

イオン温度揺動計測のための高速ドップラー計測分光器開発
**Development of fast measurement Doppler spectrometer for ion
 temperature fluctuation**

岡本敦, 北島純男¹, 先砥達也, 下岡祐介, 伊藤宏真, 杉岡諒一, 村岡賢治, 安田幸平, 横山亮磨,
 有本英樹, 藤田隆明

Atsushi OKAMOTO, Sumio KITAJIMA¹, Tatsuya SAKITO, Yuusuke SHIMOOKA,
 Hiromasa ITOU, Ryouichi SUGIOKA, Kenji MURAOKA, Kouhei YASUDA,
 Ryouma YOKOYAMA, Hideki ARIMOTO, Takaaki FUJITA

名大院工, 東北大院工¹
 Nagoya Univ., Tohoku Univ.¹

磁場閉じ込めプラズマに発生する揺動の理解と制御のため、様々な揺動計測が行われてきた。径方向熱流束の高精度診断のためには、電子温度や密度の揺動に加えイオン温度揺動の計測も重要となる。我々は磁場閉じ込めプラズマのイオン温度揺動計測法の開発に着手した。本講演では、計測の基盤となる専用分光器の概念設計と、ターゲットプラズマのパラメータ調査結果について報告する。

イオン温度は当該イオンからの線スペクトル放射のドップラー拡がりを利用して計測することができ、高分解能分光器と CCD 検出器の組み合わせによる低時間分解能計測がこれまで行われてきた [1]。時間分解能は、撮像素子の動作速度の他に、単位素子あたりの受光光子数で決まる S/N の制約を受けている。そこで、同じ受光立体角の計測システムで時間分解能を向上させるためには、検出器の素子数を減らしつつ、スペクトル形状の変化を捉えることが重要となる。本研究では検出器を二素子まで減らした場合のスペクトル形状の変化に対する信号の応答を調査する。ドップラー拡がりを評価するために、回折格子で波長分散した光を分岐し、スペクトル全体を受光する検出器と、狭いスリットにより一部の波長範囲のみ受光する検出器で同時計測する分光器を考案した。検出器に光電子増倍管を用いることで、高時間分解計測を可能としている。分光器の主な仕様は、焦点距離 $f = 850$ mm, 回折格子刻線数 2400/mm であり、設計上の逆線分散は 0.4 nm/mm である。例えばヘリウムイオン (HeII, 468.6 nm) を計測対象とすると、 $T_i = 1$ eV のとき、ドップラー拡がり は 0.01 nm 程度となり、スリット面で 25 μ m 程度の広がりとなる。スリットを適切に選択することで、数 eV のイオン温度領域でイオン温度の変化が計測可能である。

TOKASTAR-2におけるトカマク放電を、原理検証実験のためのターゲットとして検討した。TOKASTAR-2はトロイダル磁場強度 $B \sim 0.1$ T の装置で、大半径 $R \sim 0.1$ m, 小半径 $a \sim 0.05$ m のプラズマを閉じ込める。プラズマ電流 $I_p \sim 1$ kA を 0.1-1ms 程度駆動する。この時間内のイオン温度変化を計測することで、数 kHz のイオン温度揺動計測に要求される時間分解能を模擬し、計測法の原理検証を行う。

分光感度較正を行った低分解能ポリクロメータを用いてスペクトル強度を調査した。実験にはヘリウムプラズマを用いた。放電はベースに ECH プラズマを 2 ms 生成し、その間にオーミック加熱によりプラズマ電流を 0.2 ms 立ち上げた。時間分解能の制約のため、トカマク放電成功時のスペクトル強度とベースの ECH プラズマにおけるスペクトル強度の差分により、トカマク放電時の線スペクトル強度を評価した。イオン線スペクトルは S/N が悪く同定に至らなかったが、ヘリウム原子線スペクトル強度がトカマク放電では ECH プラズマの 10-20 倍程度に増加することが明らかになった。例として He I ($2^3P - 3^1S$, 706.5 nm) では、ECH プラズマからの放射 6.2×10^{12} photons/s/sr/cm² が得られたのに対し、トカマク放電では 1.0×10^{14} photons/s/sr/cm² であった。これは直観的には電子密度が 1 桁程度増加していることを示唆し、イオン線スペクトル強度の n_e^2 に比例する増加が期待できる。線スペクトル強度の電子温度依存性も考慮し定量的な検討を行っている。

本研究は科研費補助金 (24246152) および核融合科学研究所共同研究 (NIFS14KOAP027, NIFS14KBAP024) により支援されている。

[1] T. Oku, et al., Plasma Fusion Res. **9**, 3402051 (2014).