

X. プラズマ研究グループ

| | |
|---------|----------------------|
| 教授 | 今井 剛、中嶋洋輔、坂本瑞樹 |
| 准教授 | 吉川正志、假家 強 |
| 講師 | 小波蔵純子、平田真史、沼倉友晴、南龍太郎 |
| 技術専門職員 | 大川和夫 |
| シニアスタッフ | 平田久子 |
| 大学院生 | 21名 |

共同研究者

| | |
|-----|---------------|
| 教授 | 市村 真、(物理工学域) |
| 准教授 | 片沼伊佐夫 (物理工学域) |

講師 (研究機関研究員) 池添 竜也

研究協力者

| | |
|---------|---------------------|
| 技術専門職員 | 杉山昭彦、和所保規、遠藤洋一、中西博之 |
| 研究支援推進員 | 久保田 敦子 |
| 大学院生 | 7名 |

【1】大学法人化に向けての、当該プラズマグループの研究の方針・基本理念

当プラズマ研究グループでは、平成16年度から実施された大学の法人化に伴う筑波大学の「中期計画」に則り、筑波大学が世界に広く貢献できる優れた研究成果の創出の一端を担うことを使命として、下記のよう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。

法人化後の新制度のもと、グループ教職員学生一丸となり研究に邁進し、当該グループとして、数理物質科学研究科の中期目標・中期計画の推進はもとより、国立大学法人筑波大学第Ⅱ期中期目標・中期計画の「I 大学の教育研究等の質の向上に関する目標を達成するためにとるべき措置」の2の(2)の「研究実施体制等の整備に関する目標を達成するための措置」に、第Ⅰ期に引き続き「双方向型共同研究等の新しい取組みを積極的に支援する。」と明記されていることは、本学のプラズマ研究の歴史を拓いた当該グループとしても、その責務を重く受け止め、応分の貢献を行うことを目指すことは、法人化後の一貫した研究姿勢である。

更に、これらの新たな物理究明は、コアの高温のプラズマ現象のみならず、核融合炉に必須の境界プラズマ研究に展開し、また、自ら開発した高電力ジャイロトロンを用いて、イオン閉じ込め電位、電子・イオン温度の上昇に加えて、境界/ダイバータプラズマの制御につながる成果を得ている。

また、上記「筑波大学 中期計画」等に基づき、16年度から新たに立ち上った双方向型共同研究の枠組みを背景に、第Ⅱ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、九州大学の4大学を中心に、更に講座単位の各大学との、共同研究を積極的に推進し、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いる。

学内にあっては、数理物質系のプラズマ研究グループ、並びにシステム情報系のグループ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、更には国内・国外のプラズマ研究グループとの緊密な連携・研究協力の下に、顕著な成果の創造・推進を図ることを基本理念・基本目標・基本方針に掲げ、教職員学生一丸となり、日夜努力を積み重ねている。

【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実験グループが主体となって研究し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、延いては国際熱核融合実験炉ITERの心臓部である、核融合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、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という意義・位置づけを併せ持っている。

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、端部での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回核融合エネルギー国際会議」で高く評価され、さらには、他大学や海外との共同研究へと発展しつつある。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得、当該年度に米国で開催された「第24回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ようとしている。

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。

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、ミラー端部に対しマイナスの電荷を持つ電子フローの一部を制御し、これによりプラズマ内部のプラス電荷を持つイオンの過不足による電位／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。

【3】研究成果の概要

本学におけるプラズマ研究の基本目標である「電位／電場を活かしたプラズマの高性能化に係る教育・研究」に即して、プラズマ物理学の重要な学術的課題を中心とする具体的な研究の成果について、今年度に限られた内容を中心に主な結果を示す。物理学専攻のプラズマ実験グループが主体となって研究しているプラズマ研究センターでは、基幹装置であるガンマ10（図1）において、第Ⅱ期の新展開に即したガンマ10装置改造を進め、新名称としGAMMA-PDXとすることとし、今後は ガンマ10改造（GAMMA-PDX）もしくは、

GAMMA 10/PDXと称する。第Ⅱ期中期計画の課題として、ITERを含む磁場閉じ込め装置に普遍的に重要かつ喫緊の課題である「数億度の高性能のコアプラズマと常温壁の両立を目指した理工学研究」に重点を置き研究を進めた。第Ⅰ期の成果のさらなる深化を目指した一つの課題は、電位／電場による輸送制御の研究をさらに追求するため電場構造と揺動抑制に直結するフロー生成の関係の解明を目指すもので、核融合炉の実用化に大きなインパクトをもつ研究である。第2の課題は、今後の最も大きな喫緊の核融合プラズマ研究課題とも言われている高温プラズマを支える境界プラズマの研究である。ミラー型の特長を活かす事によりプラズマ中の電位／電場、また、端損失粒子による熱流束と粒子束を制御可能なことから、これらのコアと境界の輸送制御の物理の研究を効果的に実施できる。H24年度末は、第Ⅱ期中期計画の中間地点となり、電位／電場と揺動／輸送との関係の更なる追求と境界プラズマ研究に向けたトーラズ系のダイバータ近傍を模擬するためのエンド部の改造の中核となるダイバータ模擬モジュール（D-モジュール）の据付け完了、境界プラズマの生成制御のツールとなる計測とジャイロトロンを中心とする加熱装置の高度化、これらを用いて第Ⅱ期中期計画、特に新展開となるダイバータ模擬の実験を本格的に進めた。個別の研究成果のさらに詳しい内容については、次節以降に述べられている。

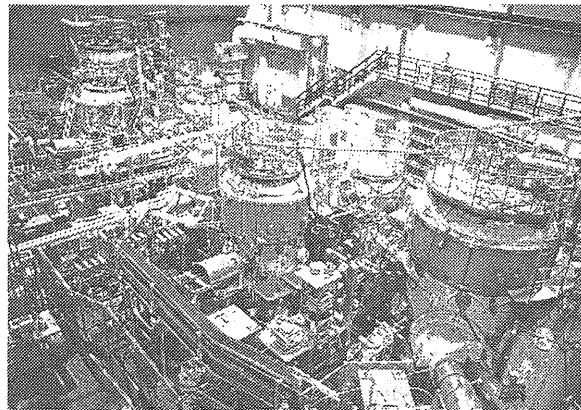
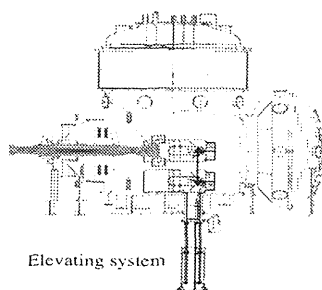


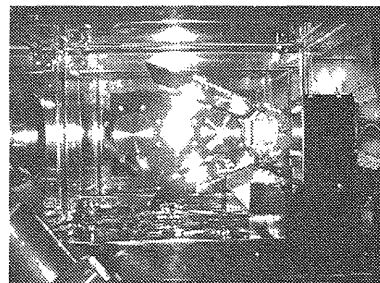
図1 世界最大のミラー型閉じ込め装置である筑波大学のGAMMA10 タンデムミラー写真。

(1) D-モジュール据え付けとダイバータ・プラズマ模擬研究

ヘリカルやトカマク等の環状系のスクレープ・オフ層は、磁力線が壁を横切ることから、開放端系のミラーと相似である。GAMMA10 で進めているミラー型等の直線装置の特徴の端損失粒子を用いたダイバータ模擬が最近、国内外で注目されている。これを推進するためにGAMMA 10 の改造を進めた。図2 (a)は、西エンド部の改造の中核となるダイバータプラズマ模擬モジュール（D-モジュール）の西エンド部設置の概要図で、D-モジュールは、図2 (b)の写真に示したように、幅 30 cm の V 字型のダイバータ板模を有する。この V 字の角度や、周りの排気速度を変えることが可能で、また、ガス導入等による放射冷却や不純物輸送の周辺プラズマを模擬したプラズマの研究やPWI 研究が、制御された形で可能となることが期待できる。このモジュールは、西エンド部のプラグバリアーのミラースロットに近い領域に設置され、昇降可能で、実験しないときには、プラズマがあたらない領域へ下げることににより、これまでの配位での実験が可能である。



(a)



(b)

図2 (a) エンド部改造後のダイバータ模擬モジュール（D-モジュール）の概要図と(b) D-モジュールの写真

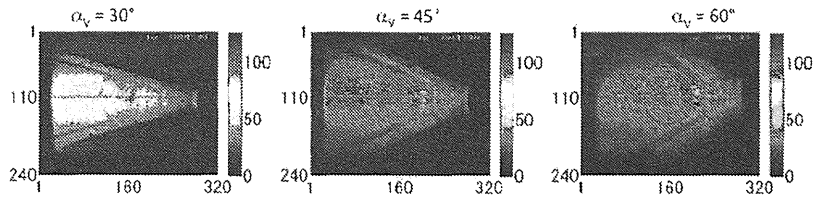


図3 エント部に据え付けたD-モジュールにプラズマが流入した時の高速カメラでの観測写真。V字ターゲット開口角度が、30°、45°、60°の場合が示されている。

図3に、D-モジュールを軸状に設定したときにミラー端部からプラズマが流入している様子を高速カメラで観測した写真を示した。D-モジュール実験に於いても標準的なプラズマが安定に生成でき、期待通り、プラズマがD-モジュールに流入している様子が見える。また、図3で、V字ターゲット板の開口角度を変えた時のプラズマの変化の様子を示している。角度が小さいほど、発光が強く、同時に測定したターゲット板に設置したプローブによる密度・温度測定に於いても変化が見られた。また、不純物ガスの入射による発光やプラズマ変化についても、初期的な結果を得ており、Arガス入射で、Arの発光ラインが大きく増加している結果が得られ、今後の実験に向けたベースとなるデータを取得している。さらに、D-モジュール内のプラズマの高密度化も進めており、加熱手法やガス入射により、大きく変化することが分かって来た。今後本格的なダイバータ模擬実験に備え、更なる高密度化を図る計画である。

(2) 熱流・粒子束の進展とPWI研究

ミラースロート部近傍のカロリーメータ／プローブ、ロータリーターゲットを用いた熱・粒子束計測、高速カメラによるイメージ／分光計測も引き続き行い、ICRFやEC加熱時の径方向熱流束密度分布等の計測を行った。ICRF加熱では、パワーに比例して熱流束が増加することや数百eVの高イオン温度を得た。ECHによる高熱流束密度生成実験では、ECHパワーをこれまでより増大し、380 kW出力で、ITERのダイバータの定常熱負荷の10MW/m²を超える熱流束密度を達成した。また、ELM模擬に向けた間欠的な熱流束生成実験も行い、ECHパワーの変調により、図4に示すように任意の間欠的な波形が発生できた。1パルス当たりのエネルギーとしては、0.05MJ/m²でITERのELMレベルからは、一桁以上小さいが、この熱負荷レベルでも10⁴回以上の高サイクル疲労でのタングステン表面の影響が指摘されており、材料面での貢献も期待できる。今後更に、ECHパワーの増力でより高い熱流束密度を狙うとともに、高サイクル疲労現象の模擬についても検討を進める。

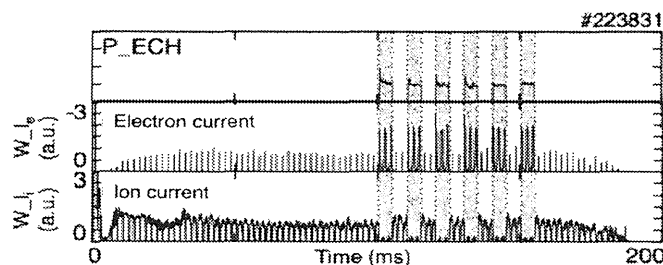


図4 ECH変調（上）によるELM模擬実験時のエント部への電子流（中）とイオン流（下）の様子

(3) 輸送制御と揺動計測

タンデムミラーGAMMA10は、装置両端部（プラグ・バリア部）に設置された高出力マイクロ波による電子サイクロトロン加熱（ECH）によって、サーマルバリア電位およびプラグ電位を形成し、電子、イオンを効率よく閉じ込めている。ミラー磁場に加えてこの電位・電場による閉じ込めが特長であり、この電位制御性を利用した径方向電場制御が可能となる。GAMMA10の典型的なモードの高イオン温度モード実験時にドリフト型揺動が観測され、揺動と径方向の粒子輸送との相関が明確に見られている。また、この揺動がプラグ部ECH（P-ECH）印加で抑制されることを示して来た。これは、環状系装置における径方向電場が輸送物理に密

接に関係していることと共通の課題である。最近では、同時2点計測システム(新型GNBP)の開発を行い、1ショットで径方向電場や径方向フラックス計測が可能とした。新型GNBPは、イオン源、ビーム加速部、中性化部、プラズマ相互作用部、静電型エネルギーアナライザ一部で構成されており、この静電型エネルギーアナライザ一部の入射スリットが2つあり、空間2点からのビームをアナライザ部に入射させることが可能となっている。また、アナライザ部のビーム検出器は32チャンネルMCPを使用しており、十分なエネルギー分解能を保ちつつ、ビーム電流を2点同時に測定することが可能となり、電位差を1プラズマショットで測定可能である。新型GNBPをGAMMA10の高イオン温度モードプラズマに電子サイクロトロン加熱(ECH)印加による軸方向閉じ込め電位形成実験に適用し、2点同時計測による径方向電場 E_r の空間分布を測定した。ECH印加前に負の電場であったものが、ECH印加中にプラズマ内部で正の電場が形成されていることが分り、このとき測定したドリフト型 E_r 揺動の径方向分布も、これまでに観測してきた電位揺動と同様にECHにより抑制されていることが分かった。また、エンドプレート部で測定した揺動とGNBPで測定した中央部の揺動の相関を図5に示す。エンドプレートの揺動とGNBPの揺動が非常に高い相関を持っており、エンド部の測定から中央部の情報が得られることが分かった。今後、さらに、新型GNBP、エンド部プレート電位計測を活用して、詳細なデータを取り、研究を進めていく。

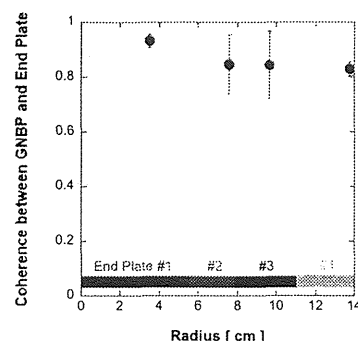


図5 エンドプレートの揺動とGNBPによる揺動の相関。

(4) 低密度プラズマ用トムソン散乱計測の多ch化とマルチパス化開発

今後のダイバータ模擬や輸送制御の詳細な実験で、ますます重要となる電子温度の正確な評価のために、平成21年度に導入したトムソン散乱計測システムを、NIFS等との共同研究の下、さらに、高度化を進めた。GAMMA10に導入したトムソン散乱計測システムは、NIFSのCHSやLHDで採用しているシステムと同様の方式で、高出力のYAGレーザー(1064 nm, 2 J/pulse)と90°散乱光の集光ミラー(φ600 mm, R = 1200 mm)を用いている。

今期の課題は、更なる多ch化とマルチパス化である。多ch化では、光ファイバーを5本に増設し、空間5点からの散乱光の受信を可能とした。これにより径方向空間5点(-10cmから、+10cmまで5cm間隔)が計測の視野として測定が可能となる。分布計測用に光ファイバーの増設やAPD等の検知器を順次整備し、昨年度は2ch化を行い、今年度は3chまで同時計測可能となった。

より、低密度、低温度のプラズマに向けたマルチパスを利用したトムソン散乱計測も、NIFSとの共同研究の下に順調に進展した。当センターのマルチパス方式は、ミラーと偏光素子による偏波制御を利用して、発振レーザー光を2枚のミラー間に閉じ込めて何度も利用する方式で、他装置では複素共役ミラーを用いた複雑な方式等が開発されて来たが、本方式は、シンプルなミラーで、かつ、原理的に何回でも反射光を利用でき、最大6倍程度まで信号強度を増大できるのが特長である。今年度は、6パスまでの多重化に成功、シングルに比べて3倍の信号強度を得ることに成功した。この方式によるマルチパスの成功は世界初の成果である。

(5) 双方向型共同研究の拡大

双方向型共同研究のセンター間連携に関連した熱粒子束制御研究に向けたSiC、カーボンやタングステンなどのプラズマ照射とその相互作用研究を東北大、阪大、静岡大等と実施、また、核融合炉で発生した高エネルギーの荷電粒子の有効利用を目指した直接発電では、開放磁場端部を持つミラーの特長を生かしたミラー端部の粒子束を利用した研究を双方向型共同研究課題として神戸大学のグループとの共同研究を引き続き行い、新しい展開を図っている。また、京都大学、東北大、広島大学のグループとの共同研究による超音速分子ビーム入射(SMBI)、プラズマ回転計測やプラズマの高速カメラによる観測は、ICRF加熱時の高エネルギーイオンと波動物理等、これまでの輸送や閉じ込め改善の物理の解明研究に加えて、新しい柱となる境界プラズマ研究への展開を目指して、引き続き進められ、センターの計画に大きく貢献している。

(6) 28～154 GHz 帯 1 MW ジャイロトロンの開発

プラズマ加熱や輸送制御のツールであるジャイロトロンの開発では、電位／電場生成や電子加熱に加えて、境界プラズマ研究用の高熱流束の制御のための電子加熱に向けた単管 1 MW 以上の ECH ジャイロトン開発を推進している。先に述べたように、この ECH により、ITER の定常熱流束密度 $10\text{MW}/\text{m}^2$ に匹敵する高熱流束密度が得られ、境界プラズマ研究にとっても、このジャイロトン開発が重要な意義があることがわかる。

核融合科学研究所と共同で LHD 用管の開発を平成 18 年度から開始し、現在までに、3 本の 77GHz 管を開発、各管とも秒レベルで 1.2MW の出力に成功し、第 3 号管では、世界最高性能となる約 1.8 MW で 1 秒の出力を達成した。さらに、これをベースにした高密度加熱に向けた昨年度製作した 154GHz の 1MW 管の開発では、1MW 以上で、1 秒発振に成功し、既に、LHD 実験に供している。また、4 本合わせて、4.5 MW のパワーを LHD プラズマに入射し、20 keV 以上の電子

温度を達成し、LHD プラズマの高性能化に大きく貢献した。一方、ガンマ 10 用の 28GHz、高パワージャイロトン開発では、ダイバータ模擬での高熱流束に向けた ECH の増力を狙った 28GHz での 1.5-2 MW 発振の開発も進めている。既存のジャイロトロンの $\text{TE}_{q,3}$ 共振器での大ビーム電流領域出力計算から、ピッチファクター (α : ビーム電子の磁場に垂直と並行方向の速度比) を大電流領域でも 1.1 以上に維持できれば、ビーム電流が 60-70A で 1.5-2 MW の出力が期待できる。この大出力化に向けて、電子銃を改良し、大電流領域で α が下がらないように、ジャイロトロンを改造した。図 6 が改造管の写真である。この改造管では、50A でも出力は飽和せず、1.25 MW の出力が得られ、1.5MW 以上も期待できる。電源の制限でこれ以上の大電流試験には装置の改造が必要である。

ジャイロトロンを活用した ECH の連携研究では、九大との電子バーンシュタイン波 (EBW) 加熱に向けた共同実験用にジャイロトロンを調整するとともに、電源の取り合い調整を実施、また、伝送系、入射系の共同開発を進め、来年度の EBW 実験に備えた。次のステップに向けた九大の QUEST の連続運転用ジャイロトン開発に加えて、将来の京都大学の Heliotron J 用の 35GHz ジャイロトロンの検討も開始した。GAMMA 10 用 28GHz 高パワー (1.5MW 以上)、QUEST での 28GHz-300kW 連続運転、Heliotron J での 35GHz 運転が可能な多目的 ECH ジャイロトロンの開発を目指して、設計を進めている。この多目的 ECH ジャイロトンでは、1 本のジャイロトンで磁場の切り替えや窓の切り替えで、3 つの用途に使える設計を進めている。特に開発要素が大きいところは、両周波数で高効率に動作するモード変換器の設計で、これまでの最適化設計で、98%(28GHz)、96%(35GHz) の変換効率が得られている。28GHz での CW 動作に向けては、さらに、高効率化を進める。また、既存の 28GHz を改造して、35GHz 発振の予備試験も実施し、35.45GHz で約 1MW の発振を実証した。これは、今後の低周波数領域での 2 周波数発振管の開発、さらには、九大、京大、筑波の 3 大学間連携を大きく勢いづける成果と言える。

上記の主要な成果については、今年度 10 月、米国サンディエゴで開催された第 24 回 IAEA 核融合エネルギー国際会議、8 月末のつくばで開催された第 9 回開放端磁場閉じ込め装置国際会議等に発表し、高い評価を得た。これらの成果のさらに詳しい内容については、先に述べたように次節以降で記述されている。



図 6 窓と電子銃を改造した 1MW 28GHz ジャイロトン

【4】GAMMA 10におけるトムソン散乱計測による電子温度・密度分布計測

タンデムミラー GAMMA 10 では、高出力マイクロ波による電子加熱を行って高電位生成を行い、磁場に加えて電位でもプラズマを閉じ込めることによってプラズマ性能を向上させている。そして、主閉じ込め領域であるセントラル部への電子直接加熱を行うことによって、電子温度を上昇させる実験を行っている。この電子温度を直接計測するためにトムソン散乱計測システムを導入した。本研究では、これまで空間 1 点、1 時

刻の電子温度・密度計測しかできなかったものを、空間多点、多時刻の計測ができるように、トムソン散乱計測システムを改良し、電子温度、密度の径方向分布計測を1 プラズマショットで調べることを目的とした。当該年度は、光ファイバーの増設、増設用ポリクロメーターの開発、多時刻計測のための電荷デジタル変換装置（QDC）の構築を行った。さらに、信号強度の倍増をめざし、レーザーをプラズマ中を往復させるマルチパス・システムの構築を行った。

GAMMA 10 トムソン散乱計測システムは、高出力の YAG レーザー（1064 nm, 2 J/pulse）をプラズマに入射し、90° 散乱光を集光ミラー（ $\phi 600$ mm, $R = 1200$ mm）で集光し、光ファイバーバンドル（各チャンネル：input 2×7 mm, output $\times 4.6$ mm, NA:0.47）でポリクロメーター（5 チャンネルフィルター付き APD 分光器）まで光を伝送する。平成 24 年度は、この光ファイバーを平成 23 年度の 5 本からさらに増設し空間 9 点からの散乱光を測定可能とした。また、散乱光分光用のポリクロメーターを平成 23 年度の 3 台からさらに 2 台増設し、合計 5 台とした。この追加の 2 台のポリクロメーターは、これまでのポリクロメーターで使用していた APD（EG&G, C30950-CD1161）が生産終了のため、APD（Perkin Elmer, C30659-1060-3A）へと変更した。そのため、新たに APD の信号読み出しのための外部回路の設計、製作を行った。それによってポリクロメーターの S/N はこれまでのポリクロメーターよりも 2 倍以上改善された。

次に、トムソン散乱信号をレーザー発振周期 100 ms 間隔で測定するため、高速の QDC（CAEN, V792A）を用いて、プラズマショット中に、トムソン散乱信号を 2 時刻計測できるよう、取り込みトリガー系を整備した。図 1 に示す様に、QDC へパルス幅 10 ns の矩形パルス出力電圧を変更しながら出力カウント数を見た。これによって、入力信号の大きさと出力カウントのリニアリティがあることが確認された。しかしながら、各チャンネルの相対感度校正が必要であることが分かった。実際に、トムソン散乱スペクトルを測定した結果を図 2 に示す。スペクトル半値幅から導出した電子温度はオシロスコープで求めた値よりも大きく換算されており、今後、ノイズの評価を含めて測定精度を上げていく必要がある。

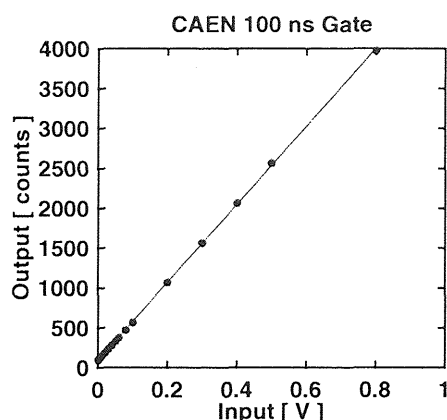


図 1 : 10 ns 矩形パルスの出力電圧と CAEN V792 の出力カウント数の関係

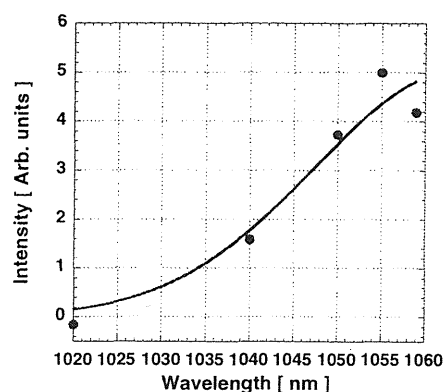


図 2 : QDC によるトムソン散乱スペクトル計測結果

【5】マルチパス・トムソン散乱計測システムの開発

GAMMA 10 トムソン散乱計測システムに、偏光素子、ファラデーローテーター、1/2 波長板を挿入し、レーザー光の偏光を制御し、一度プラズマを通過した後のビームダンプを外し、ビームライン上にレンズ、0 度反射ミラーを挿入して像転送光学系を設置することで、偏光と像転送光学系を利用した 2 パス方式を H23 年度に完成させている。この 2 パス・システムに対して、ポッケルスセル、偏光素子、折り返しミラーを 2 パス方式に挿入することで、3 パス以上の繰り返しの可能とするマルチパス・トムソン散乱計測システムの開発を行った。レーザー光の光軸の調整、ポッケルスセルのゲート時刻の調整を行い、入射レーザー

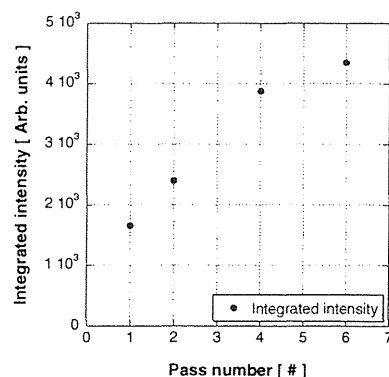


図 1 : マルチ・パス・システムのパス数と積分信号との関係

光が3パス以上往復していることを確認した。これを、GAMMA 10 本体に窒素ガスを封入して行うレーリ散乱実験に適用した。1パス、2パス、6パスの場合のレーリ散乱信号を測定した。6パスの場合の信号波形は、3つのピークが観測され、それぞれ、1-2パス、3-4パス、5-6パスの信号を示している。図1に横軸にパス数、縦軸に信号積分量を示した。これによると、6パスによって1パスの約3倍の信号強度が得られることが分かった。このときは、まだ詳細な光軸設定はしていないので、今後、レーザー光軸の調整とキャビティの導入によってビームパス数を10程度以上まで増加させることを計画している。そのためには、トリガー系の高精度化が必要であることがわかった。また、今回はレーザーパワーを1/1000程度に落として計測しているが今後通常パワーでの計測を行ってレーザー光路上の光学系のダメージ等の確認を行っていく必要がある。

【6】位相イメージング干渉計の改良と GAMMA 10 西プラグ部の電子密度分布計測

プラズマの2次元イメージ計測は、プラズマの挙動を知る上で非常に重要である。位相イメージング干渉計は、プラズマの2次元密度分布を可視化できる非常に優れた計測器である。しかしながら、2次元イメージを取得するためには、全16チャンネルある検出器をすべて良好な状態で維持し実験を進める必要がある。本研究では、位相イメージング計測システムの再構築と計測精度の向上を行い、少ないプラズマショットでのプラグ部密度分布及び密度揺動分布の計測・解析を行った。そのため、まず位相検出回路及び参照用検出回路を製作し、システムの整備を行うことで全

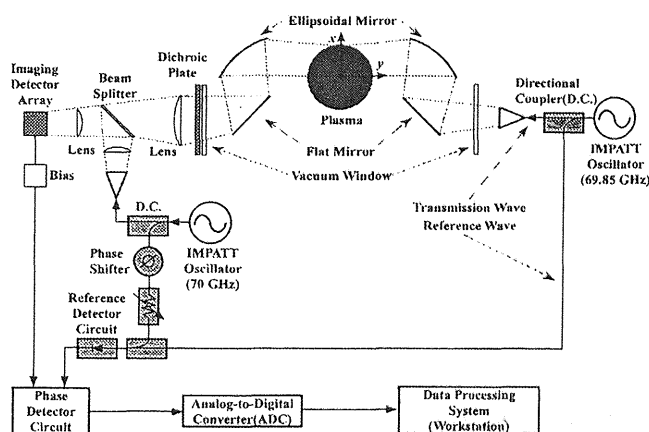


図1：位相イメージング干渉計

チャンネルでの計測を可能とした。さらに計測誤差を排除するための新しい較正法を適用し、計測精度を向上させた。本装置を用いて閉じ込め電位が形成されるプラグ部のプラズマ2次元密度及び密度揺動分布を1プラズマショットで計測し、閉じ込め電位が形成される時間帯に注目してプラズマ損失の増大及び閉じ込め時間の減少の主要因の一つと考えられているプラズマ中に生じる不安定性について考察を行った。

図1に本研究で使用した位相イメージング干渉計の概略図を示す。本装置は、発信器により出力されたマイクロ波を方向性結合器で2つに分け、プラズマ中を透過して位相の変化を伴う透過波と、初期位相のままの情報を保つ参照波との位相差を検出する。

GAMMA 10 の西プラグ(WP)部北側には、周波数69.85 GHz、出力～500 mW のマイクロ波発信器が取り付けられており、透過波は円錐ホーンから放射された後、GAMMA 10 内部の平面鏡、並びに楕円鏡でシートビーム状に拡大され、プラズマ断面の上半面全体に照射される。その後、受信側で再びレンズを用いて集光され検出器上でイメージを結び、検出器アレイに導かれる。参照波は本体南側で透過波と共に位相検出回路へと取り込まれる。以上の位相イメージング干渉計を用いることで、プラズマ密度の2次元分布を1ショットで測定することが可能となっている。本研究では位相検出回路及び参照波検出回路を製作し、この検出

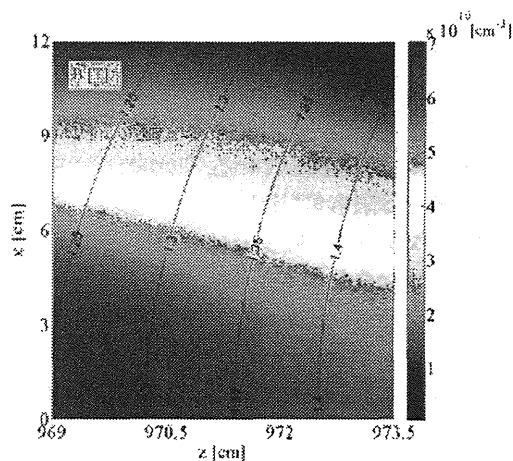


図2：2次元密度分布

器アレイ以降のシステムの再構築を行うことで 16 チャンネルでの計測を可能にした。位相差の検出には Quadrature 位相検出法を用いており、信号の同相成分と直交成分の 2 つの出力を得ることで位相と振幅を分離して求めることができる。この出力に不要な DC 成分（オフセット）が存在すると、位相差の導出に誤差をもたらす。そこで、このオフセットをキャンセルするために今回新しい較正法を位相イメージング干渉計に適用し、それぞれのチャンネルにおいて最大約 5% の計測精度向上を実現した。プラズマ線密度径方向分布計測の結果、 $x = 9$ cm の計測点では偶関数の分布から大きくはずれてしまっており、これはプラズマの中心から離れた計測点ほど光学系の収差による誤差が大きくなるためであると考えられる。そこで今回は $x = 9$ cm を除いた $x = 0, 3, 6$ cm の計測結果を用いて解析を行った。プラズマ線密度径方向分布を $z = 969, 970.5, 973, 974.5$ cm についても同様に求め、アーベル変換により密度に変換した後、軸方向にも並べることで、プラズマ 2 次元密度分布を導出した（図 2）。閉じ込め電位が形成されていない時間帯では、プラズマが磁力線に沿って生成されている様子が確認できる。一方、ECRH 印加により $z = 961 \sim 962$ cm の位置に閉じ込め電位が形成されると、その外側を計測している WP 部では密度が急激に減少する。これは閉じ込め電位の形成によってその外側に流れてくる電子が減少したことによると考えられる。密度の時間変化を高速フーリエ変換して揺動強度スペクトルを求めてみると、閉じ込め電位が形成されている時間帯ではプラグ部に 3～4 kHz 近傍の強い揺動が発生していた。図 3 にその揺動強度積分値の空間分布を示す。電位形成側の径方向 3 cm に強く分布しているのがわかる。現在プラグ部では電子温度及び電位分布の計測をしていないため、これらを仮定することによりドリフト速度を求めてみると、揺動強度積分値分布と非常に似通った分布が得られた。よって揺動とドリフトには関連性があることが示唆される。さらにこのドリフト速度は反磁性ドリフトに比べ $E \times B$ ドリフトが支配的であったことから、プラグ部で発生していた 3～4 kHz の揺動は $E \times B$ ドリフト周波数帯で駆動されるフルートタイプの不安定性に起因するものであることが推測された。

位相イメージング干渉計の再構築及びオフセット較正を行うことで 1 回のプラズマ放電でのプラグ部 2 次元分布計測に成功し、揺動解析を行った。閉じ込め電位形成時間帯ではセントラル部と異なる周波数の揺動が発生しており、プラグ部の電子温度及び電位分布を仮定することでドリフト速度を求めた結果、 $E \times B$ ドリフトの揺動への寄与が大きいことが示唆された。よって、この揺動はフルートタイプの不安定性に起因するものであることが推測された。

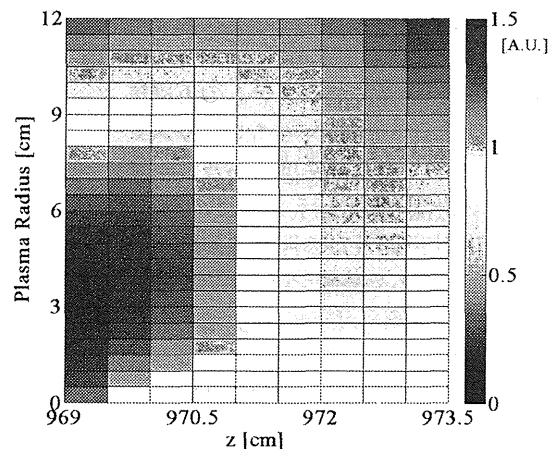


図 3：2 次元揺動強度分布

【7】GAMMA 10 における紫外・可視分光測定システムの解析手法の改善

軸対称プラズマの分光計測では、通常、視線積分量の放射輝度から局所量である体積輻射率を導出するためにアーベル変換を用いている。しかし、GAMMA 10 プラズマ実験で生成されるプラズマは常に軸対称な分布を形成するとは限らず、非軸対称となっているプラズマも生成されていることが確認されている。また、近年のプラズマ実験の SMBI (Supersonic Molecular Beam Injection) を使用した実験では、プラズマの分布は軸対称ではなくなる。しかし、このような非軸対称の分布であるプラズマから得られた結果を解析する際に、軸対称を仮定したアーベル変換を用いると大きな誤差が発生する。そこで、本研究では、紫外・可視分光測定システムの測定データの解析法を改善し、非軸対称アーベル変換の導入を行い、非軸対称なプラズマの計測精度の向上を行った。それによって、非軸対称なプラズマに対しても解析結果の誤差を小さくできた。

GAMMA 10 の紫外・可視分光測定システムは、200～670 nm の波長領域の発光を測定できる。プラズマから放射された光は、2 枚の集光レンズによって 40 本の光ファイバーへ集光され、光ファイバーを通して分光器

に送られ分光される。40本の光ファイバーを使用することで、プラズマの上下方向（X方向）-20～+20 cmを空間分解能約1 cmで計測する。構築した解析手法の妥当性の確認を行った。確認方法として、適当な体積輻射率（発光の局所量）の分布を仮定し、その分布をとるときの発光の視線積分量を算出する。得られた視線積分量について非軸対称分布を仮定したアーベル変換を用いて体積輻射率の分布を得る。この得られた体積輻射率分布と最初に仮定した分布とを比較した。X方向に傾いたホロー状の分布を仮定したときの非軸対称アーベル変換による計算結果では、最初に仮定した分布と大きく異なっていた。そこで、アーベル変換で仮定する同心円内で、一定の強度であるというところに、分布を持たせた仮定を取り入れ、局所量が空間的に変化する非軸対称アーベル変換を取り入れた。この改善非軸対称アーベル変換を用いて最初に仮定した体積輻射率分布（点線）と計算した結果（実線）を図1に示す。改善非軸対称アーベル変換では最初に仮定した分布とほぼ同じ分布を得ることができた。この計算方法では、様々な体積輻射率分布を与えても、プラズマ中心部では20%以内の誤差で一致した。この解析手法を用いてGAMMA 10プラズマの解析を行った。

GAMMA 10で行われたイオンサイクロトロン加熱のみの実験において、プラズマの発光を分光計測し、構築した解析手法の確認を行った。図2に紫外・可視分光測定システムから得られたH α 線放射輝度分布を、非軸対称アーベル変換を用いて解析した結果（破線）と、改善した非軸対称アーベル変換によって解析した結果（実線）(a)とH α 線の体積輻射率分布(b)を示す。計測した2つのスペクトルの発光強度比を衝突輻射モデルに当てはめることで電子密度分布を導出した。図3(a)に非軸対称アーベル変換による解析から得られた電子温度（破線）を示す。図3(b)にマイクロ波干渉計を用いて測定した電子密度分布を示す。マイクロ波干渉計では、Y方向の分布を測定している。図3より、改善非軸対称アーベル変換から求めた電子密度は誤差の範囲内でマイクロ波干渉計で求められた電子密度分布と一致していることがわかった。

【8】GAMMA 10におけるジャイロトロン開発研究とECRHシステム高性能化

タンデムミラーGAMMA10では、プラズマ閉じ込め性能の研究と改善のため、プラグ部及びセントラル部

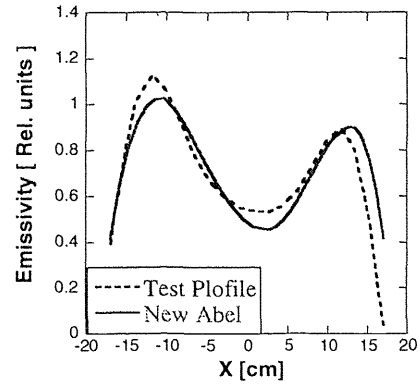


図1：改善非軸対称アーベル変換の解析結果

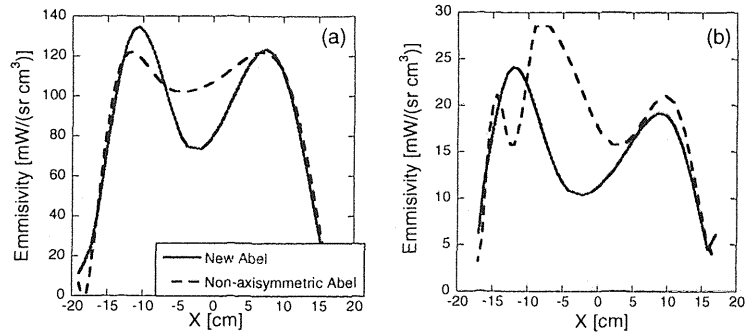


図2：紫外・可視分光測定システムで測定したH α 線放射輝度分布から解析した体積輻射率(a)とH α 線放射輝度分布から解析した体積輻射率分布(b)

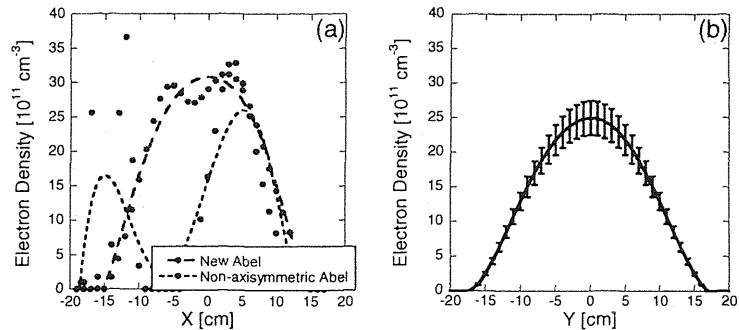


図3：衝突輻射モデル計算での電子密度解析結果(a)とマイクロ波干渉計による密度分布計測結果(b)

射モデルに当てはめることで電子密度分布を導出した。図3(a)に非軸対称アーベル変換による解析から得られた電子温度（破線）を示す。図3(b)にマイクロ波干渉計を用いて測定した電子密度分布を示す。マイクロ波干渉計では、Y方向の分布を測定している。図3より、改善非軸対称アーベル変換から求めた電子密度は誤差の範囲内でマイクロ波干渉計で求められた電子密度分布と一致していることがわかった。

ECRH(電子サイクロトロン共鳴加熱)の大電力化を進めている。2004、2005 年に 500kW ジャイロトロンを導入することにより、イオン閉じ込め電位は入射電力とともに上昇し、従来の電位を大きく上回る世界最高の閉じ込め電位を達成した。プラズマ・パラメータ向上の為に、さらに高密度において、より高い閉じ込め電位を生成すること、中央部の高エネルギーイオンの電子冷却を抑制すること、プラズマの不安定性と揺動の物理的解明、及びその抑制が重要な課題である。また、GAMMA 10 における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、より高い熱流束の生成が課題の一つである。これらの研究のためには、ジャイロトロン開発を中心とした ECRH システムの大電力化、長パルス化が必要である。

2012 年度においては、前年度に引き続き、ECRH アンテナ性能/プラズマ加熱効率の向上を目指した研究を実施した。28GHz-1MW ジャイロトロンの性能向上を目指した改造と評価試験を実施するとともに、九州大学の QUEST 装置に 28GHz-1MW ジャイロトロンを適用し加熱実証を行うための予備試験を進めた。QUEST への適用を前提に、マイクロ波伝送系の設計、製作を行った。ジャイロトロンと伝送系を QUEST に移設し、プラズマ実験に向けた調整を開始した。また、28GHz-35GHz の 2 周波数で動作可能なジャイロトロンの開発を開始した。さらに、核融合科学研究所(NIFS)との共同研究で新たに開発した LHD 用 154GHz ジャイロトロンの性能評価試験を行い、目標性能の 1MW 出力を達成した。

(1) GAMMA 10 用 28GHz-1MW ジャイロトロンの改造と九州大学 QUEST 装置への適用

プラズマ性能向上のため

には、ECH システムの基幹コンポーネントであるジャイロトロンの大電力・長パルス化が重要であり、新たに 28GHz-1MW ジャイロトロン開発を進めている。2008 年度に設計/製作、2009 年度に短パルス性能評価を行い、ビーム電圧 $V_k=80\text{kV}$ 、ビーム電流 $I_k=40\text{A}$ において目標出力 1MW

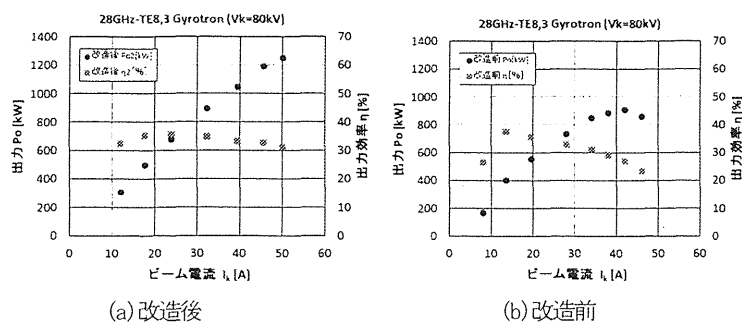


図 1 出力/効率のビーム電流依存性

を達成した。しかし、28GHz-1MW ジャイロトロンの電子銃は、部品の共通化を図るため、NIFS の 77GHz ジャイロトロンのカソードと同一形状で設計しており、カソード全面の電子ビームのラミナー性はあまり良くなく、超電導電磁石(SCM)変更に伴う僅かな磁場分布の違いにより、ビーム電流 40~50A の大電流領域で、発振効率の低下し、出力の飽和傾向がみられた。そこで、より高出力・高効率動作を目指し、電子ビームのラミナー性を改善するための電子銃設計変更を行い、新規カソードを製作、ジャイロトロンの改造を行った。電子銃交換に合わせて出力窓も、京都大学の Heliotron J 向けジャイロトロン開発も考慮し、サファイア・ディスクを 28GHz と 35GHz の両方の周波数に対しマッチングがとれた厚さに変更し、35GHz 発振試験が可能なように改造を行った。改造を終えたジャイロトロンは、筑波大学の試験装置で動作試験を行った。図 1(a)に、改造後の出力/効率のビーム電流依存性、図 1(b)に改造前の出力/効率のビーム電流依存性を示す。改造の結果、ビーム電流 40~50A での発振効率の低下、出力の飽和傾向が改善され、 $V_k=80\text{kV}$ 、 $I_k=50\text{A}$ で出力 1.25MW を達成した。

九州大学の QUEST 装置では、28GHz 第 2 倍高調波共鳴がプラズマ内側に存在し、28GHz ジャイロトロンを用い、8GHz 帯のカットオフ密度を大きく超える密度のプラズマ ($2\sim 3 \times 10^{18}\text{m}^{-3}$) を生成・維持し、オーバー密度での 8.5GHz-電子バーンシュタイン波(EBW)加熱/電流駆動の実証をおこない、QUEST プラズマの高性能化と定常化を目指す研究が計画されている。本研究を効率良く、早急に進めるため、センター間連携研究として筑波大学の 28GHz-1MW ジャイロトロンを九州大学の QUEST 装置に適用することとし、その準備を進めた。ビーム電圧 $V_k=70\text{kV}$ 、ビーム電流 $I_k=23.5\text{A}$ で出力 539kW が得られ、ジャイロトロンの改造後においても、QUEST の電源性能($V_k=70\text{kV}$ 、 $I_k=25\text{A}$)以内で必要とされる 400 kW 以上の出力が可能なことを確認した。長パルス動作試験を行い、出力 600kW、出力効率 37%($V_k=70\text{kV}$ 、 $I_k=23.9\text{A}$)で 2s の動作を確認した。また、ジャイロトロンの出力をプラズマまで伝送するためのガンマ 10 用マイクロ波伝送系の設計・製作を行った。QUEST

での加熱実験を早急に進めるため、ジャイロトロンと本伝送系を QUEST に設置するための検討と、取り合い部品製作を行った。図2に筑波大用伝送系を QUEST に設置した時の構造断面図と、実際に設置を行った入射ポート付近の伝送系設置写真を示す。ジャイロトロンから出力されたガウシアンモードの RF ビームは、ジャイロトロンの整合器(MOU) 出口に連結されたφ63.5mm のコルゲート導波管に HE_{11} モードとして結合する。導波管モードに結合した RF は、垂直方向に 0.85m 伝送後、マイターベンズで伝送方向 90° 曲げ、水平方向に約 10m の距離をコルゲート導波管で伝送する。QUEST 本体入射ポート部には、本体の真空と導波管の真空を分離するための本体真空窓、本体と導波管のアースを分離するための絶縁フランジ、プラズマに RF ビームを入射するためのランチャー、ランチャーの位置を微調するためのベローズが設置されている。本体真空窓は、ジャイロトロンの窓としても使用可能な構造とした。

筑波大学から九州大学へのジャイロトロン、超電導電磁石(SCM)、伝送系等の移設は完了し、QUEST プラズマ実験に向けての調整を開始したところである。

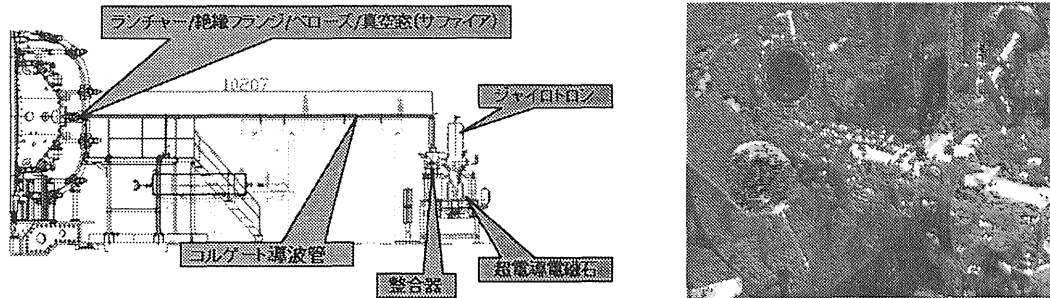


図2 28GHz ジャイロトロンと伝送系の QUEST への適用

(2) 28GHz-35GHz 2 周波数ジャイロトロンの開発研究

プラズマ研究センターでは、ダイバータ模擬実験においてより高い熱流速を生成するために GAMMA10 用 28GHz-2MW-数秒のジャイロトロンの開発を進める予定である。また、GAMMA10 用 28GHz-1MW ジャイロトロンを用いた QUEST 装置での加熱予備実験が良好な場合、QUEST 用 28GHz-400kW-CW(連続動作) ジャイロトロンの開発が検討されている。更にプリンストン大学の NSTX-U では 28 GHz-1.5~2 MW-数秒のジャイロトロンが求められている。一方、京都大学の Heliotron J では 35 GHz-1 MW-0.5 秒のジャイロトロンが求められている。これらの条件を 1 つのジャイロトロンで満たせれば共同研究において非常に有用であるため、28 GHz /35 GHz 2 周波数ジャイロトロンの開発を開始した。

まず、1MW出力を達成しているGAMMA 10用28 GHz-1MWジャイロトロンの空洞共振器において2周波数動作を行えるか検討を行った。発振モードは28 GHz- $TE_{8,3}$ と35.45 GHz- $TE_{9,5}$ となり、計算コードを用いたシミュレーションの結果、両周波数ともに1 MW以上で発振が可能なのことが確認できたが、モード変換器内の反射角(3.17°)の違いによる伝送損失のため、35 GHzでは発振電力の70%程度の窓出力しか得られないことが分かった。計算結果の確認を行うために、35GHz発振試験を行った。図3に窓位置での出力RFビームのバーンパターンを示す。モード変換器内の放射角の違いによりRFビームは、窓中心より水平方向に~15mm横にずれている。空洞周波数計で測定した周波数は35.46GHzであった。図4に出力と出力効率のビーム電流依存性を示す。ビーム電流 $I_k=44.5A$ で、出力 $P_o=869kW$ が得られた。出力効率は23~25%となった。前述したように、出力窓は28GHz、35GHzの両周波数にマッチングするように改造を行っており窓での反射は無いので、伝送損失の70%を考慮すると、35.45 GHz- $TE_{9,5}$ モードの空洞発振が計算結果と大きな違いが無く得られたと推察される。

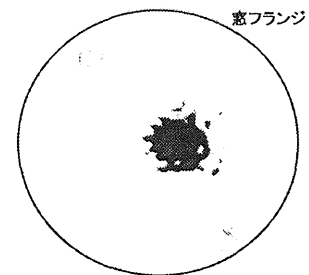


図3 35Hz バーンパターン

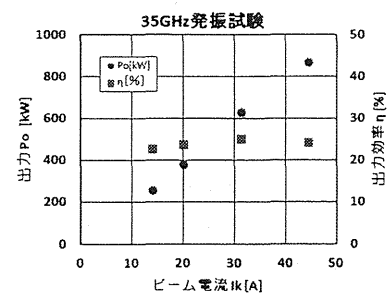


図4 35GHz試験におけるビーム電流特性

ジャイロトロン管内で生じるRF伝送損失は、管内でストレーRFとなり、加熱/放電等を引き起こし、大電力/長パルス・定常動作の阻害要因となる。そこで、放射器の放射角の近い28GHz、35GHzの発振モードの組合せ抽出し、2周波数ジャイロトロンの設計を開始した。選択した発振モードは28 GHz-TE_{8,5}と34.78 GHz-TE_{10,6}で、両モードのモード変換器内反射角の違いは0.13°である。電子銃の設計においては、既設28GHz-1MWジャイロトロンと同一設計の電子銃が使用可能であることを確認した。放射器の設計においては、第1ミラーまでの伝送効率が、28GHzが97.8%(内ガウシアン成分99.5%)、34.78GHzが95%(同98%)まで最適化を行った。空洞共振器設計においては、ビーム電流 $I_k=70A$ (ピッチファクタ $\alpha=1$)で、両周波数とも2MWの発振が可能であることを確認したが、 $I_k<20A$ では発振開始電流が下がらず発振困難なため今後最適化を進める予定である。

(3) NIFS-LHD 用 154GHz ジャイロトロンの開発研究

2012年度は、前年度3月に製作した154Hz ジャイロトロンの短パルスにおける性能評価試験を筑波大学の試験装置で実施し、性能に問題の無いことを確認した。その後、NIFSの実機装置にて、短パルス調整試験、長パルス性能試験、長パルス化エージングを進めた。

出力窓と整合器(MOU)出口におけるバーンパターン測定により、出力RFビームはガウシアン形状であり、RFビームの割れやサイドローブは観測されず、問題無いことが確認された。空洞周波数計で測定した出力RFの周波数は154.048GHzで、所要のTE_{28,8}モードの空洞発振を確認した。整合器(MOU)の透過率は~100%で、副窓やDCブレイクから漏れ出すストレーRF電力の測定より、ジャイロトロン内の伝送損失率は最小で2.4%と見積もられた。設計における、モード変換器からダイヤモンド窓までの伝送効率は97.6%であり、2枚の位相補正鏡よりなるMOUを介した後、コルゲート導波管に結合される総合効率は97.1%である。試験結果は、設計値に近い良好な結果となっている。

図5に、短パルス(4ms)動作における、MOU出力とCPDを考慮しない出力効率のビーム電流依存性と、初期の長パルス試験結果を示す。図中“●”印が長パルス動作時のMOU出力、“■”が出力効率である。ビーム電流 $I_k=50A$ で1.15MWと設計目標の1MW以上の出力を達成した。長パルス試験結果は、0.26MW-1s、0.68MW-1s、1.15MW-0.2sである。パルス幅0.2sではあるが、ビーム電流 $I_k=50A$ でも効率の低下は見られなかった。図5に示す以降のエージングは、伝送系を接続しLHD実験と並行して行われ、1.16MW-1sの動作まで問題の無いことが確認された。

開発を行った154GHz ジャイロトロンは、2012年度のLHDプラズマ実験に適用され、高密度領域での第2高調波加熱の有効性が確認された。

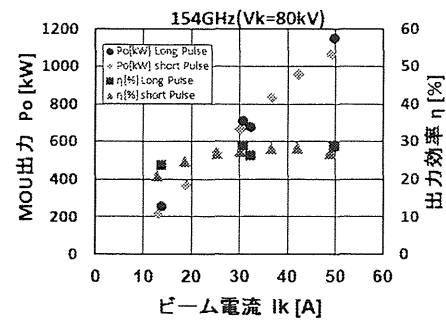


図5 154GHz ジャイロトロン出力/効率のビーム電流依存性

【9】X線計測器アレイを用いたガンマ10 セントラル部 ECH 効果の研究

ガンマ10において、電子サイクロトロン加熱(ECH)は、高いプラズマ閉じ込め電位の生成及び高い電子温度の達成に、本質的なツールである。主要閉じ込め領域であるセントラル部では、イオン温度に比べて電子温度が低く、イオン・サイクロトロン加熱(ICH)により生成されたイオン温度が数keVの高温イオンが、電子との衝突により、エネルギーを損失する事が問題となっている。従って、セントラル部の電子温度を上げて、高温イオンの電子ドラッグによるエネルギー損失を抑制することは重要な研究課題である。また、ECHにより電子加熱が生じているにもかかわらず、プラズマ全体の

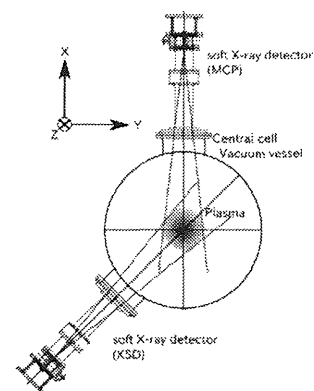


図1 セントラル部X線計測器アレイ配位

エネルギーの指標となる反磁性量が減少する場合があります、セントラル部 ECH 時の物理を解明する上でも X 線計測は極めて重要である。

ECH により加熱されたプラズマ中の電子からは制動輻射によって軟 X 線が放射される。軟 X 線計測には、マイクロ・チャンネル・プレート検出器(MCP)、及び、半導体 X 線検出器アレイ(XSD)を二方向から計測できるよう設置した(図 1)。これにより、プラズマの二次元断面上での空間的な振る舞いを調べる事ができる。さらに、検出器前面に設置した X 線吸収体の違いによる信号比から電子温度を見積もる事が出来る。

図 2 に、軟 X 線強度のピーク位置の時間変化を解析した例を示す。このショットでは、軟 X 線強度のピーク位置は 1 cm 程度の直径で回転している。また、その回転方向は ECH 印加によって形成された径方向電位による $E \times B$ 回転方向と一致している。

また、ECH 入射パワーを 50 kW から 150kW に変化させたときの、MCP による X 線強度径方向分布の時間変化の例を図 3 に示す。50 kW の場合と比較して 150 kW のショットでは、X 線強度分布のフラクチュエーションのレベルが大きくなっていることがわかる。あわせて、反磁性量、電子線密度の減少が観測された。以上のことから、X 線検出器アレイを用いたプラズマの二次元空間分布計測により、ECH 効果を詳細に調べる事が可能となった。

アンテナ開発については、平成 24 年度は主に、位相制御の観点から、伝送途中でプラズマ中を通過せずに、直接共鳴層へ第一パスのみで入射できるアンテナを用いて ECH 実験を行った。その結果、入射パワー 50 kW 設定で、反磁性量が約 10%増加した。これは、以前の 2 パス型のアンテナ系での 150 kW 設定の時と、同程度の増加率であり、1/3 の入射パワーで同程度の効果が得られている。直接入射型のアンテナ系では、偏波制御がより正確に出来るようになった事で、より効率的な加熱ができていると考えられる。しかしながら、ECH 入射パワーを 50 kW から 150 kW に増加すると、反磁性量、電子線密度の減少が観測された。このアンテナ系では、伝送効率が 80%程度と高くないため、散乱 RF によるプラズマパラメータ劣化の可能性がある。以上により、伝送効率の観点から、以前の 2 パス型のアンテナ系をさらに改良して、伝送効率が 70%程度から 95%程度にまで改善した新 2 パス型のアンテナ系を導入した。

今後は、ECH 入射偏波依存性、入射パワー依存性、入射位置依存性等 ECH 効果の詳細なデータ取得・整理を進める予定である。

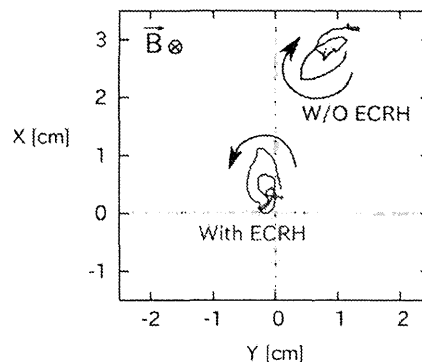


図 2 X 線強度ピーク位置の時間変化例

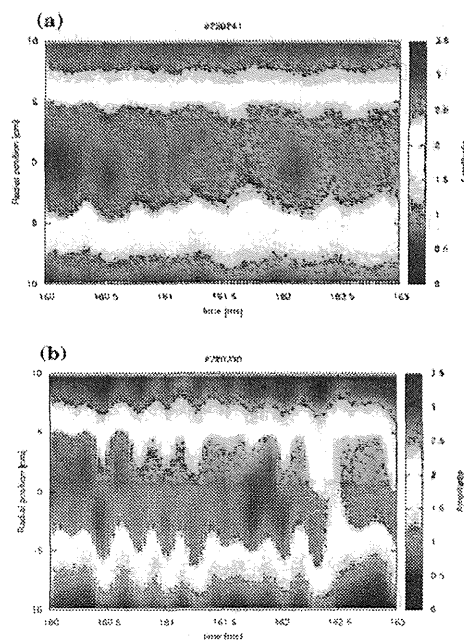


図 3 X 線強度径方向分布の ECH 入射パワー依存性
(a) 50 kW (b) 150 kW

【10】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うえ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。平成 24 年度には、アンカー部に設置した二重弧状 (DAT) アンテナを用いた直接加

熱実験を進展させた。特に、セントラル部中央側に設置されているガス入射装置 (GP#1a, 2a) を用いた時、アンカー部にこれまでの 10 倍を超す高密度プラズマが形成されることを確認した。関連する計測として、プラズマ中の波動計測に用いるマイクロ波反射計を 2 チャンネル化し、波動の空間構造の 2 点同時測定法を確立した。また、アンカー部における加熱効果を計測することを目的として、半導体検出器を用いた計測システムを新たに構築した。

(1) 東西アンカー部の ICRF アンテナを用いたアンカー部高密度プラズマ生成

アンカー部に設置された高周波アンテナをより効率のよいアンテナに改造し、東西アンカー部の影響を調べながらアンカー部直接加熱実験を進めている。アンテナの効率については、京都大学との双方向型共同研究による 3 次元波動解析コードを用いて、非軸対称アンカー部アンテナの負荷抵抗を評価している。これまでに、アンカー部直接加熱の影響が東西両端部への端損失イオン束の増大に有効であることが確認されている。セントラル部の密度に強く依存して、端損失イオンが増大することは十分考えられるが、アンカー ICRF 印加時に観測される端損失粒子束は、必ずしもセントラル部密度と比例するわけではない。アンカー部の密度上昇とそれに伴う電位形成により、セントラル部で生成されたイオンが電位捕捉され、端損失が減少することもある。また、アンカー部で励起された波動が伝搬し、プラグ/バリア部の共鳴層でのイオン加熱、結果としての電子加熱により、プラズマ生成に寄与している可能性も考えられる。平成 23 年度と同様に、セントラル部に設置されている RF1 アンテナとの位相差制御実験の結果、セントラル部に入射するガス量を大幅に増大したとき、著しい密度の上昇を確認した。図 1 に示すように、両アンテナ間の位相差を制御することにより、これまでのアンカー部線密度のほぼ 10 倍以上にあたる、 $4 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ を達成した。このアンカー部線密度上昇は、西側アンカー部でも観測されるが、現状では、 $1.2 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 程度で止まっている。アンカー部サイクロトロン共鳴層の位置が両アンテナ間に存在することにより、位相差制御の効果が大きくないことが一因と考えられる。アンテナ設置位置の変更も加えて、両アンカー部同時加熱によるセントラル部プラズマの高密度化実験につなげていく予定である。

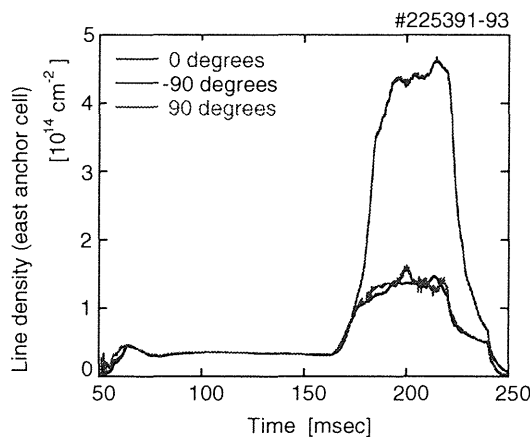


図 1 アンカー部直接加熱時のアンカー部線密度の時間発展(セントラル部アンテナとの位相差に強く依存して線密度の上昇が観測される)

(2) セントラル部 AIC 波動の二点同時計測

2 チャンネルマイクロ波反射計を用いて、GAMMA10 セントラル部において自発励起される AIC 波動の 2 点同時計測を行った。この反射計は 2 台のマイクロ波発振器を用いることにより、異なる送受信アンテナを用いた 2 点同時計測に加えて、同一の送受信アンテナを用いて、同一プラズマ断面内の異なる 2 点における同時計測を行うことができる。本研究では主に磁力線方向に離れた 2 点 ($z = 112, 137 \text{ cm}$) の同時計測と、 $z = 112 \text{ cm}$ における径方向に離れた 2 点同時計測を行い、下記の結果が得られた。

a. 励起直後の周波数が緩やかに上昇する時間帯に、磁力線方向に離れた 2 点間の AIC 波動に伴う密度揺動の位相差は有限値からゼロへと漸近した。セントラル部において軸方向に AIC 波動が定在波を形成していることを意味し、過去に周辺磁気プローブ群により示唆されていた定在波の形成がプラズマ内部領域においても確認された。

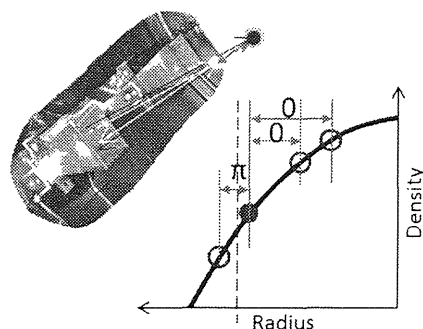


図 2 反射計による径方向 2 点同時計測と AIC 波動に伴う密度揺動の位相の径方向分布イメージ

b. プラズマ中心領域では、AIC 波動の密度揺動は同じ位相で振動しているが、外側では、内側に対して反位相で振動していることが明らかになった。(図2 参照)

(3) アンカー部における AIC 波動の励起とその直接計測

東西アンカー部に導入した Double Arc type (DAT) アンテナから、RF3 システムを用いてアンカー部に共鳴層をもつ ICRF 波動を駆動し、従来の RF1 システムによる加熱と併せてより強くアンカー部を加熱する実験を行っている。新しく東西アンカー部に設置したマイクロ波反射計を用いて極小磁場部内部の密度揺動を計測したところ、RF3 による加熱の重量によりアンカー部の加熱効果が顕著に現れる放電において、9.0- 9.1 MHz の周波数帯に自発的に励起される波動が検出された。その周波数がアンカー部のイオンサイクロトロン周波数の 0.9 倍程度であることから、従来セントラル部で 5.5- 6.0 MHz 帯 (セントラル部イオンサイクロトロン周波数の 0.9 倍程度) に観測されていた AIC 波動がアンカー部においても励起されたことが示唆された。その時の密度揺動の周波数スペクトルをアンカー部の線密度、RF3 パワーの波形と共に図3に示す。これまでに観測された AIC 波動の特徴には、東西アンカー部において差異がみられる。西アンカー部で励起された AIC 波動は、RF3 による追加加熱中に 9.0- 9.1 MHz に安定して励起されているが、東アンカー部で励起された AIC 波動は、その周波数が時間的に鋭く変化の様子が観測されている。また、追加加熱の間常に励起されていない。AIC 波動の駆動力であるプラズマ圧力やその非等方度をアンカー部において計測できていないため、AIC 波動のアンカー部における励起条件、東西アンカー部での違いや、周波数チャーピングの原因はまだわかっておらず、それらの解明は今後の課題である。

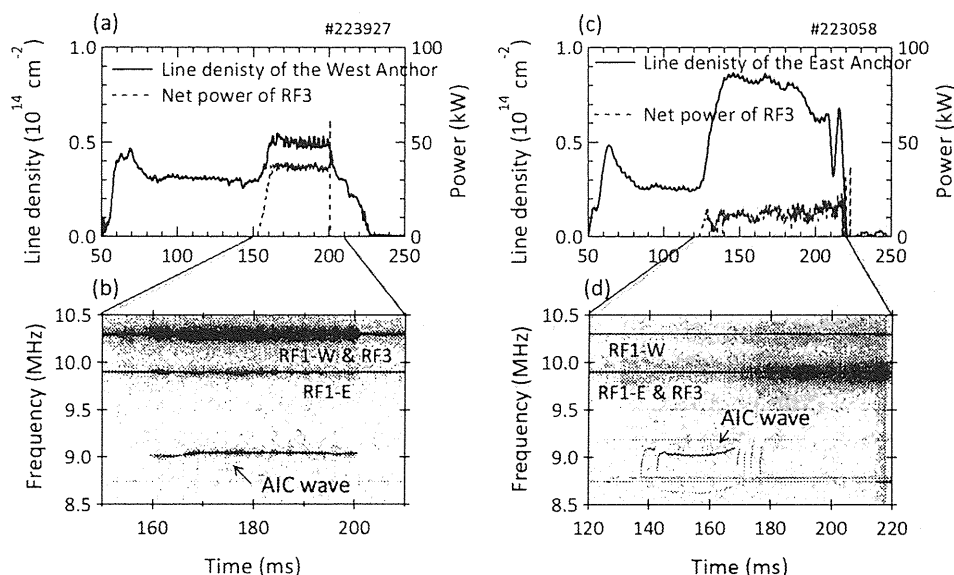


図3 RF3を用いたアンカー加熱増強によるアンカー部における AIC 波動励起の様子。(a) 西アンカー加熱時の西アンカー部線密度と RF3 パワー、(b) 西アンカー部内部密度揺動の周波数スペクトル、および東アンカー部加熱時の(c) 東アンカー部線密度と RF3 パワー、(d) 東アンカー部内部密度揺動の周波数スペクトル

(4) 半導体検出器を用いた ICRF 加熱プラズマの計測

ガンマ10ではプラズマのMHD安定化を計るため、アンカー部においてイオンサイクロトロン周波数帯 (ICRF) の高周波を用いた高温・高密度プラズマ生成を行っている。近年、アンカー部に設置された高周波アンテナ (RF3) により、プラズマ生成・加熱を直接行う実験が進められており、高周波入射条件の違いによる各種パラメータの変化が観測されている。この高周波加熱条件に伴うアンカー部パラメータの変化を計測するため、半導体検出器を用いた計測システムを新たに構築した。

アンカー部は、極小磁場形成のために複雑に組み合わせられたコイルによりプラズマ計測のためのスペースが限られている。そこで、複雑な磁場配位の中でも使用可能で、コンパクトな検出器として構築可能であり、電子エネルギーの情報をもつ軟X線にも、イオンエネルギー情報をもつ荷電交換中性粒子にも感度を持つ半

導体検出器をアンカー部のプラズマ生成・加熱効果の検証に用いた。半導体検出器はガンマ10東アンカー部のミッドプレーン(Z=520 cm)を見込むように設置され、吸収法によるエネルギー分析が可能である。図4に、高周波(RF1, RF2)により生成されたプラ

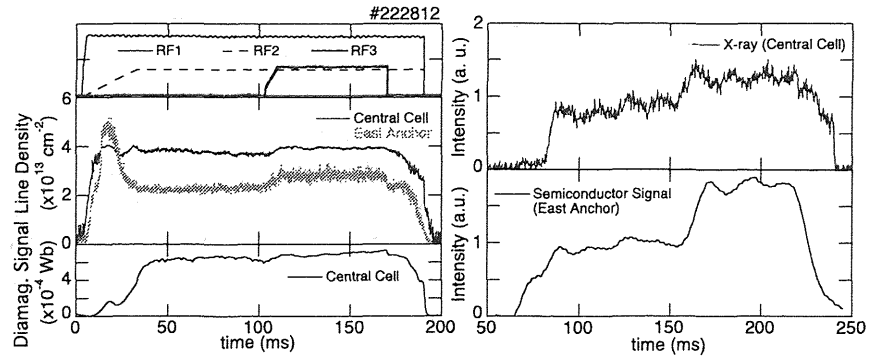


図4 RF3印加による各パラメータの時間変化

ズマにRF3を印加したときの実験結果の一例を示す。RF3印加に伴い、セントラル部・東アンカー部の線密度、セントラル部反磁性量、セントラル部X線量が増大すると共に、アンカー部半導体検出器信号量の増大も観測された。二次電子計測器SEDと半導体検出器のRF加熱条件に対する依存性の違いから、半導体検出器では主に軟X線を計測していると考えられる。また、セントラル部線密度が上昇する条件では電子温度の低下を示唆するデータが得られており、セントラル部の電子追加熱により、高温高密度プラズマ生成が期待される。

(5) 東西アンカー部 ICRF 加熱のセントラル部プラズマに及ぼす影響

平成 23 年度に引き続き、セントラル部中央付近に設置した分割リミター各素片の浮遊電位分布を用いてプラズマの軸対称性の評価を行っている。平成 24 年度は、ICRF 波動のアンカー部直接入射に伴って変化する浮遊電位に着目して解析を行った。ビームプローブ法によりセントラル中心部における電位の著しい上昇が観測されている。図5に東西アンカー部 ICRF 直接加熱時の分割リミター浮遊電位の平均値の線密度依存性を示した。アンカー部アンテナとセントラル部アンテナとの位相制御を行うことにより、セントラル部線密度が変化する。プラズマ中心部における電位は、これまでの実験と同じく、密度の上昇に伴う電子温度の低下とともに減少することが図5(a)に示されている。一方、分割リミターで観測される周辺部における浮遊電位は、東アンカー部入射時は、線密度上昇に伴い増大し、西アンカー部入射時は、減少することがわかる。西アンカー部入射時に、中心部での電位が線密度上昇時には減少することが確認されているので、この傾向の相違は、東西アンカー部におけるアンテナ設置位置等のアンカー部加熱条件に強く依存すると考えられる。アンカー部直接加熱に関して、その物理機構を含めて解析を進めている。

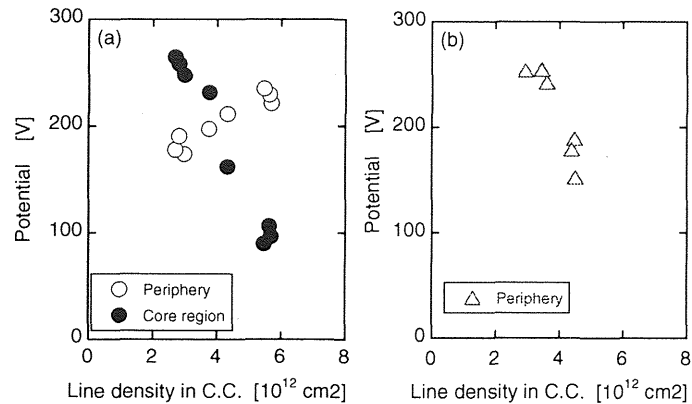


図5 (a)東アンカー部、(b)西アンカー部直接加熱時におけるセントラル部分割リミター浮遊電位の線密度依存性

【11】 GAMMA 10 中性粒子ビーム入射における高エネルギーイオン

磁場閉じ込め装置では、プラズマ密度と温度を上げることが重要である。磁場の影響を受けることなく、プラズマ加熱と粒子補給を行うことができる中性粒子ビーム入射(NBI)装置は、高温高密度プラズマ生成するうえで、最も有効な手段の一つである。セントラルセルに設置されているNBI(C-NBI)は、磁力線に対して、垂直入射を行うことで、粒子の垂直成分の追加熱を行っている。本研究の目的は、NBIで生成された高エネ

ルギーイオンの挙動を、シミュレーションと実験により、明らかにすることである。

タンデムミラー型プラズマ閉じ込め装置GAMMA 10で生成されるプラズマは様々なパラメータを持つ。そのなかでも、Hot-ionモードは、イオンサイクロトロン共鳴周波数帯(ICRF)により加熱された高いイオン温度を持つ。High-densityモードでは、プラズマ密度を高めることを目標に生成され、イオン温度は低くなる。GAMMA 10には、計7台のNBI装置が設置されている。現在、セントラル部の加熱と粒子補給を目的としたセントラルNBI(C-NBI)の効果を再現する為に、数値シミュレーションコード(プラズマビルドアップ計算コード)の改良を行なっている。

(1) セントラルNBI実験

GAMMA 10において、C-NBIの加熱効果が現れやすいモードにおいて実験を行った。この実験の目的は、NBIによる高エネルギーイオンの振る舞いを、明らかにするためである。また、シミュレーションにおいては、高エネルギーイオンが装置軸上での空間構造や時間発展を明らかにするために、粒子コードを作成し、シミュレーションを行っている。

図1は(a)反磁性量、(b)電子線密度、(c)SX線強度、 $H\alpha$ 線強度、(d)低エネルギー成分の荷電交換中性粒子束、(e)高エネルギー成分の荷電交換中性粒子束、(f)ccHEDによる高エネルギーイオン計測の時間変化を示す。この実験は、NBIの時間帯にP-ECH重畳することで実験を行った。図1(a)に示すように、NBI時間中にDMccの有意な上昇が見られ、DMcwにも同様の上昇が見られる。これは、図1(b)から、電子線密度は 6×10^{13} と高く、P-ECHなしと同様の傾向を示している。図1(c)から、NBIの印加時間帯に $Z = 141$ cmでの $H\alpha$ 線の値の増加が見られる。SX線計測では、P-ECH時間帯で上昇が見られていない。図1(d)と(e)から、CX-NPAによる荷電交換中性粒子束の時間変化は、10 keV以下での増加がみられる。ビームエネルギー帯では、上昇が見られなかった。図1(f)及びccHEDの角度スキャンの結果から、中性粒子ビームの入射ポート近傍にバウンス点をもつ80degでは、高エネルギーイオンの顕著な増加がみとめられる。特にNBIのDMccの立ち上がり に似た増加傾向が見られ、NBIの入射ポート近傍に強い増加がみられた。

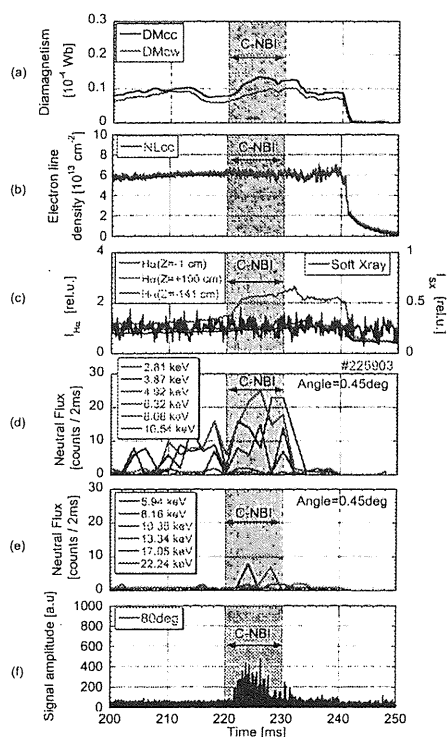


図1 P-ECH重畳時の典型的ショット

(2) 高エネルギーイオンの磁力線方向輸送の検討

スロッシングイオンの時間発展とZ軸方向での形成過程を議論するために、NBIに起因するスロッシングイオンの形成までの時間発展を調べた。粒子コードの特性を生かして、NBIのビームに起因する高エネルギーイオンと背景のイオンを分離して計算を行った。ビームにより生成された同じエネルギー帯のイオンがバウンス運動する様子を記述した。特に、垂直入射による高エネルギーイオンがバウンス運動を繰り返すことで、スロッシングイオン分布の形成は、約 $50 \mu s$ で生成されることが判明した。また、この形成時間に比べると、ビルドアップコードの組み込まれている衝突緩和過程による効果を考慮するよりも、十分に短い。このことは、高エネルギーイオンが計測系で取得された場合に、スロッシングが形成されていることが推察される。また、粒子損失やピッチ角散乱を考慮しない場合

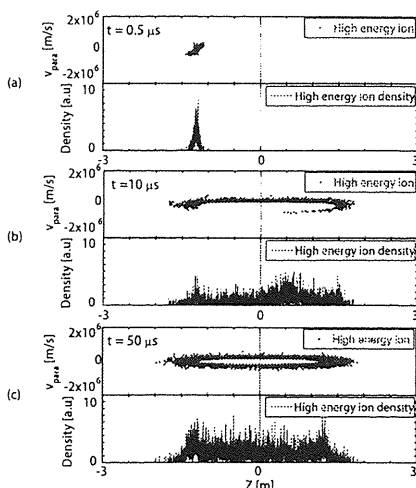


図2 NBIに起因するスロッシングイオン形成のシミュレーション結果

において、ミッドプレーンとバウンス点で約3倍であった。

次に、荷電交換による損失過程とポワソン方程式を解くことで、セントラルセルの摂動電位によるピッチ角散乱を組み込んだ。これにより図2は、 $50\mu s$ の高エネルギーイオンの密度分布はイオンが散乱されて、ミッドプレーンとバウンス点の密度比は約2倍程度になる。図3は、実験結果をもとに、スロッシングイオン密度変換式により導出した密度を規格化したものとシミュレーションの比較である。実験結果において、スロッシング分布の形状は、NBIによる高エネルギーイオンとのシミュレーション比較において、よく一致が見られる。

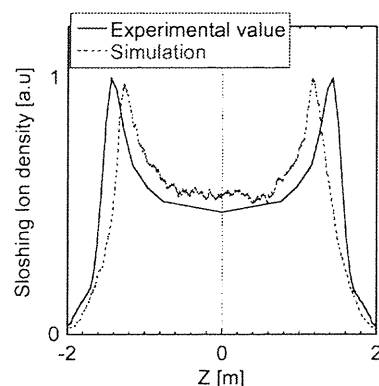


図3 実験とシミュレーションの比較

(3) 結論

GAMMA 10 セントラルセルにおいて、中性粒子ビームに起因する高エネルギーイオンの輸送機構を明らかにするために、シミュレーションと実験による検討を行った。粒子コードの開発ではNBIを模擬するために、確率的な衝突効果を組み込むことにより、NBI由来の高エネルギーイオンのZ軸方向の密度分布や位相空間上での時間発展の記述に成功した。垂直入射による高エネルギーイオンのバウンス時間は約 $5\mu s$ で約10バウンスで定常になることを、本計算コードを用いて明らかになった。一方、片P-ECH重畳した実験においてNBIの入射位置に対応するピッチ角を持った高エネルギーイオン群の形成が確認され、シミュレーションと良い一致を示した。

【12】 GAMMA 10 セントラル部におけるイオンエネルギーバランスの解析

タンデムミラー型プラズマ閉じ込め実験装置GAMMA 10のセントラル部では、荷電交換中性粒子分析器 (Charge Exchange Neutral Particle Analyzer : CX-NPA) を用いて、プラズマの状態を記述する基本的パラメータであるイオン温度の径方向分布を求め、同時にイオンの加熱機構と損失機構について解析を行っている。その目的は、高エネルギー粒子の閉じ込めやエネルギー損失が古典的であるかということを示し、これらが既知の理論から予測される結果と異なる場合は、その振る舞いを探ることにある。本研究の目的は、RFによる加熱をベースとしたプラズマに対し、P-ECRH入射によりエレクトロンドラッグが抑制され、イオン温度が上昇するというメカニズムを、CX-NPAを用いて検証することである。また、数値計算コードを用いたイオンのエネルギーバランスの時間発展解析を行い、プラズマ性能の向上に役立てることである。

(1) 東西プラグ ECRH 入射実験

閉じ込め電位形成に伴うイオンエネルギーバランスを調べるために、セントラル部のプラズマ閉じ込め向上を目的とした、東西プラグ部に設置されたECRH入射実験を行なった。実験シーケンスならびに、反磁性量と電子線密度の時間変化を図1に示す。イオン温度の解析は、反磁性量が定常となったRF時間帯とRF+P-ECRH時間帯で行った。

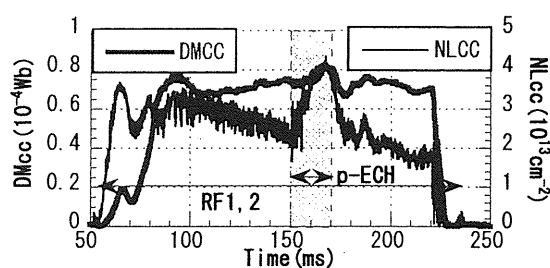


図1 P-ECRH 印加時のプラズマパラメータの時間変化

NPA計測結果からイオン温度は中心で3.7keVから4.3keVまで上昇し、トムソン散乱計測結果から電子温度は33eVから39eVまで上昇していたことがわかった。各プラズマパラメータと併せて解析した、セントラル部メイン領域($Z=\pm 150\text{cm}$)におけるイオンのエネルギー損失量を図2に示す。本実験では、イオンへ注入されたRFパワーの損失過程は、電子とのクーロン衝突による損失(Q_{ie})、中性水素原子・分子との荷電交換による損失(Q_{cxH} , Q_{cxH_2})の3つが主要なものと考えて評価している。解析の結果、ECRHによりイオン温度が上昇したことで、 Q_{ie} が25%上昇しており、イオン加熱に貢献していたことがわかった。イオン損失は両時間帯で Q_{ie}

が支配的であり、荷電交換による損失と軸方向損失の割合は小さいことが判った。

荷電交換中性粒子エネルギー分析器の測定結果に基づき、数値計算コードを用いて導出したイオン温度の径方向分布や、プラズマ諸量の測定結果を初期値として、エネルギー収支時間発展解析コードに入力し、電子密度分布や温度分布の時間変化のパラメータを併用しつつ、イオン温度分布並びに反磁性量の時間発展をシミュレーション解析する。本実験におけるイオン温度の時間追跡の解析結果を図3に示す。現段階では実験結果を再現するに至っていない。

P-ECRH入射中は密度が増加している為、イオン同士の衝突等の頻度が多くなることを考えると、軸方向への損失が無視できない可能性がある。今後、軸方向へのエネルギー輸送を定量的に評価し、解析に組み込む必要があると考えられる。

(2) まとめと今後の課題

GAMMA10 セントラル部において、プラグ部 ECRH 時のイオンエネルギーバランスを解析した。その結果、イオン損失は Q_{ie} が支配的であり、閉じ込め電位の形成がイオン加熱に貢献することが分かった。今後、軸方向損失の評価とエネルギーバランスの時間発展を考慮し、より詳細な解析を行うことが望まれる。

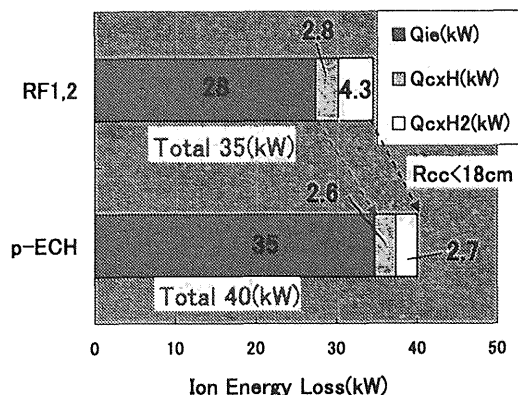


図2 P-ECRH 実験におけるイオン損失エネルギー量の解析結果

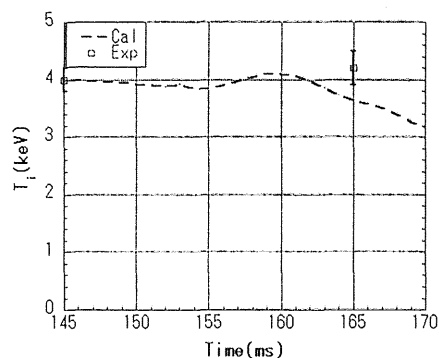


図3 : P-ECRH 実験のイオン温度時間追跡の解析結果

【13】 GAMMA 10 SMBI における粒子供給の最適化

適切な粒子補給はプラズマの高性能化にとって非常に重要な問題である。粒子補給における課題としては、高温・高密度プラズマに対して中心部まで粒子を補給すること、周辺部への余分なガスを出来るだけ少なくすることが挙げられる。この課題を解決する手法の一つである超音速分子ビーム入射法 (SMBI) が GAMMA 10 に設置された。より収束性の高い粒子供給のために、本年度よりストレートノズルを導入した。本研究の目的は、新たに導入したストレートノズルの効果を、実験とシミュレーションの両面において検証することである。

(1) 2点同時計測システムとストレートノズルを用いた超音速分子ビーム入射実験

GAMMA 10 における高速カメラシステムと、今回新たに導入されたストレートノズル付き SMBI の設置の模式図を図1に示す。図2に、セントラル部下部の真空容器内の画像を示す。SMBI による水素ガス入射に伴ったプラズマ発光や挙動を観測するため、2分岐ファイバーを用いることで水平方向、垂直方向の同時測定を可能とした高速カメラシステムを構築している。高速カメラの視野は、SMBI および従来のガスパフの入射領域を、同時に観測できるように設定されている。ストレートノズル付き SMBI のプレナム圧を変えることで、SMBI によって中性粒子の挙動にどのような変化が起こるのかを高速カメラを用いて調べ、ストレートノズルの無い場合との比較を行い、粒子の収束性におけるストレートノズルの効果の検証を行った。

SMBI 入射時の発光輝度の磁力線方向 (z 軸方向) の分布の半値幅を用いて評価することで、SMBI による粒子の収束性、および中性粒子の磁力線方向の拡散度合いを評価することができる。図3にその半値幅のプレナム圧に対する依存性を示す。この図からノズル無しの場合に比べ、ストレートノズル付きの場合の方がより収束性の高い結果を示した。また、ストレートノズル付きの場合は低いプレナム圧 (<1MPa) に対して

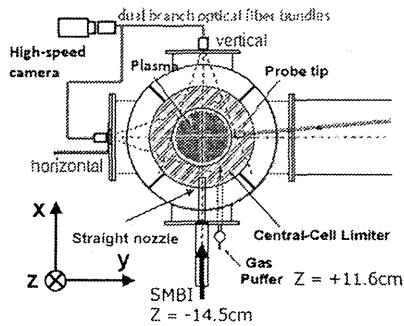


図1 ストレートノズル付き SMBI と高速カメラの設置位置の模式図

は収束性が改善したが、それ以上のプレナム圧に対しては収束性が飽和しており、プレナム圧が 2MPa の場合にはノズル無しの場合とほぼ同じになることがわかった。以上より、低プレナム圧の場合には単純なストレートノズルを用いるだけでも収束性を向上できることが分かった。

高速カメラ 2 次元イメージから推定した中性粒子の磁力線方向の拡散は、現状のプレナム圧では、28cm 程度が限界であることがわかった。また、高プレナム圧の場合でも、より収束した粒子供給を得るために、ノズル形状の改善を検討した。ヘリオトロン J 装置や LHD 装置では、収束性の高い粒子供給のためにラバールノズルが用いられている。今回両装置で用いられているラバールノズルを参考に、GAMMA10 用のノズルを設計・製作した。図4に製作したラバールノズルを示すが、次回の実験サイクルで導入試験を行う予定である。

(2) 中性粒子輸送シミュレーション解析

中性粒子輸送シミュレーションコード (DEGAS) を用いて SMBI における中性粒子挙動の解析を行った。以前の研究において、ガスパフと SMBI の中性粒子の挙動の違いの一つに供給ガスの発散角があることが確認されている。今回は、以前の研究で明らかになっている SMBI を再現するのに最適な発散角を粒子の初期条件に与え、さらに、ストレートノズルのメッシュを追加することで、ストレートノズル付きの SMBI 実験のモデリングを行った。その結果を実験結果と比較することで、ストレートノズルの効果を再現できるか調べた。図5に、今回シミュレーションで用いたメッシュモデルを示す。メッシュモデルには詳細な構造を考慮した SMBI ポート、さらに今回新たに導入したストレートノズルのメッシュも追加した。ここで、シミュレーションにおけるテスト粒子の初期条件のひとつである、粒子源からの発散角の指標として σ_{div} を定義する。従来のガスパフでは、この発散角を cosine 分布で与えられており、ここでは $\sigma_{div} = 1$ の時、粒子の発散角は cosine 分布で与えられるとする。 $\sigma_{div}=1/2$, $1/3$ の場合は、その発散角がそれぞれ従来のガスパフの $1/2$, $1/3$ となることを示している。シミュレーションにおいて、磁力線方向への拡散度合いの指標はシミュレーション

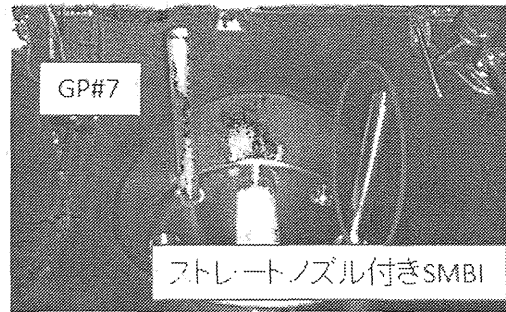


図2 セントラル部下部の真空容器内画像

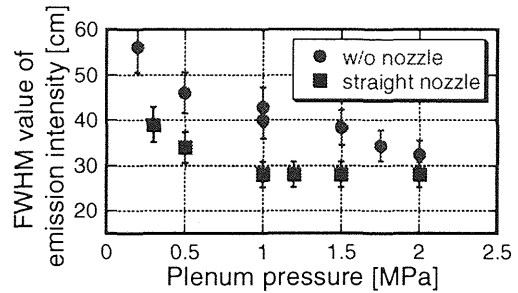


図3 各プレナム圧に対する発光強度の半値幅

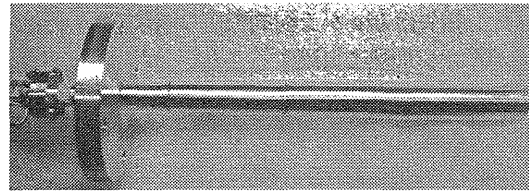


図4 製作したラバールノズル

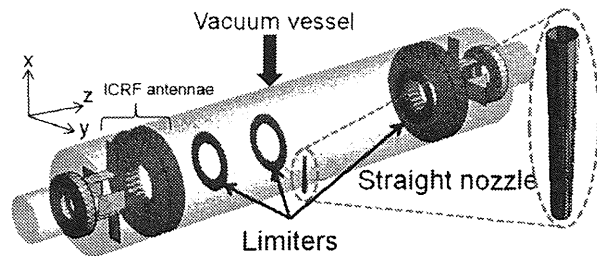


図5 DEGAS における 3 次元メッシュモデル

により算出したH α 線発光強度の磁力線方向分布の半値幅を用いる。

図6に各発散角に対する半値幅の依存性を示す。発散角を小さくするに従って、半値幅が狭くなることが分かる。図6の斜線部は、高速カメラ画像から得られた中性粒子の磁力線方向の拡散度合いの範囲を示している。斜線部の実験結果と比較すると、 $\sigma_{div}=1/2$ の場合が、最も実験結果に近い半値幅を持つことがわかる。この結果を用いて、高速カメラの視野と同じ場所におけるH α 線発光強度の2次元分布を算出した。

図7に高速カメラの画像とシミュレーションにより算出したH α 線発光強度の2次元分布との比較した結果を示す。この図からわかるように、実験結果を定性的に再現できていることがわかった。

(3) まとめ

新たに導入したストレートノズル付きSMBI実験を行い、中性粒子輸送を高速カメラと中性粒子輸送シミュレーションを用いて解析を行った。ストレートノズルを用いることで簡単に収束性を挙げられることがわかったが、高いプレナム圧においてその収束性が飽和してしまうことがわかった。今後、ラバールノズルを用いた実験を行い、より指向性の高い粒子供給を目指した研究を進める。またシミュレーションにおいても、モデルの3次元性を生かした中性粒子分布の空間構造や侵入長の評価も行う予定である。

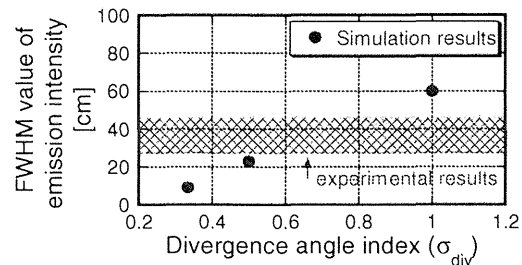


図6 各発散角に対する発光強度分布のシミュレーションによる半値幅依存性

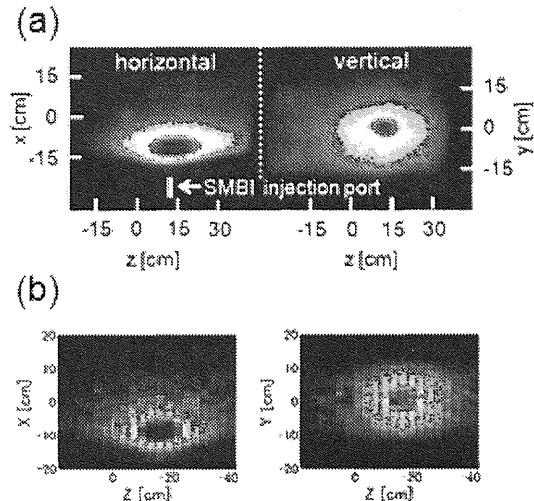


図7 H α 線発光強度の2次元分布の比較
(a) 実験結果 (b) シミュレーション結果

【14】開放端磁場を用いたダイバータ模擬の基礎実験

昨年に続き、GAMMA 10でのSMBI (Supersonic Molecular Beam Injection) による粒子補給実験を行い、水平方向と垂直方向からの二方向同時計測システムを用いた高速カメラ計測を行った。また、SMBIとセントラル部のECH (c-ECH) を重畳した場合、SMBIによるプラズマ持続効果が判明したので、通常のカスパフ (GP#7) との比較も行った。

(1) 実験装置

本研究で用いた高速カメラは、MEMRECAM GX-1 Plus (NAC製) であり、実質的な最高速は、8x64画素で200,000コマ毎秒 (FPS) である。撮影視野やプラズマの発光強度などの実験条件を考慮し、GAMMA 10においては10,000 fps (320 pixel×240 pixel) ~40,000 fps (256 pixel×96 pixel) で撮影を行っている。今回の実験では、20,000 fpsで撮影を行った。図1に、高速カメラとSMBI、GP#7の設置位置であるセントラル部の断面図を示す。SMBIはZ=-14.5 cm、カスパフはZ=+11.6 cmに設置しており、高速カメラ

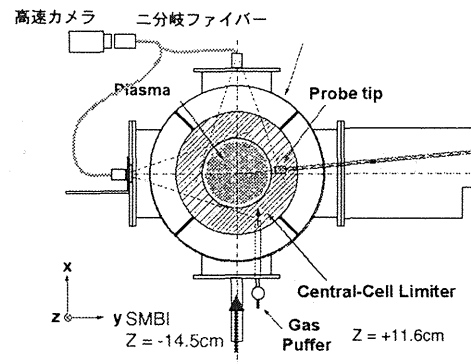


図1 GAMMA 10 セントラル部におけるカスパフ、SMBI と高速カメラの配置

を用いてガス供給実験を観測した。図2は、高速カメラの典型的な観測画像である。カメラは、2分岐イメージファイバーを用いて、プラズマを水平方向と垂直方向から観測している。

(2) 実験結果

本年度では、c-ECH を印加するとプラズマが持続しない現象が見られた。この現象は、壁のクリーニングが未完である事が原因として予想されていた。この時、c-ECH と SMBI を重畳することにより、プラズマが持続することが実験的に判明した。図3は、SMBI 実験時の典型的な放電波形であり、DMcc、NLcc の時間変化を示す。図3 (a)は反磁性量を示し、図3

(b)は電子線密度を表している。SMBI システムを用いてガス供給 (140 msec) を行うと反磁性量は減少し、電子線密度は増加する結果が得られた。これは、ガス供給によってセントラル部のプラズマ中の高エネルギー粒子が中性粒子との荷電交換反応でロスするためだと考えられる。

さらに、SMBI、及び、GP#7 入射の放電で、高速カメラ画像のリミター上のある点での時系列データをフーリエ解析し、スペクトル解析 (Nyquist 周波数 10kHz) を行った。図4 (a)はガス入射を行わずに c-ECH 単独で印加した時のスペクトルである。c-ECH は 170- 180msec の 10msec 間入射されている。単独印加の時は、広い周波数の範囲で揺動信号が確認され、その結果プラズマは潰れてしまう図4 (b)や(c)のように、ガスパフや SMBI によるガス入射で、プラズマが持続する場合は、c-ECH 単独入射時のような高周波側のスペクトルが出ない結果となった。c-ECH 入射時、画像ではセントラル部のリミター付近にプラズマとの相互作用による発光の回転 ($E \times B$, $E > 0$) が現れるが、プラズマが潰れてしまう場合よりも持続する場合の方が発光量は少ない傾向があった。プラズマが持続した原因として、この $E \times B$ によるプラズマ相互作用の減少が考えられる。その他にも、c-ECH 印加で増加した損失粒子をガスパフなどが補うことによってプラズマが持続した等も考えられる。

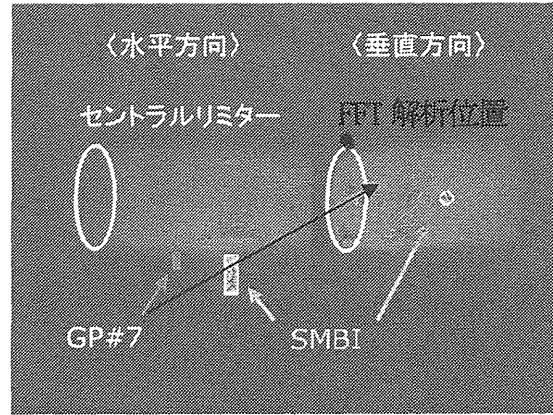


図2 SMBI 実験における高速カメラ画像

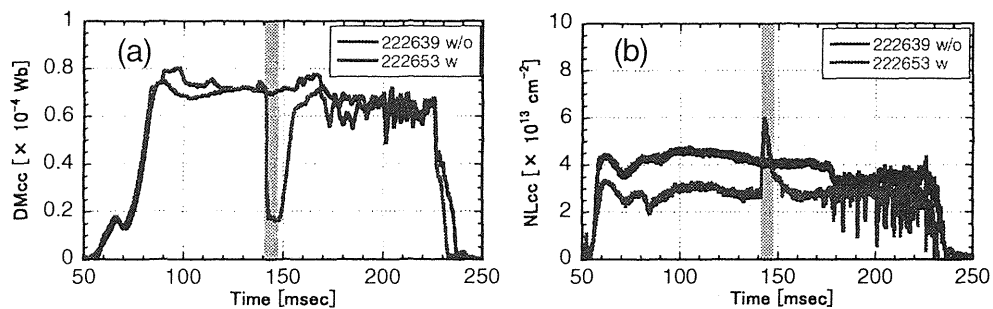
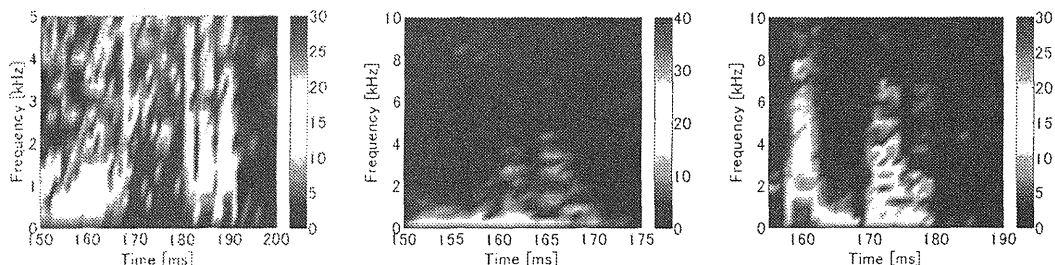


図3 反磁性量DMcc とプラズマ線密度NLcc (with SMBI, without SMBI)



(a) C-ECRH 100 kW, (b) GR#7 125Torr, c-ECRH 100kW, (c) SMBI 1.5MPa, c-ECRH 100kW

図4 高速カメラ画像におけるピクセルのパワースペクトル

(3) 結論

リミター上の画素データによる周波数解析からは、ガスパフ時における揺動低下が見られた。さらに、GNBP による中心部の電位計測では、SMBI、および、GP#7 による電位低下が見られた。おそらく、周波数成分が減少した理由は、ガス入射による空間電位の減少により揺動の減少したものと思われるが、この確認は今後の課題である。

【15】開放端磁場を用いたダイバータ模擬の基礎実験

燃焼プラズマの定常維持の為に、高熱流束に耐えるダイバータの開発が急務の課題となっている。開放端磁場配位は、ダイバータと共通する磁力線の構造をしており、タンデムミラープラズマにおいて、軸方向閉じ込め電位の無いプラズマ周辺部はトーラスプラズマの SOL 領域に、ミラー端部はダイバータ板前面の開放磁場領域に酷似している。本研究の目的は、タンデムミラープラズマ閉じ込め装置ガンマ 10 のダイバータプラズマの模擬装置としての可能性を探るために、実験的及び数値計算に基づいた検討を行うことである。これによって、開放端磁場配位を活かし、ダイバータ開発における課題解決に向けた貢献を行う。

(1) 実験装置

図 1 に西エンド部真空容器と今年度稼働を開始したダイバータ模擬実験モジュール (Dモジュール) の配置を示す。平成 23 年度までに設置した計測器は、端部ミラーコイルの中心から中心軸外側に向かって 30 cm の位置 ($Z_{\text{EXIT}} = 30$) にあるカロリメータと方向性プローブの複合計測器、複数のターゲット及び計測器を備えて、 $Z_{\text{EXIT}} = 70$ cm に設置されている回転式ターゲットアセンブリ、エンドタンクに設置されている端損失イオンエネルギー分析器 (ELIEA) などがある。また、ターゲット材とプラズマとの相互作用光は、高速カメラを用いて計測されている。

平成 24 年度、新たに本格的なダイバータ模擬実験を遂行するために大型の模擬実験モジュールが稼働を開始した。図 2 に Dモジュールの概略図と写真を示す。本モジュールは、SUS 製の断面 50×48 cm、長さ 70 cm の直方体の容器で、前方にある $\phi 20$ cm の円形ポートから、端損失プラズマ流が導入される。容器内部には、V 字形の 2 枚のタングステン製ターゲット ($30 \text{ cm} \times 35 \text{ cm}$) が設置されており、V 字形開口部の角度が 15 度から 80 度まで可変となっている。また、後部排出口が設置され、扉の開き角度を変えることにより、容器内部の中性粒子圧力を制御できるようになっている。

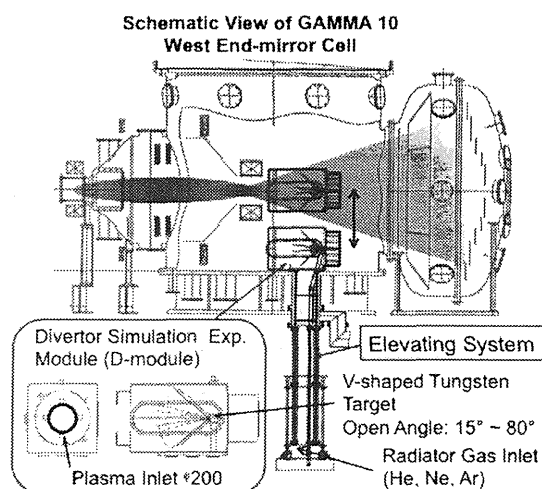


図 1 ガンマ 10 西エンド部真空容器と今年度稼働を開始したダイバータ模擬実験モジュール

(2) 実験結果

典型的な高周波波動 (ICRF) 生成プラズマ (センタール部 $2\text{--}3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 、イオン温度 5 keV) において、ELIEA による端部イオン流のエネルギー分析が行われ、プローブとカロリメータにより熱流束と粒子束密度から求められたイオン温度との比較が行われた。図 3 に示すように、両者は良い一致を示し、磁力線に沿った実効的なイオン温度 T_{eff} が 100 eV ~ 400 eV の範囲で、制御可能で

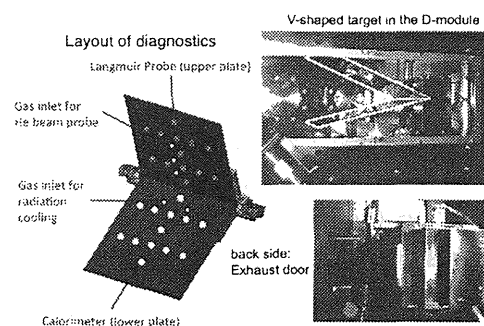


図 2 ダイバータ模擬実験モジュールの概略図と写真

あることも明らかとなった。

また、セントラル部プラズマ密度と端損失粒子束密度との関係も調べられた。図4に、ELIEAで計測されたイオン流束のセントラル部プラズマの線密度に対する依存性を示している。密度は、主としてガスパフによって制御されており、それほど大きく変化出来ていないが、非常に良い直線関係にあることが判明し、端損失粒子束もセントラル部のプラズマパラメータで制御可能であることを見出した。

一方、アンカー部に別のICRF波動(RF3)による追加加熱を行い、端損失イオン流の大幅な増強に成功し、 10^{23} H/m²に匹敵する粒子束密度が得られた。このことから、隣接するミラーセルにおけるプラズマ追加加熱の有効性を示され、ICRFを用いた高粒子束密度発生への明るい見通しを示すことが出来た。

図5は、RF生成プラズマへのECH重畳により、高熱流束密度の発生に成功した結果を示している。平成23年度までの実験では、ICRF加熱されたプラズマからの端損失粒子の熱量が、ECHの重畳により大幅に増加し、300 kWのECHで9 MW/m²が達成されていた。今回短パルスでのECH重畳の試みにより、図から判るように、ECHパワーに対して熱流束密度は、ほぼ直線的に増加し、380kW、5msのECHパルスの重畳により、ITERダイバータの熱負荷に匹敵する10 MW/m²を超える熱流束の発生が確認された。

Dモジュールを用いた実験は、まずICRF加熱プラズマから流出する端損失プラズマ流をDモジュール内部に設置したタングステン製V字ターゲットへ入射し、高速カメラを用いてプラズマとターゲット材との相互作用光を測定することで開始された。図6は、Dモジュール内に設置したV字ターゲットの開口角度 α_v を変化させた際のプラズマターゲット相互作用による発光の様子を、高速カメラで捕らえたものである。開口角度が狭くなるにつれて、入り口近傍(画像左側)の発光強度が増し、ターゲットの奥の方へ行くにつれて輝度が下がっているのが分かる。この時、ターゲット上面に取り付けた静電プローブアレイの信号からも開口角が広い(60°)場合、磁力線方向に沿って平坦であった電子温度、密度が、開口角が狭い(30°)場合には両方共にV字ターゲットの奥に向かって減少する傾向が見られた。

V字ターゲット部のプラズマ特性を評価するために、上側ターゲット板に13個の静電プローブとHe I線強度比法のためのHeガス射出ノズルが設置されている。ターゲット板から射出されたHeガスとプラズマとの相互作用による3種類のHe I線(2p¹P-3d¹D: 667.8 nm, 2p¹P-3s³S: 706.5 nm, 2p¹P-3s¹S: 728.1 nm)強度を測定し、それらの強度比からプラズマの電子密度、電子温度を評価した。図7に典型的なプラズマ放電における電子温度と電子密度の時間変化を示す。静電プローブにより評価した電子温度とHe I線強度比法により評価した電子温度の違いは、図7(a)内の挿入図に示す測定位置の違いが一因となっていると考えられる。t=170msからアンカー部への追加加熱(RF3)が行われており、V字ターゲット部での電子温度の減少と電子密

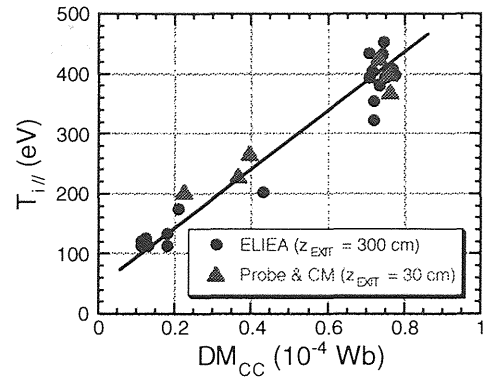


図3 セントラル部反磁性量に対する磁力線方向のイオン温度 $T_{i||}$ の依存性

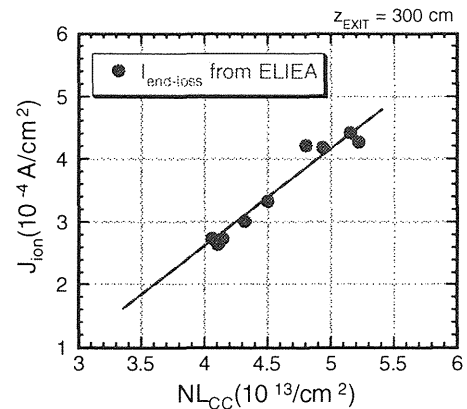


図4 ELIEAで測定したイオン流束のセントラル部プラズマ線密度 $N_{L_{CC}}$ に対する依存性

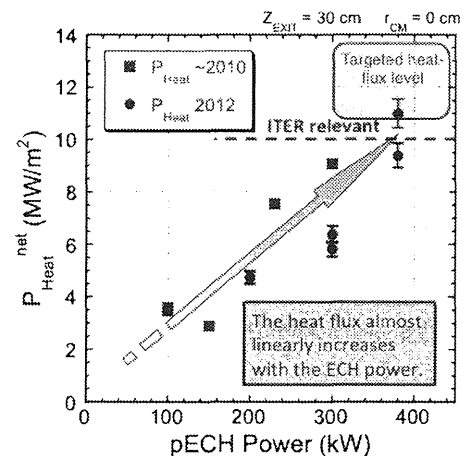


図5 ECH印加中の熱流束密度のECHパワー依存性

度の上昇が観測されている。RF3 の増強、最適化により V 字ターゲット部プラズマのさらなる高密度化が期待される。

また、Dモジュール内における、分光器を用いた中性水素や不純物粒子の挙動を調べた。その結果 H α 線強度の比較から、Dモジュールの閉室化に伴う中性粒子圧縮効果を示唆する現象や、Ar ガス導入による不純物輻射光の強い増加が観測され、放射冷却ダイバータの機構解明に向けた基礎実験結果が得られ始めている。一方、実験的研究と並行して流体コードを用いてエンド部背景プラズマのシミュレーション解析が始まっており、ダイバータ模擬実験への指針を得る為の研究が開始されている。

(3) まとめ

新ダイバータ実験装置 (E-Div.) を導入した境界プラズマにおける粒子輸送制御研究を課題として、ガンマ 10 端部ミラー出口において、端損失プラズマ流による高熱流束発生に向けた実験を開始した。その結果、ICRF パワーによるエンド部プラズマ流の良好な制御性や隣接するミラーセルでのプラズマ加熱の有効性を実証し、ECH の短パルス重畳による 10 MW/m² を超える高熱流束発生成功など、ダイバータ模擬に必要な熱流密度を発生できる見通しを示した。今年度より稼働を開始した Dモジュールを用いた本格的ダイバータ模擬実験では、静電プローブ、HeI 線強度比法を用いたプラズマ特性評価、V 字ターゲットとプラズマとの相互作用観測、不純物ガス入射による放射冷却の模擬実験が行われ、中性粒子圧縮や不純物入射による輻射挙動について興味深い結果が得られ始めた。今後は更に熱流・粒子束密度の強化に向けてプラズマ生成・加熱の最適化を推し進めると共に、Dモジュールを用いたダイバータ模擬実験、プラズマ壁相互作用並びに非接触プラズマの定常維持に関する機構解明へ向けて研究を進めてゆく。

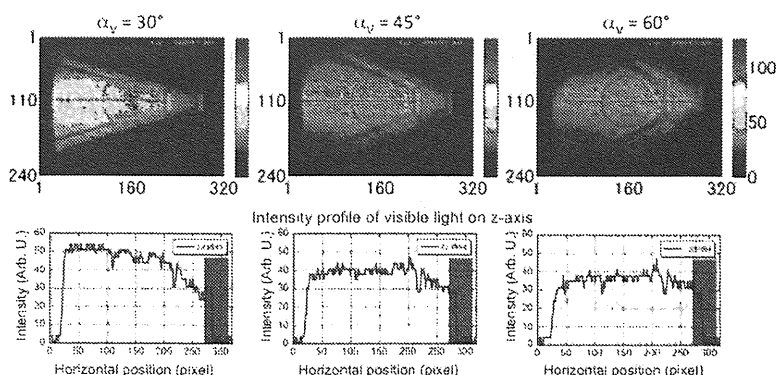


図6 Dモジュール内に設置したV字ターゲットとプラズマとの相互作用による可視光発光の2次元画像 (上) と中心軸上の強度分布

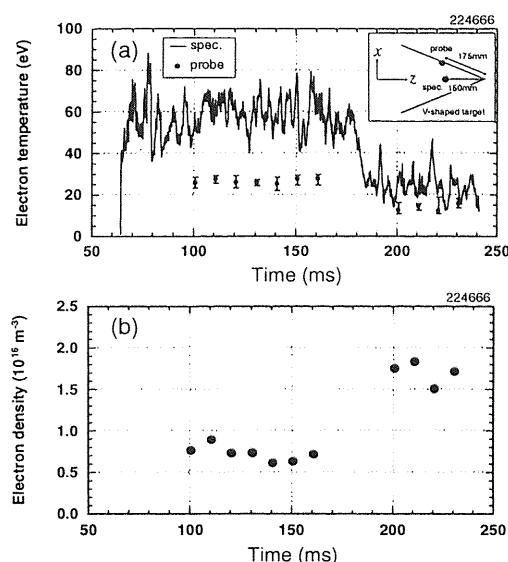


図7 V 字ターゲット部のプラズマの (a) 電子温度 (実線は静電プローブ、黒丸はHeI 線強度比法による評価) と (b) 静電プローブにより評価した電子密度の時間変化。t=170ms からアンカー部への追加加熱(RF3)が行われている。

【16】金中性粒子ビームプローブの空間2点同時電位測定による GAMMA 10 プラズマの局所電場計測

プラズマ中に誘起される電場は、E×B フローシアによる熱輸送低減などのようにプラズマの閉じ込めに対して重要な役割を担っている。GAMMA 10 ではこれまでに金中性粒子ビームプローブ (GNBP) を改良して、プラズマ中の空間2点のプラズマ電位を同時計測し、プラズマ中の電場を精度よく計測することに成功しており、今回、セントラルプラズマの両側のプラグ部とバリア部への電子サイクロトロン加熱 (ECH) 時のセントラル部プラズマの電位の時間変化を測定した。図1に、約240kWのイオンサイクロトロン周波数帯加熱により維持されたプラズマに、約150kWのバリアECHと約300kWのプラグECHを印加した際のセントラル部

ラズマ中心部 ($r \sim 1\text{cm}$, $r \sim 2\text{cm}$) の電位の時間変化を示す。プラグ ECH 印加によりプラズマ中心部の電位が $100\text{V} \sim 150\text{V}$ 上昇していることが分かる。図 2 に示すように、空間 2 点の電位から評価したプラズマ中心部の電場は、プラグ ECH 印加前にはわずかに負だったものが、プラグ ECH 印加により $+15\text{V/cm}$ 程度まで増加することが分かった。電場はプラズマ中心から外側へ向かう方向を正としている。

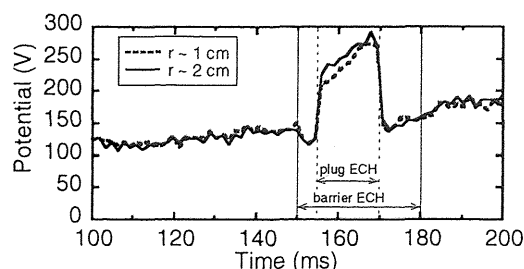


図1 GAMMA 10 セントラルプラズマの $r \sim 1\text{ cm}$ と $r \sim 2\text{ cm}$ での電位の時間変化

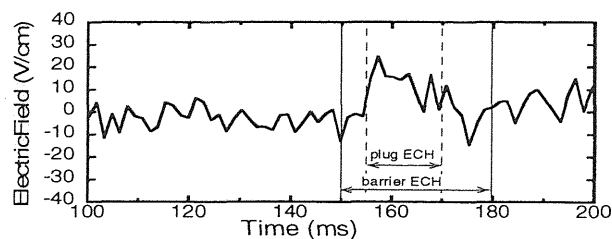


図2 図1の電位から計算した電場の時間変化

【17】粒子シミュレーションと簡約MHDシミュレーションによる安定化の研究

陰解法を用いた粒子コードを開発し、巨視的な不安定性であるフルート不安定性の安定化に関する研究を行った。フルート不安定性を安定化する方法として line tying があるが、line tying が実際にフルート不安定性をどのように安定化するか、粒子コードを用いて研究した。その結果フルート不安定性に対する準線形な安定性条件を発見した。GAMMA10 には MLO という名前の伝導性リミターがプラズマ内に挿入されている。この MLO は line tying の効果を持っている事が期待される。GAMMA10 磁場配位で簡約 MHD シミュレーションを実行する事で MLO のフルート不安定性に対する安定化効果を定量的に明らかにした。フルート不安定性は速度シアによっても安定化されることが期待されている。この速度シアによる安定化の研究を粒子シミュレーションおよび簡約 MHD シミュレーションで開始した。本年度は予備的な計算を行い、速度シアによってフルート不安定性が安定化される傾向がある事を明らかにする事が出来た。Line tying によるフルート不安定性の安定化については本年度 10 月に San Diego で開催された IAEA 国際会議で発表して、学術雑誌 Nuclear Fusion 誌 2 月号に掲載された。

〈論文〉

01. H. Nakanishi, M. Kojima, C. Takahashi, M. Ohsuna, S. Imazu, M. Nonomura, M. Hasegawa, M. Yoshikawa, Y. Nagayama and K. Kawahata,
Fusion virtual laboratory: The experiments' collaboration platform in Japan,
Fusion Engineering and Design **87** (2012) 2189-2193.
02. M. Yoshikawa, F. Yaguchi, Y. Miyata, M. Morimoto, Y. Shima, Y. Nakashima, M. Ichimura, T. Imai, I. Yamada, K. Kawahata, H. Funaba, R. Yasuhara, K. Narihara, T. Minami, and J. H. Lee,
Radial electron temperature measurements by using newly installed Thomson scattering system in GAMMA 10,
Journal of Instrumentation **7** (2012) C03003.
03. R. Ikezoe, S. Masamune, K. Oki, A. Sanpei, H. Himura, T. Onchi, and A. Hirose,
Phase Locking and Unlocking Associated with Transition to Quasi-Single Helicity State in the RELAX Reversed-Field Pinch,
Journal of the Physical Society of Japan **81** (2012) 115001.
04. H. Takahashi, T. Shimozuma, S. Ito, S. Kubo, Y. Yoshimura, H. Igami, M. Nishiura, S. Kobayashi, Y. Mizuno, K. Okada, Y. Takita, S. Ogasawara, R. Makino, T. Mutoh, T. Kariya, R. Minami and T. Imai,
High Power and High Efficiency Operation of 77 GHz Gyrotrons by Stepwise Raising of the Anode Voltage,
Plasma and Fusion Research **7** (2012) 1205154.
05. H. Nakanishi, S. Imazu, M. Ohsuna, M. Kojima, M. Nonomura, M. Shoji, M. Emoto, M. Yoshida, C. Iwata, H. Miyake, Y. Nagayama and K. Kawahata,
Improved Data Acquisition Methods for Uninterrupted Signal Monitoring and Ultra-Fast Plasma Diagnostics in LHD,

- Plasma and Fusion Research **7** (2012) 2405007.
06. S. Ogasawara, S. Kubo, M. Nishiura, T. Saito, Y. Tatematsu, K. Tanaka, T. Shimoizuma, Y. Yoshimura, H. Igama, H. Takahashi, S. Ito, Y. Takita, S. Kobayashi, Y. Mizuno, K. Okada, R. Minami, T. Kariya, T. Imai, Identification of spurious modes of high power 77 GHz gyrotron for Collective Thomson scattering in LHD, Plasma and Fusion Research **7** (2012) 2405061.
 07. K. Ichimura, Y. Nakashima, K. Hosoi, H. Takeda, T. Ishii, H. Ueda, S. Kigure, S. Takahashi, S. Hotaka, M. Ichimura, R. Ikezoe, M. Yoshikawa, M. Sakamoto and T. Imai, Analysis of End-Loss Ion Flux for Application Studies of the Plasma Flow from the End Mirror Exit of GAMA 10, Plasma and Fusion Research **7** (2012) 2405147.
 08. K. Oki, D. Fukahori, K. Deguchi, S. Nakaki, A. Sanpei, H. Himura, S. Masamune and R. Paccagnella, Characterization of Quasi-Single-Helicity States in a Low-Aspect-Ratio RFP, Plasma and Fusion Research **7** (2012) 1402028.
 09. A. Rusinov, M. Sakamoto, H. Zushi, R. Ohya, I. Takagi, T. Tanabe and N. Yoshida, Deuterium Trapping in Rolled Polycrystalline Tungsten Exposed to Low Energy Plasma, Plasma and Fusion Research **7** (2012) 1405105.
 10. A. Sanpei, K. Oki, D. Fukahori, K. Deguchi, S. Nakaki, K. Nishimura, H. Himura, S. Masamune, S. Ohdachi, N. Nishino and T. Onchi, Design and Initial Result of Time-Resolved Vertical Soft X-Ray Imaging System in Low-A RFP, Plasma and Fusion Research **7** (2012) 2402052.
 11. H. Idei, H. Zushi, K. Hanada, E. Kalinnikova, K. Nakamura, A. Fujisawa, Y. Nagashima, M. HASEGAWA, K. Matsuoka, T. Kariya, T. Imai, R. Minami, N. Yoshida, M. Sakamoto, H. Watanabe, K. Tokunaga, A. Ejiri, M. Sakaguchi, M. Ishiguro, S. Tashima, A. Fukuyama, H. Igami, S. Kubo, M. Isobe, K. Nagaoka, H. Nakanishi, N. Nishino, S. Kawasaki, H. Nakashima, A. Higashijima, Y. Takase, T. Maekawa, O. Mitarai, M. Kikuchi and K. Toi, ECW/EBW Heating and Current Drive Experiment Results and Prospects for CW Operation in QUEST, Plasma and Fusion Research **7** (2012) 2402112.
 12. K. Hosoi, Y. Nakashima, S. Kobayashi, N. Nishino, T. Mizuuchi, T. Ishii, K. Ichimura, H. Takeda, H. Ueda, S. Kigure, S. Takahashi, S. Hotaka, and T. Imai, Analysis of Neutral Transport in GAMMA 10 SMBI Experiments, Plasma and Fusion Research **7** (2012) 2402126.
 13. T. Yokoyama, M. Ichimura, R. Ikezoe, Y. Ugajin, T. Iwai, T. Sato, T. Imura, Y. Saito, M. Hirata, Y. Yamaguchi, A. Fukuyama and T. Imai, Improvement of ICRF Antenna Loading in the Minimum-B Configuration on GAMMA 10, Plasma and Fusion Research **7** (2012) 2402136.
 14. N. Mizuguchi, A. Sanpei, S. Fujita, K. Oki, H. Himura, S. Masamune and K. Ichiguchi, Modeling of Formation of Helical Structures in Reversed-Field Pinch, Plasma and Fusion Research **7** (2012) 2403117.
 15. Y. Munakata, T. Kawaguchi, H. Takeno, Y. Yasaka, K. Ichimura and Y. Nakashima, Studies on Density Dependence of Charge Separation in a Direct Energy Converter Using Slanted Cusp Magnetic Field, Plasma and Fusion Research **7** (2012) 2405071.
 16. H. Takeda, Y. Nakashima, K. Hosoi, K. Ichimura, T. Furuta, T. Higashiyama, M. Toma, A. Hatayama, T. Ishii, H. Ueda, M. Sakamoto, M. Ichimura, M. Yoshikawa, J. Kohagura and T. Imai, Divertor simulation study using the GAMMA 10 end-mirror cell, Plasma and Fusion Research **7** (2012) 2405151.
 17. T. Yamada, M. Yoshikawa, J. Kohagura, Y. Shima, Y. Morikawa, D. Akita, M. Sakamoto, and T. Imai, FDTD Simulation Analysis for Improving Two-Dimensional Electron Density Distribution Measurement using Phase Imaging in GAMMA 10, Plasma and Fusion Research **7** (2012) 2406122.
 18. I. Katanuma, S. Masaki, S. Sato, K. Sekiya, M. Ichimura, and T. Imai, Calculation of Ion Orbits in the Divertor/Dipole Regions of the GAMMA10 A-Divertor, Plasma and Fusion Research **7** (2012) 2403093.
 19. S. Ogasawara, S. Kubo, M. Nishiura, Y. Tatematsu, T. Saito, K. Tanaka, T. Shimoizuma, Y. Yoshimura, H. Igami, H. Takahashi, S. Ito, Y. Takita, S. Kobayashi, Y. Mizuno, K. Okada, R. Minami, T. Kariya, and T. Imai, Suppression of spurious mode oscillation in mega-watt 77-GHz gyrotron as a high quality probe beam source for the collective Thomson scattering in LHD, Review of Scientific Instruments **83** (2012) 10D731.
 20. J. Kohagura, M. Yoshikawa, Y. Shima, Y. Morikawa, T. Yamada, D. Akita, K. Tatebe, M. Ichimura, M. Hirata, R. Ikezoe, T. Yokoyama, and T. Imai, A new frequency-multiplied interferometer system in the GAMMA 10 tandem mirror, Review of Scientific Instruments **83** (2012) 10E310.
 21. R. Yasuhara, M. Yoshikawa, M. Morimoto, I. Yamada, K. Kawahata, H. Funaba, Y. Shima, J. Kohagura, M.

- Sakamoto, Y. Nakashima, T. Imai, and T. Minami,
Design of the polarization multi-pass Thomson scattering system,
Review of Scientific Instruments **83** (2012) 10E326.
22. M. Yoshikawa, R. Yasuhara, M. Morimoto, Y. Shima, J. Kohagura, M. Sakamoto, Y. Nakashima, T. Imai, I. Yamada, K. Kawahata, H. Fuchaba, and T. Minami,
Development of polarization-controlled multi-pass Thomson scattering system in the GAMMA 10 tandem mirror,
Review of Scientific Instruments **83** (2012) 10E333.
23. Y. Kogi, M. Yoshikawa, S. Matsukawa, A. Mase, Y. Nagayama, and K. Kawahata,
Development of leaky-wave antenna for digitally controlled millimeter-wave interferometer,
Review of Scientific Instruments **83** (2012) 10E347.
24. H. Takeno, M. Kurihara, S. Harada, Y. Yasaka, K. Ichimura, Y. Nakashima,
Analytical Experiments Using a Bias-type Traveling Wave Direct Energy Converter Simulator Installed on GAMMA 10 Tandem Mirror,
Fusion Science and Technology **61**, 1T (2012) 125-128.
25. I. Katanuma, Y. Okiyama and S. Kato,
An interchange instability in an open system and the line-tying effect on it,
Nuclear Fusion **53** (2013) 043002.
26. A. Rusinov, M. Sakamoto, H. Zushi, R. Ohya, K. Honda, T. Tanabe and N. Yoshida,
Deuterium Retention in Plasma Sprayed Tungsten Exposed to Low Energy Deuterium Plasma,
Plasma and Fusion Research **8** (2013) 1405004.
27. R. Ikezoe, S. Masanune, K. Oki, A. Sanpei, H. Himura, T. Onchi, and A. Hirose,
Asymmetric toroidal flux generation due to phase locking of internally resonant tearing modes in the RELAX reversed-field pinches,
Plasma Physics and Controlled Fusion **55** (2013) 015005.
28. K. Saito, R. Kumazawa, T. Seki, H. Kasahara, G. Nomura, F. Simpo, H. Igami, M. Isobe, K. Ogawa, K. Toi, M. Osakabe, M. Nishinura, T. Watanabe, S. Yamamoto, M. Ichimura, T. Mutoh, and LHD Experimental Group,
Measurement of Ion Cyclotron Emissions by Using High-Frequency Magnetic Probes in the LHD,
Plasma Science and Technology **15** 3 (2013) 209-212.

〈学位論文〉

01. 赤羽 泰央 [修士 (理学), 数理物質科学研究科物理学専攻]
GAMMA 10 エンド部における He I 線強度比法を用いた電子温度及び電子密度計測
02. 秋田 大地 [修士 (理学), 数理物質科学研究科物理学専攻]
位相イメージング干渉計の改良と GAMMA 10 西プラグ部の電子密度分布計測
03. 上田 英明 [修士 (理学), 数理物質科学研究科物理学専攻]
GAMMA 10 センtral部における中性粒子ビーム入射による高エネルギーイオンの挙動
04. 北出 崇二 [修士 (理学), 数理物質科学研究科物理学専攻]
GAMMA 10 紫外・可視分光測定システムにおける解析手法の改善
05. 中林 英隆 [修士 (理学), 数理物質科学研究科物理学専攻]
28GHz-1MW ジャイロトロンの評価試験及び電子加熱実験における端損失熱流束生成
06. 宇賀神 ゆめと [修士 (工学), 数理物質科学研究科電子・物理工学専攻]
GAMMA10 における位相制御アンテナを用いたアンカー部イオン加熱実験
07. 佐藤 達典 [修士 (工学), 数理物質科学研究科電子・物理工学専攻]
GAMMA10 におけるマイクロ波反射計を用いた高周波密度揺動の径方向空間構造測定
08. 浅野 徳馬 [学士 (理学), 物理学類]
多目的 ECRH 用 28Gz 帯の 2 周波数ジャイロトロンの開発と共振器設計
09. 飯島 拓馬 [学士 (理学), 物理学類]
ダイバータ部干渉計に用いる位相検出回路の特性評価
10. 岩元 美樹 [学士 (理学), 物理学類]
GAMMA 10/PD におけるカロリメーターを用いたダイバータ模擬実験モジュールの熱流計測
11. 太田 圭一 [学士 (理学), 物理学類]
GAMMA 10/PD におけるダイバータ模擬実験モジュール内プラズマの高速カメラ観測
12. 木村 康司 [学士 (理学), 物理学類]

- 多波長同時計測分光器を用いた GAMMA10 セントラル部プラズマの分光計測
13. 窪田 遼人 [学士 (理学), 物理学類]
二流体不安定性に関する計算機シミュレーション
 14. 坂元 星都 [学士 (理学), 物理学類]
GAMMA10 におけるマルチパス Thomson 散乱計測システムの開発
 15. 白谷 飛鳥 [学士 (理学), 物理学類]
GAMMA10 における高周波加熱時のセントラル部プラズマ非軸対称性の評価
 16. 定村 康太郎 [学士 (理学), 物理学類]
GAMMA10 でのコア部とエンド部における揺動解析
 17. 野原 涼 [学士 (理学), 物理学類]
GAMMA10/PDX の西エンド部における HeI 線強度比法を用いた電子温度・密度評価
 18. 細田 甚成 [学士 (理学), 物理学類]
GAMMA 10/PDX エンド部のダイバータ模擬実験モジュールにおけるプラズマ分光計測
 19. 宮本 耕一 [学士 (理学), 物理学類]
RF3 印加時の多チャンネルマイクロ波干渉計による GAMMA10 セントラル部のプラズマ電子密度測定
 20. 森下 雅央 [学士 (理学), 物理学類]
GAMMA10 セントラル部における H・線二次元分布計測
 21. 吉川 基輝 [学士 (理学), 物理学類]
GAMMA10/PDX でのダイバータ模擬実験における静電プローブ計測
 22. 安中 裕大 [学士 (工学), 応用理工学類]
GAMMA10 アンカー部におけるマイクロ波反射計を用いた高周波波動計測
 23. 坂東 隆宏 [学士 (工学), 応用理工学類]
GAMMA 10 サーマルバリア部電位によるイオン径方向拡散の数値計算

＜講演＞

01. J. Kohagura, M. Yoshikawa, Y. Shima, Y. Morikawa, T. Yamada, D. Akita, K. Tatebe, M. Ichimura, M. Hirata, R. Ikezoe, T. Yokoyama, and T. Imai,
A new frequency-multiplied interferometer system in the GAMMA 10 tandem mirror,
19th Topical Conference High-Temperature Plasma Diagnostics (Monterey, CA, USA, 2012.5.6- 2012.5.10).
02. R. Yasuhara, M. Yoshikawa, M. Morimoto, I. Yamada, K. Kawahata H. Funaba, Y. Shima, J. Kohagura, M. Sakamoto, Y. Nakashima, T. Imai, and T. Minami,
Design of the polarization multi-pass Thomson scattering system,
19th Topical Conference High-Temperature Plasma Diagnostics (Monterey, CA, USA, 2012.5.6- 2012.5.10).
03. Y. Kogi, M. Yoshikawa, S. Matsukawa, A. Mase, Y. Nagayama, and K. Kawahata,
Development of digitally-controlled millimeter-wave interferometer for precise electron density distribution measurement,
19th Topical Conference High-Temperature Plasma Diagnostics (Monterey, CA, USA, 2012.5.6- 2012.5.10).
04. M. Yoshikawa, R. Yasuhara, M. Morimoto, Y. Shima, J. Kohagura, M. Sakamoto, Y. Nakashima, T. Imai, I. Yamada, K. Kawahata, H. Funaba, and T. Minami,
Development of polarization-controlled multi-pass Thomson scattering system in the GAMMA 10 tandem mirror,
19th Topical Conference High-Temperature Plasma Diagnostics (Monterey, CA, USA, 2012.5.6- 2012.5.10).
05. M. Sakamoto, Y. Nakashima, A. Rusinov, K. Hosoi, H. Takeda, Y. Akabane, J. Kohagura, M. Yoshikawa, M. Ichimura, T. Imai,
Hydrogen Isotope Recycling at a Tungsten Target,
20th International Conference on Plasma Surface Interactions (Aachen, Germany, 2012.5.21-2012.5.25).
06. Y. Nakashima, H. Takeda, K. Ichimura, K. Hosoi, M. Sakamoto, M. Hirata, M. Ichimura, R. Ikezoe, T. Imai, T. Ishii, T. Kariya, I. Katanuma, J. Kohagura, R. Minami, T. Numakura, H. Ueda, M. Yoshikawa, N. Asakura, T. Furuta, A. Hatayama, Y. Hirooka, S. Kado, S. Masuzaki, H. Matsuura, S. Nagata, N. Nishino, N. Ohno, A. Sagara, T. Shikama, M. Shoji, M. Toma, A. Tonegawa, and Y. Ueda,
Recent Results of Divertor Simulation Research Using an End-cell of a Large Tandem Mirror Device,
20th International Conference on Plasma Surface Interactions (Aachen, Germany, 2012.5.21-2012.5.25).
07. H. Nakanishi,
LHD archiving system,

- ITER CODAC Data Archiving Workshop (ITER Cadarache, France, 2012.6.5-2012.6.7).
08. I.Katanuma, S.Sato and Y.Okuyama,
Particle simulation of a flute instability,
39th European Physical Society Conference on Plasma Physics and 16th International Congress on Plasma Physics
(Stockholm, Sweden, 2012.7.2-2012.7.6).
 09. K. Oki, M. Sakamoto, Y. Nakashima, Y. Akabane, Y. Nagatsuka, R. Nohara, M. Yoshikawa, J. Kohagura, M. Yoshikawa, K. Hosoi, H. Takeda, K. Ichimura, M. Ichimura and T. Imai,
Electron Temperature and Density Measurements Using Langmuir Probes and Spectrometer in Divertor Simulation Experiments of GAMMA 10,
Japan-Korea Seminar 2012 for Plasma Diagnostics (Seoguiipo training center of Jeju National University, Jeju, Korea, 2012.8.23-2012.8.25).
 10. T. Imai, M. Ichimura, Y. Nakashima, M. Sakamoto, I. Katanuma, M. Yoshikawa, T. Kariya, M. Hirata, J. Kohagura, R. Minami, T. Numakura, R. Ikezoe, K. Ooki, K. Sakamoto and GAMMA10 group,
GAMMA 10/PDX project status and future,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
 11. R. Ikezoe, M. Ichimura, T. Sato, M. Hirata, T. Yokoyama, Y. Ugajin, T. Iimura, Y. Saito Y. Annaka, A. Shiratani, Y. Shima, J. Kohagura, M. Yoshikawa, T. Imai,
TIME EVOLVING STRUCTURE OF ALFVÉN ION-CYCLOTRON WAVES IN GAMMA10,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
 12. Y. Nakashima, M. Sakamoto, H. Takeda, K. Ichimura, K. Hosoi, K. Oki, M. Yoshikawa, N. Nishino, H. Matsuura, M. Hirata, M. Ichimura, T. Kariya, I. Katanuma, J. Kohagura, R. Minami, T. Numakura, R. Ikezoe, Y. Akabane, S. Kigure, Y. Nagatsuka, S. Takahashi, H. Ueda, and T. Imai,
FIRST RESULTS AND FUTURE RESEARCH PLAN OF DIVERTOR SIMULATION EXPERIMENTS USING D-MODULE IN THE END-CELL OF THE GAMMA 10/PDX TANDEM MIRROR,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
 13. M. Ichimura, M. Hirata, R. Ikezoe, T. Yokoyama, Y. Ugajin, T. Sato, T. Iimura, Y. Saito, Y. Annaka, A. Shiratani, M. Yoshikawa, J. Kohagura, Y. Nakashima, K. Ichimura and T. Imai,
Recent ICRF heating experiments for a divertor simulation study on GAMMA 10,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
 14. M. Yoshikawa, M. Morimoto, Y. Shima, J. Kohagura, M. Sakamoto, I. Yamada, R. Yasuhara, K. Kawahata, H. Funaba, T. Minami, Y. Nakashima, M. Ichimura, and T. Imai,
Electron temperature and density measurements by using Thomson scattering system in GAMMA 10,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
 15. H. Takeno, Y.Yasaka, M. Ishikawa, Y. Nakashima, M.Kume, N. Sotani, Y. Munakata, S. Harada, D. Akashi, T. Kawaguchi, S. Miyazaki, K. Ichimura,
Recent Progress of Researches on Direct Energy Conversion for a Fusion System,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
 16. Y. Kogi, S. Matsukawa, M. Yoshikawa, A. Mase, Y. Nagayama, and K. Kawahata,
Development of antenna system and simulation of analysis method for digitally-controlled millimeter-wave interferometer,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
 17. J. Kohagura, M. Yoshikawa, Y. Shima, Y. Morikawa, D. Akita, Y. Hasegawa, T. Imai,
Electron Density and Fluctuation Measurements by Using a Frequency Multiplied Microwave Interferometer in the GAMMA 10 Anchor Cell,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).

18. S. Kobayashi, M. Osakabe, T. Ito, S. Murakami, Y. Nakashima, M. Shoji, K. Ida, M. Yoshinuma, M. Kobayashi, Y. Nakamura, T. Mizuuchi, S. Yamamoto, K. Nagasaki, H. Okada, T. Minami, S. Ohshima, S. Konoshima and F. Sano, Transport Analysis of Halo Neutrals for Fast-Ion Charge Exchange Spectroscopy Diagnostic, Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
19. H. Matsuura, K. Ichimura, K. Hosoi, Y. Nakashima, M. Sakamoto, T. Imai, M. Shoji and K. Nagaoka, MEASUREMENT OF DIVERTOR HEAT FLUX AT THE END-CELL OF THE GAMMA 10, Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
20. M. Sakamoto, K. Oki, Y. Nakashima, Y. Akabane, Y. Nagatsuka, M. Yoshikawa, R. Nohara, K. Hosoi, H. Takeda, K. Ichimura, J. Kohagura, M. Yoshikawa, M. Ichimura, T. Imai, PLASMA CHARACTERIZATION IN DIVERTOR SIMULATION EXPERIMENTS WITH A V-SHAPED TARGET ON GAMMA10/PDX, Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
21. K. Ichimura, Y. Nakashima, H. Takeda, K. Hosoi, H. Ueda, S. Kigure, S. Takahashi, M. Ichimura, R. Ikezoe, M. Yoshikawa, M. Sakamoto, and T. Imai, INVESTIGATION OF THE PLASMA HEATING EFFECTS ON THE END-LOSS ION FLUX OF THE TANDEM MIRROR GAMMA 10, Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
22. A. Rusinov, M. Sakamoto, K. Honda, Ohyama, N. Yoshida, H. Zushi, T. Tanabe, I. Takagi, Deuterium retention in various kinds of tungsten irradiated by low energy and high flux plasma in APSEDAS, Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
23. S. Kigure, Y. Nakashima, N. Nishino, K. Hosoi, K. Ichimura, H. Takeda, S. Kobayashi, T. Mizuuchi, H. Ueda, S. Takahashi, M. Yoshikawa, J. Kohagura, R. Minami, T. Kariya, M. Sakamoto, M. Ichimura, and T. Imai, OBSERVATION OF PLASMA BEHAVIOR DURING THE ECRH INJECTION BY USING A HIGH-SPEED CAMERA IN GAMMA 10, Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
24. K. Hosoi, Y. Nakashima, S. Kobayashi, N. Nishino, T. Mizuuchi, K. Ichimura, H. Takeda, H. Ueda, S. Kigure, S. Takahashi, J. Kohagura, M. Yoshikawa, M. Ichimura, and T. Imai, STUDY ON THE OPTIMIZATION OF FUELING BY USING THE SMBI METHOD IN GAMMA 10, Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
25. M. Hirata, T. Iwai, M. Ichimura, R. Ikezoe, T. Yokoyama, Y. Ugajin, T. Sato, T. Iimura, Y. Saito, A. Shiratani, Y. Annaka, Y. Nakashima and T. Imai, Evaluation of the Axisymmetry of the Central-cell Plasma Using a Segmented Limiter on GAMMA 10, Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
26. Y. Hasegawa, M. Yoshikawa, J. Kohagura, M. Sakamoto, Y. Shima, D. Akita, Y. Morikawa, M. Ichimura, T. Imai, Radial Electron Density Measurement by Using a Multi-Channel Microwave Interferometer in the Tandem Mirror GAMMA 10, Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
27. T. Yokoyama, M. Ichimura, Y. Ugajin, Y. Saito, A. Fukuyama, Y. Yamaguchi, M. Hirata, R. Ikezoe, T. Sato, T. Iimura, Y. Annaka, A. Shiratani and T. Imai, ICRF Antenna loading in the minimum-B anchor configuration on GAMMA10, Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).

28. T. Kariya, R. Minami, T. Imai, T. Shimozuma, S. Kubo, Y. Yoshimura, H. Takahashi, S. Ito, T. Mutoh, H. Nakabayashi, T. Eguchi, T. Numakura, Y. Endo, Y. Mitsunaka, and K. Sakamoto,
Development of 154 GHz 1 MW Gyrotron for ECRH of LHD,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
29. Y. Ugajin, M. Ichimura, T. Yokoyama, Y. Saito, M. Hirata, R. Ikezoe, T. Sato, T. Iimura, Y. Annaka, A. Shiratani, Y. Nakashima, R. Minami, T. Imai,
ICRF experiment with phase-controlled antennas on GAMMA10,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
30. T. Iimura, M. Ichimura, M. Hirata, R. Ikezoe, T. Yokoyama, Y. Ugajin, T. Sato, Y. Saito, Y. Annaka, A. Shiratani, T. mai,
Axial transport of high-energy ions due to ICRF heating on GAMMA10,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
31. K. Nakazawa, T. Imai, T. Kariya, R. Minami, T. Numakura, H. Nakabayashi, T. Eguchi, R. Kawarasaki,
The improvement of the ECH antenna system in the GAMMA 10,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
32. Y. Saito, M. Ichimura, T. Yokoyama, Y. Ugajin, M. Hirata, R. Ikezoe, T. Sato, T. Iimura, A. Shiratani, Y. Annaka, Y. Nakashima, T. Imai,
ICRF Heating Experiments in Both East and West Anchor Cells on GAMMA10,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
33. T. Eguchi, T. kariya, T. Imai, H. Nakabayashi, R. Minami, T. Numakura, R. Kawarasaki, K. Nakazawa,
Development of 28 GHz / 35 GHz Dual-Frequency Gyrotron for Fusion Research,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
34. H. Nakabayashi, T. Kariya, T. Imai, R. Minami, T. Numakura, T. Eguchi, R. Kawarasaki, K. Nakazawa, K. Sakamoto,
The performance test and the improved design of 28 GHz 1 MW gyrotron,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
35. T. Numakura, T. Imai, T. Kariya, R. Minami, H. Nakabayashi, T. Eguchi, R. Kawarasaki, K. Nakazawa,
Numerical calculation of the gyrotron oscillator in ECH systems in GAMMA 10 by use of parallel algorithms,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
36. R. Minami, T. Imai, T. Kariya, T. Numakura, H. Nakabayashi, T. Eguchi, R. Kawarasaki, K. Nakazawa, Y. Endo and GAMMA 10 Group,
Results of ECH Power Modulation Experimenting High and ELM-like Heat Flux in GAMMA 10 Tandem Mirror,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
37. S. Miyazaki, K. Fujita, S. Harada, H. Takeno, Y. Yasaka, K. Ichimura, Y. Nakashima,
Studies on Characteristics of a Bias-type Traveling Wave Direct Energy Converter Installed on GAMMA 10 Tandem Mirror,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
38. T. Kawaguchi, K. Nishimura, Y. Munakata, H. Takeno, Y. Yasaka, K. Ichimura, Y. Nakashima,
Studies on High Density Plasma Production and Neutral Pressure Control for a Cusp-type Direct Energy Converter Simulator,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).

39. H. Ueda, Y. Nakashima, K. Hosoi, K. Ichimura, H. Takeda, S. Kigure, S. Takahashi, K. Ookawa and T. Imai,
EVALUATION OF THE GAMMA 10 NBI SYSTEM AS NEUTRON SOURCE,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd
International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International
Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
40. N. Nishino, H. Kawano, Y. Higashizono, R. Yonenaga, S. Kigure, Y. Nakashima, K. Hosoi, K. Ichimura, H. Takeda,
H. Ueda, S. Takahashi, K. Ookawa, M. Yoshikawa, R. Ikezoe, J. Kohagura, T. Kariya, I. Katanuma, M. Hirata, T.
Numakura, R. Minami, M. Ichimura, M. Sakamoto, and T. Imai,
Edge Turbulence/Fluctuation Measurement using Fast Cameras at Various Conditions in GAMMA 10 Central Cell
Plasma,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd
International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International
Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
41. T. Sato, R. Ikezoe, M. Ichimura, M. Hirata, T. Yokoyama, Y. Ugajin, T. Iimura, Y. Saito Y. Annaka, A. Shiratani, J.
Kohagura, Y. Shima, M. Yoshikawa, T. Imai,
TWO-POINT MEASUREMENT OF HIGH-FREQUENCY DENSITY FLUCTUATIONS BY
REFLECTOMETRY IN GAMMA 10,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd
International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International
Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
42. D. Akita, M. Yoshikawa, M. Sakamoto, J. Kohagura, Y. Shima, T. Yamada, Y. Morikawa, Y. Hasegawa and T. Imai,
Improvement of Measurement Accuracy of The Phase Imaging Interferometer in GAMMA 10,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd
International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International
Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
43. S. Kitade, M. Yoshikawa, Y. Nakashima, T. Mizuuti, S. Kobayashi, K. hosoi and T. Imai,
Spectroscopic Measurements of SMBI Experiments in the central cell of GAMMA10,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd
International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International
Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
44. K. Furutachi, M. Sakamoto, M. Aoyama, M. Mizuguchi, Y. Miyata, Y. Akabane, K. Oki, M. Yoshikawa and T. Imai,
Measurement of local radial electric field by using Gold Neutral Beam Probe in GAMMA 10,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd
International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International
Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
45. R. Kawarasaki, T. Imai, R. Minami, T. Kariya, T. Numakura, H. Nakabayashi, K. Nakazawa, T. Eguchi,
2-Dimentional Soft X-ray behavior of ECR heated plasma in GAMMA 10,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd
International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International
Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
46. K. Oki, A. Sanpei, H. Himura, and S. Masamune,
Dependence of Properties of Quasi-Single-Helicity States on Field Reversal Parameter in a Low-Aspect-Ratio
Reversed Field Pinch,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd
International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International
Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
47. R. Yasuhara, M. Yoshikawa, I. Yamada, K. Kawahata, H. Funaba, M. Sakamoto, Y. Nakashima, T. Imai,
A photon recycling probe laser for the divertor Thomson scattering system in GAMMA10,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd
International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International
Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
48. T. Furuta, H. Takeda, M. Toma, W. Sato, Y. Homma, Y. Sawada, Y. Nakashima, A. Hatayama,
MODELING OF PLASMA TRANSPORT IN THE MAGNETIC MIRROR CONFIGURATION (GAMMA 10),
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd
International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International
Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
49. H. Takeda, Y. Nakashima, K. Hosoi, K. Ichimura, T. Furuta, M. Toma, A. Hatayama, H. Ueda, M. Yoshikawa, M.
Sakamoto, M. Ichimura and T. Imai,
Numerical simulation study for background plasma in the GAMMA 10 end-mirror cell,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd
International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International

- Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
50. Y. Akabane, M. Sakamoto, M. Yoshikawa, K. Oki, K. Jitsukawa, Y. Nagatsuka, R. Nohara, and T. Imai,
Measurement of electron temperature and density from He I line intensity ratios in front of a target plate of GAMMA10,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
 51. M. Mizuguchi, M. Sakamoto, M. Yoshikawa, M. Aoyama, K. Furutachi, Y. Akabane, K. Ichimura, H. Takeda, Y. Nakashima, T. Imai,
Correlation between Core Plasma Potential and Floating Potential of Target Plate in End Region on GAMMA10,
Joint conference of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement and 3rd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Tsukuba International Congress Center, 2012.8.27-2012.8.31).
 52. I. Katanuma, S. Sato and Y. Okuyama,
A flute instability in an open system and the line tying effect on it,
24th IAEA Fusion Energy Conference (FEC2012) (San Diego, USA, 2012.10.8-2012.10.13).
 53. S. Nagata, H. Katsui, T. Shikama, Y. Hatano, M. Matsuiyama, Y. Oya, K. Okuno, Y. Katoh, M. Shimada, Y. Nakajima and T. Imai,
Behaviors of hydrogen isotopes in silicon carbide for evaluation of hydrogen permeability and retention in nuclear fusion systems,
24th IAEA Fusion Energy Conference (FEC2012) (San Diego, USA, 2012.10.8-2012.10.13).
 54. M. Ichimura, R. Ikezoe, M. Hirata, T. Iwai, T. Yokoyama, Y. Ugajin, T. Sato, T. Imura, Y. Saito, M. Yoshikawa, J. Kohagura, Y. Shima and T. Imai,
Coupling of ICRF Waves and Axial Transport of High-Energy Ions Owing to Spontaneously Excited Waves in the GAMMA 10 Tandem Mirror,
24th IAEA Fusion Energy Conference (FEC2012) (San Diego, USA, 2012.10.8-2012.10.13).
 55. R. Minami, T. Kariya, T. Imai, T. Numakura, Y. Endo, H. Nakabayashi, T. Eguchi, T. Shimozuma, S. Kubo, Y. Yoshimura, H. Igami, H. Takahashi, T. Mutoh, S. Ito, H. Idei, H. Zushi, Y. Yamaguchi, K. Sakamoto, Y. Mitsunaka,
Development of MW Gyrotrons for Fusion Devices by University of Tsukuba,
24th IAEA Fusion Energy Conference (FEC2012) (San Diego, USA, 2012.10.8-2012.10.13).
 56. Y. Nakashima, M. Sakamoto, M. Yoshikawa, H. Takeda, K. Ichimura, K. Hosoi, M. Hirata, M. Ichimura, R. Ikezoe, T. Imai, T. Kariya, I. Katanuma, J. Kohagura, R. Minami, T. Numakura, K. Oki, H. Ueda, N. Asakura, T. Furuta, A. Hatayama, Y. Hirooka, S. Kado, S. Masuzaki, H. Matsuura, S. Nagata, N. Nishino, N. Ohno, A. Sagara, T. Shikama, M. Shoji, M. Toma, A. Tonegawa and Y. Ueda,
Plasma Characteristics of the End-cell of the GAMMA 10 Tandem Mirror for the Divertor Simulation Experiment,
24th IAEA Fusion Energy Conference (FEC2012) (San Diego, USA, 2012.10.8-2012.10.13).
 57. M. Yoshikawa, M. Sakamoto, Y. Miyata, M. Aoyama, M. Mizuguchi, M. Hirata, M. Ichimura, T. Imai, T. Kariya, I. Katanuma, J. Kohagura, R. Minami, Y. Nakashima, T. Numakura, R. Ikezoe, H. Nakanishi, and Y. Nagayama,
Potential Fluctuation Study from the Core Plasma to End Region in the GAMMA 10 Tandem Mirror,
24th IAEA Fusion Energy Conference (FEC2012) (San Diego, USA, 2012.10.8-2012.10.13).
 58. T. Mizuuchi, F. Sano, K. Nagasaki, H. Okada, T. Minami, S. Kobayashi, S. Yamamoto, S. Oshima, K. Mukai, Y. H. Lee, L. Zang, M. Takeuchi, K. Yamamoto, S. Arai, T. Kagawa, K. Mizuno, T. Minami, Y. Wada, H. Watada, H. Yashiro, N. Nishino, Y. Nakashima, K. Hanatani, Y. Nakamura, S. Konoshima,
Study of Fueling Control for Confinement Experiments in Heliotron J,
24th IAEA Fusion Energy Conference (FEC2012) (San Diego, USA, 2012.10.8-2012.10.13).
 59. H. Takeno and Y. Yasaka,
Concept of an Aneutronic Fusion Power Plant with DEC: Lessons Learned,
14th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion (Maryland, USA, 2012.10.14-2012.10.16).
 60. H. Takeno and Y. Yasaka,
On-Going Japanese Research in DEC Technology for Terrestrial Power Plants,
14th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion (Maryland, USA, 2012.10.14-2012.10.16).
 61. Y. Nakashima,
The GAMMA 10 Tandem Mirror Plasma Confinement Device as Test Bed for DEC Technologies,
14th US-Japan Workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion (Maryland, USA, 2012.10.14-2012.10.16).
 62. Y. Nakashima, M. Sakamoto, H. Takeda, K. Ichimura, K. Hosoi, K. Oki, M. Hirata, M. Ichimura, R. Ikezoe, T. Kariya, I. Katanuma, J. Kohagura, R. Minami, T. Numakura, M. Yoshikawa, N. Nishino, H. Matsuura, Y. Akabane, S. Kigure, Y. Nagatsuka, S. Takahashi, H. Ueda and T. Imai,
Characteristics of High Heat-flux Generation and Divertor Simulation Experiments in the End-cell of the GAMMA 10/PDX Tandem Mirror,
22nd International Toki Conference (ITC-22) (Toki, Japan, 2012.11.19-2012.11.22).
 63. R. Minami, T. Imai, T. Kariya, T. Numakura, H. Nakabayashi, T. Eguchi, R. Kawarasaki, K. Nakazawa, Y. Endo, M.

- Hirata, M. Ichimura, R. Ikezoe, I. Katanuma, J. Kohagura, Y. Nakashima, K. Oki, M. Sakamoto, M. Yoshikawa
Development of High Power ECH Systems for High and ELM-like Heat Flux in GAMMA 10 Tandem Mirror,
22nd International Toki Conference (ITC-22) (Toki, Japan, 2012.11.19-2012.11.22).
64. H. Matsuura, K. Ichimura, K. Hosoi, Y. Nakashima, M. Sakamoto, T. Imai, M. Shoji and K. Nagaoka,
Improvement of heat conduction analysis of a small thermal probe,
22nd International Toki Conference (ITC-22) (Toki, Japan, 2012.11.19-2012.11.22).
65. K. Oki, M. Sakamoto, Y. Nakashima, Y. Akabane, Y. Nagatsuka, R. Nohara, M. Yoshikawa, J. Kohagura, M. Yoshikawa, K. Hosoi, H. Takeda, K. Ichimura, M. Ichimura, and T. Imai,
Measurements of plasma density and temperature near a V-shaped target of a divertor simulation experimental module in GAMMA 10,
22nd International Toki Conference (ITC-22) (Toki, Japan, 2012.11.19-2012.11.22).
66. S. Ogasawara, S. Kubo, M. Nishiura, Y. Tatematsu, T. Saito, K. Tanaka, T. Shimozuma, Y. Yoshimura, H. Igami, H. Takahashi, S. Ito, R. Makino, S. Kobayashi, Y. Mizuno, K. Okada, R. Minami, T. Kariya, and T. Imai,
Optimization of a Mega-watt 77-GHz Gyrotron Operation for The Collective Thomson Scattering in LHD,
22nd International Toki Conference (ITC-22) (Toki, Japan, 2012.11.19-2012.11.22).
67. H. Nakanishi, S. Imazu, M. Kojima, M. Ohsuna, M. Nonomura, M. Emoto, Y. Nagayama, S. Sudo, K. Kawahata,
Design Improvement for a Common Data Platform of High Scalability and Fast Recovery,
22nd International Toki Conference (ITC-22) (Toki, Japan, 2012.11.19-2012.11.22).
68. Y. Morikawa, M. Yoshikawa, J. Kohagura, Y. Shima, Y. Hasegawa, D. Akita, M. Sakamoto and T. Imai,
Density fluctuation measurements of the GAMMA 10 plasma by using the Fraunhofer diffraction method,
9th Australia-Japan workshop on plasma diagnostics (Naka, Ibaraki, Japan, 2012.12.3-2012.12.6).
69. M. Yoshikawa, S. Sakamoto, R. Sekiguchi, Y. Shima, J. Kohagura, M. Sakamoto, S. Kitade, Y. Nakashima, M. Ichimura, T. Imai, I. Yamada, R. Yasuhara, K. Kawahata, H. Funaba, T. Minami,
Electron temperature and density measurements by use of YAG-Thomson scattering system in GAMMA 10,
9th Australia-Japan workshop on plasma diagnostics (Naka, Ibaraki, Japan, 2012.12.3-2012.12.6).
70. S. Kitade, M. Yoshikawa, K. Kitagawa, M. Morishita, Y. Nakashima, M. Sakamoto, J. Kohagura, T. Mizuuchi, S. Kobayashi, K. hosoi, S. Kigure and T. Imai,
Improvements of analyzing methods for spectroscopic measurements in GAMMA 10,
9th Australia-Japan workshop on plasma diagnostics (Naka, Ibaraki, Japan, 2012.12.3-2012.12.6).
71. D. Akita, M. Yoshikawa, J. Kohagura, M. Sakamoto, Y. Morikawa, Y. Hasegawa and T. Imai,
Improvements of phase imaging interferometer for electron density distribution measurements in GAMMA 10,
9th Australia-Japan workshop on plasma diagnostics (Naka, Ibaraki, Japan, 2012.12.3-2012.12.6).
72. R. Ikezoe, M. Ichimura, T. Sato, M. Hirata, T. Yokoyama, Y. Ugajin, T. Iimura, Y. Saito, Y. Annaka, A. Shiratani, Y. Shima, J. Kohagura, M. Yoshikawa, T. Imai,
Measurement of spontaneously excited ICRF waves by reflectometry in GAMMA10,
9th Australia-Japan workshop on plasma diagnostics (Naka, Ibaraki, Japan, 2012.12.3-2012.12.6).
73. K. Oki, M. Sakamoto, Y. Nakashima, Y. Akabane, Y. Nagatsuka, R. Nohara, M. Yoshikawa, J. Kohagura, M. Yoshikawa, K. Hosoi, H. Takeda, K. Ichimura, M. Ichimura and T. Imai,
Measurements of plasma density and temperature in a divertor simulation experimental module of GAMMA 10/PDX,
9th Australia-Japan workshop on plasma diagnostics (Naka, Ibaraki, Japan, 2012.12.3-2012.12.6).
74. R. Minami, T. Kariya, T. Imai, T. Numakura, Y. Endo, H. Nakabayashi, T. Eguchi, T. Shimozuma, S. Kubo, Y. Yoshimura, H. Igami, H. Takahashi, T. Mutoh, S. Ito, H. Idei, H. Zushi, K. Sakamoto,
Development of MW Gyrotrons for Fusion Devices by University of Tsukuba,
US-EU-Japan Workshop on RF Heating Technology and US-Japan Workshop on RF Heating Physics (Nara, 2012.12.11-2012.12.15).
75. Y. Yoshimura, S. Kubo, T. Shimozuma, H. Igami, H. Takahashi, M. Nishiura, S. Kobayashi, S. Ito, Y. Mizuno, K. Okada, S. Ogasawara, R. Makino, T. Muto, T. Kariya, R. Minami, T. Imai, Y. Mitsunaka,
ECRH system update in LHD,
US-EU-Japan Workshop on RF Heating Technology and US-Japan Workshop on RF Heating Physics (Nara, 2012.12.11-2012.12.15).
76. R. Ikezoe, M. Ichimura, T. Sato, T. Iimura, M. Hirata, T. Yokoyama, Y. Ugajin, Y. Saito, Y. Annaka, A. Shiratani, Y. Shima, J. Kohagura, M. Yoshikawa, T. Imai,
ICRF waves excited by strong ion-temperature anisotropy and those interactions with high-energy ions in the GAMMA10 tandem mirror,
US-EU-Japan Workshop on RF Heating Technology and US-Japan Workshop on RF Heating Physics (Nara, 2012.12.11-2012.12.15).
77. R. Ikezoe, M. Ichimura, M. Hirata, T. Iimura, T. Yokoyama, T. Sato, Y. Ugajin, Y. Saito, Y. Annaka, A. Shiratani, Y. Shima, J. Kohagura, M. Yoshikawa, T. Imai,
Coupling of ICRF waves and related axial transport of high-energy ions in GAMMA 10,
Japan-Korea Workshop on Physics and Technology of Heating and Current Drive (Haeundae, Busan, Korea,

- 2013.1.28-2013.1.30).
78. S. Kubo, T. Shimozuma, Y. Yoshimura, M. Nishiura, H. Igami, H. Takahashi, T. Mutoh, S. Kobayashi, S. Ito, K. Mizuno, K. Okada, S. Ogasawara, R. Makino, T. Kariya, R. Minami, T. Imai,
Recent high power ECRH results in LHD,
Japan-Korea Workshop on Physics and Technology of Heating and Current Drive (Haeundae, Busan, Korea, 2013.1.28-2013.1.30).
 79. M. Yoshikawa,
Status of GAMMA 10/PDX experiments,
Seminar at DIFFER (FOM DIFFER institute, 2013.3.13).
 80. R. Minami, T. Kariya, T. Imai, T. Numakura, Y. Endo, H. Nakabayashi, T. Eguchi, T. Shimozuma, S. Kubo, Y. Yoshimura, H. Igami, H. Takahashi, T. Mutoh, S. Ito, H. Idei, H. Zushi, K. Sakamoto,
Development of MW Gyrotrons for Fusion Devices by University of Tsukuba,
International Symposium on Development of Terahertz Gyrotrons and Applications (Fukui, 2013.3.14- 2013.3.15).
 81. 坂本瑞樹,
ダイバータ熱粒子制御研究 —LHD ダイバータ実験と GAMMA10 ダイバータ模擬実験—,
平成 23 年度核融合科学研究所研究プロジェクト成果報告会, (岐阜県土岐市 (NIFS), 2012. 4. 9-2012. 4. 11).
 82. 坂本瑞樹,
原型炉へ向けたペレット燃料供給と水素リサイクリングに関する研究,
平成 24 年度第 1 回 BA・DDA 共同研究 合同会合, (愛知県名古屋市 (名古屋大学), 2012. 6. 13-2012. 6. 13).
 83. 中林英隆, 假家強, 今井 剛, 南龍太郎, 沼倉友晴, 江口濯, 河原崎遼, 中澤和寛, 坂本慶司,
28GHz-1MW ジャイロトロンの性能評価と改良設計,
第 9 回核融合エネルギー連合講演会, (神戸, 2012. 6. 28-2012. 6. 29) 28A-46p.
 84. 小笠原慎弥, 久保伸, 西浦正樹, 立松芳典, 斎藤輝雄, 田中謙治, 下妻隆, 吉村泰夫, 伊神弘恵, 高橋裕己, 伊藤哲, 多喜田泰幸, 小林策治, 水野嘉識, 岡田宏太, 南龍太郎, 假家強, 今井剛,
LHD における協同トムソン散乱計測に向けた ECH 用大電力ジャイロトン運転パラメータの最適化,
第 9 回核融合エネルギー連合講演会, (神戸, 2012. 6. 28-2012. 6. 29) 29A-40p.
 85. 片沼伊佐夫, 奥山洋平, 加藤俊介, 坂東隆宏, 窪田遼人,
Line tying による交換型不安定性の安定化に関する計算機シミュレーション,
日本物理学会 2012 年秋季大会, (横浜国立大学, 2012. 9. 18- 2012. 9. 21) 18aFA-8.
 86. 加藤俊介, 片沼伊佐夫, 奥山陽平, 窪田遼人, 坂東隆宏, 今井剛,
ガンマ 10 の交換型不安定性の計算機シミュレーション,
プラズマ・核融合学会第 29 回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 27D23P.
 87. 細井克洋, 中嶋洋輔, 小林信二, 西野信博, 水内亨, 村上昭義, 市村和也, 武田寿人, 上田英明, 木暮諭, 高橋樹仁, 小波蔵純子, 吉川正志, 市村真, 岩本美樹, 太田圭一, 細田甚成, 今井剛,
GAMMA 10 SMBI 実験における粒子供給の最適化,
プラズマ・核融合学会第 29 回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 27E01P.
 88. 坂本瑞樹, 吉田直亮, 実川克彦, 赤羽泰央, 中嶋洋輔, 市村真, 今井剛,
GAMMA10 における長期設置試料と表面プローブを用いたプラズマ・壁相互作用研究,
プラズマ・核融合学会第 29 回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 27E38P.
 89. 中嶋洋輔, 坂本瑞樹, 市村真, 片沼伊佐夫, 假家強, 小波蔵純子, 沼倉友晴, 平田真史, 南龍太郎, 吉川正志, 池添竜也, 大木健輔, 武田寿人, 市村和也, 細井克洋, 西野信博, 松浦寛人, 赤羽泰央, 上田英明, 木暮諭, 高橋樹仁, 長塚優, 大川和夫, 今井剛,
GAMMA10/PDX タンデムミラー端部におけるダイバータ模擬実験の進展,
プラズマ・核融合学会第 29 回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 28aA01.
 90. 大木健輔, 坂本瑞樹, 中嶋洋輔, 赤羽泰央, 長塚優, 野原涼, 吉川基輝, 小波蔵純子, 吉川正志, 細井克洋, 武田寿人, 市村和也, 市村真, 今井剛,
GAMMA10 におけるダイバータ模擬プラズマの特性評価,
プラズマ・核融合学会第 29 回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 28aA02.
 91. 武田寿人, 中嶋洋輔, 古田哲朗, 藤間光徳, 畑山明聖, 細井克洋, 市村和也, 上田英明, 木暮諭, 高橋樹仁, 坂本瑞樹, 今井剛,
背景プラズマコードの GAMMA10 ダイバータ模擬への適応,
プラズマ・核融合学会第 29 回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 28D32P.
 92. 市村和也, 中嶋洋輔, 細井克洋, 武田寿人, 上田英明, 木暮諭, 高橋樹仁, 岩本美樹, 太田決鸞, 細田甚成, 市村真, 池添竜也, 吉川正志, 坂本瑞樹, 今井剛,
GAMMA10 エンド部における高密度イオン流の生成,
プラズマ・核融合学会第 29 回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 28D40P.
 93. 赤羽泰央, 坂本瑞樹, 中嶋洋輔, 大木健輔, 細井克洋, 長塚優, 野原涼, 吉川基輝, 小波蔵純子, 吉川正志, 今井剛,
GAMMA10 エンド部における He I 線強度比法を用いた電子温度, 電子密度の測定,

- プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 28D43P.
94. 今井剛, 假家強, 南龍太郎, 沼倉友晴, 出射浩, 岡子秀樹, 長崎百伸, 佐野史道, 金子修, 日野友明, 双方向型共同研究のセンター間連携研究「電子バーンシュタイン波加熱に向けたジャイロトロン開発」, プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 28pA02.
 95. 池添竜也, 市村真, 佐藤達典, 平田真史, 横山拓郎, 宇賀神ゆめと, 飯村拓真, 齋藤裕希, 安中裕大, 白谷飛鳥, 小波蔵純子, 嶋頼子, 吉川正志, 今井剛, GAMMA10におけるAlfvén ion-cyclotron 波動の励起特性, プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 28pA06.
 96. 奥山陽平, 片沼伊佐夫, 加藤俊介, 窪田遼人, 板東隆宏, 今井剛, 粒子コードを用いたドリフト波不安定性の数値計算, プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 29D29P.
 97. 横山拓郎, 市村真, 宇賀神ゆめと, 齋藤裕希, 福山淳, 山口裕資, 平田真史, 池添竜也, 佐藤達典, 飯村拓真, 安中裕大, 白谷飛鳥, 今井剛, GAMMA 10における極小磁場部高周波加熱に関する研究, プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 29D46P.
 98. 下妻隆, 高橋裕己, 久保伸, 吉村泰夫, 伊神弘恵, 西浦正樹, 小笠原慎弥, 牧野良平, 小林策治, 伊藤哲, 水野嘉識, 岡田宏太, 南龍太郎, 假家強, 今井剛, 武藤敬, LHDにおけるECHシステムのアップグレードとプラズマ加熱領域の拡大, プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 29E01P.
 99. 齋藤裕希, 市村真, 横山拓郎, 宇賀神ゆめと, 平田真史, 池添竜也, 佐藤達典, 飯村拓真, 白谷飛鳥, 安中裕大, 中嶋洋輔, 今井剛, GAMMA10東西両アンカー部におけるICRF加熱実験, プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 29E02P.
 100. 河原崎遼, 今井剛, 南龍太郎, 假家強, 沼倉友晴, 中林英隆, 江口濯, 中澤和寛, 南齋宏駿, 浅野徳馬, GAMMA10 セントラル部における電子加熱時の軟X線強度の二次元的振る舞い, プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 29E03P.
 101. 中澤和寛, 今井剛, 假家強, 南龍太郎, 沼倉友晴, 遠藤洋一, 中林英隆, 江口濯, 河原崎遼, 南齋宏駿, 浅野徳馬, GAMMA10におけるECH二枚ミラーアンテナ系の改良, プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 29E06P.
 102. 宇賀神ゆめと, 市村真, 横山拓郎, 齋藤裕希, 平田真史, 池添竜也, 佐藤達典, 飯村拓真, 安中裕大, 白谷飛鳥, 中嶋洋輔, 南龍太郎, 今井剛, GAMMA10アンカー部における位相制御アンテナを用いたICRF実験, プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 29E10P.
 103. 沼倉友晴, 今井剛, 假家強, 南龍太郎, 中林英隆, 江口濯, 河原崎遼, 中澤和寛, 高出力ジャイロトロン発振電力計算のための計算コード開発, プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 29E20P.
 104. 中林英隆, 假家強, 今井剛, 南龍太郎, 沼倉友晴, 遠藤洋一, 江口濯, 河原崎遼, 中澤和寛, 浅野徳馬, 南齋宏駿, 坂本慶司, 28GHz-1MW ジャイロトロンの長パルス試験及び改良設計, プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 29E23P.
 105. 假家強, 南龍太郎, 今井剛, 沼倉友晴, 遠藤洋一, 下妻隆, 久保伸, 吉村泰夫, 高橋裕己, 伊藤哲, 武藤敬, 中林英隆, 江口濯, 満仲義加, 坂本慶司, LHDにおけるECH用154GHz-1MW ジャイロトロンの開発, プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 29E25P.
 106. 江口濯, 假家強, 今井剛, 南龍太郎, 沼倉友晴, 遠藤洋一, 中林英隆, 河原崎遼, 中澤和寛, 南齋宏駿, 浅野徳馬, 28 GHz /35 GHz 2周波数ジャイロトロンの開発, プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 29E29P.
 107. 佐藤達典, 池添竜也, 市村真, 平田真史, 横山拓郎, 宇賀神ゆめと, 飯村拓真, 齋藤裕希, 安中裕大, 白谷飛鳥, 小波蔵純子, 嶋頼子, 吉川正志, 今井剛, GAMMA10における2チャンネル反射計を用いた高周波密度揺動の測定, プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 29PD-03.
 108. 松浦寛人, 大島慎介, 橋本紘平, 水内亨, 永岡賢一, 武田寿人, 中嶋洋輔, 小型サーマルプローブチップの熱伝導解析, プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 30D05P.
 109. 吉川正志, 小波蔵純子, 嶋頼子, 坂元星都, 関口諒, 坂本瑞樹, 中嶋洋輔, 市村真, 今井剛, 南龍太郎, 細井克洋, 北出崇二, 河原崎遼, 山田一博, 安原亮, 川端一男, 舟場久芳, 南貴司, YAG-Thomson 散乱計測システムを用いたGAMMA 10 セントラル部の電子温度・密度分布計測, プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 30D06P.
 110. 小林進二, 永榮蓉子, 門信一郎, 大石鉄太郎, 山本聡, 長崎百伸, 大島慎介, 田中謙治, 水内亨, 岡田

- 浩之, 南貴司, Lee Hyunyong, 永岡賢一, 鈴木康浩, 渡邊清政, 村上定義, 中嶋洋輔, 中村祐司, 木島滋, 向井清史, 東使潔, 佐野史道,
 ビーム放射分光のヘリオトロンJ密度変動実験への適用,
 プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 30D15P.
111. 小波蔵純子, 吉川正志, 飯島拓馬, 森川裕亮, 秋田大地, 長谷川裕平, 宮本耕一, 嶋頼子, 中嶋洋輔, 坂本瑞樹, 今井剛, 桑原大介, 長山好夫, 間瀬淳,
 GAMMA 10 ダイナミクス模擬実験のためのマイクロ波イメージング干渉計システムの開発,
 プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 30D18P.
112. 木暮諭, 中嶋洋輔, 西野信博, 細井克洋, 市村和也, 武田寿人, 小林進二, 水内亨, 上田英明, 高橋樹仁, 吉川正志, 小波蔵純子, 南龍太郎, 假家強, 坂本瑞樹, 市村真, 太田圭一, 岩元美樹, 細田甚成, 今井剛,
 高速カメラを用いたGAMMA 10 セントラル部におけるC-ECRH印加時のプラズマ観測,
 プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 30D19P.
113. 高橋樹仁, 中嶋洋輔, 假家強, 沼倉友晴, 南龍太郎, 市村真, 池添竜也, 細井克洋, 武田寿人, 市村和也, 上田英明, 木暮諭, 岩元美樹, 太田圭一, 細田甚成, 大川和夫, 今井剛,
 GAMMA10 セントラル部におけるイオンエネルギーバランスの解析,
 プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 30D20P.
114. 長谷川裕平, 吉川正志, 坂本瑞樹, 小波蔵純子, 森川裕亮, 秋田大地, 飯島拓馬, 宮本耕一, 嶋頼子, 今井剛,
 多チャンネルマイクロ波干渉計によるGAMMA10 セントラル部のプラズマの電子密度分布計測,
 プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 30D26P.
115. 松川真吾, 近木祐一郎, 吉川正志, 間瀬淳, 長山好夫, 川端一男,
 デジタルミリ波干渉計の開発による密度分布測定の高精細化の研究,
 プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 30D27P.
116. 北出崇二, 吉川正志, 中嶋洋輔, 坂本瑞樹, 水内亨, 小林進二, 細井克弘, 北川和, 木暮諭, 森下雅央, 今井剛,
 SMI 実験におけるGAMMA10 セントラル部の分光計測,
 プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 30D28P.
117. 秋田大地, 吉川正志, 坂本瑞樹, 小波蔵純子, 森川裕亮, 長谷川裕平, 飯島拓馬, 宮本耕一, 嶋頼子, 今井剛,
 GAMMA 10 における2次元電子密度分布計測のための位相イメージング干渉計の改良,
 プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 30D29P.
118. 平田真史, 市村真, 池添竜也, 横山拓郎, 宇賀神ゆめと, 佐藤達典, 飯村拓真, 齋藤裕希, 白谷飛鳥, 安中裕大, 中嶋洋輔, 今井剛,
 ガンマ 10 アンカー部における半導体検出器を用いたICRF加熱プラズマ計測,
 プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 30D30P.
119. 森川裕亮, 吉川正志, 小波蔵純子, 嶋頼子, 秋田大地, 長谷川裕平, 飯島拓馬, 宮本耕一, 水口正紀, 古舘謙一, 坂本瑞樹, 今井剛,
 GAMMA10 セントラル部におけるフラウンホーファー回折法を用いた密度揺動計測,
 プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 30D31P.
120. 安原亮, 山田一博, 吉川正志, 波多江仰紀, 谷塚英一, 林浩, 舟場久芳,
 LHD 偏光マルチパストムソン散乱計測システムの開発,
 プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 30D32P.
121. 水口正紀, 坂本瑞樹, 古舘謙一, 吉川正志, 大木健輔, 定村康太郎, 武田寿人, 市村和也, 中嶋洋輔, 今井剛,
 GAMMA10 エント部へのターゲットプレート挿入によるコアプラズマでの高電位形成,
 プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 30D34P.
122. 古舘謙一, 坂本瑞樹, 水口正紀, 定村康太郎, 青山真士, 宮田良明, 赤羽泰央, 大木健輔, 吉川正志, 今井剛,
 GAMMA10 における空間電位二点同時測定によるプラグ・バリア ECH 印加時の局所電場計測,
 プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 30D38P.
123. 飯村拓真, 市村真, 平田真史, 池添竜也, 横山拓郎, 宇賀神ゆめと, 佐藤達典, 齋藤裕希, 安中裕大, 白谷飛鳥, 今井剛,
 GAMMA10 におけるAlfven-ion-cyclotron 波動による高エネルギーイオンの軸方向輸送,
 プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) 30E09P.
124. 坂本瑞樹,
 高熱流プラズマ対向壁研究の優先課題と試験設備,
 プラズマ・核融合学会第29回年会, (福岡県春日市, 2012. 11. 27- 2012. 11. 30) SIV-7. 4.
125. 吉川正志,
 タンデムミラーGAMMA 10 におけるコア部プラズマからエント部の電位揺動研究,
 燃焼プラズマの輸送特性の包括的理解に向けたトロイダルプラズマの閉じ込め・輸送に関する体系的研究」及び「閉じ込め・輸送サブクラスター会合」合同研究会, (核融合科学研究所管理棟4階大会議室, 2012. 12. 13-2012. 12. 14).
126. 市村真, 池添竜也,
 ミラー磁場配位中のイオンサイクロトロン周波数帯自発励起波動と高エネルギーイオンの相互作用,
 プラズマ波動-粒子相互作用の直接計測に関する検討会, (名古屋大学, 2012. 12. 25-2012. 12. 25).
127. 大木健輔, 坂本瑞樹, 中嶋洋輔, 赤羽泰央, 長塚優, 野原涼, 吉川基輝, 小波蔵純子, 吉川正志, 細井

- 克洋, 武田寿人, 市村和也, 市村真, 今井剛,
 GAMMA 10/PDX におけるダイバータ模擬プラズマの電子温度・密度計測,
 NIFS 一般共同研究「磁場閉じ込め及び慣性閉じ込め核融合プラズマ診断の新展開」核融合エネルギー
 フォーラムプラズマ物理クラスター計測サブクラスター合同会合, (核融合科学研究所,
 2013. 1. 9-2013. 1. 10).
128. 徳沢季彦, 角屋豊, 萩行正憲, 谷正彦, 山本晃司, 小波蔵純子, 吉川正志, 西浦正樹, 田中謙治, 山田
 一博, 川端一男,
 マイクロ波-THz 波パルスを用いた核燃焼プラズマ計測,
 NIFS 一般共同研究「磁場閉じ込め及び慣性閉じ込め核融合プラズマ診断の新展開」核融合エネルギー
 フォーラムプラズマ物理クラスター計測サブクラスター合同会合, (核融合科学研究所,
 2013. 1. 9-2013. 1. 10).
129. 假家強, 今井剛, 南龍太郎, 沼倉友晴, 図子秀樹, 花田和明, 出射浩, 長崎百伸, 斎藤輝雄, 立松芳典,
 山口裕資, 久保伸, 下妻隆, 吉村泰夫, 伊神弘恵, 高橋裕巳, 中林英隆, 江口濯, 中澤和寛, 河原崎遼,
 28GHz 大電力・定常ジャイロトロンスystemを用いた電子サイクロロン高密度プラズマ加熱連携研究,
 双方向成果報告会, (核融合科学研究所, 2013. 1. 24).
130. 細井克洋,
 GAMMA10 SMBI 実験における中性粒子輸送解析,
 「プラズマの素過程研究と分光診断の展望」研究会, (核融合科学研究所, 2013. 1. 24- 2013. 1. 25).
131. 池添竜也, 市村真, 平田真史, 佐藤達典, 安中裕大, 飯村拓真, 横山拓郎, 宇賀神ゆめと, 齋藤裕希, 白
 谷飛鳥, 嶋頼子, 小波蔵純子, 吉川正志, 今井剛,
 GAMMA10 における自発励起波動と高エネルギーイオンの軸方向輸送,
 第2回 ICRF 加熱研究会「ICRF 加熱装置の高性能化と将来応用」, (核融合科学研究所, 2013. 2. 20).
132. 横山拓郎, 市村真, 池添竜也, 平田真史, 福山淳, 宇賀神ゆめと, 齋藤裕希, 佐藤達典, 飯村拓真, 今井剛,
 GAMMA10 極小磁場アンカー部における ICRF 加熱実験,
 第2回 ICRF 加熱研究会「ICRF 加熱装置の高性能化と将来応用」, (核融合科学研究所, 2013. 2. 20).
133. 市村和也,
 GAMMA 10/PDX ダイバータ模擬実験におけるプラズマ高密度化の研究,
 第16回 若手科学者によるプラズマ研究会, (原子力開発研究機構, 2013. 3. 4-2013. 3. 6).
134. 横山拓郎, 市村真, 池添竜也, 平田真史, 福山淳, 宇賀神ゆめと, 齋藤裕希, 佐藤達典, 飯村拓真, 今
 井剛, GAMMA10 team,
 GAMMA10 極小磁場アンカー部における ICRF 加熱に関する研究,
 第16回 若手科学者によるプラズマ研究会, (原子力開発研究機構, 2013. 3. 4-2013. 3. 6).
135. 武田寿人,
 背景プラズマコードの GAMMA10 ダイバータ模擬への適応,
 第16回 若手科学者によるプラズマ研究会, (原子力開発研究機構, 2013. 3. 4-2013. 3. 6).
136. 假家強,
 QUEST 向けジャイロトロンの開発,
 ST 研究会「マイクロ波駆動核融合」, (核融合科学研究所, 2013. 3. 6).
137. 中嶋洋輔,
 GAMMA10/PDX 端損失プラズマ流を用いたダイバータ模擬実験の現状,
 プラズマ流の基礎と応用に関する研究会, (東北大学工学研究科, 2013. 3. 7).

〈解説・紀要等〉

01. M. Yoshikawa, M. Morimoto, Y. Shima, J. Kohagura, T. Imai, M. Sakamoto, Y. Nakashima, T. Minami, R.
 Yasuhara, K. Kawahata, I. Yamada, H. Funaba,
 Development of Polarization Controlled Multi-pass Thomson Scattering System in the GAMMA 10 Tandem
 Mirror,
 Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2011-March 2012**, (2012) 212.
02. M. Yoshikawa, A. Sugiyama, Y. Washo, I. Katanuma, Y. Shima, H. Nakanishi, M. Ohsuna, M. Kojima, Y.
 Nagayama,
 Data Transfer and Direct Data Acquisition from GAMMA 10 to LHD Virtual Laboratory via SNET,
 Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2011-March 2012**, (2012) 454.
03. T. Imai and GAMMA10 group,
 Studies of the Divertor-simulating Boundary Plasma and transport control in making use of Open End Magnetic
 Field and Effects of Electric Potential and Field,
 Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2011-March 2012**, (2012) 468.
04. Y. Nakashima, I. Katanuma, M. Ichimura, T. Kariya, M. Yoshikawa, M. Sakamoto, H. Takeda, K. Ichimura, T. Ishii,
 N. Ohno, Y. Ueda, N. Asakura, A. Hatayama, M. Toma, N. Nishino, S. Kado, Y. Iida, A. Tonegawa, H. Komukai, T.
 Iijima, S. Kobayashi, H. Matsuura, T. Shikama, M. Nagata, M. Zhao, A. Sagara, Y. Hirooka, S. Masuzaki, M. Shoji,
 Study of divertor simulation using open magnetic field configuration,
 Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2011-March 2012**, (2012) 469.
05. M. Ichimura, R. Ikezoe, R. Kumazawa,
 Correlation between ICRF Waves and Behavior of High Energy Ions on GAMMA 10,

- Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2011-March 2012**, (2012) 470.
06. Y. Kogi, S. Matsukawa, H. Mukunoki, M. Yoshikawa, T. Yamada, D. Akita, Y. Shima, A. Mase, Y. Nagayama, K. Kawahata,
Development of Digital Based Millimeter Wave Interferometer and Application to Electron Density Imaging at the
Potential Barrier Region on GAMMA 10,
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2011-March 2012**, (2012) 471.
 07. T. Saito, Y. Tatematsu, Y. Kiwamoto, M. Ichimura, T. Imai, R. Minami, Y. Soga, K. Ogura,
Study of Interaction between Plasma and EM Wave in Prospect of Application of Millimeter & Sub-millimeter
Waves,
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2011-March 2012**, (2012) 472.
 08. H. Takeno, Y. Yasaka, Y. Tomita, J. Miyazawa, M. Shikawa, Y. Nakashima, I. Katanuma,
Charge Separation Characteristics of a Cusp-type Direct Energy Converter Simulator in a Wide Density Region,
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2011-March 2012**, (2012) 473.
 09. K. Yamazaki, T. Oishi, H. Arimoto, M. Ichimura, Y. Nagayama,
Divertor Study of Toroidal and Mirror Field Configurations,
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2011-March 2012**, (2012) 474.
 10. T. Kariya, T. Imai, R. Minami, T. Numakura, H. Aoki, H. Iizumi, H. Nakabayashi, H. Zushi, K. Hanada, H. Idei, H. K.
Nagasaki, T. Saito, Y. Tatematsu, Y. S. Kubo, T. Shimozuma, Y. Yoshimura, H. Igami, H. Takahashi,
Cooperation study of SDC-plasma ECH using the 28 GHz High Power Gyrotron System,
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2011-March 2012**, (2012) 475.
 11. A. Ando, N. Takahashi, Y. Hashima, Y. Izawa, M. Ichimura, R. Ikezoe, T. Yokoyama,
Plasma Flow Measurement at a Peripheral Region of the Central Cell in GAMMA 10,
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2011-March 2012**, (2012) 476.
 12. A. Fukuyama, T. Yokoyama, M. Ichimura, Y. Yamaguchi,
Wave Excitation in the Anchor Cell of GAMMA 10 with Nonaxisymmetric Configuration,
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2011-March 2012**, (2012) 477.
 13. M. Yoshikawa, M. Morimoto, Y. Shima, J. Kohagura, M. Sakamoto, T. Imai, M. Ichimura, Y. Nakashima, T.
Minami, K. Kawahata, I. Yamada, H. Funaba,
Electron Temperature Measurements by Using the Thomson Scattering System in GAMMA 10,
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2011-March 2012**, (2012) 478.
 14. S. Kobayashi, T. Mizuuchi, H. Okada, H. Lee, T. Kagawa, T. Minami, Y. Nakashima, K. Hosoi, H. Takeda, K.
Ichimura, H. Ishii, M. Sakamoto, M. Yoshikawa, J. Kohagura, M. Shoji,
Analysis of Recycling Behavior and Optimisation of Particle Fueling in Open Magnetic Field Configuration,
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2011-March 2012**, (2012) 479.
 15. S. Shinohara, T. Hada, M. Ichimura, R. Ikezoe, T. Yokoyama, Y. Ugajin,
Basic Study on Generation and Control of High-Density Plasma Flow in the Plasma Edge,
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2011-March 2012**, (2012) 480.
 16. H. Matsuura, Y. Nakashima, M. Sakamoto, K. Hosoi, H. Takeda, K. Ichimura, K. Nagaoka, M. Shoji,
Measurement and Control of the Sheath Heat Flux onto High Temperature Tungsten Surface,
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2011-March 2012**, (2012) 481.
 17. S. Nagata, M. Zhao, K. Hoshi, M. Shikama, Y. Nakashima, M. Sakamoto, K. Hosoi, H. Takeda,
Surface Analysis of Nuclear Fusion Materials by GAMMA 10 Plasma,
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2011-March 2012**, (2012) 482.
 18. Y. Nakashima, K. Hosoi, H. Takeda, K. Ichimura, H. Ishii, M. Sakamoto, J. Kohagura, S. Kobayashi, T. Mizuuchi, H.
Okada, H. Lee, T. Kagawa, T. Minami, M. Shoji,
Fueling optimization using multi-channel Ha/Da line-emission measurements in Heliotron J,
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2011-March 2012**, (2012) 495.
 19. H. Zushi, K. Hanada, K. Nakamura, A. Fujisawa, M. Sakamoto, H. Idei, M. Hasegawa, Y. Higashizono, T. Tanabe, K.
Sato, N. Yoshida, H. Watanabe, N. Tokunaga, S. Masamune, I. Takagi, T. Shikama, K. Nagasaki, Y. Kishimoto, T.
Maekawa, A. Fukuyama, H. Tanaka, Y. Uesugi, Y. O. Mitarai, A. Tonegawa, N. Nishino, H. Matsuura, Y. Ueda, Y.
Tsushima, Y. Nakashima, T. Takeda, S. Iio, A. Ejiri, Y. Ogawa, Y. Takase, Y. Ono, S. Kado, A. Ando, A. Iwamae, K.
Uehara, K. Shimizu, N. Asakura, M. Kikuchi, M. Takechi, T. Saito, T. M. Nagata, N. Fukumoto, N. Ohno, H. Iwakiri,
Y. Hatano, A. Komori, O. Kaneko, H. Yamada, K. Kawahata, Y. Takeiri, Y. Nakamura, N. Nakajima, Y. Nagayama,
T. Mutoh, Y. Hirooka, H. Igami, M. Isobe, S. Kubo, M. Emoto, M. Kojima, T. Morisaki, H. Nakanishi, M. Osakabe,
Y. Tomita, K. Nagaoka, S. Okamura, A. Sagara, T. Shimozuma, S. Morita, K. Toi, M. Tokitani, S. Masuzaki, T.
Yoshinaga, N. Ashikawa,
Non Inductive Current Drive and Steady Operation in the Divertor Configuration in QUEST,
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2011-March 2012**, (2012) 513.
 20. K. Hanada, K. N. Sato, H. Zushi, N. Yoshida, K. Nakamura, M. Sakamoto, H. Idei, M. Hasegawa, M. Ishiguro, H.
Liu, H. Tachikawa, S. Yamanaka, T. Yamada, T. Yoshinaga, H. Fujiyoshi, K. Hamamoto, H. Takahashi, O. Mitarai,
N. Nishino, T. Maekawa, H. Tanaka, Y. Takase, A. Ejiri, Y. Nakashima, M. Kikuchi, T. Yoshinaga,
Formation of Divertor Configuration and Measurement of Divertor Plasma on QUEST,
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2011-March 2012**, (2012) 520.
 21. H. Nakanishi, M. Ohsuna, M. Kojima, S. Imazu, M. Nonamura, T. Yamamoto, M. Emoto, Y. Nagayama, K.
Kawahata, M. Hasegawa, A. Higashijima, K. Nakamura, M. Yoshikawa, A. Sugiyama, Y. Washo,
Highly Reliable Common Data Platform for Fusion Virtual Laboratory (FVL),
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2011-March 2012**, (2012) 521.
 22. Y. Nakashima, M. Sakamoto, K. Hosoi, H. Takeda, T. Shikama, S. Nagata, M. Zhao, K. Hoshi,
Surface Analysis of Effect of Plasma Irradiation to Nuclear Fusion Materials,
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2011-March 2012**, (2012) 547.