# Proto-RTにおける電子入射による プラズマバイアス実験

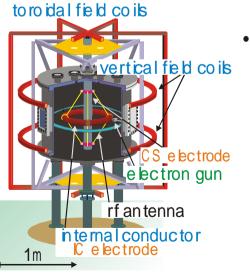
東大新領域,東大高温プラズマ研究セ<sup>A</sup> 齋藤晴彦, 吉田善章, 比村治彦, 森川惇二<sup>A</sup>, 深尾正之<sup>A</sup>, 渡邉将

- 1. 研究背景: 内部導体系プラズマ中の流れ駆動
- 2. 電極を用いた径方向電場の形成実験
- 3.電子入射時のプラズマの応答
- 4.まとめと今後の課題

日本物理学会 2004年第59回年次大会 28aW H - 2

# 研究背景と本研究の目的

- · 流れを持つプラズマの平衡状態\* (Double Beltrami state) 内部導体系閉じ込め装置\*\*における実験的な検証
- Proto-RT(Prototype-Ring Trap)
  - ・トロイダル非中性(純電子)プラズマの入射と閉じ込め
  - ・プラズマの内部電場構造・流れの駆動:バイアス実験
  - 2.45GHz, 10kW ECHプラズマを用いた高速流(~ Alfvén速度)の駆動,流れの効果の検証実験(2004年4月~)



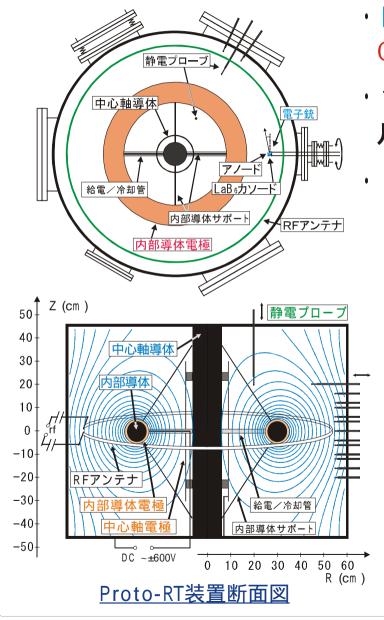
- RFプラズマのバイアスの基礎実験 (~100G,13.56MHz RF放電プラズマ)
  - ・内部導体上電極への電圧印加
  - ·LaB6カソードからの電子ビーム入射

径方向電場の形成·流れ駆動の条件 プラズマの応答の基本的特性の理解

Proto-RT装置

- \* S. M. Mahajan and Z. Yoshida, Phys. Rev. Lett. **81**, 4863 (1998).
- \* 講演 30pXH-13,14, Z. Yoshida et. al., in Non-neutral Plasma Physics III.

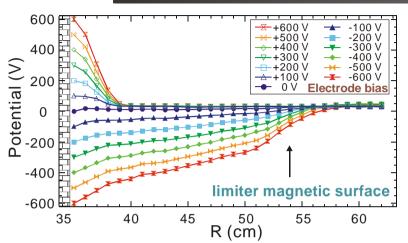
## 実験装置Proto-RTの構成



- · Dipole磁場(內部導体)+垂直磁場 Center null配位(磁場強度B~100G)
- ・13.56MHz RF**による水素プラズマ** ループアンテナ(誘導結合型),~500W
- ・プラズマのバイアス
  - · 電極 真空容器間 600V,1A
  - ·電子ビーム入射 1kV, ~1A(drain)
  - 入射電流,空間電位分布構造
    (エミッシブLangmuirプローブ)
  - ・プラズマパラメータ

電子密度n<sub>e</sub>=10<sup>15</sup>m<sup>-3</sup>, 電子温度T<sub>e</sub>=10eV 水素ガス圧4×10<sup>-4</sup>Torr (n<sub>n</sub>=1×10<sup>19</sup>m<sup>-3</sup>) イオン-中性粒子衝突周波数 v<sub>in</sub>=2×10<sup>4</sup>s<sup>-1</sup> イオンサイクロトロン周波数 f<sub>ci</sub>=1×10<sup>6</sup>s<sup>-1</sup> Alfvén速度 v<sub>A</sub>=7×10<sup>6</sup>ms<sup>-1</sup> イオン音速 C<sub>S</sub>=3×10<sup>4</sup>ms<sup>-1</sup>

# 電極によるバイアス電圧の印加



#### ·空間電位分布構造

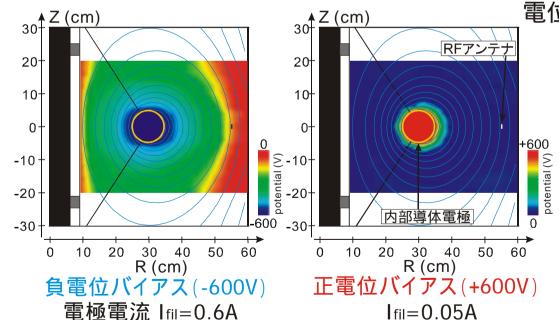
#### 負電位バイアス

径方向電場ERと中性衝突による電流密度 jR

$$j_R = \frac{m_i \omega_{ci}^2}{q^2 n_i v_{in}} E_R \cong 3 \times 10^{-5} E_R$$

E<sub>R</sub>= ~ 2×10<sup>3</sup>Vm<sup>-1</sup> (プラズマ内部) トロイダル流速: 2×10<sup>5</sup>-1×10<sup>6</sup>ms<sup>-1</sup>

Z=0における電位分布(Vic=-600~+600V)



正負バイアス時の電位分布(ポロイダル断面)

電位の上昇(電流の飽和以上)

エッジの電場強度が増大

#### 正電位バイアス

イオン捕集:真空容器壁 (閉じ込め領域外部)

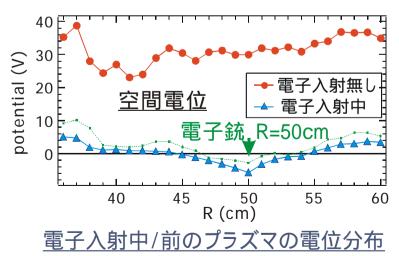
径方向電流の不足 プラズマ内部の 電場形成が不可能

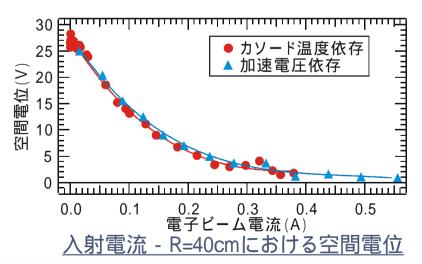
低密度領域に電場集中

### 電子入射時のプラズマ中の空間電位



- LaB6カソードからの電子の入射 カソード-アノード間の印加電位による初期加速
- プラズマ中の電位分布 電位勾配は形成されず、全域でほぼ平坦 入射電子ビーム電流の増加 ⇒空間電位はゼロ付近で飽和する傾向
  - ・カソード-真空容器間に電位印加
  - ▶トロイダル磁場の追加
  - ⇒いずれも電場は有効に形成されない



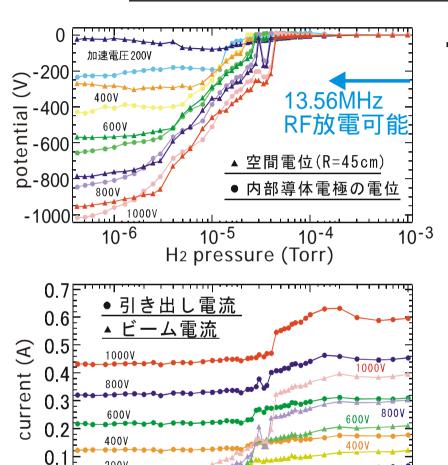


# 純電子のみによる空間電位の形成

200V

10-4

10-3



(上) 電子入射時のプラズマの空間電位/電極電位 (下) カソードからの引き出し電流と入射電流

H<sub>2</sub> pressure (Torr)

10-5

- 中性ガス中への電子の入射 (RF無し)
- 実験条件:電子銃加速電圧Vacc=200~1000V (カソード-アノード間)

内部導体電極は浮遊電位

Center null磁場配位 (中性プラズマ実験と同様)

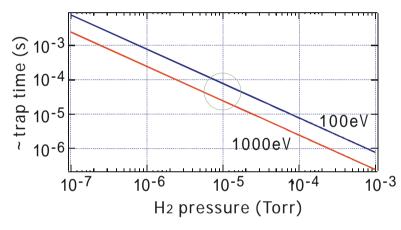
形成される空間電位の減少
 PH2=10<sup>-6</sup>Torr付近~:
 (RF放電不可能な真空度領域)

中性粒子との衝突による 電子閉じ込め性能の悪化

プラズマ中に電子による 電場が形成されない

# 電子入射による電場形成の問題点

- ・電子の閉じ込め時間(電子ビーム入射中) 入射ビーム電流,形成電位(P=10<sup>-5</sup>Torr) τ~10<sup>-7</sup>C/0.1A=10<sup>-6</sup>s
- ・磁場中の電子プラズマの閉じ込め時間



 $\lambda_D$ : Debye length  $r_L$ : Larmor radius  $v_{en}$ : electron-neutral collision frequency (classical diffusion time of electrons)

$$t_0 = \lambda_D^2 / v_{en} r_L^2$$

観測される電子のロスは2桁程度早い (入射電子が初期に全て閉じ込め 領域に進入することを仮定)

- ・電子ビームの滞在軌道/電子損失の問題点 軌道的なロスの可能性,径方向電流(電場)を形成しない? 構造物その他の拡散機構による電子のロス
- ・今後の対策 電子源の大電流化,カソード位置の改善 低ガス圧(10-6-10-5Torr)におけるプラズマの生成

## まとめと今後の課題

- · 内部導体型閉じ込め装置 (Proto-RT,13.56MHz RF)における 径方向電場·流れの駆動 , プラズマの応答の理解 .
  - 1. 電極を用いた外部電場
  - 2.LaB6カソード電子銃からの電子ビームの入射
- 電極に負電位を与えた際、プラズマ内部に電位形成、 トロイダル方向のE×B速度~10<sup>5</sup>m/s(イオン音速以上).
   (粒子輸送には中性衝突が支配的: ne=10<sup>15</sup>m<sup>-3</sup>, Te=5eV)
- ・電子ビーム入射時のプラズマ内部の空間電位はゼロ (真空容器電位)付近で飽和する傾向.
- · 入射電子の軌道(径方向に有効に電場が駆動されない) による問題,構造物等による電子損失の可能性.
- ・ECHによるプラズマの高性能化, 高速流の駆動.