

ESD ガンの IEC イミュニティ試験法に対する放電電流の特性比較

森 育子[†] (学生員) 高 義礼[†] (正員)
 藤原 修^{†a)} (正員) 石上 忍^{††} (正員)

Characteristic Comparison of Discharge Currents Caused by Electrostatic Discharge Gun for IEC Immunity Testing

Ikuko MORI[†], Student Member, Yoshinori TAKA[†], Osamu FUJIWARA^{†a)}, and Shinobu ISIGAMI^{††}, Members

[†] 名古屋工業大学大学院, 名古屋市

Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology, Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya-shi, 466-8555 Japan

^{††} 独立行政法人情報通信研究機構, 小金井市

National Institute of Information and Communications Technology, 4-2-1 Nukui-kitamachi, Koganei-shi, 184-8795 Japan

a) E-mail: fujiwara@elcom.nitech.ac.jp

あらまし ESD ガンの放電電流を接触と気中の両放電で測定し, 電流ピーク, 立上り時間を充電電圧との関係において調べた. その結果, 気中放電は 1kV 以下では接近速度の放電電流に及ぼす影響は小さく, しかも接触放電の場合よりも電流波形のピークが高く立上り時間も短くなることが分かった.

キーワード 静電気試験器, 気中放電, 放電電流波形, 電流ピーク, 立上り時間

1. ま え が き

近年, 電磁雑音に対する機器耐性の劣化が問題となっており, 特に帯電人体からの静電気放電 (ESD: Electrostatic discharge) は, ハイテク機器ほど深刻な障害を引き起こすことが知られている [1]. このような背景から, ESD に対する電子機器の耐性 (イミュニティ) 試験法が国際電気標準会議 (IEC: International Electrotechnical Commission) で取り決められ, 例えば IEC 61000-4-2 [2] では帯電人体からの ESD を模擬した静電気試験法が示されている. 表 1 は IEC 規定による ESD ガンの接触と気中放電に対するイミュニティ試験レベル [2] を示す. 一般には接触放電が適用されるが, 気中放電は, 火花を介するために接触放電よりも厳しい試験法とされながら, 放電電流波形そのものがガンの充電電圧や接近速度 [3] に影響され, 波形の再現性も悪いことから IEC では詳細を規定していない.

一方, ESD の試験レベルとしては, 接触放電では充電電圧は 2kV から 8kV, 気中放電では 2kV から 15kV と定めているが, 電子機器に対しては低電圧 ESD の方が高電圧 ESD よりも深刻な電磁障害をもた

表 1 IEC 規定による ESD ガンのイミュニティ試験レベル [2]

Table 1 Immunity test levels of ESD-guns prescribed in the IEC [2].

| Contact discharge | | Air discharge | |
|-------------------|-------------------|---------------|-------------------|
| Level | Test voltage [kV] | Level | Test voltage [kV] |
| 1 | 2 | 1 | 2 |
| 2 | 4 | 2 | 4 |
| 3 | 6 | 3 | 8 |
| 4 | 8 | 4 | 15 |
| X | special | X | special |

らすことが ESD の特異事象として知られている [1]. 本論文では, ESD ガンの接触と気中放電に対する放電電流を高速デジタルオシロスコープ (帯域: 6 GHz, サンプリング速度: 20 GHz) で測定し, 電流波形のピークと立上り時間の充電電圧依存性を調べた. その際, IEC 規定の電流検出変換器は伝達周波数特性をもつため [4], 周波数特性が 12 GHz あたりまで平坦な 50Ω-SMA コネクタに対して放電を行った.

2. 測 定 法

図 1 (a) は, ESD ガンの SMA コネクタへの気中放電で放電電流を測定するための配置を示す. 同図に示すように縦横 1m のアルミ板をグラウンドとし, その中央に SMA コネクタを取り付け, コネクタは同軸ケーブルを介してデジタルオシロスコープ (入力抵抗: 50Ω, 帯域: 6 GHz) に接続した. ESD ガンの放電電極及び SMA コネクタ周辺の拡大図を図 1 (b) に示す. 同図に示すように, SMA コネクタには, 電極の接触を容易にするため, 直径 6 mm の金属円盤 (以後ターゲットと呼ぶ) が取り付けられている. なお, 接触放電と気中放電ではそれぞれ専用の放電電極を用いる. 接触放電用と気中放電用の各放電電極の構造と寸法の概略を図 1 (c) に示す.

気中放電では, 木杵からばねを介して吊りした ESD ガンを手元のスイッチを押して充電し, グラウンドからの高さ約 6 cm のところから, スwitchを押したまま SMA コネクタに近づけて放電させ, コネクタへの注入電流を前述オシロスコープで観測した. 充電電圧は 500 V, 700 V と 1kV から 2.5kV まで 0.5kV 刻みとし, 各充電電圧に対し, ガンを意図的に素早くターゲットへ近づけて放電させる高速接近 (接近速度: 約 20 cm/s) とゆっくりと近づけて放電させる低速接近 (接近速度: 約 2 cm/s) の 2 種類の速度を試みた. 各充電電圧の各速度ごとに 10 回ずつ放電させ, オシロスコープで電圧波形として観測し, それをオシロス

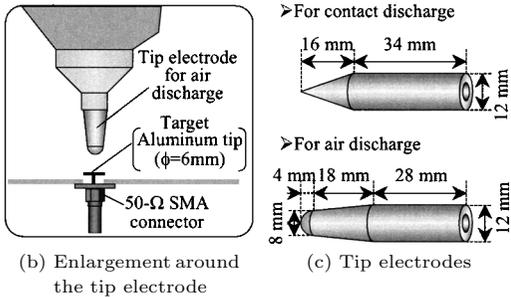
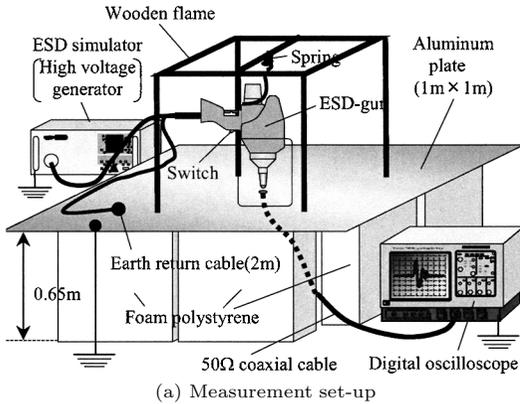


図 1 ESD ガンの気中放電で SMA コネクタ中心導体へ注入される放電電流を観測するための配置 (a) と電極付近の拡大図 (b)、放電電極 (c)

Fig. 1 Setup for observing the discharge current injected into the inner conductor of the 50-Ω SMA connector through the air discharge of an ESD-gun (a), enlargement around the tip electrode (b), and tip electrodes (c).

コープの終端負荷 50 Ω で除することで観測電流波形を得た。

接触放電では、ESD ガンの放電電極を図 1 に示したターゲットに接触させて固定し、高電圧発生器のコントローラのスイッチを押して放電させ、気中放電と同様の充電電圧で放電電流を観測した。電流波形は各充電電圧につき 5 回ずつ測定した。なお、測定は気温 26°C、相対湿度 40% のコンクリートビルディング内で行った。

3. 結果と考察

図 2 は、ESD ガンの気中放電による放電電流波形の観測結果の例を充電電圧 $V_C = 0.5 \text{ kV}$ と 2.5 kV だけを重ねて示す。同図は、横軸に時間、縦軸に電流をとり、放電開始から 5 ns までを示す。 $V_C = 0.5 \text{ kV}$ の例は、見やすさのため、横軸をずらして示している。黒の太線は高速接近、灰色の細線は低速接近、点線は接触放電の波形をそれぞれ示す。同図から、充電電圧

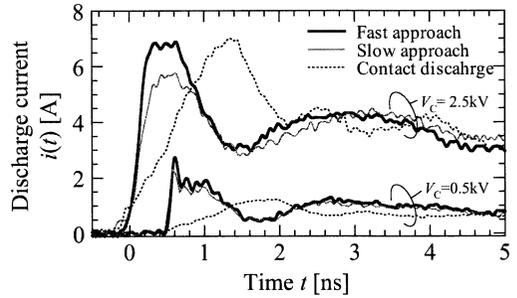


図 2 ESD ガンによる放電電流の測定波形例 ($V_C = 0.5, 2.5 \text{ kV}$)
Fig. 2 Examples of observed waveforms of the ESD-gun ($V_C = 0.5, 2.5 \text{ kV}$).

$V_C = 0.5 \text{ kV}$ の気中放電ではガンの接近速度にかかわらず電流ピーク及び波形の立上り部分はほぼ一致していること、接触放電と気中放電を比較すると、気中放電の方がピークが高く立上りも鋭いこと、などが分かる。充電電圧 $V_C = 2.5 \text{ kV}$ では、高速接近の方が低速接近よりも電流ピークが高く波形の立上りが鋭いこと、電流ピークは同レベルだが接触放電の方が気中放電よりも立上りが緩やかであること、などが分かる。

図 3 (a) は電流ピークの充電電圧依存性を、同図 (b) には立上り時間の充電電圧依存性をそれぞれ示す。両者とも横軸は充電電圧、縦軸は図 (a) では電流ピーク、図 (b) では立上り時間をとっている。図中の白の丸印は高速接近の、灰色の丸印は低速接近の、×印は接触放電の平均値と標準偏差をそれぞれ示す。気中放電 (高速接近、低速接近) は各充電電圧につき 10 回の平均、接触放電は同様に 5 回の平均値を示している。なお、図 3 (b) 中の網掛けは、接触放電による電流波形の立上り時間に対する IEC の規定値 ($t_r = 0.7 \sim 1.0 \text{ ns}$) とデジタルオシロスコープ (帯域: 6 GHz) の帯域制限による測定限界 (オシロスコープの立上り時間 = 70 ps) を示す。ただし、使用したオシロスコープの周波数応答はフラット特性であり、その立上り時間の理論値は、立上り時間 = $0.40/3 \text{ dB}$ 帯域幅で与えられる [5]。図 3 (a) から、接触放電と気中放電の電流ピークを比較すると、2 kV 以下の充電電圧では気中放電の方が電流ピークが高くなっていることが分かる。気中放電に対する放電電流の接近速度依存性については、1 kV 以下では電流ピークは依存性は小さいが、充電電圧の上昇とともに影響を受け高速接近の方がピークが高くなる事が分かる。図 3 (b) から、接触放電では充電電圧にかかわらず立上り時間はほぼ一定で IEC

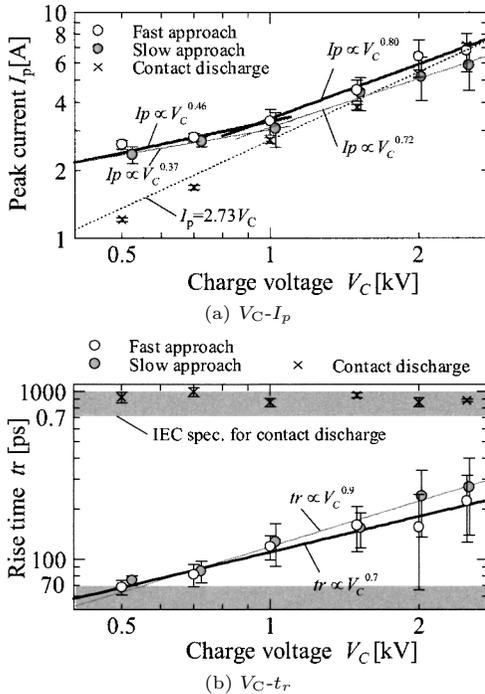


図 3 ESD ガンの気中放電の放電電流ピーク I_p (a) と立上り時間 t_r (b) の充電電圧依存性

Fig. 3 Dependence of peak current (a) and rise time (b) on charge voltage V_C .

規定値を満たしているが、気中放電においてはいずれの充電電圧でも IEC 既定値よりも短く、充電電圧が小さいほど立上り時間は短くなること、接近速度の依存性については 1 kV 以下では影響は小さく、それ以上では高速接近の方が立上り時間が短くなる傾向があること、などが分かる。

4. むすび

ESD ガンの接触放電と気中放電に対する放電電流

波形を充電電圧 0.5 ~ 2.5 kV において測定し、電流ピークと立上り時間の充電電圧依存性を調べた。その結果、1.0 kV 以下の充電電圧では、気中放電の方が接触放電よりも電流ピークが高く立上りも鋭いこと、この条件下 (IEC 規定の試験電圧よりも低い充電電圧) では、これらの特性はガンの接近速度にはあまり影響されないこと、などが分かった。このことは、ESD ガンの試験レベルを 1 kV 以下とすれば接触放電よりも気中放電の方が厳しいイミュニティ試験法になり得ることを示唆する。

低電圧充電電圧の ESD ガンの気中放電に対する電子機器のイミュニティ評価が今後の課題となる。その際に、実験システムの更なる高周波の検討を行った上で、より広帯域なオシロスコープによる測定を行う予定である。

文 献

- [1] 本田昌實, “金属物体で発生する静電気放電 (ESD) の脅威” 信学誌, vol.78, no.9, pp.849-852, Sept. 1995 など.
- [2] 日本工業標準調査会, “電磁両立性-第 4 部: 試験及び測定技術-第 2 節: 静電気放電イミュニティ試験” JIS C 1000-4-2: 1999 (IEC 61000-4-2: 1995/Amd. 1), 1999.
- [3] 馬杉正男, “放電電極の移動に伴う電界の過渡応答解析” 信学論 (B-II), vol.J76-B-II, no.11, pp.916-919, Nov. 1993 など.
- [4] 後藤剛史, 藤原 修, 石上 忍, 山中幸雄, “静電気試験器の較正用電流検出変換器に対する伝達インピーダンスの特性測定” 信学技報, EMCJ2003-68, MW2003-165, Oct. 2003.
- [5] Agilent Technologies, “オシロスコープの周波数応答とその立ち上がり時間精度への影響について” Application Note 1420, pp.1-8, Jan. 2003.

(平成 17 年 6 月 27 日受付, 8 月 15 日再受付)