

2. LHDプラズマの閉じ込め特性

構成員

分担責任者	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を実現には高温・高密度のプラズマを一定の時間以上閉じ込め、さらにプラズマを発電に供するため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、プラズマの長時間維持のためには、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、不純物およびヘリウム灰を効果的に除去し燃焼効率化を上げることが重要である。ヘリカルプラズマの閉じ込めを理解するために、粒子及びエネルギー閉じ込めに対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、遠隔実験を含めてLHDプラズマ実験に参加し閉じ込め特性の研究を行う。

研究目的

プラズマ中の粒子閉じ込めを評価するためには、プラズマの温度、密度などの基礎的パラメータの他に中性粒子密度、不純物密度等が必要である。中性粒子密度はプラズマ温度、密度及び放電管外部からの補給粒子及びプラズマ放電管壁およびダイバータでの水素リサイクリングから決まる。この中で水素リサイクリング過程はプラズマ中で荷電交換反応などによって生成された比較的高速な粒子が壁面で反射されたもの、あるいは放電管壁面に吸着されていた粒子の乖離によるものなど様々な過程を含んでいる。長時間放電を安定して制御するためにダイバータ及び粒子補給による粒子制御は必須である。本研究は分光によってH α 線スペクトルの高分解能計測を行いダイバータ部を見込む視線とそれ以外の部分での速度分布をそれぞれに求め、周辺の密度・温度制御を含めたダイバータによる中性粒子制御を目指した中性粒子挙動解明を目的とする。また、今年度からスーパーSINETを利用して分光器の遠隔操作を可能とし、実験参加時間を増加する。

研究成果

逆分散0.075nm/mmのエッセル可視分光器を用いてトロイダル方向、ポロイダル方向のH α の2次元分光像を計測した(図2-1参照)。

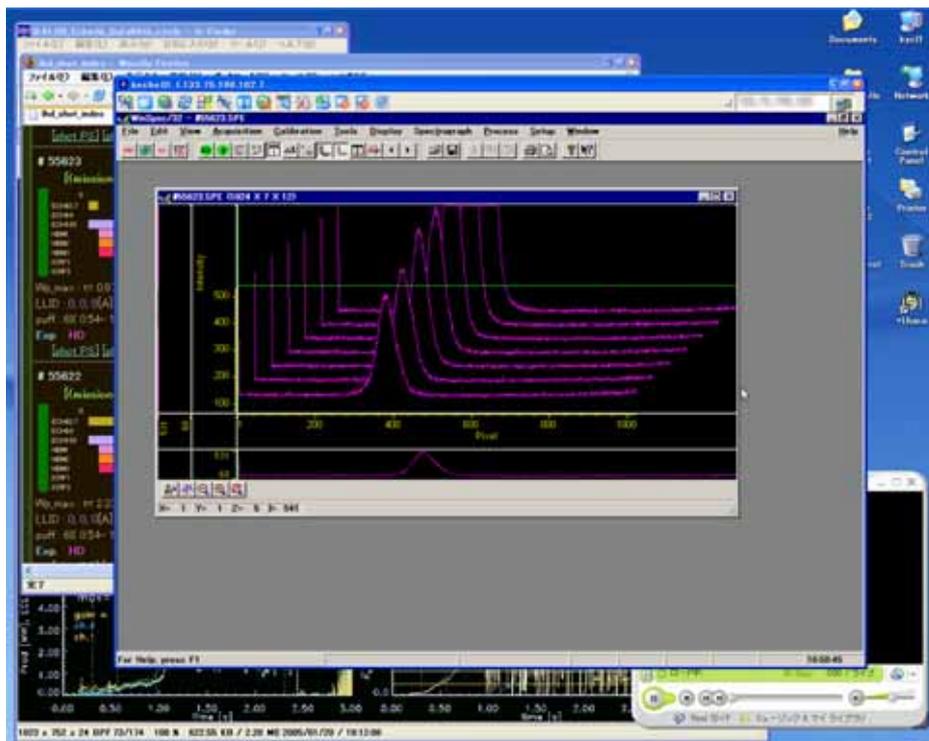


図 2-1 スーパーSINET を用いて京大側サーバ(kycl1)から
NIFS 側 H 計測用サーバ(kechell1)を遠隔操作

計測は遠隔地(京都大学エネルギー理工学研究所)でもスーパーSINET を用いることよ
って行うことができるよう整備した。その様子を図 2-2 に示す。

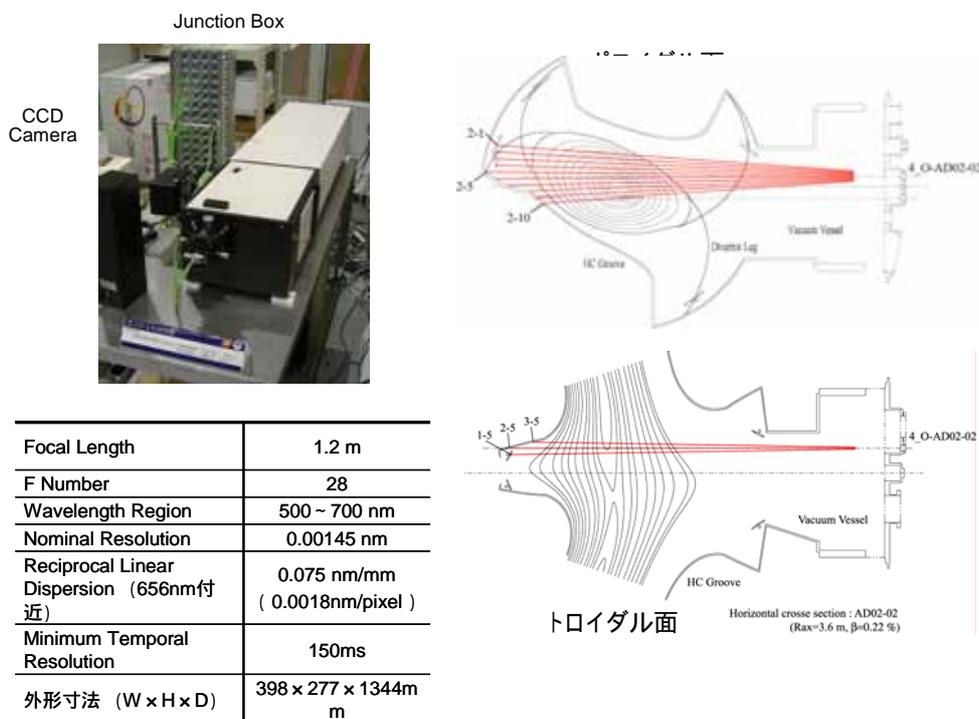


図 2-2 分光器諸元と計測位置

H スペクトルはガウス近似により、2 成分に分解できる。図 2-3 に計測データを示す。赤線が計測データ、青線が 2 成分分解した後の低温成分、緑線が高温成分である。

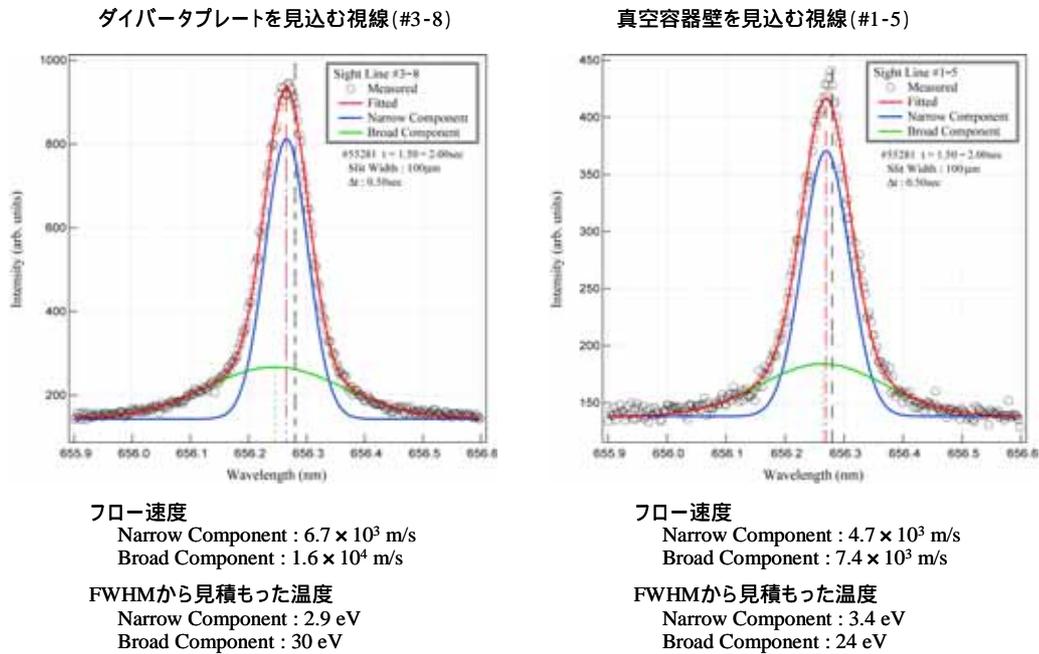


図 2-3 Rax = 3.6m の配位におけるダイバータ部およびその他の壁面の H 線スペクトル

ドップラー広がり(温度 に相当)が 3eV 程度の成分と 20eV 以上の成分である。この 2 成分はダイバータプレートを見込む視線、それ以外の視線両方で同様に認められた。スペクトルは 2 成分とも青色側へシフトしており、分光器の光学系に向かう速度成分を有する粒子が多いことを示す。シフト量は高温成分の方が大きい。発光量についてはダイバータプレートを含む視線の方が 2 倍以上大である。プラズマからの荷電粒子の多くは磁力線に従って壁面に到達するのでダイバータ部で発光量が多いのは当然である。

平均電子密度 1.5 から $6.5 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ の範囲では、密度を上げるとダイバータを見込む視線では $3.5 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ 以上で高温成分の温度が減少する。また、低温成分は変化がない。シフトについても同様の傾向がある。

発光の極大がダイバータプレートに接している場合 (Attach) と離れている場合 (Detach) ではダイバータプレートを見込む視線とその他の場合ともに大きな変化が観測された(図 2-4 参照)。

ダイバータプレート
を見込む視線
(#3-7)

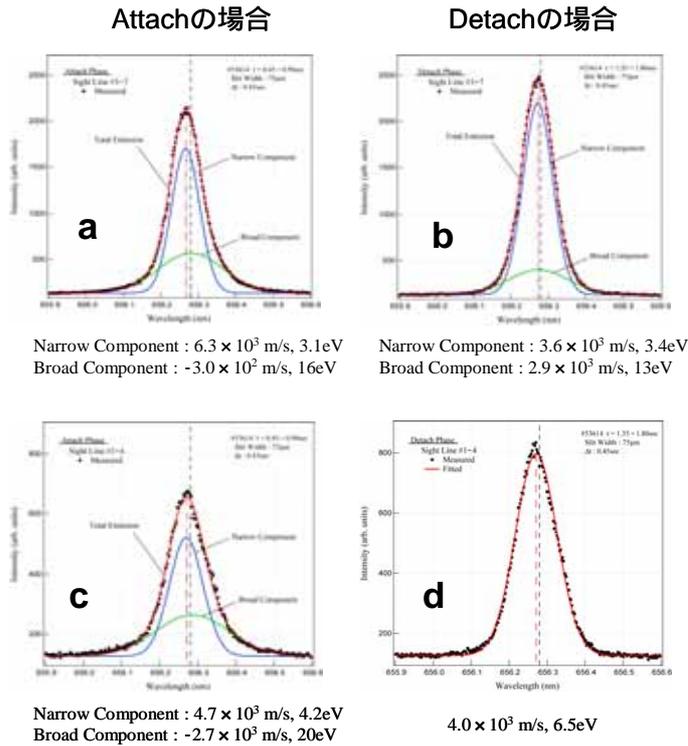


図 2-4 ダイバータ部(a, b)とその他の壁面(c, d)の Attach、Detach 条件での H スペクトル

Detach 状態になると高温成分が両視線で減少し、ほとんど低温成分のみになる。また、シフト量も小さくなる傾向がある。この変化を図2-4に挙げる。発光量に関してはAttachとDetachではほとんど変化せず、ダイバータ部とそれ以外の部分の強度比についても変化は小さい。

まとめ

プラズマ中の水素のリサイクリングを研究するために、LHDのダイバータ部を含む視線と、それ以外の視線を二次元ファイバアレイを用いて高分解能の分光計測を行った。計測はスーパーSINETを用いて京大からでも可能になった。ダイバータ部を中心とした分布および、スペクトル線の解析により低温成分、高温成分の分離を行い、密度に対する依存性を明らかにした。さらに、Attach、Detachの場合の発光の変化についても解析し、Detach後は高温成分がすべての位置で減少することが分かった。ただし、発光量については変化は小さかった。

今後の計画・課題

中性粒子の輸送解析のためのデータをさらに蓄積し、数値モデルを用いて様々な配位での中性粒子輸送を明らかにし、ダイバータ部およびその外の領域での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。