

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01199

研究課題名(和文) 高密度プラズマ輸送解析に向けた電子バーンスタイン放射計測に関する研究

研究課題名(英文) Study of electron Bernstein emission for high-density plasma transport analysis

研究代表者

長崎 百伸 (Nagasaki, Kazunobu)

京都大学・エネルギー理工学研究所・教授

研究者番号：20237506

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,400,000円

研究成果の概要(和文)：オーバードenseプラズマでの電子温度分布評価に向け、カットオフ密度が存在しない電子バーンスタイン放射(EBE)を計測するとともに、モード変換過程を実験的に調べた。16チャンネルKa-バンドラジオメータを開発し、Heliotron J、LHD装置において、オーバードenseプラズマでのBX0モード変換由来のECE信号の観測に成功した。Heliotron Jにおいて、アンテナ視線方向をOX窓に向けたときにECE強度が最大となり、磁場強度に依存するECE周波数スペクトルが得られた。LHDにおいてもBX0モード変換由来のECEを観測し、強いドップラーシフトが起きていることを示す結果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

核融合プラズマにおけるエネルギー閉じ込めの物理機構を解明するためには、炉心領域での詳細な分布計測による輸送解析が必要不可欠である。電子サイクロトロン波を用いた従来の電磁波計測では、カットオフ密度と呼ばれる密度上限が存在するため、オーバードenseプラズマでの電子温度分布計測が困難となっている。本研究では、静電波の一つでありカットオフ密度が存在しない電子バーンスタイン放射(EBE)を用いることで高密度プラズマでの電子温度を評価した。モード変換効率が最大となるOX窓において最大ECE強度が得られるとともに、電子温度を反映したドップラーシフトした周波数スペクトルが得られた。

研究成果の概要(英文)：Electron Bernstein emission (EBE), which has no cutoff density, has been measured and the mode conversion process has been experimentally investigated to evaluate the electron temperature profile in overdense plasmas. The electron cyclotron emission (ECE) converted from the EBE has been successfully observed with a 16-channel Ka-band radiometer in the Heliotron J and LHD devices. In Heliotron J, the ECE intensity is maximal when the antenna is oriented toward the OX window, and the ECE frequency spectrum depends on the magnetic field strength. The ECE from the BX0 mode conversion in LHD has a strong Doppler shift due to the large parallel refractive index.

研究分野：核融合学

キーワード：電子バーンスタイン波 電子温度計測

1. 研究開始当初の背景

核融合プラズマにおいて、電子サイクロトロン波の吸収と放射は電子加熱・非誘導電流駆動や電子温度分布計測等に広く応用されている。従来、正常波 (O-mode) や異常波 (X-mode) といった電磁波が用いられているが、電磁波にはカットオフ密度と呼ばれるアクセス密度上限が存在し、カットオフ密度以上での利用が難しい。他の電子温度計測としてはトムソン散乱法があるものの、パルス計測のため H-mode などのタイムスケールの速い遷移現象の時間発展を追うことができない。高密度プラズマの閉じ込め・輸送特性を調べるために、高時間分解能の計測手法が望まれている。

高密度領域における電子温度計測法の一つとして、電子バーンシュタイン波 (EBW) の利用が提案されている [1][2]。EBW は、カットオフ密度が存在しない、低電子温度 ($\sim 10\text{eV}$) においても高い吸収係数をもつ、という長所を有する。しかしながら、静電波であるため直接計測することができず、モード変換を介して計測される。モード変換の一つである EBW-X-mode-O-mode (BXO) の場合、プラズマコア領域の電子温度に関する情報を得ることができることが理論的に予測されているが、電子温度分布の評価は実験的に不十分で、また、炉心プラズマでの BXO モード変換物理過程は実験での検証が未解明のままである。

2. 研究の目的

申請者はこれまで、BXO モード変換を用いた電子温度計測システムの開発を進めてきた [3]。ヘテロダイン・ラジオメータを構築し、その動作の有効性を確認するとともに、電子サイクロトロン共鳴加熱用伝送系・入射系を有効利用することで S/N の高い計測系を組み上げている。本研究の目的は、静電波である EBW に関連した BXO モード変換の物理過程を実験的に明らかにし、従来の電磁波では計測困難であったオーバードンスプラズマの高密度領域での新しいプラズマ診断手法を開拓することである。これまで開発してきた高時間分解能ラジオメータシステムを拡張することで詳細な EBE 分布を計測する。2 つの異なる装置に適用し、トーラスプラズマに適用できる共通な計測手法であることを示す。また、理論解析コードとの比較からモード変換理論の妥当性とその課題を明確にする。

3. 研究の方法

プラズマの温度計測、中でも電子温度計測の一つに電子サイクロトロン放射 (Electron Cyclotron Emission, ECE) 計測がある。プラズマ中サイクロトロン運動をする電子から放射される電子サイクロトロン波 (Electron Cyclotron wave, ECW) のエネルギーは放射位置の電子温度に対応することから、ECE 計測をすることで局所的な電子温度計測を行うというものである。また、逆の過程を利用してプラズマ加熱を行う方法、すなわち ECW を入射して共鳴条件を満たす領域を局所的に加熱する方法として、電子サイクロトロン共鳴加熱 (Electron Cyclotron Resonance Heating, ECH) がある。ECE 温度計測や ECH では正常波 (O-mode) や異常波 (X-mode) といった電磁波を利用しているが、カットオフ密度と呼ばれる伝搬密度限界が存在し、カットオフ密度以上では電磁波が伝搬できずに反射され、計測・加熱が難しくなるという課題がある。そこで、EC 共鳴放射・吸収され、かつ伝搬密度限界の存在しない、静電波である電子バーンシュタイン波 (Electron Bernstein wave, EBW) を利用する手法が提案されている。しかしながら、静電波であるため真空領域では伝搬できない。よって、プラズマ中で電磁波とモード変換を介する必要がある。まず、温度計測と逆過程である加熱方向の変換について説明する。モード変換には 3 つの手法があり、それぞれ「slow XB」, 「fast XB」, 「OXB」と呼ばれる。「slow XB」では、強磁場側から slow X-mode を入射し、高域混成共鳴 (Upper Hybrid Resonance, UHR) 層に近づくにつれて屈折率が増加することで電子の温度効果の影響を受け、EBW に変換され EC 共鳴層にて吸収される。「fast XB」変換では弱磁場側から fast X-mode を入射し、十分に薄いエバネッセント層で slow X-mode に変換されたのち、UHR 層で EBW に変換され共鳴層にて吸収される。「OXB」変換では、弱磁場側から O-mode を屈折率などの条件を満たす最適な角度で入射し、O-mode カットオフ層にて X-mode に変換されて低密度側に向かい、UHR 層で EBW に変換され再度折り返し EC 共鳴層に吸収される。ここで、「slow XB」変換は、左手カットオフを超えるような高密度プラズマに適さない、「fast XB」変換は 20GHz 以下の低周波数の核融合プラズマにしか適さないことから、ヘリオトロン J や LHD などでは「OXB」変換の利用が有効であると考えられる。この逆過程である「BXO」変換を介して EBW 由来の ECW を電子温度計測に利用する方法が提案されている。

EBW は静電波である。真空中では存在できず、伝搬には磁化されたプラズマが必要になる。そのため、その励起はプラズマ内部でしかできない。高温核融合プラズマで必要とされるミリ波・マイクロ波では、アンテナ構造が電子ジャイロ半径のオーダーでなければならないが、この

ようなアンテナをプラズマ中で維持するのは困難である。そのため、電磁波からのモード変換が EBW 生成の適切な方法となる。

本研究では、オーバードンスプラズマにおいて、モード変換過程を通し、通常の電磁波モードでは計測困難な電子温度分布を EBW を用いて計測することを試みる。また、EBW 計測に必要な計測条件を実験・理論の両面から調べる。

4. 研究成果

4.1 Heliotron J における EBE 計測

Heliotron J 装置において、開発した 16 チャンネルラジオメータを用いて EBE を計測した。Heliotron J の主要パラメタは、主半径 $R = 1.2$ m、平均少半径 $a = 0.1-0.2$ m、回転変換 $1/2\pi = 0.3-0.8$ 、最大中心磁場強度 $B = 1.5$ T である[4][5][6]。EBE 計測システムは、ヘテロダイナラジオメータ、駆動ミラーアンテナ、導波管伝送システムから構成されている。16 チャンネルヘテロダイナラジオメータは 26-42 GHz をカバーしており、これはカットオフ密度 $0.86-2.25 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ に対応する。アンテナと伝送系は既存の 70GHz ECRH/ECCD システムのものを流用した。駆動ミラーはトロイダル・ポロイダル両方向に駆動可能で、OX モード変換窓のための最適角を見出すことに適している。図 1 は Heliotron J における典型的な NBI 放電の時間発展である。種プラズマは 2.45GHz マイクロ波によって生成されている。基本波 O-mode と第 2 高調波 X-mode ECE は密度上昇とともにその強度が減少する。電子密度がカットオフ密度に到達すると、OX 窓が開き、基本波 O-mode の ECE 信号強度は再度強くなるのに対し、第 2 高調波 X-mode は低いままである。図 2 に示すように、基本波 ECE 強度はアンテナの視線角度に依存する。ECE 強度はトロイダル角度、ポロイダル角度が -10 deg のときに最大となり、この角度は TRAVIS code を用いたレイトレーシング計算での OX 窓の角度と一致した。OX 窓からはずれた角度においても有限の ECE 信号が観測されているが、これは壁からの多重反射 ECE 信号によるものと考えられる。

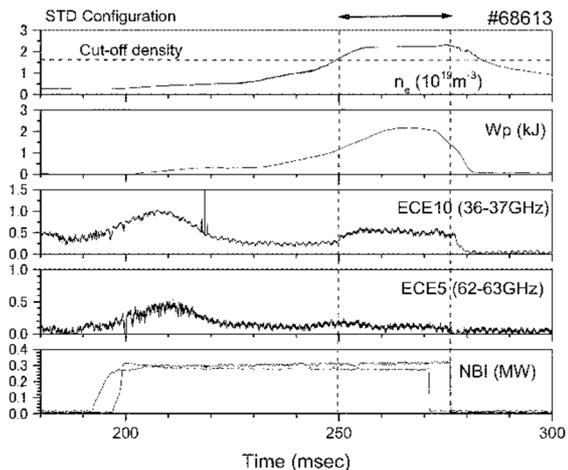


図 1. Heliotron J におけるオーバードンスプラズマの時間発展

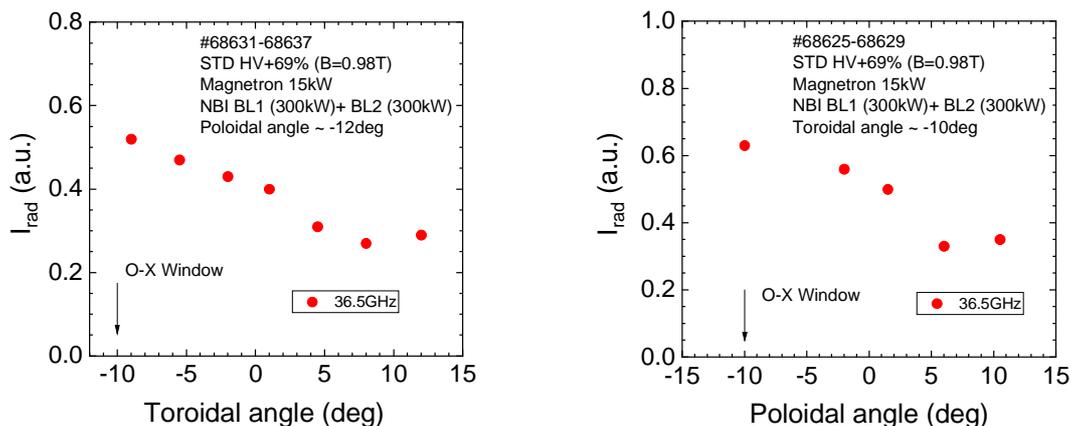


図 2. 基本波 O-mode 強度の(a)トロイダル角度依存性、(b)ポロイダル角度依存性

ECE 周波数スペクトルは T_e 分布を反映している。図 3 はオーバードンスプラズマでの ECE 周波数スペクトルである。この分布を評価するにあたっては、真空容器壁からの多重反射成分を差し引いている。各信号の強度はノイズソースを用いて相対感度構成してある。ECE 強度ピークは磁気軸 EC 周波数よりアップしており、EBE の高い平行屈折率 $N_{||}$ によってドップラ - シフトしているためである。 $T_e = 200$ eV and $N_{||} = 2$ と仮定した場合の、この周波数シフトは 1.6 GHz である。図 4 に示すように、ピーク周波数は設定磁場強度の増加とともに高い周波数へとシフトしている。この周波数スペクトルから電子温度分布を求めることは可能であるが、レイトレーシング計算によって放射位置を特定することが必要となる。

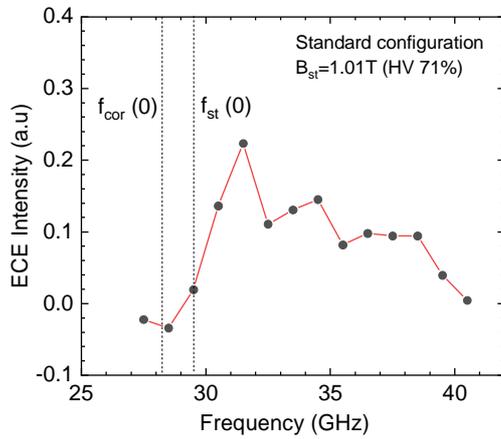


図 3. オーバーデンスプラズマ ($n_e = 2 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$) での ECE 周波数スペクトル

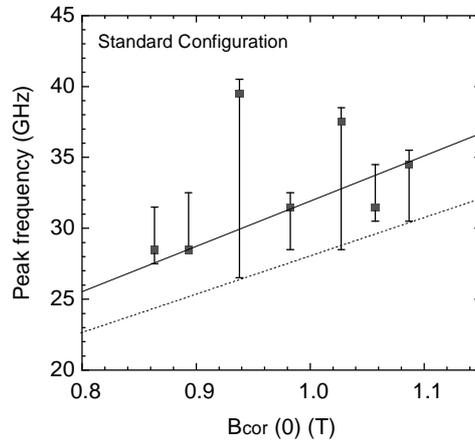


図 4. ピーク周波数の磁場強度依存性。電子密度は $n_e = 2 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ である。実線、破線はそれぞれ、フィッティング直線と基本波 EC 周波数である。

4.2 LHDにおけるEBE計測

LHD においても開発したラジオメータを用いて EBE 計測を行った。LHD ではアンテナの角度を変えることができず多重反射成分の評価・切り分けは困難であったため、多重反射成分を含む ECE 周波数スペクトルを取得した。プラズマ実験は磁場強度 1T、0.75T の 2 つの条件時に行った。どちらも高ベータ実験で、磁場配位については、1T 時の磁気軸位置 $R_{ax} = 3.55\text{m}$ 、0.75T 時の $R_{ax} = 3.65\text{m}$ である。図 5 に、1T での放電波形を示す。ここで、ノイズを除去するため 100Hz 以上の信号を遮断している。電子密度が十分高く、信号が比較的安定している条件(1T:5.1sec、0.75T:5.2sec)にて ECE 周波数スペクトルを取得した。1T で得られた ECE 周波数スペクトルを図 6 に示す。1T では 37.5GHz で、0.75T では 36.5GHz で周波数スペクトルのピークとなった。磁気軸の磁場強度が 1T とすると EC 共鳴周波数は 28GHz、0.75T の場合は 21GHz になる。これは、ドップラーシフト(1T 時は 26%、0.75T 時は 42%)が起きていることを示唆している。

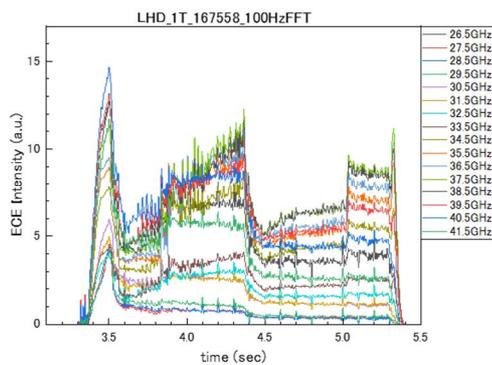


図 5 LHD における 1T での ECE 時間発展

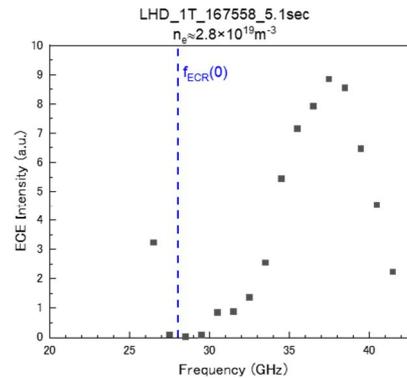


図 6 LHD における 1T、5.1sec 時の ECE 周波数スペクトル

今回の LHD 実験ではアンテナ角が固定されており、多重反射成分の評価・切り分けができなかったため、ドップラーシフトを考慮に入れた放射位置については今後詳しい検討が必要になる。EBW の解が存在する場合、レイトレーシング計算を行い、プラズマカットオフに到達し、かつ $N_{||} = N_{||,opt}$ となるか確認することで、EBE がモード変換を通してアンテナに届いていると推測できる。これらの条件を満たす放射位置は局所的であることが理論的に予測されており、温度分布評価につなげることができる。

4.3 有限要素法を用いた OX モード変換シミュレーション

OX モード変換の物理過程を調べるため、電磁界シミュレーションコード COMSOL Multiphysics® RF module を用いてスラブ形状磁場における O-mode カットオフ層近傍での EC 波の伝搬を数値解析した[8]。波の周波数は $f = 42$ GHz であり、一様な磁場が y 方向に印加され、電子密度分布は x 方向に放物分布であると仮定し、O-mode のガウスビームをカットオフ層に向けて入射した。入射波の偏波は入射角に合わせて完全 O-mode となるように設定した。図 8 は幾つかの入射角の条件でのビーム伝搬の様子を示している。O-mode パワーの何割かが OX 窓において slow X-mode に変換されており、変換効率が最も高くなるのは解析的に求められる OX 窓の角度である。モード変換されなかった O-mode はカットオフ層で反射される。

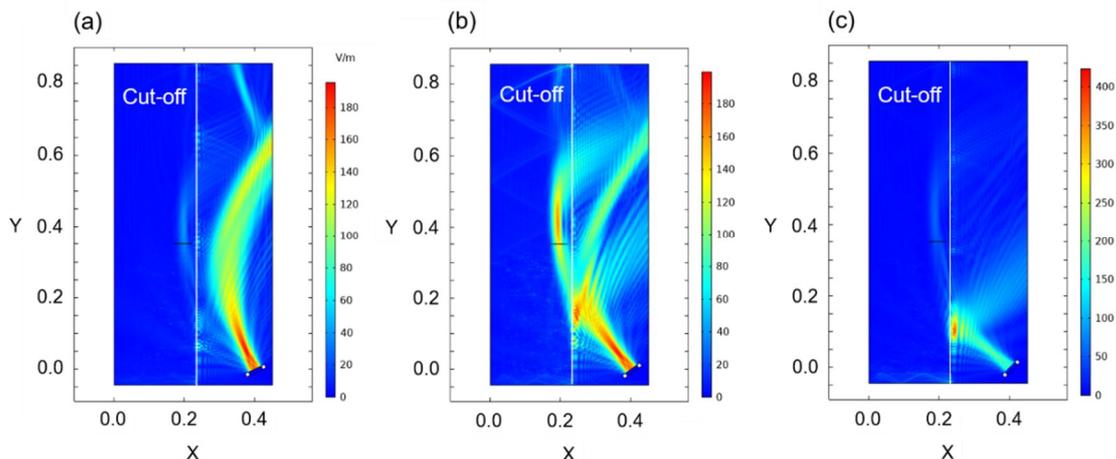


図 8 O-mode カットオフ近傍での full wave ビーム伝搬計算。磁力線に対する入射角度は(a) 25 deg, (b) 36 deg and (c) 45 deg。

モード変換効率の最大値を求めるため、ビームパラメタをスキャンした。図 9 は最適入射角でのガウスビームパラメタに対するモード変換効率の依存性である。最大モード変換効率は 35.8 deg のときに得られており、O-mode カットオフでの最適角度と良い一致を示した。図 10 に示すように、full wav ビーム伝搬計算の結果はレイトレーシング計算結果とも良い一致を示している。レイトレーシング計算と異なり、シミュレーションは有限幅のビームを取り扱うことが可能となっており、有限ビームの形状をどのように設定すればよいかの指針を与えてくれる。

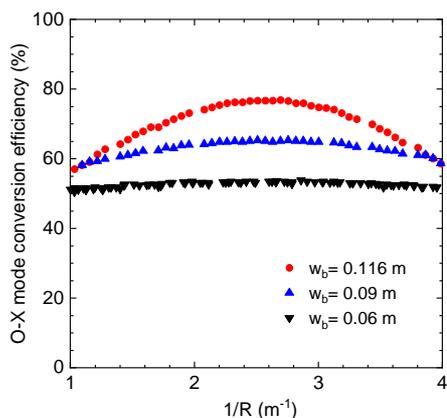


図 9 OX モード変換効率のビーム曲率とビームサイズ依存性

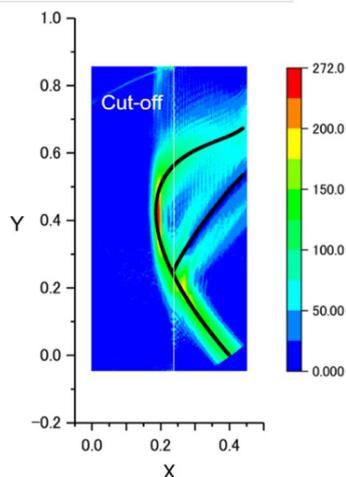


図 10 最適入射条件での Full wave ビーム伝搬計算とレイトレーシング計算との比較

References

- [1]. H. Laqua, Plasma Phys. Control. Fusion 49 (2007) R1
- [2]. K. Nagasaki and N. Yanagi, Plasma Phys. Control. Fusion 44 (2002) 409
- [3]. K. Nagasaki, et al., Plasma Fus. Res., 11 (2016) 2402095
- [4]. M. Wakatani, et al., Nucl. Fusion, 40 (2000) 569
- [5]. T. Obiki, et al., Plasma Phys. Control. Fusion 42 (2000) 1151
- [6]. K. Nagasaki et al., J. Plasma Fus. Res. 96 (2020) 475
- [7]. K. Nagasaki et al., 47th EPS Conference on Plasma Physics, June 21-25, 2021, Virtual Event (Poster)
- [8]. Y. Oka, COMSOL Conference 2020, PE-001

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件／うち国際共著 14件／うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Yasuto KONDO, Takeshi FUKUDA, Kazunobu NAGASAKI, Hiroyuki OKADA, Takashi MINAMI, Shinichiro KADO, Shinji KOBAYASHI, Satoshi YAMAMOTO, Shinsuke OHSHIMA, Tohru MIZUUCHI and Takeshi TOMITA	4. 巻 15
2. 論文標題 Measurement of Radial Electric Field Using Doppler Reflectometer in High-Density Plasma of Heliotron J	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2402064
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.15.2402064	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 J. Varela, K. Nagasaki, K. Nagaoka, S. Yamamoto, K. Y. Watanabe, D. A. Spong, L. Garcia, A. Cappa and A. Azegami	4. 巻 60
2. 論文標題 Magnetohydrodynamic hybrid simulation of Alfvén eigenmodes in Heliotron J, a low shear helical axis stellarator/Heliotron	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 96005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/abad84	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 Niels SMITH, Kazunobu NAGASAKI, Josefine H.E. PROLL, Hiroyuki OKADA, Takashi MINAMI, Shinichiro KADO, Shinji KOBAYASHI, Shinsuke OHSHIMA, Shigeru KONOSHIMA, Tohru MIZUUCHI, Yuji NAKAMURA, Akihiro ISHIZAWA, Tsuyoshi TOMITA, Takeshi FUKUDA and Yasuto KONDO	4. 巻 15
2. 論文標題 Measurement of Radial Correlation Lengths of Electron Density Fluctuations in Heliotron J Using O-Mode Reflectometry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 1202054
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.15.1202054	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 Maoyuan LUO, Kazunobu NAGASAKI, Gavin WEIR, Hiroyuki OKADA, Takashi MINAMI, Shinichiro KADO, Shinji KOBAYASHI, Satoshi YAMAMOTO, Shinsuke OHSHIMA, Tohru MIZUUCHI, Shigeru KONOSHIMA, Yuji NAKAMURA and Akihiro ISHIZAWA	4. 巻 15
2. 論文標題 Measurement of Electron Temperature Profile and Fluctuation with ECE Radiometer System in Heliotron J	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2402038
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.15.2402038	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 S. Yamamoto, K. Nagasaki, K. Nagaoka, J. Varela, A. Cappa, et al.	4. 巻 60
2. 論文標題 Effect of ECH/ECCD on energetic-particle-driven MHD modes in helical plasmas	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 66018
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/ab7f13	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 S Kobayashi, K Nagasaki, T Stange, T Mizuuchi, H Okada, T Minami, S Kado, S Yamamoto, S Ohshima, K Hada, G Weir, S Konoshima, Y Nakamura, N Kenmochi, Y Otani, X X Lu, A Panith, K Toi and Y Suzuki	4. 巻 62
2. 論文標題 Study of seed plasma generation for NBI plasma start-up using non-resonant microwave launch in Heliotron J	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma Physics and Controlled Fusion	6. 最初と最後の頁 65009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6587/ab877e	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 K. Nagasaki, S. Watanabe, K. Sakamoto, A. Isayama, H. Okada, T. Minami, S. Kado, S. Kobayashi, S. Yamamoto, S. Ohshima, S. Konoshima, T. Mizuuchi, Y. Nakamura, A. Ishizawa, S. Kubo, H. Igami, G. Weir, N. Marushchenko	4. 巻 144
2. 論文標題 Measurement of stray millimeter-wave radiation from a 70-GHz ECH/ECCD system in Heliotron J	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 40-45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2019.04.051	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 N. Kenmochi, T. Minami, T. Mizuuchi, C. Takahashi, G. M. Weir, K. Nishioka, S. Kobayashi, Y. Nakamura, H. Okada, S. Kado, S. Yamamoto, S. Ohshima, S. Konoshima, Y. Ohtani and K. Nagasaki	4. 巻 10
2. 論文標題 Reformation of the Electron Internal Transport Barrier with the Appearance of a Magnetic Island	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-56492-x	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 Ryota MATOIKE, Gakushi KAWAMURA, Shinsuke OHSHIMA, Masahiro KOBAYASHI, Yasuhiro SUZUKI, Kazunobu NAGASAKI, Suguru MASUZAKI, Shinji KOBAYASHI, Satoshi YAMAMOTO, Shinichiro KADO, Takashi MINAMI, Hiroyuki OKADA, Shigeru KONOSHIMA, Toru MIZUUCHI, Hirohiko TANAKA, Hiroto MATSUURA, Yuhe FENG and Heinke FRERICHS	4. 巻 14
2. 論文標題 First Application of 3D Peripheral Plasma Transport Code EMC3-EIRENE to Heliotron J	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 3403127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.14.3403127	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 G Motojima, H Okada, H Okazaki, S Kobayashi, K Nagasaki, R Sakamoto, H Yamada, S Kado, S Ohshima, T Minami, N Kenmochi, Y Ohtani, Y Nozaki, Y Yonemura, Y Nakamura, S Konoshima, S. Yamamoto, T Mizuuchi and K Y Watanabe	4. 巻 61
2. 論文標題 High-density experiments with hydrogen ice pellet injection and analysis of pellet penetration depth in Heliotron J	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plasma Physics and Controlled Fusion	6. 最初と最後の頁 75014
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6587/ab1d40	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 Gavin M. Weir, Kazunobu Nagasaki, Jinxiang Zhu, Maoyuan Luo, Hiroyuki Okada, Takashi Minami, Shinichiro Kado, Shinji Kobayashi, Satoshi Yamamoto, Shinsuke Ohshima, Shigeru Konoshima, Yuji Nakamura, Akihiro Ishizawa, Xiang-xun Lu, Linge Zang, Nikolai Marushchenko, Yasuo Yoshimura and Tohru Mizuuchi	4. 巻 203
2. 論文標題 Development of a correlation ECE radiometer for electron temperature fluctuation measurements in Heliotron J	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 3013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/201920303013	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. Nagasaki, S. Watanabe, K. Sakamoto, A. Isayama, H. Okada, T. Minami, S. Kado, S. Kobayashi, S. Yamamoto, S. Ohshima, S. Konoshima, T. Mizuuchi, Y. Nakamura, A. Ishizawa, S. Kubo, H. Igami, G. Weir, N. Marushchenko	4. 巻 144
2. 論文標題 Measurement of Stray Millimeter-wave Radiation from a 70-GHz ECH/ECCD System in Heliotron J	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 40-45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2019.04.051	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 Gavin M. Weir, Kazunobu Nagasaki, Jinxiang Zhu, Maoyuan Luo, Hiroyuki Okada, Takashi Minami, Shinichiro Kado, Shinji Kobayashi, Satoshi Yamamoto, Shinsuke Ohshima, Shigeru Konoshima, Yuji Nakamura, Akihiro Ishizawa, Xiang-xun Lu, Linge Zang, Nikolai Marushchenko, Yasuo Yoshimura and Tohru Mizuuchi	4. 巻 203
2. 論文標題 Development of a correlation ECE radiometer for electron temperature fluctuation measurements in Heliotron J	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 3013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/201920303013	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 L.G. Zang, S. Yamamoto, D.A. Spong, K. Nagasaki, S. Ohshima, S. Kobayashi, T. Minami, X.X. Lu, N. Nishino, S. Kado, P. Adulsiriswad, H. Okada, N. Kenmochi, S. Inagaki, J.X. Zhu, G.M. Weir, T. Mizuuchi, S. Konoshima, A. Ishizawa, D.L. Yu, Z.B. Shi, Yi Liu, L.W. Yan, J.Q. Li, Q.W. Yang, M. Xu, X.R. Duan and Yong Liu	4. 巻 59
2. 論文標題 Observation of a beam-driven low-frequency mode in Heliotron J	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 56001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/ab0197	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 P. Adulsiriswad, Y. Todo, S. Kado, S. Yamamoto, S. Kobayashi, S. Ohshima, H. Okada, T. Minami, Y. Nakamura, A. Ishizawa, S. Konoshima, T. Mizuuchi and K. Nagasaki	4. 巻 61
2. 論文標題 Numerical investigation into the peripheral energetic-particle-driven MHD modes in Heliotron J with free boundary hybrid simulation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 116065
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/ac2779	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 S. Ohshima, H. Okada, L. Zang, S. Kobayashi, T. Minami, S. Kado, P. Adulsiriswad, D. Qiu, R. Matoike, M. Luo, P. Zhang, A. Miyashita, M. Motoshima, Y. Nakamura, S. Konoshima, T. Mizuuchi, and K. Nagasaki	4. 巻 63
2. 論文標題 Isotope effect on zonal flow and its configuration dependence in low-density electron-cyclotron-resonance heated plasmas in Heliotron J	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma Phys. Control. Fusion	6. 最初と最後の頁 104002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6587/ac1837	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 S. Kobayashi, K. Nagasaki, K. Hada, T. Stange, H. Okada, T. Minami, S. Kado, S. Ohshima, K. Tokuhara, Y. Nakamura	4. 巻 61
2. 論文標題 Role of pre-ionization in NBI plasma start-up of Heliotron J using non-resonant microwave heating	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nucl. Fusion	6. 最初と最後の頁 116009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/ac2105	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17件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 K. Nagasaki, Y. Sakamoto, T. Maekawa, A. Fukuyama, H. Idei, Y. Oda
2. 発表標題 ECCD Calculation for JA DEMO Reactors
3. 学会等名 Japan-Korea Workshop on Physics and Technology of Heating and Current Drive (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Matoike, G. Kawamura, S. Ohshima, Y. Suzuki, M. Kobayashi, S. Masuzaki, S. Kobayashi, S. Kado, T. Minami, H. Okada, T. Mizuuchi, S. Konoshima, Y. Feng, H. Frerichs, K. Nagasaki
2. 発表標題 Peripheral Plasma Transport Characteristics arising from 3D Magnetic Field Structure in Heliotron J
3. 学会等名 The 24th International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Ohshima, H. Okada, L. Zang, S. Kobayashi, S. Yamamoto, T. Minami, S. Kado, Y. Nakamura, S. Konoshima, T. Mizuuchi, N. Kenmochi, Y. Ohtani, M. Motoshima, P. Adisriiswad, R. Matoike, D. Qiu, M. Luo, K. Nagasaki
2. 発表標題 Isotope Effects on Nonlinear Turbulence System in a Torus Plasma
3. 学会等名 4th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡佑旗、長崎百伸、小林進二、大島慎介、笠原寛史、伊神弘恵、門信一郎、南貴司、中村祐司、石澤明宏、木島滋、水内亨、岡田浩之、加藤悠
2. 発表標題 磁場閉じ込め核融合プラズマにおけるミリ波帯域電磁波モード変換シミュレーション
3. 学会等名 COMSOL Conference 2020 Tokyo
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡佑旗、長崎百伸、小林進二、大島慎介、笠原寛史、岡田浩之、門信一郎、南貴司、中村祐司、石澤明宏、木島滋、水内亨、加藤悠
2. 発表標題 ヘリオトロンJにおける電子パーンシュタイン波加熱・計測のための有限要素法を用いた0-Xモード変換解析
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 K. Nagasaki
2. 発表標題 Response of Plasma Performance to Magnetic Configuration, Fuelling and Heating/Current Drive in Heliotron J
3. 学会等名 22nd International Stellarator and Heliotron Workshop 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Nagasaki
2. 発表標題 Recent Experimental Results from the Heliotron J Helical Device
3. 学会等名 Post-CUP Workshop & JSPS-CAS Bilateral Joint Research Projects Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名
K. Nagasaki, S. Yamamoto, K. Nagaoka, J. Varela, A. Cappa, E. Ascasibar, F. Castejon, A. Ishizawa, M. Isobe, S. Kado, S. Kobayashi, N. Marushchenko, A. Melnikov, T. Minami, T. Mizuuchi, Y. Nakamura, K. Ogawa, S. Ohshima, H. Okada, M. Osakabe, and G.M. Weir
2 . 発表標題
Energetic-particle-driven MHD Instabilities and Their Control by ECH/ECCD in Helical Plasmas
3 . 学会等名
46th European Physical Society Conference on Plasma Physics (EPS 2019) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年
2019年

1 . 発表者名
K. Nagasaki, S. Yamamoto, K. Nagaoka, J. Varela, A. Cappa, E. Ascasibar, F. Castejon, A. Ishizawa, M. Isobe, S. Kado, S. Kobayashi, N. Marushchenko, A. Melnikov, T. Minami, T. Mizuuchi, Y. Nakamura, K. Ogawa, S. Ohshima, H. Okada, M. Osakabe, and G.M. Weir
2 . 発表標題
Control of Energetic Particle Driven Instabilities by ECH/ECCD in Helical Systems
3 . 学会等名
2nd US/Japan Workshop on “Progress on Advanced Concept Optimization and Modeling in Stellarator-Heliotrons”
4 . 発表年
2019年

1 . 発表者名
K. Nagasaki, S. Watanabe, K. Sakamoto, A. Isayama, H. Okada, T. Minami, S. Kado, S. Kobayashi, S. Yamamoto, S. Ohshima, S. Konoshima, T. Mizuuchi, Y. Nakamura, A. Ishizawa, S. Kubo, H. Igami, G. Weir, N. Marushchenko
2 . 発表標題
Measurement of Stray Millimeter-Wave Radiation from 70-GHz ECH/ECCD System in Heliotron J
3 . 学会等名
Korea-Japan Workshop on Physics and Technology of Heating and Current Drive
4 . 発表年
2019年

1 . 発表者名
K. Nagasaki, S. Watanabe, K. Sakamoto, A. Isayama, H. Okada, T. Minami, S. Kado, S. Kobayashi, S. Yamamoto, S. Ohshima, S. Konoshima, T. Mizuuchi, Y. Nakamura, A. Ishizawa, S. Kubo, H. Igami, G. Weir, N. Marushchenko
2 . 発表標題
Measurement of Stray Millimeter-Wave Radiation from 70-GHz ECH/ECCD System in Heliotron J
3 . 学会等名
2018 US-EU-Japan RF Heating Technology WS/US-Japan WS on RF Heating Physics (国際学会)
4 . 発表年
2018年

1. 発表者名 K. Nagasaki
2. 発表標題 Response of Plasma Performance to Magnetic Configuration and Heating/Current Driven in Heliotron J
3. 学会等名 19th International Congress on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長崎百伸, 伊神弘恵, Francesco Volpe, 小林進二, 中村祐司, 南貴司, 門信一郎, 山本聡, 大島慎介, 水内亨, 木島滋, 石澤明宏, Maoyuan Luo, Nikolai Marushchenko
2. 発表標題 ヘリオトロンJにおける電子バースタイン放射を用いた電子温度計測
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長崎百伸
2. 発表標題 加熱・電流駆動 - ITERから原型炉へ向けた進展
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 K. Nagasaki
2. 発表標題 Introduction, Symposium "Frontiers in Optimization Studies for 3D Magnetically Confined Helical Plasmas"
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 K. Nagasaki
2. 発表標題 Physics Study Using 3-D Magnetic Configuration Flexibility in Heliotron J
3. 学会等名 30th Int. Toki Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Nagasaki
2. 発表標題 Electron Temperature Measurement Using Electron Bernstein Emission in Heliotron J
3. 学会等名 47th EPS Conference on Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>京都大学エネルギー理工学研究所プラズマエネルギー研究分野長崎研究室 http://www.iae.kyoto-u.ac.jp/plasma/index_j.html</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	伊神 弘恵 (Igami Hiroe) (10390634)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授 (63902)	

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	ラクア ハイน์リッヒ (Laqua Heinrich)		
研究協力者	ボルペ フランチェスコ (Volpe Francesco)		
連携研究者	小林 進二 (Kobayashi Shinji) (70346055)	京都大学・エネルギー理工学研究所・准教授 (14301)	

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			
米国	Columbia University			