

ESD ガンの放電配置に対する放電電流波形の依存性

足立 貴士[†](正員) 山本 典央^{†,††}(正員)
高 義礼^{†a)}(正員) 藤原 修[†](正員)

Dependence of Discharge Current Waveform on Arrangement of ESD-Gun

Takashi ADACHI[†], Norio YAMAMOTO^{†,††},
Yoshinori TAKA^{†a)}, and Osamu FUJIWARA[†], Members

[†]名古屋工業大学大学院工学研究科, 名古屋市

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

^{††}滋賀県工業技術総合センター, 栗東市

Industrial Research Center of Shiga Prefecture, 232 Kami-toyama, Ritto-shi, 520-3004 Japan

a) E-mail: taka.yoshinori@nitech.ac.jp

あらまし IEC 規定の静電気試験で機器に対して静電気試験器の推奨配置での接触放電が行えない状況を想定し, 種々の放電配置に対する放電電流波形を試験電圧との関係において測定した結果, 30 ns と 60 ns での電流値と立上り時間は IEC 規格範囲内であったのに対して, 電流ピークは配置によっては規格の公称値を 20% 上回ることが分かった。

キーワード 静電気試験器, 放電配置, 放電電流波形, 依存性

1. まえがき

近年の半導体技術の飛躍的な進歩に伴い, IC が高速・高集積化された結果, 高性能かつ高機能化された電子機器が市場に供給されている。しかしながら, これら電子機器の電磁雑音に対する耐性(イミュニティ)の劣化が問題となっており, 特に帯電した人体による静電気放電(ESD: Electrostatic discharge)は, 広帯域に及ぶ過渡電磁雑音を含むため, ハイテク機器ほど深刻な誤動作を引き起こす[1]~[4]。このような背景から, 国際電気標準会議(IEC: International Electrotechnical Commission)では, 帯電人体からのESDを模擬したイミュニティ試験法(IEC61000-4-2 [5])を標準化している。そこでは, 静電気試験器(以下, ESDガンと呼ぶ)による典型的な放電電流波形を規定し, 測定結果の再現性を向上させるためESDガンを試験機器(EUT: Equipment Under Test)に対して垂直に支持・放電することを推奨してはいるが, 現実には, この条件は必ずしも守られず, それゆえにガンの放電配置でどのような電流波形がEUTへ注入されるかは不明である。

本論文では, ESDガンをEUTきょう体へ垂直と上

下・左右に傾けた配置に対する放電電流波形を, 試験電圧との関係において測定した後, IEC 規定の電流ピーク, 30 ns, 60 ns での電流値, 立上り時間の放電配置依存性を示す。

2. 測定方法

ESDガンの放電電流波形は, イミュニティ試験に際しては校正用電流検出変換器(以下, ターゲットと呼ぶ)への接触放電に対する放電電流波形の校正が要求される。本論文では規格対応の市販ターゲット(MD 102 SCHAFFNER 社製)を用いるが, このターゲットの50Ω負荷に対する伝達インピーダンスと入力インピーダンスはいずれも約3GHz付近までほぼ1Ωに保たれることが示されている[6], [7]。更に文献[6]では, 本実験と同じターゲットへのESDガンの接触/気中放電に対する測定電圧波形(立上り時間: 0.85 ns/0.1 ns)から伝達インピーダンスを用いて推定した注入電流波形が測定電圧波形とほぼ一致したことを示している。一方, ESDガンの接触放電に対する放電電流の規格波形は, 立上り時間が0.7~1.0 nsであるため, ターゲットの伝達インピーダンスは1Ωに保たれることから, ターゲットの50Ω負荷に現れる電圧波形はターゲットへの放電電流波形に一致し[6], それはグラウンド^(注)への接触放電に対する電流波形にも一致することが確認されている[8]。したがって, 本論文では, このターゲットをEUTきょう体として用いた。

図1はESDガンのターゲットへの種々の放電配置に対する放電電流波形の測定方法を示す。図1(a)は, IECで推奨されるESDガンの垂直支持での放電配置(Vertical)と上(Upper), 下(Down)方向に傾けた放電配置に対する測定法を示す。同図(b)は, 左(Left), 右(Right)方向に傾けた場合を示す。床上の縦1m, 横1.5mのアルミ板をグラウンドとし, 縦2m, 横1.5mのアルミ板をそれと垂直に配置した。垂直なアルミ板の中央に上述のターゲットを取り付け, ESDガンの接触放電によるターゲットへの放電電流波形を, 50Ω同軸ケーブルと20dB(10dB+10dB)の減衰器を介してファラデーケージ内に配置したデジタルオシロスコープ(Tektronix TDS6124C, 入力インピーダンス: 50Ω, 帯域幅: 12GHz, サンプリング周波数: 40GHz, 測定点数: 8000点)で観測した。測定は, 5種類の放電配置について試験電圧 V_c をIEC規格の2kVから8kVまで1kV刻みで7通りに変化

(注): 本論文では「グラント」を「グラウンド」とする。

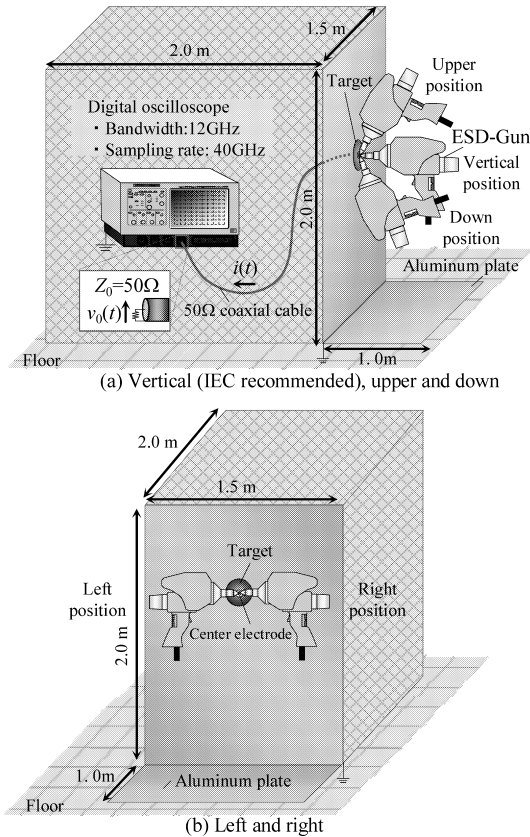


図 1 ESD ガンの種々の放電配置に対する放電電流波形の測定法 (a) 垂直 (IEC 推奨), 上, 下方向, (b) 左, 右方向

Fig.1 Measurement method of discharge current waveform for different arrangements of ESD-gun. (a) Vertical (IEC, recommended), upper and down, (b) Left and right.

させた計 35 通りの条件で 10 回ずつ総計 350 回の電流波形を測定した。なお測定は、室温 25°C、相対湿度 57%の室内環境でガンの放電リターンケーブルは規格に倣って手前に引き寄せ垂直アルミ板から離れた状況で行った。

3. 結果と考察

表 1 は、ESD ガンの接触放電に対する放電電流波形の IEC 規格を示す。IEC では各試験電圧 (試験レベル) での接触放電による放電電流の全体波形は規定しておらず、各試験電圧に対するの立ち上がり時間、電流ピーク、30 ns、60 ns での電流値の公称値と許容範囲だけを指定している。図 2 の上図は、試験電圧 2kV の ESD ガンを、垂直配置 (IEC 推奨)、下、右方向に傾けた場合の放電電流波形の測定例を、下図には波形

表 1 ESD ガンの接触放電に対する放電電流波形の IEC 規格

Table 1 IEC Specification of discharge current waveform for contact discharge of an ESD-gun.

試験レベル	表示電圧 V_c [kV]	最初の放電ピーク電流 I_p $I_p \pm 10\%$ [A]	30nsでの電流値 I_{30} $I_{30} \pm 30\%$ [A]	60nsでの電流値 I_{60} $I_{60} \pm 30\%$ [A]	立ち上がり時間 t_r [ns]
1	2	7.5	4	2	0.7~1.0
2	4	15	8	4	
3	6	22.5	12	6	
4	8	30	16	8	

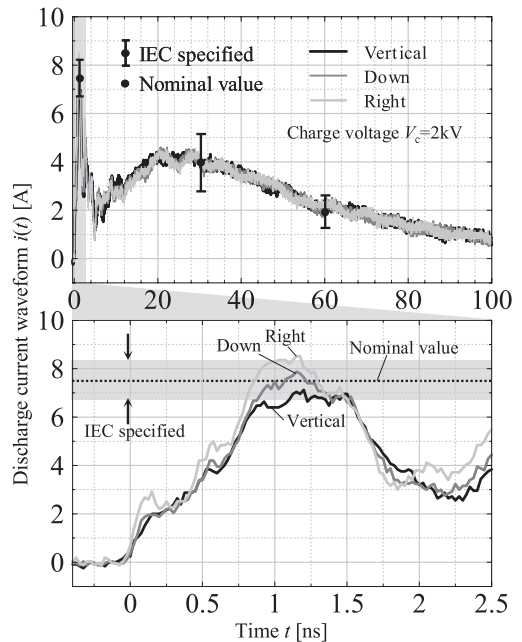


図 2 ESD ガンの接触放電に対する放電電流波形の測定例 (垂直, 下, 右方向)

Fig.2 Measurement of discharge current waveform for contact discharges from an ESD-gun at vertical, down and right positions.

ピークの拡大図をそれぞれ示す。上図から、各配置に対する放電電流波形はピークを除いてほとんど重なっており、30 ns、60 ns における電流値は IEC 規格内にあることが分かる。下図から、垂直と下方向に傾けた放電配置に対する波形ピークは IEC 規格を満たしており、結局、この試験レベルでは右方向に傾けた場合の電流ピークだけは規格を超えていることが分かる。各放電配置における放電電流波形のピーク値 I_p の試験電圧依存性の測定結果を図 3 に示す。横軸は、試験電圧 V_c (2~8 kV)、縦軸は、IEC 公称値 (IEC_spec.) に対する 10 回の平均値 \pm 標準偏差の比であり、図中

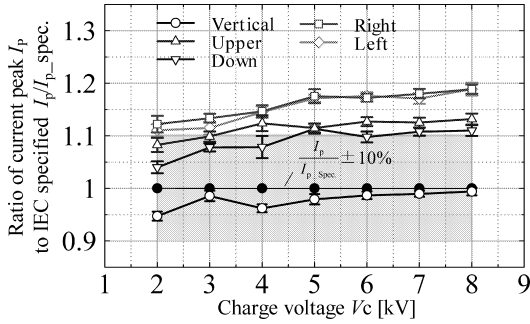
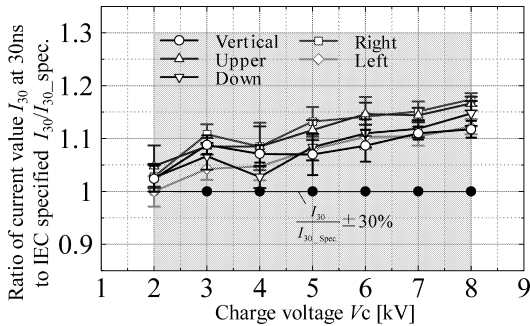
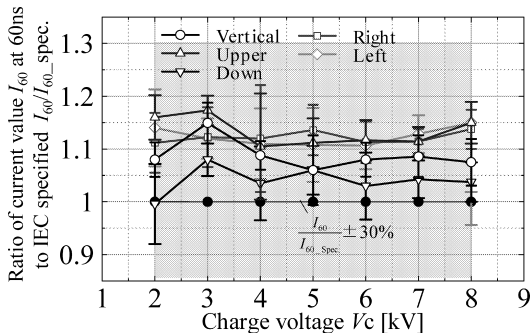


図3 ESD ガンの種々の放電配置に対する放電電流ピーク値 I_p の試験電圧依存性

Fig. 3 Dependence on test voltages of peak values I_p of discharge currents for different arrangements of an ESD-gun.



(a)



(b)

図4 ESD ガンの種々の放電配置に対する 30 ns と 60 ns における電流値 I_{30} 、 I_{60} の試験電圧依存性

Fig. 4 Dependence of current values I_{30} and I_{60} at 30 ns and 60 ns, respectively, on different arrangements of an ESD-gun.

の黒丸は規格の公称値、網掛けは許容範囲をそれぞれ示す。図から、電流ピーク値 I_p は、ガンの放電配置に影響され、試験電圧 5 kV 以上においては、ガンを上下、左右どの方向に傾けた場合についても許容範囲（公称値 $\pm 10\%$ ）を超え、8 kV では、垂直放電の場

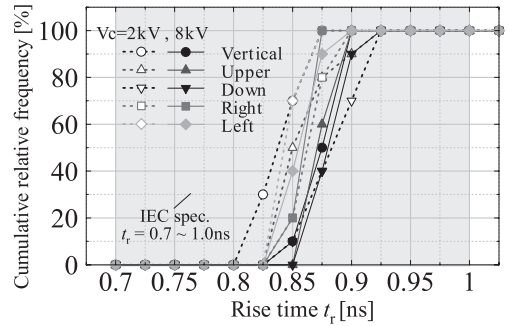


図5 ESD ガンの種々の放電配置に対する放電電流波形の立上り時間の累積相対度数分布

Fig. 5 Cumulative relative frequency of Rise time t_r of discharge current waveform for different arrangements of an ESD-gun.

合に比べ右、左方向に傾けた場合は公称値を約 20%も上回ることが分かる。これは、ESD ガンの先端電極とグラウンド板との浮遊容量が垂直配置に比して傾けた場合の方が大きくなることによるものと考えられる [9]。図 4 (a) は放電電流波形の 30 ns での電流値 I_{30} の測定結果を、同図 (b) は 60 ns での電流値 I_{60} の測定結果をそれぞれ示す。縦軸は、図 3 と同じく IEC 公称値に対する平均値 \pm 標準偏差の比を試験電圧ごとに示しており、黒丸と網掛けは、それぞれ規格の公称値と許容範囲を表す。図から、 I_{30} 、 I_{60} は公称値 $\pm 30\%$ と規格の許容範囲が大きく、ESD ガンを傾けた場合はいずれの方向も垂直支持に比べ、やや高い値をとるものの測定値はすべて規格内に収まっていることが分かる。

図 5 は、試験電圧 2 kV と 8 kV に対する放電電流波形の立上り時間の累積相対度数分布を示す。図から、電流立上り時間は、ESD ガンの放電配置によらず IEC 規定時間 (0.7 ~ 1 ns) に収まることが確認できる。

4. むすび

ESD ガンを校正用電流検出変換器に対して垂直、上下、左右に傾けた場合の接触放電で生ずる放電電流波形を試験電圧との関係において測定し、IEC 規定の電流ピーク、30、60 ns での電流値、立上り時間の試験電圧依存性を調べた。その結果、電流波形の立上り時間、30 ns と 60 ns での電流値はいずれの放電配置に対しても IEC 規格範囲内に収まるのに対して、電流ピークは、放電配置によっては IEC 規格の許容範囲を逸脱することが分かった。

今後の課題は、ESD ガンの放電電流波形の放電配置に対する不確実性が試験結果に及ぼす影響を明らかにすることである。

文 献

- [1] R. Jobava, D. Pommerenke, D. Karkashadze, P. Shubitidze, R. Zaridze, S. Frei, and M. Aidam, "Computer simulation of ESD from voluminous objects compared to transient fields of humans," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol.42, no.1, pp.54-65, 2001.
- [2] G. Cerri, R.D. Leo, and V.M. Primiani, "Theoretical and experimental evaluation of electromagnetic fields radiated by ESD," *Proc. 2001 IEEE EMC International Symposium*, pp.1269-1272, Montreal, Canada, 2001.
- [3] O. Fujiwara, "An analytical approach to model indirect effect caused by electrostatic discharge," *IEICE Trans. Commun.*, vol.E79-B, no.4, pp.483-489, April 1996.
- [4] G.P. Fotis, I.F. Gonos, and I.A. Stathopoulos, "Measurement of the electric field radiated by electrostatic discharges," *Measurement Science and Technology*, vol.17, pp.1292-1298, 2006.
- [5] 日本工業標準調査会 : JIS C 61000-4-2: 1999 (IEC 61000-4-2: 1995/Amd.1), 1999.
- [6] Y. Taka, T. Adachi, and O. Fujiwara, "Reconstruction of discharge currents injected on calibration target from electrostatic discharge generators," *Proc. 18 International Zurich Symposium on EMC, Munich 2007*, pp.349-352, Sept. 2007.
- [7] 足立貴士, 高 義礼, 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測定と検証," *信学技報*, EMCJ2007-5, 2007.
- [8] 足立貴士, 高 義礼, 藤原 修, 石上 忍, 山中幸雄, "ESD ガンのグラウンドへの気中放電に対する放電電流の推定," 2008 信学総大, B-4-13, 2008.
- [9] 藤原 修, 田中秀幸, 山中幸雄, "静電気試験器による放電電流の等価回路モデル," *電学論 (A)*, vol.123, no.8, pp.784-789, 2003.
- (平成 21 年 2 月 10 日受付, 2 月 20 日再受付)