

# IEC 61000-4シリーズ イミュニティ試験規格の概要

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2018年7月23日

## 目次

<b>1</b>	<b>はじめに</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>IEC 61000-4-8(電源周波磁界)</b>	<b>18</b>
			8.1	背景	18
			8.2	試験法	18
			8.3	試験レベル	19
<b>2</b>	<b>共通事項</b>	<b>2</b>	<b>9</b>	<b>IEC 61000-4-11(電圧ディップ、短時間停電、電圧変動)</b>	<b>20</b>
2.1	試験時の監視と判定	2	9.1	背景	20
2.2	試験時の構成	2	9.2	試験法	20
			9.3	試験レベル	21
<b>3</b>	<b>IEC 61000-4-2 (静電気放電)</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>試験レベルの例</b>	<b>21</b>
3.1	背景	3	<b>11</b>	<b>参考資料</b>	<b>21</b>
3.2	試験法	3	11.1	参照規格	21
3.2.1	ESD シミュレータ	3	11.2	その他	22
3.2.2	ESD の印加	3			
3.2.3	環境条件	4			
3.2.4	除電	5			
3.2.5	直接放電試験を除外できる箇所	5			
3.2.6	エスカレーション・ストラテジ	5			
3.3	試験レベル	6			
3.4	EUT などの配置	6			
<b>4</b>	<b>IEC 61000-4-3 (放射電磁界)</b>	<b>6</b>			
4.1	背景	6			
4.2	試験法	6			
4.2.1	電界均一面	6			
4.2.2	周波数掃引	7			
4.2.3	変調	8			
4.3	試験レベル	8			
4.4	EUT などの配置	8			
<b>5</b>	<b>IEC 61000-4-4 (電気的ファスト・トランジェント/パースト)</b>	<b>10</b>			
5.1	背景	10			
5.2	試験法	10			
5.2.1	試験波形	10			
5.3	試験レベル	11			
5.4	EUT などの配置	11			
<b>6</b>	<b>IEC 61000-4-5 (サージ)</b>	<b>11</b>			
6.1	背景	11			
6.2	試験法	11			
6.2.1	試験波形	11			
6.2.2	電源線への印加	12			
6.2.3	信号線への印加	13			
6.2.4	シールド線への印加	13			
6.3	試験レベル	14			
6.4	EUT などの配置	14			
<b>7</b>	<b>IEC 61000-4-6(放射電磁界によって誘導された伝導妨害)</b>	<b>14</b>			
7.1	背景	14			
7.2	試験法	14			
7.2.1	CDN (結合/減結合回路網)	15			
7.3	試験レベル	15			
7.4	EUT などの配置	16			

## 1 はじめに

本稿では、IEC 61000-4 シリーズで述べられているイミュニティ試験法のうち、一般の電気製品の試験で良く用いられる代表的な試験法の概要を述べる。

本稿での記載は §11.1 に記載した規格に基づく。但し、通常は試験で適用すべき規格や版は試験レベルなどととも製品群規格などで指定され、これらとは異なる規格や異なる版の適用が必要となることも多く、製品群規格などがこれらの規格を参照している場合であってもこれらの規格を上書きするような規定が含まれる場合もある。また、これらの規格自身も継続的に改定されており、本稿の内容は古いものとなっているかも知れない。さらに、本稿はこれらの規格の要求全てを述べているわけではなく、記載が正確なものであるとも限らない。

正確な情報は実際に適用する版の規格そのものを参照していただきたい。

## 2 共通事項

### 2.1 試験時の監視と判定

イミュニティ試験では、EUT (被試験装置) に所定の妨害を印加した時の挙動を観測し、あらかじめ決めた性能判定基準と照らし合わせて判定を行なう。<sup>†1</sup>

性能判定基準の枠組みは製品群規格などで規定されており、一般に、概ね

- 性能判定基準 A

装置は、試験中及び試験後、意図された通りに動作を継続する。製造業者が規定した水準を下回る性能の低下は許容されない。

- 性能判定基準 B

装置は、試験後、意図された通りに動作を継続する。製造業者が規定した水準を下回る性能の低下は許容されない。だが、試験中、性能の低下が許容される。動作状態や保存されたデータの変化は許容されない。

<sup>†1</sup> この種の試験は、試験対象の機器を代表する少数の (大抵は 1 台の) サンプルに対するサンプル試験として行なわれることが多い。通常、試験所はその特定のサンプルを特定の条件下で試験した結果を示すだけであり、実際に販売される機器の適合性の担保は、試験時の動作条件や性能判定基準の決定などととも、製造業者の責任となるであろう。

- 性能判定基準 C

機能が自己復帰するか制御部の操作で復帰させられるならば、機能の一時的な喪失が許容される。

のようなものとなることが多いが、規格によってはこれと全く異なる、あるいはより細かい規定が含まれることもある。<sup>†2</sup>

だが、いずれにしても一般に規格で規定されているのはその枠組みだけで、それぞれの機器に適用する具体的な性能判定基準はその枠組みに従って製造業者が試験に先立って決定する必要がある。これは、可能であれば客観的に判定できるものであることが望ましい。

試験時にはその性能判定基準に対する判定を確実にこなえるような形で動作させ、その動作を継続的に監視することが必要となる。また、試験時間の節約のため、この監視や判定は短い時間で確実にこなえるようなものとするのが望ましい。このため、試験に先立って適切な検討と準備<sup>†3</sup>を行なうことが必要となるだろう。

どの試験でどの性能判定基準への適合が必要となるかも通常は製品群規格などで規定され、通常、継続的に受けるかも知れない妨害に対しては性能判定基準 A への適合が必須となる。

### 2.2 試験時の構成

一般に、EUT や周辺機器は、実際の使用を代表する、試験時に動作させることが必要な機能全てを動作させられるような形で構成する必要がある。

周辺機器も試験で印加される妨害を受けることが多く<sup>†4</sup>、その場合は周辺機器はその妨害に耐えることも必要となる。

ケーブル類も実際の使用を代表するものとし、異なるタイプのもの (例えばシールドされたものとさ

<sup>†2</sup> 例えば IEC 60601-1-2<sup>[2]</sup> では患者に受容できないリスクをもたらしかどうか判定の基準となる。

<sup>†3</sup> 例えば、EUT を適切に動作させ、判定を確実にこなえるような形でその動作を監視するための機材やソフトウェアなどの準備。

<sup>†4</sup> 例えば、IEC 61000-4-4 や -4-6 でのクランプでの注入に際しては試験されているケーブルに接続された周辺機器も強い妨害を受け、IEC 61000-4-3 での試験に際して EUT の近くに置かれる周辺機器は EUT と同程度の電磁界を受ける。周辺機器やそのケーブルに妨害が直接印加されない場合でも、大抵はケーブルなどを介してある程度の妨害が伝搬する。

れていないもの)の使用が想定されるのであればその影響も考慮する。<sup>†5</sup>

シールド・ケーブルの末端処理の状態、ワイヤの撚り合わせなども試験結果に影響することがあるため、これらも実際の使用を代表するようにする。

ケーブルの長さは、その機器の意図された使用、それぞれの規格の要求、試験時の配置などを考慮して適切な長さを選択する。不適切な長さのケーブルの使用(例えば短いケーブルを用いるべき状況での長いケーブルの使用)は試験に悪影響を与える可能性があるため、試験によって異なる長さのケーブルが必要となる場合にはそれぞれの長さのケーブルを用意する。<sup>†6</sup>

### 3 IEC 61000-4-2 (静電気放電)

#### 3.1 背景

特に冬の乾燥した環境で扉の把手に触れた(あるいは触れようとした)時などに、時に激しい痛みや明らかな放電を伴う、静電気放電を経験することがあるだろう。

このような静電気放電は、単純には、人体がコンデンサとして働いて電荷を蓄え、体の一部(通常は手)が他の導電性の部分に近付いて空気が絶縁破壊した時に手や体のインピーダンスを介して一気に放電するものと考えることができる。

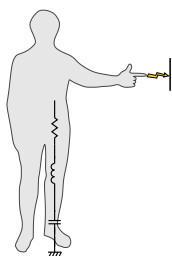


図 1: 人体からの ESD

このような静電気放電(ESD)が電子機器に対して、あるいは電子機器やそのケーブルの近傍で発生

<sup>†5</sup> いずれか 1 つのタイプのケーブルだけでは十分に評価できない場合には、その試験を複数のタイプのケーブルを用いて行なうことを考えた方が良いかも知れない。

<sup>†6</sup> 例えば、IEC 61000-4-6 で CDN を接続する場合は 30 cm 以内の位置に置いた CDN と接続できる最短のケーブルが、注入クランプを取り付ける場合は注入クランプの両側で余り過ぎない長さのケーブルが必要となる。また、IEC 61000-4-5 でのシールド線への印加のためには通常は 20 m のケーブルが、IEC 61000-4-3 で周辺機器を電波暗室外に置く場合にはその配置に応じた長さのケーブルが必要となる。

すると、その際に生じる電荷の注入、また放電に伴って生じる電磁界によって、電子機器の損傷や誤動作を引き起こすことがある。

この規格は、このような人体からの ESD の影響の評価を意図したものである。

#### 3.2 試験法

ESD シミュレータ(しばしば「ESD ガン」などと呼ばれる)を用い、人体からの ESD を模擬する放電を印加する。

##### 3.2.1 ESD シミュレータ

この試験で用いられる ESD シミュレータは、人体の静電容量をコンデンサによって、放電経路のインピーダンスを抵抗によって代表してこの現象を模擬する妨害を発生させる(図 3)。

この規格では  $C = 150 \text{ pF}$ 、 $R = 330 \Omega$ (典型値)の ESD シミュレータが用いられ、ESD シミュレータの電極の先端を低インピーダンスのターゲットに接触させて放電を発生させた時に概ね図 4 のような波形の電流を発生するようになっている。<sup>†7†8</sup>

##### 3.2.2 ESD の印加

この規格では、ESD の印加の方法として、機器に直接 ESD が印加された場合の模擬が意図された直接放電試験と、近傍で発生した ESD の影響の模擬が意図された間接放電試験が規定されている。

<sup>†7</sup> この ESD シミュレータでは図 3 の原理図では示されていない要素によって生じる鋭いピークに続いて  $C$  からの電荷の放電(その立ち上がりも原理図で示されていない要素によって制限されている)ようになっているが、この放電電流波形は工具や鍵のような小さい金属の物体を持った人からの放電を代表するものとされている。なお、図 4 で示した波形はモデルで、実際の波形は ESD シミュレータによってかなり異なる、また乱れたものとなる。

<sup>†8</sup> 車載機器などの評価で用いられる ISO 10605<sup>[4]</sup> でも同様の ESD シミュレータが用いられるが、 $C$  は 150 pF と 330 pF、 $R$  は 330  $\Omega$  と 2 000  $\Omega$  からの選択となる。電子部品の評価などで用いられることがあるヒューマン・ボディー・モデル(HBM)も人体からの放電を模擬するものとなるが、このモデルでは通常は 100 pF と 1.5 k $\Omega$  が用いられ、またその放電電流波形は最初の鋭いピークを持たないため、これは IEC 61000-4-2 とは全く異なったものとなる。他に、帯電した金属の物体からの放電の模擬が意図されたモデル(MM; マシン・モデル)、帯電した電子部品からの放電の模擬が意図されたモデル(CDM; 帯電デバイス・モデル)などもある。



図 2: ESD シミュレータの例 (写真は Teseq 社の厚意による)

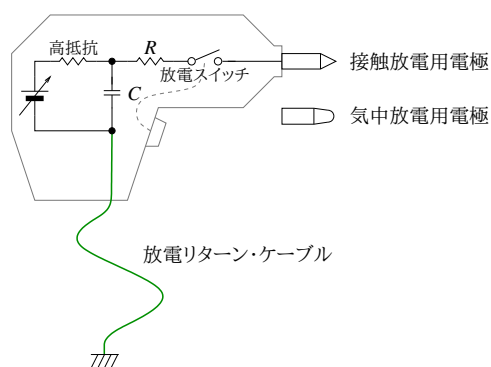


図 3: ESD シミュレータの原理

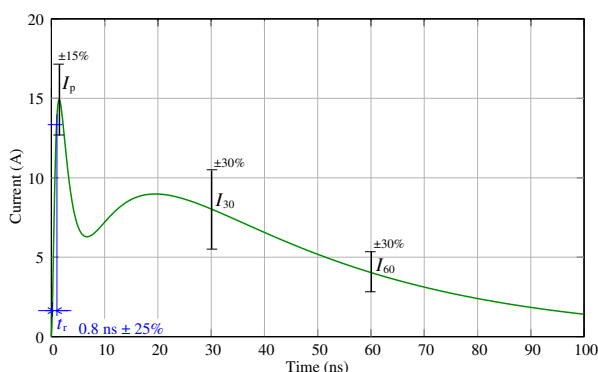


図 4: 4 kV 接触放電電流波形 (モデル)

#### ● 直接放電試験 (図 5)

機器に対して直接 ESD が発生した場合を模擬するために機器に放電を直接印加するもので、通常、機器の実際の使用に際して人が触られるような箇所が印加の対象となる。一般に印加箇所の候補は無数にあるので、試験に際しては、それらを代表する、実際に放電を印加する箇所をその中から適切に選択することが必要と

なる。

金属の筐体などの導電性の部分には、尖った電極を用いて電極の先端を導電性の部分に接触させた状態で ESD ガンの引き金を引いて放電を発生させる、接触放電による印加を行なう。導電性の部分の上に塗装やアルマイトなどの非導電性の皮膜が設けられている場合も、それが絶縁のためのものでないならば、非導電性の皮膜を削り落とすか尖った電極の先端で突き破って電極の先端を導電性の部分に接触させ、接触放電による印加を行なう。

プラスチックの筐体などの非導電性の部分には、丸い電極を用いて ESD ガンの引き金を引いた後で電極が試験箇所当たるまでできる限り早く近づけて<sup>†9</sup>放電を発生させる、気中放電による印加を行なう。<sup>†10</sup>

#### ● 間接放電試験 (図 6)

機器が置かれた机やその近くに置かれた他の導電性の物への ESD が発生した場合を模擬するもので、HCP (水平結合板 — 卓上機器の場合のみ)、及び VCP (垂直結合板) への接触放電による印加が行なわれる

通常、それぞれの印加ポイントについて、1 秒以上の間隔で、それぞれの条件で 10 回づつの印加を行なう。<sup>†11</sup>

### 3.2.3 環境条件

気中放電は以下の環境で実施する:

- 気温: 15 ~ 35 °C
- 相対湿度: 30 ~ 60 %
- 気圧: 86 ~ 106 kPa

<sup>†9</sup> 接近速度が遅い場合、放電電流波形の立ち上がり時間が遅くなり、またピーク電流が低くなる傾向があるため、試験が甘くなることが予期される。

<sup>†10</sup> 人が導電性の箇所にも気中放電と同様の現象が発生するので、導電性の箇所にも気中放電を用いた方が実際の現象を良く模擬できそうである。だが、この方法での試験は再現性が著しく低いなどといった理由もあり、この規格では導電性の箇所には接触放電を用いることになっている。

<sup>†11</sup> この規格には最も厳しい極性で 10 回の放電を印加するように書かれているが、一般にはどちらの極性の方が厳しくなるかが事前にわからないこともあり、実際には正負双方の印加を無条件で行なうことが多いと思われる。正負双方を 10 回づつ印加する場合、気中放電で試験レベルが 8 kV の場合、各印加ポイントについて 60 回 (10 回 × 2 極性 × 3 レベル) の放電を行なうことになる。

### 3.2.4 除電

放電の印加によって注入された電荷は次の放電の印加の前に除去しなければならない。

電荷が注入された箇所がグランドと導通していればこの電荷は自ずと速やかに除去されるだろうが、機器がバッテリー駆動の場合など、電荷が長時間残ったままとなる可能性がある場合<sup>†12</sup>には、例えば 1 MΩ 程度の抵抗を持つカーボン・ブラシや除電用のリードで触れるなどしてその電荷を意識的に除去することが必要となる。

### 3.2.5 直接放電試験を除外できる箇所

製品群規格などでこれと異なることが定められている場合もある<sup>†13</sup>が、この規格上は以下の箇所は直接放電試験の対象から除外することができる。<sup>†14</sup>

いずれかの箇所を試験の対象から外す場合、添付文書で特別な ESD 緩和手段を示すべきである。

- メンテナンスの際にのみアクセスできる箇所。この場合、添付文書で特別な ESD 緩和手段を示さなければならない。
- ユーザーによるサービスの際にのみアクセスできる箇所、例えばバッテリー充電中のバッテリー接点、留守番電話のカセットなど。
- 固定設置の後や使用指示に従った後ではアクセスできない箇所、例えば機器の底面や壁側の面、取り付けられたコネクタで隠れる領域。
- 金属のシェルを持つコネクタの接点。この場合、接触放電をコネクタの金属のシェルに対して行なう。

<sup>†12</sup> 機器が接地への接続を持つ場合であっても、フォト・カプラやトランスなどで絶縁された回路、スイッチの金属のフレーム、小さい金具やねじ、蒸着やめっきの行なわれたプラスチック部品などがこのような状態となっていることもある。

<sup>†13</sup> 例えば CISPR 35:2016<sup>[1]</sup> では、電源を入れた状態での清掃や消耗品の交換などの取扱説明書で述べられたアクセスを含めて、通常の使用に際してユーザーが触れることが予期される箇所は印加対象となる。

<sup>†14</sup> コネクタに関しては、実際の使用に際して人がコネクタに触れた場合や帯電したケーブルを挿した時などに接点への放電が発生し、機器の損傷などの問題を引き起こす可能性が考えられる。機器を設置する前やサービスの際にのみ触れられるような箇所についても、その作業を行なっている時のそのような箇所への放電によって機器の損傷を生じる可能性が考えられる。このため、規格上は試験を除外できるとしても、そのような箇所への放電の影響を試験で確認しておくことを考慮すると良いかも知れない。

非導電性のコネクタの接点は気中放電で試験する。

- 機能上の理由で ESD に敏感な、ESD 警告ラベルが付けられたコネクタの接点やその他のアクセス可能な部分。

### 3.2.6 エスカレーション・ストラテジ

ESD 試験に際して、放電の印加をあらかじめ決めた回数行なった時に許容できない影響が一度だけ発生し、同様の試験を繰り返してみても今後はそのような影響が一度も発生しない、といったような状況となることがある。

この規格では、参考情報としてではあるが、このような場合の可否の判定の方法として「エスカレーション・ストラテジ」と称するものが示されている。

これを適用する場合、試験と判定は次のように行なうことになる：

1. 印加箇所の 1 つに規定された回数の印加を行なった結果が、
  - 許容できない影響が 0 回 — その印加箇所は合格で、エスカレーション・ストラテジの適用は不要；
  - 許容できない影響が 1 回 — ステップ 2 へ；
  - 許容できない影響が 2 回以上 — 不合格。
2. 同じ箇所にステップ 1 の 2 倍の回数の印加を行ない、
  - 許容できない影響が 0 回 — その印加箇所は合格；
  - 許容できない影響が 1 回 — ステップ 3 へ；
  - 許容できない影響が 2 回以上 — 不合格。
3. 同じ箇所にステップ 2 と同じ（ステップ 1 の 2 倍の）回数の印加を行ない、
  - 許容できない影響が 0 回 — その印加箇所は合格；
  - 許容できない影響が 1 回以上 — 不合格。

### 3.3 試験レベル

この規格では以下の試験レベルが規定されている:

レベル	接触放電 (kV)	気中放電 (kV)
1	2	2
2	4	4
3	6	8
4	8	15
X	個別に規定	個別に規定

気中放電の場合、指定されたレベルまでの全ての試験レベル (例えば試験レベルが 8 kV の場合は 2 kV、4 kV、及び 8 kV) の印加を行なうことが必要となる。<sup>†15</sup>

接触放電に関しては、この規格では低い試験レベルの印加は要求されていない。

### 3.4 EUT などの配置

卓上機器は、グランド・プレーン上の高さ 0.8 m の机の上に置いた HCP (水平結合板) の上、厚さ 0.5 mm の絶縁シートの上に配置する (図 5, 図 6)。

床置き機器は、HCP は使用せず、床面のグランド・プレーン上の 0.05 ~ 0.15 m の絶縁台の上に配置する。

## 4 IEC 61000-4-3 (放射電磁界)

### 4.1 背景

機器やそのケーブルが放送や通信などの電波に曝された時に悪影響を受けることがあるが、この試験はそのような現象の模擬を意図したものである。<sup>†16</sup>

この規格は、ある程度遠方の放射源からの妨害の影響に対する評価のみでなく、比較的近い距離にあ

る可搬型送信機などが発生する妨害の影響に対する評価に用いられることもある。<sup>†17†18</sup>

通常、この規格は 80 MHz 以上の周波数 (80 MHz ~ 6 GHz) の試験に用いられ、より低い周波数範囲の試験には IEC 61000-4-6 (§7 参照) が用いられる。

### 4.2 試験法

電波暗室<sup>†19</sup>の中で、ある程度離れた位置に置いた放射アンテナから実際に電磁界を照射することによって試験を行なう。(図 8)。

#### 4.2.1 電界均一面

この規格では、EUT 全体に概ね均一な電磁界を照射できるように、EUT などがない状態で、電界均一面 (uniform field area; UFA) と呼ばれる仮想的な面の中の 0.5 × 0.5 m のグリッド上 (図 8 参照) での電界強度が概ね規定のレベル -0 ~ +6 dB の範囲に入るように管理される。<sup>†20†21</sup>

電界均一面の大きさは 1.5 × 1.5 m が標準だが、均一性の条件を満足するならばこれよりも大きい電界均一面を用いることもできる。逆に、より小さい電界均一面で EUT を完全に照射できる場合には、より小さい電界均一面を用いて照射を行なうことも認められる。

EUT が電界均一面に収まらない場合の試験法としては、

- 部分照射 — 1.5 × 1.5 m よりも小さくない電界均一面を用いて、EUT の全面 (床置き機器

<sup>†17</sup> 例えば IEC 60601-1-2 ed. 4 (2014)<sup>[2]</sup> は近傍の無線通信機器からの放射への影響の評価にも IEC 61000-4-3 を用いるように述べている。

<sup>†18</sup> 近傍の無線送信機からの影響の評価のための規格としては、IEC 61000-4-39 (2017 に第 1 版が発行された)、ISO 11452-9<sup>[3]</sup> などがある。

<sup>†19</sup> 電磁界の外部への漏洩を抑えるためのシールド・ルームの内側に部屋の内面での反射を抑えるための電波吸収体を取り付けた部屋。

<sup>†20</sup> EUT などがない状態で行なわれる電界均一面の検証に際しても、電界強度の検証は通常は電界均一面内の 0.5 × 0.5 m のグリッド上でのみ行なわれ、またそのグリッドの一部が -0 ~ +6 dB の範囲から外れることが許容される。さらに、試験時には EUT などの影響で電磁界が乱れることが予期される。従って、電界均一面内 (あるいは電界均一面の検証が行なわれた 0.5 × 0.5 m のグリッド上) で試験時に実際にその電界強度が得られるというわけではない。

<sup>†21</sup> 試験時の妨害のレベルの設定は EUT などがない状態で電界均一面内で所定の電界強度を発生させるために放射アンテナに注入する必要がある電力に基づいて行なわれ、試験時に実際に発生する電界強度は管理されない。

<sup>†15</sup> 比較的稀ではあるが、高い試験レベルでの試験では問題を生じなかった機器が低いレベルでの試験で問題を生じることもある。

<sup>†16</sup> IEC 61000-4-20 (TEM セル) や IEC 61000-4-21 (リバレーション・チャンバ) も同じ現象の模擬を意図しており、例えば CISPR 35<sup>[1]</sup> のように試験法として IEC 61000-4-3、IEC 61000-4-20、IEC 61000-4-21 のいずれかを任意に選択できる規格もある。だが、そのような場合でもこの IEC 61000-4-3 が用いられることが多いと思われる。

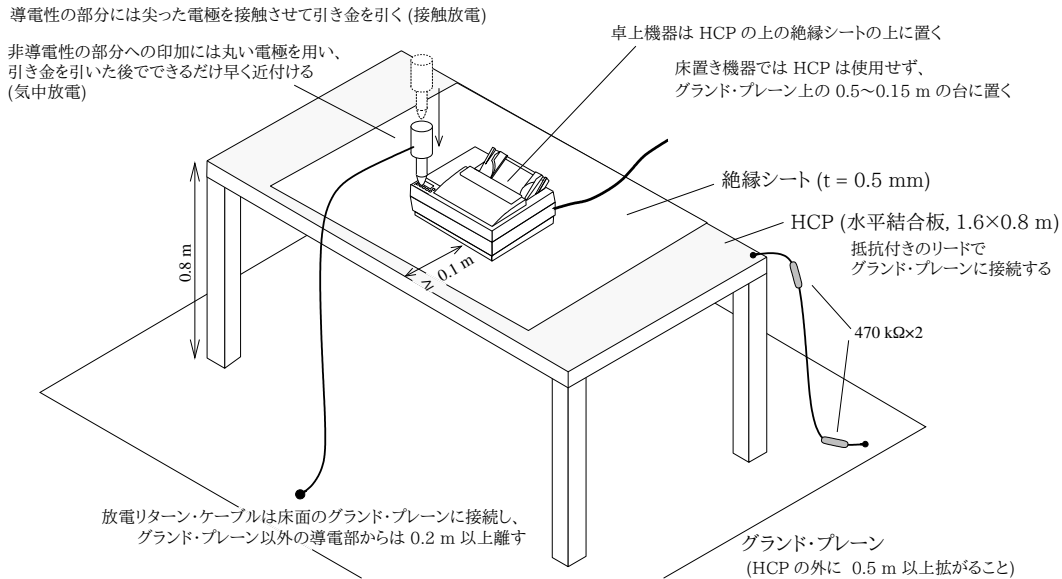


図 5: IEC 61000-4-2 直接放電試験のセットアップの例 (卓上機器)

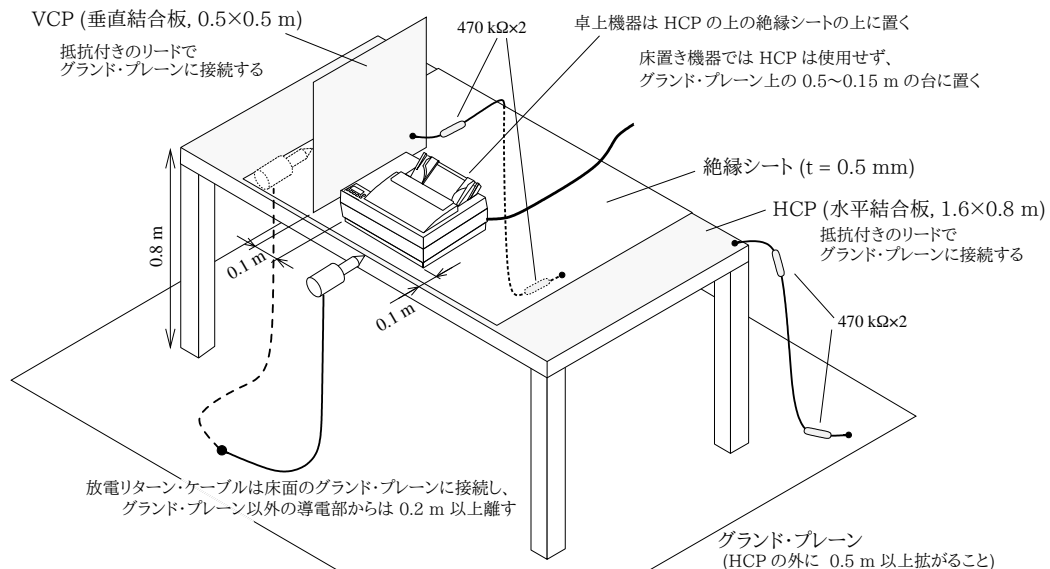


図 6: IEC 61000-4-2 間接放電試験のセットアップの例 (卓上機器)

の場合、床から 0.8 m よりも上の部分全て) を複数回に分けて照射する

- 独立ウィンドウ法 — 0.5 × 0.5 m の電界均一面を用いて、EUT の全面 (床置き機器の場合、床から 0.8 m よりも上の部分全て) を複数回に分けて照射する

の 2 つが規定されており、部分照射は任意の周波数での試験で、独立ウィンドウ法は 1 GHz よりも高い周波数での試験で用いることができる。すなわち、1 GHz 以下の周波数では 1.5 × 1.5 m よりも小さい電界均一面を用いた部分的な照射は認められない。

#### 4.2.2 周波数掃引

必要な周波数範囲 (例えば 80 MHz ~ 2.7 GHz) の妨害を、前の周波数の 1 % を超えないステップで周波数掃引を行ないながら印加する。

ドウェル・タイム (それぞれの周波数の妨害を印加し続ける時間) は EUT が動作して応答するのに必要な時間以上でなければならず、0.5 秒を下回ってはならない。<sup>†22</sup>

<sup>†22</sup> EUT が動作サイクルを持つ場合、実際に動作している機能や妨害に対する反応がその時々で変わる可能性もある (例えば通信やデータの読み込みを間欠的に行っている場合にはその処理を行っていない時に妨害を受けても影響が現れない可能

規格によっては、これと別に特定の周波数での試験が要求されることもある。

#### 4.2.3 変調

通常、変調周波数 1 kHz、変調度 80 % の振幅変調 (AM) <sup>†23</sup> がかけられた妨害 (図 7) が用いられる。

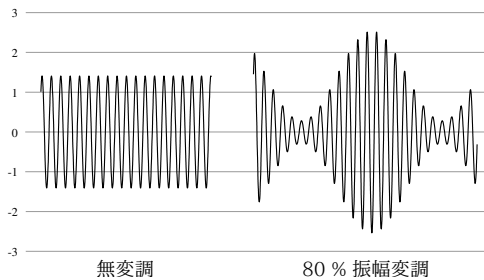


図 7: 80 % 振幅変調

### 4.3 試験レベル

この規格では以下の試験レベルが規定されている:

レベル	試験電界強度 (V/m)
1	1
2	3
3	10
4	30
X	個別に規定

### 4.4 EUT などの配置

EUT や周辺機器はできる限り通常の使用を代表するように構成し、照射を行なう面 (放射アンテナ

性が高い) ため、それぞれの周波数の妨害を動作サイクルのあいだ印加し続けることが必要となる可能性がある。また、例えば監視対象の動作に関係する信号が時定数の長いフィルタを通過しているような場合、妨害をその時定数よりも長いあいだ印加し続けるのであれば影響を確認できない可能性がある。このように、EUT の動作サイクルが長い、もしくは妨害への応答が遅い可能性がある場合などは、ドウェル・タイムを非常に長くすることが必要となる可能性が予測される。これは試験時間に大きく影響するので、事前に良く検討し、短いドウェル・タイムで確実に評価を行なえるような準備を行なうことが望ましい。場合によってはより短いドウェル・タイムで評価を行なえるような試験用のプログラム (例えば通常は 30 秒毎に行なうデータの読み込みを 1 秒毎に行ないリアル・タイムで出力するような) などを準備することもできるかも知れない。

<sup>†23</sup> この変調は伝統的な AM の放送や通信を代表する。このタイプの変調の使用は減少しており、特に高い周波数でこの変調が用いられることはないであろうが、この規格では全周波数範囲についてこの変調が標準的に採用されている。

に向けた面) が電界均一面の位置となるように配置する (図 8, 図 9)。

盤やラックなどに取り付けるように設計された機器はその形で試験する。

卓上機器は 0.8 m の低誘電率の机の上に配置する。床置き機器は通常は 0.05 ~ 0.15 m の台の上に置くが、0.8 m の机の上に置くことができるものはそのようにしても良い。<sup>†24</sup>

ケーブルは 3 m 以下の長さが規定されていればその長さとし、その他の場合は典型的な設置プラクティスに従って選択する。<sup>†25</sup> ケーブルは可能であれば 1 m 以上を電磁界に曝し<sup>†26†27</sup>、余長は束ねて配置する。

通常は全ての側面 (4 方向) からの水平と垂直の偏波での照射を行なうが、異なる面を下にしても使用される機器は全ての面 (6 方向) からの照射を行なう。但し、技術的に正当化できる場合には照射面を減らすこともできる。

EUT が複数のコンポーネントから成る場合、照射面の変更に際してそれぞれのコンポーネントの位置を変える必要はない。

電波暗室内に置かれた周辺機器も強い電磁界に曝されるので、周辺機器はその電磁界に耐えられるものであることが望ましく、特に試験時に EUT の近くに置く周辺機器はその電磁界に耐えることが不可欠となる。EUT から離れた箇所に置くことができる周辺機器は電磁界が弱そうな場所や電波暗室の外に置ける場合もあるが、電波暗室の外に置いた場合でもケーブルには強い妨害が重畳している可能性が高く、影響の低減のためにフィルタの追加などの処置が追加で必要となるかも知れない。

<sup>†24</sup> 0.8 m よりも低い位置の電界強度は管理されないの、0.8 m の机の上に置いた方がより確実に電磁界に曝することができる。

<sup>†25</sup> 長過ぎるケーブルは配置を厄介にし、試験の再現性の悪化などの問題を引き起こす可能性も考えられるので、ケーブルは長くし過ぎない方が無難である。

<sup>†26</sup> ケーブル 1 m を電界均一面内に入れて電磁界に曝することが求められているわけではなく、例えば、床置き機器の低い位置から出るケーブルは通常は電界均一面には入らない。だが、可能な場合にはケーブルを電界均一面にそれと平行に 1 m 以上引くことが望ましいだろう。

<sup>†27</sup> この試験法は通常は 80 MHz 以上の周波数で使用され、この周波数範囲では  $\lambda/4 < 1 \text{ m}$  となり、1 m のケーブルが効率的なアンテナとなると考えられる。



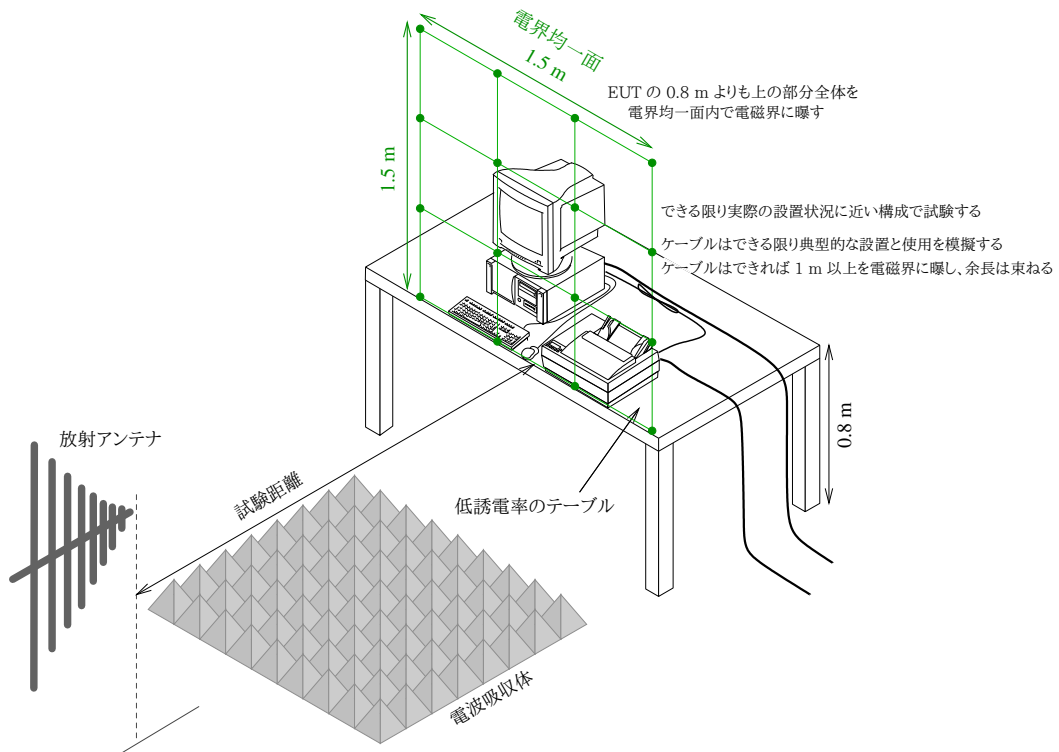


図 8: IEC 61000-4-3 のセットアップの例 (卓上機器)

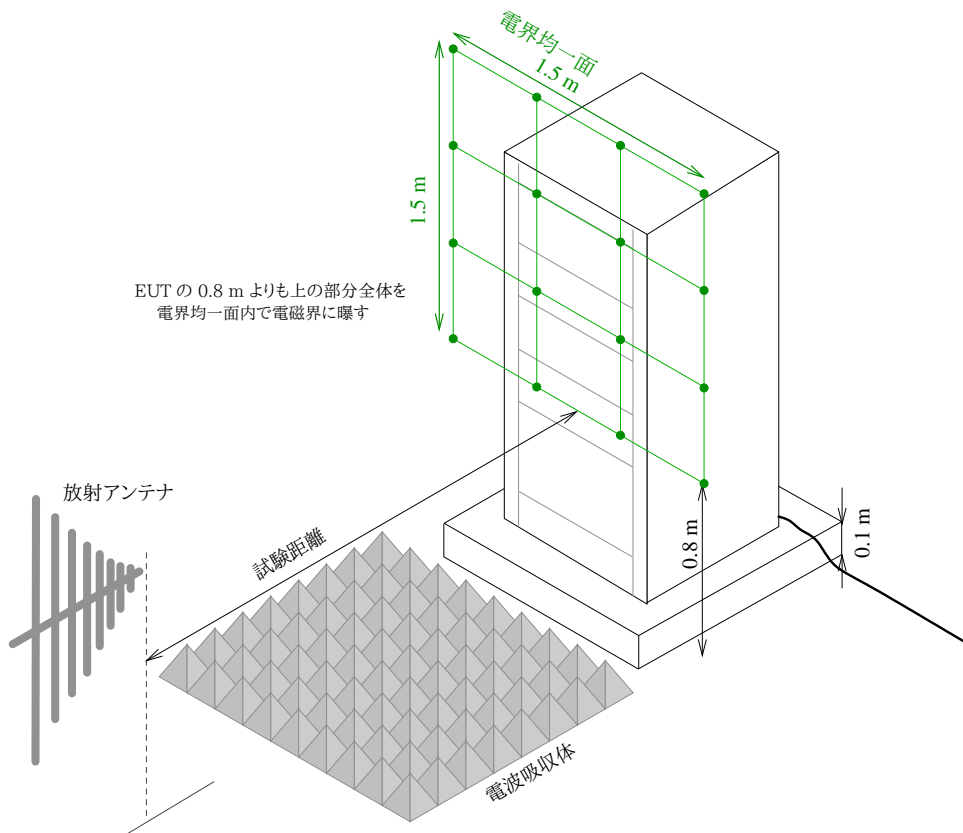


図 9: IEC 61000-4-3 のセットアップの例 (床置き機器)

## 5 IEC 61000-4-4 (電氣的ファスト・トランジェント/バースト)

### 5.1 背景

電源スイッチの開閉の際などに、立ち上がりの早い、振幅の高いパルスのバースト<sup>†28</sup>が発生し、これがその電源線に接続された、あるいはその近傍の信号線などに接続された他の機器に悪影響を与えることがある。

この規格はこのような現象の模擬を意図したものであり、多くの場合、電源線、及び 3 m を超えることのあるその他のケーブルが試験対象となる。

### 5.2 試験法

接点の開閉によって発生する妨害を模擬するような立ち上がりの早いパルスのバーストを試験対象のケーブルに印加することでこのような妨害の影響を模擬する。

#### 5.2.1 試験波形

実際の妨害はパルスの振幅や間隔が変化するものとなることが予期される<sup>†29</sup>が、この規格ではその代わりに振幅と間隔が一定のパルスのバーストが用いられる (図 10)。

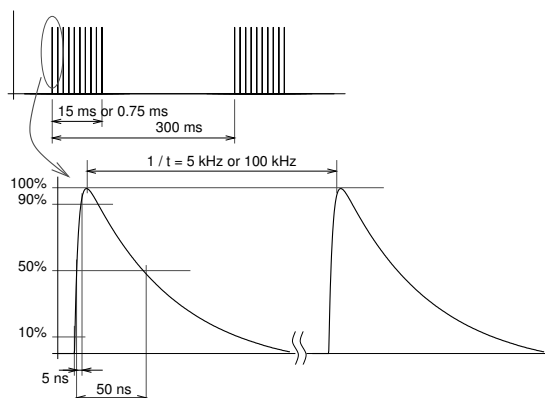


図 10: IEC 61000-4-4 試験波形 (50 Ω 負荷)

<sup>†28</sup> この試験は、EFT/B (electrical fast transient/burst)、EFT、FT/B、高速トランジェント/バースト、などと呼ばれることもある。この名称の「バースト」はパルスが単発で発生するのではなく短い期間内でくり返されることを意味する。

<sup>†29</sup> 接点を開く際の「シャワーリング・アーク (showering arc)」として知られている断続的な放電は、接点が開くとともに電圧が高くなり、またパルスの間隔が開くパルスのバーストを生じる傾向がある。

パルスの繰り返し周波数は伝統的には 5 kHz (4 kV では 2.5 kHz) が用いられていたが、今は 5 kHz と 100 kHz からの選択となっており、バーストの持続時間はそれぞれ 15 ms と 0.75 ms となる。<sup>†30</sup>

妨害は、電源線へは CDN (結合/減結合回路網; 図 11) <sup>†31</sup>を用いて、その他のケーブルへは通常は容量性結合クランプを用いて、ケーブル内の全ての導体に同時に注入される。<sup>†32</sup>

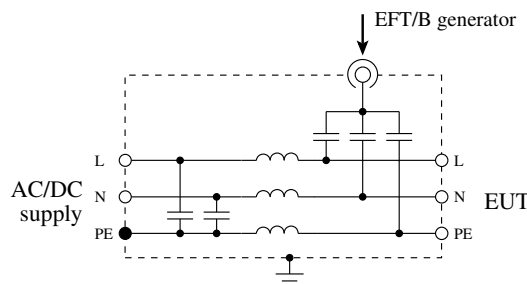


図 11: IEC 61000-4-4 用 CDN の原理



図 12: 単相電源用 CDN を内蔵した複合イミュニティ試験器の例 (写真は EMC Partner 社の厚意による)

<sup>†30</sup> 100 kHz の方が実際の現象を良く模擬できると考えられる。過去の版での 5 kHz や 2.5 kHz という繰り返し周波数の選択は、おそらくは試験器側の技術的な妥協によるものである。

<sup>†31</sup> CDN は試験発生器と一体となっていることもある。

<sup>†32</sup> CDN は回路に割り込むように接続され、コンデンサを介して妨害の注入を行なう。容量性結合クランプでは印加対象のケーブルを 1 000 × 140 mm の金属板 2 枚で挟んでその金属板に妨害を印加し、印加対象のケーブルと金属板とのあいだの容量性結合を介して妨害の注入を行なう。いずれの印加方法でも立ち上がりの早い妨害をグラウンド・プレーンとのあいだにコモン・モードで注入するため、グラウンド・プレーンとの接続が重要となり、CDN や容量性結合クランプは原則としてグラウンド・プレーン上に直接置いてしっかりと接続することが必要となる。

### 5.3 試験レベル

この規格では以下の試験レベルが規定されている:

レベル	開放回路試験電圧 (kV)	
	電源線, 接地線	信号/制御線
1	0.5	0.25
2	1	0.5
3	2	1
4	4	2
X	個別に規定	個別に規定

試験レベルは開放回路試験電圧で表現されるが、この試験発生器は  $50 \Omega$  の出力インピーダンスを持ち、出力を  $50 \Omega$  で終端した時の出力電圧はその  $1/2$  となる。

### 5.4 EUT などの配置

EUT や周辺機器 (AE)、及びそのケーブルは、グランド・プレーンの上の  $(0.1 \pm 0.05) \text{ m}$  の絶縁材の上に置く (図 13, 図 14)。これは、卓上機器、床置き機器、組み込み用の機器などで共通である。

CDN や容量性結合クランプは、床置き機器の場合は EUT から  $1.0 \pm 0.1 \text{ m}$ 、その他の場合は  $0.5^{+0.1}_0 \text{ m}$  の距離に置き、できる限り短いケーブルで接続する。容量性クランプの場合、ケーブルの余長は AE 側で束ねる。

EUT は設置仕様に従って接地するが、少なくとも電源線への印加に際しては電源ポートに含まれる接地線は CDN (図 11) で高周波的には接地から分離された形となる。<sup>†33</sup>

## 6 IEC 61000-4-5 (サージ)

### 6.1 背景

電力系統内での切り替えや開閉など (例えばコンデンサ・バンクの開閉、変圧器の遮断、地絡や短絡の発生とその回復など) に伴い、電力線に比較的立ち上がりが遅くエネルギーが大きいサージが発生することがある。

<sup>†33</sup> 電源線への印加を保護接地線 (もしあれば) を含めた全ての線に一括で行なうために意図的にそのようにされている。

また、雷の影響<sup>†34</sup>で、電力線や電話線、その他の長いケーブルに同様のサージが発生することがある。

このようなサージは比較的能量が大きく、機器の誤動作のみでなく損傷を引き起こすこともある。

この規格はこのような現象の模擬を意図したもので、通常、電源線と、電話線などの長い、あるいは屋外を引かれるケーブルが試験対象となる。<sup>†35†36</sup>

### 6.2 試験法

このようなサージを模擬する比較的能量の大きいサージを印加対象のケーブルに注入することによって試験を行なう。

#### 6.2.1 試験波形

電源線などの試験では、 $1.2/50 \mu\text{s} - 8/20 \mu\text{s}$  と称される、開放回路電圧波形の波頭長が  $1.2 \mu\text{s}$  で持続時間が  $50 \mu\text{s}$ 、短絡回路電流波形の波頭長が  $8 \mu\text{s}$  で持続時間が  $20 \mu\text{s}$  の単方向のパルス (図 15) が用いられる。<sup>†37†38</sup>

この発生器の出力インピーダンスは  $2 \Omega$  であり、例えば開放回路電圧のピーク値が  $4 \text{ kV}$  の場合の短絡回路電流のピーク値は  $2 \text{ kA}$  となる。

電話線などの屋外を引かれる長い対称線に対しては、これと異なる  $10/700 \mu\text{s} - 5/320 \mu\text{s}$  と称される波形が用いられる。

<sup>†34</sup> その線が雷撃を受けた時の影響ではない。この試験で通常印加されるサージ電流は  $2 \text{ kA}$  程度までであるが、雷撃の影響の評価には、しばしば数十  $\text{kA}$  から数百  $\text{kA}$  のピーク電流のパルスが用いられる。

<sup>†35</sup> 規格で一般の信号線が試験対象とされる場合、 $30 \text{ m}$  よりも長くないものは除外とできることが多い。

<sup>†36</sup> このようなサージ電流は強い過渡的な磁界も発生するが、IEC 61000-4-9 では IEC 61000-4-8 (§8) で用いるものと同様のコイルにサージ電流を流してこのような過渡的な磁界 (インパルス磁界) に対する評価を行なう方法が示されている。

<sup>†37</sup> 波頭長 (front time) と持続時間 (duration; 旧版で time to half-value と呼ばれていたものに相当する) の詳細な説明は省略するが、簡単には、波頭長はパルスの立ち上がり時間のようなもの、持続時間はパルスの立ち上がりから  $50\%$  への低下までの時間と考えて良いだろう。

<sup>†38</sup> 実際のサージは振動性のものとなる場合もあるが、この規格では単方向のパルス (実際の波形はある程度のアンダーシュートを生じることもある) のみが用いられ、振動性のサージはこれと別に IEC 61000-4-12 (リング・ウェーブ) で述べられている。規格によっては電圧サージと電流サージが使い分けられることもあるが、この規格では開放回路電圧波形と短絡回路電流波形の双方が同時に規定されたサージを発生するコンビネーション・ウェーブ・ジェネレータ (CWG) が用いられ、電圧サージと電流サージの使い分けは不要となっている。

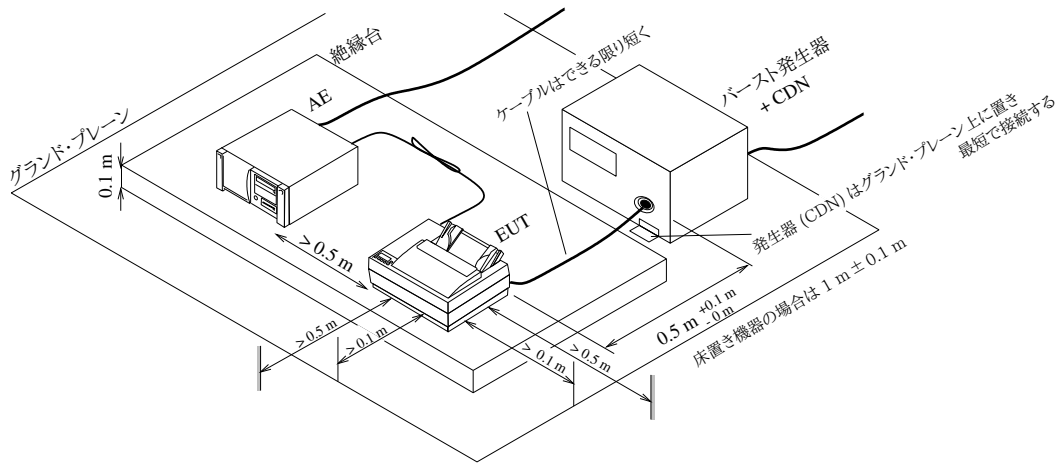


図 13: IEC 61000-4-4 のセットアップの例 (CDN での印加)

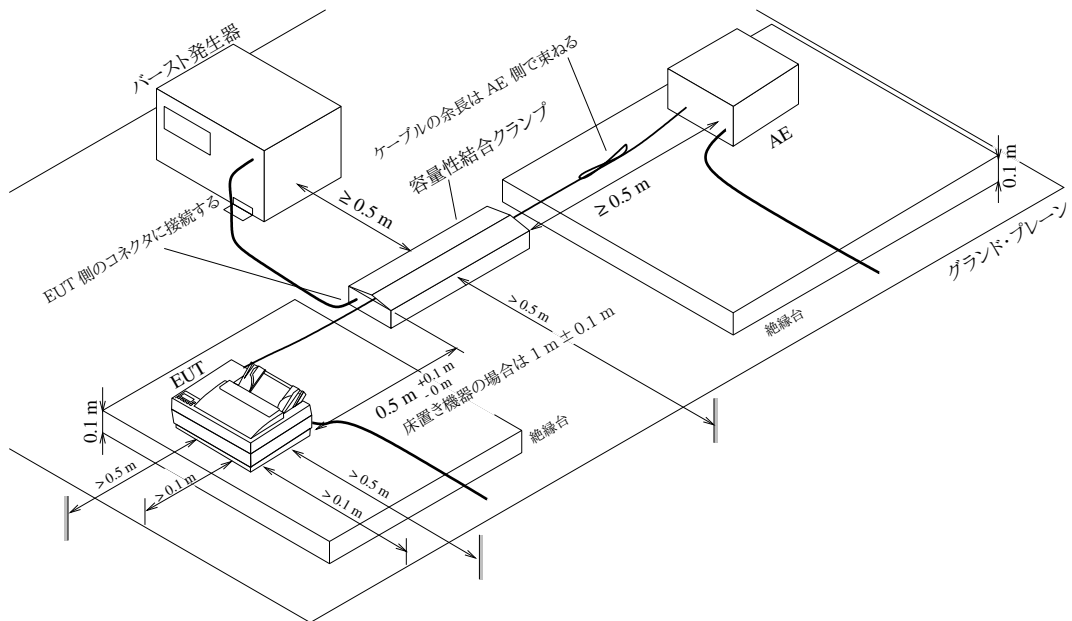


図 14: IEC 61000-4-4 のセットアップの例 (容量性結合クランプでの印加)

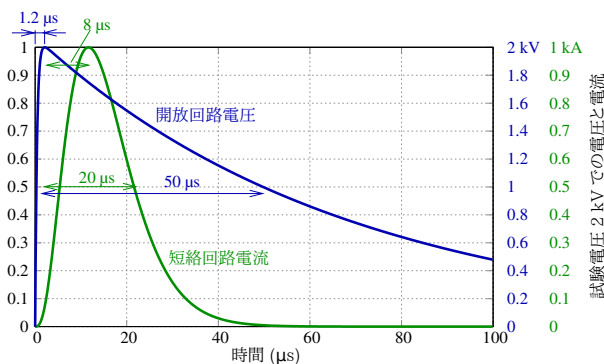


図 15: IEC 61000-4-5 1.2/50 μs – 8/20 μs 試験波形

### 6.2.2 電源線への印加

電源線への印加は、CDN を用いて、ライン間には  $18 \mu\text{F}$  を介して、ライン – 接地間には  $9 \mu\text{F} + 10 \Omega$  を介して行なわれる (図 16, 図 17)。

発生器自身の出力インピーダンスが  $2 \Omega$  であるので、それぞれの場合の実効的な出力インピーダンスは  $2 \Omega$  と  $12 \Omega$  となる。

通常、それぞれの印加箇所に対して、交流電源の場合は電源波形の  $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、及び  $270^\circ$  に同期させて、それぞれの条件について正、負それぞれ 5 回づつの印加を行なう。<sup>†39</sup>

<sup>†39</sup> 通常は下位の試験レベルの印加も行なうので、試験レベルがライン – ラインで  $1 \text{ kV}$ 、ライン – 接地で  $2 \text{ kV}$  の場合、

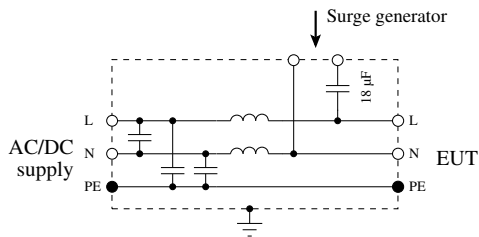


図 16: IEC 61000-4-5 用 CDN の原理 (ライン間)

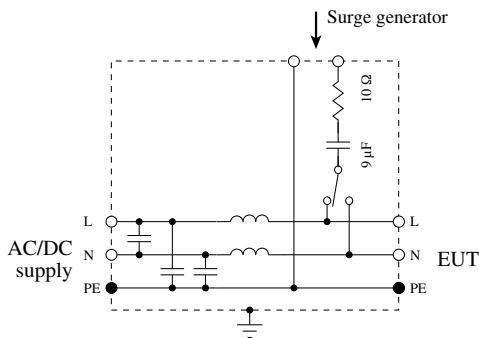


図 17: IEC 61000-4-5 用 CDN の原理 (ライン - 接地間)

### 6.2.3 信号線への印加

電話線などの対称線への印加は対称線用の CDN (図 18) を用いてコモン・モードで行なわれる。

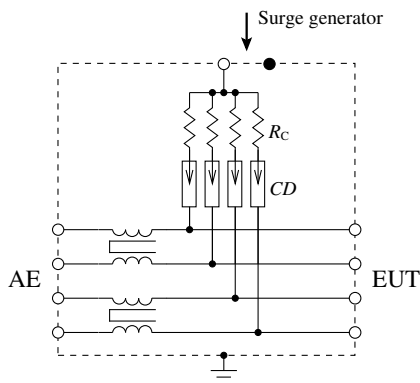


図 18: IEC 61000-4-5 用 CDN の原理 (対称線)

ここで、1.2/50 μs サージ用の CDN の場合は  $R_C = 40 \Omega \times n$  で、全ライン分で 40 Ω (サージ発生器の 2 Ω と合わせて 42 Ω) となる。

10/700 μs サージでもこれと似た CDN が用いられるが、その場合は  $R_C = 25 \Omega$  で、それを出力イ

3P + N + PE の三相電源の全ての組み合わせについて試験を行なった場合にはライン - ラインで 480 回 (5 回 × 2 極性 × 4 位相角 × 2 レベル × 6 セット)、ライン - 接地でも 480 回 (5 回 × 2 極性 × 4 位相角 × 3 レベル × 4 セット) の印加を行なうことになり、印加を 1 分毎に行なえば単純計算で 16 時間を要することになる。

ンピーダンス 15 Ω の 10/700 μs サージ発生器と組み合わせて使用する。

CD は結合デバイスで、印加対象の線の上の信号の邪魔をしないようにその信号を阻止しながらそれらの線にサージを注入できるような、コンデンサ、クランピング・ダイオード、アレスタ (GDT) などの適切なものを使用する。<sup>†40</sup>

非対称線への印加は、電源線への印加と似た形で、だが 40 Ω のインピーダンス (サージ発生器の 2 Ω と合わせて 42 Ω) と適切な結合デバイスを介して行なう (図 19)。

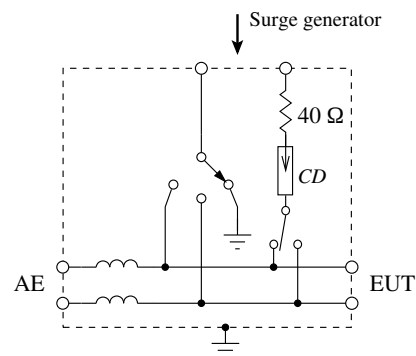


図 19: IEC 61000-4-5 用 CDN の原理 (非対称線)

### 6.2.4 シールド線への印加

両端が接地されたシールド線へのサージの印加は、EUT が金属の筐体を持つ場合、EUT を絶縁変圧器でグランドから分離して EUT の筐体と AE のあいだにサージを印加することによって行なう (図 20)。

シールド線の長さは 20 m とし、余長はインダクタンスが小さくなるように束ねる。但し、製造業者が実際の設置で使用する組み立て済みのケーブルを提供している場合は、その 10 m よりも長い最短の

<sup>†40</sup> コンデンサはサージ波形の崩れを生じにくい、サージを通過させるために比較的大きな静電容量 (例えば 0.5 μF) のものが必要となり、印加対象の線の上の信号に悪影響を与えやすい。ガス・アレスタ (GDT) は一般に信号への影響は少ないが、特に低い電圧のサージでサージの波形が乱れやすい。規格では 2 kV (対称線用 CDN) や 4 kV (非対称線用 CDN) での波形の校正が要求されており、その結合デバイスを介してサージを印加した時の CDN の EUT ポートでのサージ波形が規格の要求を満たすことが必要となる。

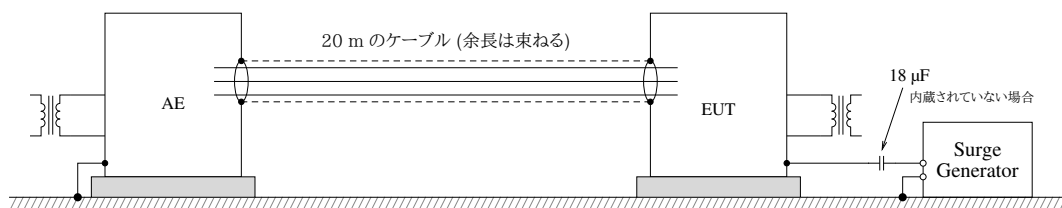


図 20: IEC 61000-4-5 でのシールド線への印加

ものを用いることができる。<sup>†41†42</sup>

EUT が金属の筐体を持たない場合、サージは EUT 側でシールド線に直接印加する。

### 6.3 試験レベル

この規格では以下の試験レベルが規定されている:

レベル	開放回路試験電圧 (kV)	
	ライン間	ライン - 接地間
1	—	0.5
2	0.5	1
3	1	2
4	2	4
X	個別に規定	個別に規定

この規格では低い試験レベルでの試験も行なうように述べられており、通常、それぞれの印加箇所に、それぞれの印加条件で、指定された試験レベルまでの全ての試験レベルのサージを 5 回づつ 1 分以下の間隔で印加する。<sup>†43</sup>

<sup>†41</sup> 規格では概ねここで書いたように述べられているが、実際には、例えば EUT が金属の筐体を持つがその筐体がケーブルのシールドや接地に接続されていない場合のように、サージを筐体に印加したのでは実際にサージを受けた時の影響を模擬できず、適切に試験を行なうためには実際にサージを受けた時の影響を想定して印加方法を工夫することが必要となることもあるかも知れない。ケーブルのシールドと金属の筐体が接続されているとしても筐体のどの位置にサージ発生器を接続するかによって試験の結果が有意に変わる可能性も考えられるが、ケーブルのシールドが EUT や AE の保護接地と低インピーダンスで接続されているならば EUT と AE の保護接地端子のあいだにサージを印加するのが簡単で、また実際にサージを受けた時のサージ電流の経路を良く模擬できそうである。

<sup>†42</sup> この印加方法ではサージ電流の大部分がシールドを流れることになるだろうが、実際にサージを受けた場合にもそのようになることが予期され、適切に処理されたシールド線はこれによってサージに対する保護を提供できる。シールド線の両端が接地されていない場合はシールド線によるこのような保護は期待できず、この規格ではそのようなケーブルは非シールド線と同様の試験の扱いとなる。

<sup>†43</sup> 印加の間隔を短くすれば試験時間を節約できるが、これは EUT に過剰なストレスを与える (例えば、サージ・アブソーバが冷める前に後続のサージが印加されるために) 可能性もある。下位の試験レベルの印加を行なう場合、一般に、最大の試験レベルで 1 分毎の印加に耐えるのであれば、おそらく、その 1/2 の試験レベルでは 30 秒毎、1/4 の試験レベルでは 15 秒毎の印加には十分に耐えられると思われる。

### 6.4 EUT などの配置

印加される妨害が比較的低速なものであるため、試験セットアップはそれほど重要ではない。

通常、EUT を含む各機器は通常の使用の際と同様に接続し、接地が必要な箇所は接地する。但し、シールド線への印加 (§6.2.4) は機器を絶縁変圧器などで浮かせて機器にサージを印加することで行なわれ、この場合は接地も切り離すことが必要となる。

CDN での印加を行なう場合、CDN までのケーブルは 2 m 以下とする。

## 7 IEC 61000-4-6(放射電磁界によって誘導された伝導妨害)

### 7.1 背景

放射電磁界に対する評価は単純には実際に電磁界を照射することによって行なうことができるが、低い周波数ではこのような方法での評価は難しくなり、別の手段が必要となる。

この規格はこのような現象の模擬を意図したものであり、多くの場合、電源線、及び 3 m を超えることのあるその他のケーブルが試験対象となる。

通常、この規格は 0.15 ~ 80 MHz の試験に用いられ、より高い周波数範囲の試験には IEC 61000-4-3 (§4 参照) が用いられる。<sup>†44</sup>

### 7.2 試験法

低い周波数では実際に電磁界を照射しての評価は難しくなり、一方、妨害が主としてケーブルを介して結合する傾向が強くなるため、この規格では電磁

<sup>†44</sup> より低い周波数の試験は IEC 61000-4-16 でカバーされる。

界を照射する代わりにケーブルに妨害を注入することによって試験を行なう。<sup>†45</sup>

この規格では、妨害は、CDN (結合/減結合回路網) が使用可能であれば CDN を用いて、さもなくば EM クランプか電流注入クランプ<sup>†46</sup>を用いるなどして、EUT を通過するように電流を流し込むことによって印加される (図 21, 図 22)。

周波数掃引、変調などは、IEC 61000-4-3 と同様である (§4.2.2, §4.2.3 参照)。

### 7.2.1 CDN (結合/減結合回路網)

CDN は接続対象のケーブルに応じて次のようなものの中から選択する:

- CDN-M<sub>n</sub> — 電源線用
- CDN-S<sub>n</sub> — シールド線用
- CDN-T<sub>n</sub> — 非シールド平衡線用
- CDN-AF<sub>n</sub> — 非シールド不平衡線用

図 23 に CDN-M3 の例を示す。ここで、 $R$  はインピーダンスの設定のための抵抗で、CDN-M3 の場合は  $R = 300 \Omega (100 \Omega \times n)$  となる。<sup>†47</sup>

いずれの CDN を EUT ポートから見たコモン・モード・インピーダンスも、AE ポートの状態と無関係に、RF ポートを  $50 \Omega$  で終端した時は  $150 \Omega$  前後、RF ポートを開放のままとした時は高くなるようになっており、

- RF ポートに出力インピーダンス  $50 \Omega$  の妨害源から高周波電力を入力してそのケーブルへの妨害の印加を行なう

<sup>†45</sup> 低い周波数で十分な強度の電磁界を発生させることは難しい。また、 $80 \text{ MHz}$  では  $\lambda/4 \approx 1 \text{ m}$  であるものの、 $0.15 \text{ MHz}$  では  $\lambda/4 = 500 \text{ m}$  となるため、ケーブルをこのような低い周波数の電磁界に曝しても妨害を効果的に結合させることはできない。一方、低い周波数では EUT 自身が妨害を受け取るアンテナとして働きにくくなり、ケーブルの影響が支配的となる傾向が強まるため、多くの場合、何らかの方法でケーブルに妨害を注入することで EUT とケーブルが妨害に曝された時の影響を模擬できると考えられる。

<sup>†46</sup> 電流注入クランプは印加対象のケーブルの外側から取り付け、磁気結合によって非侵襲で妨害の印加を行なうことができる。EM クランプも同様に印加対象のケーブルの外側から取り付けて非侵襲で妨害の印加を行なうことができるが、結合は電氣的結合と磁気結合の双方によって行なわれ、高い周波数 ( $10 \text{ MHz}$  程度以上) である程度の方向性を持ち、AE 側の状態の試験への影響が、また注入された妨害の AE 側への影響が若干低減されるという特徴を持つ。

<sup>†47</sup> CDN-M<sub>n</sub> などの  $R$  は線数  $n$  によって変わるので、例えば CDN-M3 は CDN-M2 の代わりにはならない。

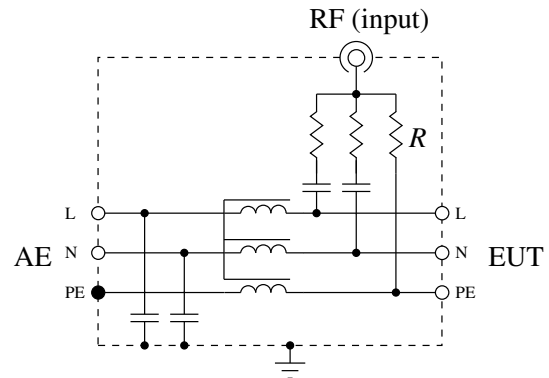


図 23: IEC 61000-4-6 用 CDN の原理 (CDN-M3)

- RF ポートを  $50 \Omega$  の同軸終端器で終端してそのケーブルの  $150 \Omega$  での終端を行なう
- RF ポートを開放のままとしてそのケーブルを減結合する

ために用いられる。

### 7.3 試験レベル

この規格では以下の試験レベルが規定されている:

レベル	電圧レベル (e.m.f.)
	$U_0$ (V)
1	1
2	3
3	10
X	個別に規定

この試験レベルは妨害源の起電力 (e.m.f.) で規定されており、理想的な状況では、その起電力を  $150 \Omega$  の注入インピーダンス (通常は妨害源の出力インピーダンスの  $50 \Omega$  と注入側の CDN の  $100 \Omega$  で与えられる) を介し、 $150 \Omega$  (通常は EUT のいずれかのケーブルに接続された終端された CDN で与えられる) で終端された EUT に印加する形となる。<sup>†48</sup>

<sup>†48</sup> 妨害のレベルの設定はあらかじめ  $150 \Omega$  の校正器具を用いて行なわれた校正に基づいて置換法で行なわれ、一般に試験時に実際に印加された電圧や電流は不明となる。但し、クランプでの注入でコモン・モード・インピーダンスの要求を満足できない場合には印加対象のケーブルに電流モニタ・プローブを取り付けてそのプローブで測定された電流が規定されたレベルを超えないように制限することになっており (これについては本稿では述べていない)、この場合にはその電流モニタ・プローブの位置での電流が実際に測定されることになる。

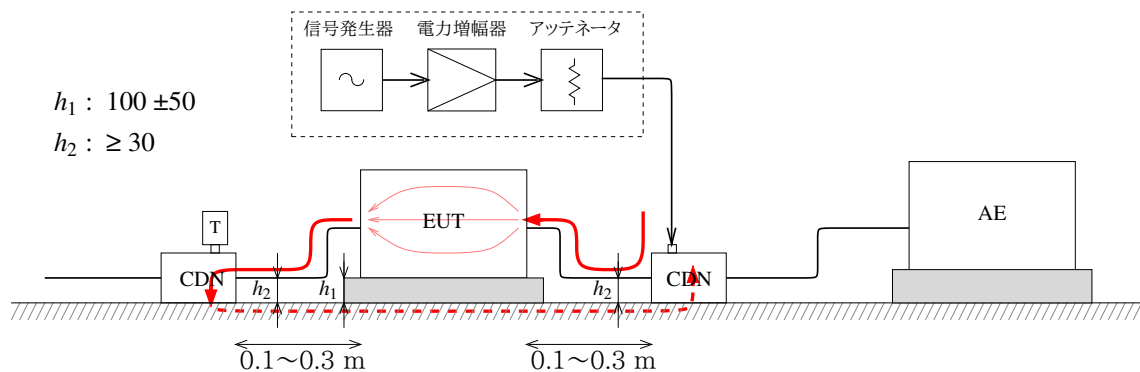


図 21: IEC 61000-4-6 の妨害の注入の原理 (CDN)

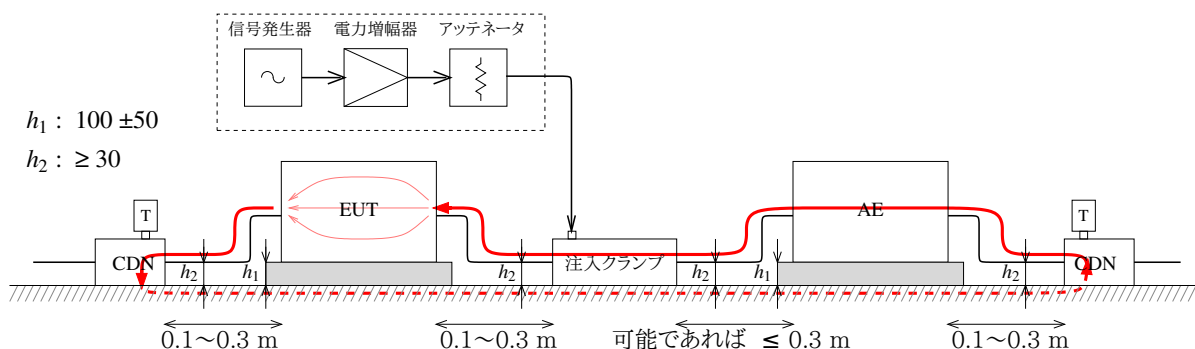


図 22: IEC 61000-4-6 の妨害の注入の原理 (注入クランプ)

## 7.4 EUT などの配置

EUT や周辺機器 (AE) はグラウンド・プレーンの上の  $(0.1 \pm 0.05)$  m の絶縁材の上に置き、そのケーブルはグラウンド・プレーンから 30 mm 以上の高さに引く (図 24, 図 25)。これは、卓上機器、床置き機器、組み込み用の機器などで共通である。

妨害の注入のための CDN や注入クランプ (EM クランプか電流注入クランプ) は、試験対象ケーブルの EUT から  $0.1 \sim 0.3$  m の距離に取り付ける。注入クランプを用いる場合、注入クランプと AE のあいだの距離も  $0.3$  m 程度以下とすることが望ましい。<sup>†49†50</sup>

<sup>†49</sup> 注入クランプと AE のあいだの長いケーブルは試験に悪影響を与え、また著しく長ければ試験の実施そのものが困難となる (このケーブルを束ねることは禁じられている) ので、試験に際しては適度な長さのケーブルを準備すべきである。EM クランプは高い周波数である程度の方向性を持ち、EM クランプと AE のあいだのケーブルの影響はある程度低減されることが期待されるものの、その効果は限定的なものとなる。EM クランプの長さは  $0.6 \sim 0.7$  m 程度であり、EM クランプを取り付けるためには床面を 1 m 強だけ這わせられる程度の長さのケーブルがあれば良い。

<sup>†50</sup>  $0.3$  m という長さは 80 MHz における  $\lambda/10$  弱に相当し、ケーブルがこれよりも有意に長くなればケーブルが試験に与える悪影響が増大することが予想される。これは終端せずに減結合のために用いられる CDN までの距離についても同様である。

EUT に他にケーブルが接続される場合、そのうちの 1 つには終端した CDN を取り付け、その他のケーブルは取り外すか RF ポートを終端していない CDN を取り付け減結合する。<sup>†51</sup> EUT と AE のあいだのケーブルに CDN を取り付けることができない場合にはその代わりに AE 側でこれらの減結合や終端を行なうことが必要となる<sup>†52</sup>が、この場合は EUT とその AE のあいだのケーブルやその AE も試験の結果に著しい影響を与えるようになる。<sup>†53</sup>

妨害の注入を注入クランプで行なう場合、試験対象のケーブルに接続された AE のケーブルの 1 つにも RF ポートを終端した CDN を取り付け、その他のケーブルは取り外すか RF ポートを終端してい

<sup>†51</sup> こうすることによって、注入された妨害が、EUT を通過する、両側が  $150 \Omega$  で終端された単一のループに流れるようにする。この原則は注入クランプによる注入の場合も同様である。

<sup>†52</sup> その AE に減結合や終端を行えないケーブルがある場合の扱いは規定されていない。このような場合、さらにその先の AE でこの処理を行なったのでは試験への悪影響がさらに著しいものとなるのが予想されるので、別の AE の使用の考慮を含めて、適切な対応を検討すべきであろう。

<sup>†53</sup> 例えば、その AE の EUT 側のポートが CDN を付けて終端するポートに試験周波数範囲内で高いインピーダンスを与えるようなチョーク・コイルが付けられている場合、EUT 側から見たインピーダンスが高くなり、妨害電流の注入を意図したように行なえなくなる (結果として試験が著しく甘くなる) 可能性が考えられる。



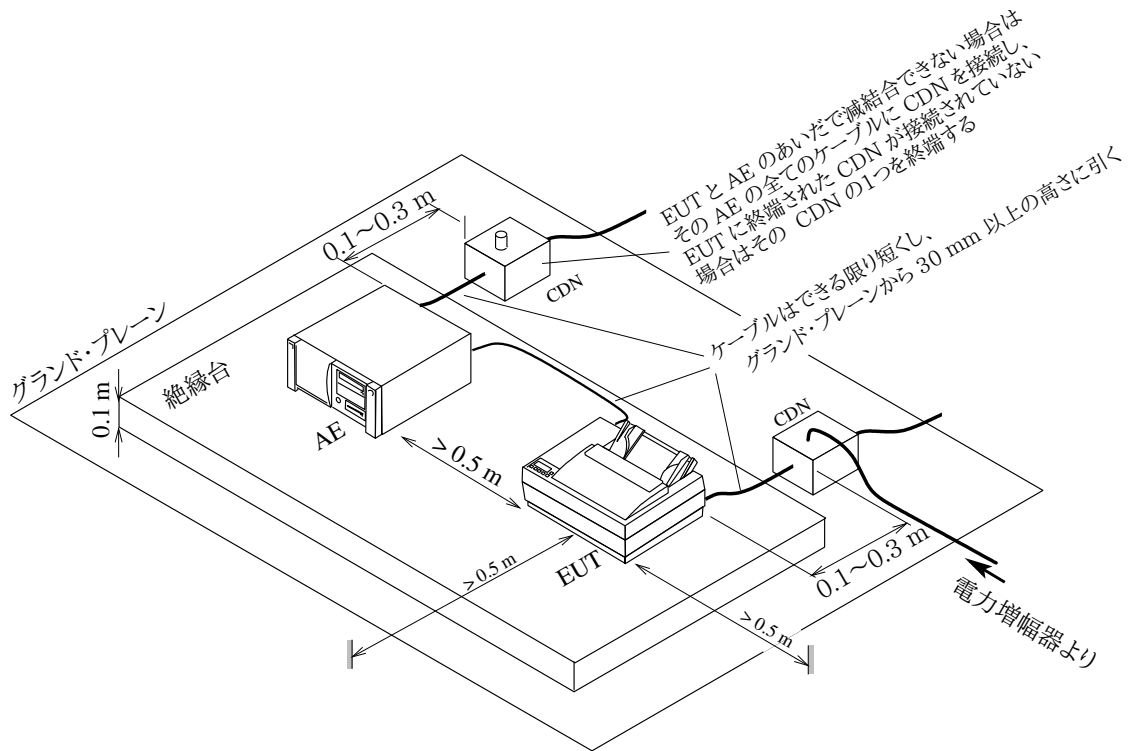


図 24: IEC 61000-4-6 のセットアップの例 (CDN での印加)

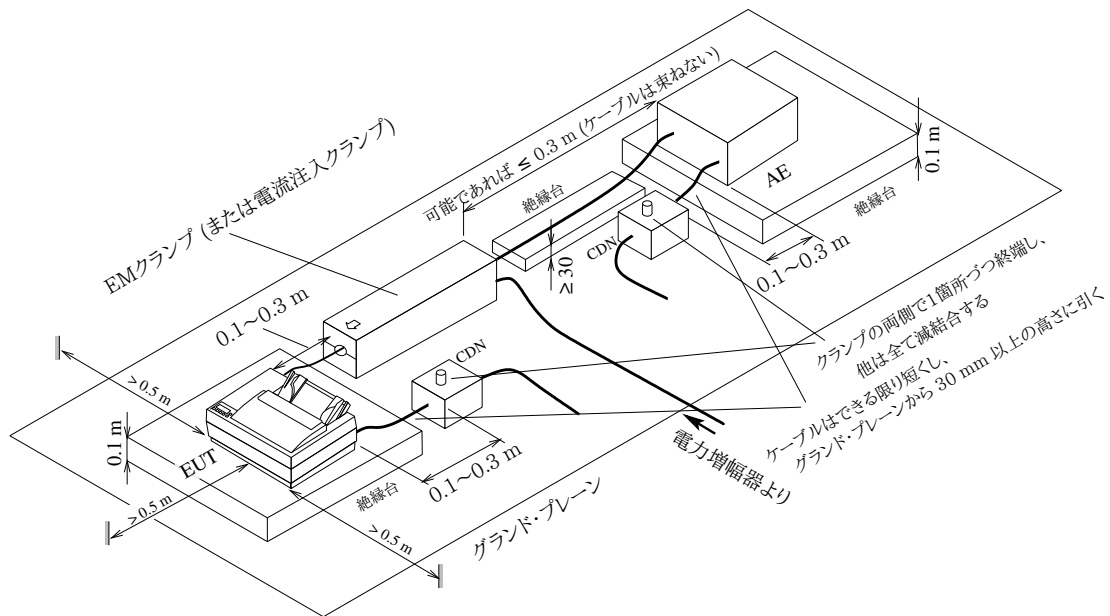


図 25: IEC 61000-4-6 のセットアップの例 (注入クランプでの印加)

ない CDN を取り付けで減結合する。†54

終端せずに減結合のために用いられる CDN を含

†54 注入クランプは図 22 で示したように妨害を AE 側のケーブルや AE を通るループに注入することから AE 側の終端が必須となり、ここでは、EUT、及び AE の双方に終端した CDN を 1 つずつ接続することで EUT と AE の双方のインピーダンスをできる限り 150 Ω に近付けるようにしている。その AE にケーブルを 1 本しか接続できない場合など、AE に終端した

CDN を接続することができない場合には、例えば AE の回路とグランド・プレーンのあいだに CDN-M1 か 150 Ω の抵抗を接続するなど、AE のインピーダンスを 150 Ω に近付けるためのその他の手段が必要となる。これは厄介であるので、可能な限り、終端のための CDN を接続できるものを AE として用意することが望ましい。

めて、全ての CDN は EUT や AE から 0.1~0.3 m の距離に取り付け、できる限り短いケーブルで接続する。

終端する CDN は以下の優先順位で選択する：

1. 接地端子の CDN-M1
2. 接地線を含む主電源ポートの CDN-Mn
3. 印加対象ケーブルに最も近いシールド・ケーブルの CDN-Sn
4. 接地線を含まない主電源ポートの CDN-Mn
5. 印加対象ケーブルに最も近いポートのその他の CDN

CDN と EUT のあいだ、また注入クランプと EUT や AE のあいだのケーブルはできる限り短くし、これを束ねるなどしてはならない。

EUT にキーボードや手持ち型のアクセサリが付いている場合、手の影響を模擬するため、キーボードの上に金属箱を置くか手持ち型のアクセサリの手で持つ部分に金属箱を巻き（「擬似手 (artificial-hand)」と呼ばれる）、220 pF + 510 Ω の RC ネットワークを介してグランド・プレーンに接続する。

## 8 IEC 61000-4-8(電源周波磁界)

### 8.1 背景

電力線、トランス、モータなどの近くでは、電源周波数のかなりの強度の磁界が発生することがある。

多くの機器はこのような低周波磁界にそれほど敏感でないが、CRT (ブラウン管) などのように陰極線のビームを用いるデバイス、ある種の磁気センサ<sup>†55</sup>などは、このような外部からの低周波磁界に著しく影響されることがある。

この規格はこのような電源周波数磁界の模擬を意図したものであり、通常、このような磁界の影響を受けるおそれのある機器が試験対象となる。

<sup>†55</sup> 磁気センサの類を用いた機器が全てこのような磁界に敏感というわけではない。例えばモータは回転子の角度の検出を磁氣的に行なっていることがあるが、これは外部からの磁界に対してはそれほど敏感ではないことも多い。

### 8.2 試験法

電源周波数の電流を流したコイル内の概ね均一な磁界が得られる領域 (図 26, 図 27) に EUT を置き、コイルの向きを変えて直交する三方向の磁界を照射する (図 28)。

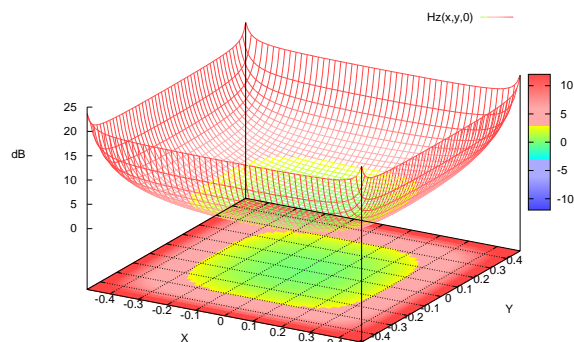


図 26: 1 m × 1 m コイルの面内の磁界分布

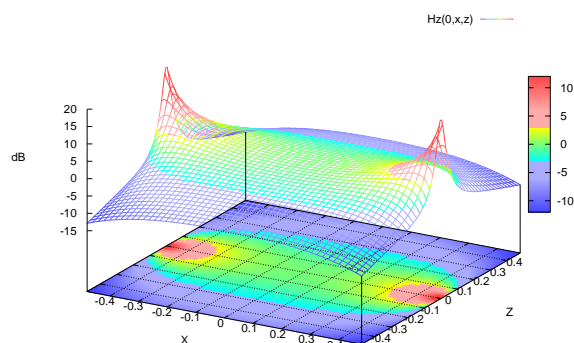


図 27: 1 m × 1 m コイルの中心を通る、コイルに垂直な面内の磁界分布

床置き機器の試験は EUT をグランド・プレーンから 0.1 m の高さに置いて実施する (図 29)。この場合、コイルを縦にしての試験は、グランド・プレーンをコイルの一部として用いるコイル (このタイプのコイルでは床面に近い位置まで概ね均一な磁界が得られる) を用いて行なう。

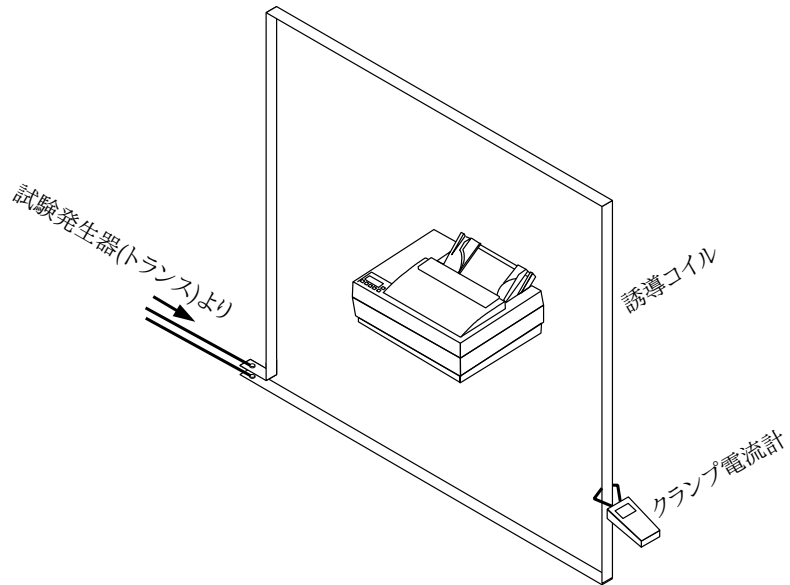


図 28: IEC 61000-4-8 のセットアップの例

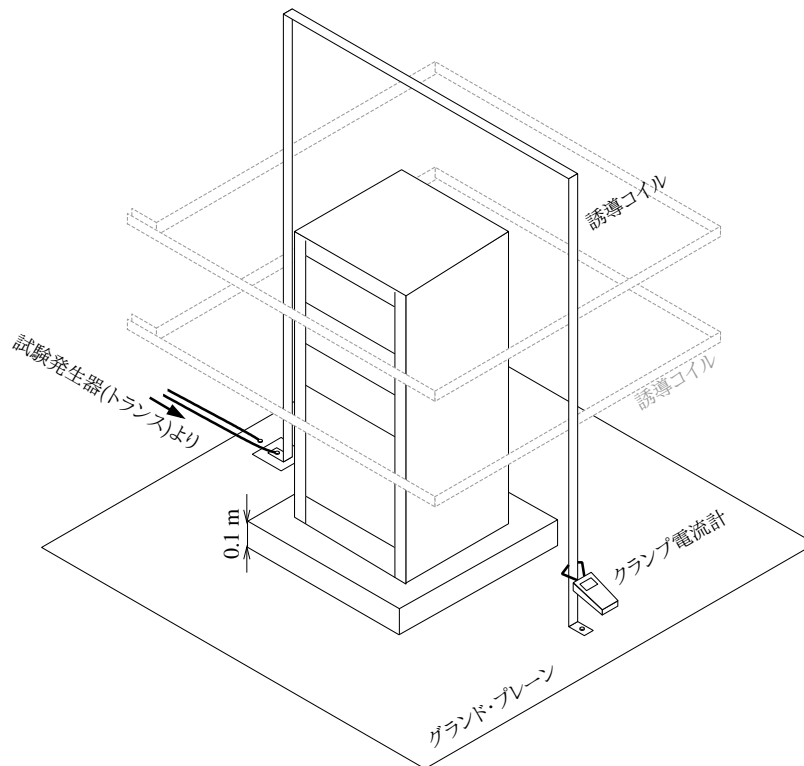


図 29: IEC 61000-4-8 のセットアップの例 (床置き機器)

### 8.3 試験レベル

この規格では以下の試験レベルが規定されている:

レベル	磁界強度 (A/m)
1	1
2	3
3	10
4	30
5	100
X	個別に規定

## 9 IEC 61000-4-11(電圧ディップ、短時間停電、電圧変動)

### 9.1 背景

電源系統上の事故やその他の事象、需要家側での大型の負荷の投入などに伴って、電源の電圧が一時的に失われたり低下したりすることがある。

この規格はこのような現象の模擬を意図したものであり、50 Hz や 60 Hz の低圧電源に接続される 16 A/相までの機器が対象となる。<sup>†56</sup>

### 9.2 試験法

試験発生器（電圧変動試験器、ディップ・シミュレータなどと呼ばれる）を用いて、EUT に供給する電源電圧を一時的に低下させ、あるいは停電させ、規定の時間で復帰させる。

この規格では、次の 3 つの現象が扱われる：

- 電圧ディップ (voltage dip) — 電源電圧が突然低下し、短い時間の後に復帰する現象
- 短時間停電 (short interruption) — 電源電圧が突然失われ、短い時間の後に復帰する現象<sup>†57</sup>
- 電圧変動 (voltage variation) — 電源電圧の緩やかな変化を伴った一時的な低下

但し、多くの規格は電圧ディップと短時間停電に対する要求のみを含み、電圧変動 (voltage variation) は滅多に使用されない。

電源は電源電圧の上昇や電源周波数の変動などを生じることもあるが、これらの現象はこの規格ではカバーされない。<sup>†58</sup>

電圧ディップは、例えば異なる電圧に設定したスライド・トランスを素早く切り替えることで発生させられる (図 33)。

機器がこのような妨害を受けた時、電源電圧の低下に伴って動作の停止やその他の問題を生じる可能

<sup>†56</sup> 50 Hz や 60 Hz の低圧電源に接続される 16 A/相を超える機器は IEC 61000-4-34 でカバーされる。また、直流電源の機器は IEC 61000-4-29 でカバーされる。

<sup>†57</sup> この規格では、1/2 周期や 1 周期の電源電圧の喪失は電圧ディップとして扱われている。

<sup>†58</sup> IEC 61000-4-14 は電圧の上昇を含む電源電圧変動、IEC 61000-4-28 は電源周波数変動、IEC 61000-4-27 は三相電源の不平衡、IEC 61000-4-13 は電源の高調波/中間高調波歪みに対する試験をカバーしている。

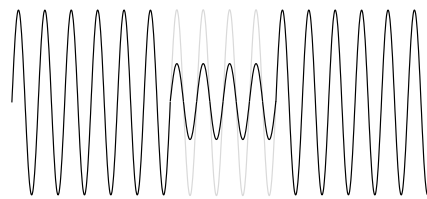


図 30: 電圧ディップの例 (40 % への 4 周期のディップ)



図 31: 短時間停電の例



図 32: 電圧変動の例

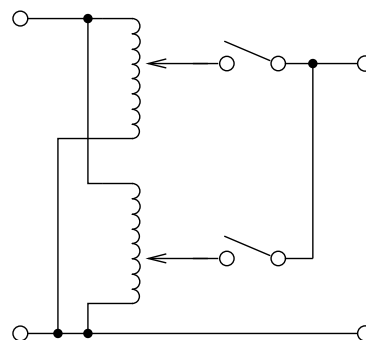


図 33: ディップ・シミュレータの原理

性があるだけでなく、電源電圧が復帰した際に流れる大きな突入電流が問題 (例えばヒューズの熔断のような) を生じることもある。これを評価できるように、ディップ・シミュレータは大きな突入電流 (250 ~ 600 V では 1000 A、200 ~ 240 V では 500 A、100 ~ 120 V では 250 A 以上) を流せる能力を持つことが必要となる。但し、突入電流を流せる能力がこれよりも低くても、EUT の突入電流がその 0.7 倍以下であれば良い。

三相電源の場合、ディップ試験ではそれぞれの相 - 中性線 ( $L_n-N$ )、及びそれぞれの相 - 相 ( $L_n-L_n$ ) の電圧をディップさせる (図 34)。

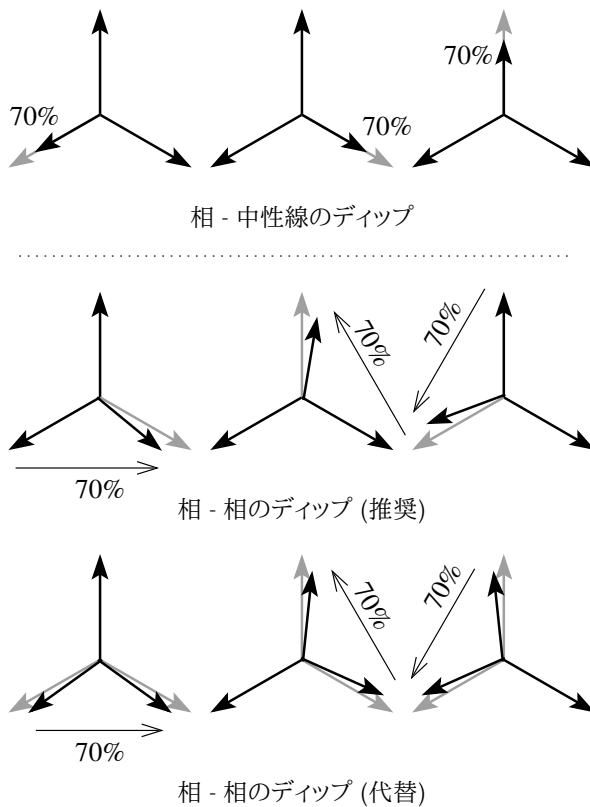


図 34: 三相電源のディップ

### 9.3 試験レベル

この規格では、クラス2とクラス3として、以下の試験レベルが規定されている:

クラス2	クラス3
0%, 1/2 周期	0%, 1/2 周期
0%, 1 周期	0%, 1 周期
70%, 25/30 周期	40%, 10/12 周期
	70%, 25/30 周期
	80%, 250/300 周期
0%, 250/300 周期	0%, 250/300 周期

ここで、“10/12 周期”のような表現は、電源周波数が 50 Hz の場合は 10 周期、60 Hz の場合は 12 周期の電圧ディップや短時間停電を発生させることを意味する。

また、例えば“40%”というレベルの規定は通常時の電圧の 40% まで電圧を低下させることを、すなわち通常時の電圧から 60% だけ電圧を低下させることを意味する。

規格では他にレベル1とレベルXも示されているが、これらについては具体的なレベルの規定はない。

## 10 試験レベルの例

参考のため、試験レベルの規定の例として、該当する製品群規格や製品規格がない場合に用いられる住商業環境向け、及び重工業環境向けの一般規格(共通規格)である IEC 61000-6-1:2016 と IEC 61000-6-2:2016 の試験レベルの要約を表1に示す。

実際にはこれらの規格についても適用の条件や追加の要求などの様々な規定がある。また、その製品に適用できる製品群規格や製品規格がある場合にはこれらの規格よりもその規格が優先となる。詳細は実際に適用するそれぞれの規格を参照されたい。

## 11 参考資料

### 11.1 参照規格

- IEC 61000-4-2:2008, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test*
- IEC 61000-4-3:2006+A1:2007+A2:2010, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test*
- IEC 61000-4-4:2012, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-4: Testing and measurement techniques – Electrical fast transient/burst immunity test*
- IEC 61000-4-5:2005, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test*
- IEC 61000-4-6:2013, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-6: Testing and measurement techniques – Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields*
- IEC 61000-4-8:2009, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-8: Testing and measurement techniques – Power frequency magnetic field immunity test*
- IEC 61000-4-11:2004+A1:2017, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-11: Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests*

	IEC 61000-6-1:2016	IEC 61000-6-2:2016	性能判定基準	
<b>エンクロージャ</b>				
IEC 61000-4-8	50, 60 Hz	3 A/m	30 A/m	A
IEC 61000-4-3	80–1000 MHz	3 V/m	10 V/m	A
	1.4–6.0 GHz	3 V/m	3 V/m	A
IEC 61000-4-2	接触放電	±4 kV	±4 kV	B
	気中放電	±8 kV	±8 kV	B
<b>信号/制御ポート</b>				
IEC 61000-4-6	0.15–80 MHz	3 V	10 V	A
IEC 61000-4-5	ライン–接地	±1 kV	±1 kV	B
IEC 61000-4-4		±0.5 kV	±1 kV	B
<b>入出力 DC 電源ポート</b>				
IEC 61000-4-6	0.15–80 MHz	3 V	10 V	A
IEC 61000-4-5	ライン–接地	±1 kV	±1 kV	B
	ライン–ライン	±0.5 kV	±0.5 kV	B
IEC 61000-4-4		±0.5 kV	±1 kV	B
<b>入出力 AC 電源ポート</b>				
IEC 61000-4-6	0.15–80 MHz	3 V	10 V	A
IEC 61000-4-11		0 % 0.5 周期	—	B
		0 % 1 周期	0 % 1 周期	B
		—	40 % 10/12 周期	C
		70 % 25/30 周期	70 % 25/30 周期	C
		0 % 250/300 周期	0 % 250/300 周期	C
IEC 61000-4-5	ライン–接地	±2 kV	±2 kV	B
	ライン–ライン	±1 kV	±1 kV	B
IEC 61000-4-4		±1 kV	±2 kV	B

表 1: 試験レベルの規定の例: IEC 61000-6-1、及び IEC 61000-6-2

## 11.2 その他

- [1] CISPR 35 の概要, 株式会社 e・オートマ, 2018  
<http://www.emc-ohatama.jp/emc/reference.html>
- [2] IEC 60601-1-2:2014 (ed. 4) の概要, 株式会社 e・オートマ, 2017–2018  
<http://www.emc-ohatama.jp/emc/reference.html>
- [3] 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・オートマ, 2014–2016  
<http://www.emc-ohatama.jp/emc/reference.html>
- [4] ESD 試験規格 ISO 10605 ed. 2 の概要, 株式会社 e・オートマ, 2014–2016  
<http://www.emc-ohatama.jp/emc/reference.html>

© 2018 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。