

核融合プラズマ中原子輝線スペクトルのゼーマン効果高感度計測に向けた近赤外分光システム開発

Development of an NIR spectroscopic system for high-sensitivity measurements of Zeeman effects on atomic emission lines in fusion plasmas

上野陽平¹⁾, 四竈泰一¹⁾, 茶谷智樹¹⁾, 門信一郎²⁾, 川染勇人³⁾, 岡田浩之²⁾,
 松岡雷士⁴⁾, 南貴司²⁾, 小林進二²⁾, 大島慎介²⁾, 石澤明宏⁵⁾, 中村祐司⁵⁾,
 木島滋²⁾, 水内亨²⁾, 長崎百伸²⁾, 蓮尾昌裕¹⁾
 UENO Yohei¹⁾, SHIKAMA Taiichi¹⁾, CHATANI Tomoki¹⁾,
 KADO Shinichiro²⁾, KAWAZOME Hayato³⁾, *et al.*

¹⁾京大院工, ²⁾京大エネ研, ³⁾香川高専情報工, ⁴⁾広工大工, ⁵⁾京大院エネ科
^{1,2,5)}Kyoto Univ., ³⁾Kagawa College, ⁴⁾Hiroshima Institute of Technology

磁場閉じ込めプラズマには磁場の空間分布が存在し、プラズマ中のイオンや原子の輝線は発光位置に応じて異なる大きさのゼーマン効果を受ける。このため、輝線のゼーマン効果から磁場を求めることができれば、発光位置の情報を得ることができる[1]。

ゼーマン効果は輝線の波長分裂として観測されるが、可視輝線では、多くの場合に波長分裂がドップラー広がりや装置幅と同程度となり、磁場を正確に求めることが難しい。そこで本研究では、ゼーマン効果とドップラー効果・装置幅の波長依存性の違い（前者は2乗、後者は1乗以下に比例）に着目し、近赤外輝線を観測することで、ゼーマン効果を可視よりも高感度で計測することを試みた。

ヘリオトロンJ装置の図1に示すポロイダル断面で、新規開発した分光システムを用いてLCFS付近に存在するヘリウム原子 2^3S-2^3P 輝線（波長 1083 nm）を観測した。計測可能な波長範囲を 1.0-2.2 μm 、波長分解能を 1 T の磁場中でゼーマン効果を観測可能な値である約 100 pm として設計した。図の視線は磁場と垂直に近く、 π , σ 成分を直交する直線偏光として分離集光した。集光した光は、バンドル光ファイバ

を用いて伝送し、ツェルニターナ型分光器（焦点距離 1 m, 回折格子 720 本/mm）にダブルスリット（幅 100 μm ）を通して入射した。分光器出口では、波長方向にずれて重なった π , σ 成分のスペクトルを InGaAs リニアアレイ（512 画素）で検出した。重なった π , σ 成分のスペクトルそれぞれに対して感度及び波長較正を行い解析に使用した。

ヘリウム原子 2^3S-2^3P 輝線は、1次および2次回折光の両方で計測可能なため、波長分解能が高い2次回折光を使用した。同一条件のECH放電（240 kW）において露光時間 120 ms で計測したスペクトルを 10 回分積算平均して使用した（図2）。波長分解能は約 45 pm である。内側及び外側 LCFS 付近の発光を 2 点の局在発光と仮定し、スペクトル形状を決めるパラメータとしてそれぞれの位置での磁場強度、発光強度、温度、視線方向速度を仮定して π , σ 成分のスペクトルを同時にフィッティングした。その結果、破線のように内側、外側のスペクトルが推定され、視線積分スペクトルを空間分解できることを確認した。

[1] T. Shikama *et al.*, *Plasma Phys. Control. Fusion* **61**, 025001 (2019)

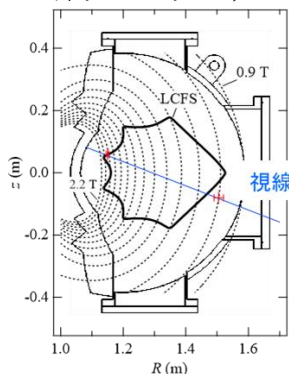


図1. ヘリオトロンJポロイダル断面と計測視線

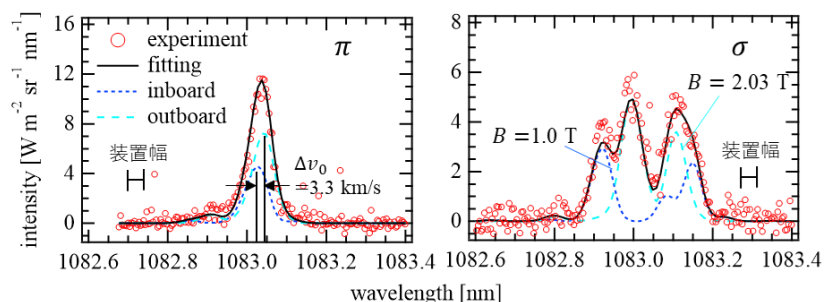


図2. HeI 2^3S-2^3P 線スペクトルの π , σ 成分と2点での発光を仮定したフィッティング結果 (#77344-50,52-55)