

平成29年度「原子分子過程研究と受動・能動分光計測  
の高度化のシナジー効果によるプラズマ科学の発展」  
「原子分子データ応用フォーラムセミナー」合同研究会

2017年12月20-22日

核融合科学研究所 管理棟4階 第一会議室

# GAMMA 10/PDXにおけるHe I線強度比法を 用いたダイバータ模擬プラズマ計測

1. 研究背景・目的
2. 実験装置
3. 実験結果・考察
4. まとめ・今後の課題

三上 智弘<sup>1</sup>(M1)

坂本 瑞樹<sup>1</sup>、寺門 明紘<sup>1</sup>、仲野 友英<sup>2</sup>

<sup>1</sup>筑波大学 プラズマ研究センター

<sup>2</sup>連携大学院

## 謝辞

中性粒子Heの衝突輻射モデルは核融合研の後藤先生に頂いたものです。  
He I線分光器は量研機構の仲野先生から貸して頂いているものです。  
ご協力ありがとうございます。

1. 研究背景・目的
2. 実験装置
3. 実験結果・考察
4. まとめ・今後の課題

- GAMMA 10/PDXの西エンド部にダイバータ模擬実験装置(D-module)が設置されており、端損失プラズマを照射することでダイバータ模擬実験が行われている[1]。
- D-module内のV字ターゲット板上には静電プローブが設置されており、電子温度 $T_e$ や電子密度 $n_e$ を計測している。
- ダイバータ模擬プラズマの研究にはターゲット板上の計測に加えて、プラズマ中央部の $T_e$ と $n_e$ の情報が必要である。
- プラズマの $T_e$ や $n_e$ を計測するために、衝突輻射モデル(CRモデル)[2]を用いたHe I線強度比法を適応した。
- この方法は、多くの装置で使われている[3-5]
- 分光器に干渉フィルターと光電子増倍管 (PMT)を用いているため、He I(728.1nm)/He I(706.5nm)とHe I(667.8nm)/He I(728.1nm)の2つの強度比を高時間分解能で計測できる。

端損失プラズマにHeガスを供給し、He I線強度比法を用いて計測した $T_e$ と静電プローブより計測した $T_e$ の比較及びセントラル部のECH(Electron Cyclotron Heating)による過渡的熱流束が与えられた時の $T_e$ の時間変化を調べることを目的とし、ダイバータ模擬実験を行った。

[1] Y. Nakashima et al: Nucl. Fusion 57 (2017) 116033.

[2] M.Goto Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer 76 (2003) 331–344.

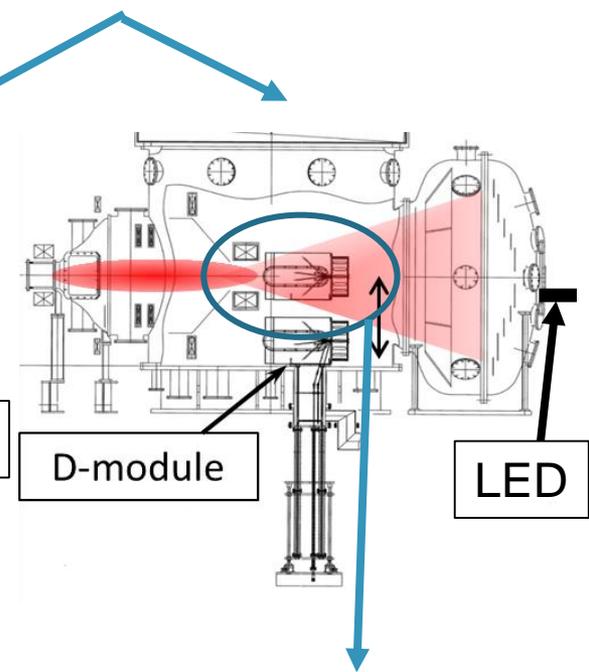
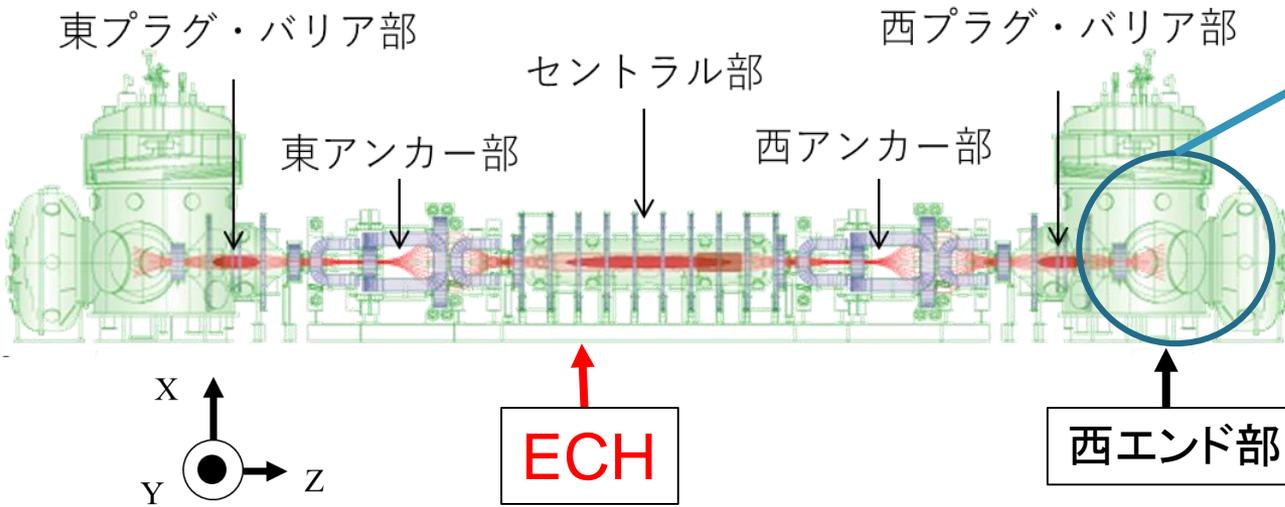
[3] T Nakano, H Kubo and N Asakura: J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 43 (2010) 144014.

[4] Y.lida: Rev. Sci. Instrum. 81. (2010) 10E511.

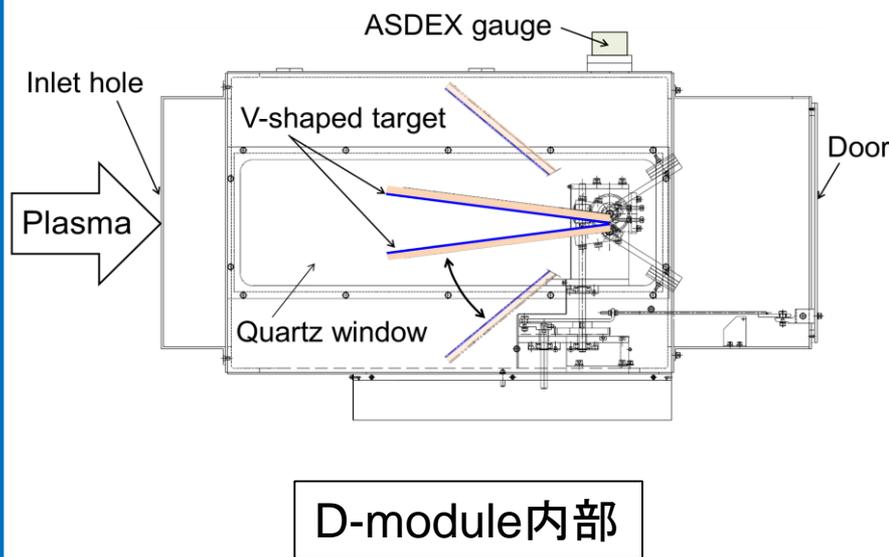
[5] M.Goto, K. Sawada: Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer 137 (2014) 23-28.

- 1.研究背景・目的
- 2.実験装置
- 3.実験結果・考察
- 4.まとめ・今後の課題

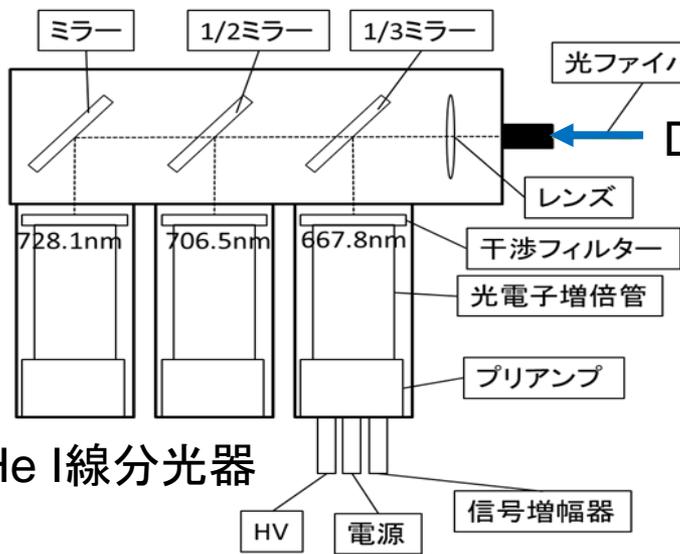
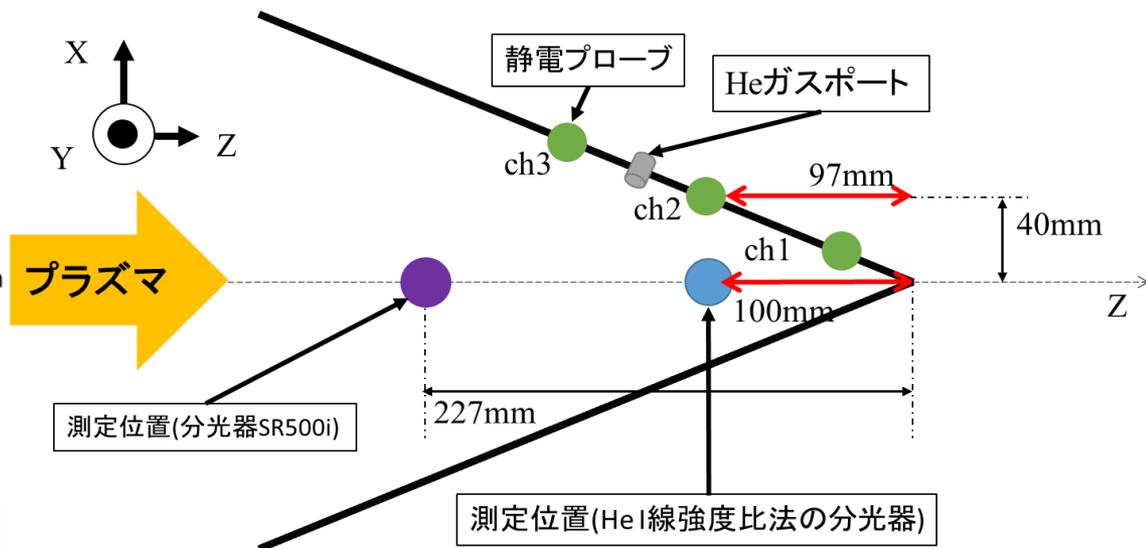
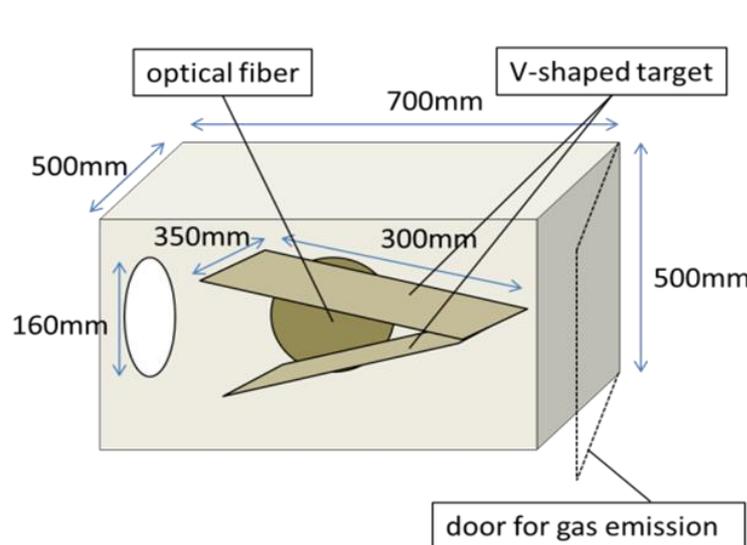
# 実験装置(GAMMA 10/PDX)



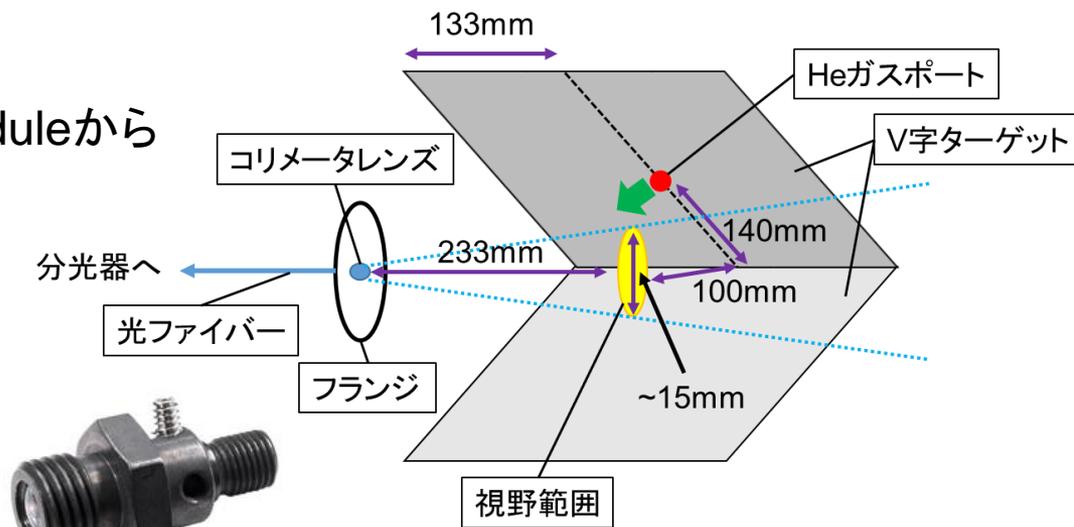
- GAMMA 10/PDXはタンデムミラー型プラズマ閉じ込め装置。
- セントラル部でICRF加熱とガスパフによって、**水素プラズマ**を生成・維持し、エンド部にそのプラズマが端損失する。
- 西エンド部にダイバータ模擬装置(D-module)があり、その内部にV字ターゲットが設置されており、ダイバータ領域を模擬する。
- 西エンド部にある多重グリッド型静電エネルギー分析器(LED)によって端損失電子のエネルギースペクトルを計測。



# 実験装置(静電プローブ,分光器SR500i,He I線分光器) 6



## D-module内部



量研機構のJT-60Uで使用されたもの

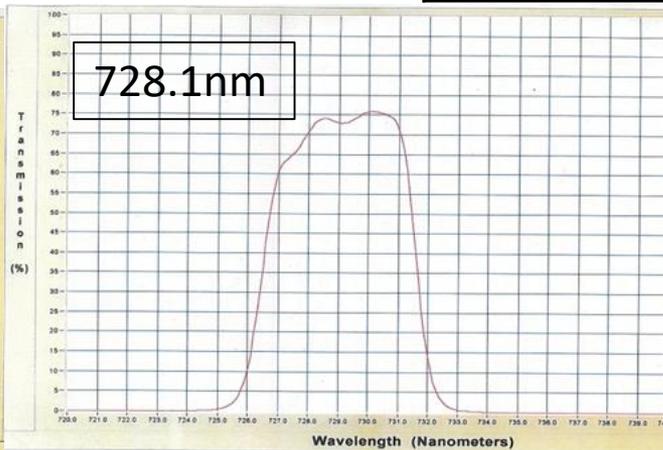
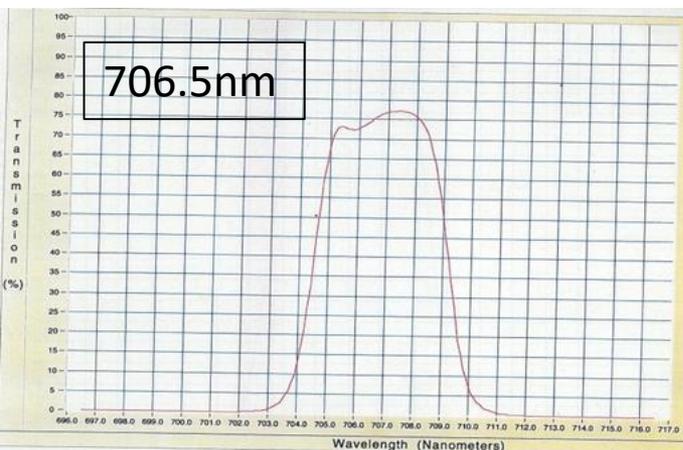
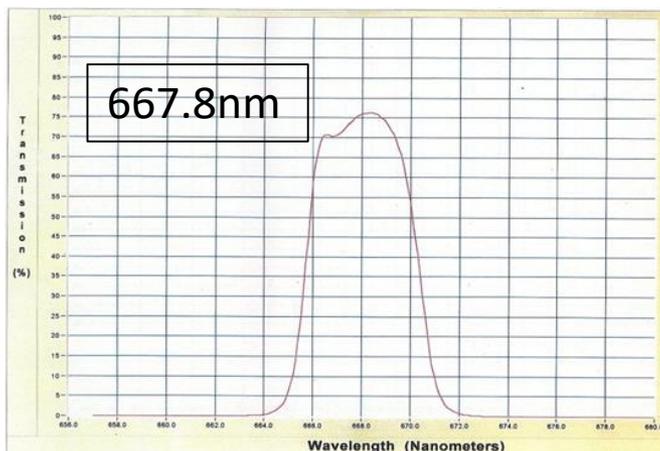
74-UV コリメーティングレンズ  
オーシャンオプティクス社製

レンズ径	焦点距離	範囲
5 mm	10 mm	200-2000 nm

# 実験装置(He I線分光器の干渉フィルター, SR500i)

干渉フィルター	中央波長	半値幅	透過率
667.8nm	668.02nm	4.64nm	76.26%
706.5nm	706.86nm	4.74nm	77.21%
728.1nm	729.08nm	5.11nm	75.80%

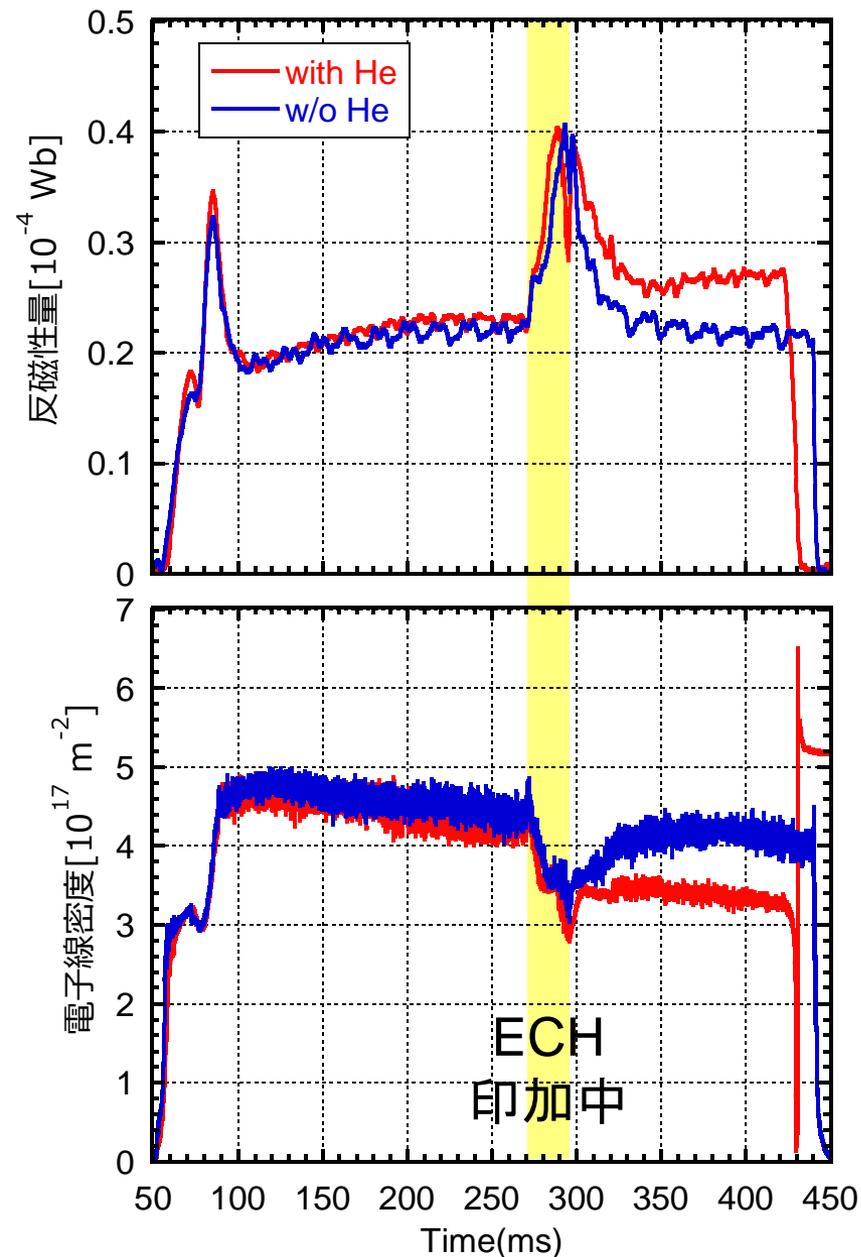
Shamrock500i(From ANDOR)	
Specifications	
Format	ShamRock 500i(ANDOR)
Grating	150/600/1200/1800/2400
Wavelength resolution	0.018 nm@372.26 nm
Band pass	15 nm(2400L/mm)
Slit width	10 μm~2.5 mm
Pixel size	16 μm×16 μm (1600×200pixel)
Exposure time	10 ms~



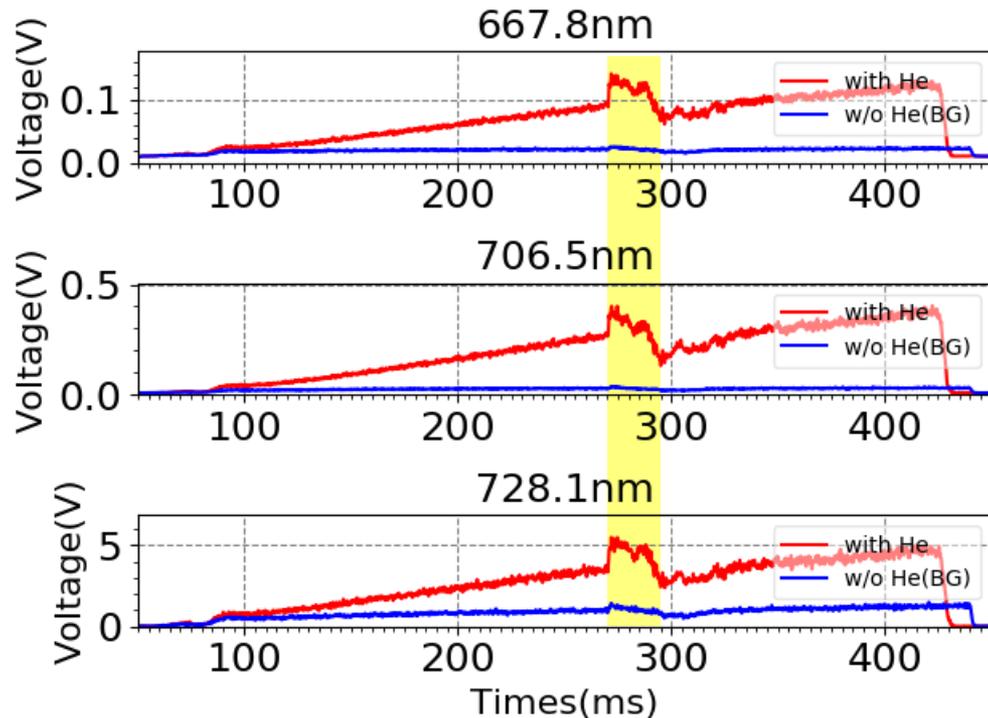
Shamrock500i

- 1.研究背景・目的
- 2.実験装置
- 3.実験結果・考察**
- 4.まとめ・今後の課題

## セントラル部

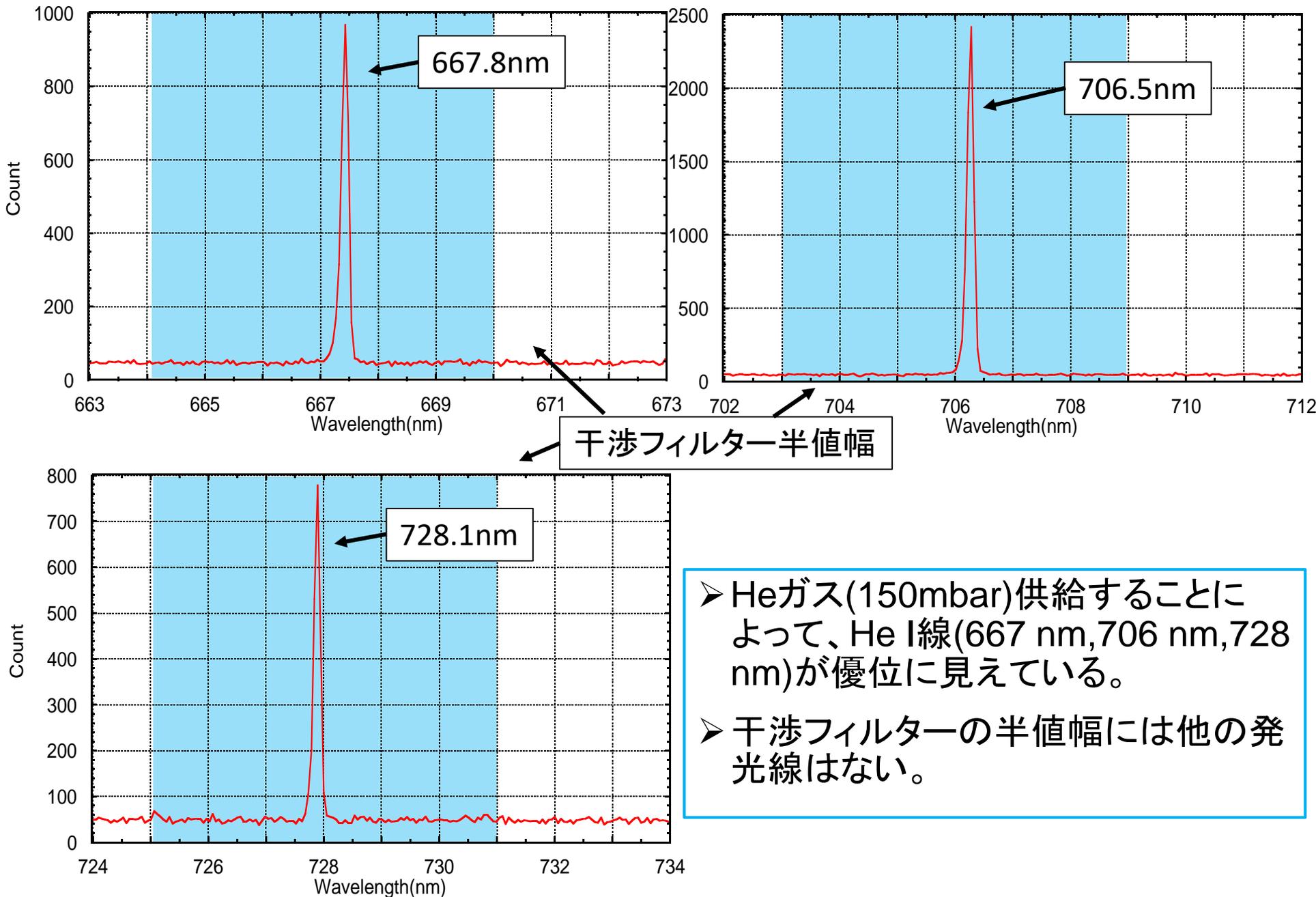


## He I線分光器から得られた生データ



- Heガスを150mbarでプラズマ点火と同時に入射した。
- ここでのプレナム圧力はリザーバータンクに貯めた圧力のこと。
- セントラル部のECHを50kWで25ms間印加した。

# 実験結果(SR500iによるHe I線の確認)



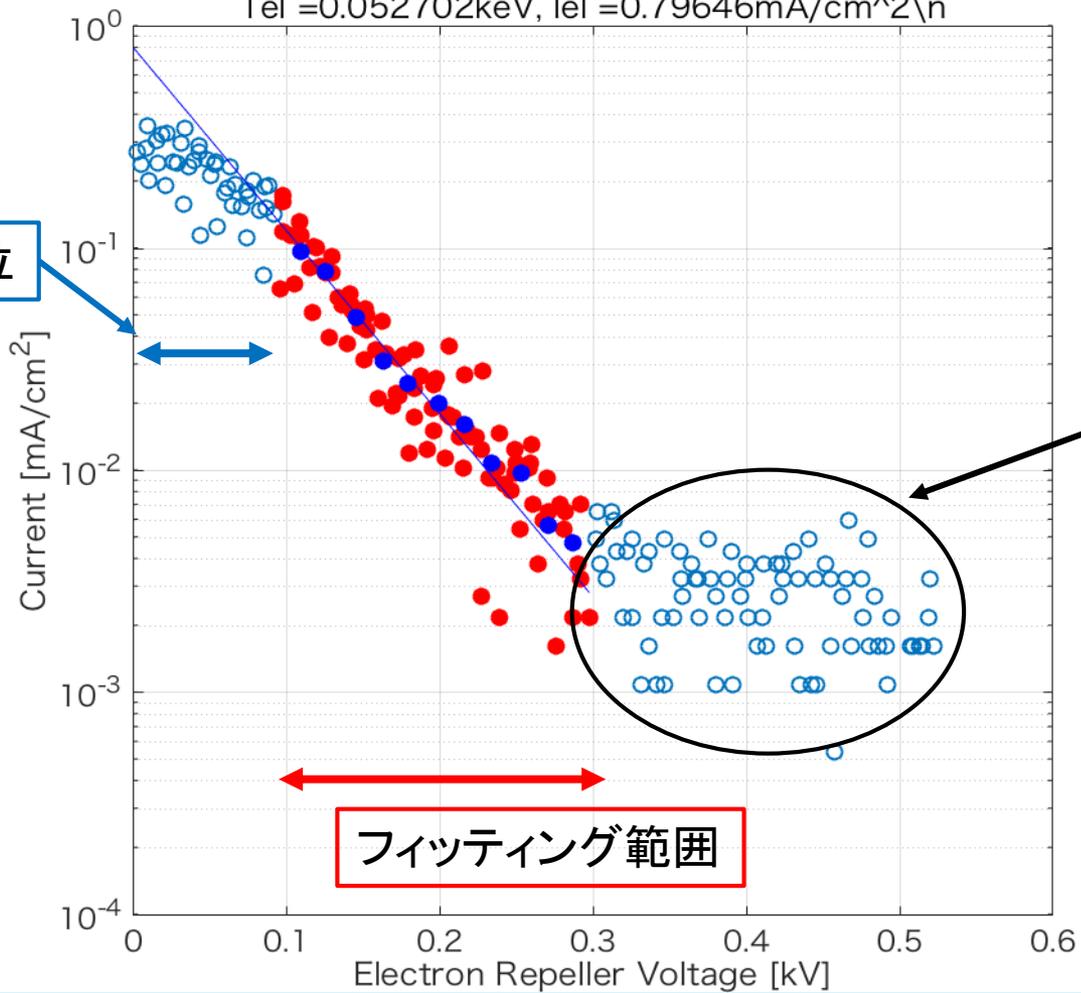
- Heガス(150mbar)供給することによって、He I線(667 nm, 706 nm, 728 nm)が優位に見えている。
- 干渉フィルターの半値幅には他の発光線はない。

# 実験結果(LEDによる電子のエネルギースペクトルの確認)

11

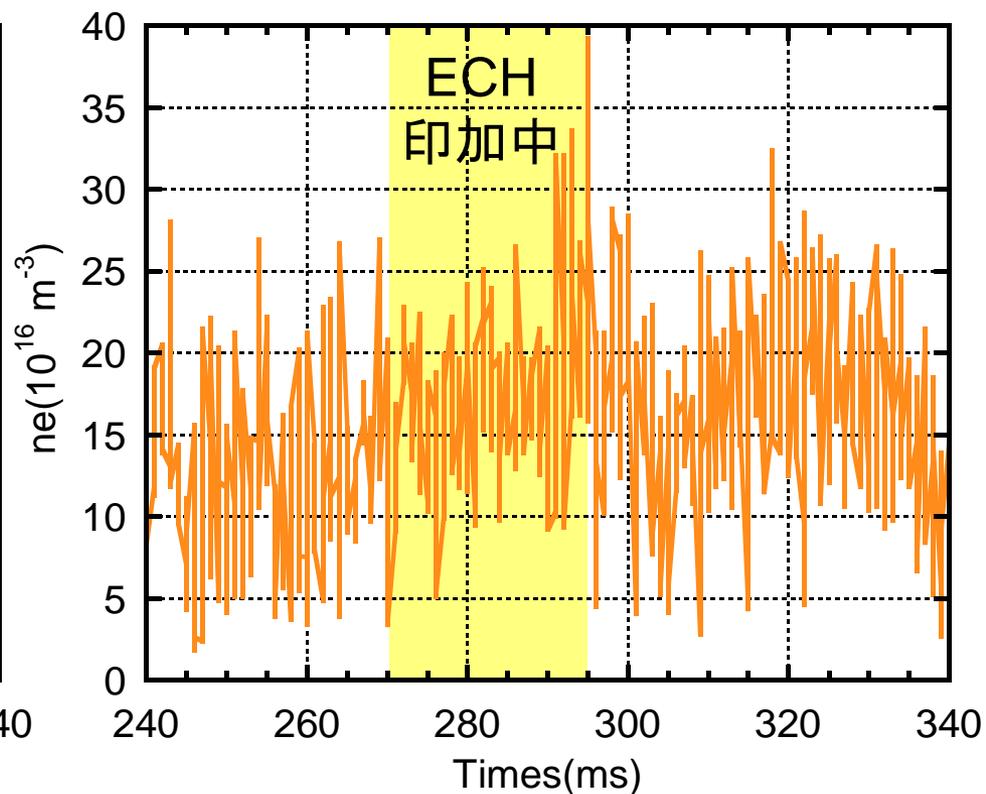
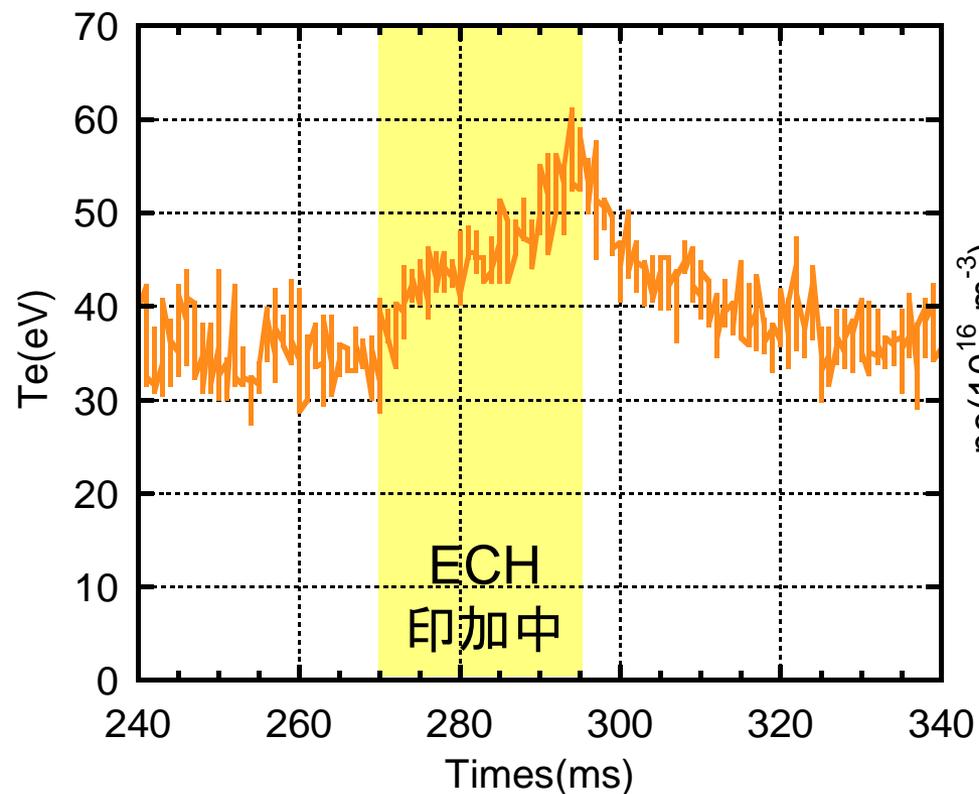
Tel = 0.052702keV, Iel = 0.79646mA/cm<sup>2</sup>

エンドプレート電位

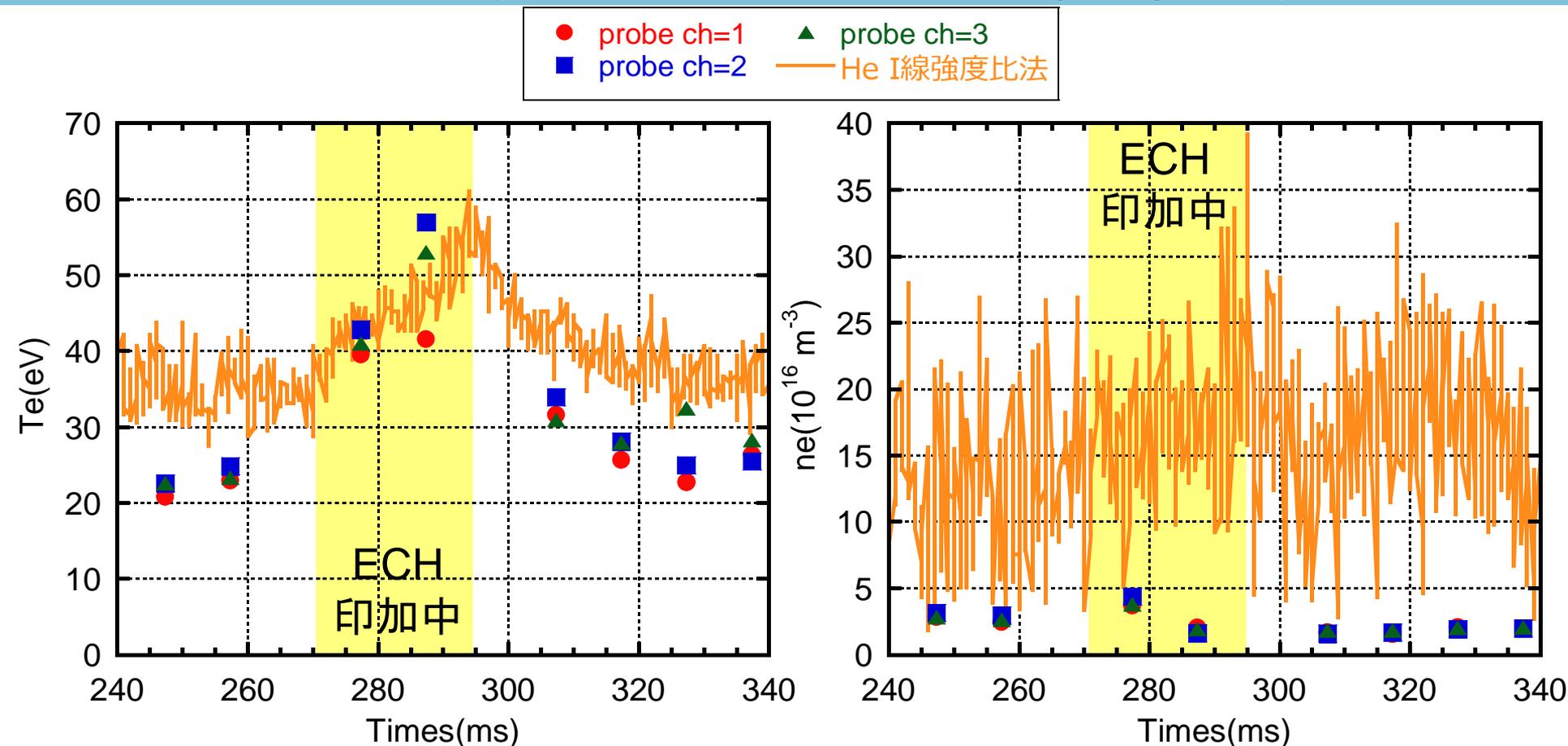


- 本実験において高温成分(高速電子)は観測されなかった。
- $T_e$ は1成分のマクスウェル分布。
- ECH印加による加熱効果がある時間帯でも本実験では我々のCRモデルを適用することができる。

— He I線強度比法



- 本研究では時間平均して0.2msで計算した。
- ECH印加中の $T_e$ は35eVから60eVまで直線的に上昇し続けた。
- ECH印加後の $T_e$ はECH印加前に戻った。
- $n_e$ はECH印加に依らず $1.5 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$ 程度であった。



- ECH 印加前では He I 線強度比法から得られた $T_e$ は静電プローブから得られた $T_e$ よりも約 40 % 高かった。
- ECH 印加中では、 $T_e$ はともに同程度になった。
- He I 線強度比法から得られた $n_e$ は静電プローブから得られた $n_e$ より3倍以上高かった。

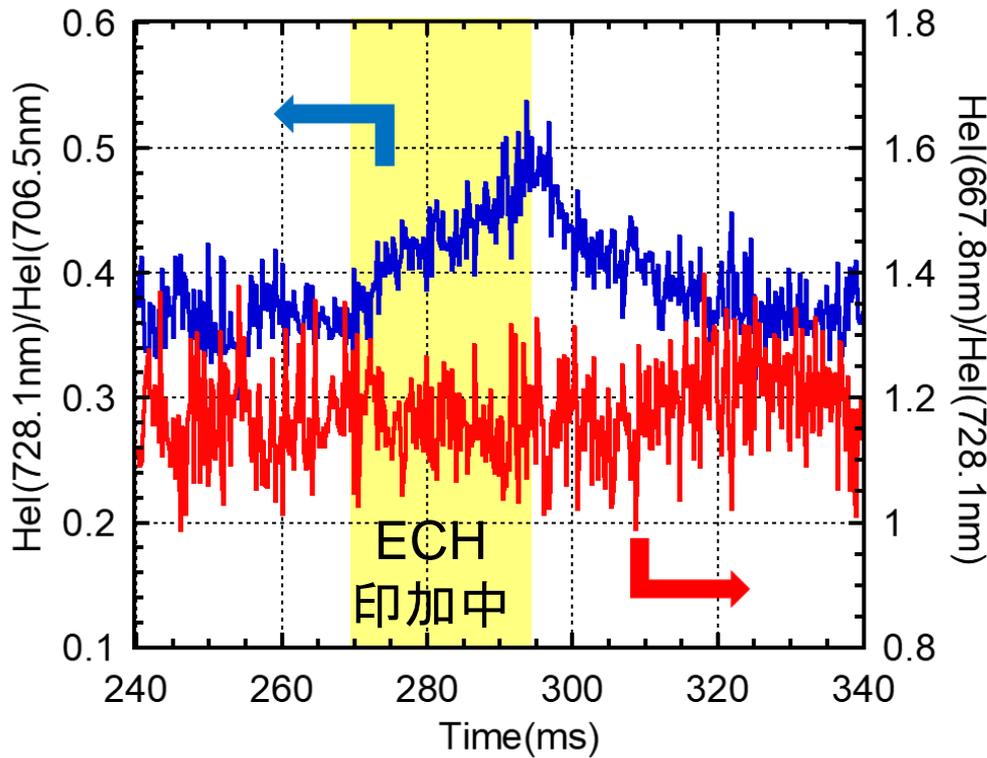
# 考察(He I線強度比法から $n_e$ が評価できなかった原因) 14

## ➤ He I(728 nm)/He I(706 nm)

- ECH印加前 0.34~0.42
- ECH印加中 0.36~0.52

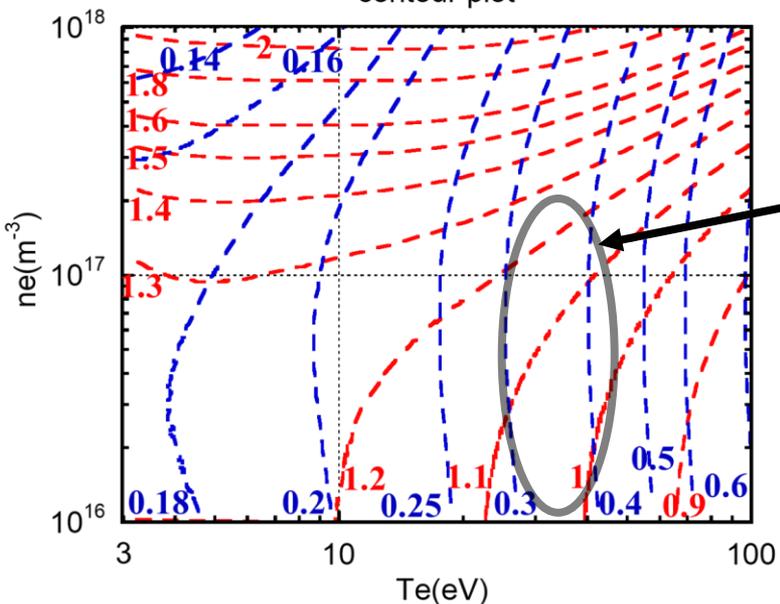
## ➤ He I(667 nm)/He I(728 nm)

- ECH印加前 1.0~1.4
- ECH印加中 1.0~1.3



He I(728.1nm)/He I(706.5nm) | He I(667.8nm)/He I(728.1nm)

contour plot

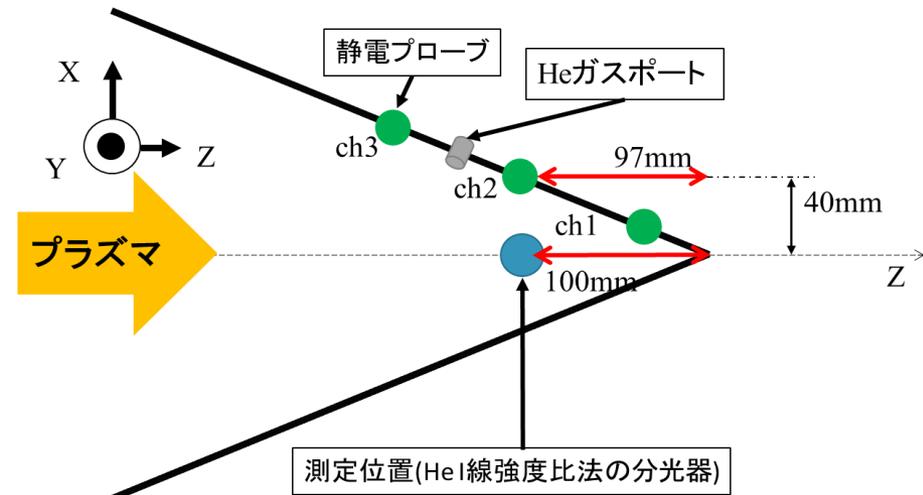
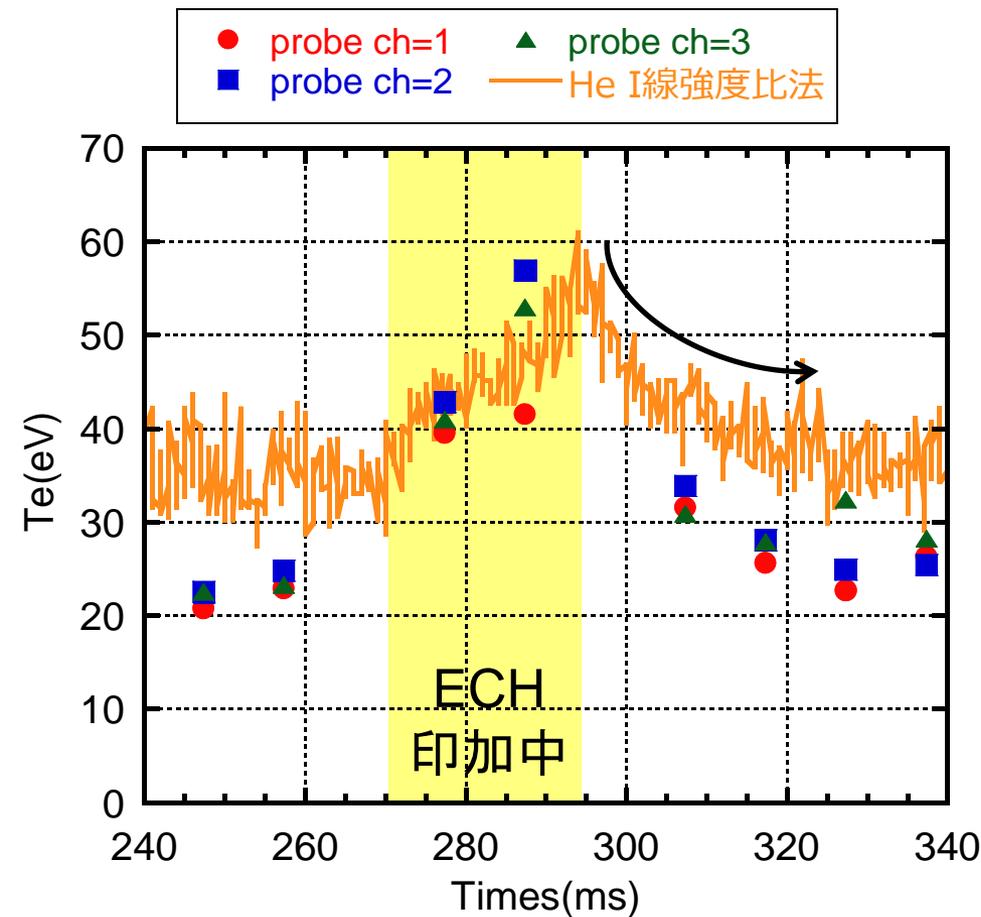


ECH印加前の2つの強度比の範囲

$n_e$ は $T_e$ の変化に影響を受けている

$T_e$ は $n_e$ の変化に鈍感

➤ この測定範囲では $T_e$ の精度は良く、  
 $n_e$ の精度は悪いということが分かる。



- He I線強度比法の $T_e$ はプローブとの測定位置の違いを反映している。
- ECH印加後は約19msの時定数で減少した。

- 1.研究背景・目的
- 2.実験装置
- 3.実験結果・考察
- 4.まとめ・今後の課題

端損失プラズマにHeガスを供給し、He I線強度比法を用いて計測した $T_e$ と静電プローブより計測した $T_e$ の比較及びセントラル部のECH(Electron Cyclotron Heating)による過渡的熱流束が与えられた時の $T_e$ の時間変化を調べることを目的とし、

ダイバータ模擬実験を行った。

- GAMMA 10/PDXにおけるHe I線強度比法では、 $T_e$ は評価することができたが、 $n_e$ は評価することができなかった。
- 25ms間セントラルECH(50kW)印加中に、He I線強度比法で測定した $T_e$ は35eVから60eVまで上昇し続けた。ECH印加後は約19msの時定数で減少することが分かった。
- ECH印加前ではHe I線強度比法から得られた $T_e$ は静電プローブから得られた $T_e$ よりも約40%高かった。ECH印加中では、 $T_e$ はともに同程度になった。
- He I線強度比法で測定した $T_e$ はD-module内の空間分布(測定位置の違い)を反映していると考えられる。

## 今後の課題

- ECH印加後の時定数が約19msであったことの物理機構について検討する。
- He I線の測定位置を増設する。
- 高速電子が生成されるP/B-ECH時にHe I線強度比法から計算された $T_e$ がどのように変化するかを調べる。