

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03576

研究課題名(和文) 偏光変調法を用いたプラズマ偏光分光の高精度化と電子速度分布計測の実証

研究課題名(英文) Development of a high-precision modulation-based plasma polarization spectroscopic system for the measurement of the electron velocity distribution

研究代表者

四竈 泰一 (Shikama, Taiichi)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号：80456152

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：放電プラズマ中の電子速度分布の非等方性を、電子衝突で生じる原子発光線の偏光を利用して計測するための実験手法を開発した。偏光度と偏光方向を高精度で計測するために偏光変調分光システムを開発し、1%以下の偏光度まで計測できることを確認した。開発したシステムを用いてヘリウムECRプラズマ中の電子速度分布を計測し、ECR面付近の電子速度分布が磁場に垂直方向に大きな平均運動エネルギーを持つことを確認した。さらに、幅広いプラズマへ当該手法を適用することを目的として、水素ECRプラズマ中で水素原子バルマー線の偏光計測を行った結果、最大約1.5%の偏光度を観測した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

等方なマクスウェル分布からずれた非等方な電子の速度分布が関連するプラズマ現象が、近年、宇宙プラズマから産業応用プラズマまで数多く報告されている。これらの報告は、3次元の電子速度分布を基礎パラメータとして把握することが、プラズマ科学を発展させる鍵となることを示している。

電子速度分布の従来の計測法では、速度分布の非等方性の情報まで得ることは容易ではなく、また、接触計測の必要性やプラズマへの擾乱、レーザーや波動の入射・出射ポートの確保、計測可能なプラズマパラメータの制限といった課題がある。本研究では、原子から放射される発光線の偏光を利用し、幅広いパラメータのプラズマに適用可能な手法を開発した。

研究成果の概要(英文)：A polarization spectroscopic method that can measure anisotropy in the electron velocity distribution (EVD) was developed. A modulation spectroscopic system was developed to measure small polarization degree in emission lines, and it was confirmed that the polarization degree of less than 1% is detectable. Using the developed system, we measured the EVD near the ECR surface in a helium ECR plasma and confirmed that the EVD has larger average energy in the direction perpendicular to the magnetic field. Moreover, the polarization of hydrogen Balmer-alpha emission line was measured to apply the method to a wide range of plasmas. The polarization degree of up to about 1.5% was observed.

研究分野：プラズマ分光学，光工学

キーワード：ECH 電子速度分布 プラズマ分光 偏光 衝突輻射モデル 輻射輸送

### 1. 研究開始当初の背景

等方なマクスウェル分布からずれた非等方な電子の速度分布が関連するプラズマ現象が、近年数多く見出されている。例えば、磁力線再結合に伴う電子加速とプラズマ混合 (Yamada, *Nat. Commun.* (2014)), 磁気圏の高温電子輸送 (Yoshioka, *Science* (2014)), トカマク非誘導生成時の自発プラズマ閉じ込めと電流駆動 (Uchida, *PRL* (2010)), CCP 放電における電子の共鳴フェルミ加熱 (Liu, *PRL* (2011)) 等、宇宙から産業応用プラズマまで多様で興味深い現象が報告されている。これらの報告は、3次元の電子速度分布を基礎パラメータとして把握することがプラズマ科学を大きく発展させる鍵となることを示している。

電子速度分布の計測法は、従来、静電プローブ、エネルギー分析器、アクチノメトリー、トムソン散乱、ホイッスラー波の吸収、制動 X 線や電子サイクロトロン放射等が開発されてきた。しかし、これらの方法では異方性まで含む速度分布形状の推定は簡単ではなく、また、接触計測の必要性や擾乱、レーザーや波動の入射・出射ポートの確保、適用可能な電子エネルギーや密度の制限、といった課題がある。そこで本研究では、上記の課題を解決可能な発光線の偏光を利用した計測法を開発する。この手法は原理的に宇宙から実験室までの幅広いプラズマに適用可能であり、keV オーダー以下の電子を計測できる。

### 2. 研究の目的

本節では、イオン・原子・分子を代表して原子と記す。電子との衝突で原子が励起されると、原子は電子の運動に平行または垂直方向の角運動量を持ちやすくなり、この結果、発光が偏光する(図1)。偏光度と偏光方向は電子の運動エネルギーと運動方向に依存するため、逆に、偏光から電子の運動状態を推定することができる。

プラズマ中では電子が速度分布を持ち、速度分布で平均した偏光が生じる。速度分布が等方な場合は偏光が相殺して非偏光となるが、非等方な場合は偏光が残る。偏光度と偏光方向の電子エネルギー依存性は発光線によって異なるため、複数の発光線を計測することで速度分布の形を推定できる。また、理論やシミュレーションで速度分布が予測されている場合は、1本の発光線に対する偏光計測から予測の妥当性を検証することもできる。

この手法は1980年にドイツのHaugにより太陽フレアのX線計測に適用され、90年代以降はレーザー生成プラズマ等の極端な速度分布を持つプラズマに適用され、成果があがっている。しかし、一般の放電プラズマでは、速度分布の異方性が小さいため偏光度は10%以下と小さく、また、速度分布の異方性は低密度で大きくなる傾向があるため発光強度も小さくなる。したがって、偏光計測の難しさ故に、速度分布の決定や物理現象の解明につながる成果はまだ得られていない。このような状況の中で、本研究では以下の3つの課題の実施を目的とした。

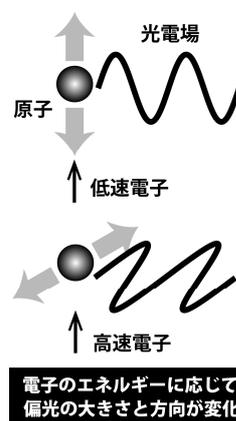


図1. 電子衝突偏光

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 実験室の放電プラズマに対する計測誤差1%以下の高精度な偏光分光技術の確立</li> <li>(2) 電子速度分布計測の実証</li> <li>(3) 計測法を適用可能な原子種と発光線の探索</li> </ul> |
|--|

### 3. 研究の方法

上記の(1)-(3)の課題を以下の方法で実施した。

- (1) 紫外から可視域に存在する発光線に対して、偏光度を高精度で計測するための偏光変調分光システムを開発し、性能評価を行う。偏光変調法は他の手法に比べて、光線分岐が不要で光量損失を低減可能、広周波数帯域の揺動を含むプラズマ発光から変調成分のみを検波するためノイズ耐性が良好、変調の高調波およびビート成分を同時に検波することで冗長化による精度向上が可能、同一セットアップで紫外から可視域の広波長域の計測が可能、等の長所がある。
- (2) (1)で開発したシステムおよび既設のECR放電装置を用いて電子速度分布の計測を実証する。使用した放電装置はカスプ磁場によって閉じたECR面を作り、磁場に垂直方向の速度が大きな電子をECR面内に閉じ込めることで、平均運動エネルギーが数十eV程度のテイルを持つ非等方な速度分布を作ることができる。解析に必要な励起断面積データの数が多いヘリウム原子を計測対象とし、ヘリウムプラズマを用いて実験を行った。
- (3) 宇宙、核融合、産業応用プラズマで電子速度分布の異方性が報告されているが、偏光計測についてはこれまであまり注目されていない。偏光計測の実用性を示すために、ECR放電

装置を用いて水素プラズマを生成し、水素原子バルマー- $\alpha$ 線の偏光を計測した。

#### 4. 研究成果

- (1) 可視から紫外域の発光線の偏光を高精度で計測するための偏光変調分光システムを開発した。図2に装置概要を示す。プラズマからの発光を異なる変調周波数の2台の光弾性変調器(42 kHz, 50 kHz)と直線偏光子を通した後に対物レンズで集光し、光ファイバで分光器に伝送した。分光器の出射光は光電子増倍管で検出し、広帯域アンプとA/D変換器を用いて光強度の時間変化を記録した。光弾性変調器は速軸・遅軸間の位相差を時間的に正弦波で変調する。光強度の時系列信号を周波数解析し、DC成分から光強度  $I$ 、変調周波数とそれらの高調波およびビート成分の振幅から残り3つのストークスパラメータ  $Q$ ,  $U$ ,  $V$  を計測した。偏光が既知の光源を計測した結果、誤差1%以下で偏光度を計測できることを確認した。

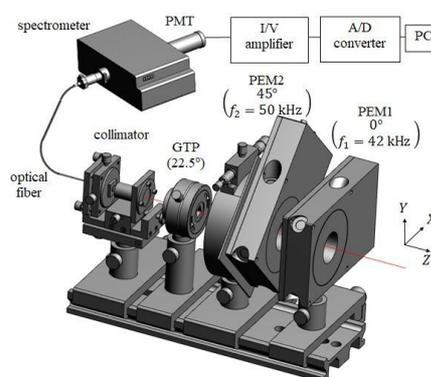


図2. 偏光変調分光システムの概要

- (2) 既設のECR放電装置(図3)でヘリウムプラズマを生成し、ヘリウム原子発光線の強度と偏光を利用して電子速度分布を計測した。まず、波長300-800 nmの範囲の11本の発光線の放射率および、波長588 nm, 668 nmの2本の発光線の偏光(図4)を空間分解計測した。次に、電子速度分布として、磁場に平行・垂直方向に異なる温度を持つ非等方な2温度マクスウェル分布を仮定し、放射率については衝突輻射モデル、偏光についてはコロナモデル計算を用いて、実験と整合する計算結果を与える平行・垂直方向の温度を求めた。その結果、ECR面付近で磁場に平行・垂直方向の電子温度がそれぞれ20, 65 eVと求まった。この結果は、ECRによる磁場に垂直方向への電子加速で生じる電子速度分布の非等方性と矛盾しないと考えられる。なお、解析に使用した衝突輻射モデル計算では、ふく射再吸収を考慮し、フィッティング結果の一意性を検証した。また、コロナモデル計算では、電子速度分布をルジャンドル多項式展開して使用した。

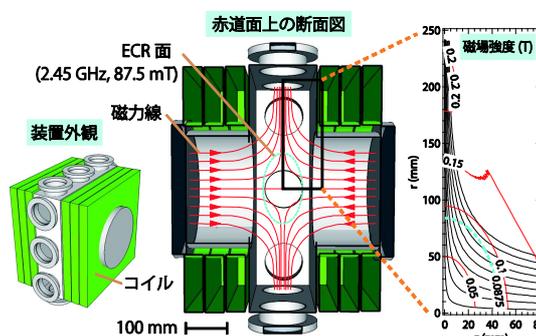


図3. カस्प磁場 ECR 放電装置

偏光の圧力依存性および空間分布の計測結果は、提案手法の実用性を示しており、成果を国際学会招待講演(AAPPS-DPP2019)で発表した。

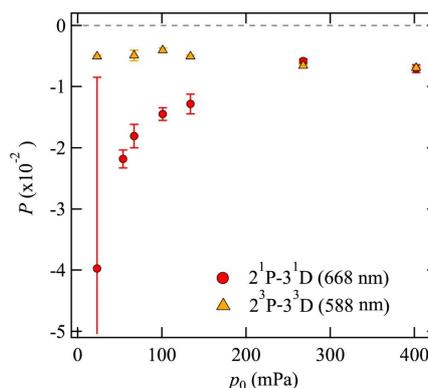


図4. 波長588 nm, 668 nmの2本のヘリウム原子発光線の偏光度の圧力依存性

- (3) 宇宙、核融合、産業応用等の幅広いプラズマへ本手法を適用できるようにするために、ヘリウム原子以外の元素に対して偏光が観測できるかを実験的に調べた。高いS/Nでの発光強度計測が可能な水素原子バルマー- $\alpha$ 線を対象とし、ECR放電装置で圧力5-270 mPaの範囲で生成した水素プラズマに対して、ECR面に接する1視線を用いて偏光度と偏光方向を計測した。その結果、全ての圧力条件で直線偏光が観測され、偏光方向はECR面における磁場方向と垂直に近い方向であった。偏光度は、圧力50 mPa以上では約1%であり、圧力50 mPa以下では圧力の減少とともに増加し、最大で約1.5%であった。ヘリウム原子の場合と同様に、ECR面付近で生じた電子速度分布の非等方性により偏光が生じている可能性が考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Mori S., Shikama T., Hanada K., Yoneda N., Kuzmin A., Hasuo M., Idei H., Onchi T., Ejiri A., Osawa Y., Peng Y., Matsuzaki K., Kado S., Sawada K., Ido T., Nakamura K., Ikezoe R., Nagashima Y., Hasegawa M., Kuroda K., Higashijima A., Nagata T., Shimabukuro S.	4. 巻 8
2. 論文標題 Spectroscopic Measurement of Hydrogen Atom Density in a Plasma Produced with 28 GHz ECH in QUEST	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Atoms	6. 最初と最後の頁 44 ~ 44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/atoms8030044	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 Shikama Taiichi, Watanabe Takato, Jouda Mazin, Hasuo Masahiro	4. 巻 60
2. 論文標題 A tesla-order magnetic field effect on all-optical thermometry using photoluminescence spectrum of diamond NV- center	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 012001 ~ 012001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abcdb	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 Yoneda N., Shikama T., Hanada K., Mori S., Onchi T., Kuroda K., Hasuo M., Ejiri A., Matsuzaki K., Osawa Y., Peng Y., Kawamata Y., Sakamoto S., Idei H., Ido T., Nakamura K., Nagashima Y., Ikezoe R., Hasegawa M., Higashijima A., Nagata T., Shimabukuro S.	4. 巻 26
2. 論文標題 Toroidal flow measurements of impurity ions in QUEST ECH plasmas using multiple viewing chords emission spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 100905 ~ 100905
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2021.100905	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 Kuzmin A., Kobayashi M., Hanada K., Idei H., Onchi T., Mori S., Yoneda N., Shikama T., Hasuo M., Ido T., Nagashima Y., Ikezoe R., Hasegawa M., Kuroda K., Kono K., Matsuo S., Nagata T., Shimabukuro S., Higashijima A., Niiya I., Zushi H.	4. 巻 26
2. 論文標題 Investigation of radial distribution of atomic hydrogen flux to the plasma facing components in steady state discharges in QUEST tokamak	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 100872 ~ 100872
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2020.100872	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 Ishihara Hiroki, Kuzmin Arseniy, Kobayashi Masahiro, Shikama Taiichi, Sawada Keiji, Saito Seiki, Nakamura Hiroaki, Fujii Keisuke, Hasuo Masahiro	4. 巻 267
2. 論文標題 Ro-vibrational population distribution in the ground state of hydrogen isotopologues in LHD peripheral plasmas deduced from emission spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer	6. 最初と最後の頁 107592 ~ 107592
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jqsrt.2021.107592	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 Akira, Shikama Taiichi, Iida Yohei, Hasuo Masahiro	4. 巻 7
2. 論文標題 On the Spatial Uniformity of the Degree of Ionization in a Helium ECR Plasma Produced under a Simple Cusp Field	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Atoms	6. 最初と最後の頁 49 ~ 49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/atoms7020049	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 Hanada K., Yoshida N., Hasegawa M., Hatayama A., Okamoto K., Takagi I., Hirata T., Oya Y., Miyamoto M., Oya M., Shikama T., et. al	4. 巻 59
2. 論文標題 Particle balance investigation with the combination of the hydrogen barrier model and rate equations of hydrogen state in long duration discharges on an all-metal plasma facing wall in QUEST	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 076007 ~ 076007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/ab1858	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 Hanada K., Yoshida N., Takagi I., Hirata T., Hatayama A., Okamoto K., Oya Y., Shikama T., et al.	4. 巻 19
2. 論文標題 Estimation of fuel particle balance in steady state operation with hydrogen barrier model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 544 ~ 549
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2019.03.015	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 Ueda Akira, Shikama Taiichi, Teramoto Tatsuya, Higashi Takanori, Iida Yohei, Hasuo Masahiro	4. 巻 25
2. 論文標題 Helium atom line-intensity ratios as an integrated diagnostic tool for low-pressure and low-density plasmas	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 054508 ~ 054508
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5027167	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 Teramoto Tatsuya, Shikama Taiichi, Ueda Akira, Hasuo Masahiro	4. 巻 112
2. 論文標題 Detection of anisotropy in the electron velocity distribution produced by electron cyclotron resonance heating using the polarization of helium atom emission lines	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 214101 ~ 214101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5031051	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 Shikama Taiichi, Kado Shinichiro, Okada Hiroyuki, Yamamoto Satoshi, Matsuoka Leo, Mizuuchi Toru, Minami Takashi, Kobayashi Shinji, Nagasaki Kazunobu, Oshima Shinsuke, Nakamura Yuji, Ishizawa Akihiro, Konoshima Shigeru, Hasuo Masahiro	4. 巻 61
2. 論文標題 Near-infrared Zeeman spectroscopy for the spatially resolved measurement of helium emission spectra in Heliotron J	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma Physics and Controlled Fusion	6. 最初と最後の頁 025001 ~ 025001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6587/aaebdf	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 Namba Shinichi, Shikama Taiichi, Sasano Wataru, Tamura Naoki, Endo Takuma	4. 巻 57
2. 論文標題 Characteristics of an under-expanded supersonic flow in arcjet plasmas	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 066101 ~ 066101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.066101	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 YONEDA Nao, SHIKAMA Taiichi, ZUSHI Hideki, HANADA Kazuaki, FUJIKAWA Akinobu, ONCHI Takumi, KURODA Kengoh, NII Kuniaki, HASUO Masahiro, HASEGAWA Makoto, IDEI Hiroshi, NAKAMURA Kazuo, NAGASHIMA Yoshihiko, HIGASHIJIMA Aki, NAGATA Takahiro	4. 巻 13
2. 論文標題 Spectroscopic Measurements of Impurity Ion Toroidal and Poloidal Flow Velocities and Their Dependence on Vertical Magnetic Field in QUEST Toroidal ECR Plasmas	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 3402087 ~ 3402087
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.13.3402087	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 UENO Keisuke, KAMEBUCHI Kenta, KAKUTANI Jiro, MATSUOKA Leo, NAMBA Shinichi, FUJII Keisuke, SHIKAMA Taiichi, HASUO Masahiro	4. 巻 13
2. 論文標題 Spatially Resolved Measurements of Metastable Atom Density and Electric Field Strength in a Microhollow Cathode Helium Plasma by Laser Absorption Spectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 3406070 ~ 3406070
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.13.3406070	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 KUZMIN Arseniy, KOBAYASHI Masahiro, NAKANO Tomohide, HASUO Masahiro, FUJII Keisuke, GOTO Motoshi, SHIKAMA Taiichi, MORISAKI Tomohiro, the LHD Experiment Group	4. 巻 13
2. 論文標題 Measurements of the Impurity Flow Velocity and Temperature in Deuterium and Hydrogen Plasmas in the Divertor Legs of the Stochastic Layer in LHD	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 3402058 ~ 3402058
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.13.3402058	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 -

〔学会発表〕 計30件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 四竜 泰一、蓮尾 昌裕
2. 発表標題 カスプ磁場中ECR放電を利用した強電離プラズマ源の開発
3. 学会等名 第37回 プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 米田奈生、F. Scotti、R. E. Bell、四竈泰一、P. E. Hughes、A. Maan、V. A. Soukhanovskii、D. P. Boyle、R. P. Majeski、花田和明、小野雅之、蓮尾昌裕
2. 発表標題 LTX- におけるリチウム壁表面温度推定のための水素分子回転温度計測
3. 学会等名 2020年度 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上野陽平、四竈泰一、茶谷智樹、門信一郎、川染勇人、岡田浩之、松岡雷士、南貴司、小林進二、大島慎介、石澤明宏、中村祐司、木島滋、水内亨、長崎百伸、蓮尾昌裕
2. 発表標題 核融合プラズマ中原子輝線スペクトルのゼーマン効果高感度計測に向けた近赤外分光システム開発
3. 学会等名 第37回 プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上野陽平、四竈泰一、茶谷智樹、門信一郎、川染勇人、岡田浩之、松岡雷士、南貴司、小林進二、大島慎介、石澤明宏、中村祐司、木島滋、水内亨、長崎百伸、蓮尾昌裕
2. 発表標題 核融合プラズマ中原子輝線スペクトルのゼーマン効果高感度計測に向けた近赤外分光システム開発
3. 学会等名 2020年度 日本分光学会年次講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 茶谷智樹、四竈泰一、上野陽平、門信一郎、川染勇人、南貴司、岡田浩之、松岡雷士、小林進二、大島慎介、石澤明宏、中村祐司、木島滋、水内亨、長崎百伸、蓮尾昌裕
2. 発表標題 ヘリオトロンJにおける近赤外原子輝線のゼーマン効果計測
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名	米田奈生、四竈泰一、F. Scotti、花田和明、井口拓己、出射浩、恩地拓己、江尻晶、井戸毅、河野香、彭翊、大澤佑規、弥富豪、木谷彰宏、工藤倫大、平賀涼輔、武田康佑、R. E. Bell、A. Maan、R. Majeski、小野雅之、蓮尾昌裕、中村一男、永島芳彦、池添竜也、長谷川真、黒田賢剛、東島亜紀、永田貴大、島袋瞬、新谷一朗、関谷泉
2. 発表標題	QUESTにおける水素分子d3 準位回転温度を利用したタングステン表面温度計測
3. 学会等名	日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Yoneda N., Shikama T., Hanada K., Mori S., Onchi T., Kuroda K., Hasuo M., Idei H., Nakamura K., Nagashima Y., Ikezoe R., Hasegawa M., Higashijima A., Nagata T., Shimabukuro S.
2. 発表標題	Toroidal Flow Measurements of Impurity Ions in QUEST ECH Plasmas using Multiple Viewing Chords Emission Spectroscopy
3. 学会等名	24th PSI (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Yoneda N., Scotti F., Bell R., Shikama T., Hughes P., Maan A., Soukhanovskii V., Boyle D., Majeski R., Hanada K., Ono M., Hasuo M.
2. 発表標題	Measurement of Hydrogen Molecular Rotational Temperatures in LTX-beta for the Thermometry of Plasma-Facing Lithium Surfaces
3. 学会等名	62nd APS DPP (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Shikama T., Ueno Y., Chatani T., Kado S., Kawazome H., Okada H., Matsuoka L., Minami T., Kobayashi S., Oshima S., Ishizawa A., Nakamura Y., Konoshima S., Mizuuchi T., Nagasaki K., Hasuo M.
2. 発表標題	Spatially resolved measurement of atomic emission line spectra using NIR Zeeman spectroscopy
3. 学会等名	The 11th International Symposium to Advanced Energy Science (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名 Taiichi Shikama, Tatsuya Teramoto, Akira Ueda, Yohei Iida, and Masahiro Hasuo
2. 発表標題 Detection of anisotropy in the electron velocity distribution produced by electron cyclotron resonance heating using the polarization of helium atom emission lines
3. 学会等名 AAPPS-DPP2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 四電 泰一
2. 発表標題 発光分光法を用いた核融合プラズマ中の電子ダイナミクス計測
3. 学会等名 日本分光学会関西支部2019年度講演会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Taiichi Shikama
2. 発表標題 Studies on plasma-lithium surface interactions in LTX-beta using optical emission spectroscopy of diatomic molecules
3. 学会等名 The 10th International Symposium to Advanced Energy Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motonao Nagasaki, Taiichi Shikama, Yohei Ueno, and Masahiro Hasuo
2. 発表標題 Investigation of the spatial integration effect on the bremsstrahlung spectrum of an atmospheric pressure glow discharge in a pure helium gas
3. 学会等名 APSPT-11 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長崎 意尚, 四竈 泰一, 上野 陽平, 蓮尾 昌裕
2. 発表標題 純ヘリウム大気圧グロー放電の制動放射スペクトル空間分解計測
3. 学会等名 第80回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川 理沙, 四竈 泰一, 蓮尾 昌裕
2. 発表標題 単一マルチモードファイバ内視鏡の変形に伴う空間分解能低下に対する影響の評価
3. 学会等名 第80回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 米田 奈生, 四竈 泰一, 花田 和明, 森 暁, 恩地 拓巳, 黒田 賢剛, 江尻 晶, 川又 裕也, 坂本 将, 松崎 亨平, 蓮尾 昌裕, 出射 浩, et al.
2. 発表標題 QUEST内側ボロイダルヌル配位のスクレイブオフ層における高速イオン流れの観測
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森 暁, 四竈 泰一, 花田 和明, 米田 奈生, 出射 浩, 恩地 拓巳, 村上 定義, 江尻 晶, 松崎 亨平, 彭 翊, 蓮尾 昌裕, et al.
2. 発表標題 QUEST 28 GHz ECHプラズマにおける水素原子密度の空間分布計測
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 四竈 泰一, 門 信一郎, 岡田 浩之, 山本 聡, 川染 勇人, 松岡 雷士, 南 貴司, 小林 進二, 大島 慎介, 中村 祐司, 石澤 明宏, 木島 滋, 水内 亨, 長崎 百伸, 蓮尾 昌裕
2. 発表標題 近赤外ゼーマン分光法を用いたヘリオトロンJにおける原子発光ピーク位置計測
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 米田 奈生, 四竈 泰一, 花田 和明, 森 暁, 井口 拓巳, 恩地 拓巳, 蓮尾 昌裕, 出射 浩, 井戸 毅, et al.
2. 発表標題 QUEST 内側ポロイダルヌル配位における不純物イオン発光線サブピークの起源についての検討
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 四竈 泰一, 寺本 達哉, 上田 明, 長崎 意尚, 蓮尾 昌裕
2. 発表標題 ヘリウム原子発光線の偏光を利用したECRプラズマ中の電子速度分布異方性検出
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上田 明, 四竈 泰一, 寺本 達哉, 東 孝紀, 飯田 洋平, 蓮尾 昌裕
2. 発表標題 発光線強度比法を用いたカスプ磁場配位ヘリウムECRプラズマの電離度空間分布計測
3. 学会等名 第79回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Taiichi Shikama, Tatsuya Teramoto, Akira Ueda, and Masahiro Hasuo
2. 発表標題 Detection of anisotropy in the electron velocity distribution produced by electron cyclotron resonance heating using the polarization of helium atom emission lines
3. 学会等名 71st Annual Gaseous Electronics Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akira Ueda, Taiichi Shikama, Tatsuya Teramoto, Takanori Higashi, Yohei Iida, and Masahiro Hasuo
2. 発表標題 Spectroscopic measurement of plasma parameters in a helium ECR discharge produced under a simple cusp field
3. 学会等名 71st Annual Gaseous Electronics Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 四龍 泰一, 門 信一郎, 岡田 浩之, 山本 聡, 松岡 雷士, 水内 亨, 南 貴司, 小林 進二, 長崎 百伸, 大島 慎介, 中村 祐司, 石澤 明宏, 木島 滋, 蓮尾 昌裕
2. 発表標題 近赤外原子発光線の高波長分解分光によるリサイクリング束局所計測
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 四龍 泰一
2. 発表標題 近赤外原子発光線のゼーマン効果を利用した 境界プラズマの原子放射率分布計測
3. 学会等名 核融合科学研究所「原子分子過程研究と受動・能動分光計測の高度化のシナジー効果によるプラズマ科学の展開」, 「原子分子データ応用フォーラムセミナー」合同研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 四龍 泰一
2. 発表標題 QUESTにおける不純物イオントロイダル回転の発光分光計測
3. 学会等名 RIAMフォーラム2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Shikama, K. Hanada, K. Nii, A. Fujikawa, H. Zushi, T. Onchi, M. Hasegawa, N. Yoneda, S. Mori, M. Hasuo, H. Idei, K. Nakamura, Y. Nagashima, K. Kuroda, A. Higashijima, and T. Nagata
2. 発表標題 Measurement of the ion species dependence of the intrinsic edge rotation in spherical tokamak QUEST
3. 学会等名 23rd Plasma Surface Interaction in Conotrolled Fusion Devices (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Taiichi Shikama
2. 発表標題 Near-infrared Zeeman Spectroscopy for the Spatially Resolved Measurement of Helium Emission Spectra
3. 学会等名 9th international symposium of advanced energy science, topical Seminar on Beam Emission and Advanced Spectrometries for Fusion Plasmas (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Taiichi Shikama
2. 発表標題 Zeeman Spectroscopy for the Tomographic Measurement of Magnetically Confined Plasmas
3. 学会等名 9th international symposium of advanced energy science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 米田 奈生, 四電 泰一, 花田 和明, 藤川 祥亘, 森 暁, 出射 浩, 恩地 拓巳, 新居 邦亮, 岡子 秀樹, 蓮尾 昌裕, 中村 一男, 永島 芳彦, 池添 竜也, 長谷川 真, 黒田 賢剛, 東島 亜紀, 永田 貴大
2. 発表標題 QUEST ECHプラズマにおける不純物イオントロイダル流れの磁場配位依存性
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

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

京都大学 光工学研究室 個人ページ <a href="http://oel.me.kyoto-u.ac.jp/shikama/index.html">http://oel.me.kyoto-u.ac.jp/shikama/index.html</a> 京都大学 光工学研究室 <a href="http://oel.me.kyoto-u.ac.jp/">http://oel.me.kyoto-u.ac.jp/</a>
--

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

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
---------	---------