

機関番号：63902

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2010

課題番号：19360419

研究課題名（和文）

トロイダルプラズマにおける共鳴磁場の巨視的不安定性に与える影響

研究課題名（英文）

Effect of Resonant Magnetic Perturbation on MHD Instability in Toroidal Plasma

研究代表者

榊原 悟 (SAKAKIBARA SATORU)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授

研究者番号：90280594

研究成果の概要（和文）：

大型ヘリカル型装置において共鳴摂動磁場の巨視的不安定性への影響に関する実験研究を行った。外部より共鳴磁場を印加した場合、ある閾値を超えた場合にプラズマ中に滲み込む傾向があり、この閾値は、磁気シアが強くなるほど大きくなることが明らかとなった。また磁場の閾値を超えた場合には、予測されるよりも大きな磁気島構造が形成されることがわかった。

研究成果の概要（英文）：

Effect of resonant magnetic perturbation on MHD instabilities has been investigated in the Large Helical Device. When the external magnetic perturbation field was applied to the plasma temporally, the magnetic island was formed when the perturbation exceeds a threshold. Experiments in the different magnetic shear configurations suggest that the threshold increased with the strength of the magnetic shear. Also, it was clarified that the island width was quite larger than the prediction.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	7,100,000	2,130,000	9,230,000
2008 年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2009 年度	800,000	240,000	1,040,000
2010 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
総計	13,000,000	3,900,000	16,900,000

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：巨視的不安定性、MHD 平衡、共鳴磁場、ヘリカルプラズマ、磁気島

## 1. 研究開始当初の背景

磁場閉じ込め装置において、プラズマの高ベータ化は、経済的な炉を実現する上で必要不可欠である。しかしながら、プラズマ中に発生した巨視的不安定性がプラズマの高ベータ化を制限するため、その特性の理解、及び制御法確立に向けた実験が世界各国で推進されている。また、高圧力プラズマの平衡状態を定常維持するための閉じ込め磁気面の確保は必須であり、安定した炉運転の観点か

ら工学的にも重要な課題である。実際の磁場閉じ込め装置では、閉じ込めコイルのフィード部や磁性体などに起因する不整磁場が閉じ込め磁気面を乱し、その磁場フーリエ成分に共鳴した構造（磁気島）がプラズマの閉じ込めを劣化させる。閉じ込め磁場形成にプラズマ電流を用いるトカマク等の装置では、不整磁場が MHD 不安定性を励起し、平衡破壊に至る場合があり、実験、理論ともに研究が進められている。また、不整磁場以外にも励

起された不安定性を制御するツールとして外部摂動磁場を積極的に利用する場合があります、三次元磁場配位における不安定性を含めた磁場構造の自発的变化およびプラズマ閉じ込めへの影響が大きく注目されている。

## 2. 研究の目的

本研究は、大型ヘリカル装置を対象とし、不整磁場に起因する不安定性の成長、飽和に関する物理機構について明らかにし、装置が固有に持つ不整磁場（磁気島）の同定、磁場配位等に対する閾値を定量的に評価を行い、ヘリカル型核融合炉の実現に向けて指標を与えることを目的としている。ヘリカル型装置は外部コイルにより閉じ込め磁場を形成することから、トカマク等で励起される不安定性とは質的に異なること、また広範な磁場配位を実現できることから、外部摂動磁場に対するプラズマの応答に対する配位依存性を明らかにできる可能性がある。

## 3. 研究の方法

広範な磁場配位において既存の外部摂動磁場コイルを用いて、磁場遮蔽効果の閾値を実験により評価する。プラズマの生成には中性粒子入射装置を用い、磁場構造の同定には磁気プローブ、サドルループ等を用い、プラズマ分布はトムソン散乱システムにより計測を行う。

## 4. 研究成果

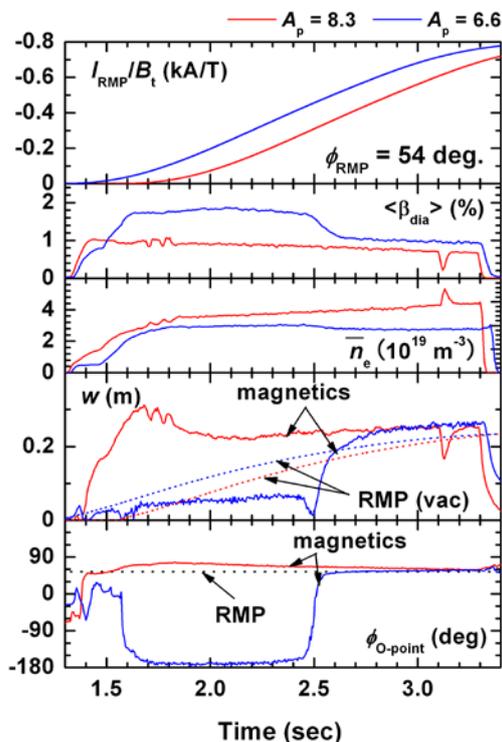


図1 放電例

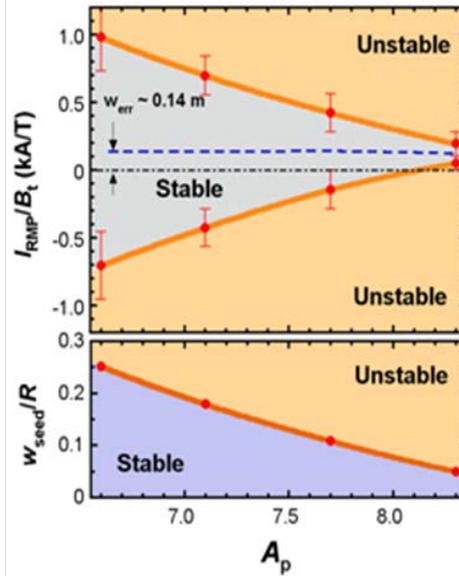


図2 プラズマアスペクト比に対する外部摂動磁場閾値と磁気島幅

一例として、プラズマアスペクト比を変えた場合の放電例を図1に示す。アスペクト比の増加は磁気シアの低下を意味する。外部摂動磁場 ( $I_{RMP}/B_t$ ) を時間的に変化させた場合、 $A_p = 6.6$  (高磁気シア) の場合は放電の途中より外部磁場がプラズマ内部に滲みこみ、突然プラズマ圧力 ( $\langle \beta_{dia} \rangle$ ) を低下させていることがわかる。一方、 $A_p = 8.3$  (低磁気シア) の場合には、外部摂動磁場を印加する前よりプラズマ中に磁気島構造を持つことを示している。図2にアスペクト比に対する外部磁場滲みこみ閾値の変化、および相当する磁気島幅を示す。プラズマアスペクト比の増加に伴い磁場滲みこみの閾値が低下していく傾向が確認できる。また、この閾値は外部磁場の符号に対して正のオフセットを持つ。このことは大型ヘリカル装置が固有の不整磁場を持っていることを意味しており、図1の  $A_p = 8.3$  の場合で観測された結果に対応している。本実験より、磁気島が形成される閾値を評価することができ (図2下)、磁気シアの低下に伴い閾値となる磁気島幅が低下することがわかり、低次有理面を持つ低磁気シア配位は、不整磁場が存在する場合にプラズマ閉じ込め性能を劣化させるおそれがあることを示唆している。

## 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4件)

- ① S. Sakakibara, S. Ohdachi, K. Y. Watanabe (他13名、1番目), "Exploration of optimal high-beta operation regime by magnetic axis swing in the Large Helical Device", Proceedings of IAEA-FEC, 査読無、2010, EXS/P5-13
- ② S. Sakakibara, H. Yamada and LHD Experiment Group, "Magnetic Measurements in LHD", Fusion Science and Technology, 査読有、Vol. 58, 2010, 471-481
- ③ S. Sakakibara, K. Y. Watanabe, S. Ohdachi (他9名、1番目), "Study of MHD Stability in LHD", Fusion Science and Technology, 査読有、Vol. 58, 2010, 176-185
- ④ S. Sakakibara, K. Y. Watanabe, Y. Suzuki (他14名、1番目), "MHD study of the reactor-relevant high-beta regime in the Large Helical Device", Plasma Physics and Controlled Fusion, 査読有、Vol. 50, 2008, 124014-1~10

[学会発表] (計 15 件)

- ① 榊原 悟, "LHDにおけるMHD特性に対するRMPの効果", 第27回プラズマ・核融合学会年会、2010年12月2日、北海道大学
- ② S. Sakakibara, "Exploration of optimal high-beta operation regime by magnetic axis swing in the Large Helical Device", IAEA-FEC, 2010年10月15日、大田 (韓国)
- ③ 榊原 悟, "LHDにおける共鳴磁場とMHDモードとの相互作用" 日本物理学会秋季大会、2010年9月26日、大阪府立大学
- ④ 榊原 悟, "ヘリオトロンプラズマで観測される磁気島構造の発現と消失", 日本物理学会秋季大会シンポジウム、2010年9月25日、大阪府立大学
- ⑤ S. Sakakibara, "Effect of External Magnetic Perturbation on MHD Characteristics in the Large Helical Device", ICPP2010, 2010年8月10日、サンチアゴ (チリ)
- ⑥ 榊原 悟, "LHDにおけるMHDモードと外部摂動磁場の相互作用", 核融合エネルギー連合講演会、2010年6月10日、高山市文化会館
- ⑦ 榊原 悟, "LHDにおける高ベータプラズマの磁気軸制御", 第26回プラズマ・核融合学会年会、2009年12月4日、京都市国際交流会館
- ⑧ S. Sakakibara, "Study of MHD Characteristics by Magnetic Axis Control in High-beta Plasmas of LHD", International Stellarator/Heliotron Workshop 2009, 2009年10月14日、プリンストンプラズマ物理研究所 (米国)
- ⑨ S. Sakakibara, "LHD High-Beta Data for the ISHPDB", 第5回CWGM、2009年7月7日、Stuttgart大学 (ドイツ)
- ⑩ 榊原 悟, "ステラレータ/ヘリオトロンのMHDデータベース", 第25回プラズマ・核融合学会年会、2008年12月2日、栃木県総合文化センター
- ⑪ S. Sakakibara, "Present Status of High- $\beta$  Experiments and Plan for MHD Database in Stellarator/Heliotrons", 第4回CWGM, 2008年10月21日、CIEMAT研究所 (スペイン)
- ⑫ S. Sakakibara, "Study of Reactor-Relevant High-Beta Regime in the Large Helical Device", 欧州物理学会、2008年6月11日、クレタ島 (ギリシャ)
- ⑬ S. Sakakibara, "Equilibrium and Stability in High- $\beta$  Plasmas of LHD", APFA, 2007年12月3日、アーメーダバード (インド)
- ⑭ 榊原 悟, "ヘリオトロンプラズマにおける安定性特性", 第24回プラズマ・核融合学会年会、2007年11月27日、イーグルひめじ (兵庫県)
- ⑮ S. Sakakibara, "Results of High- $\beta$  Experiments in LHD", 第2回CWGM, 2007年6月5日、IPP-Greifswald (ドイツ)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

榊原 悟 (SAKAKIBARA SATORU)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授  
研究者番号：90280594