

(9) LHD 周辺プラズマにおける水素原子・分子輸送機構の解明(偏光プラズマ分光) スーパーSINET を利用した分光器のリモート操作によるスペクトルデータ解析

責任者	岩前 敦	京都大学大学院工学研究科
参加研究者	安宅 誠	京都大学大学院工学研究科
	坂上 篤史	京都大学大学院工学研究科
	後藤 基志	核融合科学研究所
	片井 隆志	核融合科学研究所
	森田 繁	核融合科学研究所
	澤田 圭司	信州大学工学部

はじめに

磁場閉じ込めプラズマにおいて、周辺領域における中性水素原子・分子は、粒子リサイクリングを通じてプラズマ全体の粒子バランス・エネルギーバランスに重要な役割を担っている。周辺プラズマで起こる水素原子・分子の電離、再結合、解離等の反応や粒子の空間的な流れ等の詳細な情報は、プラズマの密度・温度分布、Hモードなど主プラズマの理解を進めるにも不可欠である。長時間放電では特に水素リサイクリングの理解が重要となる。しかしながら、周辺部の水素原子・分子の挙動やプラズマパラメータ等は十分に明らかになっていない。

後藤・森田はLHDにおいてヘリウム原子についてHe I 発光線(1728.1 nm, 1667.8 nm)のゼーマン分離スペクトルプロファイルと観測ポロイダル面の磁場強度から視線上の2ヶ所の発光位置と視線方向相対速度を決定した[1]。水素原子バルマー(H)線は、偏光を分けない測定ではそのゼーマン分離スペクトルプロファイルが分離して観測されなかった。しかしながらLHD赤道面近傍の1視線において互いに垂直な偏光に分け同時に計測し、プラズマ中磁場パラメータと組み合わせることによってバルマー線の発光位置、原子温度、プラズマ中心方向への移動速度が決定された[2]。荷電交換衝突の結果と思われる高温成分のほか、トーラス内側、外側ともに低温、中温の2成分が同定された。後者は水素分子ないし分子イオン起源であることが示唆された。

研究目的

ポロイダル断面全体を計測する複数の偏光分離観測視線を設け、各視線で観測されるプロファイルと発光線上準位原子密度を計測する。中性粒子輸送コードによってスペクトルプロファイルの再現シミュレーションを行い水素リサイクリングについての知見を得る。H線スペクトル強度比による、水素原子・分子密度の推定[3,4]、加えてヘリウム発光線強度比を利用したプラズマの電子密度・電子温度の推定[5,6]を行い、これら情報を中性粒子輸送コードにフィードバックし粒子輸送機構に対する知見を得る。

実験

ポロイダル断面全体を計測する複数の偏光分離観測視線を設けた。京都大学から新たに高分解能分光器(Jobin Yvon THR-1000, 焦点距離 1 m, 回折格子 2400 本/mm)を移設し, LHD 本体室に既設の高分解能分光器(McPherson209 焦点距離 1.3 m 回折格子 1800 本/mm)と共に京都大学エネルギー科学研究科プラズマ実験棟から波長設定・CCD制御を行い, LHD放電時にスペクトルデータ取得した。図 1 にヘリウムガス放電(ショット番号 63566)の He I 587.6 nm(2^3P-3^3D), 706.5 nm(2^3P-3^3S)発光線のスペクトルプロファイルを示す。587.6 nm発光線はJobin Yvon分光器により取得し, 706.5 nm発光線はMcPherson分光器により得た。この放電ではFIR(nI)3750 の線平均電子密度が時間 $t=0.8$ s で $4 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ から $t=1.2$ s で $15 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ に上昇した。プラズマ中心での線平均密度が上昇と周辺部のヘリウム原子スペクトルの広がりに関連のあることが見出された。観測系は絶対感度較正がなされており, 発光線強度比と衝突輻射モデルによる解析から電子密度を得る。

澤田の開発した粒子シミュレーションコードによりLHD周辺プラズマ中の水素原子 $n = 3$ のポピュレーション分布を得た。LHDの磁場ベクトル情報を与え励起状態原子の視線方向速度分布からH 線の発光プロファイルを再構成した。図 2 に L H D 赤道面付近(高さ $z = -0.38$ m) での実験との比較を示す。偏光方向は 45° , -45° に分離した。荷電交換による広がったスペクトルの上に, 水素分子からの解離によりエネルギーを得た水素原子のプロファイルが重なっている。シミュレーションでは周辺プラズマのパラメーターを $T_e = 0.1$ eV, $n_e = 10^{16} \text{m}^{-3}$ とした。今後, 線強度比による観測から得た温度密度データをシミュレーションコードに取り込み実験でのプロファイルの再現を精査する。

参考文献

1. M. Goto and S. Morita, Phys. Rev. E **65** (2002) 026401
2. A. Iwamae *et al.*, Phys. Plasmas **12** (2005) 042502
3. T. Fujimoto *et al.*, Nucl. Fusion **28** (1988) 1255
4. T. Fujimoto *et al.*, J. Appl. Phys. **66** (1989) 2315
5. M. Goto, J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer **78** (2003) 331
6. A. Iwamae *et al.*, Plasma Phys. Control. Fusion **47** (2005) L41

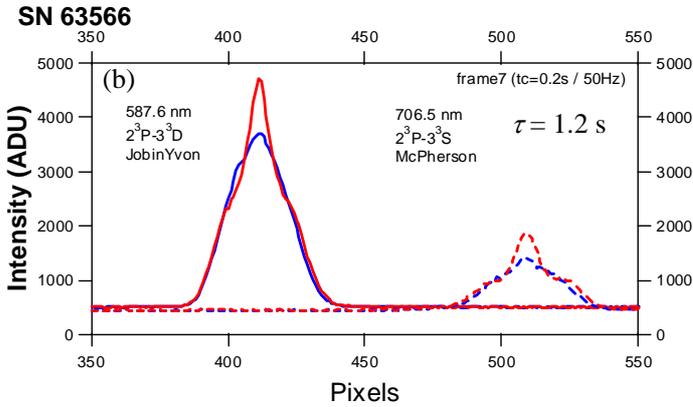
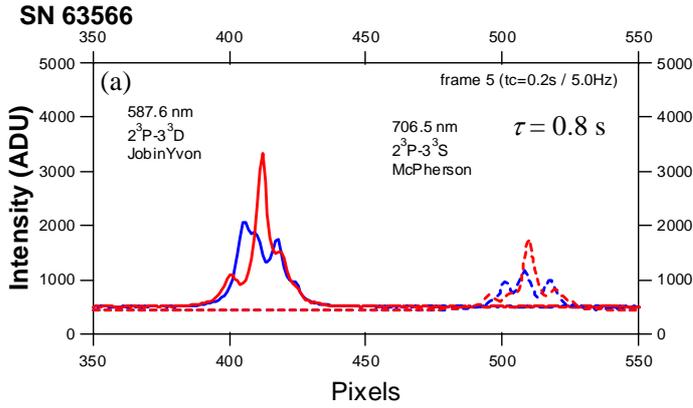


図 1 . He I 587.6 nm (2^3P-3^3D), 706.5 nm (2^3P-3^3S) 偏光分離発光線プロファイル . 2 台の高分解能分光器による同時計測 (SN63566) .

(a)時刻 $\tau = 0.8$ s (b)時刻 $\tau = 1.2$ s 発光線の強度比・上準位ポピュレーションの比 $n(3^3D)/n(3^3S)$ は電子密度と相関がある . 時刻 1.2 s では時刻 0.8 s に比べ 587.6 nm/706.5 nm 強度比が増加しており、発光領域での電子密度上昇が推察される .

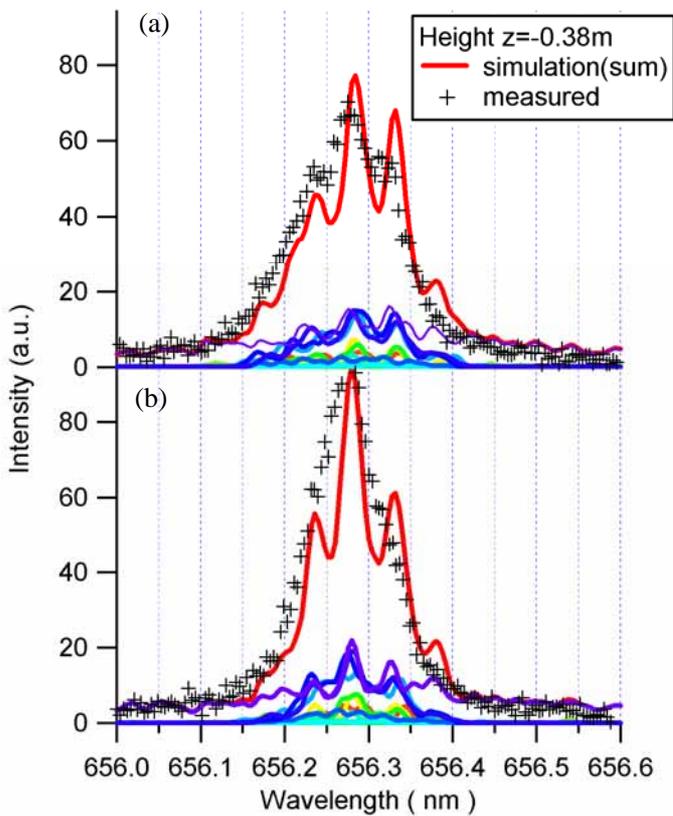


図 2 . 水素バルマー 線 656.3 nm 偏光分離発光線プロファイル(観測 +) . 澤田らによる 3 次元粒子シミュレーションコードによる計算値 (赤線) . 水素分子からのかい離過程を含む .