

# 電子サイクロトロン共鳴多価イオン源における 軽元素ガスマキシングと低周波数電磁波導入

藤村 優志<sup>1)</sup>, 井手 章敦<sup>1)</sup>, 得能 慎司<sup>1)</sup>, 居倉 壮良<sup>1)</sup>,  
浅地 豊久<sup>2)</sup>, 村松 正幸<sup>3)</sup>, 北川 敦志<sup>3)</sup>, 加藤 裕史<sup>1)</sup>

1) 大阪大学, 2) 滋賀県立大学, 3) 量研機構

2025年2月21日

# 背景と目的

## 電子サイクロトロン共鳴イオン源 (ECRIS)

- ・ 超重元素生成や重粒子線がん治療などに利用
- ・ 多価イオンビームの生成

## 効率的な多価イオンビーム生成の手法

- ・ 軽元素ガスマキシング (イオンクーリング)
- ・ **イオンサイクロトロン共鳴 (ICR) によるガスマキシング効果の助長  
またはポテンシャルウェルの緩和**

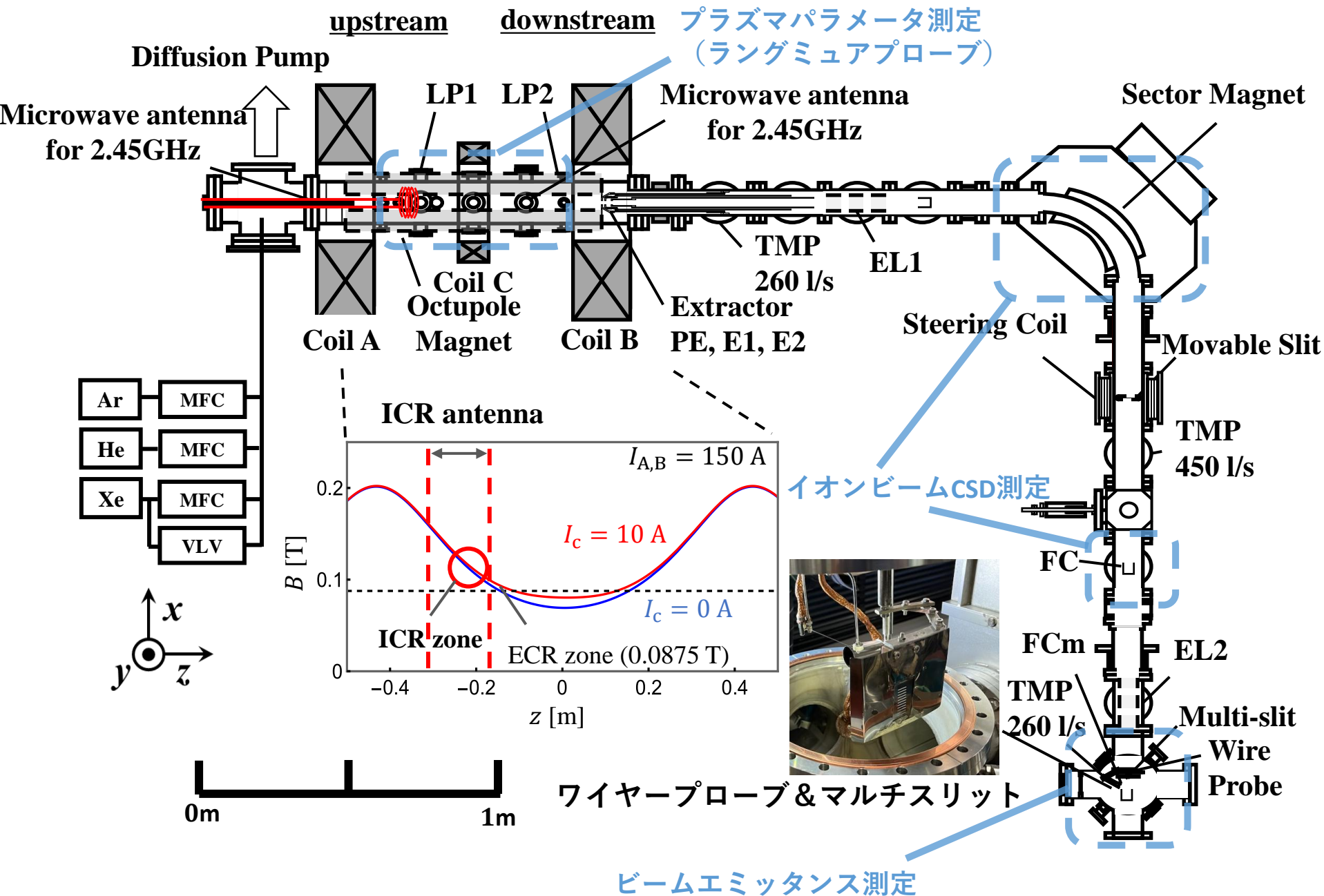
## 研究の流れ

### 混合プラズマへの軽元素ICR用RF導入

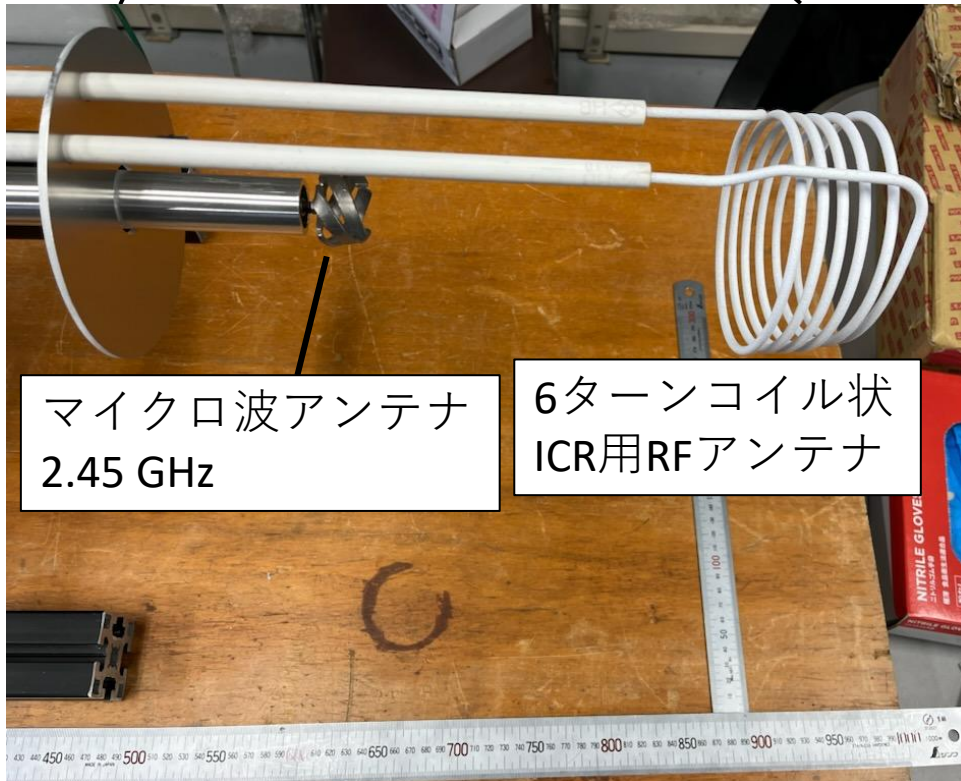
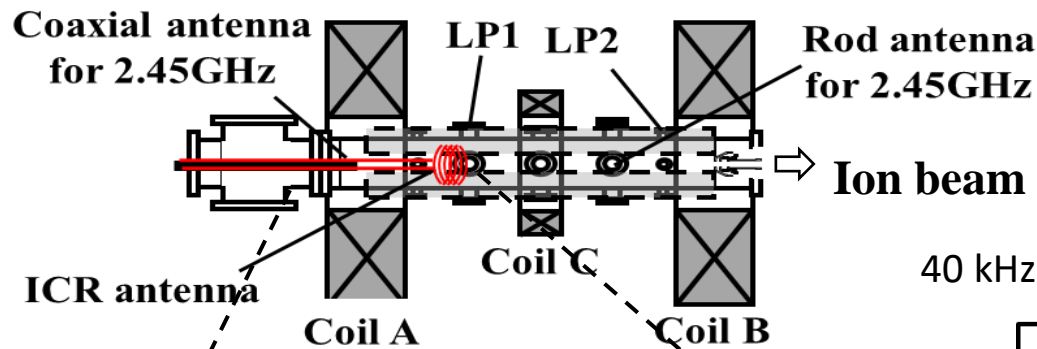
0. ICRの予備実験 (2ターン& 6ターン)
1. Ar/Heへの400 kHz導入
2. 純Arへの40 kHz導入
3. Xe/Arへの40 kHz導入
4. Xe/Heへの400 kHz導入

- ・ イオンビーム電流量の価数分布 (Charge state distribution: CSD) 測定  
→ 多価イオンビーム電流量, 平均価数
- ・ ビームエミッタンス測定 → rmsエミッタンス (イオン温度)
- ・ プラズマパラメータ 測定 → 電子密度, 電子温度

# ECRIS装置構成



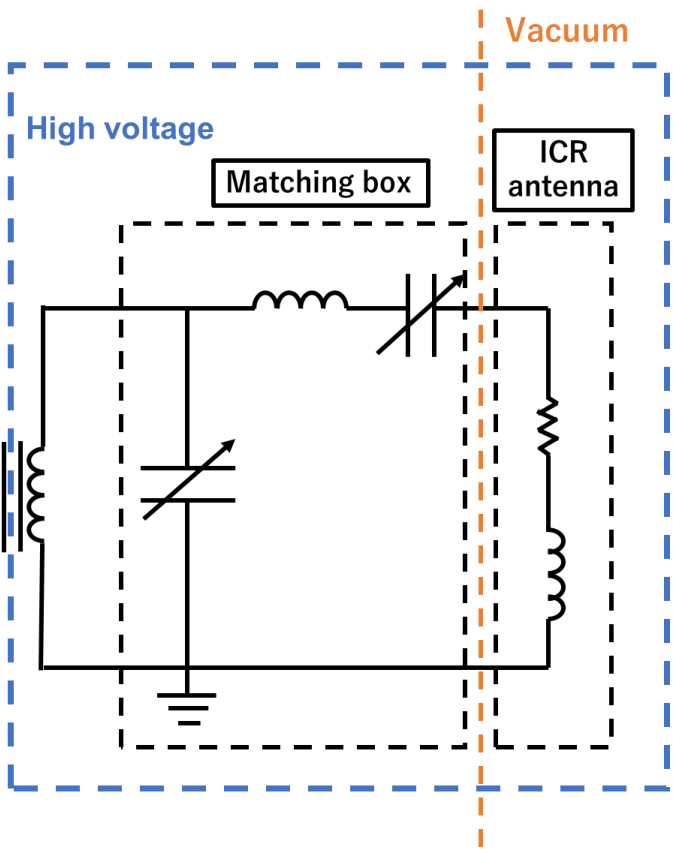
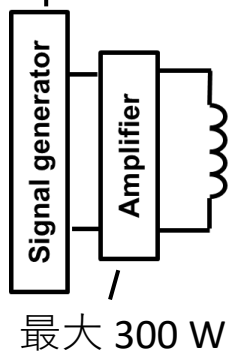
# ICR加熱用RFアンテナの構成



マイクロ波アンテナ  
2.45 GHz

6ターンコイル状  
ICR用RFアンテナ

40 kHz or 400 kHz



- 4 mmΦ Cu管 (水冷可能)  
+ セラミック溶射
- コイル径105 mmΦ
- ピッチ長10 mm

# まとめと今後の予定

## まとめ

### 1. Ar/He + 400 kHzの実験

多価イオンビーム電流量減少  
→不純物の大幅増加  
He<sup>+</sup>のイオン温度増加

### 2. 純Ar + 40 kHzの実験

ビーム電流量ほぼ変化なし

### 3. Xe/Ar + 40 kHzの実験

多価イオンビーム電流量**増加**  
Ar<sup>+</sup>のイオン温度増加  
中央部の電子密度微増

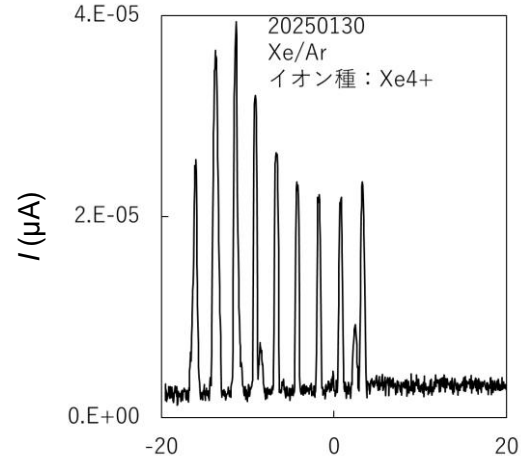
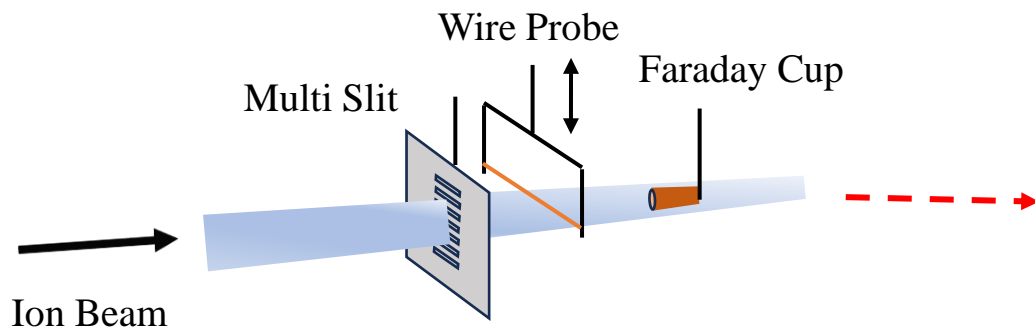
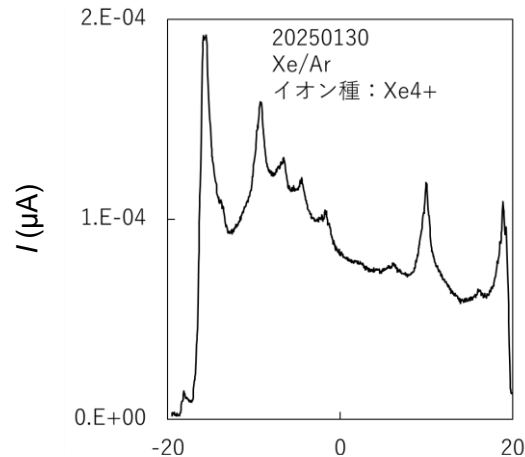
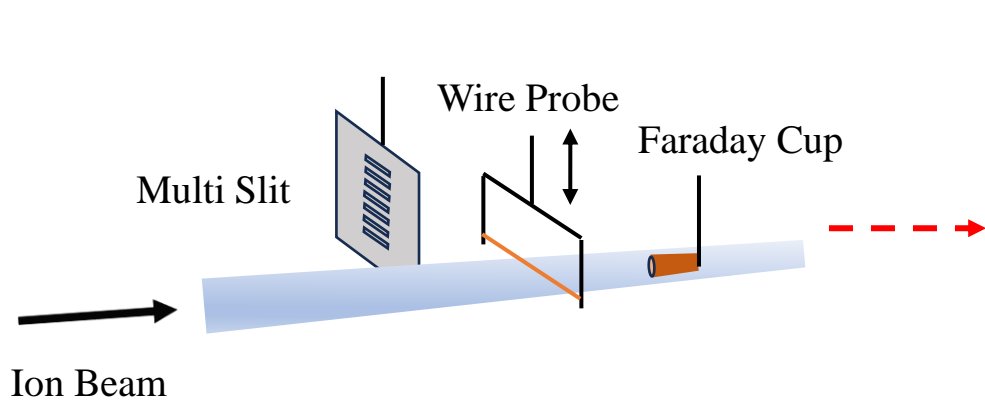
### 4. Xe/He + 400 kHzの実験

多価イオンビーム電流量**大幅増加**  
He<sup>+</sup>のイオン温度増加

## 今後の予定

- Xe/He + 400 kHzの追加実験（プラズマパラメータ測定）
- Ar/He + 400 kHz の再実験  
RF導入時の不純物対策  
→水冷なしでのaging
- プローブ類によるECRIS内でのイオン温度測定  
→イオンセンシティブプローブ, マルチグリッドファラデーカップ

# エミッタンスの測定・解析手法



ビーム割合とエミッタンス  
 $F = 1 - \exp(-\varepsilon/\varepsilon_{\text{rms}})$   
 イオン温度の算出

$$\varepsilon_{\text{rms}} = \frac{a}{2} \left( \frac{T_i [\text{eV}]}{2ZV} \right)^{\frac{1}{2}}$$

