

令和 2 年 5 月 19 日現在

機関番号：82502

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K18342

研究課題名(和文)トロイダル回転がL-H遷移に与える影響に関する第一原理シミュレーション研究

研究課題名(英文)Simulation study on impact of toroidal rotation on L-H transition

研究代表者

瀬戸 春樹 (Seto, Haruki)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・六ヶ所核融合研究所 核融合炉システム研究開発部・主任研究員
(任常)

研究者番号：90733692

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：高ベータ磁気閉じ込め核融合装置におけるL-H遷移(エッジ領域で乱流輸送レベルが低減してプラズマの閉じ込め性能が改善する分岐現象)の物理機構のより定量的な理解を目的として、流れの圧縮性を考慮した電磁プラズマ乱流系におけるL-H遷移の数値シミュレーションに必要な「プラズマ乱流から生じる巨視的な電磁場を自己無撞着に取り扱うことが可能な数値計算コード」を開発した。コードの原理実証として、閉じ込め改善モードで得られる急峻な圧力分布が緩和する際に生じる巨視的な流れと乱流の相互作用に関するシミュレーションを行い、巨視的な流れと乱流の相互作用から二次的な熱放出が生じるという熱放出過程の新しい描像が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

L-H遷移の数値シミュレーションに必要な微視的なプラズマ乱流とプラズマ乱流から生成される巨視的な流れと磁場から構成されるマルチスケールの物理を自己無撞着に取り扱う数値手法を本課題では開発した。マルチスケールの物理を取り扱う数値手法の構築はプラズマ科学全般において非線形物理を取り扱う上で重要であり、他のプラズマシミュレーション研究への展開が期待できる。

研究成果の概要(英文)：For more quantitative understanding of the mechanism of L-H transition (a bifurcation phenomenon that improves plasma confinement performance) in high-beta magnetic confinement fusion devices such as ITER and DEMO, a numerical calculation code that can self-consistently simulate macroscopic electromagnetic field non-linearly generated by plasma turbulence is developed. Here a self-consistent interplay between macroscopic electromagnetic field and turbulence plays important role in numerical simulation of L-H transition.

As a proof of principle of the code, simulations of pedestal collapse are carried out. Here, the term "pedestal collapse" means a relaxation of steep plasma profile in the edge region in high confinement discharge due to edge localized modes. It is revealed that subsequent small energy releases triggered by an interplay between macroscopic electromagnetic field and plasma turbulence are observed after the primary pedestal collapse and rise energy loss level.

研究分野：核融合理論・シミュレーション

キーワード：L-H遷移 プラズマ乱流 径電場 数値シミュレーション 周辺プラズマ安定性 トカマクプラズマ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

プラズマ境界近傍の周縁領域に輸送障壁(ETB)が形成され、炉心の閉じ込め性能が改善する H モード(高閉じ込めモード)放電は ITER や原型炉の標準運転モードであり、L モード(低閉じ込めモード)から H モードへの遷移(L-H 遷移)の物理機構の解明による炉心性能予測の高度化は、ITER や原型炉の性能予測における重要課題の 1 つである。

そのため、コアプラズマ周縁のエッジ領域を対象とした L-H 遷移シミュレーションが 1.5 次元コア輸送コードと 2 次元周辺輸送コードを結合させた統合輸送コードを用いて行われており、L-H 遷移による炉心の閉じ込め性能向上の定性的な評価に成功している[M. Yagi et al. CPP2012]。ただし、この枠組みでは炉心の閉じ込め性能に大きな影響を与えるペデスタル頂点の圧力等の定量的な評価には至っておらず、L-H 遷移の定量的理解には乱流輸送モデルの L-H 遷移・H モード放電時における予測精度の高度化が課題である。

しかしながら、L-H 遷移の理論研究としては径電場とプラズマ回転の空間勾配(シア)が周辺乱流を抑制して L-H 遷移に至るモデルが複数提案されているが[K. Itoh et al., Plasma Fusion Res. 2013 等]、実験を定量的に説明出来るモデルの確立には至っていない。そのため、従来の L-H 遷移モデルと実験の直接比較による定性的検証に加えて、より第一原理的な数値シミュレーションによる L-H 遷移モデルの定量的検証手法の構築が重要な課題となっている。

2015 年 10 月現在、場の揺らぎを考慮できる簡約化磁気流体力学(MHD)モデルを用いた L-H 遷移のシミュレーション研究がスラブ配位[L. Chone et al., Phys. Plasmas 2014]と円形断面トカマク配位[G.Y. Park et al., Phys. Plasmas 2015]において報告されている。これらの先行研究では共通して「磁場揺動の揺らぎが無視できる静電極限における MHD 乱流」と渦度方程式のダンプ項として導入される「プラズマの周辺領域に径電場の空間勾配を駆動する新古典理論に基づくポロイダル回転を取り入れた力の釣り合い」により、L-H 遷移を再現している。

一方で、これらの L-H 遷移シミュレーションでは、イオン種の流れの非圧縮性を仮定してトロイダル方向の回転とその揺動を無視しているため、径電場の空間勾配を作る帯状流の残留レベルが過大評価されるという問題がある。また、統合輸送シミュレーションでは、プラズマ回転を駆動する中性ビーム入射がプラズマの電流の方向に対して、順方向と逆方向で L-H 遷移によるプラズマの閉じ込め性能の改善に差が生じることが報告されている[M. Honda et al., Nucl. Fusion 2013]。加えて、ITER・原型炉に代表される高ベータの磁気閉じ込め核融合装置では磁場揺動のプラズマ乱流への寄与とプラズマ圧力の平衡磁場への影響は無視することができない。

そのため、L-H 遷移過程のより定量的な理解のためには、静電簡約化 MHD モデルに基づく L-H 遷移モデルを磁場揺動の効果とイオンの平行流の効果を取り入れた電磁簡約化 MHD モデルに基づく L-H 遷移モデルへと拡張して、トロイダル回転の効果を導入した電磁乱流系における L-H 遷移の大規模数値シミュレーションを行い、得られた知見を元に統合輸送コードにおける L-H 遷移モデルの高度化を行い、実験解析を通じた L-H 遷移モデルの妥当性の検証を必要とする。

2. 研究の目的

課題申請時の研究目的は、ITER や原型炉に代表される高ベータ磁気閉じ込め核融合装置における L-H 遷移の物理機構のより定量的な理解を目的として、周辺 MHD シミュレーションフレームワーク BOUT++[B.D.udson et al., Comput. Phys. Commun. 2009]を利用して、以下の 3 つの課題を実施する予定であった。

- (1) 流れの圧縮性を考慮した 4 場(渦度、圧力、磁気ポテンシャル、平行流)の電磁乱流系における L-H 遷移シミュレーション手法の構築
- (2) 平衡トロイダル回転分布が L-H 遷移パワー閾値や閉じ込め性能に与える影響の評価
- (3) 統合輸送コードによる L-H 遷移シミュレーションとの比較を通じた、統合輸送モデル開発に関する物理的知見の第一原理シミュレーションの立場からの提示

3. 研究の方法

「2. 研究の目的」で述べた課題の遂行中に BOUT++コードにおけるトロイダル軸対称成分の電磁場の取り扱いに問題があることを明らかになった。トロイダル軸対称成分の電場は径電場シアによる乱流の安定化を考慮する上で重要であり、トロイダル軸対称成分の磁場は磁気シアによる乱流の安定化と平衡磁場の発展を記述する上で重要となる。

そこで、当初の計画を変更して BOUT++コードで多数の成果が報告されているペデスタル崩壊の数値シミュレーションを対象に BOUT++コードでトロイダル軸対称成分の電磁場を整合良くより扱う手法の開発を行った。ここで、ペデスタルとは閉じ込め改善後に得られるエッジ領域で急峻

な構造を持つ圧力分布のことである。本手法の開発により初めて可能になり、さらに L-H 遷移シミュレーションに向けた指針が得られる課題として以下の 2 つの課題を実施した。

- (1) トロイダル軸対称成分の電磁場と中短波長の乱流の発展を同時に取り扱うことが可能な 4 場(渦度、圧力、磁気ポテンシャル、平行流)の簡約化 MHD コードの開発
- (2) ペDESTAL 崩壊時に生成されるトロイダル軸対称の電磁場と中短波長の電磁 MHD 乱流の相互作用が熱放出機構に与える影響に関する数値シミュレーション研究

また、トロイダル軸対称成分の取り扱いの改良を行っている間に、従来の BOUT++コードで実施することができる研究課題として、エッジ領域における中短波長の不安定性を効率的に表現できる BOUT++コードの特性を生かして以下の 2 つの課題を実施した。

- (3) 現実的な電子表皮長を導入した非理想バルーニングモード不安定性の線形解析
- (4) 非理想バルーニングモード不安定性に対する形状効果の線形解析

数値シミュレーションは国際核融合エネルギー研究センター IFERC-CSC の大型計算機(Helios、Selene、JFRS-1)、九州大学情報基盤研究開発センターの大型計算機(ITO サブシステム A)、日本原子力研究開発機構の大型計算機(ICE-X)を利用して実施した。

4 . 研究成果

- (1) トロイダル軸対称の電磁場と中短波長の乱流の発展を同時に取り扱うことが可能な 4 場(渦度、圧力、磁気ポテンシャル、平行流)の簡約化 MHD コードの開発

BOUT++の周辺静電 MHD 乱流コード[B.D. Dudson and J. Leddy, Plasma Phys. Control. Fusion 2017]で開発された $n=0$ 成分用の二次元ポアソンソルバーを基にペDESTAL 崩壊シミュレーションに適用可能な二次元ポアソンソルバーの開発を行うとともに、ペDESTAL 崩壊時の $n=0$ 成分の圧力分布の緩和から駆動される $n=0$ 成分の磁場の生成に適した境界条件を検討し、中短波長の電磁 MHD 乱流から駆動される $n=0$ 成分の電磁場の発展を自己無撞着に記述できる 4 場の簡約化 MHD コードを開発した。なお、従来の BOUT++コードにおける $n=0$ 成分の取り扱いの問題点の詳細については研究成果(2)で述べる。

トロイダル軸対称の電磁場と中短波長の電磁 MHD 乱流の相互作用を整合良く取り扱う手法の開発は、L-H 遷移シミュレーションにおける「乱流成分の非線形結合から生成される帯状流を含めた力の釣り合いから決定される径電場の取り扱い」と「径電場シア・磁気シアによる乱流抑制の取り扱い」の改善に資する問題設定になっている。また、トロイダル軸対称の磁場の発展の取り扱いの改善は「L-H 遷移時の圧力分布の成長に伴う平衡磁場の更新」に不可欠であり、上記の課題設定は L-H 遷移の数値シミュレーション手法開発に資するものである。

- (2) ペDESTAL 崩壊時に生成されるトロイダル軸対称 ($n=0$) 成分の電磁場と中短波長の電磁 MHD 乱流の相互作用が熱放出機構に与える影響に関する数値シミュレーション研究

$n=0$ 成分の電磁場と電磁 MHD 乱流の相互作用がペDESTAL 崩壊時の熱放出機構に与える影響

セパラトリックス近傍に周辺輸送障壁が形成されて閉じ込め性能が向上する高閉じ込めモード放電は、ITER-Q=10 シナリオおよび 21 世紀中葉の実現を目指し概念設計が進められている原型炉の標準運転モードである。一方で、周辺局在化モード(ELMs)発生時に間欠的に放出される熱流束を回避またはプラズマ対向材の許容熱負荷以下に抑制する必要がある。ELMs 発生時の間欠的な熱・粒子放出の動特性の理解には非線形シミュレーション研究が不可欠であり、非線形 ELMs シミュレーション手法の高度化は ITER・原型炉の実現における重要課題の一つである。

電流と圧力勾配から駆動される長中波長のピーリング・バルーニングモード不安定性に駆動される大振幅 ELM の非線形シミュレーションに関しては、磁気面座標や円筒座標を採用した非線形コードが開発されており、大振幅 ELM の動特性の定性的理解を与えている。一方で、磁気面座標や円筒座標に基づく非線形 ELM コードには、圧力勾配駆動の短波長のバルーニングモード不安定性から駆動される ELM に対しては、高トロイダルモード数と共鳴するポロイダルモード数を解像するための格子数が増大するため計算が困難になるという問題がある。

一方、BOUT++コードでは磁気面座標と沿磁力線座標を複合的に用いて、磁気面座標で問題となる高トロイダルモード数と共鳴するポロイダルモード数を解像するためのポロイダル格子数の増大と、沿磁力線座標で問題となる磁気シアによる径方向微分の精度低下の両者を回避している。しかしながら、トロイダル軸対称 ($n=0$) 成分の取り扱いに関しては磁場構造と共鳴するトロイダル非対称成分にのみ成立する近似を適用している等の問題があり、 $n=$ 成分の流れ(電場)と磁場の発展を自己無撞着に記述することができなかった。

本研究では、 $n=0$ 成分に対して上記のオーダリングを仮定しないモデルを定式化して BOUT++コードに実装することで、中短波長の揺動から駆動される非共鳴モードの流れと磁場の発展を自己無撞着に取り入れた非線形 ELM の計算コードを開発した。次に、開発したコードの原理実証として、理想バルーニングモードが臨界不安定な円形断面平衡に対して中短波長の抵抗性バルーニングモード (RBM) 不安定性によるペDESTAL崩壊シミュレーションを行い、ペDESTAL崩壊時に生成される $n=0$ 成分の巨視的な流れが熱放出過程に与える影響を検証した。

図 1 はペDESTAL崩壊時の放出エネルギー量の時間発展と乱流強度の時空間構造を示している。ここで、時刻は $100AIfven$ 時間 ($\sim 0.36ms$) で規格化している。まず、ペDESTAL崩壊による圧力分布の平坦化が起こり RBM 不安定性の駆動源が失われて乱流強度が低減するとともに、巨視的な流れによる輸送を介した圧力分布の部分的な回復が起こり、放出エネルギー量が一時的に減少する。その後、圧力勾配、巨視的な流れ、乱流強度の順に位相が変化する非線形周期振動を伴う二次的不安定性が励起されて乱流のバーストが起こり乱流による非局所輸送が増大する結果、放出エネルギー量が再び増加するという熱放出過程の新しい描像が得られた。

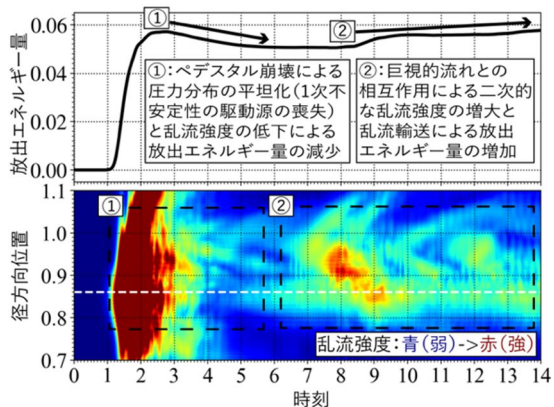


図 1 : 計算開始時における圧力勾配のピーク位置(下図白破線)から放出された内部エネルギーの時間発展(上)と周縁領域における乱流強度の時空間構造(下)。ここで、カラーバーは時刻 $t=7$ 以降の構造を強調するように設定した。ペDESTAL崩壊に伴う圧力分布の平坦化による乱流輸送レベルの低下から放出エネルギー量が減少した後、巨視的な流れとの相互作用から二次的な不安定性が励起されて乱流輸送レベルが増大した結果、放出エネルギー量が再び増加する。

ペDESTAL崩壊過程における平衡径電場の影響に関する非線形シミュレーション

(1)- で実施したペDESTAL崩壊シミュレーションでは平衡径電場(初期状態における力の釣り合いから求まる径電場)を考慮していなかった。そのため、本研究では平衡径電場を取り扱えるように計算コードを改良して平衡径電場はペDESTAL崩壊過程に与える影響を検証した。

改良した計算コードを用いてペDESTAL崩壊過程を模擬した数値実験を行い、平衡径電場の有無が ELM のエネルギー放出過程に与える影響を調べた。平衡径電場を考慮するとペDESTAL崩壊を引き起こす初期分布のプラズマ不安定性に対する径電場シアによる安定化効果が導入されるため、ペDESTAL崩壊が発生する時刻が遅くなる(図 2 a の $t < 2$ の領域を参照)。一方で、ペDESTAL崩壊後 ($t > 4$ 、図 2 a の影付き領域)においては、乱流と電磁場との相互作用から形成される径電場と平衡径電場の一部が相殺することにより乱流を抑制する効果を持つ径電場のシアが弱まるため(図 2 b)、平衡径電場を考慮した方が乱流は径方向により広い領域に強く存在できる(図 2 c 及び図 2 d)。その結果、平衡径電場を考慮した場合の方が、乱流に駆動される熱輸送が増大するため、放出エネルギー量が增大するという描像が得られた。

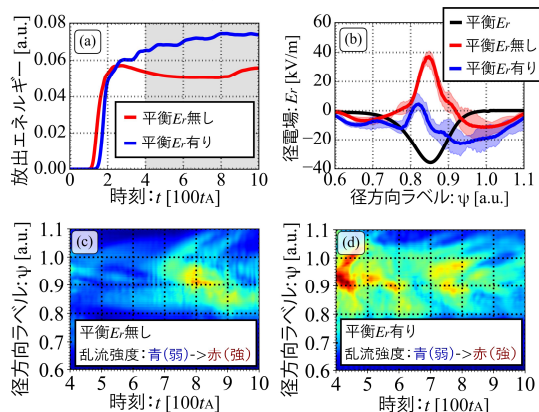


図 2 : (a) : 放出エネルギー量の時間発展、(b) : 平衡径電場の分布とペDESTAL崩壊後 ($4 < t < 10$) の径電場の平均分布(実線)と分布の存在領域(影付領域) (c) : 平衡径電場を無視した系におけるペDESTAL崩壊後の乱流構造、及び、(d) : 平衡径電場を考慮した系におけるペDESTAL崩壊後の乱流構造。

(3) 現実的な電子表皮長を導入した非理想バルーニングモード不安定性の線形解析

トカマクプラズマでは高衝突領域における有限の抵抗率や無衝突領域における電子慣性等の非理想的効果により理想 MHD 理論では安定なプラズマが不安定化されうる。しかしながら、MHD モデルにおける電子慣性は数 mm 程度の電子表皮長 d_e で記述されるため、従来の数値シミュレーション研究では計算資源の制約から流れの相似則を仮定して現実よりも 10 倍程度長い数値電子表皮長 d_e^* が用いられていた[R.G. Kleva and P.N. Guzder, Phys. Plasmas 1999 等]。

本研究では、現実より大きな電子表皮長がトラス配位の非理想バルーニングモード不安定に与える影響を抵抗性バルーニングモード(RBM)と無衝突バルーニングモード(CBM)を記述する線形簡約化 MHD モデルを用いた数値シミュレーションにより明らかにした。図3は現実の電子表皮長で規格化した電子表皮長 d_e^*/d_e に対する CBM/RBM 不安定性の線形成長率の抵抗率依存性を示している。ここで、成長率 γ と抵抗率 η は Alfvén 単位で規格化されており、電子温度 $T_e=10^3$ [eV] に対応する抵抗率は 10^{-9} 程度、ならびに $T_e=10^2$ [eV] に対応する抵抗率は 10^{-7} 程度である。

電子表皮長を0にしてRBMのみを系に導入して計算を行った場合(赤色)は、 $\eta=10^{-8}\sim 10^{-7}$ において成長率はRBM不安定性の局所解析解 $\gamma \propto \eta^{1/3}$ と良い一致を示すが、高抵抗率領域では成長率の抵抗率依存性が弱くなる結果が得られた。これは、トラス配位では高抵抗率領域でRBMの固有関数が磁力線方向に強く局在化するため、局所解析理論において小さいと仮定している固有関数の磁力線方向の空間構造の効果が無視出来ないためである[L.Garcia et al., Phys. Plasmas 1999]。

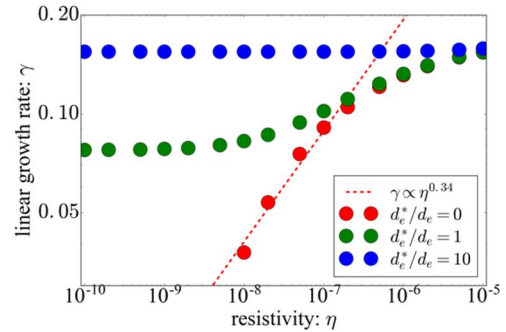


図3：各電子表皮長に対する非理想バルーニングモード不安定性($n=40$)の線形成長率の抵抗率依存性。それぞれ、電子慣性無し(赤色、RBM) 実電子表皮長(緑色、CBM/RBM)、10倍の電子表皮長(青色、CBM/RBM)による結果を表す。

一方、実電子表皮長を用いて計算を行った場合(緑色)は、 $\eta=10^{-6}\sim 10^{-9}$ の間で不安定性がRBMからCBMへと遷移する結果が得られた。しかしながら、10倍の電子表皮長を用いた場合(青色)は、CBMの成長率が過剰評価されて高抵抗率極限のRBM不安定性の成長率と同程度になるため、CBM/RBMの遷移は確認出来なかった。これらの結果からトラス配位で安定性解析や乱流シミュレーションを行う際には、流れの相似則を仮定せずに現実的な抵抗率や電子表皮長を用いることが重要である事が明らかになった。

(4) 非理想バルーニングモード不安定性に対する形状効果の線形解析

コア領域においては、負の三角度を持った磁気面形状はITG乱流輸送を抑制することが報告されている。一方で、ペDESTALでは抵抗性ドリフトバルーニングモード等が輸送を引き起こす可能性が指摘されており、ペDESTALの輸送を調べる際にはこれらの不安定性に対する形状効果を調べる必要がある。本研究では、無衝突/抵抗性バルーニングモード(CBM/RBM)不安定性と電子ドリフト波、イオン音波と電流の磁力線方向の圧縮性を考慮したドリフトバルーニングモード(DCBM/DRBM)不安定性を対象として、線形成長率の形状効果(楕円度及び三角度)に対する依存性を調べた(図4)。

図4から楕円度が大きくなると不安定性は安定化する傾向にあることがわかる。CBM/RBM不安定性に対する三角度の安定化効果はLundquist数 S (抵抗率とAlfvén速度で決まる無次元量)によらない無衝突極限(高 S 極限)に近づくにつれて大きくなる。一方、DCBM/DRBM不安定性では低 S 領域($S=10^7$)ではCBM/RBM不安定性と同様の傾向を示すが、電流の磁力線方向の圧縮性による不安定化が効果的となる無衝突領域では三角度は不安定化に寄与することが明らかとなった。この結果は、負の三角度をもつ磁気面形状が必ずしも高波数の不安定性に対して安定化に働くものではないことを示唆しており、ペDESTALの輸送を研究する上では注意する必要がある。

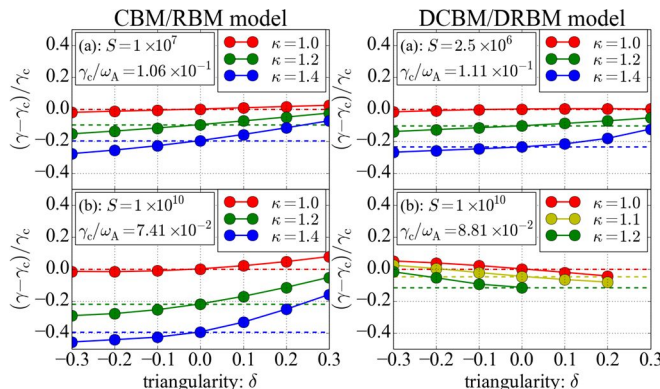


図4： $n=50$ のCBM/RBM不安定性の成長率の三角度依存性(左)及びDCBM/DRBM不安定性の成長率の三角度依存性(右)。楕円度は1.0(赤)、1.1(黄)、1.2(緑)、1.4(青)で与えられる。ここで n はトロイダルモード数、 r_c は円形断面における線形成長率、 λ_A はポロイダルAlfvén周波数である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Seto H., Xu X. Q., Dudson B. D., Yagi M.	4. 巻 26
2. 論文標題 Interplay between fluctuation driven toroidal axisymmetric flows and resistive ballooning mode turbulence	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 052507 ~ 052507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5086998	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 該当する
1. 著者名 SETO Haruki, YAGI Masatoshi, AIBA Nobuyuki, MATSUYAMA Akinobu, DUDSON Benjamin D., XU Xueqiao	4. 巻 13
2. 論文標題 Shaping Effects on Non-Ideal Ballooning Mode	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 3403086 ~ 3403086
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.13.3403086	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 該当する
1. 著者名 Haruki SETO, Masatoshi YAGI	4. 巻 -
2. 論文標題 Validation Study On Upwinding Schemes For Core MHD/Turbulent Simulation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Conference Proceeding of MC2017	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -
1. 著者名 Haruki SETO, Masatoshi YAGI, Nobuyuki AIBA, Akinobu Matsuyama, Benjamin D. DUDSON, Xueqiao Xu	4. 巻 11
2. 論文標題 Non-Ideal Ballooning Mode Instability with Real Electron Inertia	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.11.1203122	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 該当する

1. 著者名 Seto Haruki, Xu X.Q., Dudson Benjamin D., Yagi Masatoshi	4. 巻 Early View
2. 論文標題 Impact of equilibrium radial electric field on energy loss process after pedestal collapse	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Contributions to Plasma Physics	6. 最初と最後の頁 e201900158~
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ctpp.201900158	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 該当する

〔学会発表〕 計16件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 H. Seto, X.Q. Xu, B.D. Dudson, M. Yagi
2. 発表標題 ELM crash with nonlinear toroidally axisymmetric flow and field
3. 学会等名 2018 BOUT++ workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Seto, X.Q. Xu, B.D. Dudson, M. Yagi
2. 発表標題 ELM crash with nonlinear toroidally axisymmetric flow and field
3. 学会等名 AAPPS-DPP 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 瀬戸春樹, X.Q. Xu, B.D. Dudson, 矢木雅敏
2. 発表標題 イオン反磁性モデルがペDESTAL崩壊過程に与える影響に関するシミュレーション
3. 学会等名 第35回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 瀬戸春樹, X.Q. Xu, B.D. Dudson, 矢木雅敏
2. 発表標題 軸対称モードの流れと磁場の時間発展を取り入れた抵抗性バルーニングモード駆動型ELMのシミュレーション研究
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Haruki SETO, Masatoshi YAGI, Nobuyuki AIBA, Akinobu MATSUYAMA, Benjamin D. Dudson, Xueqiao XU
2. 発表標題 Linear Analysis of Shaping Effects on Non-ideal Ballooning Mode Instability
3. 学会等名 Joint meeting of 26th International Toki Conference and 11th Asia Plasma & Fusion Association Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 瀬戸春樹、矢木正敏
2. 発表標題 対流胞（径電場シア）形成が圧力ベデスタル崩壊時のエネルギー放出量に与える影響の数値的検証
3. 学会等名 輸送・閉じ込め研究会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 瀬戸春樹、矢木正敏
2. 発表標題 対流胞（径電場シア）形成が圧力ベデスタル崩壊時のエネルギー放出量に与える影響の数値的検証
3. 学会等名 平成29年度NIFS共同研究研究会「MHDシミュレーションのための先進的数値計算手法」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Haruki SETO, Masatoshi Yagi
2. 発表標題 Validation Study on Upwinding Scheme for Core MHD/Turbulent Simulation
3. 学会等名 International Conference on Mathematics & Computational Methods Applied to Nuclear Science & Engineering (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Haruki SETO
2. 発表標題 Linear analysis of collision less ballooning mode instability based on reduced MHD model
3. 学会等名 BOUT++ workshop 2016
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 矢木雅敏、瀬戸春樹
2. 発表標題 簡約化MHDモデルに基づく無衝突バルーニングモード不安定性の線形解析(1)
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 瀬戸春樹、矢木雅敏
2. 発表標題 簡約化MHDモデルに基づく無衝突バルーニングモード不安定性の線形解析(2)
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 瀬戸春樹、矢木雅敏
2. 発表標題 Linear analysis of non-ideal ballooning mode instability with real electron inertia
3. 学会等名 第14回核燃焼プラズマ統合コード研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 H. Seto, X.Q. Xu, B.D. Dudson, M. Yagi
2. 発表標題 Simulation study on ELMs by BOUT++ framework including toroidal axisymmetric flow and magnetic field driven by short wavelength instabilities
3. 学会等名 17th International Workshop on Plasma Edge Theory in Fusion Devices (PET17) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Seto, X.Q. Xu, B.D. Dudson, M. Yagi
2. 発表標題 Numerical improvement in BOUT++ framework for multiple mode ELM crash simulation including off-resonant modes and its application
3. 学会等名 The 5th UNIST-Kyoto U. Workshop on "Physics validation and control of MHD instabilities and turbulent transport in fusion plasmas" (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Seto, X.Q. Xu, B.D. Dudson and X.Q. Xu
2. 発表標題 Simulation study on impact of pedestal height on energy loss process with resistive ballooning mode turbulence during pedestal collapse
3. 学会等名 16th IAEA Technical Meeting on Energetic Particles in Magnetic Confinement Systems - Theory of Plasma Instabilities (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀬戸春樹
2. 発表標題 圧力勾配駆動型周辺局在化モードの非線形シミュレーション研究の進展
3. 学会等名 第36回プラズマ・核融合学会年会（招待講演）
4. 発表年 2019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
--	---------------------------	-----------------------	----