

機関番号：63902

研究種目：基盤研究 (A)

研究期間：2008 ~ 2012

課題番号：20246135

研究課題名 (和文) エルゴディック層と閉構造ダイバータによるプラズマの閉じ込め改善研究

研究課題名 (英文) Confinement improvement study with ergodic layer and closed divertor

研究代表者 小森彰夫 (AKIO KOMORI)

核融合科学研究所・所長

研究者番号：50143011

研究分野：プラズマ工学

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, 周辺プラズマ, エルゴディック層, ダイバータ

### 1. 研究計画の概要

本研究は、大きな成果を上げることができた、ローカルアイランドダイバータ (L I D) を用いた周辺プラズマ制御研究で得られた知見を、エルゴディック層を有する閉構造ダイバータによる制御に発展させ、核融合の実現に必要な高温・高密度プラズマの更なる高性能化 (閉じ込め性能の向上) を目的としている。また、トーラス装置に共通と考えられる閉じ込め改善のメカニズムを解明し、閉構造ダイバータが具備すべき物理要素を確定し、将来の核融合炉設計に貢献する。

具体的には、エルゴディック層を有する閉構造ダイバータが、L I Dと同等以上のダイバータ機能を有するか否かを、中性粒子および不純物の制御性、ペレットによる中心燃料粒子供給との整合性、密度および温度分布の制御性等に着目した実験で明らかにする。

### 2. 研究の進捗状況

研究の開始にあたっては、これまでに行われたローカルアイランドダイバータ実験で発見され、今後さらなる進展が見込まれる「内部拡散障壁 (IDB)」の形成を伴う「超高密度 (SDC) プラズマ」の研究を重点的に行った。IDB-SDC 放電では、プラズマの中心圧力が十分上昇すると IDB が崩壊し、中心部の粒子が吐き出される様子が観測されている。この現象を説明するためにバルーニング不安定性を想定した電磁流体力学に基づいたシミュレーションを行い実験結果との比較を行ったところ、両者は定性的に一致することが明らかになった。また、高い中心圧力が周辺エルゴディック層に与える影響についても実験、理論の両面から調べられた。HINT2 コードを用いた理論計算で、圧力の

上昇に伴って磁気面が大きくエルゴダイズすることが予想されていたが、詳細な密度分布計測で、周辺領域における密度分布の平坦化という、磁場構造の変化を示唆するが実験結果が得られた。一方、温度分布は密度分布とは対称的に急峻な勾配を維持しており、この領域における粒子・エネルギー輸送が、古典的な理論モデル (レチェスター=ローゼンブルースモデル) で予想されるものと、異なる性質のものであることが明らかになった。

LHDにおける実験研究と並行して、中性粒子密度分布の数値シミュレーションによるバップル設置位置の最適化作業を進め、エルゴディック層を有する閉ダイバータの工学設計を完了させた。周辺・ダイバータプラズマ計測の整備も行った。エルゴディック層領域の温度・密度計測に特化したヘリウムビームプローブの開発を進め、極めて高い収束性を有するビームを得ることに成功した。

上述の工学設計に基づいて、平成22年度に閉構造ダイバータの一部設置を行い、予備実験を開始した。広範囲に渡るパラメータサーベイの結果、閉構造化したダイバータ部では、開構造部の10倍以上の中性粒子圧力を観測し、数値シミュレーションの予測ときわめてよい一致を見た。

### 3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(理由) 実験研究、理論研究ともに新たな知見を得る成果を上げている。また、その成果に基づいて「閉ダイバータ」の建設に着手しており、申請時に立案した研究計画に従って、と考える。

#### 4. 今後の研究の推進方策

平成 22 年度に、これまでの実験・数値シミュレーション結果に基づいて、閉構造ダイバータを試験的に 2 セクション (20%) 設置し、予備実験を行った。実験結果は、設計の妥当性を裏付けるものであった。従って平成 23 年度は、プロトタイプを基本に、一部改良を加えた設計で、6 セクション (60%) 増設する。また、現在開発試験中の内蔵型クライオソープションポンプを設置する。

最終年度となる平成 24 年度は、設置率 80% となったポンプ付閉構造ダイバータによる実験を行い、排気効果とそれが周辺プラズマ特性に与える影響を明らかにする。さらに、ダイバータによる中性粒子制御を通じた主プラズマの閉じ込め改善を目指す。その際、特に以下の点に着目する。

##### (1) 不純物の制御性について

放電時間が長くなると、不純物の蓄積が問題となってくる。将来の核融合炉は当然定常運転であり、不純物の排除が課題である。本研究では、閉ダイバータが不純物を蓄積することなく、高性能プラズマの維持が可能か否かを、長時間放電実験を行って確かめる。

##### (2) 粒子供給との整合性について

長時間放電では、粒子供給と排気とのバランスが重要である。本研究ではペレットによる中心粒子供給と閉ダイバータによる排気で IDB-SDC プラズマの定常維持を試みる。

上述の実験結果を解析し、閉構造ダイバータの総合的な性能評価を行ったうえで、リアクターへの適用を考察し、研究を総括する。

#### 5. 代表的な研究成果

(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 25 件)

① S. Masuzaki, M. Kobayashi, M. Shoji, 他 10 名, "Neutral gas compression in the helical divertor with a baffle structure in the LHD heliotron", Plasma and Fusion Research, vol.6, p.1202007, 2011 年, 査読有  
[http://www.jspf.or.jp/PFR/PFR\\_articles/pfr2011/pfr2011\\_06-1202007.html](http://www.jspf.or.jp/PFR/PFR_articles/pfr2011/pfr2011_06-1202007.html)

② M. Shoji, S. Masuzaki, M. Kobayashi, 他 6 名, "Investigation of the helical divertor function and the future plan of a closed divertor for efficient particle control in the LHD plasma periphery", Fusion Science and Technology, 58, No.1, (2010) p208, 査読有  
<http://epubs.ans.org/?a=10808>

③ M. Kobayashi, Y. Feng, S. Morita, 他 12 名, "Transport characteristics in the stochastic magnetic boundary of LHD: magnetic field topology and its impact on divertor physics and impurity transport", Fusion Science and Technology vol.58 (2010) 220-231, 査読有  
<http://epubs.ans.org/?a=10808>

④ Y. Suzuki, K.Y. Watanabe, H. Funaba, 他 3 名, Effects of the stochasticity on transport properties in high- $\beta$  LHD, Plasma and Fusion Research, vol.4, p.36, 2009 年, 査読有  
[http://www.jspf.or.jp/PFR/PFR\\_articles/pfr2009/pfr2009\\_04-036.html](http://www.jspf.or.jp/PFR/PFR_articles/pfr2009/pfr2009_04-036.html)

⑤ A. Komori, H. Yamada, S. Sakakibara, 他 140 名, Development of net-current free heliotron plasmas in the Large Helical Device, Nuclear Fusion, vol. 49, p.104015, 2009 年, 査読有  
doi: 10.1088/0029-5515/49/10/104015

[学会発表] (計 41 件)

① M. Shoji, S. Masuzaki, T. Morisaki, 他 6 名, "Simulation analysis of the design of a vacuum pumping system for the closed helical divertor in the Large Helical Device" 20<sup>th</sup> International Toki Conference, Dec. 7-10, 2010 (Ceratopia Toki).

② 森崎友宏, 増崎 貴, 小林政弘, 他 11 名, 「LHD ダイバータ実験の初期結果」第 27 回プラズマ・核融合学会年会 (2010 年 11 月 30 日~12 月 3 日 北海道大学)

③ 小林政弘, 増崎貴, 時谷政行, 他 4 名, 「LHD ヘリカルダイバータの閉型化による中性粒子圧縮率の測定」第 27 回プラズマ・核融合学会年会 2010 年 11 月 30-12 月 3 日 北海道大学。

④ T. Morisaki, M. Goto, R. Sakamoto, 他 8 名, "Progress of Superdense Plasma Research in LHD: Sustainment and Transport Study" IAEA FEC 2010, Daejeon, Korea Oct.12, 2010

⑤ S. Masuzaki, "Helical divertor in LHD experiments and FFHR demo design", 6<sup>th</sup> Japan-Korea Workshop on Fusion Materials and Engineering toward Next Fusion Devices, 8 July 2010, Seoul.