EMC とは何か

株式会社 e・オータマ　佐藤智典

2020 年 4 月 30 日

目 次

1 はじめに 1

2 EMC とは何か 1
2.1 なぜ EMC が必要か? 1
2.1.1 電磁干渉問題の例 [3] 2
2.2 エミッションとイミュニティ 2
2.3 EMC の達成 3

3 EMC 規制 4
3.1 規制への適合と EMC 4

4 EMC 試験の紹介 7
4.1 エミッション試験 7
4.1.1 放射エミッション 7
4.1.2 妨害電力 7
4.1.3 伝導エミッション 9
4.2 イミュニティ試験 9
4.2.1 無線周波放射電磁界イミュニティ 9
4.2.2 無線周波伝導妨害イミュニティ 10
4.2.3 電気的ファスト・トランジェント/バースト 11
4.2.4 サージ 11
4.2.5 静電気放電 (ESD) 11
4.2.6 短時間停電、電圧ディップ 13

5 製品開発と EMC 13

6 参考資料 14

1 はじめに

多くの方は EMC という言葉を聞いたことはあると思いますが、それが何であるかがよくわからないという方や、なぜそれが必要とされるのかがわからないという方もおられるかも知れません。しかし、EMC の達成は製品開発における重要なポイントとなっており、製品の開発に携わっているそれぞれの人が基本的なことを知っておくことが望ましいと思われます。そこで、ここでは、EMC とは何なのか、なぜそれが求められているのか、そして EMC の確認がどのように行なわれているのかについて、簡単に述べることにします。

2 EMC とは何か

EMC は electro-magnetic compatibility の略で、日本語では電磁両立性、電磁環境両立性などとも呼ばれます。この用語は、「機器やシステムの、その環境内のいかなるものに対しても許容できない妨害を与えることなく、その電磁環境内において満足に機能する能力」のような形で定義されています。簡単に言えば、機器がその動作によって他のものに電磁的な妨害を与えず、またその動作が他のものからの電磁的な妨害を受けないならば、EMC が達成されているということになります。

おおよそどのような機器も世界の中に他のものと全く無関係に存在しているわけではなく、自然現象や他の機器などによって形成される環境の中で、他のものと共存していくことが求められます。これが、その名前の「両立性 (compatibility)」が意味するものです。

2.1 なぜ EMC が必要か?

EMC が欠如しているということは、何らかの干渉が発生することを意味します。ラジオを聞いていて雑音が入るのを、あるいは電子レンジを使った時に無線 LAN の通信が遅くなったり切れたりするのを経験したことがある方もおられるかも知れませんが、これも EMC が不充分であることによるものと言えます。

また、電気ストーブが電磁妨害の影響で勝手にオンになる [4] という、一般のニュースでも報じられた問題を覚えている方もおられるかも知れませんが、これは電磁妨害に伴う誤動作の結果として火災という重大な結果を生じ得る、潜在的に重大な EMC 問題の一例となります。

私達のまわりには妨害を発生する可能性を持つ多くの電気機器が存在しており、それらは雷に伴う電

磁界やサージ、人体からの静電気放電などといった電気機器以外のものからの妨害とともに、他のものへの干渉を引き起こす可能性を、またそのような妨害によって干渉を受ける可能性を持っています。

近年の、多くの機器へのコンピュータの搭載、パワーエレクトロニクス技術の普及[†1]、信号の高速化、機器の相互接続の増加、無線の使用の拡大などの傾向は、干渉問題の発生の可能性やその影響の大きさをさらに増大させていると言えます。現代においては、普通の家庭においても実に多様な電気機器が使われており、それらは干渉問題を引き起こしたり干渉を受けたりする可能性を持っています。干渉問題は決して珍しい事象ではありませんし、ラジオの雑音のように単に迷惑なだけではなく、重要な通信の妨害、医療機器の誤動作、自動車や工作機械の暴走のように、重大な、時には命にかかわるような影響を持つものともなり得ます。このような意味からも、技術者の方々には、このような問題を未然に防ぐために必要なものとして EMC を真剣に考えていただきたいと思います。

2.1.1 電磁干渉問題の例 [3]

- 近くで無線送信機が使用された時に電動車椅子が暴走した
- テレビ放送の電波の影響で乳児モニタの警報が解除され、複数の乳児が死亡した
- CNC マシンからのノイズによって架空移動式クレーンが意図せずに動作した
- クレーンが電磁干渉に伴って吊り荷を切り離し、作業員が圧死した
- 胎児心臓監視装置が携帯電話の会話を拾い、拍音を聞くのを妨げた
- 100 m ほど離れた場所でのタクシー無線の使用によってオーディオ・システムの入力セレクタが切り替わった
- 2 件の転覆事故が VHF 無線の自動操舵装置への干渉によって引き起こされたと主張されている
- ネバダの緊急サービスの双方向無線通信がノイジーなピンボール・マシンによって破綻した
- 伝導性トランジェントによるバルブ制御盤の誤動作で塩素の放出が発生し、その製造業者が罰金を課された
- 電源の商用電源から自家発電装置への切り替えに際して透析装置が停止した
- 乗客がポータブル CD プレーヤの電源を入れた時、着陸態勢の DC-10 が鋭くバンクして墜落を起こしそうになった
- 盗難防止装置からの電磁界によりペースメーカが誤動作した
- 軍艦が僚艦のレーダー・ビームの影響で操舵不能となり、衝突を起こしかけた
- 可搬形ガス検出器が携帯無線送信器の近くで使われた時にオペレータに気付かせることなく故障した
- 電磁干渉による 39 件の報告されたインシデントの後、 およそ 14,000 台の体外式除細動器がリコールされた
- 電磁干渉によってモノレールのオーバーラン事故が引き起こされた
- ガス衣類乾燥機が内部での ESD による誤動作に伴う過熱事故を生じ、リコールされた

2.2 エミッションとイミュニティ

機器からの妨害の放射 (つまり、加害者としての振る舞い) はエミッションと呼ばれます。

また、妨害に対する耐性、すなわち妨害の受けにくさの程度はイミュニティと呼ばれます。これは、その逆の妨害の受けやすさの程度を示す、サセプティビリティ、あるいは EMS (electro-magnetic susceptibility; 電磁的感受性) という言葉で呼ばれることもあります。

機器がイミュニティ・レベルを超える妨害を受けた時に生じる、電磁妨害に伴う悪影響 (ラジオの雑音、通信の速度の低下、コンピュータの誤動作など) は、EMI (electromagnetic interference; 電磁干渉、あるいは電磁障害) と呼ばれます。[†2]

[†1] 身近なところではエアコンや冷蔵庫のインバータ化のような。

[†2] EMI という用語はエミッションの意味で用いられることもあります。

一般の電気/電子機器の中でエミッションが問題となりやすいものの例としては、電源スイッチや電力を開閉するその他のスイッチ (開閉に伴って過渡的な妨害を発生し、これはかなり激しいものとなることもある)、ブラシ・モータ (広帯域のブラシ・ノイズを発生する)、マイクロ・プロセッサ (クロックとその高調波が高い周波数で問題となりやすい)、スイッチング電源、DC/DC コンバータ、インバータのようなパワー・エレクトロニクス回路 (電力のスイッチングに伴って広い帯域で妨害を発生する傾向がある) などがあり、このようなものが発生した妨害は様々な経路で放出されます (図 1)。

また、機器は様々な電磁妨害に曝されながら動作しますが (図 2)、一般の電気/電子機器の中でそのような妨害の影響で問題を生じやすいものの例としては、アナログ信号全般 (信号が妨害の影響を受けやすい)、マイクロ・プロセッサ (瞬間的な妨害が動作を破綻させることがあり、また予期しにくい様々な結果が引き起こされることもある)、入出力回路 (端子への静電気放電やケーブルに乗った妨害を最初に受け止める形となる) などがあります。

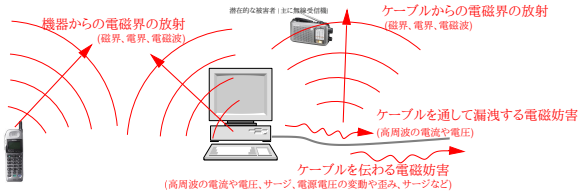

図 1: 機器は様々な形で電磁妨害を放射する

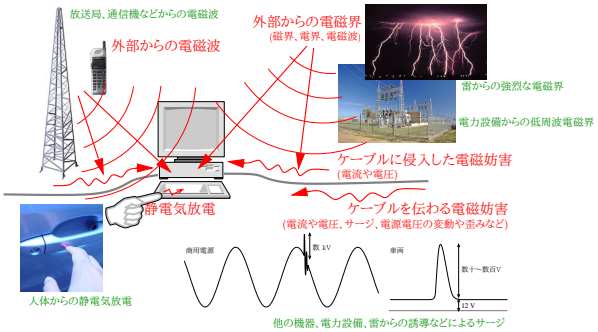

図 2: 機器は様々な電磁妨害に曝されながら動作する

電磁干渉は一般の機器と機器のあいだで生じることもありますが、これは比較的限定的です。特に無線周波電磁界に伴う干渉に関しては、機器からの電磁妨害による無線受信への干渉、また無線送信機などから意図的に放射された電磁界による機器への干渉が主な懸念で、エミッションの制限は主に無線受信機への干渉を防ぐために、イミュニティの確保は主に無線送信機や高周波利用設備[†3]からの干渉を防ぐために必要となります。

2.3 EMC の達成

電磁干渉は、

- 電磁妨害の発生源 (潜在的な加害者)
- 電磁妨害の結合経路
- 電磁妨害の影響を受けるもの (潜在的な被害者)

が存在し (図 3)、かつ潜在的な被害者が受ける妨害のレベルがそのイミュニティのレベルを超えた時に発生します。

図 3: 電磁干渉の 3 要素

従って、

- 加害者が発生する妨害のレベルを下げる (エミッションの低減)、
- 加害者から被害者に妨害が伝わりにくくする (例えば距離を離す)、かつ/もしくは
- 被害者をより強い妨害に耐えられるようにする (イミュニティの向上)

ことで被害者がそれが耐えられる限界を超える妨害を受けないようにできれば、干渉問題の発生が防止され、従って EMC が達成されたということになります。機器の設計者が EMC を考える場合には、その機器からのエミッションが潜在的な被害者にそのイミュニティ・レベルを超える妨害を与える可能性が充分に低くなるように、またその機器のイミュニティ・レベルがそれが受ける妨害のレベルを下回る可能性が充分に低くなるようにすることが目標となるでしょう。

このために達成すべきエミッションやイミュニティのレベルは機器や想定される使用環境などによって

[†3] 高周波加熱装置など、高周波をエネルギーとして用いるもの。

異なるものとなりそうですが、その決定を個々の機器について行なうのは実際的ではないでしょうし、規制のためには一般には明文化された技術基準があることが望まれます。

このため、国際規格として標準化されたもの (表 1) を含めて、EMC に関する規格化が行われており、通常はそのような規格のうちの該当するものに適合させることが最低限の目標となります。

先に述べたように、無線周波電磁界に関しては、エミッションは無線受信機への干渉を防ぐことが、イミュニティは無線送信機などからの干渉を防ぐことが主な目的となりますので、このような規格でのエミッション限度やイミュニティ試験レベルも主にそれを考慮して設定されています。[†4]

3 EMC 規制

少なくともエミッションに関しては主に無線障害 (例えばラジオやテレビの受信障害) の防止の観点から多くの地域で何らかの規制が行なわれており、そのような規制の対象となる機器を販売するためにはその要求に従うことが必須となっています。一方、イミュニティに関しては、EU ではほぼ全ての機器がイミュニティ要求の対象となりますが、他の多くの地域では医療機器などの一部の製品分野を除いては法的にはイミュニティが要求されないケースが多い状況となっています。

他の規制と同様、法的な規制はそれぞれの国や地域ごとに定められますので、規制の内容やそれに関連する手続きはその国や地域によって異なったものとなります。このような法的な規制としては、例えば表 3に示したようなものがあります。

法的な規制がない場合であっても、産業分野によっては、その要求に従わなければその産業分野で製品が受け入れられないような、実質的に強制力を持つ要求が定められていることもあります。

また、製品の納入先から特定の基準への適合が求められる場合もあり、自動車メーカーの多くがそうしているようにそのような基準として独自に定めたものが用いられることもあります。

法的な規制に関しては、手続きを簡素化し、政府や指定機関による認可や認定に代わって製造業者による自己宣言のようなより簡単な手続きを広範に採用する傾向が見られます。そうであっても、依然として国や地域ごとの対応が必要となるであろうことには変わりなく、製品をいくつもの国に輸出しようとしている企業にとっては負担となるでしょうが、これはやむを得ないことでしょう。

試験に関しては、単一の試験結果を複数の仕向地向けの評価結果として使える場合もありますが、国による規格の違いや試験所に対する要求の違いなどのために仕向地に応じて試験を別に行なうことが必要となる場合もあります。試験、また認可などには相当の時間を要することが予期されますので、この種の作業は時間的な余裕を持って計画的に進めることが望ましいでしょう。

自己宣言においては、一般に、適合を達成し、所定の書類を作成し、適合を達成したことを示すための表示を製品に付けることが必要となりますが、第三者による確認や当局への書類の提出などは不要で、認定などが必要な場合と比較して製造業者の負担の軽減や出荷までの時間の短縮が期待できます。

3.1 規制への適合と EMC

その製品に適用される規制がある場合はその規制上の要求に従うことが必要となります。ですが、規制上の要求に適合しさえすれば本当に充分でしょうか?

1 つの考え方としては、規制に従うことそのものが目的であり、その要求を超えたことをする必要はないというものがあるでしょう。これは、規制がある場合にはその最低限の水準をクリアしさえすれば良いし、規制がないならば何もする必要はない、という考えです。

確かに、規制上の要求に従っている製品は合法的に販売できるでしょうし、それは EMC に関しても同様です。ですが、考えていただきたいいくつかのポイントがあります:

- あなたはその製品が実際の使用で問題を生じないと確信できるでしょうか?
- あなたの製品が実際に問題を生じたとき、その製品は規制に従っているので製品の問題ではないと言えば顧客は納得してくれるでしょうか?

[†4] 但し、多くの規格のエミッション限度はすぐ近くに置かれた放送受信機を保護することは意図しておらず、またイミュニティ試験レベルはすぐ近くに置かれた携帯電話からの保護は意図していません。

規格	適用対象
CISPR 11	工業、科学、及び医療 (ISM) 用無線周波機器のエミッション
CISPR 12[1.8]	車両、ボート、及び内燃機関 — オフ・ボード受信機の保護
CISPR 14-1	家庭用器具、電動工具、及び類似の器具のエミッション
CISPR 14-2	家庭用器具、電動工具、及び類似の器具のイミュニティ
CISPR 15	電気照明、及び類似の機器のエミッション
CISPR 25[1.7]	車両、ボート、及び内燃機関 — オン・ボード受信機の保護
CISPR 32[1.5]	マルチメディア機器のエミッション
CISPR 35[1.6]	マルチメディア機器のイミュニティ
IEC 60601-1-2[1.17]	医用電気機器、及び関連機器
IEC 60945	船舶用航法/無線通信機器の一般要求事項
IEC 61131-2	プログラマブル・コントローラの EMC
IEC 61326-1	測定、制御、及び研究所での使用のための電気機器の EMC
IEC 61800-3	可変速駆動システムの EMC
IEC 61851-21-1	電動車両接触型充電システム — 車両搭載型充電器の EMC
IEC 61851-21-2	電動車両接触型充電システム — 車両外充電器の EMC
IEC 61980-1	電動車両無線給電システム
IEC 62236 シリーズ	鉄道システムの EMC
⋮	⋮
IEC 61000-6-1	住宅、商業、及び軽工業環境向けの機器のイミュニティ (一般規格)
IEC 61000-6-2	工業環境向けの機器のイミュニティ (一般規格)
IEC 61000-6-3	住宅、商業、及び軽工業環境向けの機器のエミッション (一般規格)
IEC 61000-6-4	工業環境向けの機器のエミッション (一般規格)
⋮	⋮
IEC 61000-3-2[1.13]	16 A/相までの機器の高調波電流エミッション限度
IEC 61000-3-3[1.14]	16 A/相までの機器の電圧変動、電圧動揺、フリッカの限度
IEC 61000-3-11[1.14]	75 A/相までの条件付き接続の機器の電圧変動、電圧動揺、フリッカの限度
IEC 61000-3-12[1.13]	16〜75 A/相の機器の高調波電流エミッション限度
⋮	⋮

表 1: EMC に関する IEC 規格の例

規格	適用対象
47 CFR 15[1.4]	電気/電子機器全般 (アメリカ)
MIL-STD-461	軍需/防衛 (アメリカ)
NDS C0011	防衛 (日本)
RTCA DO-160	航空
ECE Regulation No. 10[1.15]	自動車、車載機器 (EU、他)
船級規格 (LR, BV, ABS, DNV, NK, . . .)	船舶
⋮	⋮

表 2: EMC に関するその他の規格の例

日本		
電気用品安全法 (電安法)[1.3]	指定されたカテゴリの機器	主にエミッション
電波法	無線機器、高周波利用設備	エミッション
医薬品医療機器等法 (薬機法)	医療機器	エミッション、イミュニティ
道路運送車両の保安基準	車両、車載機器	エミッション、イミュニティ
計量法	特定の計量器	イミュニティ
EU		
EMC 指令 [1.1]	ほぼ全ての電子/電気機器	エミッション、イミュニティ
無線機器指令 [1.2]	無線機器	エミッション、イミュニティ
自動車指令 (ECE R10[1.15])	車両、車載機器	エミッション、イミュニティ
医療機器規則	医療機器	エミッション、イミュニティ
アメリカ		
FCC 規則 [1.4]	ほぼ全ての電子/電気機器	エミッション
FDA 規則	医療機器	エミッション、イミュニティ

表 3: EMC 要求を含む法的規制の例

- あなたの製品が出荷後に問題を発生した場合、その対処のためのコスト (原因の同定、製品の改善や回収、顧客に与えた損害の補償などに伴う) はどの程度のものとなるでしょうか?
- あなたの製品は、人に危害を与えるような事故を生じ、あるいは他の機器にそのような事故を生じさせる可能性はないでしょうか?

特にイミュニティに関して、先に述べたように、一般の機器ではイミュニティが法的な規制の対象となっていないことが多いですが、それはそのような機器についてイミュニティを確保する必要がないということを意味しているわけではありません。

医療機器の誤動作や産業用ロボットの暴走による死傷事故のような重大なものを含め、電磁干渉に伴う様々な問題が現実に発生しており、そのような問題が発生して何らかの損害を与えれば賠償などを求められるかも知れず、また法的な責任を問われるかも知れません。また、そのような重大な結果を伴わなかったとしても、頻繁に誤動作を生じれば少なくともユーザーは不満を持ち、何らかの対応を要求されるかも知れず、あるいは評判の悪化や将来の販売への悪影響を招くかも知れません。

そして、機器のサンプルが該当するエミッションとイミュニティの試験に合格したとしても干渉の恐れはないと安心できるわけでもありません。その理由のいくつかは:

- 機器のそれぞれの個体の EMC 特性は、様々な要因によるばらつきを持ちます。

  これは、製品のサンプルが試験に合格したとしても、同一の機種の他の個体が合格するとは限らないことを意味します。

- 機器の EMC は経時的な劣化 (例えばシールドの接触の悪化のような) に伴って悪化することがあります。
- 規格の規定はある種の妥協であり、干渉が決して生じないようなレベルを定めているわけではありません。

  例えば、放射エミッションが規格に入っている機器も、近傍のラジオの受信障害を引き起こすかも知れません。また、携帯電話の近傍の電界強度は一般的な規格でのイミュニティ要求レベルを大幅に超えるものとなります。

- そもそも、規格は干渉を引き起こすかも知れない全ての現象をカバーしているわけでもありません。

これは、一般的な環境で使用される製品においては、適切な規格への適合によって干渉のリスクを低く抑えられることが期待されるものの、単に規格に適合させるだけでは充分ではない可能性もあることを意味すると考えられます。そして、干渉問題のリスクが高い (干渉を生じる可能性が高い、あるいは干渉が重大な結果を生じ得る) 場合には、何らかの方法

でそのリスクを下げることも必要となるかも知れません。

安全の分野ではリスク・マネジメントが広く用いられるようになっていますが、これは EMC においても有用なものとなるでしょう。また、医療機器 (IEC 60601-1-2[1.16] 自身がリスク・マネジメントの要求を含んでいる) や EU の EMC 指令 [1.1] (規格への適合ではなく指令の必須要求への適合が要求され、またリスクの適切な分析と評価を技術文書に含めることが必須となっている) などではリスクの分析や評価が必須となっています。

4 EMC 試験の紹介

規格や機器の種類などに応じて様々な試験法が用いられていますが、ここではそのような試験法の例を簡単に紹介します。

この他にも様々な試験法があり、また実際の試験法は規格やその版によって相違があります。試験法についてより詳しく知りたい方は、参考資料 [1]、またそれぞれの規格そのものを参照して下さい。

4.1 エミッション試験

4.1.1 放射エミッション

一般の電子機器では、典型的には 30〜1 000 MHz の周波数範囲について、図 5 で例示するようにオープン・サイト (図 6) か電波半無響室 (図 7) で EUT [†5] から規定された距離 (大抵は 10 m か 3 m) 離して置かれた受信アンテナで EUT から放射される電磁波を受信し、その強度をテスト・レシーバ (図 8) で測定する方法が良く用いられています。この測定法では受信アンテナには EUT やそのケーブルなどの様々な箇所からの放射やそれらが大地面で反射したものが合成されたものが到達し、アンテナで検出される電磁波の強度は EUT とアンテナの位置関係によって複雑に変動するため、EUT を回転させ、またアンテナの高さを変化させて強度が最大となる点を探すことが必要となるのが普通です。30 MHz 以下や 1 000 MHz 以上では、これと似た、だが異なる試験法が良く用いられています。

この方法での測定のためには規格の要求を満たすやや大きなテスト・サイトが必要で、また測定者の技量が測定結果に影響を与えやすいため、この試験はあまり手軽なものではありません。

一般の電子機器の放射エミッションの限度は、主としてある距離 (保護距離と呼ばれる) よりも離れた場所のラジオやテレビの受信やその他の無線通信を保護する目的で定められています。CISPR 32[1.5] クラス A や IEC 61000-6-4 (工業環境) などと CISPR 32 クラス B や IEC 61000-6-3 (住商業環境) などの放射エミッションに対する限度の違い (図 4) はこの保護距離の違いによるもので、工業環境 (クラス A) では 30 m、重商業環境 (クラス B) では 10 m の保護距離が選ばれています。

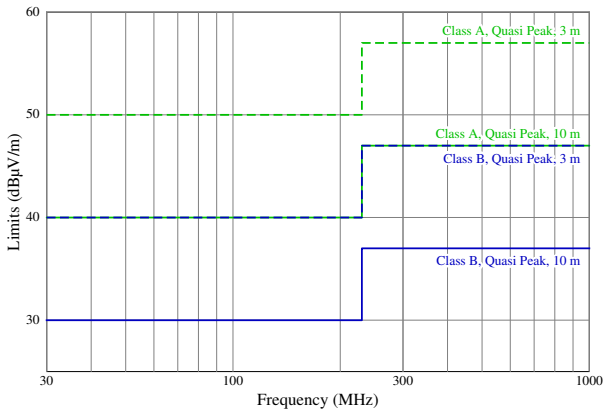

図 4: 放射エミッション限度の例 — CISPR 32[1.5]

車載機器などでは、機器やハーネスが金属の車体の近くに置かれることが多いこと、非常に近い距離の受信機 (例えばその車両上の AM ラジオ) の保護が必要となる場合があることなどもあり、卓上のグランド・プレーン上に機器とハーネスを配置しての 1 m の距離での測定が良く用いられます (図 9, 図 10)。

4.1.2 妨害電力

小形の家電品や電動工具などで、通常は前項のようにアンテナで測定するような周波数の電磁波の放射も主にその電源ケーブルなどのケーブルからのものとなると考えられる場合があります。[†6] これはそのような状況ではケーブルに漏洩している妨害波の強度の測定を前項で述べたような放射エミッションの測定の代わりとできるであろうことを意味します。

[†5] EUT = equipment under test (被試験装置)

[†6] 機器が大きい、あるいは周波数が高い場合は機器自身からの放射が無視できなくなり、従ってそのような状況ではこの測定法はあまり適切ではなくなります。

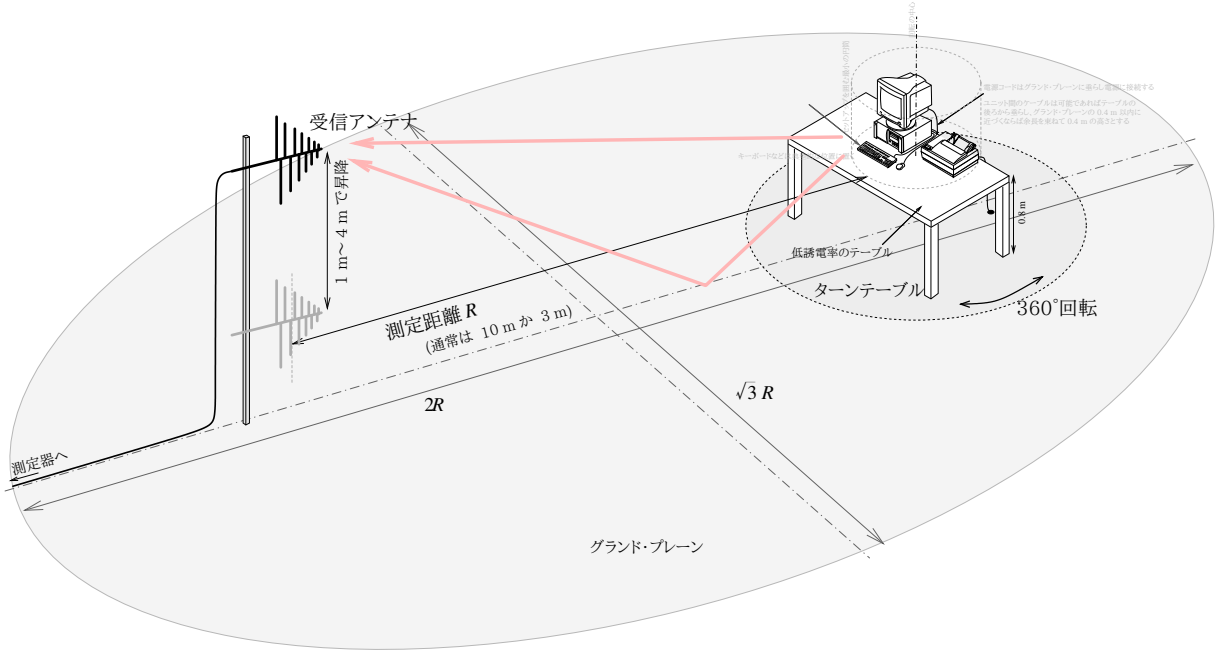

図 5: 放射エミッション測定の例

図 6: エミッション測定サイトの例 — 全天候型オープン・サイト

図 8: テスト・レシーバの例 (写真は Rohde&Schwarz 社の厚意による)

図 7: エミッション測定サイトの例 — 10 m 暗室

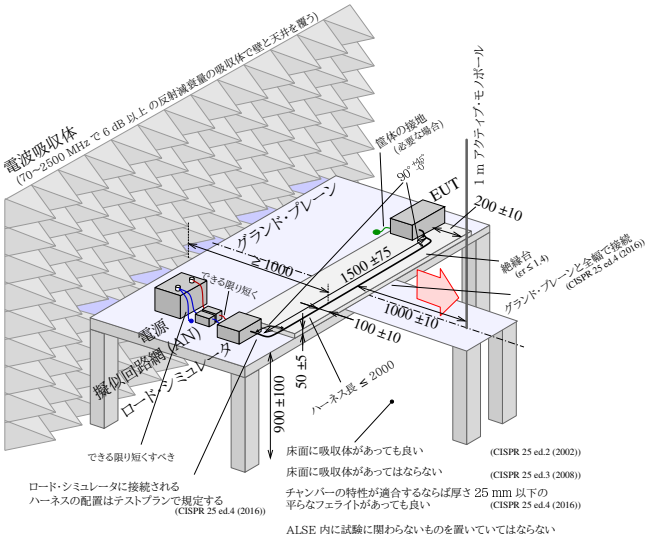

図 9: 車載機器のエミッション測定の例 — CISPR 25 ALSE 法 (≤ 30 MHz) [1.7]

図 10: 車載機器試験用の小型暗室の例

この観点から、例えば CISPR 14-1 (家電品や電動工具などに適用される) では 30〜300 MHz の周波数範囲のエミッションの評価を放射エミッションの代わりに妨害電力と呼ばれるもので行なえるようになっています。

妨害電力測定では、図 11 に示すように吸収クランプ (一種の電流クランプ) をケーブルに取り付けてその出力を測定することで、ケーブル上に漏洩している妨害波の強度を測定します。ケーブル上の吸収クランプの位置によって測定値が変化するため、この測定に際してはケーブルに沿ってクランプを移動させて信号が最大となる点 (周波数によって異なる) を探すことが必要となります。

この測定法は、正式な試験ではより厳しい要求の適用が必要となるかも知れないものの、少なくとも予備試験や量産時の検査などの目的であれば工場の一角での測定も可能な、比較的手軽なものと考えられます。

4.1.3 伝導エミッション

低い周波数では §4.1.1 で述べたような方法で放射エミッションを適切に評価することは難しくなります。一方、一般の電子機器では低い周波数での電磁干渉は主に電源ケーブルなどを介して生じる (例えば機器の電源ケーブルに漏洩した妨害がそれが接続された屋内配線などから電磁界として放出されてラジオやテレビの受信障害を引き起こすような) ことが多く、従って放射エミッションの代わりにケーブル上の妨害の強度を測定することでその評価を行なうことができると考えられます。[†7]

[†7] 誘導調理器のように機器自身からの顕著な放射が予期される場合にはこの仮定は成り立たず、そのような機器については低い周波数の放射電磁界の測定も必要となるのが普通です。

電源ケーブル上の伝導エミッション (雑音端子電圧) の測定では、図 13 のように、LISN[†8](図 15, 図 16) を通して電源を供給し、LISN の測定用端子に出力される高周波電圧を測定する方法が良く用いられます。

LAN ポートや電話線のような通信ポートには、しばしば AAN[†9]を用いた同様の測定法が用いられます。[1.5]

その他、規格や測定対象のポートに応じて、電流プローブや電圧プローブなどを用いた測定法も用いられています。

4.2 イミュニティ試験

4.2.1 無線周波放射電磁界イミュニティ

機器は放送や通信などのために放射された様々な周波数の電磁波に曝されます。

機器が電磁波に曝された時、その導電性の部分に電流や電圧が誘起されますが、これが機器の正常な動作を妨害することがあります。機器の外部に接続されている長いケーブルは特に電磁波の影響を受けやすいものとなりますが、筐体の中のケーブル、プリント板上のパターン、そして電子部品そのものさえも、電磁波の影響を受ける可能性を持っています。無線周波電磁界イミュニティ試験は機器とケーブルを実際に電磁界に曝すことでそのような妨害に対するイミュニティを確認するものです。

この試験のために様々な試験用チャンバーを用いた方法が考えられていますが、基本となる試験方法は、アンテナから電磁波を放射して EUT をその電磁波に曝すものです (図 17)。この試験法ではアンテナから相当の強度の電磁波を放射しますので、周囲への干渉や作業者の被曝の防止のため、シールド・ルーム (通常は内面を電波吸収体で覆った電波暗室) の使用がほぼ不可欠となります。

放送や通信などのために放射される電磁波は変調されているため、この試験で照射される妨害は通常はその変調を代表するような形で変調されます (図 18)。

車載機器などでは、卓上のグランド・プレーン上

[†8] LISN = line impedance stabilization network。AC 電源用のものは AMN (artificial mains network) とも呼ばれる。

[†9] AAN = asymmetric artificial network。ISN (impedance stabilization network) とも呼ばれる。

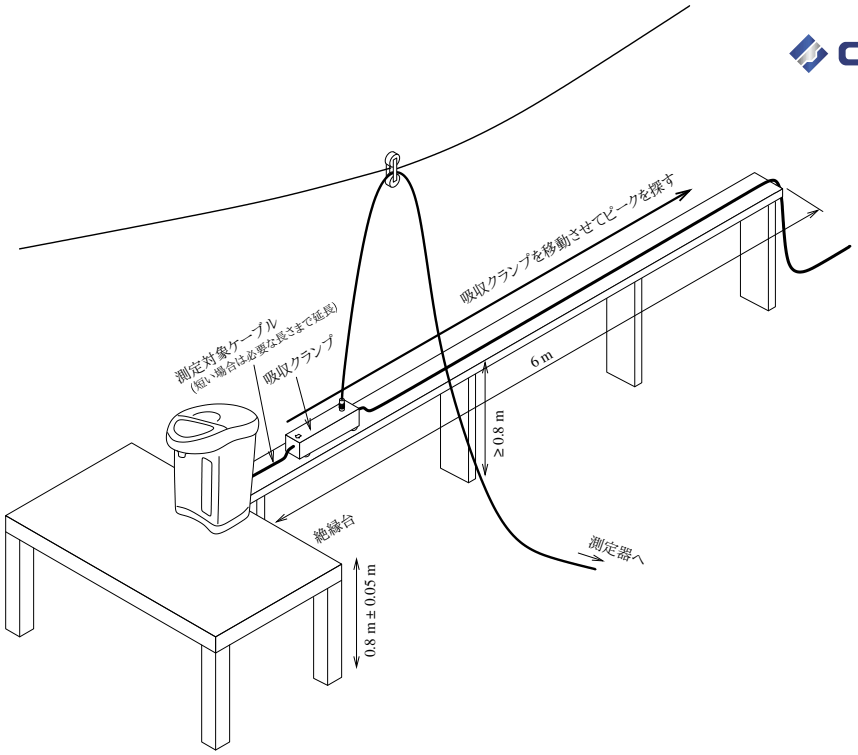

図 11: 妨害電力の測定の例 — CISPR 14-1

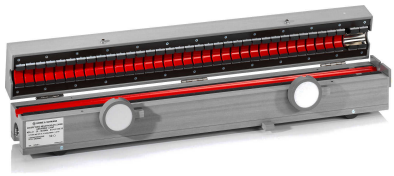

図 12: 吸収クランプの例 (写真は Rohde&Schwarz 社の厚意による)

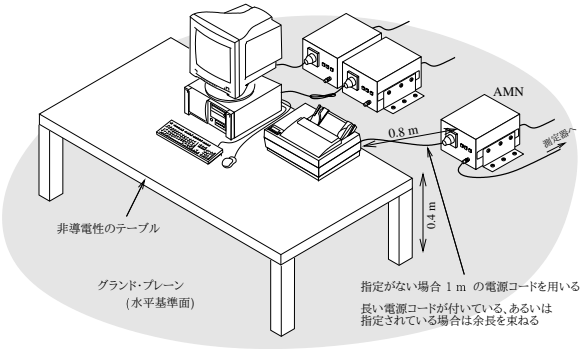

図 13: 伝導エミッション測定の例 — CISPR 32[1.5]

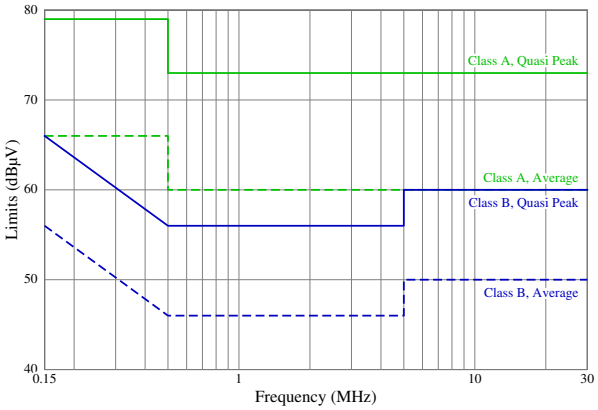

図 14: 伝導エミッション限度の例 — CISPR 32[1.5]

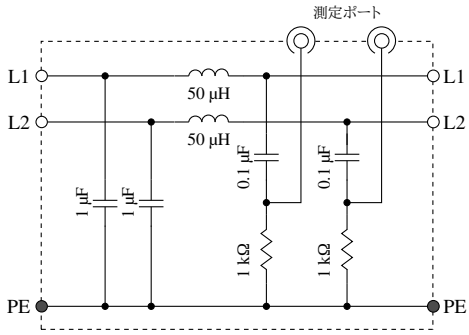

図 15: LISN (AMN) の原理の例 — 50 Ω/50 μH LISN

に機器とハーネスを配置しての試験距離 1 m での試験が良く用いられています (図 19):

4.2.2 無線周波伝導妨害イミュニティ

低い周波数では上で述べたようなアンテナから電磁波を放射する方法で妨害の発生や結合を適切に行なうことは難しくなります。また、低い周波数の電磁波に対しては、機器が直接電磁波を受けて問題を起こす可能性は低くなり、電磁波によってケーブルに誘起された妨害が問題を起こす傾向が強まります。このため、比較的低い周波数 (例えば 80 MHz 程度以下) の電磁波に対するイミュニティ試験のためには、ケーブルへ妨害を注入する手法がしばしば用い

図 16: LISN の例 (写真は Rohde&Schwarz 社の厚意による)

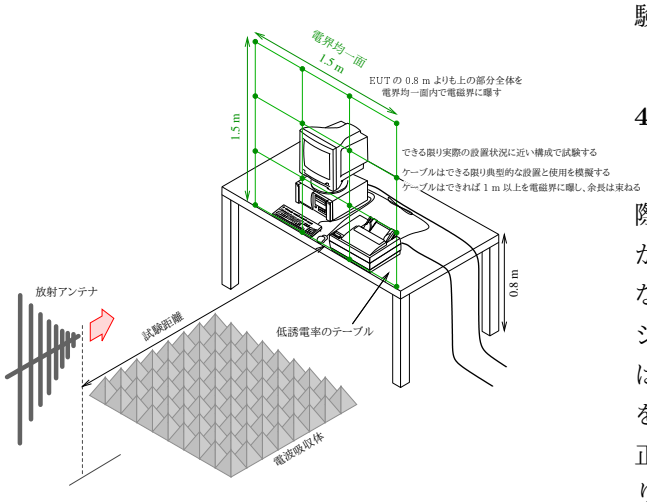

図 17: 無線周波放射電磁界イミュニティの例 — IEC 61000-4-3[1.9]

られています (図 20)。

ケーブルへの妨害の注入には、規格や印加対象のケーブルに応じて、CDN[†10]、電流注入クランプ (電磁誘導によってケーブルに妨害電流を誘起させる)、EM クランプ (容量性結合と誘導性結合の双方の結合によって妨害信号を注入する) など、様々な手段が用いられます。[1.9][1.10]

4.2.3 電気的ファスト・トランジェント/バースト

誘導性負荷への電流をスイッチやリレーなどの接点で切る際に、誘導性負荷の逆起電力によって接点での断続的な放電が発生し、それが接続されている電源ラインに相当のレベルの妨害を注入することがあります。このような形で電源ラインに注入された妨害は、同一の電源系統に接続されている他の機器まで到達し、その正常な動作を妨げる可能性を持ちます。また、このような妨害が近傍の他のケーブルに結合し、そのケーブルを介して機器に影響を与えることも考えられます。

[†10] CDN = coupling/decoupling network (結合/減結合回路網)

一般の電気機器では、しばしば、電気的ファスト・トランジェント/バーストと呼ばれるものがこのような現象を模擬するために用いられています。この試験では、接点の開閉に伴って発生する妨害を模擬する鋭いエッジを持つパルスのバースト (図 21) をケーブルに注入することによって試験を行ないます。

これと同様の現象は自動車の DC 電源などでも発生し、その評価のためにこれと幾分似た波形での試験が用いられています。[1.13]

4.2.4 サージ

電力系統での切り替えや大型の負荷の開閉などに際して電力線上にサージ (短時間の著しい過電圧) が発生することがあります。また、雷雲からの誘導などに伴って電力線や電話線などにこれと似たサージが発生することもあります。[†11] このようなサージは比較的低い周波数のものであり、電力線や通信線を伝搬してかなり遠くの機器にまで到達し、機器の正常な動作を阻害し、あるいは損傷させることがあります。

サージ試験はこのようなサージに対するイミュニティの確認を意図したものであり、規定されたサージ (図 23) を電源線やその他の線に注入することによって試験を行ないます。

4.2.5 静電気放電 (ESD)

乾燥した時期にドアなどに触れた際に指先からの軽い放電を感じることは珍しくありません。このような人体からの静電気放電のエネルギーはそれほど大きなものではありませんが、電圧や電流が高く、電子回路の誤動作を、また適切に保護されていない半導体素子やその他の小型電子部品の損傷を引き起こすことがあります。また、静電気放電は高電圧の、非常に高速な現象 (図 24) であり、放電に際してかなりのレベルの電磁界が放出され、これが近傍の電子機器への干渉を引き起こすこともあります。

静電気放電試験は、主にこのような人体からの静電気放電の影響を ESD シミュレータ (図 25) を用いて模擬するものです。通常、電極を接触させることができる導電性の部分に対しては電極を押し当てた

[†11] 雷撃のエネルギーは桁違いに大きく、電気機器に適用される規格では一般にそのような雷の直接的な影響として生じるサージは考慮されません。

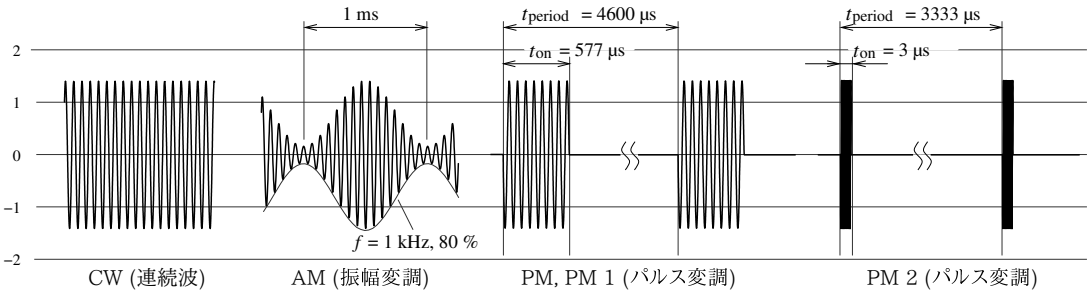

図 18: 無線周波イミュニティ試験での変調の例

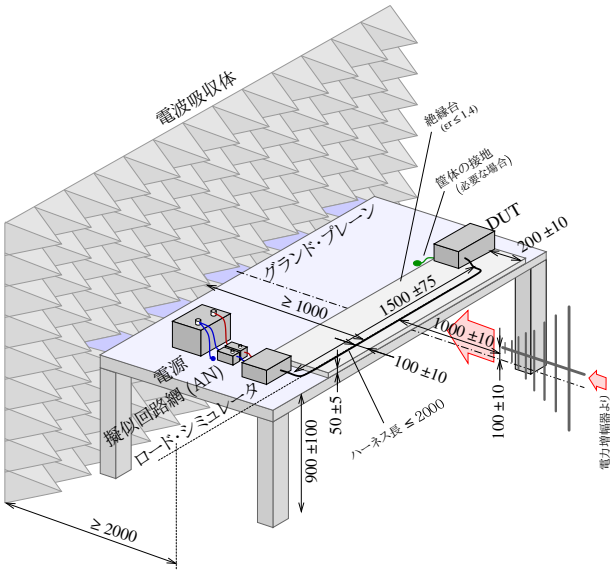

図 19: 無線周波放射電磁界イミュニティの例 — ISO 11452-2[1.10]

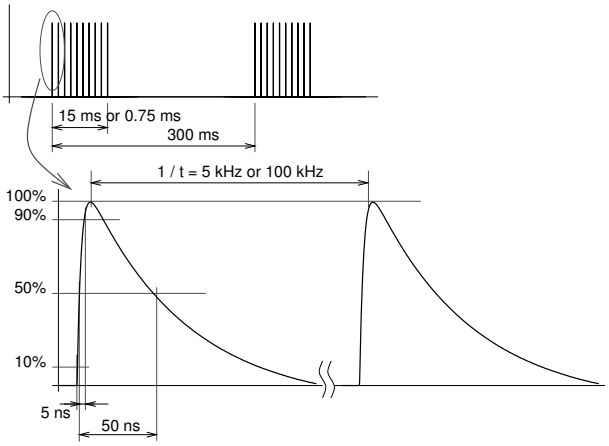

図 21: IEC 61000-4-4 ファスト・トランジェント/バースト試験波形 [1.9]

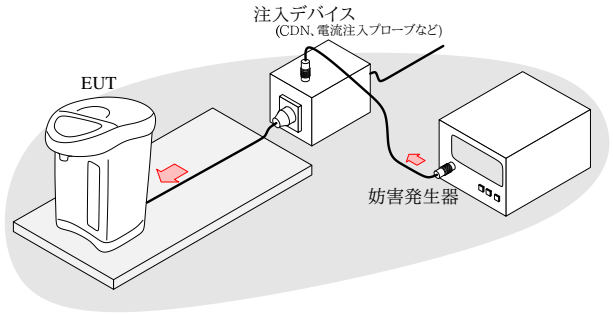

図 20: 伝導イミュニティ試験の基本原理 — 低い周波数の無線周波妨害や過渡妨害などのイミュニティ試験はケーブルに妨害を注入することで行なわれることが多い

図 22: IEC 61000-4-4, -4-5, -4-11 複合試験器の例

(写真は EMC Partner 社の厚意による)

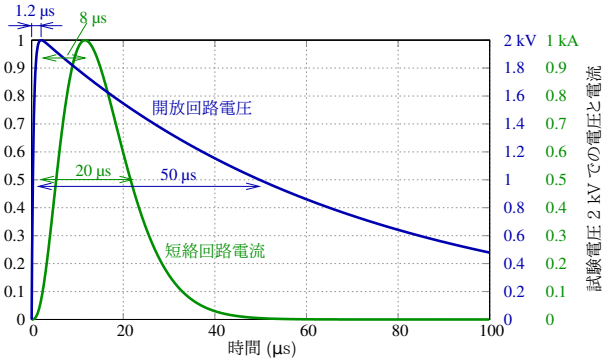

図 23: IEC 61000-4-5 サージ試験波形 [1.9]

状態 (非導電性の塗装や表面処理は電極の尖った先端で突き破る) で静電気を印加する接触放電が、それ以外の部分に対しては静電気を印加した電極を放電が発生するまで接近させる気中放電が適用されます。また、機器への直接の静電気放電ではなくその近傍での静電気放電の影響を模擬するために、EUT

の近くに置かれた金属板 (結合板と呼ばれる) に静電気放電を印加する間接放電と呼ばれる方法も用いられています。

試験で機器の端子に放電を直接印加することが必要となる場合もあります。適切に保護されていない回路は静電気放電によって容易に損傷しますので、そのような試験が要求されるかどうかに関わらず、実際の使用に際して静電気放電が回路に入り込むことが予期される場合は適切な保護が必要となるでしょう。

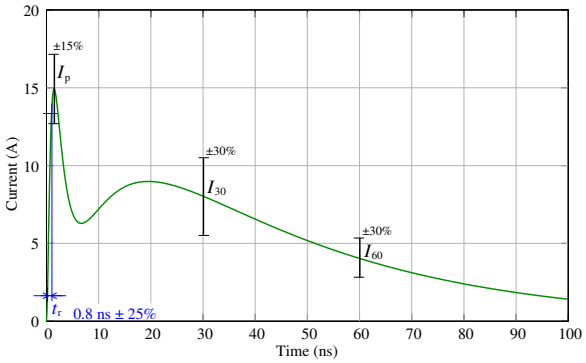

図 24: ESD 電流波形の例 — IEC 61000-4-2[1.9]

図 25: ESD シミュレータの例 (写真は Teseq 社の厚意による)

4.2.6 短時間停電、電圧ディップ

電源系統上の障害や負荷の急激な変動などによって、電源電圧が一時的に失われたり変動したりすることがあります。例えば、同じ電源に接続された大型の機器の始動に際して、大きな始動電流の影響で電源電圧が一時的に低下することがあります。また、電源の他の分岐で短絡事故があった場合、その分岐がブレーカやヒューズで切り離されるまで、電源電圧が著しく低下することになります。

この種の現象には様々な形態のものがあり、その呼び方は必ずしも統一されてはいませんが、一般に、短時間の電圧の低下は電圧ディップと、電圧がゼロに達する深いディップは短時間停電と呼ばれています (図 26)。商用電源の電圧低下は珍しい現象ではありませんので、一般に、ある程度の電圧低下やごく短い短時間停電 (瞬停) では正常な機能を維持し、それを超えた (大きな、あるいは長い) 電圧低下の際にも電源が回復した後に正常な動作状態に復帰することが望まれます。

このような電源電圧変動も EMC に含めて考えられ、そのイミュニティの試験は例えば図 26のように機器に供給する電源電圧を実際に変化させることによって行なわれます。

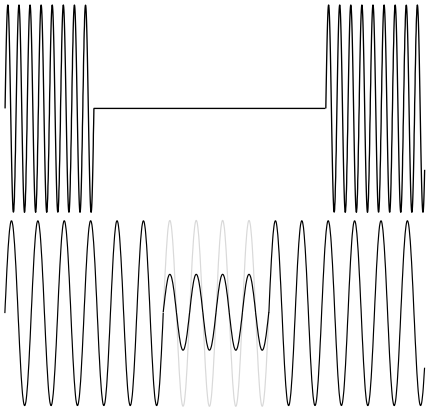

図 26: 短時間停電、及び電圧ディップの試験波形の例 [1.9]

図 26では交流電源の短時間停電や電圧ディップの波形の例を示しましたが、直流電源でそれと似た現象が予期される場合もあり、その試験法も規格化されています。

5 製品開発と EMC

残念ながら、製品設計の段階では EMC が充分に考慮されていないことが少なくありません。この結果は、製品が完成した後で EMC 試験を行なってそのままでは基準に適合しないことがわかると (往々にして出荷期日前の極めて限られた時間と多くの制約の中で) 慌てて対策を施して何とか試験に合格させる、というものとなり勝ちです。これに伴う問題としては、例えば次のようなものが考えられます:

- 合格までに設計変更と試験の何回もの繰り返しが必要となるかも知れない;
- 対策のためのコストがかなり大きなものとなるかも知れない;
- 製品の出荷の遅れに伴って大きな損失を生じるかも知れない;
- 適合性を余裕を持って達成することができず、量産時の不適合や現場での干渉問題のリスクを抱えることになるかも知れない。

また、現場で干渉問題が発生してしまい、非常に厳しい制約やプレッシャーの中での対応を迫られることもあるかも知れませんが、これは誰にとっても不幸なことでしょう。

このような問題の軽減のためには、設計の所期の段階から EMC を考慮するとともに、早い段階で予備試験を行なうことが望ましいでしょう。設計上考慮すべき点には、回路設計、部品の選択、部品の配置やパターンの引き回し、グランドの処理などといった EMC 問題を元から防止するための基本的なポイント、そしてフィルタやシールドといったノイズの漏洩や侵入の防止のための手段などがあり、通常はこれらを組み合わせて必要な水準の EMC を達成することになります。

フィルタやシールドの使用は製品にコストを加えることになるという点から、それらを使わずに済ませたいと考えることも無理はないでしょう。ですが、これらが必要となる場合が少なくありませんし、一般に、それが不要だとわかった時にそれを取り除く方が後から追加するよりも容易ですので、必要となる可能性があるものは含めた形で (あるいは、必要な場合にすぐに追加できるような形で) 設計しておいた方が良いかも知れません。また、小量生産の製品においては、必要となる可能性がある対策はすべて含めておき、それを取り除こうとしないことが、最も安上がりな方法となるかも知れません。

ここでは設計や対策に関しては述べませんが、これに関しては様々な書籍が入手可能であり、またインターネット上で公開されているもの ([2] など) もありますので、興味のある方はそれらを参照して下さい。また、EMC テスト・ラボや対策部品メーカーなどでも開発の様々な段階における支援を提供しているところがありますので、必要に応じてそのような組織に相談するのも良い考えでしょう。

6 参考資料

[1] https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html

1. EMC 指令 — 2014/30/EU への適合のためのガイド
2. 無線機器指令 2014/53/EU への適合のためのガイド
3. 電気用品安全法と EMC
4. デジタル・デバイスの FCC 規制への対応 — 47 CFR 15 Subpart B の概要
5. CISPR 32 の概要
6. CISPR 35 の概要
7. CISPR 25 の概要
8. 車両等からの電磁波の放射の制限 — CISPR 12 の概要
9. IEC 61000-4 シリーズ イミュニティ試験規格の概要
10. ISO 11452 シリーズの概要 — 前編: ECE R10.06 に関係する規格
11. 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)
12. ESD 試験規格 ISO 10605 ed. 2 の概要
13. ISO 7637-2 & ISO 7637-3 の概要
14. 電源高調波電流の制限 — IEC 61000-3-2, -3-12 の概要
15. 電圧変動やフリッカの制限 — IEC 61000-3-3, -3-11 の概要
16. ECE Regulation No. 10.05 の概要
17. IEC 60601-1-2:2014 (ed. 4) の概要

[2] EMC のための設計テクニック, Keith Armstrong 著, 佐藤 訳,
http://t-sato.in.coocan.jp/compliance.html

[3] バナナの皮, EMC Journal, 佐藤 訳,
http://t-sato.in.coocan.jp/banana/

[4] 製品評価技術基盤機構 事故情報特記ニュース No. 72, 独立行政法人製品評価技術基盤機構, 2006,
https://www.nite.go.jp/jiko/chuikanki/specialnews/news72.html

© 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。