

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：63902

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15K06649

研究課題名(和文)ヘリカル型核融合炉における平衡磁場配位の自己修復機能

研究課題名(英文)Function of self-healing of magnetic configuration in helical fusion reactor

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：ヘリカル型プラズマ閉じ込め装置LHDにおいて、どのようなプラズマであっても磁場配位の自己修復機能が正常に働くことが重要である。軽水素プラズマと重水素プラズマとを比較した結果、軽水素プラズマの方が重水素プラズマよりも自己修復しやすいことが分かった。重水素プラズマでは自己修復しにくい、プラズマフローによる自己修復機能が働いており、条件を満たせば平衡磁場配位が自己修復できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、重水素プラズマにおいても平衡磁場配位の自己修復機能が働くことが確認された。これは、磁場配位構造の破壊によるプラズマ閉じ込め性能の深刻な低下を避けることが可能であることを意味する。さらに、スピノフ的に発見された非接触プラズマと平衡磁場配位との相関については、非接触プラズマ実現のためのひとつの方策を提供した。これらのことは、将来のヘリオトロン型核融合炉実現に向けて意義のある結果である。

研究成果の概要(英文)：In the LHD, it is important that the ability of the self-healing of the magnetic field configuration works properly in any plasma. As a result of comparing the deuterium plasma with the hydrogen plasma, it was found that the hydrogen plasma was easier to be self-healing than the deuterium plasma. It was difficult to realize the self-healing in the deuterium plasma, but it was confirmed that the ability of the self-healing by the plasma flow works, and that the equilibrium magnetic field configuration can be self healed if the conditions are satisfied.

研究分野：核融合学

キーワード：磁場閉じ込めプラズマ 平衡磁場 磁気島

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

核融合発電炉実現のためには、数億度の超高温プラズマを円環状の磁力線のカゴ(平衡磁場配位)の中で保持する必要がある。理想的な平衡磁場配位の断面形状は、木の年輪のような閉じた磁気面構造を示す。しかし、不必要な磁場成分などが存在すると一部に年輪の節のような構造が現れることがある。磁気島と呼ばれるその構造の形成は、プラズマ閉じ込め性能の劣化や電磁流体力学的(MHD)不安定性の発生を引き起こすため、トカマク型プラズマにおいては磁気島の抑制・排除を目的とした研究が進められていた。一方、ヘリオトロンプラズマでは磁気島が自発的に消失する現象が観測されており、ヘリオトロンプラズマが外部制御なしにプラズマ閉じ込め劣化・MHD不安定性の回避が可能となる潜在能力を有することを示唆していた。さらに、プラズマが自発的に回転することが磁気島の抑制に直結していることが発見されていた。この研究では、プラズマ圧力(ベータ値)の上昇に伴いプラズマが自発的に回転し、それにより不必要な磁場成分が遮蔽されて磁気島が消失し、平衡磁場配位が自己修復されることが明らかになった。この現象は、実験室レベルでは好ましい性質を示しているが、果たしてこの性質が核融合炉の条件でも適用可能かどうかは検証されていない。さらに、これらの研究は軽水素プラズマでの実験結果であった。

2. 研究の目的

以上の背景に基づき、『ヘリオトロン型核融合発電炉における平衡磁場配位の自己修復機能』を検証する必要性・重要性がある。そのため、核融合科学研究所の大型ヘリカル装置(LHD)を用いて重水素を用いたプラズマにおける磁気島の特性を調べる必要がある。核融合炉を想定した状況での検証のために、ヘリオトロン型核融合炉設計において想定されるプラズマをLHDで模擬する。その中で、種々のパラメータスキャンにより平衡磁場配位の自己修復機能に与える影響を明らかにする。ここで注目するパラメータは、ベータ値、衝突周波数、平衡磁場、外部摂動磁場である。本研究の特色・独創的な点は、従来は磁場構造の乱れを補正するために外部からの制御が必要とされていたのに対して、プラズマ自身の自己修復性能を十分に発揮させ、外部制御に頼らない、きれいな平衡磁場配位の維持を目指す点にある。本研究により、ヘリオトロンプラズマのみならず、トラスプラズマ共通の磁気島研究の幅を広げる結果につながり、より簡易・低コストで磁場構造の維持の方策が立てられる意義を持つ。さらに、重水素プラズマにおける平衡磁場配位の特性を明らかにするため、これまで得られてきたプラズマパラメータと同じ条件でのプラズマを生成し、同位体効果を明らかにすることが目的である。

3. 研究の方法

研究期間の前半は、軽水素プラズマ実験が実施される。実験データ収集系の整備を実施する。さらに、これまで得られている軽水素プラズマでの実験データの蓄積及び解析を行う。軽水素プラズマにおける磁気島の振舞いは、真空平衡磁場配位で生成された磁気島の構造に対して拡大するか消失するか二通りに明確に分けられることが分かっており、その中間の状態は観測されていない。この現象について、本当に中間の状態が実現できないのかどうかを確認する。また、磁気島のダイナミクスの研究からのスピンオフの可能性も視野に入れた研究を行う。特に周辺プラズマとダイバータとの相互作用と磁気島との相関について明らかにする。また、本研究はポロイダルモード数1、トロイダルモード数1のフーリエモード構造を持つ磁気島を対象としているが、ポロイダルモード2、トロイダルモード1の磁気島のダイナミクスについても確認する。研究期間の後半では重水素プラズマ実験が開始される予定である。ここで、それまでに得られてきた軽水素プラズマにおける磁気島のダイナミクスに対応した重水素プラズマでのデータ収集を実施する。それにより、軽水素と重水素プラズマの比較が可能となり、『ヘリオトロン型核融合発電炉における平衡磁場配位の自己修復機能』の理解につながる。

4. 研究成果

4-1 Y. Narushima, et.al., "Experimental observation of response to resonant magnetic perturbation and its hysteresis in LHD", Nuclear Fusion, Volume 55, Number 7 (2015) 073004 (7pp)

軽水素プラズマにおける磁気島構造の拡大/縮小遷移について、ヒステリシス現象が現れることを実験的に明らかにした。図1はプラズマβ値に対するヒステリシスを示し、磁気島拡大から消失遷移は $\beta=0.3\%$ で起こり、磁気島消失から拡大遷移は $\beta=0.1\%$ で起こる。図2はポロイダルフロー ω_{pol} に対するヒステリシスを示し、磁気島拡大から消失遷移は $\omega_{pol}=-9.4\text{krad/s}$ で起こり、磁気島消失から拡大遷移は $\omega_{pol}=-6.4\text{krad/s}$ で起こる。これらの結果に基づいて、FORTEC3-Dを用いた数値計算によると、閾値の違いはプラズマ粘性の平衡磁場配位による違いに依存することが示された。その結果、磁気島のダイナミクスは電磁トルクとプラズマ回転を介したプラズマ粘性トルクとのバランスによって決まることが明らかになった。

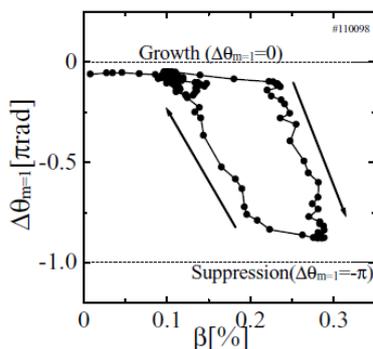


図1 プラズマの拡大縮小遷移に対するβ値との関係

4-2 Y. Narushima, et.al., "Study of magnetic island structure at intermediate state of island in LHD" プラズマ・核融合学会 第32回年会 名古屋大学 2015年11月24-27日

軽水素プラズマにおける磁気島構造を詳細に調べた結果、磁気島の拡大と縮小の間の位置「中間状態」が維持される初期的結果を得た。これは、これまでの拡大若しくは消失のどちらかしか取りえないとされてきた現象に対する新たな発見であった。図3では、中間状態(a)では拡大状態(b)に比べて磁気島の位相が紙面時計回りにシフトした状態が維持されていることが示されている。同時に計測された電子温度分布には、磁気島に起因する局所的平坦化が見られ、磁気島構造に則した構造を示すことが分かる。

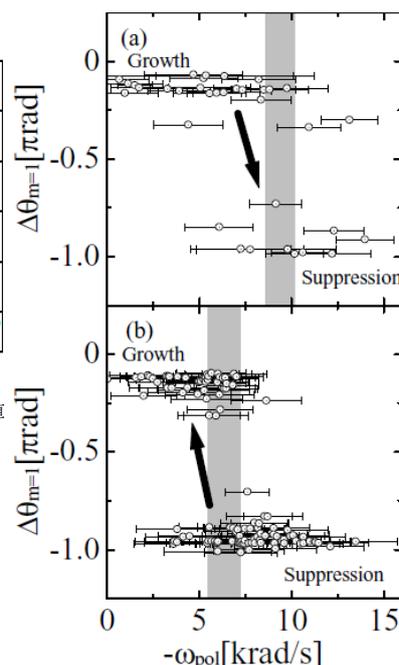


図2 プラズマの拡大縮小遷移に対するポロイダルフローとの関係

4 - 3. Y. Narushima, et.al., "Observations of sustained phase shifted magnetic islands from externally imposed $m/n = 1/1$ RMP in LHD" 26th IAEA Fusion Energy Conference Kyoto, Japan 17-22 October 2016

2015 年度に発見された磁気島の間状態についてのまとめを発表した。磁気島とポロイダルフローとの関係に基づいた説明として、中間状態でのポロイダルフローの速度が磁気島の拡大時及び消失時の速度の間にあることを実験で明らかにした。図4にポロイダルフロー分布と電子温度分布を示す。磁気島が消失しているとき、ポロイダルフローの極値は -3km/s を示し、電子温度分布には平坦化が見られない(図4左列)。磁気島が拡大しているときは、ポロイダルフローの極値は -1.2km/s を示し、電子温度分布には両側に明確な平坦化が見られる(図4右列)。中間状態では、ポロイダルフローの極値は -1.7km/s を示し、電子温度分布には片側に平坦化が見られる(図4中列)。ポロイダルフローの値によって、磁気島構造に消失と拡大以外の様々な状態をもたらすことが明らかになった。このことは、有限 β プラズマ中において、設計された磁気島構造から逸脱した構造を持ちうる可能性を示唆しており、磁気島を利用したダイバータなどの設計に一石を投じる結果となった。

4 - 4. Y. Narushima, et.al., "Structure of resonant magnetic perturbation in LHD detached plasma" 43rd European Physical Society Conference on Plasma Physics Leuven, Belgium July 4 - 8, 2016

スピナップとして位置づけられるこの研究では、データ移行時の平衡磁場配位の変化について報告した。ダイバータプラズマが接触から非接触(デタッチ)状態に移移する時に磁気島構造が特徴的に変化する様子を捉えた。ここで、プラズマ応答磁場と外部摂動磁場の重ね合わせから実効的摂動磁場を計算し、その振舞いを詳細に調べた。図5に実効的摂動磁場の強度(磁気島幅の2乗に比例)とその位相(磁気島の位相に相当)の時間変化を示す。外部摂動磁場の値($\Delta\Phi_{\text{ext}} = 6 \times 10^{-4}\text{Wb}$)は図5上に灰色実線で示されている。プラズマがデタッチする前は実効的摂動磁場強度が外部摂動磁場よりも小さく、デタッチと同時に外部摂動磁場よりも大きくなる様子が観測された。遷移の間、位相は大きく変化していない。これによって、磁気島の拡大とデタッチ遷移に相関があることが明らかになった。

4 - 5. Y. Narushima, et.al., "Various structures of resonant magnetic perturbation field and plasma response magnetic field observed in detached plasma in LHD" プラズマ・核融合学会第33回年会 2016.11.29-12.2 東北大学 青葉山キャンパス

研究成果 4-4 と関連して、デタッチ遷移の際にプラズマ β 値と衝突周波数が低ベータ高衝突周波数領域に入ることを示した(図6)。白丸で示されたプラズマはアタッチ状態にあり、低衝突周波数領域に存在することが分かる。デタッチプラズマは黒丸で示されており、時間変化は矢印で示されている。デタッチプラズマは低ベータ高衝突周波数領域に存在していることが分かる。これまでの磁気島の研究結果から、低ベータ高衝突周波数領域では磁気島が拡大することが示されており、デタッチ遷移と磁気島の拡大との相関について示すことができた。

4 - 6. Y. Narushima, et.al., "Experimental observation of the ECCD on $m/n = 2/1$ magnetic island in LHD" Plasma Conference 2017 2017.11.20-11.24 Himeji

$m/n=2/1$ モードの構造を持つ磁気島について、電子サイクロトロン電流駆動(ECCD)を用いた制御の可能性について報告した。これまで示された磁気島は、 $m/n=1/1$ モードであり、かつプラズマが自発的に変化してきた。外部からの能動的な制御は加えられていない。そこで、ECCDを用いて外部制御の可能性を調べた。図7は種々のパラメータの時間変化が示してある。ECCDは $t=4.5\text{s}$ から 6.5s にかけて印加される。ECCDを印加することによりプラズマ応答磁場が増加(図7(b))し、位相は $\Delta\theta_{m=2} = 0$ に漸近することが分かる(図7(c))。ECCD印加終了後はプラズマ応答磁場は減少(図7(b))し、位相は $\Delta\theta_{m=2} = 0$ から離れる(図7(c))。これは、ECCD印加によって磁気島が拡大したことを意味し、ECCD印加によって磁気島の制御が可能であることを示唆する結果を得た。

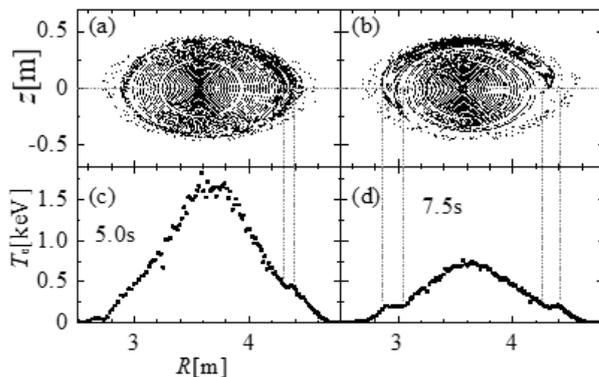


図3 中間状態の磁気島(左列)と拡大状態の磁気島(右)。上段は磁力線追跡により得られた磁気島形状を表す。下段は電子温度分布を示す。中間状態では拡大状態に比べて磁気島の位相が紙面時計回りにシフトした状態で維持されている。

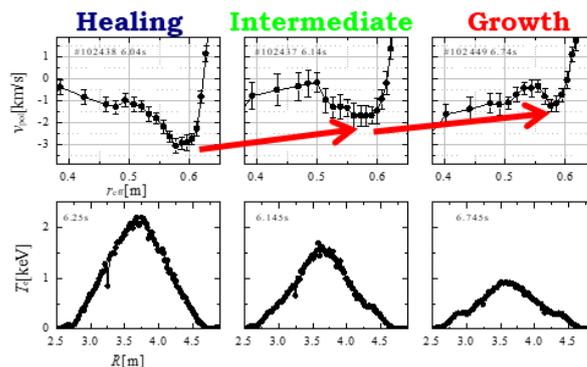


図4 ポロイダルフロー分布(上段)および電子温度分布(下段)。磁気島消失時(左列)。中間状態(中列)。磁気島拡大時(右列)

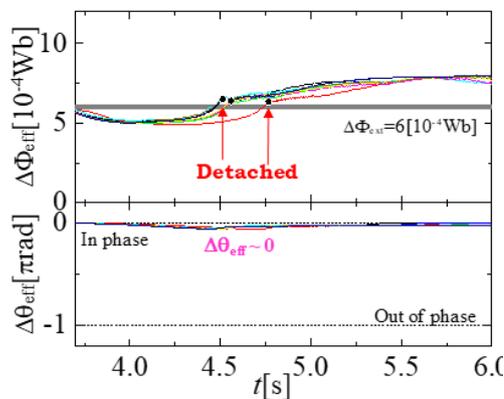


図5 デタッチ遷移時の実効的摂動磁場強度(上段)および位相(下段)の時間変化。

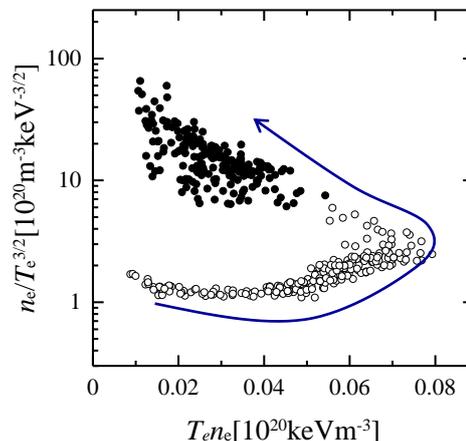


図6 デタッチ遷移時のプラズマパラメータの変化。白丸がアタッチ、黒丸がデタッチである。

4-7. Y. Narushima, et.al., "Study of plasma response of magnetic island produced by resonant magnetic perturbation in LHD deuterium plasmas" 21st International Stellarator-Heliotron Workshop (ISHW2017) Kyoto Japan, 2-6 Oct. 2017

重水素プラズマにおける磁気島のダイナミクスについての実験結果を報告した。軽水素プラズマでは磁気島が消失したプラズマパラメータ領域においても、重水素プラズマ中では消失せず、研究成果 4-3 で示した中間状態になることが分かった。図 8 に磁気島が拡大する時(上段)と中間状態を示す時(下段)の電子応答分布、及びプラズマ応答磁場強度、位相の時間変化(中段)を示す。磁気島拡大時は電子温度分布の両側に局所的平坦化が見られ、プラズマ応答磁場強度が増加し、位相が 0 の値を取る。一方、中間状態では電子温度分布の局所的平坦化幅は小さく、プラズマ応答磁場強度は拡大時に比べて十分に小さい。図 9 には、 β - v 空間におけるプラズマを軽水素プラズマでの結果と共に示す。軽水素プラズマでのデータは黒で示されており、黒丸は磁気島拡大、白抜きは磁気島消失を示す。重水素プラズマでの磁気島拡大は赤で示されており、その領域は軽水素プラズマでのそれと一致することが分かる。一方で、緑で表された中間状態のプラズマは、軽水素プラズマでは磁気島が消失する領域にあることが分かる。これによって、重水素プラズマでの磁気島は軽水素に比べて消失しにくいことが分かった。また、この時点では重水素プラズマで磁気島が消失するデータが得られておらず、さらなる研究が望まれた。

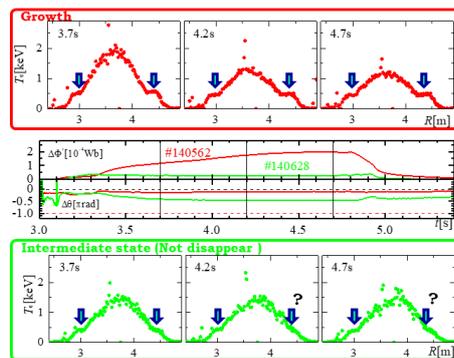


図 8 磁気島が拡大する時(上段)と中間状態を示す時(下段)の電子応答分布、及びプラズマ応答磁場強度、位相の時間変化(中段)。赤は磁気島の拡大を示し、緑は中間状態を示す。

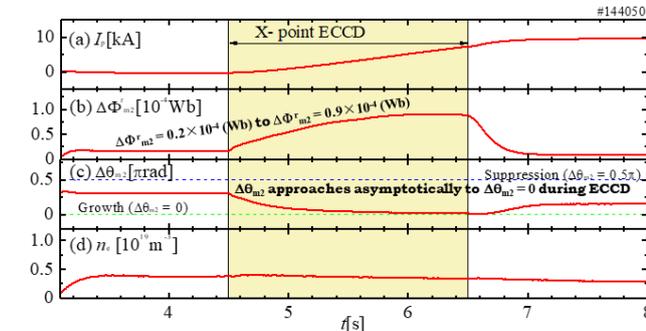


図 7 (a) プラズマ電流、(b) プラズマ応答磁場強度、(c) プラズマ応答磁場位相、(d) 電子密度、の時間変化。ECCD は $t=4.5$ s から 6.5 s にかけて印加される。

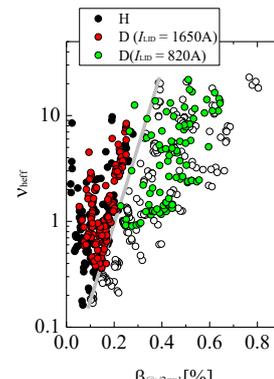


図 9 β - v 空間におけるプラズマ。軽水素プラズマにおいて、白抜き丸は磁気島消失、黒丸は拡大を表す。重水素プラズマにおいて、赤丸は磁気島拡大、緑丸は中間状態を表す。

4-8. Y. Narushima, et.al., "Transition to detached plasma established by amplified resonant magnetic perturbation in LHD" 44th European Physical Society Conference on Plasma Physics Belfast, Northern Ireland 26 - 30 June 2017

デタッチ遷移時の実効的摂動磁場強度 $\Delta\Phi_{\text{eff}}$ について、研究成果 4-5 に引き続き RMP 磁場に対する依存性を調べた。その結果、ある一定の $\Delta\Phi_{\text{eff}}$ すなわち平衡磁場配位構造のときにデタッチ遷移を示すのではないことが分かった。図 10 は、実効的摂動磁場強度 $\Delta\Phi_{\text{eff}}$ と RMP コイル電流値 I_{RMP} の関係を示す。白丸がデタッチ、黒丸がアタッチである。 $I_{\text{RMP}} = 1.5\text{kA}$ のとき、デタッチ遷移は起こらず、 $I_{\text{RMP}} > 1.9\text{kA}$ のときにデタッチ遷移が起こる。デタッチ遷移するときの $\Delta\Phi_{\text{eff}}$ は一定ではなく、その閾値は I_{RMP} と共に増加する。 $\Delta\Phi_{\text{eff}}$ が異なるということは、平衡磁場配位の構造が異なることを意味しており、デタッチ遷移時に常に同じ平衡磁場配位ではないことを示している。さらに、デタッチ遷移は $\Delta\Phi_{\text{eff}} > \Delta\Phi_{\text{ext}}$ となったときに起こっていることが分かる。ここで、 $\Delta\Phi_{\text{ext}}$ は外部摂動磁場強度であり、 $\Delta\Phi_{\text{eff}} = \Delta\Phi_{\text{ext}}$ の時は真空磁場配位で生成された磁気島と同じ磁気島幅を持つ構造であることを意味し、 $\Delta\Phi_{\text{eff}} > \Delta\Phi_{\text{ext}}$ の時は真空磁気島よりも大きいことを意味する。したがって、デタッチ遷移時は平衡磁場配位の構造に依存するのではなく、外部摂動磁場が拡大している状態に依存するということが明らかになった。

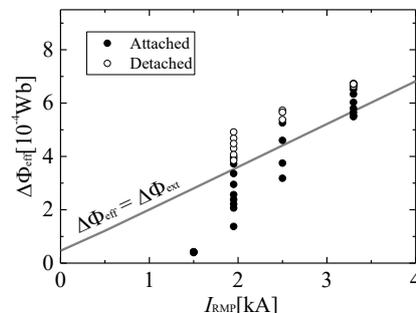


図 10 実効的摂動磁場と RMP コイル電流の関係。白丸はデタッチ、黒丸はアタッチを示す。実線は $\Delta\Phi_{\text{eff}} = \Delta\Phi_{\text{ext}}$ を示し、真空磁気島と同じ構造になることを意味する。

4-9. Y. Narushima, et. al., "Observations of sustained phase shifted magnetic islands from externally imposed $m/n = 1/1$ RMP in LHD" Nuclear Fusion, Volume 57, Number 7

軽水素プラズマにおける磁気島の中間状態について、プラズマパラメータ β 、 v 、ポロイダルフローなどとの関係を詳細に示した。図 11 は β - v 空間におけるプラズマの振舞いを示しており、中間状態が磁気島の拡大縮小の境界付近で発生していることが分かる。また、この時の磁気島遷移は中間状態から拡大へ遷移している。図 12 はプラズマ応答磁場の位相とポロイダルフロー速度との相関を示している。拡大及び消失は白抜ききのシンボルで示されており、中間状態は黒四角で示されている。中間状態のプラズマはポロイダルフローが 10rad/s 付近に存在し、プラズマ応答磁場の位相と共に、中間に位置することが明らかになった。

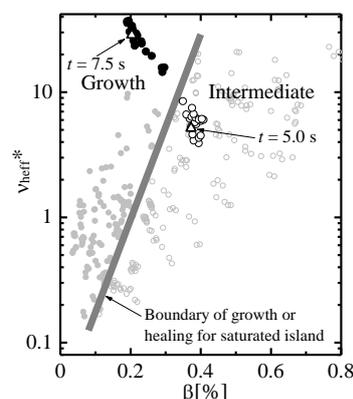


図 11 β - v 空間における軽水素プラズマ中での磁気島の振舞い。黒丸は拡大、白抜きは中間状態を表す。

4-10. Y. Narushima, "Behavior of the resonant magnetic perturbation in LHD detached plasmas" Joint Meeting of US-Japan MHD Workshop "Toward development of integrated studies of 3D magnetic field effects in fusion devices" and 31st ITPA MHD Disruption and Control Topical Group, March 5-9, 2018, Naka Fusion Institute, QST

デタッチ遷移と磁気島の拡大縮小との相関があることを示した。図 13

は、4通りのRMPコイル電流における β - v 空間でのプラズマの振舞いを示しており、塗りつぶしシンボルはアタッチを、白抜きシンボルはデタッチを意味する。 $I_{RMP}=1500A$ ではすべてアタッチしており、その存在領域は高 β 低 v である。一方、 $I_{RMP}=1950A, 2500A, 3300A$ では低 β 高 v の領域に入るとデタッチ状態を示す。これまでの磁気島のダイナミクスの知見に基づく、低 β 高 v の領域では磁気島は拡大を示す。研究成果4-8で示したように、デタッチ遷移時の磁気島は磁気島構造そのものの大きさで決まるのではなく、拡大する“状態”にあることが明らかになった。

4-11. Y. Narushima, et al., “Control of $m/n=2/1$ magnetic island by ECCD in LHD” 第35回 プラズマ・核融合学会 年会 2018.12.3-12.6 大阪大学吹田キャンパス内 コンベンションセンター

$m/n=2/1$ モードの構造を持つ磁気島に対して、電子サイクロトロン電流駆動(ECCD)を印加した際の磁気島構造について報告した。図14はECCDを印加していない真空磁気島のポアンカレ図に対して、磁気島のX点にECCDを印加した場合及びO点にECCDを印加した場合のポアンカレ図を示している。X点にECCDを印加した場合、磁気島は拡大し、O点の構造が明確に表れる。一方、O点にECCDを印加した場合、磁気島は消失し、磁気島構造が明確には見られなくなる。

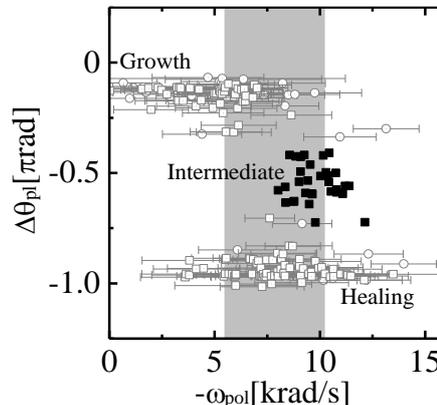


図12 プラズマ応答磁場の位相とポロイダルフロー速度との関係。白抜きのシンボルは拡大及び消失を表し、中間状態は黒四角で示されている。

4-12. Y. Narushima, et al., “Behavior of magnetic island in deuterium plasmas in LHD” 第36回 プラズマ・核融合学会 年会 2019.11.29(金)-12.2(月) 中部大学春日井キャンパス

初めて重水素プラズマでの磁気島の縮小を確認した。研究成果4-7に引き続き、重水素プラズマ中で磁気島が消失する条件を探した結果、磁気島を消失させることに成功した。図15に示すように、軽水素プラズマ(黒色シンボル)ではおよそ0.25%の β 値で磁気島は消失しているが、重水素プラズマではほぼ2.4倍の0.6%で磁気島が消失することが分かった(青色シンボル)。また、中間状態にある領域が $\beta=0.25\%$ から0.6%の間領域に広く現れることも新たに分かった(緑シンボル)。プラズマ応答磁場の位相と β 値との関係を軽水素と重水素で比較したものを図16に示す。軽水素プラズマではプラズマ応答磁場の位相が二値的な振舞いを示しているのに対し、重水素プラズマではプラズマ応答磁場の位相が0と π radの間に位置する中間状態が明らかになった。磁気島消失条件は軽水素プラズマよりも厳しいが、重水素プラズマにおいても磁気島を消失させられることを確認できた。

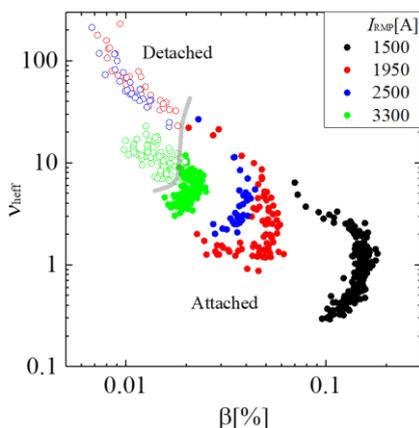


図13 β - v 空間における磁気島の振舞い。塗りつぶしシンボルはアタッチを示し、白抜きシンボルはデタッチを示す。

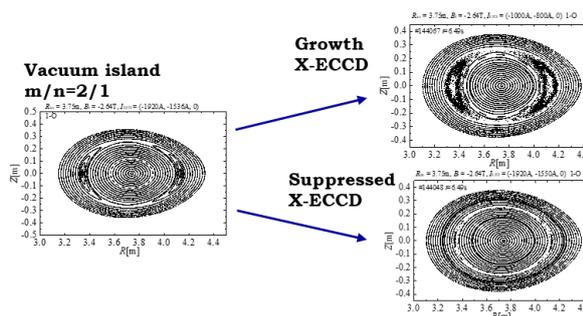


図14 $m/n=2/1$ の磁気島に対してECCDを印加したときの磁気島構造の変化。左は真空磁気島構造を示し、右上はX点にECCDを印加したときの構造、右下はX点にECCDを印加したときの構造を示す。

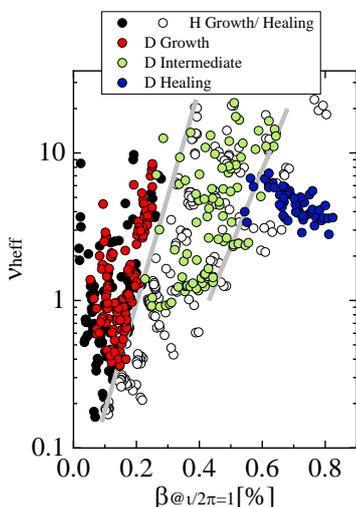


図15 β - v 空間における重水素プラズマの磁気島の振舞い。赤丸が磁気島拡大を示し、緑が中間状態、青丸が消失を示す。

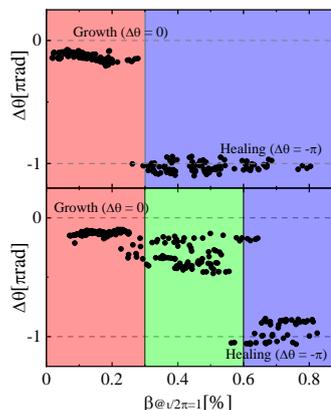


図16 プラズマ応答磁場の位相と β 値との関係。(上)軽水素の場合。(下)重水素の場合

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Narushima Y., Sakakibara S., Suzuki Y., Watanabe K.Y., Ohdachi S., Takemura Y., Yoshinuma M., Ida K., Castejon F., Lopez-Bruna D., Hegna C.C., Kobayashi M., Tanaka H., Akiyama T., Ohno N., The LHD Experiment Group	4. 巻 57
2. 論文標題 Observations of sustained phase shifted magnetic islands from externally imposed m/n??=??1/1 RMP in LHD	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 076024 ~ 076024
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/aa6dce	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tokuzawa T., Takemura Y., Watanabe K.W., Sakakibara S., Narushima Y., Tsuchiya H., Nagayama Y., Inagaki S., Ida K., Yoshinuma M., Tanaka K., Suzuki Y., Yamada I., The LHD Experiment Group	4. 巻 57
2. 論文標題 Distorted magnetic island formation during slowing down to mode locking in helical plasmas	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 076003 ~ 076003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/aa6d26	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ohdachi S., Watanabe K.Y., Tanaka K., Suzuki Y., Takemura Y., Sakakibara S., Du X.D., Bando T., Narushima Y., Sakamoto R., Miyazawa J., Motojima G., Morisaki T., LHD Experiment Group	4. 巻 57
2. 論文標題 Observation of the ballooning mode that limits the operation space of the high-density super-dense-core plasma in the LHD	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 066042 ~ 066042
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/aa6c1e	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Narushima, S. Sakakibara, S. Ohdachi, Y. Suzuki, K.Y. Watanabe, S. Nishimura, S. Satake, B. Huang, M. Furukawa, Y. Takemura, K. Ida, M. Yoshinuma, I. Yamada and The LHD Experiment Group	4. 巻 55
2. 論文標題 Experimental observation of response to resonant magnetic perturbation and its hysteresis in LHD	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 73004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/0029-5515/55/7/073004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

[学会発表] 計15件(うち招待講演 1件/うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Y. NARUSHIMA, M. KOBAYASHI, S. SAKAKIBARA, K. WATANABE, Y. TAKEMURA, S. OHDACHI, Y. SUZUKI and LHD-Exp. Gr.
2. 発表標題 Magnetic field structure and plasma response field in LHD detached plasmas
3. 学会等名 第11回 核融合エネルギー連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Narushima
2. 発表標題 Behavior of the resonant magnetic perturbation in LHD detached plasmas
3. 学会等名 Joint Meeting of US-Japan MHD Workshop and 31st ITPA MHD Disruption and Control Topical Group (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Narushima
2. 発表標題 Behavior of intermediate state of magnetic islands and utilization of resonant magnetic perturbation for detached plasma in LHD
3. 学会等名 22nd Workshop on MHD Stability Control (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Narushima
2. 発表標題 Transition to detached plasma established by amplified resonant magnetic perturbation in LHD
3. 学会等名 44th EPS Conference on Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. Narushima
2 . 発表標題 Study of plasma response of magnetic island produced by resonant magnetic perturbation in LHD deuterium plasmas
3 . 学会等名 21st International Stellarator-Heliotron Workshop (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. Narushima
2 . 発表標題 Behavior of the resonant magnetic perturbation in LHD detached plasmas
3 . 学会等名 2018 US-Japan MHD Workshop (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 成嶋吉朗
2 . 発表標題 Experimental observation of the ECCD on $m/n = 2/1$ magnetic island in LHD
3 . 学会等名 Plasma Conference 2017
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. Narushima, S. Sakakibara, Y. Suzuki, K. Y. Watanabe, S. Ohdachi, Y. Takemura, M. Yoshinuma, K. Ida, F. Castejon, D. Lopez-Bruna, C. C. Hegna, M. Kobayashi, H. Tanaka, T. Akiyama, N. Ohno, and the LHD Experiment Group
2 . 発表標題 Observations of sustained phase shifted magnetic islands from externally imposed $m/n = 1/1$ RMP in LHD
3 . 学会等名 26th IAEA FEC (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Narushima, M. Kobayashi, H. Tanaka, S. Sakakibara, Y. Suzuki, K. Y. Watanabe, S. Ohdachi, Y. Takemura, T. Akiyama, N. Ohno, F. Castejon, D. Lopez-Bruna and the LHD Experiment Group
2. 発表標題 Structure of resonant magnetic perturbation in LHD detached plasma
3. 学会等名 43rd European Physical Society Conference on Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 成嶋吉朗、小林政弘、田中宏彦、榊原悟、大館聡、鈴木康浩、渡邊清政、武村勇輝、大野哲靖、LHD実験グループ
2. 発表標題 LHDのデタッチプラズマ形成時に観測される種々の共鳴摂動磁場構造
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第33回年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 成嶋吉朗、小林政弘、田中宏彦、榊原悟、鈴木康弘、渡邊清政、大館暁、武村勇輝、秋山毅志、大野哲靖、LHD実験グループ
2. 発表標題 LHDのデタッチ放電におけるプラズマ応答磁場構造
3. 学会等名 第11回 核融合エネルギー連合講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Narushima, C. C. Hegna, S. Sakakibara, F. Castejon, K. Y. Watanabe, D. Lopez-Bruna, S. Ohdachi, Y. Suzuki, S. Nishimura, M. Furukawa, Y. Takemura, K. Ida, M. Yoshinuma, I. Yamada, M. Yokoyama, S. Satake, B. Huang, and the LHD Experiment Group
2. 発表標題 Spontaneous healing of magnetic islands in the LHD by plasma flow
3. 学会等名 20th International Stellarator-Heliotron Workshop (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Y. Narushima, S. Sakakibara, Y. Suzuki, K. Y. Watanabe, S. Ohdachi, Y. Takemura, M. Kobayashi, H. Tanaka, T. Akiyama, N. Ohno, and the LHD Experiment Group
2. 発表標題 LHDプラズマ中の磁気島遷移時の磁気島構造
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第32回年会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 NARUSHIMA Yoshiro, SAKAKIBARA Satoru, TAKEMURA Yuki, SUZUKI Yasuhiro, WATANABE Kiyomasa, OHDACHI Satoshi, and the LHD Experiment Group
2. 発表標題 Behavior of magnetic island in deuterium plasmas in LHD
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第36回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Narushima, Y. Takemura, Y. Yoshimura, F. Castejon, D. Lopez-Bruna and LHD exp Gr.
2. 発表標題 Control of $m/n = 2/1$ magnetic island by ECCD in LHD
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第35回年会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考