

令和 6 年 9 月 11 日現在

機関番号：13901

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(A））

研究期間：2019～2023

課題番号：18KK0410

研究課題名（和文）ITER級パラメータ条件における非接触プラズマ中の非拡散的輸送研究

研究課題名（英文）Non-diffusive transport study in detached plasmas under ITER-like parameter conditions

研究代表者

田中 宏彦（Tanaka, Hirohiko）

名古屋大学・未来材料・システム研究所・准教授

研究者番号：60609981

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,900,000円

渡航期間： 3.5ヶ月

研究成果の概要（和文）：本国際共同研究では、ITERダイバータ領域に匹敵するプラズマパラメータ・磁場強度を有する直線型超電導装置Magnum-PSI（オランダ、DIFFER研究所）に各種計測機器を持ち込み、揺動データセットを取得した。装置壁への熱負荷低減に有望視される“非接触ダイバータ条件”で増幅する非拡散的輸送の発生の有無、ならびに輸送特性を調査した。パラメータ領域や磁場構造の異なる国内複数装置と類似する現象が観測されたことから、将来の核融合装置においても発生しうる現象であることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現存する唯一のITER級ダイバータプラズマ模擬装置といえるMagnum-PSIにおいて、非接触プラズマ条件で増幅する非拡散的輸送現象の観測に成功した。特に弱磁場環境では、静電プローブと高速カメラの併用により詳細な輸送特性を明らかにした。本研究で整備した計測系は、DIFFER研究所における今後の関連研究の進展に寄与する。

研究成果の概要（英文）：In this international collaboration research, several measurement instruments were brought to the linear superconducting device Magnum-PSI (DIFFER in the Netherlands), which has high plasma parameters and magnetic field strength comparable to the ITER divertor region, and fluctuation data sets were obtained. We investigated the occurrence and transport characteristics of non-diffusive transport, which is amplified under “detached divertor condition” that is promising for reducing the heat load on the device wall. Similar phenomena were observed in several domestic devices with different parameter regions and magnetic field structures, indicating that such the phenomenon could occur in future fusion devices.

研究分野：核融合学

キーワード：非拡散的輸送 非接触プラズマ Magnum-PSI 揺動解析 静電プローブ 高速カメラ 再結合フロント  
ダイバータプラズマ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 F-19-2

### 1. 研究開始当初の背景

熱核融合発電炉の実現に向けて、高熱流のプラズマが直接接触する材料（ダイバータ板）へ流入する熱粒子束の低減は最重要課題の一つであり、プラズマ・ガス間の原子・分子過程を利用することでプラズマを中性化させる『非接触ダイバータ』が最も有望な手法と考えられている。国際熱核融合実験炉 ITER の建設や原型炉の設計活動が進む中で、数値シミュレーションによる事前のダイバータ負荷予測が極めて重要とされているが、非接触ダイバータ実験で観測される著しい粒子束低減は十分に再現できていない。現在採用されている計算モデルに反映されていない粒子束低減機構の一つとして、“磁場を横切る非拡散的プラズマ輸送増大に起因する粒子束分布の広域化”が考えられる。

研究開始当初までに、名古屋大学所有の直線型装置 NAGDIS-II では、径方向・周方向に分割した電極を挿入し、通常の接触状態と非接触状態を遷移させることで、再結合フロントと呼ばれるプラズマ構造を磁力線方向にスキャンする計測を行った。その結果、中心部から周辺へのプラズマ放出ならびに径方向分布の広域化が確認されるとともに、その局在性が明らかとなっている（文献①）。このほか、筑波大学の所有するタンデムミラー装置 GAMMA 10/PDX においても、NAGDIS-II と同様に接触-非接触状態遷移実験を行い、磁場を横切る間欠的なプラズマ輸送構造の検出を行ったほか（文献②）、核融合科学研究所の所有するヘリカル装置 LHD では、接触状態と非接触状態の比較から、特に後者において間欠的輸送が増幅され、ダイバータ板上の粒子束分布が広がる様子が確認されている（文献③）。

このように、直線装置における詳細計測や磁場配位の異なる装置間比較によって一定の進展があったが、磁場強度やプラズマパラメータは ITER と比べて低く、強磁場・高粒子束環境におけるデータ取得を行い、将来装置における輸送特性を外挿評価することが求められていた。

### 2. 研究の目的

本研究では、オランダ基礎エネルギー研究所（DIFFER）所有の超伝導・直線型装置 Magnum-PSI を使用する。強磁場（ $\sim 2.5$  T）および高密度プラズマ（ $\sim 10^{21}$  m<sup>-3</sup>）を定常的に生成可能であり、現存する唯一の ITER 級ダイバータプラズマ模擬装置といえる。これにより、国内装置でこれまでに得られてきた知見（非接触プラズマ中の輸送増大やその局在性）が、ITER と似た強磁場・高粒子束条件においても適用可能かどうかを明らかにすることを目的とする。

加えて、欧州への長期滞在の利点を活かして、マックスプランクプラズマ物理研究所（ドイツ、グライフスヴァルト）に訪問し、同研究所所有のステラレータ装置 W7-X や 3 次元輸送コード EMC3-EIRENE に関する共同研究の検討ならびに実施を行う。

### 3. 研究の方法

DIFFER 研究所の Magnum-PSI は、その高いプラズマ熱流束のため、主な診断法が光学計測（トムソン散乱、分光、高速カメラ、赤外線カメラ）に限られており、静電プローブ計測系を備えていない。そのため、高速駆動可能な静電プローブ計測システムを日本から持ち込み、イオン粒子束と比例関係にあるイオン飽和電流揺動や電位揺動を計測する。なお、強磁場環境では多大な熱負荷のために静電プローブの適用が困難である。そのため、DIFFER 研究所既設の高速カメラを相補的に使用する。まず弱磁場（低熱負荷）環境で静電プローブ計測（点）と高速カメラ計測（線積分）から詳細な輸送挙動を明らかにした上で、高速カメラにより強磁場環境も含めた計測を行い、同環境における輸送特性を評価する。

なお、静電揺動計測には周波数帯域の広い絶縁アンプ（ $> \sim 100$  kHz）ならびに高振幅分解能の A/D 変換器（ $\sim 16$  bit）の使用が望ましいが、いずれも DIFFER 研究所には設置されていない。本国際共同研究では、計測系を強化して DIFFER 研究所を新たな静電揺動計測拠点として整備することで、日本所有のプラズマ装置群との比較による連携研究を強化する。

### 4. 研究成果

研究期間初年度（2019 年度）、名古屋大学から静電プローブ計測システム一式（掃引機構、プローブヘッド、A/D 変換機等）を DIFFER 研究所へと輸送した。さらに Magnum-PSI における初期実験として、静電プローブへの熱負荷を低減するため、低磁場条件（0.4T）において生成されたヘリウム（He）プラズマの一連のデータセット取得を行った（文献④）。

図 1(a) に Magnum-PSI における静電プローブおよび高速カメラの設置写真、同図(b), (c) に装置断面および側面からみた各計測系の位置関係を示す。プラズマパラメータの主要計測器であるトムソン散乱計測可能な軸方向位置（以降、TS 位置）に、静電プローブ・高速カメラ視野を設定した。合わせて、プラズマ発光の可視分光のほか、TS 位置から 200 mm 下流のターゲット（終端板）に負電圧を印加し、イオン電流  $I_{\text{igt}}$  を計測した。

静電プローブの待機位置は、ターゲットスキマーと呼ばれるオリフィスの背面（径方向位置  $r_p = -50$  mm）とし、圧縮空気を用いた高速駆動により、プラズマ中心（ $r_p = 0$  mm）までの揺動取得を行った。先端には多芯プローブヘッドを採用し、電子密度に感度の高いイオン飽和電流  $I_s$  と、近傍 2 か所の浮遊電位  $V_{\text{fl}}$ ,  $V_{\text{pl}}$  を計測した。 $I_{\text{igt}}$  とともに、日本から持ち込んだ絶縁 A/D 変換器（Yokogawa 720254）によりサンプリング周波数 500 kHz で静電揺動信号を同時収集した。

高速カメラ（Phantom V12）はフレームレート約 100 kfps、露光時間 3  $\mu$ s とし、光学フィルタは使わず可視光の全光計測を行った。

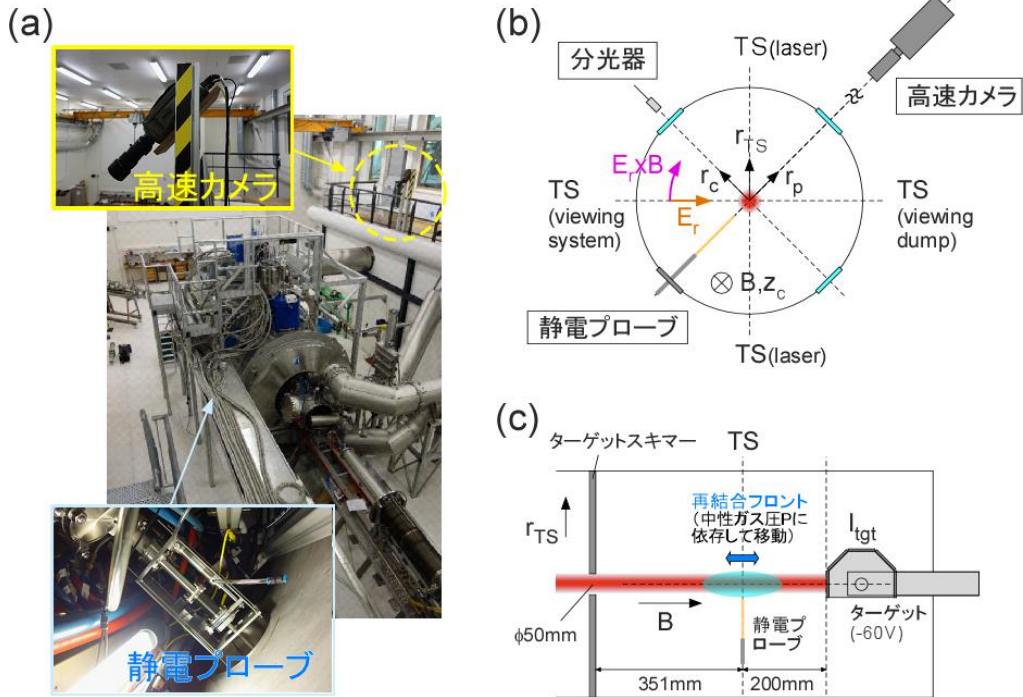


図 1. (a)Magnum-PSI および静電プローブ、高速カメラの写真. (b)装置断面および(c)側面からみた計測系配置.

図 2 に、He プラズマ中で観測された(a)線スペクトル強度、(b) $I_{\text{tgt}}$ 、(c)プラズマ中心位置の電子密度  $n_e$  および電子温度  $T_e$  の中性ガス圧 ( $P$ ) 依存性を示す。ガス圧の増加に伴い、体積再結合に起因する高励起準位からの発光が急上昇の後、低下し、ターゲットへ到達するイオン粒子束は単調減少、 $n_e$  はロールオーバー、 $T_e$  は  $1\text{ eV}$  を下回っている。これらのことから、 $P$  の増加により接触状態から非接触状態へと遷移し、 $P \sim 2\text{--}4\text{ Pa}$  のときに再結合フロントが TS 位置近傍に存在していることがわかった。

また、図 2(d) に示す静電プローブ計測された  $I_s$  の径方向分布から、再結合フロント近傍ではターゲットスキーマ背面までプラズマ分布が広がっていることが確認された。

図 3(a) には、再結合フロント ( $P = 2.2\text{ Pa}$ ) における  $I_s$  周波数スペクトルの径方向分布を示す。点線およびドットはそれぞれ浮遊電位およびプラズマ電位から求めた径電場  $E_r$  と磁場  $B$  の  $E_r \times B$  ドリフト回転周波数であり、 $r_p \sim 15\text{ mm}$  において揺動の周波数とよく一致していることがわかる。そのさらに径方向周辺領域では、浮遊電位の差から求めた周方向電場  $E_\theta$  と  $I_s$  の間に有意な相関が存在し (図 3(b))、条件付き平均法の適用により  $I_s$  および  $E_\theta$  から求めた径方向粒子束の存在も確認された (図 3(c))。

これらの結果から、NAGDIS-II と類似する現象が Magnum-PSI においても発生しており、再結合フロント付近で周方向電場を伴う径方向輸送が増幅するとともに、プラズマの径方向分布を広げていることが明らかとなった。

さらに、高速カメラから得られた発光信号  $I_{\text{em}}$  の揺動成分にもプラズマ回転～放出の様子が線積分信号として捉えられ、静電プローブ信号との有意な相関が確認された (図 4)。さらなる詳細な解析では、プラズマ中心揺動 (周方向モード数  $m=0$ ) と回転揺動の間に捕食者-被食者様の増幅・減衰関係が見い出された。

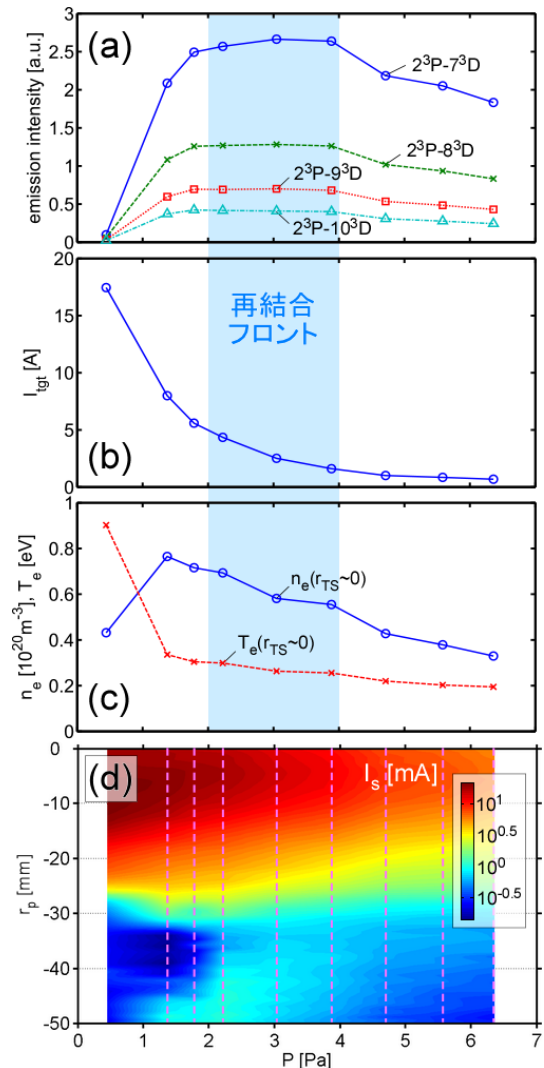


図 2. (a)線スペクトル発光強度、(b) $I_{\text{tgt}}$ 、(c)プラズマ中心位置の  $n_e$ 、 $T_e$ 、(d) $I_s$  径方向分布の  $P$  依存性.

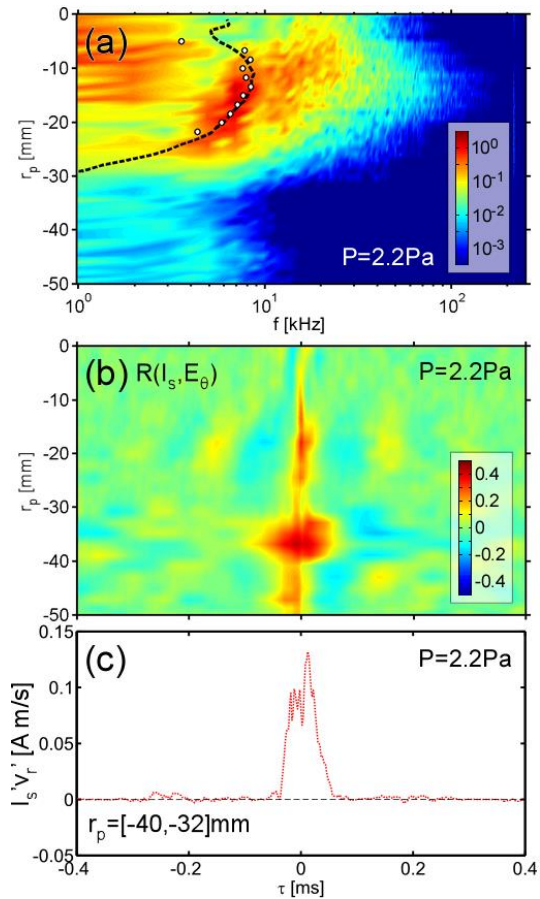


図 3. 再結合フロントにおける(a) $I_s$ の周波数スペクトル、(b) $I_s$ と $E_\theta$ の相互相関係数、(c)条件付き平均から求めた $I_s$ 揺動と径方向速度 $v_r$ 揺動の積.

2020年からはコロナ禍により渡航制限が課された中で、比較対象となる国内装置における実験解析(文献⑤⑥)を進めたほか、Magnum-PSIの高熱負荷環境に適用可能な新たなトモグラフィ計測・解析手法の開発を行った(文献⑦)。

コロナ禍の明けた2023年2~3月に、未取得であった1Tを超える強磁場環境におけるデータ取得を行った。このとき、熱負荷からプローブヘッドを保護するために、静電プローブはターゲットスキマーの背面位置に固定した。磁場強度1.2Tにおいて、中性ガス圧スキャンにより接触~非接触状態へと遷移する条件を探索し、再結合フロント近傍の揺動データを取得したものが図5である。イオン飽和電流の明瞭な正スパイク波形と、それに同期したターゲット電流の減少ならびに対応する発光揺動の時間発展が観測され、強磁場環境下でも径方向へのプラズマ放出現象が発生することが確かめられた。

以上により、パラメータ領域や磁場構造の異なる国内複数装置と類似する現象がMagnum-PSIで観測されたことから、ITERや原型炉といった将来装置においても、非接触プラズマ中で増幅する輸送現象は生じるものと考えられる。輸送特性の外挿評価を行うためには、Magnum-PSIの強磁場環境で取得した揺動データについて、より詳細な解析を行う必要がある。

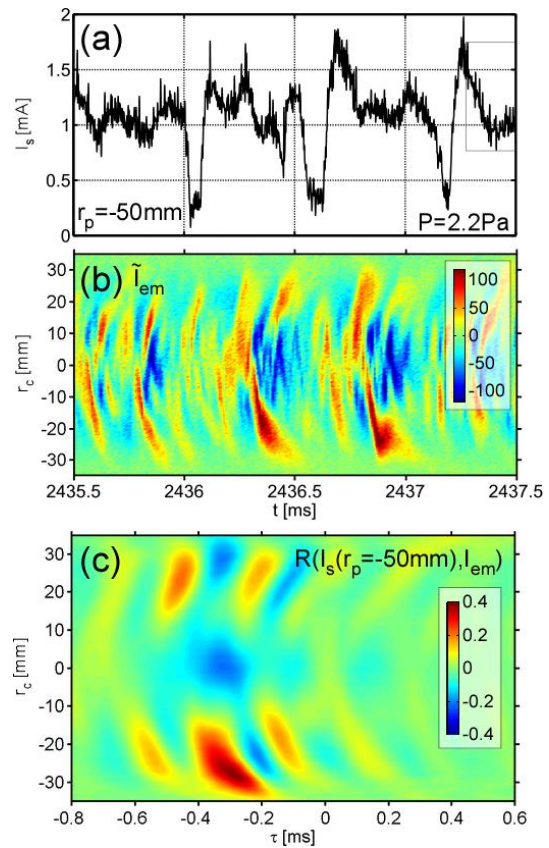


図 4. (a)再結合フロント・径方向周辺位置( $r_p = -50$  mm)の $I_s$ および(b)発光揺動の時間発展。(c) $I_s$ および発光揺動の相互相関係数.

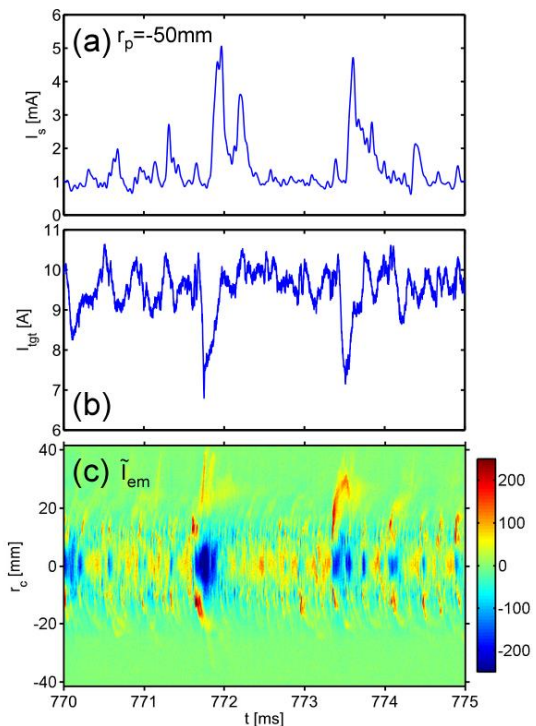


図 5.  $B = 1.2$  T 環境で取得された(a)再結合フロント・径方向周辺位置( $r_p = -50$  mm)の $I_s$ ,  $I_{tgt}$ , および(b)発光揺動の時間発展.

<引用文献>

- ① H. Tanaka et al., Plasma Physics of Controlled Fusion **60** (2018) 075013.
- ② H. Tanaka et al., Physics of Plasmas **25** (2018) 082505.
- ③ H. Tanaka et al., Physics of Plasmas **17** (2010) 102509.
- ④ H. Tanaka et al., Plasma Physics of Controlled Fusion **62** (2020) 115021.
- ⑤ H. Tanaka et al., Physics of Plasmas **30** (2023) 032501.
- ⑥ H. Tanaka et al., Plasma and Fusion Research **18** (2023) 2402021.
- ⑦ H. Tanaka et al., Scientific Reports **14** (2024) 9329.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 10件）

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| 1. 著者名<br>Tanaka Hirohiko, Kajita Shin, Natsume Hiroki, Ohno Noriyasu   | 4. 巻<br>14                      |
| 2. 論文標題<br>Four-dimensional conditional averaging tomography of rotating plasma ejection from cylindrical detached plasma                                   | 5. 発行年<br>2024年                 |
| 3. 雑誌名<br>Scientific Reports  | 6. 最初と最後の頁<br>9329 ~ 9329       |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1038/s41598-024-59182-5  | 査読の有無<br>有                      |
| オープンアクセス<br>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<br>-                       |
| 1. 著者名<br>Costin C, Mihaila I, van der Meiden H J, Tanaka H, Scholten J, van Eck H J N  | 4. 巻<br>32                      |
| 2. 論文標題<br>Plasma rotation and axial flow velocities in Magnum-PSI from cross-correlation measurements  | 5. 発行年<br>2023年                 |
| 3. 雑誌名<br>Plasma Sources Science and Technology   | 6. 最初と最後の頁<br>075010 ~ 075010   |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1088/1361-6595/ace5d2  | 査読の有無<br>有                      |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する                    |
| 1. 著者名<br>TANAKA Hirohiko, MASUZAKI Suguru, KAWAMURA Gakushi, HAYASHI Yuki, KOBAYASHI Masahiro, SUZUKI Yasuhiro, MUKAI Kiyofumi, KAJITA Shin, OHNO Noriyasu | 4. 巻<br>18                      |
| 2. 論文標題<br>Correlation of the Orthogonal Basis of the Core Plasma Distribution to the Divertor Footprint Distribution in LHD                                | 5. 発行年<br>2023年                 |
| 3. 雑誌名<br>Plasma and Fusion Research  | 6. 最初と最後の頁<br>2402021 ~ 2402021 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1585/pfr.18.2402021  | 査読の有無<br>有                      |
| オープンアクセス<br>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<br>-                       |
| 1. 著者名<br>Tanaka H., Ezumi N., Sugiyama T., Gamo H., Shigematsu N., Yoshikawa M., Kohagura J., Hirata M., Togo S., Ohno N., Sakamoto M.                     | 4. 巻<br>30                      |
| 2. 論文標題<br>Study of the intermittent plasma structure around the divertor simulation experimental module in GAMMA 10/PDX                                    | 5. 発行年<br>2023年                 |
| 3. 雑誌名<br>Physics of Plasmas  | 6. 最初と最後の頁<br>032501 ~ 032501   |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1063/5.0129886   | 査読の有無<br>有                      |
| オープンアクセス<br>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<br>-                       |

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| 1. 著者名<br>YOSHIKAWA Masayuki, TANAKA Hirohiko, HAYASHI Yuki, KAJITA Shin, van der MEIDEN Hennie, VERNIMMEN Jordy, MORGAN Thomas, KOHAGURA Junko, SHIMA Yoriko, TOGO Satoshi, EZUMI Naomichi, NAKASHIMA Yousuke, SAKAMOTO Mizuki | 4. 巻<br>17                      |
| 2. 論文標題<br>Effects from the Target Plate Geometry on Fluctuations of Helium Plasma in the Linear Divertor Simulator Magnum-PSI  | 5. 発行年<br>2022年                 |
| 3. 雑誌名<br>Plasma and Fusion Research  | 6. 最初と最後の頁<br>1402100 ~ 1402100 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1585/pfr.17.1402100  | 査読の有無<br>有                      |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する                    |

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Hayashi Yuki, Tanaka Hirohiko, Ohno Noriyasu, Kajita Shin, Morgan Thomas, van der Meiden Hennie, Scholten John, Vernimmen Jordy, Natsume Hiroki, Sawada Keiji, Masuda Shota | 4. 巻<br>64                    |
| 2. 論文標題<br>Reduction of pulsed particle load with dynamic pressure induced by transient recycled neutral flux   | 5. 発行年<br>2022年               |
| 3. 雑誌名<br>Plasma Physics and Controlled Fusion  | 6. 最初と最後の頁<br>105013 ~ 105013 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1088/1361-6587/ac8acb  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する                  |

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Hasegawa Hiroki, Tanaka Hirohiko, Ishiguro Seiji  | 4. 巻<br>61                    |
| 2. 論文標題<br>Linear analysis of cross-field dynamics with feedback instability on detached divertor plasmas | 5. 発行年<br>2021年               |
| 3. 雑誌名<br>Nuclear Fusion  | 6. 最初と最後の頁<br>126005 ~ 126005 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1088/1741-4326/ac2a88  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>田中宏彦                              | 4. 巻<br>97              |
| 2. 論文標題<br>5. 非接触プラズマ形成が非拡散的プラズマ輸送に及ぼす3次元効果 | 5. 発行年<br>2021年         |
| 3. 雑誌名<br>プラズマ・核融合学会誌                       | 6. 最初と最後の頁<br>463 ~ 470 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし              | 査読の有無<br>無              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>鈴木康浩, 田中宏彦                         | 4. 巻<br>97              |
| 2. 論文標題<br>4. 外部共鳴摂動磁場印加がトカマク周辺プラズマに及ぼす3次元効果 | 5. 発行年<br>2021年         |
| 3. 雑誌名<br>プラズマ・核融合学会誌                        | 6. 最初と最後の頁<br>455 ~ 462 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし               | 査読の有無<br>無              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Tanaka H., Ohno N., Kajita S., Takano H., Hattori S., Imaeda Y.         | 4. 巻<br>25                    |
| 2. 論文標題<br>Evaluation of axial decay length of plasma pressure in detached plasma | 5. 発行年<br>2020年               |
| 3. 雑誌名<br>Nuclear Materials and Energy  | 6. 最初と最後の頁<br>100812 ~ 100812 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.nme.2020.100812                             | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>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<br>62                    |
| 2. 論文標題<br>Cross-field transport in detached helium plasmas in Magnum-PSI   | 5. 発行年<br>2020年               |
| 3. 雑誌名<br>Plasma Physics and Controlled Fusion  | 6. 最初と最後の頁<br>115021 ~ 115021 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1088/1361-6587/abb88f  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する                  |

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Tanaka H., Saeki I., Ohno N., Kajita S., Ido T., Natsume H., Hatayama A., Hoshino K., Sawada K., Goto M.     | 4. 巻<br>27                    |
| 2. 論文標題<br>Detached helium plasma simulation by a one-dimensional fluid code with detailed collisional-radiative model | 5. 発行年<br>2020年               |
| 3. 雑誌名<br>Physics of Plasmas   | 6. 最初と最後の頁<br>102505 ~ 102505 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1063/5.0015912  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |



|  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Tanaka Hirohiko, Kajita Shin, Natsume Hiroki, Saeki Isaya, Ohno Noriyasu               | 4. 巻<br>62                    |
| 2. 論文標題<br>Spatiotemporal dynamics of cross-field ejection events in recombining detached plasma | 5. 発行年<br>2020年               |
| 3. 雑誌名<br>Plasma Physics and Controlled Fusion   | 6. 最初と最後の頁<br>075011 ~ 075011 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1088/1361-6587/ab8e19   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| 1. 著者名<br>HATTORI Shogo, TANAKA Hirohiko, KAJITA Shin, OHNO Noriyasu  | 4. 巻<br>15                      |
| 2. 論文標題<br>Plasma Potential Measurement in Detached Plasmas by Emissive Probe Considering Space-Charge-Limited Effect | 5. 発行年<br>2020年                 |
| 3. 雑誌名<br>Plasma and Fusion Research  | 6. 最初と最後の頁<br>1301082 ~ 1301082 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1585/pfr.15.1301082  | 査読の有無<br>有                      |
| オープンアクセス<br>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<br>-                       |

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Tanaka Hirohiko, Kajita Shin, Natsume Hiroki, Saeki Isaya, Ohno Noriyasu               | 4. 巻<br>62                    |
| 2. 論文標題<br>Spatiotemporal dynamics of cross-field ejection events in recombining detached plasma | 5. 発行年<br>2020年               |
| 3. 雑誌名<br>Plasma Physics and Controlled Fusion   | 6. 最初と最後の頁<br>075011 ~ 075011 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1088/1361-6587/ab8e19   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Tanaka H., Kawamura G., Hoshino K., Kobayashi M., Matsunaga G., Suzuki Y., Lunt T., Feng Y., Ohno N.   | 4. 巻<br>e201900114  |
| 2. 論文標題<br>First EMC3-EIRENE modelling of JT-60SA edge plasmas with/without resonant magnetic perturbation field | 5. 発行年<br>2020年     |
| 3. 雑誌名<br>Contributions to Plasma Physics  | 6. 最初と最後の頁<br>1 ~ 8 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1002/ctpp.201900114   | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する        |

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Natsume H., Tanaka H., Kajita S., Ohno N.  | 4. 巻<br>27                    |
| 2. 論文標題<br>Application of dynamic mode decomposition to rotating structures in detached linear plasmas | 5. 発行年<br>2020年               |
| 3. 雑誌名<br>Physics of Plasmas   | 6. 最初と最後の頁<br>042301 ~ 042301 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1063/1.5134869  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

〔学会発表〕 計27件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 15件)

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>林祐貴, 田中宏彦, 梶田信, 皇甫度均, 大野哲靖, J.W.M. Vernimmen, J. Scholten, H.J. van der Meiden, I. Classen, T.W. Morgan |
| 2. 発表標題<br>ダイバータプラズマ模擬装置における非接触プラズマ中を伝搬する熱パルスの特性変化   |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2024年春季大会   |
| 4. 発表年<br>2024年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>田中宏彦, 梶田信, 夏目祥揮, 大野哲靖         |
| 2. 発表標題<br>非接触プラズマ回転放出現象の4次元条件付き平均トモグラフィ |
| 3. 学会等名<br>第40回プラズマ・核融合学会年会              |
| 4. 発表年<br>2023年                          |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Y. Hayashi, H. Tanaka, N. Ohno, S. Kajita, T.W. Morgan, H.J. van der Meiden, J. Scholten, J.W.M. Vernimmen, H. Natsume, K. Sawada, S. Masuda         |
| 2. 発表標題<br>Influence of dynamic pressure induced by transient recycled neutral flux on reduction of pulsed particle load in the linear plasma device Magnum-PSI |
| 3. 学会等名<br>7th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (AAPPs-DPP2023)  |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Y. Hayashi, N. Ohno, H. Tanaka, H. Natsume, K. Sugiura, R. Mano, S. Masuda, R. Migita, K. Sawada, S. Kajita, T. Tsujihara, H. Ohshima, M. Aramaki, G. Kawamura |
| 2. 発表標題<br>Study on effects of neutral particle behavior on detached plasma formation using linear plasma device and modeling   |
| 3. 学会等名<br>Global Plasma Forum in AOMORI (招待講演) (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>C. Costin, I. Mihaila, H.J. van der Meiden, H. Tanaka, J. Scholten, H.J.N. van Eck      |
| 2. 発表標題<br>Plasma flow investigation in a linear magnetized facility by cross-correlation analysis |
| 3. 学会等名<br>XXth International Conference on Plasma Physics and Applications (CPPA2023) (国際学会)      |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|                                  |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>田中宏彦, 夏目祥揮, 梶田信, 大野哲靖 |
| 2. 発表標題<br>直線非接触プラズマの4次元時空間輸送挙動  |
| 3. 学会等名<br>第39回プラズマ・核融合学会年会      |
| 4. 発表年<br>2022年                  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>H. Tanaka, S. Masuzaki, G. Kawamura, Y. Hayashi, M. Kobayashi, Y. Suzuki, S. Kajita, N. Ohno |
| 2. 発表標題<br>Multivariate analysis of LHD divertor and core plasma distributions                          |
| 3. 学会等名<br>The 31st International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (ITC31) (国際学会)          |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>田中宏彦, 江角直道, 杉山史作, 蒲生宙樹, 重松直希, 吉川正志, 小波蔵純子, 平田真史, 大野哲靖, 坂本瑞樹 |
| 2. 発表標題<br>GAMMA 10/PDX接触・非接触ダイバータ条件におけるBlob様輸送構造                      |
| 3. 学会等名<br>第14回核融合エネルギー連合講演会   |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>H. Tanaka, H. Natsume, S. Kajita, N. Ohno   |
| 2. 発表標題<br>Global fluctuation structures across ionizing- and recombining-plasma regions                             |
| 3. 学会等名<br>25th International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (PSI-25) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>夏目祥揮, 梶田信, 田中宏彦, 螺澤英樹, 大野哲靖      |
| 2. 発表標題<br>条件付き平均法を用いた高時間分解能プラズマ分光計測系の開発と応用 |
| 3. 学会等名<br>第39回プラズマ・核融合学会年会                 |
| 4. 発表年<br>2022年                             |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>榎本昇悟, 田中宏彦, 河村学思, 松永剛, 鈴木康浩, 小林政弘, 星野一生, 梶田信, 大野哲靖  |
| 2. 発表標題<br>トロイダルリップル及びRMPコイルパリティ差異に着目したJT-60SA周辺プラズマ輸送シミュレーション |
| 3. 学会等名<br>第39回プラズマ・核融合学会年会                                    |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|         |  |
|---------|--|
| 1. 発表者名 | S. Enomoto, H. Tanaka, G. Kawamura, G. Matsunaga, Y. Suzuki, M. Kobayashi, K. Hoshino, S. Kajita, N. Ohno  |
| 2. 発表標題 | Edge plasma transport modeling in JT-60SA focusing on toroidal field ripple and RMP coil parity difference |
| 3. 学会等名 | The 31st International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (ITC31) (国際学会)                        |
| 4. 発表年  | 2022年  |

|         |  |
|---------|--|
| 1. 発表者名 | M. Slecicka, M. Jakubowski, H. Niemann, A.P. Sitjes, H. Tanaka, B. Zamorski, W7-X team     |
| 2. 発表標題 | Analysis of divertor fluxes with proper orthogonal decomposition method in Wendelstein 7-X |
| 3. 学会等名 | 48th EPS Conference on Plasma Physics (国際学会)   |
| 4. 発表年  | 2022年  |

|         |   |
|---------|---|
| 1. 発表者名 | B. Zamorski, M. Slecicka, M. Jakubowski, A.P. Sitjes, Y. Gao, K. Hammond, H. Tanaka, W7-X team  |
| 2. 発表標題 | Identification of divertor flux drifts and their dependence on plasma parameters within Wendelstein 7-X through proper orthogonal decomposition |
| 3. 学会等名 | 23rd International Stellarator-Heliotron Workshop (ISHW 2022) (国際学会)  |
| 4. 発表年  | 2022年   |

|         |                               |
|---------|-------------------------------|
| 1. 発表者名 | 田中宏彦, 夏目祥揮, 梶田信, 大野哲靖         |
| 2. 発表標題 | 電離進行 - 再結合プラズマ接続領域の広域揺動ダイナミクス |
| 3. 学会等名 | 第38回プラズマ・核融合学会年会              |
| 4. 発表年  | 2021年                         |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>H. Tanaka, I. Saeki, N. Ohno, S. Kajita, T. Ido, H. Natsume, A. Hatayama, K. Hoshino, K. Sawada, M. Goto |
| 2. 発表標題<br>Detached helium plasma simulation with collisional-radiative model                                       |
| 3. 学会等名<br>The 40th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (JSST2021) (国際学会)                 |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>H. Tanaka, S. Kajita, M. Sakamoto, N. Ezumi, M. Yoshikawa, J. Kohagura, N. Ohno                    |
| 2. 発表標題<br>Fluctuation analyses for extracting the cross-field transport in detached plasmas                  |
| 3. 学会等名<br>International Mini-Workshop on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (OS2021) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>林祐貴, 田中宏彦, 大野哲靖, 梶田信, T.W. Morgan, H.J. van der Meiden, J. Scholten, J.W.M. Vernimmen, 澤田圭司, 増田翔太, 夏目祥揮 |
| 2. 発表標題<br>Magnum-PSI非接触プラズマにおけるリサイクリング粒子が熱パルス緩和に与える影響   |
| 3. 学会等名<br>第38回プラズマ・核融合学会年会  |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>榎本昇悟, 田中宏彦, 河村学思, 松永剛, 小林政弘, 星野一生, 鈴木康浩, 梶田信, 大野哲靖 |
| 2. 発表標題<br>JT-60SAにおける複数のRMP条件での周辺プラズマモデリング                   |
| 3. 学会等名<br>第38回プラズマ・核融合学会年会                                   |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>S. Enomoto, H. Tanaka, G. Kawamura, G. Matsunaga, M. Kobayashi, K. Hoshino, Y. Suzuki, S. Kajita, and N. Ohno |
| 2. 発表標題<br>JT-60SA edge plasma modeling under several resonant magnetic perturbation conditions                          |
| 3. 学会等名<br>The 30th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (ITC30) (国際学会)                           |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>H. Hasegawa, H. Tanaka, S. Ishiguro  |
| 2. 発表標題<br>Linear Analysis of Cross-Field Dynamics with Feedback Instability on Detached Divertor Plasmas |
| 3. 学会等名<br>28th IAEA Fusion Energy Conference (FEC 2020) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>H. Tanaka, Y. Hayashi, S. Kajita, H.J. van der Meiden, M. Yoshikawa, J.W.M. Vernimmen, J. Scholten, I. Classen, T.W. Morgan, N. Ohno |
| 2. 発表標題<br>Cross-field transport in detached helium plasmas in Magnum-PSI   |
| 3. 学会等名<br>The 24th International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (PSI-24) (国際学会)                        |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>田中宏彦, 林祐貴, 梶田信, H.J. van der Meiden, 吉川正志, J.W.M. Vernimmen, J. Scholten, I. Classen, T.W. Morgan, 大野哲靖 |
| 2. 発表標題<br>Magnum-PSI非接触プラズマ中における非拡散的輸送増大現象  |
| 3. 学会等名<br>第37回プラズマ・核融合学会年会  |
| 4. 発表年<br>2020年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>H. Tanaka, S. Kajita, N. Ohno  |
| 2. 発表標題<br>Conditional averaging measurement of spatiotemporal parameter dynamics during cross-field recombining-plasma ejection events |
| 3. 学会等名<br>AAPPS-DPP2020 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2020年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>H. Natsume, H. Tanaka, S. Kajita, N. Ohno   |
| 2. 発表標題<br>Analysis of ejected and rotating structures in linear detached plasmas using dynamic mode decomposition       |
| 3. 学会等名<br>The 24th International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (PSI-24) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>田中宏彦, 梶田信, 関真倫, 大嶋啓嗣, 夏目祥揮, 大野哲靖   |
| 2. 発表標題<br>径方向への非接触プラズマ放出現象における時空間プラズマパラメータ計測 |
| 3. 学会等名<br>第36回プラズマ・核融合学会年会                   |
| 4. 発表年<br>2019年                               |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>H. Tanaka, G. Kawamura, K. Hoshino, M. Kobayashi, G. Matsunaga, L. Lunt, Y. Feng, and N. Ohno |
| 2. 発表標題<br>EMC3-EIRENE modeling of JT-60SA edge plasmas with/without RMP field                           |
| 3. 学会等名<br>17th International Workshop on Plasma Edge Theory in Fusion Devices (PET2019) (国際学会)          |
| 4. 発表年<br>2019年  |



〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

|   |
|---|
| 研究成果<br><a href="http://www.nuee.nagoya-u.ac.jp/labs/plaene/member/tanaka/jisseki/jisseki.html">http://www.nuee.nagoya-u.ac.jp/labs/plaene/member/tanaka/jisseki/jisseki.html</a><br>プログラム公開ページ<br><a href="http://www.nuee.nagoya-u.ac.jp/labs/plaene/koukai/purakaku85/">http://www.nuee.nagoya-u.ac.jp/labs/plaene/koukai/purakaku85/</a><br>プレスリリース（名古屋大学）<br><a href="https://www.nagoya-u.ac.jp/researchinfo/result/2024/04/post-657.html">https://www.nagoya-u.ac.jp/researchinfo/result/2024/04/post-657.html</a><br>プレスリリース（未来材料・システム研究所）<br><a href="https://www.imass.nagoya-u.ac.jp/research/20240426_tanaka.html">https://www.imass.nagoya-u.ac.jp/research/20240426_tanaka.html</a> |
|---|

6. 研究組織

|                   | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)        | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                 | 備考 |
|-------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----|
| 主たる渡航先の主たる海外共同研究者 | モーガン トーマス<br><br>(Morgan Thomas) | 基礎エネルギー研究所・Fusion Energy・Group leader |    |
| 主たる渡航先の主たる海外共同研究者 | クラッセン イヴォ<br><br>(Classen Ivo)   | 基礎エネルギー研究所・Fusion Energy・Group leader |    |

6. 研究組織（つづき）

|           | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|-----------|---------------------------|-----------------------|----|
| その他の研究協力者 | フェン ユエ<br><br>(Feng Yuhe) | マックスプランク・プラズマ物理研究所    |    |

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                                  |  |  |  |
| ドイツ     | Max-Planck Institute for Plasma Physics |  |  |  |