

ヘリオトロンJにおけるペレット溶発雲の
2次元計測のための変倍分光器の開発

**Development of Non-unity Magnification Spectrometer for
the 2-dimensional Spectroscopy for Hydrogen Pellet Ablation Cloud
in Heliotron J**

*森敦樹¹, 門信一郎², 本島巖³, 岩田晃拓¹, 岡野竜成¹, 馮超¹,
岡田浩之², 南貴司², 大島慎介², 小林進二²,
中村祐司¹, 石澤明宏¹, 木島滋², 水内亨², 長崎百伸²

*A. Mori¹, S. Kado², G. Motojima³, H.Okada², T. Minami², S. Ohshima², *et al.*

¹京大エネ化, ²京大エネ理工研, ³核融合科学研究所
¹GSES, Kyoto Univ., ²IAE, Kyoto Univ., ³NIFS

ヘリオトロンJへの水素燃料供給方法の一つ
に固体水素ペレットを入射する方法がある。入
射された固体水素ペレットは溶発の過程で周
囲に低温・高密度の溶発雲を生成することが知
られており、溶発雲の発光スペクトルを測定す
ることによってその電子密度・電子温度を求め
る手法が提案されている。

電子密度の評価はH_β(486.13 nm)のシュタルク
ク広がり測定を行う。ヘリオトロンJ
に入射される小型ペレット[1]による溶発雲の
電子密度は10²⁰ m⁻³程度と低くなることが予備
的研究で示唆されている。文献[2]の計算コード
によってこの電子密度に対応したシュタルク
広がり計算すると0.027nmである。分解能を
装置関数の半値全幅で定義したとき、シュタルク

ク広がり装置関数の数%となるよう分解能の
目標値を0.3nmに定めた。一方電子温度は、連
続光が有意に検出できる場合にはH_α線との強
度比によって求められる。

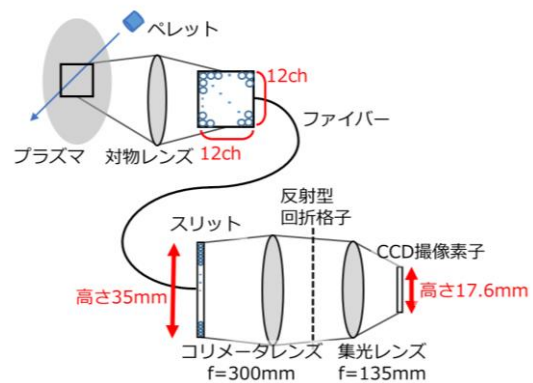


図 1. 分光器の概略図 (簡単のため回折格子は透過型として記載している)

製作した分光器の概略図を図1に示す。2次元計測のため、本装置では12×12 chに2次元配列された受光部を持つファイバー(コア/クラッド径 = 200/230 μm)に対物レンズで溶発雲からの

発光を結像させる。ファイバーの他端では144 chが縦1列高さ35 mmに並び替えられ分光器へ入射される。分光器には反射型回折格子(1200 lines/mm)及び2つの写真レンズ(f 300 mm・F4.5, f 135 mm・F2)を用いた。実効値F値は4.5である。検出器には高速度CCD (FASTCAM-APX RS, 素子数1024×1024 pix, 撮像素子サイズ17.4×17.4 mm²)を用いた。本装置では、結像倍率を変えることにより撮影素子17.4 mmで高さ35 mmのスリットを計測することを可能としている。フレームレートは全画系で3 kHzであるが、用いたCCDは素子数を1024×256 pixに制限することで10 kHzに上げることができる。ヘリオトロンJにおけるH_βスペクトルの発光時間は1 ms程度であり、本装置によって時間発展計測が可能である。

製作した分光器の逆線分散の実測値は4.652

nm/mmであり、理論式に基づく設計値4.666

参考文献

- [1] G. Motojima et al., Rev. Sci. Instrum. 87, 103503 (2016)
- [2] C. Stehle and R. Hutchenon, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **140**, 93 (1999).

ヘリオトロンJにおけるペレット溶発雲の
2次元計測のための変倍分光器の開発

**Development of Non-unity Magnification Spectrometer for
the 2-dimensional Spectroscopy for Hydrogen Pellet Ablation Cloud
in Heliotron J**

*森敦樹¹, 門信一郎², 本島巖³, 岩田晃拓¹, 岡野竜成¹, 馮超¹,
岡田浩之², 南貴司², 大島慎介², 小林進二²,
中村祐司¹, 石澤明宏¹, 木島滋², 水内亨², 長崎百伸²

*A. Mori¹, S. Kado², G. Motojima³, H. Okada², T. Minami², S. Ohshima², *et al.*

¹京大エネ化, ²京大エネ理工研, ³核融合科学研究所
¹GSES, Kyoto Univ., ²IAE, Kyoto Univ., ³NIFS

ヘリオトロンJへの水素燃料供給方法の一つに固体水素ペレットを入射する方法がある。入射された固体水素ペレットは溶発の過程で周囲に低温・高密度の溶発雲を生成することが知られており、溶発雲の発光スペクトルを測定することでその電子密度・電子温度を求める手法が提案されている。

電子密度の評価は H_{β} (486.13 nm)のシュタルク広がりを測定することで行う。ヘリオトロンJに入射される小型ペレット[1]による溶発雲の電子密度は 10^{20} m^{-3} 程度と低くなるのが予備的研究で示唆されている。文献[2]の計算コードによってこの電子密度に対応したシュタルク広がりを計算すると0.027nmである。分解能を装置関数の半値全幅で定義したとき、シュタルク広がりが装置関数の数%となるよう分解能の目標値を0.3nmに定めた。一方電子温度は、連

続光が有意に検出できる場合には H_{α} 線との強度比によって求められる。

製作した分光器の概略図を図1に示す。2次元計測のため、本装置では12×12 chに2次元配列された受光部を持つファイバー(コア/クラッド径 = 200/230 μm)に対物レンズで溶発雲からの発光を結像させる。ファイバーの他端では144 chが縦1列高さ35 mmに並び替えられ分光器へ入射される。分光器には反射型回折格子(1200 lines/mm)及び2つの写真レンズ(f 300 mm F4.5及びf 135 mm F2)を用いた。実効F値は4.5である。検出器には高速度CCD (FASTCAM-APX RS, 素子数1024×1024 pix, 撮像素子サイズ17.4×17.4 mm^2)を用いた。本装置では、結像倍率を変えることにより撮像素子17.4 mmで高さ35 mmのスリットを計測することを可能としている。フレームレートは全画素で3 kHzであるが、用いたCCDは素子数を1024×256 pixに制限することで10 kHzに上げることができる。ヘリオトロンJにおける H_{β} スペクトルの発光時間は1 ms程度であり、本装置によって時間発展計測が可能である。

製作した分光器の逆線分散の実測値は4.652 nm/mmであり、理論式に基づく設計値4.666 nm/mmに0.28%の範囲で一致した。

参考文献

- [1] G. Motojima et al., Rev. Sci. Instrum. 87, 103503 (2016)
[2] C. Stehle and R. Hutchenon, Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 140, 93 (1999).

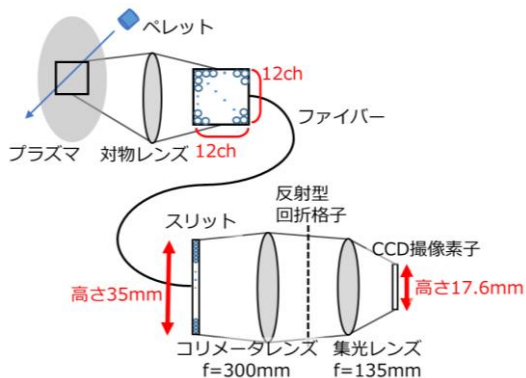


図1. 分光器の概略図 (簡単のため回折格子は透過型として記載している)