



## インパルス放電のV-t 特性に影響を与える因子

メタデータ	言語: jpn 出版者: 宮崎大学工学部 公開日: 2020-11-12 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 小田, 浩史, 間, 壱誠, 迫田, 達也, 久保, 克隆, 水谷, 学, 春日, 靖宣, 深野, 孝人, Oda, Hiroshi, Hazama, Issei, Kubo, Katsutaka, Mizutani, Manabu, Kasuga, Yasunori, Fukano, Takato メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10458/00010095">http://hdl.handle.net/10458/00010095</a>

# インパルス放電の $V-t$ 特性に影響を与える因子

小田 浩史<sup>a)</sup>・間 壱誠<sup>b)</sup>・迫田 達也<sup>c)</sup>  
久保 克隆<sup>d)</sup>・水谷 学<sup>d)</sup>・春日 靖宣<sup>d)</sup>・深野 孝人<sup>d)</sup>

## Affecting Factors to $V-t$ Characteristics of Impulse Discharge

Hiroshi ODA, Issei HAZAMA, Tatsuya SAKODA,  
Katsutaka KUBO, Manabu MIZUTANI, Yasunori KASUGA, Takato FUKANO

### Abstract

Surge arrester with a spark gap has been installed for reducing the electrical failures in distribution systems. The top and the bottom of a ceramic spacer for sustaining an electrode gap contact with electrodes, in which there are triple junction points among the ceramic spacer, the gap electrodes and the atmosphere. Corona discharges formed at around the triple junction points may influence discharge characteristics for a spark gap. Additionally, the charges on the inner surface of the ceramic spacer, which are electrified by corona discharges, may act on the discharge characteristics. We measured  $V-t$  characteristic and residual voltage after operating a surge arrester with a spark gap. Based on the results, we evaluate affecting factors to  $V-t$  characteristics of impulse discharge.

**Keywords:** Corona discharge, Charging, Spacer,  $V-t$  characteristics, Surge arrester

### 1. はじめに

我国の配電系統には、雷サージから電気設備を保護するための配電用ギャップ付避雷器が数多く設置されている。同避雷器は動作後の続流<sup>1)</sup>を速やかに遮断する必要があり、ほとんどの配電用ギャップ付避雷器は優れた非直線抵抗特性を持つ酸化亜鉛(ZnO)素子<sup>2,3)</sup>を有している。また、配電用ギャップ付避雷器には、雷サージに対して動作遅れが少ないこと、制限電圧が低いこと、放電開始電圧が一定であることが挙げられる。例えば、インパルス放電開始電圧( $V$ )を縦軸に、放電開始に要する時間( $t$ )を横軸にして表現する  $V-t$  特性<sup>4)</sup>は、なるべく平坦な特性となることが望まれている。

しかし、一般に、ギャップ間におけるインパルス放電においては、電極間がある程度の電流密度にならないと持続性の放電とはならないため放電遅れ<sup>5)</sup>が発生する。そのため、放電開始電圧の時間特性から絶縁協調を考慮する必要がある。すなわち、ZnO と直列に接続されたギャップ長 10 mm 未満のギャップにおける放電遅れを抑制し、サージに対する安定度の高い放電特性が必要となる。このギャップは対向する 1 組の金属電極で構成されており、ギャップ

長を形成するために絶縁スペーサ(絶縁管)が利用されている。同スペーサの上面及び下面は金属電極と接するため、気相、スペーサ、ギャップ電極が接触する箇所において電界強度の高い三重点が形成される。著者等は、これまでに、三重点近傍でコロナ放電が発生することでギャップにおける放電電圧のばらつきが小さくなり、放電遅れが改善されることを明らかにしてきた<sup>6)</sup>。

一方で、上下電極の三重点においてコロナが発生すると、コロナ放電の電荷が絶縁物であるスペーサ表面に残留すると考えられる。 $V-t$  試験では、所定の時間間隔でインパルス電圧を印加するため、前回の電圧印加時のコロナ放電による残留電荷や、ZnO 素子の残留電圧が  $V-t$  特性に影響を与えている可能性がある。

本報では、ZnO 素子の残留電圧と固体絶縁物であるスペーサ表面における残留電荷が  $V-t$  特性に与える影響を検証した結果について述べる。

### 2. 実験方法

実験装置の概要を図 1 に示す。 $V-t$  試験においては、1.2/50  $\mu$ s の標準雷インパルス電圧発生回路を用いて正極性の 15 kV から 20 kV の標準雷インパルス電圧を各 5 回あるいは 10 回実験用避雷器に印加した。実験中は湿度が放電特性に与える影響を少なくするために、試験室内は温度と湿度の管理を行い、室温は 20-25 °C、絶対湿度は 4.62-7.67 g/m<sup>3</sup> で試験を行った。なお、電圧印加間隔は 1 min

a)電気電子工学専攻大学院生

b)電気システム工学科学部生

c)工学教育研究部教授

d)東芝エネルギーシステムズ株式会社 浜川崎工場

あるいは 30 min とした。放電電圧( $V$ )と放電時間( $t$ )はデジタルオシロスコープで観測・記録して  $V$ - $t$  特性を得た。

ギャップ電極間の放電現象を観察する際は、まず、3kV用の 2.5 kA ギャップ付酸化亜鉛形避雷器から避雷器構成素子を取り出し、大気圧下の空気雰囲気中で避雷器を再構成した。ギャップ電極部の構造を図 2 に示す。スペーサに保持された上下の電極は真鍮製で、電極には 2 つの凸部があり、両凸部の間にはギャップ間でのアーク放電による圧力を開放するための直径 3 mm の孔が設けてある。両電極間のギャップ長は 3 mm である。セラミックスペーサは、1/4 部分を切り取り、スペーサの内部を観測できるようにしている。

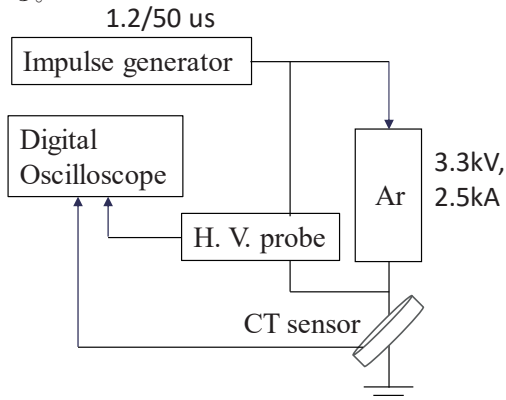


図 1. 実験装置の概要(Ar: Surge arrester with a spark gap)

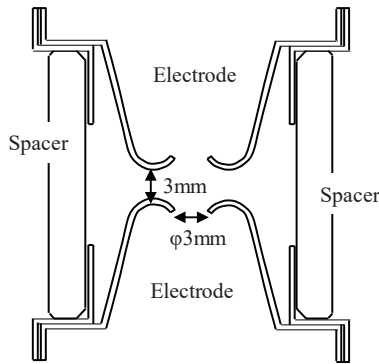


図 2. ギャップ電極部の構造

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 $V$ - $t$ 特性試験

図 3 に、 $V$ - $t$  試験において正極性 15 kV の標準雷インパルス電圧を印加した際に得られた電圧波形例を示す。同図から明らかなように、ギャップ電極で放電が発生すると電圧が瞬時に低下する。また、図 3 から明らかなように、印加電圧値は同じであるにも関わらず、放電が発生する時間は約 0.8  $\mu$ s と約 3.6  $\mu$ s のように大きく異なる。これが、ギャップ付避雷器における雷サージに対する動作遅れに該当する。なお、 $V$ - $t$  試験における電極表面の劣化は確認できなかった。そのため、 $V$ - $t$  試験において、電極の表面状態は印加電圧依存性および印加回数依存性には影響を与えないと考えられる。

正極性 15 kV の標準雷インパルス電圧を 1 min 間隔で 10 回印加して得た  $V$ - $t$  特性の結果を図 4 に示す。プロットが 5 点しかないのは、10 回の印加中 5 回は放電が発生しなかったためである。ギャップ間におけるインパルス放電においては、放電開始前のギャップ中への電子供給量が重要であり、ギャップ中の電子密度が小さい場合には放電の統計遅れが増加する。これによって放電開始電圧・時間が大きくばらつく<sup>9)</sup>。図 4 から明らかなように、放電した 5 回でも放電開始時間のバラツキは大きい。また、正極性 18 kV 及び 20 kV の標準雷インパルス電圧を 1 min 間隔で 10 回印加して得た  $V$ - $t$  特性の結果を図 5 に示す。18 kV 以上では毎回放電が発生し、20 kV では放電開始時間のバラツキが 15 kV や 18 kV の場合に比べて比較的小さい。

次に、正極性 15 kV の標準雷インパルス電圧を 30 min 間隔で 5 回印加して得た  $V$ - $t$  特性の結果を図 6 に示す。この場合、5 回印加して 5 回とも放電が発生した。ただし、1 min 間隔で標準雷インパルス電圧を印加した図 4 と同様に、放電開始時間のバラツキは大きい。放電確率が高くなっているためギャップ中の電子密度が 1min 間隔の場合よりも高いと推測されるが、放電開始時間のバラツキは大きいため十分な量の電子がギャップ中に存在していないと考えられる。

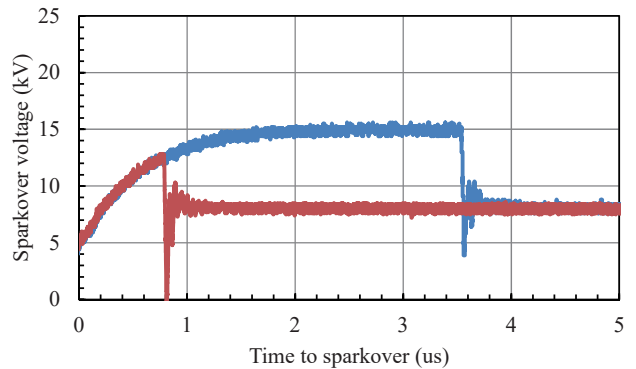


図 3. 放電電圧波形の例

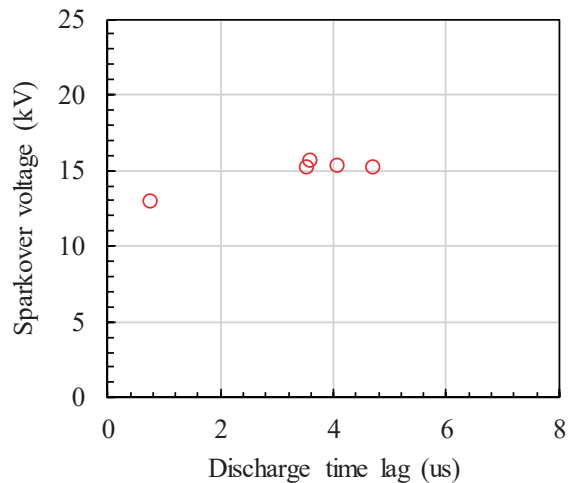


図 4. 1 分間隔で標準雷インパルス電圧 15kV を印加した場合に得られた  $V$ - $t$  特性

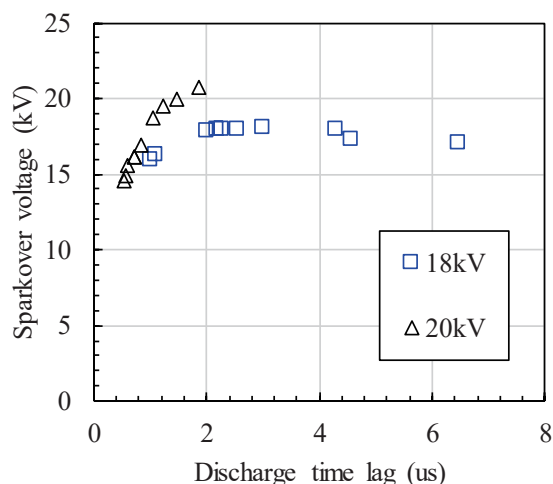


図 5. 1 分間隔で標準雷インパルス電圧 18kV, 20kV を印加した場合に得られた  $V-t$  特性

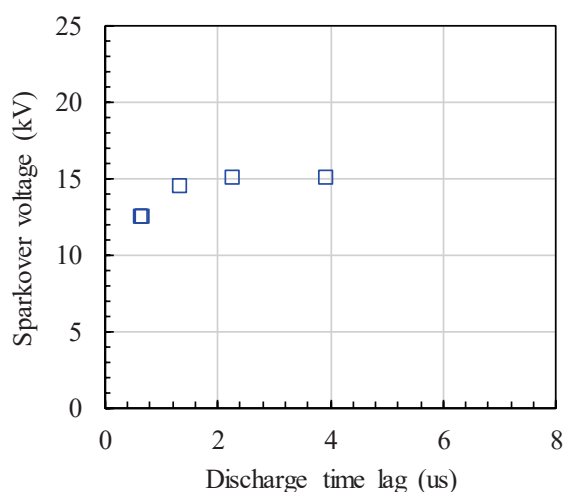


図 6. 30 分間隔で標準雷インパルス電圧 15kV を印加した場合に得られた  $V-t$  特性

### 3.2 素子の残留電圧による影響

第 1 節で述べたように、 $V-t$  試験では所定の時間間隔でインパルス電圧を印加するため、前回の電圧印加時の ZnO 素子の残留電圧が  $V-t$  特性に影響を与えている可能性がある。

そこで、電圧が接地電位まで低下するのに必要な時間を計測した。測定は、図 2 中の ZnO 素子の上面に配した厚み 0.1mm の銅板と接地間の電圧を高電圧プローブを用いて実施した。測定結果を図 7 に示す。ZnO 素子に印加された 6 kV 程度の電圧は、瞬時に 1 kV 程度まで低下する。その後、緩やかに低下するものの、インパルス電圧の印加から約 0.5 s 後には 0 V となっている。そのため、インパルス電圧を 1 分間隔で印加した場合でも  $V-t$  試験に、ZnO 素子の残留電位は影響を与えないと考えられる。

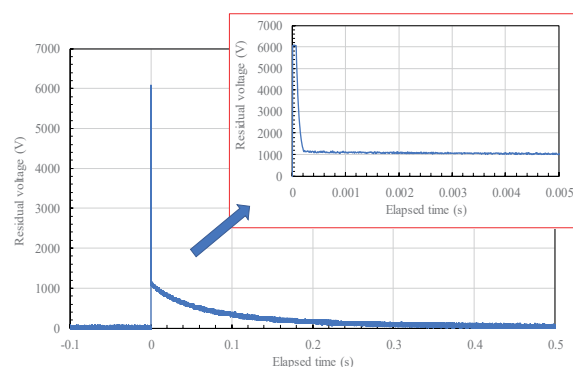
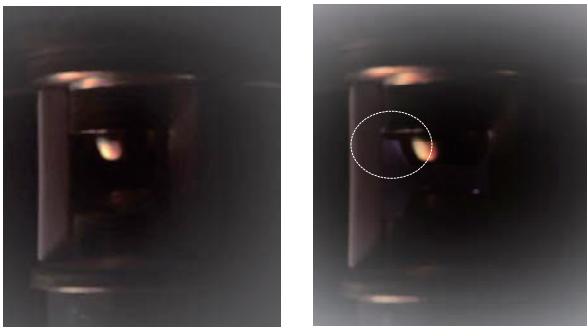


図 7. ZnO 素子上部の電位の時間変化

### 3.3 スペーサの帯電による影響

第 1 節で述べたように、 $V-t$  試験においては、所定の時間間隔でインパルス電圧を印加するため、前回の電圧印加時のコロナ放電による残留電荷が  $V-t$  特性に影響を与えている可能性がある。そこで、本研究で実験対象としている避雷器においてもスペーサの内壁でコロナ放電が発生し得るか確認することとした。ただし、微弱光であるコロナ放電の観測が容易に行えるように、ここでは標準雷インパルス電圧の代わり交流電圧 7.5 kVrms を印加することとした。また、デジタルカメラの露光時間を 10 s とした。スペーサ内部を観測した結果を図 8 に示す。微弱ではあるが 3 重点近傍においてコロナによる発光を確認できる。電位 (17kV) を上部電極に与えた場合の電界分布を図 9 に示す。最大電界は、スペーサ内壁に沿って存在するギャップ電極の端部 (3 重点近傍) に存在する。このような高電界部において、標準雷インパルス電圧印加時にはインパルスコロナが発生すると考えられる。

前述したように、3 重点近傍でコロナ放電が発生することで電極間の電子密度が増加し放電が安定することが考えられるが、このスペーサ表面で発生したコロナ放電による荷電粒子は絶縁体表面に長時間に亘って帯電し、 $V-t$  特性に影響を与えている可能性がある。そこで、1/4 カットスペーサを用い、インパルス放電が発生した直後に 1/4 カットスペーサの内壁を毎回接地するような  $V-t$  試験を行った。標準雷インパルス電圧 17kV を印加した場合に得られた結果を図 10 に示す。スペーサの内壁を接地しない場合と比べて、放電電圧や放電開始時間が 10 回の放電でほぼ等しいことが分かる。すなわち、インパルス放電が発生する毎にスペーサ内壁を接地して表面の帯電電荷を除電することで放電特性が著しく安定する結果となる。しかし、1/4 カットスペーサを使用しているため、実機とはスペーサの静電容量が異なる。また、インパルスコロナが不均一に発生しているため、今後、これらの相違点の影響についても検証を進めていく予定である。



(a) 課電無しの状態 (b) 課電時の状態

図 8. 交流電圧印加により観測したコロナ放電

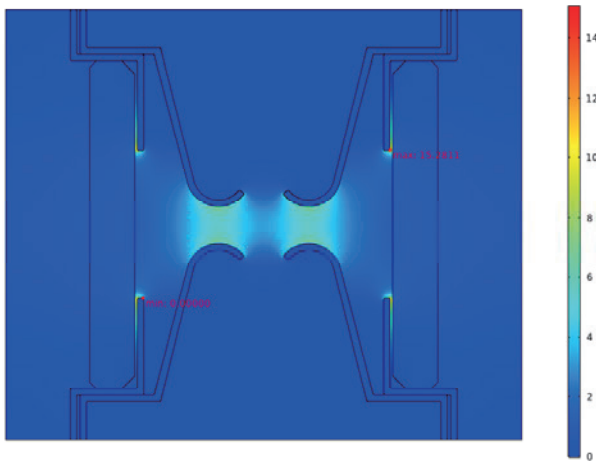


図 9 電位(17kV)を上部電極に印加した場合の電界分布 (最大電界強度はスペーサ内壁近傍の電極端に存在)

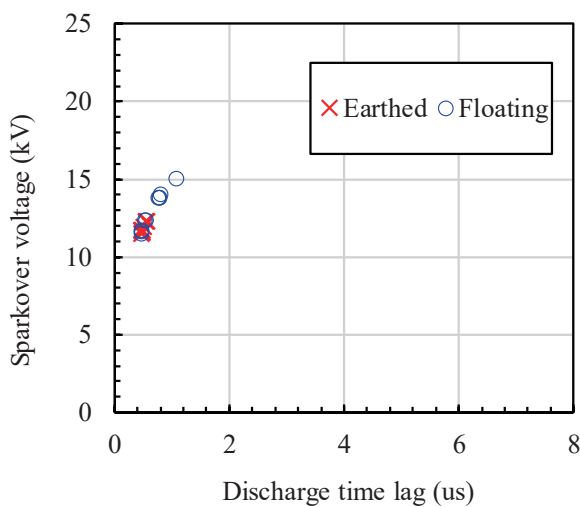


図 10. 1 分間隔で標準雷インパルス電圧 17kV を印加した場合に得られた  $V-t$  特性 (放電直後にスペーサ内壁を毎回接地した場合と接地しない場合)

#### 4. 結論

配電用ギャップ付避雷器のギャップ電極におけるインパルス放電の放電遅れ現象を抑制するための基礎研究として、ZnO素子の残留電圧と固体絶縁物であるスペーサ表面における残留電荷が  $V-t$  特性に与える影響を検証した。その結果、ZnO素子の残留電圧については0.5 sで接地電位まで低下しており  $V-t$  特性に影響を与えないと考えられる。また、インパルス放電が発生した後にスペーサ内壁を接地した場合、放電特性が著しく安定したことからスペーサ内壁の放電電荷は  $V-t$  特性に影響があると考えられるが、実機との相違点の影響についても検証を進めていく予定である。

#### 参考文献

- 1) S. Furukawa, O. Usuda, T. Isozaki, T. Irie: "Development and applications of lightning arresters for transmission lines", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, No. 4, pp.2121-2129, 1989.
- 2) Surge Arresters Special Committee: "Power technology of Japan through the experience of developments and applications of surge arresters for AC3.3 - 1100kV and HVDC125 -600kV power systems", IEEJ Technical Report No.1132, 2008. (in Japanese)  
電力用避雷器の将来へ向けた技術展望調査専門委員会: "避雷器の技術展開でみる日本の電力技術 - AC 3.3 ~1100kV, HVDC125~600kV 用酸化亜鉛形避雷器", 電気学会技術報告, No. 1132, 2008.
- 3) H. Andoh, S. Nishiwaki, H. Suzuki, S. Boggs and J. Kuang: "Failure mechanisms and recent improvement in ZnO arrester elements", IEEE EI Magazine, Vol. 16, No. 1, pp.25-31, 2000.
- 4) D. Kind, M. Kurrat, T. Hartmut Kopp: "Voltage-time characteristics of air gaps and insulation coordination - Survey of 100 years research -", International conference on Lightning Protection, doi:10.1109/iclp. 2016. 7791358, pp. 1-8, 2016.
- 5) Y. Gosyo: "Anomalous decrease of time lag of breakdown of gaps in gases by mixing water vapor", IEEJ Transactions on FM, Vol. 94, No. 9, pp. 488-493, 1974  
御所康七: "水分添加による気中ギャップ破壊遅れの異常減少", 電学論 A, Vol. 94, No. 9, pp. 488-493, 1974.
- 6) 迫田達也, 堀江響, 武居周, 久保克隆, 水谷学, 深野孝人: "配電用ギャップ付酸化亜鉛形避雷器の放電遅れ現象に関する研究", 電気学会論文誌 A, Vol. 138, No. 9, pp. 457-462, 2018