真空中の破壊電圧に及ぼす電界分布の影響

正員 鳥家 秀昭 (三菱電機)

正員 林 龍也 (三菱電機)

比較的長ギャップの平行平板状ギャップの場合、コンディショニング後の真空中の破壊電圧は陽極のみに依存し、面積効果がある⁽¹⁾⁽²⁾。本研究では同軸状ギャップを用いて、陽極表面の電界分布と破壊電圧の関係を実験的に調べたのでその結果を述べる。

内側電極として外径 100 mm の無酸素銅を使用し、外側電極には内径 110 mm のステンレス鋼(SUS 304)を用いて同軸状ギャップを構成した。電極をガラスの真空容器に組み込みターボ分子ポンプ(排気速度 500 l/s)で排気しながら 300°C で約 100 時間ベーキングを行った。その後 3×10^{-5} Pa 以上の真空中でガラスを封じ切った。試料は 4 種類製作し、内側電極の外周部の曲率半径 r が異なる。各々真空中スパークコンディショニングを行った後、破壊電圧を 50~100 回測定し 50% 破壊電圧 V_{50} を求めた。破壊試験とコンディショニングには (0.2×3) ms の開閉インパルス電圧を用いた。試験回路に試料と直列に 15 kΩ の抵抗を挿入して、破壊時の電極表面の損傷を抑制したので統流遮断等の措置は取らなかった。図 1 に表面電荷法⁽³⁾により電界分布の計算を行って求めた、内側電極(陽極)の最大電界集中係数 $\alpha_{\max+}$ と r の関係を示す。ここで

$$\alpha_{\max+} = \frac{E_{\max+}}{E_0} \quad (E_{\max+}: \text{陽極上の電界の最大値, } E_0: \text{平均電界 (= 印加電圧 } V/\text{ギャップ長 } d))$$

Fig. 1. Relations between 50% breakdown voltage, maximum field enhancement factor and radius of curvature of electrode.

The Effect of Electric Field Distribution on Electrical Breakdown in Vacuum. By Hideaki Toya, Member & Tastyu Hayashi, Member (Mitsubishi Electric Corp.).

鳥家秀昭: 正員, 三菱電機(株)中央研究所
林 龍也: 正員, 三菱電機(株)中央研究所

陽極の最大電界集中係数 $\alpha_{\max+}$

図 2 実効面積と電極の曲率半径の関係

Fig. 2. Relation between effective area and radius of curvature of electrode.

これより r が大きくなると $\alpha_{\max+}$ は 1 に近づき電界分布は平等電界に近づく。図 1 には破壊電圧(エラーバーは最大と最小値を示す。)と r の関係も示し、 V_{50} は r の増加につれて減少する傾向があることがわかる。破壊に実効的に寄与する陽極の面積(実効面積) S_{eff} を次式⁽²⁾で定義し、各々の同軸ギャップの電界分布から求めた S_{eff} と r の関係を図 2 に示す。

$$S_{\text{eff}} = - \int_0^{W_{\max+}} \frac{N(W)}{N(W_c)} \cdot \frac{dS}{dW} dW \quad \dots\dots (1)$$

但し、 $N(W)$ は陽極材料の破壊の弱点の分布であり、 $W_c = V^2/d$, $W = \alpha_+/\alpha_{\max+} \cdot W_c$ である。ここで、 α_+ は陽極の電界集中係数である。図 2 より S_{eff} は r が大きくなるにつれて増大することがわかる。これは陽極上の電界分布が r が大きくなるにつれて平等分布に近くなり、電界分布のひずみが小さくなって実効面積が増大すると考えられる。この結果破壊電圧は r の増加につれて下降すると考えると図 1 に示す V_{50} と r の関係が説明できる。

従って、クランプや粒子などによる破壊機構が適用される実験条件の下では、コンディショニング後の破壊電圧は陽極に依存し面積効果があると考えられる。

(昭和 62 年 3 月 5 日受付)

文 献

- (1) 鳥家・上野:「真空中の破壊電圧に及ぼす電極材料の影響」, 電学論 A, 103, 5, 288 (昭 58-5)
- (2) 鳥家・林・村井:「高電圧真空スイッチ管の耐電圧特性」, 電学論 A, 106, 39, 323 (昭 61)
- (3) 渋谷・安田・林・武地:「表面電荷法による複合絶縁系の電界解析」, 電学論 A, 99, 5, 200 (昭 54)