

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：20760587

研究課題名 (和文) プラズマ自己構造形成と内部・周辺構造の大域的相互作用の研究

研究課題名 (英文) Study on plasma self-structural formation and macroscopic interaction between core and peripheral structure

研究代表者

浦野 創 (URANO HAJIME)

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：70391258

研究成果の概要 (和文)：

炉心プラズマ内部の熱輸送、並びに閉じ込めを決定する境界条件であり、且つ ELM の性質を支配する周辺輸送障壁を伴うプラズマ境界構造に着目し、プラズマ回転及び電流分布によるプラズマ内部・境界構造への影響を解明した。トロイダル回転分布のコア部熱輸送に対する局所的な影響は非常に小さいこと、高内部インダクタンス化によってコア部の閉じ込め改善が得られることが分かった。

研究成果の概要 (英文)：

Focusing on plasma peripheral region accompanied by the edge transport barrier which plays a role as a boundary condition for core heat transport and confinement, influence of plasma rotation and current density profiles on plasma core and peripheral structures was clarified. It was found that the local effect of toroidal rotation on core heat transport was very small and core confinement improvement was obtained with increased internal inductance.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	900,000	270,000	1,170,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,400,000	420,000	1,820,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・核融合学

キーワード：炉心プラズマ

1. 研究開始当初の背景

次世代の核融合研究開発の世界的な中樞を担う国際熱核融合実験炉 ITER では、炉心プラズマの周辺部に形成される輸送障壁 (周辺ペデスタル) によって閉じ込めが改善される H モードを標準運転方式としている。特に、

この H モードはプラズマ境界近傍に局在した不安定性 (ELM) を伴い、プラズマ周辺部の構造を決定している。また、炉心内部プラズマには本来、プラズマの温度勾配が駆動する乱流が熱輸送を支配していると考えられ、高圧力 H モード及び負磁気シア H モード等で見ら

れる内部輸送障壁の形成には、この温度勾配によって駆動される乱流が抑制されるメカニズムが働いていると考えられている。さらに、近年の研究で、炉心プラズマの圧力（温度×密度）はプラズマ周辺部の圧力と強い相互作用が存在することが指摘されている。従って、炉心プラズマの熱輸送特性を理解し、温度分布を適切に制御することは、周辺構造を含めたプラズマ全体の性能を向上させるために極めて重要である。

しかし、炉心プラズマの熱輸送を支配する温度勾配が駆動する乱流についての研究は端緒についたばかりである。特に、トカマクではプラズマ電流の作る磁場でできる磁力線の振れ（磁気シア）、及びプラズマの回転速度の振れ（回転シア）がプラズマ閉じ込めに重要な役割を果たすと考えられている。従って、温度勾配乱流が支配する熱輸送に対する磁気シア及び回転シアの影響を明らかにし、適切に制御することは、プラズマ内部空間分布構造およびELM特性を相互に決定するプラズマ境界構造形成の物理、さらに内部輸送障壁形成の物理を解明することにもなり、本研究は現在の国際的活動における最重要課題として位置付けられている。

2. 研究の目的

本研究では、炉心プラズマ内部の熱輸送、並びに閉じ込めを決定する境界条件であり、且つELMの性質を支配する周辺輸送障壁を伴うプラズマ境界構造に着目し、炉心プラズマの空間分布構造とELM特性を支配するプラズマ境界構造の物理機構を明らかにする。また、プラズマの熱輸送を支配している温度勾配が駆動する乱流に対する磁気シア分布及び回転シア分布の影響を解明し、これを抑制することで内部輸送障壁形成の物理を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、核融合炉心プラズマという磁場で閉じ込められた電磁流体を異なる拡散過程が支配すると考えられる要素（粒子的要素及び空間的要素）に分離し、要素間の相関と結合の結果として系全体の燃焼プラズマ特性を評価する。これまで様々なトカマク装置で発見されている各種の高性能閉じ込めモードの輸送特性に対して、系統的な理解が進められてきたが、これらの多くはプラズマ電流等の巨視的なパラメータに対する零次元の取り扱いに依った議論である。本研究では、これらの議論を拡大し、局所的なパラメータの効果、及び局所量と系全体との相関を取り扱う。すなわち、密度、温度、圧力及び電流等の各種パラメータの空間的な分布効

果（空間的要素）に重点を置いて解析する。従って、これらの着目点に基づき、電子系及びイオン系プラズマ（粒子的要素）の精度の高い分布データを用いて局所量と全体量の相関を扱った研究を遂行する。そして、本研究を通じて、これまでに得られている様々な改善閉じ込めモードを1本の糸で繋ぐ物理的スキームを浮き彫りにすることを目的とする。

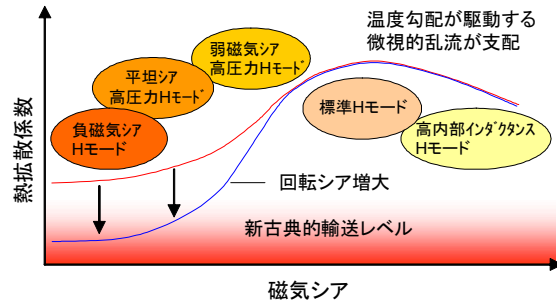


図1. 磁気シアと熱拡散係数の関係を示す概念図。

4. 研究成果

Hモードプラズマにおける順方向トロイダル回転に伴うエネルギー閉じ込め性能向上の仕組みを理解するために、プラズマコア部の熱輸送とトロイダル回転の関係を調べた。プラズマコア部の熱輸送は、トロイダル回転分布の変化に対して、自己相似的な温度分布を保つように変化することが分かった（図2参照）。一方で、順方向トロイダル回転の増加とともにペDESTAL圧力は増加した。これらの結果から、Hモードプラズマにおける順方向トロイダル回転に伴うエネルギー閉じ込め性能の向上は、ペDESTAL圧力の上昇とともにペDESTALエネルギーの増加、並びにペDESTAL温度上昇を伴う温度分布の硬直性によってもたらされるコア部の熱輸送低減によって決まることが分かった。プラズマコア部におけるトロイダル回転分布の熱輸送に対する局所的な影響は非常に小さいことが分かった。

次に、Hモードプラズマにおけるプラズマ中の電流分布の変化に伴ってエネルギー閉じ込め性能が変化する実験事実に着目し、このメカニズムを理解することに重点を置いた研究を実施した。独立行政法人日本原子力研究開発機構のJT-60Uにおける実験結果から内部インダクタンスの高い（すなわち電流分布が中心ピークした状態）Hモードプラズマでは高閉じ込め性能が得られることが分かった。このようなプラズマでは電子密度及び電子温度分布が中心ピークする傾向が見られた。同時に電子系の熱拡散係数がコアプラズマ領域で低減することが分かった。この

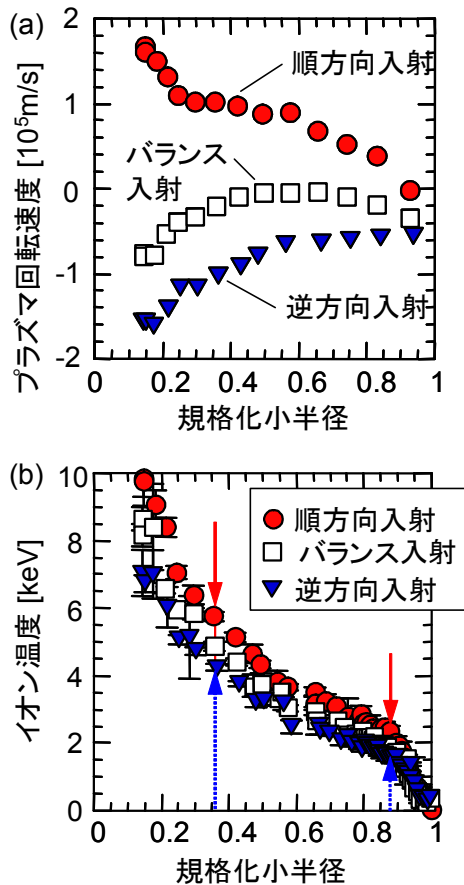


図 2. プラズマ回転速度スキャン実験における (a) プラズマ回転速度分布及び (b) イオン温度分布。

高内部インダクタンス化による高閉じ込めはコア部の閉じ込め改善によるものであり、周辺プラズマ圧力に大きな変化は見られなかった (図 3 参照)。しかし、ELM の周波数は内部インダクタンスの増加に伴って増大する傾向が観測され、ELM のプラズマ周辺部の電流密度との密接な関係を示唆する実験結果が得られた。また、電流分布のスキャン及び電流値のスキャンの両方で、コアプラズマのエネルギー閉じ込め性能はコア部のポロイダル磁場強度の増加に伴って向上することが分かった。磁気シアの影響については今後の課題である。

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 浦野創、坂本宜照、鈴木隆博、藤田隆明、神谷健作、諫山明彦、鎌田裕、竹永秀信、大山直幸、松永剛、井手俊介、井戸村泰宏、JT-60 チーム、The impact of the current density profile on heat transport and pedestal structure in

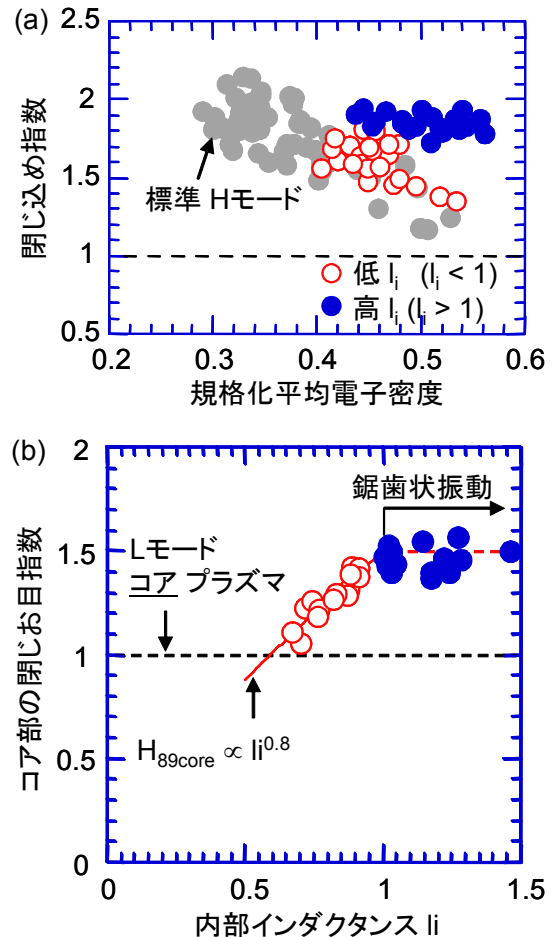


図 3. (a) プラズマ電流分布スキャン実験における規格化平均密度と閉じ込め指数の関係。 (b) 内部インダクタンスとコア部の閉じ込め指数の関係。

JT-60U, Nuclear Fusion、査読有、49 巻、2009、095006

- ② 浦野創、竹永秀信、藤田隆明、鎌田裕、小出芳彦、大山直幸、吉田麻衣子、JT-60 チーム、Dependence of heat transport on toroidal rotation in conventional H-modes in JT-60U, Nuclear Fusion、査読有、48 巻、2008、085007

[学会発表] (計 2 件)

- ① 浦野創、ELM crash and recovery of type-I ELMy H-mode plasmas in JT-60U、プラズマ・核融合学会第 26 回年会、京都、2009 年 12 月 4 日
- ② 浦野創、Heat transport and pedestal structure of H-mode in the variation of current density profiles in JT-60U、22nd IAEA Fusion Energy Conference、スイス・ジュネーブ、2008 年 10 月 17 日

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況（計0件）
- 取得状況（計0件）

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

浦野 創 (URANO HAJIME)
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：70391258

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし