

電磁両立性—第 4-2 部：試験及び測定技術— 静電気放電イミュニティ試験

JIS C 61000-4-2 : 2012

(IEC 61000-4-2 : 2008)

(IEEEJ/JSA)

(2022 確認)

平成 24 年 6 月 20 日 改正

日本工業標準調査会 審議

(日本規格協会 発行)

著作権法により無断での複製，転載等は禁止されております。

2019年7月1日の法改正により名称が変わりました。

まえがきを除き、本規格中の「日本工業規格」を「日本産業規格」に読み替えてください。

C 61000-4-2 : 2012 (IEC 61000-4-2 : 2008)

日本工業標準調査会標準部会 電気技術専門委員会 構成表

	氏名	所属
(委員長)	大 崎 博 之	東京大学
(委員)	岩 本 佐 利	一般社団法人日本電機工業会
	岩 本 光 正	東京工業大学
	上 原 京 一	株式会社東芝
	大 石 奈津子	財団法人日本消費者協会
	長 田 明 彦	一般社団法人日本配線システム工業会
	熊 田 亜紀子	東京大学
	佐々木 喜 七	一般財団法人日本電子部品信頼性センター
	島 田 敏 男	一般社団法人電気学会
	下 川 英 男	一般社団法人電気設備学会
	鈴 木 篤	一般社団法人日本電球工業会 (日立アプライアンス株式会社)
	住 谷 淳 吉	一般財団法人電気安全環境研究所
	田 中 智	一般社団法人日本電機工業会
	豊 馬 誠	電気事業連合会
	中 根 育 朗	一般社団法人電池工業会
	原 田 真 昭	一般社団法人日本電線工業会
	飛 田 恵理子	特定非営利活動法人東京都地域婦人団体連盟
	前 田 育 男	IEC/ACOS 専門委員 (IDEC 株式会社)
	山 田 秀	筑波大学

主 務 大 臣：経済産業大臣 制定：平成 11.2.20 改正：平成 24.6.20
官 報 公 示：平成 24.6.20
原 案 作 成 者：一般社団法人電気学会
 (〒102-0076 東京都千代田区五番町 6-2 HOMAT HORIZON ビル TEL 03-3221-7201)
 一般財団法人日本規格協会
 (〒107-8440 東京都港区赤坂 4-1-24 TEL 03-5770-1571)

審 議 部 会：日本工業標準調査会 標準部会 (部会長 稲葉 敦)
審議専門委員会：電気技術専門委員会 (委員長 大崎 博之)

この規格についての意見又は質問は、上記原案作成者又は経済産業省産業技術環境局 基準認証ユニット環境生活標準化推進室 (〒100-8901 東京都千代田区霞が関 1-3-1) にご連絡ください。

なお、日本工業規格は、工業標準化法第 15 条の規定によって、少なくとも 5 年を経過する日までに日本工業標準調査会の審議に付され、速やかに、確認、改正又は廃止されます。

目 次

	ページ
序文	1
1 適用範囲	1
2 引用規格	2
3 用語及び定義	2
4 一般事項	4
5 試験レベル	4
6 ESD 発生器	5
6.1 一般事項	5
6.2 ESD 発生器の特性及び性能	5
6.3 ESD 試験セットアップの立証	8
7 試験セットアップ	9
7.1 試験装置	9
7.2 試験室で行う試験セットアップ	9
7.3 設置後試験のセットアップ	15
8 試験手順	17
8.1 試験室の基準条件	17
8.2 EUT の動作	17
8.3 試験の実施	17
9 試験結果の評価	19
10 試験報告書	20
附属書 A (参考) ESD 及び ESD 試験に関する注釈	21
附属書 B (規定) 電流測定システムの校正及び放電電流測定	25
附属書 C (参考) 附属書 B の要求事項に適合するターゲットの例	31
附属書 D (参考) 人体と金属との間の放電及び ESD 発生器からの放電による放射電磁界	36
附属書 E (参考) 測定不確かさ (MU) の考察	45
附属書 F (参考) 試験結果のばらつき及び段階的な試験手順	52
解 説	54

C 61000-4-2 : 2012 (IEC 61000-4-2 : 2008)

まえがき

この規格は、工業標準化法第 14 条によって準用する第 12 条第 1 項の規定に基づき、一般社団法人電気学会（IEEJ）及び一般財団法人日本規格協会（JSA）から、工業標準原案を具して日本工業規格を改正すべきとの申出があり、日本工業標準調査会の審議を経て、経済産業大臣が改正した日本工業規格である。これによって、**JIS C 61000-4-2:1999** は改正されこの規格に置き換えられた。

この規格は、著作権法で保護対象となっている著作物である。

この規格の一部が、特許権、出願公開後の特許出願又は実用新案権に抵触する可能性があることに注意を喚起する。経済産業大臣及び日本工業標準調査会は、このような特許権、出願公開後の特許出願及び実用新案権に関わる確認について、責任はもたない。

JIS C 61000-4 の規格群には、次に示す部編成がある。

JIS C 61000-4-2 第 4-2 部：試験及び測定技術－静電気放電イミュニティ試験

JIS C 61000-4-3 第 4-3 部：試験及び測定技術－放射無線周波電磁界イミュニティ試験

JIS C 61000-4-4 第 4-4 部：試験及び測定技術－電氣的ファストトランジェント／バーストイミュニティ試験

JIS C 61000-4-5 第 4-5 部：試験及び測定技術－サージイミュニティ試験

JIS C 61000-4-6 第 4-6 部：試験及び測定技術－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

JIS C 61000-4-7 第 4-7 部：試験及び測定技術－電力供給システム及びこれに接続する機器のための高調波及び次数間高調波の測定方法及び計装に関する指針

JIS C 61000-4-8 第 4 部：試験及び測定技術－第 8 節：電源周波数磁界イミュニティ試験

JIS C 61000-4-11 第 4-11 部：試験及び測定技術－電圧ディップ、短時間停電及び電圧変動に対するイミュニティ試験

JIS C 61000-4-14 第 4 部：試験及び測定技術－第 14 節：電圧変動イミュニティ試験

JIS C 61000-4-16 第 4 部：試験及び測定技術－第 16 節：直流から 150 kHz までの伝導コモンモード妨害に対するイミュニティ試験

JIS C 61000-4-17 第 4 部：試験及び測定技術－第 17 節：直流入力電源端子におけるリップルに対するイミュニティ試験

JIS C 61000-4-20 第 4-20 部：試験及び測定技術－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

JIS C 61000-4-34 第 4-34 部：試験及び測定技術－1 相当たりの入力電流が 16 A を超える電気機器の電圧ディップ、短時間停電及び電圧変動に対するイミュニティ試験

日本工業規格

JIS

C 61000-4-2 : 2012

(IEC 61000-4-2 : 2008)

電磁両立性—第 4-2 部：試験及び測定技術— 静電気放電イミュニティ試験

Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-2: Testing and measurement techniques—Electrostatic discharge immunity test

序文

この規格は、2008 年に第 2 版として発行された **IEC 61000-4-2** を基に、技術的内容及び構成を変更することなく作成した日本工業規格である。

なお、この規格で側線又は点線の下線を施してある参考事項は、対応国際規格にはない事項である。

1 適用範囲

この規格は、人体から直接の、又は人体から近接している物体への静電気放電（以下、ESD という。）にさら（曝）される電気・電子装置に対するイミュニティ要求事項及び試験方法について規定する。さらに、様々な環境及び設置条件に関する試験レベルの範囲を定義し、試験手順を確立する。

この規格は、電気・電子装置が ESD を受けた場合の性能を評価するために、共通的で再現性のある基本的な基準を規定することを目的とする。ESD には、人体から通電状態の装置に近接する物体に発生するものも含む。

この規格は、次の項目を規定する。

- 放電電流の理想的な波形
- 試験レベルの範囲
- 試験装置
- 試験のセットアップ
- 試験手順
- 校正手順
- 測定不確かさ

この規格は、“試験室での試験”及び最終設置状態での装置に対して実施する“設置後試験”を規定する。

この規格は、関連する製品規格委員会で参照する一般的な基本規格を提供することを目的とし、特定の装置及びシステムだけに適用することを意図していない。製品規格委員会（又は使用者及び製造業者）には、当該装置に適切な試験及び適用する試験レベルの選定に責任がある。

製品規格委員会又は装置の使用者及び製造業者には、規格間の整合及び標準化の支障とならないようにするために、この規格に規定する関連のイミュニティ試験の採用（今後の規格制定又は既存規格の改正時）が強く望まれる。

注記 この規格の対応国際規格及びその対応の程度を表す記号を、次に示す。

IEC 61000-4-2:2008, Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-2: Testing and measurement

2

C 61000-4-2 : 2012 (IEC 61000-4-2 : 2008)

techniques—Electrostatic discharge immunity test (IDT)

なお、対応の程度を表す記号“IDT”は、ISO/IEC Guide 21-1 に基づき、“一致している”ことを示す。

2 引用規格

次に掲げる規格は、この規格に引用されることによって、この規格の規定の一部を構成する。この引用規格は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

JIS C 60050-161 EMC に関する IEV 用語

注記 対応国際規格：IEC 60050-161, International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 161: Electromagnetic compatibility (IDT)

3 用語及び定義

この規格で用いる主な用語及び定義は、JIS C 60050-161 によるほか、次による。

3.1

気中放電法 (air discharge method)

ESD 発生器の帯電した放電電極を EUT に接触するまで近付けて試験する方法。

3.2

帯電防止材料 (antistatic material)

同一若しくは類似材料を摩擦するか又はそれらを分離するときに、電荷の発生を最小にする特性をもつ材料。

3.3

校正 (calibration)

規定する条件の下で基準に照らし、表示値と測定値との間の関連性を確立するための一連の作業 (IEV 311-01-09 参照)。

注記 1 この用語は、“不確かさ”の手法に基づいている。

注記 2 表示値と測定値との間の関連性は、通常、校正図で説明できる。

3.4

適合性試験 (conformance test)

設計・製作した装置が、規格の要求に適合するかどうかを決める目的で、装置の代表的なサンプルについて行う試験。

3.5

接触放電法 (contact discharge method)

ESD 発生器の放電電極を EUT 又は結合板に接触させた状態で、ESD 発生器内の放電スイッチの作動によって放電させる試験方法。

3.6

結合板 (coupling plane)

EUT に近接している物体への ESD を模擬するために、放電を加える金属板又は金属面。

結合板には、水平結合板：HCP (Horizontal coupling plane) 及び垂直結合板：VCP (Vertical coupling plane) がある。

3.7

(性能の) 低下 [degradation (of performance)]

機器, 装置又はシステムの動作性能が, 意図する性能から好ましくない方に外れること (JIS C 60050-161 の 01-19 参照)。

注記 用語“低下 (degradation)”は, 一時的な又は永久的な不具合にも使用することができる。

3.8

直接印加 (direct application)

EUT への直接の放電。

3.9

電磁両立性 (EMC : electromagnetic compatibility)

装置又はシステムの存在する環境において, 許容できないような電磁妨害をいかなるものに対しても与えず, かつ, その電磁環境において満足に機能するための装置又はシステムの能力 (JIS C 60050-161 の 01-07 参照)。

3.10

静電気放電 [electrostatic discharge (ESD)]

静電気電位の異なる物体同士が, 近接又は直接接触することによって, 物体間に起こる電荷の移動 (JIS C 60050-161 の 01-22 参照)。

注記 技術上の観点からは, この ESD に対する正確な用語は “static electricity discharge” となる。ただし, 用語 “electrostatic discharge (ESD)” は技術用語及び技術文献で広く用いている。したがって, この規格でも “ESD” を使用することとした。

3.11

エネルギー蓄積コンデンサ (energy storage capacitor)

試験電圧値まで充電した人体容量に等価な ESD 発生器のコンデンサ。

注記 これは, 個別コンデンサ部品又は分布容量である。

3.12

EUT (equipment under test)

供試装置。

3.13

基準グラウンド面 [ground reference plane (GRP)]

共通の基準として使用する電位の, 平たん (坦) な導電性の面 (JIS C 60050-161 の 04-36 参照)。

3.14

保持時間 (holding time)

放電する前の漏えい (洩) によって起こる出力電圧の減少が 10 % 以下の時間間隔。

3.15

イミュニティ (妨害に対する) [immunity (to a disturbance)]

電磁妨害が存在する環境で, 機器, 装置又はシステムが性能低下せずに動作することができる能力 (JIS C 60050-161 の 01-20 参照)。

3.16

間接印加 (indirect application)

EUT の近くの物体への人体放電を模擬するための, EUT に近接した結合板への放電。

4

C 61000-4-2 : 2012 (IEC 61000-4-2 : 2008)

3.17

立上り時間 (rise time)

規定した下限値にパルスが到達し、その後、規定した上限値に到達するまでの時間間隔。

注記 1 他に規定がなければ、パルス振幅の下限値及び上限値は、それぞれ 10 %及び 90 %である。

注記 2 この定義は、JIS C 60050-161 の 02-05 で規定する定義を変更している。

3.18

立証 (verification)

試験装置システム（例えば、発生器と相互接続しているケーブル）を確認し、この試験システムの機能を証明する一連の作業。

注記 1 立証の方法は、校正の方法と異なってもよい。

注記 2 この定義は、IEV 311-01-13 (IEC 60050-311) で規定する定義と異なっている。

4 一般事項

この規格は、環境及び設置条件が原因となって発生する ESD の影響を受ける装置、システム、サブシステム及び周辺装置を対象とする。この環境及び設置条件には、例えば、低い相対湿度、低い導電率の合成繊維のカーペット、ビニル製の衣類などがある。このような環境は、電気・電子装置に関する規格の中で分類される全ての場所に存在する可能性がある（詳細については A.1 を参照）。

5 試験レベル

ESD に対する試験レベルを、表 1 に示す。

優先する試験方法は接触放電法であり、気中放電法は接触放電法が適用できない場合に用いる。

各試験方法での試験電圧を表 1 に示す。表のレベルごとの電圧値は、各々の試験方法によって異なるが、同じレベルの試験の厳しさは、試験方法間で等価であることを意味していない。

人体に帯電する電圧レベルに影響する種々のパラメータについては、A.2 を参照する。また、環境（設置）クラスに関連した試験レベルの適用例を参考として A.4 に示す。

気中放電試験では、指定の試験レベル及び表 1 に示したその試験レベルを含む、全ての下位レベルの試験を行う。

更なる情報は、A.3～A.5 を参照。

表 1－試験レベル

レベル	単位 kV	
	接触放電 試験電圧	気中放電 試験電圧
1	2	2
2	4	4
3	6	8
4	8	15
X ^{a)}	特殊	特殊
注 ^{a)} “X” は、任意のレベルで、ほかのレベルより高い若しくは低い、又は間とすることができる。このレベルは装置仕様書で指定する。ここに規定するレベル 4 を超える電圧を指定する場合は、特別な試験装置が必要となる場合がある。		

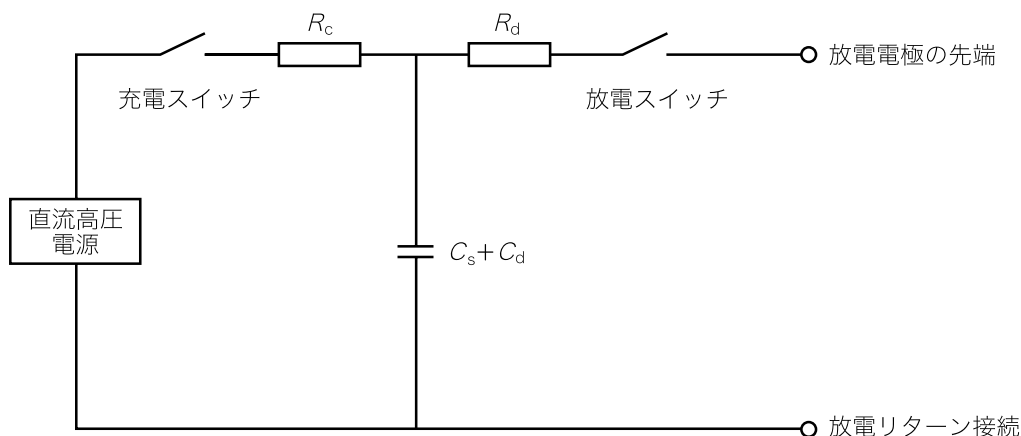
6 ESD 発生器

6.1 一般事項

ESD 発生器の主要な要素は、次による。

- 充電抵抗 R_c
- エネルギー蓄積コンデンサ C_s
- 分布容量 C_d
- 放電抵抗 R_d
- 電圧表示器
- 放電スイッチ
- 充電スイッチ
- 交換可能な放電電極の先端 (図 3 参照)
- 放電リターンケーブル
- 直流高圧電源

ESD 発生器の基本構成図を図 1 に示す。



C_d : ESD 発生器とその周囲との間に存在する分布容量

$C_s + C_d$ の代表値 : 150 pF

R_d の代表値 : 330 Ω

図 1-ESD 発生器の基本構成図

ESD 発生器は、附属書 B に規定する方法に従って測定し、6.2 の要求事項に適合しなければならない。このため、図 1 の回路図及び素子の特性値は詳細に規定していない。

6.2 ESD 発生器の特性及び性能

ESD 発生器は、附属書 B に規定する方法に従って測定し、表 2 及び表 3 の仕様に適合しなければならない。表 3 で規定する理想的な電流波形及び測定点を、図 2 に示す。

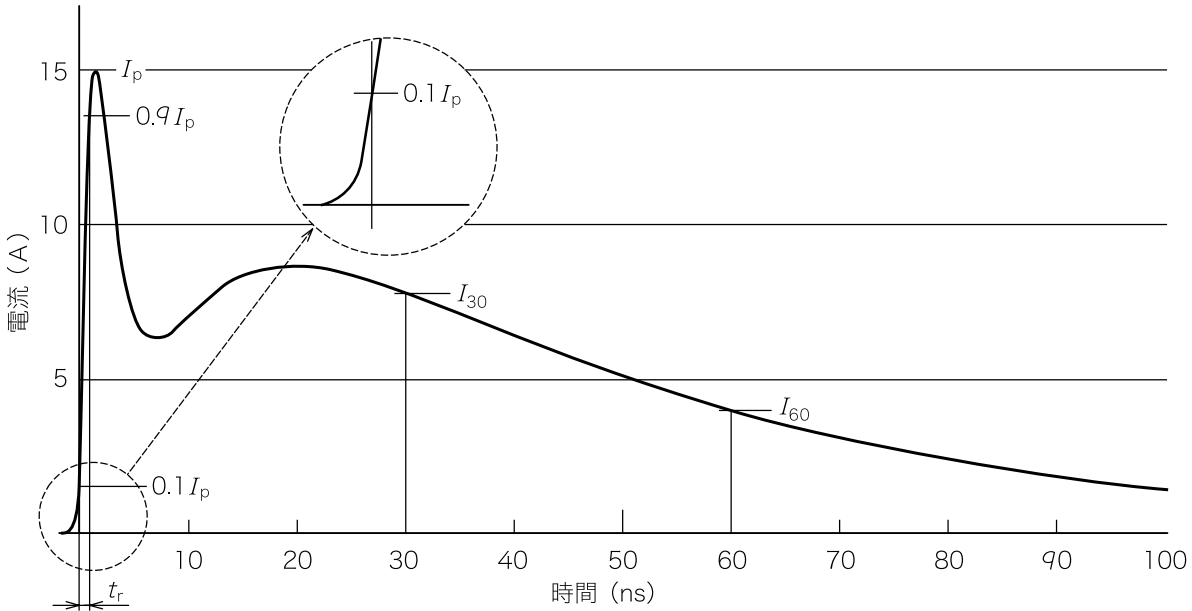
表 2－ESD 発生器の仕様

項目	仕様
出力電圧, 接触放電モード ^{a)}	1 kV～8 kV (公称)
出力電圧, 気中放電モード ^{a)}	2 kV～15 kV (公称) ^{c)}
出力電圧の許容範囲	± 5 %
出力電圧の極性	正及び負
保持時間	5 秒以上
放電動作モード	単発 ^{b)}
注 ^{a)} ESD 発生器の放電電極で測定する開放回路電圧。 ^{b)} 予備試験では, ESD 発生器は, 1 秒に 20 回以上の放電繰返し率で放電できることが望ましい。 ^{c)} 使用する最大試験電圧が 15 kV より低い場合には, 気中放電電圧 15 kV の能力をもつ ESD 発生器を使用する必要はない。	

表 3－接触放電電流波形の仕様

レベル	試験電圧	最初の放電ピーク 電流 I_p (± 15 %)	立上り時間 t_r ^{a)} (± 25 %)	30 ns での 電流 I_{30} (± 30 %)	60 ns での 電流 I_{60} (± 30 %)
	kV	A	ns	A	A
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

30 ns 及び 60 ns を規定する時間軸の基準点は, 電流が最初に放電電流の最初のピーク (I_p) の 10 %に達する瞬間である (図 2 参照)。
注 ^{a)} 立上り時間 t_r は, 最初のピーク電流値の 10 %と 90 %との間の間隔である。



図中の記号は表 3 を参照する。

図 2－試験電圧 4 kV の場合の理想的な接触放電の電流波形

図 2 に示す理想的な波形 $I(t)$ の式を, 次を示す。

$$I(t) = \frac{I_1}{k_1} \times \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^n}{1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^n} \times \exp\left(\frac{-t}{\tau_2}\right) + \frac{I_2}{k_2} \times \frac{\left(\frac{t}{\tau_3}\right)^n}{1 + \left(\frac{t}{\tau_3}\right)^n} \times \exp\left(\frac{-t}{\tau_4}\right)$$

ここに,

$$k_1 = \exp\left[-\frac{\tau_1}{\tau_2} \left(\frac{n\tau_2}{\tau_1}\right)^{1/n}\right]$$

$$k_2 = \exp\left[-\frac{\tau_3}{\tau_4} \left(\frac{n\tau_4}{\tau_3}\right)^{1/n}\right]$$

$$\tau_1 = 1.1 \text{ ns} \quad \tau_2 = 2 \text{ ns} \quad \tau_3 = 12 \text{ ns} \quad \tau_4 = 37 \text{ ns}$$

$$I_1 = 16.6 \text{ A (4 kV のとき)} \quad I_2 = 9.3 \text{ A (4 kV のとき)}$$

$$n = 1.8$$

k_1, k_2 : 式 $I(t)$ への代数

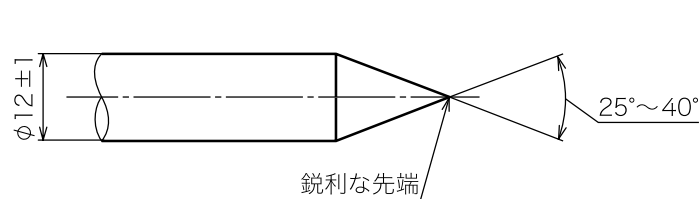
$\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$: 立上り時間, 立下り時間を決定する変数

I_1, I_2 : ピーク電流を決定する変数

n : 係数

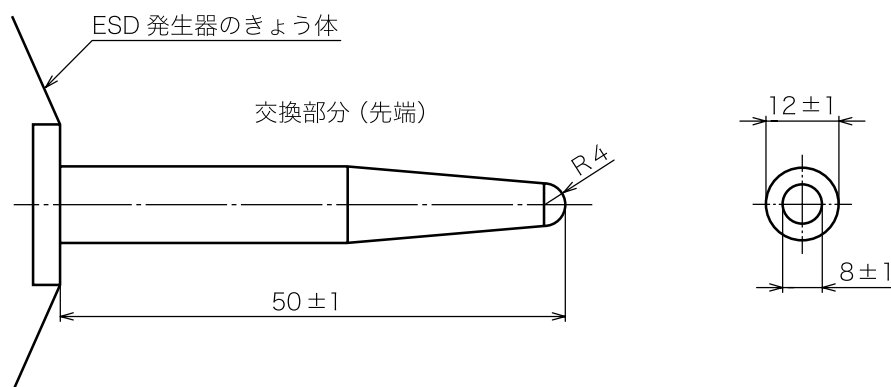
ESD 発生器は, EUT 及び補助試験装置を妨害しないように, パルス又は連続的な妨害を含む, 意図しない放射又は伝導妨害を防ぐ手段を備えていることが望ましい (附属書 D 参照)。

放電電極は, 図 3 に示す形状及び寸法に適合しなければならない。放電電極は絶縁被覆で覆ってもよいが, 放電電流波形仕様を満足しなければならない。



a) 接触放電のための放電電極

図 3-ESD 発生器の放電電極



b) 気中放電のための放電電極

図 3—ESD 発生器の放電電極 (続き)

接触放電試験及び気中放電試験 (以下, ESD 試験という。) には, 同じ ESD 発生器を用いる。接触放電試験では, 図 1 の放電スイッチは, 放電するときに閉じる。気中放電の試験では, 図 1 の放電スイッチは閉じた状態を維持できなければならない。

接触放電の場合, 図 3 a) に示す先端がとが (尖) った放電電極を取り付ける。気中放電の場合, ESD 発生器は, 図 3 b) に示す先端が丸い放電電極を取り付ける。これ以外に接触放電試験と気中放電試験との仕様に相違点はない。

ESD 発生器の放電リターンケーブルは, 長さ (2 ± 0.05) m とし, ESD 発生器の波形特性及び性能を満足しなければならない。放電リターンケーブルの長さは, ESD 発生器のきょう体から接続点の端の位置で測定する。放電リターンケーブルは, ESD 試験の間, 終端部分を除いて, 試験者又は導電性の表面への放電電流の漏えいを防ぐために, 十分に絶縁する。

試験に使用する放電リターンケーブルは, 校正に使用したケーブルと同種又は同一でなければならない。

背の高い EUT を試験する場合など, 放電リターンケーブルの長さが 2 m では足りない場合には, 放電リターンケーブルの長さを 3 m 以下としてもよい。試験に用いるケーブルは, 波形仕様を満たさなければならない。

6.3 ESD 試験セットアップの立証

立証の目的は, 次の ESD 試験セットアップが機能していることを保証することである。

- ESD 発生器
- 放電リターンケーブル
- 抵抗器, 470 k Ω
- 基準グラウンド面
- 放電経路を形成する接続の全て

卓上形装置の ESD 試験セットアップの例を図 4 に, 床置形装置の ESD 試験セットアップの例を図 5 に示す。試験セットアップが適切であることを確認するため, 立証方法として, 低電圧設定において結合板に対する気中放電中に小さなスパークが生じること, 及び高電圧設定において大きなスパークが生じることによって確認してもよい。この立証に先立って, 各装置の配置を確認することが重要である。

注記 ESD 発生器の波形は, 通常は変化しない (例えば, 波形の立上り時間及び持続時間はドリフトしない。) ため, ESD 発生器のほとんどの故障は, 電圧が放電電極に発生しない, 又は電圧制

御ができないことによる。放電パスを形成するいずれかのケーブル, 抵抗又は接続部が, 損傷,
緩み又は欠落している場合は, 放電しないことがある。

ESD 試験セットアップは, 試験に先立って立証することが望ましい。

7 試験セットアップ

7.1 試験装置

試験セットアップは, ESD 発生器, EUT 及び補助機器で構成する。これらは, 次の方法によって EUT
に対する直接印加及び間接印加を行うために用いる。

- a) 導電性の表面及び結合板に対する接触放電
- b) 絶縁性の表面での気中放電

試験は, 次の2種類の試験に分類できる。

- 試験室で行う形式試験 (適合性試験)
- 最終設置状態で行う設置後試験

試験室で行う形式試験を, 推奨試験方法とする。

EUT は, 製造業者の設置説明書がある場合, それに従って配置する。

7.2 試験室で行う試験セットアップ

7.2.1 試験要求事項

次の要求事項は, 8.1 に規定する環境基準条件の試験室で行う試験に適用する。

基準グラウンド面は, 試験室の床に備える。基準グラウンド面は, 厚さが 0.25 mm 以上の金属 (銅又は
アルミニウム) シートとする。ほかの金属材料を用いてもよいが, この場合, 厚さが 0.65 mm 以上でな
ければならない。

基準グラウンド面は, EUT 及び HCP (適用する場合) の全ての側面から 0.5 m 以上大きく, かつ, 我が
国の安全規制に適合した保護接地に接続する。

EUT は, その機能要求 (設置仕様) に従って配置及び接続する。

EUT と試験室の壁との距離, 及び EUT とその他の金属構造物との距離は, 0.8 m 以上とする。

EUT 及び ESD 発生器は, それぞれの設置仕様に従って基準グラウンド面に接続する。これ以外のグラ
ウンド接続は, 行ってはならない。

電源及び信号ケーブルは, 実際の使用時の配置とする。

ESD 発生器の放電リターンケーブルは, 基準グラウンド面に接続する。放電リターンケーブル長が印加
点に対して必要な長さを超える場合だけ, 超えた部分を可能な限り無誘導で基準グラウンド面に床置きす
る。放電リターンケーブルは, 基準グラウンド面を除く試験セットアップの他の導電部分から 0.2 m 以内
に近付けてはならない。

注記 1 試験室の金属製の壁を基準グラウンド面と電気的に接続している場合, 放電リターンケー
ブルを壁に接続してもよい。

基準グラウンド面の接地接続及び全ての接続は, 低インピーダンスにする。例えば, 高周波では機械的
な結合部品を使用することによって, 低インピーダンスになる。

結合板を指定する場合, 例えば, 間接印加の適用が可能な場合, 厚さが 0.25 mm 以上の金属 (銅又は
アルミニウム) シートから構成し (ほかの金属材を用いてもよいが, 厚さが 0.65 mm 以上とする。), かつ,
両端に 470 kΩ の抵抗を付けたケーブルで基準グラウンド面に接続する。これらの抵抗は, 放電電圧に耐え
なければならない。ケーブルを基準グラウンド面の上に配置する場合, 抵抗及びケーブルは, 基準グラウ

ンド面への短絡を避けるために絶縁する。

注記 2 HCP 及び VCP (垂直結合板) のグラウンドケーブルにある $470\text{ k}\Omega$ の抵抗器 (図 4～図 8 参照) は, ESD 発生器から結合板への放電後, 瞬時に結合板への電荷が消失することを防止するために用いる。これは, EUT への静電気による影響を強める。抵抗は, 試験中の結合板に印加する最大放電電圧に耐える能力が必要である。抵抗は, 抵抗値を分散するために, グラウンドケーブルの両端近くに配置することが望ましい。

異なる種類の EUT への追加仕様は, 7.2.2～7.2.4 による。

7.2.2 卓上形装置

試験セットアップは, 基準グラウンド面の上に置いた高さ $(0.8\pm0.08)\text{ m}$ の非導電性のテーブルで構成する。

$(1.6\pm0.02)\text{ m}\times(0.8\pm0.02)\text{ m}$ の HCP をテーブルの上に置く。EUT 及び EUT に接続するケーブルは, 厚さ $(0.5\pm0.05)\text{ mm}$ の絶縁板によって結合板から絶縁する。

注記 絶縁物は, 試験中に絶縁性能を維持することが望ましい。

HCP の全ての端面から 0.1 m 以上離して配置することができない大きな EUT の場合, 元の HCP から $(0.3\pm0.02)\text{ m}$ 離して配置する追加の同等の HCP を用いる。HCP を設置するために, テーブルを拡張するか, 又は二つのテーブルを用いてもよい。HCP は, 基準グラウンド面への抵抗器 ($470\text{ k}\Omega\times2$) 付きケーブルを除いて, 相互に接続してはならない。

EUT に取り付けられている脚は, 取り外してはならない。

卓上形装置の試験セットアップの例を, 図 4 に示す。

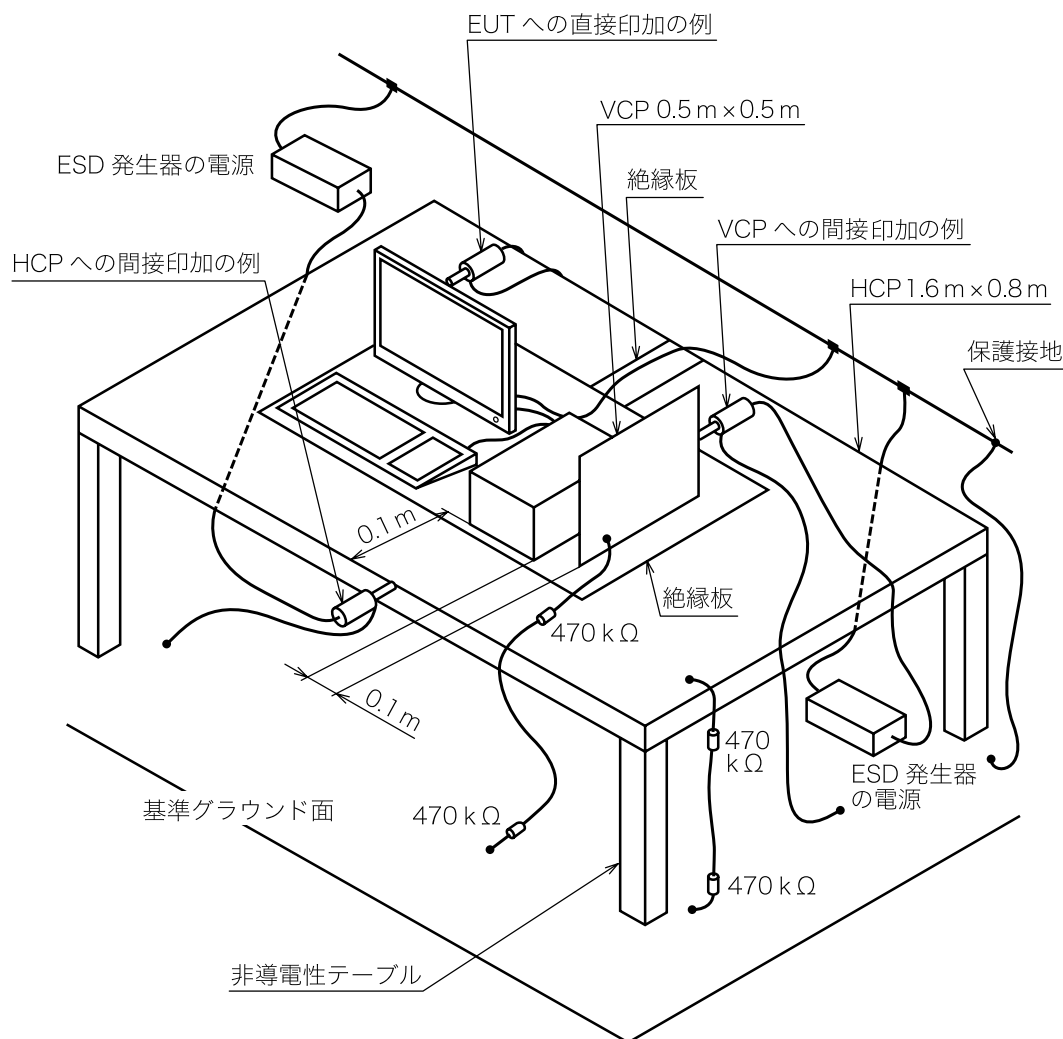


図 4—卓上形装置に対する試験室での試験セットアップ例

7.2.3 床置形装置

EUT は、厚さ 0.05 m～0.15 m の絶縁支持台によって基準グラウンド面から絶縁する。EUT のケーブルは、 (0.5 ± 0.05) mm の絶縁板によって基準グラウンド面から絶縁する。EUT のケーブルの絶縁板は、EUT の絶縁支持台の端から設置する。

床置形装置の試験セットアップ例を、図 5 に示す。

EUT に取り付けられている脚は、取り外してはならない。

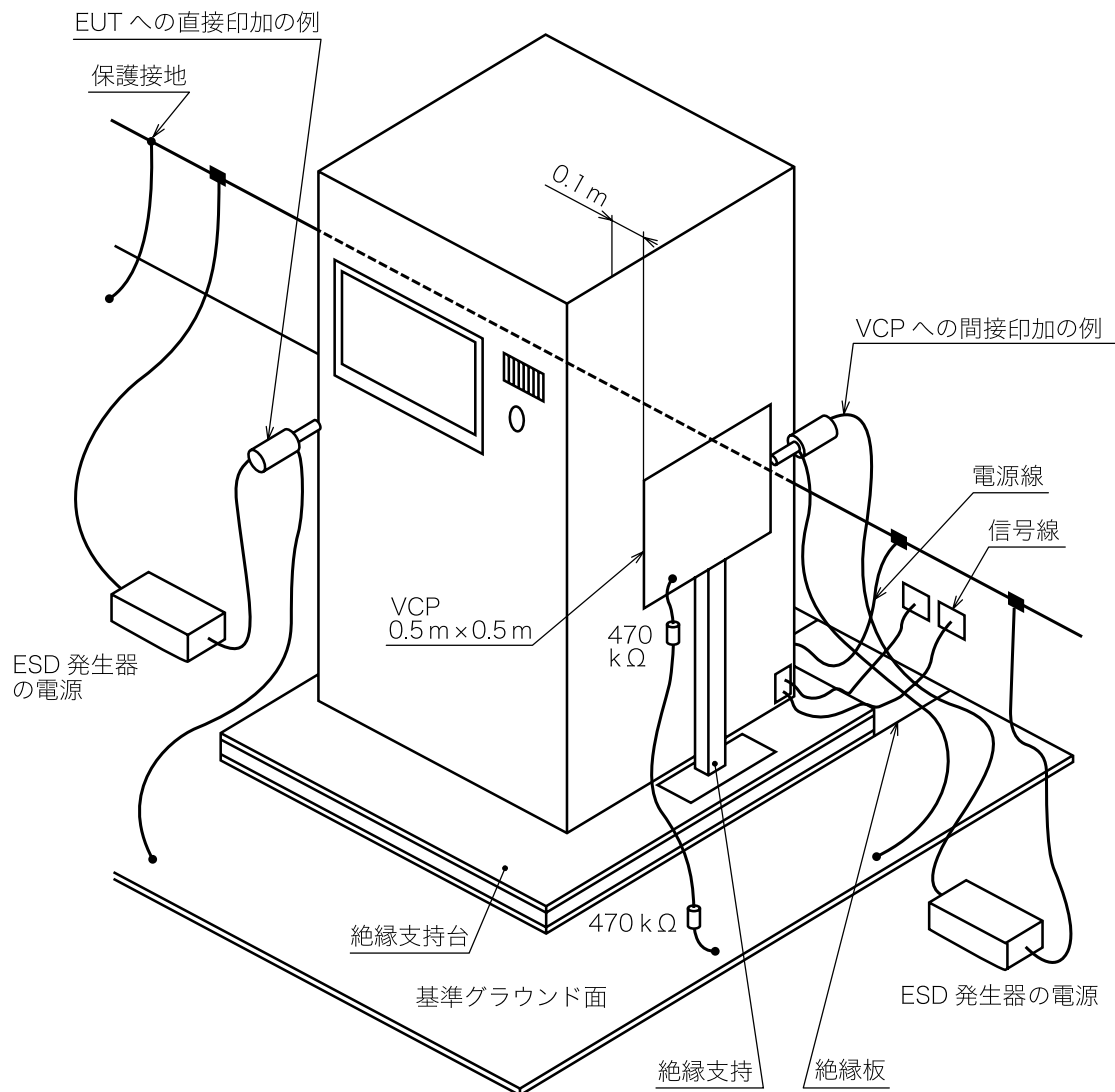


図5—床置形装置に対する試験室での試験セットアップ例

7.2.4 非接地装置

7.2.4.1 一般事項

この箇条に規定する試験セットアップは、いかなる接地システムにも接続しない設置仕様又は設計になっている装置又は装置の部品に適用する。これには、可搬形装置、(接地していない電源ケーブルをもつ)充電器を含む又は含まない(内部若しくは外部)バッテリー駆動の装置、及び二重絶縁装置を含む。

注記 1 対応国際規格では、二重絶縁装置について“class II equipment”と括弧書きしているが、クラス II 装置は、規格及び／又は製品分野により一意とは限らないため、対応国際規格の誤記と判断し、この規格では削除した。

注記 2 非接地装置又は装置の非接地部品は、接地した装置のように除電できない。連続した静電気試験を実施する場合、前の電荷を除去できないため、EUT 又は EUT の部品に意図した試験電圧の 2 倍の電圧を印加する可能性がある。したがって、非接地装置又は装置の非接地部品では、複数回の ESD によって電荷が蓄積し、非現実的な高電圧によって絶縁破壊が発生する。一般的な試験セットアップは、それぞれ 7.2.2 及び 7.2.3 の規定に適合しなければならない。

気中放電及び接触放電では、1 回の ESD を模擬するために、EUT に帯電した電荷は、各々の静電気の印加前に除電しなければならない。

静電気の印加をする金属部分又は部品（例えば、コネクタシエル、充電ピン、金属アンテナなど）の帯電は、ESD 印加ごとに除電しなければならない。

一つ又は複数の接触可能な金属箇所、ESD 試験を実施する場合、印加ポイントと製品のその他の接触可能なポイントとの間の抵抗が保証できないため、ESD を印加した箇所の電荷を取り除かなければならない。

帯電を除去するために、HCP 及び VCP に使用している 470 kΩ の抵抗付きケーブルに類似したケーブルを使用することが望ましい（7.2 参照）。

卓上形の EUT と HCP との間及び床置形の EUT と基準グラウンド面との間の静電容量は、EUT の大きさによって決定するため、抵抗付きケーブルは、機能的に許容できる場合、ESD 試験中は付けておいてもよい。抵抗付きケーブルの一端の抵抗は、EUT の試験ポイントから可能な限り 20 mm 未満の位置に接続する。他端の抵抗は、卓上形装置の場合の HCP（図 6 参照）又は床置形装置の場合の基準グラウンド面（図 7 参照）に接続するケーブル端の近傍に接続する。

抵抗付きケーブルが存在することによって、機器によっては、試験結果に影響が出る場合がある。この場合、次の放電までの間に、電荷を十分に減らすための抵抗付きケーブルを接続した試験より、抵抗付きケーブルを外した試験を優先する。

したがって、代替法として、次の方法を選択してもよい。

- EUT から電荷が自然に減少するのに必要な時間だけ、印加時間の間隔を延長する。
- 接地した抵抗付き（例えば、両端に 470 kΩ）カーボンファイバブラシで、EUT の電荷を除電する。

注記 3 電荷の減少に疑義が生じた場合、EUT の帯電は、非接触の電界計によってモニタすることができる。帯電が初期値の 10 %未満に減少した場合、EUT は除電したとみなす。

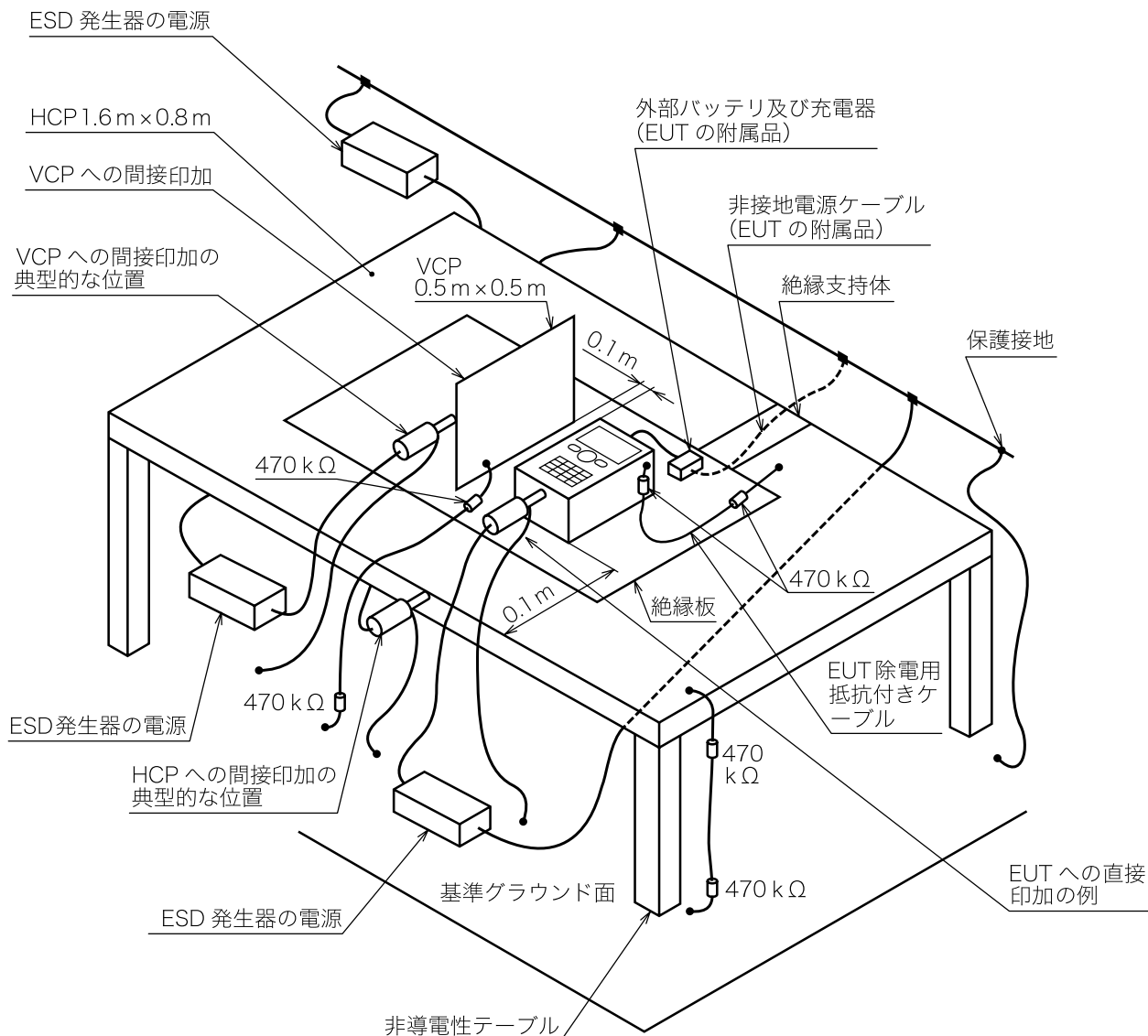


図 6－非接地卓上形装置の試験セットアップ例

少する。機能障害不全是、ESD 試験中にすぐに生じることはない。しかし、ESD 試験を実施していない機器よりはるかに早く故障することがある。これを考慮して、ESD 試験を全く行わないことが適切な場合もある。

設置後の ESD 試験を行う決定をした場合は、EUT の最終設置状態の下で試験を行う。

放電リターンケーブルの接続を容易にするため、基準グラウンド面は、EUT に約 0.1 m 近付けて、設置の床面上に置く。この基準グラウンド面は、厚さ 0.25 mm 以上の銅又はアルミニウムでなければならない。他の金属材料を用いてもよいが、この場合、厚さ 0.65 mm 以上でなければならない。この基準グラウンド面の大きさは、設置可能ならば幅 0.3 m、長さ 2 m 程度あることが望ましい。

基準グラウンド面は、保護接地へ接続する。保護接地に接続できない場合、EUT の接地端子が使用できるときには、接地端子に接続する。

ESD 発生器の放電リターンケーブルは、基準グラウンド面に接続する。EUT を金属テーブル上に設置する場合は、帯電を防ぐために、470 k Ω の抵抗を両端に接続したケーブルでテーブルを基準グラウンド面に接続する。

接地しない金属部品を 7.2.4 のように試験する場合は、抵抗を付けたケーブルで EUT の近傍の基準グラウンド面に接続する。

設置後試験のセットアップ例を、図 8 に示す。

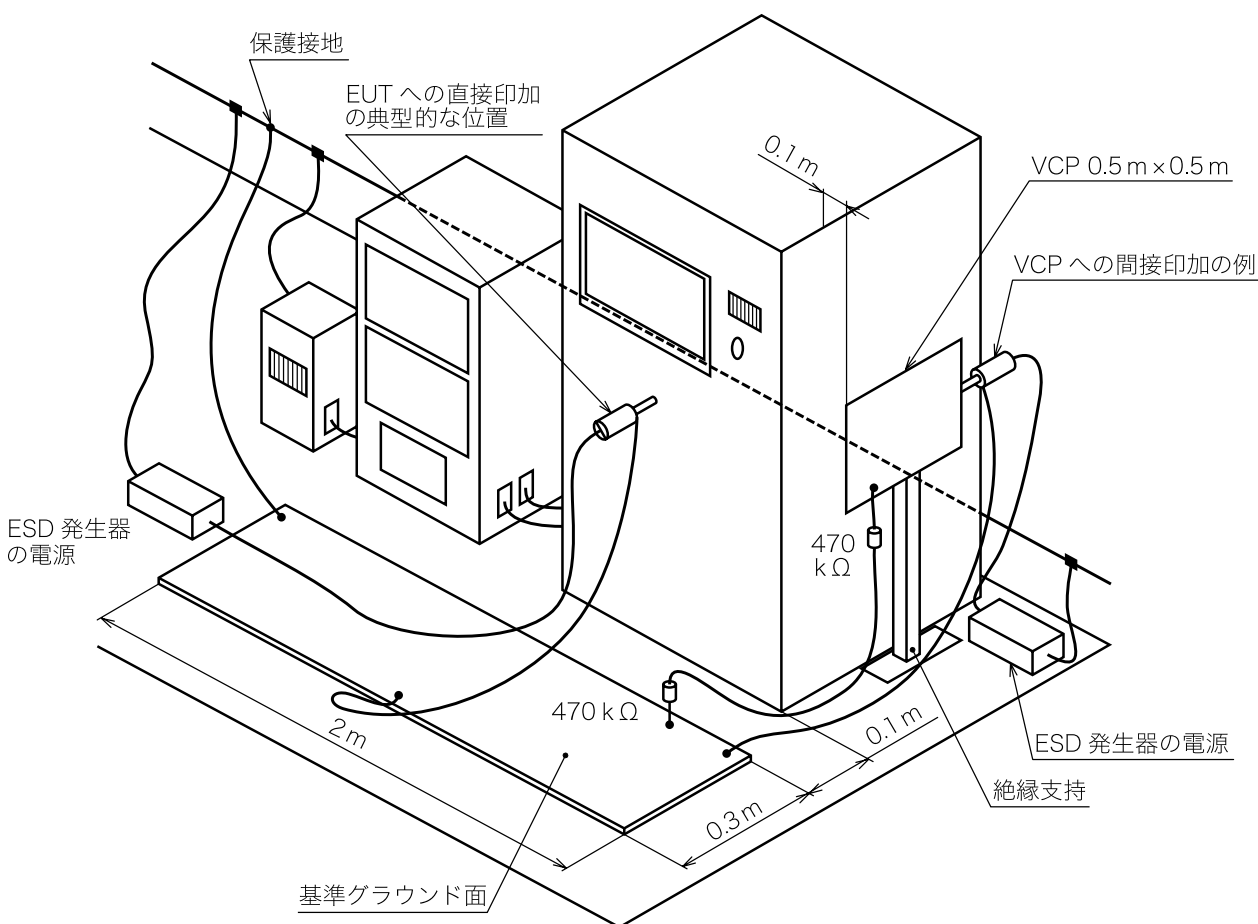


図 8－床置形装置の設置後試験セットアップ例

8 試験手順

8.1 試験室の基準条件

8.1.1 環境パラメータ

周囲の環境条件が試験結果に及ぼす影響を最小にするために、試験及び校正は **8.1.2** 及び **8.1.3** に規定する気象条件及び電磁環境条件で行う。

8.1.2 気象条件

EUT は、EUT の使用環境を意図した気象条件内で動作させる。

気中放電試験の場合の気象条件は、次の範囲とする。

- － 周囲温度 15 °C～35 °C
- － 相対湿度 30 %～60 %
- － 気圧 86 kPa～106 kPa

注記 この範囲外の数値は、特定の気象環境においてだけ使用する装置に適用してもよい。

8.1.3 電磁環境条件

試験室の電磁環境条件は、試験結果に影響を与えないように、EUT の正常動作を保証するものでなければならない。

8.2 EUT の動作

EUT の全ての標準動作モードを実行するように、テストプログラム及びソフトウェアを選定する。EUT がより多くの機能を実行していることを証明できる場合だけ、特別のソフトウェアを使用してもよい。

適合性試験では、EUT は予備試験で把握した最も厳しい試験モード（プログラムサイクル）で連続的に動作させる。

モニタ装置を使用する場合には、モニタ装置が誤作動して、間違った表示をしないように減結合することが望ましい。

8.3 試験の実施

8.3.1 EUT への放電

試験は、試験計画に従って、EUT に対し直接印加及び／又は間接印加を行う。この計画には次のものを含むことが望ましい。

- － EUT の代表的動作条件
- － EUT は卓上形又は床置形のいずれで試験することが望ましいか
- － 放電を印加する箇所
- － 各々の箇所は、接触放電又は気中放電のいずれを適用するか
- － 適用する試験レベル
- － 適合試験では、各々の箇所の放電回数
- － 設置後試験の適用の有無

試験計画の幾つかの条件を決定するため、何回かの予備試験が必要な場合がある。

注記 1 測定の不確かさを求める必要がある場合、**附属書 E** を参照する。

注記 2 試験結果にばらつきがある場合、違いの原因を特定する手順を**附属書 F** に示す。

8.3.2 EUT に対する直接印加

共通規格、製品規格又は製品群規格で規定がない限り、ESD は、人が通常の使用状態で接触可能な EUT の点又は表面に対してだけ行う。次に示す箇所には適用しない(すなわち、それらの箇所には放電しない。).

a) 保守中にしか接触しない点及び表面。この場合、特別の ESD 試験の緩和措置を、製品に添付する文書

で明示する。

- b) 使用者が点検中にしか接触しない点及び表面。これらの通常接触しない点の例として、電池交換中の電池接点、留守番電話機のカセットなどがある。
- c) 据付固定後又は設置の指示に従った後では接触しない装置の点及び表面。例えば、装置の底面、壁側、装着したコネクタで覆われる部分など。
- d) 金属のコネクタシェルがある同軸及び多芯コネクタの接点。この場合、接触放電は、コネクタの金属シェルだけに適用する。非導電性コネクタ（例えば、プラスチックシェル）で、人体が接触できる接点は、気中放電試験だけ行う。この試験は、ESD 発生器の先端が丸い放電電極を用いて行う。

一般的に、表 4 に示す六つの事例が考えられる。

表 4—コネクタに ESD を適用する事例

事例	コネクタシェル	カバーの材質	気中放電の印加箇所	接触放電の印加箇所
1	金属	なし	—	シェル
2	金属	絶縁	カバー	接触可能なシェル
3	金属	金属	—	シェル及びカバー
4	絶縁	なし	a)	—
5	絶縁	絶縁	カバー	—
6	絶縁	金属	—	カバー
注記 カバーがコネクタ接点の ESD 保護を目的としている場合、ESD 警告ラベルをカバー又は装置のコネクタの近くに付けることが望ましい。				
注 a) 非導電性コネクタの個々の接点ピンに対する試験を、製品規格又は製品群規格で規定する場合、気中放電を適用する。				

- e) 機能的な理由によって ESD に敏感なコネクタの接点又は、ESD 警告ラベルがあるその他の接触可能な部分。例えば、測定、受信又はその他の通信機能からの高周波入力部。

注記 1 多くのコネクタポートは、アナログ又はデジタルのいずれであっても、高周波信号を取り扱うように設計している。したがって、十分な過電圧保護装置を付加することができない。アナログの信号の場合、帯域通過フィルタによって解決する場合がある。過電圧保護ダイオードは、多くの浮遊容量をもつため EUT が動作する周波数領域では、使用できない。

a)～e) の場合は、製品に添付する文書に ESD を緩和する特別な手順を示すことが望ましい。

最大試験レベルは、装置を破損しないように製品仕様の値を超えないことが望ましい。

試験は、単一放電で行う。あらかじめ選択した点に対して（最も敏感な極性で）10 回以上の単一放電を行う。

注記 2 最小の放電回数は、EUT に依存する。同期回路を含む製品の放電回数は、多くすることが望ましい。

連続した単一放電の時間間隔は、最初は 1 秒を推奨する。システムの障害の発生を確認するのに、より長い時間間隔が必要になる場合がある。

注記 3 放電点の選定は、1 秒に 20 回以上の繰返し率で実施した放電による事前調査によって決定してもよい。

ESD 発生器は、可能な場合、放電する表面に対して直角に設定する。これによって試験結果の再現性が改善される。ESD 発生器を放電する表面に対して直角にできない場合は、放電を実施した試験状態を、試験報告書に記録する。

ESD 発生器の放電リターンケーブルは、放電している間、EUT から 0.2 m 以上離し、試験者が手で持つてはならない。

接触放電の場合、ESD 発生器の放電スイッチを動作させる前に、放電電極の先端を EUT に接触させる。導電材料の表面が塗装されている場合、次の手順で試験を行う。

製造業者によって、EUT が絶縁塗装されていると明示されていない場合は、とがった放電電極で塗膜を貫通させ、導電材料に電極を接触させる。製造業者によって、絶縁塗装が明示されているときは、気中放電だけを行う。そのような表面には、接触放電を実施しない。

気中放電試験の場合、放電スイッチは閉とする。ESD 発生器の放電電極を、できるだけ速く EUT に接近及び接触させる。このとき、機械的な損傷を与えないように注意する。放電終了後、ESD 発生器（放電電極）は、EUT から離す。新たな単一放電を行うために、ESD 発生器の放電スイッチを再度、閉にする。この手順は、必要な放電回数が完了するまで繰り返し行う。

8.3.3 EUT に対する間接印加

8.3.3.1 EUT の近傍の物体への放電

EUT の近傍に配置又は据え付けられた物体への放電は、接触放電モードで ESD 発生器を結合板に印加することによって模擬する。

8.3.2 に規定する試験手順に加え、8.3.3.2 及び 8.3.3.3 も適用する。

8.3.3.2 HCP

HCP への印加は、HCP の端面に対して水平方向から行う。（可能な場合）EUT の各ユニットの前面の中央に対向する 0.1 m の距離の HCP の端面に、（最も敏感な極性で）10 回以上の単一放電を行う。放電の間、放電電極は、HCP の前面の端面に対して直角にする（図 4 参照）。

ESD 発生器の放電スイッチを動作させる前に、放電電極を HCP の端面に接触させる。

注記 製品規格では、この試験を EUT の全ての面に要求する場合がある。

8.3.3.3 VCP

VCP は、寸法 0.5 m×0.5 m とし、EUT から 0.1 m のところに EUT に平行に配置する。VCP の垂直な端面の中央に対し、（最も敏感な極性で）10 回以上の単一放電を行う（図 4 及び図 5 参照）。

EUT 面が寸法 0.5 m×0.5 m より大きい場合、EUT 面を完全に照射するように、位置を変えて結合板に放電する。EUT の各面に対して印加する。

9 試験結果の評価

試験結果は、EUT の機能損失又は性能低下の観点から、その装置の製造業者、又は試験の依頼者によって定義された、又は製品の製造業者と購入者との間の協定によって合意された性能レベルと比較して分類する。推奨する分類を、次に示す。

- a) 製造業者若しくは試験の依頼者、又は購入者が指定する仕様限度内の正常な性能。
- b) 妨害がなくなった後に消滅する一時的な機能損失又は性能低下。操作者が介在することなく EUT が正常な性能に自己復帰する。
- c) 操作者の介在が必要な、一時的な機能損失又は性能低下。
- d) ハードウェア又はソフトウェアの破壊による修復不可能な機能損失若しくは性能低下、又はデータの損失。

EUT への影響のうち、重要ではないとみなす、許容できる影響を、製造業者の仕様書に指定してもよい。

この分類は、共通規格、製品規格及び製品群規格の原案作成委員会で性能基準を規定するときの指針と

して、又は適切な共通規格、製品規格及び製品群規格が存在しない場合の製造業者と購入者との間で性能基準に対する合意を行うための枠組みとして用いてもよい。

10 試験報告書

試験報告書は、試験を再現するために必要な全ての情報を含む。特に次の事項を記録する。

- 箇条 8 で要求する試験計画によって規定する項目。
- EUT 及び関連装置の識別。例えば、商標、製品形式、製造番号。
- 試験装置の識別。例えば、商標、製品形式、製造番号。
- 試験を行った特別な環境条件。例えば、遮蔽きょう体。
- 試験を行うために必要な特別な条件。
- 製造業者と試験の依頼者又は購入者との間で指定する性能レベル。
- 共通規格、製品規格又は製品群規格で規定する性能基準。
- 静電気の印加中又は印加後に観測した EUT への全ての影響、及びこれらの影響が持続した期間。
- 合否判定の根拠（共通規格、製品規格若しくは製品群規格で規定する性能基準、又は製造業者と購入者との間で合意した性能基準に基づく。）。
- 装置の取扱いにおける特定の条件。例えば、適合するために必要なケーブルの長さ、形式、遮蔽若しくは接地、又は EUT の動作条件。
- 気象条件。
- 試験セットアップ及び EUT の配置図及び／又は写真。

附属書 A (参考)

ESD 及び ESD 試験に関する注釈

A.1 一般的考察

ESD から装置を保護する問題は、製造業者及び使用者の双方にとってかなり重要になってきた。

マイクロエレクトロニクス素子が広く使用されることによって、装置及び／又はシステムの信頼性を向上するために、問題点を明確にし、解決方法を見いだすことの必要性が高まってきている。

静電気の蓄積及びそれに続いて起こる放電の問題が、管理されていない環境、並びに装置及びシステムの広範囲な応用に多くの関連をもつようになってきた。

人体から近接物体への放電が起こると、装置は電磁エネルギーを受ける。さらに、装置の近くの、例えば、椅子又は机のような金属物体間でも放電が起こる。この規格に規定した試験は、後者の現象の影響も十分に模擬できるとみなされている。

操作者からの放電は、装置の単純な誤作動及び電子素子の破損につながる。それに影響する主なものは、放電電流のパラメータ（立上り時間、継続時間など）である。

このような問題についての知識、及び ESD による装置への望ましくない影響を防ぐための手段をもつ必要性から、この規格で規定する試験手順の開発が進められた。

A.2 帯電レベルに対する環境条件の影響度

静電気は、合成繊維と乾燥した空気との組合せで、特に起こりやすい。帯電する過程は、多くの形態がある。一般的な例としては、操作者がカーペットの上を歩くとき、一步ごとに電子が人体からカーペットに失われ、又は加えられる。また、操作者の衣服と椅子との間の摩擦によっても電荷の交換が起こり得る。操作者の身体は、直接又は静電誘導によって帯電する。後者の場合は、操作者を適切に接地していない限り、導電性カーペットでは保護されない。

図 A.1 のグラフは、種々の繊維が相対湿度の違いによって帯電する電圧値を示す。合成繊維の種類と環境の相対湿度とによって、装置は数 kV もの電圧の放電に直接さらされることがある。

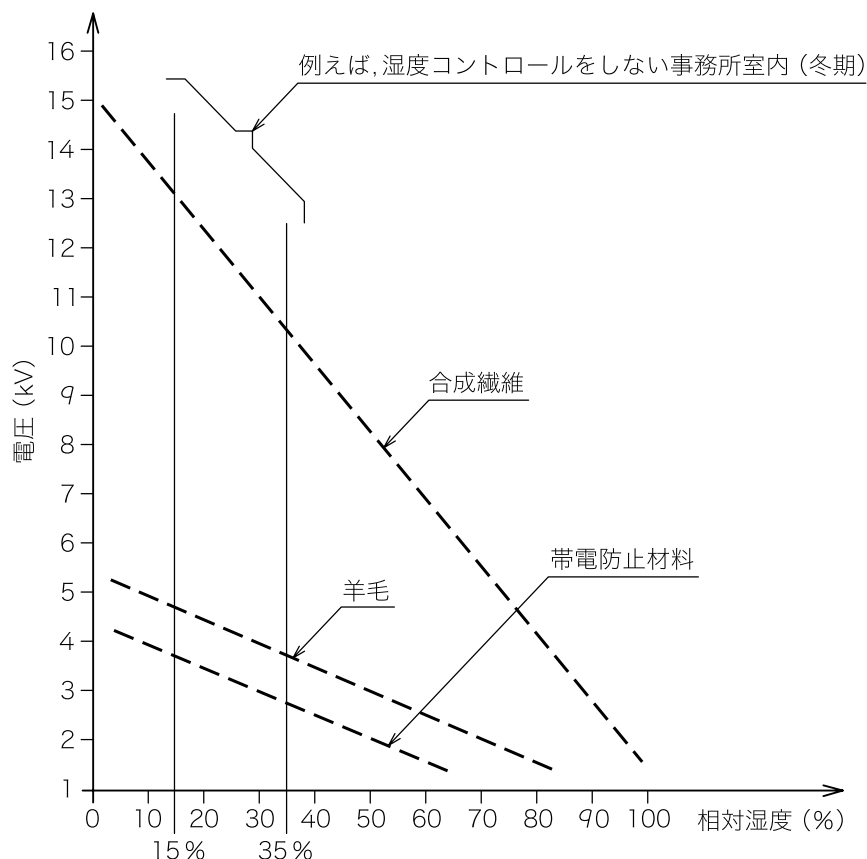


図 A.1-A.2 で記載する材料に操作者が接触するときに帯電する静電気電圧の最大値

A.3 放電電流と環境条件との関係

従来、通常の使用環境で発生する静電気電圧を測定し、その値によってイミュニティ要求事項を規定する量として適用してきた。しかし、エネルギーの移動は、放電前の静電気の電圧ばかりでなく、放電電流の関数であることが明らかになってきた。さらに、より高電圧では、放電電流は、放電前の電圧にほとんど比例しないということも分かってきた。

放電前の電圧と放電電流とが比例しないことに対する妥当な理由は、次のとおりである。

- 帯電電圧が高くなるに従い、通常アーク放電路が長くなる。これによって立上り時間が遅くなり、スペクトラムの高周波の成分が少なくなる。
- 通常の電荷発生現象では、電荷量は一定であるとみなせるので、高い帯電電圧は、小さい静電容量において発生しやすい。その逆に、大きな静電容量に高い電圧を帯電させるには、何回もの電荷発生を必要とする。しかし、これは通常起こりにくい。すなわち、通常の使用環境では、帯電エネルギーは高い帯電電圧で一定になりやすいことを意味する。

上記の結果によって、通常の使用環境でのイミュニティ要求事項は、放電電流の大きさという項目で規定することが必要である。

この考え方の認識によって、試験機器の設計は容易となる。試験機器の帯電電圧と放電インピーダンスとの釣合いを考慮して選択することによって、必要とする放電電流値が達成できる。

A.4 試験レベルの選択

試験レベルは、最も現実に則した設置及び環境条件に基づいて選択することが望ましい（表 A.1 参照）。

表 A.1—試験レベルの選択指針

クラス	最低相対湿度 %	帯電防止材料	合成繊維材料	最大電圧 kV
1	35	×	—	2
2	10	×	—	4
3	50	—	×	8
4	10	—	×	15

推奨する設置及び環境のクラスは、箇条 5 で規定する試験レベルに関連する。

幾つかの材料に対して、例えば、木材、コンクリート及びセラミックスの場合、推定するレベルは、レベル 2 以下である。

特定の環境に対して適切な試験レベルの選択を考えると、ESD 効果の重要なパラメータを理解することが重要である。

最重要パラメータは、放電電流の変化率と想定され、これは、帯電電圧、ピーク放電電流及び立上り時間の様々な組合せによって得られる場合がある。

例えば、15 kV の合成繊維の環境に対して要求する ESD 放電ストレスは、この規格に規定する ESD 発生器の接触放電を用いた 8 kV・30 A のクラス 4 試験によって十分に包含できる。

しかし、非常に乾燥した環境での合成繊維では、15 kV よりも高い電圧が発生する。

絶縁表面をもつ装置を試験する場合、15 kV までの電圧の気中放電試験を適用してもよい。

A.5 試験ポイントの選定

試験ポイントの例として、次のような箇所に印加することが望ましい。

- グラウンドから電氣的に絶縁しているキャビネットの金属部分。
- 操作部又はキーボード部、並びにスイッチ、ノブ、ボタン、表示器、LED、スロット、グリル、コネクタカバー及びその他の操作者が触れることのできるマンマシンインターフェース部の全ての箇所。

A.6 接触放電試験のための技術的根拠

一般に、気中放電法の再現性は、例えば、放電電極の接近速度、湿度及び ESD 発生器の構造によって影響を受けるため、パルスの立上り時間及び放電電流の大きさにばらつきをもたらす。

気中放電試験では、放電電極は、EUT の面でスパークギャップを形成し、蓄積コンデンサの電荷を放電電極を通して EUT に放電することで ESD 現象を模擬する。

スパークは、非常に複雑な物理現象である。移動するスパークギャップの場合、放電電流の立上り時間（立上り勾配）は、接近速度の変化に伴い 1 ns 未満から 20 ns を超える範囲まで変化する。

接近速度を一定にしても、立上り時間は一定にならない。電圧及び速度の組合せによって、立上り時間は、30 倍まで変化する。

注記 高電圧の気中放電は、多重放電が発生することがある。

繰返し可能な高速立上り放電電流を得るための放電スイッチとして、リレーが一般に知られている。リ

レーは、十分な耐電圧をもち、(立上り部分での二重放電を避けるため) 単一接点であることが望ましい。より高い電圧については、真空リレーが有効である。リレーを放電スイッチとして用いることは、放電波形の立上り部分の再現性があるばかりでなく、実際の EUT による試験結果も、より再現性をもつことが経験的に分かっている。

このため、リレー駆動の ESD 発生器は、(振幅及び立上り時間を) 規定した電流パルスが発生する装置である。

この電流は、A.3 に記載した実際の ESD 電圧と関連する。

A.7 ESD 発生器の定数の選択

ESD 発生器の定数として、人体の静電容量に相当する蓄積静電容量を使用する。この目的に適合した値として、150 pF を標準値とした (図 1 参照)。

330 Ω の抵抗は、鍵、道具などの金属部を持った人体の抵抗を代表するものとして選択した。この金属から放電する条件は、実際の人体放電を代表することに対して十分厳しいといえる。

A.8 ESD 発生器仕様の理論的根拠

実際の EUT に ESD 試験を行う場合、試験結果の再現性が異なる原因として多くの理由が挙げられる。試験セットアップ、校正法などをこの規格で考慮及び提案している。

ESD 発生器の仕様の変更も考慮したが、この規格には盛り込まなかった。その決定の理論的根拠の概要は次のとおりである。

ESD 発生器仕様に関して、再現性に関する問題の原因として次の二つの潜在的な技術的要素が挙げられる。

- ー ESD 発生器放電電流波形のうち、最初のピーク後の電流波形、すなわち 2 ns～60 ns 間の電流波形
- ー EUT に ESD を印加した場合の発生器からの電界放射。

一つ目の要素については、図 2 の理想電流波形に対して 2 ns～60 ns 間で±35 %の許容差を設定し、かつ、立下り波形については、最初のピーク電流値の 60 %の電流時におけるパルス幅を (2.5±1) ns とする仕様を検討した。

実際の EUT を用いて、5 社の ESD 発生器製造業者の JIS C 61000-4-2:1999 の仕様に適合する ESD 発生器及び上記の改造仕様を検討した 2 種類の ESD 発生器を用意して、合わせて 10 台の ESD 発生器によってラウンドロビンテストを実施した。

ESD 発生器のラウンドロビンテストの結果概要は、次のとおりであった。

- ー それぞれの ESD 発生器間で、EUT に影響したと考えられる試験レベルに差があった。
- ー 放電波形の仕様変更によって、時間領域及び周波数領域の両方で、放電電流波形のばらつきが改善された。
- ー しかしながら、実際の EUT での試験結果の再現性では、仕様変更した電流波形は顕著な改善という結果には至らなかった。

二つ目の要素も検討したが、このことが再現性問題のパラメータである保証がないため、追加のラウンドロビンテストを行う必要がある。EUT への電界放射の影響を定量化し、試験結果の再現性に影響する関連した要因を理解するためには、かなりの技術的研究が必要となる。

ここに記載の検討事項は、試験の再現性を改善するとみなせる。この規格の将来の改正のために、再現性において、電界放射の影響の推定には、更なる調査が必要であると言える。

附属書 B (規定)

電流測定システムの校正及び放電電流測定

B.1 同軸電流ターゲットの仕様－入力インピーダンス

ESD 発生器の放電電流の測定には、同軸電流ターゲット（以下、ターゲットという。）（附属書 C 参照）を用いる。ターゲットの内部電極とグラウンドとの間を測定した入力インピーダンスは、直流において $2.1\ \Omega$ を超えてはならない。

注記 1 ターゲットは、完全グラウンドプレーン（インピーダンスが $0\ \Omega$ ）に流れる ESD 電流を測定することを仮定している。完全グラウンドプレーンのインピーダンスとターゲットの入力インピーダンスとの差によって起こる誤差を最小限にするために、入力インピーダンスは、 $2.1\ \Omega$ の上限値を設けた。しかし、ターゲットの入力インピーダンスが極めて低い場合、出力信号が非常に小さくなり、ケーブル及びオシロスコープに結合するノイズによって誤差が大きくなることもある。さらに、非常に低い抵抗値の場合、寄生インダクタンスが無視できなくなる。

注記 2 直流又は低周波においては、入力インピーダンス及び伝達インピーダンス Z_{sys} (B.3 参照) は、高い精度で測定できる。

B.2 ターゲットの仕様－挿入損失

B.2.1 測定チェーン（連鎖）

ターゲットの挿入損失の仕様を規定する代わりに、ターゲット・減衰器（アッテネータ）・ケーブルから成る測定チェーンの挿入損失の仕様を規定する。減衰器の減衰比は、 $20\ \text{dB}$ 以上とする。各々の要素を個別に扱う代わりに、測定チェーン及びオシロスコープだけで必要な特性付けを行うことによって、測定システムの特性を簡略化できる。

ターゲット・減衰器・ケーブルから成る測定チェーンの挿入損失は、次の値を超えてはならない。

$1\ \text{GHz}$ 以下の場合、 $\pm 0.5\ \text{dB}$,

$1\ \text{GHz}$ を超え $4\ \text{GHz}$ 以下の場合、 $\pm 1.2\ \text{dB}$

挿入損失の公称値 S_{21} は、次の式で表す。

$$S_{21} = 20 \log \left(\frac{2Z_{\text{sys}}}{R_{\text{in}} + 50} \right)$$

ここに、

S_{21} : 挿入損失の公称値 (dB)

R_{in} : $50\ \Omega$ 負荷時のターゲット・減衰器・ケーブルから成る測定チェーンの直流入力インピーダンス (Ω)

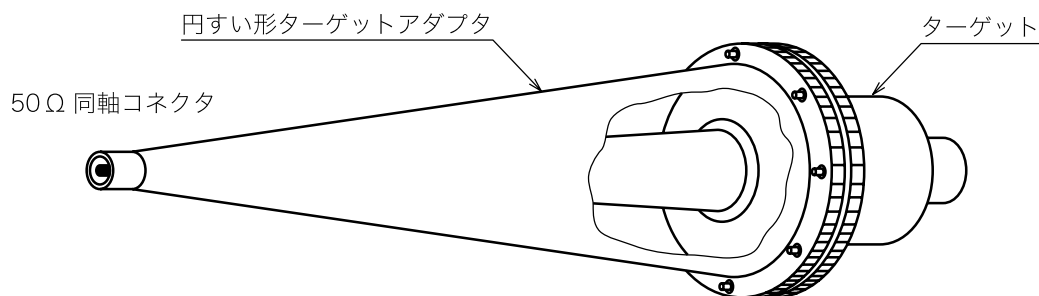
Z_{sys} : 入力インピーダンス及び伝達インピーダンス (Ω)

注記 1 直流入力インピーダンスの校正、及びより複雑な挿入損失測定の校正は、異なる頻度で実施することができる。仮に、同じケーブル及び減衰器を使用し、かつ、他のいかなる兆候（例えば、コネクタの緩み又は破損）を示さない限り、直流入力インピーダンス測定を繰り返した結果の値と最初の測定値との差が $1\ \%$ 未満の場合、操作者はターゲット・減衰器・ケーブルから成る測定チェーンの挿入損失が変化していないとみなしてもよい。

注記 2 ターゲット・減衰器・ケーブルから成る測定チェーンは、常に一つの構成要素とみなすことができる。一つの部品を交換するか、又は一度解体して組み立て直したときには、直ちに、仕様を満足していることを確認するため、測定チェーン全体で再校正が必要となる。

B.2.2 ターゲットアダプタ

50 Ω 同軸ケーブルをターゲットの入力面に接続するために、ターゲットアダプタを用いる (図 B.1 参照)。ターゲットアダプタは、同軸コネクタの直径からターゲットの直径へと、幾何学的になだらかに広がっている。“ d ” と “ D ” (図 B.2 参照) との直径比から計算するインピーダンスが 50 Ω に等しくないようにターゲットが作られている場合、ターゲットアダプタの内部導体の外径とターゲットの内部電極の直径とが等しくなるように、ターゲットアダプタを作らなければならない。インピーダンスは、円すい形の接続線内部を満たす材料 (代表的には空気) の誘電率を用いて計算する。ターゲットアダプタのインピーダンスは、4 GHz 以下の周波数帯域で (50 \pm 1) Ω を維持するようにする。向かい合わせて置く二つのターゲットアダプタの反射減衰量は、1 GHz 以下で 30 dB 以下、1 GHz を超え 4 GHz 以下の範囲で 20 dB 以下であり、かつ、挿入損失は 4 GHz 以下で 0.3 dB とする。



注記 円すい形でなくてもよい。

図 B.1—ターゲットアダプタをターゲットに取り付けた例

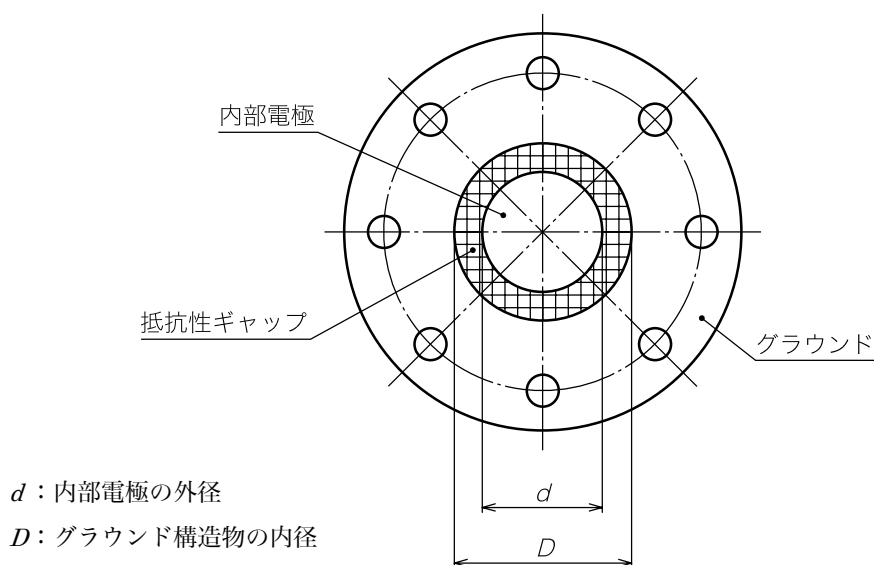
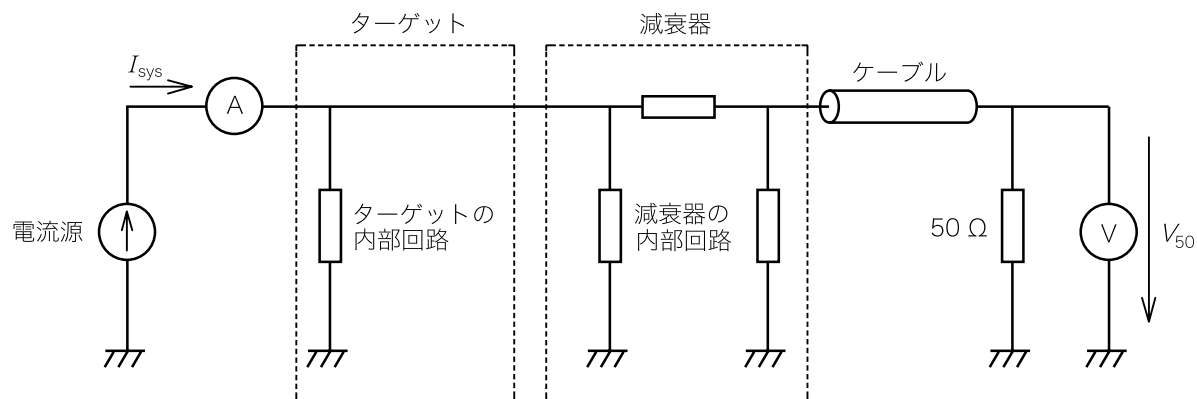


図 B.2—ターゲットの前面形状の例



注記 ターゲットの内部回路は、一例である。その他の内部回路でもよい。

図 B.4—低周波システム伝達インピーダンスを決定する回路図

ターゲット・減衰器・ケーブルから成る測定チェーンの低周波システム伝達インピーダンスは、次によって決定できる。

- 約 1 A の電流 I_{sys} をターゲットの前面に注入する。ESD 発生器の放電電極先端が接触する側を、前面とする。
- 発生器校正の要となる値である Z_{sys}
- 最大許容差 $\pm 1\%$ の $50\ \Omega$ 負荷に発生した測定電圧値 V_{50}
- 伝達インピーダンスの計算式

$$Z_{\text{sys}} = \frac{V_{50}}{I_{\text{sys}}}$$

注記 熱起電力による電圧が結果に影響していないことを立証するために、正及び負の電流を測定するとよい。二つの結果は、0.5 %未満となることが望ましい。

ターゲット・減衰器・ケーブルから成る測定チェーン全体の低周波システム伝達インピーダンスを決定するために、他の方法を用いてもよい。

B.4 ESD 発生器の校正

B.4.1 校正結果

ESD 試験において、校正結果は、極めて重要となる。様々な製造業者の ESD 発生器を使用して試験する場合、又は試験が長期間にわたる場合は、特に重要となる。評価においては、再現性が重要となる。ESD 発生器は、認定された品質保証システムにおいて規定した期間で校正する。

注記 この附属書の手順は、校正を目的としている。試験前の ESD 発生器立証のための各種の手順を 6.3 に示す。

ESD 発生器の校正は、8.1.2 で規定する気象条件で行う。

B.4.2 ESD 発生器校正に用いる装置

ESD 発生器を校正するために必要な装置は、次による。

- 十分な帯域幅 (2 GHz 以上のアナログ帯域幅) があるオシロスコープ。
- ターゲット・減衰器・ケーブルから成る測定チェーン。
- 15 kV 以上の電圧を測定できる高電圧計。電圧計の負荷を避けるために、静電電圧計を使用してもよい。

い。

- － ターゲットを取り付けた中心から各辺まで 0.6 m 以上ある垂直校正板（図 B.5 参照）。
- － 要求事項に対して十分な電力容量がある減衰器。

注記 適切なターゲットの例は、附属書 C を参照。

B.4.3 ESD 発生器の接触放電における校正手順

ターゲットは、B.4.2 を満足する垂直校正板の中央に取り付ける。ESD 発生器の放電リターンケーブルは、ターゲットの真下 0.5 m の位置に接続する。放電リターンケーブルは、二等辺三角形を形成して、ケーブルの中央を後方に引く。校正中に放電リターンケーブルは、床に接触してはならない。

ESD 発生器の電流波形が仕様内にあることを確認するために、表 B.1 に示す手順に従う。電流波形を記録し、次の値を測定する。

I_p : 放電電流のピーク値 (A)

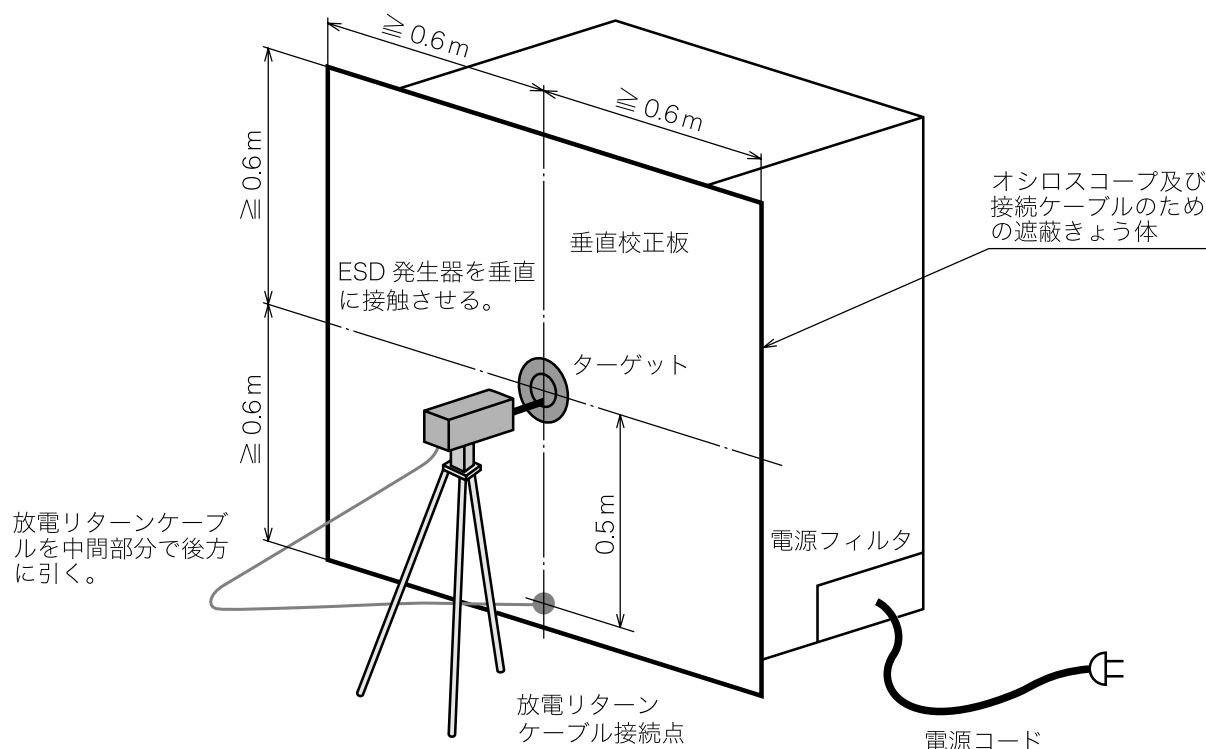
I_{30} : I_p の 10 % に達した時点から 30 ns 後の電流値 (A)

I_{60} : I_p の 10 % に達した時点から 60 ns 後の電流値 (A)

t_r : 電流の立上り時間 (ns)

表 B.1－接触放電における校正手順

順番	項目	手順	説明
1	波形記録	表 1 で規定した各試験レベルを両方の極性で 5 回放電し、各波形を記録する。	仕様は全て 5 回放電に合わせる。
2	測定	各波形の I_p , I_{30} , I_{60} 及び t_r を測定する。	パラメータは各試験レベルで確認する。
3	30 ns 点での電流確認	I_{30} が表 3 に従った値であることを確認する。	パラメータは各試験レベルで確認する。 例えば、試験レベル 1 のときは、 $4 A \pm 30 \%$ となる。
4	60 ns 点での電流確認	I_{60} が表 3 に従った値であることを確認する。	パラメータは各試験レベルで確認する。 例えば、試験レベル 1 のときは、 $2 A \pm 30 \%$ となる。
5	最大電流確認	I_p が表 3 に従った値であることを確認する。	パラメータは各試験レベルで確認する。 例えば、試験レベル 1 のときは、 $7.5 A \pm 15 \%$ となる。
6	立上り時間確認	t_r が $0.8 ns \pm 25 \%$ となることを確認する。	パラメータは各試験レベルで確認する。



注記 1 ESD 発生器を、非金属で低損失な三脚又は支持台に設置する。

注記 2 試験時と同様に、ESD 発生器に電源を供給する。

注記 3 この図とは逆に、ESD 発生器及びターゲットを遮蔽きょう体の中に設置してもよい。

図 B.5—ESD 発生器の校正の代表的な配置例

ESD 発生器からの電磁放射による測定システムへの間接結合が、校正結果に影響しないことを証明できる場合、オシロスコープの遮蔽は不要とする。

次の場合に、オシロスコープのトリガーが動作しないとき、測定システムは十分な耐性をもっている（すなわち、遮蔽きょう体は不要）と判断できる。

- オシロスコープのトリガーレベルを最も低い校正レベルの 10 %以下に設定する。
- ターゲットの（内側の電極の代わりに）外部導体に ESD 発生器を接触させ、最大校正レベルにして放電する。

附属書 C (参考)

附属書 B の要求事項に適合するターゲットの例

附属書 B の要求事項に適合するターゲットの詳細構造を図 C.1～図 C.5 に示す。このターゲットは、長さ 1 m の同軸ケーブル (RG400) を使用した場合、平坦な挿入損失特性を示すように設計している。多重反射を防ぐために、20 dB 以上の減衰器をターゲットの出力ポートに直接接続することを推奨する。

注記 図 C.1～図 C.5 は一例であるので、寸法の許容差は指定していない。

単位 mm

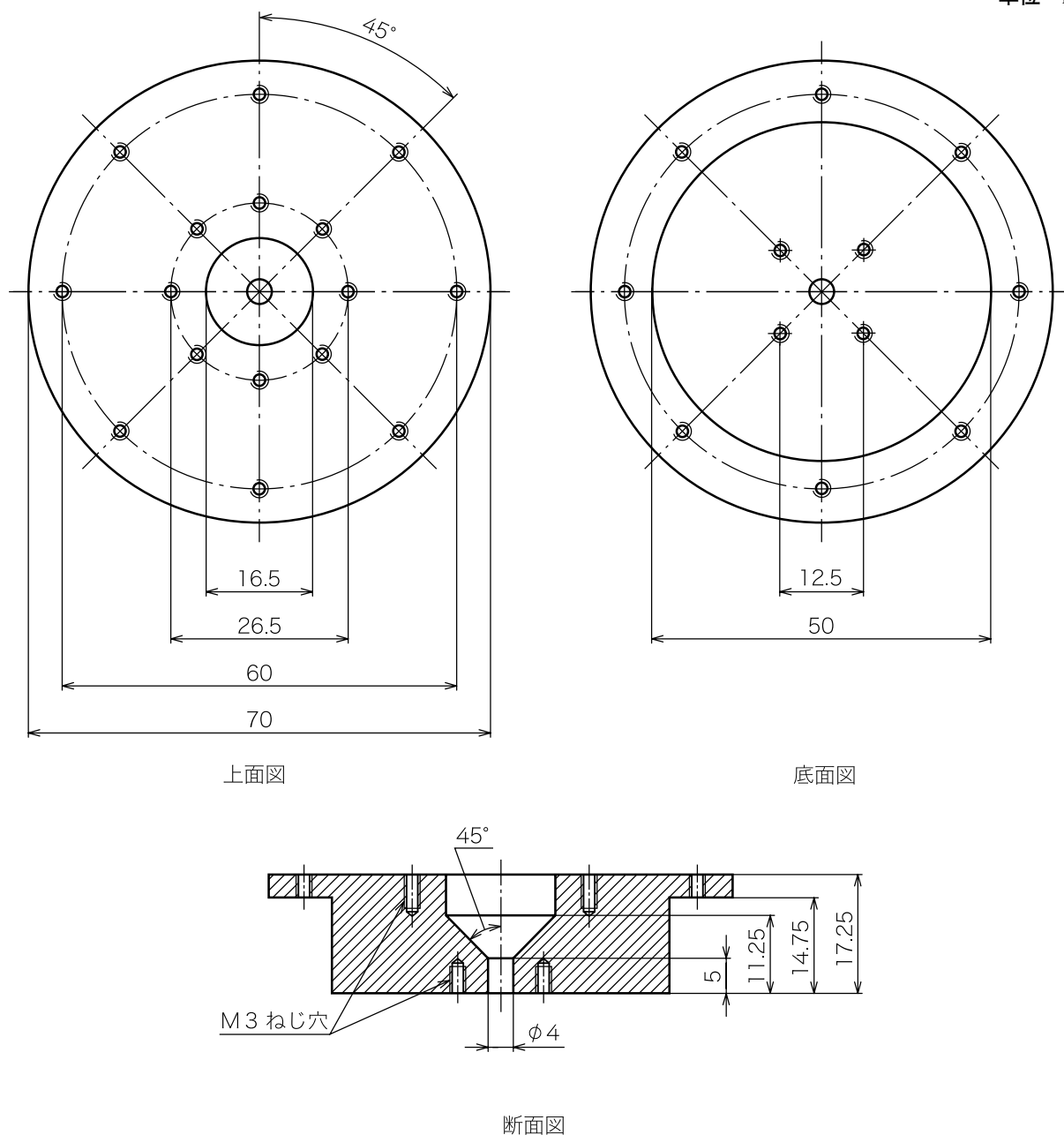
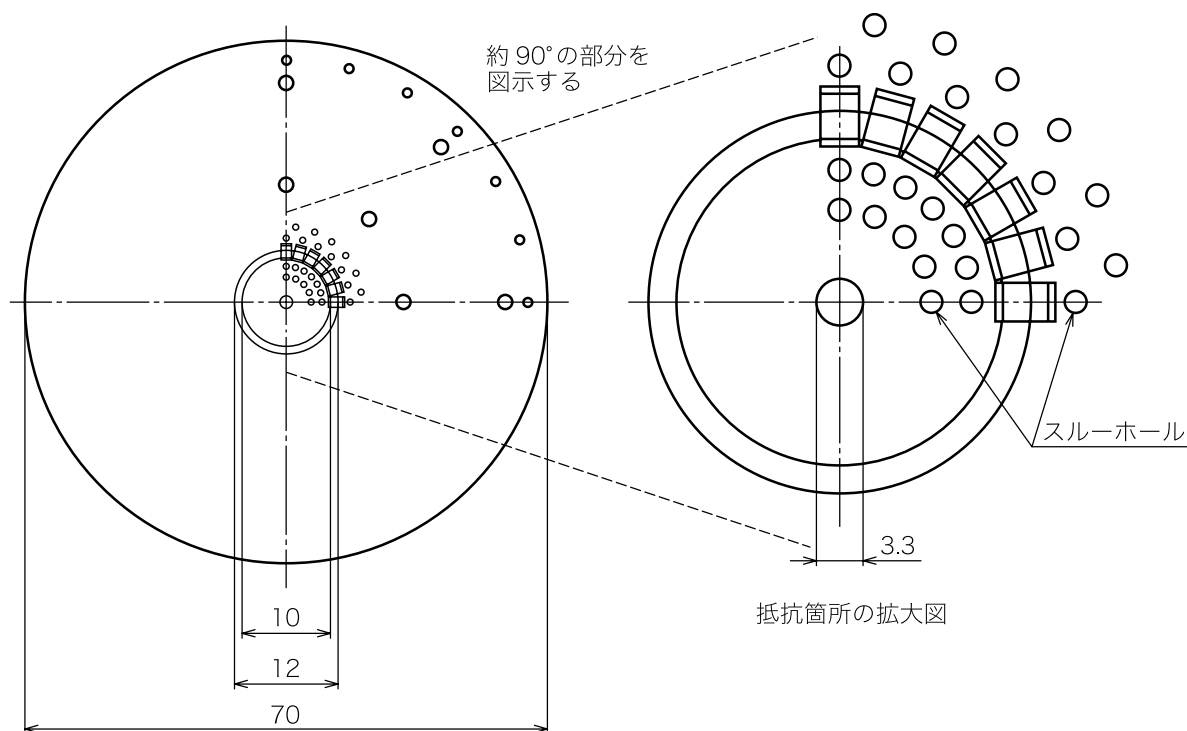


図 C.1—ターゲットの構造図 (1/5) (① 真ちゅう製の本体部品)

単位 mm



チップ抵抗 : 0805

抵抗値 : 例えば 51 Ω

配置 : テンプレートを用いて正確に放射状に配置してはんだ付け

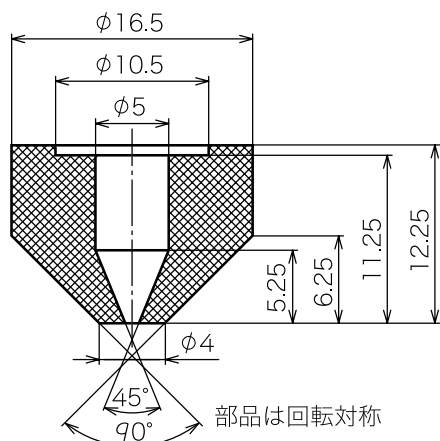
材料 : 0.5 mm FR-4 金めっき

スルーホール : 抵抗の両側それぞれに 2 列のビアホール, 及びプリント基板の外縁に近い部分に 1 列のスルーホールを設ける。約 25 個の抵抗が必要になる。

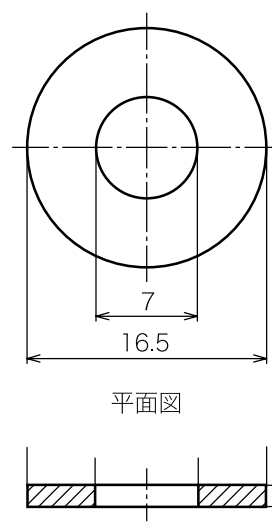
注記 合成抵抗値が 2.1 Ω 以下となるように, 抵抗値及び個数を選択する必要がある。

図 C.2-ターゲットの構造図 (2/5) (② プリント基板)

単位 mm



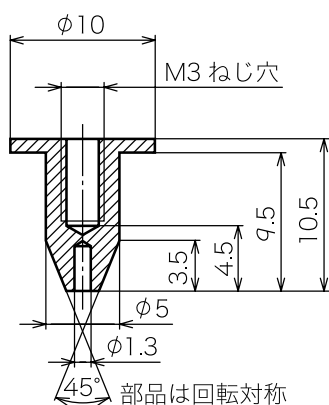
③ ポリテトラフルオロエチレン (PTFE) 製の絶縁部品 I



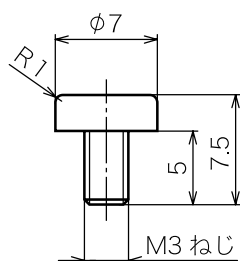
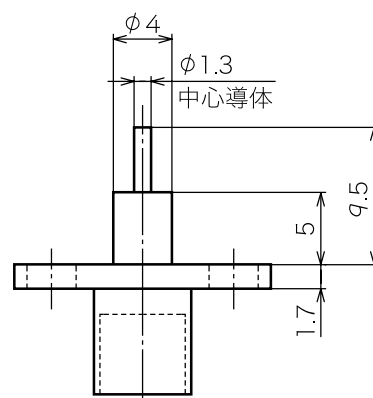
平面図

断面図

④ PTFE 製の絶縁部品 II

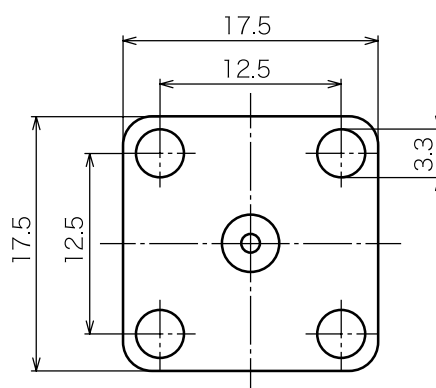


⑤ 真ちゅう製の中心導体部品 I



部品は回転対称

⑦ ステンレス製の中心導体部品 II



N 形コネクタで代用できる

⑥ SMA コネクタ

図 C.3—ターゲットの構造図 (3/5)

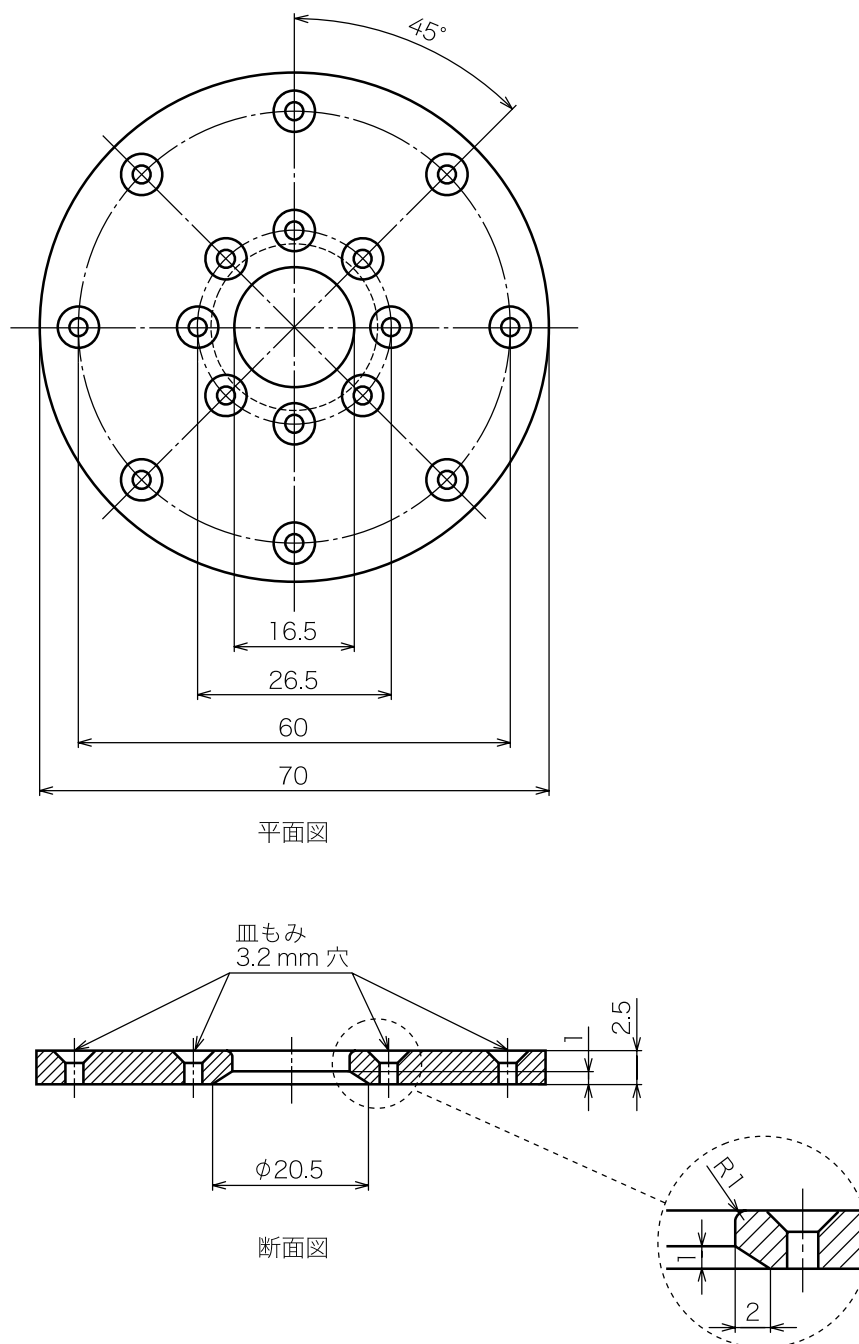


図 C.4—ターゲットの構造図 (4/5) (⑧ ステンレス製のカバー部品)

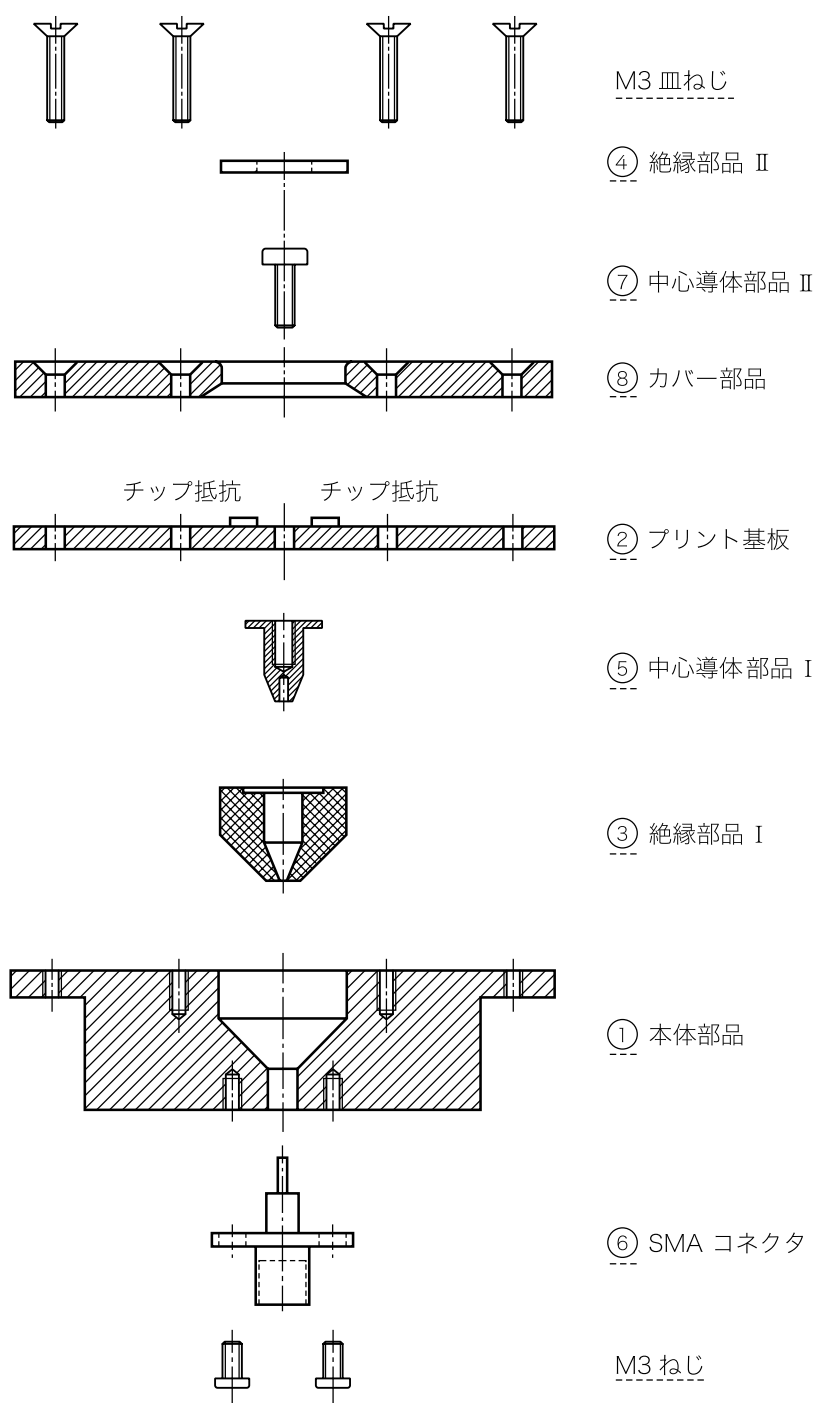


図 C.5-ターゲットの構造図 (5/5)

附属書 D (参考)

人体と金属との間の放電及び ESD 発生器からの放電による放射電磁界

D.1 意図的及び意図的でない電磁界を引き起こす過程に関する概説

D.1.1 一般

この規格及びそれ以前の版で規定した電流波形では、人体（手持ちの小さな金属を経由）からの ESD を扱う。人体からの放電は、ESD 発生器からの放電と同様に、強電磁界を発生する原因となる。

D.1.2 で人体による放電のプロセスを概説し、D.1.3 で ESD 発生器によって起こるプロセスを概説する。

D.1.2 人体による ESD

人体から EUT への ESD 現象では、次の現象が連続して生じる。

- a) 手持ちの金属部分が EUT の金属表面に近接して、電流が流れる前は、静電界が存在する。電流が流れず（又は僅かな電流が流れる。）、かつ、関連した磁界も存在しない。
- b) 手持ちの金属部分と EUT との間で放電が始まると、静電界は、両者のギャップ間で急降下する。ギャップ間電圧は、初期電圧から 50 ps～5 ns 程度で降下して約 25 V～40 V になる。降下時間は、アーク放電に関連するパラメータ、電圧などに依存する。この電界の初期降下は、強い過渡的な電磁界を引き起こす一連の現象の初期段階となる。
- c) 電流は人が持つ金属部分及び EUT に流れ始める。流れ始めの電流は、光速で面拡散し、約 0.8 ns 以内に、人の腕に達する。電流は、EUT 及び腕に拡散し続けることによって、EUT 及び人体の両方に電流密度の複雑なパターンを発生させ、放射及び抵抗によって、反射し減衰する。
- d) 放電プロセスが継続しているとき、電流の最も高い周波数成分は、主に放射によって急速に減衰する。時間の経過に従って、電流は滑らかに（すなわち、より少ない高周波成分で）流れ、最終的に、人体は EUT と新しい静電的な平衡状態に達する。しかし、人体が完全に放電する前に、アークが消えることがあるので、人体の残留電荷は、0 ではないこともあり得る。手及び金属物を更に EUT に近づけると、高速な立上りの 2 回目の ESD が、連続する ESD に導かれて低電圧で発生する（これは、低電圧で見られる特性である。）。
 - 最初の数 ns で最も妨害を引き起こす。
 - ESD の過渡的な電磁界は、アーク点から 10 cm の距離では遠方界になる。
- e) 各々の連続した放電では、手、人体又は EUT の幾つかの観測点に、放電前の電荷密度、放電段階での急速充電電流、及び放電後の僅かな残留電荷が観測される。
- f) アンテナ理論では、変化する電荷密度及び変化する電流が、電磁界放射を引き起こすことが知られている。極めて近傍では、直接電流及び電荷が電磁界を決定し、かつ、より遠方では、電流及び電荷の時間微分が電磁界を決定する。極めて近傍（近傍界）及びより遠方（遠方界）での電磁界との変遷領域は、より複雑となる。測定及びシミュレーションによって次のことが示されている。
 - 最初の数 ns で最も妨害を引き起こす。
 - ESD の過渡的な電磁界は、アーク点から 10 cm の距離では遠方界になる。
- g) 上記によって、電流及び電荷の時間微分値は、電子システムの異常（非破壊的誤作動）に関して極めて重要であることが明らかである。
- h) 人体放電においては、電流及び電荷の時間微分値は、アークにおける電圧の絶縁破壊時間によって決まることに注意することが重要である。したがって、放電時の電流立上り時間が、高周波成分を決定する。

上記によって、人体－金属 ESD の過渡電磁界は、ESD プロセスの重要な部分であることは明らかである。理想的な ESD 発生器は、それらを定量的な形で再現する。人体－金属 ESD の電磁界強度などは、よく知られている。

D.1.3 ESD 発生器

次のステップは、現状の ESD 発生器で起こるプロセスを解析し、比較することである。大部分の ESD 試験は、再現性上の理由で、放電電極先端を接触状態で実行するので、次の事項は、ESD 発生器の接触放電に限定する。

- a) ESD 発生器の放電電極先端は、(ほとんどの場合) EUT 接地部分に接触させる。
- b) 放電に先立って、ESD 発生器内でコンデンサに電荷が充電される。通常の設計では、充電プロセスによって、ほとんどの静電界は、ESD 発生器のコンデンサに閉じ込められている。その結果、放電前の近傍静電界は、同一電圧で充電された人体の同じ点で測定した静電界よりはるかに小さい。
- c) 放電は、ESD 発生器内部のリレーを閉じることによって開始する。この特殊なリレーの設計によっては非常に良い放電電流の再現性が得られるが、リレーは内部にあり、ESD 発生器が EUT に接触する点にはないので、放電電流の始まりは、人体 ESD と全く異なる。
- d) リレー接点での電圧の降下時間は、100 ps 未満と極めて速く、全ての方向及び全ての放電電極に接触した金属部、並びに近接した他の金属部分に、リレーからの電流の波が進行する。電流は光速（誘電体内は速度が落ちる）で伝搬する。この電流波形の立上り時間は、電圧の降下時間と等しい。
- e) 電圧の降下時間は、100 ps 未満であるが、この規格は、ターゲットに接触している点で測定した $0.8 \text{ ns} \pm 25\%$ の電流立上り時間を要求している。これを達成するために、リレー内の非常に短い立上り時間ではなく、この規格で規定している放電電極先端での立上り時間を実現する ESD 発生器を設計する。
- f) 過渡電磁界は、全ての電流の時間微分及び電荷密度の時間微分に起因する。ESD 発生器からの放電と、金属を持った人体からの放電との重要な相違点に注意する。人体の放電に対し、アーク電流の立上り時間は、最速のプロセスであり、それは過渡電磁界のスペクトルを決定する。しかしながら、接触放電における ESD 発生器では、高周波のスペクトルはリレー接点の電圧降下によって決まるため、放電電極先端における電流立上り時間によるものではない。
- g) ESD 発生器内で変化する全ての電流は、過渡電磁界の原因となるため、放電点における $0.8 \text{ ns} \pm 25\%$ の立上りの電流の発生とともに、ESD 発生器のリレー接点における 100 ps の立上りの電流によっても過渡電磁界が発生する。ESD 発生器におけるリレー接点での高速な現象による過渡電磁波は、一般に不要な電磁界である。放電点における同じ電流立上り時間及びピーク値をもつ等価な人体－金属放電による放射電磁界よりも高周波数成分が増加する。

上記によって、電流の高速な立上りによる過渡電磁界放射は、ESD 発生器の設計に大きく依存する。この電磁界の放射は、十分抑制される場合もあれば、ESD 発生器の過渡電磁界に影響を与える場合もある。ESD 試験中の誤作動が、使用する特定の ESD 発生器に強く依存する可能性については、この規格では規定していない。

D.2 ESD 試験に対する EUT の応答

ESD 試験中の広範囲な電氣的妨害に対する EUT の応答を試験する。その範囲には、次を含む。

- － 誘電体の絶縁破壊に対する電圧
- － 印加点から離れたギャップに対する二次絶縁破壊
- － 電圧降下 (RI drop) に対する電流

- － 誘導負荷による電圧降下 ($L di/dt$ drop) に対する磁界
- － 誘導電圧に対する電磁界 (電磁界は遠方界及び近傍界の双方があり得る。)

この観点から, ESD 試験は, これらの複数の試験を一つに集約することで放射電磁界試験 (EMS) とは異なる。

ESD 試験での異なる妨害による EUT の故障の幾つかの例を, 次に示す。

- － 集積回路 (IC) に対するダメージを引き起こすコネクタピンへの放電
この例では, IC 内で消費したエネルギー, 最大電流, 又は IC 内で移動する電荷は, ダメージのしきい値をほとんど決定する。
- － 火花が IC に到達可能なプラスチックきょう体内のギャップ間の放電
この場合, ESD 試験は, プラスチックの継ぎ目の間のギャップにおける誘電体の絶縁破壊強度を決定する。
- － シャーシの中にあるシステムが, 誤作動を引き起こす原因となる, シャーシへの放電
この例では, システムの IC との直接結合, 又はプリント基板配線若しくは配線と結合する ESD 現象の過渡電磁界のほとんどが, システムの論理機能を誤作動させるような電圧又は電流を発生させる。

ESD 発生器内の電流から電磁界への結合のメカニズムは, ある程度離れた距離 (例えば, 20 cm) でも, 電流時間微分の影響が強い。さらに, 電磁界と EUT の配線, プリント基板配線又は IC との間の結合は, 電界及び磁界の微分の関数である。要約すると, 電磁界発生及び誘導プロセスにおける時間微分は, 印加電流に寄与する。そのため放電電極での電流とは異なるパルス波形が生じ, かつ, プリント基板配線にはその電磁界によって誘導される別の電圧が発生する結果となる。配線内の誘導電圧は, 通常は規格で規定した初期 ESD 電流より一層狭い時間幅をもち, リンギングが現れることもある。

特定の ESD 発生器の設計では, 過渡電磁界 (特に 300 MHz を超える周波数領域でエネルギーをもつ電磁界成分) の依存性によって, プリント基板配線, 配線又は IC 内部の誘導電流が, その設計に強く影響を受けることを考慮する必要がある。このことは, 同じ EUT を異なる ESD 発生器で試験したとき, ESD 発生器の製造業者が, 放電リレー内の高速電圧降下による不要電磁界の発生を最小にするような予防措置を講じていない場合, 試験結果 (ほとんどの場合は, 破壊ではなく誤作動) は大きく変動することを意味する。主に 1 GHz 以上の高周波電磁界に対して EUT が敏感である場合にだけ, このような試験結果における違いが起こることに注意する。

D.3 ESD 関連現象の過渡電磁界

充電電圧 5 kV, 立上り時間 850 ps をもつ人体と金属との間の ESD 過渡電磁界を測定した。理想的な ESD 発生器は, 5 kV の接触モード試験に対し, それらの電磁界を再現する。データを取得するために, 広帯域 (1.5 MHz~1.5 GHz で ± 1 dB) の電磁界センサを, 放電ポイント (すなわち, 目標位置) から 0.1 m の距離にある垂直基準面上に設置した。

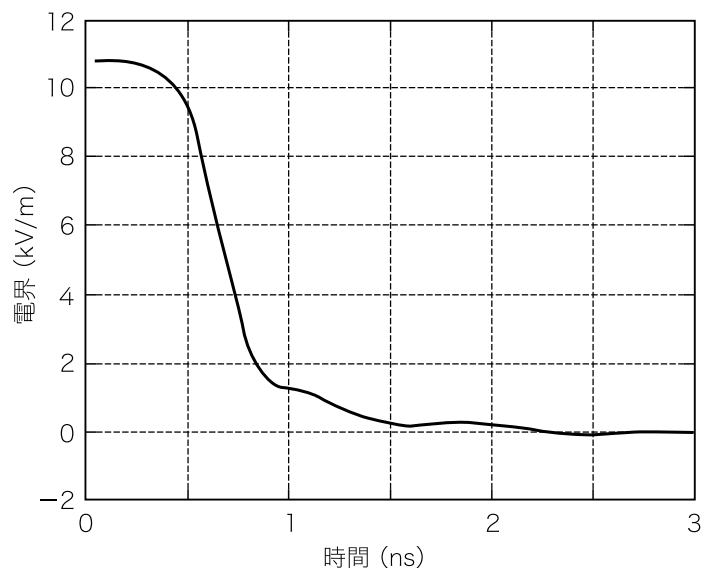


図 D.1—0.1 m の距離で測定した, 5 kV に帯電した金属を持つ実際の人体からの放電による電界
 (垂直基準面との放電距離は 0.7 mm)

この電界は静電界が主である。この電界は, 静電界の初期値から 20 %まで減少し, その降下時間は電流
 上昇時間と類似している (図 D.1 参照)。

500 ps の立上り時間の放電電流による磁界の波形の例を, 図 D.2 に示す。

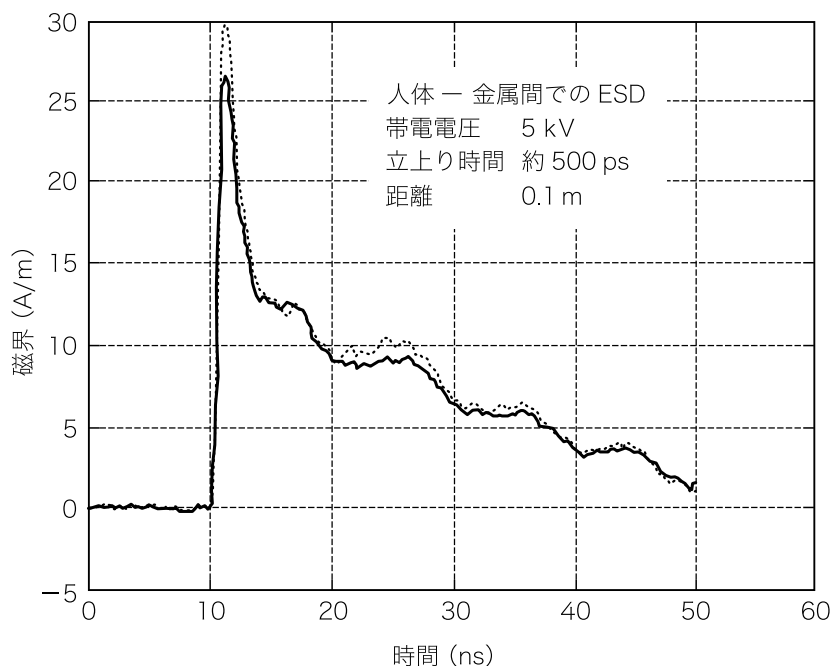


図 D.2—0.1 m の距離で測定した, 5 kV に帯電した金属を持つ実際の人体からの放電による磁界
 (人体と垂直基準面との放電距離は約 0.5 mm)

磁界波形は、電流波形に従う。

ESD 発生器からの電磁界波形で考えられる問題は、リングングである。ESD 発生器からの電磁界は、ESD 発生器及びグラウンドケーブルが、電磁界センサに対して向いている角度に大きく依存し、人体と金属間との間の放電の電磁界波形より、はるかに小さいか又ははるかに大きいことがある。

D.4 微小ループアンテナにおける誘導電圧

ESD の過渡的な電磁界は、プリント基板上の配線に電圧を誘起する。微小ループアンテナをグラウンド面に設置する場合、過渡電磁界の高周波成分の測定は、校正した広帯域電磁界センサを必要とせず、かつ、それは配線への誘導のプロセスを、電磁界を測定するより直接的に反映できる。微小ループアンテナの構造を、図 D.3 に示す。

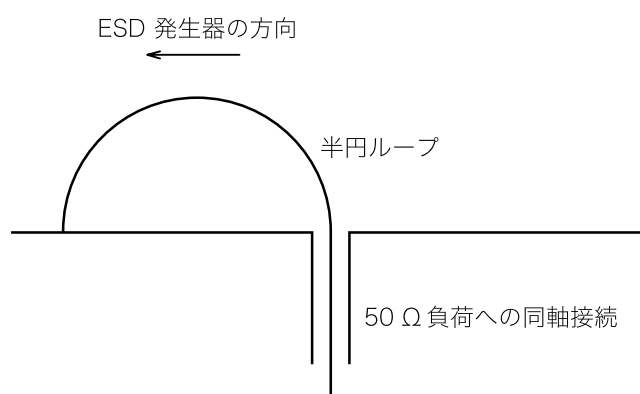


図 D.3—グラウンド面上の半円ループ

図 D.3 で、ループ半径は、14 mm で、ワイヤ直径は、0.7 mm である。そのループは、ESD 発生器から 0.1 m の距離に設置する。

図 D.3 で示す半円ループで測定した約 850 ps の立上り時間の 5 kV に帯電した人間と金属との間の ESD の典型的な誘導電圧を図 D.4 に示す（放電距離は約 0.8 mm、半円ループの終端抵抗は、50 Ω）。

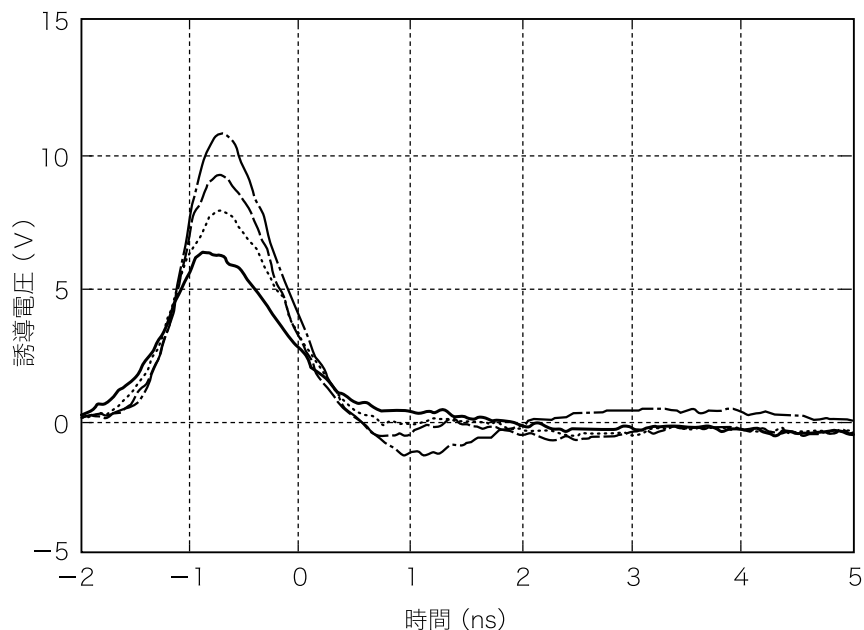


図 D.4—半円ループに誘導された電圧

D.5 市販の電磁界プローブ及び ESD 発生器を用いた ESD による放射電磁界の測定

放射 ESD 電磁界を測定するための試験セットアップ例を, 図 D.5 に示す。

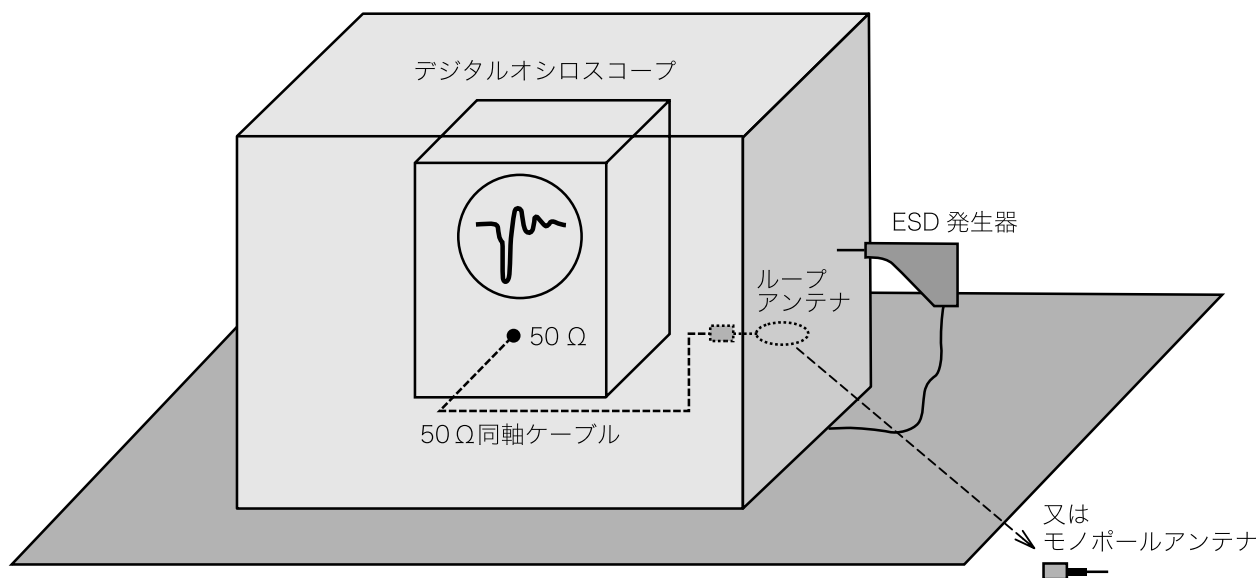


図 D.5—ESD 放射電磁界を測定するための試験セットアップの例

電界及び磁界を測定するために, 次の機器を使用する。

- 2 GHz 以上の帯域をもつデジタルメモリオシロスコープ
- 市販の (電界成分を受信しない構造の) 微小シールドループアンテナ及び電界 (小さいモノポール) アンテナのセット
- 50 Ω の同軸ケーブル

－ ESD 発生器

測定セットアップ (図 D.5 参照) を, 次に示す。

- － 測定は, 遮蔽室で行うことが望ましい (重大な障害を発生しない環境では, 必要としない)。
- － ESD 発生器は, 5 kV に設定することが望ましい。
- － ESD 放電電流は, 参考の数学的 ESD 波形 (図 2 参照) との比較のために, この規格に示すセットアップに従って測定する。
- － デジタルオシロスコープは, 遮蔽したきょう体の中に設置するのが望ましい。
- － ループアンテナ及び／又は電界アンテナは, 50 Ω の同軸ケーブルによってオシロスコープに接続し, 図 D.5 に示すような遮蔽きょう体の縁に配置することが望ましい。
- － 同軸ケーブルは, 放射電磁界を受信する可能性を防ぐように配置することが望ましい (例えば, 同軸ケーブルは, 遮蔽きょう体に近接し, 同軸ケーブルの外皮導体は, 遮蔽きょう体に接続する。)
- － オシロスコープの 50 Ω 入力インピーダンスでの電圧を測定する。
- － ESD は, 遮蔽きょう体の大きな面に, 接触モードで行うことが望ましい。
- － ESD 発生器は, ループアンテナ及び／又は電界アンテナから複数の距離で放射電磁界を測定するために, 移動することが望ましい。

アンテナ負荷への誘起電圧測定による電界及び磁界の計算手順を, 次に示す。

- － ESD 発生器によって発生する放射電磁界による 50 Ω の負荷の電圧 $v(t)$ をデジタルオシロスコープで測定する。
- － $v(t)$ をフーリエ変換した $V(\omega)$ を, 計算する。
- － 電磁界プローブを用いるための伝達関数 $T(\omega)$ を, 計算又は測定する。
- － $V(\omega) / T(\omega)$ の逆フーリエ変換によって, 電界 $E(t)$ 及び磁界 $H(t)$ を計算する。

結果の例を図 D.6 及び図 D.7 に示す。数値シミュレーションデータは, 有効性の確認と, 及び測定した電圧降下データをループアンテナに加えたときの磁界を計算する手順に用いる。

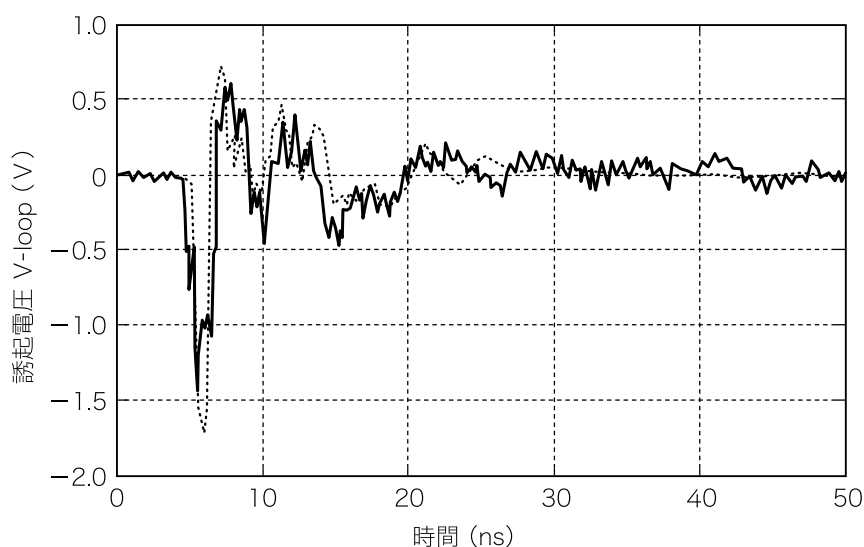


図 D.6—45 cm の距離でのループ上の電圧の測定 (実線) と数値シミュレーション (点線) との比較

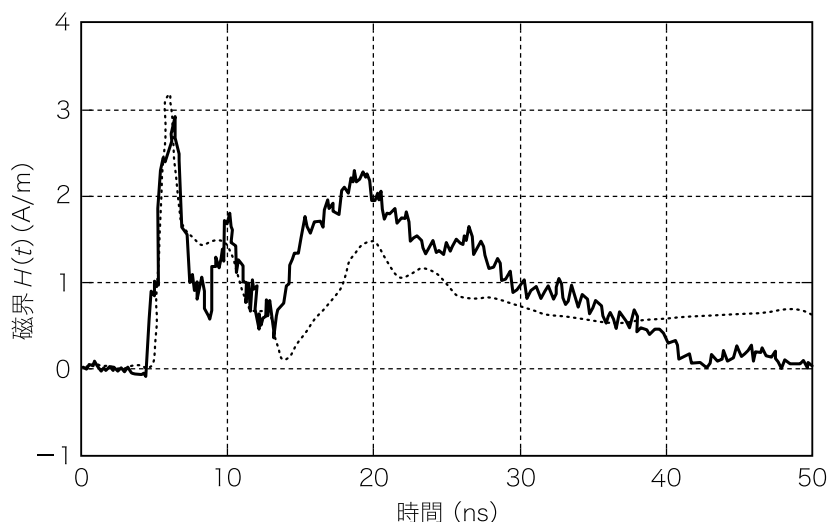


図 D.7—45 cm の距離での測定データから計算した磁界 H (実線) と数値シミュレーションによる磁界 H (点線) との比較

D.6 ESD 発生による放射電磁界及び誘起電圧を評価するための簡易手順

ESD 電流の測定によって ESD 発生器の放射電磁界を推測する手順を、次に示す。

- 標準化した又は測定した ESD 電流は、放電電極でのレベルを用いる。
- 影響を受ける回路は、電気的に短絡とみなし、かつ、最初の近似では、単位ごとのラインパラメータは、無視できる。
- 時間領域で障害電磁界が分かれば、図 D.8 の等価回路で誘導する電圧を計算できる。
- 電界の影響は、少なくとも低インピーダンスの回路 (例えば、高速デジタル装置) では、無視できる。
- 放電電極の電流と影響を受ける回路との距離を r とした場合、磁界は、簡易等価式 $H=I/(2\pi r)$ によって計算する。ESD 発生器のリレーの電流、変位電流、グラウンドケーブルなどの他の影響は、無視する。
- 推測 (最悪の場合) と試験セットアップで実際の結果とを比較し、違いを定量化する (例えば、磁界については図 D.9 参照)。

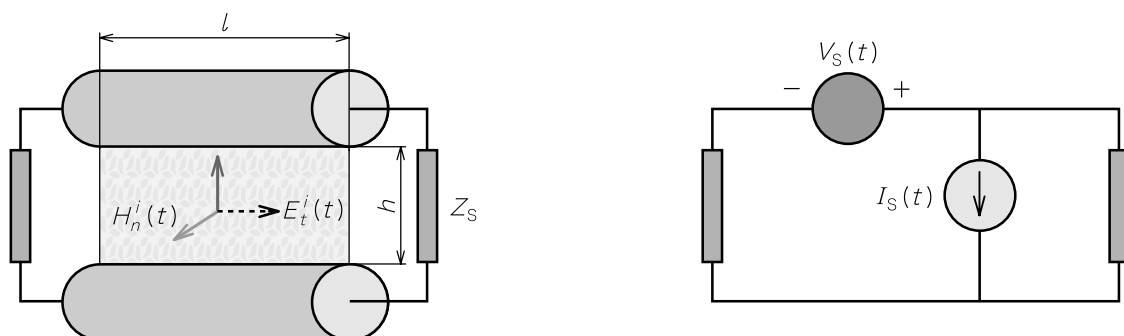


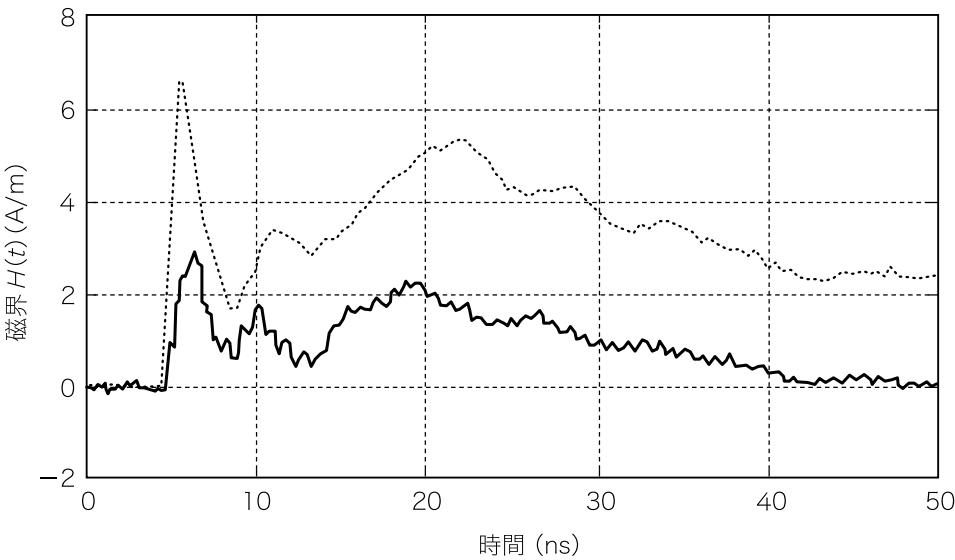
図 D.8—放射電磁界及び等価回路の構造

図 D.8 の等価回路による電圧 V_S 及び電流 I_S の計算式を、次に示す。

$$V_s(t)=\mu A\frac{\partial}{\partial t}H_n^i(t)$$

$$I_s(t)=C\times l\times h\frac{\partial}{\partial t}E_t^i(t)$$

ここに, $A=l\times h$: ループの面積
 C : ラインの 1 m 当たりの静電容量



$r=45\text{ cm}$ の距離における放射磁界
実線 測定値
点線 $I/(2\pi r)$ を用いた計算値 (I は, ESD 電流の測定値)

図 D.9－放射磁界

附属書 E

(参考)

測定不確かさ (MU) の考察

E.1 一般

EMC 試験の再現性は、多くの要因に依存し、試験結果に影響を与える。これらの影響によって、ランダム又は系統的な効果に分類することができる妨害量を発生するために誤差が生じる。現実の妨害量とこの規格で定義する妨害量との一致は、通常、一連の測定によって確認できる（例えば、減衰器を使用したオシロスコープでの立上り時間の測定）。各測定の結果は、測定量の近似にすぎず、測定した量は、真の値から測定不確かさ (MU) に依存するある量だけ異なる場合がある。MU を決める決定的な要素は、試験機器の校正に付随する不確かさである。

校正結果の高信頼性を達成するため、測定機器構成に含まれる不確かさの発生源を明確にし、測定の不確かさを記載することが必要である。

E.2 不確かさの分類

測定の誤差は、一般的にランダム成分及び系統的成分の二つの成分がある。ランダム不確かさは、予測できない要因に関連する。系統的な不確かさは、一般に測定に用いる機器構成に関係する。系統的成分は、ある場合には補正又は減少させることができるが、ランダム成分は定義上できない。与えられた測定システム内に、それらの成分のいずれかに影響を与え得る多くの要因が存在する場合がある。

ある試験方法のランダム不確かさは、その結果を適用する別の試験方法では、系統的な不確かさになる場合がある。この起こり得る混乱を避けるために、ランダム不確かさ及び系統的な不確かさの代わりに、不確かさの寄与を、次の二つのタイプに分類する。

ー タイプ A：一連の試験の標準偏差を推定する統計的手法によって評価する方法。これは一般的には、正規分布又はガウス分布に従う。

分布	合成標準不確かさ	注記
正規又はガウス	$U_c(y) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{j=1}^n (u_j - \bar{u})^2}$	一般に立証記録から得られる。

ー タイプ B：他の手段によって評価する方法。それらは通常、機器構成における、不整合、ケーブル損失、及び非線形特性のような要因に関連する。分析では、タイプ B の不確かさの大きさ及び分布は、校正データ、機器製造業者の仕様、又は単純に知識及び経験に基づいて推定することができる。

成分の固有の性質の違いではなく、それらの性質の評価に基づいて、タイプ A 又はタイプ B に分類する。両タイプとも確率分布をもち、いずれかのタイプによって得られる不確かさ成分は、標準偏差によって定量化する。

E.3 制限

この附属書は、次の制限及び条件を適用する。

ー 不確かさバジェットは、測定機器構成 (タイプ B) による不確かさに限定する。ただし、試験所は、タイプ A の不確かさの影響を無視するのではなく、MU をより完全にするために、それを個別に別途

評価することが望ましい。

- － 全ての寄与は、相関がないと仮定している。
- － 信頼水準 95 %は、許容する。

注記 表 E.1～表 E.3 に、タイプ B の不確かさバジェット例を示す。

E.4 タイプ B 不確かさの計算

標準不確かさは、その確率分布の除数を適用することによって決定した値で計算する。

この附属書で使う個々の確率分布の除数を、次に示す。

分布	除数	注記
正規	包含係数 k	信頼水準95 %で $k=2$ 一般に校正証明書から得られる。
方形	$\sqrt{3}$	一般に測定器の製造業者のデータから得られる。
U 形	$\sqrt{2}$	不整合不確かさ 上下限で起こり得る不確かさの寄与

不確かさの分布が未知である場合は、全て方形分布とみなす。

試験の合成標準不確かさの計算では、個々の標準不確かさを組み合わせる。これは、全ての量が同じ単位であり、相関がなく、対数スケール（通常 dB）での加算で合成していれば成り立つ。しかしながら、測定と同様に ESD 試験器を校正するときの単位は、次のように計算し、%の単位とすることが望ましい。

$$10^{\frac{(\text{unit in dB})}{20}} \times 100$$

この計算の結果は、合成標準不確かさ $u_c(y)$ となり、次の式で表す。

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_i^2(y)}$$

ここに、 $u_i(y)$: 個々の標準不確かさ

正規分布に従う出力変数 y を仮定したとき、ステューデント t 分布は、不確かさの包含係数（すなわち乗数）を与える。

$u_c(y)$ に包含係数 k を乗じることによって、より大きな信頼性レベルを与える拡張不確かさ U_c が得られる。包含係数は、タイプ A 及びタイプ B の不確かさの関係から、計算した自由度によって得られる。

E.5 不確かさのバジェット表の作成

不確かさのバジェットは、確率分布の推定を基に測定の誤差を引き起こす可能性のある要因を表にしたものである。

不確かさのバジェットの計算は、次の手順で行う。

- 妨害量の特性を特定する（すなわち、測定機器によって何が発生するか）。
- 不確かさへの寄与成分及びその値を特定する。
- 各寄与成分の確率分布を決める。
- 各寄与成分の標準不確かさ $u(x_i)$ を計算する。
- 合成標準不確かさ $u_c(y)$ 、包含係数 k 、及び拡張不確かさ $U_c = u_c(y) \times k$ を計算する。
- 計算した拡張不確かさを測定値に適用する。

g) 必要に応じて、品質文書に拡張不確かさを表記する（要求されない限り、試験所は、これらの数値を試験報告書に表記する必要はない。）。

寄与成分による不確かさのバジレットの例及び関連する値を、E.6 に示す。校正機関又は試験所は、これらが指針であることに注意し、個々の試験セットアップの実際の寄与成分及び値を確認することが望ましい（すなわち、最終的に考慮する要因の最低限のバジレットを決定してもよい。試験所は、追加の要因を確認する必要がある。これは試験所間の、不確かさについてのよい比較となる。）。

E.6 ESD の不確かさ要因

ESD 試験では、数値による結果を出すことはなく、試験結果を単に合否だけで判断することから、ESD 試験と同様に、ESD 校正時の不確かさをエミッション測定及びその他の測定と同様の方法で扱うことはできない。ESD 試験中では、幾つかのパラメータによって特徴付けた妨害量を EUT に適用する。EUT の一つ以上の信号を監視又は観察し、試験結果（合否）の基準となる合意基準と比較する。

EUT の信号の測定には、通常一般の MU が適用できる。モニタリングのための測定プロセスは、EUT 特有なので、モニタリングシステム（観察者）の MU を基本規格で扱わないことが望ましいが、扱う場合もある。

注記 1 校正に関しての EUT は、校正時の ESD 発生器を示す。

不確かさは、妨害量のパラメータで指定することもできる。そのことは、この基本規格の仕様で規定した測定機器の合意度合いを記載している。

特定の測定機器で得られた不確かさは、この規格で定義した電磁現象を模擬したものと、試験所の外での実際の電磁現象との間で一致の程度を説明できない。したがって、妨害量の規定に関する疑義（例えば、ESD ガンのターゲット面に対する位置決め）は、測定機器の不確かさに関係しない。

注記 2 ここでいう測定機器とは、校正に使う機器を指す。

EUT に対する妨害波の量のパラメータが及ぼす影響は、未知のものであり、ほとんどの場合、EUT は非線形のシステム挙動を示すことから、単一の不確かさの数値を、全体の不確かさとして決定することはできない。妨害波の量の各パラメータには、特定の不確かさが伴うが、その特定の不確かさは、試験における複数の不確かさのバジレットに置き換えることも可能である。

測定機器及び試験セットアップの影響を評価するために用いる寄与成分を、次に示す。

- ピーク値の指示値
- ピーク値 10 %の指示値
- ピーク値 90 %の指示値
- 30 ns 及び 60 ns での指示値
- 低周波伝達インピーダンス Z_{sys}
- 静電電圧
- オシロスコープの接続部のミスマッチ
- ターゲット・減衰器・ケーブルから成る測定チェーン
- オシロスコープの水平軸の寄与成分
- オシロスコープの垂直軸の寄与成分
- 測定系の再現性（タイプ A）
- ESD 発生器の角度（タイプ A）
- ESD 発生器の位置（タイプ A）

- － 試験セットアップの変化 (タイプ A)
- － ターゲット, オシロスコープ及び減衰器の校正

試験及び校正に適用する寄与成分が同じでない場合もあることに注意する。これは, 各プロセスの不確かさのバジェットの (僅かな) 違いとなる。

ESD 発生器の印加角度などについては, タイプ A の不確かさとみなす。そのような不確かさは, 一般的にこの規格では扱わない。この例外は, 校正と同様に測定における再現性を保つために導入している。

注記 3 この附属書は, 一例として, 校正のための不確かさに着目している。

E.7 校正結果の不確かさ

各校正項目 I_p , I_{30} , I_{60} 及び t_r に対して, それぞれの不確かさのバジェットの作成を推奨する。ESD 試験での妨害量は, EUT に適用した ESD 発生器からの放電電流である。この妨害量の校正項目は, I_p , I_{30} , I_{60} 及び t_r である。**E.6** で説明したように, それぞれの不確かさのバジェットは, これらのパラメータごとに計算するのが望ましい。

これらのパラメータに関する不確かさのバジェットの計算例を, **表 E.1**～**表 E.3** に示す。この表は例であり, 最も重要と考えられる不確かさのバジェットの寄与成分及び各寄与成分の詳細 (数値, 分布タイプなど), 並びにそれぞれの不確かさのバジェットを決定するために必要な計算結果を含んでいる。

表 E.1－ESD 発生器の立上り時間校正の不確かさバジェットの例

寄与成分	分布	値 ps	u_i (y) ps	u_i (y) ² (ps) ²	注記
ピーク値の指示値	正規 $k=2$	50	25	625	測定した立上り時間 800 ps にピーク値の不確かさ値 6.3 % (表 E.2) を乗じた値
ピーク電流の 90 %になるまでの時間の指示値	方形 除数= $\sqrt{3}$	25	14	196	オシロスコープのサンプリングレート 20 GS/s
ピーク電流の 10 %になるまでの時間の指示値	方形 除数= $\sqrt{3}$	25	14	196	オシロスコープのサンプリングレート 20 GS/s
オシロスコープの水平軸の総合 ^{a)}	正規 $k=2$	36	18	324	オシロスコープの校正機関から
ターゲット・減衰器・ケーブルから成る測定チェーン	正規 $k=2$	30	15	225	オシロスコープの校正機関から ^{b)}
再現性	正規 除数=1	45	45	2 025	タイプ A 評価から得る ^{c)}
合計				3 591	
立上り時間の合成標準不確かさ u_C	合計の平方根			60 ps	
立上り時間の拡張不確かさ U	正規 $k=2$	120 ps (15 %)			信頼性レベル 95 %
<p>注^{a)} オシロスコープの水平軸の総合寄与成分は、オシロスコープの水平分解能、補間の分解能、時間軸の分解能、周波数測定、立上り時間補正などの不確かさの寄与成分を含んでいる。</p> <p>^{b)} ほとんどの場合、周波数減衰特性だけが測定チェーンの校正証明書に記載してある。ここでは、立上り時間の不確かさの寄与成分も校正機関が提供するものとして、$k=2$ と仮定する。</p> <p>^{c)} 再現性は通常 5 回以上の連続した測定から求める。これはタイプ A 評価であり、n 回繰り返した測定の標準偏差 (\bar{q}) の計算式は、次のようになる。</p> $s(\bar{q}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2}$ <p>ここに、q_j : j 回の測定の結果 \bar{q} : 結果の算術平均</p>					

表 E.2－ESD 発生器のピーク電流校正の不確かさバジェット例

寄与成分	分布	値 %	u_i (y) %	u_i (y) ² (%) ²	注記
オシロスコープの垂直軸（電圧）の総合寄与成分 ^{a)}	正規 $k=2$	3.2	1.6	2.56	校正機関から
ターゲット・減衰器・ケーブルから成る測定チェーン	正規 $k=2$	3.6	1.8	3.24	校正機関から
オシロスコープ接続部の mismatches	U 形 除数 = $\sqrt{2}$	2	1.4	2	校正又は仕様から ^{b)}
低周波伝達インピーダンス	正規 $k=2$	6×10^{-6}	3×10^{-6}	9×10^{-12}	内部校正 ^{c)}
再現性	除数 = 1	1.5	1.5	2.25	タイプ A 評価から ^{d)}
合計				10.05	—
ピーク電流の合成標準不確かさ u_c	合計の平方根			3.17 %	—
ピーク電流の拡張不確かさ U	$k=2$	6.3 %	—	—	信頼性レベル 95 %
<p>注^{a)} オシロスコープの垂直軸の総合寄与成分は、オシロスコープの垂直分解能、低周波直線性、高周波直線性、オフセット分解能などである。校正は、全周波数レンジ（すなわち、2 GHz 以下）を網羅しなければならない。しかし、2 GHz のオシロスコープを使用した場合、カットオフ周波数 2 GHz の一次フィルタより平坦特性が良くないことに注意する。すなわち、次の式による。</p> $A(f) \approx \frac{1}{\sqrt{1+(f/f_c)^2}}$ <p>^{b)} mismatches は、ターゲット・減衰器・ケーブルから成る測定チェーンの出力反射係数 Γ_c 及びオシロスコープの入力反射係数 Γ_o による。これらは、校正証書又は機器の仕様から得ることができる。反射係数 Γ における誤差の 2 次的な寄与成分によって、信頼できる仕様で十分となる。しかし、これらの仕様も全周波数レンジを網羅しなければならない。また、これらはしばしばオシロスコープを使用しない場合、追加の測定が必要となるときに注意する。</p> <p>mismatches の寄与成分は、次の式による。</p> $\Gamma_c \times \Gamma_o$ <p>ここに、確率分布：U 形 除数：$\sqrt{2}$</p> <p>この mismatches の不確かさの計算式は、オシロスコープの振幅応答が、無線周波数の校正概念に従って校正すると仮定する。すなわち、電圧誤差が入力における実際の電圧ではなく 50 Ω の発生源に起因する電圧とみなす。これは認定書によって立証するか、又は異なった公式を示さなければならない。</p> <p>^{c)} この校正の拡張不確かさ U を与える不確かさの評価をもった別個の校正手順書を、試験所が備えていることを想定している。</p> <p>^{d)} 再現性は、通常 5 回以上の連続した測定から得る。これはタイプ A 評価であり、n 回繰り返した測定の標準偏差の計算式を、次に示す。</p> $s(\bar{q}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2}$ <p>ここに、q_j：j 回の測定結果 \bar{q}：結果の算術平均</p>					

表 E.3－ESD 発生器の I_{30} , I_{60} 校正時の不確かさバジエットの例

寄与成分	除数	値 %	u_i (y) %	u_i (y) ² (%) ²	注記
表 E.2 の不確かさ	正規 $k=2$	6.3	3.15	9.92	ピーク電流の不確かさ（表 E.2）
30 ns 又は 60 ns 時の指示値	方形 $k=\sqrt{3}$	0.17	0.098	0.009 6	ピーク電流の 10 %と 30 ns 又は 60 ns との時間間隔の測定に対する、30 ns 又は 60 ns の電流の指示値の感度。 オシロスコープのサンプリングレートが 20 GS/s の場合には、それぞれの指示値の不確かさは 50 ps となる。
合計				9.93	—
u_C	合計の平方根			3.15 %	—
I_{30} 及び I_{60} の拡張不確かさ U	正規 $k=2$	6.3 %	—	—	信頼性レベル 95 %

製品規格委員会又は認証機関は、他の不確かさバジエットを用いてもよい。

E.8 ESD 発生器の適合性基準における不確かさの適用

一般的に、ESD 発生器がその仕様の範囲内にあることを確認するために、校正結果は、この規格で規定した限度値（許容範囲は、MU によって低減しない。）の範囲内であることが望ましい。

校正を行う試験所のために、次の MU を推奨する。

- 立上り時間 t_r MU ≤ 15 %
- ピーク電流 I_p MU ≤ 7 %
- 30 ns 時の電流 MU ≤ 7 %
- 60 ns 時の電流 MU ≤ 7 %

附属書 F (参考)

試験結果のばらつき及び段階的な試験手順

F.1 試験結果のばらつき

ESD の性質が複雑で、試験機器に許容差があるため、ESD 試験の結果には、多少のばらつきが予想できる。これらのばらつきは、誤作動が発生する試験レベルの違い、又は試験中に EUT に起こる誤作動のタイプによる違いである。誤作動が発生する試験レベルによって、このような試験結果のばらつきが、EUT の試験の可否決定に影響することがある。

試験結果に違いがある場合は、違いの原因を特定するために、通常、次に示す手順を実施することが望ましい。

- 試験セットアップを確認する。すなわち、各ケーブルの位置及び EUT の状態（例えば、カバー、ドアなど）を含め、全ての詳細を調べる。
- 試験手順を確認する。試験手順には、EUT の動作モード、補助機器の配置及び場所、操作者の位置、ソフトウェアの状態、EUT への放電印加などがある。
- ESD 発生器を確認する。発生器は正確に動作しているか、最後に校正したのは何時か、仕様内での動作か、異なる発生器の使用による試験結果の違いなどがある。

試験結果における違いが、異なる ESD 発生器の使用によるものである場合には、**6.2** に適合する ESD 発生器を使用した結果は、この規格への適合を判定するために使用することができる。

F.2 段階的な試験手順

ESD 発生器を含め、試験条件が全て同じであるのに試験結果に違いが生じた場合、この規格への適合を判定するために、次の段階的な試験手順を適用する。この段階的な試験手順では、異なった試験結果を得るために、各試験ポイントに個別に適用する。

- a) 最初の試験では、意図した試験レベルで、**8.3** による試験ポイントに規定の放電回数（例えば、50 回の放電）を加える。この最初の一連の放電で誤作動が発生しなかった場合は、EUT は、この試験ポイントでの試験に合格となる。この一連の放電において誤作動が 1 回発生した場合は、**b)** の記載に従った更なる試験を実施する。一連の放電で、2 回以上の誤作動が発生した場合、EUT は、この試験ポイントでの試験に不合格となる。
- b) 2 番目の試験では、意図した試験レベルで、放電回数を 2 倍にした新しい一連の放電を、試験ポイントに加える。この一連の放電において誤作動が発生しなかった場合、EUT は、この試験ポイント及び試験レベルで試験に合格となる。この一連の放電において誤作動が 1 回発生した場合は、**c)** の記載に従って更なる試験を実施してもよい。実施しない場合、EUT は、この試験ポイントでの試験に不合格となる。この一連の放電において誤作動が 2 回以上発生した場合、EUT は、この試験ポイントでの試験に不合格となる。
- c) 3 番目の試験では、意図した試験レベルにおいて、**b)** に記載した同じ放電回数の新しい一連の放電を加える。この一連の放電において誤作動が発生しなかった場合、EUT は、この試験ポイントでの試験に合格となる。この一連の放電において誤作動が発生した場合、EUT は、この試験ポイントでの試験に不合格となる。

参考文献 JIS C 61000-6-1 電磁両立性－第 6-1 部：共通規格－住宅，商業及び軽工業環境におけるイミ
ュニティ

注記 対応国際規格：IEC 61000-6-1, Electromagnetic compatibility (EMC)－Part 6-1: Generic
standards－Immunity for residential, commercial and light-industrial environments (IDT)

IEC 60050-311, International electrotechnical vocabulary－Part 311: General terms relating to electrical
measurement

IEC Guide 107, Electromagnetic compatibility－Guide to the drafting of electromagnetic compatibility
publications

S.canigga, F.Maradei, Numerical Prediction and Measurement of ESD Radiated Fields by Free-Space
Field Sensors, IEEE Trans. On EMC, Vol.49, August 2007.

JIS C 61000-4-2 : 2012
(IEC 61000-4-2 : 2008)

電磁両立性－第 4-2 部：試験及び測定技術－
静電気放電イミュニティ試験
解 説

この解説は、規格に規定・記載した事柄を説明するもので、規格の一部ではない。

この解説は、日本規格協会が編集・発行するものであり、これに関する問合せ先は日本規格協会である。

1 今回の改正までの経緯

この規格は、IEC 61000-4-2:1995 及び IEC 61000-4-2 Amendment 1:1998 を基に、1999 年に制定（以下、旧規格という。）された後、今回の改正に至った。

今回、社団法人電気学会は、JIS C 61000-4-2 原案作成委員会を設置して JIS 原案を作成した。この JIS 原案を主務大臣である経済産業大臣に申出し、日本工業標準調査会で審議議決され、平成 24 年 6 月 20 日付で公示された。

2 今回の改正の趣旨

今回、IEC 61000-4-2 が 2008 年に改正されたのを受けて、旧規格を改正することとした。

主な改正点は、次のとおりである。

- a) IEC 61000-4-2:2008 で改正された内容に基づいてこの規格を改正した。この場合、日本のインフラストラクチャーの違いによる不整合について、インフラストラクチャーの変更を求めるような議論は行わないことを原則とし、次の内容について、旧規格に対する追加・変更を行った。

なお、対応国際規格に対する変更は、参考事項である。

- － 接触放電試験の下位試験レベル適応の削除（本体の箇条 5）
- － 放電電流波形の数式表現の導入（本体の 6.2）
- － 放電電流波形の許容差の変更（本体の 6.2）
- － 各寸法に対する許容差値の追加
- － 附属書 A（参考）A.8 に ESD 発生器の仕様の理論的根拠を追加
- － 附属書 B（規定）ターゲットの特性規定の追加及び ESD 試験器の校正方法の詳細規定を追加
- － 附属書 C（参考）変更したターゲットの詳細構造を記載
- － 附属書 D（参考）人体と金属との間の放電及び ESD 発生器からの放電による放射電磁界を追加
- － 附属書 E（参考）測定不確かさ（MU）の考察を追加
- － 附属書 F（参考）試験結果のばらつき及び段階的な試験手順を追加
- － 旧規格の附属書 1（参考）日本の電源事情による推奨試験方法の削除

- b) 文章表現を、JIS Z 8301:2008 に合わせて見直した。

3 審議中に特に問題となった事項

解 1

著作権法により無断での複製、転載等は禁止されております。

2019年7月1日の法改正により名称が変わりました。

まえがきを除き、本規格中の「日本工業規格」を「日本産業規格」に読み替えてください。

今回の改正審議で問題となった主な事項は、次のとおりである。

- a) **JIS 本文中で用いた日本語訳（本体の 3.18）** 対応国際規格で使用している“verification”は、IEC 60050 の IECV 311-01-13 においては日本語訳を“検定”とし、IEC 394-40-41 では“検認”としている。しかしながら、この規格の中で利用されている“verification”は、ある物事、事象などの存在及び真実性について、証拠を立てて明らかにすることを意味することから“立証”とした。
- b) **ESD 発生器の構成図（本体の 6.1）** 図 1 は、ESD 発生器の基本構成を示したもので、規定電流波形発生のための詳細回路ではないため、図のタイトルは、等価回路ではなく基本構成図とした。
- c) **接触及び気中放電時の放電スイッチの動作及び放電電極（本体の 6.2）** この規格では、図 1 を参照して“接触放電試験及び気中放電試験には、同じ ESD 発生器を用いる。接触放電試験では、図 1 の放電スイッチは、放電するときに閉じる。気中放電の試験では、図 1 の放電スイッチは閉じた状態を維持できなければならない。”と規定した。しかしながら、接触放電についての放電スイッチ及び充電スイッチの動作が記述されていないことが、審議中に問題となった。このため、放電スイッチ及び充電スイッチの動作に関する参考情報を、次に示す。
- 1) 接触放電の放電前の図 1 の放電スイッチの状態は、開となっている。 $C_s + C_d$ は、放電前に充電スイッチによって規定電圧に充電され、放電開始までには、充電スイッチは開となる。放電スイッチを閉じると、放電を開始する。放電スイッチは、短時間で開状態に戻り、次の放電のために充電スイッチが閉になり充電動作に移行する。
 - 2) 気中放電の場合は、 $C_s + C_d$ に充電した蓄積電荷を（放電スイッチを閉状態で）EUT に近づけることで、絶縁破壊が起こり放電が発生する。この蓄積電荷の空気中への放電を少なくするためには、表面の電荷密度を低く抑える半球形の放電電極を使用する必要がある。
- d) **接触放電電流波形の規定の起点（本体の 6.2）** 表 3 の接触放電電流波形の仕様に、30 ns 及び 60 ns の基準時間となる点を分かりやすくするために、“図 2 参照”を追記した。
- e) **放電リターンケーブルの長さ（本体の 6.2）** この規格では“放電リターンケーブルの長さは、ESD 発生器のきょう体から接続点の端の位置で測定する”と規定している。ここで“きょう体から接続点の端の位置”と詳細を規定しているのは、端子、ワニ口クリップなどを放電リターンケーブル先端に接続する場合において、長さに対する ± 0.05 m の許容差が、実用上小さいためである。
- f) **放電リターンケーブルの配置（本体の 7.2.1）** 放電リターンケーブルの配置について対応国際規格に“be placed non-inductively off the ground reference plane”と規定されているが、放電リターンケーブルを基準グラウンド面から離して配置することは困難であり、この対応国際規格の“off”は、“on”の間違いと解釈した。このため、この規格では、“可能な限り無誘導で基準グラウンド面に床置きする。”と規定した。
- g) **HCP の大きさ（本体の 7.2.2）** この規格では“元の HCP から (0.3 ± 0.02) m 離して配置する追加の同等の HCP を用いる。HCP を設置するために、テーブルを拡張するか、又は二つのテーブルを用いてもよい。”と規定し、HCP の大きさの変更を禁じている。これは、静電気試験では、基準グラウンド面と HCP とで作られる寄生容量を一定にして、ESD 試験に与える影響を同じにするためである。
- h) **クラス II 装置（本体の 7.2.4.1）** 対応国際規格では、二重絶縁装置について“class II equipment”と括弧書きしているが、クラス II 装置は、規格及び／又は製品分野により一意とは限らないため、この説明を注記として追加した。
- i) **金属部分がない非接地装置（本体の 7.2.4.2）** この規格では“表面に金属部分を全くもたない卓上形装置については、7.2.2 及び図 4 と同様に設置する。”と規定している。これは、特別な接地接続を設

解 2

著作権法により無断での複製、転載等は禁止されております。

2019年7月1日の法改正により名称が変わりました。

まえがきを除き、本規格中の「日本工業規格」を「日本産業規格」に読み替えてください。

けることなく、(直接放電の) 気中放電及び間接放電を実施し、印加ごとに 7.2.4.1 に規定する除電を実施することを規定している。7.2.4.3 の床置形装置も同様の解釈となる。

- j) **ESD 試験に対する緩和措置の表記** (本体の 8.3.2) ESD 試験の緩和措置を適用する場合、“a)～e) の場合は、製品に添付する文書に ESD を緩和する特別な手順を示すことが望ましい。”と記載している。これは、ESD 試験を実施しない部位については、製品仕様書及び／又は取扱説明書などに、機能的に ESD の影響を受けやすい又は直接 ESD を受けない想定であることを明示し、注意を喚起することを推奨している。
- k) **放電リターンケーブル配置の規定** (本体の 8.3.2) 対応国際規格では“should not be～”の表現となっているが、この規格では“shall not be～”と解釈して、“ESD 発生器の放電リターンケーブルは…試験者が手で持つてはならない。”と規定した。
- l) **EUT の印加面の注記** (本体の 8.3.3.2) 対応国際規格では本文の記載であるが、参考情報であるためこの規格では注記とした。
- m) **用語の補足** (附属書 B.1) 注記 1 は、対応国際規格では“may cause errors due to coupling”であるが、意味が通るように“ノイズによって”の部分を追加し、“ケーブル及びオシロスコープに結合するノイズによって誤差が大きくなることがある。”と記載した。
- n) **ターゲットアダプタの検証** (附属書 B.2.2) この規格では“ターゲットアダプタのインピーダンスは、4 GHz 以下の周波数帯域で $(50 \pm 1) \Omega$ を維持するようにする。向かい合わせて置く二つのターゲットアダプタの反射減衰量は、1 GHz 以下で 30 dB 以下、1 GHz を超え 4 GHz 以下の範囲で 20 dB 以下であり、かつ、挿入損失は 4 GHz 以下で 0.3 dB とする。”と規定している。この場合、ターゲットアダプタは、ターゲットの形状に合わせたテーパ状の同軸線路であり、同一のターゲットアダプタをもう一つ用意して、ターゲットに接する面同士を合わせて接続することによって、両端に同軸コネクタを備えた同軸線路となる。この同軸線路の高周波特性をネットワークアナライザを用いて測定し、得られた反射減衰量及び挿入損失の半分が、ターゲットアダプタ一つ分の特性となる。
- o) **校正点の誤り修正** (附属書 B.2.3) 対応国際規格に記載の“Calibrate the network analyser at the calibration points shown in Figure B.3 (between attenuator and target and between attenuator and target adapter line)”の表現と、Figure B.3 に記載の校正点が一致していない。ターゲット・減衰器・ケーブルからなる測定チェーンは、一体で扱うため、減衰器とターゲットとの間を VNA の校正点とすることはない。このため、この規格では、“VNA の入力と減衰器－ターゲットアダプタとの間”とした。
- p) **回路記号の修正** (附属書 B.3) 対応国際規格の図 B.4 の回路図記号は、最新の IEC 規格及び JIS に準拠した回路図記号ではないため、この規格では、最新の回路図記号に整合させた。
- q) **校正手順の表** (附属書 B.4.3) 対応国際規格の表 B.1 では校正手順は作業の順番を考慮した内容となっているが、この規格ではこれを分かりやすくするために、表のフォーマットを見直した。また、各試験レベルについては、“表 1 で規定した”とし、電流値については“表 3 に従った”を追記して、具体的な電流値を規定した。このため、対応国際規格に記載の表の下に注記は、この規格では削除した。
- r) **ターゲット構造図の変更** (附属書 C) 対応国際規格の図 C.2 では、プリント基板の 90° の領域に 7 個の抵抗が実装してあるため、全体で 24 個の抵抗を実装する図が描かれている。51 Ω の抵抗 24 個では、規定の 2.1 Ω 以下とはならない。また、図の“約 25 個の抵抗が必要となる。”の記述とも矛盾するため、この規格では約 90° の領域とし、図の説明の抵抗値を“例えば 51 Ω ”とした。さらに、“合成抵抗値が 2.1 Ω 以下となるように、抵抗値及び個数を選択する必要がある。”との注記を追加した。
- s) **ターゲットの部品記号の補足** (附属書 C) この規格の図 C.1～図 C.5 では、対応国際規格にはない

解 3

各部品に対応する記号①, ②, ③…を付記して構造を分かりやすくした。

- t) **ESD 発生器による静電界 [附属書 D.1.3 b)]** この規格で規定する“放電に先立って、ESD 発生器内でコンデンサに電荷が充電される。通常の設計では、充電プロセスによって、ほとんどの静電界は、ESD 発生器のコンデンサに閉じ込められている。その結果、放電前の近傍静電界は、同一電圧で充電された人体の同じ点で測定した静電界よりはるかに小さい。”の意味は、自然界で発生する ESD では、帯電した人及び／又は金属が別の物体に近接するときには、その帯電電圧による電界が発生するが、放電スイッチを備えた ESD 発生器では近接状態であっても、放電電極は帯電していないため、自然界の静電界よりはるかに小さいことを示している。
- u) **EMI 表記の修正 (附属書 D.2)** 対応国際規格では、“EMI”の表記が用いられているが、これは明らかに“EMS”の間違いであるため、この規格では“EMS”とした。
- v) **本文と図の対応の変更 (附属書 D.4)** 対応国際規格の図 D.3 及び図 D.4 に関連する記述について、説明の重複、及び関連の分かりにくさがあるため、この規格では修正した。
- w) **数学的 ESD 波形の参照 (附属書 D.5)** “参考の数学的 ESD 波形”は、対応国際規格にはない“図 2 参照”を追加した。
- x) **MU の用語 (附属書 E)** MU の用語の補足説明を、次に示す。
 - 1) **拡張不確かさ** 測定量に起因する合理的な値の分布の大部分を含むことが期待できる測定結果の区間を定めた量。
 - 2) **合成不確かさ** 測定モデルの入力数に関連した個々の標準不確かさを用いて得られる標準不確かさ。
- y) **不確かさ要因の注記の対応の変更 (附属書 E.6)** 対応国際規格の注記 1～注記 3 に記載の位置は、注釈とする対象の本文との関連が合っていないため、この規格では、対応する本文の後に移動した。注記 3 は、この箇条全体に関連する内容のため、この箇条の最後に移動した。

4 規定項目の内容

規定項目の内容は、次のとおりである。

- a) **接触放電試験の下位試験レベル適用の削除 (本体の箇条 5)** 旧規格では、接触放電及び気中放電は、下位の試験レベルを含めて実施する規定であった。低い電圧と高い電圧との空気中の放電経路の違いは、気中放電において顕著に現れるため、この規格では、接触放電での下位の試験レベルを実施しない規定とした。
- b) **放電電流波形の数式の表記 (本体の 6.2)** ESD の放電電流波形は、ピークの立上り時間、最初の放電ピーク電流、30 ns 時及び 60 ns 時の電流を規定している。規定点以外の波形曲線については言及していないが、実際の波形では、波形の振動及び／又は暴れなど、試験再現性に影響する現象が発生する。このため、この規格では、ESD 発生器の基本原則に基づいた二重指数関数を用いて、基準となる ESD 放電電流の曲線を数式として定義した。図 2 の放電電流波形は、この数式に基づいて描いている。
- c) **放電電流許容差の変更 (本体の 6.2)** ESD 放電電流波形規定の許容差について、この規格では、最初の放電ピーク電流は旧規格の $\pm 10\%$ に対して $\pm 15\%$ に、また、立上り時間は、旧規格の 0.7 ns～1.0 ns に対して $0.8 \text{ ns} \pm 25\%$ (約 0.6 ns～1.0 ns) に、それぞれ拡大している。この許容差の変更を行った理由は、ESD 発生器を校正するオシロスコープの周波数帯域を 2 GHz、かつ、ターゲット・減衰器・ケーブルからなる測定チェーンの周波数帯域を 4 GHz まで拡張した変更によって、ピーク電流はより高めに、立上り時間はより速く観測されることを考慮した結果、現行の ESD 発生器が規定値から外れることを避けることにある。

解 4

著作権法により無断での複製、転載等は禁止されております。

2019年7月1日の法改正により名称が変わりました。

まえがきを除き、本規格中の「日本工業規格」を「日本産業規格」に読み替えてください。

- d) **ラウンドロビンテストの概要 (A.8)** この規格に記載のラウンドロビンテストは、放電電流波形の仕様改造前及び改造後の ESD 発生器と、異なる EUT 及び異なる試験環境との組合せ試験を行い、試験結果のばらつきを実証するために、日本及び米国で実証実験を実施した。日本での実験では、3 種の放電電流改造前の ESD 発生器及び 5 種の改造後の ESD 発生器と、デスクトップ PC、ノート PC、レーザープリンタ、インクジェットプリンタ、無線ルーター及びプロジェクタの 6 種類の EUT との総組合せ試験を行った。試験結果は、ある EUT の誤動作電圧が、2 kV から 7 kV まで大きくばらつく結果となった。この誤動作電圧のばらつきを各 EUT ごとに標準偏差を求めると、改造前より改造後の ESD 発生器の偏差が小さくなっている傾向が明確となった。

この結果を国際委員会に提案したが、米国でのラウンドロビンテストの結果に顕著な傾向が出なかったこと、また、ESD 発生器の仕様変更による経済的負担も考慮し、ESD 発生器の放電電流波形の仕様変更は、見送られた。

- e) **ターゲットの特性及び ESD 試験器の校正方法の詳細規定の追加 (附属書 B)** 旧規格では、ESD 電流波形を測定するためのオシロスコープの周波数帯域だけ 1 GHz 以上の規定をしていたが、それ以外の測定装置の周波数特性、及びターゲットの校正方法の記述はなかった。この規格では、オシロスコープの周波数帯域を 2 GHz 以上に変更し、ターゲット・減衰器・ケーブルからなる測定チェーンの周波数特性をターゲットアダプタを用いて 4 GHz まで規定した。また、ここで規定した測定装置を用いて、ESD 放電電流波形を校正する手順も明確に規定した。

放電電流波形を校正する ESD 試験器の保持方法、放電リターンケーブルの配置についても再現性向上の目的で新たな規定を加えた。

- f) **ターゲットの構造の改訂 (附属書 C)** 附属書 B においてターゲットの特性を規定したことに伴い、高周波特性を向上させた改訂ターゲットの構造の例を示した。
- g) **人体と金属との間の放電及び ESD 発生器からの放電による放射電磁界の追加 (附属書 D)** 対応国際規格の改正において、ESD 発生器の放電電流波形の規定以外に、ESD 発生器からの電磁界放射による、EUT への試験結果の影響及び規定について審議を行った。ESD 発生器からの電磁界放射の規定については、課題が多く、今回の改正では見送られた。このため、この規格では、ESD 発生器が電磁界を放射する原理及び EUT の反応、また、電磁界放射の評価方法について解説した新たな附属書 D を追加した。
- h) **測定不確かさ (MU) の考察の追加 (附属書 E)** ESD 発生器の校正において、一般的な MU の知識、及び ESD 発生器の校正に必要な測定装置に関連する MU の考え方の一例を、この附属書に示した。ただし、MU バジレットの応用及び ESD 試験結果に対する不確かさについては、言及していない。
- i) **試験結果のばらつき及び段階的な試験手順の追加 (附属書 F)** ESD 試験は、試験結果のばらつきが比較的大きく表れる。このばらつきに対しての評価及び試験アプローチ方法の考え方を、この附属書に説明した。
- j) **旧規格の附属書 1 に記載の日本の電源事情による推奨試験方法の削除** 日本の住宅環境で使用する電子装置は、電源コードに接地がないものが多く、旧規格の附属書 1 では、対応国際規格に規定のない絶縁トランスを介して、電源線の 1 線を強制的に接地して、放電電流をグラウンドに流す経路を確保する試験方法を記載した。しかし、この規格では、非接地装置に対する試験方法の規定が本体の 7.2.4 にあり、日本だけが特別な電源事情として、国際規格と異なる試験をすることは好ましくないことから、今回の改正では、これを削除した。

5 懸案事項

この規格の審議過程において、保留となった事項、次回の見直し・改正のときに再検討することにした事項はなかったが、解説の箇条 3 に述べた対応国際規格の誤記及び補足事項については、SC77B 国内委員会から国際委員会に修正を提案する。

6 原案作成委員会の構成表

原案作成委員会の構成表を、次に示す。

JIS C 61000-4-2 原案作成委員会 構成表

	氏名	所属
(委員長)	澁谷 昇	拓殖大学工学部
(幹事)	石田 武志	株式会社ノイズ研究所
(委員)	石上 忍	独立行政法人情報通信研究機構
	井上 博史	一般社団法人日本電機工業会
	小松崎 剛	パナソニックモバイルコミュニケーションズ株式会社
	作左部 剛視	拓殖大学工学部
	鈴木 宏明	カシオ計算機株式会社
	中村 哲也	株式会社東陽テクニカ
	平田 真幸	富士ゼロックス株式会社
	森 浄	オリンパス株式会社
	湯本 心平	一般財団法人電気安全環境研究所
	輪嶋 榮	学識経験者
(参加)	永井 英男	財団法人日本規格協会
	内田 富雄	経済産業省産業技術環境局
(事務局)	高浜 公代	社団法人電気学会

(執筆者 石田 武志)

白 紙

★JIS 規格票及び JIS 規格票解説についてのお問合せは、規格開発ユニット規格管理グループ標準チームまで、電子メール (E-mail:sd@jsa.or.jp), 又は FAX [(03)4231-8660], TEL [(03)4231-8530] をお願いいたします。お問合せにお答えするには、関係先への確認等が必要なケースがございますので、多少お時間がかかる場合がございます。あらかじめご了承ください。

★JIS 規格票の正誤票が発行された場合は、次の要領でご案内いたします。

(1) 当協会ホームページ (<http://www.jsa.or.jp/>) の Web Store に、正誤票 (PDF 版, ダウンロード可) を掲載いたします。

なお、当協会の JIS 予約者の方には、予約されている JIS の部門で正誤票が発行された場合、お送りいたします。

(2) 当協会発行の月刊誌“標準化と品質管理”に、正・誤の内容を掲載いたします。

★JIS 規格票のご注文は、

(1) 当協会ホームページ (<http://www.jsa.or.jp/>) の Web Store をご利用ください。

(2) FAX [(03)4231-8665] でご注文の方は、出版・研修ユニット出版事業グループ営業サービスチームまで、お申込みください。

JIS C 61000-4-2 (IEC 61000-4-2)

電磁両立性－第 4-2 部：試験及び測定技術－静電気放電イミュニティ試験

平成 24 年 6 月 20 日 第 1 刷発行

編集兼
発行人 田 中 正 躬

発 行 所

一般財団法人 日 本 規 格 協 会

〒107-8440 東京都港区赤坂 4 丁目 1-24

<http://www.jsa.or.jp/>

名古屋支部 〒460-0008 名古屋市中区栄 2 丁目 6-1 白川ビル別館内
TEL (052)221-8316(代表) FAX (052)203-4806

関西支部 〒541-0053 大阪市中央区本町 3 丁目 4-10 本町野村ビル内
TEL (06)6261-8086(代表) FAX (06)6261-9114

広島支部 〒730-0011 広島市中区基町 5-44 広島商工会議所ビル内
TEL (082)221-7023 FAX (082)223-7568

福岡支部 〒812-0025 福岡市博多区店屋町 1-31 博多アーバンスクエア内
TEL (092)282-9080 FAX (092)282-9118

Printed in Japan

SG/A

JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD

Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-2: Testing and measurement techniques —Electrostatic discharge immunity test

JIS C 61000-4-2 : 2012

(IEC 61000-4-2 : 2008)

(IEEJ/JSA)

Revised 2012-06-20

Investigated by
Japanese Industrial Standards Committee

Published by
Japanese Standards Association

Price Code 12

ICS 33.100.20

Reference number : JIS C 61000-4-2:2012(J)

著作権法により無断での複製、転載等は禁止されております。

2019年7月1日の法改正により名称が変わりました。

まえがきを除き、本規格中の「日本工業規格」を「日本産業規格」に読み替えてください。