

GAMMA10/PDXにおけるDモジュールへの ガス導入実験時の分光計測

筑波大学プラズマ研究センター
細田甚成, 市村和也
細井克洋, 中嶋洋輔
GAMMA 10グループ

発表内容

- 実験背景・目的・概要
- GAMMA 10/PDX, D-module 及び分光システム概要
- ガス入射実験結果
- まとめ, 今後の課題

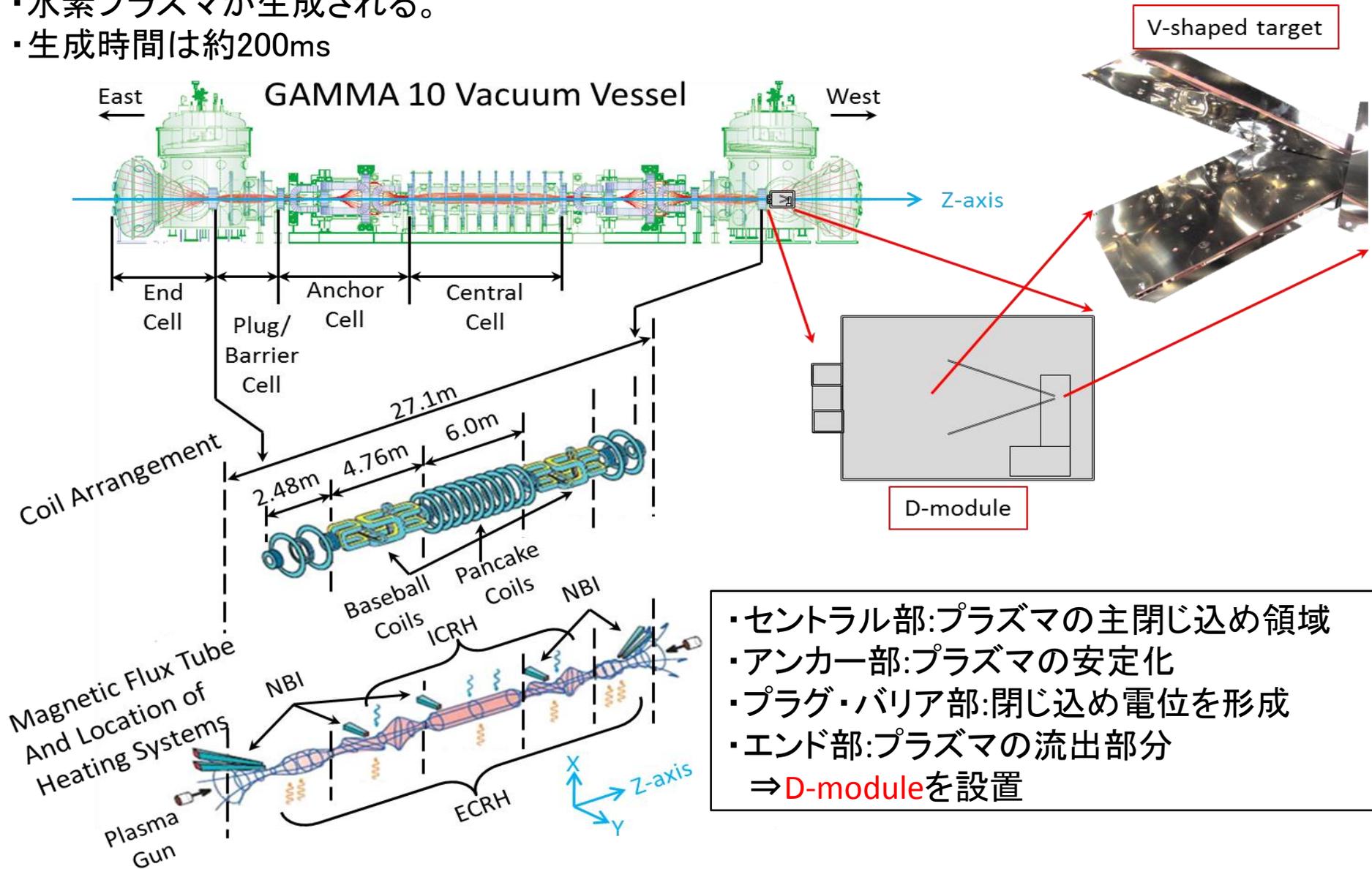
実験の背景・目的・概要

核融合発電の実現にあたって、真空容器のプラズマ対向壁に対する熱負荷の低減を目的として、ダイバータ磁場配位が用いられている。しかしその際、ダイバータ板に大きな熱負荷が集中することが問題となっている。この解決策として、ダイバータ板近傍に不純物ガスを入射し、プラズマがダイバータ板に対して接触しない、非接触プラズマを形成することが重要な課題である。

GAMMA 10/PDXタンデムミラー装置のエンド部においても、昨年度よりダイバータ模擬実験モジュール(D-module)が設置され、プラズマ冷却機構の解析を目的としたガス入射実験、及びその分光計測が行われている。これは、GAMMA 10/PDXが開放端磁場配位を持ち、ダイバータ磁場配位を模擬しやすい点、エンド部の高いイオン温度を活かすためである。本研究では、D-module内において形成されたプラズマに対して分光計測及び高速カメラによる2次元イメージ計測を行った。

GAMMA 10/PDX概要

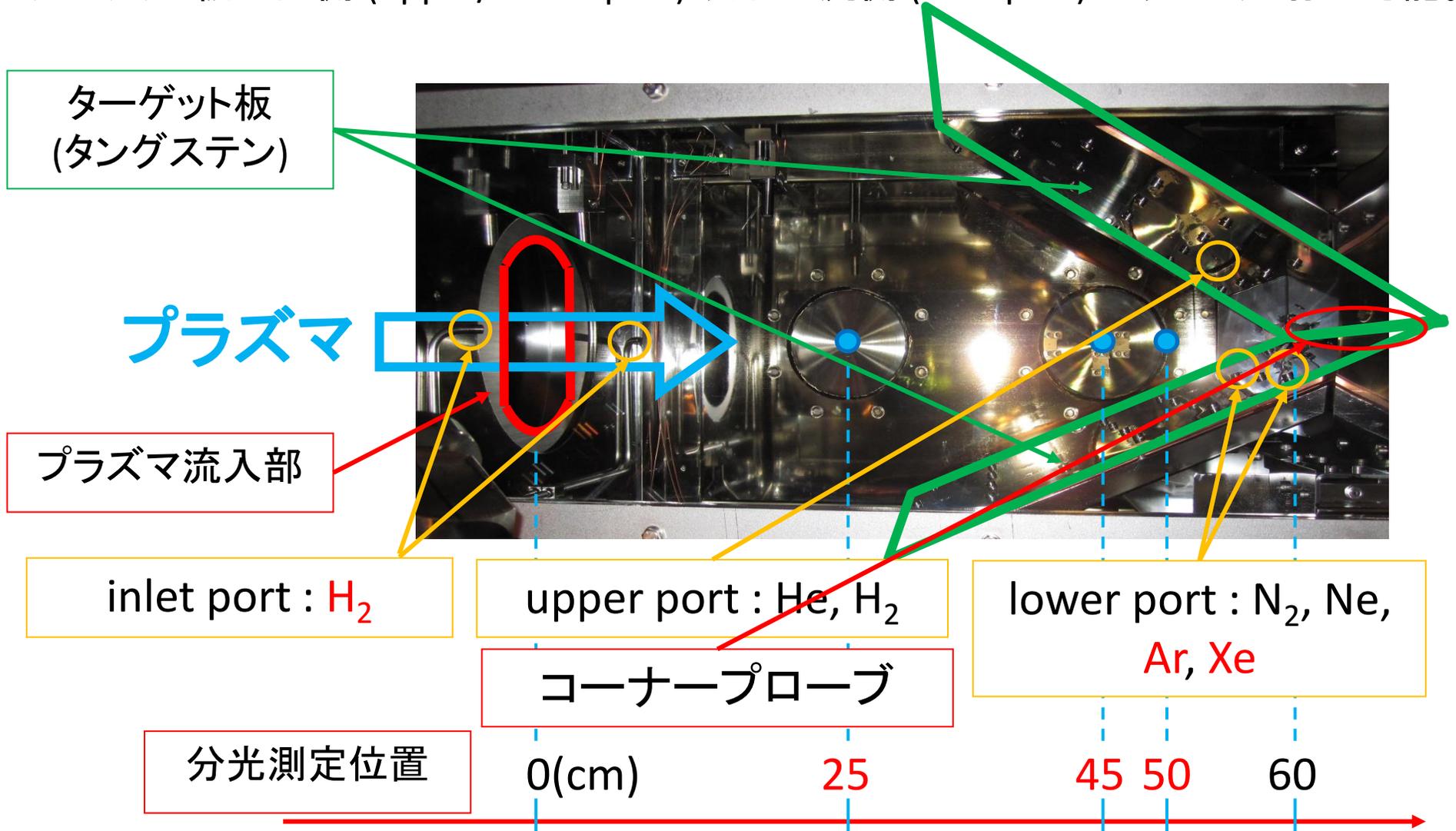
- ・開放端磁場配位が形成される。(セントラル部: $\sim 0.5T$, エンド部: $1.5 \sim 0.5T$)
- ・水素プラズマが生成される。
- ・生成時間は約200ms



- ・セントラル部: プラズマの主閉じ込め領域
 - ・アンカー部: プラズマの安定化
 - ・プラグ・バリア部: 閉じ込め電位を形成
 - ・エンド部: プラズマの流出部分
- ⇒ **D-module**を設置

D-module概要

- ・プラズマは流入部からターゲット板方向へ流れる。
- ・ターゲット板は角度調節 ($15^\circ \sim 80^\circ$) が可能。
- ・ターゲット板の内側 (upper/Lower port) 及び上流側 (inlet port) よりガス入射が可能。



実験概要

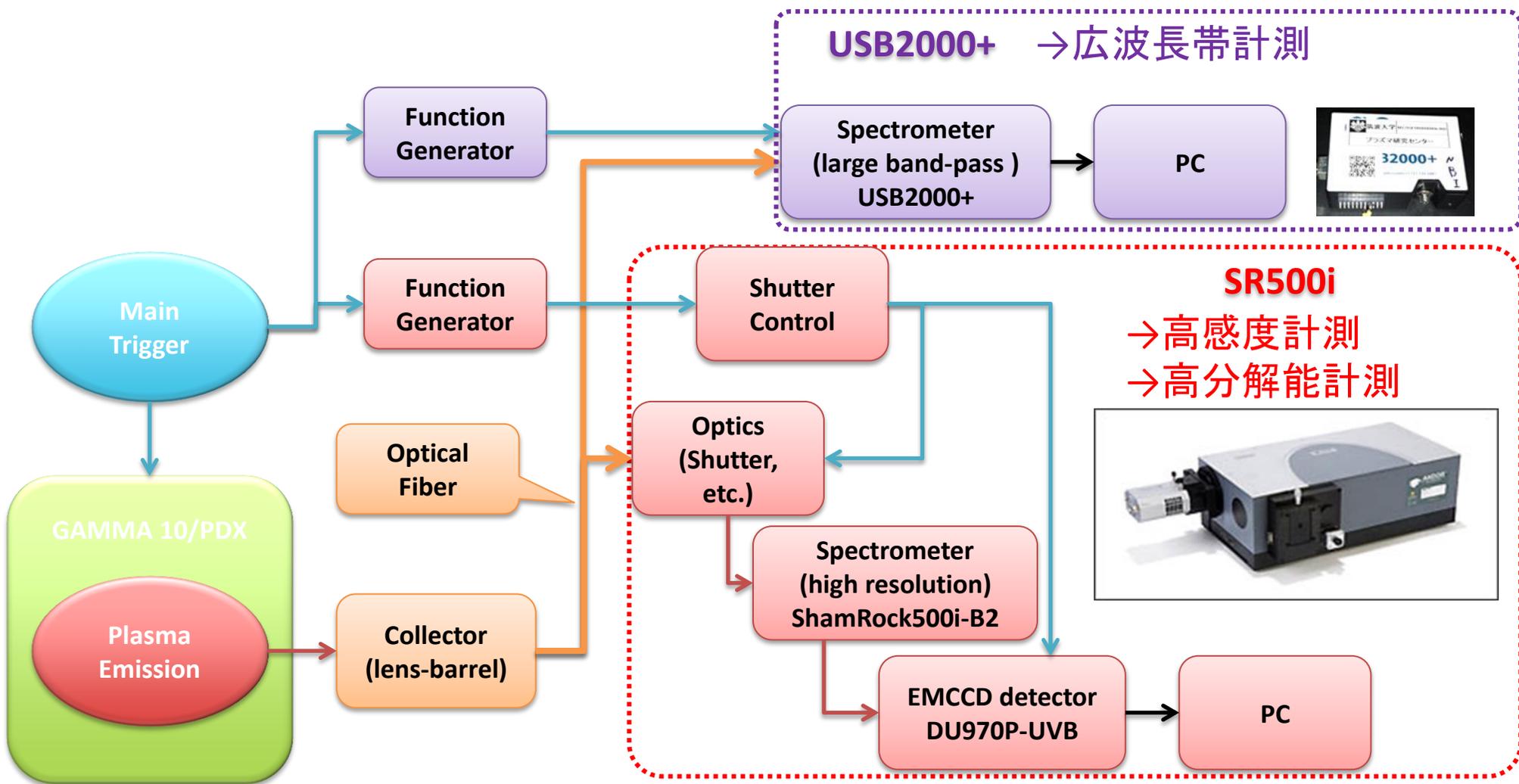
本研究では、実験中に観測されたプラズマがV字ターゲット板に接触している状態(アタッチ)及び非接触状態(デタッチ)に対して、以下のような測定を行った。

- ・Ar・Xeガスのプレナム圧依存性
- ・Ar・Xeガス入射時の2箇所測定
- ・高速カメラによる2次元イメージ計測

なお、アタッチ/デタッチ状態を判断するにあたって、D-module内のV字ターゲットのコーナー部に設置されたプローブによるイオン飽和電流(I_{sat})の値を基準に用いた。

分光システム概要

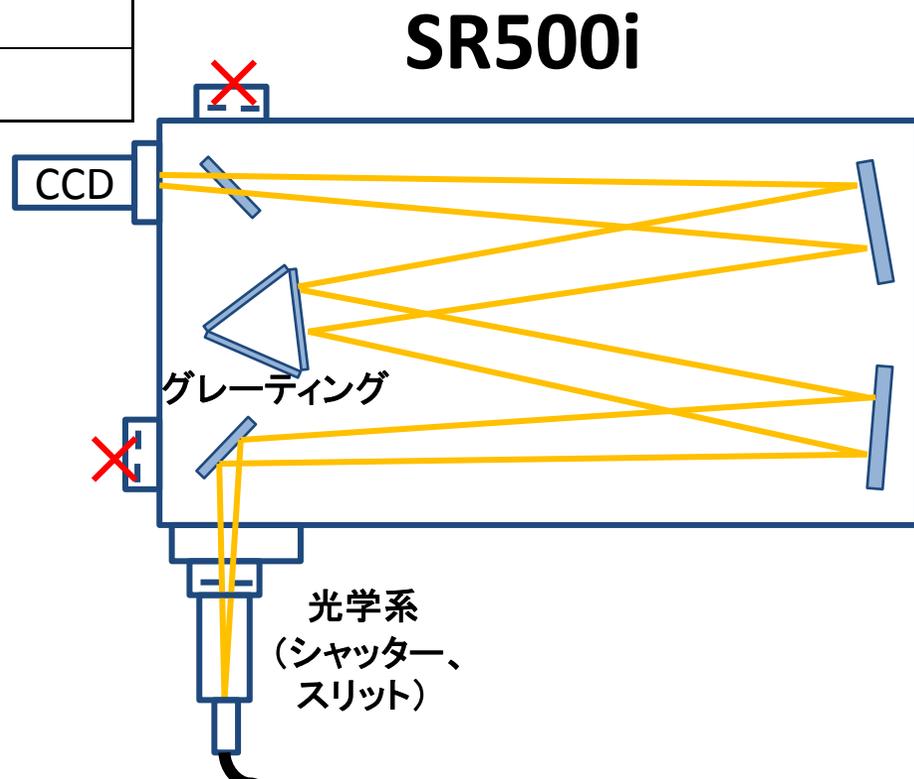
- ・本実験では2分岐光ファイバーによる、USB2000+を用いた広波長帯計測とSR500iを用いた高感度・高分解能計測の同時計測を行った。



各分光器の仕様

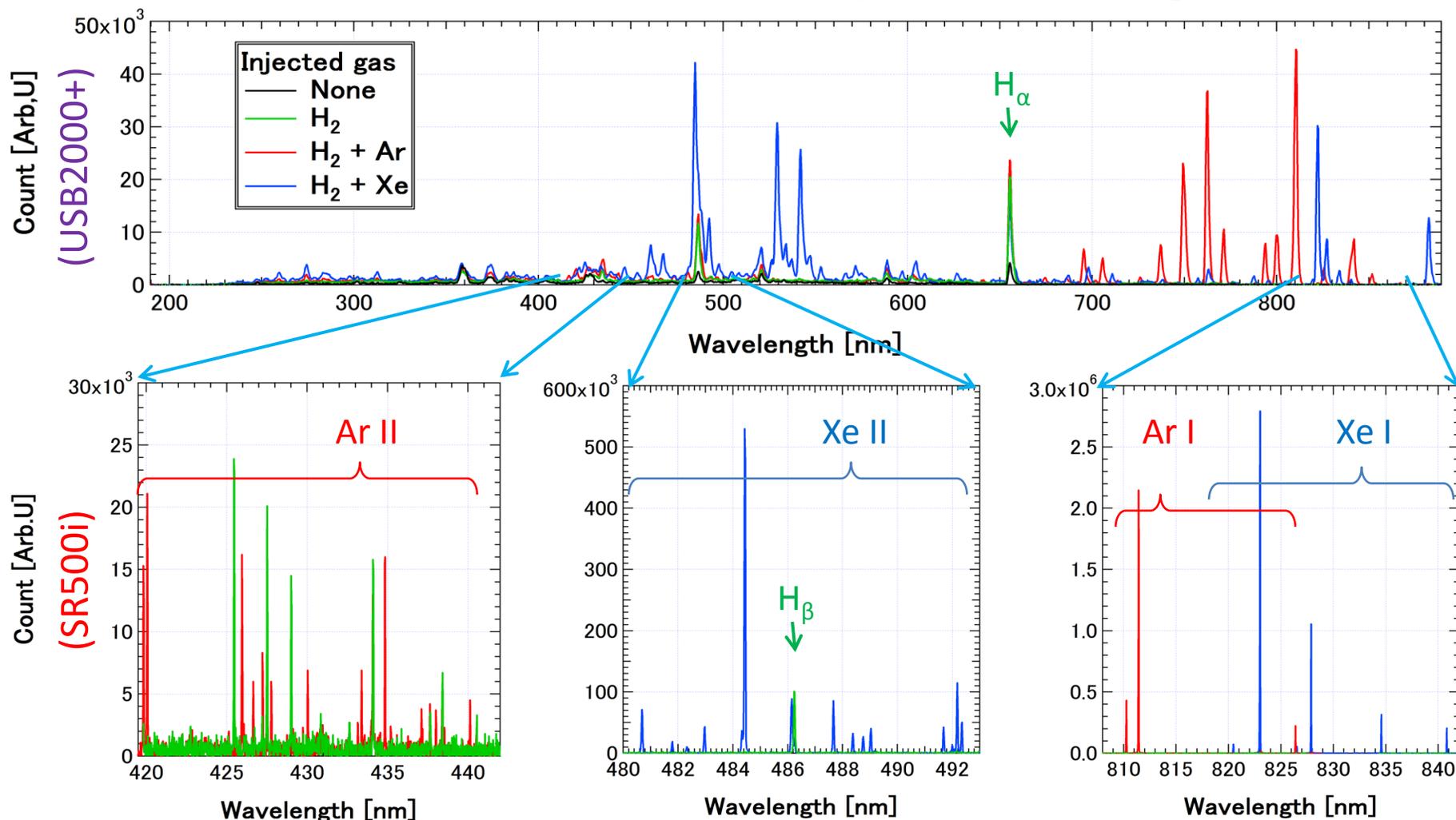
Specifications Summary	SR500i-B2 , DU970P-UVB
Gratings	150/1200/1799L/mm
Wavelength resolution	0.031nm@811.53nm FWHM(1799L/mm)
Wavelength range	26nm(1799L/mm)
Slit widths range	Manual or motorized 10 μ m to 2.5mm
Pixel size	16 μ m \times 16 μ m (1600 \times 200pixels)
Exposure time	10ms-

Specifications Summary	USB2000+
Gratings	Holographic
Wavelength resolution	2.94nm@H α FWHM
Wavelength range	698nm (190-888nm)
Slit width	25 μ m
Pixel size	14 μ m \times 200 μ m (2048pixels)
Exposure time	5ms-



実験結果

Ar・Xeガス入射実験結果

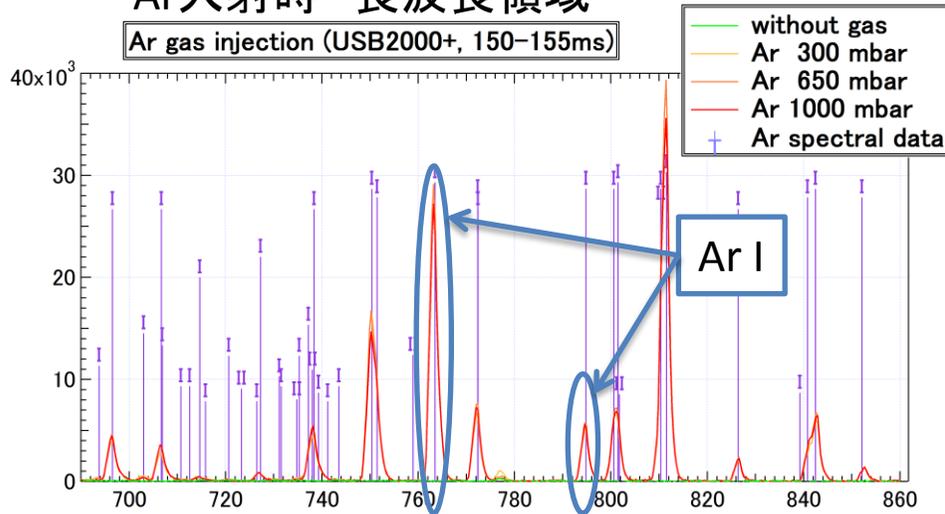


上記のスペクトルは計測結果の1例である。

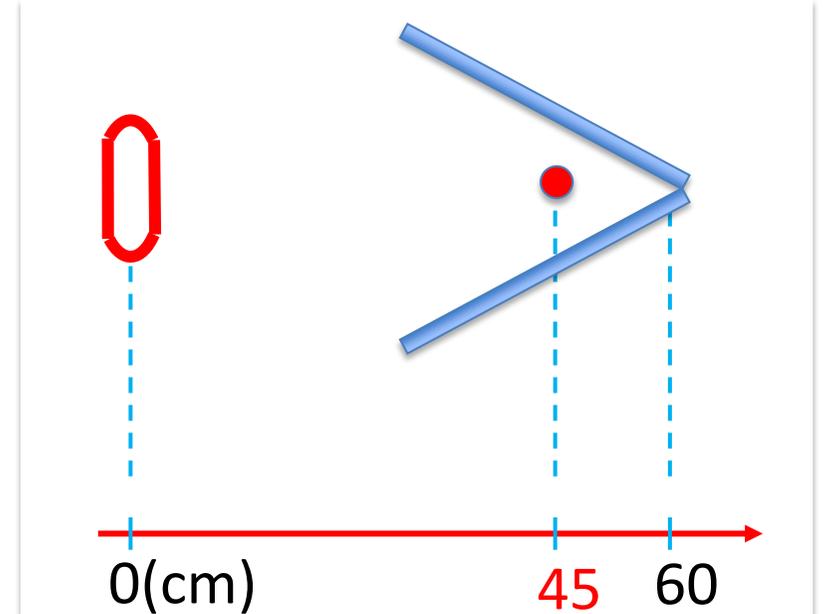
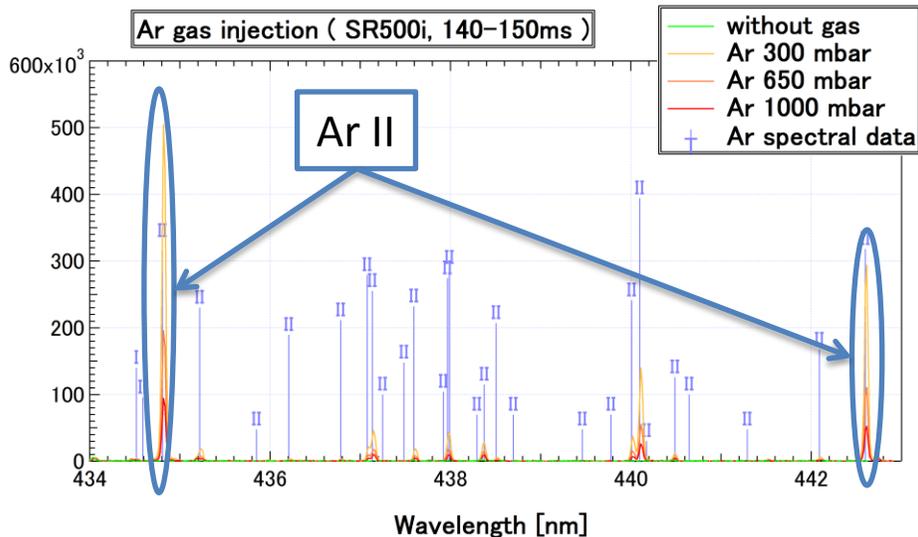
Arガスプレナム圧依存性

プレナム圧を300/650/1000 mbarに設定し、Arガス入射実験を行った。以下に実験結果を示す。

Ar入射時 長波長領域



Ar入射時 短波長領域



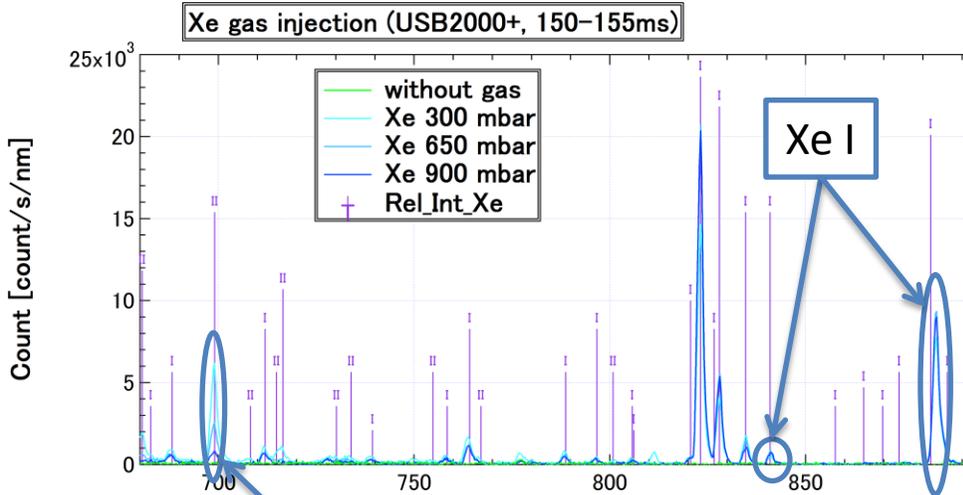
Ar Iの中性粒子の発光は、ガス導入量に比例するプレナム圧に対してあまり変化がないが、1価のイオンの発光はガス量を増やすほど減少していった。

ガス入射量の増加により電子温度が減少し、プラズマの電離進行が抑制されたためだと考えられる。

Xeガスプレナム圧依存性

プレナム圧を300/650/1000 mbarに設定し、Xeガス入射実験を行った。以下に実験結果を示す。

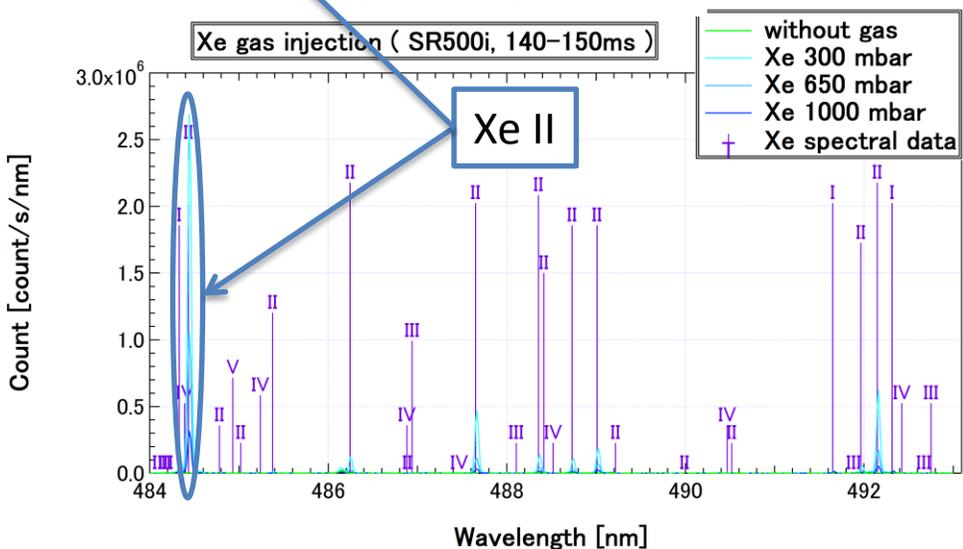
Xe入射時 長波長領域 **デタッチ**



Ar同様に、Xe Iの中性粒子の発光はプレナム圧に対してあまり変化がないが、1価のイオンの発光はガス量を増やすほど減少していった。

Xeに関してプラズマの電離進行が抑制されたためだと考えられるが、Arガス1000mbarと違い、Xeガス1000mbarではデタッチを起こしている。

Xe入射時 短波長領域



Arガスに比べ、Xeガスの効果が大きいと思われる。

Ar・Xeガス入射時の2箇所測定

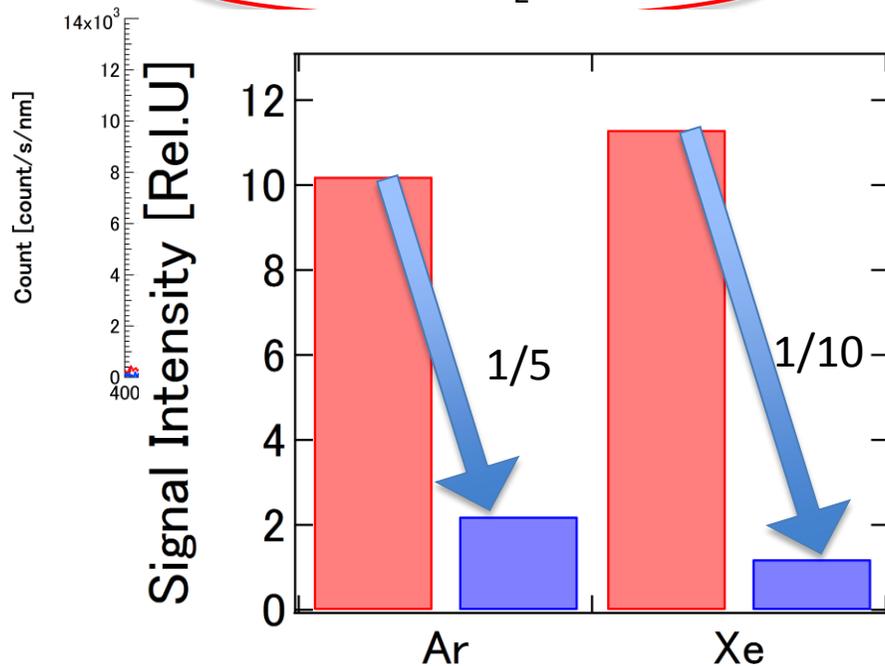
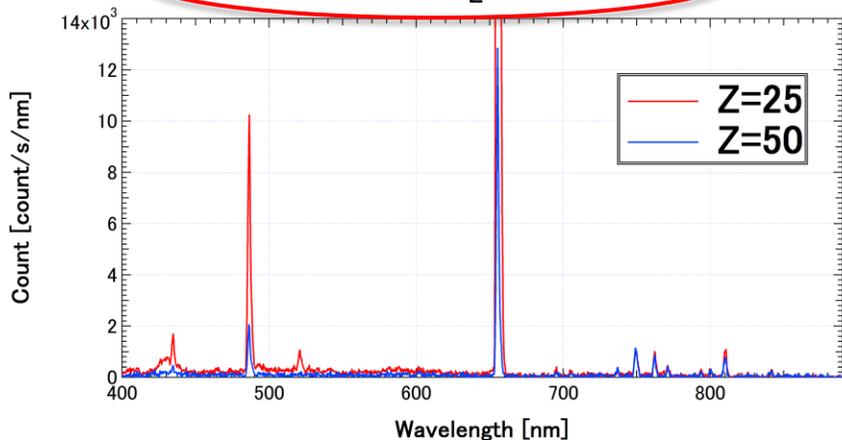
Ar・Xeガス入射時の2箇所測定

デタッチ

デタッチ

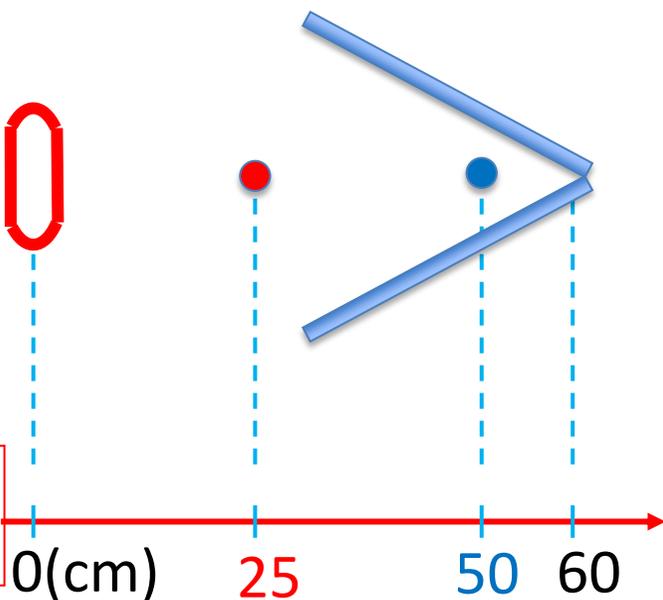
Ar 1000mbar+H₂ 1000mbar

Xe 1000mbar+H₂ 1000mbar



H_β線の発光強度比較

分光測定
位置(Z)



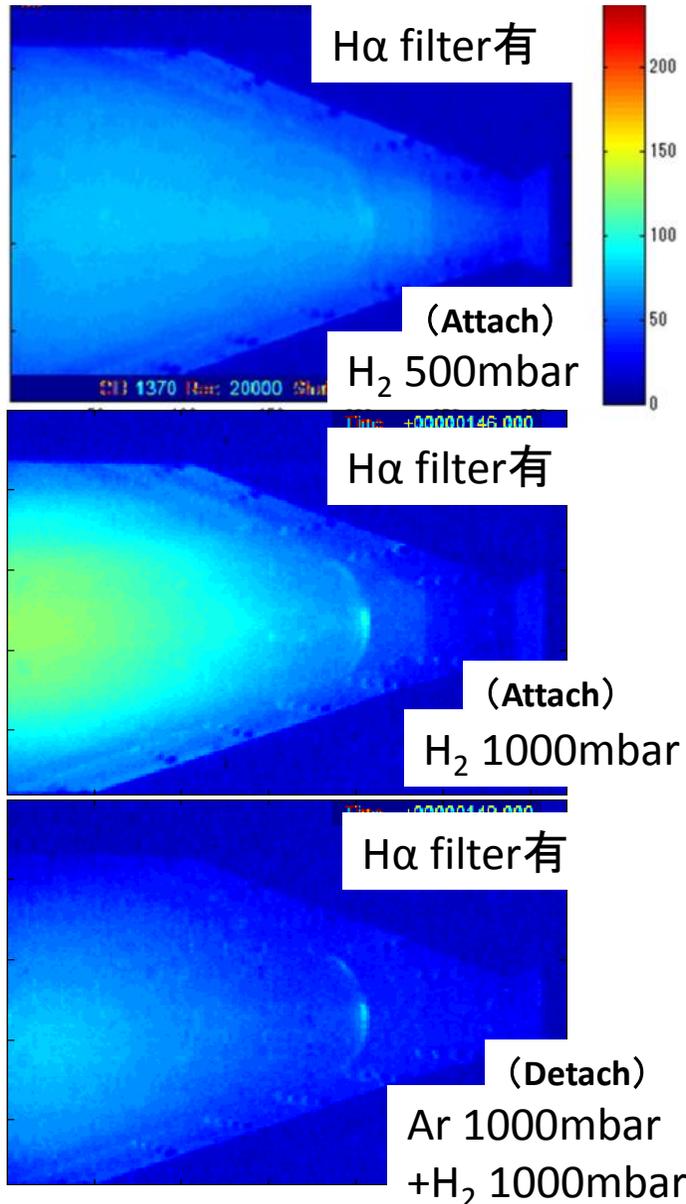
上のグラフは、各測定位置(25/50cm)におけるH_β線の発光強度を比較したものである。

Ar入射時に比べてXe入射時の方がH_β線の発光強度の低下に大きな差がみられた。

高速カメラを用いた2次元イメージ計測

接触・非接触状態における2次元イメージ

H α 線の中心軸における発光強度分布

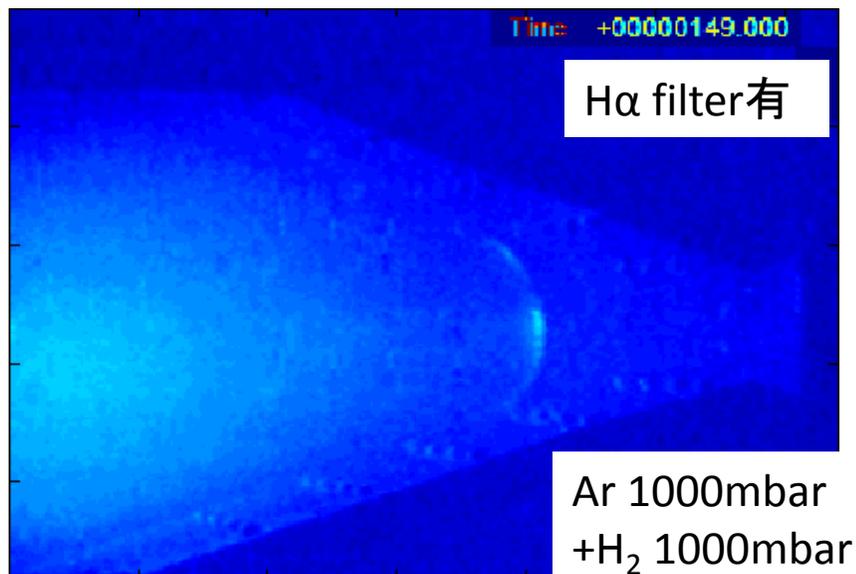


接触状態における2次元イメージに基づいたH α 線(656.3nm)の発光強度分布の比較を行った。

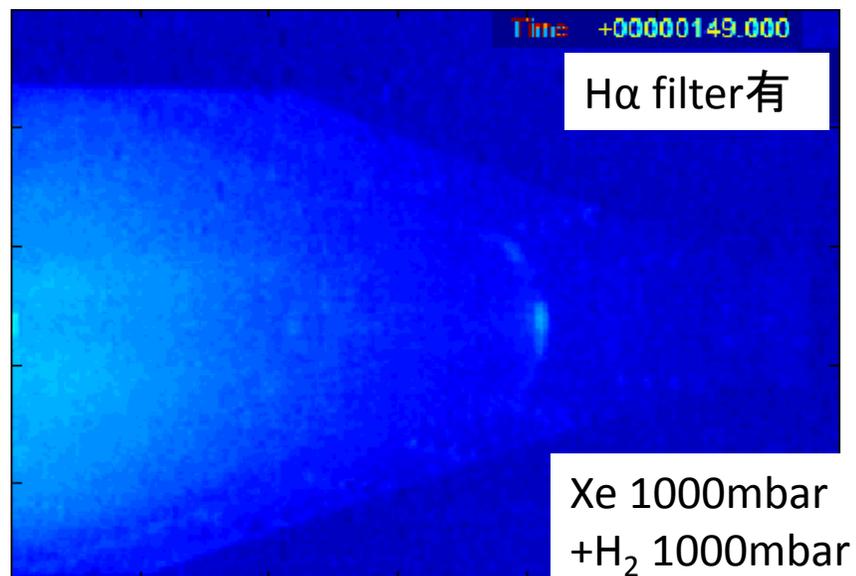
- ・ 通常(アタッチ)状態においてはガス入射量の増加に従い、発光量が増加する。
- ・ アタッチのガス条件(H₂ 1000mbar)に比べデタッチのガス条件(H₂+ Arガス入射時)では、発光量の大幅な減少が観測された。

以上の現象は非接触プラズマの生成を強く示唆する結果である。

ガス種による非接触状態における2次元イメージの違い



XeガスにおいてもH α 線の発光強度分布の2次元イメージを撮影し、Arガスとの比較を行った。



Xeガスの場合は、Arガスに比べて発光が減少し、発光領域がより左側(プラズマ上流側)に移動していることが認められた。

以上の事から、Arガスに比べXeガスはデタッチ形成に対するより高い効果を持つと思われる。

まとめ

ダイバータ模擬実験としてガス入射による放射冷却機構の解明と非接触プラズマの形成と制御に向けた研究において分光計測を行った。その際、イオン飽和電流を接触/非接触状態を判断する指標として用いた。

1. Ar・Xeガス入射実験の結果、Ar・Xe共にガス入射による電離の抑制が確認されたが、Xeガス入射のみデタッチ状態と判断できる状態が実現された。
 2. H_2 + Ar・Xeガス入射による非接触状態において、Ar入射時に比べてXe入射時の方がH β 線の発光強度に大きな差がみられた。
 3. D-module内のターゲット前面の高速カメラによる観測からも、非接触プラズマの実現を示唆する結果が得られ、Arガスに比べ、Xeガスの発光領域が上流側に移動していることがわかった。
- ⇒ Arガスに比べXeガスは、デタッチ形成に対して、より高い効果を持つという知見が得られた。

今後、分光計測を詳細に進めることにより、本装置で発生した高温プラズマが、非接触プラズマ状態に至るまでの物理過程を検証して行く。