

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 11 日現在

機関番号: 63902
 研究種目: 若手研究(B)
 研究期間: 2010~2012
 課題番号: 22760661
 研究課題名(和文) 高 β ヘリオトロン核融合炉を想定した MHD 不安定性に与える 3 次元効果の検証
 研究課題名(英文) Study of 3D effect on MHD stability in high-beta heliotron plasma
 研究代表者
 成嶋 吉朗(NARUSHIMA YOSHIRO)
 核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教
 研究者番号: 40332184

研究成果の概要(和文): LHD プラズマにおける外部摂動磁場印加による 3 次元効果を検証し、磁気島構造のダイナミクスがプラズマフローと強い相関があることを実験的に発見した。これまで、LHD における磁気島の振る舞いは規格化圧力 β と衝突周波数 ν によって条件分けされることが実験的にわかっていたが、そのメカニズムは説明できず、隠れたパラメータの存在が示唆されていた。実験の結果、プラズマフローが増加(減少)した後に磁気島が拡大から縮小(縮小から拡大)に遷移する現象の観測に成功した。

研究成果の概要(英文): The 3D effect by the externally imposed resonant magnetic perturbation field in LHD plasma has been studied. It has found that there is strong correlation between the dynamics of magnetic island structure and plasma flow. The behavior of the magnetic island in LHD can be divided by plasma beta and collisionality. These parameters, however, do not affect island dynamics directly, which implies the existence of the hidden parameter. The experimental fact has been found that the poloidal flow increases (decreases) prior to the magnetic island healing (growth).

交付決定額

(金額単位: 円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

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: 磁気島・ヘリオトロンプラズマ・3次元効果・共鳴摂動磁場

1. 研究開始当初の背景

(1) ヘリオトロン型磁場閉じ込め核融合装置 LHD において、外部から印加された共鳴摂動磁場によって生成される磁気島が自発的に拡大・縮小する現象が観測されていた。

(2) 磁気島の拡大は電磁流体力学的安定性に大きな影響を及ぼすため、ヘリオトロンプラズマにおけるそのダイナミクスメカニズ

ムの解明や、磁気島の制御手法の確立が求められていた。

2. 研究の目的

(1) LHD で観測される磁気島の自発的ダイナミクスのメカニズムを解明し、能動的な磁気島の制御手法の確立を目指すことを目的とする。

(2) 磁気島の拡大・縮小は、プラズマの規格化圧力 β と衝突周波数 ν によって場合分けすることができるが、これらのパラメータ自身がプラズマに作用するわけではない。隠れたパラメータを介して磁気島が影響を受けていると考えられ、それが何かを解明し、磁気島に対する影響を明らかにすることが目的である。

3. 研究方法

(1) 実験装置

核融合科学研究所に設置された超伝導ヘリカルコイルおよびポロイダルコイルによる閉じ込め磁場生成が可能な大型ヘリカル装置(LHD)を基盤実験装置とし、LHDの周辺計測機器、加熱機器などを活用して実験を進める。3次元効果を検証するために必須の外部共鳴摂動磁場は、常伝導体で作製された10組のコイル(図1)のうち4組を用いてポロイダルフリーモード数 $m=1$ 、トロイダルフリーモード数 $n=1$ の共鳴摂動磁場を印加する。

(2) 実験手法

LHD装置において、超伝導ヘリカルコイル、ポロイダルコイルおよび共鳴摂動磁場コイルを用いて磁気島を有する真空磁場配位を生成する。この磁場配位中に軽水素ガスを注入後、加熱装置(中性粒子ビーム入射装置、電子サイクロトロン加熱装置)を用いて有限の β 値を持つプラズマを生成する。3秒から6秒程度の単一放電中に電子密度を変化させることで β 値を調整し、磁気島の遷移(拡大 \leftrightarrow 縮小)を意図的に起させる。磁気計測系を

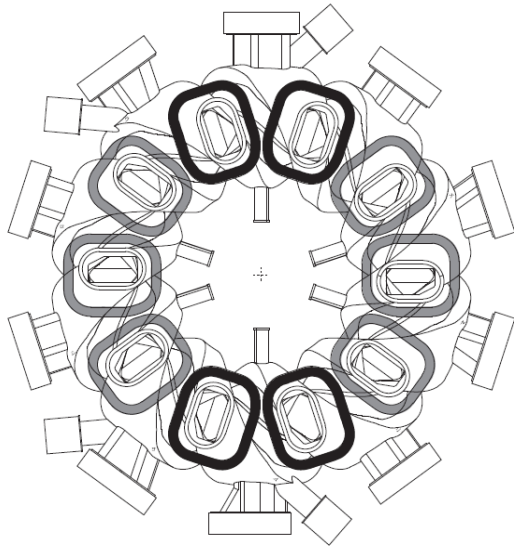


図1 LHDの上面図 黒で示したコイルを用いて $m/n=1/1$ の共鳴摂動磁場を印加する。灰色の示したコイルは余剰成分を抑制するために使用する。

用いて磁気島の運動を検出し、荷電交換分光を用いてプラズマのフローを計測する。

(3) 解析手法

磁気島の振る舞いは、プラズマ応答磁場の検出により詳細に知ることができる。検出された磁場信号を空間的にフーリエ分解し、ポロイダルモード数 $m=1$ 成分だけを抽出することで、磁気島の幅および真空磁気島に対する位相のずれ $\Delta\theta$ を知ることができる。特に、 $\Delta\theta$ は重要な情報をもたらす。 $\Delta\theta=0$ のときは磁気島拡大を、 $\Delta\theta=\pm\pi$ のときは縮小を意味する。これらのパラメータとポロイダルフローとの関係を調べることで、磁気島ダイナミクスに対する今までわからなかった隠れたパラメータを知ることが期待される。

4. 研究成果

(1) 磁気島遷移の原因解明

磁気島の遷移は、ポロイダルフローの変化が原因であることを発見した。図2は、ポロイダルフローに対する磁気島幅の関係を示しており、矢印が時間変化を示している。単一放電中に磁気島が拡大から縮小に遷移する複数の放電をまとめたものである。ポロイダルフローが小さいとき、磁気島幅は大きい。ポロイダルフローが増加するにつれ磁気島幅が減少する様子がわかる。仮に磁気島幅の減少に引き続きポロイダルフローが変化するのならば、図2のデータ点群は縦軸・横軸に沿った形で分布する。

(2) 磁気島遷移に関する履歴現象の発見

磁気島は拡大から縮小だけではなく、縮小から拡大にも遷移する。このときの磁気島とポロイダルフロー、並びに β 値との関係について調べた結果、それぞれの遷移時の閾値が異なる現象、履歴現象が観測された。図3は、それぞれの遷移時における位相のずれ $\Delta\theta$

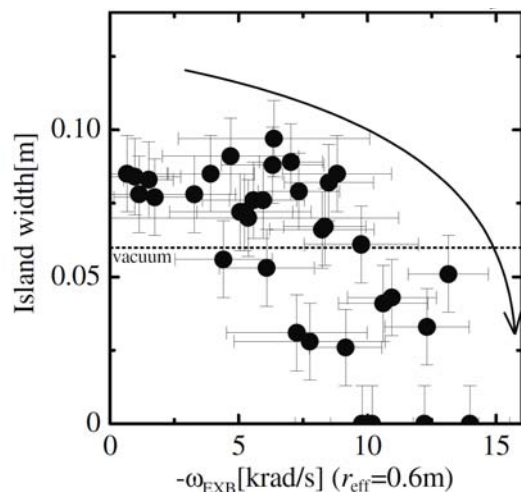


図2 磁気島幅(縦軸)とポロイダルフロー(横軸)の関係。黒点は実験値を表し、矢印は時間の変化を表す。

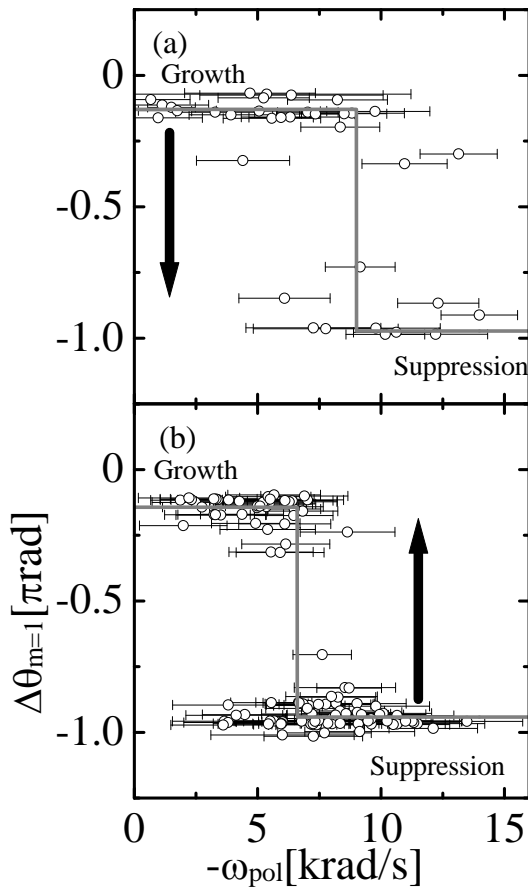


図 3 磁気島の遷移時における位相のずれ $\Delta\theta$ (縦軸) とポロイダルフロー (横軸) の関係。(a)磁気島拡大から縮小遷移 (b)磁気島縮小から拡大遷移

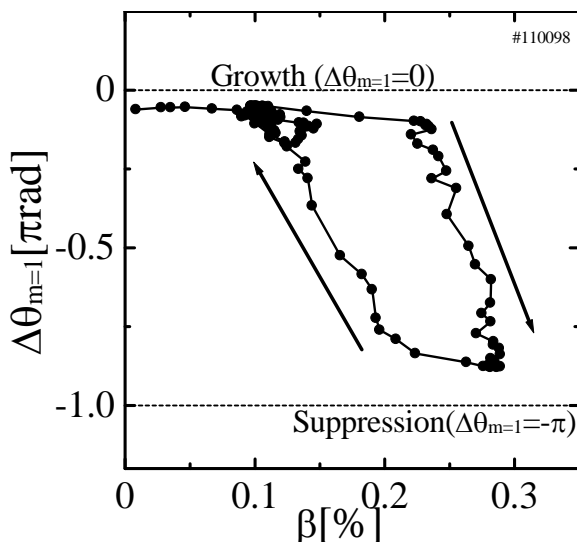


図 4 β 値 (縦軸) とポロイダルフロー (横軸) の関係。黒点は実験値を表し、矢印は時間の変化を表す。

とポロイダルフローの関係を示したものである。拡大から縮小への遷移の場合(図 3(a))、ポロイダルフローが -9.0krad/s で遷移するのに対して、逆の縮小から拡大への遷移の場合(図 3(b))、ポロイダルフローは -6.6krad/s まで低下しないと遷移しない。この性質は、磁気島の抑制の観点からは好ましい性質といえる。すなわち、いったんポロイダルフローを増加させて磁気島を消失させることによって、その後はポロイダルフローが多少下回っても磁気島消失状態は維持されることを意味するからである。図 4 は位相のずれ $\Delta\theta$ と β 値との関係を示しており、同様に履歴現象が観測されている。磁気島が拡大から縮小に遷移する際の閾値は $\beta=0.3\%$ であるのに対して、 $\beta=0.25$ まで低下して初めて縮小から拡大に遷移を開始する。

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. Y. Narushima, M. Kobayashi, T. Akiyama, et al., (7 名 1 番目) 査読有

"Behavior of Plasma Response Field in Detached Plasma"

Plasma and Fusion Research Vol.8, 1402058 (2013)

DOI 10.1585/pfr.8.1402058

2. Y. Narushima, F. Castejón, S. Sakakibara, et al., (15 名 1 番目) 査読有

"Experimental study of the poloidal flow effect on magnetic island dynamics in LHD and TJ-II"

Nuclear Fusion Vol. 51 No.8 083030 (9pp) (2011)

(DOI 10.1088/0029-5515/51/8/083030)

3. Y. Narushima, F. Castejón, K.Y. Watanabe, et al., (10 名 1 番目) 査読有

"Experimental Study of the Effect of Poloidal Flow on Stability of Magnetic Islands in LHD and TJ-II"

Contributions to Plasma Physics Vol.50, No.6-7, pp.529-533 (2010)

(DOI 10.1002/ctpp.200900048)

4. Y. Narushima, K. Y. Watanabe, Y. Suzuki, et al., (8 名 1 番目) 査読有

"SPONTANEOUS DYNAMICS OF MAGNETIC ISLANDS DEPENDING ON PLASMA PARAMETERS IN LHD"

Fusion Science and Technology, Vol.58 No.1 pp.194-199 (2010)

(<http://epubs.ans.org/?a=10806>)

[学会発表] (計 12 件)

5. 成嶋吉朗、小林政弘、秋山毅、榊原悟、他
(7名 1 番目)

“デタッチプラズマにおけるプラズマ応答
磁場の振舞”

第 29 回プラズマ・核融合学会年会 28D33P

2012 年 11 月 27 日～30 日

クローバープラザ (福岡県春日市)

6. Y. Narushima, M. Kobayashi, T. Akiyama, et al.,
(7名 1 番目)

"Correlation between detached plasmas and
plasma response field"

22nd International Toki Conference P1-20

Ceratopia Toki, Toki-city, Gifu, JAPAN,

November 19-22, 2012

7. Y. Narushima, Invited talk

17th Workshop on MHD Stability Control

"Flow effects on RMP field penetration in the
Large Helical Device" at Columbia University,

New York, USA November 5 - 7, (2012)

8. Y. Narushima, S. Sakakibara, F. Castejón, et al.,
(17名 1 番目)

"Response of magnetic island to resonant
magnetic perturbation in LHD"

Proceedings of the 39th European Physical
Society Conference on Plasma Physics / 16th

International Congress on Plasma Physics

Stockholm, Sweden, 2-6 July 2012 P1.025 (2012)

9. 成嶋吉朗、榊原悟、渡邊清政、他
(9名 1 番目)

“時間的に変化する共鳴磁場摂動に対する
プラズマ応答磁場のプラズマパラメータ依
存性”

第 9 回核融合エネルギー連合講演会 29A-01p

2012 年 6 月 28-29 日 神戸国際会議場 (兵庫
県神戸市)

10. Y. Narushima

“Flow effects on RMP field penetration in
Helical plasmas”

2012 Joint Meeting of US-Japan MHD Workshop
and ITPA MHD Stability, March 5 -9, 2012 Toki,

Gifu, Japan

11. Y. Narushima, Invited talk

16th Workshop on MHD Stability Control

"Mode Locking in LHD" at General Atomics,
San Diego, CA, USA November 20 - 22, (2011)

12. Y. Narushima, F. Castejón, S. Sakakibara, et al.,
(15名 1 番目)

"Behavior of poloidal rotation during transition

of magnetic island dynamics in LHD"

53rd Annual Meeting of the APS Division of
Plasma Physics GP9.79 Salt lake city, UT, USA
November 14 - 18, (2011)

13. Y. Narushima, F. Castejón, S. Sakakibara, et al.,
(16名 1 番目)

"Experimental observation of hysteresis of
magnetic island dynamics during change of
poloidal flow in a helical plasma"

Proceedings of the 38th European Physical
Society Conference on Plasma Phys. Strasbourg,

France, 27 June - 1 July 2011 P-4.082 (2011)

14. 成嶋吉朗、榊原悟、渡邊清政、大館 暁 他
(9名 1 番目)

“LHD における $m/n=2/1$ 磁気島の拡大/縮小遷
移”

第 27 回プラズマ・核融合学会年会 02P13

2010 年 11 月 30 日～12 月 3 日

北海道大学学術交流会館

15. Y. Narushima, F. Castejón, S. Sakakibara, et
al.,

(14名 1 番目)

"Experimental Study of Poloidal Flow Effect on
Magnetic Island Dynamics in LHD and TJ-II"

23rd IAEA/FEC (2010), Daejeon, Korea

IAEA-CN-180/EXS/P8-02

16. Y. Narushima, S. Sakakibara, F. Castejón, 他
(15名 1 番目)

“磁気島のダイナミクスに対する電磁トル
クとポロイダルフローの影響”

第 8 回核融合エネルギー連合講演会 11A-26p

平成 22 年 6 月 10 日(木)～11 日(金) 高山市民
文化会館

6. 研究組織

(1) 研究代表者

成嶋 吉朗 (NARUSHIMA YOSHIRO)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教

研究者番号:40332184