

LHD 周辺プラズマにおける水素原子・分子輸送機構の解明

責任者	岩前敦	京都大学工学研究科
参加研究者	坂上篤史	京都大学工学研究科
	根師伸博	京都大学工学研究科
	澤田圭司	信州大学工学部
	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

はじめに

大型ヘリカル装置 (LHD) に設置した偏光分離光学分光システムを用い、京都大学エネルギー科学研究科プラズマ実験棟から遠隔操作により LHD プラズマの分光計測を行った。取得した分光スペクトルの解析からポロイダル断面上での水素原子の発光位置を特定した。磁気軸 $R_{ax} = 3.60$ から 4.00 m での配位での水素原子発光位置ポロイダル分布を得た。

目的

磁場閉じ込めプラズマの周辺領域での水素原子・分子の空間的分布の制御は、周辺熱輸送障壁・Hモードの形成等に重要な役割を果たしている。また、水素は粒子リサイクリングを通し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おり、長時間放電ではこのリサイクリング機構の理解が必要となる。ダイバータ領域で中性粒子を分離し高密度化することにより、より効率的な粒子排気が行い、非接触ダイバータ配位により熱負荷を低減できることが期待されている。大型ヘリカル装置(LHD)ではバッフル付閉ヘリカルダイバータ構造が検討されている。

ポロイダル断面観測ポートから、プラズマからの紫外可視波長領域の発光を偏光分離計測し、磁気面の磁場ベクトルと発光線プロファイルの $\pi \cdot \sigma$ 偏光特性から、原子・イオンの発光位置、原子温度、プラズマ中心方向への移動速度を決定が可能である[1, 2]。水素原子からの発光スペクトルには、荷電交換衝突の結果と思われる高温成分のほかに、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ている。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より周辺のプラズマパラメータ・原子流束を決定し、加えて中性粒子輸送コードによるそれらの実験結果の解析を通じ水素リサイクリングについての知見を得ることを目的とする。

実験方法

LHD 1-O ポートに偏光分離光学系 8 視線を、ポロイダル断面全体を覆うよう設置した。プラズマからの発光は偏光分離光学系・光ファイバーを通じ、機器室に設置した焦点距離 1.0 m 分光器 (JobinYvon THR-1000 回折格子 2400 本/mm)に導入した。2分岐ファイバーカプラーにより 2 視線は LHD 本体室既設の焦点距離 1.3 m 分光器(McPherson209 回折格子 1800 本/mm)にも導入し、同一視線上の異なる波長の発光線の強度を観測することが可能である。光学系は絶対感度較正を行った。ヘリウム・水素原子からの発光線のスペクトルプロファイルを観測した。京都大学プラズマ実験棟から SNET を通じ核融合研の実験ネットワーク接続し、LHD 機器室に設置された分光器を操作しス

ペクトルデータを取得した (図 1).

結果・考察

図 2 に赤道面に近い視線での ($Z = 0.026$ m) $H\alpha$ 線の偏光分離スペクトルの一例を示す (SN 70398). 図中の角度は観測した直線偏光の方向を示す. 非対称なプロファイルとなっている. これは, LHD のポロイダル断面内側と外側の周辺プラズマ領域では磁場の向きが交差しているために, 磁場方向偏光成分を持つ π 光の偏光方向が内側・外側で大きく異なり, 加えて, 原子集団がプラズマ中心方向の速度成分を持ち運動していることによる. そこで, 視線上のポロイダル断面の内側・外側の 2 点で発光し, 内・外各発光位置では低温・中温の 2 温度の原子温度成分と荷電交換による高温成分の寄与があると仮定し, 観測スペクトルに対し最小自乗あてはめを行った. 結果を図 2 に実線で示す. 得られた各パラメータを表 1 に示す.

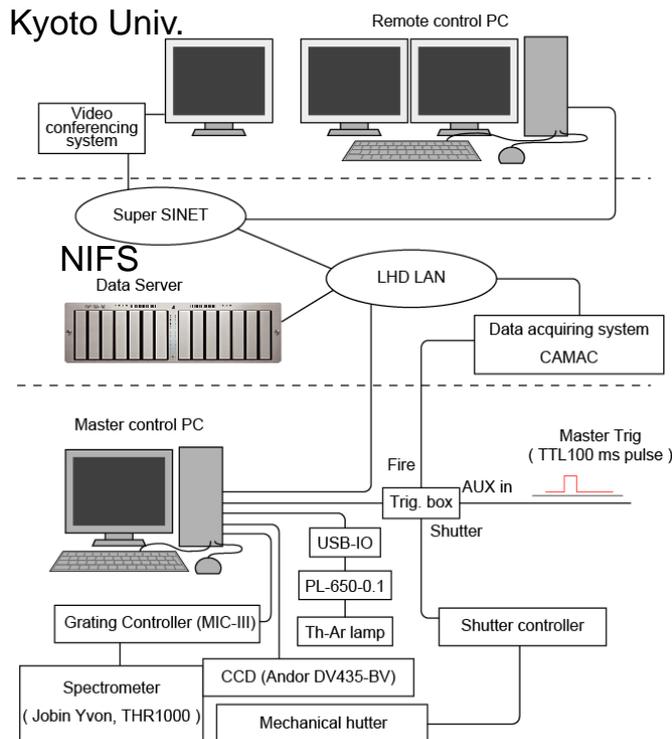
表 1 発光位置・流速視線方向成分・発光強度

	Location	Temperature	Temperature	Temperature	Velocity	Intensity I_L	Intensity I_M	Intensity I_H
	R (m)	T_L (eV)	T_M (eV)	T_H (eV)	(km/s)	(mW/m ²)	(mW/m ²)	(mW/m ²)
In	3.01	0.17	1.17	37.8	5.0	80.1	346	923
Out	4.76	0.24	1.44		-0.8	444	940	

8 視線の偏光分離スペクトルに対し同様の最小自乗あてはめを行った. 磁気軸 $R_{ax} = 3.75$ m の NBI プラズマに対して発光位置・発光強度を図 3 に示す. 磁力線マップと重ねて表示するとエルゴディック層と発光位置がほぼ一致する. 発光強度は内側 X 点・外側 X 点近傍で高いことが分かる. 最小自乗あてはめでは, 2 点での発光を仮定している. 視線上 3 点から発光の寄与がありうると思われる視線では, その影響のため発光位置の同定にエラーが見られる. 例えば $Z = -0.469$ m の LOS 8 では周辺プラズマにつながる磁力線のない場所に, 最小自乗あてはめにより発光位置が同定された. この点からの発光強度への寄与は低い. おそらくダイバータレッグ部とプラズマ周辺部からの発光の寄与が観測スペクトルにあるためと推定される. 同様の条件の放電で磁気軸を $R_{ax} = 3.60, 3.65, 3.70, 3.75, 3.80, 3.85, 3.90, 4.00$ m と変えたショットに対し発光位置の同定を行った. 磁気軸が外側に移動するに従い・ポロイダル断面外側の発光強度の割合が増加する.

参考文献

- [1] A. Iwamae, M. Hayakawa, M. Atake, T. Fujimoto, M. Goto, S. Morita, Phys. Plasmas **12** (2005) 042501.
- [2] A. Iwamae, M. Atake, A. Sakaue, R. Katai, M. Goto, S. Morita, Phys. Plasmas (2007) in press



大型スクリーン画像
制御室音声配信

実時間リモート計測
分光器
計測波長設定
CCD設定

スペクトルデータ
転送

図 1. SNET による分光計測システム概念図

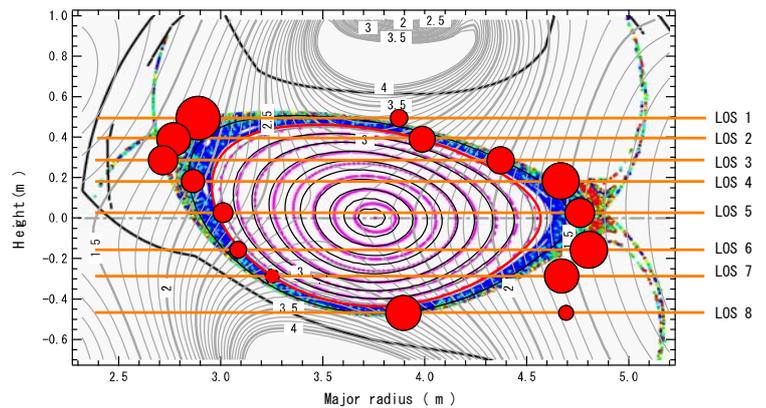
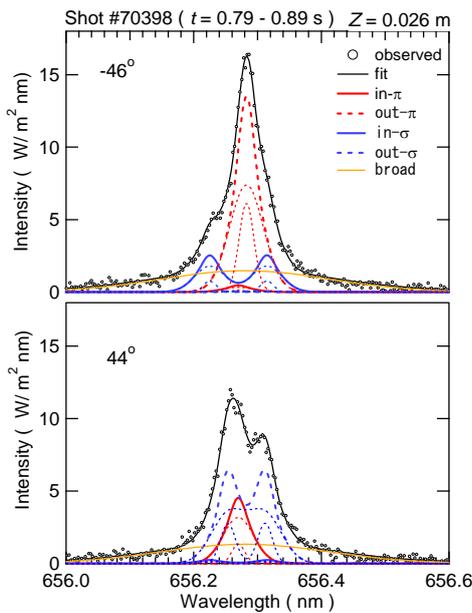


図 3. 1-O ポロイダル断面計測ポートにおける NBI プラズマ周辺部での $H\alpha$ 発光位置 (磁気軸 $R_{ax} = 3.75$ m)

図 2. $H\alpha$ 発光線偏光分離スペクトル. 1-O ポロイダル断面計測ポート視線高さ $Z = 0.026$ m (磁気軸 $R_{ax} = 3.75$ m) 互いに直交する偏光成分を示す。プロファイルは磁場によりゼーマン分離する。