



Title	セラミックス複合電極を用いた微小ギャップの放電特性
Author(s)	中山, 博史; 小野田, 光宣; 住野, 安弘 他
Citation	電気材料技術雑誌. 1993, 2, p. 39-44
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/81546
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

セラミックス複合電極を用いた微小ギャップの放電特性

中山 博 史、小野田 光 宣、住 野 安 弘、天 川 清 士

姫路工業大学工学部電気工学科

〒671-22 姫路市書写2167

Breakdown Characteristics of Small Gap Air with Ceramics Composite Electrodes
Hiroshi NAKAYAMA, Mitsuyoshi ONODA, Yasuhiro SUMINO and Kiyoshi AMAKAWA
Department of Electric Engineering, Faculty of Engineering,
Himeji Insutitute of Technology,
2167 Shosha, Himeji, Hyogo 671-22

This paper describes the discharge phenomena of a small air gap with ceramics composite-plane electrodes under pulse voltages. The discharge voltage decreases with increasing projection distance of ceramics from a comb-shaped metal electrode. Even if the projection distance is zero, the discharge voltage is lower than that of comb-shaped metal electrode. This shows that the discharge is extremely sensitive to the local high field caused by a triple junction. The surface discharge on ceramics occurs after the gap discharge, and the appreciable polarity effect is obtained on the surface discharge onset point. These anomalous discharge characteristics are discussed on the basis of the experimental results.

キーワード：セラミックス，複合電極，放電，パルス電圧

1. はじめに

通信機器の周波数帯域は中波から極超短波まで広がっている。この周波数帯域に影響を与えるものに、自動車のディストリビュータの放電によって生じる雑音がある。すなわち、放電電流がディストリビュータの電極間を急激に流れる際に、高周波の妨害電波を発生する。CISPR(国際無線障害特別委員会)⁽¹⁾は30～1000MHzの周波数を規制対象にし、その許容値を準尖頭値で34～45dBとしている。このような観点から、自動車の点火系統から発生する電波雑音の一層の低減が要請されている。

点火回路系のプラグやディストリビュータから発生するパルス性雑音の防止方法の主なものに、直列抵抗の挿入⁽²⁾⁽³⁾による高周波電流の抑制、あるいは金属電極のシリコン処理による放電電圧の低電圧化などがある。また、最近のものとして、

堤氏らによるセラミックス電極を用いた電波雑音抑制の研究⁽⁴⁾⁽⁵⁾などがある。

空気中あるいは(窒素/酸素)混合気体中のコロナ特性⁽⁶⁾⁽⁷⁾はよく調べられているが、インパルスコロナと放電電圧の関係⁽⁸⁾については、未だ不明なところも多い。特にセラミックス電極については、その実用化までに大気圧微小ギャップの放電機構を含めて種々の検討がなされることであろう。

筆者らは微小ギャップの放電電圧に着目して、櫛型金属電極 および (セラミックス円板/櫛型金属) 複合電極 (以下、複合電極という) など種々の電極を用いてパルス電圧による放電電圧-時間特性を測定した。その結果、複合電極を有するギャップにおいて、放電電圧の低下および特異な放電形態のあることがわかったので⁽⁹⁾、それらについて報告する。

2. 試料および実験方法

実験に使用した電極の一方は櫛型金属電極単独あるいは複合電極で、他方は平板金属電極である。

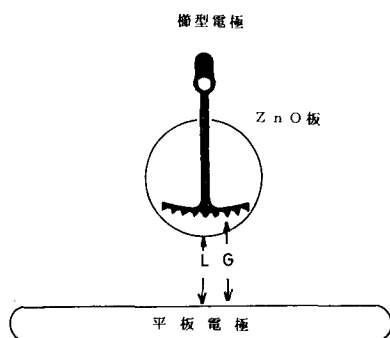


図1 電極構成

Fig.1 Electrode configuration

複合電極を構成するセラミックス円板は ZnO 系で、その半径が16mm、厚さが 0.5mmである。また、櫛型電極の厚さは約1mmで、平板電極と同様に黄銅製である。ZnO 円板上に櫛型金属電極を配置した複合電極の構成を図1に示す。櫛型金属電極および ZnO 円板の先端から金属平板電極までの距離を可変とし、それぞれG、Lとした。方形波パルス電圧をギャップに印加し、高電圧プローブ (HV-930、岩崎通信機) およびオシロスコープ (DS-6026、岩崎通信機) を用いて、放電に至るまでの時間および放電電圧を測定した。方形波パルス電圧の立ち上がり時間を変えるために、ギャップと並列に高周波用コンデンサを挿入した。なお、パルス電圧の印加間隔は、前課電による空間電荷の影響をさけるために30秒以上とした。

3. 実験結果および検討

3. 1 櫛型-平板電極ギャップにおける放電電圧-時間特性

櫛型電極を用いた場合のインパルス電圧による微小ギャップの放電電圧と放電に至るまでの時間、いわゆる V-t 特性を調べた。図2 (a)、(b)はそれぞれ正極性、負極性のインパルス放電時の結果である。図中の破線は印加電圧(波高値 $V_p=20\text{kV}$)の波頭部の波形を、○印は放電電圧の実測値を示す。ここで、このようなインパルス電圧波形を採用したのは、一般にディストリビュータには波頭長が約 $10\mu\text{s}$ で、波高値が約 20kV のインパルス電圧が用いられていること

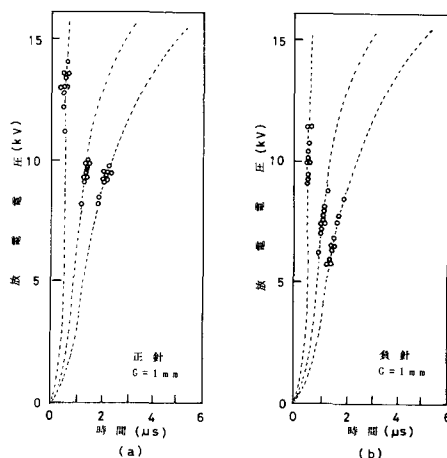


図2 櫛型金属電極における放電のV-t特性

Fig.2 V-t characteristics of small air gap under comb-shaped metal electrode.

を考慮したためである。インパルス電圧の波頭長が 1.5 から $4, 10\mu\text{s}$ へと長くなるにつれて、放電電圧がわずかに低下している。なお、櫛型電極の極性によって放電電圧に差があり、負極性の放電電圧が正極性のそれに比べて明らかに低い値を示している。

3. 2 複合-平板電極ギャップにおける放電特性

複合電極の場合の正極性および負極性のパルス放電の V-t 特性を図3 (a)、(b)に示す。この場合、 $L=1$ 、 $G=1\text{mm}$ である。すなわち、櫛型金属電極の背後に ZnO 円板を添わせ、その先端から櫛型金属電極までの距離を櫛型金属電極単

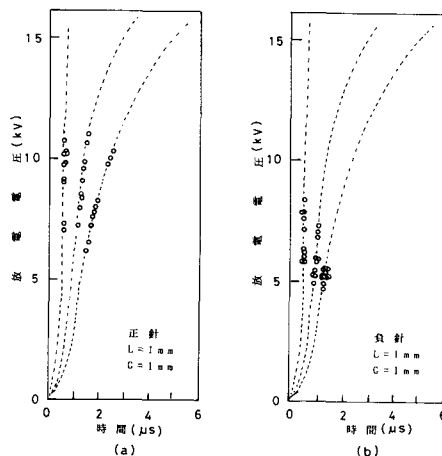


図3 複合電極における放電のV-t特性

Fig.3 V-t characteristics of small air gap under composite electrode.

独の場合と同じ1mmにすると、いずれの極性においても楕型電極単独の場合に比べて放電電圧が低くなっているが、特に負極性においてその効果が顕著である。

図4に楕型金属電極から平板電極までの距離 G を1mm一定に保って、ZnO円板から平板電極までの距離 L を0.5、1mmと変化させたときの放電電圧の変化を示す。ここで、測定された放電電圧値の重なりを避けるため、横軸の位置をわずかにずらして表示した。また、 ∞ は楕型電極の

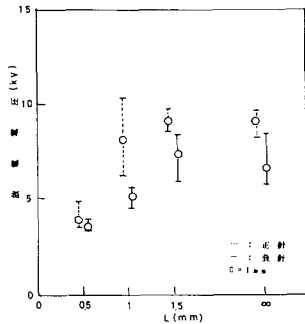


図4 ZnO円板—平板電極間の距離 L と放電電圧の関係

Fig.4 Relationship between discharge voltage and length L .

みを意味する。ZnO円板を楕型金属電極に添え、その先端をそろえると、放電電圧のパラツキが小さくなり、負極性の放電電圧が約1.5kV低くなる。また L を短くし、ZnO円板を楕型電極から0.5mm突き出すと、放電電圧は約2kV低下する。しかし、 L を1.5mmと長くしてセラミックス円板を楕型金属電極先端から0.5mm引上げると、楕型金属電極単独のときの放電電圧とほぼ同一になり、セラミックス円板の効果がなくなる。いずれのギャップにおいても、負極性の放電電圧が正極性のそれに比べて低く、両者の差は最大でほぼ3kVとなっている。

ZnO円板を楕型金属電極に添えると、放電電圧が低下する原因について考察する。本実験のような不平等な電界においては、局所的な高電界部で生じるコロナの影響が大きいものと考えられる。すなわち、複合電極の場合、ZnO円板と楕型金属電極の接触部が問題である。誘電率の異なる二種類の誘電体と金属電極の三者が集まったところは三重点効果で、電界の特異性を生じることについては宅間氏の研究⁽¹⁰⁾がある。円筒型固体支持絶縁物が円環状の金属電極を支持している場合の接触部近傍の金属電極表面電

界は、絶縁物の誘電率が增大すると、異常に上昇する。一例として、比誘電率が8の場合の電界は、それが2のときに比べてほぼ一桁高い値になる。実際の電界は金属電極先端の曲率半径にも依存するが、本実験で用いたZnOの比誘電率は約8と大きいので、異常な電界が生じることは確かである。このように楕型金属とZnO円板および大気圧空気の接する微小領域に局部コロナが発生し、放電に必要な初期電子を供給しているものと考えられる。

電子を固体から引き出すときの仕事関数⁽¹²⁾はCu、Zn、Agなどの金属で約4～5eVと大きい。しかし、金属電極のそれに比べてZnOセラミックスの仕事関数は小さいことから、高電界放出も容易である。このことを裏付けるためにZnOの代わりに比誘電率が約6のガラス板を用いて複合電極を作り、放電電圧を測定した。その結果、波頭長10 μ s、波高値 V_p =20kVのインパルス電圧に対して L =1mm、 G =1mmの場合、正極性の平均値で約8kV、負極性のそれは約6.5kVとなった。従って、ZnOを用いた複合電極においては、ZnOから電界放出と光電子放出のが容易なことが、放電の開始するための初期電子供給の時間遅れを小さくし、放電電圧の低下をもたらしたものと考えられる。

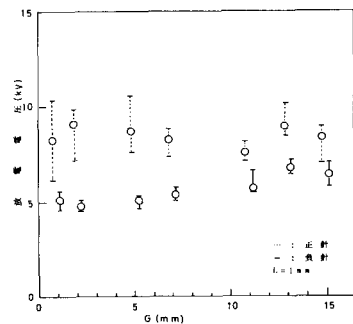


図5 楕型電極—平板電極間の距離 G と放電電圧の関係

Fig.5 Relationship between discharge voltage and length G .

図5に L を1mm一定として、波頭長10 μ s、波高値20kVのパルス電圧を用いて得られた放電電圧の G 依存性を示す。正極性の場合、放電電圧のパラツキは大きい、平均値でほぼ8kV一定である。しかし、負極性の場合、 G が10mm以上になると、約2kV高くなっている。この場合、ZnO円板から平板までの距離 L が1mmに固定されていることから、 G が大きくなると、エアギ

ギャップと直列に挿入された ZnO の抵抗が大きくなる。それ故、放電電圧が低い負極性において、ZnO 沿面距離の影響がでて、放電開始後の電流急増が抑えられ、放電の完了までに時間遅れを生じる。その結果、パルス電圧の波頭部での破壊においては、放電電圧の上昇を招くものと考えられる。

3. 3 複合—平板電極ギャップにおける放電の特異性

$L = 1\text{ mm}$ を一定に保って、種々の大きさの G に対するギャップ放電時の ZnO 円板上の沿面放電を図 6 (a), (b)に示す。この場合、印加パルス電圧の波高値は -20 kV である。すなわち、複合電極—平板金属電極間に過電圧がかかった状態で、ギャップの放電と沿面放電が同時に現れているように見えるが、なぜか櫛型電極からのみ沿面放電が生じている。

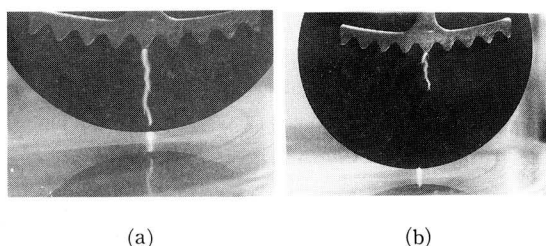


図 6 ギャップの放電および ZnO 上の沿面放電
Fig.6 Discharge between ZnO and plane electrode, and ZnO surface discharge from comb-shaped electrode. (a) $G = 4\text{ mm}$, (b) $G = 15\text{ mm}$

次に、複合電極—平板電極間にかかる過電圧を大きく変化させて、ZnO 円板の沿面放電とギャップの放電様相を調べた。その結果を図 7 の (a), (b)に示す。(a)図はパルス電圧の波高値を -6 kV にしたときのもので、ZnO 円板と平板電極間だけが放電していて、ZnO 円板の表面には何ら放電の形跡がみられない。(a')図に複合電極の櫛型金属電極と平板金属電極間の電圧波形を示す。ギャップの放電瞬時に電極間の電圧が約 0.4 kV 低下しているが、その後ほとんど変化なく約 3 kV の電圧が維持されている。(b), (b')図は、 -10 kV と印加電圧を高くしたときのものである。(b)図の場合、ギャップの放電と共に ZnO 表面にも沿面放電が生じている。このとき、(b')図に見られるように、電瞬時の急激な電圧放低下とそれに続くゆるやかな低下がある。このような電

圧変化から考えて、ZnO 面の沿面放電はギャップにかかる過電圧が大きいときに現れるといえる。

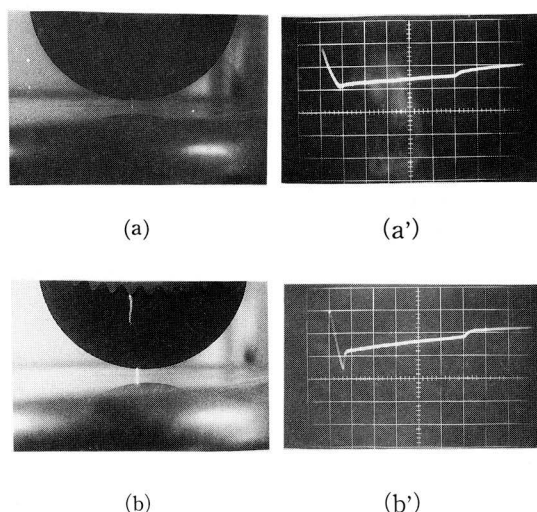


図 7 ギャップの放電および沿面放電特性に及ぼす過電圧の影響 (負極性)

Fig.7 Effect of overvoltage on the gap discharge and ZnO surface discharge.
(negative, $L = 1\text{ mm}$, $G = 11\text{ mm}$)
(a), (a'): $V_p = -6\text{ kV}$, $5\text{ }\mu\text{s/div}$, -2 kV/div
(b), (b'): $V_p = -10\text{ kV}$, $10\text{ }\mu\text{s/div}$, -2 kV/div

次に正極性の結果を図 8 に示す。(a)図は印加電圧が 6 kV のときのもので、このときギャップのみが放電している。また電圧は放電瞬時に約 3 kV 低下し、その後、ほぼ一定の電圧となっている。(b), (b')図は 10 kV と印加電圧を上げた場合で、ギャップが放電し、その放電点の ZnO 円板の端から、ZnO 円板の表面を櫛型電極に向かって沿面放電が生じている。しかし、(b')図の電圧波形は放電瞬時の電圧降下が約 3 kV と、負極性と同様な電極間電圧の時間変化を示す。このように ZnO 円板があると、その抵抗のためにギャップの放電時の電圧降下および電圧の高周波振動が抑制されるため、妨害電波を低減する効果が顕著であるといえよう。

印加電圧が大きいときに ZnO 円板の表面に生じる放電は、複合電極が負極性のときに櫛型電極から発生するのに対し、正極性のときは、櫛型電極から全く放電が現れず、ギャップの放電がそのまま進展する。このように ZnO 円板の沿面放電に極性効果が顕著なことが明らかになった。この沿面放電の発生は、ZnO 円板の体積抵

抗率が約 $6 \times 10^8 \Omega \text{ cm}$ であり、その値が大きいためである。いずれにしても、沿面放電が発生する場所は、ZnO 円板の負極性側といえる。堺ら(11)によると、絶縁物沿面でストリーマが進展しやすいのは、ストリーマが絶縁物から光電子放出を引き起こすためであるとしている。このこと

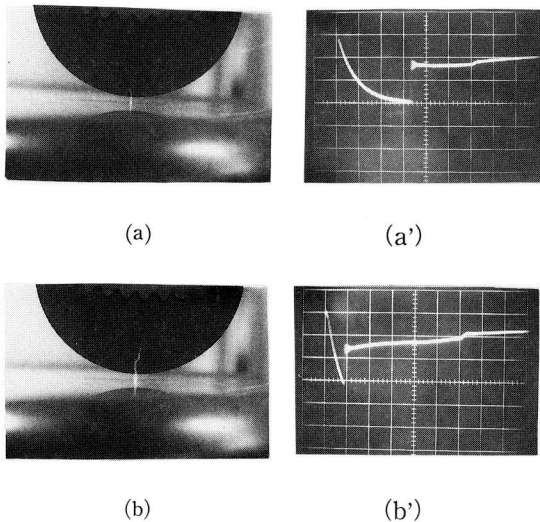


図8 ギャップの放電および沿面放電特性に及ぼす過電圧の影響（正極性）

Fig.8 Effect of overvoltage on gap discharge and ZnO surface discharge.

(positive, $L = 1 \text{ mm}$, $G = 11 \text{ mm}$)

(a), (a'): $V_p = 6 \text{ kV}$, $5 \mu\text{s/div}$, 2 kV/div

(b), (b'): $V_p = 10 \text{ kV}$, $10 \mu\text{s/div}$, 2 kV/div

と関連して、エアギャップの放電に起因した ZnO セラミックスからの光電子放出が負極側で起こり、沿面放電が進展する。一度沿面放電が起これば、そのときの発光でやはり ZnO 表面の負極端から光電子が放出される。このように考えると、ZnO 円板上の沿面放電が印加パルス電圧の負極端から進展することが説明される。ZnO 円板を用いたディストリビュータを開発するに当たって、このような過電圧印加による沿面放電の発生が雑音特性に大きな影響を与えるものと考えられる。なお雑音の大きさおよびその周波数特性については、今後の研究課題である。

4. まとめ

橢型一平板電極あるいは複合一平板電極を用いて、 μs パルス電圧による大気圧微小ギャップの放電特性を調べた結果、次のことがわかった。

(1) 橢型一平板電極間のギャップのインパルス

電圧印加時の放電電圧には極性効果があり、橢型金属電極が負極性のときの放電電圧が正極性に比べて低い。

(2) 複合一平板電極において、橢型金属電極から平板金属電極までの距離 G を 1 mm 一定にして ZnO 円板から平板までの距離 L を 1 mm にした場合、橢型金属電極単独に比べて負極性の放電電圧が低下し、しかも、そのバラツキが小さくなる。更に L だけを短くすると、いずれの極性においても放電電圧が低下する。すなわち、ZnO 円板が橢型金属電極から突き出るほど、放電電圧が低下する。

(3) 複合一平板電極において、 L に比べて G が大きい場合、複合電極と平板金属電極間のギャップにかかる過電圧が小さいときの放電は、ギャップ間のみであるが、過電圧が大きくなると、ZnO 円板の表面に沿面放電が生じる。この沿面放電の様相は印加電圧の極性によって異なる。すなわち、正極性のとき、放電したギャップに面した ZnO 円板の端から沿面放電が進展する。しかし、負極性の場合は沿面放電が橢型金属電極から ZnO 円板の面に沿って進展する。言い換えると、ギャップと直列になった ZnO 円板の沿面に生じる放電の起点の極性は常に負である。

最後に、本研究にいろいろとご援助をいただいた三菱電機(株)姫路製作所長濱野 勲氏、同所部長上田 敦氏並びに大橋 豊氏に深謝いたします。

参考文献

- (1)清水編：電磁波の吸収と遮断，日経技術図書，p.586(1989)。
- (2)藤原・雨宮：電学論，98-C,345(1978)。
- (3)藤原・雨宮：電学論，89-C,1832(1969)。
- (4)堤・小野・藤井・長江・粕谷：電学論，110-A,153(1990)。
- (5)堤・小野・藤井・檜垣・石井：電学論，110-B,850(1990)。
- (6)細川・近藤・三好：電学誌，89,1823(1969)。
- (7)関谷・細川・三好：電学論，93-A,420(1973)。
- (8)中山・小野田・黒田・天川：電学論，110-A,420(1990)。
- (9)中山・小野田・住野・天川・大橋・上田・濱野：電気学会放電研究会 ED-91-27(1991)。
- (10)宅間：静電学誌，14,40(1990)。
- (11)森・田中・山田・湯本・堺：平成2年電気学会 全大173(1990)。
- (12)電気学会編：放電ハンドブック，オーム社，p.25(1974)。

(1993年6月25日受理)



中山 博 史

昭和18年3月14日生。40年3月姫路工業大学電気工学科卒業。40年4月同大学電気工学教室助手、講師、助教授を経て、平成3年同大学教授、現在に至る。工学博士。電気材料学、電力系統工学を担当。

主として、気体および固体誘電体の絶縁破壊に関する研究に従事。電気学会、応用物理学会、高分子学会会員。



小野田 光 宣

昭和26年8月19日生。52年3月姫路工業大学大学院工学研究科修士課程終了。54年4月同大学電気工学教室助手を経て、平成3年同大学助教授、現在に至る。工学博士。高電界現象論、電気法規及び

施設管理を担当。主として、絶縁性・導電性高分子の電気物性に関する研究に従事。電気学会、応用物理学会、高分子学会会員。



住 野 安 弘

昭和41年1月3日生。平成元年3月姫路工業大学電気工学科卒業。平成元年3月同大学大学院工学研究科修士課程電気電子工学専攻修了。平成元年4月松下電工(株)入社。配機開発研究所開閉制御研究

所。電気学会会員。



天 川 清 士

昭和5年7月11日生。28年3月姫路工業大学電気工学科卒業。以後、同大学電気工学教室助手、講師、助教授を経て、昭和53年同大学教授、現在に至る。工学博士。電磁変換工学、物性論を担当。主

として、固体誘電体の電気物性に関する研究に従事。電気学会、応用物理学会、高分子学会会員。静電気学会、IEEE会員。