

直列ギャップ付 ZnO 避雷器の $V-t$ 特性の改善に関する研究

堀江 響^{a)}・迫田 達也^{b)}・久保 克隆^{c)}・水谷 学^{c)}・深野 孝人^{c)}

Study on Improvement of $V-t$ Characteristic of ZnO Surge Arrester with a Series Gap

Hibiki HORIE, Tatsuya SAKODA,

Katsutaka KUBO, Manabu MIZUTANI, Takato FUKANO

Abstract

Surge arrester with a spark gap has been installed for reducing the electrical failures in Japanese distribution systems. The top and the bottom of a ceramic spacer for sustaining an electrode gap in a surge arrester contact with electrodes, in which there are triple junction points formed among the ceramic spacer, the gap electrodes, and the atmosphere. Electric field at the triple-junction point becomes large; therefore, the triple junction point may influence the discharge characteristics.

We prepared some electrodes with a small step edge on an inclined plane of each electrodes, which played a role like a triple junction point. We investigated how the shape of the electrodes influences on discharge characteristics such as discharge ignition. The results showed that formation of a step edge on an inclined plane of each electrode contribute on lowering a discharge voltage and shortening a discharge time lag.

Keywords: $V-t$ characteristics, Spacer, Surge arrester, Series gap

1. はじめに

高度情報化社会の発展に伴い、電力の安定供給が強く求められている。しかし、配電系統において、自然災害による事故停電を完全に避けることは困難である。その中でも、落雷による停電は、依然として事故件数に占める割合が高い。そのため、配電系統においては、雷から電力機器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。これらの電力機器は、動作目的に合わせて、放電を精度良く制御できることが望ましい。しかしながら、大気圧中の放電は電極形状、印加電圧、電界といった諸要因により影響を受ける。ギャップ付避雷器においては、放電ギャップを形成するために、ギャップを保持するためのスペーサ(絶縁管)が利用されている。このスペーサにより、大気、スペーサ、ギャップ電極が接する箇所においては局所的に電界が高くなる三重点が形成される。このような高電界部は部分放電の発生箇所となり、放電特性にどのような影響を与えるか詳細に把握しておくことが望ましい。著者らは、ギャップ電極とスペーサから成る放電ギャップにおいて形成される高電界部がギャップ間の雷インパルス放電特性に与える影響および放電特性の改善に関しての検討を行っている。

a)工学研究科工学専攻エネルギー系コース大学院生

b)工学教育研究部教授

c)株式会社東芝エネルギーシステムソリューション社

本論文では、ギャップ電極の形状の変更によって、初期電子生成に影響を与えるであろう電界強度や初期電子生成部から電極頂点までの距離の短縮化が、雷インパルス放電の $V-t$ 特性に与える影響を評価した結果について述べる。

2. 実験方法と電界解析

2.1 作製した電極の形状および電界計算条件

図 1 に示すような 4 種類の放電電極を作製し、実機と同様に、スペーサを用いて同じ形状の電極を対向配置して 8mm の放電ギャップを形成した。また、全ての電極の頂上部にはアーク圧力を解放できるような孔を設けた。電極 A 及び B の孔径は、電極の斜面に設けた高電界部と電極頂点部までの距離を短くするために既製品(3mm)よりも大きな 7 mm とした。更に、電極 B については、電極斜面に、電界が高くなり、初期電子の生成率に影響を与えると考えられる図 1(b)に示す高さ 4.5 mm のエッジを設けた。電極 C の孔径は更に広げて 8 mm とし、電極斜面のエッジは電極 B と同様とした。電極 D の凸部の孔径は 9 mm に広げ、凸部斜面のエッジは電極 B と同様とした。なお、ギャップ電極頂点の曲率半径は全ての電極で 2.5 mm とした。

図 2 に、解析モデルの一例として、ギャップ電極 A と

ギャップ長を保持する円筒型スペーサから構成されるギャップ電極を示す。円筒型スペーサは内径が 20mm、高さ 25.5mm となっており、ギャップ電極のギャップ長は 8 mm となっている。ギャップ電極と円筒型スペーサにはそれぞれ、銅、セラミックスの導電率を与え、上部電極に 30 kV の電位を与えた時の条件で電界強度分布を計算した。

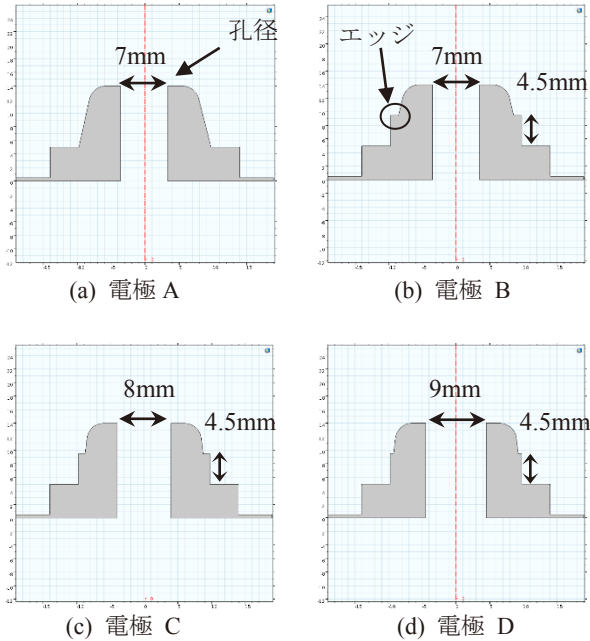


図 1. 作製した電極

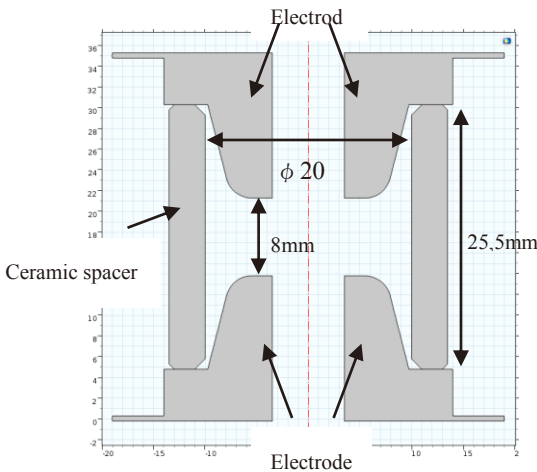


図 2. 2次元解析モデルの例

2.2 電界解析結果

図 3 から図 6 に電極 A~D の電界解析結果を示す。これらの図において白い部分は電界強度が 5 kV/mm を超えた箇所を示す。

初期電子生成部から電極頂点部までの最短距離と、最大電界強度を表 1 に示す。電極斜面にエッジが無い電極 A の三重点近傍の電界強度が 2.4 kV/mm であるのに対し、エッジ有りの電極 B ではエッジ部の電界強度が 16.5 kV/mm

と著しく高くなり、電極頂点部よりも高い電界領域が形成される。また、電極 C、電極 D でも同じ傾向がある。このことからエッジを設けることによって電界強度が高くなり、放電が起こるための初期電子の供給量が多くなるため放電特性が安定すると考えられる。更に、エッジを設け、孔径を広げることにより、エッジ部から頂点までの距離を短くした電極 B、電極 C、電極 D において、エッジ部から頂点までの距離が短いほど、生成された初期電子が放電部までに到達する時間が速くなり、電子雪崩を形成する火花統計遅れが短くなると考えられる。

以上のような電界計算によって得られた効果を $V-t$ 特性試験で明らかにすることとした。つまり、電極 A と電極 B の結果を比較することで三重点もしくはエッジ部の電界強度が与える影響を明らかにでき、電極 B と電極 C と電極 D を比較することで初期電子生成部から頂点までの距離が放電特性に与える影響を明らかにすることが出来る。

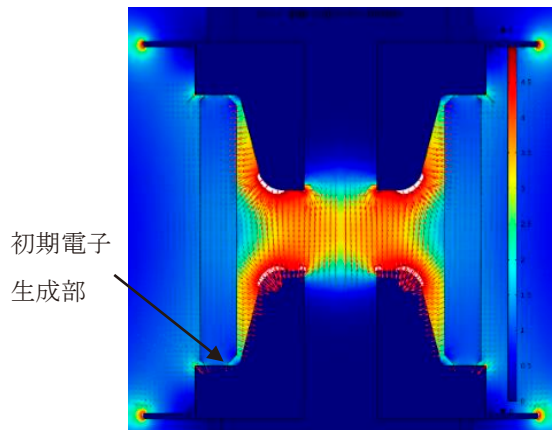


図 3. 電極 A を用いた場合の電界強度分布

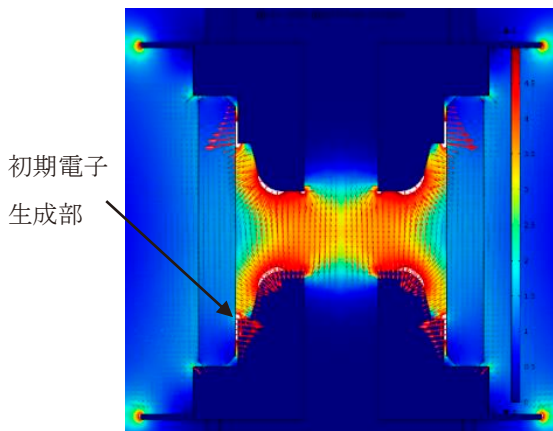


図 4. 電極 B を用いた場合の電界強度分布

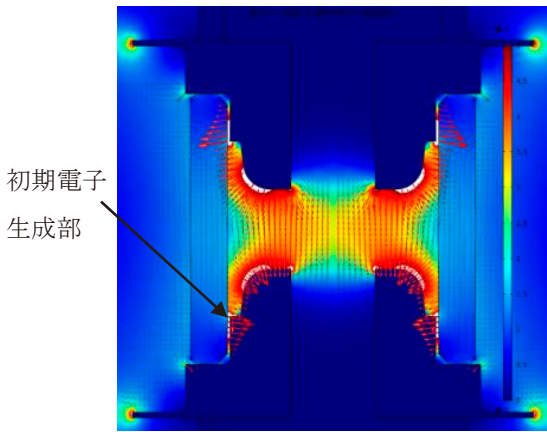


図 5. 電極 C を用いた場合の電界強度分布

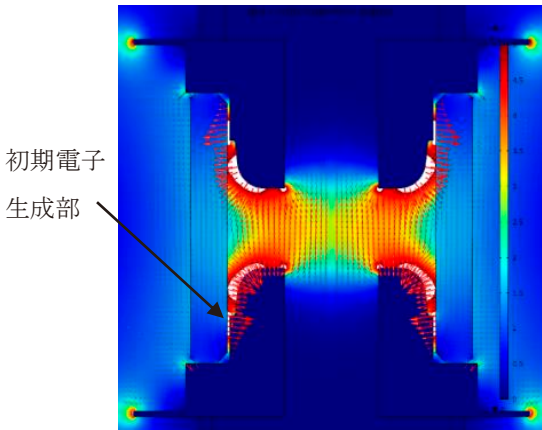


図 6. 電極 D を用いた場合の電界強度分布

表 1. 初期電子生成部の最大電界強度及び電極頂点までの最短距離

Type	Shortest distance (mm)	Maximum E. (kV/mm)
A	7.06	2.46
B	4.03	16.5
C	3.51	15.6
D	3.05	12.2

2.3 雷インパルス放電試験条件

A から D の 4 種類のギャップ電極とスペーサを用いて構成した放電ギャップを碍管容器無しの避雷器内部要素を湿度制御が可能な容器内に配置し、湿度が放電特性に与える影響を小さくするために、容器内の絶対湿度を約 5[g/m³]に調整した。雷インパルス電圧は、図 7 に示す 1.2/50 μs の標準雷インパルス電圧発生回路において、充電電圧を 25 kV から最大 40 kV の範囲で出力することとし、3 分間隔で 1 kV ずつ昇圧して印加した。放電電圧(*V*)と放電時間(*t*)はデジタルオシロスコープで記録した。

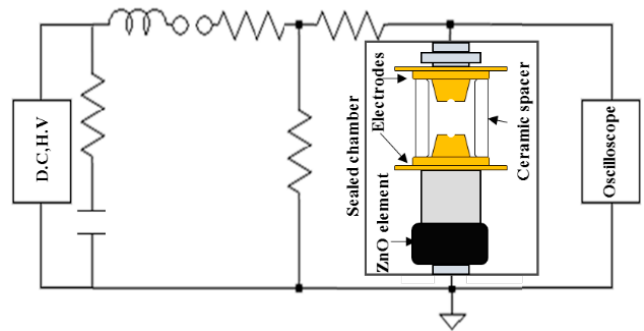


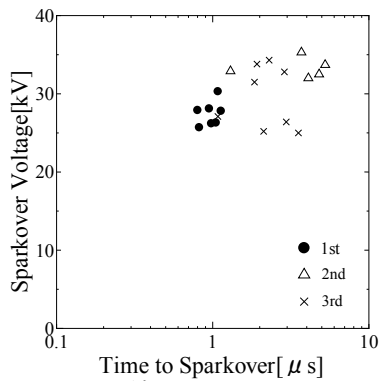
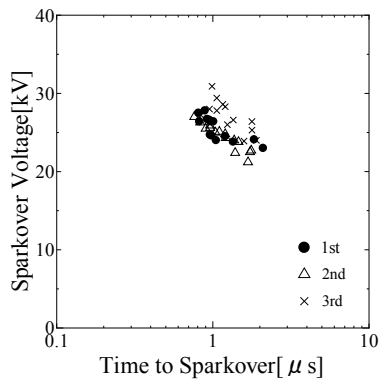
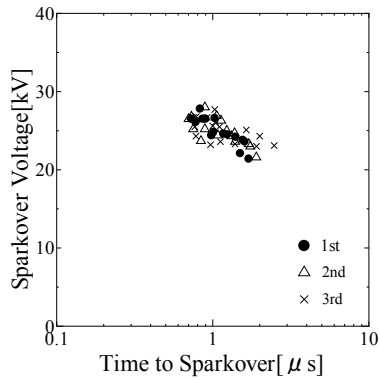
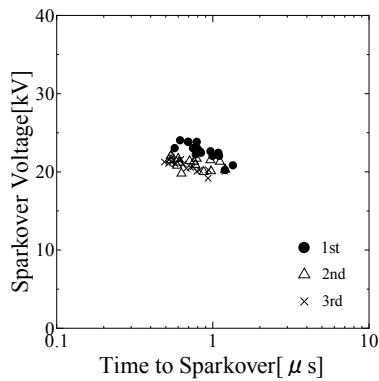
図 7. 実験回路

3. 放電ギャップの放電特性試験結果

図 8 から図 11 に、電極 A から電極 D で得られた *V-t* 特性を示す。表 2 に、火花放電開始電圧、火花放電電圧の範囲、火花放電の時間、標準偏差を示す。図 8 及び表 2 より、電極 A においては火花放電時間(放電遅れ)が顕著であり、放電時間の標準偏差が大きくなっていることが分かる。電極 B は、電極 A の結果と比較すると、火花放電電圧の範囲は比較的狭く、放電に至る時間も短いため、標準偏差も小さい。以上のことから、電極斜面にエッジを設けることで放電特性が改善されることが分かる。また、電極 C、電極 D においても、より放電特性が改善しており、特に電極 D では火花放電電圧が低く、放電に至る時間も短くなっており、放電特性が大きく改善している。以上のように、ギャップ電極の孔径を広げ、初期電子生成部(エッジ部)から電極頂点までの距離を短くすることによって、放電特性を安定させることができる。

表 2. 電極 A-D における *V-t* 特性

Type	Ignition voltage of sparkover (kV)	Range of sparkover voltage (kV)	Range of time to sparkover (μs)	Standard deviation
A	30	25~35	1.0~10	1.37
B	25	25~30	0.7~2.2	0.34
C	25	25~30	0.6~1.8	0.40
D	25	20~25	0.4~1.2	0.21

図 8. 電極 A における $V-t$ 特性図 9. 電極 B における $V-t$ 特性図 10. 電極 C における $V-t$ 特性図 11. 電極 D における $V-t$ 特性

4. 結論

電極の形状が放電遅れにどのような影響を与えるか明らかにするために、形状の異なる電極を用いて、放電特性試験及び電極周辺の電界計算を行った。その結果、電極の斜面にエッジを設けることによりエッジ部の電界強度は、スペーサ、大気、電極の間に形成される三重点近傍の電界強度より高くなることを示した。また、放電特性は電極頂点の曲部とエッジとの距離を短くすることで安定することが明らかとなった。

参考文献

- 1) Masanori Hara, Takashi Kurihara, Susumu Kozuru, Junya Suehiro, Noriyuki Hayashi, "Estimation of partial discharge onset characteristics in gasses around a triple-junction", IEEJ Transactions on FM, vol.116, No.7, 2002, pp.650-657
- 2) Tadashi Kawamoto, Tadasu Takuma, Hisashi Goshima, Hiroyuki Shinkai, Hideo, Hideo Fujinami, "Triple-junction effect and its electric field relaxation in three dielectrics", IEEJ Transactions on FM, vol.127, No.2, 2007, pp.59-64
- 3) Yasushiti Gosyo, "Anomalous decrease of time lag of breakdown of gaps in gases by mixing water vapor", IEEJ Transactions on FM, vol.116, No.6, 1996, pp.488-493
- 4) Tatsuya Tokunaga, Shinnosuke Nishikawa, Tatsuya Sakoda, Takato Fukano, "Influence of triple-junction on sparkover voltage for a series gap of arrester", Electrical Insulation Conference (EIC), 2013 IEEE