

平成 22 年 6 月 4 日現在

研究種目：若手研究 (A)

研究期間：2007～2009

課題番号：19686056

研究課題名 (和文) リチウムビームプローブの応用によるプラズマ圧力と回転および電流分布の同時計測

研究課題名 (英文) Simultaneous measurements of plasma pressure, rotation and current density profiles using Lithium beam probe

研究代表者

神谷 健作 (KAMIYA KENSAKU)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・核融合研究開発部門・研究副主幹

研究者番号：60360426

研究成果の概要 (和文)：JT-60U トカマク装置において周辺電流分布、密度分布、イオン温度分布、回転計測のためのリチウムビームプローブ・ゼーマン偏光計を開発した。空間分解能は約 1cm で、プラズマ周辺部を 20 チャンネルの視線で見込む。狭帯域エタロン・干渉フィルター検出系と高効率 CCD 付きレンズ分光器の調整後、プラズマ計測を実施した。閉じ込め改善モードプラズマの周辺部圧力勾配に起因すると考えられる周辺電流の計測に成功した。

研究成果の概要 (英文)：Simultaneous measurements of the magnetic field pitch angle, ion temperature, rotation, electron density and its fluctuation in the plasma edge region are obtained by using Zeeman polarimetry, Charge eXchange Recombination Spectroscopy (CXRS) and Beam Emission Spectroscopy (BES) with a 10keV Li-beam probing system on JT-60U. The diagnostic has 20-ch viewing chords covering the plasma peripheral region of normalized minor radius $r/a \sim 0.8-1$ with a spatial resolution of up to ~ 1 cm. The edge current density profile with the local peak at the plasma edge has been identified in the H-mode plasma, which is correlated with large pressure gradient in the pedestal region.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	17,300,000	5,190,000	22,490,000
2008 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	19,700,000	5,910,000	25,610,000

研究分野：プラズマ物理

科研費の分科・細目：工学・総合工学・核融合学

キーワード：プラズマ核融合、超精密計測、リチウムビーム、ゼーマン偏光分光、境界輸送障壁

1. 研究開始当初の背景

ASDEX-Upgrade 装置 (独国) では従来からの密度分布測定に加えて、リチウムビームプローブを利用した荷電交換再結合分光法 (CXRS) によるイオン温度測定が開始されて

いた。また DIII-D 装置 (米国) では従来からの密度分布および揺動測定を発展させて、リチウムビームプローブを利用したゼーマン偏光分光法 (Zeeman Polarimetry) による周辺プラズマ電流分布測定が進められていた。

国内ではCHS およびLHD 装置においてリチウムビームプローブによる密度分布測定が行われていたが、その応用（密度揺動や電流分布およびイオン温度測定）には高輝度リチウムビームの開発が課題となっていた。

2. 研究の目的

本研究は、高輝度ビームを有するリチウムビームプローブ(LiBP)を応用して、密度分布、温度分布、および電流分布の同時計測を高空間(約5mm)・時間分解能(約0.1-0.01ms)で行うものである。プラズマ周辺部における圧力及び電流分布形状を精密に測定するとともに、径方向の力の釣り合い(圧力勾配と回転および電場の釣り合い)から間接的に径電場も評価可能となる。このことは、本測定によって境界輸送障壁(ペDESTAL)形成および周辺部局在化モード(ELMs)発生時におけるプラズマの自立性(圧力勾配と電流分布との相関で決定されるプラズマの安定性および特長的な揺動の発生に関する物理機構)の解明に必要なパラメータのほとんど全てを実際の同時測定から得られることを意味する。

3. 研究の方法

本研究では、閉じ込め改善モード(Hモード)における境界輸送障壁(ペDESTAL)形成領域での主要プラズマパラメータ(密度、温度、回転、電場及び電流)の分布形状を世界で初めて高空間・時間分解能で同時計測(空間分解能:約5mm、時間分解能:約0.1-0.01ms)するものである。閉じ込め改善モードでは、各主要パラメータの分布形状がそれぞれ独立には無く、互いに強く相関しながら変化する自立系であることが知られている。そこで、各種主要パラメータの詳細な分布形状を高分解能で同時計測し、閉じ込め改善モードの発生機構との因果関係を明らかにする。このような自立系の物理を理解することは、現在建設開始を控えている国際熱核融合炉(ITER)およびそれ以降の装置において予想される強い自立性を有する燃焼プラズマにおける制御手法を開発する上で、特に重要かつ先進的な研究課題である。

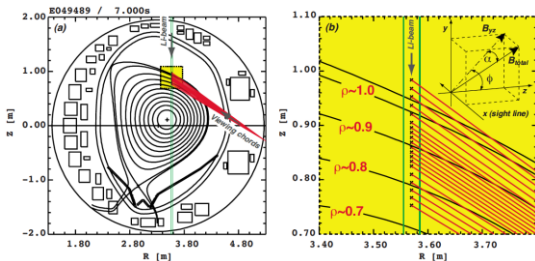


図1 観測領域。(a)プラズマ断面図、(b)拡大図。

4. 研究成果

JT-60U トカマク装置において周辺電流分

布、密度分布、イオン温度分布、回転計測のためのリチウムビームプローブ・ゼーマン偏光計を開発した。空間分解能は約1cmで、プラズマ周辺部を20チャンネルの視線で見込む(図1)。引き出し電流5mA程度のリチウムビームのプラズマ入射に成功するとともに、狭帯域エタロン・干渉フィルター検出系(図2、3)および高効率CCD付きレンズ分光器の調整後、プラズマ計測を実施した。

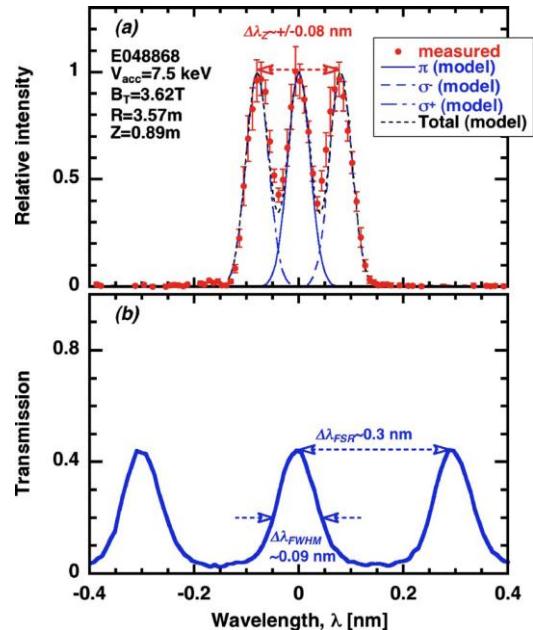


図2 狭帯域エタロン・干渉フィルター検出系の波長特性。(a)リチウムビームの発光スペクトル、(b)エタロンの透過特性。

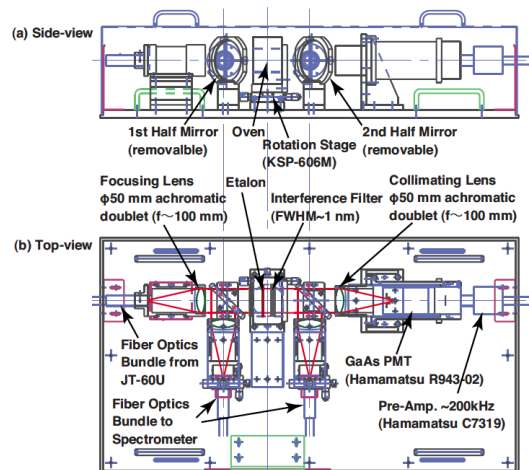


図3 検出部光学系。(a)横図、(b)上図。

尚、検出系の微調整には1ショット中にLiビームの加速電圧をスキャンする新しい手法を開発した。この手法では、予めエタロンの透過ピーク中心波長に対する温度および入射角依存性を校正しておき、検出器においてハーフミラーで分岐された実際のドップ

ラーシフト量を測定する (図4)

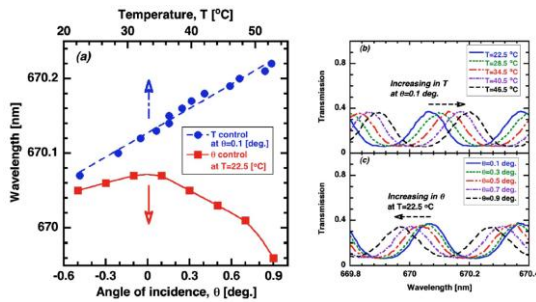


図4 (a)エタロンの透過ピーク中心波長に対する温度および入射角依存性, 波長に対する透過率の(b)温度, (c)入射角依存性。

実際のプラズマ測定では、まず背景光の影響を無視できる NBI 追加熱の無い状態 (オーミック加熱) で電流ランプ実験を実施した (図5)。局所的な構造を持たない程度に緩やかな電流ランプアップに応じてポロイダル磁場が増加し、プラズマ全体に安全係数分布が低下して行く様子が再現できている。

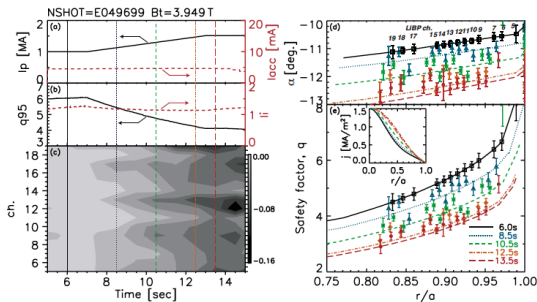


図5 電流ランプ実験における (a)プラズマ電流と加速電流、(b)安全係数と内部インダクタンス、(c)偏光角の等高線図、(d)偏光角分布、(e)安全係数分布。

次に、NBI による追加熱プラズマにおいて、背景光の影響を可能な限り除去した状態において実験を実施したところ、図6に示すように、閉じ込め改善モードプラズマの周辺部圧力勾配に起因すると考えられる周辺電流の計測に成功した。

実際の測定値を用いたプラズマ周辺部の安定性解析に関しては今後の課題である。電子密度分布は ELMy H モードに形成されるペダスタル構造の形成と崩壊を精度良く観測できた。スペクトル測定によるイオン温度と回転構造の測定には S/N が不足し、能動的な荷電交換再結合法による評価は難しかったものの、受動的スペクトル分光法では、プラズマ周辺部のヘリウム線強度からイオン温度と回転を評価することができたが、S/N 不足

により当初目的であったプラズマ圧力と電流分布の同時測定には至らなかった。これらは、加熱用中性粒子ビームを用いる標準的な電交換再結合法と比べて、今回試みた診断用リチウム中性粒子ビームが、空間分解能の観点からは優れているもののビーム電流が圧倒的 (100分の1以下) に小さいこと由来すると考えられるので (図7)、今後さらなる引き出し電流の増加が必要であることが示唆された。

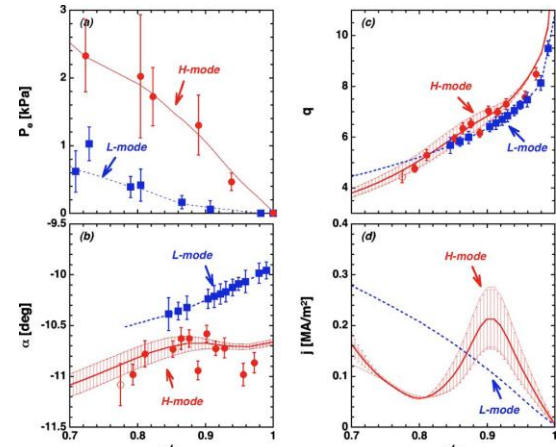


図6 閉じ込め改善モード(Hモード)中の分布測定の結果。(a)電子系プラズマ圧力 (トムソン散乱測定)、(b)偏光角、(c)安全係数、(d)電流密度分布

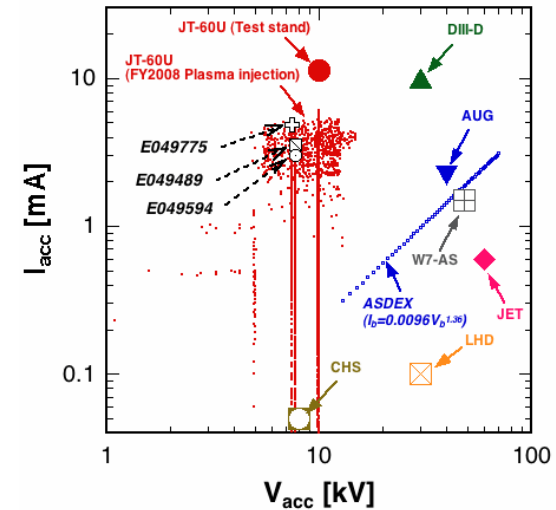


図7 診断用リチウムビームプローブにおける電流-電圧特性。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① K. Kamiya, T. Fujita, A. Kojima and H.

Kubo, “ Zeeman polarimetry measurement for edge current density determination using Li-beam probe on JT-60 ” , Review of Scientific Instruments, 査読有, Vol. 81, 033502-1⁸ (2010).

- ② K. Kamiya, et al., “Edge localized modes: recent experimental findings and related issues”, Plasma Phys. Control. Fusion, 査読有, Vol. 49, S43-S62 (2007).

[学会発表] (計3件)

- ① 神谷健作, “JT-60UにおけるLiビームを用いたゼーマン偏光分光による周辺電流分布計測”, プラズマ・核融合学会第26回年会, 2009年12月4日, 京都
- ② K. Kamiya, “Edge current density measurement using Li-beam on JT-60U”, American Physical Society. 50th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, November 20 2008, Texas, U. S. A.
- ③ K. Kamiya, “ELM control and physics on JT-60U”, IEA Large Tokamak workshop on “Control of ELMs and RWM”(W67), February 26, 2008, Naka, Japan.

[その他]

<http://www-jt60.naka.jaea.go.jp/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神谷 健作 (KAMIYA KENSAKU)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・

核融合研究開発部門・研究副主幹

研究者番号: 60360426