

(3) LHD プラズマの閉じ込め特性

責任者	佐野 史道	京都大学エネルギー理工学研究所
参加研究者	岡田 浩之	京都大学エネルギー理工学研究所
	有本 元	京都大学大学院エネルギー科学研究科
	渡邊 清政	核融合科学研究所

はじめに

核融合炉心プラズマの実現には高温・高密度のプラズマを一定の時間以上閉じ込め、さらに発電に利用するためにはこれを長時間維持することが必要である。エネルギー閉じ込め時間を改善することは勿論不可欠だが、プラズマを長時間維持するためには、これに加えてプラズマ内の水素粒子及びヘリウムを含む不純物粒子の挙動を理解し、それを基に粒子制御を行い、不純物の低減およびヘリウム灰の効果的な除去を実現して燃焼効率を上げることが重要である。

本研究では、ヘリカルプラズマの閉じ込め特性を理解するために、粒子及びエネルギー閉じ込めに関する京都大学エネルギー理工学研究所ヘリオトロン J 装置での実験研究の基盤を踏まえ、スーパーSINET を利用した遠隔実験を含めて LHD 実験に参加し、LHD プラズマの閉じ込め特性の評価を行う。

研究目的

プラズマを長時間維持するためには、プラズマの粒子バランスを制御する必要があり、外部からの粒子補給、真空容器壁面やダイバータプレートとのプラズマ - 壁相互作用によるリサイクリングを適切に制御するための知見を得る必要がある。このため、本研究では、NBI (中性粒子ビーム入射) 加熱による LHD プラズマの、周辺・ダイバータ領域における中性水素原子の挙動を解明し、水素リサイクリングに関する知見を得ることを目的とする。水素原子の挙動を表す重要なパラメータは、速度分布関数および集団的な流れの速度であり、これらの評価には、分光学的な手法に基づいて水素原子の発光線スペクトルプロファイル計測を行うのが有効である。周辺領域では閉じ込め領域に比べて電子温度が低く、多くの中性水素原子が存在するが、その発生過程は様々である。すなわち、真空容器壁やダイバータプレート表面での反射、壁面から遊離した分子の解離、損失イオンと中性原子の荷電交換反応等、様々な過程に起因する中性水素原子が存在し、これらはそれぞれに発生過程を反映したエネルギーを持つ。したがって、Doppler 効果により、これら各過程で生成した原子の速度分布および流れの速度が発光線スペクトルプロファイルに反映される。

研究成果

エッセル型回折格子を用いた逆線分散 0.0024 nm/pixel の高分解能可視分光器により、

水素原子の Balmer- α ($H\alpha$) 線スペクトルプロファイル計測を行った。2次元イメージ光ファイバーアレイ (トロイダル方向3本, ポロイダル方向10本) により計30本の視線を有し、空間分解された計測が可能である。計測はスーパーSINET経由でLHD-LAN内の計測用ホストを遠隔操作することで京都大学エネルギー理工学研究所からでも可能である。図1に計測系の概略を、図2に遠隔実験の様子を示す。

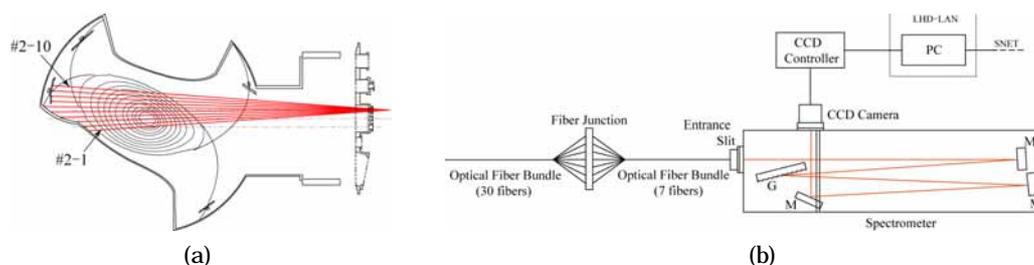


図1 . 計測系の概略。(a)計測ポロイダル断面における視線の配置, (b)分光計測システム。

今年度は最近の LHD 高密度実験で得られているデタッチメント[1]に着目し、アタッチメント, デタッチメントそれぞれについて、スペクトルの解析から得られるパラメータの電子密度に対する依存性の評価を行った。図3に観測されたスペクトルの一例を示す。得られたスペクトルは Narrow 成分 (3~4 eV) と Broad 成分 (20 eV 以上) の2温度を仮定した Gaussian プロファイルの重畳として表すことができた。Narrow 成分は分子の解離により生じた低温の原子の発光の寄与を、Broad 成分は真空容器壁面やダイバータプレートでの反射や荷電交換反応を経た原子等の高温の原子による発光の寄与を表していると考えられる。デタッチメントの場合には、ダイバータフラックスが大幅に減少し、周辺部の電子温度の低下が見られる。したがって、アタッチメントの場合に見られる高温成分の短波長側へのシフト

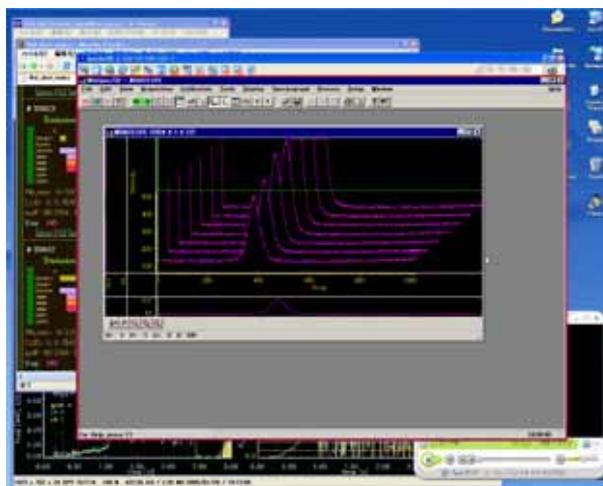


図2 . 遠隔実験の様子。LHD-LAN内の計測用ホスト (赤枠内) を遠隔操作

(視線に沿って近づく方向)が見られなくなり、Doppler 幅も小さくなると考えられる。図4に $H\alpha$ 線強度、中心波長のシフト量から見積もった流れの速度、半値幅から見積もった発光原子の温度の線平均電子密度に対する依存性を示す。アタッチメントの場合、線強度については Narrow 成分、Broad 成分ともに密度とともに増加する。ダイバータフラックスも同様の依存性を示し、ダイバータフラックスとの相関が示唆される。流れの速度、温度については Broad 成分で密度の増加に伴う減少が見られ、周辺電子温度の低下の影響がうかがえる。Narrow 成分については依存性が見られなかった。デタッチメントの

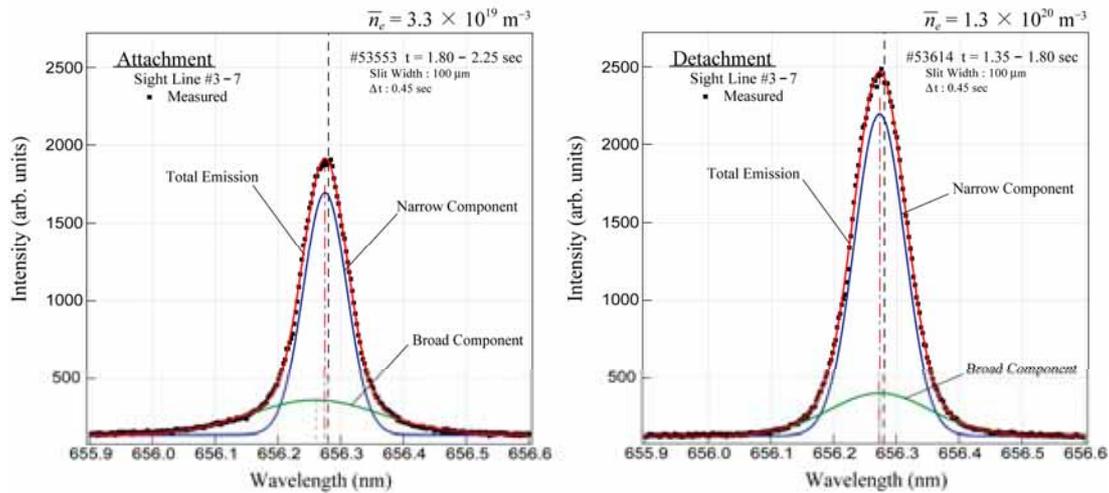


図3 . H α 線スペクトルプロファイル。左が Attachment , 右が Detachment の場合である。

場合、線強度は両成分ともばらつきがあるものの、高密度・高パワーであるほど大きい傾向がある。ダイバータフラックスは大幅に減少しており、発光位置、水素原子の生成過程ともに変化していると考えられる。また、流れの速度、温度については依存性が見られない。Broad 成分の温度についてはアタッチメントの場合よりも低下しており、これについても周辺電子温度の低下の影響が示唆される。

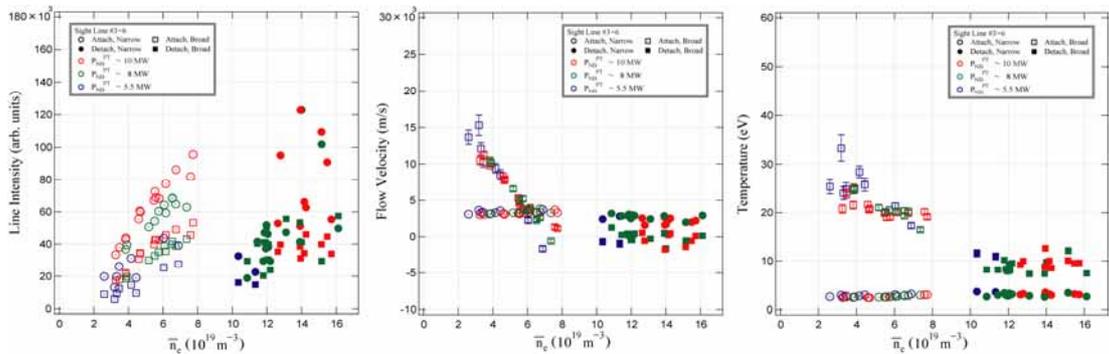


図4 . 各パラメータの電子密度依存性。左から線強度 , 流れの速度 , 温度である。

まとめ

LHD ダイバータ領域での水素リサイクリングを研究するために、H α 線スペクトルプロファイルの高分解計測を行った。スーパーSINET 経由での京都大学エネルギー理工学研究所からの遠隔計測が可能である。LHD で観測されているデタッチメントについて、スペクトルの解析により Narrow 成分、Broad 成分の線平均電子密度に対する依存性を明らかにした。デタッチメントに伴うダイバータフラックスの大幅な減少、周辺電子温度の低下により、中性水素原子の生成過程および発光位置の変化を示唆する結果が得られた。今後さらに定量的な解析へとつなげていく予定である。

今後の計画・課題

水素リサイクリングを評価するためのデータをさらに蓄積し、数値モデルとの比較を行いながら、ダイバータ領域における粒子リサイクリングの機構を解明する。また、計測装置の遠隔制御をさらに進め、効率的な実験参加の体制を確立し、データ解析時のプラズマパラメータ参照を含めスーパーSINET利用を促進しデータ解析の円滑化を図る。

[1] J. Miyazawa *et al*, J. Plasma Fusion Res. **81**(2005) 5 331