

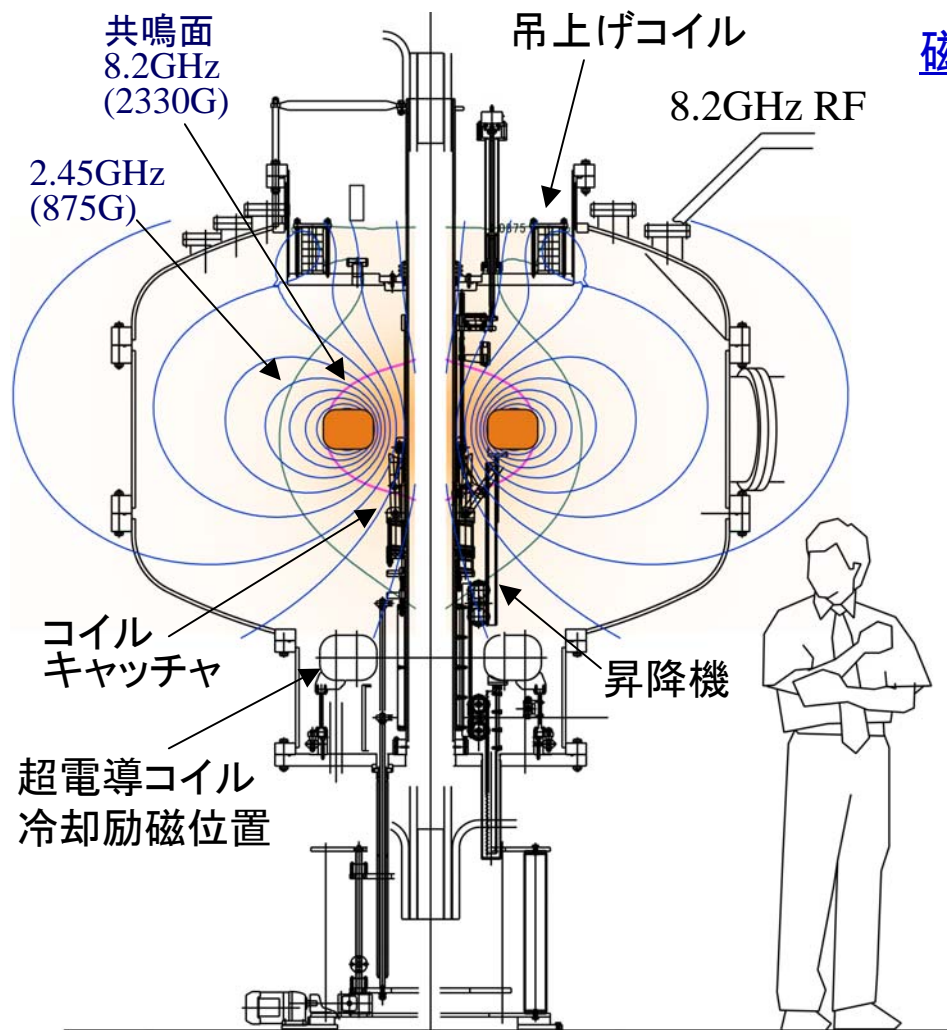
## RT-1における初期プラズマ計測実験

東大新領域, 東大高温プラズマセンター<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>, 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における実験の概要
- ・ 実験の現状(整備改善状況)
  - ー コイルキャッチャシステムの真空中動作試験
  - ー 浮上磁場コイル電源の動作安定化
  - ー 磁場補正/コイル重量調整によるコイルの水平化
- ・ プラズマ計測系と初期計測実験の結果
- ・ まとめと今後の課題

# 研究背景：磁気圏型プラズマ閉じ込め実験



## Ring Trap 1 (RT1) 装置

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

## 磁気圏型プラズマ実験装置RT1\*

2006年1月に運転を開始

- 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平衡状態の検証 (double Beltrami state\*\*)

⇒ 内部電場・流れを持つプラズマの生成、反物質等の各種荷電粒子の閉じ込め

- 超電導コイル磁気浮上システム  
- 擾乱を抑制し高性能のプラズマを生成

実験サイクル:

コイル冷却<20K (Heガス冷却による)

⇒ 励磁, コイル上昇

⇒ プラズマ実験

⇒ コイル降下, 再冷却 / 昇温

\* 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).

# 超電導コイル落下対策用キャッチャ機構



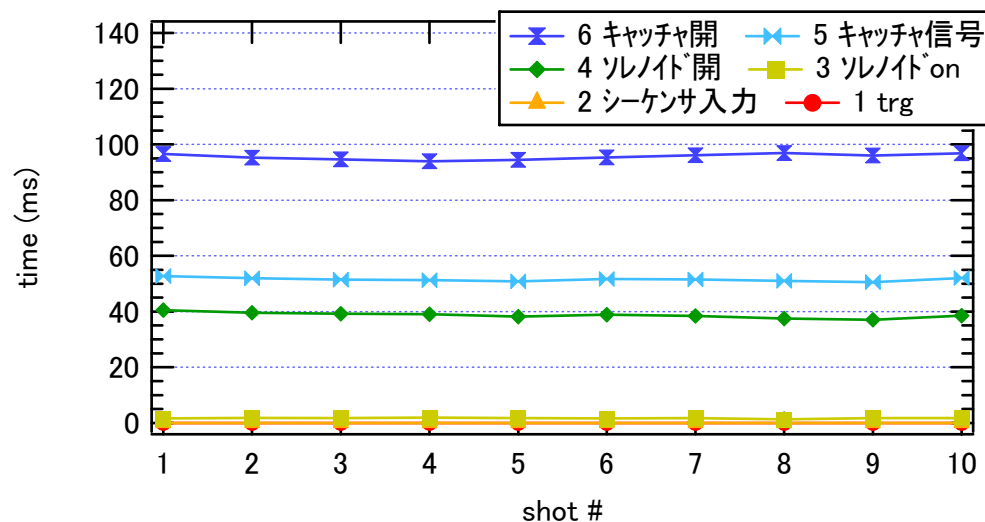
- ・浮上運転中の電源異常/停電による超電導コイルの落下対策の安全装置.
- ・異常発生時, コイル落下時間(～100ms)よりも高速にコイルキャッチャを展開し, 大落下によるコイル破損を防止する.
- ・前回まで: 真空中で動作しないトラブル.

⇒ キャッチャの支持構造の見直しにより, 真空中でも高速動作を実現



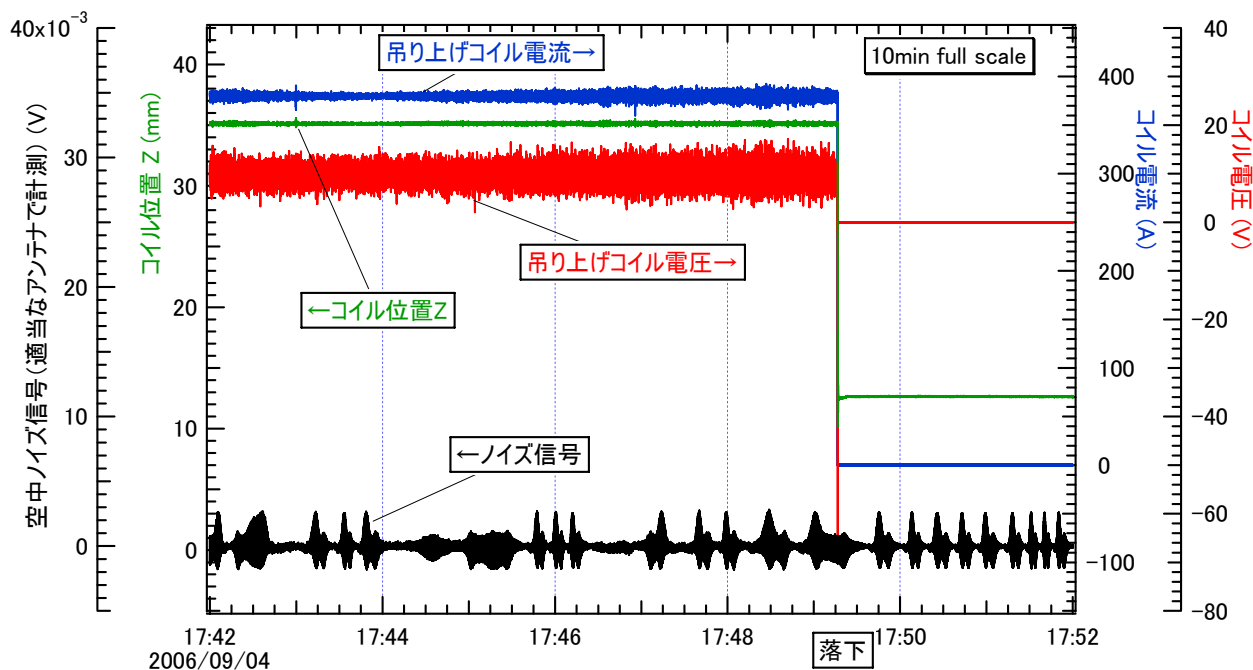
超電導コイルキャッチャー

通常時(上)と事故検出による展開時(下)

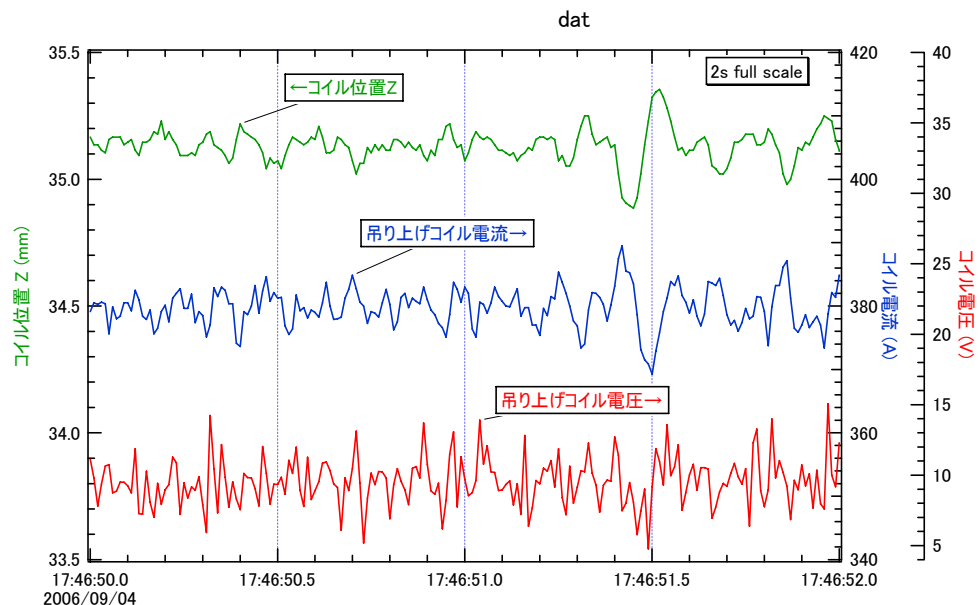


キャッチャー動作時間(各stepの動作)

# 浮上コイル電源ノイズ対策による浮上の安定化



- ・コイル浮上実験中、浮上コイル電源 (レーザセンサによるコイル位置検出に応じてPID制御を行う) が停止する状況が多発.
- ・コイルの落下に先行して電源の電流降下開始
- ・環境中の電磁ノイズ等は落下発生と無関係



電流指令信号のfiltering (200Hz) により、コイルの安定浮上制御と浮上電源の安定動作を両立

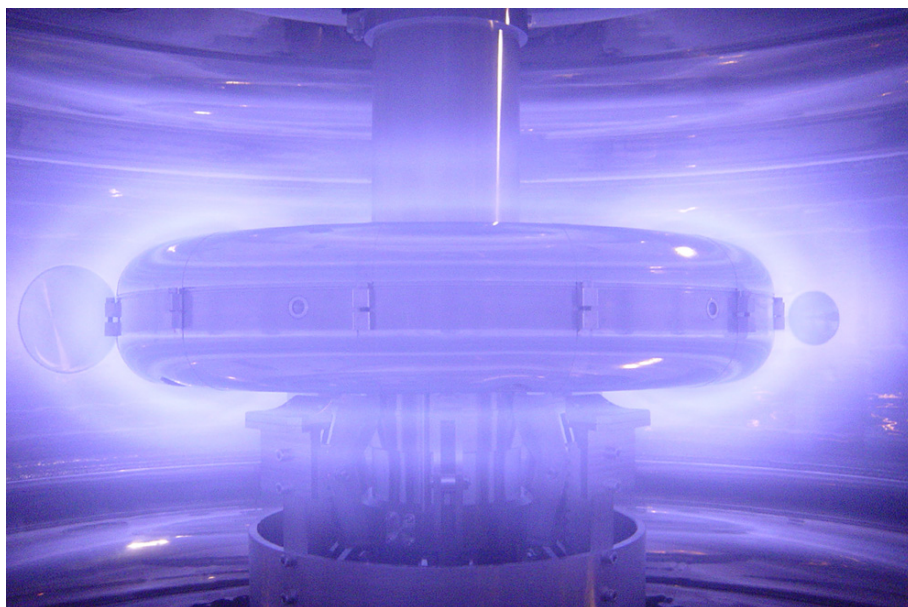
## 超電導コイル位置と浮上電源の電流／電圧の時系列データ

- (上) コイル落下発生時
- (下) ノイズ状信号に対する応答

# 磁気浮上状態でのプラズマ生成と初期計測実験

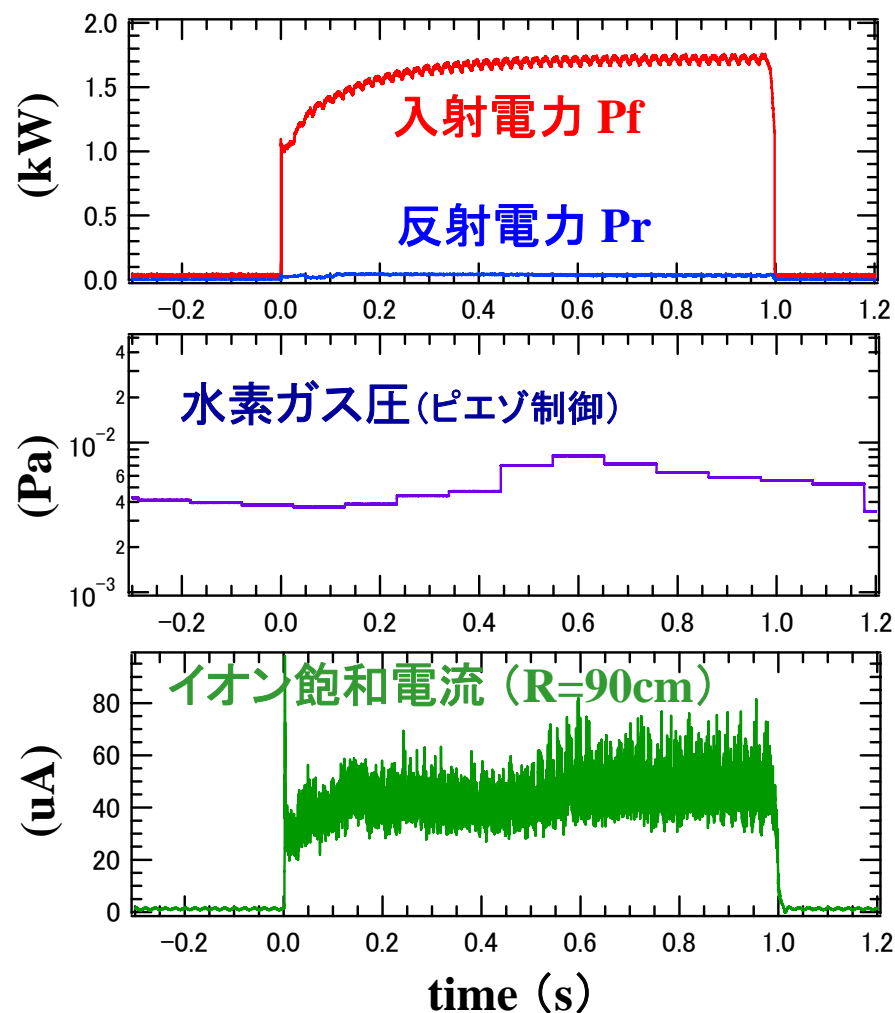
- ・ 浮上コイル電源の過負荷動作対策
- ・ 地磁気補正コイルによるコイル安定化

⇒ 安定なプラズマ実験が可能  
エッジ部で初期計測を開始



## コイル磁気浮上状態でのプラズマ生成

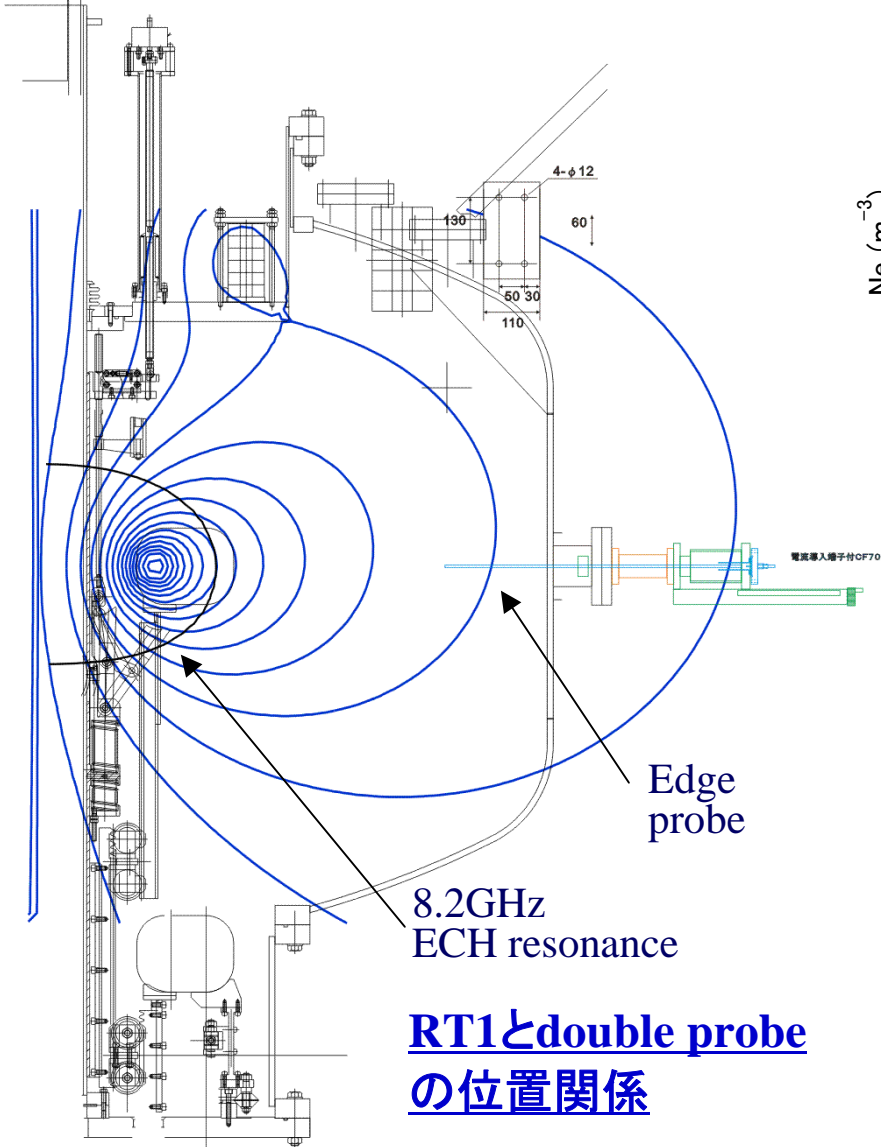
250kAT dipole磁場+ 21kAT浮上コイル磁場  
マイクロ波 $P_f=1.7\text{kW}$   $\text{H}_2$ 圧力  $4 \times 10^{-3}\text{Pa}$   
コイルは昇降機サポートから26mm浮上



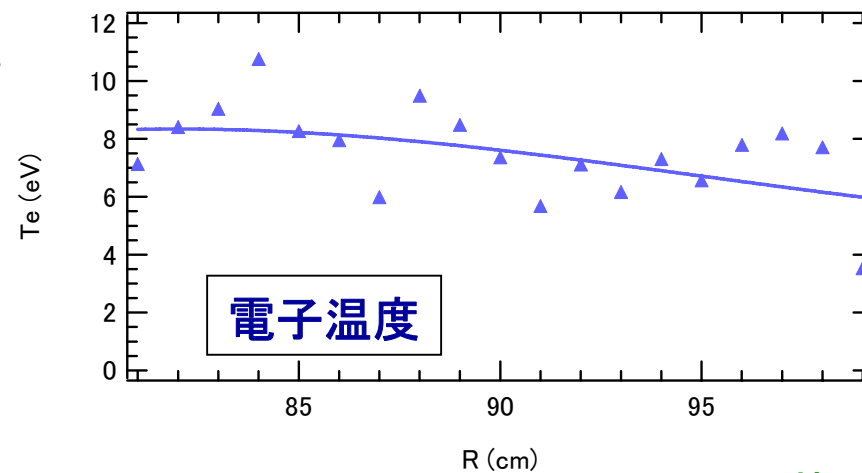
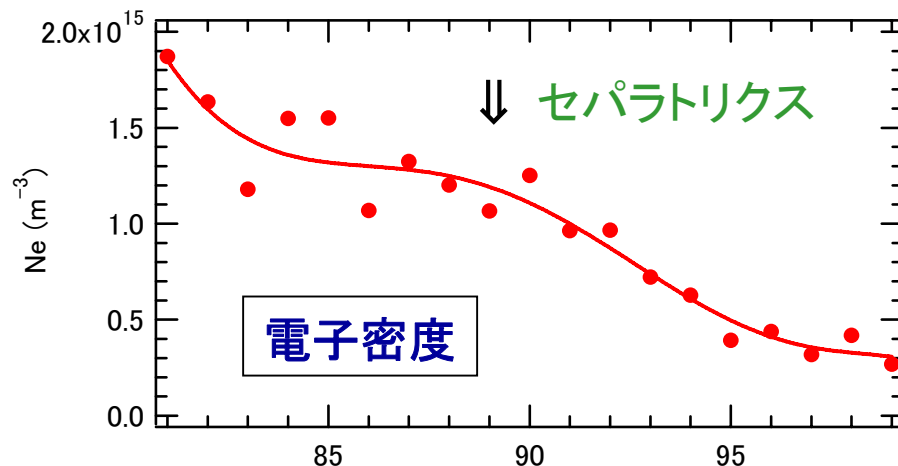
## 8.2GHzマイクロ波によるプラズマ生成

RF入射1s間の時系列データ

# 静電プローブによるedge plasma測定



装置の赤道面，壁面～セパトリスから9cm内側の位置まで計測

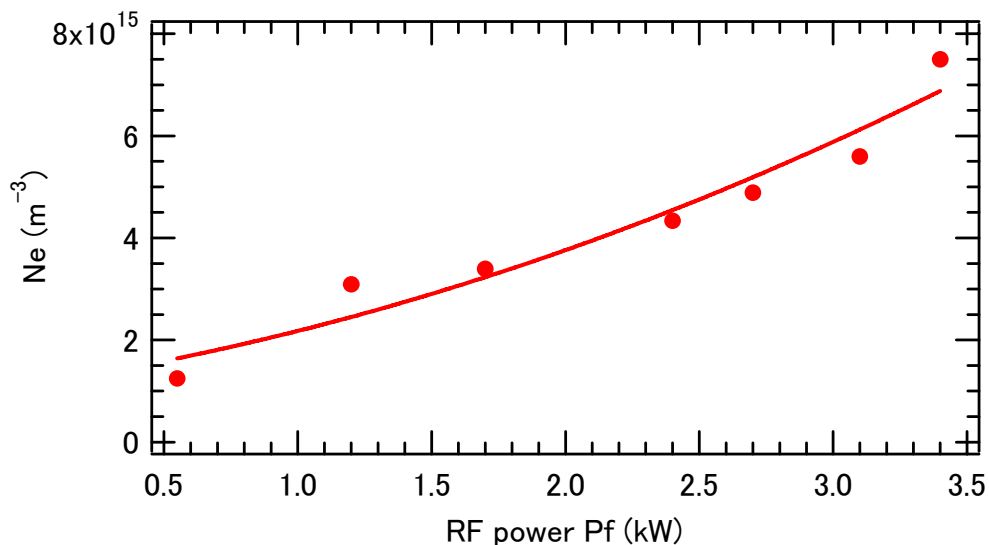


径方向分布 (edge部)

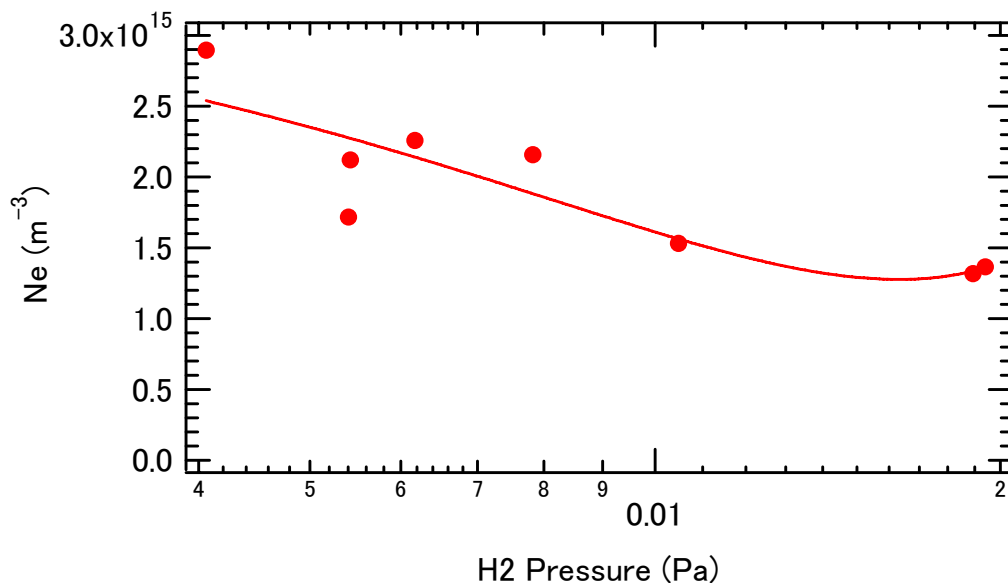
Pf=1.0kW, 封入H<sub>2</sub>圧力 4 × 10<sup>-3</sup>Pa

- ・数密度10<sup>15</sup>m<sup>-3</sup>程度 (cf 8.2GHz cutoff 8 × 10<sup>17</sup>m<sup>-3</sup>)
- ・セパトリス近傍で明確な密度の低下はない  
コイルサポート位置の降下が不十分？

# Edge部における初期プラズマ計測



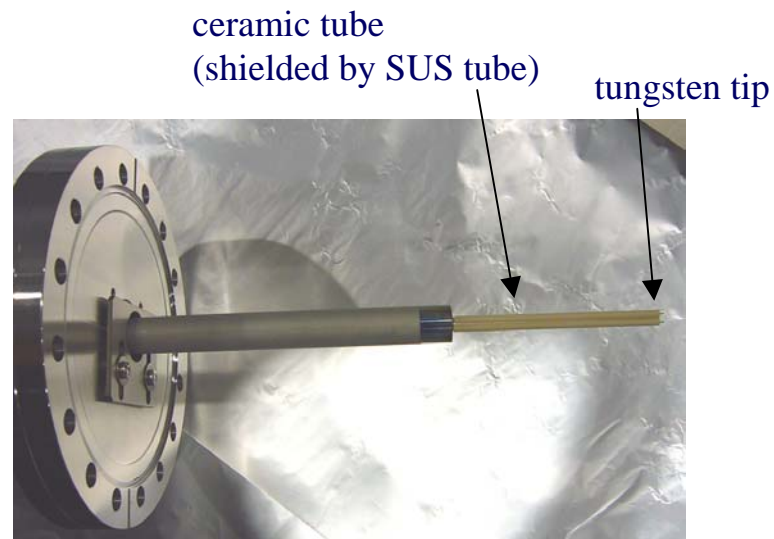
電子密度の入射電力依存 (Pf~3.4kW)



電子密度の封入水素ガス圧依存

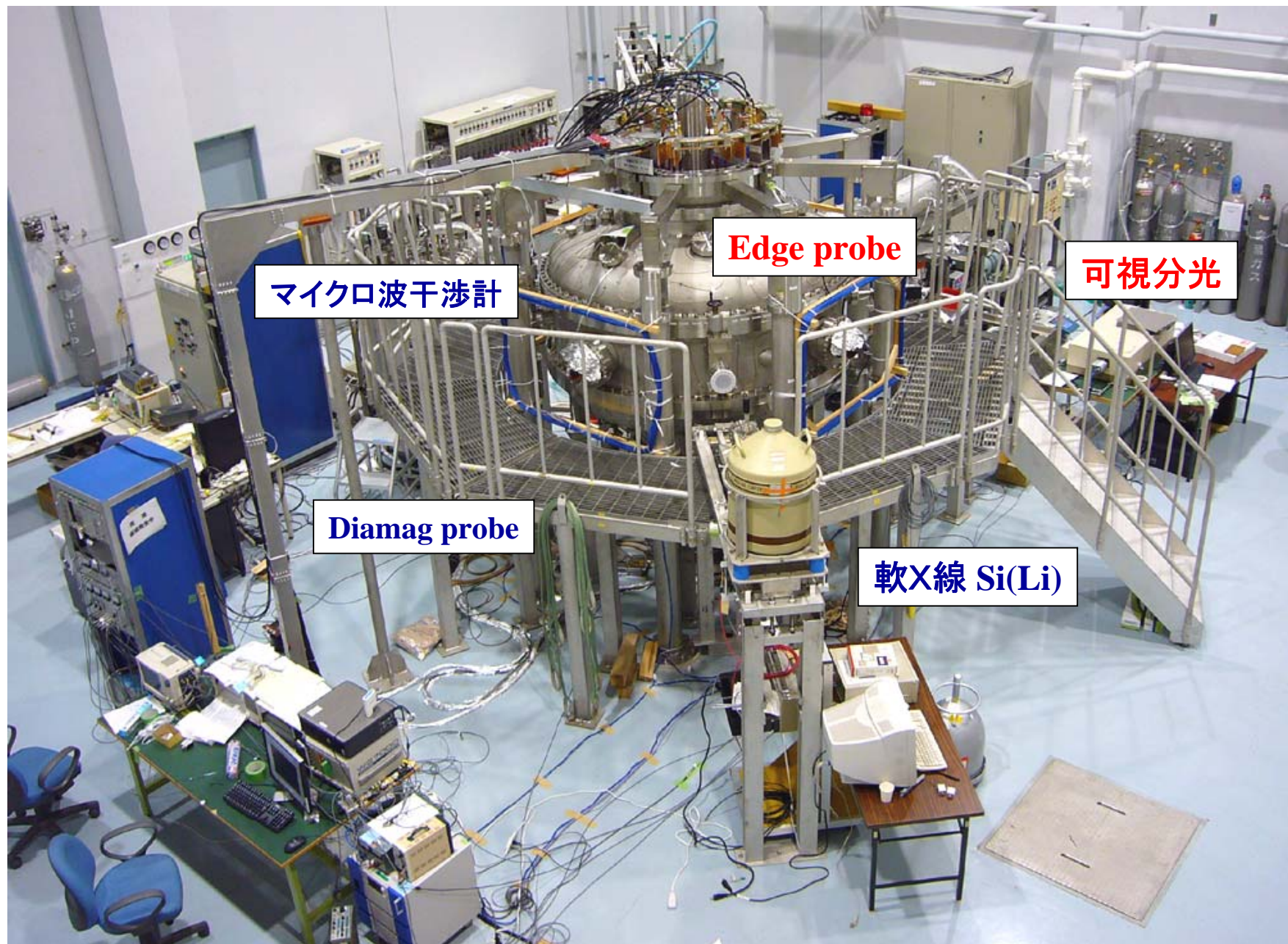
- ・ マイクロ波入射電力 3.4kW時に電子密度 $8 \times 10^{15} \text{m}^{-3}$ 程度まで上昇, さらに上昇傾向を示す.
- ・ 封入ガス圧力の上昇により, 周辺部のプラズマ密度はむしろ減少傾向.  
RF窓付近に高密度領域?

⇒ 安定なプラズマ生成条件下で密度増大が今後の課題



Double probeの構造

# RT1のプラズマ計測器配置図(予定を含む)





## 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低パワーの水素プラズマを生成, 初期計測)

- 安定なプラズマ生成を行う為の装置改善整備
  - Gas puffによる水素ガス供給系(コイル温度)
  - 地磁気による不正磁場の矯正, コイル傾きの補正
  - コイル重量の不均一性による傾きの補正
- 計測系の導入整備
  - Edge Langmuir probe – 電子密度, 温度
  - 可視分光 – イオン温度, 流速(径方向電場)分布
  - 軟X線計測 – 電子温度, エネルギー分布
  - マイクロ波干渉計 – 電子密度
- より高性能なプラズマの生成, 流れ場形成に向けて
  - 実験時コイルサポート完全降下(キャッチャ機構)
  - 入射電力の上昇(クライストロン定格100kW, 現在3kWで使用)