

物理学会2007年春季大会 19aQA-6

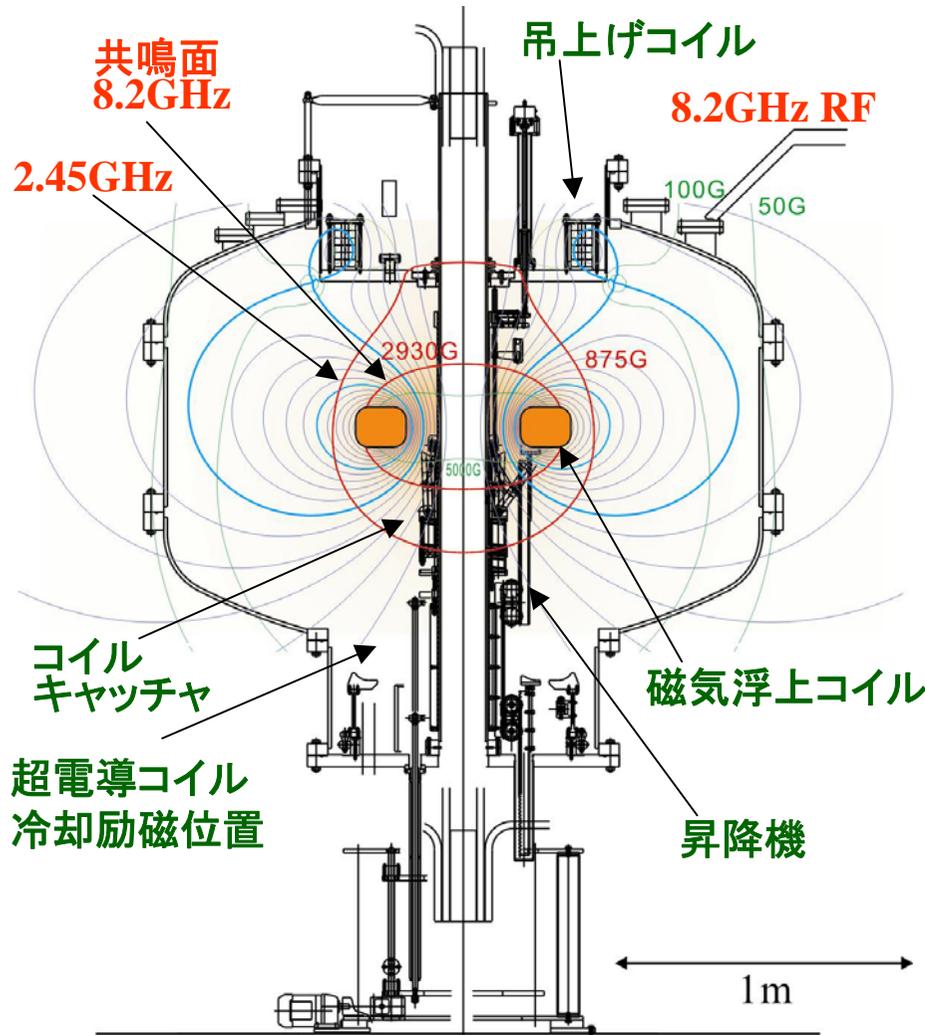
# 磁気浮上状態における RT-1プラズマの初期計測実験

東大新領域, 東大高温プラズマセ<sup>A</sup>, 東大工<sup>B</sup>

齋藤晴彦, 吉田善章, 小川雄一<sup>A</sup>, 森川惇二<sup>B</sup>, 白石淳也, 渡邊将, 矢野善久, 鈴木順子

- 研究背景
  - 磁気圏型プラズマ装置RT1の実験現状
- 計測器系と浮上状態における初期実験の結果
  - 軟X線スペクトル測定による電子エネルギー分布
  - 磁気ループによるプラズマ圧力概算
  - 周辺プラズマ計測(静電プローブ)
- まとめと今後の課題

# 磁気圏型プラズマ閉じ込め装置RT1 (Ring Trap 1)\*



- ・惑星磁気圏と同様のdipole磁場を生成
- ・流れを持つプラズマの実験研究 [19aQA-8 渡邊](#)  
平衡状態(double Beltrami state\*\*) etc.
- ・トロイダル非中性プラズマのトラップ\*\*\*  
各種荷電粒子の同時閉じ込め
- ・高温超電導・制御磁気浮上dipole磁場コイル  
冷却(2日)⇒浮上⇒実験(8h, 複数回)⇒昇温(3日)  
擾乱を抑制し高性能のプラズマを生成

## RT1実験の現状:

コイル傾きの補正やキャッチャシステム  
の導入等の装置調整を終了 [19aQA-7 矢野](#)

⇒ 完全磁気浮上実験において初期計測実験  
プラズマ特性, マイクロ波パワー上昇

## Ring Trap 1 (RT1) 装置の断面図

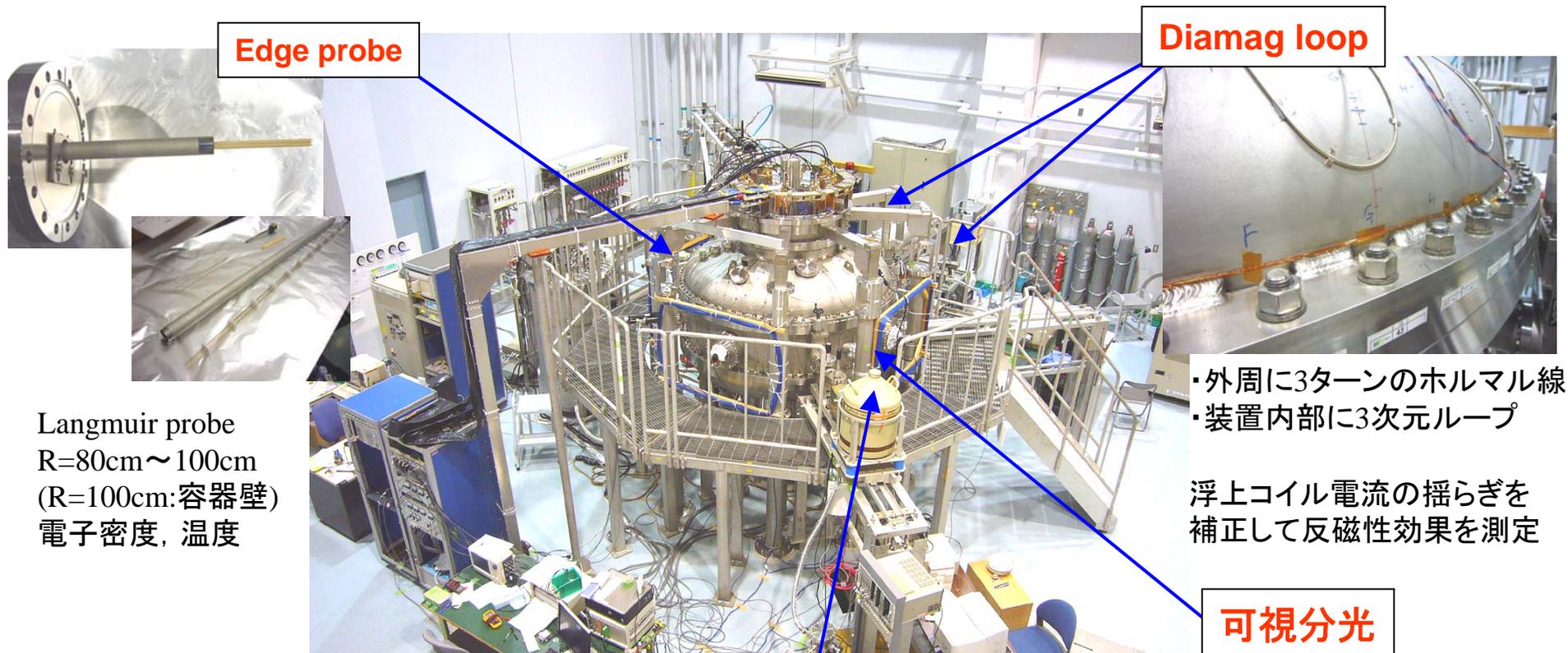
高温超電導コイル 115A (250kAT) Bi-2223  
吊上げコイル (最大定格90kAT) による制御浮上  
クライストロン 8.2GHz 100kW 1s pulse運転

\* Z. Yoshida et al., Plasma Fusion Res. 1, 008 (2006).

\*\* S. M. Mahajan, Z. Yoshida, PRL **81**, 4863 (1998).  
Z. Yoshida, S. M. Mahajan, PRL **88**, 095001 (2002).

\*\*\* HS, Z. Yoshida et al., PRL **92**, 255005 (2004).

# RT1装置本体全景と計測器準備



Edge probe

Diamag loop

- ・外周に3ターンのホルマル線
- ・装置内部に3次元ループ

浮上コイル電流の揺らぎを補正して反磁性効果を測定

可視分光

Langmuir probe  
R=80cm~100cm  
(R=100cm:容器壁)  
電子密度, 温度

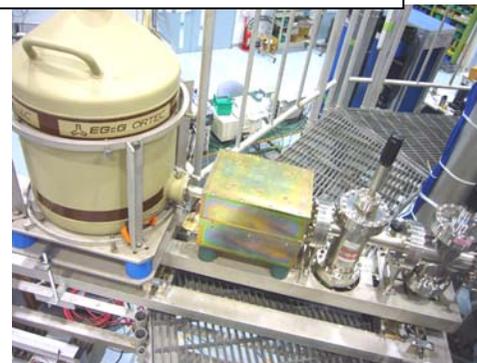
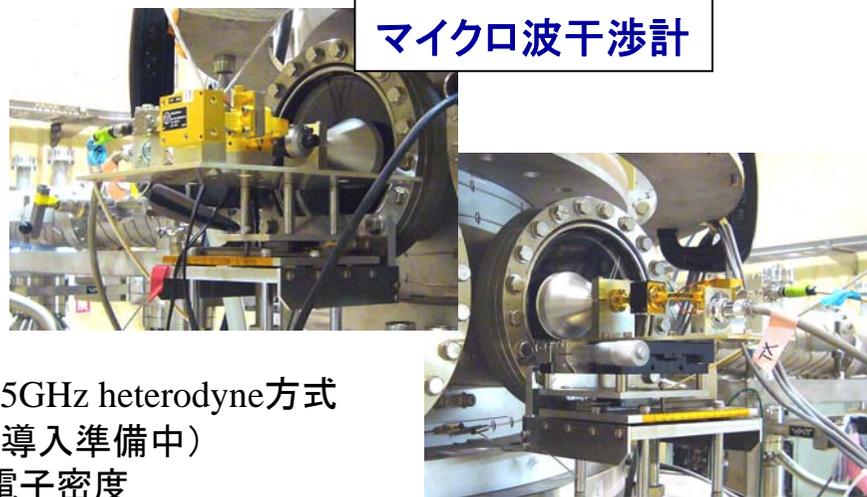
マイクロ波干渉計

Soft X-ray detector

N<sub>2</sub> cooled Si (Li) detector  
with 13 $\mu$ m Be layer.  
Resolution 165eV (5.9keV)

Pulse height analysisにより  
電子エネルギー分布計測

75GHz heterodyne方式  
(導入準備中)  
電子密度



# 完全磁気浮上状態でのプラズマ生成と典型放電波形

2006年にプラズマ実験を開始(コイル支持状態)



コイル傾斜の補正, 落下時のキャッチャ整備  
—磁気浮上運転の信頼性向上— 及び計測器導入

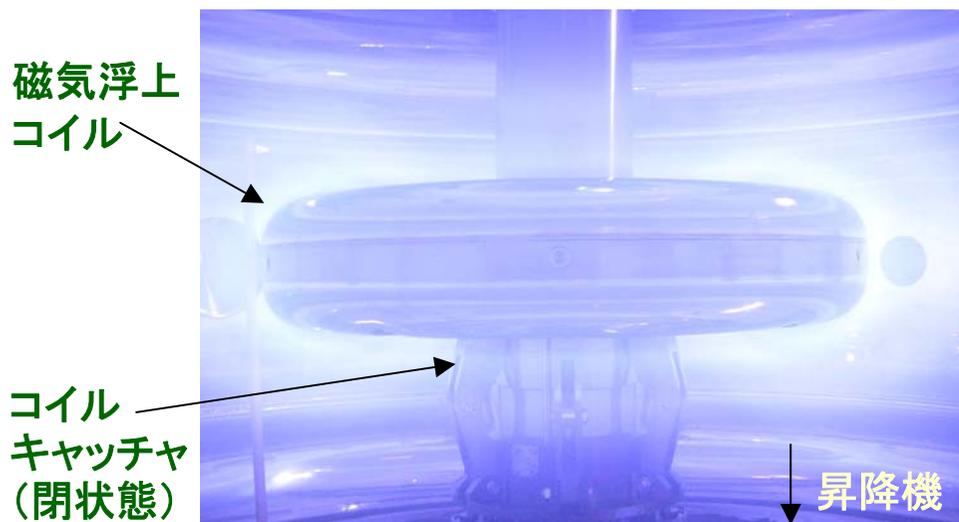


キャッチャ開状態でのプラズマ実験

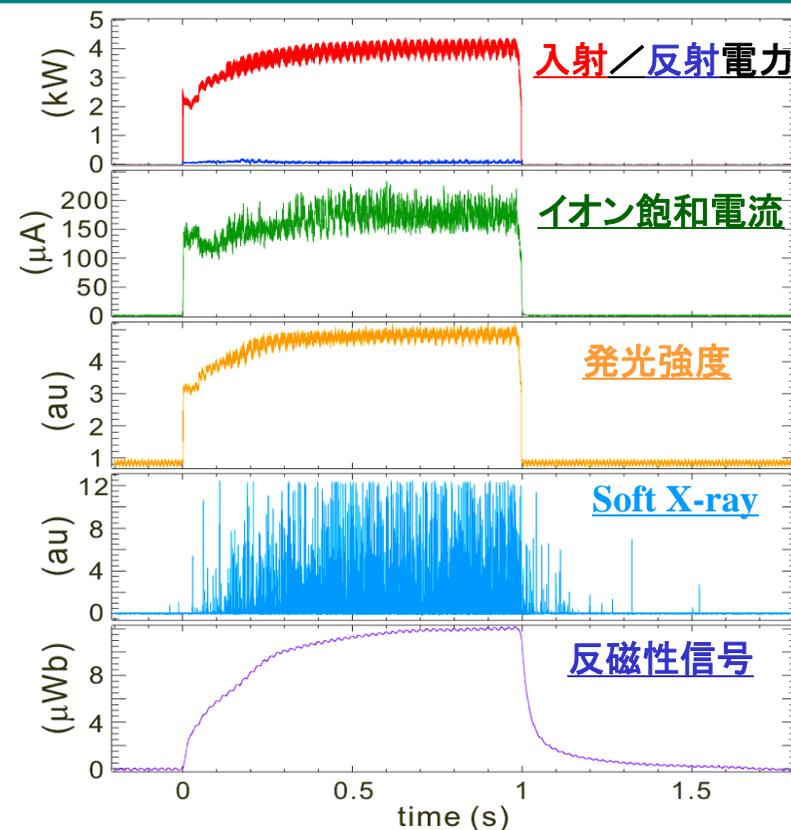


完全磁気浮上, サポート無しでのプラズマ実験  
(マイクロ波パワー~3kWまで, 浮上制御系ノイズ)

サポート状態でマイクロ波15kW入射



完全浮上状態でのプラズマ生成

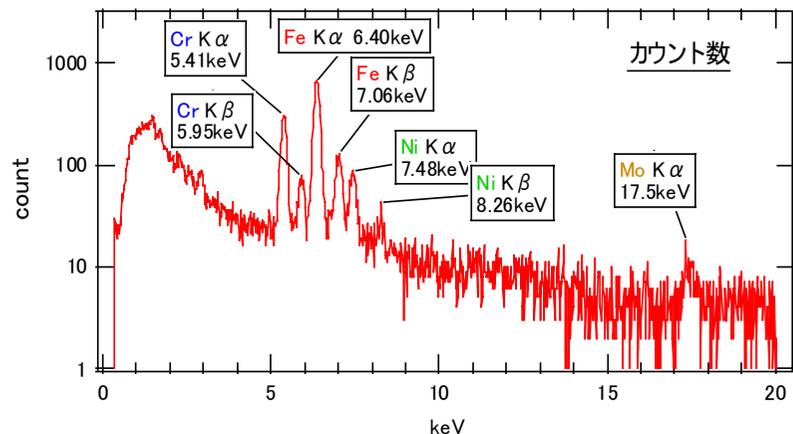


低ガス圧力時の放電の典型波形

定常磁場中, 封入ガス(水素)圧力 $2 \times 10^{-3}$ Pa

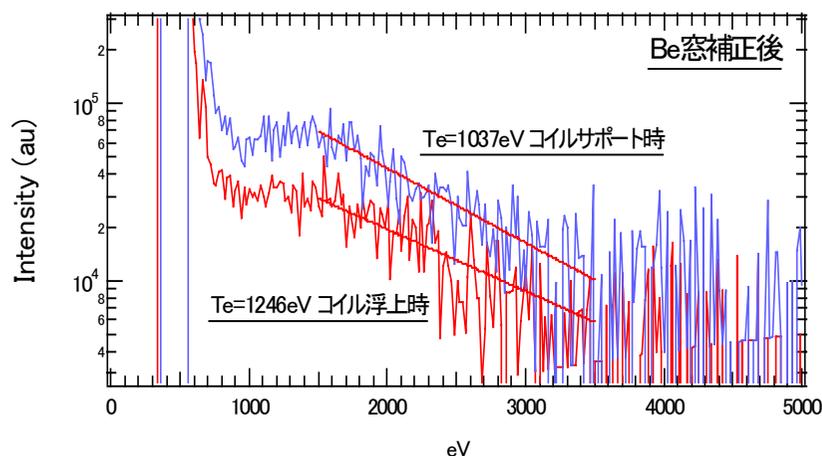
- ・マイクロ波入射終了後, 高エネルギー電子に起因するX線と反磁性信号が1s程度持続.  
(バルクの電子密度等とは異なる傾向, ただし磁気浮上/コイル支持状態によらない)
- ・構造物の影響を受けない領域にミラートラップされた高エネルギー電子の存在を示唆.

# X線波高分析による電子エネルギー分布計測

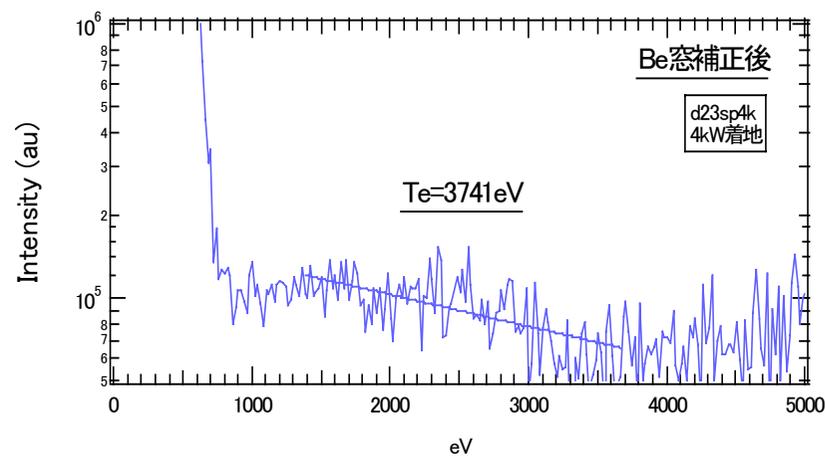


## コイル支持状態実験の波高分析結果

(特に初期実験ではステンレス成分の輝線が顕著)



## マイクロ波パワー2kW



## マイクロ波パワー

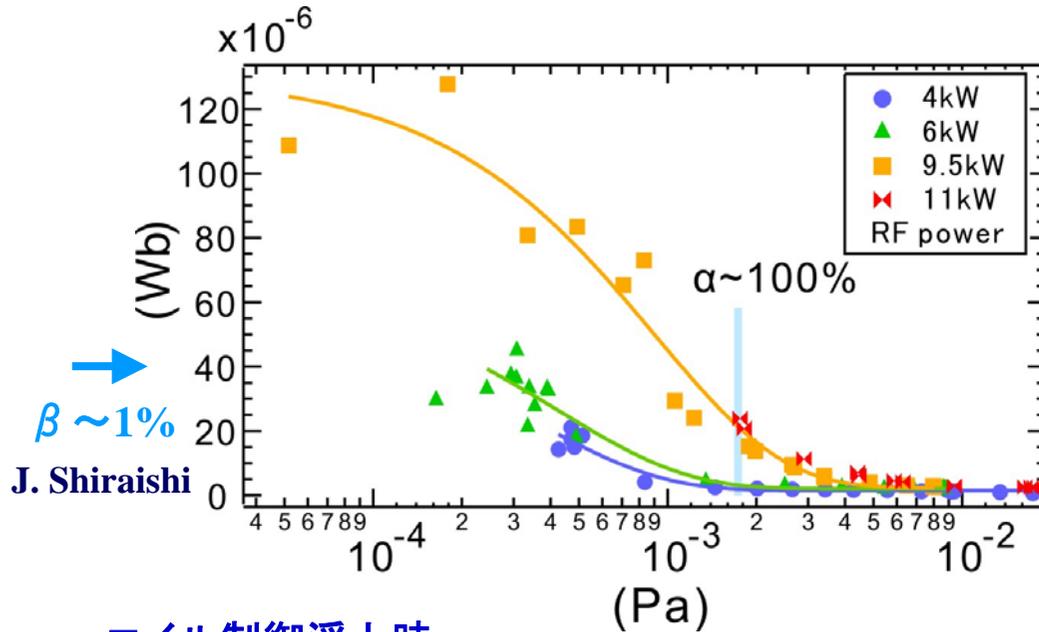
ECHによる数keVの高エネルギー成分電子が存在:

- ・ 高エネルギー成分の温度はマイクロ波パワーには大きく依存.
- ・ コイル浮上／非浮上には顕著な依存性を示さない.

⇒ コイル支持構造の影響を受けない領域にミラートラップされた電子分布を示唆.

# 磁気プローブによるプラズマ圧力計測

## 磁束変化の封入ガス圧力依存(コイル支持状態)



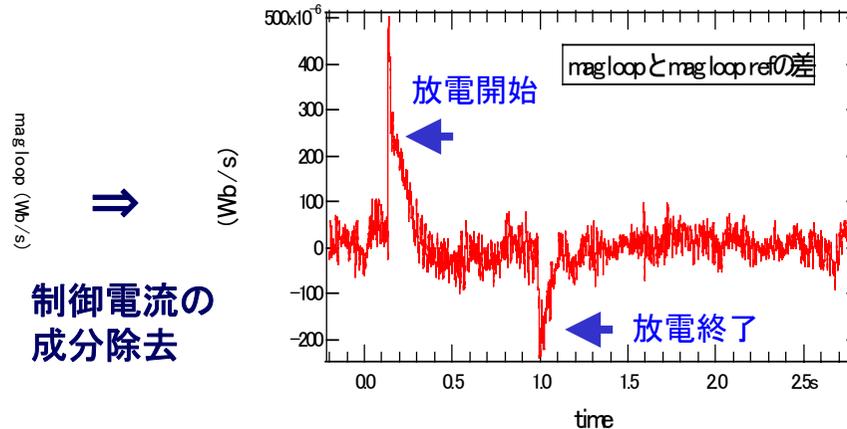
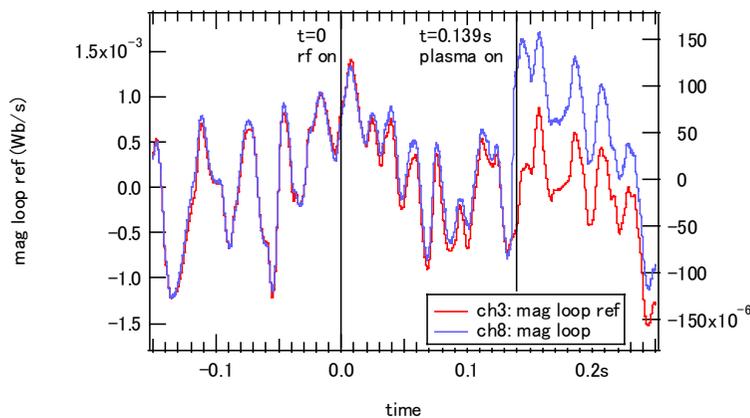
電離度  $\alpha \sim 1$  (プラズマ密度として, 8.2GHzのcut off densityを仮定)  
 $\Rightarrow$  最大で  $\beta \sim 3\%$  程度

高エネルギー電子成分の荒い見積  
 (全体の1%程度存在すると仮定):

$Ne=10^{16}m^{-3}, Te=10keV$   $\beta = \frac{\sum nk_B T}{B^2/2\mu_0} = 2\%$

## コイル制御浮上時

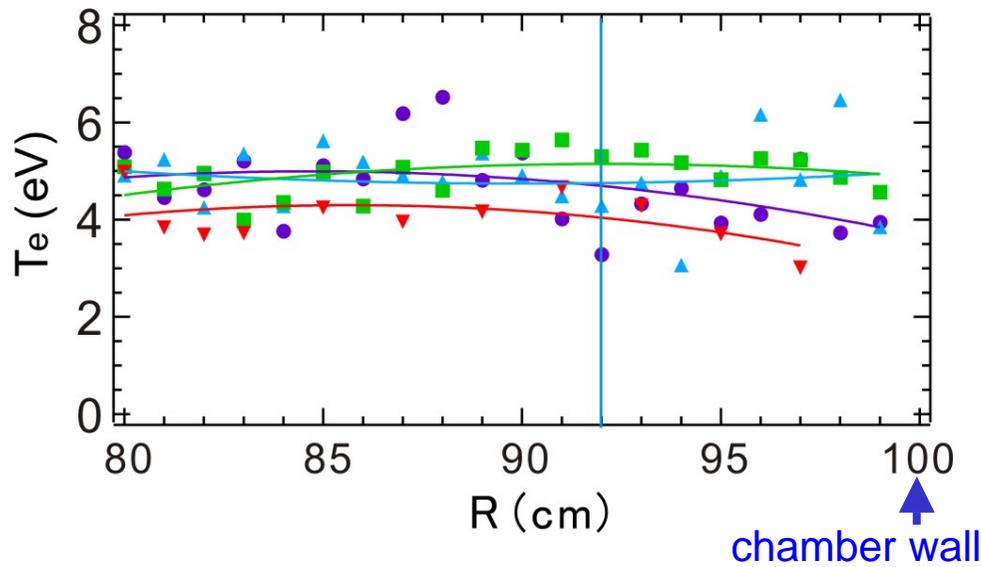
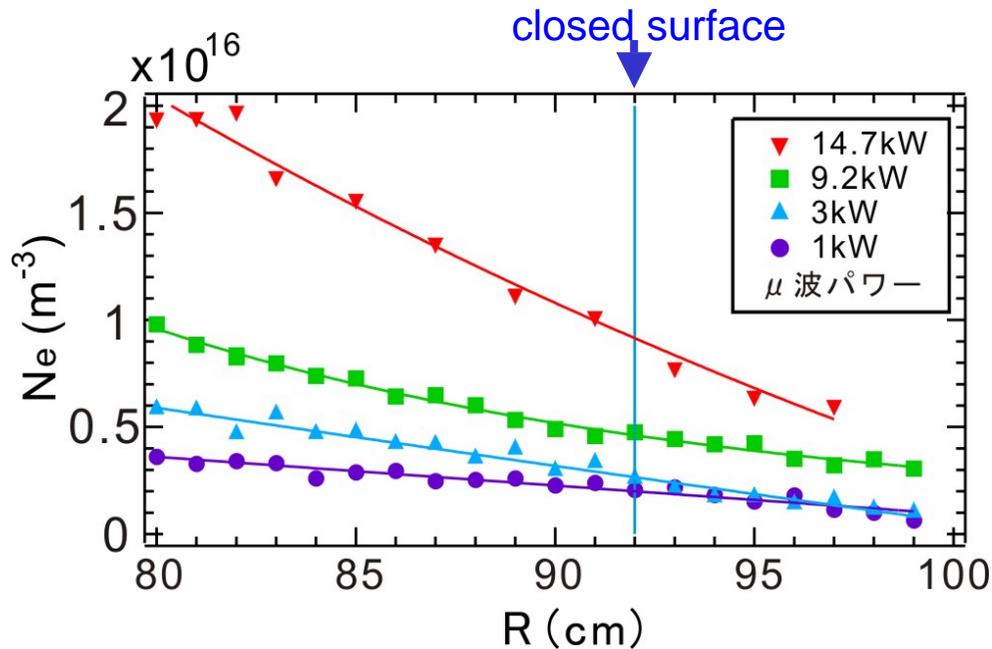
浮上コイル運転: 制御電流のゆらぎ~磁気ループの反磁性信号  $\Rightarrow$  プラズマ成分が埋もれる.



⇒  
 制御電流の成分除去

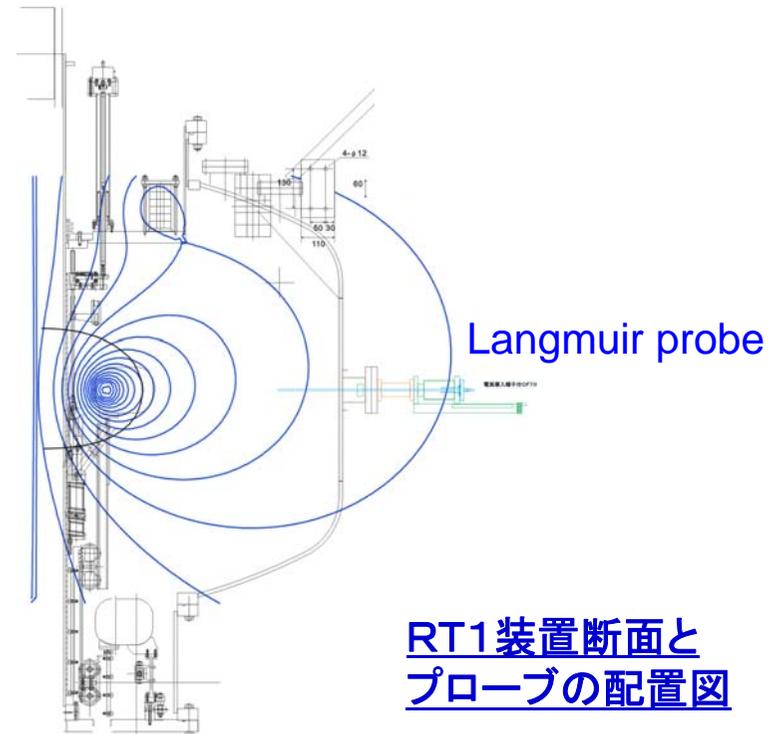
浮上コイル電流を別ループによりピックアップ, ノイズ成分を除去. (データ取得は今後)

# 周辺プラズマ計測(静電プローブ)



周辺プラズマの電子密度と電子温度分布

- ・エッジ部の電子密度は $10^{16}m^{-3}$ , 電子温度5eV. セパトリクス付近に明確な急勾配は現れない.
- ・8.2GHz ECHのカットオフ密度 $8.3 \times 10^{17}m^{-3}$ と比較して非常に低密度. (マイクロ波パワー増大により $N_e$ は増大, またプラズマ中心部は現段階では未計測)
- ・弱磁場(~50G)や不正磁場の影響が疑われる.
- ・マイクロ波干渉計等による中心部を含む領域の密度測定は今後の課題.



# RT1の装置現状のまとめと今後の課題

Ring Trap 1 磁気圏型プラズマ装置における初期プラズマ実験  
(超電導磁気浮上状態で水素プラズマを生成, 反磁性, X線計測等)

- 基本的な装置整備作業を終了
  - コイル重量の不均一性による傾きの補正, 内部導体ケース溶接
- マイクロ波の入射パワー増大と完全磁気浮上実験
  - 最大15kWのマイクロ波入力(非浮上時)
  - 完全(支持構造無し)磁気浮上実験を開始
  - 軟X線波高分析: 高エネルギー電子成分の良好な閉じ込め
  - 反磁性ループ: 現段階で $\beta \sim$ 数%, 特に低ガス圧力領域
  - エッジ静電プローブ:  $\sim 1 \times 10^{16} \text{m}^{-3}$ , 周辺部では低密度
- 今後の課題: 高性能プラズマの生成, 流れ場形成
  - パワー増大時の浮上系ノイズ動作対策
  - 入射電力の上昇(現在浮上時3kW, 非浮上時15kWで使用)
  - 干渉計による電子密度測定