

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K03901

研究課題名（和文）乱流の非線形性を介した同位体効果発現機構の実験的検証

研究課題名（英文）Experimental verification of the physics of isotope effects mediated by turbulence nonlinearity

研究代表者

大島 慎介（OHSHIMA, Shinsuke）

京都大学・エネルギー理工学研究所・助教

研究者番号：00469610

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、磁場閉じ込めプラズマにおける水素同位体効果の解明を目指し、乱流の非線形性を介して生じる乱流が示す同位体比依存性と、その磁場の幾何形状の影響の検証を行っている。ラングミュアプローブによる乱流計測・解析を進め、非線形特性を含む詳細な乱流の特徴と、乱流による輸送の応答を評価した。同時に閉じ込め磁場の幾何形状を制御し、同位体効果への影響を明らかにした。また、同位体効果研究のため、乱流・帯状流計測を目的とした多点ドップラー反射計と、320 GHz干渉計を開発し、同位体効果研究が可能な態勢を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

閉じ込め特性に対する“水素同位体効果”は、ITERおよび将来の核融合炉の設計・性能予測の基盤となる知見でありながら、その物理機構は未解明である。本研究は同位体効果は乱流の非線形性を介して発現しているのか？という疑問に対して取り組む。これは、イオン質量の違いという単純な差異が、なぜ輸送の基礎的理解に反して輸送改善を生み出しているのか？なぜ磁場配位に応じてその改善度が異なるのか？という、プラズマ・乱流物理を深化させる取り組みであり、この点に学術的意義を有する。同時に、エネルギー問題を決着する可能性のある核融合炉の設計・性能予測に不可欠な基盤的知見に資することから、重要な社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：This study elucidates the hydrogen isotope effect on confinement characteristics in magnetic confinement fusion. The research focuses on two main objectives: experimentally observing the nonlinear characteristics of turbulence and verifying the influence of nonlinear turbulence on the isotope effect by controlling the magnetic field configuration. The study manipulates the isotope ratio of hydrogen and deuterium and examines the response of the nonlinear coupling and competition between turbulence and a zonal flow. A combined measurement system is used to directly observe turbulence and a zonal flow, utilizing various fluctuation analysis techniques to evaluate their fundamental and nonlinear characteristics. The study also investigates the impact of the isotope effect by controlling the geometric shape of the magnetic field configuration.

研究分野：プラズマ・核融合

キーワード：水素同位体効果 プラズマ 乱流 帯状流 核融合 非線形

1. 研究開始当初の背景

磁場閉じ込めプラズマにおいてイオン種を軽水素から重水素へ変えると、プラズマの閉じ込め性能は改善する。これは閉じ込めにおける“水素同位体効果(以下、同位体効果)”として広く知られており、ITER および将来の核融合炉の設計・性能予測の基盤となる重要な知見でありながら、その物理機構は未解明である。同位体効果は、例えば、磁場閉じ込め装置においてよく知られたスケーリングであるジャイロボーム則 $\chi_{GB} \sim \rho \cdot B/T$ から逸脱しており、また乱流が生み出す輸送の予測 $D \sim Lc^2$ (D :拡散係数、 Lc :乱流特性長、ジャイロ半径増大に伴って乱流特性長 Lc は増大する)とも整合しない。さらに、同位体効果による閉じ込め改善度は、装置によって異なり、つまりは磁場の幾何形状(磁場配位)が同位体効果に影響しうる機構が、未知の背景物理として存在する。これらの同位体効果、およびその磁場配位依存性の存在は輸送・閉じ込めの基礎となる知見の修正の必要性を示している。

近年、帯状流を含めた非線形系としての乱流の理解の進展により、その非線形性の表出の結果として同位体効果が発現している可能性が指摘された。実験においても、水素・重水素同位体比に応じ、乱流・帯状流の挙動の違いが報告されている。これらの結果は、乱流-帯状流から成る系が、磁場配位に応じてその様相を変え、その結果として磁場配位による同位体効果の差異として観測されている可能性も示唆している。

これらを背景に、本研究における学術的観点からの「問い」として、「同位体効果は乱流の非線形性を介在して発現しているのか？」を設定する。これは、イオン質量の違いという単純な差異が、なぜ輸送の基礎的理解に反して輸送改善を生み出しうるのか？なぜ磁場配位に応じてその改善度が異なるのか？というプラズマ・乱流物理の理解を深化させる課題であると同時に、トカマク・ヘリカルなどの装置概念を問わず、将来の核融合炉の設計・性能予測に不可欠な基盤的知見となる、核融合学にとって解決が不可欠な課題である。

2. 研究の目的

高温プラズマの閉じ込め研究において数十年来の課題である同位体効果が、乱流と帯状流との非線形性を介在し発現している可能性があることを背景に、

- 乱流の素過程、および乱流と帯状流の結合・競合過程など、非線形特性という点に特に着目し、水素同位体比の影響を実験的に明らかにする
- 非線形乱流の制御ノブとして磁場配位を制御することで、乱流を介在して同位体効果に影響しうるか、検証する

ことに取り組む。

帯状流(あるいは長距離相関)の同位体依存性に関する初期的な実験研究では、申請者らの成果を含めて幾つかの報告がなされてきた。本研究は、それらを発展させ、乱流と帯状流の競合過程など、乱流の素過程や非線形性に着目し、同位体効果の影響の評価を追求する。申請者がこれまで蓄積してきた、揺動研究に関する知見や、様々な揺動解析手法を駆使する。また、実験を行うヘリオトロン J 装置は、重水素実験に何ら制約がなく、また中型装置ならでの乱流研究に集中・特化した実験が可能であるという優位性がある。

さらに、トカマク・ヘリカルでの同位体効果の発現・改善度の違いが示唆するように、同位体効果に対し磁場配位の影響が存在することは明らかである。しかしながら、実験的な検証はこれまで全く試みられていない。磁場配位を様々な構造形成を伴う非線形系である乱流の制御ノブとして捉え、乱流の制御を介在し、同位体効果発現が影響されうるか、直接的に検証するというアプローチに取り組む。

3. 研究の方法

本研究は、帯状流の挙動に対し同位体比依存性が確認されているヘリオトロン J 装置において実施する。軽/重水素同位体比を徐々に変えつつ乱流を計測し、乱流の基本的特性(乱流の揺動強度、波数、確率密度分布等)を評価すると同時に、帯状流との非線形結合度(バイスペクトル解析等によって評価)や帯状流との競合・均衡という観点からデータを整理し、同位体比依存性を調べる。

また、同位体効果研究に必要な計測システムを新規に導入する。ポロイダル上下2点の空間位置の局所密度・速度揺動およびポロイダル速度(径電場)、さらに反射計間の長距離相関計測によって帯状流の同定・計測が可能なドップラー反射計、また揺動・分布計測が可能な高時間分解能の多視線干渉計(反射計と同一のセクションに設置)を運用することで、密度分布の変化や反射計の観測点の変化を確認しながら実験を実施する。軽/重水素比は既存の可視分光器によってモニタする。

さらに、ヘリオトロン J 装置の磁場配位を制御し、乱流・帯状流の非線形系の制御を試みる。それぞれの磁場配位において、前述した手法に則り、同位体比率と乱流の振る舞いの関係、そし

てそのパラメータ依存性を調べる。同位体効果が強く発現する配位では、帯状流がより支配的になることが予想される。磁場配位制御は、乱流/帯状流の挙動だけでなく、ヘリカル磁場配位における新古典電場、プラズマ-壁相互作用への影響を通じた不純物輸送、リサイクリング（中性粒子輸送）など、の複数要因が間接的に乱流輸送に影響しうる。磁場配位制御によって、プラズマパラメータと独立して、上述した各要因を間接的に制御することになる。乱流・帯状流強度などに加え、不純物やリサイクリングの程度の指標として、CIII、OV 発光の分光計測、AXUV、VUV 計測、開発中の多視線干渉計測による密度勾配の情報などを用いて、包括的にデータを整理する。

4. 研究成果

中型ヘリカル装置ヘリオトロン J において実験を実施した。ECH プラズマの定常放電において、乱流、帯状流、およびその結果生じる同位体比に対する乱流輸送の特徴を詳細に調べた。詳細な乱流および帯状流計測のため、二つの多チャンネル静電プローブを導入し、局所乱流と相関計測をベースとした帯状流計測を行った。

既に報告されているように、ヘリオトロン J では、H/D（軽水素/重水素）ガス比を H から D に制御すると帯状流の存在を示す長距離相関およびその揺動強度は増大する。この帯状流の活発化に伴い、密度とポテンシャル変動の振幅が減少する。

さらに、これらの揺動の相関長の指標として、近接した二点間（距離 5mm）の相関について調べられた。二点相関の増大は乱流の相関長の増大を示し、その逆は相関長の減少を示す。ポテンシャル揺動については相関長の応答は明確でなかったが、密度揺動では D プラズマにおいて H プラズマに対しより大きな相関長が観測された。D における相関長の増大は、過去のイオン種と乱流に関する実験的知見である、ジャイロ半径に比例した乱流相関長の増大とも整合する。一方、この結果のみからは H プラズマにおける閉じ込めの改善が予想され、同位体効果を説明できない。

しかしながら、密度、およびポテンシャル揺動の相関を観測すると、H プラズマではより両者の相関が強く、D プラズマでは相関が弱くなっていることが観測された。密度・ポテンシャル揺動間の相関は、揺動が生み出す熱・粒子束の決定に重要であり、これらがインコヒーレントとなると熱・粒子束は低減されることが予想される。さらに、統計的手法である同時確率分布（joint-PDF(probability distribution function)）を用いて密度・ポテンシャル揺動間の相関を調べた。Joint-PDF は、単一量の一次元確率密度分布 PDF を二次元に拡張したもので、異なる 2 つの量の相関の程度を示すことができる。Joint-PDF の分布形状を H/D 間で比較すると、H プラズマにおいてより楕円状に歪んだ傾向が顕著であり、D プラズマではより円形状であることが確認された。つまり H プラズマでよりコヒーレントである一方、D プラズマにおいて密度とポテンシャル揺動がインコヒーレントとなり、デカップリングしている傾向を示している。このデカップリングの結果として熱・粒子束は低減しうる。

これらのデカップリングの結果として、揺動駆動粒子束が実際に低減していることが確認された。乱流揺動の抑制、および密度・ポテンシャル揺動間のデカップリングの効果によって、揺動が生み出す熱・粒子束が低減されていると考えられる。乱流そして揺動駆動粒子束は帯状流と相互作用していることも実験結果より確認されており、帯状流増大の結果として、乱流および輸送が低減されていると考えられる。

同位体効果を説明する他の要因となりうるプラズマ不純物や半径方向の電場は、本実験における乱流挙動との相関は弱く、影響は軽微であったと考えられる。つまり、上記で述べた結果は、トラスプラズマの定常乱流から非線形乱流系の同位体依存性とその輸送の依存性を抽出に成功した結果であると言える。ただし、高温・高密度プラズマでは他の要因が同時、かつ大きく作用する可能性があることに注意を払うべきであろう。

続いて、帯状流、および乱流の振る舞いに関する同位体効果に対し、磁場配位の影響が存在しうることを初めて実験的に示した。2 つのプローブで長距離相関（帯状流）を観測し、重水素、及び軽水素プラズマにおいてどのように応答を変えるか、異なる磁場配位において実験を行った。ヘリオトロン J 装置の標準的な配位では、これまでの観測結果と同様の傾向が再現された。一方、低バンピネス配位と呼ばれる配位においては、重水素において帯状流がより低減されることが確認された。なお、配位変更に伴う径電場や不純物の挙動と乱流の挙動との相関は弱く、本実験条件では大きく乱流・帯状流の挙動に大きく影響していないと考えられる。また、帯状流が増大する標準配位においては、バイコヒーレンスにおいて乱流との非線形結合が他配位と比較して明確であることが観測されている。これまで、TEXTOR や TJ-II などで、同位体比に対する依存性が異なっていたが、ヘリオトロン J 装置の磁場配位制御性を用いる事で単一装置でも逆の依存性が生じうることを示すことに初めて成功した。以上、磁場配位や磁場の三次元性の影響が、帯状流の挙動も含めた閉じ込め性能の同位体効果に表れうる可能性を示すという点で重要である。

本研究と並行し、同位体効果研究のための新しいツールとして新規計測システムを導入・整備に取り組んだ。具体的には、新規に多点ドップラー反射計、および 320 GHz 半導体発振器を用

いた多チャンネル干渉計を開発し、ヘリオトロンJ装置に導入した。

ドップラー反射計システム開発では、真空容器近くに設置が可能な小型送受信機とVコネクタケーブルを用いた同軸ケーブルによる、導波管伝送を必要としない設置が簡便なシステムを設計・構築した。高周波回路において周波数可変のVCO信号(6-10 GHz)とLO信号(27.5 MHz)から、PreRF信号(6-10 GHz + 27.5 MHz)が生成された後、同軸ケーブルによってPreRF信号が送信機へ伝送される。送信機では周波数を4倍した後に、真空容器内部に設置されたホーンアンテナから発信されプラズマへと入射される(これらの高周波生成・送受信機部は中部大学の桑原大介氏との共同研究を通じて開発された)。ホーンの前には可動式集光ミラーが設置され、入射方向はスキャン可能である。つまり、観測位置・観測波数の制御・選択が自在である。集光ミラーの方向は、三次元プラズマの形状を考慮し、プラズマのトロイダルフローによるドップラーシフトの影響を抑えるため、プラズマに対して垂直に入射されるように設計された。カットオフ層で反射されプラズマの情報を持った信号は、受信機で110 MHzのIF信号へとダウンコンバートされる。このIF信号をIQディテクターでIQ検波し、得られたIQ信号を解析することで、密度揺動の強度とポロイダルフローを評価できる。当初、2チャンネルのデュアル反射系システムを当初想定していたが、3チャンネルの多点システムに拡張した。開発システムは試験的運用を経て、稼働を開始しており、想定通り、プラズマフローによって生じるドップラーシフトが観測できている。典型的には、~km/s程のポロイダルフローが観測されており、磁場配位制御に応じて周辺径電場の構造が変化することを初めて観測するなど、興味深い初期結果が得られている。相関計測を用いた帯状流の同定実験、入射角度調整による乱流の波数計測などの同位体効果に関する実験が可能な体制の構築に成功した。

320 GHz 半導体発振器を用いた干渉計の開発においては、広く利用されているレーザーの使用を避けることで、メンテナンスフリー化を実現した。ヘリオトロンJでは、従来単視線のHCNレーザーを運用してきたが、維持・管理に要求される人的コストの負担の点から、半導体発振器を用いたシステムを採用した。結果としてオペレーションが格段に安定化され、多チャンネル計測に十分なハイパワーが得られている。

発信機はプラズマ実験装置ヘリオトロンJから離れた位置に設置され、オーバーサイズ誘電体導波管を用いてヘリオトロンJ近くにまで伝送される。一对の一次元の軸外し放物面鏡を用いて、ガウシアンビームからシートビームを生成し、プラズマに入射される。基本システムの構築は完了し、現在単視線でプラズマ計測データを取得している。3チャンネルへの拡張にも取り組み、2チャンネル計測にも成功したものの、幾つかの問題点、例えばクロストークに関する問題が確認されたため、現在伝送系の見直し・対策を進めている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Matoike R, Kawamura G, Ohshima S, Suzuki Y, Kobayashi M, Masuzaki S, Kobayashi S, Kado S, Minami T, Okada H, Mizuuchi T, Konoshima S, Feng Y, Frerichs H, Nagasaki K	4. 巻 63
2. 論文標題 Numerical analysis of heat load distribution in Heliotron J with magnetic field tracing and plasma transport modeling	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma Physics and Controlled Fusion	6. 最初と最後の頁 115002 ~ 115002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6587/ac2069	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 Adulsiriswad P., Todo Y., Kado S., Yamamoto S., Kobayashi S., Ohshima S., Okada H., Minami T., Nakamura Y., Ishizawa A., Konoshima S., Mizuuchi T., Nagasaki K.	4. 巻 61
2. 論文標題 Numerical investigation into the peripheral energetic-particle-driven MHD modes in Heliotron J with free boundary hybrid simulation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 116065 ~ 116065
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/ac2779	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 Kobayashi S., Nagasaki K., Hada K., Stange T., Okada H., Minami T., Kado S., Ohshima S., Tokuhara K., Nakamura Y., Ishizawa A., Suzuki Y., Osakabe M., Murase T., Konoshima S., Mizuuchi T.	4. 巻 61
2. 論文標題 Role of pre-ionization in NBI plasma start-up of Heliotron J using non-resonant microwave heating	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 116009 ~ 116009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/ac2105	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 Ohshima S, Okada H, Zang L, Kobayashi S, Minami T, Kado S, Adulsiriswad P, Qiu D, Matoike R, Luo M, Zhang P, Miyashita A, Motoshima M, Nakamura Y, Konoshima S, Mizuuchi T, Nagasaki K	4. 巻 63
2. 論文標題 Isotope effect on zonal flow and its configuration dependence in low-density electron-cyclotron-resonance heated plasmas in Heliotron J	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma Physics and Controlled Fusion	6. 最初と最後の頁 104002 ~ 104002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6587/ac1837	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 MIYASHITA Akira, MUKAI Kiyofumi, OHSHIMA Shinsuke, MATOIKE Ryota, PETERSON Byron J., KOBAYASHI Shinji, OKADA Hiroyuki, KADO Shinichiro, MINAMI Takashi, MIZUUCHI Tohru, KONOSHIMA Shigeru, NAGASAKI Kazunobu	4. 巻 16
2. 論文標題 First Application of an InfraRed Imaging Video Bolometer to Heliotron J Plasma	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 1202079 ~ 1202079
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.16.1202079	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 Kobayashi S., Kumar S. T. A., Anderson F. S. B., Deng C. B., Likin K. M., Talmadge J. N., Ohshima S., Anderson D. T.	4. 巻 92
2. 論文標題 Development of beam emission spectroscopy in the helically symmetric experiment stellarator	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 063503 ~ 063503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0043596	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 Mukai K., Peterson B. J., Ezumi N., Shigematsu N., Ohshima S., Miyashita A., Matoike R.	4. 巻 92
2. 論文標題 Sensitivity improvement of infrared imaging video bolometer for divertor plasma measurement	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 063521 ~ 063521
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0043664	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 Ohshima S., Zhang P., Kume H., Deng C., Miyashita A., Kobayashi S., Okada H., Minami T., Kado S., Adulsiriswad P., Qiu D., Luo M., Matoike R., Suzuki T., Konoshima S., Mizuuchi T., Nagasaki K.	4. 巻 92
2. 論文標題 Development of a multi-channel 320 GHz interferometer for high density plasma measurement in Heliotron J	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 053519 ~ 053519
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0043581	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 Losada U, Kobayashi T, Ohshima S, Cappa A, Van Milligen B, Liniers M, Lopez-Miranda B, Liu B, Pastor I, Silva C, Hidalgo C	4. 巻 63
2. 論文標題 Spatial characterization of edge zonal flows in the TJ-II stellarator: the roles of plasma heating and isotope mass	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma Physics and Controlled Fusion	6. 最初と最後の頁 044002 ~ 044002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6587/abe24b	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 Y. Kondo, S. Ohshima, D. Kuwahara, K. Inoshita, T. Fukuda, T. Minami, S. Kado, S. Kobayashi, S. Konoshima, T. Mizuuchi, H. Okada, T. Tomita and K. Nagasaki	4. 巻 18
2. 論文標題 Development of dual X-mode Doppler reflectometry system in Heliotron J	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 P05005
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 Adulsiriswad P., Todo Y., Yamamoto S., Kado S., Kobayashi S., Ohshima S., Okada H., Minami T., Nakamura Y., Ishizawa A., Konoshima S., Mizuuchi T., Nagasaki K.	4. 巻 60
2. 論文標題 Magnetohydrodynamic hybrid simulation of Alfvén eigenmodes in Heliotron J, a low shear helical axis stellarator/heliotron	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 096005 ~ 096005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/ab9c4b	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 Zang L.G., Ohshima S., Qu Y.F., Shi P.W., Zhong W.L., Hou Y.M., Yan L.W., Ji X.Q., Li J.Q., Yu D.L., Shi Z.B., Liu Yi, Yang Q.W., Xu M.	4. 巻 61
2. 論文標題 Phase tracking with Hilbert transform and nonlinear wave-wave coupling analysis on the HL-2A tokamak	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 026024 ~ 026024
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/abcfce	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 該当する

1. 著者名 Losada U, Kobayashi T, Ohshima S, Cappa A, Van Milligen B, Liniers M, Lopez-Miranda B, Liu B, Pastor I, Silva C, Hidalgo C	4. 巻 63
2. 論文標題 Spatial characterization of edge zonal flows in the TJ-II stellarator: the roles of plasma heating and isotope mass	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma Physics and Controlled Fusion	6. 最初と最後の頁 044002 ~ 044002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6587/abe24b	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 該当する

1. 著者名 S. Ohshima ^{1,a} , P. Zhang ² , H. Kume ² , C. Deng ^{3,4} , A. Miyashita ² , S. Kobayashi ¹ , H. Okada ² , T. Minami ² , S. Kado ² , P. Adulsirivad ² , D. Qiu ² , M. Luo ² , R. Matoike ² , T. Suzuki ² , S. Konoshima ¹ , T. Mizuuchi ¹ , and K. Nagasaki ¹	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of a Multi-Channel 320 GHz Interferometer for High Density Plasma Measurement in Heliotron J	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	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 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 該当する

1. 著者名 Ohshima S., Suzuki T., Matoike R., Motojima G., Kado S., Mori A., Miyashita A., Kobayashi S., Minami T., Iwata A., Qiu D., Wang C., Luo M., Zhang P., Kondo Y., Nishino N., Mizuuchi T., Okada H., Konoshima S., Inagaki S., Nagasaki K.	4. 巻 12
2. 論文標題 Three-dimensional dynamics of fluctuations appearing during pellet ablation process around a pellet in a fusion plasma experiment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 12:14204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-18239-z	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 Zhang P., Ohshima S., Zhao H., Deng C., Kobayashi S., Kado S., Minami T., Matoike R., Miyashita A., Iwata A., Kondo Y., Qiu D., Wang C., Luo M., Konoshima S., Inagaki S., Okada H., Mizuuchi T., Nagasaki K.	4. 巻 93
2. 論文標題 Development and initial results of 320 GHz interferometer system in Heliotron J	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 113519 ~ 113519
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0101808	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 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 S. Ohshima et al
2. 発表標題 Isotope Effects on Nonlinear Turbulence System in a Torus Plasma
3. 学会等名 4th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 A.Fujisawa, S. Ohshima
2. 発表標題 Development of multi-channel spectroscopic system for turbulence measurement
3. 学会等名 The 11th International Symposium of Advanced Energy Science, 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大島慎介, 小林進二, 山中雄太1, 的池遼太1, 宮下 顕1, 近藤恭斗2, 井下圭1, 三好正博1, 南貴司, 門信一郎, 岡田浩之, 水内亨, 木島滋, 長崎百伸
2. 発表標題 ヘリオトロンJ配位制御実験の拡張
3. 学会等名 先進ヘリカル研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Matoike et al
2. 発表標題 Counter-Streaming Flow Induced in the Scrape-Off Layer of Heliotron J
3. 学会等名 The 31st International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 F. Cai, et al.
2. 発表標題 Multi-fold zoning of scrap-off layer in Heliotron J for divertor transport analysis
3. 学会等名 The 31st International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Ohshima et al
2. 発表標題 Characterisation of Turbulence, Zonal Flow, and Turbulent Transport Against Hydrogen Isotope Ratio in a Turus Plasma Experiment
3. 学会等名 48th EPS conference on plasma physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------