

令和 6 年 6 月 14 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(B)）

研究期間：2019～2023

課題番号：19KK0073

研究課題名（和文）ミリ波散乱計測による核融合プラズマ中の燃料イオン診断システムの開発

研究課題名（英文）Development of advanced millimeter wave diagnostic system for high energy ions in fusion plasmas and control for self-burning plasmas

研究代表者

西浦 正樹（Nishiura, Masaki）

核融合科学研究所・研究部・准教授

研究者番号：60360616

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：核融合プラズマ中のDT反応で生じる3.5MeV- 粒子は燃料イオンを加熱し、プラズマの自立燃焼を支える。本研究はミリ波協同トムソン散乱(CTS)計測による核融合プラズマ中の高エネルギーイオンの速度分布関数計測の確立を目的とし、国際共同研究としてドイツのマックスプランクプラズマ物理研究所と国際共同実験やCTS計測器の開発を進めた。CTS計測で高エネルギーイオンと複数種のイオンの速度分布の評価手法に関して、計測精度の低下要因を特定し、精度を検証した。主に、計測位置精度の向上、in-situ受信機の絶対値較正手法の開発、CTSスペクトルの速度空間トモグラフィ解析に関して大きな進展を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

カーボンニュートラルとエネルギー問題の解決に向け、世界中で核融合研究が進められている。本研究は核融合炉のプラズマ燃焼シナリオを検証するために、先進ミリ波散乱計測の開発をドイツ、デンマーク、及び米国と国際共同研究で進めた。ミリ波研究の国際拠点を形成し、学術的成果を得ることが出来た。米国での招待講演や国際雑誌のEditor's Pick論文として学術的に価値があり、高い注目度の研究として評価された。CTS計測やプラズマ加熱に必要なジャイロトロン開発をスタートアップ企業と実施し、国際共同研究として社会実装につながる成果が得られた。

研究成果の概要（英文）：The 3.5 MeV- particles produced by the DT reaction in fusion plasmas heat fuel ions and support self-sustained plasma burning. The objective of this study is to establish a method for measuring the velocity distribution function of energetic ions in 2D velocity space in fusion plasmas by millimeter-wave Collective Thomson Scattering (CTS) measurements, and international joint experiments and development of a CTS diagnostic were conducted with the Max Planck Institute for Plasma Physics in Germany.

We have improved the accuracy of the measurements to establish a method to evaluate the velocity distribution of energetic ions and multiple ion species in CTS measurements. Significant progress was made mainly in improving the measurement position accuracy, developing an in-situ absolute calibration method for the millimeter-wave receiver, and analyzing the velocity-space tomography of the measured CTS spectra.

研究分野：核融合

キーワード：核融合プラズマ 高エネルギーイオン 協同トムソン散乱計測 ミリ波 トモグラフィ 深層学習 GAN 熱・粒子輸送

## 様式 F-19-2

### 1. 研究開始当初の背景

核融合プラズマ中の DT 反応で発生する高エネルギーイオン(3.5MeV  $\alpha$  粒子)は燃料イオン(D,T)を加熱し、プラズマの自立燃焼を維持し続ける必要がある。この自立燃焼シナリオが成り立つには、プラズマの燃焼を支配するプラズマ中の  $\alpha$  粒子やプラズマを加熱するための非熱化・非等方な速度分布を持つイオンの振る舞いを理解する必要がある。そのために、ITER での  $\alpha$  粒子計測はミリ波協同トムソン散乱(Collective Thomson Scattering, CTS)計測を採用したが、開発の途上であり、計測システムと解析手法の開発が課題となっている。

### 2. 研究の目的

本研究はミリ波 CTS 計測による核融合プラズマ中の高エネルギーイオンの速度分布関数計測手法の確立を目的とする。申請者らの従来の成果を発展させ、高ダイナミックレンジ化した新しいギガヘルツ帯の超高周波数分解能  $\Delta f$  ( $\propto$  速度分解能) デジタル信号処理受信機と、ドイツ Wendelstein 7-X(W7X)グループが開発した非等方速度分布関数を扱える解析モデルにより、複数イオン種それぞれの熱化・非熱化した速度分布関数が求められるようになる。この解析モデルのベンチマークは著作権の関係からデンマークチームや W7X でしか実施できず、国際共同研究の枠組みを利用するしかない。また、設計概念を異にする核融合研の LHD とドイツの W7X での体系的な実験により、CTS 計測による高エネルギーイオンが関係するプラズマ輸送物理の研究の新しい展開が見込める。更に計測精度が向上すれば、本来のミリ波を使った CTS 計測が担う高エネルギーイオン計測に加え、燃料イオン計測も可能になる。本研究は、広い意味で捉えるならばプラズマ波動物理と応用に関する新しい国際研究拠点の役割を担える。

### 3. 研究の方法

- (1) 研究初期段階では、既存の CTS 計測システムを基に、計測精度を低下させる要因を特定し、精度の検証を行った。
- (2) 受信機の信号対ノイズ比を改善するため、受信機の改良とノッチフィルターの開発を行った。
- (3) CTS スペクトルの解釈を可能とするため、速度空間トモグラフィー手法を開発した。
- (4) CTS スペクトルの解析過程で、背景光として計測信号に含まれる電子サイクロトロン輻射を利用した電子温度揺動計測が可能であることに気づき、新たな研究展開としてその方向性を検討した。
- (5) 国際的な研究拠点を形成するため、双方向の共同研究を積極的に実施した。

### 4. 研究成果

(1) 計測した CTS スペクトルは、送受信ビームが交差する局所空間からの散乱信号である。プラズマを加熱すると、磁場に対して非等方的で非熱的な速度分布を持ち、その場合、散乱信号を磁場に平行方向と垂直方向の速度空間上の粒子分布としてイオン速度分布  $f(v_{\text{para}}, v_{\text{perp}})$  を取り扱う必要がある。この速度空間でのトモグラフィーを実現するために、我々のグループは、深層学習である conditional GAN を用いた速度空間トモグラフィー法を開発した。高エネルギーイオンの  $f(v_{\text{para}}, v_{\text{perp}})$  をシミュレーションで求め、その  $f(v_{\text{para}}, v_{\text{perp}})$  から順変換で得られる観測視線に投影された速度分布  $g(u)$  を用意し、変換規則を学習させ、逆変換を行った(図1)。この手法は順変換を用いて、逆変換が困難な問題に対して逆変換を適用できるため、本計測器だけでなく、その応用範囲は広範に及ぶ。デンマークと W7X のグループと我々との3者間で、開発状況について若手研究者や学生を交えて情報交換を行いながら、研究を進めた。日本側から W7X のプラズマ実験に参加し、データ解析を進めた。国際会議で招待講演を行い、その内容で論文を発表した。

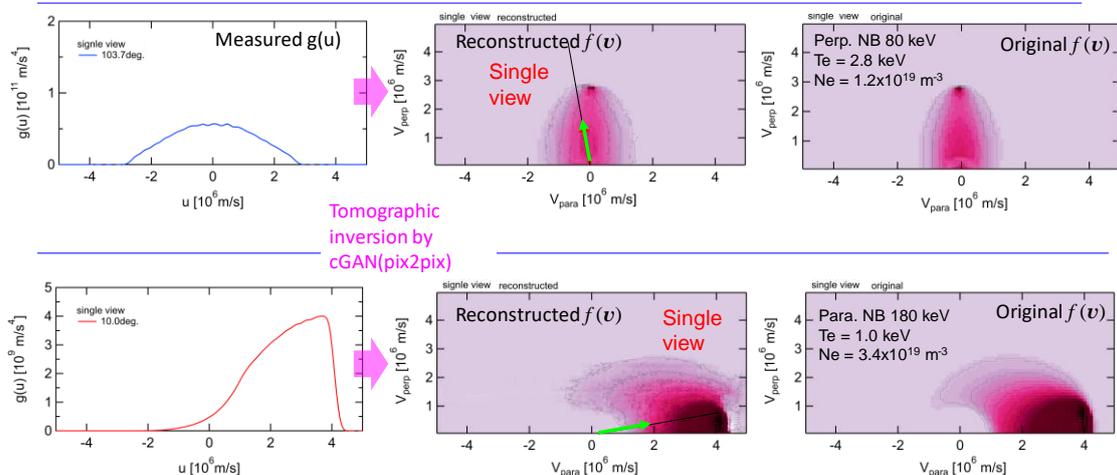


図1. 速度空間トモグラフィーの適用例。高エネルギーイオンを磁場に垂直(上3つ)と並行(下3つ)なビームを入射した場合の視線に投影された1次元速度分布  $g(u)$  (左図)と再構成された  $f(v_{\text{para}}, v_{\text{perp}})$  (中央)。元の  $f(v_{\text{para}}, v_{\text{perp}})$  (右図)とほぼ同じ分布に逆変換できるようになった。

(2)計測器の精度を向上させるために、受信機の場合較正手法を新たに提案し、LHD プラズマ実験で実証した。これまで CTS 計測から得られるプラズマ中のイオン温度は荷電交換分光計測の値よりも低くなる傾向が見られた。その原因として、プローブビームと受信ビームの屈折が挙げられ、これは光線追跡計算により突き止められた。従来、プラズマの密度が 77GHz の遮断密度より十分低い密度である場合、屈折は無視できると考えられていたが、密度勾配が強いと屈折の影響で誤差が増大することが分かった。その影響を考慮することで、荷電交換分光計測から得られるイオン温度と良好な一致を得ることができた。本手法は、計測器の較正が困難な ITER やデモ炉の高放射線環境で利用可能であり、他のミリ波計測器の較正手法として有用である。また、重要な成果として、速度空間トモグラフィーにより、計測した CTS スペクトルの左右非対称性は速度空間での非等方・非熱化した高エネルギーイオンに由来する信号であることを示すことに成功した。本内容で論文を発表した。

(3)CTS スペクトル解析により、プラズマ加熱に由来した非等方・非熱化した高エネルギーイオンの存在が確認された。それらをテスト粒子として、磁場に垂直・平行方向の非等方性を変化させ、プラズマの輸送状態を調査した。その結果、非等方性を高めると粒子が半径外向きに排出され、等方的にすると半径内向きに蓄積することが分かった(図 2)。これまで考慮されていなかった、高エネルギーイオンの非等方性が、粒子輸送を変化させるという新しい発見につながった。この成果は論文として採択され、米国物理学学会プラズマ分科会の招待講演、更には 2024 年度開催予定の国際会議での招待講演の採択通知を得るなど、その価値が認められた。

(4)プラズマの輸送を支配する電子温度揺動の振る舞いを明らかにすることは重要である。我々が開発した CTS 受信機を使った研究の新しい展開として、電子温度揺動計測の準備を進めた。154GHz 帯の電子サイクロトロン輻射の空間 2 点で電子温度揺動の相関スペクトルを取得した。強い磁場揺動に伴う電子温度揺動が観測されたが、更に 2 桁の信号対ノイズ比の改善が必要であることが明らかになった。この成果について国際会議でポスター発表を行い、その内容を論文として発表した。

(5)計測器に必要なノッチフィルターの開発を行い、ミリ波帯である Q, V, E, D バンドに対して数 100MHz の狭帯域で 60dB 以上の減衰特性を持つノッチフィルターの開発に成功した(図 3)。そのバンド帯での挿入損失は数 dB 以下に抑制した。この開発により、周波数帯域外に狭帯域ノッチを作る設計と製作技術に関して特許を取得した。この技術は 154GHz 用の CTS 計測以外に、電子サイクロトロン輻射計測器にも組み込み、利用されている。

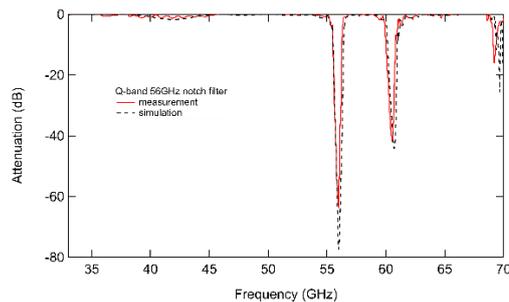
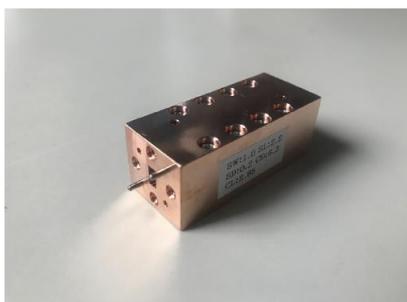


図 3. Q バンド 56GHz ノッチフィルターの外観とその特性。点線はシミュレーション、実線は計測値を示している。ほぼ設計通りの性能が得られた。

(6)CTS 計測の精度向上のために、77GHz, 154GHz, 300GHz のプローブビームを使った CTS 計測について、福井大学遠赤外センターとの共同研究で開発を進めた。大型ヘリカル装置(LHD)では、加熱ビームとして既に 77GHz と 154GHz が用意されているため、新たに CTS 計測用の 300GHz ジャイロトロンを福井大が開発を進めた。同時に、300GHz 用の CTS 受信機とデータ取り込みの開発を進めた。300GHz 帯はプラズマからの背景光が小さくなるため、SN の改善が見込める。また、周波数がより高いことから、プラズマによる送受信ビームの屈折に起因する視線のずれから来る散乱位置の誤差の問題を抑制できる利点がある。LHD プラズマ実験に於いて、300GHz 帯のプラズマからの輻射光の受信は成功したが、プローブビームからの散乱光の受信には至らなかった。ジャイロトロンの出力不足や長距離伝送による信号量の低下などが考えられる。

(7)高周波電力による加熱及び電流駆動の物理に関する日米ワークショップを米国サンディエゴの General Atomics 社で開催した。本研究に関連する情報交換を米国側の研究者と行った。

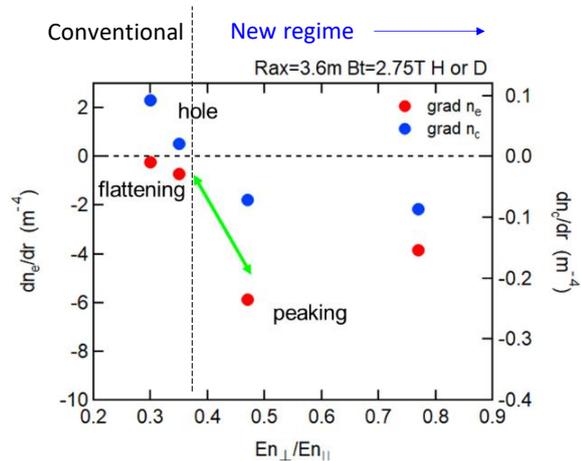


図 2. 非等方性  $E_{n\perp}/E_{n\parallel}$  に対する密度勾配の変化 (赤：電子密度，青：不純物)。

## 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 3件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Nishiura Masaki, Adachi Shun, Tanaka Kenji, Kubo Shin, Kenmochi Naoki, Shimozuma Takashi, Yanai Ryoma, Saito Teruo, Nuga Hideo, Seki Ryosuke	4. 巻 93
2. 論文標題 Collective Thomson scattering diagnostic with <i>in situ</i> calibration system for velocity space analysis in large helical device	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 053501 ~ 053501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0079296	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 MORI Takahiro, NISHIURA Masaki, KENMOCHI Naoki, Ueda Kenji, Nakazawa Takuya, Yoshida Zensho	4. 巻 17
2. 論文標題 Absorption Analysis of Electron Cyclotron Waves in the Magnetospheric Plasma Device RT-1	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2405090 ~ 2405090
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.17.2405090	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 Saitoh H., Nishiura M., Nakazawa T., Morikawa J., Yoshida Z., Osawa R.	4. 巻 93
2. 論文標題 Electro-optic Bdot probe measurement of magnetic fluctuations in plasma	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 103540 ~ 103540
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0089031	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 Kenmochi N., Ida K., Tokuzawa T., Yasuhara R., Funaba H., Uehara H., Den Hartog D. J., Yamada I., Yoshinuma M., Takemura Y., Igami H.	4. 巻 12
2. 論文標題 Preceding propagation of turbulence pulses at avalanche events in a magnetically confined plasma	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-10499-z	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 NUGA Hideo, SEKI Ryosuke, OGAWA Kunihiro, KAMIO Shuji, FUJIWARA Yutaka, YAMAGUCHI Hiroyuki, OSAKABE Masaki, ISOBE Mitsutaka, YOKOYAMA Masayuki	4. 巻 17
2. 論文標題 Estimation of the Tritium Yields in Deuterium Fusion Plasmas Considering the Fast-Ion Velocity Distribution Function	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2402023 ~ 2402023
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.17.2402023	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 Nishiura M., Shimizu T., Kobayashi S., Tokuzawa T., Ichinose K., Kubo S.	4. 巻 92
2. 論文標題 Q-band high-performance notch filters at 56 and 77 GHz notches for versatile fusion plasma diagnostics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 034711 ~ 034711
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0041243	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 Ueda Kenji, Nishiura Masaki, Kenmochi Naoki, Yoshida Zensho, Nakamura Kaori	4. 巻 92
2. 論文標題 Calibration of coherence imaging spectroscopy using spectral line sources	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 073501 ~ 073501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0043875	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 YANAI Ryoma, TSUJIMURA Toru, KUBO Shin, YONEDA Ryota, YOSHIMURA Yasuo, NISHIURA Masaki, IGAMI Hiroe, TAKAHASHI Hiromi, SHIMOZUMA Takashi	4. 巻 16
2. 論文標題 Upgrading LHDGauss Code by Including Obliquely Propagating Wave Absorption Effect for ECH	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2402084 ~ 2402084
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.16.2402084	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 IGAMI Hiroe, YANAI Ryoma, ITO Satoshi, YOSHIMURA Yasuo, KUBO Shin, TAKAHASHI Hiromi, SHIMOZUMA Takashi, TSUJIMURA Toru Ii, NISHIURA Masaki, MIZUNO Yoshinori	4. 巻 16
2. 論文標題 Development of the Molybdenum Millimeter Wave Target Tile for ECRH Antenna Alignment after the Evacuation in LHD	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2405066 ~ 2405066
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.16.2405066	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 Yanai R., Ii Tsujimura T., Kubo S., Yoshimura Y., Takeuchi T., Ito S., Mizuno Y., Nishiura M., Igami H., Kenmochi N., Takahashi H., Shimosuma T., Osakabe M., Morisaki T.	4. 巻 173
2. 論文標題 Development of a 56 GHz ECH system for deuterium plasma experiments of a low magnetic field in LHD	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 112862 ~ 112862
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2021.112862	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 Kenmochi N., Yokota Y., Nishiura M., Saitoh H., Sato N., Nakamura K., Mori T., Ueda K., Yoshida Z.	4. 巻 62
2. 論文標題 Inward diffusion driven by low frequency fluctuations in self-organizing magnetospheric plasma	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 026041 ~ 026041
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/ac412c	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 Goto Y., Tokuzawa T., Kuwahara D., Ichinose K., Tsuchiya H., Nishiura M., Shimizu T., Kubo S., Yamada I.	4. 巻 17
2. 論文標題 Development of the Q-band ECE imaging system in the large helical device	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 C01016 ~ C01016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/17/01/C01016	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 T., Shimizu A., Nishiura M., Ido T., Satake S., Tokuzawa T., Ii Tsujimura T., Nagaoka K., Ida K.	4. 巻 12
2. 論文標題 Hydrogen isotope effect on self-organized electron internal transport barrier criticality and role of radial electric field in toroidal plasmas	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 5507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-09526-w	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 Moseev D., Laqua H.P., Stange T., Abramovic I., Nielsen S.K., Akaslompolo S., Avramidis K., Braune H., Gantenbein G., Illy S., Jelonck J., Jin J., Kasperek W., Krier L., Korsholm S.B., Lechte C., Marek A., Marsen S., Nishiura M., Pagonakis I., Salewski M., Rasmussen J., Tancetti A., Thumm M., Wolf R.C., W7-X Team.	4. 巻 15
2. 論文標題 Collective Thomson Scattering Diagnostic for Wendelstein 7-X at 175 GHz	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 C05035 ~ C05035
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/15/05/C05035	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 Tsujimura T.I., Yanai R., Mizuno Y., Tanaka K., Yoshimura Y., Tokuzawa T., Nishiura M., Sakamoto R., Motojima G., Kubo S., Shimozuma T., Igami H., Takahashi H., Yoshinuma M., Ohshima S., The LHD Experiment Group	4. 巻 61
2. 論文標題 Improved performance of electron cyclotron resonance heating by perpendicular injection in the Large Helical Device	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/abc977	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 Nuga H., Seki R., Ogawa K., Kamio S., Fujiwara Y., Osakabe M., Isobe M., Nishitani T., Yokoyama M., LHD Experiment Group	4. 巻 86
2. 論文標題 Studies of the fast ion confinement in the Large Helical Device by using neutron measurement and integrated?codes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Plasma Physics	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) 10.1017/S0022377820000525	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 M. Nishiura, K. Tanaka, S. Kubo, T. Saito, N. Kenmochi, H. Nuga, R. Seki, T. Shimozuma, Y. Yoshimura, H. Igami, H. Takahashi, T. I. Tsujimura, R. Yanai, Y. Tatematsu, LHD Experiment Group	4. 巻 15
2. 論文標題 Collective Thomson scattering with 77, 154, and 300 GHz sources in LHD	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 C01002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/15/01/C01002	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 T. Ii Tsujimura, Y. Mizuno, R. Yanai, T. Tokuzawa, Y. Ito, M. Nishiura, S. Kubo, T. Shimozuma, Y. Yoshimura, H. Igami, H. Takahashi, K. Tanaka, M. Yoshinuma, S. Ohshima, the LHD Experiment Group	4. 巻 153
2. 論文標題 Real-time control of the deposition location of ECRH in the LHD	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 111480
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2020.111480	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 K. Nakamura, M. Nishiura, M. Okamura, T. Kanesue, S. Ikeda, A. Cannavo	4. 巻 91
2. 論文標題 Feasibility study of a compact heavy ion source for investigation of laboratory magnetospheric plasma	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 33503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5128642	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63件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 28件)

1. 発表者名 M. Nishiura, T. Nakazawa, R. Yanai, T. Mori
2. 発表標題 Full wave simulation based on weakly relativistic Vlasov-Maxwell system for electron cyclotron wave in magnetized plasmas
3. 学会等名 21st joint workshop on electron cyclotron emission (ECE) and electron cyclotron resonance heating (ECRH) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 Mingzheng Gong, Masaki Nishiura, Ryohma Yanai, Yuki Takemura
2 . 発表標題 Measurement on electron temperature fluctuation in LHD using correlation ECE technique
3 . 学会等名 21st joint workshop on electron cyclotron emission (ECE) and electron cyclotron resonance heating (ECRH) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 R. Yanai, H. Igami, M. Nishiura
2 . 発表標題 Investigation of the heating characteristics of Electron Bernstein wave via slow X-B mode conversion in LHD
3 . 学会等名 21st joint workshop on electron cyclotron emission (ECE) and electron cyclotron resonance heating (ECRH) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 M. Nishiura, A. Shimizu, T. Ido, H. Takubo, T. Kobayashi
2 . 発表標題 Potential profiles and transient response in H and D plasmas of the LHD
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 M. Nishiura, K. Tanaka, S. Kubo, N. Kenmochi, R. Yanai, T. Saito, H. Nuga, R. Seki, D. Moseev, M. Salewski
2 . 発表標題 Fast ion diagnostics by Collective Thomson scattering
3 . 学会等名 AAPPs-DPP2022 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 M. Nishiura, R. Yanai, T. I. Tsujimura, H. Igami, Y. Yoshimura, N. Kenmochi, H. Takahashi, Y. Mizuno, T. Takeuchi, S. Kubo
2 . 発表標題 New injection scheme and experimental results for improved heating efficiency of electron cyclotron heating in the LHD
3 . 学会等名 64th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 M. Nishiura, K. Tanaka, S. Kubo, N. Kenmochi, R. Yanai, M. Gong, T. Saito, H. Nuga, R. Seki, D. Moseev, M. Salewski
2 . 発表標題 Mixed features of energetic ion population from collective scattering spectra in the Large Helical Device
3 . 学会等名 The 31st International Toki Conference ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 M. Gong, M. Nishiura, R. Yanai
2 . 発表標題 A new Correlation-ECE system on LHD
3 . 学会等名 The 31st International Toki Conference ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 S. Satake, K. Fujita, M. Nishiura and LHD experiment group
2 . 発表標題 Analysis on the core potential profile in the impurity-hole plasma in LHD
3 . 学会等名 The 31st International Toki Conference ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Yanai, T. Ii Tsujimura, K. Tanaka, Y. Yoshimura, M. Nishiura, H. Igami, H. Takahashi, N. Kenmochi
2. 発表標題 Study of ECH Beam Broadening Influenced by Density Fluctuations in LHD
3. 学会等名 The 31st International Toki Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 N. Kenmochi, K. Ida, T. Tokuzawa, R. Yasuhara, H. Funaba, H. Uehara, D. J. Den Hartog, I. Yamada, M. Yoshinuma, H. Igami
2. 発表標題 Preceding propagation of turbulence pulses at heat avalanche events
3. 学会等名 64th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 N. Kenmochi, K. Ida, T. Tokuzawa, R. Yasuhara, H. Funaba, H. Uehara, D. J. Den Hartog, I. Yamada, M. Yoshinuma, H. Igami
2. 発表標題 Propagation characteristics of preceding turbulence pulses at avalanche events
3. 学会等名 6th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 張以澤, 西浦正樹
2. 発表標題 核融合プラズマ電流駆動解析のためのFokker-Planckコードの検証
3. 学会等名 第39回プラズマ核融合学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西浦正樹, 上田研二, 斎藤晴彦, 釧持尚輝, 仲川涼介, 矢内亮馬, 森敬洋
2. 発表標題 磁気圏型プラズマ装置RT-1におけるトロイダルシア流の観測
3. 学会等名 第39回プラズマ核融合学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西浦正樹, 釧持尚輝, 奴賀秀男, 關良輔, 久保伸, 田中謙治, 矢内亮馬, 齊藤輝雄, Moseev Dmitry, Salewski Mirko
2. 発表標題 協同トムソン散乱計測を用いたプラズマ中の高エネルギーイオンの速度空間解析
3. 学会等名 第39回プラズマ核融合学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢内亮馬, 辻村亨, 田中謙治, 吉村泰夫, 西浦正樹, 伊神弘恵, 高橋裕己, 釧持尚輝
2. 発表標題 LHDにおける密度揺動によるECHビーム広がりの影響の検討
3. 学会等名 第39回プラズマ核融合学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西浦正樹, 清水昭博, 佐竹真介, 井戸毅, 藤田慶二, 吉沼幹朗, 矢内亮馬, 沼波政倫, Salewski Mirko
2. 発表標題 LHDにおけるコア密度ピーキングの観測
3. 学会等名 日本物理学会 2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈞持尚輝
2. 発表標題 磁場閉じ込めプラズマの非局所輸送に関する実験的研究
3. 学会等名 日本物理学会 2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈞持尚輝, 居田克巳, 徳澤季彦, 安原 亮, 舟場久芳, 上原日和, D. J. Den Hartog, 山田一博, 吉沼幹朗, 武村勇輝, 伊神弘恵
2. 発表標題 熱雪崩現象において先行伝搬する乱流パルスの特性
3. 学会等名 第14回核融合エネルギー連合講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Nuga
2. 発表標題 統合輸送解析スイート TASK3D-a を用いた LHD における高速イオン損失に関する研究
3. 学会等名 プラズマシミュレーションポジウム2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西浦正樹, 鈞持尚輝, 奴賀秀男, 關良輔, 久保伸, 田中謙治, 下妻隆, 齊藤輝雄, D, Moseev Dmitry, Salewski Mirko
2. 発表標題 協同トムソン散乱計測のバルクと高速イオンの速度空間トモグラフィ法
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森敬洋, 西浦正樹, 鈿持尚輝, 上田研二, 中澤拓也
2. 発表標題 磁気圏型プラズマ閉じ込め装置RT-1における遮断密度を超えた状態の電磁波吸収分布解析
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 中澤拓也, 西浦正樹
2. 発表標題 弱相対論的Vlasov-Maxwell方程式系に基づくダイポール磁場プラズマ内の波動伝搬・吸収解析
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 中澤拓也, 西浦正樹, 矢内亮馬, 森敬洋
2. 発表標題 Full wave法を用いた弱相対論的Vlasov-Maxwell方程式系に基づく磁化プラズマ中の電力吸収解析
3. 学会等名 日本物理学会 2022年年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Nishiura, S. Adachi, K. Tanaka, S. Kubo, N. Kenmochi, R. Yanai, T. Shimizu, T. Saito
2. 発表標題 Raytrace correction and in situ calibration for collective Thomson scattering diagnostics in the LHD
3. 学会等名 63rd Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Mori, M. Nishiura, N. Kenmochi, K. Ueda, T. Nakazawa, Z. Yoshida
2. 発表標題 Absorption Analysis of Electromagnetic Waves under the overdense state in the magnetospheric plasma device RT-1
3. 学会等名 The 30th International Toki Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢内 亮馬、辻村 亨、久保 伸、吉村 泰夫、西浦 正樹、伊神 弘恵、高橋 裕己、下妻 隆
2. 発表標題 ドップラー効果による電子サイクロトロン加熱パワー吸収分布広がり観測
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 N. Kenmochi, M. Nishiura, Z. Yoshida, H. Nuga, T.I. Tsujimura, Y. Mizuno
2. 発表標題 Application of Generative Adversarial Networks for Plasma Diagnostics and Heating Control System
3. 学会等名 The 30th International Toki Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 N. Kenmochi, T. Kobayashi, T. Tokuzawa, R. Yasuhara, H. Funaba, H. Uehara, I. Yamada, K. Ida, M. Yoshinuma, A. Shimizu, M. Nishiura, T. Ido, Y. Takemura, H. Igami
2. 発表標題 Isotope effects on formation and sustainment of electron internal transport barrier
3. 学会等名 5th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 N. Kenmochi , Y. Yokota , M. Nishiura , H. Saitoh , N. Sato , K. Nakamura , T. Mori , K. Ueda , Z. Yoshida
2. 発表標題 Inward Diffusion Driven by Low Frequency Fluctuations in Self-Organizing Magnetospheric Plasma
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 藤井 恵介
2. 発表標題 多電子原子や重元素核からの発光スペクトルに対する統計的モデリング
3. 学会等名 日本物理学会 2022年年次大会 ( 招待講演 )
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Adachi, M. Nishiura, K. Tanaka, S. Kubo, N. Kenmochi, T. Shimozuma, R. Yanai, T. Saito, LHD experiment group
2. 発表標題 Sensitivity calibration of a receiver for Collective Thomson scattering in the LHD
3. 学会等名 29th International Toki Conference ( 国際学会 )
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 N. Kenmochi, Masaki NISHIURA, Toru Ii TSUJIMURA, the LHD Experimental Group, the RT-1 Experimental Group
2. 発表標題 Generative adversarial networks for plasma diagnostics and heating control
3. 学会等名 29th International Toki Conference ( 国際学会 )
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 R.Yanai, T. Tsujimura, S. Kubo, R. Yoneda, Y. Yoshimura, M. Nishiura, H. Igami, H.Takahashi and T. Shimozuma
2 . 発表標題 Upgrading LHDGauss code by including obliquely propagating wave absorption effect for ECH
3 . 学会等名 The 29th International Toki Conference ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 M. Nishiura, S. Kubo, T. Shimizu, S. Kobayashi, T. Tokuzawa, K. Ichinose, T. Mori, K. Ueda
2 . 発表標題 Q-band waveguide with band stop filters for versatile fusion plasma diagnostics
3 . 学会等名 High Temperature Plasma Diagnostic Conference ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 K. Ueda, M. Nishiura, Z. YOSHIDA, K. NAKAMURA
2 . 発表標題 Calibration of coherence imaging spectroscopy using different spectral line sources
3 . 学会等名 High Temperature Plasma Diagnostic Conference ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 M. Nishiura, S. Kubo, T. Shimizu, S. Kobayashi, T. Tokuzawa, K. Ichinose, T. Mori, K. Ueda
2 . 発表標題 Improved heating efficiency of ECH near cut off density with a new injection scheme in the LHD
3 . 学会等名 62nd Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Ueda, M. Nishiura, N. Kenmochi, RT-1 team
2. 発表標題 Tomography of ion flow and temperature measured by a coherence imaging spectroscopy using Gaussian processes
3. 学会等名 62nd Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上田研二, 西浦正樹, 鈞持尚輝, 吉田善章, 中村香織, 森敬洋
2. 発表標題 ガウス過程を用いたコヒーレンスイメージングにおけるイオン流速・温度トモグラフィ
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齋藤晴彦, 吉田善章, 西浦正樹, 鈞持尚輝, 森敬洋, 横田侑己, 上田研二
2. 発表標題 磁気圏型配位RT-1の高ベータプラズマにおけるホイッスラー揺動の自発励起
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈞持尚輝, 横田侑己, 西浦正樹, 齋藤晴彦, 佐藤直木, 森敬洋, 上田研二, 吉田善章
2. 発表標題 磁気圏型プラズマの自己組織化における低周波揺動が駆動する内向き拡散の実験解析
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 敵対的生成ネットワークを用いた プラズマ計測・加熱制御手法の開発
2. 発表標題 釘持尚輝, 西浦正樹, 吉田善章, 辻村亨, LHD実験グループ
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 西浦正樹, 久保伸, 吉村泰夫, 矢内亮馬, 伊藤哲, 伊神弘恵, 辻村亨, 下妻隆, 高橋裕己, 釘持尚輝
2. 発表標題 LHDにおける遮断密度近傍の電子サイクロトロン加熱の高加熱効率化
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 西浦正樹, 釘持尚輝, 奴賀秀男, 關良輔, 久保伸, 田中謙治, 足立迅, 下妻隆, 齊藤輝雄D, Moseev Dmitry, Salewski Mirko, LHD実験グループ
2. 発表標題 協同トムソン散乱計測により得られた散乱スペクトルの速度空間トモグラフィ法
3. 学会等名 日本物理学会 2021年年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上田研二, 西浦正樹, 釘持尚輝, 吉田善章
2. 発表標題 磁気圏型装置RT-1におけるコヒーレンスイメージング分光によるイオントロイダル流の解析
3. 学会等名 日本物理学会 2021年年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中澤拓也, 西浦正樹, 吉田善章, 釧持尚輝, 森敬洋, 上田研二
2. 発表標題 磁気圏型プラズマ閉じ込め装置RT-1における電子サイクロトロン波の吸収電力評価
3. 学会等名 日本物理学会 2021年年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西尾 颯, Jilian C. Berengut, 蓮尾 昌裕, 藤井 恵介
2. 発表標題 連続衝突ふく射モデルを用いたイオン化進行プラズマ中多電子原子イオンのポピュレーション分布の研究
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤井 恵介, Jilian C. Berengut
2. 発表標題 ガンマ崩壊カスケードにおけるべき乗の強度分布
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤井 恵介
2. 発表標題 多電子原子イオンのポピュレーションダイナミクスに対する縮約モデリングと発光線スペクトルの統計則
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 本宮和明, 蓮尾昌裕, 藤井恵介
2. 発表標題 多電子原子イオンを始めとする多体量子系に対するエネルギー準位同定アルゴリズムの開発
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 藤井 恵介, Jilian C. Berengut,
2. 発表標題 多体量子系における放射崩壊カスケードとスケールフリーランダムネットワーク
3. 学会等名 日本物理学会 2021年年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤井恵介, J. R. Crespo Lopez-Urrutia
2. 発表標題 大規模原子データ解析のための距離に基づくエネルギーレベルの同定
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会年会 第36回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤井 恵介, Julian C. Berengut
2. 発表標題 多電子原子スペクトル線の強度分布がべき乗分布になる理由
3. 学会等名 日本物理学会 2020年年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈞持尚輝, 西浦正樹, 中村香織, 上田研二, 吉田善章
2. 発表標題 深層敵対的生成ネットワークを用いた線積分型イメージング計測における局所分布再構成
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会年会 第36回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Kenmochi, M. Nishiura, K. Nakamura, K. Ueda, Z. Yoshida
2. 発表標題 Deep learning for tomographic reconstruction of imaging diagnostics
3. 学会等名 3rd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Nishiura, K. Tanaka, S. Kubo, T. Saito, N. Kenmochi, H. Nuga, R. Seki, T. Shimozuma, Y. Yoshimura, H. Igami, H. Takahashi, T. I. Tsujimura, R. Yanai, Y. Tatematsu, LHD experiment group
2. 発表標題 Collective Thomson scattering with 77, 154, and 300 GHz sources in LHD
3. 学会等名 Laser Aided Plasma Diagnostics 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 D Moseev, H P. Laqua, T Stange, I Abramovic, S K. Nielsen, K Avramidis, H Braune, G Gantenbein, W Kasperek, S B. Korsholm, L Krier, C Lechte, S Marsen, M Nishiura, I Pagonakis, M Salewski, J Rasmussen, A Tancetti, R C. Wolf
2. 発表標題 Collective Thomson Scattering Diagnostic for Wendelstein 7-X at 175 GHz
3. 学会等名 Laser Aided Plasma Diagnostics 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kaori Nakamura, Masaki Nishiura, Masahiro Okamura, Takeshi Kanesue, Shunsuke Ikeda
2. 発表標題 Feasibility study of a compact heavy ion source for investigation of laboratory magnetospheric plasma
3. 学会等名 18th International Conference on Ion Sources (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西浦正樹, 鈿持尚輝, 奴賀秀男, 關良輔, 久保伸, 田中謙治, 下妻隆, 齊藤輝雄, Moseev Dmitry, Salewski Mirko, LHD実験グループ
2. 発表標題 協同トムソン散乱計測における高速イオンの速度空間と計測スペクトルの関係
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第36回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西浦正樹, 鈿持尚輝, 奴賀秀男, 關良輔, 久保伸, 田中謙治, 足立迅, 下妻隆, 齊藤輝雄, Moseev Dmitry, Salewski Mirko, LHD実験グループ
2. 発表標題 協同トムソン散乱計測により得られた散乱スペクトルの速度空間再構成
3. 学会等名 日本物理学会年会 2020年年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森敬洋, 西浦正樹, 吉田善章, 鈿持尚輝, 中村香織, 横田侑己, 上田研二, 辻村亨, 久保伸
2. 発表標題 遮断密度を超えたプラズマ生成に対するEC波の伝搬と吸収シミュレーション
3. 学会等名 日本物理学会年会 2020年年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 横田侑己, 吉田善章, 西浦正樹, 齋藤晴彦, 釧持尚輝, 森敬洋, 上田研二
2. 発表標題 磁気圏型プラズマの自己組織化時に発生する低周波揺動の解析
3. 学会等名 日本物理学会年会 2020年年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上田研二, 西浦正樹, 釧持尚輝, 吉田善章, 齋藤晴彦, 中村香織, 森敬洋, 横田侑己
2. 発表標題 深層学習によるドップラー分光のイオン温度分布画像再構成
3. 学会等名 日本物理学会年会 2020年年次大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 ノッチフィルタ	発明者 西浦正樹, 清水貴史, 小林策治, 久保伸	権利者 自然科学研究機構
産業財産権の種類、番号 特許、7197956	取得年 2022年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

<p>東京大学大学院新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻西浦研究室  <a href="http://www.ppl.k.u-tokyo.ac.jp/nishiura/">http://www.ppl.k.u-tokyo.ac.jp/nishiura/</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
研究分担者	藤井 恵介  (Fujii Keisuke)  (10637705)	京都大学・工学研究科・助教    (14301)	
研究分担者	矢内 亮馬  (Yanai Ryoma)  (40824743)	核融合科学研究所・研究部・助教    (63902)	
研究分担者	關 良輔  (Sekii Ryosuke)  (80581066)	核融合科学研究所・研究部・助教    (63902)	
研究分担者	劔持 尚輝  (Kenmochi Naoki)  (80781319)	核融合科学研究所・研究部・助教    (63902)	
研究分担者	奴賀 秀男  (Nuga Hideo)  (10625429)	核融合科学研究所・研究部・助教    (63902)	

	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	中澤 拓也  (Nakazawa Takuya)	東京大学・大学院新領域創成科学研究科・大学院生    (12601)	
研究協力者	上田 研二  (Ueda Kenji)	東京大学・大学院新領域創成科学研究科・大学院生    (12601)	

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	水野 嘉識  (Mizuno Yoshinori)	核融合科学研究所・技術部・主任技術員  (63902)	

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	Max Planck Institute for Plasma Physics			
デンマーク	Technical University of Denmark			
米国	Brookhaven National Laboratory	University of California, Irvine		