

# IEC 61000-4-4 の概要 — EFT/B (電氣的ファスト・トランジェント/バースト) 試験の方法

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2024 年 8 月 8 日

## 目次

1	概要	1
1.1	背景	1
2	試験機器	2
2.1	試験発生器	2
2.2	CDN	2
2.3	容量性結合クランプ	3
3	校正	4
3.1	試験発生器の校正	4
3.2	CDN の校正	4
3.3	容量性結合クランプの校正	5
3.4	使用機器	6
3.4.1	オシロスコープ	6
3.4.2	校正用負荷	6
3.5	不確かさ	6
4	試験	6
4.1	試験機器の確認	6
4.2	試験条件	6
4.3	妨害の結合の方法	10
4.3.1	電源ポート	10
4.3.2	信号/制御ポート	11
4.3.3	接地端子	11
5	参考資料	11

## 1 概要

IEC 61000-4-4 は接点による電力の開閉によって生じるような過渡妨害に対するイミュニティの評価のための試験法を定めた規格の 1 つで、電子機器の評価のために広く用いられている。

本稿では、この規格の本稿の執筆の時点での最新版である IEC 61000-4-4:2012<sup>[1]</sup> について解説する。なお、本稿は規格の内容全てをカバーするものではなく、また正確であるとも限らないので、規格についての正確な情報は規格そのもの<sup>[1]</sup>を参照していただきたい。

### 1.1 背景

スイッチ、リレー、コンタクタなどの接点で電力を遮断する際、次のような現象に伴って「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を発生することがある (図 1):<sup>[3]</sup>

1. 接点が開き、その箇所では電流が遮断される;
2. 電流の経路のインダクタンスを流れる電流はそのまま流れ続け、これは接点間電圧を上昇させる;
3. 接点間電圧が放電開始電圧に達すると接点間で放電を生じる;
4. これは接点間電圧を急激に低下させ、それに伴って放電は速やかに停止する;
5. 再び接点間電圧の上昇が始まる;
6. 接点間電圧が再び放電開始電圧に達すると放電を生じるが、接点のギャップが広がっていることから放電開始電圧は先よりも高くなる;

7. このサイクルは、接点のギャップが大きくなり、あるいはインダクタンスに蓄えられていたエネルギーが消散し、接点間電圧が放電開始電圧に達さなくなるまで繰り返される。

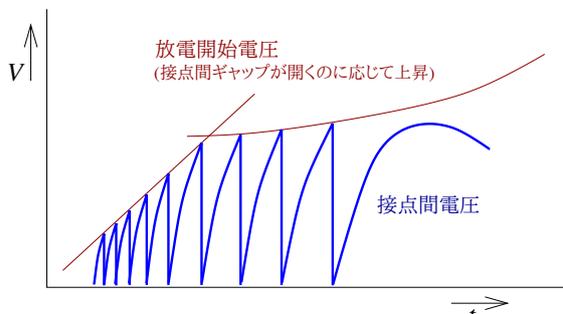


図 1: シャワリング・アークの発生のイメージ

これは、接点間に放電を生じた時の激しい事象<sup>†1</sup>に伴い、立ち上がりが早く (典型的には 10 ns 程度以下) 振幅の大きい (低圧では典型的には kV のオーダーの) パルスのバーストを発生し、これがその電源線を介して他の機器に伝播して悪影響を与えることがある。

また、発生するパルスの立ち上がりが早く、振幅が大きいことから、それが近接した他の線 (それ自身ではこの現象を発生しない、通信/信号線などを含む) に強く結合し、それが悪影響を与えることもある。

この規格で述べられている EFT/B (electrical fast transient/burst; 電氣的ファスト・トランジェント/バースト) 試験<sup>†2</sup>はこのような現象の模擬を意図したものである。

上で述べたような発生機序からするとパルスの振幅や周期がバースト内で変化することが予想されるが、この規格では単純化された一定振幅、一定周期のパルスのバースト (図 3) が用いられる。

## 2 試験機器

### 2.1 試験発生器

この規格での試験で使用する試験発生器は、1000 Ω 負荷、及び 50 Ω 負荷で終端した状態

<sup>†1</sup> 図 1 の波形の立ち下がりに相当する。

<sup>†2</sup> EFT、FT/B などと呼ばれることもあり、特に口頭では単に「バースト」などと呼ばれることもある。



図 2: 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)

で図 3 と表 1 に示すような妨害を発生するものである。

試験発生器の設定電圧は開放回路でのピーク電圧で表現されているが、出力インピーダンスは 50 Ω で、表 1 に示すように 50 Ω 負荷時の出力電圧の基準値は設定電圧の 0.5 倍、1000 Ω 負荷時の出力電圧の基準値は設定電圧の 0.9524 倍<sup>†3</sup> となる。

パルスの繰り返し周波数は IEC 61000-4-4:1995 では 5 kHz (4 kV では 2.5 kHz) が用いられていたが、IEC 61000-4-4:2004 や IEC 61000-4-4:2012 では 5 kHz と 100 kHz からの選択<sup>†4</sup> 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。

試験発生器で発生させられた妨害は、CDN (§2.2) か容量性結合クランプ (§2.3) のような結合デバイスを用いて、あるいはコンデンサを用いて、試験対象のポートに印加される。

### 2.2 CDN

交流や直流の電源線への妨害の印加には、その原理を図 4 に示すような、CDN (coupling/decoupling network; 結合/減結合回路網) が用いられる。

CDN は減結合部と結合部を含み、その妨害の電源入力側への伝播を阻止しながら、試験発生器 (§2.1) で発生させた妨害を EUT への電源線に注入することができる。

図 4 では妨害をどのラインに注入するかを設定するスイッチも示しているが、この規格では妨害は常

<sup>†3</sup>  $1000 \Omega / (50 \Omega + 1000 \Omega) \approx 0.9524$

<sup>†4</sup> 一般/製品群/製品規格でいずれか特定の繰り返し周波数 (例えば 5 kHz) が指定されている場合も、いずれかを任意に選択するようになっている場合もある。例えば CISPR 35:2016 では xDSL ポートについては 100 kHz、その他のポートについては 5 kHz と指定されている。なお、旧版での 5 kHz (2.5 kHz) の繰り返し周波数の採用はおそらくは試験器側の技術的な制限に対する妥協で、100 kHz の方が実際の現象を良く模擬できると考えられる。

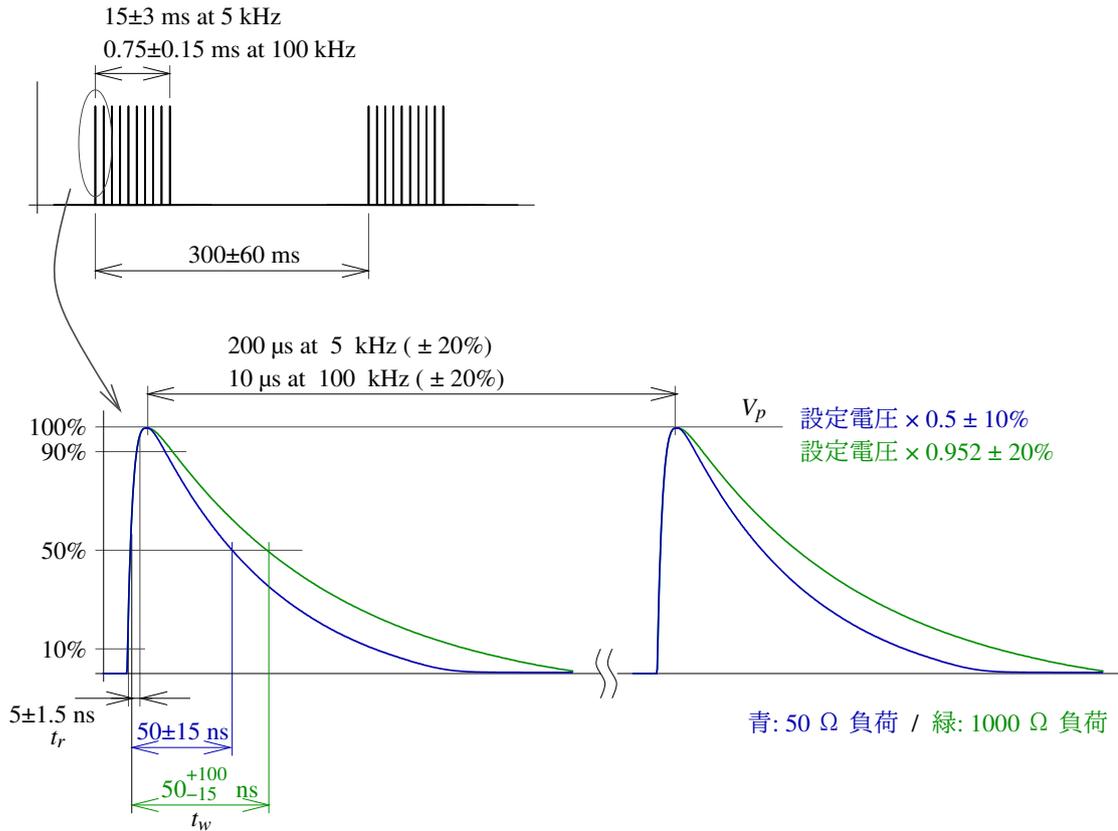


図 3: EFT/B 試験波形

設定電圧 (kV)	1000 Ω 負荷			50 Ω 負荷			繰り返し周波数 (kHz)
	$V_p$ (kV) ±20 %	$t_r$ (ns)	$t_w$ (ns)	$V_p$ (kV) ±10 %	$t_r$ (ns)	$t_w$ (ns)	
0.25	0.24			0.125			5 or 100
0.5	0.48			0.25			
1	0.95	$5 \pm 1.5$	$50^{+100}_{-15}$	0.5	$5 \pm 1.5$	$50 \pm 15$	
2	1.9			1			
4	3.8			2			

表 1: パルスのパラメータ

にコモン・モードで (そのポートの全てのラインに一括で) 注入される。<sup>†5</sup>このため、CDN によってはこのスイッチなしで全てのラインが接続された形となっているかも知れない。

## 2.3 容量性結合クランプ

CDN を使用できない信号線などへの印加には容量性結合クランプ (図 5) が用いられる。

<sup>†5</sup> IEC 61000-4-4:1995 ではそれぞれのラインに注入されるようになっていた。

容量性結合クランプは図 5 のような構造のもので、その主要部は長さ 1000 mm の結合板 2 枚 (固定された下部結合板と、それと蝶番で接続された上部結合板) から成り、両端には試験発生器との接続のための高圧同軸コネクタが設けられて同軸コネクタの中心導体は結合板に、外部導体はクランプの下面の接地板に接続されている。

試験では、容量性結合クランプをグランド・プレーン上に直接置いてクランプの下面の接地板を接地し、試験対象のケーブルを結合板 2 枚のあいだに挟む。この状態で容量性結合クランプの同軸コネクタから

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	特殊	特殊

表 2: 試験レベル

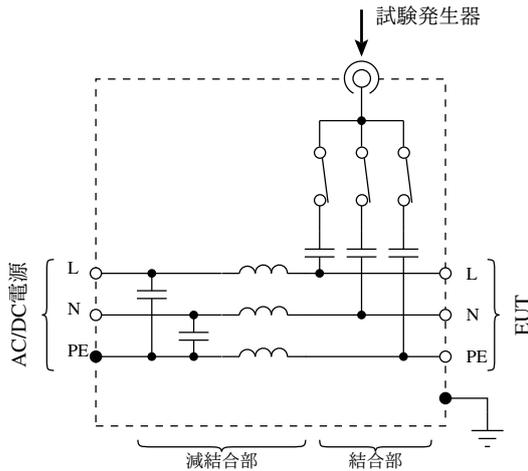


図 4: IEC 61000-4-4 用 CDN の原理 (单相電源用)

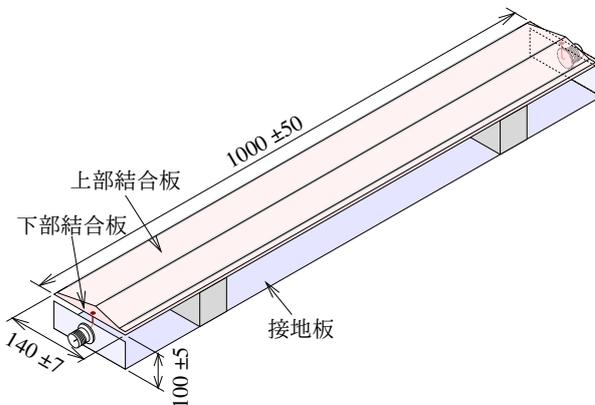


図 5: 容量性結合クランプ

試験発生器 (§2.1) で発生させた妨害を注入することで、結合板とケーブルとのあいだの容量性結合を介して、試験対象のケーブルとグランド・プレーンのあいだに妨害を誘起させることができる。

### 3 校正

#### 3.1 試験発生器の校正

試験発生器の同軸出力における電圧波形を  $50 \Omega$  や  $1000 \Omega$  の校正用負荷 (§3.4.2) を通してオシロスコープ (§3.4.1) で観測し、以下のパラメータが規格で規定された許容範囲 (図3, 表1) に入るかどうかを確認する:

- それぞれの設定電圧、また  $50 \Omega$  負荷と  $1000 \Omega$  負荷のそれぞれにおける、
  - ピーク電圧 ( $V_p$ )
  - 立ち上がり時間 ( $t_r$ )
  - パルス幅 ( $t_w$ )
- いずれかの設定電圧における、
  - バースト内のパルス繰り返し周波数
  - バースト持続時間
  - バースト周期

#### 3.2 CDN の校正

CDN の校正は、CDN を試験発生器と組み合わせ、CDN をコモン・モード結合 (全ラインへの印加) の状態として試験発生器で  $4 \text{ kV}$  の妨害を発生させて次のように行なう:

- 出力波形のパラメータの検証
 

それぞれの出力端子と基準グランドとのあいだの電圧波形を  $50 \Omega$  の校正用負荷 (§3.4.2) を通してオシロスコープ (§3.4.1) で観測し、以下のパラメータが許容範囲に入るかどうかを確認する (図6):

  - 立ち上がり時間:  $(5.5 \pm 1.5) \text{ ns}$
  - パルス幅:  $(45 \pm 15) \text{ ns}$
  - ピーク電圧:  $(2 \pm 0.2) \text{ kV}$

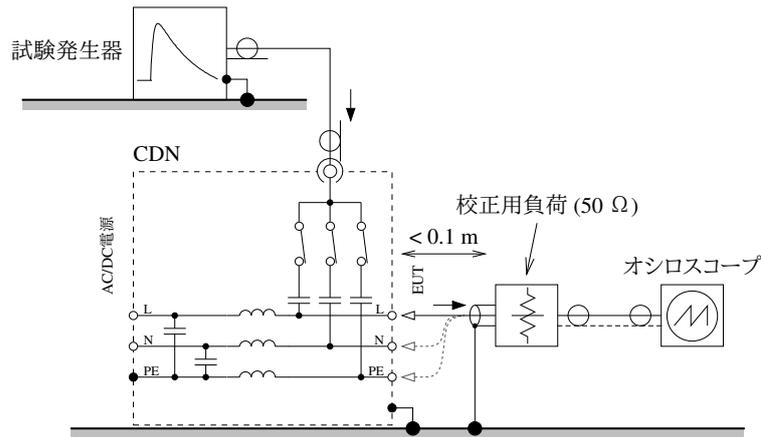


図 6: CDN の校正 — 出力波形の観測

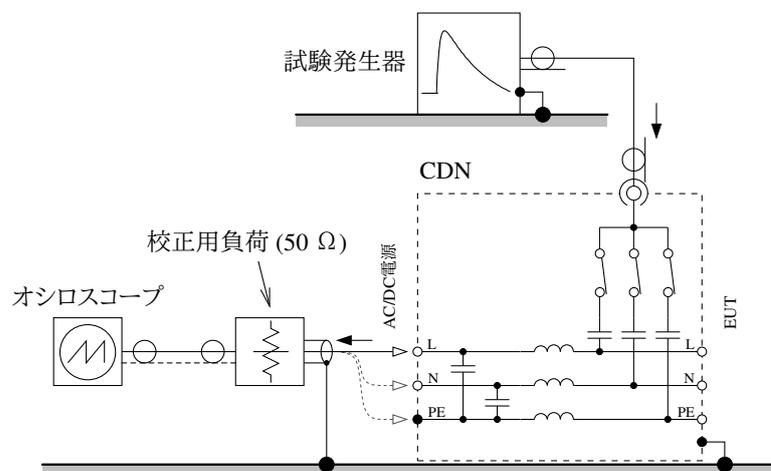


図 7: CDN の校正 — 残留電圧の観測

- 電源入力側への漏洩の確認

それぞれの電源入力端子と基準グラウンドとのあいだに現れる残留電圧 (印加された妨害の電源入力側への漏洩) を  $50 \Omega$  の校正用負荷 (§3.4.2) を通してオシロスコープ (§3.4.1) で観測し、ピーク電圧が  $400 \text{ V}$  を超えないことを確認する (図6)。

この測定に際して、CDN は試験での使用の際と同様にグラウンド・プレーン上に置いて接地し、校正用負荷の入力も低インピーダンスでグラウンド・プレーンに接地する。

### 3.3 容量性結合クランプの校正

容量性結合クランプの校正は下記のように行なう (図8):

- 容量性結合クランプを試験時と同様にグラウンド・プレーン上に置いて接地する;
- トランスジューサ・プレートを結合板のあいだになるべく密着するように挟む。  
トランスジューサ・プレートは、大きさ  $(120 \pm 1) \text{ mm} \times (1050 \pm 5) \text{ mm}$ 、厚さ  $0.5 \text{ mm}$  以下の金属板の片側に波形の観測を可能とするための長さ  $30 \text{ mm}$  以下の低インピーダンスの接続部を設け、厚さ  $0.5 \text{ mm}$  の絶縁材で少なくとも  $2.5 \text{ kV}$  に耐えるように絶縁したものである。
- トランスジューサ・プレートの片端の接続部にそれらのあいだの接続と低インピーダンスでの接地とを可能とする接続アダプタを介して  $50 \Omega$  の校正用負荷 (§3.4.2) を接続する;
- 校正用負荷の出力を同軸ケーブルでオシロス

コープ (§3.4.1) に接続し、電圧波形を観測できるようにする;

- 容量性結合クランプの前項と反対側の端の同軸コネクタを同軸ケーブルで試験発生器に接続する;
- 試験発生器で 2 kV の妨害を発生させた時にトランスジューサ・プレートに結合した電圧波形を観測し、そのパラメータが以下の許容範囲に入るかどうかを確認する:

- 立ち上がり時間:  $(5 \pm 1.5)$  ns
- パルス幅:  $(50 \pm 15)$  ns
- ピーク電圧:  $(1000 \pm 200)$  V

### 3.4 使用機器

校正では以下の機器を用いる。

#### 3.4.1 オシロスコープ

- -3 dB 帯域幅: 400 MHz 以上

#### 3.4.2 校正用負荷

以下の条件を満たす校正用負荷 (アッテネータ) を用いる:

- 負荷インピーダンス (入力インピーダンス):
  - 50  $\Omega$  負荷:  $(50 \pm 1)$   $\Omega$
  - 1000  $\Omega$  負荷: DC で、 $(1000 \pm 20)$   $\Omega$
- 挿入損失の許容差:
  - $\leq 100$  MHz:  $\pm 1$  dB
  - 100~400 MHz:  $\pm 3$  dB

50  $\Omega$  負荷は 50  $\Omega$  / 50  $\Omega$  のアッテネータ、1000  $\Omega$  負荷は 1000  $\Omega$  / 50  $\Omega$  の分圧器であるが、通常、入力コネクタとして試験発生器に合わせた高圧同軸コネクタが用いられた、また少なくとも 4 kV のバーストに耐える、この用途のために供給されているものが用いられるであろう。

### 3.5 不確かさ

測定はトレーサブルなものであるべきで、またその不確かさは推定されているべきであるが、一般にこの規格への適合性の判断では不確かさを考慮する必要はない。

## 4 試験

### 4.1 試験機器の確認

少なくとも以下のことを確認する:

- CDN の出力端子に EFT/B 信号が出ること;
- 容量性結合クランプに EFT/B 信号が出ること (反対側の同軸コネクタで確認できる)。

実際の管理基準は試験所が決定できる。

### 4.2 試験条件

- 試験は、厚さ 0.25 mm 以上の銅板やアルミニウム板、あるいは厚さ 0.65 mm 以上のその他の金属板によるグラウンド・プレーン (ground reference plane; 接地基準面) の上で行なう。

グラウンド・プレーンの大きさは少なくとも 0.8 m  $\times$  1 m で、試験セットアップ全体に応じた大きさ (EUT や容量性結合クランプの外側に全方向で 0.1 m 以上広がる) のものとし、安全のために保護接地に接続する。

グラウンド・プレーンは、テーブルの上に置かれたものであっても、シールド・ルームの床そのものであっても良い。

- EUT の配置、接続、接地は設置指示に従って行なう。

但し、少なくとも電源ポートへの印加に際しては電源ポートに含まれる接地線は CDN によって高周波的には切り離された形となるだろう。

追加の接地接続は許容されない。

- EUT はグラウンド・プレーン上に他の導電性の構造物 (試験発生器や注入デバイス、補助機器、シールド・ルームの壁などを含む) から 0.5 m 以上離して次のように置く。

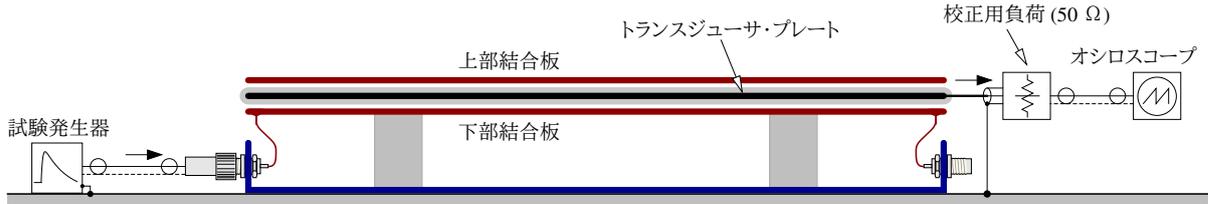


図 8: 容量性結合クランプの校正

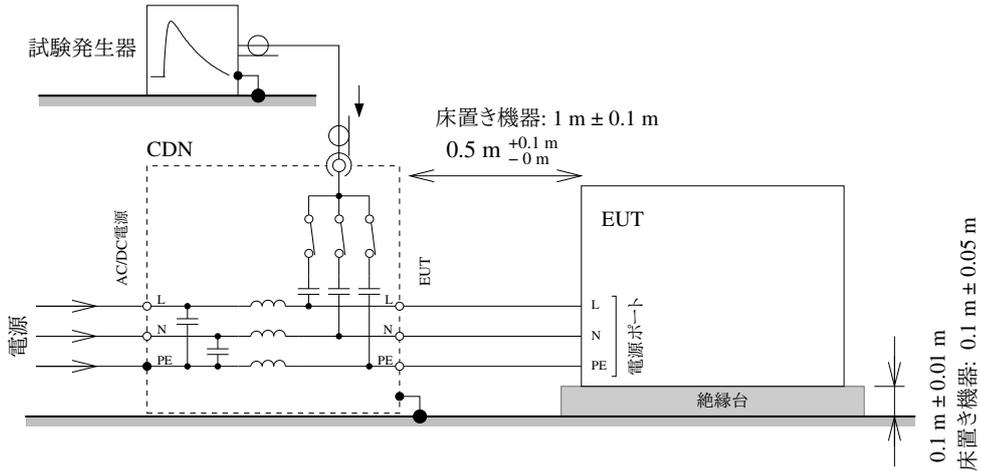
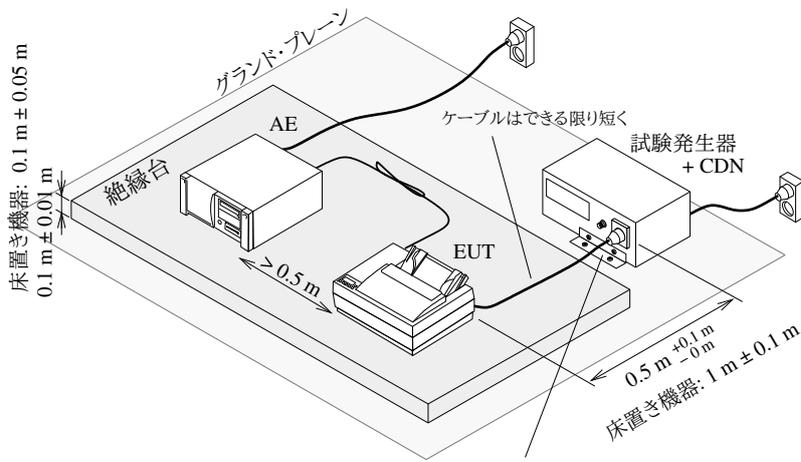


図 9: CDN での印加



試験発生器や注入デバイスはグラウンド・プレーン上に置いて最短で接続する

図 10: 試験セットアップの例 — CDN での印加

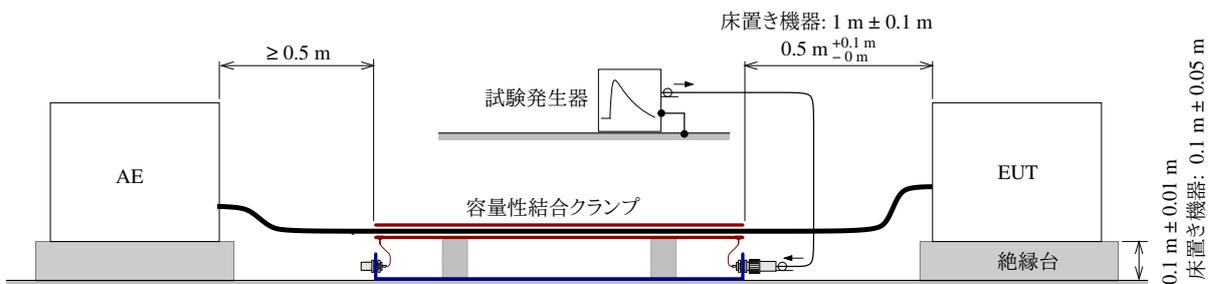


図 11: 容量性結合クランプでの印加

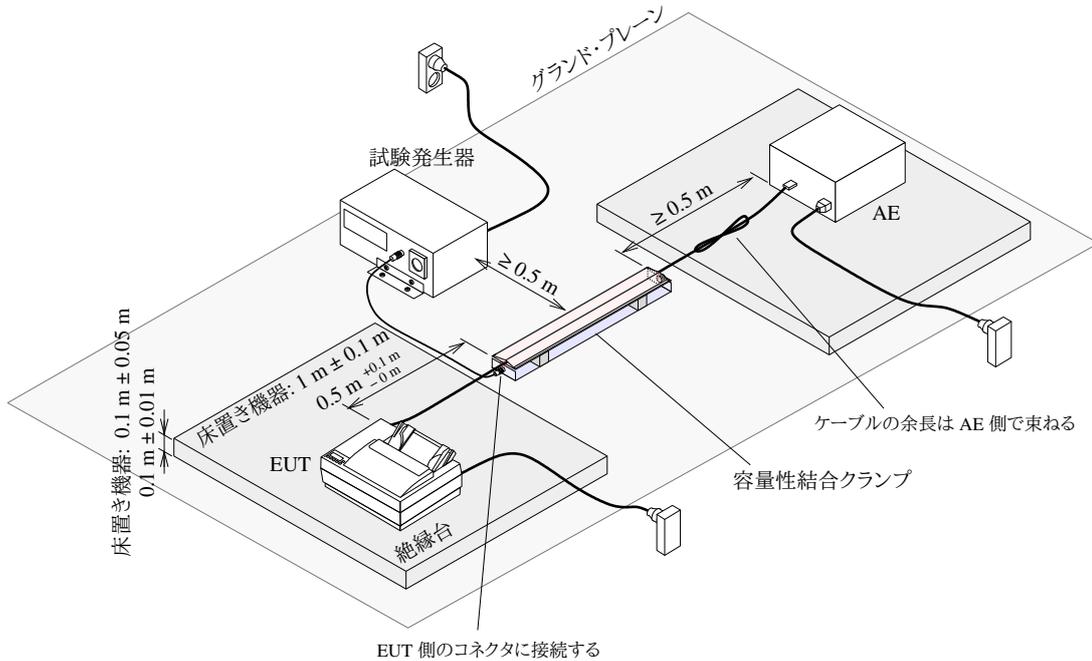


図 12: 試験セットアップの例 — 容量性結合クランプでの印加

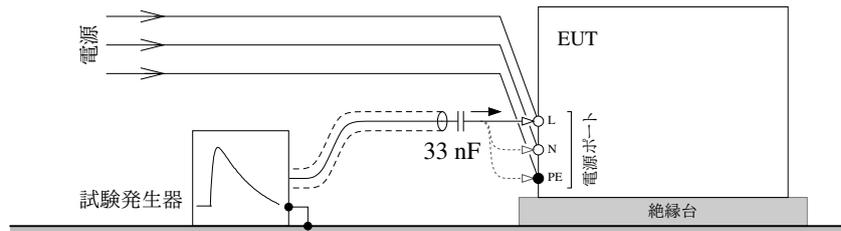


図 13: コンデンサを用いた直接注入

- 床置き機器 —
  - \* 高さ:  $(0.1 \pm 0.05)$  m
  - \* 結合デバイスとの距離:  $(1 \pm 0.1)$  m
- 卓上、天井/壁面取り付け、組み込み用の機器 —
  - \* 高さ:  $(0.1 \pm 0.01)$  m
  - \* 結合デバイスとの距離:  $0.5^{+0.1}_{-0}$  m

結合デバイスとのあいだの距離を上記のようにすることが物理的に不可能な場合は他の距離としても良いが、試験報告書に明記する。

- EUT と注入デバイスのあいだのケーブルの長さは可能な限り短くする。

製造業者が EUT と CDN のあいだに用いるべきケーブルとしてより長いものを用意している (例えばより長いプラグ付きの電源コードが機器に取り付けられている) 場合、ケーブルの余

長は束ねてグラウンド・プレーンから 0.1 m の高さに置く。

注入デバイスとして容量性結合クランプを用いる場合、ケーブルの余長はクランプの EUT 側ではなく補助機器 (AE) 側で束ねる。

- EUT の部分間が 3 m よりも短いケーブルで接続される場合、互いに 0.5 m 離し、絶縁台上に配置する。ケーブルの余長は束ねる。
- EUT の全てのケーブルはグラウンド・プレーンの上の 0.1 m の絶縁台の上に置く。試験中のケーブルからの結合を最小限とするため、他のケーブルは試験中のケーブルからできる限り離す。
- 床置き型の EUT の高い位置から出るケーブル (例えばラックの上面から出るケーブルのような) への印加は、試験発生器や結合デバイスをグラ

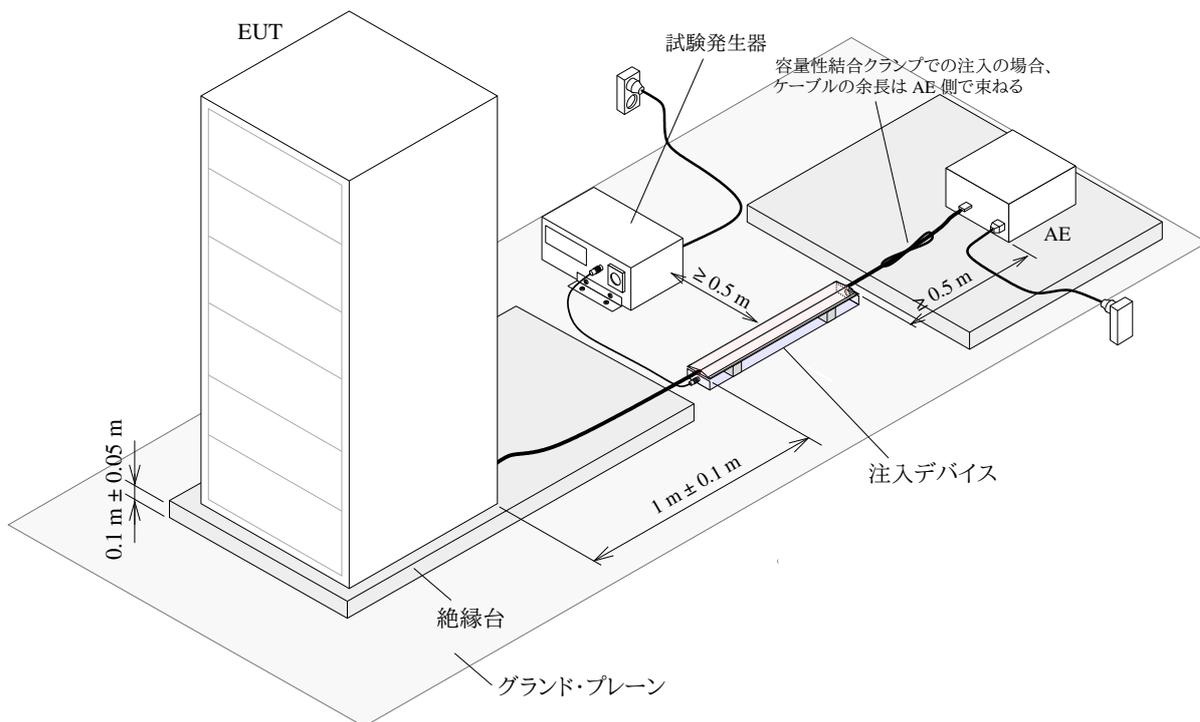


図 14: 試験セットアップの例 — 床置き機器の試験

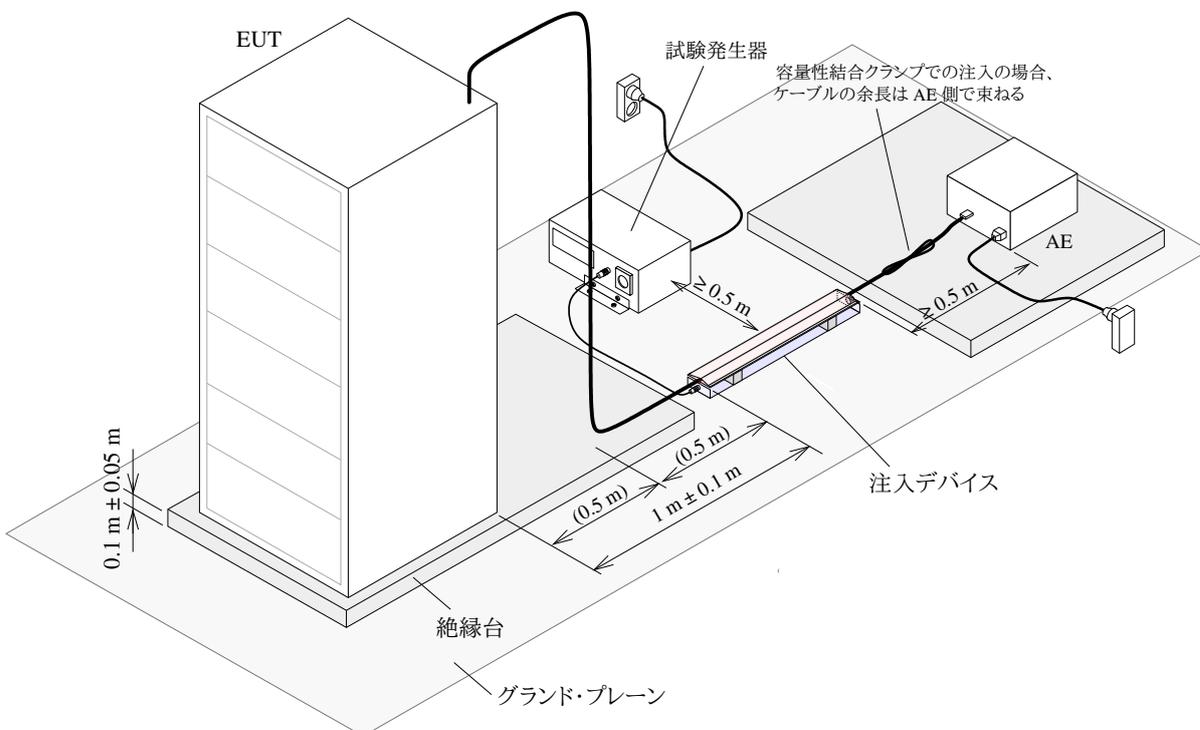


図 15: 試験セットアップの例 — 床置き機器の高い位置から出るケーブルの試験

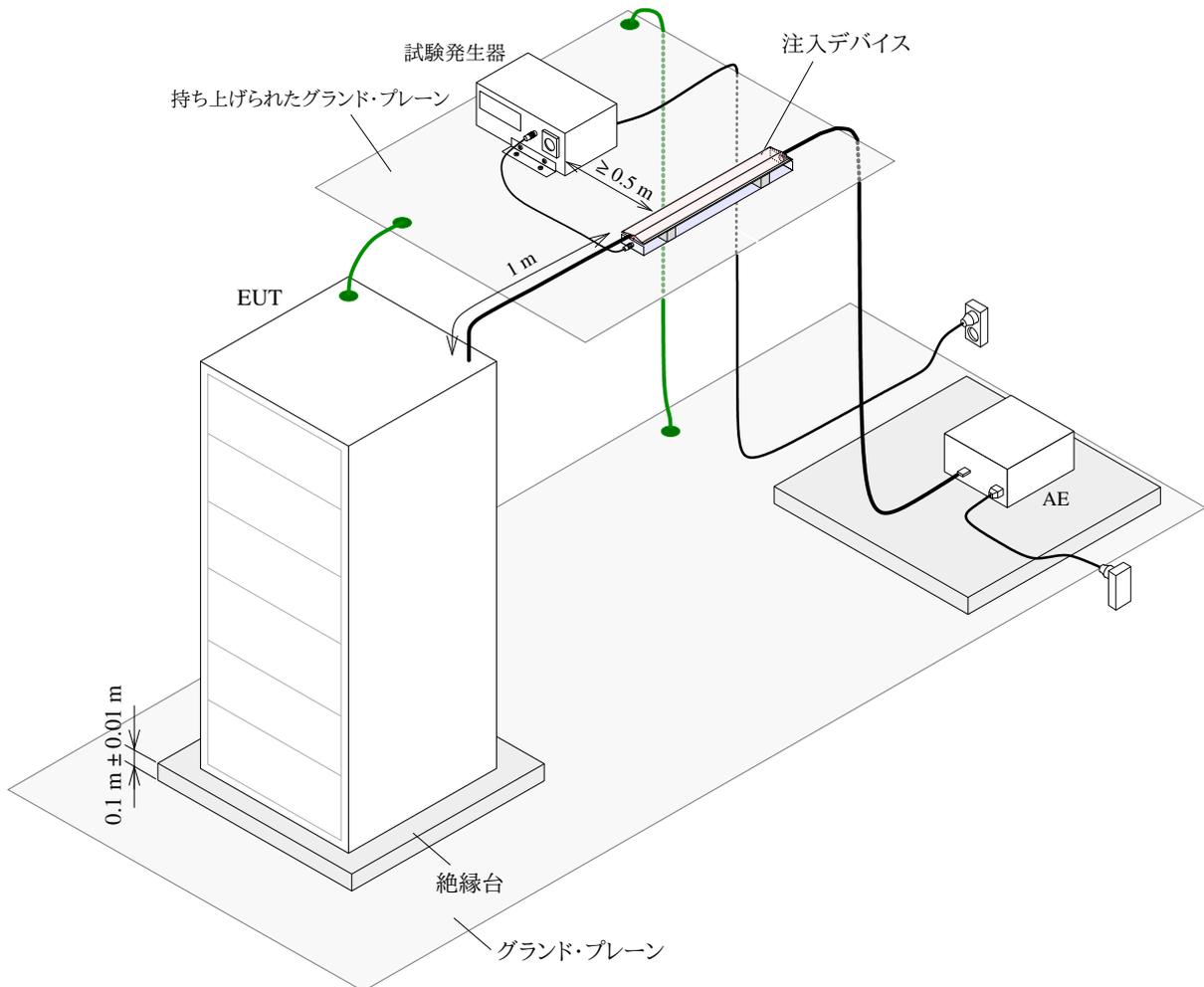


図 16: 〈参考〉 IEC 61000-4-4:2004 の試験セットアップの例 — 床置き機器の高い位置から出るケーブルの試験 (IEC 61000-4-4:2012 では用いられない)

ンド・プレーン上 (例えば床面) に置き、ケーブルを EUT から 0.5 m 離れた位置でグラウンド・プレーンの近くまで引き下ろし、そこから 0.5 m (EUT から 1 m) 離れた位置の結合デバイスに接続して行なう (図 15)。†6

- 試験発生器や結合デバイス (CDN、容量性結合クランプ) はグラウンド・プレーン上に直接置き、低インピーダンスで接地する。

結合クランプを用いる際、クランプや EUT の下のグラウンド・プレーン以外の全ての導電性の面 (試験発生器を含む) と結合板とのあいだの距離は少なくとも 0.5 m とする。

†6 IEC 61000-4-4:2004 で見られる持ち上げられたグラウンド・プレーンを用いた試験 (図 16) は廃止された。[2] では、容量性結合クランプでの試験に関して、EUT に注入される妨害のピーク電流や立ち上がりにこれらのセットアップで顕著な差がないことが示されている。

- 補助機器や電源網の保護のためには減結合回路網やコモン・モード吸収デバイスを用いる。

## 4.3 妨害の結合の方法

### 4.3.1 電源ポート

電源ポートへの印加には通常は CDN (結合/減結合回路網) を使い、コモン・モードで、すなわちそのポートの全てのライン (接地線があればそれを含む) に一括で印加する (図 9, 図 10)。

適切な CDN がない場合、代わりに以下の方法を用いる:

- (33±6.6) nF のコンデンサを用いた直接注入で;
- 直接注入が実際的でないならば、容量性結合クランプで。

#### 4.3.2 信号/制御ポート

信号/制御ポートへの印加には容量性結合クランプを用いる (図 11, 図 12)。

印加対象のケーブルは容量性結合クランプの中央に通して結合を最大化するために上部結合板をしっかり閉じ、容量性結合クランプの EUT 側の同軸コネクタを試験発生器の出力に接続する。そのケーブルの反対側に接続された補助機器は適切に減結合しても良い。

容量性結合クランプは他の導電性の構造物 (試験発生器、EUT や補助機器、シールド・ルームの壁などを含む) から 0.5 m 以上離し、グラウンド・プレーン (容量性結合クランプの外側に全方向で 0.1 m 以上広がること) に直接置いて接地する。

#### 4.3.3 接地端子

接地端子への印加が電源ポートとは別に必要となる場合、CDN を用いて、あるいはそれが適切でない場合は  $(33 \pm 6.6)$  nF のコンデンサを通して印加する。

## 5 参考資料

- [1] IEC 61000-4-4:2012, *Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-4: Testing and measurement techniques — Electrical fast transient/burst immunity test*
- [2] *Investigation of EFT Test Setup for Rack Mounted Equipment by Numerical Simulations*, Spartaco Caniggia and Francesca Maradei, IEEE, 2012, DOI: [APEMC.2012.6237894](https://doi.org/10.1109/APEMC.2012.6237894)
- [3] *Electrical Contacts: Principles and Applications (Second Edition)*, Paul G. Slade, 2017, ISBN: 1138077100