

## 研究速報

1 kV 以下のマイクロギャップ放電に伴う放射電磁波強度の一測定

川又 憲<sup>†a)</sup>(正員) 嶺岸 茂樹<sup>††</sup>(正員)  
芳賀 昭<sup>††</sup> 藤原 修<sup>†††</sup>(正員)

Measurement of Radiated Electromagnetic Field Strength due to Micro Gap Discharge in Voltage below 1 kV

Ken KAWAMATA<sup>†a)</sup>, Shigeki MINEGISHI<sup>††</sup>, Members,  
Akira HAGA<sup>††</sup>, Nonmember,  
and Osamu FUJIWARA<sup>†††</sup>, Member

<sup>†</sup> 八戸工業大学大学院工学研究科, 八戸市

Hachinohe Institute of Technology, Hachinohe-shi, 031-8501  
Japan

<sup>††</sup> 東北学院大学大学院工学研究科, 多賀城市

Tohoku Gakuin University, Tagajo-shi, 985-8537 Japan

<sup>†††</sup> 名古屋工業大学大学院工学研究科, 名古屋市

Nagoya Institute of Technology, Nagoya-shi, 466-5888 Japan

a) E-mail: kawamata@hi-tech.ac.jp

あらまし 約 1 kV 以下の低い電圧領域で発生する放電は電極間隔が短いため、絶縁破壊時の電極間電界は非常に大きな値を示す。今回、これらの絶縁破壊電界と外部に放射する電磁波強度の関係について実験的に検討を行った。その結果、放射電磁波強度の平均値は絶縁破壊電圧には比例せず、低い放電電圧で上昇する傾向を示した。

キーワード ESD, マイクロギャップ放電, 低電圧放電, 絶縁破壊電界, 放射電磁波強度

### 1. ま え が き

ESD (静電気放電) あるいは電気接点間の放電に伴って、広い周波数帯域にわたる急しゅんな過渡変動が生じる。特に、電気システム内において発生した放電によるインパルス性の過渡電圧波は系内を伝搬し、電気・電子素子の直接的な破損や回路の誤動作を誘発し、システムの致命傷ともなり得る。また近年の電気電子システム内部では情報伝達信号のデジタル化が進み、システムの高集積化及び高速処理化が図られ、情報伝達信号の低レベル化により外来電磁雑音、特にギャップ放電などのインパルス性の電磁雑音波による影響を受けやすい傾向にあり、EMC 環境電磁工学上の重要な問題となっている [1] ~ [3]。

そこで筆者らは、特に広帯域の電磁妨害波発生が懸念される 1000 V 以下の電圧領域におけるマイクロギャップ放電に着目し、放電に伴う過渡電圧立ち上がり時間特性並びに周波数スペクトル分布特性について検討を進めてきた [4] ~ [6]。その結果、放電開始時の電圧立ち上がり時間は 12 GHz 帯域測定において約 30 ps 程度

と非常に急しゅんであることを確認した [7]。更に、放電時の電極間電界強度について検討を行い、放電時の電極間電界は放電電圧の低下に反比例し上昇する傾向を確認した。特に 400 V 以下において電極間電界は急激に上昇し、326 V における放電で約 80 MV/m と非常に高い絶縁破壊電界を示すことを示した [8]。

今回、これらの比較的到低い電圧領域の放電で発生する非常に高い絶縁破壊電界と、電極外部に放射する電磁波強度の関係について実験的に検討を行った。その結果、放射電磁波強度は絶縁破壊電圧には比例せず、低い放電電圧で放射電界強度が高くなる傾向を確認した。これらの結果について報告する。

### 2. 放射電磁波強度の測定システム

放射電磁界強度の測定システムを図 1 に示す。システムは放電電極を含む放電発生側と、放射電磁波測定用の受信側に分割できる。発生側は、電圧可変の高電圧電源、放電電極、給電用のフィーダ線 (アルミはく) にて構成している。放電電極部は直径 5 mm、長さ 110 mm の真鍮棒の一端を曲率半径 2.5 mm で球面仕上げとし、これを 2 本用いて半波長ダイポール状に配置した。ダイポールの給電部を球面仕上げの放電電極部となるよう配置し放電ギャップとし、アルミはくのフィーダを介して高電圧電源から給電した。この放電電極導体による共振周波数は約 680 MHz である。一方、受信側は、受信用ダイポールアンテナ (Anritsu, MP651A)、更にはデジタルオシロスコープ (Tek. TDS694C, 3 GHz, 10 GS/s) にて構成している。受信用ダイポールアンテナは、放電電極部の共振周波数と同様の 680 MHz とし、電極部から 1 m の距離に配置

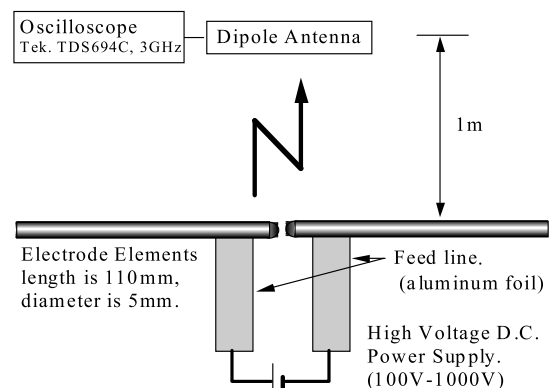


図 1 放射電磁界強度の測定システム  
Fig. 1 Experimental setup of the radiated EM field measurement system.

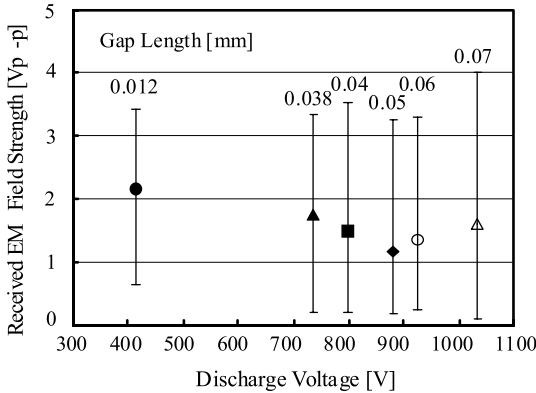


図2 各ギャップ長における放電電圧と放射電磁界強度の測定結果

Fig. 2 Experimental results of the discharge voltage and the received EM field strength due to changing the gaps.

した。

実験は放電ギャップ間隔を 0.012, 0.038, 0.04, 0.05, 0.06, 更には 0.07 mm と変化させ、各ギャップ長における放電電圧と放射電磁界強度を測定した。放射電磁波強度はオシロスコープによる時間領域のピーク電圧値で求めており、電磁波強度の変化を相対的に評価した。

実験結果を図 2 に示す。各ギャップ長における放電電圧及び放射電界強度は 200 回における測定の平均値で表している。また、放射電磁波強度はアンテナ出力をオシロスコープにて直接測定したピーク電圧値である。結果を見ると、放射電磁界強度はギャップ長が短くなるに従いいったん低下し、約 880 V において最低値となる約  $1.2 V_{p-p}$  を示した。その後更に短ギャップでは、放電電圧が低下するものの、放射電磁界強度は上昇する傾向を示し、約 400 V の放電電圧時に約  $2.2 V_{p-p}$  となった。

図 3 は、放電電圧とギャップ長から求めた電極間の絶縁破壊電界強度とダイポールアンテナで受信した放射電磁波強度の関係を表したものである。横軸が電極間の絶縁破壊電界値で縦軸が放射電磁波強度であり、各ギャップ長 0.012 ~ 0.06 mm における関係をプロットしている。結果を見ると、ギャップ長約 0.04 mm 以上、絶縁破壊電界約 20 MV/m 以下（このとき放電電圧は約 600 V 以上）における放射電磁波強度は、約  $0.3 \sim 3 V_{p-p}$  の幅でばらつきが大きいことが分かる。これに対して、ギャップ長 0.012 mm、絶縁破壊電界約 30 MV/m 以上（このとき放電電圧は約 400 V 以下）

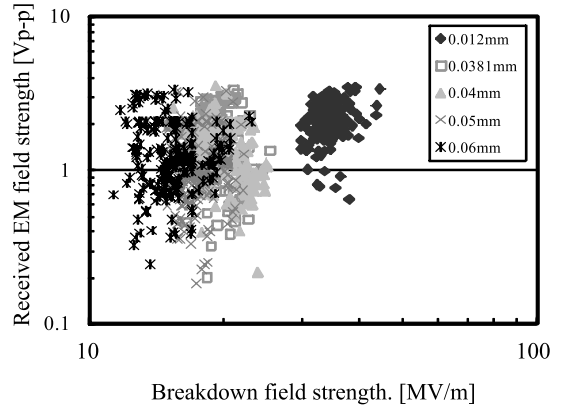


図3 電極間絶縁破壊電界と放射電磁波強度の関係

Fig. 3 Relationship between the breakdown field and the received EM field strength.

における放射電磁波強度は約  $1 \sim 3 V_{p-p}$  と比較的ばらつきが少なく、放射電磁波強度の平均値が上昇していることが分かる。また、放射電磁波強度のピーク値は絶縁破壊電界値によらず約  $3 V_{p-p}$  を示した。これらのことから、今回の実験条件では、絶縁破壊電界と放射電磁波強度の平均値は比例関係にあることが確認できた。しかし、その一方で、放射電磁波強度の最大値はある一定値にて飽和する可能性も確認された。

### 3. むすび

比較的低い電圧領域で発生する非常に高い絶縁破壊電界値による放電と、放射する電磁波強度の関係について実験的に検討を行った。

今回の実験条件では、放射電磁界強度はギャップ長が短くなり放電電圧が低下するのに従っていったん低下し、約 880 V において最低値となる約  $1.2 V_{p-p}$  を示した。その後更に短ギャップでは、放電電圧が低下するものの、放射電磁波強度は上昇する傾向を示し、約 400 V の絶縁破壊電圧では、放射電磁波強度は約  $2.2 V_{p-p}$  と上昇を示した。更に、電極間の絶縁破壊電界と放射電磁波強度の平均値は比例関係にあることが確認できた。しかし、その一方で、放射電磁波強度の最大値は飽和する可能性も確認された。これらについては、今後、より詳細に検討を行う予定である。

### 文 献

- [1] 高木 相, “EMC/EMI 関連測定とその測定技術に関する我が国の研究開発,” 信学論 (B-II), vol. J79-B-II, no. 11, pp. 718–726, Nov. 1996 など.
- [2] 藤原 修, “ESD 現象をとらえるソースモデルと界特性,” 信学誌, vol. 78, no. 9, pp. 851–852, Sept. 1995.
- [3] 本田昌實, “金属物体で発生する静電気放電 (ESD) 現象

- の脅威；信学誌，vol.78, no.9, pp.849–850, Sept. 1995.
- [4] K. Kawamata, S. Minegishi, A. Haga, and R. Sato, “A measurement of very fast transition durations due to gap discharge in air using distributed constant line system,” *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol.41, no.2, pp.137–141, 1999.
- [5] 川又 憲, 嶺岸茂樹, 芳賀 昭, “1,500V 以下の ESD に伴う過渡電圧の立上り時間及び周波数スペクトルに関する実験的検討；” *信学論 (B)*, vol.J86-B, no.7, pp.1191–1198, July 2003.
- [6] K. Kawamata, S. Minegishi, and A. Haga, “Wide-band measurement of transition duration and frequency spectra due to small gap discharge as low voltage ESD,” *J. Electrostatics*, vol.62, pp.185–193, 2004.
- [7] K. Kawamata, S. Minegishi, A. Haga, and O. Fujiwara, “12GHz realtime measurement of voltage and current transition duration due to micro gap discharge as low voltage ESD,” *Proc. Int’l Wroclaw Symposium on Electromagnetic Compatibility*, pp.274–277, Poland, 2006.
- [8] 川又 憲, 嶺岸茂樹, 芳賀 昭, 藤原 修, “マイクロギャップ放電に伴う過渡電圧・電流立上り波形の 12GHz 帯域測定と電極間電界強度特性；” *信学論 (B)*, vol.J90-B, no.11, pp.1143–1148, Nov. 2007.
- (平成 20 年 8 月 4 日受付, 9 月 9 日再受付)