

号 外

静電気放電イミュニティ試験規格

IEC 61000-4-2 第3版改正動向

2024 年 7 月

IEC SC77B MT12 エキスパート

株式会社ノイズ研究所 商品開発部 上席部長

石田武志

はじめに

民生・産業機器の静電気放電イミュニティ試験の基本規格 IEC 61000-4-2 は、第二版 (Ed. 2) が 2008 年に改正発行され、それから 15 年以上見直しがされていない。審議団体である IEC SC77B MT12 は、2015 年頃から次期改正にむけた改善ポイントなどの情報を収集しながら具体的な改正案の審議を進めてきた。改正内容については、各国、また国を跨いでのチームで実験データを取得し、国際会議で審議を重ねるなどして改正点を模索する作業を繰り返した。4 回の委員会原案 (CD 文書) をこれまでに発行し、この度ようやく投票用委員会原案 (CDV 文書) が 5 月に発行された。今後の投票結果によってはまだ流動的な部分はあるが、現時点での Ed. 3 の改正内容を報告する。

1. 放電電流波形規定の見直し

2008 年発行の現行版において、接触放電の放電電流の理想波形が示された。放電電流波形の規定ポイントは、電流値 I_p 、 I_{30} 、 I_{60} 及び立ち上がり時間 t_r の 4 ポイントであり、この規定は 1989 年の接触放電方式の開発時以降、基本的に変更はされていないが、波形の曲線を Heidler のダブルエクスポネンシャルの数式を用いて表現されている。この理想波形の特徴は、第一ピーク I_p の 60 % 電流値でのパルス幅を 3.1 ns 程度と広く描画されていることにある。

理想波形は非常に滑らかな曲線で描かれているが、実際の各社の ESD 発生器の放電電流波形は、リングングを含み、様々な放電電流を示している（図 1）。

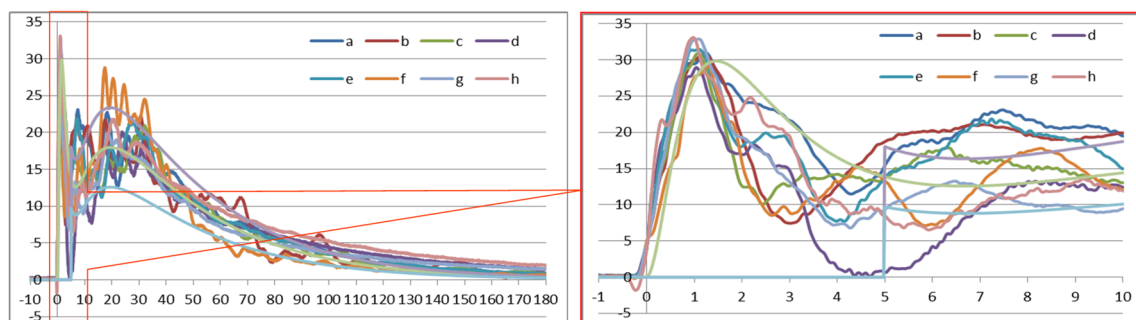


図 1 国内外の ESD 発生器の +8 kV 放電電流波形

波形に差異があれば、異なる試験結果となることが懸念され、特にリングングを多く含む波形では、より高調波の周波数スペクトラムを含み回路の影響も変わってくる。各 ESD 試験器での誤動作レベルの違いは 1990 年代の終盤頃に問題が顕在化し、現行版の改正時にも、放電電流波形のばらつきの抑制を規定に盛り込む検討を審議してきたが、意見の一致には至らず、理想波形を示すまでにとどまった。理想波形は示しても規定点は 4 つのパラメータであり、規定点以外のリングング及び暴れについての規定はない。

今回の Ed. 3 の改正審議においても、放電電流のリングング抑制は重要課題であったが、パラメータを一つ加えることで結論となった。

図 2 及び表 1 に新たな放電電流規定の案を示す。現行の波形規定に加えて、新たに I_{P2} を規定した。これはリングングを抑制する一つの手法であり、10 ns～40 ns 区間のリングングを含む電流波形の最大値を測定し、その最大値が規定波形の $\pm 30\%$ を超えないことを規定している。理想波形は、20 ns 時が最大値となるため、例えば 4 kV では 9 A なるため $+30\%$ の 11.7 A を上限値に設定している。

表 1 の Level 欄に AD と CD があるのは、気中放電 (Air Discharge) 及び接触放電 (Contact Discharge) を示している。放電電流の波形規定は、接触放電だけに適用されるが、今回の改正案では、気中放電でも適用される。但しアプローチ動作を伴う気中放電は、放電電流波形が安定することはないが、半球状の放電チップと ESD 発生器の動作モードを気中放電に切り替えた状態で放電チップを校正用電流ターゲットに接触させた状態でトリガを引いたときの放電電流を観測する。基本的には接触放電と同じ電流波形が観測されるが、気中放電を試験する状態で、全く ESD 発生器の出力を確認しないことは問題となるため、新たに導入された規定となる。

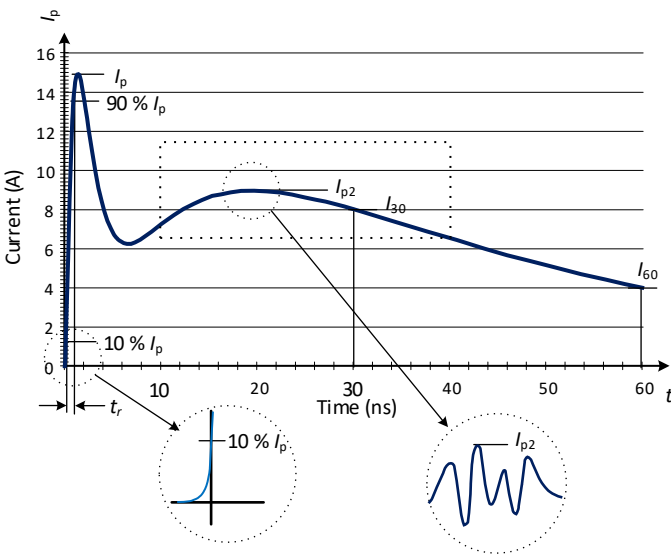


図 2 Ed. 3 の+4 kV 時の放電電流波形案

表 1 Ed. 3 の放電電流波形規定案

Level		Indicated voltage	First peak current I_p of discharge ($\pm 15\%$)	Rise time t_r ($\pm 25\%$)	Second peak current I_{p2} of discharge ($\pm 30\%$)	Current at 30 ns ($\pm 30\%$)	Current at 60 ns ($\pm 30\%$)
CD	AD						
		kV	A	ns	A	A	A
1	1	2	7, 5	0, 8	4, 5	4, 0	2, 0
2	2	4	15, 0	0, 8	9, 0	8, 0	4, 0
3	---	6	22, 5	0, 8	13, 5	12, 0	6, 0
4	3	8	30, 0	0, 8	18, 0	16, 0	8, 0
---	4	15	56, 3	0, 8	33, 8	30, 0	15, 0

2. 放電電流測定環境

放電電流波形規定の見直しに伴い、放電電流の校正方法について見直しを行った。電流ターゲット及びオシロスコプの帯域などの規定は変更していない。図3に放電電流校正時のセットアップを示す。

大きく変更した点は、電流ターゲットの高さを1 mに固定したことと、床のグラウンドプレーンを必須としたことである。

放電電流波形の第二ピークは、2 mの放電リターンケーブルに放電電流が流れる。これまでの垂直グラウンド板の電流ターゲットからの大きさを0.6 m以上とした規定では、電流ターゲットの高さは0.6 m以上で任意の位置に取付けることができたが、この高さが増えると、放電リターンケーブルを床との寄生容量が変化し放電電流波形も変化することが確認されたことから高さを規定し、なおかつ床面に必ずグラウンドプレーンを設置することで環境に対する再現性を高めた。

また ESD 発生器の高電圧ケーブルは、ESD ガンから垂直に垂らし、床のグラウンドプレーン上に沿わして本体に接続する。ESD 発生器の本体もグラウンドプレーン上に設置する。このレイアウトの規定は、単に設置の再現性を求めた結果によるものであり、放電電流波形のリングングを小さくする意図はない。

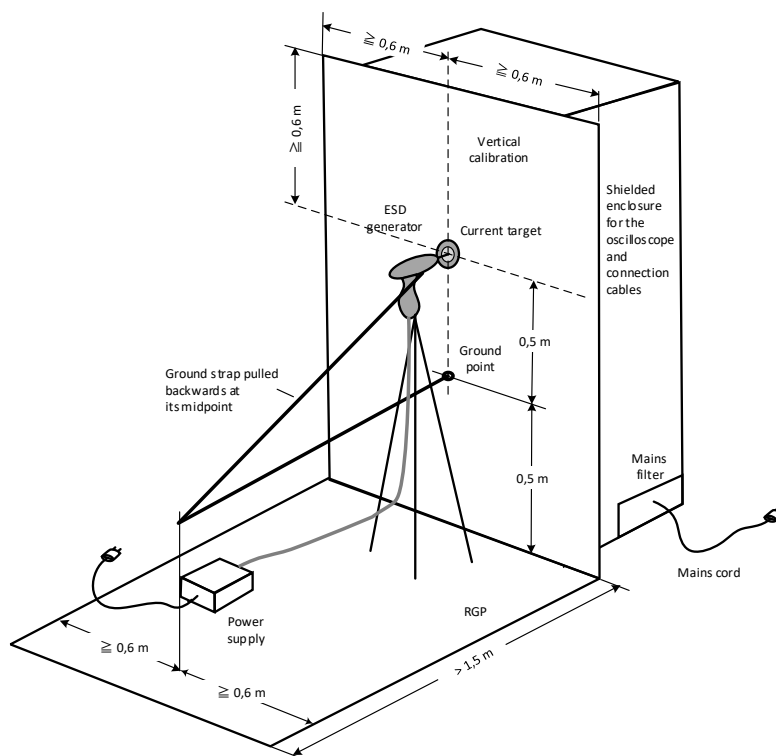


図3 放電電流波形の測定環境

3. 試験セットアップ

3.1 卓上装置・床置き装置

図4及び図5に卓上装置と床置き装置の試験セットアップの配置をそれぞれ示す。基本的なセットアップの変更はないが、次の点の変更があった。

- ① ブリーダー抵抗ケーブルの $470\text{ k}\Omega$ 抵抗と端子までの距離は両端とも 0.1 m 以内とする。
- ② HCP に対するブリーダー抵抗ケーブルの全長は 1.5 m 以内とする。
- ③ VCP に対するブリーダー抵抗ケーブルの全長は、 3 m 以内とする。
- ④ AE の設置は試験環境の中でも外でもどこでも良い。AE の接続ケーブルは、デカップリングすることが可能。
- ⑤ HCP の大きさと形を見直した。これまでの $(1.6\text{ m} \pm 0.02\text{ m}) \times (0.8\text{ m} \pm 0.02\text{ m})$ の寸法規定から面積が 1.23 m^2 以上となった。この面積は、現行 HCP のマイナス誤差の最小面積から来ているので、現行の HCP を使うことができる。また形状は長方形だけではなく、正方形、丸型なども許容する。

液晶テレビなどの大きな EUT の場合、これまでは2枚の HCP を 0.3 m の間隔を空けて両方に跨がせてそれぞれの HCP で試験を実施したが、大きな EUT は、大きな HCP を用意するか、複数枚の HCP を重ねて見かけ上1枚の HCP 上で試験を行う(図5)。但し必要以上に大きい HCP を用いると、発生電界が弱くなるため EUT の各辺より 0.8 m 以上大きくないことが規定された。スマートフォンなどの小さいな EUT は、これまでの $1.6\text{ m} \times 0.8\text{ m}$ の HCP が使える。

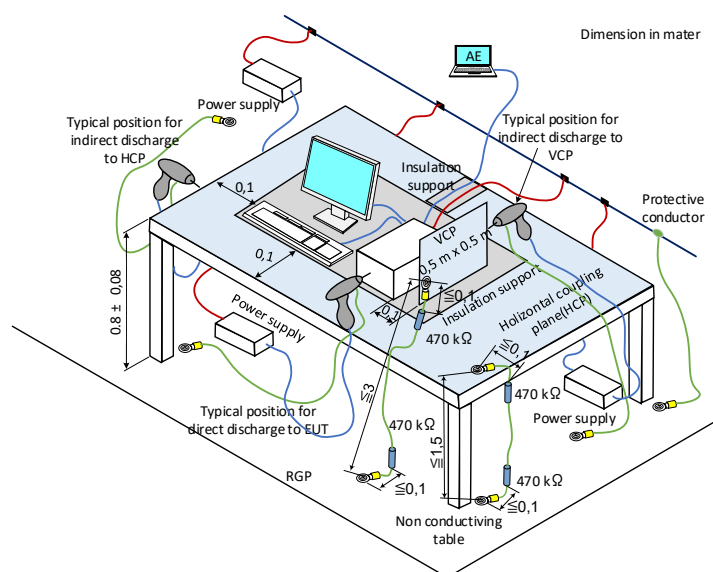


図4 卓上装置の試験セットアップ

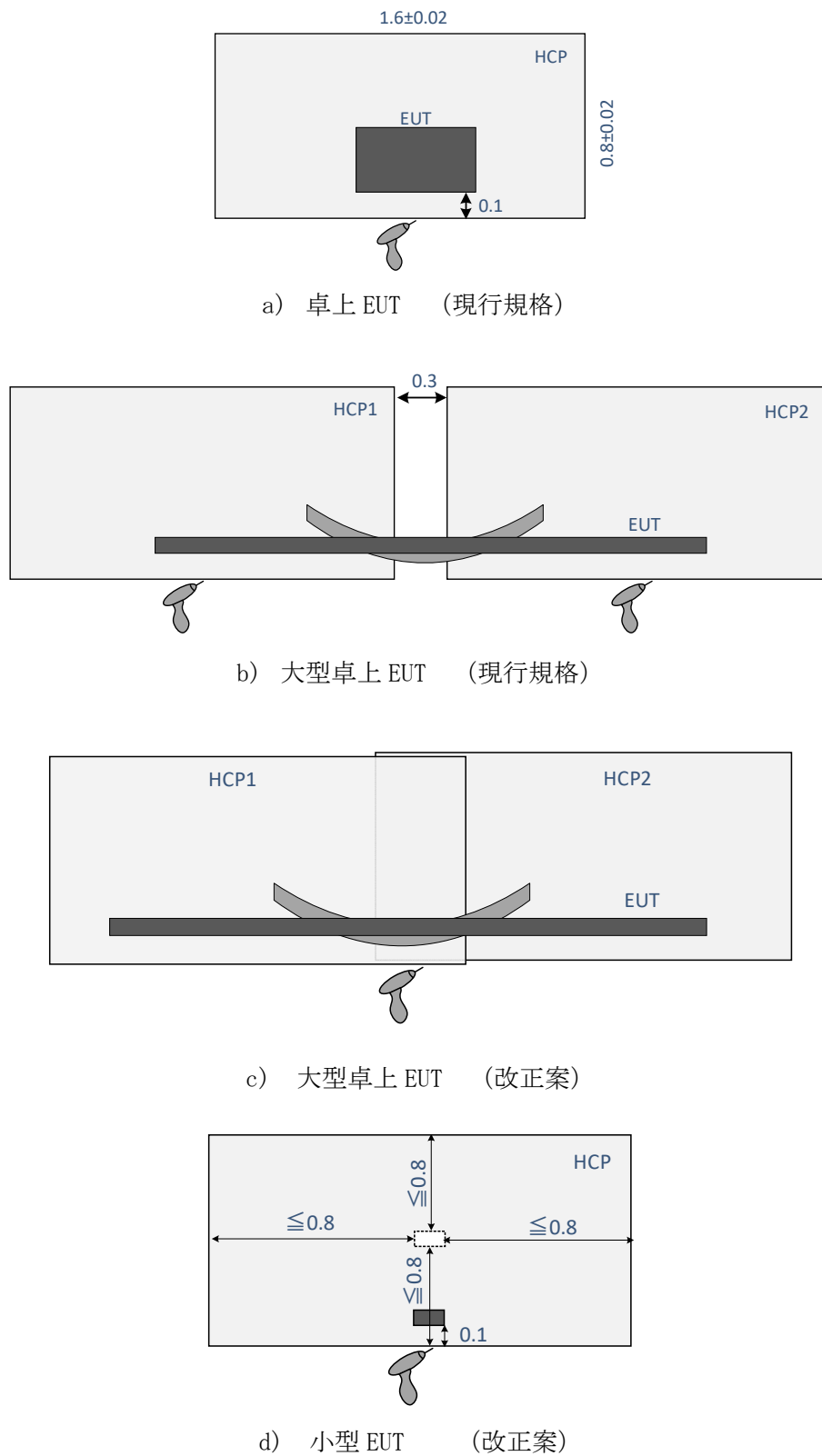


図 5 水平結合板 (HCP) を用いた間接放電試験の改正案

床置き装置に対する試験セットアップも基本的な部分の変更はないが、卓上装置同様VCPに接続するブリーダー抵抗ケーブルの端子から抵抗までの距離が0.1 m以内であることと、全長が3 m以内となることが規定された。AE も同様に何処に設置してもよく、接続ケーブルはデカップリングすることができる（図6）。

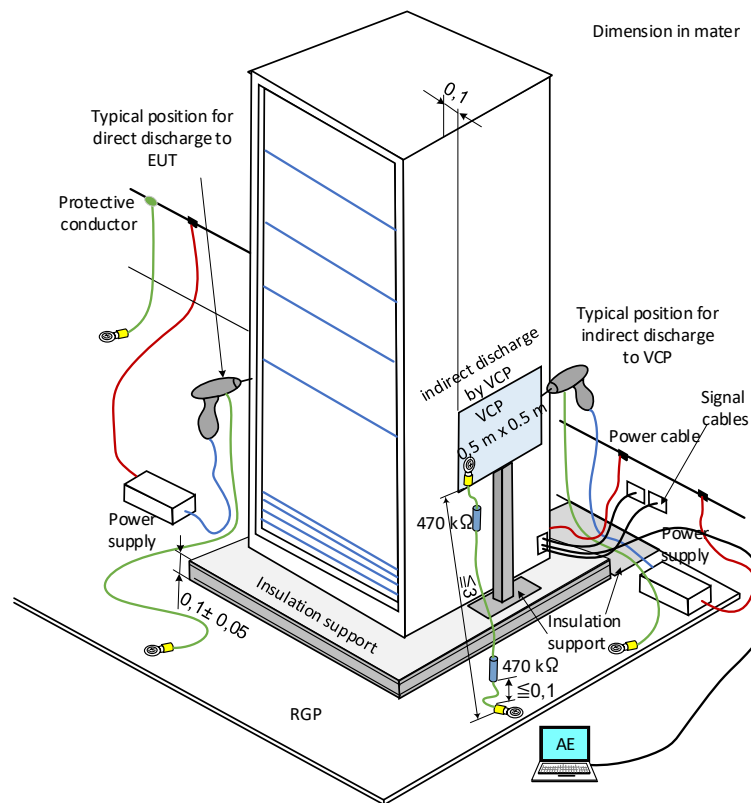


図6 床置き装置の試験セットアップ

3.2 非接地装置に対する試験セットアップ

非接地装置の定義として、IEC 62368-1 で定義されている Class II 装置であることが記載された。非接地の卓上装置及び床置き装置に対する試験も基本的な部分で変更はないが、ブリーダー抵抗ケーブルは、前述の規定が適用される。非接地装置は、ESD 印加後に除電が必要であるが、ブリーダー抵抗ケーブルを EUT に接続することで、連続した ESD 印加が可能となるが、ブリーダー抵抗ケーブルが EUT に接続されたことで試験結果が異なる場合は、ブリーダー抵抗ケーブルを外して ESD 印加を行い、印加後に再び接続して除電を行う。この手順は、現行規格と同じであるが、これまでブリーダー抵抗ケーブルの $470\text{ k}\Omega$ 抵抗までの距離が 0.02 m 以内の制約は、 0.1 m 以内となっている。

3.3 その他の装置に対する試験方法

その他の装置に対する試験セットアップは、Annex I に纏められた。

3.3.1 壁取付装置

現行規格では、特に規定がなかった壁掛け装置に対する試験セットアップが示された。図 7 は、非導電性の壁に取付けられる装置のセットアップを示し、図 8 は、導電性の壁に取り付ける装置のセットアップを示す。取付け面が接地されるか否かが大きな違いであり、その他の規定は、床置き装置の試験と大きな違いはない。

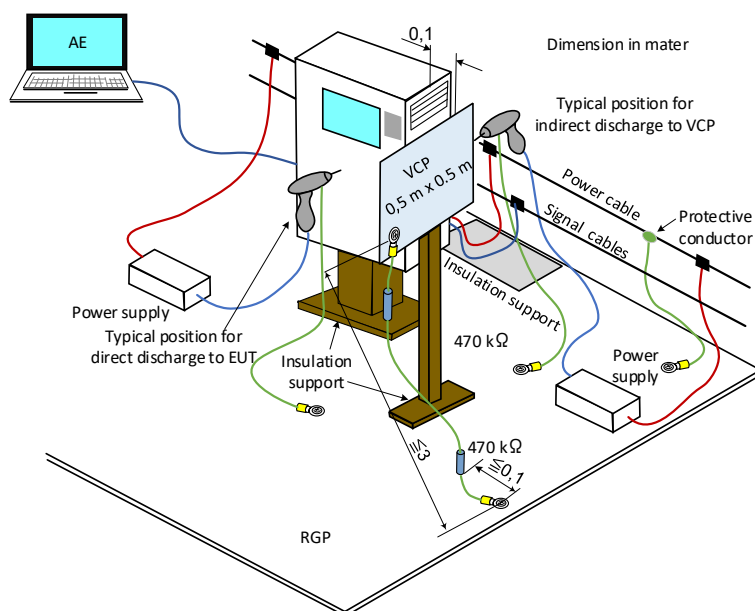


図 7 壁取付装置の試験セットアップ（非導電面の壁）

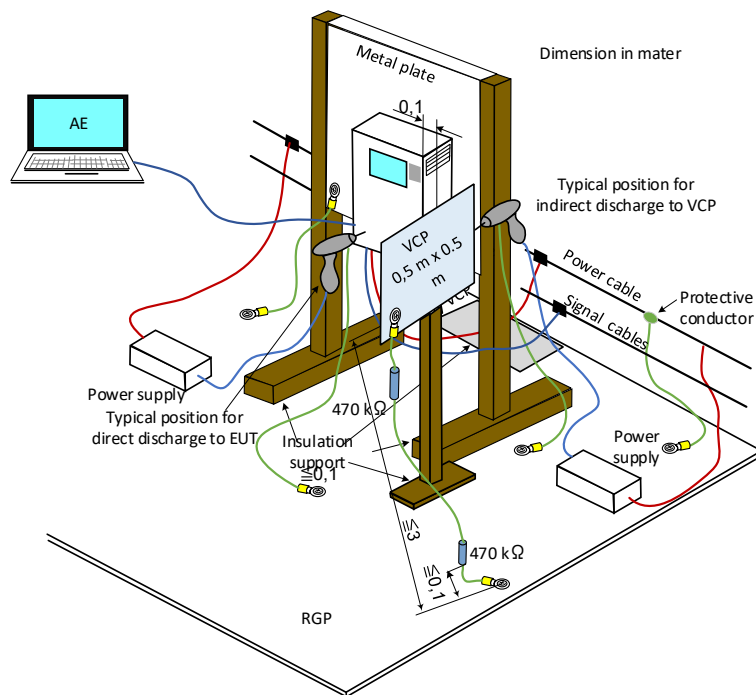


図 8 壁取付装置の試験セットアップ（導電面の壁）

3.3.2 ウェアラブルデバイス

新たな形態の装置であるが、基本は、非接地の卓上装置の試験を適用することが規定された。ウェアブルデバイスは、人体に装着した場合には、様々な現象が発生するが、新設の Annex J（参考）にその放電電流の現象などの情報を参考として記載した。

3.4 配置後試験

Post installation test として新たな Annex G（参考）に移行した。規定内容としては、ブリーダー抵抗ケーブルの長さ規定意外は大きな変更はない。

4. 試験の実行

4.1 試験所の環境

温湿度及び気圧の環境条件は、現行規格と同じになっている。気圧については、その地方の気象台で公表される値を利用してよいことが記載された。気中放電の場合、温度及び相対湿度の影響を大きく受けるが、より厳しい放電現象となる規定の 30 %を下回る低相対湿度環境での合格は認められる記載が追記された。

4.2 印加箇所の選定及び印加回数

印加箇所の選定及び印加回数の記述は、Annex E（参考）として纏めた。本文の記載は規定であるが、この Annex E の内容と合わせて見る必要がある。

コネクタに対する印加箇所の適用は、Annex E の記述となり見直しがされた（表 2）。基本的な要求は変更されていないが、気中放電の要求は無くなった。

表 2 コネクタに対する ESD 印加

Case	Connector shell	Cover material	Contact discharge to:
1	Metallic	None	Shell
2	Metallic	Insulated	Shell when accessible
3	Metallic	Metallic	Shell and cover
4	Insulated	Metallic	Cover
5	Insulated	None	Metal pins when accessible

4.3 間接放電

印加回数は、製品委員会で指定がなければ各極性 10 回として変更はない。

HCP の間接放電試験は、通常 EUT の設置する面を対象とし、金属筐体、特に PE 接続のある EUT は試験が不要と記載した。

VCP を用いた間接放電試験は EUT のアクセス可能な面に適用するが、さらに直接放電ができない面としている。金属面は直接放電を実施するので、この面の間接放電は不要となる。

4.4 調査（予備）試験

Annex E に、調査試験は、印加ポイントを選定するために予め実施する試験であり、気中放電では、印加電圧により放電電流の立ち上がり時間が変化することで周波数スペクトラムが異なることから、印加電圧を徐々に上昇させる必要があることが記載されている。気中放電、接触放電、VCP 及び HCP の間接放電の順に調査試験を実施し、接触放電は、20 Hz での印加が例として記載されているが、1 回/秒の印加間隔も可能としている。デジタル回路の場合、より高速な印加が必要とも記載されている。

4.5 印加回数

印加回数は、回路形態に依存しアナログ回路とデジタル回路で依存することが Annex E に記載されている。気中放電では、最小 1 秒間隔として規定回数を印加という表記になっている。

印加回数は、製品委員会で決定されるものであるが、特に指定がなければ各極性 10 回を基本としている。

4.6 エスカレーションストラテジ

ESD 試験を実施する場合、試験結果 (Pass/Fail) がばらつくことがある。現行版では、Annex F (参考) にその記載があった。規定ではなかったのでこれまで意識されることは殆ど無かったと推測するが、今回の改正案では、Annex H (Normative) として規定化される。

直接放電の適用の項に、次の記載がある。

EUT が放電の適用中にパフォーマンスに変動があり、その変動が放電の適用によるものかどうかを判断できない場合は、Annex H を適用する。注記：放電の適用により EUT が一貫して同じ動作をし、試験結果を決定できる場合、Annex H は適用されない。

Annex H (規定) には図 9 に示すフローチャートの内容が箇条で記載されている。実際の試験において 10 回の印加中に、1 回の誤動作が発生した場合に、再度 20 回印加して誤動作が発生しなかった場合は、合格とみなすことができる流れとなっている。再試験でまた 1 回の誤動作が発生した場合は、更に 20 回の印加で誤動作が発生しなければ合格にできる。複数回の誤動作が発生した場合は、不合格となる。

このエスカレーションストラテジについては、各国の意見を元に審議が進められ、日本は反対の立場をとっていたが、最終的に IEC の質問票 (Q 文書) での投票によって賛同されたものとなっている。

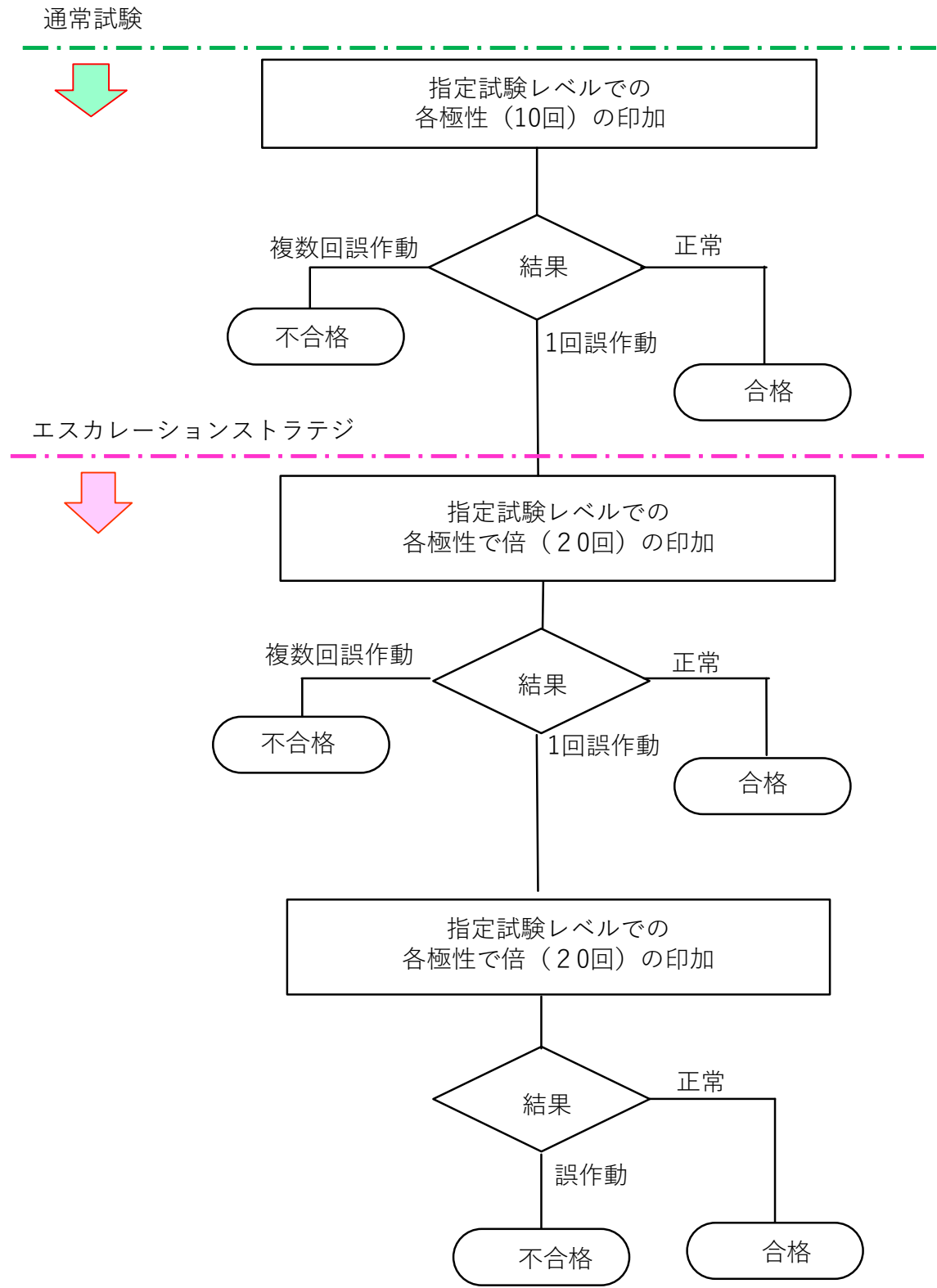


図9 エスカレーションストラテジの手順フロー

5. 試験結果

試験結果の評価として、これまで本文に記載されていた項目は、Annex K（参考）に移行した。Performance criterion A/B/C の内容について例を含めて解説している。

6. 試験報告書

新たに次の項目の記載が規定された。

- ・試験レベル
- ・放電リターンケーブルの長さ
- ・共通規格、製品群規格、製品規格で規定されているパフォーマンスクライテリア
- ・試験セットアップ
- ・印加箇所を示す図又は写真
- ・印加箇所毎の印加回数
- ・HCP（用いた場合）の寸法、形状
- ・エスカレーションストラテジ（用いた場合）

7. 附属書（Annex）

現行版と改正案の附属書の主な変更点を表 3 にまとめる。

表 3 附属書対比表

附属書	Ed. 2 2008	Ed. 3 202x
Annex A	Explanatory notes (informative)	Explanatory notes (informative) A. 3～A. 7 を追加。人体の ESD 現象、 気中放電の特性などを追記した。（詳 細は月刊 EMC2019 年 7 月号を参照） 帯電のグラフ（Figure A. 1）を更新し た。
Annex B	Calibration of the current measurement system and measurement of discharge current (normative)	Calibration of the current measurement system (normative) 「B. 4 ESD 発生器の校正」以降の部分 を本文に移行。 新たな波形規定の部分は見直しを行 った。
Annex C	Example of a calibration target meeting the requirements of Annex B (informative)	Example calibration target meeting the requirements of Annex B (informative) 誤記を修正。

表 3 附属書対比表 (続き)

附属書	Ed. 2 2008	Ed. 3 202x
Annex D	Radiated fields from human metal discharge and ESD generators (informative)	Radiated fields from human metal discharge and ESD generators (informative) 図の更新を行った。
Annex E	Measurement uncertainty (MU) considerations (informative)	Selection of test points and number of pulses. (informative) 本文の試験の実行の部分を変更し、新たな内容を記載。
Annex F	Variation in test results and escalation strategy (informative)	Measurement uncertainty (MU) considerations (informative) Ed. 2 の Annex E MU は破棄し、IEC 61000-4-4 などに準じた内容に変更した。
Annex G		Test setup for post-installation tests (informative) 本文の試験の実行の部分を変更した。
Annex H		Escalation strategy (normative) Ed. 2 の Annex F の内容を一部変更して規定化した。
Annex I		Additional or further test setup for particular kind of equipment (normative) 壁掛け装置及びウェアラブルデバイスの試験に関する事項を記載した。
Annex J		Wearable devices (informative) ウェアラブルデバイスに対する ESD の情報を新設した。
Annex K		Evaluation of test results (informative) 現行規格の 9 章の内容を Annex に移行し、内容を見直した。

おわりに

概要的な内容ではあるが、現時点での改正案を纏めた。9月には投票結果が判明するが、9月に行われる国際会議にて、各国からの提案コメントが審議され、更に変更される部分は少なからずある。この規格を使用するユーザー及び一般消費者にとって最良な規格となることを目指して日本の意見を提言する。

メモ

Handwriting practice area consisting of 20 horizontal dashed lines.