

令和 5 年 5 月 15 日現在

機関番号：12601

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間：2018～2022

課題番号：17KK0132

研究課題名（和文）ヘリウム照射ナノ構造タングステンの熱パルス及び可視光応答性の評価

研究課題名（英文）Thermal response and visible light photocatalytic reactivity of He induced nanostructure tungsten

研究代表者

梶田 信 (Kajita, Shin)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：00455297

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,500,000円

渡航期間： 6ヶ月

研究成果の概要（和文）：直線型装置MAGNUM-PSIを利用してタングステンへのヘリウム照射を行い、同時にタングステンを堆積させる実験を実施した。銅やモリブデンの堆積が多い場合にはファズの成長が抑制される一方で、サンプルの近くにタングステンのスパッタリング源を置いた場合には7 $\mu$ mという厚いファズ層が形成され、タングステンの堆積により、ファズの成長速度が著しく促進されたことが示唆された。加えて、Magnum-PSIにおけるレーザートムソン散乱からのneやTeとOESデータとの関係をニューラルネットワークを用いてモデル化し、温度・密度計測の誤差を評価したところ10%程度の誤差で計測できることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今後、この方法は、レーザートムソン散乱が利用できない場合においてもneとTeの測定領域を拡張することが可能である。例えば、より高速な検出器を用いれば、レーザーパルス周波数（現時点では10 Hz）で決まるトムソン散乱よりも高い時間分解能が得られ、ハイパースペクトル画像と組み合わせることで二次元計測も可能になる。さらに、機械学習を用いた研究を進めることで、衝突輻射モデルで得られた分布からのずれを引き起こす過程を発見できる可能性がある。本手法は大型装置においても分光計測のデータを用いて高い精度で電子温度や密度を計測できる可能性があり、トムソン散乱などに比べて極めて安価な手法となる。

研究成果の概要（英文）：Experiments were conducted using the linear device MAGNUM-PSI to irradiate tungsten with helium and deposit tungsten at the same time. While fuzz growth was suppressed when copper and molybdenum were deposited, a fuzz layer as thick as 7  $\mu$ m was formed when a tungsten sputtering source was placed near the sample, suggesting that the fuzz growth rate was significantly accelerated by the tungsten deposition. In addition, the relationship between ne and Te from laser Thomson scattering and OES data in Magnum-PSI was modeled using a neural network to evaluate the error in temperature and density measurements, and it was found that the measurement error was about 10%.

研究分野：プラズマ，核融合

キーワード：プラズマ ヘリウム ファズ 光電気化学 ニューラルネットワーク

## 1. 研究開始当初の背景

核融合炉において、プラズマが材料と接触するダイバータ部における物理の理解が不可欠であり、ダイバータ材料となるタングステンにおいても、プラズマの不安定性に伴う間歇的な熱粒子負荷によるクラックや溶融等の影響が懸念されている。2000年代半ばから、申請者らの研究グループを中心に、ヘリウムプラズマ照射によりタングステン表面にナノ構造が形成されることが見出され、その結果材料とプラズマとの相互作用を大きく変える可能性が示唆されてきた。

申請者らは、直線型ダイバータ模擬装置(NAGDIS-II)及びガンプラズマを有するNAGDIS-PGにおける実験を基盤として、ヘリウムプラズマ照射によりナノ構造化した金属の物性評価、間歇的な熱負荷に伴って発生するアーキングと呼ばれる現象の条件調査や材料損耗評価を行ってきた。具体的には、ナノ構造化により仕事関数が上昇し(約0.5 eV程度)、電界電子放出が著しく増大することを見出し、サーモリフレクタンス法を用いて、熱伝導率が2桁減少することを示すとともに、アーキング点弧により、多量のタングステンが損耗されることを定量的に評価した。さらに、タンタルや鉄においてもナノ構造化が起こり、ナノ構造化が起こると、粒子の反射係数が減少するため、熱負荷が増加することを見いだした。

## 2. 研究の目的

本国際共同研究においては、基課題を発展させて、ヘリウムプラズマ照射を行いナノ構造化した金属材料と高密度プラズマ(定常+パルス)との相互作用に焦点をあてる。これまでに、ヘリウム照射によりナノ構造化した試料に、高密度パルスプラズマ照射を行い、溶融が起こり、異常な温度上昇が起こることは明らかにされてきたが、その熱物性値や現象の詳細は明らかになっていない。本研究では、ナノ構造化や、パルスプラズマ照射によりクラックによる熱物性の変化を評価し、実機における定常プラズマ及び間歇的な熱負荷による材料損傷過程を明らかにすることを目的とする。さらに、発展的研究として、プラズマ照射という手法を新たな「高機能性光触媒材料作製法」として確立しようとする取組を取り入れる。ヘリウム照射ナノ構造材料はこれまで、申請者らにより可視光で有機物を分解すること、そしてDIFFERのグループにより紫外線照射で光電流が増加することが確認されている。本研究では、ヘリウム照射材料の可視光領域の光電気特性を評価し、太陽光を用いた水分解用の光触媒材料の開発を試みる。

## 3. 研究の方法

### ・高密度プラズマのキャラクタリゼーションとプラズマ材料相互作用

MAGNUM-PSIにおいて高密度プラズマ照射を行い、その際の温度変化を高速IRカメラで行うとともに、材料表面近傍を高速カメラで観察し、材料からのダストの放出やアークの点弧の様子を明らかにする。照射した材料の表面SEM(走査型電子顕微鏡)観察を行う。

加えて、さまざまなプラズマ装置における電子密度 $n_e$ 、温度 $T_e$ の測定に用いられてきた発光分光法(OES)によるヘリウム(He)線強度比法に対して、ニューラルネットワーク(NN: Neural network)を導入し、直線型プラズマ装置Magnum-PSIにおけるレーザートムソン散乱からの $n_e$ や $T_e$ とOESデータとの関係をモデル化し、重回帰分析と比較検討する。

### ・プラズマ照射ナノ構造タングステンを用いた可視光応答光触媒材料開発

ヘリウムプラズマ照射を行ったタングステン(一部酸化)を用いて、光電気化学特性を評価する。

## 4. 研究成果

図1(a)は解析に用いたNNの模式図である。入力パラメータ数 $N$ は、正規化された9個の発光強度(388.9, 402.6, 438.8, 447.1, 492.2, 501.6, 667.8, 706.5, and 728.1 nm)と半径方向の位置の10個である。NNは隠れ層が5層あり、隠れ層のニューロン数は入力側から256, 128, 64, 64, 16である。NNは $n_e$ と $T_e$ に対して2つ別々に用意した。第1隠れ層はReLU(rectified linear unit)活性化関数を用い、他の隠れ層はシグモイド関数を用いている。この解析では、中性粒子密度や温度、準安定状態密度は隠れたパラメータであり、その影響は間接的に含まれる。また、Magnum-PSIの高品質TSスペクトルでは、 $n_e$ が高いため、非マクスウェル分布のエネルギー見出されていない。機械学習では、学習用とテスト用にデータを分割することが必要である。

図1(b)に示すように、2つの方法でデータを分割した。最初の分割方法(分割法1)は、放電の単位でデータを分割する方法である。このデータセットには24種類の放電が含まれている。この24種類の放電を学習用に19個、テスト用に5個に分割した。もう一つの方法(分割法2)は、データポイントの単位でデータを分割するものである。各放電は異なる半径位置で40点のデータポイントを持つため、全データポイント数は960(40×24)となる。分割法2は、放電の情報を考慮せず、960個のデータポイントをそれぞれ80%と20%の割合でトレーニングデータとテストデータに分割する。

図2(a,b)は、NNによる $n_e$ と $T_e$ の予測値を、TSで測定した $n_e$ と $T_e$ の関数として表したものである。赤と青のマーカーはそれぞれ分割法1, 2を用いた結果を表し、 $r$ カラーバーに示すようにマーカーの色のグラデーションで表している。重回帰分析の結果と比較して、データのばらつきが非常に小さくなっており、NNによって予測の精度が大きく向上していることがわか

る。青マーカーは赤マーカーに比べて散らばりが小さく、分割法 2 が分割法 1 よりも良い予測精度となっていることがわかる。このモデルを新しいデータに適用する場合、現在のデータセットで学習させると、誤差は分割法 1 のものになる。しかし、学習用データ量を増やすと、誤差は分割法 2、すなわち  $n_e$  と  $T_e$  の両方で約 10% に減少することが明らかになった。

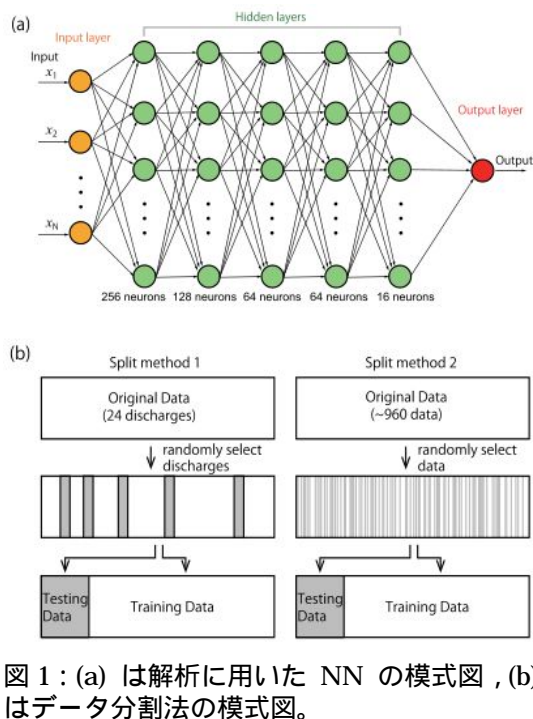


図 1: (a) は解析に用いた NN の模式図, (b) はデータ分割法の模式図。

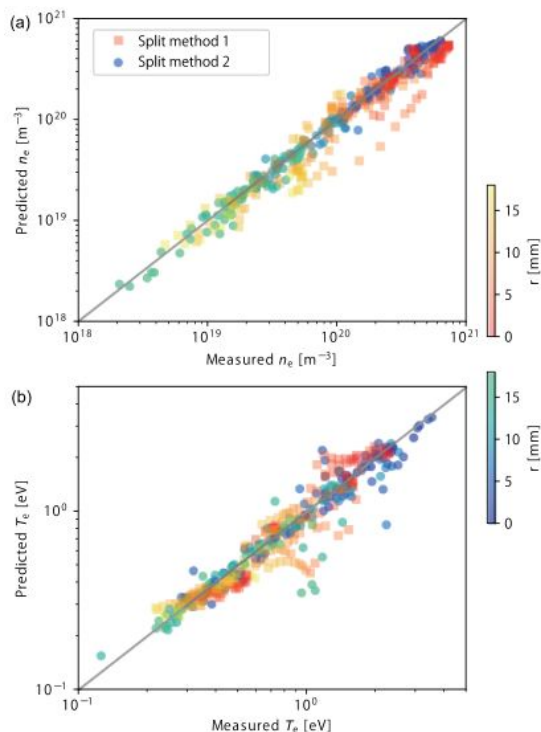


図 2: NN による (a)  $n_e$  と (b)  $T_e$  の予測値を, TS で測定した  $n_e$  と  $T_e$  の関数として表したものである

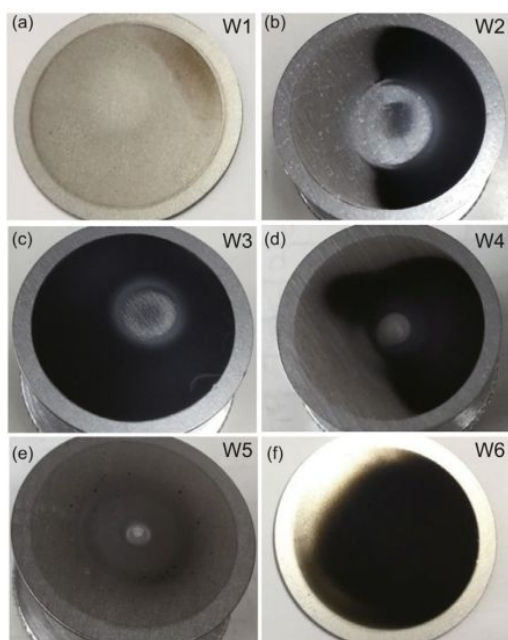


図 3 (a-f) W1-W6 それぞれのサンプルの写真。サンプルのポテンシャルは、(a)-13V、(b)-22V、(c)-34V、(d)-45V、(e)-55V、(f)-62V。

超高密度定常及びパルスプラズマ生成が可能なプラズマ装置 MAGNUM-PSI (オランダ, DIFFER 研究所) においてタングステンへのヘリウム照射プラズマ照射実験を実施した。試料にバイアスをかけ、その電位を  $-13 \sim -62V$  まで変化させながらヘリウム照射を実施した。試料表面温度は  $1100 K$  程度で実施し、照射後の試料を電子顕微鏡を用いた観察を実施した。図 3 に示すように、試料バイアスが低いときには  $(-12V)$ 、表面に突起状のナノ構造ができる程度であったが、 $-22 V$  になると、材料周辺部が黒色化しナノ構造化が起こり始めた。 $-45V$  程度までは中心部では損耗、周辺部でナノ構造化が起こっている状況であった。試料バイアスを  $-50 V$  まで負に深くバイアスした場合にも、プラズマ中心部では損耗が起こり、周辺部では不均一なナノ構造が形成された。この結果は、通常のナノ構造形成の様子とは異なり、特に中心部では予想と異なる結果となった。EDX 分析を行ったところ、金属不純物(主にモリブデンと銅)の堆積が、ファズの成長を打ち消す効果があることが分かった。プラズマ源からの金属の影響に加え、核融合装置での堆積環境を再現するために、サンプルの近くにスパッタ源を設置し照射実験を行った。その結果、He フラックス  $1.3 \times 10^{26} m^{-2}$  において、ファズ層の厚さは約  $7 \mu m$  となり、堆積ない場合の約 5 倍となり、ファズ層の成長速度が著しく促進されたことが示唆された。

0.2 mm厚のタンゲステン板にヘリウムプラズマを照射し、表面ナノ構造化を行った。PEC 活性はサンプルを曝露時間が15分のものが高いことがわかっており、曝露時間が15分のサンプルを用いて、酸化温度の影響を議論する。電気炉を用いて673 - 973Kで30分間焼成し、3電極PECセルを用いてPEC性能を調べた。コイル状の白金線(太さ1mm)、Ag/AgCl/Sat. KCl電極、0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (pH~0.3)をそれぞれ対極、参照電極、溶液として使用した。サンプルは照射時間と酸化温度を用いて、15min- WO<sub>3</sub>-773K等と記す。15min-WO<sub>3</sub>-XのPEC性能の変化を把握するために、光電流計測を実施したところ、図1に示すようにすべてのサンプルの中で15min-WO<sub>3</sub>-773K電極が最も優れた光電流密度3.5 mA/cm<sup>2</sup> (1.23 V vs. RHE)を示した。XRD計測を行ったところ、WO<sub>3</sub>-873Kの試料を除き、他の試料はすべて(002)結晶面に沿って成長していることが分かった。WO<sub>3</sub>-773K光電極の優れたPEC性能は、適切な酸化膜厚と露出した結晶面の相乗効果によってもたらされたと考えられる。酸化膜が薄すぎたり、結晶性が低いと活性が低くなり、また過剰に厚い層は電子-正孔対再結合を招き活性を下げることが明らかになった。

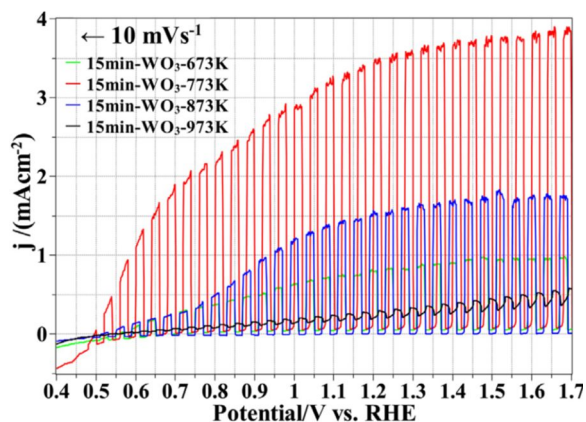


図4 15min-WO<sub>3</sub>-673K、15min-WO<sub>3</sub>-773K、15min-WO<sub>3</sub>-873K、15min-WO<sub>3</sub>-973Kの光電流密度対印加電位曲線。

示した。XRD計測を行ったところ、WO<sub>3</sub>-873Kの試料を除き、他の試料はすべて(002)結晶面に沿って成長していることが分かった。WO<sub>3</sub>-773K光電極の優れたPEC性能は、適切な酸化膜厚と露出した結晶面の相乗効果によってもたらされたと考えられる。酸化膜が薄すぎたり、結晶性が低いと活性が低くなり、また過剰に厚い層は電子-正孔対再結合を招き活性を下げることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 19件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Kajita Shin, Nishijima Daisuke, Fujii Keisuke, Akkermans Gijs, van der Meiden Hennie	4. 巻 63
2. 論文標題 Application of multiple regression for sensitivity analysis of helium line emissions to the electron density and temperature in Magnum-PSI	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma Physics and Controlled Fusion	6. 最初と最後の頁 055018 ~ 055018
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6587/abf36e	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 Feng Shuangyuan, Kajita Shin, Higashi Masanobu, Bieberle-Hutter Anja, Yoshida Tomoko, Ohno Noriyasu	4. 巻 580
2. 論文標題 Photoelectrochemical properties of plasma-induced nanostructured tungsten oxide	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Surface Science	6. 最初と最後の頁 151979 ~ 151979
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apsusc.2021.151979	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 KAJITA Shin, PANDYA Santosh P., O'CONNOR Richard, BARNSLEY Robin, ROGER Huxford	4. 巻 16
2. 論文標題 Investigation of Light Transmission Efficiency in ITER Hard X-Ray Monitor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 1302106 ~ 1302106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.16.1302106	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, Brezinsek S, Mayer M, Naujoks D, Masuzaki S, Zhao D, Yi R, Oelmann J, Schmid K, Romazanov 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 2021年
3. 雑誌名 Physica Scripta	6. 最初と最後の頁 124059 ~ 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 Kajita Shin, Morgan Thomas, Tanaka Hirohiko, Hayashi Yuki, Yoshida Naoaki, Nagata Daisuke, Vernimmen Jordy, Feng Shuangyuan, Zhang Rongshi, Ohno Noriyasu	4. 巻 548
2. 論文標題 Accelerated/reduced growth of tungsten fuzz by deposition of metals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 152844 ~ 152844
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2021.152844	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 Kajita Shin, Passedat Gilles, Reichle Roger	4. 巻 160
2. 論文標題 Ray tracing study of ITER in-vessel lighting system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 111787 ~ 111787
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2020.111787	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 YAJIMA Miyuki, KAJITA Shin, OHNO Noriyasu, MASUZAKI Suguru, YOSHIDA Naoaki, AUSSEMS Damien U. B., MORGAN Thomas W., BYSTROV Kirill, MEIDEN Hennie van der	4. 巻 15
2. 論文標題 Dust Formation from Arc Spots on Nanostructured Tungsten Surface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 1205061 ~ 1205061
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.15.1205061	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 Tanaka H, Hayashi Y, Kajita S, van der Meiden H J, Yoshikawa M, Vernimmen J W M, Scholten J, Classen I, Morgan T W, Ohno N	4. 巻 62
2. 論文標題 Cross-field transport in detached helium plasmas in Magnum-PSI	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma Physics and Controlled Fusion	6. 最初と最後の頁 115021 ~ 115021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6587/abb88f	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 HWANGBO Dogyun, KAJITA Shin, DHARD Chandra Prakash, TOKITANI Masayuki, KRAUSE Marco, NAUJOKS Dirk, MASUZAKI Suguru, KLOSE Soren, OHNO Noriyasu, The W7-X Team	4. 巻 15
2. 論文標題 Inspection of Arc Trails Formed in Stellarator/Heliotron Devices W7-X and LHD	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2402012 ~ 2402012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.15.2402012	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 Khan A, De Temmerman G, Kajita S, Greuner H, Balden M, Hunger K, Ohno N, Hwangbo D, Tomita Y, Tokitani M, Nagata D, Yajima M	4. 巻 T171
2. 論文標題 Helium irradiation effects on the surface modification and recrystallization of tungsten	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physica Scripta	6. 最初と最後の頁 014050 ~ 014050
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1402-4896/ab52c6	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 Dhard C P, Akaslompolo S, Balden M, Baldzuhn J, Biedermann C, Br?uer 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 Kajita Shin, Akkermans Gijs, Fujii Keisuke, van der Meiden Hennie, van de Sanden M. C. M.	4. 巻 10
2. 論文標題 Emission spectroscopy of He lines in high-density plasmas in Magnum-PSI	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 025225 ~ 025225
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5143481	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 McCarthy Patrick、Hwangbo Dogyun、Bilton Matthew、Kajita Shin、Bradley James W.	4. 巻 60
2. 論文標題 Enhanced fuzzy tungsten growth in the presence of tungsten deposition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 026012 ~ 026012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/ab6060	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 HAYASHI Yuki、OHNO Noriyasu、van der MEIDEN Hennie、SCHOLTEN John、KAJITA Shin、van den BERG Jonathan、PERILLO Renato、VERNIMMEN Jordy、MORGAN Thomas	4. 巻 14
2. 論文標題 Application of Ion Sensitive Probe to High Density Plasmas in Magnum-PSI	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 1202135 ~ 1202135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.14.1202135	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 KAJITA Shin、DE BOCK Maarten、DESJARDINS Michel、BARNESLEY Robin	4. 巻 14
2. 論文標題 Ray Trace Study for Visible Spectroscopy Reference System (VSRS) Diagnostics in ITER	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 1405042 ~ 1405042
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.14.1405042	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 OHSHIMA Hiroshi、KAJITA Shin、TANAKA Hirohiko、OHNO Noriyasu、VAN DER MEIDEN Hennie J.	4. 巻 13
2. 論文標題 Thomson Scattering Measurement of Two Electron Temperature Components in Transition to Detached Plasmas	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 1201099 ~ 1201099
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.13.1201099	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 Kajita Shin, Veshchev Evgeny, De Bock Maarten, Barnsley Robin, Von Hellermann Manfred, Walsh Michael	4. 巻 74
2. 論文標題 Assessment and Mitigation of Wall Light Reflection in ITER by Ray Tracing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Fusion Science and Technology	6. 最初と最後の頁 37 ~ 46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15361055.2017.1390389	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 Hwangbo Dogyun, Kajita Shin, Ohno Noriyasu, McCarthy Patrick, Bradley James W., Tanaka Hirohiko	4. 巻 58
2. 論文標題 Growth of nano-tendril bundles on tungsten with impurity-rich He plasmas	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 096022 ~ 096022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/aacd1f	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 Nishijima D., Kreter A., Baldwin M.J., Borodin D., Eksaeva A., Hwangbo D., Kajita S., Miyamoto M., Ohno N., Patino M., Pospieszczyk A., Rasinski M., Schlummer T., Terra A., Doerner R.P.	4. 巻 18
2. 論文標題 Influence of heavier impurity deposition on surface morphology development and sputtering behavior explored in multiple linear plasma devices	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 67 ~ 71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2018.12.008	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

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 馮 双園、梶田 信、東 正信、Anja Bieberle、吉田朋子、大野哲靖
2. 発表標題 プラズマ誘起ナノ構造酸化タングステンの光触媒水分解への応用
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.Feng, S.Kajita, M.Higashi, A.Bieberle, T.Yoshida, N.Ohno
2 . 発表標題 Photoelectrochemical Properties of Plasma-Induced Nanostructured WO3
3 . 学会等名 ISPlasma2021/IC-PLANTS2021 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 CP Dhard, S Akaslompolo, M Balden, J Baldzuhn, C Biedermann, T Bruer, S Brezinsek, M Endler, Y Hayashi, D Hwangbo, S Kajita, M Krause, P Kornejew, S Masuzaki, M Mayer, G Motojima, D Naujoks, M Otte, V Rohde
2 . 発表標題 Inspection of W 7-X plasma-facing components after the operation phase OP1. 2b: observations and first assessments
3 . 学会等名 PFMC-17 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Dogyun HWANGBO, Shin KAJITA, Chandra Prakash DHARD, Masayuki TOKITANI, Marco KRAUSE, Dirk NAUJOKS, Suguru MASUZAKI, Sren KLOSE, Noriyasu OHNO, The W7-X Team
2 . 発表標題 Inspection of Arc Trails Formed in Stellarator/Heliotron Devices W7-X and LHD
3 . 学会等名 28th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (ITC28) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 D.Nishijima, A.Kreter, R.P.Doerner, M.J.Baldwin, D.Borodin, A.Eksaeva, D.Hwangbo, S.Kajita, M.Miyamoto, N.Ohno, A.Pospieszczyk, M.Rasinski, T.Schlummer, A.Terra,
2 . 発表標題 Influence of heavier impurity deposition on Cr sputtering under He plasma exposure in multiple linear plasma devices
3 . 学会等名 PSI2018 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 N.Ohno, Y.Hayashi, S.Kajita, H.Tanaka, H.Ohshima, M.Seki, K.Sawada, M.Aramaki, M.Yoshikawa, H.J.van der Meiden
2. 発表標題 Influence of recombination front region on plasma detachment in a linear divertor plasma simulator
3. 学会等名 PSI2018 (招待講演) (国際学会)
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
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	トーマス モーガン  (Thomas Morgan)	ディファ 研究所・Plasma Material Interactions・Group Leader	
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	エブゲニー ヴェシュチェフ  (Evgeny Veshchev)	イーター機構・Ex-Vessel Diagnostics Section・Diagnostic Physicist	

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			
オランダ	DIFFER研究所			
ドイツ	マックスプランク研究所, IPP Greifswald			
フランス	ITER機構			