

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2009

課題番号：20740325

研究課題名（和文） 自発的なプラズマ回転の構造決定機構と運動量輸送の研究

研究課題名（英文） Study of intrinsic plasma rotation and momentum transport

研究代表者

吉田 麻衣子（YOSHIDA MAIKO）

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・研究員

研究者番号：20391261

研究成果の概要（和文）：

トカマク型核融合実験装置 JT-60 において、運動量輸送係数（拡散項と非拡散項）とプラズマ回転分布の、プラズマ電流や加熱パワー等の外部制御パラメータと温度・密度等の物理パラメータの両方について、関数関係を体系的に明らかにした。得られた実験結果と、新古典輸送理論や乱流輸送理論モデルと比較した。また、外部運動量入力をもたない電子加熱による回転の挙動を詳細に調べ、電子加熱特有の自発回転の存在を実証した。

研究成果の概要（英文）：

Properties of the toroidal momentum diffusivity and the convection velocity in JT-60U H-mode plasmas have been obtained by various plasma parameter scans. The role of electron cyclotron resonance heating (ECRH) on the toroidal rotation velocity profile has been investigated in the JT-60U tokamak device by separating the effects of the change in momentum transport, the intrinsic rotation by pressure gradient and the intrinsic rotation by ECRH.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：プラズマ科学・プラズマ科学

キーワード：核燃焼プラズマ、運動量輸送、自発回転

1. 研究開始当初の背景

燃焼プラズマは、プラズマの圧力分布、回転分布、電流分布が相互に強くリンクした自律系を成している。特に近年、プラズマ回転分

布がプラズマの構造を決める大切な要素であることが分かり、回転の制御や自律系の理解の必要性が強く認識されてきた。燃焼プラズマの実現は、支配的となる自発回

転も含めたプラズマ回転分布の決定機構や、運動量輸送の解明が必要であり、国際トカマク物理活動の複数のグループで最も重要な研究課題に挙げられている。

2. 研究の目的

本研究では、核融合プラズマで支配的となる、自発的なプラズマ回転分布の決定機構、運動量輸送の解明、更にプラズマ回転制御の実証を目的としている。

プラズマ回転は、外部入力と運動量輸送で決まる回転部分と、プラズマ自身が回転する自発回転部分が合わさり、その構造を作っている。本研究では、先ずそれらの部分を切り分けて個々の特性を調べ、最終的には回転構造を理解する。

3. 研究の方法

様々なプラズマ回転の駆動手法と閉じ込めモードを有する核融合実験装置である JT-60 装置に於いて、本研究で開発した運動量の摂動輸送解析手法と、最近我々が開発した高速荷電交換再結合分光装置を用い、運動量輸送の拡散項と非拡散項を分離し、それぞれを精度良く評価する。これらの輸送係数を求めることで、外部入力で決まる回転部分と、プラズマ自身が決める自発回転部分を分離する。求めた輸送係数（拡散項と非拡散項）の特性と自発回転構造の決定機構を明らかにするため、様々な閉じ込めモードにおいてパラメータ依存性を系統的に取得する。次に、実験結果と理論モデルとの比較を行い自発回転の物理背景の理解を行う。更に、粒子・熱・運動量輸送の相関を調べることで、運動量輸送特性の更なる理解と、閉じ込め改善とプラズマ回転分布の関係を調べる。また、これらの成果を基に、将来核融合炉に効果的な回転制御手法の開発を行い、燃焼プラズマ制御に繋げる。

4. 研究成果

(1) 運動量輸送係数（拡散項と非拡散項）とプラズマ回転分布の、プラズマ電流や加熱パワー等の外部制御パラメータと温度・密度等の物理パラメータの両方について、関数関係を体系的に明らかにした。併せて、電子サイクロトロン波入射時のプラズマ回転駆動機構と運動量輸送過程を、JT-60 装置において理解を進めた。更に、得られた実験結果と、新古典輸送理論や UCSD の P. Diamond 教授等の乱流輸送理論モデルと比較した。

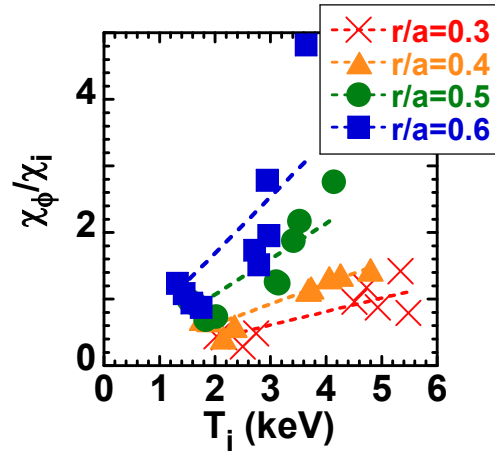


図 1 運動量輸送と熱輸送係数の比のイオン温度依存性

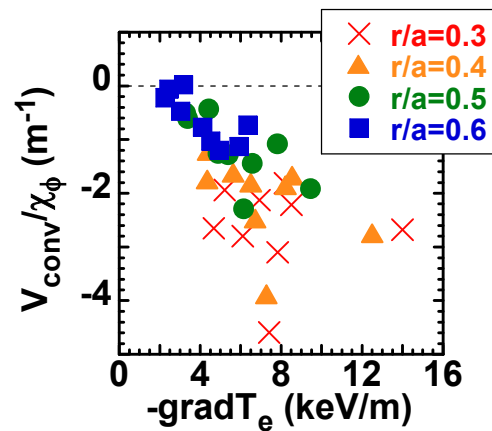


図 2 運動量輸送の対流速度と拡散係数の比の電子温度勾配依存性

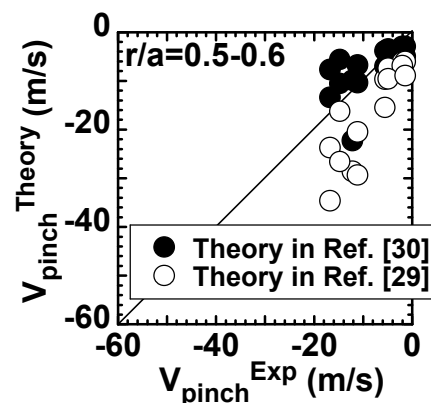


図 3 対流速度に対する理論と実験値の比較

(2) 外部運動量入力をもたない電子加熱による回転の挙動を詳細に調べ、電子加熱特有の自発回転の存在を実証した。ここでは、運動量入力のない加熱である電子サイクロトロン加熱時のプラズマ回転への効果を、運動量輸送、圧力勾配が駆動する自発回転、電子サイクロトロン加熱が駆動する自発回転のそれぞれの効果を切り分けて評価した。そして、電子サイクロトロン加熱による運動量輸送の劣化と、電子サイクロトロン加熱による自発回転の入射位置と回転方向の依存性を明らかにした。

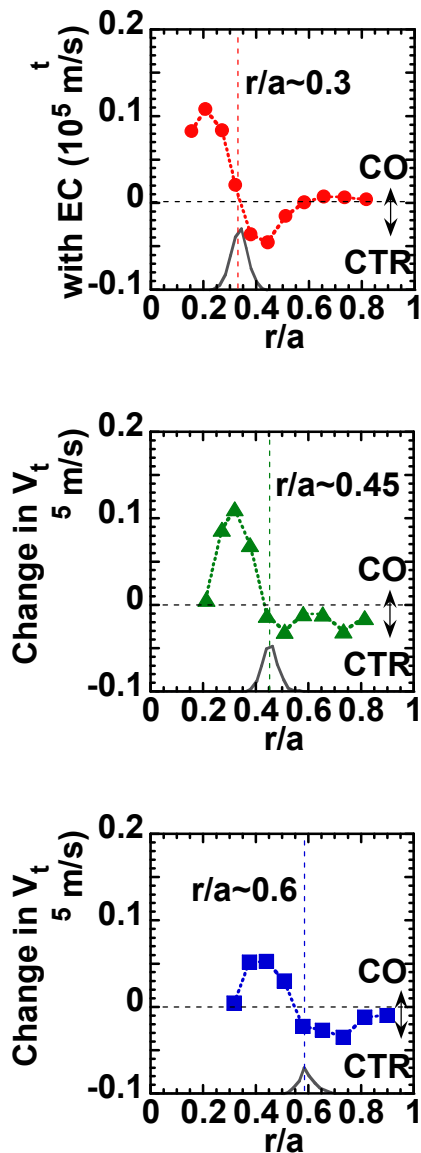


図4 電子サイクロトロン加熱による自発回転の入射位置と回転方向の依存性

(3) 世界のトカマク装置において、運動量輸送に関する比較やデータベース活動を行い、プラズマ回転分布の物理機構の理解を進めた。ここでは、様々な工学パラメータと物理量のパラメータをスキャンし、そこから得られたデータを整理し、運動量輸送係数の依存性を調べている。将来の核融合炉装置における回転予測に向けたモデリングやスケーリングの構築に役立つデータベースを開始することが出来た。

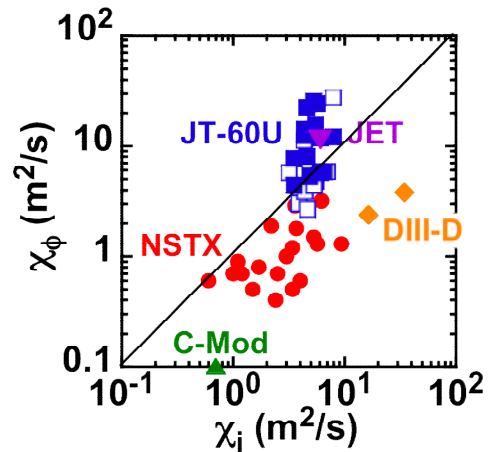


図5 世界のトカマク装置における、運動量輸送拡散係数と熱拡散係数の関係

(4) 高速荷電交換再結合分光装置の改造を行い、プラズマからの発光強度を、従来の計測器よりも10倍程度速い時間分解能(2.5 ms)で撮影し、そのデータを元に実時間でプラズマ回転速度とイオン温度の導出(空間4点分のプラズマ回転とイオン温度を4 ms程度で導出)を可能にした。この独自の計測器を駆使して、外部入力による実時間でのイオン温度分布とプラズマ回転分布制御を世界に先駆けて実証し、JT-60 実験の年度目標を達成した。

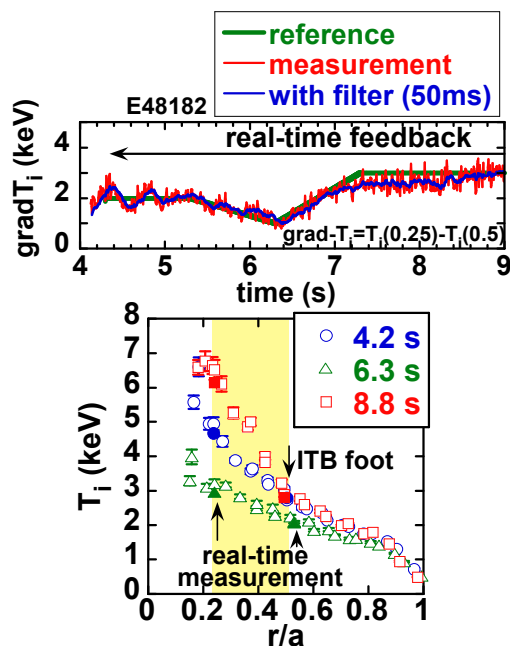


図 6 外部入力による実時間でのイオン温度分布制御の実証

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 10 件)

- ① M. Yoshida, et. al., Rotation Drive and Momentum Transport with Electron Cyclotron Heating in Tokamak Plasmas, Physical Review Letters, 査読有, 103, 2009, 065003-1-4.
- ② M. Yoshida, et. al., Characteristics of momentum transport in JT-60U H-mode plasmas, Nuclear Fusion, 査読有, 49, 2009, 115208-1-8.
- ③ M. Yoshida, et. al., Real-time measurement and feedback control of ion temperature profile and toroidal rotation using fast CXRS system in JT-60U, Fusion Engineering and Design, 査読有, 84, 2009, 2206-2213.
- ④ M. Yoshida, et. al., Physics Mechanisms of Toroidal Rotation Profile and Properties of Momentum Transport in JT-60U, Plasma and Fusion Research, 査読有, 3, 2008, S1007-1-8.

[学会発表] (計 8 件)

- ① M. Yoshida, Parameter dependency upon toroidal rotation and momentum transport in JT-60U, The 51st Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics, Atlanta, Georgia, USA, November 2-6, 2009.
- ② 吉田 麻衣子, JT-60U におけるトロイダル回転分布と運動量輸送の特性, 第 26 回プラズマ・核融合学会年会, 2009 年 12 月 4 日, 京都府京都市.
- ③ M. Yoshida, Formation mechanism of toroidal rotation profile and characteristics of momentum transport in JT-60U, 22nd IAEA Fusion Energy Conference, Geneva, Switzerland, October 13-18, 2008.
- ④ 吉田 麻衣子, トカマクにおけるプラズマ回転速度分布と運動量輸送に関する研究, 第 25 回プラズマ・核融合学会年会, 学会賞受賞記念講演, 2008 年 12 月 3 日, 栃木県宇都宮市.
- ⑤ 吉田 麻衣子, JT-60U における実時間計測・制御系開発によるイオン温度勾配とプラズマ回転制御の実証, 第 25 回プラズマ・核融合学会年会, 2008 年 12 月 2 日, 栃木県宇都宮市

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年月日：
 国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 取得年月日：
 国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田 麻衣子 (YOSHIDA MAIKO)
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・研究職
研究者番号：20391261

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：