

# IEC 61000-4-2 の概要 — ESD (静電気放電) 試験の方法

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2024 年 7 月 30 日

## 目次

1	概要	1
1.1	背景	1
2	ESD 発生器	2
2.1	ESD 発生器の原理	2
2.2	ESD 発生器の校正	3
2.2.1	電流ターゲット	3
2.2.2	オシロスコープ	4
2.2.3	高圧電圧計	4
3	試験セットアップ	4
3.1	一般	4
3.2	卓上機器	4
3.3	床置き機器	5
3.4	設置後試験	5
4	試験	5
4.1	直接放電試験と間接放電試験	5
4.1.1	直接放電試験	5
4.1.1.1	直接放電の印加箇所の選択	5
4.1.1.2	直接放電試験を除外できる箇所	6
4.1.2	間接放電試験	7
4.1.2.1	HCP (水平結合板) への印加	8
4.1.2.2	VCP (垂直結合板) への印加	9
4.2	接触放電と気中放電	9
4.2.1	接触放電	9
4.2.2	気中放電	9
4.2.2.1	環境条件	10
4.3	除電	10
4.4	影響の評価	10
4.4.1	エスカレーション・ストラテジ	11
5	参考資料	11

## 1 概要

IEC 61000-4-2 は人体が導電性の物体に接近した時に発生するような静電気放電 (ESD) 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 61000-4-2:2008<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

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、歩行などによって発生した電荷を人体がコンデンサとして働いて蓄え、体の一部 (通常は手) が他の導電性の部分に触れるか空気が絶縁破壊するまで近付い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。

このような静電気放電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静電気放電 (ESD) の機器への影響の評価のための使用が意図されたもので、その現象を模擬した放電の発生のための ESD 発生器やそれを用いた試験の方法などについて述べられている。

## 2 ESD 発生器

この規格での試験では、ESD 発生器 (ESD シミュレータ、ESD ガンなどとも呼ばれる) を用いて発生させた人体からの ESD を模擬する放電を様々な箇所に印加する。

### 2.1 ESD 発生器の原理

この規格では人体からの静電気放電を模擬する放電を発生させるために、その単純化された原理を図1で示すような、 $C = 150 \text{ pF}$ 、 $R = 330 \Omega$  (典型値) のコンデンサ式の ESD 発生器が用いられる。

放電リターン・ケーブルの長さは  $2 \text{ m} \pm 0.05 \text{ m}$  が標準で、長さが不足する場合は  $3 \text{ m}$  までのものを使用することができるが、放電電流波形の要求 (§2.2) は試験で使用する放電リターン・ケーブルを用いた時に満足しなければならない。

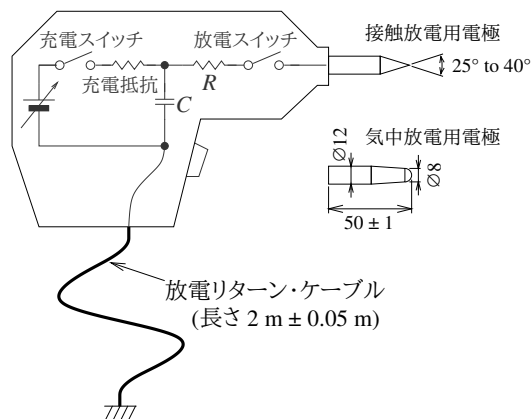


図 1: ESD 発生器の原理



図 2: ESD 発生器の例 (写真は Teseq 社の厚意による)

この ESD 発生器は接触放電モード (§4.2.1) と気中放電モード (§4.2.2) で動作させることができ、接

触放電モードとしたこの ESD 発生器で低インピーダンスのターゲットに放電させた時の接触放電電流波形は、図3のモデルのような、最初に生じる立ち上がりの早い鋭いピークとそれに引き続く立ち上がりが遅く持続時間の長い部分とを含むものとなる。これは鍵や工具などの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おり、ヒューマン・メタル・モデル (HMM) と呼ばれることがある。<sup>†1</sup>

但し、図3の電流波形は理想化されたモデルであり、実際の波形は ESD 発生器によってかなり異なる、また乱れた (多くは激しい振動を伴う) ものとなる。

この規格では放電電流波形は接触放電電流についてのみ規定されており、気中放電モードについては電流波形の規定はない。

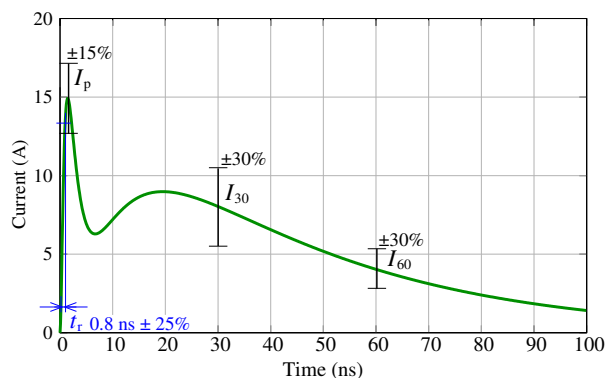


図 3: 4 kV 接触放電電流波形 (モデル)

この ESD 発生器の単純化された原理図は図1のようなもので、 $C$  が人体の静電容量を、 $R$  が人体からの放電のインピーダンスを代表するものとなっている。だが、図3のモデルで示されるような放電電流波形はこの回路では発生せず、その発生には原理図で示されていない寄生成分が大きな役割を果たしている。<sup>[2][3]</sup> 例えば図3で示されている最初の鋭いピークはコンデンサ  $C$  からの放電によるものではなくその先の寄生容量からのもので、その電流は  $R$  による制限も受けていない。2つめのピークはコンデンサ  $C$  からの抵抗  $R$  を介した放電によるものであるが、その波形の立ち上がりは放電電流の経路と直列に生じるインダクタンス (これも図1では明

<sup>†1</sup> 半導体などの電子部品の ESD 耐性の評価では典型的には  $C = 100 \text{ pF}$ 、 $R = 1500 \Omega$  のヒューマン・ボディー・モデル (HBM) がしばしば用いられ、この放電電流波形は IEC 61000-4-2 のものと比較してピークが小さくなるだけでなく、IEC 61000-4-2 の放電電流波形で見られる最初の鋭いピークを持たない。

確には示されていない)の影響で緩やかになることが想定されている。

パラメータ	値
出力電圧 — 接触放電	少なくとも公称 1 kV~8 kV
出力電圧 — 気中放電	少なくとも公称 2 kV~15 kV
出力電圧許容差	±5 %
出力電圧の極性	正、負
保持時間 <sup>†</sup>	≥ 5 s
放電動作モード	単発放電 <sup>‡</sup>
接触放電電流	表 2

<sup>†</sup> 保持時間: 漏洩に伴う試験電圧の低下が 10 % を超えない時間

<sup>‡</sup> 少なくとも毎秒 20 回の繰り返し速度で放電できるべき

表 1: ESD 発生器の基本仕様

## 2.2 ESD 発生器の校正

接触放電モードに設定した ESD 発生器の電極の先端を放電電流観測用の電流ターゲット (§2.2.1) の電極に接触させて放電を行ない、ピーク電流  $I_p$ 、立ち上がり時間  $t_r$ 、立ち上がり (電流がピークの 10 % に達したポイント) から 30 ns 後の電流  $I_{30}$ 、及び立ち上がりから 60 ns 後の電流  $I_{60}$  が要求を満たすことを検証する (図 3, 表 2)。

ESD 発生器の放電リターン・ケーブルは中点を後ろに引き、電流ターゲットから 0.5 m の位置で金属板に接続する (図 4)。

この測定はそれぞれの電圧で、また正負のそれぞれについて 5 回づつ行ない、その全ての測定で要求を満たさなければならない。一般に、この判断で測定の不確かさを考慮する必要はない。

### 2.2.1 電流ターゲット

放電電流の測定は、IEC 61000-4-2 の Annex C で詳細な設計の例が示されている、IEC 61000-4-2 の Annex B で示された以下の要求を満足する電流ターゲットを用いて行なう:

- 直流抵抗: ≤ 2.1 Ω
- 挿入損失の変動:
  - ≤ 1 GHz: ±0.5 dB
  - 1~4 GHz: ±1.2 dB

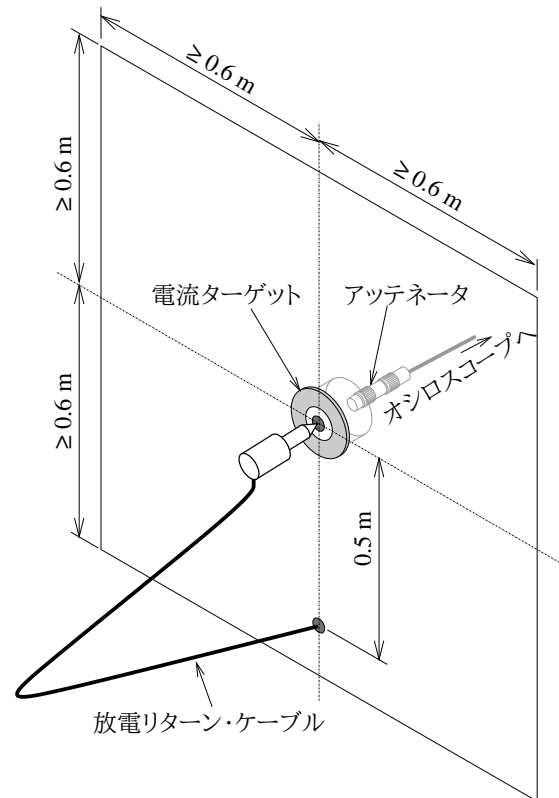


図 4: ESD 発生器の校正 (接触放電電流波形の検証) のセットアップの例

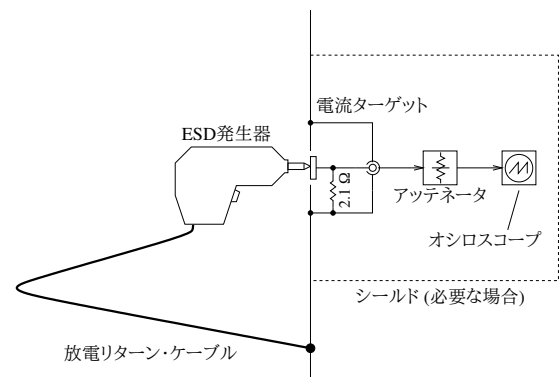


図 5: ESD 発生器の校正 (接触放電電流波形の検証) の原理

この電流ターゲットは全てのエッジから 0.6 m 以上となるように金属板に取り付ける (図 4)。

電流ターゲットの出力側で観測された電圧から放電電流を算出するために必要となる変換インピーダンス  $Z_{sys}$  は、ターゲットに直流か低周波の電流  $I_{sys}$  を注入し、ターゲット (アッテネータとケーブルを含む) の出力側を  $50 \Omega \pm 1 \%$  で終端した状態での出力電圧  $V_{50}$  を測定し、その結果から  $Z_{sys} = V_{50} / I_{sys}$  として算出できる。

レベル	表示電圧 (kV)	放電の最初のピーク電流 $I_p$ (A) ±15 %	立ち上がり時間 $t_r$ $t_r$ (ns) ±25 %	30 ns 後の電流 $I_{30}$ (A) ±30 %	60 ns 後の電流 $I_{60}$ (A) ±30 %
1	2	7.5	0.8	4	2
2	4	15	0.8	8	4
3	6	22.5	0.8	12	6
4	8	30	0.8	16	8

表 2: 接触放電電流波形のパラメータ

電流ターゲットの挿入損失は、ターゲット・アダプタ・ライン (コニカル・アダプタ) と組み合わせて 50 Ω の VNA (ベクタ・ネットワーク・アナライザ) で測定する。このターゲット・アダプタ・ラインは、その例が IEC 61000-4-2 Figure B に示されているような、特性インピーダンス、また 2 つのターゲット・アダプタ・ラインを接続した時の反射減衰量と挿入損失が次の要求を満足するものである:

- 特性インピーダンス ( $\leq 4$  GHz):  $50 \pm 1 \Omega$
- 反射減衰量:
  - $\leq 1$  GHz:  $> 30$  dB
  - $1 \sim 4$  GHz:  $> 20$  dB
- 挿入損失:
  - $\leq 4$  GHz:  $< 0.3$  dB

### 2.2.2 オシロスコープ

電流ターゲットの出力の観測には帯域幅 2 GHz 以上のオシロスコープを用い、アッテネータを介して同軸ケーブルで接続する。サンプリング・レートの規定はないが、ピーク電流、また立ち上がり時間の捕捉のため、サンプリング・レートは少なくとも 20 GS/s 程度とすべきかも知れない。

間接的な結合の影響を防ぐため、オシロスコープはシールドする必要があるかも知れない。

### 2.2.3 高圧電圧計

出力電圧の測定には、少なくとも 15 kV までの電圧を測定できる高入力抵抗の高圧電圧計を用いる。<sup>†2</sup>

電圧計の入力抵抗の影響を避けるため、静電電圧計を用いることが必要となるかも知れない。

<sup>†2</sup> 入力抵抗の最小値は規定されていないが、電圧の測定に悪影響を与えないものであることが必要で、例えば入力抵抗が 100 GΩ 程度以上の電圧計を用いるべきかも知れない。

## 3 試験セットアップ

### 3.1 一般

床面に、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 GRP (ground reference plane; 接地基準面) を設ける。GRP は EUT や HCP よりも全周で 0.5 m 以上大きいものとし、保護接地に接続する。

結合板 (§4.1.2) を用いる場合、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を用い、両端に 470 kΩ の抵抗 (放電電圧に耐えるもの) が付けられた絶縁されたケーブルで GRP に接続する。

ESD 発生器の放電リターン・ケーブルは GRP (それが GRP と電気的に接続されているならば金属の壁でも良い) に接続し、その長さが余る場合、余長は GRP 上にインダクタンスが小さくなるように置く。放電に際して、放電リターン・ケーブルは GRP を除く試験セットアップのどの導電性の部分の 0.2 m にも近付けないように、また手で持たないようにする。

GRP への全ての接続は低インピーダンスで、例えば高周波用のクランプ・デバイスを用いて行なう。

EUT は、脚は全てそのままとし、壁やその他の金属の構造物から 0.8 m 以上離して §3.2 や §3.3 で述べるように配置する。EUT などの接地は設置指示に従って行ない、ケーブルは設置プラクティスを代表するように配置する。

### 3.2 卓上機器

GRP 上に高さ (0.8 ± 0.08) m の非導電性のテーブルを置き、その上に大きさ (1.6 ± 0.02) m × (0.8 ± 0.08) m の HCP (horizontal coupling plane; 水平結合板) を置いて両端に 470 kΩ の抵抗 (放電電圧

に耐えるもの) が付けられたケーブルで GRP に接続する。

EUT とケーブルは HCP の外周から 0.1 m 以上内側に、厚さ (0.5±0.05) mm の絶縁シートで HCP から絶縁して配置する (図 6, 図 7)。

EUT が大きすぎて HCP の外周から 0.1 m よりも内側に収まらない場合、もう 1 つの HCP を (0.3±0.02) m 離して置く。これらの HCP は GRP への抵抗付きケーブルを介して接続される以外に相互に接続しない。

### 3.3 床置き機器

EUT は厚さ 0.05～0.15 m の絶縁台で、EUT ケーブルは (0.5±0.05) mm の絶縁シートで GRP から絶縁して配置する (図 8)。

### 3.4 設置後試験

設置後試験 (イン・サイチュ試験) では、EUT や周辺機器は設置された状態とし、EUT から 0.1 m 程度離れた位置に金属板を敷いてそれを GRP として用いて行なう (図 9)。この金属板の大きさは、可能であれば 0.3 m × 2 m 程度とする。

## 4 試験

### 4.1 直接放電試験と間接放電試験

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 (§4.1.1) と、近傍の他の物体に発生した ESD の影響の模擬が意図された間接放電試験 (§4.1.2) の 2 つの方法が規定されている。

#### 4.1.1 直接放電試験

機器に対して直接 ESD が発生した場合を模擬するもので、機器の選択された様々な場所に放電を印加して試験を行なう。放電の印加は、印加箇所に応じて接触放電 (§4.2.1) か気中放電 (§4.2.2) で行なう。また、放電の後で除電 (§4.3) が必要となることもある。

放電に際して、ESD 発生器の放電電極は印加箇所の面に対してできる限り垂直とする。そのように

できない場合、どのように放電を行なったかを試験報告書に記載する。

放電の印加の間隔は 1 秒以上とすることが推奨され、放電の印加後の EUT の反応の確認や状態の回復などのためにより長い時間が必要であればそれに応じて長くする。逆に、予備試験などではより短い間隔、例えば 20 回/秒やそれよりも早い繰り返しでの放電を行なっても良い。

#### 4.1.1.1 直接放電の印加箇所の選択

通常、機器の実際の使用に際して人が触れることができる箇所のうち、除外が規定されている箇所 (§4.1.1.2) 以外の全ての場所が印加箇所の候補となる。

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、実際に放電を印加して試験する箇所をその中から選択することが必要となる。試験箇所の選択は試験員の判断となるであろうが、その結果に基づいて機器の適合性を判断することになるため、放電を受けた際に好ましくない結果を生じる可能性が高そうな箇所を選択するように務めることが必要となるだろう。<sup>†3</sup>

例えば次のような箇所は特に注意が必要かも知れない:

- キャビネットの他の部分と高周波的に接続されていないかも知れない金属部、例えばパネルや扉全て<sup>†4</sup>
- キーボード、スイッチ、ノブ、ボタンなどの操作部、LED、LCD、メータなどの表示部、またその周囲
- 絶縁性の筐体の開口部や隙間
- コネクタのハウジング (絶縁性の場合には特にハウジングの要素間やケーブルとのあいだの隙間)
- その他のオペレータが触れられる部分

場合によっては、短い放電周期に、また必要であれば高めの試験レベルに設定した ESD 発生器で候

<sup>†3</sup> 試験箇所の選択を、EMC に関する一般的な知見、またその機器の設計の詳細についての知識に基づいて効果的に行なえる場合もあると思われる。だが、それが難しい場合も多いと思われ、そのような場合、それが適切であれば予備試験に基づいて試験箇所を絞ることを除き、網羅的に試験を行なうように考えた方が良いかも知れない。

<sup>†4</sup> そのようなパネルを固定しているねじにのみ放電を印加しているのを見ることがあるが、一般に、それはパネルへの印加の代わりとなりそうにはない。

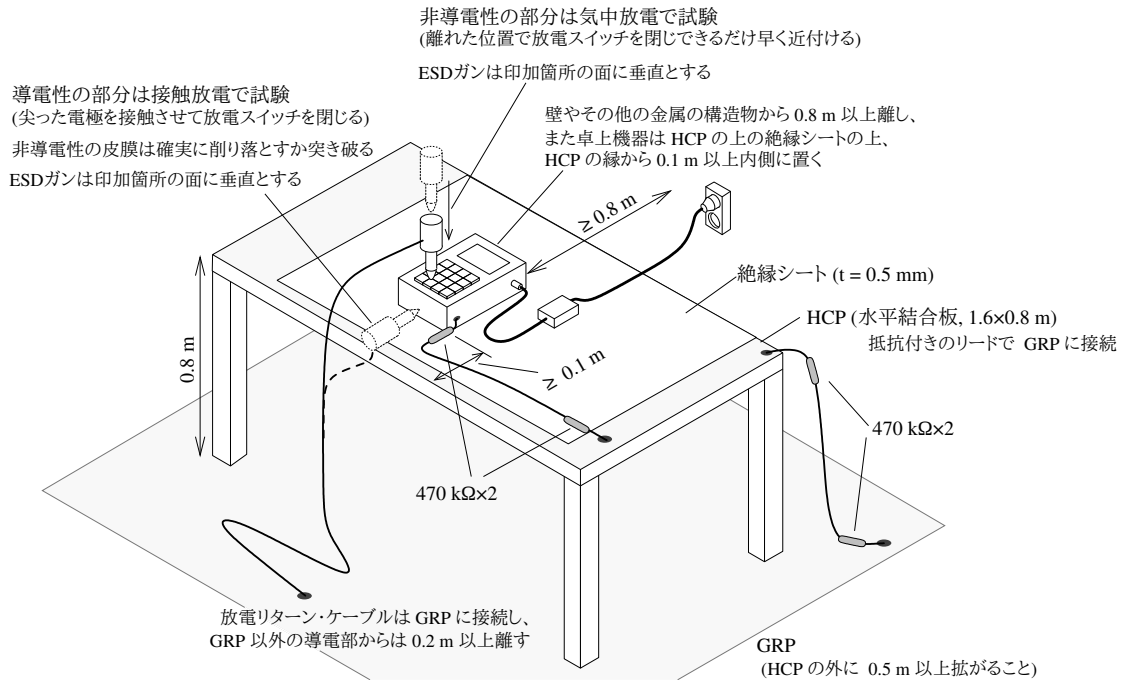


図 6: 卓上機器のセットアップの例 (直接放電)

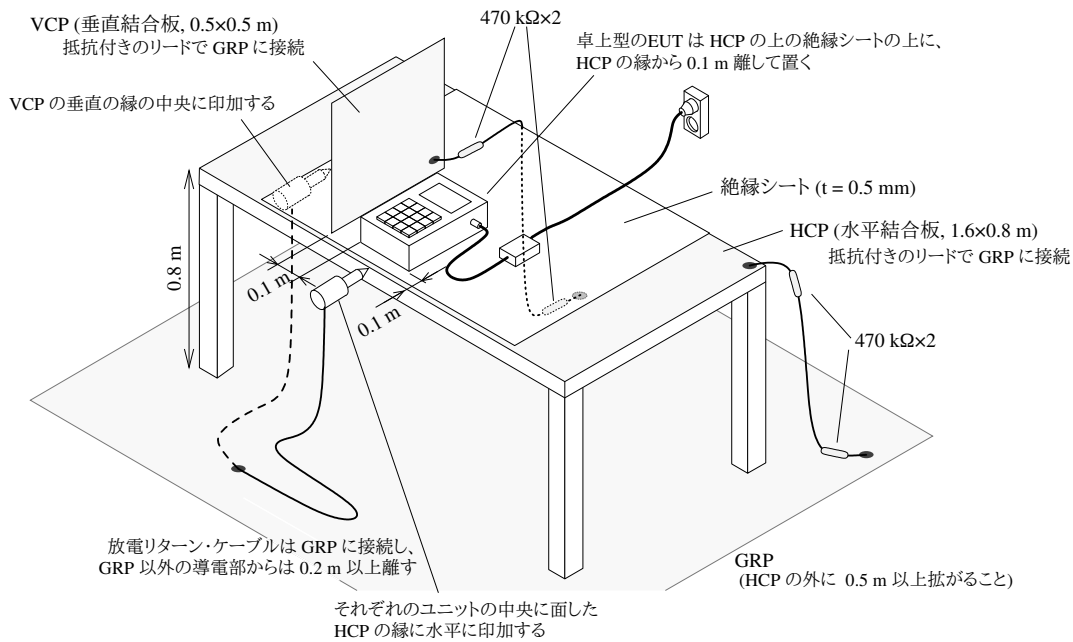


図 7: 卓上機器のセットアップの例 (間接放電)

補となる箇所を掃引して挙動を観察する (気中放電の候補となる範囲については放電しそうな箇所を探すことを含む) ことが印加箇所の選択の助けとなるかも知れない。<sup>†5</sup>

<sup>†5</sup> 勿論、これはあくまでも予備調査であり、これで特定の箇所規定された回数以上の放電を行なった、あるいは放電も観測可能な影響も全く生じなかったとしても、それでその箇所を試験したことになるわけではない。

#### 4.1.1.2 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>†6</sup>が、この規格上は以下の箇所は直

<sup>†6</sup> 例えば、CISPR 35:2016 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。

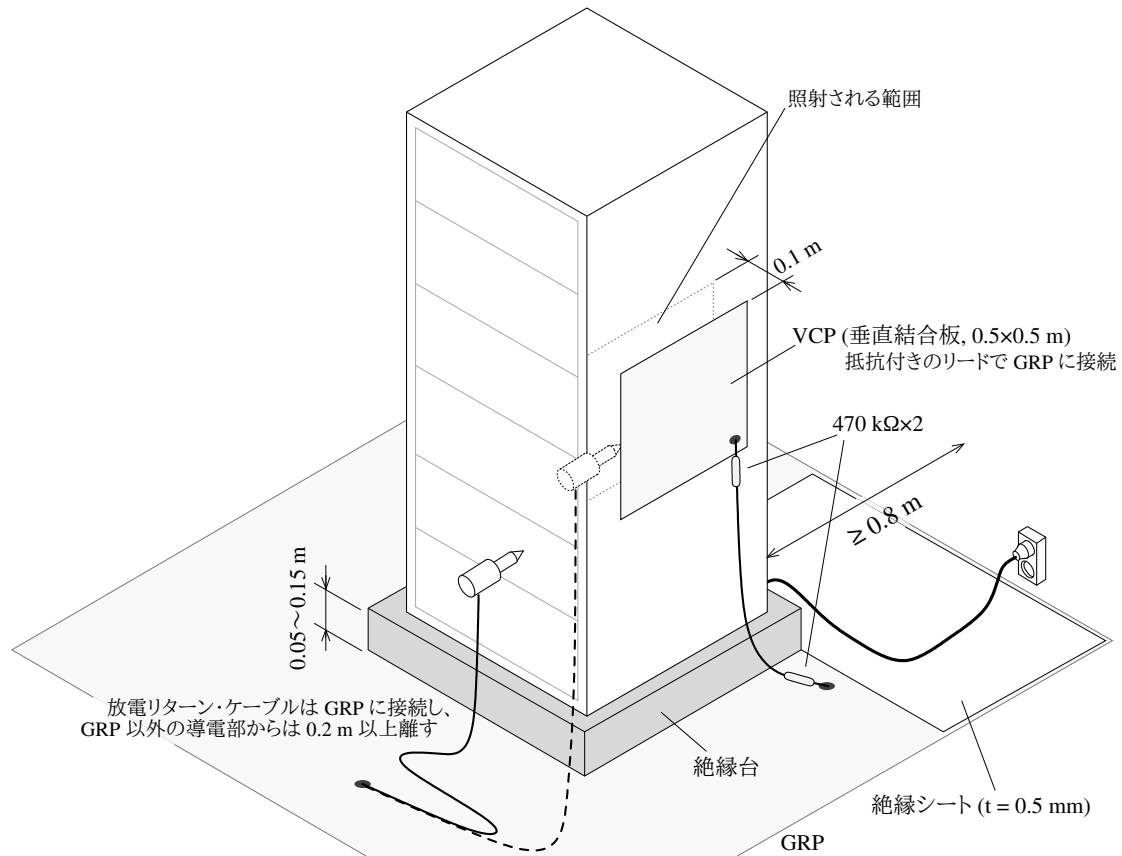


図 8: 床置き機器のセットアップの例

接放電試験の対象から除外することができる。<sup>†7</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

<sup>†7</sup> 規格上は試験を除外できる箇所についても、実際の使用に際して ESD とそれに伴う問題を生じる可能性も考えられる。例えば、直径の大きな丸型コネクタのようにピンに容易に触れることができる(金属のシェルを持つとしても、シェルに触れずにピンに触れることができる)コネクタもあり、そのようなコネクタではピンへの放電の可能性が高くなるかも知れない。また、これは CDE (cable discharge event) と呼ばれる ESD とは別の事象ではあるが、長いケーブルの接続に際してケーブルに蓄えられていた電荷が機器に注入されて機器の損傷や劣化を引き起こすこともある。このため、規格上は試験を除外できるとしても、実際の使用(電源を切った状態での取り扱いを含む)でそれらの箇所への放電を生じる可能性やその影響を(すなわち ESD に関連するリスクを)考慮し、必要に応じてそのような箇所への放電の影響を試験で確認すると良いかも知れない。

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ピン。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。  
シェルが非導電性のコネクタのピンを試験する場合、気中放電のみで試験する。
- 機能上の理由で ESD に敏感な、ESD 警告ラベル(図 10) が付けられたコネクタのピンやその他のアクセス可能な部分。

#### 4.1.2 間接放電試験

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 (horizontal coupling plane; 水平結合板) への印加 (§4.1.2.1)、及び VCP (vertical coupling plane; 垂直結合板) への印加 (§4.1.2.2) の 2 つの方法が用いられる。

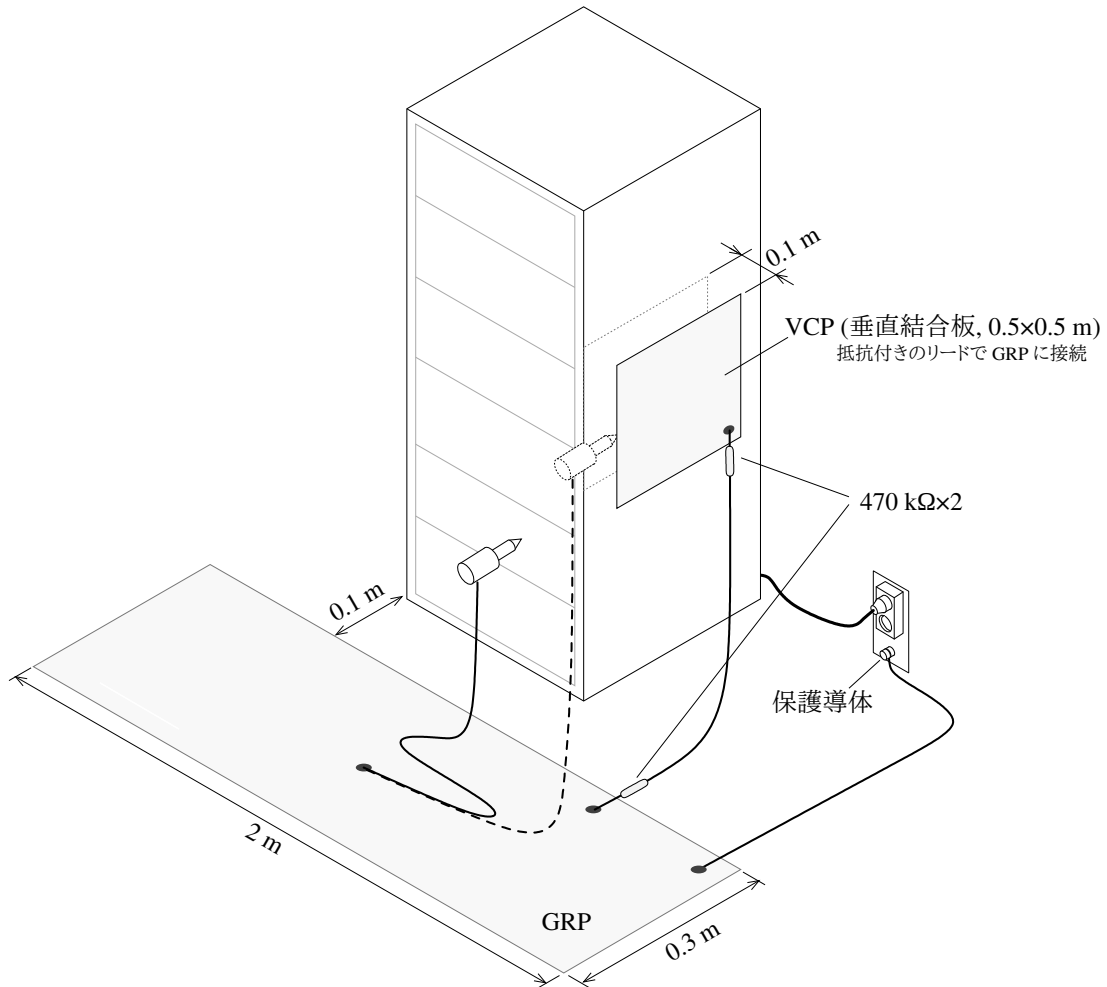


図 9: 設置後試験のセットアップの例

条件	コネクタのシェル	カバー <sup>‡</sup> の材質	気中放電	接触放電
1	金属	なし	—	シェル
2	金属	絶縁	カバー	接触可能であればシェル
3	金属	金属	—	シェルとカバー
4	絶縁	なし	†	—
5	絶縁	絶縁	カバー	—
6	絶縁	金属	—	カバー

† 製品 (群) 規格が絶縁されたコネクタの個々のピンの試験を要求する場合、気中放電を適用

‡ コネクタのピンの ESD に対する保護のためにカバーを用いる場合、カバー自身、もしくはカバーが用いられるコネクタの近くに ESD 警告のラベリングを行なうべき

表 3: ESD のコネクタへの印加

#### 4.1.2.1 HCP (水平結合板) への印加

HCP を用いた間接放電試験は卓上機器に対してのみ適用される。

EUT のそれぞれのユニットをその正面が HCP の縁から 0.1 m の距離となるように配置し、それぞれのユニットの中央に面した HCP の縁に水平に、

指定された試験レベル、また正負の双方もしくはいずれか厳しい方の極性<sup>†8</sup>で、それぞれ 10 回以上の印加を行なう。ESD 発生器は接触放電モードとして接触放電用電極が HCP の縁に直交するようにし、

<sup>†8</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。





図 10: ESD に敏感であることを示すシンボル (IEC 60417-5134)

放電に先立って電極の先端を HCP の縁に接触させる (図 7, 図 8)。

この試験は少なくとも EUT の正面側から行なうが、製品群/製品規格によっては EUT の全ての側面からこの試験を行なうように規定されるかも知れない。

#### 4.1.2.2 VCP (垂直結合板) への印加

EUT から 0.1 m の距離に平行に置いた VCP のいずれかの垂直の縁の中央に、指定された試験レベル、また正負の双方もしくはいずれか厳しい方の極性<sup>†8</sup> で、それぞれ 10 回以上の印加を行なう。

VCP の大きさは 0.5 m × 0.5 m とし、両端に 470 kΩ の抵抗 (放電電圧に耐えるもの) が付けられたケーブルで GRP に接続する。

1 箇所の VCP で EUT の面の 0.5 m × 0.5 m が照射されるものとみなし、EUT の 4 面が完全に照射されるように VCP の位置を変えて試験を繰り返す (図 7 図 8)。

## 4.2 接触放電と気中放電

印加箇所に ESD シミュレータの電極を接触させた状態で放電スイッチを閉じて放電を発生させる接触放電と放電スイッチを閉じた後に印加箇所に電極を近付けて放電を発生させる気中放電の 2 つの印加方法が規定されている。

実際の ESD は気中放電に近い形となるので、実際の現象の模擬の観点では気中放電を用いた方が良さそうであるが、気中放電の試験は再現性が著しく低いなどといった理由もあり、この規格では一部の例外を除いては接触放電が可能な箇所、すなわち導電性の箇所には接触放電を優先的に用いることになっている。

### 4.2.1 接触放電

金属の筐体などの導電性の部分には、尖った接触放電用電極の先端を導電性の部分に接触させた状態で放電スイッチを閉じて<sup>†9</sup>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<sup>†10</sup>でないならば、非導電性の皮膜をあらかじめ削り落とすか尖った電極の先端で突き破って<sup>†11</sup>電極の先端を印加箇所の導電面に接触させ、接触放電による印加を行なう。

同一の印加箇所に繰り返して放電を発生させたい場合、電極を印加箇所に接触させたままとし、あらかじめ設定された繰り返し周期で繰り返して放電を発生させることができる。試験では放電は 1 秒かそれよりも長い間隔で印加されるであろうが、ESD 発生器は通常は 20 回/秒かそれよりも早い繰り返しで放電を発生させられる筈である。

通常、それぞれの印加箇所について、指定された試験レベル<sup>†12</sup>、また正負の双方もしくはいずれか厳しい方の極性<sup>†8</sup> で、それぞれ 10 回以上の印加を行なう。

### 4.2.2 気中放電

プラスチックの筐体などの非導電性の部分には、先端が φ8 の半球状となった気中放電用電極を用い、印加箇所から離れた位置で ESD シミュレータの放電スイッチを閉じて電極が印加箇所に当たるまでできる限り早く近付ける、気中放電を適用する。

通常、それぞれの印加箇所について、指定された試験レベルまでの全ての試験レベル (表 4)<sup>†13</sup>、また

<sup>†9</sup> これは典型的には ESD シミュレータの引き金を引くことで行なえる。

<sup>†10</sup> 表面処理の多くは絶縁性ではあるが、絶縁を目的としているわけではない。絶縁のためのものである場合、安全規格上の絶縁の要求を満たすか、あるいはそうでないとしても絶縁性能が規定されていてそれを満足することを担保するような管理が行なわれているものと思われる。

<sup>†11</sup> 皮膜によっては突き破ることが難しい、あるいは導電面を露出させられたかどうかを目視では判断しにくい場合もあり、あらかじめ削り落とし、疑義があればテスターで導通を確認するようにするのが良いかも知れない。

<sup>†12</sup> 下位の試験レベルでの試験が求められる気中放電と異なり、この規格では接触放電については下位の試験レベルでの試験は要求されていない。

<sup>†13</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。例えば試験レベルが 8 kV で、双方の極性の印加を行なう場合、±2 kV、±4 kV、及び ±8 kV の印加を行なうことが必要となる。

正負の双方もしくはいずれか厳しい方の極性<sup>†8</sup>で、それぞれ10回以上の印加を行なう。

試験レベルが高い場合は特に、電極が当たる前に空気が絶縁破壊して明らかな放電を生じることがあるが、その場合も電極が印加箇所当たるまでそのまま近付け続ける。

電極が当たるまでできる限り早く近付けようとするとその箇所に電極を強く衝突させることになりやすい。これは機器の外郭などについてはあまり問題とならないだろうが、場所によっては当たった箇所を損傷させたり傷を付けたりする可能性が考えられるかも知れない。また、スイッチやタッチパネルなどが電極を当たったことに反応し、これが影響の判定の妨げとなることもある。このような箇所については、損傷を与えるほど強く当たらないように気を付けることが、場合によっては例えばスイッチに電極が当たってもスイッチが押されたことによる反応を生じないような工夫なども必要となるかも知れない。

電極を接近させる速度が遅い場合、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り、結果として試験が甘くなる可能性が予期される<sup>[3][4]</sup>ため、電極の接近を早い、またできる限り安定した速度で行なうことが重要である。<sup>†14</sup>この作業を安定して、また強く当たり過ぎないように行なえるようにするためには、相応の練習が必要となるかも知れない。

放電の繰り返しの際して、それぞれの放電の後で電極を印加箇所から遠ざけて上記のプロセスを繰り返すことも必要で、接触放電と比較して煩雑な、また時間を要するものとなる。

#### 4.2.2.1 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>†14</sup> IEC 61000-4-2 では接近速度は具体的には示されていない。<sup>[4]</sup>には、接近速度が早い方が立ち上がり時間が短く、またピーク電流が高くなるという結果とともに、接近速度を 0.8 m/s 以上とすることで再現性が改善されるという結果が示されている。

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	特殊	特殊

表 4: 試験レベル

### 4.3 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もある。<sup>†15</sup>そのような場合、例えば次のような方法を用い、次の放電の時点での残留電荷が十分に小さくなるようにする:

- ブリーダー抵抗 (例えば  $2 \times 470 \text{ k}\Omega$ ) が両端に取り付けられたケーブルをその箇所と HCP (卓上機器の場合) や GRP (床置き機器の場合) とのあいだに接続し、電荷を放電させる。通常、このケーブルは放電の印加に際しても接続したままとして良い (図 6);
- あるいは、次の放電までに電荷が自然に消散するように、印加の間隔を長くする;<sup>†16</sup>
- もしくは、接地線にブリーダー抵抗 (例えば  $2 \times 470 \text{ k}\Omega$ ) が取り付けられた接地されたカーボン・ファイバ・ブラシで EUT を払う。

### 4.4 影響の評価

放電の印加時とその後に観測された影響に基づき、あらかじめ決定された判定基準 (通常は適用する一般/製品群/製品規格で規定された枠組みに従って決定される) に従って結果の判定を行なう。

基本的には、それぞれの印加箇所への一連の印加の結果に対する判定のうち最も好ましくないものが最終的な判定となる。すなわち、不合格の判定とな

<sup>†15</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>†16</sup> どれだけの時間待てば良いかを予測することは難しく、静電電圧計を用いた確認などが必要となるかも知れない。

る事象が1度でも観測されたならばそれは不合格となる。

だが、同じ試験を繰り返してもその現象が再現しないような状況では、規格の規定の一部ではないものの、エスカレーション・ストラテジ (§4.4.1) を用いることができるかも知れない。

#### 4.4.1 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。

IEC 61000-4-2 の Annex F では、参考情報としてではあるが、このような場合の合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。

## 5 参考資料

- [1] IEC 61000-4-2:2008, *Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-2: Testing and measurement techniques — Electrostatic discharge immunity test*
- [2] *Unified Circuit Modeling Technique for the Simulation of Electrostatic Discharge (ESD) Injected by an ESD Generator*, Tadatoshi Sekine et al., IEEE, 2012, DOI: [10.1109/ISEMC.2012.6351825](https://doi.org/10.1109/ISEMC.2012.6351825)
- [3] *Full-Wave Simulation of an Electrostatic Discharge Generator Discharging in Air-Discharge Mode Into a Product*, Dazhao Liu et al., IEEE, 2011, DOI: [10.1109/TEMC.2010.2087025](https://doi.org/10.1109/TEMC.2010.2087025)
- [4] *The Effect of Approach Speed and Charge Voltage on an Air Discharge*, Qingyun Yuan et al., IEEE, 2010, DOI: [10.1109/TEMC.2010.2060489](https://doi.org/10.1109/TEMC.2010.2060489)