

金属間 ESD の放電特性の放電間隔時間依存性

吉田孝博^{*1}, 河崎健太郎^{*}, 吉原 宏^{*}, 増井典明^{*}

(2010年1月31日受付; 2010年4月2日受理)

The Interval Dependency of Characteristics of ESD from a Charged Metal

Takahiro YOSHIDA^{*1}, Kentaro KAWASAKI^{*}, Hiroshi YOSHIHARA^{*} and Noriaki MASUI^{*}

(Received January 31, 2010; Accepted April 2, 2010)

Experiments on electrostatic discharge (ESD) from a charged metal electrode have been carried out consecutively by taking some intervals between discharges. The electrostatic discharge generated between a charged body and a grounded conductor is mainly a single-shot discharge. Therefore, in this study, we research the relationship between the interval and the gap length of discharge inception, and the interval in which the discharge characteristic almost equal to that of one-shot discharge. The influence of the last discharge on discharge characteristics is small when the interval is over 20 s under +2 kV, and 80 s over +4 kV.

1. はじめに

帯電した物体からの静電気放電 (ESD) の特性を明らかにするため, 従来から多くの放電実験が行われてきた^{1,2)}. その際, 放電実験は繰り返し連続して行われる場合が多いが, 直前の ESD が次に発生する ESD に影響を与える可能性がある. 一方, 実環境の ESD は単発で発生することが多く, 直前の放電による影響がほぼ無い状態での ESD といえる. ゆえに, 本来の ESD 特性を得るためには, 連続して行うことによる放電特性への影響を明らかにする必要がある. そこで本研究では, 金属間 ESD の放電特性の放電間隔時間依存性を調査した.

2. 装置および方法

図 1 に放電実験装置の構成を示す. 本実験装置は, 充電したコンデンサ (250 pF) を帯電源とみなし, 接地側の金属電極を高電圧側の金属電極に一定速度 0.4 mm/s で近づけて空中放電を発生させる方式である. 印加電圧は +1 kV ~ +8 kV, 電極は銅製半球電極 (曲率半径 10 mm) である. 放電とほぼ同時に電極の接近が停止する. 電極は乾燥空気をアクリルケース内に送風し, 相対湿度 2%RH 未満に調湿した. 測定は, 電極間の電界強度 (印加電圧/ギャップ長) が 20 kV/cm となるギャップ長から接近させ, 放電が発生すると電極は初期位置に戻り, 一定時間待機の後次に次の測定が開始される. 放電間隔時間は, 直前の放電発生から次の放電発生までの時間とした. 放電間隔時間は 20-150 秒とし, 各 50 回測定を行った. なお, 高電圧側電極に高出力紫外・可視ファイバ光源ユニット (浜松ホトニクス L10290, 照射波長 200-1,100 nm) により紫外線照射

した測定も併せて行った.

3. 結果および考察

図 2 に, 各印加電圧における放電開始ギャップ長と放電開始電界強度の関係を示す. なお, 紫外線照射した測定を放電間隔時間 0 秒相当とみなしてグラフにプロットした. なお, 図 2 中の実線は, 平等電界中の放電開始ギャップ長 l [cm], 相対空気密度 δ (本実験環境では 0.907) における空気の火花電界 E_s [kV/cm] の実験式³⁾

$$E_s = 23.85\delta \left(1 + \frac{0.329}{\sqrt{\delta l}} \right) \quad (1)$$

から算出したカーブである. 紫外線照射時には, 放電間隔時間に関わらず, 印加電圧ごとに, E_s と一致する電界強度に集中した. これは, 金属表面への紫外線照射により光電子が放出され, 放電に必要な初期電子がギャップに十分に存在したためであると考えられる.

一方, 紫外線非照射時には, 放電間隔時間が長くなるに従って分布が広がり, E_s より高い電界強度で発生する放電も増え, 火花の遅れが確認できる. このギャップ長分布の広がり印加電圧 +1 kV ~ +2 kV では放電間隔時間が約 20 秒以上, +4 kV ~ +8 kV では約 80 秒以上で最大かつ安定した. また, 印加電圧 +4 kV ~ +8 kV では, 放電間隔時間が短くなるにつれて E_s に近い電界強度での放電発生が頻発する. 図 3 に, 放電間隔時間に対する放電開始平均ギャップ長の関係を示す.

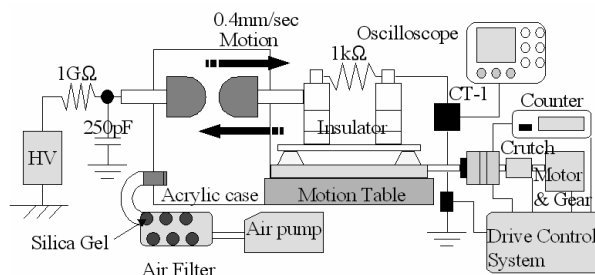


図 1 ESD 実験装置

Fig. 1 Schematic view of ESD apparatus.

キーワード: ESD, 金属電極間, 放電特性, 放電間隔時間

^{*} 東京理科大学工学部第 2 部電気工学科 (162-8601 東京都新宿区神楽坂 1-3)

Department of Electrical Engineering, Tokyo University of Science, 1-3 Kagurazaka, Shinjuku-ku, Tokyo 162-8601, Japan

¹ yoshida@ee.kagu.tus.ac.jp

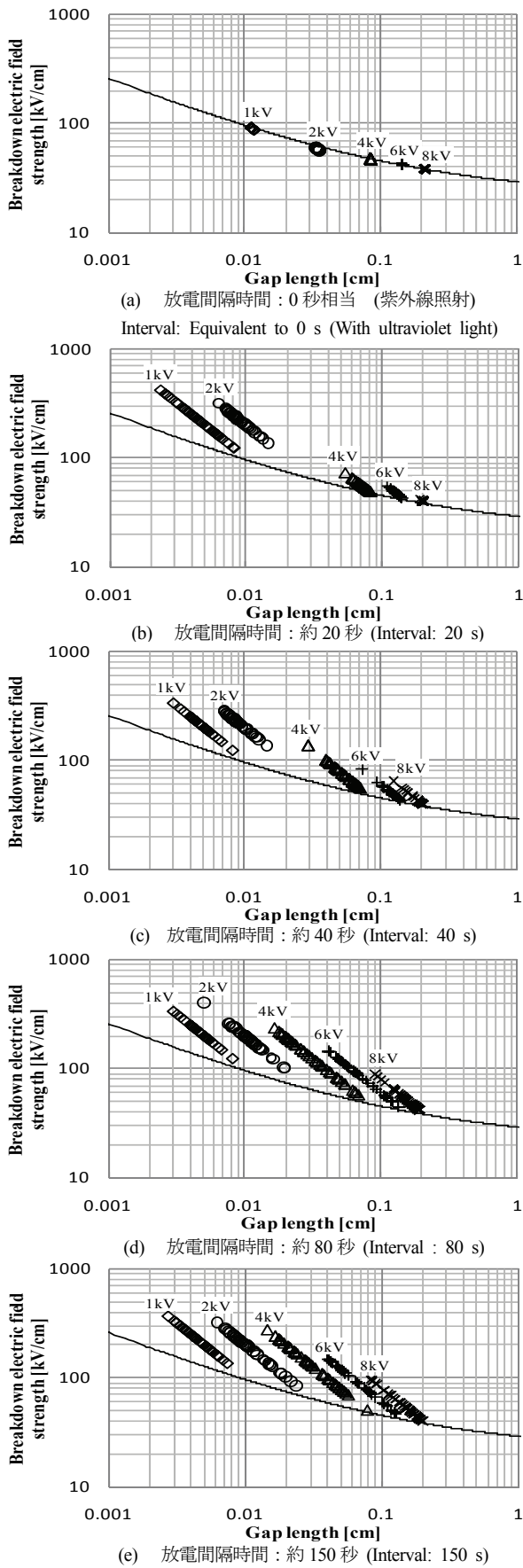


図2 放電開始ギャップ長と放電開始電界強度の分布
Fig. 2 Relationship between gap length of discharge inception and breakdown field strength in each interval.

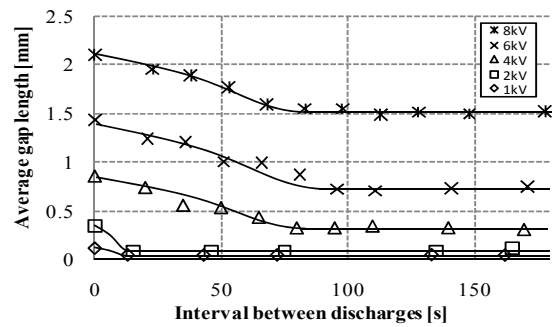


図3 放電間隔時間と放電開始平均ギャップ長の関係
Fig. 3 Relationship between interval and average gap length.

図2と同様に、印加電圧 +2 kV 以下では放電間隔時間約 20 秒以上、+4 kV 以上では約 80 秒以上で放電開始ギャップ長の平均値も収束している。なお、+4 kV 以上では、紫外線照射時や放電間隔時間が短い場合、長いギャップ長で放電が発生し、放電電流波形は第 2 ピークが大きくなる 2 ピーク波形が多く出現した。一方、放電間隔時間が長い場合、火花の遅れにより短いギャップ長で放電が発生し、第 1 ピークが大きく鋭い 1 ピーク波形となるが多かった。

今回の結果では、放電後数十秒～数分程度に渡り放電特性への影響が確認された。ここで、放電後のギャップ間電圧が数十 V 程度と仮定すると、大気圧空気中における電子の駆動速度は 10^5 m/s 程度であり⁴⁾、ギャップ間(0.002 cm)に残存する電子は 10^{-10} s 程度で瞬時に電極に達して消滅する。また、イオンは電子と比べて 2-4 桁程度遅いが、 10^{-8} - 10^{-6} s 程度で消滅する。以上より、放電により発生しギャップ間に残存する電子やイオンの影響は考えにくい。放電後の長時間に渡り影響を及ぼす原因として、放電に伴い発生する紫外光が電極表面に照射されることで、数秒から数百秒に渡り金属表面から放出されるエキソ電子⁵⁾や、電極表面の酸化状態の変化が考えられる。なお、金属電極材質を変えると仕事関数等の物性が異なるため、放電間隔時間依存性は異なると考えられる。

4. まとめ

金属電極間の ESD において放電間隔時間依存性が存在することを確認した。銅電極を用いた今回の実験では、前回生じた放電の影響が印加電圧により、約 20-80 秒に渡り存在した。ゆえに、自然な単発放電の特性を得るためには、放電間隔時間を考慮する必要がある。

謝辞 本研究を行うにあたり、放電実験で協力頂いた、平成 20 年度卒業研究生の稲石啓氏、福中裕之氏に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 増井典明,藤原岳史,海老沼康光,新條達俊:静電気学会誌, **27** (2003) 85
- 2) 吉原宏,吉田孝博,増井典明: 静電気学会誌, **33** (2009)2
- 3) 大木正路: 高電圧工学, p.84, 槇書店 (1982)
- 4) 八田吉典: 気体放電, p.76, 近代科学社 (1968)
- 5) 橋本寛,榎本祐嗣,山本茂之: 応用物理, **58**, 6 (1989) 64