

# 繰り返し周波数とギャップスイッチの自己破壊電圧のばらつきの関係 RELATIONSHIP BETWEEN REPETITION FREQUENCY AND VARIATION IN SELF-BREAKDOWN VOLTAGE

中田恭輔<sup>#,A)</sup>, 徳地明<sup>A)</sup>

Kyosuke Nakata<sup>#,A)</sup>, Akira Tokuchi<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> Pulsed Power Japan Laboratory Ltd. (PPJ)

## Abstract

Recently, high-performance semiconductor switches such as SiC and GaN have appeared and are widely used. However, semiconductor switches with ratings of tens of kV or several kA are not yet commercially available. Gap switches have a simple structure and can achieve high-voltage, high-current switching that is difficult with semiconductor switches, but they have many uncertain factors such as self-destruction voltage. In this study, we evaluated the variation in self-breakdown voltage of gap switches depending on the repetition frequency and discussed the results.

## 1. 目的

数十 kV や数 kA オーダーのスイッチングを小型の素子で行いたい場合、半導体スイッチが高性能化してきた現在でもギャップスイッチが候補に挙がる。ギャップスイッチとは導体の電極の間に絶縁体を挟んだ隙間(ギャップ)を設け、絶縁体の絶縁破壊を利用してスイッチングを行うスイッチのことである(Fig. 1)。絶縁体には絶縁性能が回復する気体や液体が好まれる。特に気体の場合はギャップ間への印加圧力を上げることで、絶縁破壊電圧を容易に調整することができるためよく用いられる。

小型かつ構造が簡単なギャップスイッチであるが、ギャップ間の絶縁体の状態やギャップ表面の状態によってギャップ間の自己破壊電圧が大きく変動する[1]。自己破壊電圧が変動してしまうと、スイッチとしての制御性が悪くなってしまふ。本稿では、ギャップ間絶縁破壊の繰り返しを与えるギャップスイッチの自己破壊電圧特性への影響を評価した。

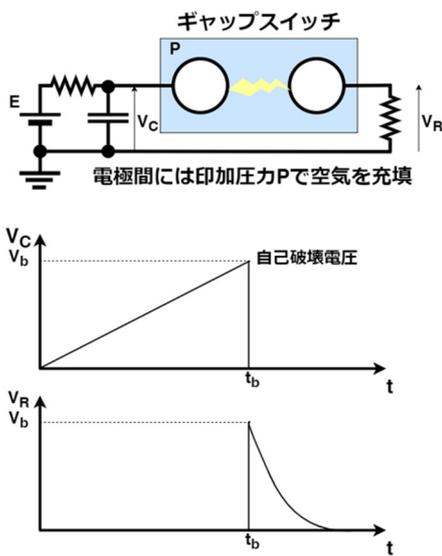


Figure 1: Behavior of the gap switch.

## 2. 試験内容

ギャップスイッチの特性を調査する試験を行うため、Fig. 2 に示す回路を用意する。回路図は Fig. 3 に示す。ここで、コンデンサの静電容量  $C$  は  $61.2 \text{ nF}$ 、ギャップスイッチ電極の材質は真鍮である。

高圧プローブにより得られたコンデンサ端子間の電圧波形より、ギャップスイッチの自己破壊電圧  $V_b$  を測定した。 $V_b$  測定のための放電は 100 回行い、100 回の統計データ(平均、最大値、最小値等)から特性を評価した。



Figure 2: Test circuit.

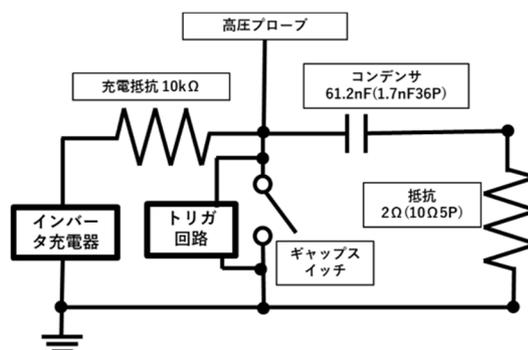


Figure 3: Test circuit diagram.

<sup>#</sup> nakata@myppj.com

## 2.1 印加圧力による自己破壊電圧の特性調査試験

負荷となる抵抗  $R$  の値を変化させることで、ギャップスイッチに流れる電流を変化させ、それに伴う  $V_b$  の特性の変化を測定した。試験手順を下記に示す。

- 1) ギャップスイッチ電極間の距離を 8 mm に調整する。
- 2) ギャップスイッチ電極間に印加する印加圧力  $P$  を 0.05 MPa ずつ上昇させながら、ギャップスイッチを導通させ  $V_b$  を測定する。

## 2.2 繰り返し周波数による自己破壊電圧への影響の確認

ギャップ間に印加する空気の圧力  $P$  の値を変化させることで、それに伴う  $V_b$  の特性の変化を測定した。試験手順を下記に示す。

- 1) ギャップスイッチ電極間の距離を 8 mm に調整する。
- 2) ギャップスイッチ電極間に印加する印加圧力  $P$  を 0 MPa に設定する。2.1 1)にて測定した、 $V_b$  の値から  $P$  にて自己破壊電圧を起こさない条件にてコンデンサを充電する。
- 3) ギャップスイッチにトリガ電圧を 1 Hz で印加することで、1 Hz でギャップを導通させる。これを自己破壊電圧が起きるかどうかを測定する。その後 1 Hz ずつ周波数を上昇させ、最大 10 Hz まで行う。
- 4) ギャップスイッチ電極間に印加する印加圧力  $P$  を 0.05 MPa ずつ上昇させながら、1)~3)を繰り返す。 $P$  は最大 0.75 MPa とする。

## 3. 試験結果と考察

### 3.1 印加圧力による自己破壊電圧の特性調査試験結果

得られた  $V_b$  の測定結果を Fig. 4 に示す。印加圧力が大きくなるほど、平均自己破壊電圧が大きくなるのが確認できた。

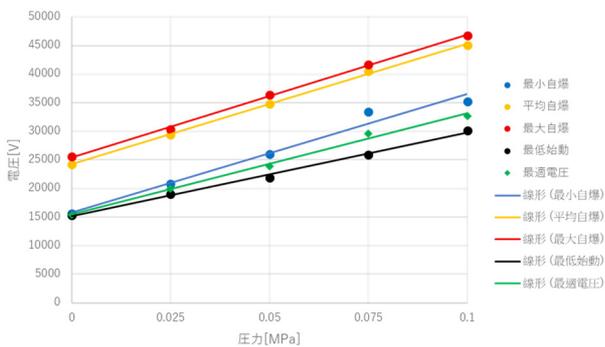


Figure 4: Self-breakdown voltage-pressure characteristics.

### 3.2 繰り返し周波数による自己破壊電圧への影響の確認

最大周波数の 10 Hz にて得られた充電電圧測定波形をまとめたグラフを Fig. 5 に示す。結果、1 Hz から 10 Hz までの間で Fig. 4 に示した自己破壊電圧の最小条件に影響を与えないことを確認した。



(a) 0 MPa 10 Hz



(b) 0.05 MPa 10 Hz



(c) 0.25 MPa 10 Hz



(d) 0.75 MPa 10 Hz

Figure 5: Charging voltage measurement waveform.

## 4. まとめ

ギャップスイッチの自己破壊電圧の特性に着目し、印

加圧力および繰り返し周波数が自己破壊電圧  $V_b$  に与える影響を評価した。まず、印加圧力を 0.05 MPa 刻みで変化させ、真鍮電極を用いたギャップスイッチの  $V_b$  を測定した結果、圧力の増加に伴い平均自己破壊電圧が上昇することが確認された。次に、繰り返し周波数を 1 ~ 10 Hz の範囲で変化させた試験では、圧力条件にかかわらず、繰り返し周波数が  $V_b$  の最小値に顕著な影響を与えないことが明らかとなった。これらの結果から、ギャップスイッチの  $V_b$  は主に印加圧力によって制御可能

であり、少なくとも 10 Hz までの繰り返し動作では安定性が維持されることが示唆された。

### 参考文献

- [1] A. L. Donaldson, M. O. Hagler, M. Kristiansen, L. L. Hatfield, and R. M. Ness, "Modeling of self-breakdown voltage statistics in high-energy spark gaps", J. Appl. Phys., Vol. 57, pp. 4981-4990, 1985.