

ESD 試験規格 ISO 10605 ed. 2 の概要

株式会社 e・オートマ 業務グループ 佐藤智典

2016 年 9 月 28 日

目次

1	はじめに	1
2	共通事項	2
2.1	人体からの ESD	2
2.2	ESD 発生器	3
2.2.1	ESD 発生器の原理	3
2.2.2	ESD 発生器の特性の検証	4
2.2.3	ESD 発生器の向き	5
2.2.4	放電リターン・ケーブル	5
2.3	接触放電と気中放電	6
2.3.1	接触放電	6
2.3.2	気中放電	6
2.4	印加箇所の除電	6
2.5	環境条件	7
3	コンポーネント試験	7
3.1	直接放電試験	7
3.2	間接放電試験	8
3.3	パッケージング/ハンドリング試験	8
3.4	オプションの試験セットアップ (Annex F)	9
3.5	試験電圧	9
4	車両試験	11
5	参考資料	11

1 はじめに

空気が乾燥している時期、車の乗り降りの際などに、時にかなり不快なものとなる静電気放電 (ESD) を経験することがあるだろう (図 1)。



図 1: 人の手から車体への ESD(イメージ)

このような ESD は不快だけでなく、ESD が車両上の電装品に対して、あるいは電装品やそのハーネスの近傍で発生した場合、その際に生じる電荷の注入やそれに伴って生じる強い電磁界が電装品の損傷や誤動作を引き起こすことがある。

このため、車両やその電装品への ESD の影響の評価のニーズがあり、その試験法として ISO 10605 が広く用いられている。^{†1†2}

本稿ではこの ISO 10605:2008 (ed. 2) + Amd.1:2014 の概要を述べる。なお、規格についての正確な情報は、規格そのもの^[1]を参照していただきたい。

2 共通事項

2.1 人体からの ESD

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

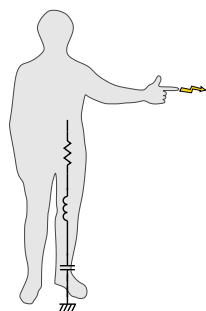


図 2: 人体からの ESD

人体は周囲のもの (例えばカーペット、シートなど) との摩擦によって静電気を発生し、乾燥した環境では、歩いただけで、あるいは車から降りただけで 10 kV (あるいは 20 kV) を超えるような高い電位まで帯電する場合もある。そのように強く帯電した人の指が車体などの導電性の部分に近付くと、明らかな放電光や放電音、そして強い痛みを伴う激しい ESD が発生する。適切に保護されていない電子回路がこのような激しい ESD を受けた場合、破壊的な損傷を生じる可能性が高い。

湿度が高くなるとこのような激しい ESD は起きにくくなるが、一般に 1 kV 程度の ESD は気付かれず、3 kV 程度の ESD でもひどく不快に感じるほどではないと考えられるので、ESD に気付くことがなかったとしても、それは ESD が発生していないことを意味するわけではない。半導体は 1 kV 以下の ESD でも損傷を生じることがあり、それは適切な配慮なしに装置に組み込まれた状態でもそうである。また、装置によっては、かなり低いレベルの ESD で誤動作を起こすこともある。

実際の使用環境においては、高いレベルの ESD は比較的稀に、低いレベルの ESD はかなり頻繁に発生することが予期される。

^{†1} ECE Regulation No. 10^{[2][3]} では、著しい静電気は乗り降りの際にのみ生じ、その時は車両は静止しているという理由で、静電気放電試験は不要とみなされている。だが、その判断が適切かどうかの議論は別として、車両メーカーに電装品を納入するにはそのメーカーが定めた水準の耐性を求められるであろうし、そのような要求の対象とならないとしても通常の使用中に受けるようなレベルの ESD への耐性は必要となるであろう。

^{†2} ESD は自動車の燃料の意図しない発火の引き金ともなるが、勿論、これはこの規格ではカバーされない。ちなみに、ガソリン蒸気の最小着火エネルギーは 0.2~0.3 mJ 程度であり、2 kV に充電された 150 pF のコンデンサは 0.3 mJ のエネルギーを持つ。

2.2 ESD 発生器

2.2.1 ESD 発生器の原理

ISO 10605 の試験で用いられる ESD 発生器^{†3}は、人体の静電容量をコンデンサによって、放電経路のインピーダンスを抵抗によって代表してこの現象を模擬する妨害を発生させる (図 3)。

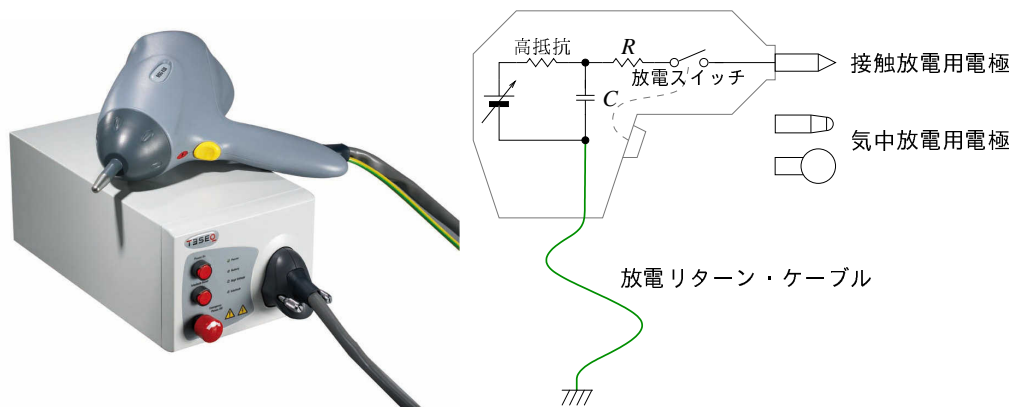
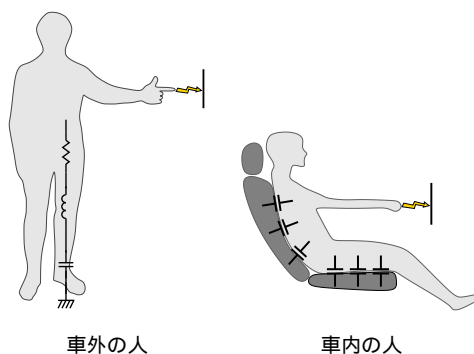


図 3: ESD 発生器の例と原理 (写真は Teseq 社の好意による)

ESD 発生器の電荷蓄積コンデンサ C と放電抵抗 R は、以下のものから状況に応じて選択する:^{†4}

- 電荷蓄積コンデンサ C

- 150 pF — 車外の人からの放電
- 330 pF — 車内の人からの放電



- 放電抵抗 R

- 330 Ω — 鍵、工具、指輪などの小さい金属の物体を介しての人からの放電
- 2 000 Ω — 人の皮膚を介した放電

それぞれの C と R での接触放電電流波形のモデルを図 4 に示すが、この波形が最初の鋭いピークとその後の緩やかな山から成ること、そして后者のカーブは C と R によって変化するが前者のピークは変化しないことがわかるだろう。^{†5}

^{†3} ESD 試験器、ESD シミュレータ、ESD ガンなどとも呼ばれる。

^{†4} ISO 10605 ed. 1 (2001) では放電抵抗は 2 000 Ω のみとなっていた。また、IEC 61000-4-2 では 150 pF と 330 Ω のみが用いられている。

^{†5} 半導体や ESD 防護部品などの評価ではしばしば古典的な人体モデル (HBM) が用いられている。HBM では通常は 100 pF と 1 500 Ω が用いられ、これは ISO 10605 に含まれる 150 pF と 2 000 Ω という値に近いものの、その放電電流は最初の激しいピークを持たず、電子部品や電子機器への影響も ISO 10605 での試験とは大きく異なる。

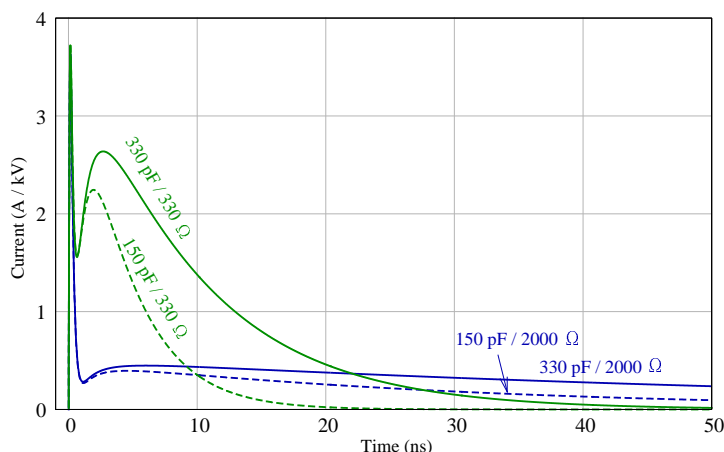


図 4: 接触放電波形の比較

この放電電流波形の最初の鋭いピークは図 3 で示されていない要素によって生じ、その電流は放電抵抗 R では制限されず、またそれに対応するエネルギーやパルス幅はコンデンサ C とは無関係となる。それに続く緩やかな山のピークは R によって制限され、その減衰は C と R による時定数に応じたものとなるが、その立ち上がりを制限しているのは直列インダクタンスで、これも図 3 では示されていない。なお、ここで示した波形はモデルであり、一般に、実際の放電電流波形はかなり乱れた、また ESD 発生器によってかなり異なったものとなる。^{†6}

2.2.2 ESD 発生器の特性の検証

ESD 発生器の接触放電での放電電流波形については、立ち上がり時間、ピーク電流、減衰のカーブの 2 箇所 (150 pF / 330 Ω の場合は立ち上がりの 30 ns 後と 60 ns 後) の電流が規定されている (表 1, 表 2, 図 5)。^{†7}

接触放電での放電電流波形は、所定の電流ターゲットと帯域幅 1 GHz 以上のオシロスコープを用いて検証する。^{†8†9}

パラメータ	特性
接触放電モードの出力電圧範囲	2 kV ~ 15 kV、あるいはテスト・プランによる
気中放電モードの出力電圧範囲	2 kV ~ 25 kV、あるいはテスト・プランによる
出力電圧精度	≤ 5 %
出力の極性	正、及び負
接触放電モードでの短絡電流の立ち上がり時間 (10 % から 90 %)	0.7 ns ~ 1.0 ns
保持時間	≥ 5 s
電荷蓄積コンデンサ	150 pF, 330 pF
放電抵抗	330 Ω, 2 000 Ω

表 1: ESD 発生器の基本的なパラメータ

^{†6} 使用する ESD 発生器によって試験結果に大きな違いが出ることが知られている^[5]が、これがその原因の 1 つと考えられる。また、放電時に ESD 発生器自身がかなりの電磁界を放射することが予期され、これも試験結果に影響を与える可能性があるが、これはこの規格では全く管理されていない。

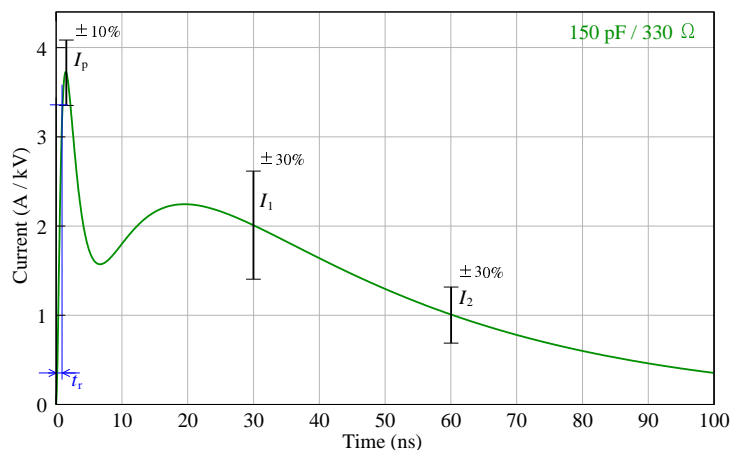
^{†7} この規格では気中放電電流波形の検証の要求はない。

^{†8} 電流は試験電圧 1 kV 当たりの電流で規定されている。ピーク電流は 3.75 A/kV となっているが、これは、試験電圧が 4 kV の時のピーク電流は 15 A、15 kV の時のピーク電流は 56 A 程度となることを示す。

^{†9} 現時点で、気中放電での放電電流波形の検証の要求はない。

典型的な静電容量 / 抵抗値	ピーク電流/試験電圧	t_1 での電流/試験電圧	t_2 での電流/試験電圧
150 pF / 330 Ω	3.75 A/kV $\pm 10\%$	2 A/kV $\pm 30\%$ (at 30 ns)	1 A/kV $\pm 30\%$ (at 60 ns)
330 pF / 330 Ω	3.75 A/kV $\pm 10\%$	2 A/kV $\pm 30\%$ (at 65 ns)	1 A/kV $\pm 30\%$ (at 130 ns)
150 pF / 2 000 Ω	3.75 A/kV $\begin{matrix} +30\% \\ -0\% \end{matrix}$	0.275 A/kV $\pm 30\%$ (at 180 ns)	0.15 A/kV $\pm 50\%$ (at 360 ns)
330 pF / 2 000 Ω	3.75 A/kV $\begin{matrix} +30\% \\ -0\% \end{matrix}$	0.275 A/kV $\pm 30\%$ (at 400 ns)	0.15 A/kV $\pm 50\%$ (at 800 ns)

表 2: 接触放電電流の規定

図 5: 接触放電波形 (150 pF / 330 Ω)

ESD 発生器の検証で使用する電流ターゲットは、それを同軸ケーブルに接続するためのターゲット・アダプタと組み合わせたものの挿入損失が DC から 1 GHz までで ± 0.5 dB の範囲で平坦であることを検証し、また ESD 発生器の検証に際して測定された電圧から電流への換算のために必要となるトランスファ・インピーダンスを同定する。

2.2.3 ESD 発生器の向き

ESD を DUT に印加する際、ESD 発生器は DUT の面に対してできる限り垂直にする。そうすることができない場合も、面に対して 45° 以上の角度とすることが望ましい。

2.2.4 放電リターン・ケーブル

放電リターン・ケーブルは通常は 2 m 以下とするが、その長さでは足りない場合、波形の要求を満足するならば、3 m までのものを用いることができる。

試験の際に用いる放電リターン・ケーブルは、ESD 発生器の検証の際と同一のものでなければならない。また、試験に際して、放電リターン・ケーブルは DUT などに近付けないようにする。

2.3 接触放電と気中放電

2.3.1 接触放電

通常、導電性の部分に対しては、尖った電極を試験箇所 접촉させた状態で放電スイッチを閉じて放電を発生させる、接触放電が用いられる。

導電性の部分に塗装などの非導電性の表面処理が行なわれている場合、それが絶縁のためのものであるならば代わりに気中放電を用いるが、そうでないならば印加箇所の塗装などをあらかじめ取り除くか電極の先端で突き破って電極の先を導電部に接触させて接触放電を行なう。

必要な場合、導電性の部分に対して接触放電に加えて気中放電を実施することもでき、これが必要な場合はテスト・プランで指定する。

2.3.2 気中放電

非導電性の部分に対しては、先に放電スイッチを閉じてから丸い電極を試験箇所に近付けて放電を発生させる、気中放電が用いられる。

接近速度として 0.1 ~ 0.5 m/s という値が示されているものの、ESD 発生器を手で動かして試験を行なう際に速度を管理することは難しいので、実用上はできる限り素早く近付けるようにされる。^{†10}

気中放電では、通常、人の指先を代表するような、先端が直径 8 mm の半球状となった放電電極を用いる。15 kV 以上での試験では、プリ放電（意図した ESD に先立っての電荷の漏洩）の発生を避けるために大きな（例えば直径 20 ~ 30 mm の）電極を用いることもできる。

接触放電よりも気中放電の方が実際の ESD の状況に近いものの、気中放電の方が試験条件の影響などを受けやすく、試験の再現性が良くないものとなる傾向がある。また、接触放電では ESD 発生器を接触させたままで繰り返して放電を印加できるのに対して、気中放電では放電の都度 ESD 発生器を接近させることが必要となるため、気中放電試験は手間と時間を要するものとなる。このため、この規格では、接触放電が適用可能な導電性の部分に対しては接触放電の適用を優先するようになっている。

2.4 印加箇所の除電

DUT への放電を行なう際、放電によって印加箇所に注入された電荷は次の放電を印加する前に取り除かなければならない。^{†11†12}DUT の電源のマイナス側は水平結合板 (HCP) に接続されており、そこの導通がある箇所に注入された電荷は速やかに逃げ去るため、多くの場合は除電を意識する必要はない。だが、絶縁された箇所については、注入された電荷が長時間残り、放電毎に意識的に除電を行なうことが必要となる場合がある。

この規格では、その方法として以下のものが示されている：

- 高抵抗 ($\geq 1 \text{ M}\Omega$) の除電ワイヤで、放電箇所とグラウンドのあいだ、(2) DUT のグラウンドとグラウンド、の順に触れる^{†13}
- 放電の時間間隔を延ばし、電荷が自然に消散するようにする

^{†10} 接近速度が遅い方が放電電流波形の立ち上がり時間が遅く、ピーク電流は低くなるため、試験が甘くなることが予期される。なお、ISO 10605 ed. 1 (2001) では、非常にゆっくりと ($\leq 5 \text{ mm/s}$) 近付けるように定められていた。

^{†11} 印加箇所に電荷が残っている状態で次の同極性の放電を行なった場合、(1) 放電に際して意図したよりも少ない電荷しか注入されない、(2) 放電の繰り返しによって意図したよりも高い電位に達する、という問題の発生が予期される。

^{†12} 電荷が十分に減衰するのに 1 秒以上を要する可能性がある場合、そのような箇所や可能な除電の方法について試験者に伝える (テスト・プランに明記する) ことが望ましいだろう。そのような情報がないと、意識的に除電を行なわなければ電荷が残ることに試験者が気付かず、電荷が残った状態のままで次の放電を印加してしまう可能性がある。

^{†13} それが試験結果に影響を与えない証拠があるならばワイヤを DUT に付けたままとしても良い。

- 電荷の減衰を促進するためにイオナイザを使用する†14†15

2.5 環境条件

他の条件が合意されている場合を除き、試験環境は気温 25 ± 10 °C、相対湿度 20～60% の範囲とすることが求められ、20°C、30% での試験が推奨されている。†16

3 コンポーネント試験

3.1 直接放電試験

通電状態のコンポーネントに対して直接発生する ESD の影響を評価するもので、実際の使用中に触れられる箇所が印加対象となる。

車内から容易に近付ける場所に設置されるコンポーネントは 330 pF と 330Ω での、車外から容易に近付ける場所に設置されるコンポーネントは 150 pF と 330Ω での試験を行なう。

試験対象のシステムは図 6 に示すようにセットアップして電源を入れて動作させ、各試験箇所に、各試験電圧と極性で少なくとも 3 回の放電を 1 秒以上の間隔で行なう。試験は、最大の試験電圧までの少なくとも 2 つの試験電圧で、双方の極性について行なう。

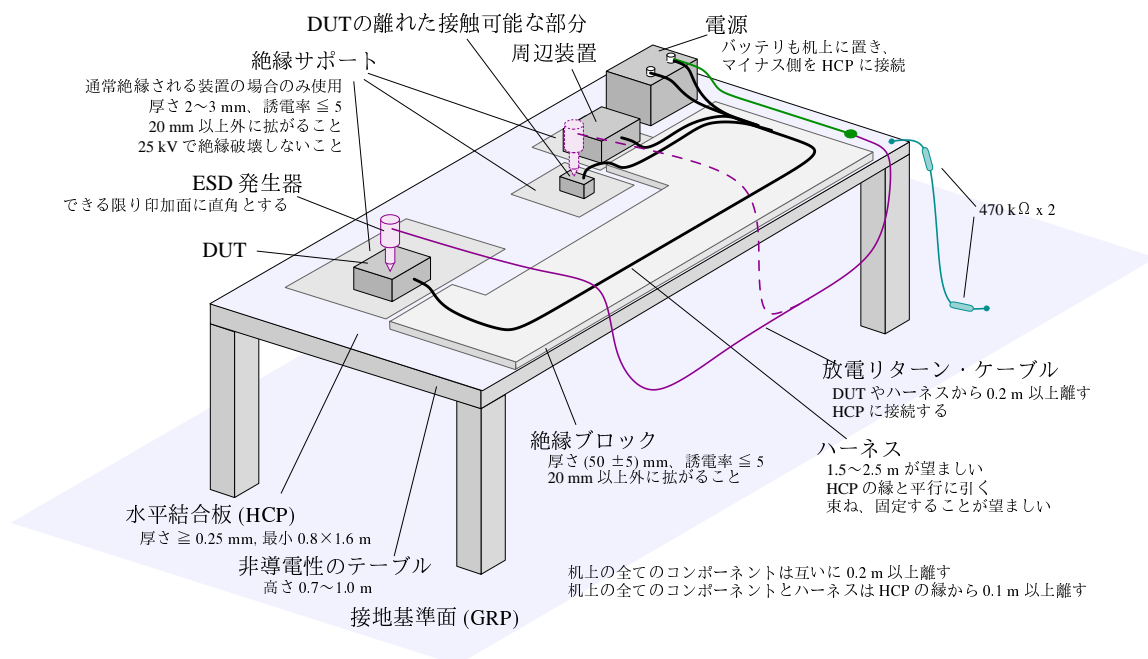


図 6: 直接放電試験

†14 イオナイザの効果は除電したい箇所にどれだけのイオンが到達するかに依存し、イオナイザの能力、配置、試験対象品の構造などによっては除電に相当の時間を要する場合もある。

†15 気中放電試験に際してはイオナイザは切らなければならない。

†16 環境条件は、特に気中放電に大きな影響を与える可能性がある。

3.2 間接放電試験

通電状態のコンポーネントの近傍で発生した ESD (主に車体への ESD) の影響を評価するもので、試験対象システムの下にある水平結合板 (HCP) に、DUT の各面の側から ESD を印加する。

車内から容易に近付ける場所に設置されるコンポーネントは 330 pF と 330 Ω での、車外から容易に近付ける場所に設置されるコンポーネントは 150 pF と 330 Ω での試験を行なう。

試験対象のシステムは図 7 に示すようにセットアップして電源を入れて動作させ、各試験箇所、各試験電圧と極性で少なくとも 50 回の放電を 50 ms 以上の間隔で行なう。試験は、最大の試験電圧までの少なくとも 2 つの試験電圧で、双方の極性について行なう。

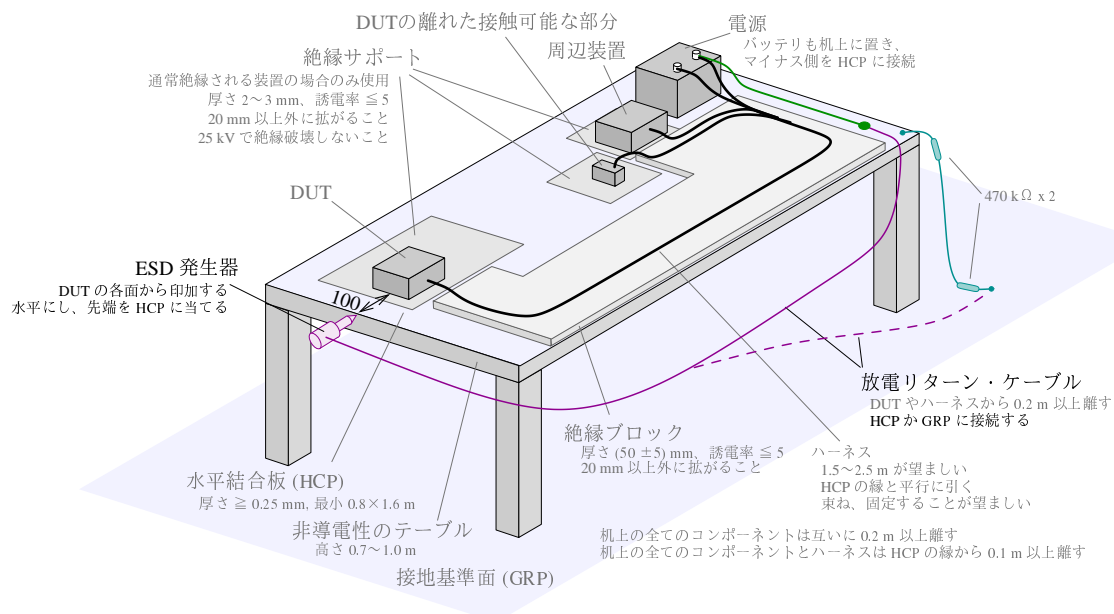


図 7: 間接放電試験

3.3 パッケージング/ハンドリング試験

組み立てや保守に際しての ESD を模擬するもので、150 pF とテスト・プランで指定された放電抵抗を使用し、全てのピンやコンタクト^{†17}を接触放電で、取り扱い中に触れることのできる全ての箇所を気中放電で試験する。

放電電極がコネクタのピンに届かない場合やピンの間隔が狭い場合は、0.5~2 mm² の 25 mm 以下の被覆線を用いて印加を行なう。

DUT は周辺装置や電源を接続せずに図 8 に示すようにセットアップし、各試験箇所、各試験電圧と極性で少なくとも 3 回の放電を 1 秒以上の間隔で行なう。試験は、最大の試験電圧までの少なくとも 2 つの試験電圧で、双方の極性について行なう。

^{†17} この要求はやや過酷なもので、大抵はほぼ全ての信号入出力について適切な ESD 防護が必要となるだろう。IC などの半導体の ESD 耐性が古典的な HBM (^{†5} 参照) でのレベルで示されていることがあるが、半導体の入出力が HBM で 8 kV に耐えるとしても、この試験では 4 kV 以下で損傷を生じるかも知れない。

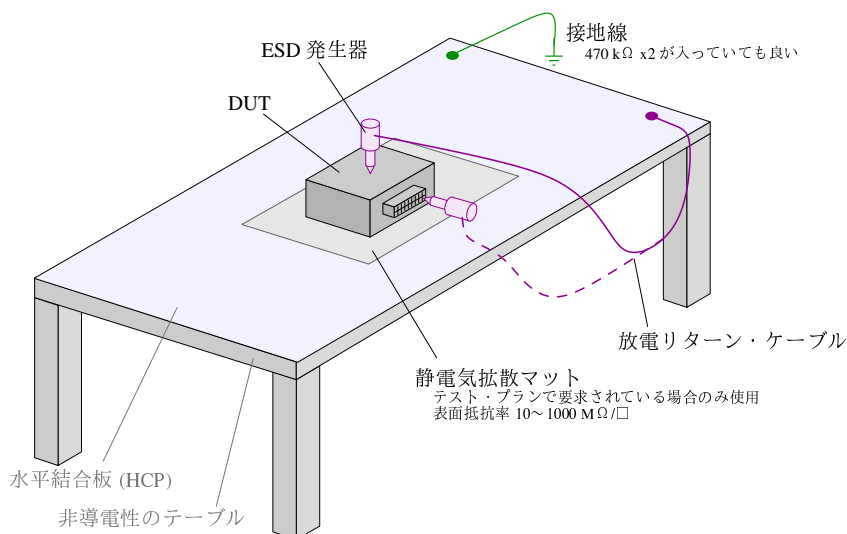


図 8: パッケージング/ハンドリング試験

3.4 オプションの試験セットアップ (Annex F)

この規格の Annex F には、図 9 に示したような形状の結合板を用いた通電状態での試験が参考扱いで含まれている。

直接放電試験では、試験対象のシステムは図 9 に示すようにセットアップして電源を入れて動作させ、各試験箇所、各試験電圧と極性で 10 回の放電を行なう。放電によって DUT に注入された電荷は次の放電の前に約 1 MΩ の除電ワイヤを用いて取り除くが、その代わりに放電のあいだに 2 秒以上の間隔を置くようにしても良い。この試験は、DUT の設置場所に応じて、330 pF と 330 Ω、もしくは 150 pF と 330 Ω で、接触放電 (導電性の部分) と気中放電で行なう。

間接放電試験では、図 10 に示すように、フィールド結合ストリップのそれぞれの島に、各試験電圧と極性で 10 回の放電を行なう。この場合の放電の間隔は 2 秒が標準である。この試験は、330 pF と 330 Ω で、接触放電で行なう。

3.5 試験電圧

この規格は試験方法を定めるもので、この規格を直接用いる場合、試験電圧は試験対象品に応じてテスト・プランで定めることになる。車両メーカーへの納入に際しては、そのメーカーの規格が基準となるだろう。

例えば、Ford FMC1278^[4] では、以下の試験電圧が定められている:

- 通電状態での試験
 - 接触放電試験: 4 kV, 6 kV, 8 kV
 - 気中放電試験: 4 kV, 6 kV, 8 kV, 15 kV, 25 kV
(25 kV は車両外から近付ける箇所や他の部分に触れずに近付ける箇所のみ)
- パッケージング/ハンドリング試験
 - コネクタのピン
 - * 接触放電試験: 4 kV

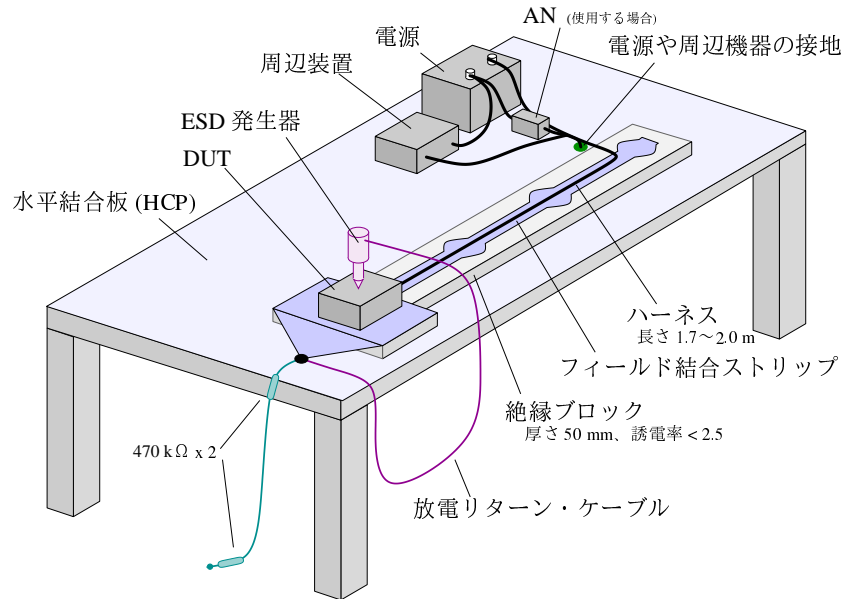


図 9: Annex F — 直接放電試験

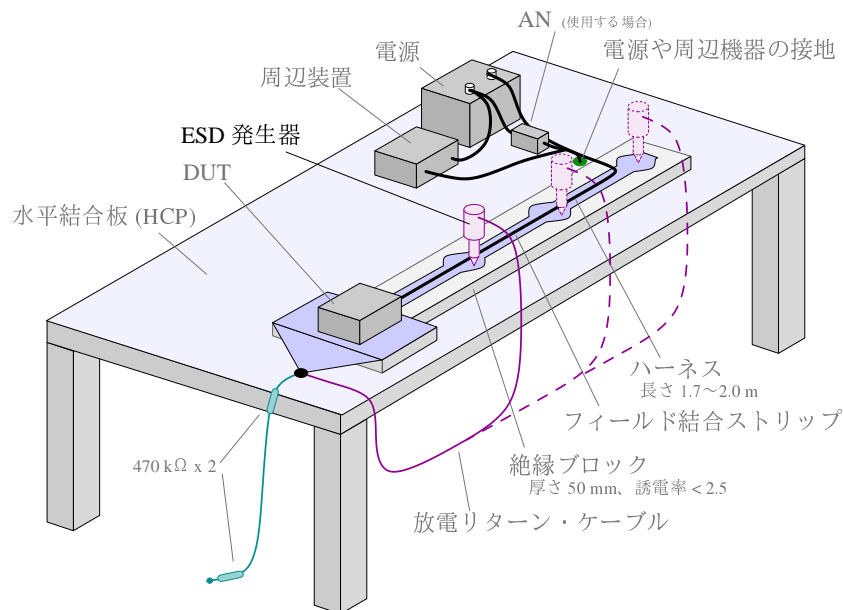


図 10: Annex F — 間接放電試験

— その他

- * 接触放電試験: 4 kV, 6 kV
- * 気中放電試験: 8 kV

4 車両試験

車内から容易に近付ける箇所は 330 pF、車外から容易に近付ける箇所は 150 pF、車内からも車外からも容易に近付ける箇所はその双方で試験する。放電抵抗は、おそらくはテスト・プランの指定に従い、330 Ω か 2 000 Ω のいずれかを使用する。

ESD 発生器のグラウンドは、車内から近付ける箇所の試験では車体の金属部に、車外から近付ける箇所の試験では車体の金属部が印加箇所に近い車輪の下に敷いた金属板に接続する。

5 参考資料

- [1] ISO 10605:2008 and ISO 10605:2008/Amd 1:2014, *Road vehicles — Test methods for electrical disturbances from electrostatic discharge*, ISO, 2008–2014
- [2] ECE Regulation No. 10 Revision 5, *Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to electromagnetic compatibility*, United Nations, 2014,
<http://www.unece.org/trans/main/welcwp29.html>
- [3] ECE Regulation No. 10.05 の概要, 株式会社 e・オートマ, 2014–2015,
<http://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>
- [4] FMC1278, *Electromagnetic Compatibility Specification For Electrical/Electronic Components and Sub-systems*, Ford Motor Company, 2015,
<http://www.fordemc.com/docs/requirements.htm>
- [5] *The repeatability of system level ESD test and relevant ESD generator parameters*, Jayong Koo et al., IEEE, 2008, doi: 10.1109/ISEMC.2008.4652119