

X. プラズマ研究グループ

教授	坂本瑞樹
准教授	吉川正志、假家強、南龍太郎
講師	小波蔵純子、平田真史、沼倉友晴
シニアスタッフ	大川和夫
大学院生(物理学専攻)	13名
学群学生(物理学類)	17名

共同研究者

准教授	江角直道 (物理工学域)
研究員	今井剛, 中嶋洋輔, 飯島貴朗, 野尻訓平, 寺門明紘 (2019年7月まで)

研究協力者

技術専門官	杉山昭彦
技術専門職員	和所保規、遠藤洋一、嶋 頼子
研究支援推進員	岡崎 昇、中西博之
大学院生(電子・物理工学)	2名
大学院生(教育研究科)	1名
学群学生(応用理工学類)	2名

【1】プラズマグループの研究の方針・基本理念

プラズマ研究グループでは、筑波大学の「中期計画・中期目標」に則り、世界に広く貢献できる優れた研究成果を創出することを使命として、常に研究を深化させるとともに研究の新展開を図ることを基本方針・基本理念としている。

また、筑波大学の中期計画等に基づき、平成16年度から開始した双方向型共同研究の枠組みを活用し、第Ⅲ期中期計画においても、核融合科学研究所と筑波大学、京都大学、大阪大学、九州大学、富山大学を中心とし、さらに講座単位の各大学との共同研究を積極的に推進する。この双方向型共同研究を通して、普遍性の高い学術成果と、それに基づく核融合実用への基盤研究を進めており、第Ⅲ期中期計画の4年目である令和元年度においても、さらにプラズマ物理学・核融合科学の進化と双方向型共同研究を基盤とした国内外の共同研究の強化に務めている。

学内では、プラズマ研究センターをはじめとする連携協力研究・教育、その他の学内の関連グループとの共同研究、さらには国内外のプラズマ研究グループとの緊密な連携・研究協力

を進めている。上記の共同研究を基に、顕著な成果の創造・創出を図ることを基本理念・基本目標・基本方針に掲げ、研究に邁進する。

【2】プラズマ研究の研究目的と意義・位置づけ

物理学専攻のプラズマグループが主体となって研究を行っているプラズマ研究センターでは、「プラズマ物理学、特に電位／電場によるプラズマ閉じ込めの向上、並びにプラズマの高性能化に係る教育・研究」等を行うことが、中期計画・新しい筑波大学規則・規定に則した研究目的の柱である。本研究目的は、核融合実用に必要不可欠で喫緊の課題である「数億度の高性能プラズマと常温壁の両立の理工学研究」を行い、プラズマ物理・核融合研究の進展に本質的且つ普遍的な貢献を行うという、プラズマ核融合分野全体に広く役立つ、重要な位置づけを持つ。

この研究は、国際熱核融合実験炉 ITER の炉心プラズマの高閉じ込めHモードや、環状型プラズマのエネルギー閉じ込めの改善で注目を集めているドリフト波などの揺動の制御、内部輸送障壁 (ITB) の形成機構とその効果の究明、また、核融合炉の成否を決めるとも言える境界／ダイバータプラズマの制御など、先端的な極めて重要な研究課題の解決という意義・位置づけを併せ持っている。これらの重要課題に対し、装置端部を持つミラー型実験装置は、電子を選択的に電子サイクロトロン加熱により高温・高速化し、ミラー端部における電子フローの一部を制御し、これによりプラズマ内部の電位/電場を自在に形成・制御が可能、また、ミラー特有の端損失の制御という、「ミラーにしかできないこと、ミラーならば他形式プラズマ装置にも普遍的な物理機構解明を含めてできること」、こうしたミラー装置独自の特色を活かした研究を推進している。

これらの研究を具体的に推進するために、ジャイロトロンやビームプローブといった世界最先端の加熱機器や計測機器の開発研究を進めるとともに、それらを用いた研究により、上記で述べた研究課題に関する物理機構解明に不可欠な、プラズマ半径方向 (径方向) の電位分布制御、電場分布の精密な測定による輸送研究、また、ミラー端部で発生する高熱流束によるダイバータ模擬研究が可能となり、学術普遍性の高い極めて重要な本研究課題の更なる究明を進めている。

当プラズマグループの電位閉じ込めの研究は、インスブルックで開催された国際連合の原子力部門である国際原子力機関 (IAEA) の「第7回プラズマ物理並びに制御核融合研究に関する国際会議」において、当研究グループが世界で初めて電位閉じ込めの有効性を実証した、先駆的実績を持つテーマであることは、斯界では広く知られており、かつて米国のサイエンス誌の表紙を筑波大学のガンマ6装置が飾ったように、先駆的な電位閉じ込め研究の成果を挙げてきた。また、最近では、電位制御の強力なツールであるミリ波帯のマイクロ波源、ジャイロトロンの開発研究も進展し、当センターのみならず、核融合科学研究所の大型ヘリカル装置 (LHD) にも大きく貢献し、国際原子力機関 (IAEA) の「第23回～26回核融

合エネルギー国際会議」で高く評価され、九州大学やプリンストン大学など、他大学や海外との共同研究へと発展しつつある。また、これらの成果の新展開とも言える境界プラズマの研究では、ITER の定常熱流束密度レベルを達成し、「核融合エネルギー国際会議」等で斯界の注目を浴び、これを応用した共同研究が大きく進展している。

国際熱核融合実験炉 ITER をはじめ、トカマク・ヘリカル型プラズマ閉じ込め形式をも含む、核融合実用に必要不可欠な研究課題という意義・位置づけを持った研究課題を、プラズマグループは推進し、発展・展開を見ている。すなわち、輸送障壁形成の物理機構の解明と境界プラズマ物理の解明は、核融合装置の実用的経済的なコンパクト化・高信頼化・核融合プラズマの定常制御のために、必要欠くべからざる研究内容であるという意義を持つばかりでなく、プラズマ特性の学術研究・応用研究という観点からも、大学の研究の在り方として最適な学術研究内容とその意義、研究規模であると位置づけられる。応用研究という観点からは、学内共同研究として大電力ジャイロトロンを用いたマイクロ波電力伝送の研究を進めるとともに、2019 年度より大気圧プラズマを用いたバイオ関係の研究も開始している。

【3】研究成果の概要

2019 度もダイバータ模擬実験とジャイロトロン開発研究という研究の大きな 2 つの柱を基盤として、GAMMA10/PDX 実験を推進した。ダイバータ模擬実験においては、非接触プラズマの挙動の理解とその制御方法の確立を目指して、ガス入射に伴う非接触プラズマ形成過程とその空間構造に対する V 字ターゲット板角度の影響を中心に研究を行った。大出力・長パルスジャイロトロンの開発においては、これまでに 28/35GHz 2 周波ジャイロトロン製作と高パワー出力を達成し、2019 年度は長パルス動作の実証とあわせ、ダブルディスク・サファイア窓の冷却特性の評価と最適化を行い、28GHz で 0.4MW CW 運転が可能な見通しをえることができた。

GAMMA10/PDX のプラズマ加熱においては、ECH 局所加熱型アンテナと広域加熱型アンテナの中間の放射分布を目指して、反射鏡を設計、製作し、低電力試験を行った。ICRF 加熱としては、ICRF 波動を用いた端損失イオン増大に関する物理機構解明に取り組むとともに、差周波波動励起実験や波動解析コードを用いた検討を行った。

GAMMA10/PDX のプラズマ特性評価についてもデュアルパス・トムソン散乱計測システムを構築し、プラズマ主閉じ込め領域であるセントラル部、及びダイバータ模擬実験のためのエンド部においてトムソン散乱計測を可能とした。また、コム・ドップラー反射計の開発を行い、密度揺動速度の時間・空間構造に関する研究を進めた。

さらに、小型プラズマ生成装置を用いたプラズマ・材料相互作用研究においては、タングステンへのヘリウムプラズマ照射がその後の水素同位体吸蔵に与える影響についての研究が進められた。医療-バイオへの応用を目指した大気圧プラズマの開発も開始して順調に進展している。

【4】 タンデムミラー端部を利用した水素リサイクリングとダイバータ模擬研究

(1) はじめに

GAMMA 10/PDX では、西エンド部に設置したダイバータ模擬実験モジュール (D-module) を用いたダイバータ模擬実験を行い、ダイバータ模擬プラズマへの水素ガス追加供給により、分子活性化再結合に起因するプラズマの非接触化に成功している。本研究は、プラズマの非接触化や分子活性化再結合に対して水素リサイクリングが与える影響と D-module からのガスリークの影響を明らかにする実験、解析を行った。

(2) 実験装置

D-module は、図 1 に示すように直方体のステンレス製容器 (0.5m x 0.5m x 0.7m) と V 字ターゲットから構成され、ステンレス容器前部には $\phi 0.16\text{m}$ 相当のプラズマ入射孔が開いている。西エンド部への端損失プラズマがプラズマ入射孔を通り V 字ターゲットに照射される。側面には石英窓が取り付けられており、V 字ターゲット部のプラズマを観測することができる。V 字ターゲットのプラズマ対向面には厚さ 0.2mm のタングステン板 (0.3m x 0.35m) が取り付けられている。V 字ターゲットの開き角は遠隔操作にて、 15° から 80° まで変えることが可能である。また、D-module 入口部の 2 箇所にも水素ガス供給用のノズルを設け、V 字ターゲットに向けて水素ガスを供給することが可能となっている。さらに、D-module 背面には遠隔操作で開閉可能なドアが設置されており、D-module 内のガスをリークさせることが可能である。

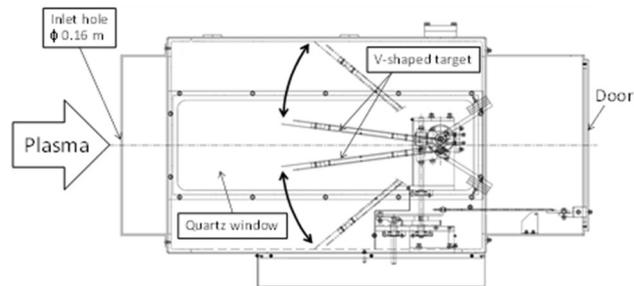


図 1 D-module の概略図

(3) V 字ターゲット角度の影響

今回の実験では、図 1 に示す V 字ターゲットの角度を 16 度、30 度、40 度の 3 種類でプラズマ照射を行った。上側ターゲットには電子温度、密度を測定するための静電プローブが設置されているため、上側ターゲットの位置は固定して下側ターゲットの角度を変えることで V 字ターゲットの角度を変更した。また、プラズマ照射中に V 字ターゲットにあるガス供給ポートから追加の水素ガス供給を行った。3 種類のどの角度でも分子活性化再結合によるプラズマの非接触化が観測された。また、分子活性化再結合の指標である H α 線強度と H β 線強度の比は、V 字ターゲットの角度を狭めると約 1/3 まで小さくなった。これは解離性電子付着に起因する分子活性化再結合 (DA-MAR) が抑制されたことを示唆している。DA-MAR は水素分子の振動・回転励起状態に依存するため、Fulcher- β 帯の分子発光計測により水素分子の振動・回転温度を算出したところ、振動温度はどの角度でも約 4000 K と高く、

その空間分布は角度に依存していないことが分かった。V字角度と分子活性化再結合の度合いに関しては現在検討中であるが、角度を狭めたことによる DA-MAR の抑制に関しては、電子温度が影響していることが示唆されている。

(4) ガスリークの影響

非接触プラズマ生成へのガスリークの影響を調べるために、図 1 に示す D-module 背面の排気扉を開けた状態と閉めた状態でプラズマ照射実験を行った。水素ガス供給量は D-module 入口部から行き、ガス供給用ピエゾバルブの上流にあるガスタンクの圧力（プレナム圧）を変えることで調整し、排気扉閉では 750mbar、開では 1200mbar で実験を行った。排気扉の開、閉の両実験において V 字ターゲットより上流のプラズマはほぼ同等であることが確認されている。排気扉開、閉のどちらの実験においてもガス供給量の増加とともに電子温度が約 2eV 程度まで減少し、電子密度及びイオン飽和電流は一旦増加した後に減少するロールオーバー、すなわちプラズマの非接触化が観測された。このプラズマの非接触化の度合いは、同じ電子温度の範囲において排気扉を開けた場合の方が弱いことが分かった。また、ターゲット板コーナー付近で計測した水素分子の Fulcher- 帯スペクトルから評価した水素分子の振動温度と回転温度は、排気扉を開けた場合と閉じた場合で水素分子の振動温度と回転温度に明確な違いは見られなかった。一方、Fulcher- 帯スペクトルの発光強度を電子密度で規格化することにより評価されるターゲット板付近の水素分子密度は、電子温度が同程度でも排気扉を開けた場合の方が低いことが明らかとなった。この中性ガス圧の違いは D-module 内の中性ガス圧を測定している ASDEX ゲージの結果からも得られており、中性分子密度の違いが非接触化の違いの原因のひとつであることが示された。

さらに、非接触プラズマ形成過程で計測されるイオン飽和電流の揺動特性へのガスリークの影響を調査した。ダイバータ模擬実験モジュールの排気扉を閉めた状態で水素ガスを供給していくと、電子温度の低下に伴い分子活性化再結合による非接触プラズマ形成が起き、ターゲット板上流におけるイオン飽和電流値の歪度は非接触化の開始時点付近で最も大きくなった。これに対して排気扉を開けてより多量の水素ガスを供給すると、電子温度は同程度まで低下しても非接触化の程度は小さくなるものの、非接触化開始時点付近でのイオン飽和電流は平均値が同程度の時に歪度が同程度もしくはそれ以上にまで達し、間欠的な輸送がより顕著に起きていることが示唆された。

【5】小型プラズマ生成装置を用いたプラズマ・材料相互作用研究

プラズマ対向壁における水素同位体吸蔵特性の理解は、プラズマの粒子制御やトリチウムインベントリと密接に関係している重要な研究課題である。本研究では、タングステン表面改質が水素吸蔵特性に与える影響について実験、解析を行っており、今回はヘリウムプラズマ照射が与える影響について調べた。

今回の研究で用いたタングステン試料には、ニラコ社製の厚さ 0.1mm のシート状タングステンを用いた。この試料にヘリウムプラズマを照射後昇温脱離測定を 3 回行い、ヘリウムの放出がなくなったことを確認してから、重水素プラズマを照射した。また、比較のために重水素プラズマのみを照射した試料も用意した。ヘリウムプラズマ照射条件は、入射イオンのフルエンス $\Phi=1 \times 10^{24}$ He/m²、

試料温度 $T \sim 450^\circ\text{C}$ 、入射イオンエネルギー $E \sim 22\text{eV}$ である。重水素プラズマの照射条件は、フルエンス $\Phi=2 \times 10^{25}$ D/m²、試料温度 $T \sim 255^\circ\text{C}$ 、入射イオンのエネルギー $E \sim 29\text{eV}$ である。ヘリウムプラズマ照射を行った試料と行っていない試料の重水素吸蔵特性の比較を図 1 に示す。ヘリウムプラズマを照射した場合、400K 付近の脱離ピークが消え、580K 付近の脱離ピーク 38K ほど高温側にシフトした。この脱離ピークの高温側へのシフトは、ヘリウムプラズマによってタングステン表面に生された欠陥の影響と考えられる。また、ヘリウムプラズマを照射した試料の重水素吸蔵量は 2.7×10^{20} D/m² であり、重水素プラズマのみ照射した試料 (2.4×10^{20} D/m²) よりも約 1.15 倍増加した。さらに、SEM を用いて各試料の表面観察を行ったところ、ヘリウムプラズマ照射前と後で比較すると、ヘリウム照射面には結晶粒界が明白に見られた。

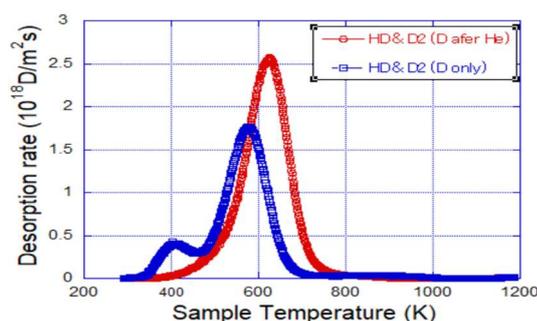


図 1 ヘリウムプラズマ照射後に重水素プラズマ照射した試料と重水素プラズマのみ照射した試料の昇温脱離スペクトルの比較

【6】医療—バイオ応用のためのマイクロ波大気圧プラズマ源の開発

(1) はじめに

電子とイオン・中性粒子間の衝突頻度が小さい減圧下プラズマでは、外部印加エネルギーが主に電子の加熱に消費され、電子温度とイオン・中性粒子温度間で非平衡性が生じる。高温の電子が中性粒子と衝突する場合、中性粒子内部の軌道電子は容易に励起され、化学的活性度の高いラジカルが生成される。ラジカルは対象物質の化学反応を容易に引き起こす特長を持つ。近年、非平衡プラズマを大気圧で実現し、生体組織や溶液などにプラズマ照射を行う研究が盛んになっている。大気圧非平衡プラズマの実現のためには生体組織を損傷させないためにガス温度をできるだけ低く維持することが重要である。

本研究では、局所的に高電場を印加できるマイクロ波の特長を生かした大気圧マイクロ波プラズマ源の開発を行う。本節では、最初の立ち上げ段階にあるマイクロ波プラズマ源の概括を紹介し、初期段階におけるプラズマ分光測定結果について述べる。

(2) 装置の構築および分光計測

図 1 に構築したマイクロ波プラズマ源の系統図を示す。2.45 GHz、150W 級半導体型マイクロ波電源で生成されたマイクロ波は、自動整合器でインピーダンス整合後、同軸ケーブルを介してプラズマヘッドへ送られる。また、フローメーターを介したガスはペルチェ温度調節器により温度調整され、プラズマヘッドに流れる。1/4 波長アンテナの共振によりアンテナ先には高電場が形成され、周囲のガスをイオン化させてプラズマを点弧する。プラズマはガスの流れとともにヘッドの外部へ輸送される。図 1 の中に窒素ガス放電により大気圧プラズマがジェット状に光る様子が確認できる。

今回点弧させたプラズマを、小型分光器を用いて分光計測した。UV 溶融石英平凸レンズの組み合わせによりプラズマ噴射口から 5 mm 離れた領域を 1 点計測した結果、図 2 で示すように 200-450

nm 側において主に一酸化窒素分子 (NO) の基底順位から A、B 順位への励起する際の発光が観測され、一酸化窒素ラジカルの生成が示唆された。

二原子分子ガス模擬ソフトウェア LIFBASE を用いた計算の結果、B-X(図 2 の青色領域)および A-X(図 2 の黄色領域)の励起順位の占有密度はそれぞれ 0.45、0.55 の割合であり、ガスの励起温度は 1800 K 程度であることが示唆された。今後、ガス流の温度調整や投入電力の変化によるプラズマの内部温度変化を評価し、生体組織に近距離で照射できる低温プラズマ生成のための効率化を遂行していく予定である。

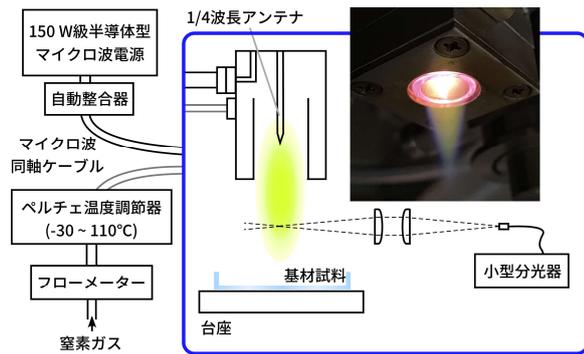


図 1 マイクロ波プラズマ源の系統図

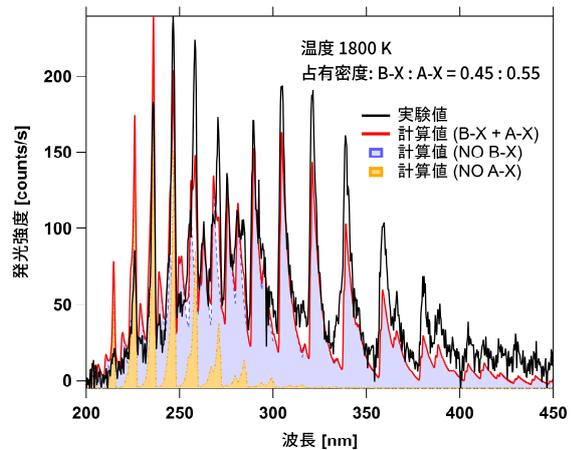


図 2 マイクロ波窒素プラズマの分光スペクトルと LIFBASE 計算結果の比較

【7】 核融合に向けた大電力ジャイロトロンの開発と応用

(1) はじめに

タンデムミラーGAMMA10/PDX では、プラグ部及びセントラル部電子サイクロトロン共鳴加熱(ECRH)によるプラズマ閉じ込め性能の研究と改善に加え、基幹研究の新展開として開始されたダイバータ模擬研究の高度化に向け、ECRH システムの大電力化、長パルス化を進めている。ECRH/ECCD(電子サイクロトロン電流駆動)用大電力マイクロ波源である大電力ジャ

イロトロンの開発は、筑波大学プラズマ研究センター (PRC) における研究開発の大きな柱の一つと成っており、共同研究として、核融合科学研究所 (NIFS) の LHD 用、九州大学の QUEST 用、プリンストン大学の NSTX-U 用、京都大学の Heliotron J 用ジャイロトロンの開発も進めているところである。

(2) 28/35GHz 2 周波数ジャイロトロンの開発

GAMMA10/PDX のダイバータ模擬研究において、より高い熱流束を生成するために 28GHz-2MW-3s のジャイロトロンの開発を進めている。このジャイロトロンは、共同研究を有効に進めるため、QUEST で必要とされる動作性能 28GHz-0.4MW-CW (連続動作)、NSTX-U で必要とされる動作性能 28GHz-1.5~2 MW-3s、Heliotron J で必要とされる動作性能 35GHz-1MW-0.5 秒を 1 本のジャイロトロンで動作可能な、2 周波ジャイロトロンである。2018 年度の試験において、28.04GHz にて 1.65MW、34.83GHz にて 1.21MW の出力を達成した。

2019 年度においては、長パルス動作の実証とあわせ、ダブルディスク・サファイア窓の冷却特性の評価を行った。実験のセットアップ写真とダブルディスク窓の構造断面図を図 1 に示す。長パルス運転実証試験では、0.13MW 30 秒、0.22MW 10 秒、0.27MW 8 秒の動作を確認した。出力とパルス幅は、水負荷の性能、コレクタの冷却水温上昇、および電源性能によって制限された。

出力窓中心の温度変化は、整合器 (MOU) の BaF₂ 製ビューポートを通して、赤外線 (IR) カメラで測定した。図 2 に、0.13MW 30 秒の出力動作時における、窓温度変化の実験値と計算値を示す。窓の冷却流体であるフロリナートの流量は 30L/min、初期温度 18°C で実験を行った。実線で示した窓温度の測定値は、パルス幅とともに増加し、約 42°C で飽和する傾向を示した。サファイア・ディスクから冷却流体への熱伝達係数 h は、測定値と計算値を比較することにより、 $h=1200\sim1500\text{W/m}^2\text{K}$ と推定された。熱伝達率が $1200\text{W/m}^2\text{K}$ の時の 0.13MW 30 秒出力時の計算結果を黒丸で、0.27MW 8 秒出力時の計算値を白丸、その時の測定値を破線で示した。その他、実験と計算の比較より、目標である 28GHz で、0.4MW CW 動作が可能であることが確認された。今後、試験を進め、0.4MW CW 動作を実証する予定である。

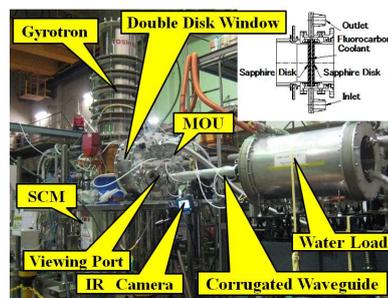


図 1 28/35GHz 2 周波数ジャイロトロンの長パルス試験

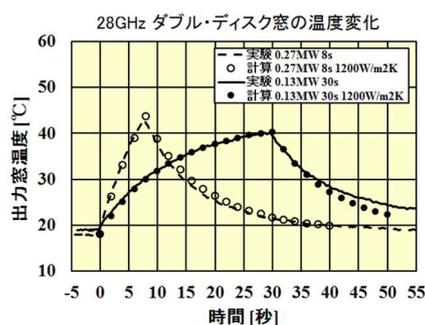


図 2 28GHz 動作時の出力窓温度変化の実験値と計算値の比較

(3) 28GHz ジャイロトロンによる九州大学とのセンター間連携研究

筑波大学と九州大学間のセンター間連携研究に基づき、筑波大学で開発した 28GHz-1MW ジャイロトロンを九州大学の QUEST 装置に適用しプラズマ実験が行われている。今年度

は、ジャイロトロンに大きな問題は無く、QUEST プラズマ実験が遂行された。2019 年度は、28GHz 第 2 高調波 X モード斜め入射加熱と、垂直磁場ランプアップとの併用により 100 kA 超のプラズマ電流立ち上げに成功している。

また、将来の QUEST や GAMMA 10/PDX 中央部加熱への適用を見込み開発を進めている 14GHz ジャイロトロンは、引き続き部品製作を行った。

(4) 核融合科学研究所(NIFS)とのジャイロトロン開発共同研究

筑波大学と NIFS 間のジャイロトロン開発共同研究として、154/116GHz 2 周波数ジャイロトロンを開発を進めている。2019 年度は、これまでに製作した部品を用い、電子銃以外のジャイロトロンの組立、及び、そのカソードの組立を行った。2020 年度に組立を完成する予定である。

(5) 東京大学との 94GHz ジャイロトロン開発共同研究

東京大学では、ジャイロトロンを用いたマイクロ波ロケットの実現を目標に基礎研究が進められている。ロケット推進に関する放電試験を行うため 94GHz ジャイロトロンが開発が進められてきた。2019 年度において、ジャイロトロンの空洞共振器設計見直し、モード変換器系/構造・部品設計、残部品製作、ジャイロトロンの組立を行った。組立したジャイロトロンは、ベーキングによる脱ガス処理を行い、カソードからの電子ビーム引出し確認を行った。

【8】ガンマ 10/PDX セントラル部及びプラグ部における ECH 実験の進展

セントラル部では、先行研究において、局所加熱型アンテナと広域加熱型アンテナの中間の放射分布を目指して、反射鏡を設計、製作し、低電力試験を行った。その結果、計算では現れなかったサイドローブが低電力試験で見られた。この問題に対して、本研究では、サイドローブを持つようなアンテナの放射電力分布も正しく表現できるように電磁場解析コードを改良・修正することで、実際にサイドローブのない中間の放射電力分布をもつアンテナを設計・製作することを目指した。その結果、計算結果よりも低電力試験結果の方がやや広い分布になったが、 $1/e$ 半径が X 方向 59.5mm、Y 方向 48.2mm でサイドローブのない放射分布が得られた(図 1)。また、基本波共鳴層(磁場強度 1 T)におけるプラズマへのマイクロ波吸収率は、正常波(0-mode)という偏波では数%程度であるのに対し、

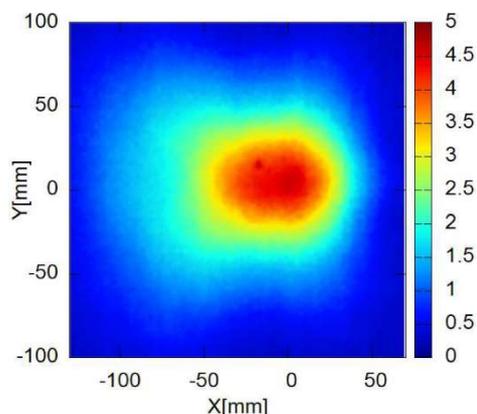


図 1 新型アンテナの放射分布。

異常波 (X-mode) ではほぼ 100%であることが計算からわかっているが、先行研究における実験データでは、マイクロ波吸収率の計算結果から予測される加熱効果と実験結果との間に相違が見られている。本研究では、その原因を明らかにすることを目的として、まず基本波共鳴層付近で意図した偏波が励起されていない可能性を考え、偏波パラメータを計測する低電力試験を行った(図 2)。プラズマ実験の結果、偏波器で制御されたマイクロ波の偏波状態から楕円度 β の符号が反転した状態でプラズマ境界面に到達し、X/0-mode に結合している可能性が示唆された。

プラグ部では、2 枚のミラー・アンテナは既存のものを適用し、アンテナ直近までの伝送系を新たに構築した。MW 級ジャイロトロンは、大実験室西棟の 1 階に設置してあるテスト・スタンドで開発を行っている。これまでに、概ね組み立てが完了し、問題なく伝送系内部を真空中に排気できることを確認した。構築した新規伝送系は、MW 級ジャイロトロン、位相整合器(MOU)、コルゲート導波管(WG)、マイターバンド(MB)、真空排気用の排気ポートから構成される。コルゲート導波管の全長は 25 m 程度、マイターバンドは 5 つある(図 3)。

MOU 出力直後の位置で測定したパワーを基準として、伝送系各部の測定点においてパワー測定を実施した。初期の伝送実験の結果、アンテナ直近までの伝送効率として 64%程度の伝送効率が得られた。この値は、材質・設計から想定される値と比較して低かった。パワー伝送実験後に MB を取り外して内部を確認したところ、放電痕が確認された。また、導波管内部において、伝送系組立時に混入したと考えられる異物痕が確認された。効率低下の要因として、伝送系内部の放電による損失が考えられる。また、製作精度による MB の本体とミラーとの間の数百ミクロン程度のギャップが、放電発生の原因として挙げられる。これに基づき、MB において放電の要因となるギャップをなくす対策、及び、導波管の異物を取り除くクリーニングを実施し、伝送効率の改善を図った。その結果、アンテナ直近までの伝送効率として 130 kW 出力時に 88%程度まで改善したが、出力が高くなるにつれて伝送効率の低下が見られた。今回の伝送実験時では、ジャイロトロン電源制御系に不具合が発生したため、伝送効率低下の要因が、伝送系内放電か或いは電源制御系の問題かの解明は今後の課題として残っている。

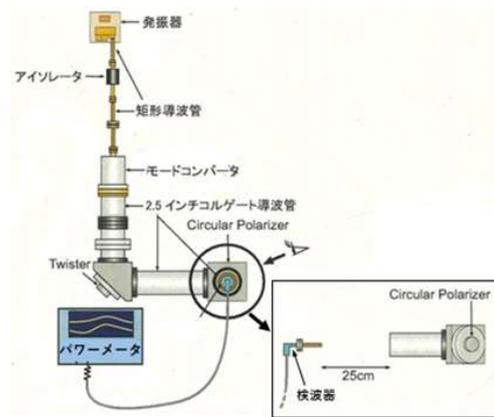


図 2 低電力試験の実験配位概略

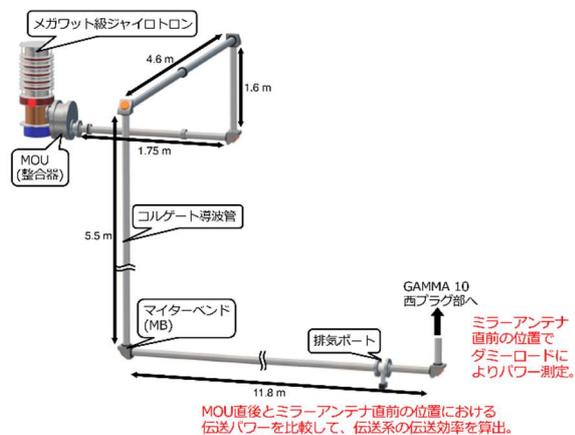


図 3 MW 級ジャイロトロンを用いた ECH 伝送系の概略図。

【9】高周波を用いた初期プラズマ生成と加熱、及び加熱プラズマの巨視的・微視的挙動の解析

イオンサイクロトロン周波数帯(ICRF)の高周波を用い、プラズマ中の電位形成やプラズマ閉じ込め物理、また、開放端磁場配位を利用したダイバータ模擬実験等の境界プラズマ研究における標的プラズマ生成、イオン加熱の実験を進めている。さらに、高性能プラズマを制御する上で不可欠なプラズマの巨視的・微視的挙動についての研究を並行して進めている。2019年度は、ICRF波動を用いた損失イオン束増大に関する物理機構を明らかにした。バリア部アンテナについては、アンテナ設置位置に対するプラズマ生成・加熱効果の違いについて実験と3次元波動解析コードによる検討を進めた。更に、励起ICRF波動や温度非等方性により自発励起されるアルベンイオンサイクロトロン(AIC)波動及びその差周波波動の径方向・方位角方向・軸方向空間構造をマイクロ波反射計により明らかにした。一方、直線型装置における高密度プラズマのイオン加熱に関する検討として、印加ICRF波動による差周波数波動励起実験、勾配のある磁場領域におけるイオン加熱実験や波動解析コードによる検討を行なった。

(1) ICRF波動を用いた損失イオン束増大

端損失イオン速の増大を目的として GAMMA 10/PDX の各部において ICRF 波動追加加熱実験を行なった結果、いくつかの条件における端損失イオン束増大が明らかになった。そこで、端損失イオン束増大に寄与するパラメータを変数選択により定量的に見積もった。その結果、プラズマ生成が行われるセントラル部とアンカー部の密度と電位の上昇、中性粒子の現象が端損失イオン束増大に効果的であることが明らかになった。これらはそれぞれ、プラズマ生成量の増大、電位によるイオン損失領域の拡張とイオン加速、中性粒子との荷電交換反応によるイオンの径方向損失が関係することが示唆された。一方、高エネルギーイオン(>500 eV)の損失機構としては、イオン加熱を行わない場合は粒子間のピッチ角散乱により、ICRF波動によるイオン加熱を行う場合は、波動とイオンの共鳴によるピッチ角散乱やイオン温度非等方性を駆動力とした Alfvén Ion Cyclotron (AIC)波動による非等方性緩和に基づき、高エネルギーイオンが損失領域に入ることが確認された。

(2) バリア部アンテナにおける ICRF 加熱効率の検討

波動伝搬コードによるイオン加熱効果の妥当性を検証するため、単純ミラー型磁場配位である西バリア部において、高周波電流をアンテナミラー中央面付近(in)とスロート付近(out)に切替えて流すことができる WB-Double Circle Type (WB-DCT)アンテナを新たに導入し、アンテナ電流経路の軸方向位置依存性を取得した。ミラー中央付近に共鳴層をもつ 7.7 MHz の高周波を印加し、加熱効果を西バリア部の電子数密度や端損失イオン束から評価したところ、WB-DCT(in)の方が加熱効果に有効であることが示された。波動伝搬コードからは、 $w/w_{ci} \sim 1$ の領域で加熱効率が高くなり、周波数 7.7 MHz の時に極大となることが分か

り、定性的に実験結果と一致した。

(3) AIC 波動及びその差周波波動の空間構造

高エネルギーイオンの軸方向輸送に AIC 波動、特にその差周波波動が関係していることが、装置端部の粒子計測から明らかになっている。そこで、高温プラズマ内部領域における AIC 波動とその差周波数波動の分布を、軸方向 5 ヶ所、方位角方向の異なる位置 1 ヶ所に設置した 6 対のホーンアンテナを用いたマイクロ波反射計により計測した。その結果、AIC 波動は径方向に幅広く励起しているが、差周波波動は径方向内部で局所的に励起していることが観測された。また方位角方向のモード数はそれぞれ $m=-1, 0$ で、AIC 波動と差周波波動の三波結合に必要なモードマッチングを満たしていた。反射計の軸方向 2 点同時計測において相関係数の高い径方向位置を特定することにより、差周波波動の軸方向位相差を初めて測定し、差周波波動がセントラル部内側から外側への進行波であることを示唆する結果を得た。

(4) 高密度プラズマのイオン加熱に関する検討

ダイバータ物理検討等において、直線型装置における端損失プラズマパラメータ制御が求められている。特にイオン温度制御においては ICRF 波動を用いることが検討されているが、高密度プラズマに対しては通常加熱に用いられている遅波の励起は難しく、効率的な加熱手法を検討する必要がある。そこで、高密度でも波動励起が可能な速波を印加し、イオンサイクロトロン周波数の差周波数波動を励起することによるイオン加熱、及び端損失プラズマのエンド部直接加熱について検討を行なった。

差周波波動加熱実験においては、セントラル部のイオン加熱周波数として用いられる 6.36 MHz ($m=-1$) の差周波波動を励起させるため、16.26 MHz ($m=0$)、9.9 MHz ($m=\pm 1$) の高周波を印加したとこ

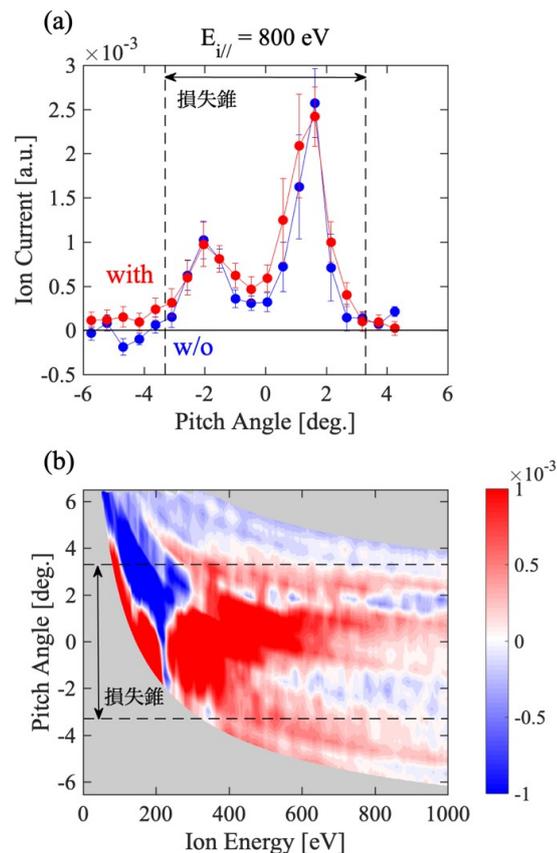


図 1 (a)エンド部加熱による端損失イオンのピッチ角分布変化 (b)イオン電流の変化量の等高線図 (第 36 回プラズマ・核融合学会予稿(29P17)より)

る、セントラル部線密度が $>4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ において数 10%の反磁性量増大が見られた。この時マイクロ波反射計による密度揺動計測から、外部印加波動に対する差周波波動の揺動レベルは 1/10 程度であることが確認された。

ICRF 波動による端損失プラズマの直接加熱については、端損失イオンのピッチ角分布を用いて評価した。(図 1) 装置内部から流出するイオンは損失錐内に存在するため、エンド部直接加熱を行うとイオンは磁場に垂直方向に加速され損失錐外のイオン電流が上昇する。アンテナ直下のイオンサイクロトロン周波数(8.5 MHz)を印加したところ、広いエネルギー帯において ICRF 波動によるイオン加速効果が確認された。一方、開発中の新装置で想定される磁場・密度分布を用いた波動解析コードの計算によると、装置端部と同様の勾配のある磁場領域にアンテナを設置した方が加熱効率が高くなる結果が得られた。

【10】 GAMMA 10/PDX におけるデュアルパス・トムソン散乱計測システムによる電子温度・密度計測

タンデムミラーGAMMA 10/PDXでは、主閉じ込め域であるセントラル部、及び、端損失粒子を利用したエンド部におけるダイバータ模擬実験部 (D-module) の電子温度・密度を直接計測するためにデュアルパス・トムソン散乱計測システムを開発した。これは、これまでに GAMMA 10/PDXに導入してきたセントラル部トムソン散乱計測システムとエンド部トムソン散乱計測システムを一つのレーザー発振装置を用いて、同時に計測できるようにしたものである。これまで、エンド部トムソン散乱計測システムは、セントラル部システムのレーザーを利用しており、セントラル部トムソン(散乱計測システムは使用できなかった。これを、レーザーの偏向制御によって、エンド部へ分岐して、セントラル部とエンド部で同時にトムソン散乱計測可能とした。図 1 にデュアルパス・トムソン散乱計測システムの概略図 (a)、及びD-moduleの計測配置図 (b)を示す。エンド部トムソン散乱計測システムは、これまで迷光の影響と電磁ノイ

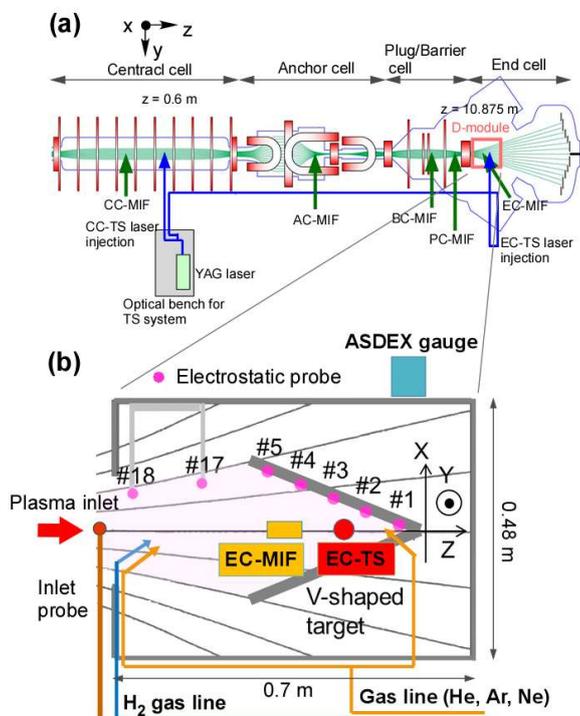


図 1 : デュアルパス・トムソン散乱計測システム (a)、及び、D-module の計測配置図 (b)。

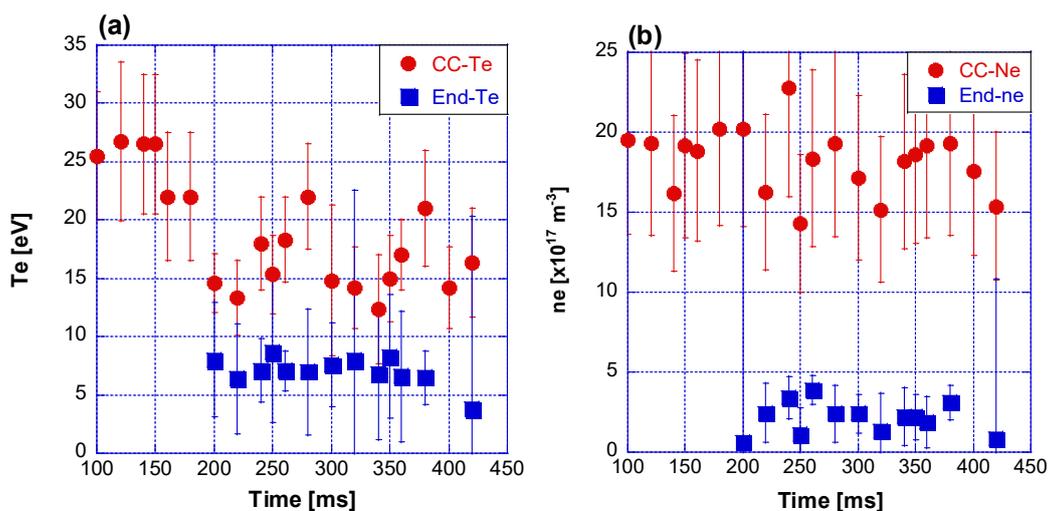


図2：デュアルパス・トムソン散乱計測システムで計測したセントラル部とエンド部の電子温度 (a) と電子密度の時間変化 (b)。

ズが強く、トムソン散乱信号を取得することが難しかったが、レーザー・アパーチャーを取り付けることで迷光を抑制し、電磁波シールドクロスを用いてポリクロメーターと電源を遮蔽することによって大幅に電磁ノイズを抑制できた。図2に、セントラル部とエンド部のトムソン散乱計測システムで計測した電子温度 (a) と電子密度 (b) の時間変化を示す。この時のプラズマは、水素ガスをD-module内にプラズマ生成時刻からプレナム圧750mbarで入射して非接触プラズマ生成を行っている。

本研究によって、コア・エッジプラズマの同時計測が可能となり、非接触プラズマ生成時のダイバータ板上流部プラズマのパラメータについて調べることが可能となる。

一方、マルチパス・トムソン散乱計測システムについては、マルチパス・システムにおいてレーザー強度がパス数の増加によって減衰するといった問題点の改良のため、レーザー強度が減衰したところでレーザーアンプを用いてプローブレーザーのパワーを再度増強し、散乱信号を安定して測定できるようなマルチパス・システムを新たに構築した。本年度は、アンプ付きマルチパス・トムソン散乱計測システムをプラズマ計測に適用し、アンプ後のトムソン散乱信号の取得に成功し、散乱光強度が1パスによるトムソン散乱信号の約5倍に改善した。これは、アンプを用いないマルチパス・システムの1.2倍に相当する。一方、電子温度測定精度は、1パスのトムソン散乱計測に比べて5倍程度改善している。そして、パス毎の電子温度解析を行うことで、電子温度の高時間分解計測の長時間化に成功した。図3に、高時間分解電子温度計測結果を示す。測定したプラズマは、エンド部へのガス入射実験であ

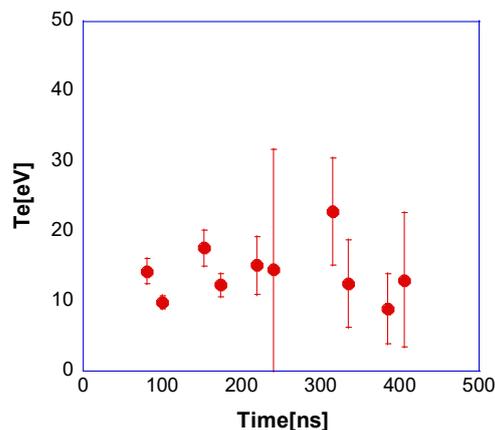


図3：高時間分解電子温度計測結果。

ったため、温度が低く高速で変化するプラズマではなかったが、20 ns、50 ns程度の時間間隔で電子温度が計測できた。また、通常のマルチパス・システムでは計測できなかった300 ns以降の電子温度の変化まで計測可能であった。このことから、アンプ付きマルチパス・システムでは、シングルパス・システムに比べて、トムソン散乱信号強度は約5倍増加し、電子温度計測精度も約5倍改善し、電子温度計測可能時間も400 ns程度まで延長されることが分かった。

【11】コム・ドップラー反射計の開発と密度揺動速度の時間・空間構造計測

揺動や乱流等の発生・抑制機構の解明には種々の情報の多点同時計測が不可欠である。本研究では、GAMMA 10/PDX 主閉じ込め部（セントラル部）の密度揺動の周方向回転速度を、径方向について多点同時計測するドップラー反射計の開発を行っている。本システムは、多周波数のプローブ信号を同時入射可能なコム発振器を用いている。

今年度は、図1に示した周波数コム・ドップラー反射計全8チャンネルの稼働を目指して主に以下の整備・調整を行った。まず、バンドパス・フィルタ（BPF）回路の増設と直交ミキサ（I-Q ミキサ）に入力する信号のパワー調整を進めた。8チャンネルのうち ch. 1はRF周波数11.8 GHzを選択する1GHz BPFの特性に問題があり、隣接する不要なRF信号（11.8 GHz ± 200 MHz）を十分に減衰できなかったため今回は導入しなかった。製作したBPF回路の写真を図2に示す。

次に、今回200MHz発振器として位相雑音の少ないOCXO（Oven Controlled Crystal Oscillator）を試したところ、搬送波の位相雑音は低減したがミキサのIF出力において搬送波に対し差周波数が数十kHz及びその整数倍のスペリアス信号が発生した。これは200MHz発振器出力から生成されるRFとLO（10.8 GHz）間の微小な周波数差が原因と考えられ、LO周波数を微調整するとスペリアス信号は発生しなくなった。しかしながら今回はこの周波数差の時間変動を確認する時間がなかったため、位相雑音特性は劣るがphase lockが可能な別の発振器を用いた。

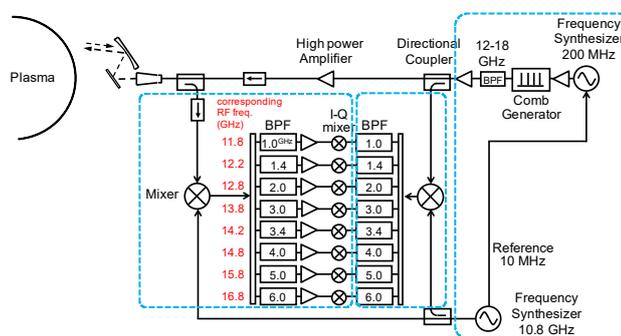


図1 周波数コム・ドップラー反射計の概略図



図2 製作したBPF回路（左;RF、系右;LO系）

更に、I-Q ミキサからの In-phase (I) 信号と Quadrature (Q) 信号を PXI-6133 (2.5MS/s) 2 台を用いて収集する取込み系を整備した。本システムを GAMMA 10/PDX のセントラル部 (Z=+60 cm) に設置されている入射角度可変アンテナシステムに接続した。

本システムを GAMMA 10/PDX のプラズマ計測に適用した。ICRF で生成されたプラズマに対し $t=200-205$ ms にセントラル部 ECH (C-ECH) 90kW による追加熱を行った実験 [図 3(a) に反磁性量、線電子密度を示す] で、コム・ドップラー反射計 7 チャンネル (7 入射周波数) より得られたドップラーシフト周波数の時間変化を図 3(b) に示す。ドップラーシフト周波数は複素信号スペクトルの重心 (COG) で評価しており、これは密度揺動の回転速度を表す簡易的な指標となる。本実験ではアンテナミラー設定角度が +1 度で、密度揺動の回転方向はドップラーシフト周波数が正の場合はイオン反磁性方向であり、負の場合は電子反磁性方向となる。

複素スペクトルは 2048 点の FFT 解析より求めており時間分解能は ~ 0.82 ms である。このときの観測点の同定はまだできていないが、プラズマ半径 $a = 18$ cm に対し $r/a > 0.5$ の周辺部を観測していると考えられる。入射周波数が低いほどより径方向外側を観測しているが、密度分布は時間変化しているためある一つの入射周波数に対して観測点は時間的に変化している。

図 4 に C-ECH 印加時間帯の各信号の拡大図を示す。本放電では反磁性量・線密度は C-ECH 印加により短時間増加したのち減少し、印加が終了すると再び増加した。このとき観測している各入射周波数でドップラーシフト周波数が大きく変動する様子が観測された。多くの入射周波数でドップラーシフトは時間的に正負をまたいで変動しており、回転方向が反転している可能性が示唆された。ただしプラズマの位置が大きく変動している場合にも、相対的にカットオフ面に対する入射角度が変化しドップラーシフト周波数も変化するため

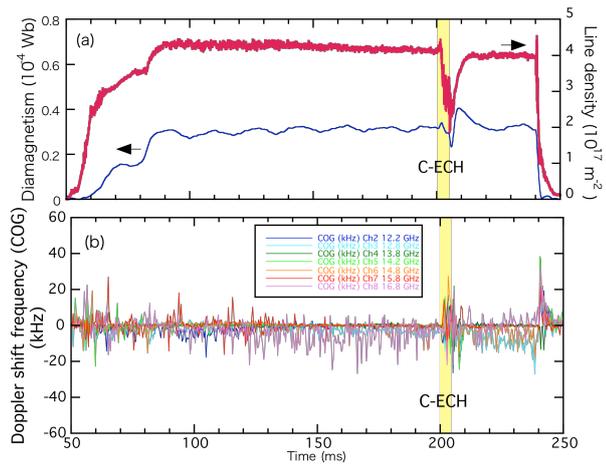


図 3 (a)反磁性量と線電子密度の時間変化。(b)コム・ドップラー反射計で計測したドップラーシフト周波数の時間変化。

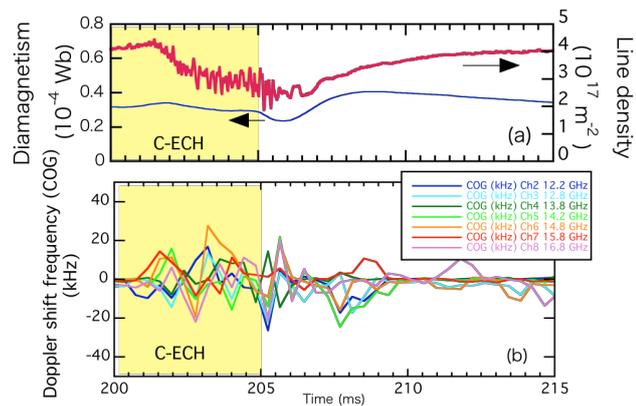


図 4 C-ECH 時間帯の拡大図。(a) 反磁性量と線電子密度の時間変化。(b) ドップラーシフト周波数。

注意が必要である。今後更に詳細な解析を行う予定である。

今年度はコム・ドップラー反射計（7チャンネル）を製作しプラズマ実験への適用を開始した。今後は、1GHz BPF回路の追加や、今回使用しなかった位相雑音特性の良いOCXOとL0間でphase lockをかけるシステムに変更しノイズを低減する等の改良を進めつつプラズマ計測を行う予定である。

<論文>

（査読論文）

01. Y. KINOSHITA, N. EZUMI, K. NOJIRI, T. IIJIMA, A. TERAKADO, T. MIKAMI, S. TOGO, K. KOBAYASHI, M. SAKAMOTO, Y. NAKASHIMA, J. KOHAGURA, M. YOSHIKAWA, H. TANAKA, S. MASUZAKI, “Evaluation of Electron Temperature and density Using Ion sensitive Probe for Open Field Plasma in the End-Region of GAMMA10/PDX”, Plasma and Fusion Research 14, (2019) 2402063.
02. N. Ohno, M. Seki, H. Ohshima, H. Tanaka, S. Kajita, Y. Hayashi, H. Natsume, H. Takano, I. Saeki, M. Yoshikawa, H. van der Meiden, “Investigation of recombination front region in detached plasmas in a linear divertor plasma simulator”, Nuclear Materials and Energy 19, (2019) 458-462.
03. T. Kariya, R. Minami, T. Imai, M. Okada, F. Motoyoshi, T. Numakura, Y. Nakashima, H. Idei, T. Onchi, K. Hanada, T. Shimozuma, Y. Yoshimura, H. Takahashi, S. Kubo, Y. Oda, R. Ikeda, K. Sakamoto, M. Ono, K. Nagasaki, T. Eguchi, Y. Mitsunaka, “Development of High Power Gyrotrons for Advanced Fusion Devices and DEMO”, Nuclear Fusion 59, 6 (2019) 066009.
04. N. Ezumi, T. Iijima, M. Sakamoto, Y. Nakashima, M. Hirata, M. Ichimura, R. Ikezoe, T. Imai, T. Kariya, I. Katanuma, J. Kohagura, R. Minami, T. Numakura, M. Yoshikawa, S. Togo, M. S. Islam, M. M. Islam, K. Nojiri, A. Terakado, S. Jang, Y. Kinoshita, T. Mikami, S. Yamashita, T. Yoshimoto, T. Hara, A. Hatayama, K. Ichimura, S. Kado, S. Masuzaki, T. Nakano, N. Ohno, S. Sawada, H. Tanaka, A. Tonegawa, R. Perillo, “Synergistic effect of nitrogen and hydrogen seeding gases on plasma detachment in the GAMMA 10/PDX tandem mirror”, Nuclear Fusion 59, 6 (2019) 066030.
05. K. Nojiri, M. Sakamoto, N. Ezumi, A. Terakado, T. Iijima, S. Togo, T. Yokodo, Y. Kinoshita, T. Mikami, T. Yoshimoto, S. Yamashita, J. Kohagura, M. Yoshikawa, and Y. Nakashima, “Effects of gas puff and pump on plasma detachment associated with molecular activated recombination in GAMMA 10/PDX”, Nuclear Materials and Energy 20, (2019) 100691.
06. M. Yoshikawa, J. Kohagura, Y. Shima, H. Nakanishi, T. Mouri, S. Suto, K. Nojiri, A. Terakado, N. Ezumi, M. Sakamoto, Y. Nakashima, R. Minami, I. Yamada, R. Yasuhara, H. Funaba, T. Minami, N. Kenmochi, D. Kuwahara and H. Van der Meiden, “First electron temperature and density measurements of D-module plasma in GAMMA 10/PDX using Thomson scattering and microwave interferometer systems”, Journal of Instrumentation 14, (2019) P06033-1-11.
07. K. NOJIRI, M. SAKAMOTO, N. EZUMI, S. TOGO, T. IIJIMA, S. JANG, A. TERAKADO, Y. KINOSHITA, T. HARA, T. TAKIZUKA, Y. OGAWA, Y. NAKASHIMA, “Effect of high ion temperature on polytropic coefficient in the end region of GAMMA 10/PDX”, Plasma and Fusion Research 14, (2019) 2401086.
08. M. Yoshikawa, J. Kohagura, R. Ikezoe, M. Sakamoto, N. Ezumi, R. Minami, M. Hirata, A. Terakado, K. Nojiri, S. Jang, A. Tanaka, M. Ichimura, T. Imai and Y. Nakashima, “Suppression of flute-like fluctuation by potential formation in GAMMA 10/PDX”, Nuclear Fusion 59, 7 (2019) 076031-1-7.
09. S. Togo, T. Takizuka, D. Reiser, M. Sakamoto, N. Ezumi, Y. Ogawa, K. Nojiri, K. Ibano, Y. Li, Y. Nakashima, “Self-consistent Simulation of Supersonic Plasma Flows in Advanced Divertors”, Nuclear Fusion 59, 7 (2019) 076041.
10. A. Terakado, M. Sakamoto, N. Ezumi, K. Nojiri, T. Mikami, Y. Kinoshita, S. Togo, T. Iijima, Y. Nakashima, “Dynamic Response of Plasma Detachment Caused by MAR to Transient Particle Flux in GAMMA 10/PDX”, Plasma and Fusion Research 14, (2019) 2402109.
11. M. YUNOKI, H. IDEI, K. NAKAMURA, M. FUKUYAMA, R. ASHIDA, A. OGATA, T. ONCHI, R. IKEZOE, M. YOSHIKAWA, “Prototype Quasi-optical Launcher System of 4 mm Round-trip Interferometer for the QUEST Spherical Tokamak Experiments”, Plasma and Fusion Research 14, (2019) 3402122-1-6.
12. A. Terakado, M. Sakamoto, N. Ezumi, K. Nojiri, T. Mikami, Y. Kinoshita, S. Togo, T. Iijima,

- K. Sawada, S. Kado, Y. Nakashima, “Reaction processes of molecular activated recombination leading to detachment of divertor simulation plasma in GAMMA 10/PDX”, Nuclear Materials and Energy 20, (2019) 100679.
13. M. Yoshikawa, H. v. d. Meiden, R. Al, J. Vernimmen, J. Kohagura, Y. Shima, M. Sakamoto, Y. Nakashima, “Low frequency fluctuation study using a microwave interferometer and H α line emission measurement systems in the Pilot-PSI device”, AIP Advances 9, (2019) 085225-1-7.
 14. T. Iijima, K. Nojiri, A. Terakado, M.S. Islam, T. Yoshimoto, T. Hara, S. Yamashita, N. Ezumi, M. Sakamoto, and Y. Nakashima, “Characteristics of Upstream and Downstream Plasma Parameters from Langmuir Probes and Visible Spectrometers in the D-module of GAMMA 10/PDX”, Plasma and Fusion Research 14, (2019) 2401156.
 15. M.S. Islam, Y. Nakashima, A. Hatayama, S. Ishiguro, K. Hoshino, N. Ezumi, M. Sakamoto, “Study of end-cell plasma parameters of GAMMA 10/PDX by the LINDA code”, Plasma Physics and Controlled Fusion 61, 12 (2019) 125005.
 16. H. Idei, T. Onchi, K. Mishra, H. Zushi, T. Kariya, T. Imai; O. Watanabe, R. Ikezoe, K. Hanada, M. Ono, A. Ejiri, J. Qian, K. Nakamura, A. Fujisawa, Y. Nagashima, M. Hasegawa, K. Matsuoka, A. Fukuyama, S. Kubo, M. Yoshikawa, M. Sakamoto, S. Kawasaki, A. Higashijima, S. Ide, Y. Takase, S. Murakami, “Electron heating in over-dense plasma with dual-frequency electron cyclotron waves in the QUEST spherical tokamak”, Nuclear Fusion 60, (2020) 016030.
 17. K. Tabata, Y. Harada, Y. Nakamura, K. Komurasaki, H. Koizumi, T. Kariya, R. Minami, “Experimental investigation of ionization front propagating in a 28 GHz gyrotron beam: Observation of plasma structure and spectroscopic measurement of gas temperature”, Journal of Applied Physics 127, 6 (2020).
 18. K. Shimamura, M. Matsukura, N. Ozaki, K. Miyawaki, S. Yokota, R. Minami, T. Kariya, T. Imai, “Wireless Power Transmission Efficiency for Microwave Rocket using 28 GHz Gyrotron”, Journal of Spacecraft and Rockets, (2020). DOI: 10.2514/1.A34726

<学位論文>

学位論文（博士）[数理物質科学研究科]

01. ジャン ソウオン [博士（理学），数理物質科学研究科物理学専攻]
Enhancement of End-loss Ion Flux Using Ion Cyclotron Range of Frequency Waves on GAMMA 10/PDX

学位論文（修士）[数理物質科学研究科]

02. 久保田裕士 [修士（理学），数理物質科学研究科物理学専攻]
高密度ミラープラズマのイオン加熱に向けた3次元波動伝搬解析コードを用いた加熱効率の評価
03. 今野直斗 [修士（理学），数理物質科学研究科物理学専攻]
GAMMA 10/PDXにおけるセントラル ECH 印加時の金中性粒子ビームプローブを用いた電位の2点同時計測
04. 須藤駿 [修士（理学），数理物質科学研究科物理学専攻]
水素とアルゴンガス導入時の GAMMA 10/PDX ダイバータ模擬実験における電子密度揺動解析
05. 関根諒 [修士（理学），数理物質科学研究科物理学専攻]
GAMMA 10/PDX セントラル部におけるマイクロ波反射計を用いた温度非等方性に起因する自発励起波動の空間構造に関する研究
06. 北條俊孝 [修士（理学），数理物質科学研究科物理学専攻]
GAMMA 10/PDX セントラル部における ECH 偏波制御時の加熱効果に関する研究
07. 毛利友弥 [修士（理学），数理物質科学研究科物理学専攻]
GAMMA 10 における再生レーザー増幅方式を用いた長時間マルチパス・トムソン散乱計測システムの開発
08. 本吉郁哉 [修士（理学），数理物質科学研究科物理学専攻]
プラズマ加熱用大電力ジャイロトロン設計及び性能評価試験と端損失熱流束生成実験
09. 八房拓也 [修士（理学），数理物質科学研究科物理学専攻]
GAMMA 10/PDX セントラル部における ECH アンテナの改良
10. 安藤泰斗 [修士（工学），数理物質科学研究科電子・物理工学専攻]

GAMMA10/PDX ダイバータ模擬プラズマ上流部におけるイメージングボロメータ計測システムの開発

11. 原利樹 [修士 (工学), 数理物質科学研究科電子・物理工学専攻]
GAMMA 10/PDX ダイバータ模擬プラズマの上流・下流計測に基づく非接触プラズマ形成過程におけるエネルギー収支に関する研究

学位論文 (学士)

12. 木保孝則 [学士 (理学), 理工学群物理学類]
28/35GHz 2 周波数ジャイロトロン of 続動作時に向けたサファイア製ダブルディスク窓の性能評価
13. 相澤拓実 [学士 (理学), 理工学群物理学類]
GAMMA 10/PDX エンド部に印加した ICRF 波動による端損失イオンへの加熱効果評価
14. 有泉佑哉 [学士 (理学), 理工学群物理学類]
燃料粒子追補給実験における多チャンネルマイクロ波干渉計によるプラズマ密度計測
15. 薄田興平 [学士 (理学), 理工学群物理学類]
GAMMA10 セントラル部における Thomson 散乱計測システムを用いた空間同時多点計測
16. 折笠直輝 [学士 (理学), 理工学群物理学類]
小型プラズマ照射装置 APSEDAS におけるタンタルとタングステンへの重水素プラズマ照射時の分光測定
17. 萱野美来 [学士 (理学), 理工学群物理学類]
小型プラズマ生成装置 APSEDAS におけるタングステンの重水素吸蔵および 水素同位体交換の評価
18. 蒲生宙樹 [学士 (理学), 理工学群物理学類]
GAMMA 10/PDX ダイバータ模擬プラズマにおける分光計測に基づく水素原子・分子発光の V 字ターゲット板角度依存性の評価
19. 小島瑤平 [学士 (理学), 理工学群物理学類]
ジャイロトロン RF 伝送系の伝送効率評価試験
20. 塚貴久 [学士 (理学), 理工学群物理学類]
小型プラズマ生成装置 APSEDAS におけるヘリウムプラズマ照射されたタングステンの重水素吸蔵特性
21. 佐藤巧基 [学士 (理学), 理工学群物理学類]
GAMMA 10/PDX における 2 方向電位計測を用いた電位の 2 次元分布の考察
22. 杉山吏作 [学士 (理学), 理工学群物理学類]
GAMMA 10/PDX における静電プローブを用いたダイバータ模擬プラズマの V 字ターゲット角度依存性評価
23. 高見耀平 [学士 (理学), 理工学群物理学類]
高速カメラを用いた V 字ターゲット板角度の違いによる GAMMA 10/PDX ダイバータ模擬プラズマの空間分布変化の観測
24. 竹田陽平 [学士 (理学), 理工学群物理学類]
GAMMA 10/PDX プラズマにおける粒子補給時の高速カメラによる H α 線計測
25. 多田秀美 [学士 (理学), 理工学群物理学類]
HIDT コードを用いたヘリウムプラズマ照射タングステンにおける重水素吸蔵特性のシミュレーション
26. 野口大地 [学士 (理学), 理工学群物理学類]
GAMMA 10/PDX セントラル部における外部印加波動に起因する ICRF 差周波波動の解析
27. 平原史隆 [学士 (理学), 理工学群物理学類]
2 次元 H α 線計測器を用いたガンマ 10/PDX セントラル部プラズマ計測
28. 近藤綾音 [学士 (工学), 理工学群応用理工学類]
熱陰極アーク放電プラズマ源の開発とその大口径化に関する研究
29. 北爪裕生 [学士 (工学), 理工学群応用理工学類]
GAMMA10/PDX セントラル部新型アンテナのマイクロ波解析と特性評価

<講演>

01. M. Yoshikawa, J. Kohagura, M. Chikatsu, Y. Shima, M. Sakamoto, Y. Nakashima, N. Ezumi, R. Minami, R. Yasuhara, I. Yamada, H. Funaba, T. Minami, and N. Kenmochi, “First electron temperature and density measurements of D-module plasma in GAMMA 10/PDX using Thomson scattering and microwave interferometer systems”, The 17th International Conference on Plasma-Facing Materials and Components for Fusion Applications (PFMC-17) (Eindhoven, the Netherlands, 2019.5.21-2019.5.24) PB-093.
02. M. OSAKABE, H. TAKAHASHI, S. MURAKAMI, K. TANAKA, S. INAGAKI, S. MASUZAKI, M. SAKAMOTO, Y. SUZUKI, K. NAGASAKI, T. MORISAKI, “Recent results of LHD deuterium experiment”, 28th IEEE Symposium on Fusion Engineering (SOFE 2019) (Florida, USA, 2019.6.2-2019.6.6) Oral 6B.
03. M. Sakamoto, A. Terakado, K. Nojiria, N. Ezumi, “Impact of a high temperature target on hydrogen recycling”, 4th International Workshop on Models and Data for Plasma-Material Interaction in Fusion Devices (NIFS, Japan, 2019.6.18-2019.6.20) O-7.
04. M. Sakamoto, M. Takeda, Y. Suzuki, A. Terakado, N. Ezumi, “Experiments of hydrogen isotope exchange in tungsten in a compact plasma device APSEDAS”, The Joint Conference of XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases (XXXIV ICPG) and the 10th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-10) (Hokkaido, Japan, 2019.7.14-2019.7.19) PO18PM002.
05. Md. Shahinul Islam, Y. Nakashima, R. Tatsumi, A. Hatayama, S. Ishiguro, H. Hasegawa, “Study of End-loss Plasma of GAMMA 10/PDX toward the plasma detachment by using the Multi-Fluid Code “LINDA”, 17th international workshop on Plasma Edge Theory (PET-17) in fusion devices, (UCSD, La Jolla, California, USA, 2019.8.19-2019.8.21) PII.14.
06. S. Sumida, K. Shinohara, M. Ichimura, A. Bierwage, S. Ide, “Analysis of velocity distribution of D-D fusion products driving ion cyclotron emission on JT-60U”, 16th IAEA Technical Meeting on Energetic Particles in Magnetic Confinement Systems - Theory of Plasma Instabilities (Shizuoka City, Japan, 2019.9.3-2019.9.6) O16.
07. K. Nojiri, M. Sakamoto, N. Ezumi, A. Terakado, T. Iijima, S. Togo, J. Kohagura, M. Yoshikawa, Y. Nakashima, “Plasma detachment and its response to particle exhaust in the GAMMA 10/PDX tandem mirror”, The 10th International Symposium on Advanced Energy Science (Kyoto, Japan, 2019.9.4-2019.9.6).
08. T. Iijima, T. Hara, K. Nojiri, A. Terakado, J. Kohagura, M. Yoshikawa, N. Ezumi, M. Sakamoto, Y. Nakashima, “Spatial distribution characteristics of detached plasma in divertor simulation experimental module of GAMMA 10/PDX”, The 10th International Symposium on Advanced Energy Science (Kyoto, Japan, 2019.9.4-2019.9.6).
09. H. Idei, T. Onchi, T. Kariya, T. Tsujimura, S. Kubo, S. Kobayashi, T. Imai, M. Hasegawa, K. Nakamura, K. Mishra, H. Zushi, M. Fukuyama, M. Yunoki, S. Kojima, O. Watanabe, K. Kuroda, K. Hanada, K. Matsuoka, A. Ejiri, N. Matsumoto, Y. Kawamata, R. Matsuzaki, Y. Peng, M. Ono, A. Fukuyama, N. Bertelli, A. Higashijima, T. Nagata, S. Shimabukoro, Y. Takase, S. Murakami, “Non-inductive plasma ramp-up using electron cyclotron waves launched from the low-field side in the QUEST spherical tokamaks”, US-Japan Workshop on RF Heating Physics (PPPL, Princeton, USA, 2019.9.4-2019.9.6).
10. M. Yoshikawa, J. Kohagura, Y. Shima, H. Nakahishi, T. Mouri, S. Suto, N. Ezumi, M. Sakamoto, Y. Nakashima, R. Minami, I. Yamada, R. Yasuhara, H. Funaba, T. Minami, N. Kenmochi, D. Kuwahara, H. VD. Meiden, “Progress of the divertor-relevant experiments in the tandem mirror GAMMA 10/PDX”, The 10th International Symposium of Advanced Energy Science (Kyoto, Japan, 2019.9.4-2019.9.6) Invited.
11. M. Yoshikawa, J. Kohagura, Y. Shima, H. Nakahishi, T. Mouri, S. Suto, K. Nojiri, T. Iijima, N. Ezumi, M. Sakamoto, Y. Nakashima, R. Minami, I. Yamada, R. Yasuhara, H. Funaba, T. Minami, N. Kenmochi, D. Kuwahara, and H. VD. Meiden, “Electron temperature and density measurements by the dual-pass Thomson scattering system in GAMMA 10/PDX”, The 10th International Symposium of Advanced Energy Science (Kyoto, Japan, 2019.9.4-2019.9.6).
12. T. Shimozuma, S. Kubo, Y. Yoshimura, M. Nishiura, H. Igami, H. Takahashi, T. Tsujimura, R. Yanai, S. Ito, Y. Mizuno, H. Takubo, S. Kobayashi, H. Numakura, R. Minami, T. Kariya, M. Sakamoto, “Present Status of the LHD-ECRH System and Activities of Gyrotron and Transmission-line Improvement”, US-EU-JPN RF Heating Technology Workshop 2019 (Freiburg, Germany, 2019.9.9-2019.9.12).
13. Y. Kubota, S. Jang, M. Hirata, M. Ichimura, R. Sekine, H. Kayano, K. Sugata, A. Fukuyama, R. Ikezoe, T. Aizawa, D. Noguchi, N. Ezumi, Y. Nakashima, M. Sakamoto, “Research of ICRF

- heating in simple mirror cell on GAMMA 10/PDX with TASK/WF code”, 61st Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (Fort Lauderdale, Florida, USA, 2019.10.21-2019.10.25) PP10.00036.
14. S. Jang, M. Ichimura, M. Hirata, R. Ikezoe, N. Ezumi, Y. Kubota, R. Sekine, H. Kayano, K. Sugata, T. Aizawa, D. Noguchi, M. Sakamoto, “Effects of ICRF waves on the axial transport of mirror confined ions in GAMMA 10/PDX”, 61st Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (Fort Lauderdale, Florida, USA, 2019.10.21-2019.10.25) PP10.00037.
 15. R. Ikezoe, T. Onchi, S. Jang, M. Ichimura, M. Hirata, “Experimental evaluation of complexity of ions interacted with high-frequency waves in a mirror field”, 61st Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (Fort Lauderdale, Florida, USA, 2019.10.21-2019.10.25) PP10.00041.
 16. T. Onchi, H. Idei, M. Fukuyama, M. Hasegawa, K. Kuroda, R. Ikezoe, K. Hanada, A. Ejiri, T. Kariya, A. Fukuyama, M. Ono, “Effect of multiple electron cyclotron harmonics on current drive in QUEST spherical tokamak”, 61st Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (Fort Lauderdale, Florida, USA, 2019.10.21-2019.10.25).
 17. S. Kojima, K. Hanada, H. Idei, T. Onchi, R. Ikezoe, Y. Nagashima, M. Hasegawa, K. Kuroda, K. Nakamura, A. Higashijima, T. Nagata, S. Kawasaki, S. Shimabukuro, H. Elserafy, F. Masaharu, A. Ejiri, T. Shikama, N. Yoneda, R. Yoneda, T. Kariya, Y. Takase, M. Murakami, N. Bertelli, M. Ono, “Branching heated electron energy during plasma current start-up using 2nd harmonics ECCD on QUEST”, 61st Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (Fort Lauderdale, Florida, USA, 2019.10.21-2019.10.25).
 18. M. Sakamoto, N. Ezumi, T. Kariya, M. Yoshikawa, R. Minami, M. Hirata, J. Kohagura, T. Numakura, T. Iijima, A. Terakado, K. Nojiri, T. Imai, M. Ichimura, I. Katanuma, N. Nakashima, “Divertor simulation experiments in GAMMA 10/PDX and present status of GAMMA -PDX-SC project”, 7th International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion (PMIF 2019) (Scripps Seaside Forum, La Jolla, CA, USA, 2019.10.22-2019.10.25) No. 12.
 19. N. Ezumi, H. Gamo, T. Sugiyama, Y. Takami, T. Iijima, K. Nojiri, A. Terakado, T. Hara, Y. Ando, M. Sakamoto, M. Hirata, J. Kohagura, M. Yoshikawa, Y. Nakashima, R. Perillo, T. Kuwabara, H. Tanaka, N. Ohno, K. Sawada, A. Tonegawa and S. Masuzaki, “Plasma detachment caused by composite gas seeding in front of variable angle V-shaped target of GAMMA 10/PDX”, 7th International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion (PMIF 2019) (Scripps Seaside Forum, La Jolla, CA, USA, 2019.10.22-2019.10.25) No. 13.
 20. N. Ohno, N. Ezumi, Y. Hayashi, S. Kajita, H. Tanaka, H. Takano, M. Takagi, S. Masuzaki, M. Aramaki, M. Yoshikawa, H. J. van der Meiden, “Upgrading of dc discharge system and diagnostics for plasma detachment study in linear plasma device NAGDIS-II”, 7th International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion (PMIF 2019) (Scripps Seaside Forum, La Jolla, CA, USA, 2019.10.22-2019.10.25).
 21. S. Kojima, K. Hanada, H. Idei, T. Onchi, R. Ikezo, Y. Nagashima, M. Hasegawa, K. Kuroda, K. Nakamura, H. Elserafy, M. Fukuyama, T. Shikama, N. Yoneda, S. Murakami, R. Yoneda, T. Kariya, A. Ejiri, Y. Takase, M. Ono, “Neutral particle - electron collision effect for branching plasma current ramp-up on 28 GHz 2nd harmonics ECCD”, 20th International Spherical Torus Workshop (ISTW2019) (Frascati, Italy, 2019.10.28-2019.10.31).
 22. M. Osakabe, H. Takahashi, S. Murakami, K. Tanaka, S. Inagaki, S. Masuzaki, M. Sakamoto, Y. Suzuki, K. Nagasaki, M. Isobe, T. Morisaki, and the LHD experiment group, “Recent results of the LHD deuterium experiment”, The 28th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (ITC28) (Toki, Japan, 2019.11.5-2019.11.8) PL4 Plenary.
 23. N. Ezumi, R. Perillo, T. Iijima, K. Nojiri, A. Terakado, M. Sakamoto, Y. Nakashima, M. Hirata, J. Kohagura, M. Yoshikawa, T. Hara, Y. Ando, H. Gamo, T. Sugiyama, Y. Takami, K. Honma, A. Kondo, T. Kuwabara, H. Tanaka, N. Ohno, K. Sawada, S. Kado, A. Tonegawa and S. Masuzaki, “Plasma detachment in divertor simulation experimental module of GAMMA 10/PDX: role of molecule gases”, The 28th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (ITC28) (Toki, Japan, 2019.11.5-2019.11.8) I4-01 Invited.
 24. M.S. Islam, Y. Nakashima, T. Iijima, T. Hara, K. Nojiri, A. Terakado, N. Ezumi, M. Yoshikawa, T. Kariya, R. Minami, K. Hoshino, A. Hatayama, H. Hasegawa, S. Ishiguro, and M. Sakamoto, “Study of the Transient Behavior of Detached Plasma during Xe Gas Injection into the D-module of GAMMA 10/PDX”, The 28th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (ITC28) (Toki, Japan, 2019.11.5-2019.11.8) O1-03.
 25. H. Takeno, K. Ichimura, H. Matsuura, Y. Nakashima, H. Kanno, S. Nakamoto, K. Ookawa, M. Hirata, “Simulation experiment of thermal load reduction by direct energy conversion using an ion beam

- injector”, The 28th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (ITC28) (Toki, Japan, 2019/11/5-2019/11/8) P1-51.
26. K. ICHIMURA, S. YAMASHITA, N. EZUMI, Y. NAKASHIMA, M. FUKUMOTO, M. SHOJI, M. SAKAMOTO, T. IJIMA, A. TERAKADO, K. NOJIRI, H. TAKENO, “Evaluation of the Gas Pressure in Divertor Simulation Experiments Seeded with Nitrogen-Hydrogen Mixed Radiator”, The 28th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (ITC28) (Toki, Japan, 2019.11.5-2019.11.8) P2-39.
 27. T. Hara, T. Iijima, N. Ezumi, K. Nojiri, A. Terakado, M.S. Islam, M.Hirata, M. Sakamoto, Y. Nakashima, “Evaluation of spatial characteristics of divertor simulation plasma during impurity seedings in GAMMA 10/PDX”, The 28th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (ITC28) (Toki, Japan, 2019.11.5-2019.11.8) P2-45.
 28. N. Ashikawa, Z.H. Hu, Y.W. Yu, K. Nojiri, Y. Suzuki, J. Huang, Y. Xu, M. Sakamoto, J.S. Hu, G.N. Luo, “Deuterium trapping on coated lithium layer in EAST”, The 12th Asia Plasma and Fusion Association Meeting (Shenzen, China, 2019.12.11-2019.12.13).
 29. 野尻訓平, 坂本瑞樹, 江角直道, 飯島貴朗, ジャンソウオン, 寺門明紘, 原利樹, 中嶋洋輔, “静電プローブを用いたイオン温度評価法に関する検討”, 令和元年度第1回「境界層プラズマダイナミクスの更なる理解に向けた分野横断的研究」研究会, (核融合科学研究所, 2019. 8. 6-2019. 8. 7).
 30. 飯島貴朗, “GAMMA 10/PDXにおける非接触プラズマでの空間分布特性および流速計測”, 令和元年度第1回「境界層プラズマダイナミクスの更なる理解に向けた分野横断的研究」研究会, (核融合科学研究所, 2019. 8. 6-2019. 8. 7).
 31. 坂本瑞樹, “ダイバータ級装置の検討状況”, 令和元年度第一壁・周辺プラズマ・ダイバータ理工学、プラズマ研究センター合同シンポジウム, (つくばイノベーション・プラザ, 2019. 9. 9-2019. 9. 10).
 32. 江角直道, “GAMMA 10/PDXにおける水素-窒素重畳入射による非接触プラズマ形成”, 令和元年度第一壁・周辺プラズマ・ダイバータ理工学、プラズマ研究センター合同シンポジウム, (つくばイノベーション・プラザ, 2019. 9. 9-2019. 9. 10).
 33. 坂本瑞樹, “筑波大学プラズマ研究センターにおける成果概要と研究計画”, 令和元年度第一壁・周辺プラズマ・ダイバータ理工学、プラズマ研究センター合同シンポジウム, (つくばイノベーション・プラザ, 2019. 9. 9-2019. 9. 10).
 34. 吉川正志, “GAMMA 10/PDXにおけるデュアルパス・トムソン散乱計測による電子温度・密度計測”, 令和元年度第一壁・周辺プラズマ・ダイバータ理工学、プラズマ研究センター合同シンポジウム, (つくばイノベーション・プラザ, 2019. 9. 9-2019. 9. 10).
 35. 小波蔵純子, “GAMMA 10/PDXにおけるドップラー反射計の開発とプラズマ回転速度計測”, 令和元年度第一壁・周辺プラズマ・ダイバータ理工学、プラズマ研究センター合同シンポジウム, (つくばイノベーション・プラザ, 2019. 9. 9-2019. 9. 10).
 36. 飯島貴朗, “GAMMA 10/PDXのD-moduleにおける非接触プラズマ生成実験およびその空間特性”, 令和元年度第一壁・周辺プラズマ・ダイバータ理工学、プラズマ研究センター合同シンポジウム, (つくばイノベーション・プラザ, 2019. 9. 9-2019. 9. 10).
 37. 平田真史, 池添竜也, 江尻晶, 福山淳, GAMMA 10/PDX group, “GAMMA 10/PDXにおける直線型高密度プラズマイオン加熱に向けた取り組み”, 令和元年度第一壁・周辺プラズマ・ダイバータ理工学、プラズマ研究センター合同シンポジウム, (つくばイノベーション・プラザ, 2019. 9. 9-2019. 9. 10).
 38. 假家強, 今井剛, 南龍太郎, 沼倉友晴, 本吉郁哉, 出射浩, 恩地拓己, 花田和明, 下妻隆, 久保伸, 吉村泰夫, 高橋裕巳, 伊神弘恵, 長崎百伸, 斉藤輝雄, 立松芳典, 山口裕資, “電子サイクロトロン高密度プラズマ加熱連携研究における2周波数(28/35GHz, 14/21GHz)ジャイロトロンの開発とECH実験への適用”, 令和元年度第一壁・周辺プラズマ・ダイバータ理工学、プラズマ研究センター合同シンポジウム, (つくばイノベーション・プラザ, 2019. 9. 9-2019. 9. 10).
 39. 池添竜也, 市村真, “実験室高温ミラープラズマにおけるアルベンイオンサイクロトロン波動の励起とその役割”, 平成31年度名古屋大学宇宙地球環境研究所共同研究集会, 「実験室・宇宙プラズマ研究集会」「あらせサイエンス会議・解析ワークショップ」合同研究集会, (東京大学, 2019. 9. 17-2019. 9. 19).

40. 江角直道, 飯島貴朗, 野尻訓平, 寺門明紘, 原利樹, 安藤泰斗, 杉山吏作, 蒲生宙樹, 高見耀平, 本間佳史, 近藤綾音, 坂本瑞樹, 平田真史, 小波蔵純子, 吉川正志, 中嶋洋輔, R. Perillo, 桑原竜弥, 田中宏彦, 大野哲靖, 澤田圭司, 利根川昭, 増崎貴, “GAMMA 10/PDXにおける窒素-水素複合入射による非接触プラズマ形成へのV字ターゲット角度の影響”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 29Ap03.
41. ジャンソウオン, 市村真, 平田真史, 池添竜也, 江角直道, 久保田裕士, 関根諒, 栢野大樹, 菅田海里, 相澤拓実, 野口大地, 坂本瑞樹, “GAMMA 10/PDXエンド部発散磁場におけるICRF波動を用いた端損失イオン加熱”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 29P17.
42. 原利樹, 飯島貴朗, 江角直道, 野尻訓平, 寺門明紘, 杉山吏作, 蒲生宙樹, 本間佳史, M. S. Islam, 平田真史, 坂本瑞樹, 中嶋洋輔, “GAMMA 10/PDXダイバータ模擬プラズマ上流・下流のプロブ計測による非接触プラズマ形成過程のエネルギー損失評価”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 29P18.
43. 飯島貴朗, 原利樹, 野尻訓平, 寺門明紘, 江角直道, 小波蔵純子, 吉川正志, 坂本瑞樹, 中嶋洋輔, “GAMMA 10/PDXのダイバータ模擬モジュールにおける非接触プラズマの空間分布および流速計測”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 29P19.
44. 久保田裕士, ジャンソウオン, 平田真史, 市村真, 関根諒, 栢野大樹, 菅田海里, 福山淳, 池添竜也, 相澤拓実, 野口大地, 江角直道, 中嶋洋輔, 坂本瑞樹, “GAMMA 10/PDX単純ミラー磁場配位における3次元TASK/WFコードを用いたICRF波動伝搬解析”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 29P20.
45. 安藤泰斗, 江角直道, 原利樹, 野尻訓平, 坂本瑞樹, 飯島貴朗, 小波蔵純子, 中嶋洋輔, 吉川正志, 寺門明紘, 向井清史, “GAMMA10/PDX ダイバータ模擬プラズマにおける放射損失パワー空間分布計測のためのイメージングボロメータシステムの開発”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 29P21.
46. 竹田将生, 坂本瑞樹, 寺門明紘, 鈴木 佑, 辻 杏樹, “水素プラズマ照射によるタンングステン中の重水素吸蔵量の変化”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 29P47.
47. 須藤駿, 吉川正志, 小波蔵純子, 坂本瑞樹, 中嶋洋輔, 飯島貴朗, 中西博之, 嶋頼子, 毛利友弥, 正木沙貴子, “水素とアルゴン導入時のGAMMA 10/PDXダイバータ模擬実験における電子密度揺動解析”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 30P07.
48. 北條俊孝, 南龍太郎, 假家強, 沼倉友晴, 今井剛, 本吉郁哉, 八房拓也, 北爪裕生, 坂本瑞樹, “GAMMA 10/PDX センtral部における ECH 偏波制御に関する研究”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 30P09.
49. 野尻訓平, 坂本瑞樹, 江角直道, 飯島貴朗, ジャンソウオン, 原利樹, 平田真史, 中嶋洋輔, 東郷訓, 滝塚知典, T.V. Tsankov, B. Unterberg, U. Czarnetzki, “GAMMA 10/PDX開放端部におけるイオンエネルギー分析器と静電プローブを用いた比熱比評価法の検討”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 30P10.
50. 毛利友弥, 吉川正志, 小波蔵純子, 中嶋洋輔, 飯島貴明, 中西博之, 嶋頼子, 須藤駿, 正木沙貴子, 坂本瑞樹, “再生レーザー増幅方式を用いたGAMMA 10センtral部の長時間マルチパス・トムソン散乱計測”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 30P19.
51. 沼倉友晴, 坂本瑞樹, 江角直道, 假家強, 吉川正志, 南龍太郎, 平田真史, 小波蔵純子, 飯島貴朗, 野尻訓平, 今井剛, 中嶋洋輔, “Vortex confinementによるミラープラズマのMHD安定性解析”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス,

2019. 11. 29-2019. 12. 2) 30P39.
52. 南龍太郎, 假家強, 今井剛, 沼倉友晴, 北條俊孝, 本吉郁哉, 八房拓也, 北爪裕生, 木保孝則, 小島瑠平, 遠藤洋一, 坂本瑞樹, “ELM模擬実験に向けたメガワット級ジャイロトロンのECHシステムへの適用”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 30P52.
 53. 恩地拓己, 出射浩, 福山雅治, 尾形大地, 芦田竜一, 木谷彰宏, 村上貴洋, 池添竜也, 長谷川真, 黒田賢剛, 花田和明, 江尻晶, 松崎亨平, 假家強, 小野雅之, 福山淳, “球状トカマクQUESTにおける28GHz電子サイクロトロン波電流スタートアップに対する複数高調波加熱の効果”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 30P53.
 54. 小波蔵純子, 正木沙貴子, 徳沢季彦, 吉川正志, 嶋頼子, 須藤駿, 野尻訓平, 飯島貴明, 中嶋洋輔, 江角直道, 坂本瑞樹, “GAMMA 10/PDXにおける多点同時計測のための周波数コム・ドップラー反射計システムの開発”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 30P70.
 55. 今野直斗, 坂本瑞樹, 江角直道, 寺門明紘, 野尻訓平, 北條俊孝, 沼倉友晴, 小波蔵純子, 南龍太郎, 假家強, 吉川正志, “GAMMA 10/PDXセントラル部におけるECH印加時の金中性粒子ビームプローブを用いた電場計測”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 30P75.
 56. 本吉郁哉, 假家強, 今井剛, 南龍太郎, 沼倉友晴, 出射浩, 恩地拓己, 坂本瑞樹, “28/35 GHz 2周波数ジャイロトロンの定常動作に向けた出力窓の性能評価”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 30P95.
 57. 八房拓也, 南龍太郎, 假家強, 沼倉友晴, 今井剛, 北條俊孝, 本吉郁哉, 北爪裕生, 坂本瑞樹, “GAMMA 10/PDXセントラル部におけるECHアンテナ系の改良”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 30P96.
 58. 関根諒, 池添竜也, ジャンソウオン, 平田真史, 市村真, 江角直道, 中嶋洋輔, 久保田裕士, 栢野大樹, 菅田海里, 相澤拓実, 野口大地, 坂本瑞樹, “GAMMA 10/PDXセントラル部における2チャンネルマイクロ波反射計を用いた自発励起波動の空間構造解析”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 01P44.
 59. 栢野大樹, ジャンソウオン, 平田真史, 市村真, 江角直道, 中嶋洋輔, 関根諒, 久保田裕士, 菅田海里, 相澤拓実, 野口大地, 池添竜也, 坂本瑞樹, “GAMMA 10/PDXセントラル部に印加したICRF波動に起因する差周波波動計測”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 01P46.
 60. M.S. Islam, Y. Nakashima, S. Ishiguro, H. Hasegawa, A. Hatayama, K. Hoshino, “Study the impact of H gas puffing on the divertor plasma parameters by the LINDA and PIC code”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 01P50.
 61. 野尻訓平, 芦川直子, 鈴木康浩, Y.W. Yu, Z.H. Hu, L. Wang, L. Meng, J. Huang, 寺門明紘, 坂本瑞樹, “超伝導トカマクEASTにおけるダイバータプラズマに対するストライク点位置変更の影響”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 01P51.
 62. 小島信一郎, 花田和明, 出射浩, 恩地拓己, 池添竜也, 永島芳彦, 長谷川真, 黒田賢剛, 中村一男, ハテム エルセラフィ, 福山雅治, 江尻晶, 四竈泰一, 米田奈央, 米田亮太, 假家強, 高瀬雄一, 村上定義, ニコラ ベルテリイ, 小野雅之, “28GHz第二高調波電流立ち上げ時における電流駆動に作用する電子エネルギー分岐”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 01Ca01.
 63. 出射浩, 恩地拓己, 假家強, 辻村亨, 久保伸, 長谷川真, 中村一男, 江尻晶, 松崎亨平, Y. Peng, 大澤佑規, 福山淳, 小野雅之, N. Bertelli, 花田和明, 池添竜也, 永島芳彦, 福山雅治, 尾形大地, 芦田竜一, 東島亜紀, 永田貴大, 島袋瞬, 高瀬雄一, 村上定義, 高橋幸司, “QUEST における 28 GHz入射ビーム制御による電子サイクロトロン波を用いた非誘導プラズマ電流立ち上げ実験”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 01Ca02 招待講演.

64. 吉川正志, 毛利友弥, 須藤駿, 小波蔵純子, 中嶋洋輔, 飯島貴朗, 寺門明紘, 野尻訓平, 中西博之, 嶋頼子, 正木沙貴子, 江角直道, 南龍太郎, 坂本瑞樹, 安原亮, 山田一博, 舟場久芳, 南貴司, 釦持尚樹, “デュアルパス・トムソン散乱計測システムを用いた GAMMA 10/PDXプラズマのセントラル部・エンド部プラズマ同時計測”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 01Cp05.
65. 菅田海里, 平田真史, ジャンソウオン, 久保田裕士, 市村真, 福山淳, 関根諒, 栢野大樹, 相澤拓実, 野口大地, 江角直道, 中嶋洋輔, 坂本瑞樹, “GAMMA 10/PDXエンド部発散磁場における3次元TASK/WFコードを用いたICRF加熱効率の評価”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 02P21.
66. 市村和也, 山下双太郎, 江角直道, 中嶋洋輔, 福本正勝, 庄司主, 坂本瑞樹, 飯島貴朗, 寺門明紘, 野尻訓平, 竹野裕正, “窒素と希ガスの混合状態におけるASDEXゲージを用いたガス圧力評価”, 第36回 プラズマ・核融合学会年会, (中部大学春日井キャンパス, 2019. 11. 29-2019. 12. 2) 02P72.
67. 野尻訓平, 坂本瑞樹, 田中宏彦, 東郷訓, 飯島貴朗, 原利樹, 杉山吏作, 蒲生宙樹, 高見耀平, 小波蔵純子, 吉川正志, 寺門明紘, 中嶋洋輔, “GAMMA 10/PDXにおけるガス供給・排気が非接触プラズマ形成とその揺動特性に与える影響”, 令和元年度スクレイプ・オフ層及びダイバータ物理サブクラスター会合, (核融合科学研究所, 2020. 2. 19-2020. 2. 19).

<解説・紀要>

01. M. SAKAMOTO, H. TANAKA, H. WATANABE, S. INO, M. TOKITANI, “Hydrogen Isotope Retention in Tungeten Irradiated by Heavy Ion Irradiation”, Atomic and Plasma–Material Interaction Data 18, (2019) 183-189.

<受賞>

01. ジャンソウオン, ”Enhancement of End-loss Ion Flux Using Ion Cyclotron Range of Frequency Waves on GAMMA 10/PDX”, 数理解物質科学研究科 物理学専攻長賞, 2020. 3. 25.
02. 久保田裕士, “高密度ミラープラズマのイオン加熱に向けた3次元波動伝搬解析コードを用いた加熱効率の評価”, 数理解物質科学研究科長賞, 2020. 3. 25.