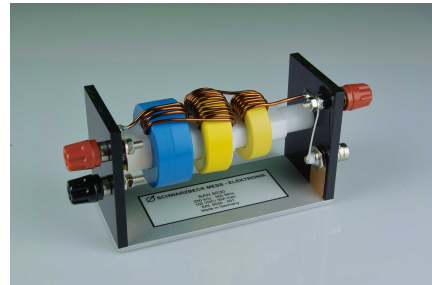


図 8: BAN の例 (写真は Schwarzbeck 社提供)

2.4 ISO 11452-8 (磁界に対する免疫ニティ)

自動車も、例えば送電線の下、発電/配電設備やその他の電力設備、鉄道施設の近傍などで、相当の強さの低周波磁界に曝されることがある。また、電気自動車やハイブリッド自動車は強力なインバータやモータを搭載しているし、内燃機関駆動車両においても電力の使用は増大する傾向にあり、車両上のそのような機器やハーネスが発生する磁界がその車両上の他の機器に影響を与えることも考えられる。

この規格はこのような比較的低い周波数の磁界の影響の評価を目的としたものである。従来は 15 Hz ~ 150 kHz の周波数範囲のみがカバーされていたが、ISO 11452-8:2015 では DC (0 Hz) の磁界もカバーされるようになっている。

一般的な電子回路はこのような周波数の磁界の影響を受けにくいので、この試験は、磁界に対して敏感な部品や回路を使用しているものに対してのみ行なわれることが多い。磁界の影響を受けるかも知れないものの代表例は、磁気センサやピックアップ・

コイルなどを用いて低レベルの磁界を検出しようとしているものである。

通常、この試験は、DC、16.67 Hz (鉄道で用いられることがある)、50 Hz と 60 Hz (典型的な商用電源周波数)、150 Hz と 180 Hz (50 Hz と 60 Hz の 3 次高調波) で、そして 15 Hz ~ 150 kHz の周波数範囲のリニア・ステップか対数ステップでの掃引で行なわれる。

この試験で発生させられる磁界は、人体の曝露限度^{[5][7]}を超える可能性がある(図 9)。勿論、試験時に人がコイルの中に入って全身がその磁界に曝されることはないだろうが、コイル近傍での磁界はさらに強いものとなるので、大型のコイルで高いレベルの試験を行なう場合には特に、過剰な曝露を防ぐように注意すべきである。磁界はペースメーカーや除細動器などの植え込み型医用機器にも影響を与えることがある^{†1}ので、植え込み型医用機器を使用している人の接近にも注意すべきである。また、腕時計や磁気カードなどもコイルに近付けないようにした方が安全であろう。

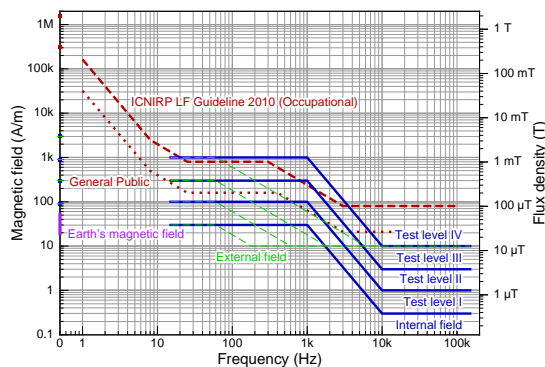


図 9: ISO 11452-8 試験レベル (内部磁界) と ICNIRP ガイドライン^{[5][7]} 参考レベル

2.4.1 放射ループ法

小型の放射ループを DUT 表面から 50 mm の距離に置き、放射ループに電流を流して磁界を発生させる。標準的には、直径 120 mm、巻数 20 の円形の放射ループが用いられ、この場合、放射ループに電流 I (A) を流した時の、中心軸上、距離 50 mm での磁界の強さ H (A/m) は、 $H = 75.6I$ によって求められる。

^{†1} しばしば、5 ガウス (0.5 mT, 約 400 A/m) という値が上限として示される。

磁界の強さは放射ループの正面 50 mm の位置 (DUT の表面に相当する位置) で規定されるが、この放射ループが発生する磁界の拡がりはかなり限られており、磁界を遮るものがない場合でも DUT 表面から 20 mm の位置で -3 dB 以下に、30 mm の位置では -6 dB 以下に低下することが予想される(図 12)。従って、規格上はこの試験法は大きな DUT にも適用できるものの、磁界の影響を評価したい部分が大きな DUT の内側にある場合、放射ループをどの位置に置いてもその部分をあまり磁界に曝せない可能性がある。このため、この試験法を大きな DUT に適用しようとする場合には、その方法で評価を意図したように行なえるかどうかを考慮することが望ましい。

試験は、放射ループを 100 mm × 100 mm のそれぞれの領域に、そしてそれぞれのコネクタと磁気センサ (もしあれば) の位置に置いて行なう。ISO 11452 シリーズの他の多くの試験と異なりこの試験ではグラウンド・プレーン不要であり、逆に、放射ループは DUT 以外の金属面から離すようにすべきである。

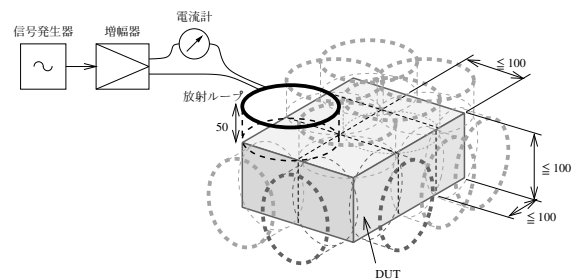


図 10: 放射ループ法 試験構成



図 11: 120 mm 放射ループ (左) とベリフィケーション用 40 mm モニタ・ループ (右) の例 (写真は Schwarzbeck 社提供)

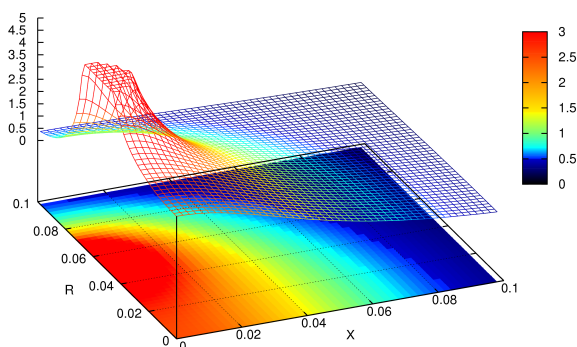


図 12: 120 mm 放射ループの磁界分布^[9] — X 軸が放射ループの中心軸、R 軸が放射ループの半径方向で、 $X = 0 \text{ m}$ 、 $R = 0 \text{ m}$ が放射ループの中心、 $X = 0 \text{ m}$ 、 $R = 0.06 \text{ m}$ が放射ループの巻線の位置となる。この図での磁界の強さを示す値は $X = 0.05 \text{ m}$ 、 $R = 0 \text{ m}$ での値を 1 とした時の相対値で、5 以上の値は 5 として図示している。

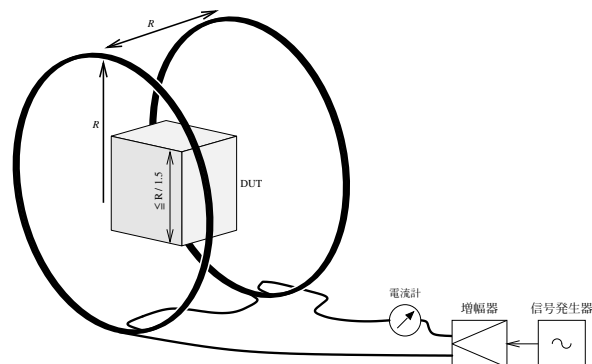


図 13: ヘルムホルツ・コイル法 試験構成

2.4.2 ヘルムホルツ・コイル法

この方法では、コイルの半径と等しい距離離して置かれた 2 つの円形のコイルから成るヘルムホルツ・コイルが用いられる。DUT の寸法の 1.5 倍以上の半径のコイルを用い、コイルの中央付近の均一磁界領域内に DUT を置くことで、ほぼ軸方向の成分のみから成る、かなり均一性の高い磁界が得られる。このため、この試験法では DUT の内側も磁界に曝すことができ、離れた磁界発生源からの磁界に DUT 全体が曝されるような状況を良く模擬できると考えられる。だが、この試験法では DUT 全体をコイル内に入れることが必要となるため、大きな DUT の試験のためには大きなヘルムホルツ・コイルが必要となる。

コイルに電流 I (A) を流した時の磁界の強さ H (A/m) は、コイルの半径 R (m) と各コイルの巻数 N から、 $H = 0.7155 \times NI/R$ によって求められる。寸法が同じ場合、巻数を増やせば低い電流で高い磁界を発生させられるようになるが、インダクタンスが増加し、自己共振周波数も低下するため、高い周波数での使用に適さなくなる可能性がある。市販のヘルムホルツ・コイルの仕様には、これらの情報も含まれている筈である。

2.5 ISO 11452-9 (可搬型送信器)

携帯電話のような可搬型の無線送信器はその近傍に非常に強い電磁界を生じるため、そのような無線



図 14: ヘルムホルツ・コイルの例 (写真は Schwarzbeck 社提供)

送信器が車内や車両のごく近傍に置かれた時、近傍の電子機器に著しい影響を与えることがある。従来も業務用の無線やアマチュア無線などの使用やそれに伴う問題の発生はあったものの、車両の著しい電子化、そして携帯電話の爆発的な普及は、この種の干渉の可能性を著しく増大させている。

この試験法は、このような無線送信器の近傍での使用の影響を評価するものであり、可搬型送信器、もしくはそれを模擬する小型の送信アンテナを DUT 近傍に置いて試験を行なう。送信器の模擬として使用する送信アンテナとしては、以下で述べる小型広帯域アンテナ (図 16) の他に、 $\lambda/4$ スリプ・アンテナとモノポール・アンテナも示されている。

図 16 に示す小型広帯域アンテナは 360 ~ 2700 MHz までで使用可能で、これを用いる場合、DUT の $100 \times 100 \text{ mm}$ の領域毎に図 18 に示すように、またハーネスに対して図 19 に示すように、アンテナの位置と向きを変えながら照射を行なう。

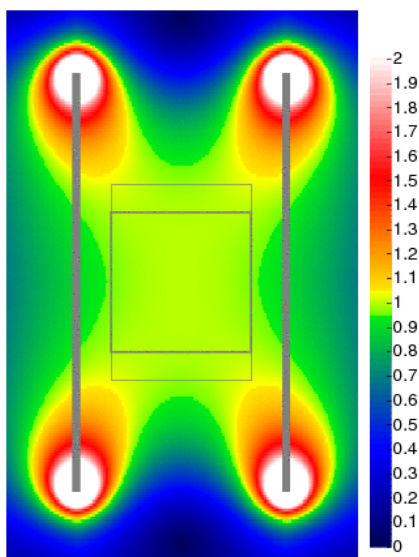


図 15: ヘルムホルツ・コイルの磁界強度の分布^[9] — 中央の正方形は規格で均一磁界領域として示されている高さ \times 幅が $R/1.5$ の空間で、これは磁界の強さが $\pm 5\%$ の範囲内にある

妨害レベルは、それぞれの周波数で予期される送信器の出力に基づいて、アンテナに印加する正味電力 (net power) によって設定する。この広帯域アンテナでの試験は Ford FMC1278^[4] やその前身である EMC-CS-2009 の RI 115 試験と似たものとなっているが、他のメーカー規格では、同じ目的の、これとかなり異なる試験法が規定されていることがある。

この試験は人の近傍で用いられる可搬型送信器の模擬を意図したものであり、通常、人が近くに居られないような強力な電磁界を放射するわけではない。それでも、試験中、送信アンテナの近傍には人体の曝露限度^{[6][8]} を超える可能性のある強い電磁界が生じるので、この試験を人が近くに居る状態で行なう場合 (放射を行なったままでアンテナを手で動かそうとする場合には当然そうなる) には人体の保護も考慮すべきであり、特に植え込み型医用機器を使用している人の接近には注意すべきである。参考までに、図 20 に、ISO 11452-9:2012 Table A.1 (informative) の試験レベルから推定した送信アンテナから 30 cm の位置での電界の強さを示しておく。



図 16: 近接試験用広帯域アンテナの例 (写真は Schwarzbeck 社提供)

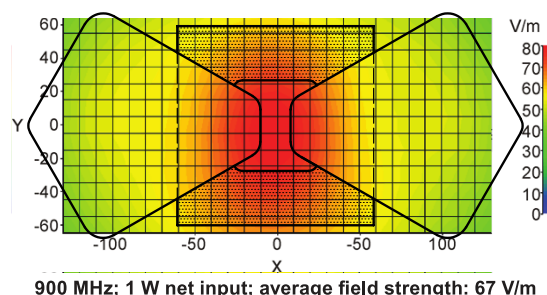


図 17: 近接試験用広帯域アンテナの放射パターンの例 (ISO 11452-9:2012^[2] の図に基づく)

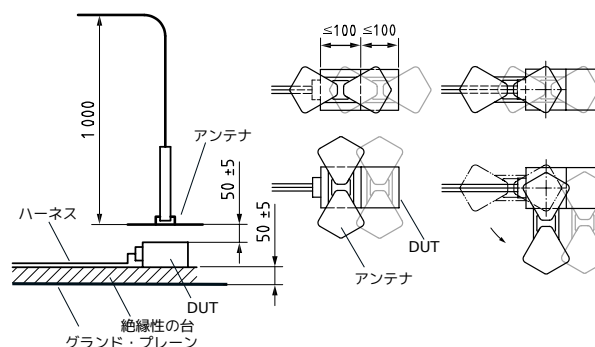


図 18: 近接試験用広帯域アンテナによる試験 (ISO 11452-9:2012^[2] の図に基づく)

2.6 ISO 11452-10 (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)

電源や入出力線への低い周波数の妨害の注入を行なうもので、オーディオ周波数を含む、それよりも広い 15 Hz ~ 250 kHz の周波数範囲がカバーされる。この試験で模擬されるような妨害は、オルタネータの動作によって、また電源に接続された他の装置によって引き起こされるかも知れない。

この試験では、妨害は低出力インピーダンスの電

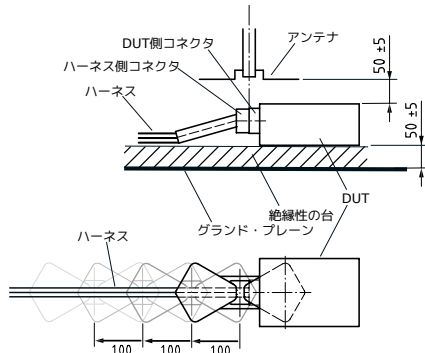


図 19: 近接試験用広帯域アンテナによるハーネスへの結合 (ISO 11452-9:2012^[2] の図に基づく)

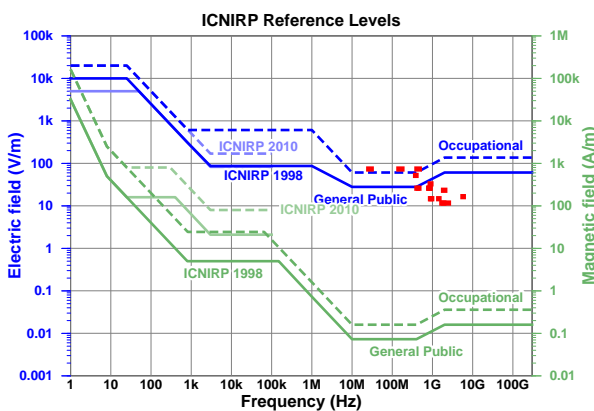


図 20: 近接試験用アンテナからの電界 (推定値) と ICNIRP 参考レベル— 赤のプロットは ISO 11452-9:2012 Table A.1 (informative) の試験レベルから $E \approx 7\sqrt{P}/d$ によって推定した $d = 0.3$ m における電界強度で、この推定では、26 ~ 30 MHz, 146 ~ 174 MHz, 410 ~ 470 MHz のアマチュア・バンド (10 W, CW として計算した) については ICNIRP ガイドライン^[6] の職業的曝露の参考レベル (reference level) を超えている。

力増幅器から絶縁変圧器を介してノーマル・モードで注入され、その妨害レベルは DUT の端子に現れる電圧の振幅で規定される。容量の大きいコンデンサが接続されている DC 電源入力のように、印加箇所インピーダンスが低い場合、相当の電力を印加しても要求レベルまで電圧が上がらないことがあるが、そのような場合は電流の上限が適用される。また、電源以外への印加に際して、対向器側のインピーダンスが高いため DUT に妨害が入りにくくなることがあるが、それが動作に悪影響を与えないならば、対向器側にコンデンサを接続することで対処できる。

妨害を印加する箇所には印加する妨害以外の電圧や電流も存在していることがあるため、印加されて

いる妨害の電圧や電流の測定に際しては、例えばオシロスコプを用いて、印加している妨害とその他のものを弁別することが必要となるかも知れない。

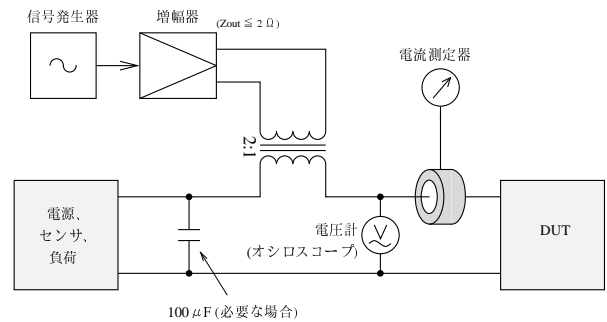


図 21: ISO 11452-10 試験構成

2.7 ISO 11452-11 (リバレーション・チャンバー)

ISO 11452-2 (ALSE 法) と同様、送信アンテナから電磁界を放射して DUT (被試験装置) とハーネスをその電磁界に曝すものである。だが、この試験で用いられるシールド・チャンバーは ISO 11452-2 で用いられる ALSE と違って電波吸収体を持たず、その逆に意図的に反射を起こすように作られている。このようなチャンバー内の電磁界は反射に伴って著しく不均一なものとなるが、この試験で用いられるリバレーション・チャンバーでは、送信アンテナから放射された直接波が DUT に当たらないようにし、またチャンバー内に取り付けられたチューナー (可動の金属板で、スターラー、パドルなどとも呼ばれる) を試験中に回転させてチャンバー内の反射の状態を段階的に変化させることで、全体としては概ね均一な特性が得られるようにしている。これにより、DUT とハーネスを主としてアンテナからの直接波に曝すように意図された ALSE 法と異なり、この試験法では DUT やハーネスが様々な方向からの様々な偏波の電磁界に曝されるようになる。

それぞれのチャンバーで試験可能な周波数範囲の下限 (LUF; lowest usable frequency) はチャンバーやチューナーの設計に依存するが、一般に、低い周波数で所望の特性を得るためには大きいチャンバーとチューナーが必要となる。また、送信アンテナとして、LPDA (ログペリオディック・アンテナ) やホーン・アンテナのような、高効率の、アンテナ後方への放射の小さいアンテナを用いることが望まし

く(後者の特性は送信アンテナからの直接波が DUT に当たらないようにするために必要となる)、これも低い周波数への対応のためには大きなものが必要となる。このため、規格上は周波数範囲の明確な下限はないものの、この試験法は比較的高い周波数範囲での試験に適したものとなる。

ワーキング・ボリューム (DUT を配置する領域) 内の電磁界の均一性の確認や、所望の電界を得るために送信アンテナに印加する必要がある電力の値の決定は、チャンパー内にテスト・ベンチや DUTなどを置かない状態での測定に基づいて行なわれる。試験時にもチャンパー内に受信アンテナを置いて電磁界の強度を測定するが、これは電磁界の強度の設定のためではなく、テスト・ベンチや DUT などの影響でチャンパー内の特性が上記の測定を行なった時と顕著に変化し、電界の均一性を維持できる限界を超えていないかどうかを確認するために用いられる。チャンパーの特性の確認と試験の実施にはやや複雑な手続きが必要となり、その中で、ACF (antenna characterization factor)、CCF (chamber characterization factor)、CLF (chamber loading factor) などといった、ISO 11452 シリーズの他の規格では用いられない特殊なパラメータの使用が必要となるが、規格にはその手順の詳細な説明が含まれている。基本的にはチャンパー内は激しい反射を起こすことが望ましく、このために電波を吸収するようなものはできる限り排除するが、残響時間が長過ぎると短いパルスでの試験を行なえなくなるため、特性の確認の結果によっては吸収体を少量追加することが必要となるかも知れない。

試験に際しては、DUT とハーネスをワーキング・ボリューム内に ALSE 法 (ISO 11452-2) の場合と似た形で配置する。だが、ALSE 法と異なりテスト・ベンチ上のグラウンド・プレーンの使用はオプションであり、グラウンド・プレーンを使用しない時には擬似電源回路網 (AN) も不要となる。試験時には、それぞれの周波数について、均一性の確認を行なった時と同じかそれよりも細かいステップでチューナーの角度を変え、それぞれの位置にあらかじめ定めたドウェル・タイム (最小で 2 秒) のあいだ留めて DUT への影響を観測する。チューナーの角度の変更は、最低で 6~12 ステップ (周波数によって異なる)、推奨としては 12~50 ステップで行なうように述べられており、試験時間は ALSE 法よりもかなり長くなることが予想される。一方、先に述べたように DUT

やハーネスは様々な方向からの様々な偏波の電磁界に曝されるため、一般に DUT の向きやアンテナの偏波を変えての試験を考えることは不要となる。

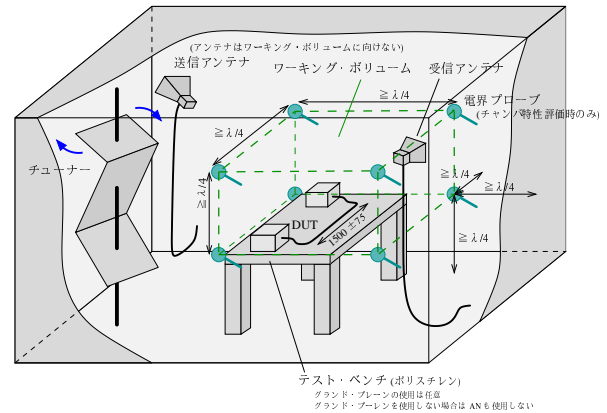


図 22: リバレーション・チャンパーの概観

3 ECE R10 Annex 9: 800 mm ストリップライン

ECE R10^{[1][10]} では、ISO 11452 シリーズでは規格化されていない、800 mm ストリップラインでの試験も認められている。ISO 11452-5 で規定されているストリップラインはプレートの間隔が 150 mm しかなく、主にハーネスのみへの結合に用いられるのに対して、このストリップラインはプレートの間隔と幅の双方が 800 mm となっており、その寸法の 1/3 (266 mm 角) までの DUT をプレート間に置いて電磁界に曝することが可能である。ECE R10 ではこのストリップラインを適用可能な周波数範囲は規定されておらず、これに適合するように作られた 1000 MHz までの仕様のもので市販されているものの、高い周波数 (200 MHz 程度以上) では高次モードの電磁界が発生して試験に悪影響を与える可能性があるため、そのような高い周波数での使用には注意した方が良さそう。

このストリップラインをシールド・ルーム内で使用する必要があるのは、ISO 11452-5 で用いられるストリップラインと同様である。だが、このストリップラインはプレートの間隔が広く、シールド・ルームの壁などからの反射の影響を受けやすくなっているため、その影響の低減のため、シールド・ルームの壁やその他の金属から 2 m 以上離すか、あるいは電波吸収体を用いて反射を抑えることも必須となっ

ている。シールド・ルームの共振による悪影響を避けるためには、電波暗室内で使用するか、あるいはストリップラインの両側に電波吸収体の壁を設けることが望ましい。

さらに、ISO 11452-5 で用いられるストリップラインは下側に大きなグランド・プレーンを持つのに対して、このストリップラインはグランド側と駆動側のプレートの形状が同一で、通常は下側のプレートが駆動側となっているため、下側のプレートと床面のあいだに強い電磁界が発生することが予想される。このため、このストリップラインは非導電性の台を用いて床面のグランド・プレーンから 400 mm 以上離して置くようにするとともに、その下や周囲に機材やケーブルなどを置かないように注意すべきである。

それぞれの周波数で所望の妨害レベルを発生させるために必要な電力はストリップライン内に電界プローブを置いて校正を行なうことで決定され、試験に際してはその時と同じだけの電力を注入することで所望の妨害を発生させる。この際、方向性結合器を用いて得た進行波電力を出力の制御に用いれば確実であろうが、ストリップラインの RF 入力コネクタの近くにモニタ・ポートが設けられていれば、簡易的にはそのモニタ・ポートからの出力を制御に用いることもできる。

試験に際して、DUT は、ストリップラインの中央付近、ストリップラインの寸法 (800 mm) の 1/3 の領域内に置く。DUT からのハーネスは、グランド側プレートに向けて垂直に引き、そこからプレートに沿って外に引き出し、グランド側プレートの外側を RF 入力コネクタの近くまで這わせた上で、対向器まで引いて接続する (図 23)。このストリップラインは床のグランド・プレーンとのあいだやその周囲にも強い電磁界を発生する (図 24) ので、その電磁界の影響を避けるため、対向器はストリップラインから十分に離して、必要であればシールド・ルームの外に設置する。

4 ISO 11452-1:2015

2015 年、ISO 11452-1 が 10 年ぶりに改訂され、ISO 11452-1:2015 (ed. 4) が発行された。以下では、この改訂で大きく変更された点について述べる。

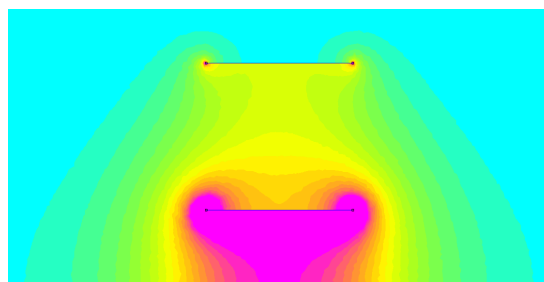


図 24: 800 mm ストリップラインの電界分布 (静電界についての有限要素法での推定)^[9] — 上側の線がグランド側プレート、下寄りの線が駆動側プレート、下端が床面のグランド・プレーンである。ストリップラインの下側に強いフィールドが発生すること、また外側にフィールドが拡がるのがわかるだろう。下側の駆動側プレートは高い高周波電位を持ち、またそのエッジに強い電磁界が発生することが予想されるので、基本的にはハーネスを駆動側プレートに近付けるべきではない。

4.1 変調の追加

レーダー・パルスを模擬する、 t_{on} 3 μ s、周期 3 333 μ s のパルス変調が追加され、周波数範囲に応じて、以下の変調の使用が推奨されるようになった:

- 15 Hz ~ 18 GHz
— CW (連続波)
- 10 kHz ~ 800 MHz
— 1 kHz 80% AM 変調
- 800 MHz ~ 1.2 GHz、1.4 GHz ~ 2.7 GHz
— t_{on} 577 μ s、周期 4 600 μ s のパルス変調
- 1.2 GHz ~ 1.4 GHz、2.7 GHz ~ 18 GHz
— t_{on} 3 μ s、周期 3 333 μ s のパルス変調

4.2 HV-AN、AMN、AAN の追加

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、

- HV-AN (high voltage artificial network)
— 高圧直流電源 (60 ~ 1000 V) 用
- AMN (artificial mains network)
— 交流電源用
- AAN (asymmetric artificial network)
— 通信線用

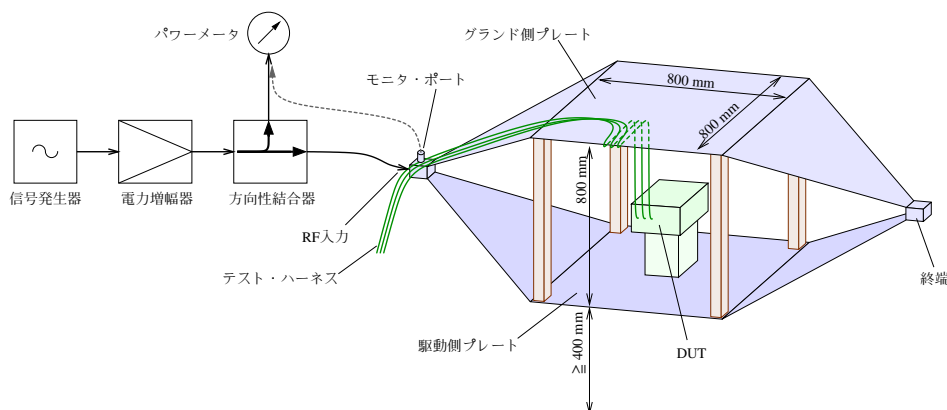


図 23: 800 mm ストリップラインでの試験構成

が追加された。

HV-AN は $5 \mu\text{H}/50 \Omega$ の AN で、従来の低圧直流電源用の AN と同様のインピーダンス特性を持つが、シールド・ケースに入れ、電源ケーブルのシールドを処理できるようにすることが必要となる。必要な場合、試験に際しては、HV-AN と DUT のあいだにインピーダンス整合回路網を追加することもできる。

AMN と AAN は、従来から CISPR 16-1-2^[11] で規定されていた、しばしば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じものである。但し、PLC (電力線通信) については、特別な規定がある。

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。

4.3 FPSC の変更

FPSC (functional performance status classification) の枠組みが大きく変更されるとともに、従来の functional status classification に代わって次のような function performance status が導入された:

- 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。

4.4 ロード・シミュレータ

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た。

また、ロード・シミュレータの DUT 側の端子とグラウ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

5 参考資料

- [1] ECE Regulation No. 10 Revision 4, *Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to electromagnetic compatibility*, United Nations, 2012,
<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 11452-1:2015, *General principles and terminology*
 - ISO 11452-4:2011, *Harness excitation methods*
 - ISO 11452-7:2003 + A1:2013, *Direct radio frequency (RF) power injection*
 - ISO 11452-8:2015, *Immunity to magnetic fields*
 - ISO 11452-9:2012, *Portable transmitters*
 - ISO 11452-10:2009, *Immunity to conducted disturbances in the extended audio frequency range*
 - ISO 11452-11:2010, *Reverberation chamber*
- [3] *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
- [4] FMC1278, *Electromagnetic Compatibility Specification For Electrical/Electronic Components and Subsystems*, Ford Motor Company, 2015,
<http://www.fordemc.com/docs/requirements.htm>
- [5] *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz – 100 kHz)*, Health Physics 99 (6): 818-836, ICNIRP, 2010,
<http://www.icnirp.de/PubEMF.htm>
- [6] *ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*, Health Physics 74 (4): 494-522, ICNIRP, 1998,
<http://www.icnirp.de/PubEMF.htm>
- [7] *ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic*, Health Physics 96 (4): 504-514, ICNIRP, 2009,
<http://www.icnirp.de/PubEMF.htm>
- [8] 電波利用における人体の防護指針 (電気通信技術審議会答申 諮問第 38 号), 平成 2 年 6 月,
<http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/ele/medical/protect/>
- [9] <http://t-sato.in.coocan.jp/compliance.html>
- [10] ECE Regulation No. 10.05 の概要, 株式会社 e・オートマ, 2014–2015,
<http://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>
- [11] CISPR 16-1-2:2003+A1:2004+A2:2006, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-2: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Ancillary equipment – Conducted disturbances*, IEC, 2003–2006

© 2014–2016 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。