

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

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分光学的な手法によって解明す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、水素原子の発光線スペクトル分布計測を行うのが有効である。

研究成果

エッシェ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。

ダイバータに接続する磁力線構造とそれに伴うイオンフラックスの分布が $H\alpha$ 発光分布を決めている一要因であると考え、 $H\alpha$ 発光強度分布およびスペクトル解析から得られるパラメータの空間分布と磁力線構造およびダイバータフラックスとの相関を、磁気軸配位 $R_{ax} = 3.60$ m, 3.65 m, 3.75 m のそれぞれの場合について調査した。図 1 に計測に用いた視線のスポット位置と、 $R_{ax} = 3.60$ m, 3.65 m の場合の磁力線追跡計算によるフットプリントの分布を示す。 $R_{ax} = 3.60$ m の場合、視線#3-1 が見込む 119 番のダイバータ板に接続長の長い磁力線のフットプリントが局在しており、ここにはイオンフラックスが集中すると考えられる。これに対し、 $R_{ax} = 3.65$ m の場合、フットプリントは観測領域にほぼ偏り無く分布している。

観測された H α 線スペクトルプロファイルは低温成分(Narrow Component) と高温成分(Broad Component) の二温度を仮定したガウシアンプロファイルの重畳として表すことができる。低温成分は分子の解離により生成した水素原子の発光の寄与を、高温成分は対向壁面での反射や荷電交換反応に由来する水素原子の発光の寄与を反映すると考えられる。図2に $R_{ax} = 3.60$ m、 3.65 m の場合のダイバータプローブアレイ (図1中のDPA) によるイオン飽和電流と、視線#3-1で計測した

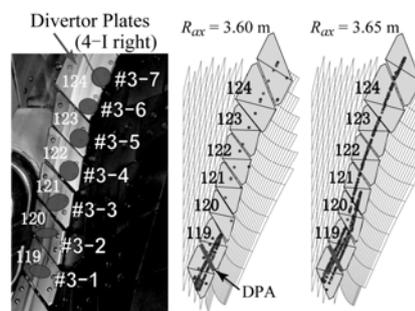


図1. 計測視線のスポット位置と磁力線フットプリントの分布

H α 両成分線強度の線平均電子密度 \bar{n}_e に対する変化を示す。図2(a)より、 $R_{ax} = 3.60$ m の場合、ダイバータフラックスは $5.0 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ まで \bar{n}_e にほぼ比例して増加し、その後 $8.0 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ にかけて減少する。図2(b)に両成分の H α 線強度の変化を示す。 $5.0 \sim 8.0 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ の密度範囲では、全線強度に対する高温成分の割合が低下し、また、高温成分の中心波長のコアプラズマへ向かう方向のシフト量が小さくなることも観測されており、部分的なデタッチメントが生じていると考えられる。 $R_{ax} = 3.65$ m の場合、ダイバータフラックスは $\bar{n}_e \sim 8.0 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ までの範囲で n_e にほぼ比例して増加する。このとき、H α 両成分の線強度も同様に増加

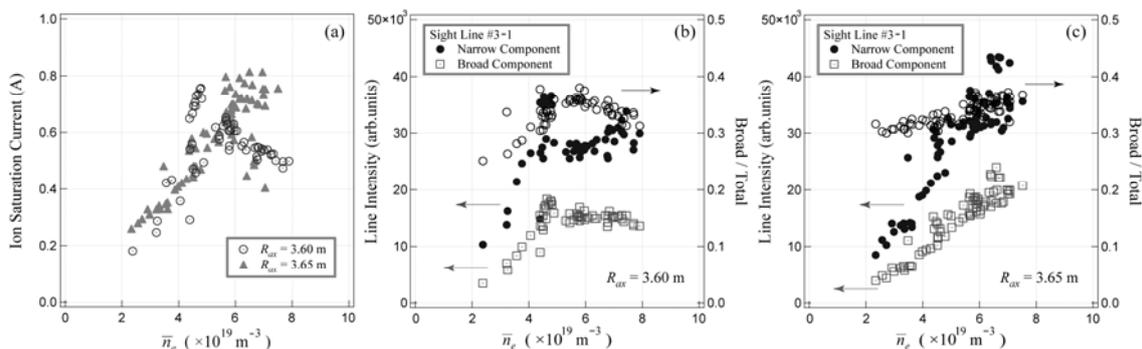


図2. (a)イオン飽和電流、(b) $R_{ax} = 3.60$ m の場合の H α 線強度、(c) $R_{ax} = 3.65$ m の場合の H α 線強度の \bar{n}_e に対する依存性

する。高温成分線強度の割合も増加するが密度依存性は小さい。

他の磁気軸配位に比較してトーラス内側への粒子束の大きなこれら2つの磁気軸配位において、ダイバータフラックスの変化と同様な H α 線強度の変化が観測されたことから、イオンフラックスが集中するダイバータ板からの水素原子の生成が示唆される。