

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：63902

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01203

研究課題名(和文)ヘリカル型プラズマ閉じ込め装置におけるプラズマ対向材料移動研究

研究課題名(英文)Study of material migration in helical fusion devices

研究代表者

増崎 貴 (Masuzaki, Suguru)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・教授

研究者番号：80280593

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、ヘリカル型プラズマ閉じ込め装置におけるプラズマ対向材料移動の機構を理解し、それを予測可能とすることを目的として、核融合研のLHDとドイツのW7-Xを用い、実験と計算機シミュレーションの両面から行ったものである。実験では、両装置の第一壁やダイバータ板上の堆積層について詳しく調べた。シミュレーションでは、ドイツで開発された3次元材料輸送コードER02.0をLHDとW7-Xに適用した。特にLHDでは、実験結果とシミュレーションの比較研究が進み、堆積層形成の物理機構や堆積物の源などの理解が得られてきた。シミュレーションによるプラズマ対向材料移動の予測を可能とする大きな成果と考えている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、核融合炉内材料輸送に関する研究である。プラズマが接する機器の寿命や、燃料粒子の炉内の蓄積に関係する研究であり、将来の核融合炉の実現のために重要な研究である。本研究で計算機シミュレーションが進んだことにより、これまでは実験結果だけを基に現象論的に議論されてきたヘリカル型核融合装置における材料輸送が、実験結果とシミュレーションの比較が可能となり、物理機構や堆積物の発生源などの具体的な議論ができるようになった。さらに、実験結果を再現するなどシミュレーションの精度を上げ、未見の核融合炉における材料輸送を予測可能とするための基盤を構築した。

研究成果の概要(英文)：To understand and predict the mechanism of plasma-facing material transport in a helical-type fusion device, we have conducted both experimental and computer simulation studies using the LHD at the National Institute for Fusion Science (NIFS) and the W7-X in Germany. In the experiments, deposition layers on the first wall and divertor plates were investigated in detail. In the simulations, the three-dimensional material transport code ER02.0 developed in Germany was applied to LHD and W7-X. Especially for LHD, a comparative study between experimental results and simulations has been conducted to understand the physical mechanism of the deposition layer formation and the source of the deposits. Significant progress has been made in enabling the prediction of plasma-facing material transport by simulation.

研究分野：プラズマ理工学

キーワード：核融合 プラズマ・壁相互作用 材料輸送 堆積層 LHD W7-X 方向性マテリアルプローブ 色分析

1. 研究開始当初の背景

核融合炉の実現に向けて、プラズマ対向壁の材料移動の機構を明らかにし、予測可能とすることは、必須である。軸対称系であるトカマク型装置については、多くの装置で研究が行われ、材料移動について共通する理解が得られてきている。研究代表者らは、非軸対称系であるヘリカル型装置における材料移動機構の理解のため、プラズマ対向壁上に形成された堆積層の厚さを色分析で評価する手法や、研究代表者が考案した方向性マテリアルプローブ (Directional Material Probe, DMP) などを用い、LHD において研究を行い多くの知見を得てきていたが、研究開始前はヘリカル型のような3次元系のシミュレーションが可能な材料移動シミュレーションコードは無かったため、実験結果を説明できる材料移動機構の理解は十分ではなかった。さらに、他のヘリカル型装置においては、材料移動についてほとんど研究が行われていなかったため、ヘリカル型装置における共通する理解は得られていなかった。

その頃ドイツでは、LHD と同規模のヘリカル型装置であるマックスプランクプラズマ物理研究所 (IPP) の W7-X が、2017 年から、ダイバータ配位での実験を開始した。W7-X は図 1 に示すように、連続巻きヘリカルコイルを用いる LHD とは異なり、モジュラー型コイルを用いたヘリカル型装置であるが、ダイバータ板には炭素材、第一壁にはステンレス鋼を用いており、LHD と同じプラズマ対向材料の組み合わせであった。また、核融合装置内のプラズマ対向材料移動を、ヘリカル型のような3次元系で計算できる ER02.0 コードがユーリッヒ研究所で開発され、欧州の大型トカマク型装置 JET に適用され始めていた。

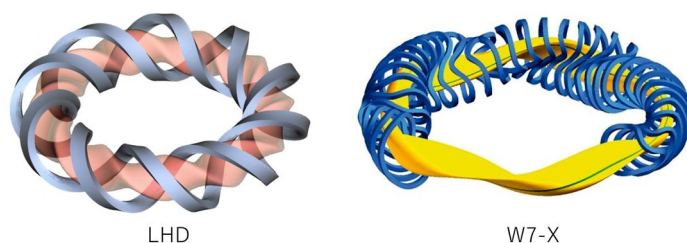


図 1 連続巻きヘリカルコイルを用いる LHD と、モジュラー型コイルを用いる W7-X

2. 研究の目的

このような背景の下、研究代表者らは、LHD と W7-X において、色分析手法や DMP を用い、プラズマ対向材料移動の比較実験研究を行い、さらにその研究の中で、既存の3次元周辺プラズマ輸送コード EMC3-EIRENE と ER02.0 を組み合わせて両装置に適用することとした。実験と計算機シミュレーションを組み合わせることにより、ヘリカル型核融合炉設計に必要なプラズマ対向材料移動機構の総合的な理解と、ヘリカル型装置における材料移動予測ツールを得ることを目的とした。

3. 研究の方法

研究は、実験と計算機シミュレーションの二本柱で進めた。

実験では、堆積物の飛来方向のデータを得る DMP をそれぞれの装置に設置して材料移動の実験データを得た。DMP は第一壁上に設置した。DMP は図 2 に示すように、堆積層が形成される試料 (plate) 上にピン (shading pin) が立っている単純なものである。飛来する堆積物に方向性があれば、堆積層にピンの影ができる。一方堆積物が等方的に飛来する場合は、ピンの影はできない。このプローブを用いることにより、堆積層の形成機構や堆積物の源などの検討が可能となる [1]。

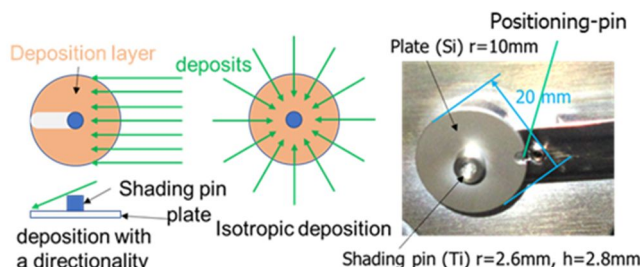


図 2 DMP の概要。左から、堆積物の飛来に方向性がある場合の模式図、無い場合の模式図、LHD に設置した DMP の写真。

また、各装置の実験終了後には、真空容器内に研究者が入り、手持ちのコンパクトなカラーアナライザを用いて、プラズマ対向壁の広い範囲で色分析を行った。この分析では、プラズマ対向

壁表面の堆積層の厚さの評価が可能であり[2]、プラズマ対向壁において損耗が主である場所、堆積が主である場所をそれぞれ調べた。さらに、実験で使用したダイバータ板などのプラズマ対向壁の一部を取り出し、表面分析を行った。W7-X に設置した方向性マテリアルプローブ、同装置で使用したプラズマ対向壁の一部は、ドイツから核融合科学研究所へ輸送し、同研究所の表面分析装置で分析した。

計算では、ユーリッヒ研究所から ERO2.0 コードの提供を受け、LHD の計算ができるよう調整した。周辺プラズマ・中性粒子輸送シミュレーションに用いている EMC3-EIRENE コードと組み合わせ、実験データと比較した。W7-X については、海外研究協力者のグループが ERO2.0 を導入して実験と計算の比較を行った。

研究体制を図 3 に示す。

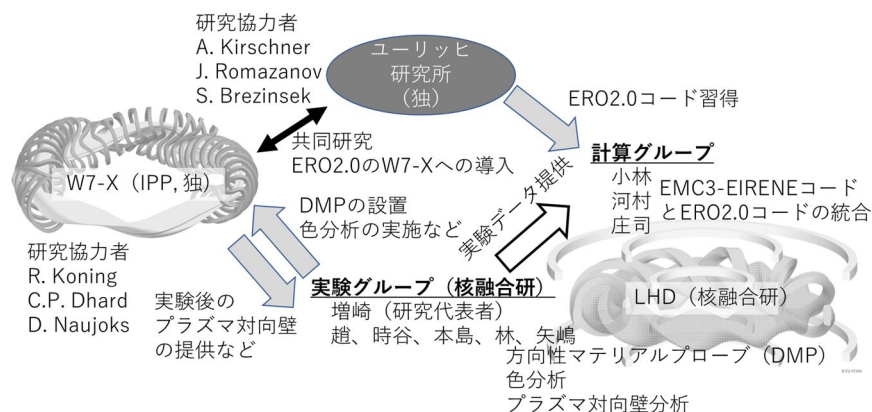


図 3 研究体制

4. 研究成果

(1) 真空容器内色分析

W7-X では、2018 年 7 月から 10 月まで OP1.2b 実験キャンペーンが行われ、ダイバータ配位で様々な実験が行われた。研究代表者らは、本研究が開始される前の 2018 年 3 月に、OP1.2b 前の実験キャンペーンであり、W7-X の最初のダイバータ配位実験が行われた OP1.2a が終了した後のプラズマ対向壁の色測定を実施し、本研究開始後の 2019 年 1 月に、OP1.2b 後の色測定を実施した。図 4 の写真に示すように、W7-X の第一壁はステンレス鋼のパネルで形成されている。図 4 右側の図は、第一壁パネルの配置を示し、それぞれ OP1.2a, OP1.2b 後に色分析を行って得られた RGB 値に基づきパネルに色付けしたものである。トーラス全体的に、OP1.2b 後の色が濃くなっており、OP1.2a 後の堆積層に新たな堆積が加わったことが分かる。詳しく分析すると、OP1.2b 後の堆積層形成は、必ずしも OP1.2a とは同じ分布ではなく、実験磁場配位の違いによるダイバータストライク点の違いなどが、堆積層形成に影響していることが示唆された。また堆積層の厚さは高々 60nm 程度と評価されたが、実際に堆積層断面の微細分析を行うなどして確認する必要がある。これらの成果を論文にまとめ発表した[2]。また、ダイバータ板についても色分析を行い、ダイバータストライク点の違いによると考えられる OP1.2a と b の違いが観測された。この結果は、海外共同研究者の論文[3]で発表された。

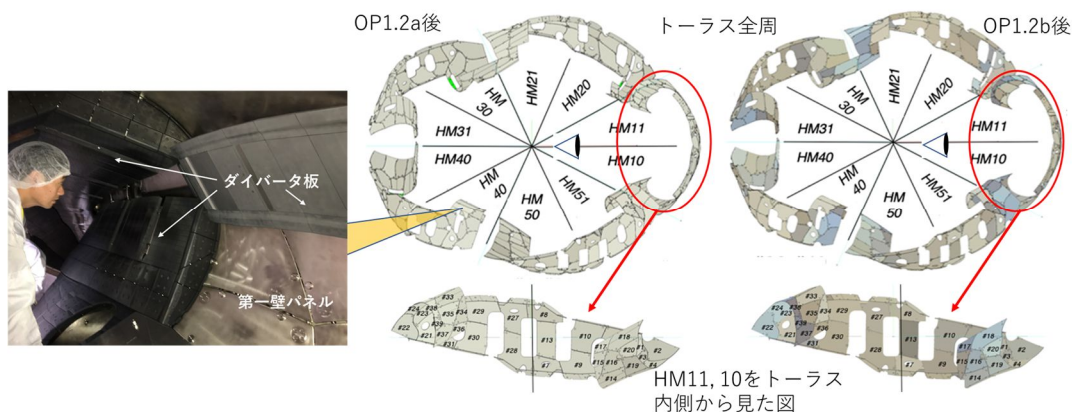


図 4 W7-X 真空容器内の写真と OP1.2b 後の第一壁色分析結果 (左 OP1.2a 後、右 OP1.2b 後)、図の色は測定した RGB 値に基づく。HM (Harf Module) はトロイダルセクションを示す記号である。

LHD では本研究開始前に、ヘリカルコイル部第一壁の色測定を実施している[4]。本研究では、ヘリカルコイル部だけでなく、より広い範囲にわたり第一壁の色測定を実施した。この結果については、現在データ解析中である。

(2) 方向性マテリアルプローブ(DMP)

W7-Xでは、OP1.2b開始前に、第一壁上の12カ所にモリブデン製のDMPを設置した。これらは実験キャンペーン後に核融合科学研究所で分析を行っている。図5にDMPの設置場所と分析結果の一部を示す。12カ所の内10カ所は、トラス外側の第一壁に設置した。図5の中心のW7-X第一壁の図で、ピンクの がDMPの設置場所である。その内2つのDMPについて、エネルギー分散型X線分光法(EDS)でホウ素と炭素の方位角方向の分布を調べた結果を図5に示している。ピン半径より約1mm、プローブの中心から離れた半径4mmの位置での測定結果である。ホウ素は、壁コンディショニングのためのホウ素被覆時に真空容器内に導入されている。右のDMPの場合、ホウ素はほぼ均等に堆積しているが、炭素は方向性をもって堆積していることが分かる。一方左のDMPの場合は、ホウ素も炭素も似た方向性をもって堆積している。このような堆積がどのような物理機構で起きるのか、今後計算機シミュレーションと実験を比較することにより理解を進める。

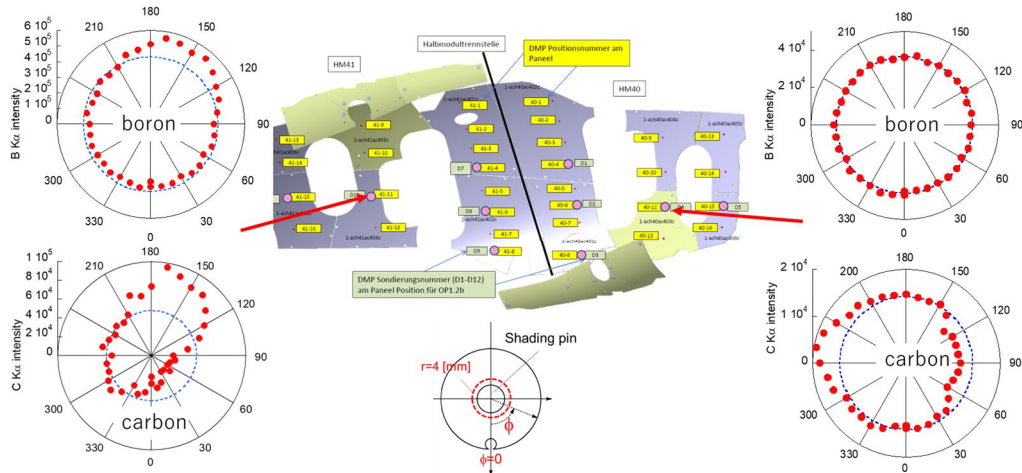


図5 W7-XにおけるDMPの設置位置と、EDSによる分析結果。

LHDでは、これまでもDMPを設置し、堆積層形成の方向性を調べてきた。W7-Xの場合と同様に、観測されている方向性の解釈をするためには計算機シミュレーションとの比較検討が必要である。後述するように、本研究により、LHDでは計算と実験の比較を始めることができた。

本研究を遂行する中で、DMPとイメージングプレート(IP)法を用いることで、2017年からLHDで実施している重水素プラズマ実験中に重水素・重水素核融合反応で生成された三重水素の蓄積の方向性についても調べることができると気が付いた。図6に、LHDの2018年の実験で設置したDMPの位置と、その内2つのDMPについて、EDSにより炭素堆積の、IPにより三重水素の蓄積の、それぞれ方位角分布を示す。ダイバータ板近傍のDMP13の場合、写真でも明確に南堆積の方向性が見られ、これは主として炭素の堆積であることが分かった。炭素の堆積分布と三重水素の堆積分布から、三重水素が炭素とともに堆積していることが分かる。一方ヘリカルコイル容器上のDMP20の場合、炭素の堆積に明確な方向性は見られないが、三重水素の蓄積には方向性が見られることから、両者は別の機構でDMP上に堆積、蓄積していることが分かる。これらの成果は、2021年に国際会議で報告された。この場合もまた、堆積、蓄積の機構を理解するためには計算機シミュレーションの活用が必要である。

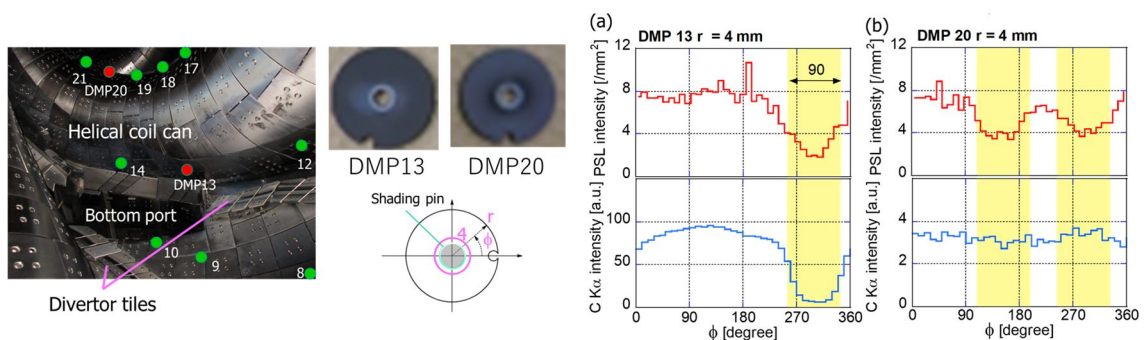


図6 LHDにおけるDMP(SUS316)の設置位置と、その内2つのDMPについて、IP法による三重水素の分布(PSL intensity)とEDSによる炭素の堆積分布。

(3) ダイバータ板上の堆積層分析

W7-Xで実験に使用したダイバータ板の一部を、核融合科学研究所で分析した。プラズマに面する表面の堆積層について、グロー放電発光分析(GD-OES)を用いた組成分析を行っている。プラズマ中の酸素不純物を低減するために実施したプラズマ対向壁へのホウ素被覆で堆積したホ

ウ素の分布を明らかにした。ダイバータストライク点付近は損耗が大きく、ストライク点の両サイドに堆積層が形成されていることが分かった。このような堆積は、LHDのダイバータ板でも観測されている[5]。W7-Xでは特に、磁力線構造が対称な位置に設置されていた二つのダイバータ板で、ホウ素の堆積に非対称性が見られた。これは、プラズマからダイバータ板への熱・粒子束で観測されている非対称性に対応していると考えられる。この成果を国際会議で報告し、国際共著論文として投稿中である。

(4) 計算機シミュレーション

LHDではERO2.0を用いたシミュレーションが進展した。炭素製のダイバータ板の損耗とダイバータ板から放出された炭素の再堆積分布[6]、局所的に粉末状で投入したホウ素のプラズマ対向壁上の堆積分布のシミュレーションが行われ、論文にまとめられた[7]。前者は実験観測と良好一致を得た。後者については、ダイバータ板や材料試料の分析を行いシミュレーション結果と比較を進めている。LHDの第一壁に設置したDMP上に形成された堆積層の濃度をERO2.0コードを用いたシミュレーションで再現し、その形成機構を明らかにした。図7に観測結果とシミュレーション結果を示す。堆積層にできるピンの影にはshort shadowとwide shadowと名付けた二通りのでき方があり、それぞれ炭素の源が異なること、プラズマ密度によって、DMP上の炭素堆積の分布が変わることなどを示した。この成果を国際会議で報告し、国際共著論文として発表した[8]。W7-XにおいてもERO2.0を用いたダイバータ板の損耗、炭素の堆積のシミュレーション研究が進み、論文[3]に現状がまとめられた。

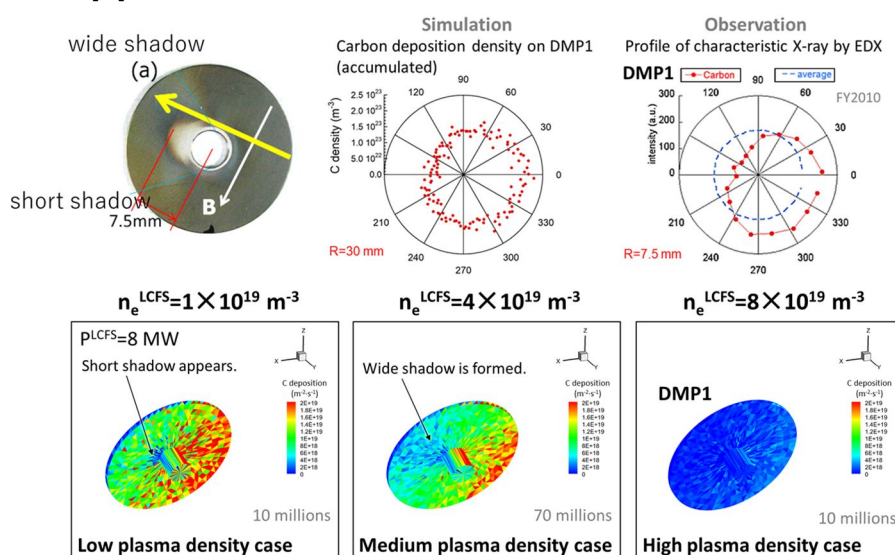


図7 (上段) ダイバータ板近傍に設置したDMPの表面写真と、ERO2.0を用いたシミュレーションで得られた炭素の方位角分布と、EDSで得られた炭素の分布。(下段)異なるプラズマ密度での実験時のDMP上への炭素堆積のシミュレーション結果。

(5) まとめ

本研究の大きな成果の一つは、ERO2.0コードにより、3次元系であるヘリカル型装置において、プラズマ対向壁の損耗や堆積のシミュレーションが可能となり、実験結果を再現できるようになったことである。シミュレーションが実験結果を高い精度で再現できるようになれば、シミュレーションによる予測が可能となる。本研究で得られた実験結果は、それだけでは「このようになっている」ということしか分からないが、シミュレーションと組み合わせることにより、堆積物の源や飛来の物理機構などが議論できるようになる。本研究期間中に解析が終わらなかった試料や、まだシミュレーションとの比較ができていない実験結果が多々ある。今後も研究を続け、「ヘリカル型核融合炉設計に必要なプラズマ対向材料移動機構の総合的な理解と、ヘリカル型装置における材料移動予測ツールを得る」という目的を達成する。

以上の成果を、2021年度のプラズマ・核融合学会の年会の招待講演で報告した。

参考文献

- [1] S. Masuzaki, Plasma and Fusion Research, Vol. 8 (2013) 1202110.
- [2] G. Motojima et al, Physica Scripta, Vol. T171 (2020) 014054.
- [3] S. Brezinsek et al, Nuclear Fusion, Vol. 62 (2022) 016006.
- [4] G. Motojima et al, Plasma and Fusion Research, Vol. 10 (2015) 1202074.
- [5] M. Tokitani et al, Journal of Nuclear Materials, Vol. 415 (2011) pp.S87-S91.
- [6] M. Shoji et al, Plasma and Fusion Research, Vol. 16 (2021) 2403004.
- [7] M. Shoji et al, Nuclear Materials and Energy, Vol. 25 (2020) 100853.
- [8] M. Shoji et al, Plasma and Fusion Research, Vol. 17 (2022) 2403010.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件/うち国際共著 13件/うちオープンアクセス 13件）

1. 著者名 Brezinsek S., Dhard C.P., Jakubowski M., Konig R., Masuzaki S., Mayer M., Naujoks D., Romazanov J., Schmid K., Schmitz O., Zhao D., Balden M., Brakel R. et al	4. 巻 62
2. 論文標題 Plasma-surface interaction in the stellarator W7-X: conclusions drawn from operation with graphite plasma-facing components	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 016006 ~ 016006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/ac3508	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 SHOJI Mamoru, MASUZAKI Suguru, KAWAMURA Gakushi, ROMAZANOV Juri, KIRSCHNER Andreas, BREZINSEK Sebastijan	4. 巻 17
2. 論文標題 Simulation Analysis of the Carbon Deposition Profile on Directional Material Probes in the Large Helical Device Using the ER02.0 Code	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2403010 ~ 2403010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.17.2403010	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 Masaki Osakabe, Hiromi Takahashi, Hiroshi Yamada, Kenji Tanaka, Tatsuya Kobayashi, Katsumi Ida, Satoshi Ohdachi, Jacobo Varela, Kunihiro Ogawa, Masahiro Kobayashi, Katsuyoshi Tsumori, Katsunori Ikeda, Suguru Masuzaki, et al	4. 巻 62
2. 論文標題 Recent results from deuterium experiments on the large helical device and their contribution to fusion reactor development	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 42019
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/ac3cda	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 Ohtani H., Masuzaki S., Ogawa K., Ishiguro S.	4. 巻 25
2. 論文標題 Virtual-reality visualization of loss points of 1MeV tritons in the Large Helical Device, LHD	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Visualization	6. 最初と最後の頁 281-292
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12650-021-00805-8	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 Dhard C.P., Brezinsek S., Mayer M., Naujoks D., Masuzaki S., et al	4. 巻 96
2. 論文標題 Plasma-wall interaction studies in W7-X: Main results from the recent divertor operations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physica Scripta	6. 最初と最後の頁 124059
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1402-4896/ac35c0	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 Mamoru SHOJI, Suguru MASUZAKI, Gakushi KAWAMURA, Juri ROMAZANOV, Andreas KIRSCHNER and Sebastijan BREZINSEK	4. 巻 17
2. 論文標題 Simulation Analysis of the Carbon Deposition Profile on Directional Material Probes in the Large Helical Device Using the ERO2.0 Code	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2403010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.17.2403010	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 Masuzaki S., Yajima M., Ogawa K., Motojima G., Tanaka M., Tokitani M., Isobe M., Otsuka T.	4. 巻 26
2. 論文標題 Investigation of the distribution of remaining tritium in divertor in LHD	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 100884 ~ 100884
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2020.100884	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 Yajima M., Masuzaki S., Yoshida N., Tokitani M., Otsuka T., Oya Y., Torikai Y., Motojima G.	4. 巻 27
2. 論文標題 Investigation on tritium retention and surface properties on the first wall in the large helical Device	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 100906 ~ 100906
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2021.100906	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 SHOJI Mamoru, KAWAMURA Gakushi, ROMAZANOV Juri, KIRSCHNER Andreas, EKSAEVA Alina, BORODIN Dmitry, MASUZAKI Suguru, BREZINSEK Sebastijan	4. 巻 16
2. 論文標題 Simulation of Impurity Transport and Deposition in the Closed Helical Divertor in the Large Helical Device	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2403004 ~ 2403004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.16.2403004	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 Shoji M., Kawamura G., Romazanov J., Kirschner A., Eksaeva A., Borodin D., Masuzaki S., Brezinsek S.	4. 巻 25
2. 論文標題 Boron transport simulation using the ER02.0 code for real-time wall conditioning in the large helical device	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 100853 ~ 100853
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2020.100853	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 Zhou Qilai, Yajima Miyuki, Tokitani Masayuki, Hamaji Yukinori, Masuzaki Suguru	4. 巻 159
2. 論文標題 Tritium removal from the LHD first-wall by the hydrogen plasma discharge	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 111879 ~ 111879
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2020.111879	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 Masuzaki S, Otsuka T, Ogawa K, Yajima M, Tokitani M, Zhou Q, Isobe M, Oya Y, Yoshida N, Nobuta Y, the LHD Experiment Group	4. 巻 T171
2. 論文標題 Investigation of remaining tritium in the LHD vacuum vessel after the first deuterium experimental campaign	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physica Scripta	6. 最初と最後の頁 014068 ~ 014068
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1402-4896/ab6d44	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 Motojima G, Masuzaki S, Dhard C P, Krause M, Naujoks D, Hayashi Y, Brezinsek S, the W7-X Team	4. 巻 T171
2. 論文標題 In-vessel colorimetry of Wendelstein 7-X first wall components: variation of layer deposition distribution in OP1.2a and OP1.2b	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physica Scripta	6. 最初と最後の頁 014054 ~ 014054
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1402-4896/ab5618	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 Dhard C P, Akaslopolo S, Balden M, Baldzuhn J, Biedermann C, Brauer T, Brezinsek S, Endler M, Hayashi Y, Hwangbo D, Kajita S, Krause M, Kornejew P, Masuzaki S, Mayer M, Motojima G, Naujoks D, Otte M, Rohde V, the W7-X Team	4. 巻 T171
2. 論文標題 Inspection of W 7-X plasma-facing components after the operation phase OP1.2b: observations and first assessments	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physica Scripta	6. 最初と最後の頁 014033 ~ 014033
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1402-4896/ab4b3f	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 Dhard C.P., Mayer M., Brezinsek S., Masuzaki S., Motojima G., et al	4. 巻 146
2. 論文標題 Erosion and deposition investigations on Wendelstein 7-X first wall components for the first operation phase in divertor configuration	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 242-245
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2018.12.031	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 Alimov V.K., Yajima M., Masuzaki S., Tokitani M.	4. 巻 147
2. 論文標題 Analysis of mixed-material layers deposited on the toroidal array probes during the FY 2012 LHD plasma campaign	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 111228-111228
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2019.06.001	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21件(うち招待講演 2件/うち国際学会 13件)

1. 発表者名 S. Masuzaki, M. Yajima, M.Z. Zhao, K. Ogawa, M. Isobe, M. Tanaka, M. Tokitani, G. Motojima, N Yoshida, S.E. Lee, Y. Hatano, Y. Torikai, et al
2. 発表標題 Distribution of the remaining tritium in the LHD vacuum vessel
3. 学会等名 28th IAEA Fusion Energy Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Masuzaki, M. Yajima, M.Z. Zhao, M. Tanaka, N. Yoshida, M. Tokitani, K. Ogawa, M. Isobe
2. 発表標題 Investigation of tritium retention in the first wall in LHD using directional material probes
3. 学会等名 18th International Conference on Plasma-Facing Materials and Components for Fusion Applications (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Shoji, G. Kawamura, J. Romazanov, A. Kirschner, A. Eksaeva, D. Borodin, S. Masuzaki, and S. Brezinsek
2. 発表標題 Full-torus Simulation of Tungsten Erosion by Intrinsic Carbon Ions in the Large Helical Device Peripheral Plasma Using the ER02.0 code
3. 学会等名 18th International Workshop on Plasma Edge Theory (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Zhao, S. Masuzaki, G. Motojima, C.P. Dhard, D. Naujoks, J. Romazanov, S. Brezinsek
2. 発表標題 The distribution patterns of impurities and hydrogen in the upper and lower divertor target elements of Wendelstein 7-X
3. 学会等名 30th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mamoru SHOJI, Suguru MASUZAKI, Gakushi KAWAMURA, Juri ROMAZANOV, Andreas KIRSCHNER and Sebastijan BREZINSEK
2. 発表標題 Simulation of the carbon deposition profile on directional material probes in the Large Helical Device using the ER02.0 code
3. 学会等名 30th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 増崎 貴、本島 徹、庄司 主、趙 明忠、河村学思、林 祐貴、永田大介、ダード チャンドラ、ナジヨクス ディルク、ブレジンセック セバスチャン、ロマザノフ ユーリ、矢嶋美幸、時谷政行、吉田直亮
2. 発表標題 ヘリカル型核融合装置LHDおよびW7-Xにおけるプラズマ対向材料移動研究
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第38回年会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢嶋美幸、吉田直亮、増崎貴、時谷政行、本島 徹、田中将裕、大塚哲平
2. 発表標題 第 21 サイクル LHD 第一壁における水素同位体保持と表面特性評価
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第38回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 庄司 主、増崎 貴、河村 学思、ロマザノフ ユーリ、キルシュナー アンドレアス、ブレジンセック セバスチャン
2. 発表標題 大型ヘリカル装置(LHD)における方向性マテリアルプローブ上の炭素堆積層分布のER02.0コードによるシミュレーション解析
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第38回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masuzaki S., Yajima M., Ogawa K., Motojima G., Tanaka M., Tokitani M., Isobe M., Otsuka T.
2. 発表標題 Investigation of the distribution of remaining tritium in divertor in LHD
3. 学会等名 24th International Conference on. Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shoji M., Kawamura G., Romazanov J., Kirschner A., Eksaeva A., Borodin D., Masuzaki S., Brezinsek S.
2. 発表標題 Boron transport simulation using the ER02.0 code for real-time wall conditioning in the large helical device
3. 学会等名 24th International Conference on. Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yajima M., Masuzaki S., Yoshida N., Tokitani M., Otsuka T., Oya Y., Torikai Y., Motojima G.
2. 発表標題 Investigation on tritium retention and surface properties on the first wall in the large helical Device
3. 学会等名 24th International Conference on. Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 SHOJI Mamoru, KAWAMURA Gakushi, ROMAZANOV Juri, KIRSCHNER Andreas, EKSAEVA Alina, BORODIN Dmitry, MASUZAKI Suguru, BREZINSEK Sebastijan
2. 発表標題 Simulation of Impurity Transport and Deposition in the Closed Helical Divertor in the Large Helical Device
3. 学会等名 29th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Yajima, S. Masuzaki, N. Yoshida, M. Tokitani, T. Otsuka, , Y. Oya, Y. Torikai, G. Motojima
2. 発表標題 Investigation of tritium retention and surface properties on the first wall of LHD
3. 学会等名 3rd Asia Pacific Symposium on Tritium Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 庄司 主、河村学思、ROMAZANOV Juri、KIRSCHNER Andreas、EKSAEVA Alina、BORODIN Dmitry、増崎 貴、BREZINSEK Sebastijan
2. 発表標題 大型ヘリカル装置(LHD)における閉ヘリカルダイバータ領域の炭素堆積シミュレーション解析
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第37回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢嶋美幸、吉田直亮、増崎貴、時谷政行、大塚哲平、本島 徹
2. 発表標題 LHD重水素実験後の第一壁における水素同位体保持量調査
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第37回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Masuzaki, T. Otsuka, M. Yajima, M. Tokitani, Q. Zhou, N. Yoshida, Y. Nobuta
2. 発表標題 Investigation of Remained Tritium in the LHD Vacuum Vessel after the First Deuterium Experimental Campaign
3. 学会等名 17th International Conference on Plasma-Facing Materials and Components for Fusion Application (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Masuzaki, G. Motojima, M. Tokitani, M. Yajima, C.P. Dhard, D. Naujoks, S. Brezinsek, S. Ohshima
2. 発表標題 Directional Material Probes can add an information on the material migration studies in fusion devices
3. 学会等名 7th International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Masuzaki
2. 発表標題 Effects of Drifts on Divertor Transport in LHD
3. 学会等名 International Conference on Plasma Surface Interaction in Controlled Fusion Research (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増崎 貴
2. 発表標題 LHD重水素実験における水素同位体置換
3. 学会等名 第12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 増崎 貴
2. 発表標題 核融合装置におけるプラズマ・壁相互作用とダスト生成
3. 学会等名 日本真空表面学会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増崎 貴
2. 発表標題 LHD重水素実験におけるダイバータ部トリチウム分布
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会
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
研究協力者	庄司 主 (Shoji Mamoru) (00280602)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授 (63902)	
研究協力者	本島 巖 (Motojima Gen) (00509507)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授 (63902)	
研究協力者	趙 明忠 (Zhao Mingzhong) (90897844)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・特別研究員 (63902)	
研究協力者	河村 学思 (Kawamura Gakushi) (70509520)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教 (63902)	
研究協力者	矢嶋 美幸 (Yajima Miyuki) (70749085)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教 (63902)	

6. 研究組織 (つづき)

	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
研究協力者	時谷 政行 (Tokitani Masayuki) (30455208)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授 (63902)	
研究協力者	浜地 志憲 (Hamaji Yukinori) (60761070)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教 (63902)	
研究協力者	小林 政弘 (Kobayashi Masahiro) (30399307)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授 (63902)	
研究協力者	大島 慎介 (Ohshima Shinsuke) (00469610)	京都大学・エネルギー理工学研究所・助教 (14301)	
研究協力者	ダード チャンドラ ブラカシュ (Dhard Chandra Pakash)		
研究協力者	ナウジョク ディルク (Naujoks Dirk)		
研究協力者	ロマザノフ ユーリ (Romazanov Juri)		
研究協力者	ブレジンセック セバスチャン (Brezinsek Sebastijan)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	キルシュナー アンドレアス (Kirschner Andreas)		

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			
中国	武漢理工大学			
ドイツ	Max-Planck-Institut for Plasma physics	Forschungszentrum Juelich		