

— EVバッテリー高電圧化に伴う課題と新規試験法 —

連続波妨害イミュニティ規格の最新動向

株式会社東陽テクニカ

ワン・テクノロジーズ・カンパニー シニアエキスパート

中村 哲也

IECの小委員会 SC 77BのワーキンググループWG 10が扱う連続波妨害イミュニティ試験規格について、動きのある規格を中心に概要とその最新動向を解説する。IEC 61000-4-3は、主として不確かさの内容を更新した改訂版を数年内に発行するべく審議中である。IEC 61000-4-6は、2023年2月中に最終ドラフトを発行する予定で、これが可決されれば5月頃には新しい第5版となる。この他、新しい通信システム5 Gの信号に対する評価に関連する可能性のある新規格IEC 61000-4-41の審議を開始した。遅くとも年内に委員会原案を発行する予定である。

1. はじめに

近年無線通信システムは大きな進歩を遂げ、広帯域化、高周波化も著しく、電子機器はあらゆる場所で通信信号に曝されている状況にある。IEC(国際電気標準会議)では、このような無線周波に対する電子機器のイミュニティ試験(連続波妨害イミュニティ試験)規格が、IEC 61000-4シリーズの中で規定されている。

本稿では、これらのうち、次版のため審議中のIEC 61000-4-6、5 Gにも関連する新しい規格IEC 61000-4-41など、現在動きのある連続波妨害イミュニティ規格について、その概要及び最新動向を紹介する。

2. IEC 61000-4シリーズの主な規格

IEC 61000-4シリーズで扱う妨害源は、主として無線通信信号などを対象とした連続波と、静電気、雷などを対象としたインパルスがある。IEC 61000-4シリーズの主な規格と現在効力のある版、最新版を表1に示す。これらの規格は基本規格なので、これを引用する製品群規格の一部として取り扱わなければならない。最近では、IEC 61000-4-3と、IEC 61000-4-20が更新されている。

表1 IEC 61000-4シリーズの主な規格と最新版

規格番号(版)	規格名	発行年
IEC61000-4-2(Ed.2)	静電気放電イミュニティ試験	2008年12月
IEC61000-4-3(Ed.4)*	放射無線周波電磁界イミュニティ試験	2020年9月
IEC61000-4-4(Ed.3)	電気的アストラクション／バーストイミュニティ試験	2012年4月
IEC61000-4-5(Ed.3)	サーボイミュニティ試験	2014年5月
IEC61000-4-6(Ed.4)	無線周波電磁界によって誘導する伝導妨害に対するイミュニティ	2013年10月
IEC61000-4-31(Ed.1)	意図的/非意図的広帯域妨害源による伝導イミュニティ	2016年7月
IEC61000-4-39(Ed.1)	近接放射電磁界イミュニティ	2017年3月

CISPRとジョINTaskforceを立ち上げて発行した規格

規格番号(版)	規格名	発行年
IEC61000-4-20(Ed.3)	TEM(横方向電磁界)導波管のエミッション及びイミュニティ試験	2022年2月
IEC61000-4-21(Ed.2)	反射箱試験法	2011年1月
IEC61000-4-22(Ed.1)	全電波無響室(FAR)における放射エミッション及びイミュニティ試験	2010年10月

3. 連続波妨害イミュニティ規格の動向

表1に示す規格の内、妨害源が連続波であるイミュニティ規格で現在動きのある規格の概要と動向を紹介する。

3.1 IEC 61000-4-3 放射無線周波電磁界イミュニティ試験^[1]

この試験法は、送信アンテナを使用してEUTに電磁波を照射する試験法(図1参照)で、原則80 MHz以上の周波数範囲で、1 kHzの正弦波による変調度80 %の振幅変調波を妨害源として用いる。この規格は、2020年9月に第4版が発行された。ここからは、前版からの変更点として主なものをいくつか紹介する。

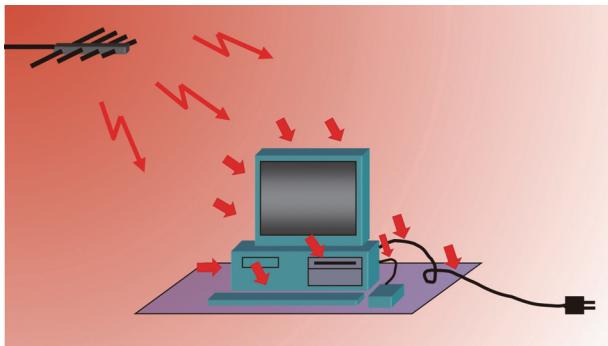


図1 放射無線周波電磁界イミュニティ試験(概念図)

(1) 床置き装置の下方に照射する試験レベルの明確化

この試験法の試験電界はUFA(Uniform Field Area)と呼ぶ基準面に発生する電界強度で規定するが、前版では卓上装置と共通の位置に構築していたが、このUFAの高さ規定を撤廃し、床置き装置の下方に対しても規定に準じた電界を照射できるUFAを構築する要求が追加された。ただし、下方にも試験電界と同様に強い電界を発生させることは現実的に困難な面もあるため、図2に記載したようにEUTの下部がUFAの規定に納まらない場合には、追加の位置の電界強度の測定を行いレポートに記載する旨の条件も明記した。

UFAの作成条件	UFA内にEUTが完全に入る場合	EUTがUFAの下限より0.5m以内で出ている場合	EUTがUFAの下限より0.5mを超えて出ている場合
追加の処置	なし	なし	UFAの下限の高さの1/2の高さの電界を測定し、レポートに記載する

図2 EUTの下部がUFAに納まらない場合の対応

(2) 試験面を変える場合のケーブルの敷設方法の明確化

この試験はEUTの向きを変えて、試験面(電磁波の照射面)を変えながら試験を行うが、その際のケーブルの敷設方法について具体的な図と共に明記した(図3参照)。特にここで要求していることは以下の通りである。

- 対象となるケーブルについて、一度はUFA面に1 m以上配置する
- 一度配置したケーブルは別の面においてわざわざ電

界にさらす必要はなく、電界に影響のない配置をしても良い

また、この要求と差異がある場合はレポートに記載することと明記し、重くてかたいケーブルなど1 mさらすのが困難なものを特別の方法を講じてまでやる必要はない。

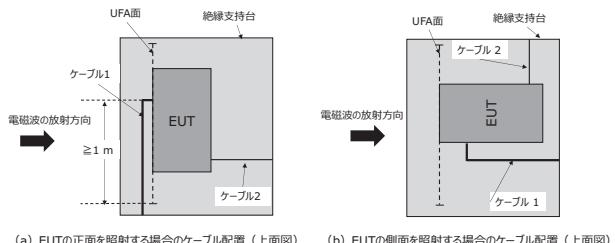


図3 試験面を変えるときのケーブルの配置例

(3) 重量のある大型EUTのレイアウトの明確化

前版では大型のEUTを試験する場合のことはほとんど記載していなかったが、第4版ではセットアップ例を図で示しながら具体的に明記した(図4参照)。ここで要求していることは、

- 実際の設置の際に、一般的にケーブルトレイなどを使用する場合は、試験の時もなるべくその通りに配置する。
- 電源線などに太くてかたくて重いケーブルが使用されている場合は、わざわざ通常の設置では行わない敷設方法で、無理にUFA内に持ち上げる必要はない。床を這わしたり、EUTの底面を這わしたり、設置時の典型的な方法で敷設する。

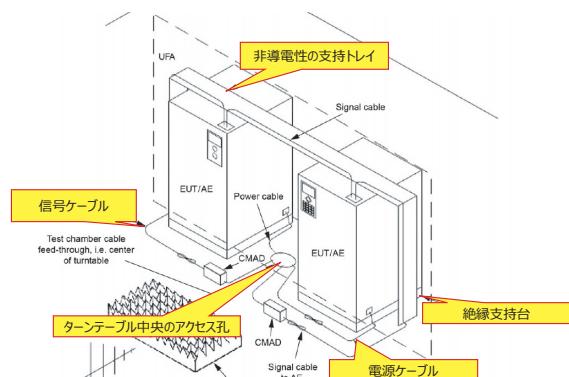


図4 重量のある大型EUTのレイアウト例

この規格は今後不確かさの内容の更新を主として数年内に改定版を出す予定である。

3.2 IEC 61000-4-6 無線周波電磁界によって誘導する伝導妨害に対するイミュニティ^{[2][3]}

この試験法は、通称“伝導イミュニティ”と呼ばれ、図5に示すように妨害をケーブルに注入して行う試験であるが、表題の通り“無線周波電磁界によって誘導する…”で、IEC 61000-4-3と同様の無線通信信号を主な対象としている。

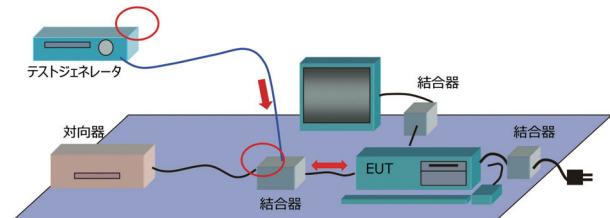


図5 “伝導イミュニティ”試験(概念図)

この規格は、2013年10月に第4版が発行されて現在(2022年10月)に至るが、次版のための審議が進んでおり、2023年2月には最終規格原案を各国に配信する予定で、これが可決されれば2023年5月頃には、この原案は正式に第5版となる。この最終規格原案の現行版に対する変更点をいくつか紹介する。

(1) 試験を省略できるケーブル長1 mを0.4 mに変更

本来複数ユニットで構成しているEUTの場合、個々のユニット毎にEUTと見立てて試験する必要があるが、その代替措置として、“EUTに接続しているケーブルの内1m以内の短いケーブルは、EUTの内部ケーブルの一部として扱ってよい。”としていたが、“1 m”的な場合30 MHz以上で無視できない長さになるので、“0.4 m以内”に変更する。

(2) ケーブルを1本しか接続しないEUTのセットアップ方法の明確化

現行版でもケーブルを1本しか持たないEUTについて記載されているが、リターン経路について言及はなく、わかりにくい記載となっていた。例えば電源ケーブルしか持たないようなEUTの場合を図6に示す。ケーブルに印加用のCDNを取り付けた後は、筐体の接地などはメーカーの指示に従う。実際は接続しないケーブルを用いてまでリターン経路を形成する必要はない。その場合はEUTとリファレンスグラウ

ンドプレーンとの間の浮遊容量、又は擬似手を使用する場合、その擬似手がリターン経路となる。

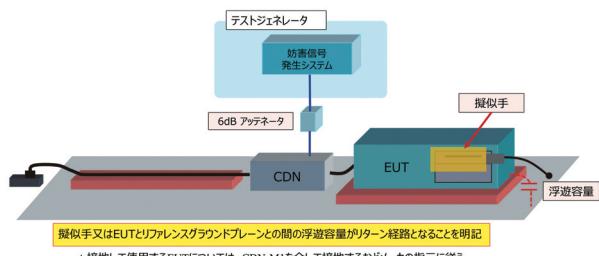


図6 ケーブルを1本しか接続しないEUTのセットアップ方法

(3) デカップリングネットワークの仕様の明確化

シールドケーブルに直接印加する場合や、試験しないケーブルに使用するデカップリングネットワークについて、仕様が明記された(図7参照)。第4版対応と記されたデカップリングネットワーク以前に販売されたものはこの仕様を満たさないものがあるので注意が必要である。特にCISPR 16で特性定義されていて、エミッション測定で使用されている通称“CMAD”と呼ばれるデカップリングネットワークは30 MHz以上で使われるものなので適合しない。

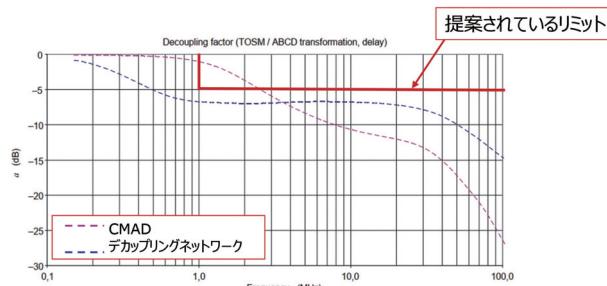


図7 デカップリングネットワークのデカップリング特性

3.3 IEC 61000-4-31 AC電源ポートに対する広帯域妨害源による伝導妨害に対するイミュニティ^[4]

この規格は、CISPR Subcommittee Iから電力線通信信号に対するイミュニティ試験規格の制定を依頼されたことが発端である。その後PLTに限らず非意図的な広帯域ノイズ源も含めてイミュニティ耐性が必要として各国からの合意を得て2016年7月に制定された。試験信号は図8に示すような広帯域信号で、周波数帯域を制限したホワイ

トノイズを使用する。

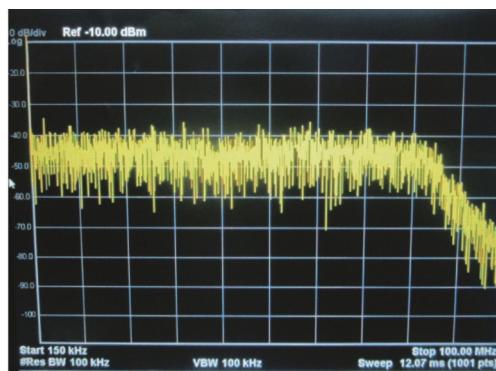


図8 IEC 61000-4-31の試験信号

注入方法は、電力線通信信号の伝送を考慮して、平衡モード(ディファレンシャルモード)で注入するが、コモンモードに変換される成分もあることを想定して、一部をコモンモードで注入することとした。これを実現するために特別に規定した通称CDNDを使用する(図9参照)。

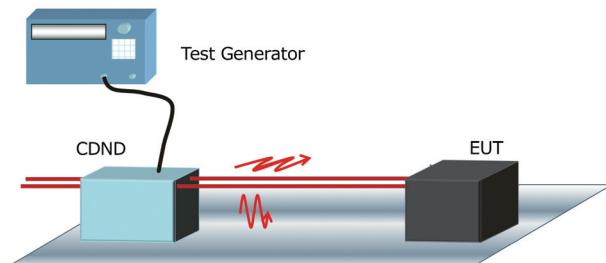


図9 ディファレンシャル(平衡)モードとコモン(不平衡)モードでの注入イメージ

注入する試験レベルは、パワースペクトラム密度[dBm/Hz]で表す。試験セットアップはIEC 61000-4-6と同じ方法で行う(図10参照)。

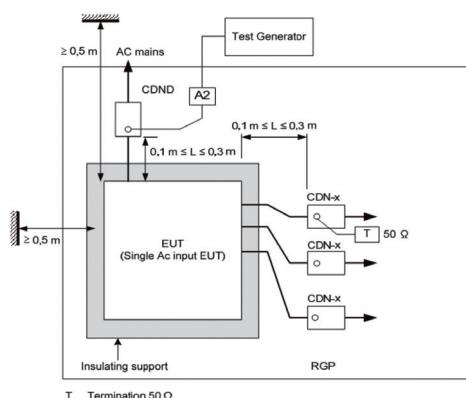


図10 IEC 61000-4-31試験セットアップ

現時点(2022年10月)でこの規格を引用する製品群規格はないが、JIS C 61000-6-2:2019^[5]の共通規格の附属書に“将来考慮される、又は特定の製品群に対するイミュニティ試験”として記載があり、“交流電源からの周波数150kHzを超える妨害に感受性のある装置に対し考慮することが望ましい”と記載されている。

この規格の次版のメンテナンスを始める時期はまだ決まっていない。

3.4 IEC 61000-4-39 近接放射電磁界イミュニティ試験^[6]

この規格は近接した信号源から放射されたRF電磁界にさらされる電気・電子機器のイミュニティを評価するための試験方法、印加レベルを規定する。医用電子機器に対するEMC規格を規定しているIEC SC 62Aからの要請が発端で2017年3月に新設した規格である。近年病院内で医療用テレメータなど医療情報のやり取りに無線を利用することが必須になってきた背景が要因となっている。

適用周波数範囲は9 kHz～6 GHzと非常に広いが、全周波数帯域を試験する必要はなく、製品群規格の該当する製品が近接電磁界にさらされる無線システムの周波数帯に応じて、試験周波数を決定する。

イミュニティ試験方法は図11に示すように試験周波数に応じて規定している。

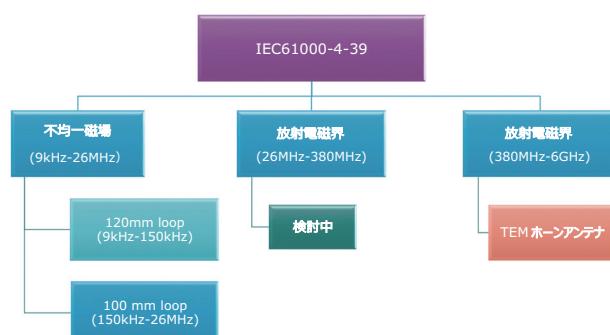


図11 近接放射電磁界イミュニティの試験方法

アンテナをEUTに近接させて、妨害を印加する方法は共通であるが、周波数帯に応じて最適なアンテナを規定している。

9 kHz-26 MHzでは、ループアンテナを使用して妨害を印加する。この帯域をさらに二つに分けて9 kHz-150 kHz

では直径120 mm、150 kHz~26 MHzでは直径100mmのループアンテナを使用する。低周波領域では磁界を発生させる方が効率的で、実際の無線通信システムも磁界を利用していることが多い。

26 MHz~380 MHzの帯域は、まだ検討中で初版では試験法は規定していない。

380 MHz~6 GHzの帯域では特別なアンテナTEM-HORNアンテナを使用する。

アンテナを近接させて試験するため、類似の特性でも異なった形状のアンテナでは、結果が異なる恐れがあるため使用するアンテナは“規定”しているのである。



図12 近接放射電磁界イミュニティ試験に使用するアンテナの例

試験に使用する妨害信号のタイプも周波数によって異なり、9 kHz~150 kHzの帯域では80 %のAM変調、150 kHz~26 MHzの帯域では2 Hz又は1 Hzのパルス変調、380 MHz~6 GHzは2 Hz、217 Hz、1 kHzのパルス変調の信号を使用する。

試験セットアップを図13に示す。アンテナとEUTとの距離は磁界試験の場合は5 cm、電界試験の場合は10 cmに近接させて配置する。

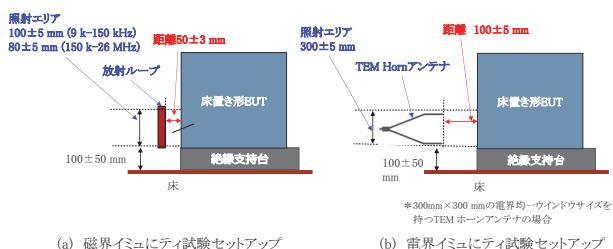


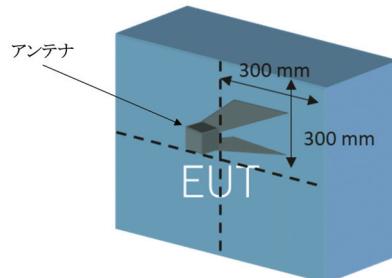
図13 磁界及び電界イミュニティ試験のセットアップ例

この試験はアンテナを近接させて行うため、既定の磁界・電界を発生させるエリアはEUTの大きさに比べて小さいことが多い。したがって、試験方法はEUT全体に規定

の試験を行うために以下の手順で行う。

- ① 試験するすべての面をアンテナの照射エリアに従った大きさの格子に分割する(図14参照)。
- ② アンテナは、各々のセルの中心から50 mm(電界試験の場合は100 mm)に配置する。EUTの形状より距離の確保が不可能な場合は、最も重要と考える位置を基準にして配置する。
- ③ 一つの面の位置で必要な周波数範囲をスキャンしながら全周波数印加する。その際それぞれの周波数の照射時間はEUTが十分反応する時間とする。
- ④ 電界試験の場合は偏波を切り替えてもう一度周波数スキャンを行い、水平と垂直の両偏波で試験する。
- ⑤ ①で分割したEUTの全試験面に対して、それぞれの正面にアンテナを移動させながら②~④を繰り返して、順に照射していく。

大きなEUTの場合には時間のかかる試験法ではあるが、金属板に覆われている部分など、試験を不要とするエリアも記載しているので活用する。



* TEMホーンアンテナで、均一エリアを300 mmとした場合の分割例

図14 イミュニティ試験時はEUTの試験面を分割して実施する

この規格は現時点においてIEC 60601-1-2の第4.1版^[7]の近接磁界イミュニティ試験で引用されている。要求の主なものを表2に示す。

表2 IEC 60601-1-2の近接磁界イミュニティ試験要求

想定する妨害源の例	試験周波数	変調方式	イミュニティ試験レベル
IHF調理器、家電製品、オープン	30kHz	CW	8 A/m
RFID / 万引き防止システム(EAS)	134.2kHz	PM Duty 5% 2.1kHz PRF	65 A/m
RFID	13.56MHz	PM Duty 5% 100 kHz PRF	7.5 A/m

この規格はまだ試験法が決まっていない帯域があり、改訂版又は新版を発行する必要があるが、次版のメンテナンスを始める具体的な時期はまだ決まっていない。

3.5 IEC 61000-4-41 広帯域放射イミュニティ試験

この規格は2019年ごろから審議をはじめたばかりで、まだ国際規格として発行されていない。

昨今のLTE、5Gなどに代表される無線通信システムは広い周波数帯域にわたってスペクトラムが広がっている広帯域信号を用いている。以前からIEC 61000-4-3のメンテナンスの際もデジタル通信信号のような広帯域信号で試験を実施すべきという意見があったが、従来の試験信号と様々な状況下で相関を取ることは困難であり、また、従来の試験で合格した機器がデジタル無線通信信号で耐性を有しているケースも否定できないとして、採用されることはなかった。しかしながら、2019年の5Gシステムが普及するタイミングで、各加盟国からの賛同を得、IEC 61000-4-3とは独立した新しい規格として審議することになった。

この規格では、デジタル無線通信信号を模した広帯域信号を試験信号として用いる(図15参照)。

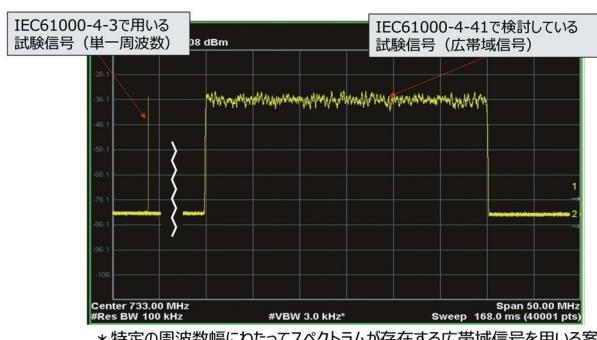


図15 IEC 61000-4-41で用いる試験信号案

これ以外の規定はまだ何も決まっていない。今検討されている内容を以下に列記する。

- Scopeに記載する周波数範囲は80 MHzからと記載するが、試験レベルなどは 600 MHzから 6 GHz を規定する。ただし、この規格発行年を考えると 6 GHz を超える周波数範囲を含める必要があるかもしれない。

● テスト信号は、帯域幅を制限したホワイトノイズで、必要に応じてパルス変調(デューティサイクルは50%)を行う。

● 規定するテストレベルの単位はスペクトラム密度 [dB(μ V/m/MHz)]とする。

● IEC 61000-4-3の記載をベースに、既定の信号が出力できる信号発生器及びスペクトラム密度確認用の周波数選択性のある測定器(スペクトラムアナライザまたはレシーバ)が必要

● IEC 61000-4-3の性能基準を満たし、IEC 61000-4-41の規定を満足する試験施設。IEC 61000-4-41の規定を満足する試験施設とは、例えば暗室内は、100 MHz 幅のテスト信号に適当な平坦度を持つなど。

● セットアップはIEC 61000-4-3と同等とする。

● レベル設定はCW信号を用いて、試験信号の中心周波数をステップして実施する。

今年(2023年)の秋ごろまでには、最初の委員会草案(CD文書)を発行できるように準備している段階である。

4. おわりに

以上、各規格の概要、及び最新動向を今後の予定も含めて紹介した。

なお、IEC 61000-4-6で紹介した変更点、IEC 61000-4-41のように、規格原案に関する紹介については、まだ、正式な規格の要求ではないことにご留意いただきたい。特にIEC 61000-4-41で列記した内容はまだ“意見”的レベルであることにもご注意いただきたい。

参考文献

- [1] IEC 61000-4-3:2020 Testing and measurement techniques—Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test.
- [2] IEC 61000-4-6:2013 Testing and measurement techniques—Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields.
- [3] 77B/856/CDV Testing and measurement techniques—Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields.

[4] IEC 61000-4-31:2016 Testing and measurement techniques-AC mains ports broadband conducted disturbance immunity test.

[5] JIS C 61000-6-2:2019 電磁両立性-第6-2部:共通規格-工業環境におけるイミュニティ規格 附属書 A PP 12.

[6] IEC 61000-4-39:2017 Testing and measurement techniques-Radiated fields in close proximity-Immunity test.

[7] IEC 60601-1-2:2014+AMD:2020 CSV Consolidated version Medical electrical equipment-Part 1-2:General requirements for basic safety and essential performance -Collateral Standard:Electromagnetic disturbances- Requirements and tests.



中村 哲也(なかむら てつや)

1981年 東陽通商(現東陽テクニカ)入社

EMC計測システム開発、EMC計測ソフトウェアの開発、テクニカルサポートに携わり、現在に至る。

2010年 IEC SC77B WG10に日本からエキスパートとして参加。IEC 61000-4シリーズの規格の規定、改定に携わる。

この他、SC77B国内委員会に参加し、EMCに関連するJIS規格の原案作成、また、総務省 電波利用環境委員会のCISPR A作業班に参加し、総務省の答申原案の作成、及びCISPR A関連規格の審議を行っている。