

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：63902

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：17KK0121

研究課題名（和文）新型トレーサー内蔵ペレットで解明する高温プラズマ中の不純物輸送特性

研究課題名（英文）Clarification on characteristics of the impurity transport in high-temperature plasmas by using a new tracer-encapsulated solid pellet

研究代表者

田村 直樹（Tamura, Naoki）

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授

研究者番号：80390631

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,500,000円

渡航期間：6.5ヶ月

研究成果の概要（和文）：ドイツのW7-X装置とスペインのTJ-II装置において、TESPEL入射実験を実施した。W7-Xでは、TESPELにより予想以上にプラズマ内部にトレーサーを配置できることが分かった他、レーザーブローオフ法との比較により、不純物供給位置の違いが不純物の時間発展、つまり空間分布に大きな影響を与えることも明らかとなった。また、TESPELにより、ホウ素からタングステンまでの非常に広い範囲の不純物の輸送を調査可能であることも明らかとなった。一方、TJ-IIでは、新型コロナウイルス感染症の影響のため、新型TESPELを使用した本格的な実験は実施することができなかったが、予備実験までは実施できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた成果として特筆すべき点は、不純物供給位置の違いが磁場閉じ込め高温プラズマ中の不純物の時間発展、つまり空間分布に大きな影響を与えることを明らかにした点である。このことは、磁場閉じ込め高温プラズマ中の不純物輸送に関して、新たな知見を与えており、その学術的意義は高いと言える。また、将来の核融合炉において不純物発生源はプラズマの中心部と周辺部それぞれにあることから、新たに得られた知見は、それぞれに対して対策が必要であることを強く示唆している。これは、核融合炉の実現の加速化において非常に重要な知見であることから、その社会的意義も高いと言える。

研究成果の概要（英文）：TESPEL injection experiments have been performed in the W7-X in Germany and the TJ-II in Spain. It was found that TESPEL in W7-X can place impurity tracers inside the plasma better than expected; in addition, comparison with a laser blow-off method revealed that the difference in impurity deposited position has a significant impact on the temporal evolution; spatial distribution of impurities injected into the plasmas. TESPEL also revealed that an extensive range of impurity transport from boron to tungsten could be investigated in W7-X. On the other hand, although preliminary experiments have been conducted in TJ-II, full-scale experiments using the new TESPEL could not be undertaken due to the influence of the novel coronavirus infection.

研究分野：プラズマ物理学

キーワード：プラズマ・核融合 炉心プラズマ 不純物輸送 トレーサー内蔵固体ペレット TESPEL

## 様式 F-19-2

### 1. 研究開始当初の背景

- (1) 日本を含めた国際協力により、フランスにおいて建設が進められている ITER が採用したトカマク型とは異なり、核融合科学研究所の大型ヘリカル装置 (Large Helical Device: LHD)、ドイツ・マックスプランク・プラズマ物理研究所 (IPP) の Wendelstein 7-X (W7-X)、スペイン・エネルギー・環境・科学技術研究センター (CIEMAT) の TJ-II は総じてヘリカル型と呼ばれる磁場閉じ込め方式を採用している。ヘリカル型はプラズマを閉じ込めるためにプラズマ自身に電流を流す必要がないことから、原理的に定常運転が可能という利点がある。ただし、そのメリットを最大限活かすためには、プラズマ中に存在する不純物を確実に制御できる技術が必要不可欠である。
- (2) 磁場閉じ込め高温プラズマ中の不純物輸送に関する研究は、高いプラズマ閉じ込め性能維持及び向上に直結しているため、核融合プラズマ研究における最重要研究課題の1つとして位置付けられている。このため、磁場閉じ込め高温プラズマ中に存在する不純物の空間分布がどのようなメカニズムで形成されるのかを正確に理解するための研究がヘリカル型、トカマク型問わず、各国のプラズマ閉じ込め実験装置で精力的に行われている。
- (3) 先に述べた通り、ヘリカル型の中にも様々な閉じ込め磁場配位概念がある。不純物輸送の最適化も含めて、その最適化研究が各国で現在も精力的に行われている。

### 2. 研究の目的

本研究は、研究代表者が開発した磁場閉じ込め環状プラズマの小半径方向約1 cm 幅程度の極めて狭い範囲に不純物トレーサーを配置できる新しいトレーサー内蔵固体ペレット (Tracer-Encapsulated Solid Pellet: TESPEL) を LHD とは異なる閉じ込め磁場概念で設計されているドイツ・IPP の W7-X とスペイン・CIEMAT の TJ-II にも適用することで、磁場閉じ込め環状プラズマにおいて不純物が取り得る空間分布の形成メカニズムに関して、磁力線の捻れ具合など LHD 単独では不可能なパラメーター依存性を調べることで、より包括的かつ体系的な知見を一気呵成に得ることを目的としている。

### 3. 研究の方法

- (1) 不純物の局所注入を可能にする世界唯一・日本独自の技術である TESPEL を用いた磁場閉じ込め環状プラズマ中の不純物の空間分布の形成メカニズムに関する実験的研究をドイツ・IPP の W7-X (海外共同研究者: Dr. Rainer Burhenn) と CIEMAT の TJ-II (海外共同研究者: Dr. Kieran J. McCarthy) で行う。
- (2) それぞれの装置における本格的な実験実施の前に、予備実験として、不純物トレーサーの配置範囲及び不純物トレーサーイオンから発せられる線スペクトルの発光強度の S/N 比などを評価する実験を実施し、新型 TESPEL の調整を行う。
- (3) 調整された新型 TESPEL を用いた本格的な実験の実施により、磁場閉じ込め環状プラズマの大きさ、プラズマを閉じ込める磁力線の籠の編み方といった観点も含めた、磁場閉じ込め環状プラズマ中の不純物の空間分布の形成メカニズムに関する包括的かつ体系的な知見を得る。

### 4. 研究成果

- (1) 本研究課題開始前から他の研究費などの支援により W7-X への TESPEL 入射装置の設置及び同入射装置の調整など準備を進めてきたが、2018年7月末の W7-X の OP1.2b 実験期開始早々に、W7-X で生成されたプラズマに TESPEL を入射することに成功した。予備実験として、従来の TESPEL を用いて、不純物トレーサーの配置範囲や不純物トレーサーイオンからの発光強度の S/N 比などを評価する実験を様々な磁場配位、実験条件において実施することができた。
- (2) W7-X の OP1.2b 実験期に得られたデータを解析した結果、当初の予想よりもプラズマのより内側に不純物トレーサーを配置できていることがわかった。また、プラズマ周辺部に不純物を供給できるレーザー・ブローオフ (Laser Blow-Off: LBO) 装置とプラズマ中心部に不純物を供給できる TESPEL を組み合わせた実験の結果、不純物供給位置が異なると、その後の不純物が取り得る時間発展が異なるという、従来の研究では得られたことのない成果を得ることができた①。図1は、ほぼ同量の鉄を LBO と TESPEL それぞれにより 0.7 MW の ECH のみで保持されたプラズマに入射した実験結果を示す。図1に示すように、高価数の鉄イオンからの線スペクトル、例えば、Fe XXV や Fe XXIII の時間発展に大きな違いが得られている。この不純物が取り得る時間発展の違いは、不純物の空間分布の形成メカニズムが関与している可能性が高いと考えられる。

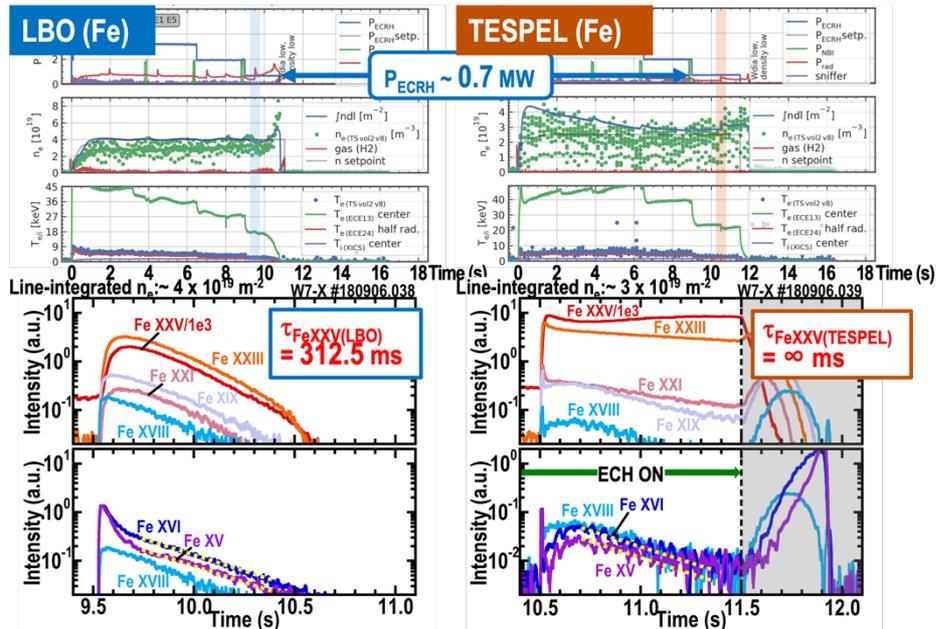


図 1. ほぼ同量の鉄不純物を LBO (左側)、または TESPEL (右側) により 0.7 MW ECH で保持された W7-X プラズマに入射した実験結果①

- (3) 新型コロナウイルス感染症の影響により予定より大幅に遅れて、2022 年 11 月下旬から行われた W7-X の OP2.1 実験期では、プラズマ小半径方向約 1cm 幅程度の極めて狭い範囲に不純物トレーサーを配置できる新型 TESPEL は、配置される不純物トレーサーが塩素であるため、依然として使用許可が下りなかったこと、不純物イオンからの発光を計測する分光器の多くに不具合があったことなどを考慮し、一部目的を変更して実験を実施した。具体的には、a) プラズマ対向壁材料の一つとして考えられているタングステンの輸送特性解明のために、W7-X プラズマへのタングステン封入 TESPEL 入射実験を重点的に実施した。封入されるタングステンの量を細かく調整した結果、W7-X においてタングステン輸送研究を実施するのに適したタングステン量を見いだした他、W7-X プラズマを放射崩壊により極めて短時間で消失させるのに適したタングステン量を見いだすことができた。b) 複数の不純物の輸送を同じプラズマで同時に推定する目的で、新たに開発した複合トレーサー内蔵固体ペレット②を W7-X 向けに調整した結果、W7-X で生成されたプラズマへの同 TESPEL の入射に成功した。以上の実験では、上記(2)の研究成果を更に詳しく調べる目的で、LBO と TESPEL を組み合わせた実験も実施した。
- (4) TJ-II においても、2020 年 3 月に予備実験として、従来の TESPEL を用いて、不純物トレーサーの配置範囲や不純物トレーサーイオンからの発光強度の S/N 比などを評価する実験を実施した。ただし、新型コロナウイルス感染症の影響により、かなり短縮された形での実施となった。その後、先方での実験再開に合わせて、遠隔での参加となったが 2021 年 5 月から 6 月にかけて、予備実験で必要とされる実験データを補完するための実験を実施した。残念ながら、その後、先方の実験予定との折り合いがつかず、不純物トレーサーを極めて局所的に配置できる新型 TESPEL を用いた本格的な実験実施までには至らなかった。

<引用文献>

- ① N. Tamura et al., 22nd International Stellarator and Heliotron Workshop, “Impurity Transport Studies Using TESPEL in Stellarators: A Comparison Between W7-X and LHD,” USA, Sep. 23-27, 2019.
- ② N. Tamura et al., Rev. Sci. Instrum. **92** (2021) 063516.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 11件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 C. Hidalgo, E. Ascasibar, D. Alegre, A. Alonso, J. Alonso, R. Anton, A. Baciero, J. Baldzuhn, J.M. Barcala, L. Barrera, E. Blanco, J. Botija, L. Bueno, S. Cabrera, A. de Castro, E. de la Cal, I. Calvo, A. Cappa, D. Carralero, R. Carrasco, B. Carreras, R. Castro, A. de Castro, L. Cebrían, ..., N. Tamura, et al.	4. 巻 62
2. 論文標題 Overview of the TJ-II stellarator research programme towards model validation in fusion plasmas	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 042025 ~ 042025
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/ac2ca1	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 Thomas Sunn Pedersen, I. Abramovic, P. Agostinetti, M. Agredano Torres, S. Akaslompolo, J. Alcuson Belloso, P. Aleynikov, K. Aleynikova, M. Alhashimi, A. Ali, N. Allen, A. Alonso, G. Anda, T. Andreeva, C. Angioni, A. Arkhipov, A. Arnold, W. Asad, E. Ascasibar, M.-H. Aumeunier, K. Avramidis, ..., N. Tamura, et al.	4. 巻 62
2. 論文標題 Experimental confirmation of efficient island divertor operation and successful neoclassical transport optimization in Wendelstein 7-X	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 042022 ~ 042022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/ac2cf5	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 K.J. McCarthy, E. Ascasibar, N. Tamura, N. Panadero, I. Garcia-Cortes, B. van Milligen, A. Cappa, R. Garcia, J. Hernandez-Sanchez, M. Liniars, G. Motojima, M. Navarro, I. Pastor and TJ-II team	4. 巻 61
2. 論文標題 The interpretation of magnetic activity associated with pellet injections into plasmas created in the stellarator TJ-II	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 76014
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/ac04f6	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 Samuel A. Lazerson, Oliver Ford, Simppa Akaslompolo, Sergey Bozhenkov, Christoph Slaby, Lilla Vano, Annabelle Spanier, Paul McNeely, Norbert Rust, Dirk Hartmann, Peter Poloskei, Birger Buttenschoen, Rainer Burhenn, Naoki Tamura, Rene Bussiahn, Thomas Wegner, et al.	4. 巻 61
2. 論文標題 First neutral beam experiments on Wendelstein 7-X	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 96008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/ac121c	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 Kocsis Gabor, Tamura Naoki, Bussiahn Rene, McCarthy Kieran, Baldzuhn Juergen, Biedermann Christoph, Cseh Gabor, Damm Hannes, Kornejew Petra, Koenig Ralf, Panadero Nerea, Szepesi Tamas	4. 巻 61
2. 論文標題 Investigation of TESPEL cloud dynamics in Wendelstein 7-X stellarator	5. 発行年 2020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/abbc84	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 Langenberg A., Wegner Th., Pablant N. A., Marchuk O., Geiger B., Tamura N., Bussiahn R., Kubkowska M., Mollen A., Traverso P., Smith H. M., Fuchert G., Bozhenkov S., Damm H., Pasch E., Brunner K.-J., Knauer J., Beurskens M., Burhenn R., Wolf R. C., W7-X Team	4. 巻 27
2. 論文標題 Charge-state independent anomalous transport for a wide range of different impurity species observed at Wendelstein 7-X	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 052510 ~ 052510
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0004462	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 Laube Ralph, Bussiahn Rene, Tamura Naoki, McCarthy Kieran J.	4. 巻 150
2. 論文標題 Integration of the TESPEL injection system at W7-X	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 111259 ~ 111259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2019.111259	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 M. Kubkowska, N. Tamura, A. Chomiczewska, T. Fornal, M. Gruca, N. Krawczyk, S. Jablonski, L. Ryc, R. Bussiahn, K. Brunner, R. Burhenn, J. Knauer, A. Langenberg, U. Neuner, H. Thomsen and the W7-X team	4. 巻 15
2. 論文標題 Observation of the TESPEL-injected impurities behaviour by the PHA system at Wendelstein 7-X	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 1~7
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 該当する

1. 著者名 Dinklage A., McCarthy K.J., Suzuki C., Tamura N., Wegner Th., Yamada H., Baldzuhn J., Brunner K.J., Buttenschoen B., Damm H., Drewelow P., Fuchert G., Hirsch M., Hoefel U., Kasahara H., Knauer J., Maier D., Miyazawa J., Motojima G., Oishi T., Rahbarnia K., Sunn Pedersen T., Sakamoto R., Wolf R.C., Zhang D.	4. 巻 59
2. 論文標題 Plasma termination by excess pellet fueling and impurity injection in TJ-II, the Large Helical Device and Wendelstein 7-X	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 076010 ~ 076010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/ab17fd	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 McCarthy K J, Panadero N, Combs S K, Tamura N, Ascasibar E, Calvo M, Chmyga A, Estrada T, Fontdecaba J M, Garcia R, Hernandez Sanchez J, Khabanov P, Liners M, Melnikov A V, Pastor I, Rojo B, TJ-II team, LHD experiment group	4. 巻 61
2. 論文標題 The impact of fast electrons on pellet injection in the stellarator TJ-II	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma Physics and Controlled Fusion	6. 最初と最後の頁 014013 ~ 014013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6587/aae038	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 Bussiahn R., Tamura N., McCarthy K. J., Burhenn R., Hayashi H., Laube R., Klinger T., LHD Experiment Group, W7-X Team	4. 巻 89
2. 論文標題 Tracer-Encapsulated Solid Pellet (TESPEL) injection system for Wendelstein 7-X	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 10K112 ~ 10K112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5038844	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 4件 / うち国際学会 17件）

1. 発表者名 D. Medina-Roque, I. Garcia-Cortes, K.J. McCarthy, N. Tamura, N. Panadero, E. Ascasibar, T. Estrada, J. Hernandez-Sanchez, A.S. Kozachek, M. Liniers, P. Medina, M.A. Ochando, J.L. de Pablos, I. Pastor, C. Toledo, B. van Milligen & TJ-II team
2. 発表標題 New insights into cryogenic and TESPEL pellet physics in TJ-II
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 R. Bussiahn, N. Tamura, K.J. McCarthy, T. Andreeva, J. Brunner, B. Buttenschoen, A. Dinklage, B. Geiger, J. Geiger, G. Fuchert, A. Langenberg, N. Pablant, K. Rhabarnia, C. Swee, Th. Wegner and the W7-X team
2. 発表標題 Impurity transport studies on Wendelstein 7-X by Tracer-Encapsulated Solid Pellets
3. 学会等名 47th EPS Conference on Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 N. Tamura, R. Bussiahn, K.J. McCarthy
2. 発表標題 Versatility and Flexibility of the Tracer-Encapsulated Solid Pellet as a Diagnostic Tool in Magnetic Fusion Plasma
3. 学会等名 3rd European Conference on Plasma Diagnostics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 D. Zhang
2. 発表標題 Radiation distribution and origin in W7-X
3. 学会等名 9th International workshop on "Stochasticity in Fusion Plasmas (SFP)" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名	R. Bussiahn, N. Tamura, K.J. McCarthy, M. Beurskens, S. Bozhenkov, H. Damm, G. Fuchert, E. Pasch, E. Edlund, M. Porkolab, Z. Huang, L.-G. Boettger, O. Grulke, A. von Stechow, R. Burhenn, B. Buttenschoen, K.J. Brunner, J. Knauer, A. Langenberg, O. Marchuk, N. Pablant, N. Chaudhary, M. Hirsch, U. Hoefel, J.W. Oosterbeek
2 . 発表標題	Impact of injecting different TESPEL-types on Wendelstein 7-X plasmas
3 . 学会等名	3rd European Conference on Plasma Diagnostics ( 国際学会 )
4 . 発表年	2019年

1 . 発表者名	Monika Kubkowska, Naoki Tamura, Agata Chomiczewska, Tomasz Fornal, Marta Gruca, Natalia Krawczyk, Slawomir Jablonski, Leszek Ryc, Rene Bussiahn, Rainer Burhenn, Ulrich Neuner, Henning Thomsen and the W7-X team
2 . 発表標題	Observation of the TESPEL-injected impurities behavior by the PHA system at Wendelstein 7-X
3 . 学会等名	3rd European Conference on Plasma Diagnostics ( 国際学会 )
4 . 発表年	2019年

1 . 発表者名	H. Damm, E. Pasch, J. Baldzuhn, S. Bozhenkov, K.J. Brunner, R. Bussiahn, A. Dinklage, G. Fuchert, N. Tamura, E.R. Scott and the W7-X Team
2 . 発表標題	First Results from an Event Synchronized - High Repetition Rate Thomson Scattering System at Wendelstein 7-X
3 . 学会等名	3rd European Conference on Plasma Diagnostics ( 国際学会 )
4 . 発表年	2019年

1 . 発表者名	N. Tamura, R. Bussiahn, K.J. McCarthy, B. Buttenschoen, M. Kubkowska, N. Pablant, A. Langenberg, D. Zhang, Th. Wegner, R. Burhenn and the W7-X team
2 . 発表標題	Impurity Transport Studies using TESPEL in W7-X stellarator
3 . 学会等名	46th EPS Conference on Plasma Physics ( 国際学会 )
4 . 発表年	2019年

1 . 発表者名 G. Kocsis, N. Tamura, R. Bussiahn, K.J. McCarthy, J. Baldzuhn, C. Biedermann, G. Cseh, H. Damm, N. Panadero, T. Szepesi and the W7-X Team
2 . 発表標題 Investigation of TESPEL cloud dynamics in Wendelstein 7-X stellarator
3 . 学会等名 46th EPS Conference on Plasma Physics ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 L.Carraro, P. Innocente, N.Tamura
2 . 発表標題 1-dim Collisional Radiative impurity transport code with internal particle source for TESPEL injection experiments in RFX-mod2
3 . 学会等名 46th EPS Conference on Plasma Physics ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 A. Langenberg, Th. Wegner, B. Geiger, A. Mollen, H.M. Smith, O. Marchuk, R. Bussiahn, N. Tamura, N.A. Pablant, P. Traverso, B. Buttenschon, R. Burhenn, M. Beurskens, R.C. Wolf and the W7-X Team
2 . 発表標題 Diffusion Dominated Transport for a Wide Range of Different Impurity Species Observed at Wendelstein 7-X
3 . 学会等名 46th EPS Conference on Plasma Physics ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. J. McCarthy, N. Tamura, R. Bussiahn, I. Garcia-Cortes, J. Hernandez Sanchez and N. Panadero
2 . 発表標題 Tracer-filled pellets for performing impurity transport studies in magnetically-confined plasmas of stellarators
3 . 学会等名 XXXVII Reunion Bienal de la Real Sociedad Espanola de Fisica
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Monika Kubkowska for the W7-X team
2. 発表標題 Pulse Height Analysis diagnostic for impurity behavior studies at W7-X
3. 学会等名 PLASMA-2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Tamura
2. 発表標題 Impurity Transport Studies using TESPEL in stellarators: A comparison between TJ-II, W7-X and LHD
3. 学会等名 22nd International Stellarator & Heliotron Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Z. Huang
2. 発表標題 TURBULENCE STUDIES BY THE PHASE CONTRAST IMAGING DIAGNOSTIC IN THE WENDELSTEIN 7-X STELLARATOR
3. 学会等名 22nd International Stellarator & Heliotron Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tamura N., Bussiahn R., McCarthy K. J., Burhenn R., Hayashi H., Laube R., Klinger T., LHD Experiment Group, W7-X Team
2. 発表標題 Tracer-Encapsulated Solid Pellet (TESPEL) Injection System for Wendelstein 7-X
3. 学会等名 22nd Topical Conference on High-Temperature Plasma Diagnostics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Laube, Ralph; Bussiahn, Rene; Tamura, Naoki
2 . 発表標題 Integration of the TESPEL injection system at W7-X
3 . 学会等名 30TH SYMPOSIUM ON FUSION TECHNOLOGY ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 R. Bussiahn, N. Tamura, K.J. McCarthy, R. Burhenn, H. Hayashi, R. Laube, T. Klinger1, the LHD experiment group and the W7-X team
2 . 発表標題 Development and Initial Results of a Tracer-Encapsulated Solid Pellet (TESPEL) Injection System on Wendelstein 7-X
3 . 学会等名 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 N. Tamura, K.J. McCarthy, N. Panadero, E. Ascasibar, E. Pawelec, A. Chmyga, T. Estrada, J.M. Fontdecaba, R. Garcia, J. Hernandez Sanchez, P. Khabanov, M. Liners, A. V. Melnikov, I. Pastor, B. Rojo, TJ-II team, and LHD experiment group
2 . 発表標題 TESPEL injection experiment in TJ-II
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 R. Bussiahn, N. Tamura, K.J. McCarthy, C. Brandt, K.J. Brunner, R. Burhenn, B. Buttenschon, H. Damm, G. Kocsis, A. Langenberg, N. Pablant, A. v. Stechow, P. Traverso, Th. Wegner, D. Zhang, the LHD experiment group and the W7-X team
2 . 発表標題 Impact of the Tracer-Encapsulated Solid Pellets (TESPEL) on Wendelstein 7-X plasmas
3 . 学会等名 DPG Spring Meeting 2019
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 C. Brandt, J. Schilling, H. Thomsen, R. Bussiahn, N. Tamura, R. Burhenn, and the Wendelstein 7-X Team
2. 発表標題 Dynamics of TESPEL injections in the W7-X stellarator observed with SXR tomography
3. 学会等名 DPG Spring Meeting 2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>Hollowing out pearls with watchmaker's tools  <a href="https://www.euro-fusion.org/news/2021/february/hollowing-out-pearls-with-watchmakers-tools/">https://www.euro-fusion.org/news/2021/february/hollowing-out-pearls-with-watchmakers-tools/</a>  Tracer pellets  <a href="https://www.ipp.mpg.de/5029547/tespel">https://www.ipp.mpg.de/5029547/tespel</a>  Impurity Pellet Injector (TESPEL)  <a href="https://www.ipp.mpg.de/4622349/tespel">https://www.ipp.mpg.de/4622349/tespel</a></p>
---

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	ブシアン レネ  (Bussiahn Rene)	マックスプランク・プラズマ物理研究所・E5 Dynamics and Transport・Researcher	

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
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	ウィグナー トーマス  (Wegner Thomas)	マックスプランク・プラズマ物理研究所・E5 Dynamics and Transport・Researcher	
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	ガルシアーコルテス イサベル  (Garcia-Cortes Isabel)	エネルギー・環境・科学技術研究センター・国立核融合研究所・Researcher	

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		
ドイツ	マックスプランク・プラズマ物理研究所		
スペイン	エネルギー・環境・科学技術研究センター		