

# JT-60SA 用負イオン源の高耐圧化へ向けた多孔電極の真空中絶縁破壊機構の解明

山納康 (埼玉大学大学院 理工学研究科)

## 1. まえがき

JAEA が有する臨界プラズマ試験装置 JT-60 において粒子注入によるプラズマ加熱の役割を担う負イオン源では、高加速電圧をかけた際に加速電極間で発生する真空中絶縁破壊によって粒子加速が阻害される問題を抱えている。現在、JT-60 は次世代機の JT-60SA へ向けて改修が進行中であり、尚且つ国際プロジェクトである ITER においても同様に負イオン源を採用することから、負イオン源の耐電圧不足は早急な解決を要する問題の一つである<sup>(1)</sup>。

一般に、真空中絶縁破壊を引き起こす要因の一つに電界電子放出があり、電極表面上の高電界箇所が発生しやすいと考えられている。ここで、負イオン源の加速電極には加速した負イオンを通過させるために多数の孔が存在している。そのため、孔付近の局所的な高電界領域で電界電子放出が発生しやすいと考えられるが、実際の因果関係や耐電圧への影響は不明である。本研究では、多孔電極の真空中絶縁破壊機構を電界電子放出の観点から検討し、負イオン源の高耐圧化へ向けた知見を得ることを目的とした。

## 2. 実験装置・方法

孔数と絶縁耐力、電界電子放出の関係を調査するため、図 1 に示す 3 パターンの孔数を有した無酸素銅電極(加速電極と同材料)に対して真空中で繰り返し絶縁破壊試験を行った。真空容器内に同じ孔数の電極を対向させて真空ギャップを形成し、電極に正極性インパルス電圧を印加することで繰り返し絶縁破壊を発生させた。試験は、絶縁破壊を繰り返す過程で絶縁耐力が向上していくコンディショニング過程が終了するまで行った。そして、取得した電圧・電流波形より、絶縁破壊毎の絶縁破壊電界  $E_b$  と電界放出電流、及び両者の関係を紐解く手段として電界増倍係数  $\beta$  を算出した。 $\beta$  は陰極からの電界電子放出のし易さを示すパラメータであり、電界と電界放出電流の関係から算出が可能である<sup>(2)</sup>。以上より、コンディショニング過程における各電極の絶縁破壊電界と  $\beta$  の推移から両特性の孔数依存性を取得し、多孔電極の絶縁破壊機構について検討を行った。

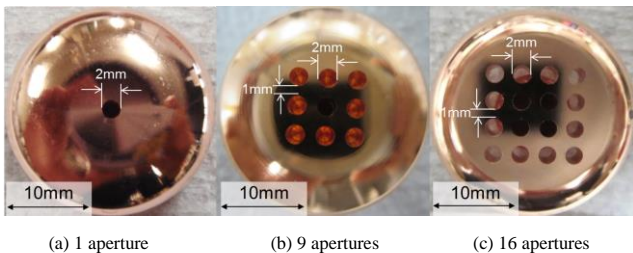


Fig. 1. Photographs of sample electrodes

## 3. 実験結果・考察

図 2 に孔 16 個電極の  $E_b$  特性と  $\beta$  特性(左図)、及び  $E_b$  に  $\beta$  を乗じた、絶縁破壊箇所の臨界電界を示す実効破壊電界  $\beta E_b$  特性(右図)を示す。同図より、コンディショニングの過程において  $E_b$  が上昇するに従って  $\beta$  は低下していき、 $E_b$  が飽和すると  $\beta$  も飽和することが分かった。これは絶縁破壊によって陰極表面の電子放出点が除去されることで  $\beta$  が低下し、電界電子放出が起き難くなるために  $E_b$  が上昇することを意味していると考えられる。また、 $\beta E_b$  は絶縁破壊回数によらず  $10^{10}$  [V/m] オーダの一定値となることから、 $E_b$  の値が  $\beta$  によって決定されることが分かった。これらの傾向はその他の電極においても同様であった。

図 3 に各電極の最終的な耐電圧を意味するコンディショニング飽和後の平均  $E_b$ 、及び  $\beta$ 、 $\beta E_b$  の孔数( $N$ )依存性を示す。同図より、 $E_b$ 、 $\beta$ 、 $\beta E_b$  はそれぞれ孔数の -0.3 乗、0.34 乗、0.06 乗に比例し、孔数の増加に伴って  $E_b$  は低下、 $\beta$  は上昇、 $\beta E_b$  はほぼ一定となることを明らかにした。この結果から、孔数の増加により、電界電子放出が起き易くなることで最終的な絶縁耐力が低下することが分かった。

ただし、より複雑な構造体である負イオン源では、陰極からの電界電子放出も含めた複合的な影響により絶縁破壊が発生していることが予想される。今後は陽極孔の影響についても検討を行うと共に、長ギャップ装置の構築に着手し、実機に近い条件で再現性の取得を目指す予定である。

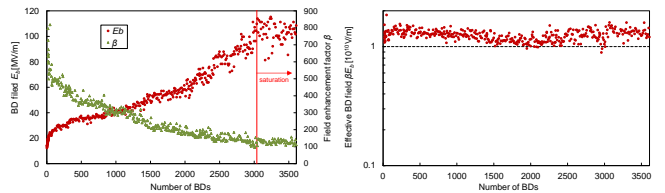


Fig. 2. Characteristic of  $E_b$ ,  $\beta$ , and  $\beta E_b$  (16 apertures electrode)

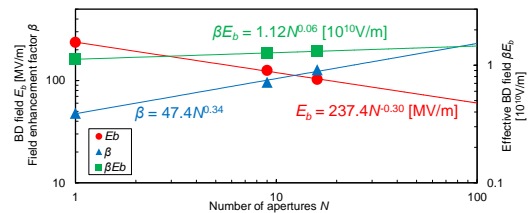


Fig. 3. Dependence of  $E_b$ ,  $\beta$ , and  $\beta E_b$  on the number of apertures  $N$

## 文 献

- (1) A. Kojima, M. Hanada, T. Inoue, NB Heating Technology Group, Y. Yamano, S. Kobayashi : "Voltage Holding Capability of Large-Size Acceleration Grid with Multiple-Apertures and Multiple-Stage for Negative Ion Source", J. Vac. Soc. Jpn., Vol. 56, p.502-506 (2013)
- (2) R. Latham : "High Voltage Vacuum Insulation", Academic Press London, pp. 115-164 (1995)