



錦織良<sup>1</sup>、小島有志<sup>1</sup>、柏木美恵子<sup>1</sup>、渡邊和弘<sup>1</sup>、梅田尚孝<sup>1</sup>、戸張博之<sup>1</sup>、吉田雅史<sup>1</sup>、市川雅浩<sup>1</sup>、平塚淳一<sup>1</sup>、ニコラピラン<sup>2</sup>、山納康<sup>3</sup>、大倉徹也<sup>3</sup>、NB加熱開発グループ<sup>1</sup>



<sup>1</sup>量子科学技術研究開発機構、<sup>2</sup>CONSORZIO RFX、<sup>3</sup>埼玉大学

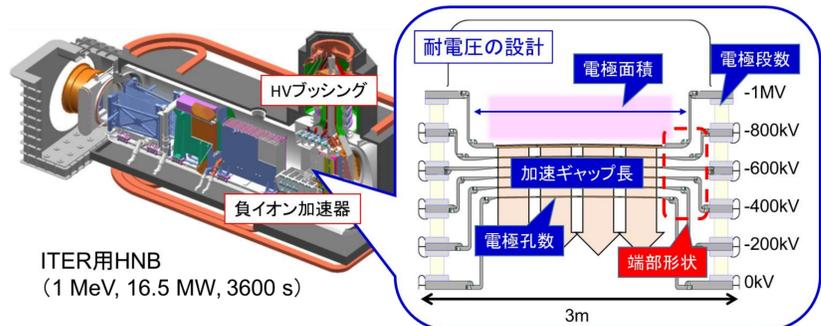
e-mail: nishikiori.ryo@qst.go.jp

まとめ

- NBI用大面積真空高電圧機器に向けた耐電圧設計のうち、局所電界を生じる電極端部形状を設計するため、同様な電界分布を発生する円筒型模擬電極を用いて、幅広い電極面積における耐電圧試験を実施した
- その結果、端部の面積、及び電界強度で耐電圧を設計できることを明らかにし、円筒半径  $R$ 、曲率半径  $r$  ( $\sim E_L$ ) を用いた経験則  $V_{HC} = (E_L V)^{0.5} = 56 \exp(-0.00063 \times R)$  を構築、実機設計に反映し、必要な耐電圧を実証した

概要

ITER用HNBでは1 MeVの高エネルギービームを安定供給

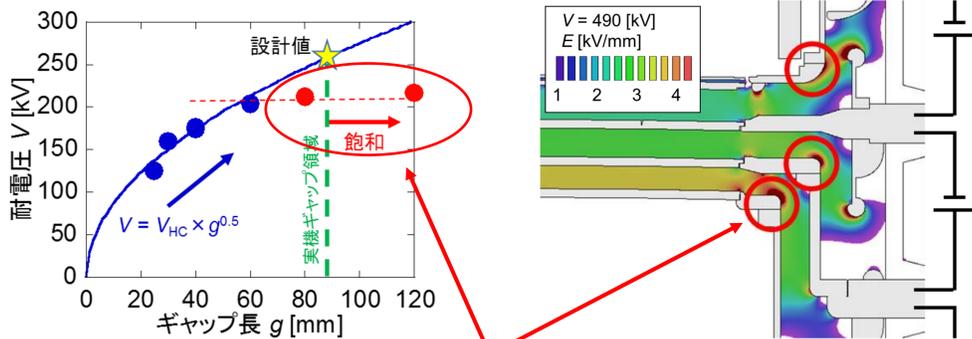


1 MeV加速器や、1 MVブッシングなどの大面積真空高電圧機器の耐電圧の実証が重大な課題

⇒ これまでに電極面積、電極孔数、電極段数依存性を取得

〈これまでの知見〉

- 耐電圧  $V$  はギャップ  $g^{0.5}$  に比例:  $V = V_{HC} \times g^{0.5}$
- 係数  $V_{HC}$  は面積  $S$  に依存:  $V_{HC} = (EV)^{0.5} \propto S^{-0.125}$  (面積効果)

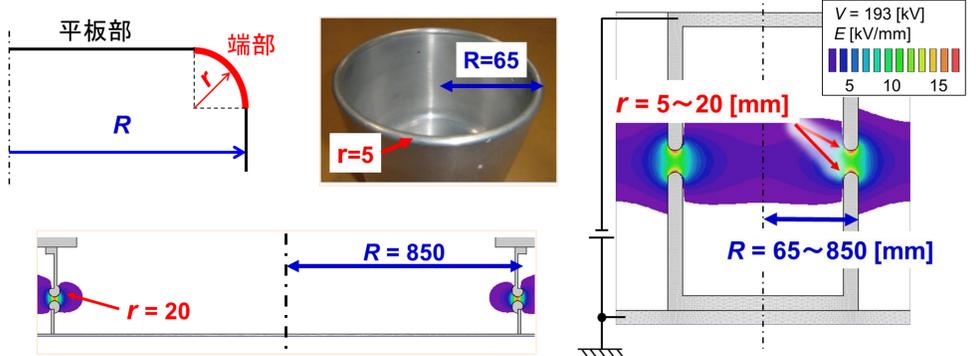


しかし、実機試験では電極端部の局所高電界部で絶縁破壊が発生、耐電圧を制限  
⇒ 端部形状設計のため、局所高電界で決まる耐電圧を調査

幅広い大きさの電極を用いた耐電圧試験

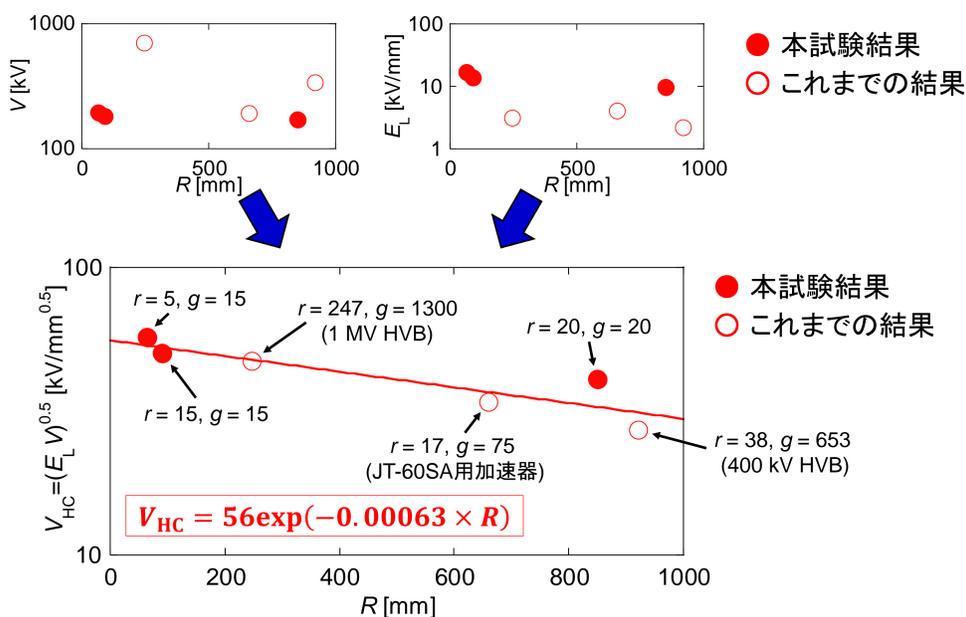
課題：電極端部の表面電界は非一様のため面積の定義が困難

- 電極面積  $S$ ：電極の円筒半径  $R$  に置き換える
- 電界強度  $E$ ：電極端部の曲率半径  $r$  から解析した電界強度



⇒ 実機を模擬した円筒半径  $R$  や曲率半径  $r$  を持つ電極で耐電圧を測定

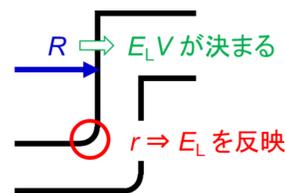
実験結果より幅広い電極の耐電圧特性を取得



経験則  $V_{HC} = (E_L V)^{0.5} = 56 \exp(-0.00063 \times R)$  を取得

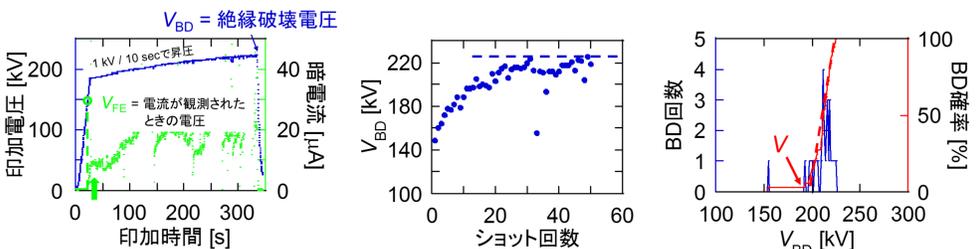
端部形状の設計方法

1. これまでの耐電圧試験で得られている耐電圧の経験則から電極の円筒半径  $R$  を最適化
2. 本試験で得られた経験則から  $E_L V (= V_{HC}^2)$  を算出
3. 設計電圧  $V$  と  $E_L$  から曲率半径  $r$  を設計することができる



ITER用R&D加速器、JT-60SA用加速器、HVブッシングの設計に適用し、耐電圧性能を実証

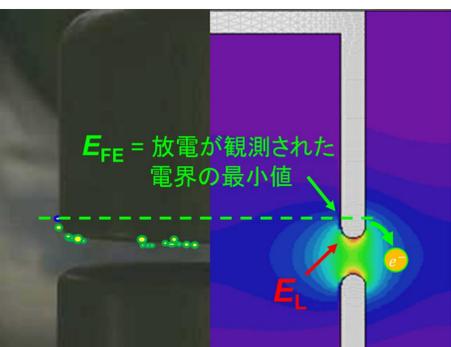
耐電圧試験による耐電圧  $V$  と  $E_L$  の取得



- 絶縁破壊電圧  $V_{BD}$  が飽和するまで電圧印加を繰り返す
- 絶縁破壊の確率分布を取得、確率が0%となる電圧を耐電圧  $V$  また、 $V$  に対する局所電界の最大値を  $E_L$  と定義

(今後の課題) 不平等電界分布を有する電極の耐電圧評価の高精度化

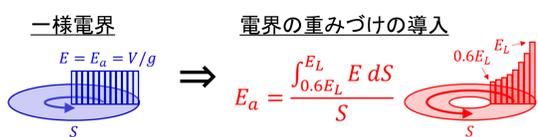
今回得られた結果は従来の面積効果と矛盾しない ⇒ 電界分布の影響を考慮することで一様電界と局所電界の  $V_{HC}$  は統一できると考えられる



- 本耐電圧試験では、最大電界(円筒の頂点)以外の場所でも絶縁破壊が発生
- 絶縁破壊のトリガーと考えている電界放出電子は絶縁破壊電圧以下でも発生

$E_{FE}/E_L \sim V_{FE}/V_{BD} \sim 0.6 \Rightarrow$  電界が60%の領域から電子が放出し、絶縁破壊に関与

面積×電界の重みづけで電界分布の影響を検討した



- 従来の一様電界における面積効果と傾向は一致
- 陰極・陽極の影響の切り分けが今後の課題

