

局所電界による真空中の絶縁破壊

中野 修輔^A, 山納 康^A, 小林信一^A, 花田磨砂也^B, 小島有志^B, 田中豊^B
埼玉大学^A, 日本原子力研究開発機構^B

1. はじめに

日本原子力研究開発機構(JAEA)では次世代核融合実験装置(JT-60SA)に向けて、プラズマを加熱する中性粒子入射装置の心臓部である負イオン源の高エネルギー化のための開発を行っている。これまでに、負イオン源の加速電極間のギャップ長を広げることにより真空耐電圧を改善し、所定の加速エネルギー(500keV)の負イオンビーム生成に成功しているが、JT-60SA 用の新負イオン源の設計を行う上では、ギャップ長伸長に伴い緩和された電極端部の局所的に高い電界(以下局所電界)と真空耐電圧との関係を明らかにする必要がある。

一般に局所的に高い電界が電極上に存在すると平等電界のときよりも耐電圧が低下するが、真空ギャップにおいて、特に真空中の長ギャップにおいては、そのような局所電界と真空耐電圧との関係は十分に解明されていない。本研究では、理想的な平等電界を発生できる擬似ロゴウスキー電極(以下孔なし電極)と、局所電界強度を変えるため、孔周りの曲率半径が異なる孔を設けた電極を準備し、真空中の耐電圧試験を行った。その結果から負イオン源で必要とされている長ギャップ領域(以下長ギャップ($\geq 10\text{mm}$))における真空耐電圧と局所電界の物理的関係を調べた。

2. 実験装置・方法

本実験は JAEA 那珂核融合研究所の実験装置を使用した。実験で用いた電極は無酸素銅電極(JIS c-1020)で、電極形状は図1の通りであり、電極孔周囲の曲率半径は $R=0.2\text{mm}$ (以下 R0.2)、 $R=0.5\text{mm}$ (以下 R0.5)、 $R=1.5\text{mm}$ (以下 R1.5)となっている。ただし R1.5 に関してのみ、孔間において局所電界が干渉し、曲率の変化から予想される局所電界の最大値よりも大きくなってしまったため、孔の配置を円形とした。印加する電圧は負極性の直流電圧で最大印加電圧 250kV である。

3. 実験結果および考察

図1の電極において、ギャップ長が 15mm 程度するとき、電極の孔周囲の曲率半径を R0.2 から R0.5 へ変えると、局所的な電界が 20%程度低下し、耐電圧が 15%程度上昇した。一方、R0.5 を R1.5 に変えた場合で局所的な電界は 25%程度低下するが、その場合は電界の低下に見合うような耐電圧の上昇は見られなかった。

そこで耐電圧を決定している要因を検討すべく、長ギャップにおける真空絶縁破壊の要因として考えられているクランプ(薄層、塵埃のような巨視的な粒子)に注目した。

クランプのエネルギー W は、電界 E 、電圧 V を用いて、 $W \propto E \cdot V$ と表せる。そこで、クランプのエネルギーを表す各ギャップ長での局所電界の最大値(E) \times 耐電圧(V)と、耐電圧を比較した(図2)。各電極ともギャップ長約 $8\sim 15\text{mm}$ を境に $E \cdot V$ 値が一定になっており、局所電界が存在する場合においても、真空耐電圧がクランプによって制限されていることが示された。

この $E \cdot V$ 一定値は各電極とも孔なし電極の一定値に近い値となっているものの、厳密には異なっていた。これは、今回の $E \cdot V$ 値が局所電界の最大値を用いており、実際のクランプはそのような電界よりも低い電界のところにも存在し、放電の原因となる可能性があることや、クランプに加えて面積などの他のパラメータが耐電圧を制限している可能性がある。

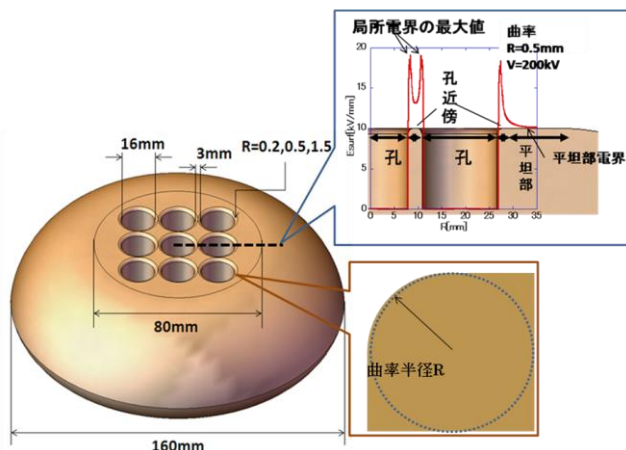


図1 電極形状と電界分布

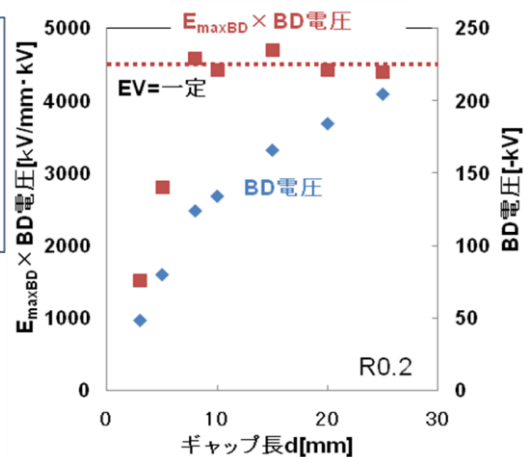


図2 ギャップ長と $E_{\text{maxBD}} \times$ 耐電圧、耐電圧の関係