

物理学会2010年秋季大会24aQJ-5

# RT-1における磁気圏型プラズマの 高温電子の温度及び空間分布構造

東大新領域

齋藤晴彦, 吉田善章, 森川惇二, 矢野善久, 河井洋輔, 小林真也

- 目次
1. 研究背景と本研究の目的
  2. RT-1の装置概要と計測系
  3. 高温電子による高 $\beta$ プラズマと粒子閉じ込め時間
  4. 電子密度と温度の空間分布
  5. まとめと今後の課題

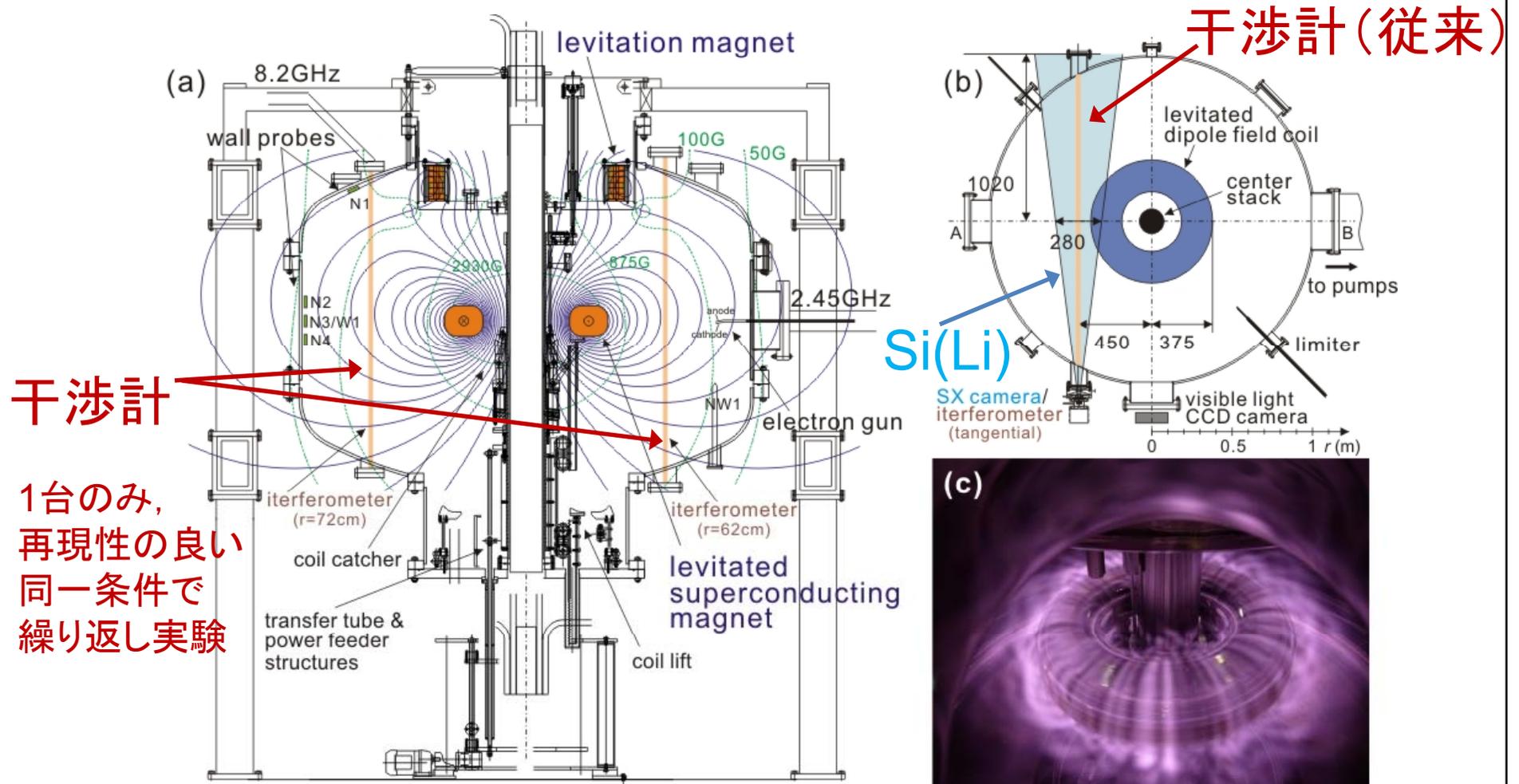


東京大学  
THE UNIVERSITY OF TOKYO

- **磁気圏型配位**による高 $\beta$ プラズマの閉じ込め
  - D-DやD-3Heの燃焼を可能にする**先進核融合**開発
  - **強い非一様磁場中のプラズマ**: 平衡や安定性<sup>1)</sup>
  
- **磁気圏型配位RT-1** (2006~)におけるプラズマ実験<sup>2)</sup>
  - コイル磁気浮上, 地磁気補正, 運転条件の最適化
  - 局所 $\beta \sim 70\%$ , エネルギー閉じ込め時間 $\sim 0.5s$
  - 現状はECHによる**高温電子プラズマ**
  
- 磁気圏型プラズマの温度及び密度の空間構造
  - **平衡**や**安定性**,  **$\beta$ 限界**の理解に重要
  - 従来, 1chの干渉計やSi(Li)検出器を使用
  - **空間分布**については従来詳細な情報が得られていない

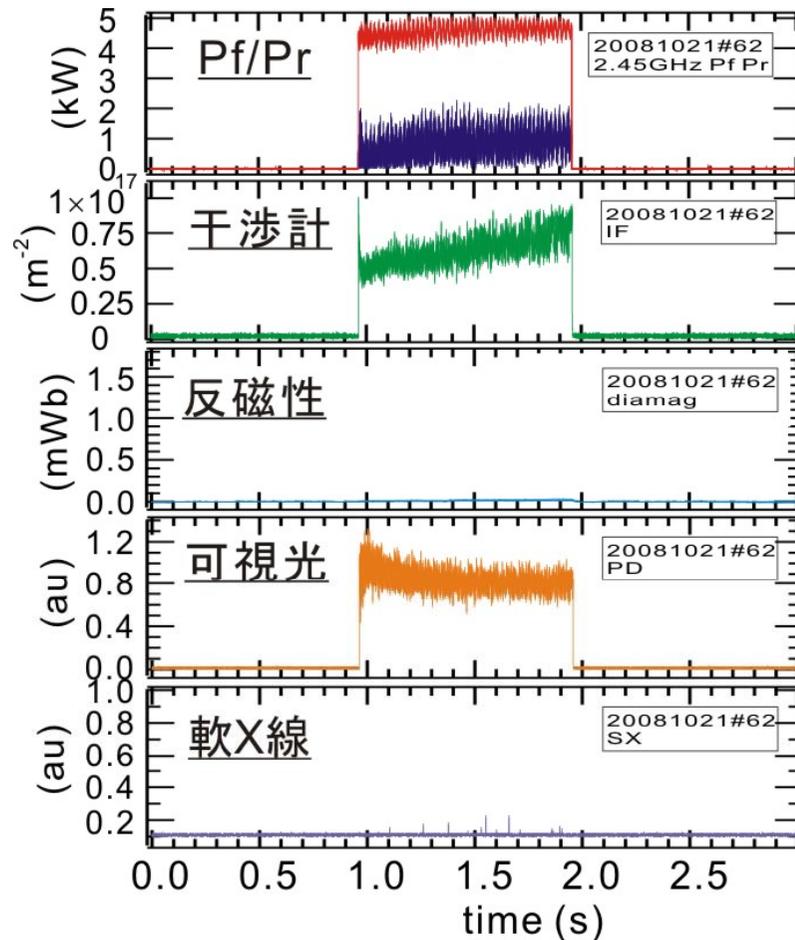
1) M. Furukawa, PoP 17 022503 (2010). 2) Z. Yoshida, IAEA proceeding (2008).

- 目的: **磁気圏型プラズマの空間構造の実験的理解**
  - ・プラズマ圧力を主として担う(高温)電子に着目
  - ・平衡状態の電子密度と温度の空間分布を明らかにする
  - ・コイル磁気浮上(安定化, 高性能化)の効果の検証
  
- 計測方法: **干渉計とSi(Li)検出器**による多cord計測
  - ・これまで, 75GHz干渉計は接線ポートで固定使用
  - ・新たに上下2ポート追加(赤道面上は追加設置不可)
  - ・対称性等を仮定して密度分布を再構成
  - ・Si(Li)検出器(1-30keV)は接線ポートに設置
  - ・角度可変機構を新たに設置し, 空間分布計測

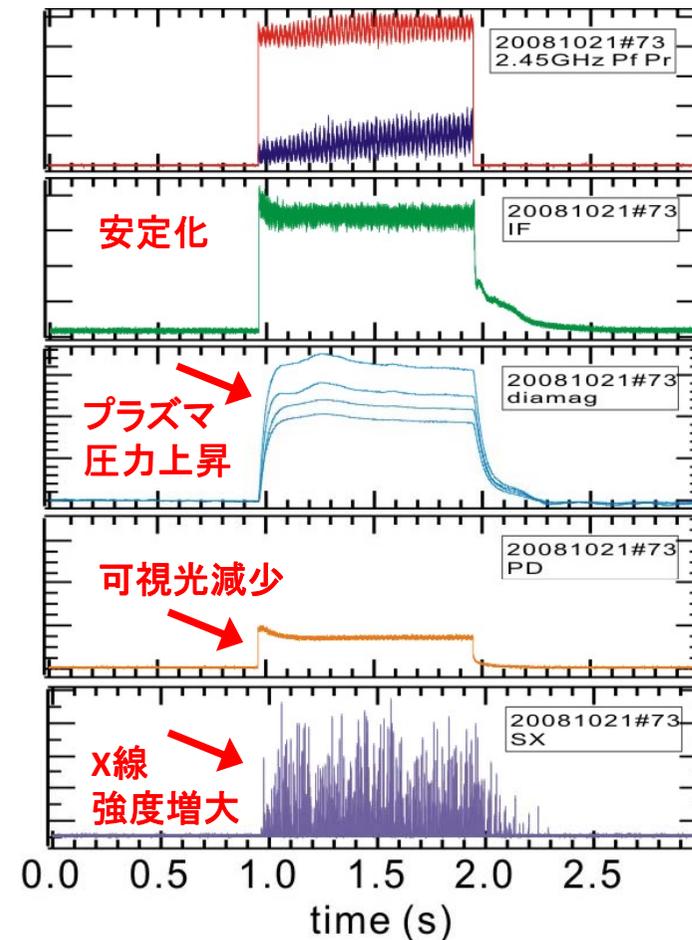


Ring Trap 1 (RT-1): 磁気圏型プラズマ閉じ込め実験装置

- ・Bi-2223線材を使用した高温超伝導磁気浮上マグネット
- ・極めて非一様な磁場配位中でプラズマを生成する

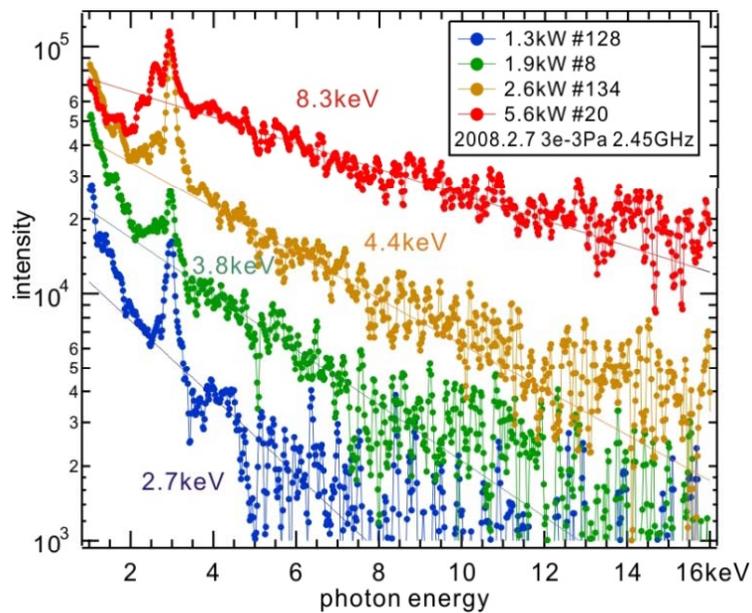


(a) 高ガス圧  $P_{H_2} = 4.5 \times 10^{-2} \text{ Pa}$



(b) 低ガス圧  $P_{H_2} = 1.3 \times 10^{-3} \text{ Pa}$

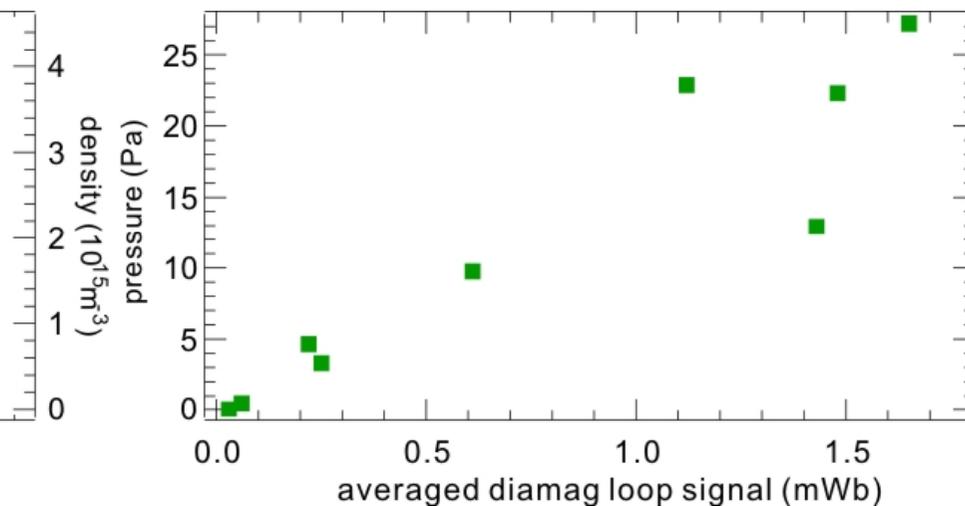
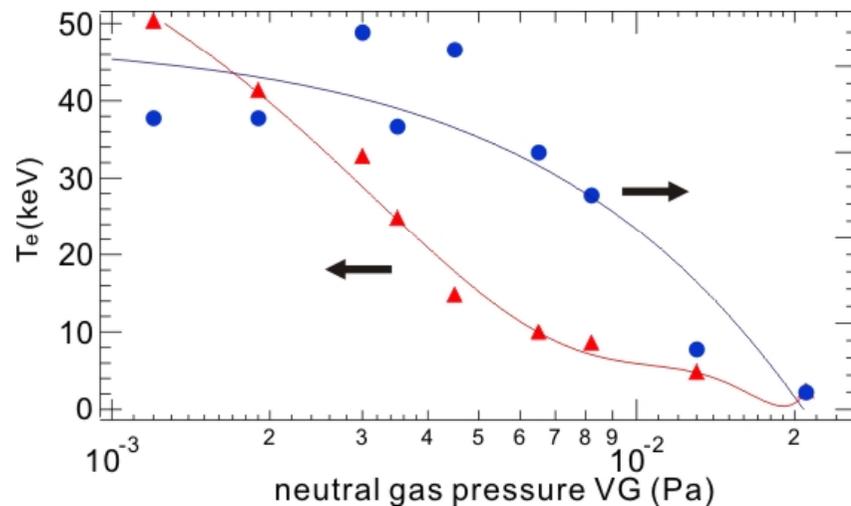
- 生成条件最適化 (コイル浮上, 低ガス圧化, 入射電力増大)
- ⇒ 反磁性信号とX線増大, 可視光の減少, 安定化が観測される

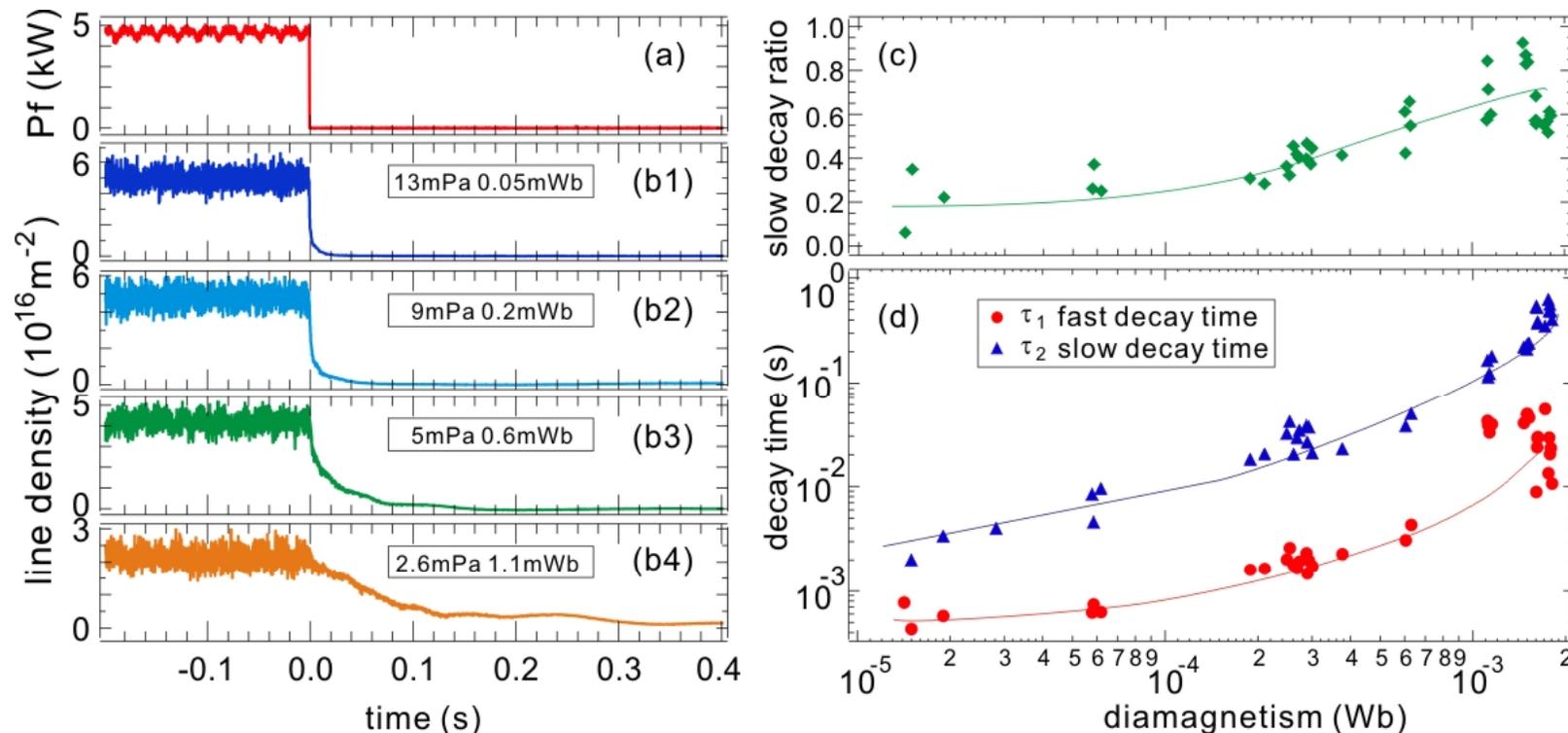


## ➤ Si(Li)検出器による波高分析

$$dN/dE_x = 9.6 \times 10^{-20} n_h n_i Z_{\text{eff}}^2 e^{-E_x/T_h/E_x} \sqrt{T_h}$$

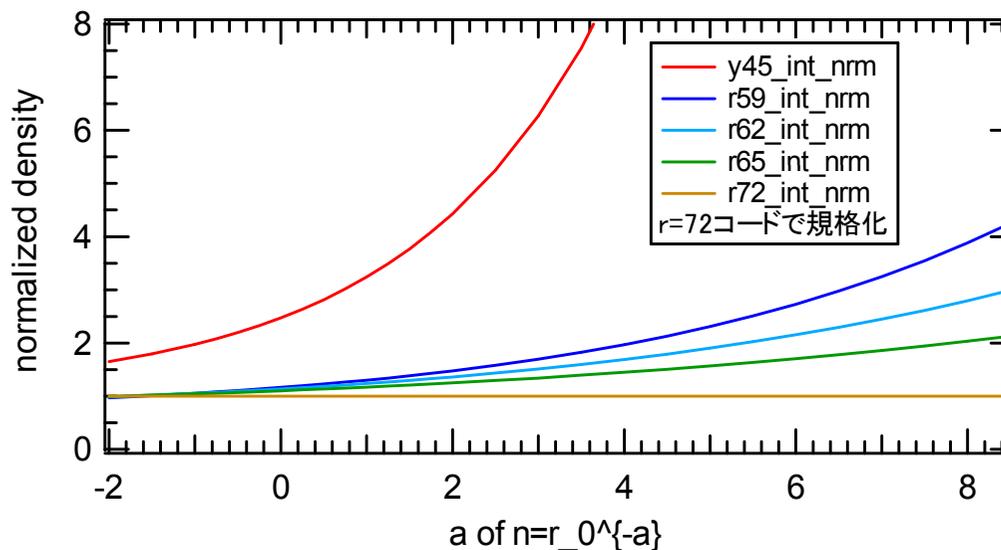
- ・プラズマ圧力の増大時, 高温電子による制動放射のX線を観測
- ・反磁性信号と $P=nk_B T_e$ には良い相関が見られ, 高温電子が圧力に寄与している



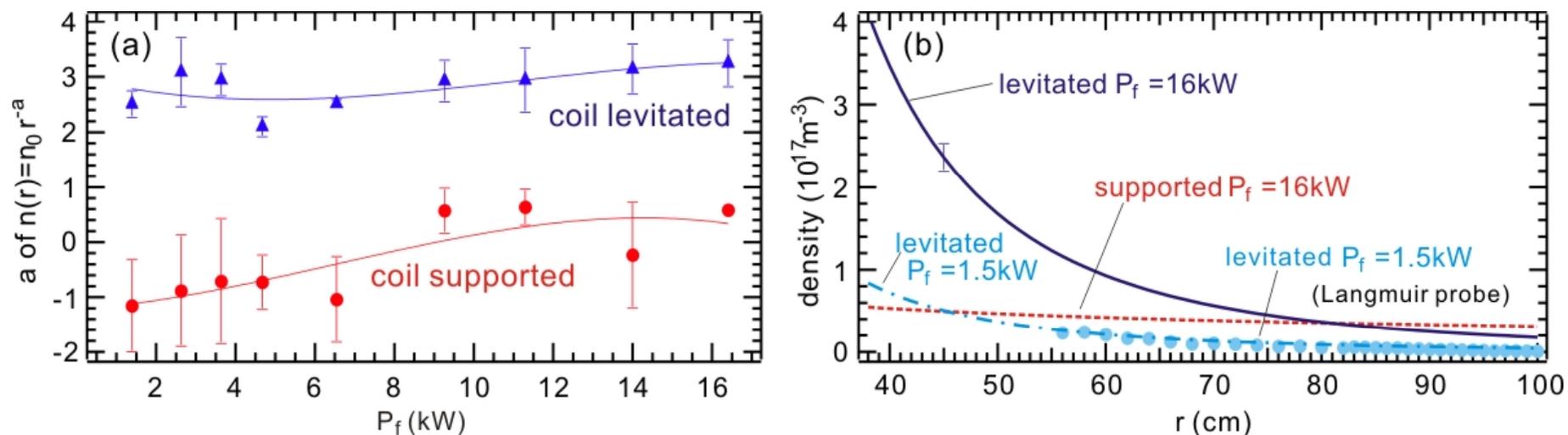


- ・マイクロ波停止後のafterglow中のプラズマの減衰には、時定数の異なる2成分が観測される。
- ・これらは温度の異なる2成分の電子に対応し、高温成分の閉じ込め時間は最大で0.6s。
- ・高 $\beta$ 時には、高温電子の割合が70%以上に達する。

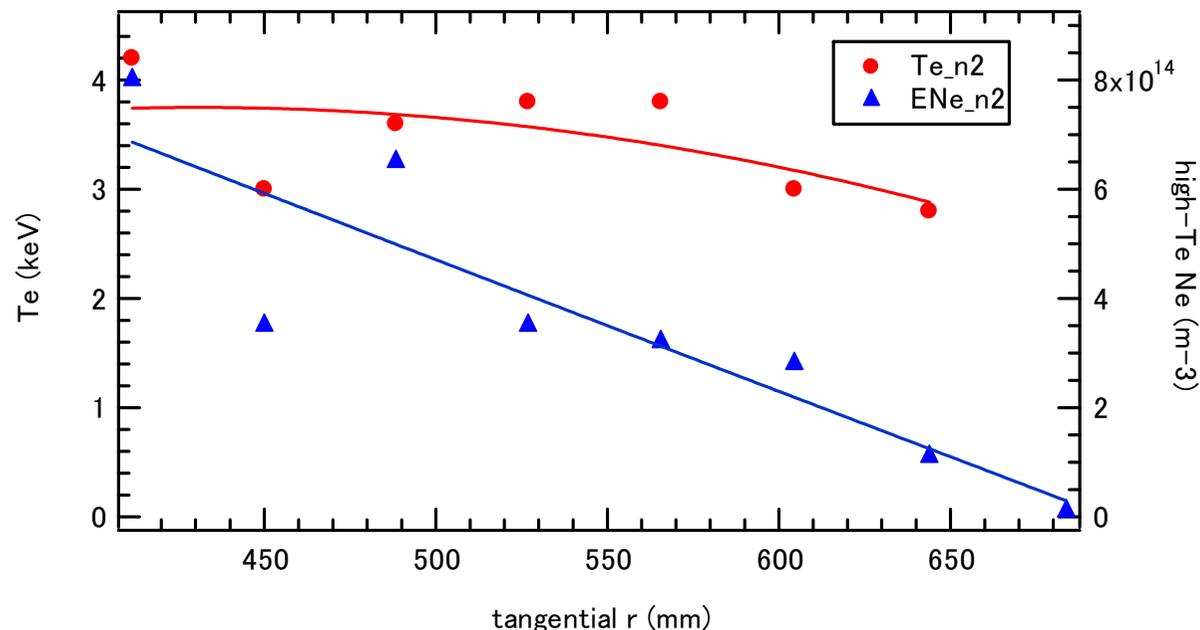
- ・干渉計は上下 ( $r=62,72\text{cm}$ ) 及び接線ポートに設置.
- ・少ないコードから密度分布を推定するため, 以下を仮定:
  - 赤道面上で密度は $r$ のべき乗で与えられる  $n(r) = n_0 r^{-a}$
  - 密度は磁気面上で一定(ミラー効果等は無視)



- ・係数 $a$ に対して, 各コードで計測される線密度(外側の上下ポート $r=72\text{cm}$ の線密度で規格化)を計算し, 実験結果と比較



- ・係数 $a$ の2.45GHz Rf power依存(コイル磁気浮上有り無し)
- ・低パワー時, エッジLangmuir probe計測が併せて可能  
⇒周辺部で, 多cord干渉計による計測と良い一致を示す.
- ・コイル支持状態:  $a = -0.3 \pm 0.7$  コイル浮上時:  $a = 2.8 \pm 0.4$
- ・コイルの磁気浮上により, 強磁場領域を通るcordで線密度が増大し, 対応して内側に急峻化した密度分布が形成.



- 温度の空間依存性は比較的小さい(以前のSX計測と一致).
- 2.45GHzのECR共鳴層は, セパラトリクス内部のほぼ全ての磁気面と交差している事が原因と考えられる.
- 真空容器壁からの制動放射の問題のため, 非常に高 $\beta$ 時の電子温度分布計測は現状では困難.

- 磁気圏型プラズマの(高温)電子を実験的に調べた
  - 高温成分の粒子閉じ込め時間は最大で0.6秒.
  - コイル浮上により強磁場領域の密度が顕著に増大し, 強磁場領域に急峻な密度勾配が形成される.  
(磁束管当たりの密度が一定に近づく理論予測と一致)  
A. Hasegawa, Comm. Plasma Phys. Controlled Fusion **11**, 147 (1987).
  - 温度は閉じ込め領域で大きな空間依存を持たない.
- 今後の課題
  - 密度分布は, RFパワーの他に, ガス圧力等に対して依存性を持つ傾向を示している.
  - これらは磁気圏型プラズマの平衡や安定性と関連が深く, 揺動計測と併せて圧力勾配と $\beta$ 限界を実験的に明らかにする事が今後の課題.