

静電気試験のポイントと対策のヒント

2015年6月

株式会社ノイズ研究所

技術部 木村英樹

1. 試験の概要

IEC61000-4-2で規定された静電気試験は、帯電した人体からの静電気放電を模擬しており、正常動作の逸脱や破損の有無を評価する。

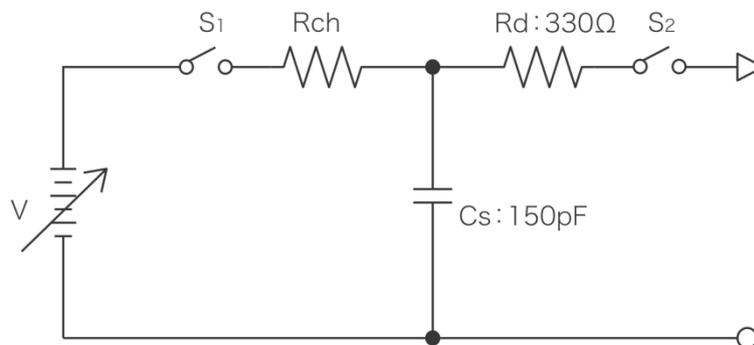
具体的な試験方法としては、コンデンサにチャージした静電気を供試機器に直接、あるいは試験用治具を使用して間接的に印加する形となるが、印加する静電気は立ち上がりが非常に高速でGHz帯に及ぶ極めて広帯域な高周波成分を持っているため、単純な耐電圧試験ではなく二次的に発生する高周波電磁界に対する耐性試験となり、それを踏まえて十分な対策を施しておかなければ簡単に不具合を引き起こす厳しい試験となる。

試験環境としては、試験中の静電気放電によって周囲の電子機器に不具合を与える可能性があるため、シールドルームあるいは電波暗室での実施が推奨される。

そして試験エリアの床面に、印加する静電気の基準電位となる金属板（基準接地面）を敷き、その上に規定高の絶縁支持台を介して供試機器を配置する。

なお、発生回路に使用するコンデンサと放電抵抗はそれぞれ150pFと330Ωが一般的な値であり、これは人体の静電容量と放電抵抗の代表値を引用しているものである。

ただし、素手の人体ではなく工具等の金属物を持った人体がモデルとなっているため、放電抵抗の値はその分低い値となっている。（素手の場合は代表値2kΩ前後）



静電気試験器の簡略回路

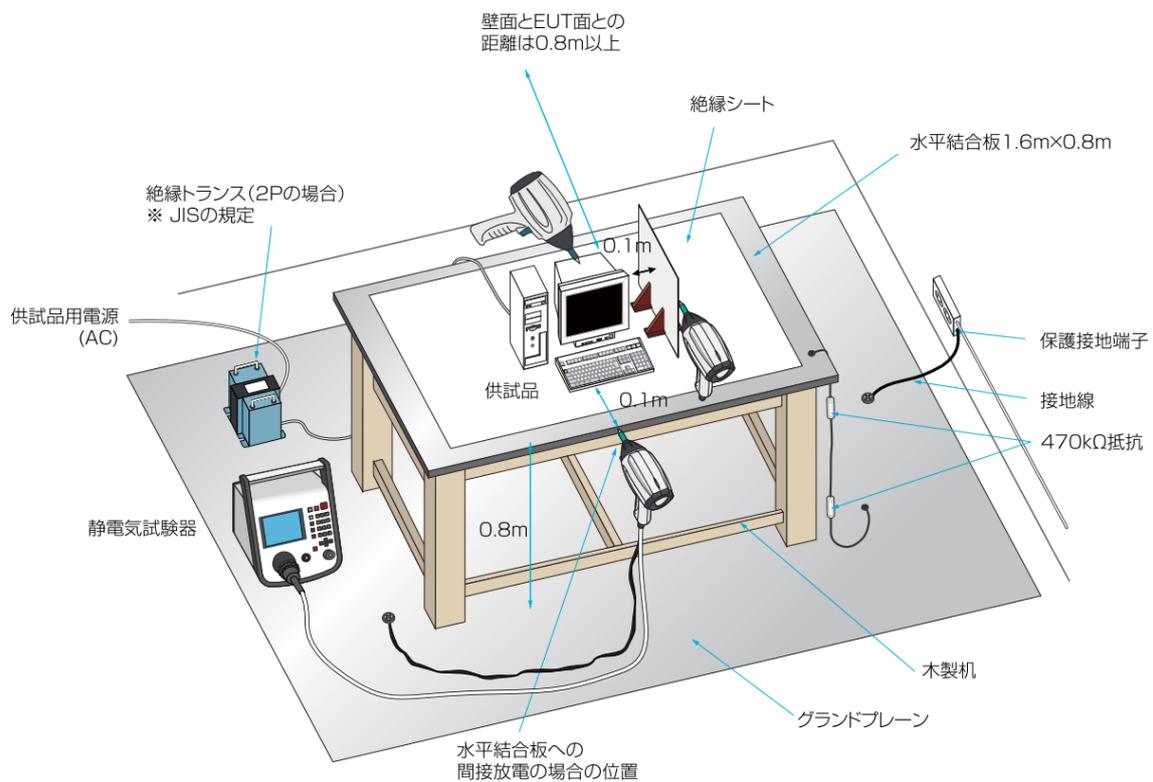
静電気の印加方法としては、供試機器に直接印加する“直接放電”と結合板と呼ばれる治具を使用する“間接放電”に分類される。

直接放電は通常使用において人体が直接接触すると想定される部分が対象となり、その中で導電性の部分には接触放電（対象に接触している状態で電圧を発生させる）、非導電性の部分には気中放電（帯電させた電極を離れたところから近付ける）、と印加方法が異なる。

実際に発生する静電気放電はすべて気中放電であるが、気中放電は湿度など周囲の環境による影響を多く受けるため、試験においては定量性に乏しく不利であることがわかっている。この理由により、定量性に有利な手法として接触放電法を優先的に選択することが規定されている。

間接放電は、スチール机や隣接機器など近傍の金属物への静電気放電を想定し、結合板と呼ばれる治具（金属板）に印加して試験する。

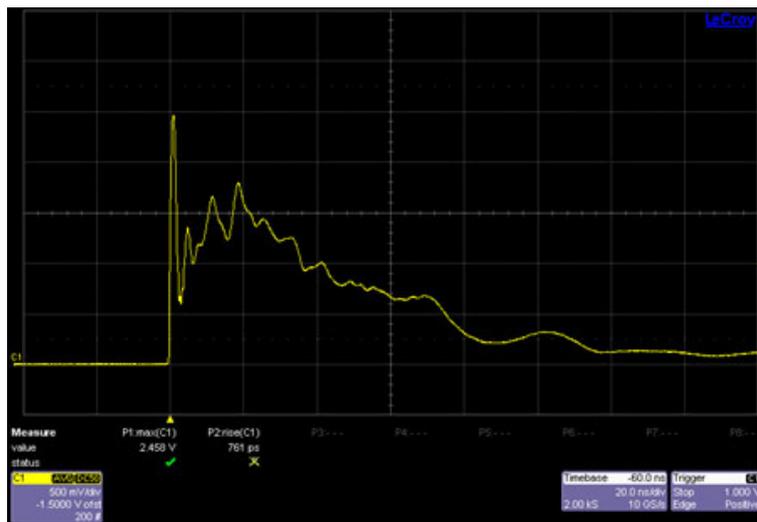
ただし、結合板から供試機器に対して二次的放電を引き起こすのではなく、結合板と供試機器との電磁結合による評価となる。



試験機器の配置例

2. 試験のポイント

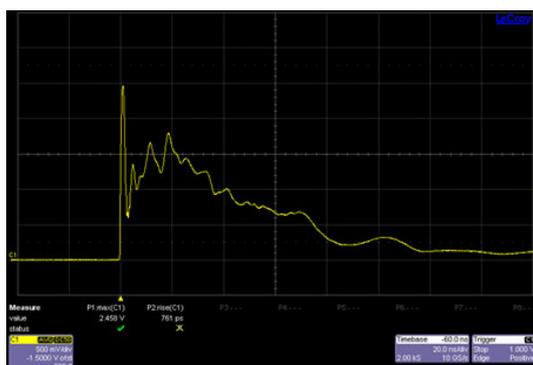
静電気試験器の出力波形は、鋭い立ち上がりと緩い立ち上がりの合成波形となっている。鋭い立ち上がりは放電ガンと供試機器との間で発生する寄生容量（分布容量）によって得ることができ、緩い立ち上がりは $150\text{pF}/330\Omega$ の CR によって得られる放電カーブとなる。



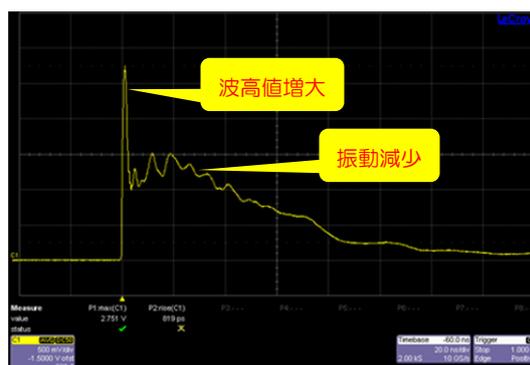
静電気試験器の出力波形（電流波形）

供試機器に対する作用はそれぞれ異なるが、どちらのパルスにも高周波成分が含まれており、これらは放電ガンの取り扱いや供試機器との位置関係により影響を受ける。ここでは、試験の定量性および再現性の向上を意識し、試験器の出力波形に影響を与えていくつかのケースを紹介する。

まず一つは放電ガンの握り方であり、これは意識的に統一することが望ましい。特に長時間に及ぶ静電気試験では、放電ガンの重量に手が疲れてしまうこともあって、放電ガンを両手で支えたりする様子が散見される。しかし、導電体である人体が放電ガンに寄生すると放電ガンの高周波作用に影響を与えてしまい、結果的に定量性を損ねる要因となってしまう。また、放電ガンには主に緩い立ち上がり部分の帰路として機能する GND ケーブルが備わっているが、この GND ケーブルも手で保持したりすると波形の変化を引き起こしてしまう。したがって、放電ガンはグリップ以外の部分をむやみに触らないよう注意する必要がある。



標準波形



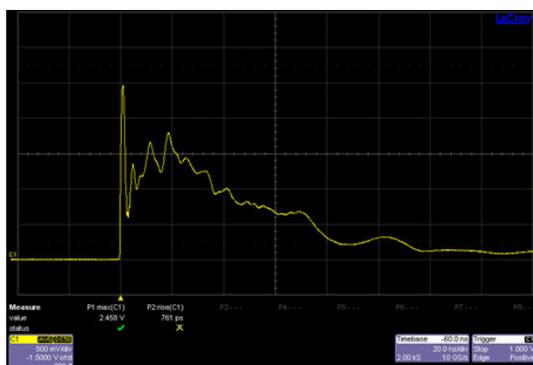
グリップ以外に触れた場合

さらに、印加表面に対する放電ガンの角度にも配慮が必要である。

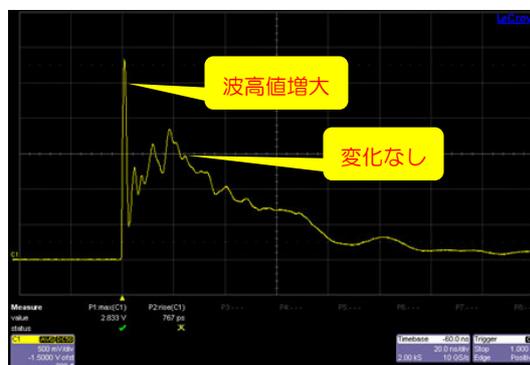
静電気試験では高周波要素を持つ鋭い立ち上がりが最大の特徴であり、先述のとおりこの鋭い立ち上がりは放電ガンと印加表面との分布容量によって得ることができる。

つまり、この分布容量は印加表面に対する放電ガンの角度によって変化するため、放電ガンを印加表面に対して直角に保持できていないと、印加波形が想定外の形で変化することになる。

したがって、放電ガンの印加表面に対する角度には注意を払う必要がある。



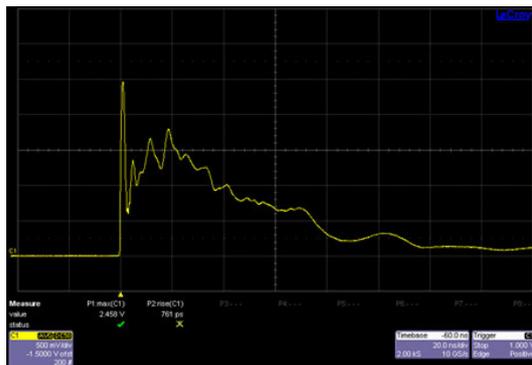
標準波形



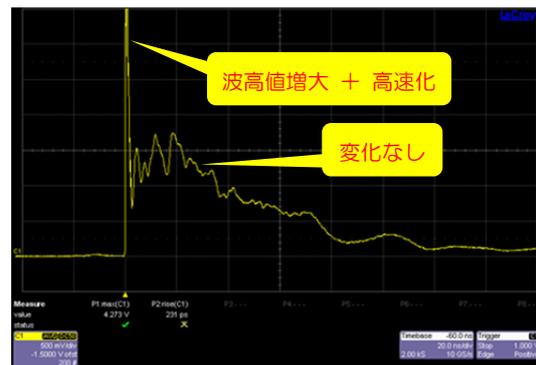
放電ガンの角度が直角でない場合

そして、供試機器の外装に接触放電を実施する場合、その部分が塗装されていることが多くあるが、印加点が塗装されている場合は塗装を突き破ってきちんと導電部に接触させなければならない。

これができていないと、塗装の厚み分の微小なギャップで火花放電することになり、非常に高速な立ち上がりの電流、すなわち通常よりもさらに高周波成分を多く含む脅威的なパルスが印加される形となって、供試機器の仕様によっては規格要求以上に厳しい試験となってしまう。



標準波形



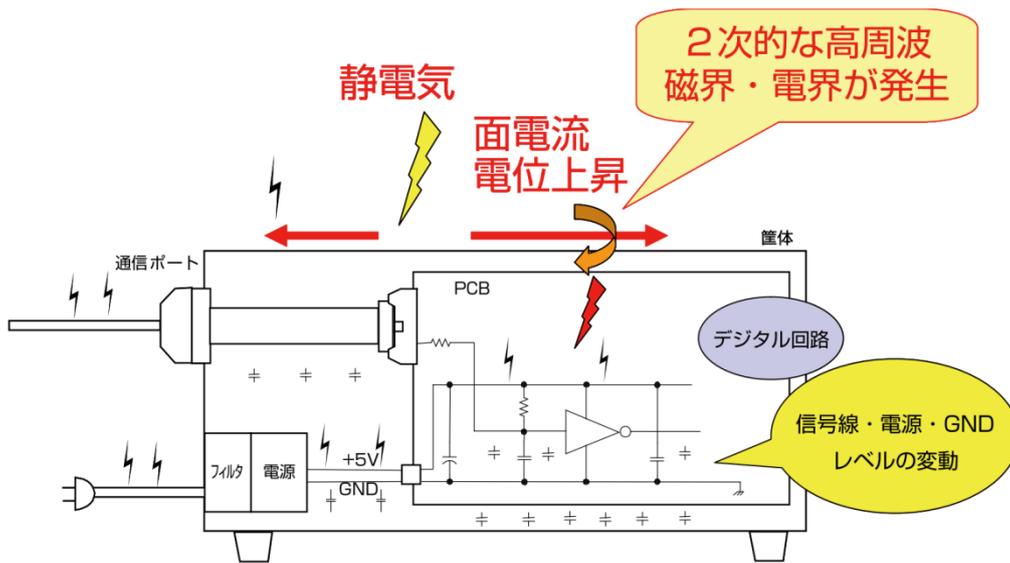
塗装面に対する接触が不完全な場合

静電気試験は放電ガンによる実施となるため人が介在する試験となり、どうしても放電ガンの取り扱いや人体の影響など不定要素が多く、定量性を追求することが難しい。したがって、少なくともこうしたことを念頭に試験に取り組むことが、試験の定量性を少しでも向上させるために重要となる。

3. 対策のヒント

先述のとおり、静電気試験は単なる耐電圧試験ではなく、二次的に発生する高周波電磁界に対する耐性試験でもあり、この高周波要素をいかに発生させないか、そしていかに受けにくくするかが対策のポイントとなる。

供試機器の筐体に静電気を印加すると、その放電電流はいち早く面電流として筐体の表面を拡散し、浮遊容量を介して水平結合板あるいはグラウンドプレーンと結合する。そしてその後、筐体上の電荷がインピーダンスの低い最短経路を介して供試機器の接地接続へ流れていく形となるが、この状態遷移の中で二次的に発生する電磁界が内部の基板や部品、あるいは配線などに結合して機器の動作を脅かす形となる。



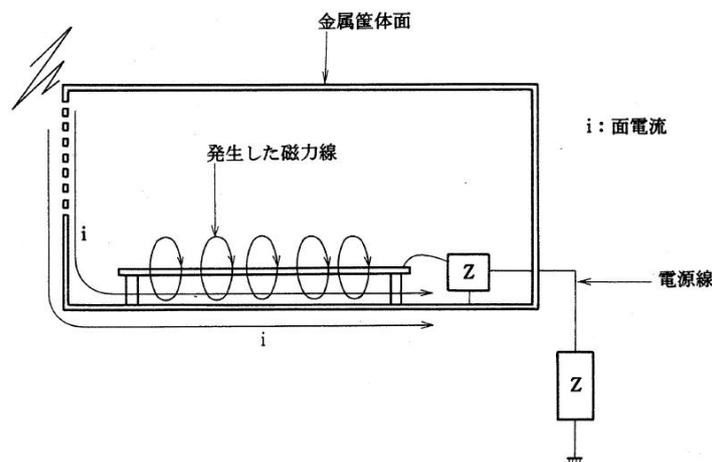
静電気試験における供試機器への影響

このとき、放電電流が筐体の表面を拡散する際や、供試機器の接地接続へ流れていく際には高周波要素を持つ磁界が発生するため、磁界に曝される供試機器の回路は誘導結合により影響を受ける。

また、静電気を印加することで筐体の電位が上昇した際には高周波要素を持つ電界が発生するため、電界に曝される供試機器の回路は容量結合により影響を受ける。

これら高周波要素を持つ電界／磁界は、筐体の表面を電流が拡散して密度の低い状態となれば、発生する電界／磁界それぞれ小さく回路への結合も弱い。

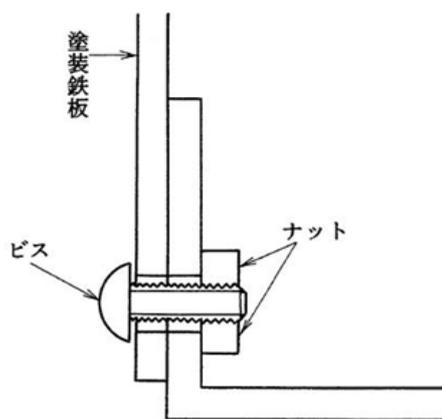
ところが、その電流経路に筐体の継ぎ目やネジ止めされた部分など、高周波的に不連続となる部分（電流の流れを妨げる部分や電流が集中する部分など）があると、そこでインピーダンスに応じた電磁界が発生することになる。



放電電流が接地へと流れていく様子

このことから、筐体に印加した静電気を即座に拡散させた上でスムーズに接地へ流してやるのが静電気対策の鉄則であり、それができていないと対策に苦慮することになる。

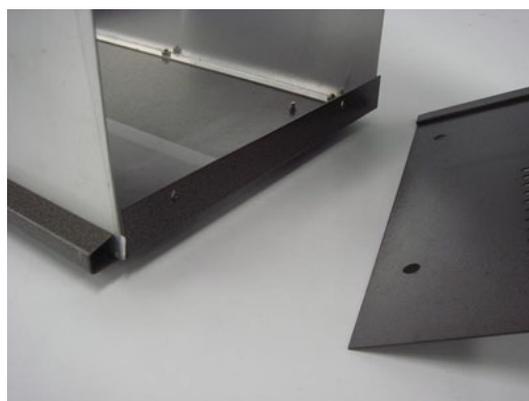
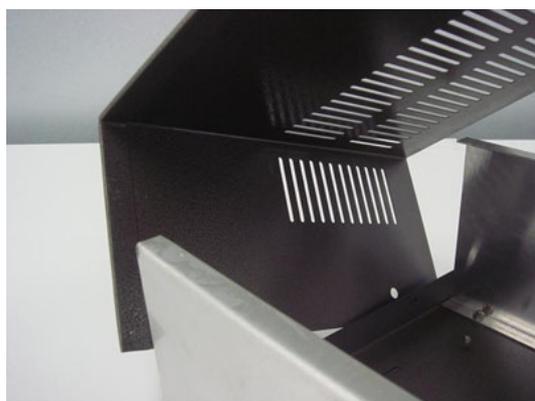
具体的な注意点として、例えば板金をネジ止めするような構造の場合には、ネジやナットが接触する部分の塗装を剥がすとか、菊座金を入れるとか、要するに点接触の状態ではなく面接触の状態を意識することが重要となる。



ビスやナットが接触する部分は塗装を剥がす

また同じように、板金同士が接触する部分についても塗装を剥がしたり、あるいはガスケットを入れたり、全ての板金が一体の構造となるような配慮が不可欠となる。

こういった筐体構造については、静電気試験に限らず“放射エミッション”や“放射イミュニティ”においても効果を発揮する。



板金同士が接触する部分は塗装を剥がす（ガスケットの併用）

さらに、電位差による影響についても考慮しておかなければならない。

静電気を印加することで供試機器の筐体電位が上昇するが、このとき回路の電位も同じように上昇すれば電位差は生まれなため特に問題は発生しない。

しかし、筐体電位の上昇に対して回路電位が異なると電位差が発生することになり、二次放電の危険性や電磁界の影響を受けやすい状態となる。

したがって、回路のグラウンドは筐体電位と同等にしておくことが望ましい。

ただし、筐体の各部位で発生する電位差や、ユニットが複数ある場合に発生する電位差など、全体の中で発生する電位差によって回路が静電気の通り道となってしまうような場合には、筐体との接続がかえって大きく影響することになるため電位差を排除する対策が必要となる。

なお、ここまでの話はあくまで金属筐体の場合で、供試機器が樹脂筐体の場合には主に気中放電による試験となる。

気中放電は、筐体表面の隙間から内部の板金あるいは部品などに放電を実施するもので、場合によっては回路自体に静電気が直接入り込む形にもなる。

その際、入ってきた静電気をバリスタ等で対策するというのも手ではあるが、そもそも静電気を筐体内部に入れない、つまり放電を受けない構造にするというのも一つの対策手法となる。

また、気中放電によって発生する電磁界や、間接放電によって影響を受けるような場合には、筐体の内側に電磁界をガードするための金属板や筐体の内側に導電塗装を施してシールド効果を高めるのも有効な対策の一つとなる。



筐体の内側に導電塗装を施した例

ここで、対策に有用となるツールとして“衝撃アダプタ（近傍プローブ）”を紹介する。

“衝撃アダプタ（近傍プローブ）”は、静電気を印加することで発生し得る電界／磁界を再

現するための治具であり、供試機器の外装を取り外し裸の状態を検証していくことで対策が必要な部位を探索することができる。

この衝撃アダプタには“電界用”と“磁界用”の2種類があるため、これらを使い分けることでどちらの影響が支配的なのを見極めることができる。

また、方形波インパルスノイズ試験器の出力も静電気試験器と同様に高速な立ち上がりを持っているため、専用の近傍プローブを使用することで静電気対策の用途で活用することができる。



衝撃アダプタ（電界用）



衝撃アダプタ（磁界用）

4. まとめ

先述のとおり、静電気の対策を行う際には供試機器の材質をはじめ筐体の構造や内部の回路構成などでも対策手法が大きく異なってくるため、これらを良く考慮して臨む必要がある。また、試験結果に差異を発生させないためにも、できるだけ定量性を意識した取り組みが重要である。