

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02440

研究課題名(和文) 中性粒子・輻射輸送に伴う非接触ダイバータプラズマ中のエネルギー輸送機構の解明

研究課題名(英文) Investigation of energy transport in detached divertor plasma associated with neutral particle / radiation transport

研究代表者

大野 哲靖 (OHNO, NORIYASU)

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：60203890

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,500,000円

研究成果の概要(和文)：直線型ダイバータプラズマ模擬試験装置を用いて定常の非接触プラズマ(DP)を生成し、開発した計測装置を用いて、DP中のエネルギー輸送を明らかにした。レーザー吸収分光による中性粒子温度計測により、中性粒子温度が非接触プラズマ形成に影響を与えていることを示した。高時間分解レーザートムソン散乱計測により、非接触プラズマ中の揺動に起因した電子温度分布関数の歪みが観測された。さらに、2次元可動プローブ計測により、DPの再結合フロント近傍のプラズマ分布が明らかになり、揺動に起因した磁力線方向を横切る輸送により、プラズマの径方向分布が平坦化していることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高熱流ダイバータプラズマ模擬試験装置を駆使し、原型炉で遭遇する非接触ダイバータプラズマに関する諸課題に関する系統的な研究を遂行し、原型炉設計に資する学術的な基盤を創成する点。本研究成果により非接触ダイバータ性能を予測可能なシミュレーションコードが実現され、信頼性が高い原型炉ダイバータ設計に大きく資することが可能である。

研究成果の概要(英文)：A steady-state detached plasma (DP) was generated using a linear divertor plasma simulator, and the energy transport in the DP was clarified using the developed measuring devices. Neutral particle temperature measurement by laser absorption spectroscopy showed that the neutral particle temperature strongly affects the formation of DP. Distortion of the electron temperature distribution function due to fluctuations in the DP was observed by high-time resolution laser Thomson scattering measurement. Furthermore, the plasma distribution near the recombination front of the DP using two-dimensional movable probe measurement was clarified. As a result, it was revealed that the radial distribution of plasma was flattened by the enhanced plasma transport across the magnetic field line caused by the plasma fluctuation.

研究分野：核融合学

キーワード：核融合 周辺プラズマ ダイバータプラズマ 非接触プラズマ エネルギー輸送 シミュレーション
原子・分子過程

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

核融合炉の実現のためには、炉心プラズマから周辺領域に流出する膨大な粒子流および熱流を制御し、プラズマ対向材(ダイバータ板)の損傷を低減することが最重要課題の一つである。ダイバータ板への熱負荷低減シナリオの確立の重要性は国内外で認識されており、日本においては、核融合エネルギーフォーラムITER・BA技術推進委員会の下、ダイバータ研究開発加速戦略方策検討評価WGが設置され、集中的な議論が行われた。この中で、熱負荷低減法として、非接触ダイバータによる熱流制御法の確立の重要性が指摘された。

熱負荷としてダイバータ板表面での表面再結合過程によるイオンが持つ電離エネルギーの放出の寄与があるため、放射冷却によるプラズマ温度の低下だけでは、熱負荷低減は不十分である。熱負荷を減少させるためには、イオン粒子束そのものを減少させる必要がある。プラズマの冷却をさらに進め、電子温度が1eV程度まで低下すると、プラズマはダイバータ板へ到達する前に体積再結合過程によりガス化し、イオン粒子束が減少し、ダイバータ板への熱負荷が著しく低減する。これを、非接触ダイバータという(図1.1)。生成されるプラズマを非接触ダイバータプラズマという。

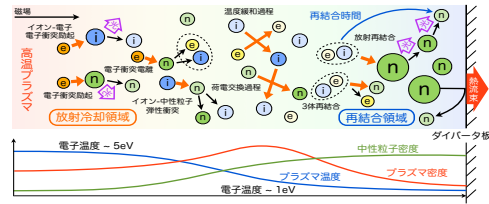


図 1.1 沿磁力線方向の非接触ダイバータプラズマの構造

原型炉のダイバータプラズマ条件(高いイオン密度及び原子密度)での非接触ダイバータ熱流制御の有効性に関する実験的な検証は行われておらず、原型炉ダイバータ設計活動を困難なものにしている。特に、低温で高いイオン密度及び原子密度環境下では、中性粒子輸送、輻射(光)輸送に関連したエネルギー輸送過程が重要である。これらの非接触ダイバータ中でのエネルギー輸送過程に関する学術的な基盤を構築し、原型炉ダイバータ設計が可能なる予測性能を有するシミュレーションコードの開発が必要不可欠である。

2. 研究の目的

直線型ダイバータプラズマ模擬試験装置のプラズマを高密度化し、レーザートムソン散乱計測、レーザー吸収分光による中性粒子温度計測により中性ガス温度を含めた非接触プラズマのプラズマパラメータの詳細計測を行い、中性粒子・輻射輸送を伴う非接触プラズマ中のエネルギー輸送過程を明らかにする。

3. 研究の方法 (計測装置の開発)

3.1 直線型ダイバータプラズマ模擬実験装置

本研究では図 3.1.1 の直線型ダイバータプラズマ模擬実験装置 NAGDIS-II (NAGoya university DIverter simulator II) を用いて実験を行った。代表的なプラズマパラメータはヘリウム放電の場合、電子密度 $n_e < 10^{20} \text{ m}^{-3}$ 、電子温度 $T_e < 10 \text{ eV}$ である。図 3.1.2 は NAGDIS-II で生成された非接触プラズマの様子を示している。放電領域に近い上流領域では電離進行プラズマ状態(接触プラズマ状態)である。プラズマターゲット板方向に輸送されるにつれて、プラズマが低温・高密度化することにより、気相中で体積再結合が発生し(再結合フロント)、ターゲット板全面でプラズマが消失している。

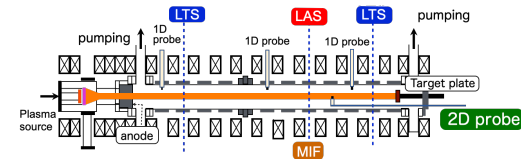


図3.1.1 直線型ダイバータプラズマ模擬試験装置の概要。LTSはレーザートムソン散乱計測システム、LAS:レーザー吸収スペクトル計測システム、MIF:マイクロ波干渉計測システム、2D probe:2次元可動プローブシステムを表す。

非接触プラズマ中のエネルギー輸送を調べるために、本科研費ではレーザートムソン散乱計測、レーザー吸収分光計測、2次元可動プローブ計測システムを開発、整備した。

3.2 レーザートムソン散乱計測装置の開発

下流部トムソン散乱計測装置

散乱光観測系を図 3.2.1 に示す。観測系は真空容器の上に設置されており、レンズで集光した光を光ファイバによって分光器に導いている。光ファイバはコア径 0.23 mm、25 チャンネル、NA 0.22 のファイバアレイとなっている。チャンネル列は視点が入射レーザーの光路に沿うようになり、径方向に同時に計測を行うことができる。

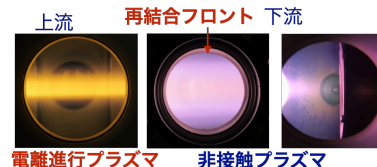


図 3.1.2 NAGDIS-II で生成された非接触プラズマの様子

上流部トムソン散乱計測装置

図 3.2.2 に上流部トムソン散乱計測装置の模式図を示す。レーザー源は下流部のトムソン散乱計測装置と共用である。下流側トムソン散乱計測装置では、上部のポート窓から散乱光を取得しているが、NAGDIS-II 上流部には上部のポートが存在しないため、本装置では散乱光を側面のポート窓から取得している真空内に設置した石英ガラス製のミラー (THORLABS 社、型番 BBSQ2-E02) を介して、散乱光を側面のポート窓に通過させている。

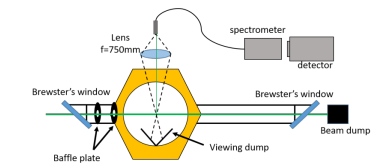


図 3.2.1 下流部トムソン散乱計測模式図

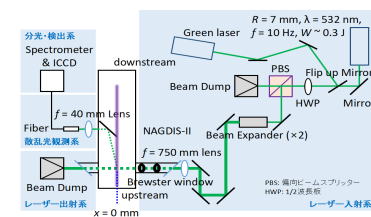


図 3.2.2 上流トムソン散乱計測模式図

3.3 2次元可動プローブシステムの開発

開発された2次元駆動プローブシステムの模式図を図3.3.1に示す。この計測系は、NAGDIS-IIのエンドターゲット後方に設置されており、ロボシリンダを用いて磁力線方向にエンドターゲットから約65 cm上流まで探針を移動させることができる。また、探針はその軸を回転させることでプラズマの径方向にも計測が行うことができるようになっている。また、計測回路とデータ処理手法改良して、ダブルプローブ計測の高精度化を図った。

トムソン散乱計測とダブルプローブ計測の結果の比較を図3.3.2に示す。中性ガス圧を変化させ、接触プラズマから非接触プラズマへと遷移させた。改良した平均化処理法を用いたダブルプローブの電子温度はトムソン散乱計測の電子温度に近づいていることがわかる。特に、高ガス圧の非接触プラズマ中においてはトムソン散乱計測とほぼ一致している。一方、電子密度はトムソン散乱計測とは1.5倍程度の差がある。プローブ表面積の見積りの影響が考えられる。プローブ表面積は円筒と平板の間の大きさを仮定する必要があることが示唆される。

3.4 レーザー吸収分光計測装置の開発

中性粒子温度を計測することを目的とし、レーザー吸収分光計測(Laser Absorption Spectroscopy: LAS)を開発した。衝突輻射モデルを用いた吸収係数の計算及び連続スペクトルランプを用いた実験により計測に適した波長(1083 nm)を決定した。さらに、安定性を高めるため新たに分布帰還型DFBレーザー光源を用いる。光学系の模式図を図3.4.1に示す。DFBレーザーの線幅は5 MHz以下である。

4. 研究成果

4.1 LAS計測装置を用いた非接触プラズマ中の中性粒子温度計測

中性粒子温度はイオンとの弾性衝突・荷電交換反応によりイオン温度に大きな影響を与えるため、非接触プラズマ中の中性粒子温度の評価は重要である。

図4.1.1にヘリウムプラズマにおける中性粒子温度、電子温度、電子密度の中性ガス圧依存性を示している。放電電流は60 Aである。ガス圧の増加と共に電子温度及び中性粒子温度が低下していることが分かる。今回の実験はすべて非接触プラズマで行っており、準安定準位のHe原子はほとんど再結合によって生成される。そのため測定している中性粒子温度はイオン由来である。従って、外部から供給している低温なガスにより電子・イオンが冷却されるため、再結合により生じた中性粒子は低温であったことが考えられる。

4.2 非接触プラズマパラメータの空間分布計測

非接触プラズマ中のエネルギー輸送を明らかにするためには磁力線に沿った方向と磁力線を横切る方向の2次元の連続パラメータ分布計測が必要である。図4.2.1にNAGDIS-IIにおける2次元駆動プローブの計測可能範囲を示す。

体積再結合が発生している領域である再結合フロント位置を知るために図4.2.1に示す位置(軸方向位置1.72 m)で分光計測を行い、中性ガス圧を変えながら再結合に伴う発光の強度を調べた。測定した光の波長は、再結合にともなう高励起準位からの発光である361.364 nm (2s 1S ← 5p 1P)、370.501 nm (2p 3P ← 7d 3D)である(図4.2.2)。この結果から、中性ガス圧が約10 mTorrのときに発光がピークしており、計測位置付近に再結合フロントが存在していることがわかる。

中性ガス圧を変えたときの磁力線方向のパラメータ分布の変化を計測した。中性ガス圧は8.1 mTorrから14.8 mTorrまで変化させた。図4.2.3は径方向中心における電子密度(上

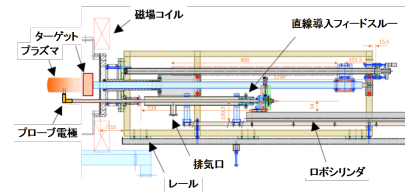


図 3.3.1 2次元駆動プローブ概略図

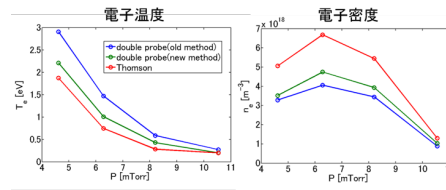


図 3.3.2 改良したダブルプローブ法とトムソン散乱計測によるプラズマパラメータの比較

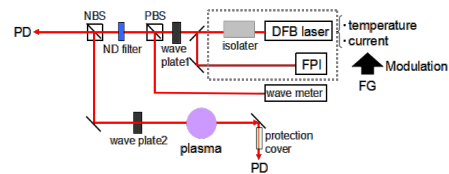


図 3.4.1 DFB 可変波長レーザー吸収分光光学系

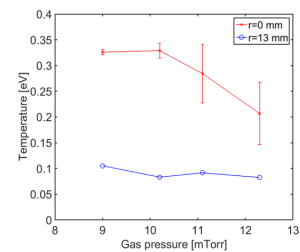
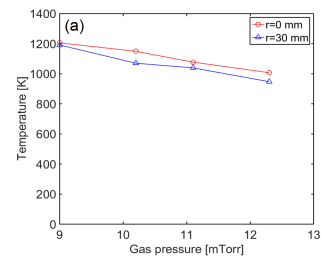


図 4.1.1(a)中性粒子温度, (b)電子温度の中性ガス圧依存性

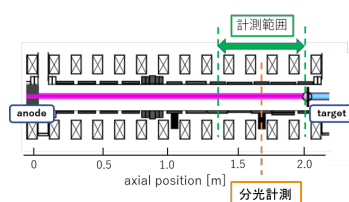


図 4.2.1 2次元駆動プローブの計測範囲

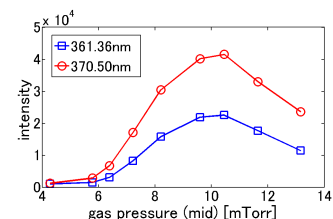


図 4.2.2 体積プラズマ再結合に伴う発光強度の中性ガス圧依存性

図)と電子温度(下図)の磁力線方向分布である。どのガス圧においても下流では電子温度が 1 eV 以下となっており、非接触プラズマが形成されていることがわかる。ガス圧を上げることで電子密度が急激に減少する領域(再結合フロント)が上流へシフトしていく様子が確認される。また、すべてのガス圧において上流から電子温度が単調に下がっていき、1 eV を下回った付近の位置から電子密度の急激な減少が始まっている。これは、電子温度 1 eV 以下で放射再結合、三体再結合の速度係数が電離の速度係数を上回り、再結合過程が支配的になることから説明できる。

また、電子密度は下流から上流にかけて増加し、飽和するような分布となっており、ロールオーバー構造は見られなかった。ロールオーバー構造は電離フロントと呼ばれる領域において、中性粒子が電離し、電子密度が急増することで生じると考えられているが、今回の計測条件、計測範囲内においてはこの電離フロントは存在しなかったと考えられる。上流で電子密度が飽和する領域において、高ガス圧において電子密度が大きくなっているのは、電離のレートが中性粒子密度に比例するため、電離が起きる程度に電子温度が高い領域では中性ガス圧が大きいほうがより多く電離が起るためであると考えられる。非接触プラズマ中の磁力線を横切る輸送構造を知るためには軸・径方向の 2 次元計測が必要である。プラズマの状態を固定し、軸・径方向の 2 次元連続パラメータ分布計測を行った。プラズマの条件は磁場 0.1 T、放電電流 60 A、放電電圧 105 V である。また、マスフローは上流・下流ともに 200 sccm として、このときのガス圧は 9.8 mTorr であった。

図 4.2.4 に電子密度と電子温度の 2 次元計測結果を示す。電子温度は再結合フロントよりも上流で急激に減少しているのに対し、電子密度は再結合フロント上流ではほぼ一定で、再結合フロント付近で中心部の急激な減少が生じ、径方向分布が平坦化していることが確認される。また、電子密度に注目すると、再結合フロント付近において $r = 26.7$ mm の周辺部の分布が局所的に増加していることがわかる(図中、点線で示す領域)。この原因として、この領域で磁力線を横切る輸送が増大し、中心部のプラズマが周辺部へ移動することで、分布が広がっていることが考えられる。

計測された電子密度と電子温度の 2 次元分布から三体再結合レート S_{rec} の 2 次元分布を求めることができる。図 4.2.5 より、再結合が強い領域が図中矢印で示すように、上流部では $r = 15$ cm 付近に存在し、下流に行くにつれて中心部へとシフトしていく構造となっていることがわかる。三体再結合は低温高密度の領域において起こりやすいという性質がある。図 4.2.4 より、上流では中心部の電子温度が高く、温度が 0.5 eV 程度まで低下する周辺部で再結合が起こりやすい状況にある。下流に行くにつれて、中心部の電子温度が低下するのに対し、電子密度は再結合フロントを過ぎるまではあまり変化しないため、再結合が起こりやすい領域が中心部へとシフトし、このような構造が形成されると考えられる。ダブルプローブ計測では 2 本の電極を用いるが、今回使用したプローブは 4 探針であるため残りのうちの 1 本を用いて浮遊電位を同時に計測することができる。この方法を用いて浮遊電位 V_n の 2 次元プロファイルを計測した。イオン温度 T_i は電子温度と同じであると仮定すると、空間電位 V_s は $V_s = V_n + 3.7T_e$ [eV] と計算される。浮遊電位と空間電位の 2 次元分布を図 4.2.6 に示す。図より、空間電位は中心部が最小となる井戸型構造をしていることがわかる。この電位構造は NAGDIS-II のカソードおよびホローなアノードの構造によって形成される。上流部に比べて下流部ではエンドターゲットに近づくにつれて空間電位の径方向分布が平坦になっている。また、周辺部での空間電位は下流に向かって単調に減少しているが、中心部では異なった分布となっていることが確認される。この電位構造が低温電子の軸方向輸送の障壁となり、プラズマを高温領域と低温領域に分離し、非接触プラズマの形成に寄与している可能性が示唆される。

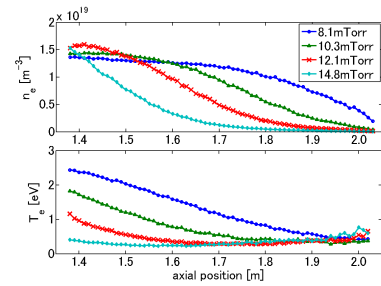


図 4.2.3 径方向中心における磁力線方向パラメータの中性ガス圧依存性: (a)電子密度 (b)電子温度

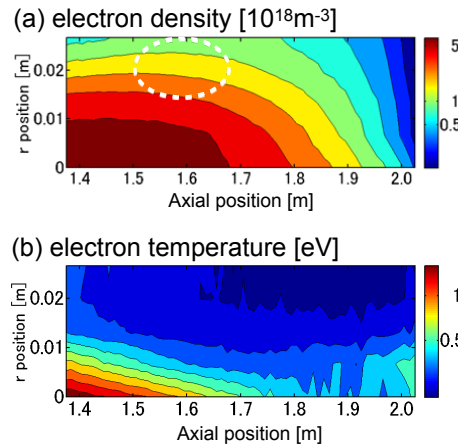


図 4.2.4 (a)電子密度, (b)電子温度の二次元分布

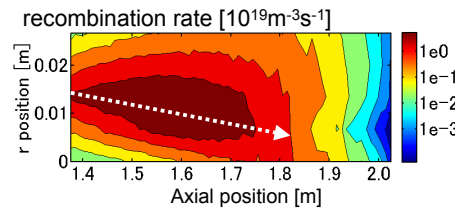


図 4.2.5 衝突輻射モデルを用いて求めた三体再結合レートの二次元分布

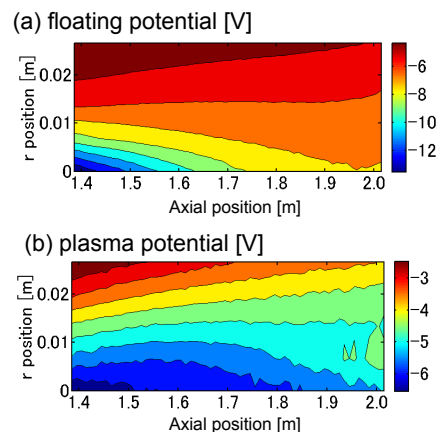


図 4.2.6 (a)浮遊電位, (b)空間電位の二次元分布

4.3 LTS 計測を用いた非接触プラズマ中のプラズマパラメータ分布計測と高時間分解計測

LTS 計測を改良し、非接触プラズマのような電子温度の低いプラズマにおいても計測可能とした。また、条件付き平均法を用いて高時間分解能のトムソン散乱計測を実現し、非接触プラズマの揺動現象を明らかにした。下流部の中性粒子圧力を変化させて LTS 計測を行った。結果を図 4.3.1 に示す。図より、中性粒子圧力に対して電子密度がピークを取っていることが分かる。また、電子密度が減少に転じるときの電子温度が約 1 eV となっている。これは低い圧力の領域では、ガス圧力の増加に伴い上流でプラズマがより生成されるようになり電子密度が上昇し、電子温度が 1 eV 程度まで下がると再結合が優勢となって電子密度が減少に転じるものと考えられる。

他の 2 つの計測手法との比較では、電子温度がやや異なる。ダブルプローブ法は本データをベースに改良が図られている。

図 4.2.3 は非接触プラズマ(圧力 $P = 15.8$ mTorr)におけるトムソン散乱スペクトルとそのガウス関数フィッティング曲線である。右上の拡大図でよくわかるように、ガウス関数の端の部分でフィッティング曲線がデータから大きくずれている。このずれを考慮するため、フィッティング曲線を 2 つのガウス関数の和に変更したものが、図(b)である。この場合、端部分の拡大図でもフィッティング曲線が計測データによく一致している。また、それぞれのガウス関数をみると、幅の広い成分がフィッティング精度の改善に大きく寄与していることが分かる。2 つの成分からそれぞれの電子温度・電子密度を計算すると、高温成分: $T_{eH} = 0.68$ eV, $n_{eH} = 1.9 \times 10^{18}$ m⁻³、低温成分: $T_{eL} = 0.15$ eV, $n_{eL} = 8.4 \times 10^{18}$ m⁻³ となった。通常の単一ガウス関数評価での電子温度・電子密度は $T_{eS} = 0.27$ eV, $n_{eS} = 8.7 \times 10^{18}$ m⁻³ であり、電子温度の高い成分が電子速度分布関数の形状をガウス関数から変化させていることが分かる。

中性粒子圧力を変化させながら単一ガウス関数、2 つのガウス関数のそれぞれの方法で電子温度・電子密度を評価した。図 4.3.6 に示すように、中性粒子圧力の増加に伴い、高温成分・低温成分ともに温度が低下していることが分かる。このことから、LTS の 2 ガウス関数化は迷光などによる計測上の問題ではなく、プラズマに実際に見られる現象であると考えられる。各成分の電子密度に注目すると、接触状態である最も低い中性粒子圧力 $P = 5$ mTorr では低温成分の密度が高温成分に対して十分に小さく、高温成分のみの単一ガウス関数で説明できると考えられる。中性粒子圧力が上昇すると、単一ガウス関数評価での電子密度がピークをとる、 $P = 9$ mTorr 付近で高温成分と低温成分の密度が逆転する。さらに圧力が高い領域では低温成分が支配的となるものの、高温成分は無くなるわけではなく両者が混合した状態となっている。

電子の温度緩和時間を評価すると数十 ns となり、2 電子温度分布は定常的に存在することは難しく、時間的な電子温度の変動が電子速度分布関数の変化の原因と考えられる。条件付き平均法と呼ばれる統計的手法を用いて LTS 計測信号の時系列情報を再構成し時間的な電子温度・電子密度の変化を解析した。LTS 計測とプローブ計測のデータを 1 万組取得した。

プローブにより計測されたイオン飽和電流の時系列データを参照データとして、イオン飽和電流の振幅が平均値 + 1.3 倍の標準偏差以上となったピークを参照イベントとして、LTS 計測データからスペクトルを再構成し、参照イベントを基準とした電子温度、電子密度の時間発展を再構築した。(a) のイオン飽和電流の波形にほぼ同期した形で (b) の電子密度の変動が見られる。(c) の電子温度はイオン飽和電流や電子密度よりも少し位相が進んでいることが分かる。以上より、トムソン散乱スペクトルの非ガウス関数化に寄与していると考えられる電子温度の揺動が存在することを確認できた。

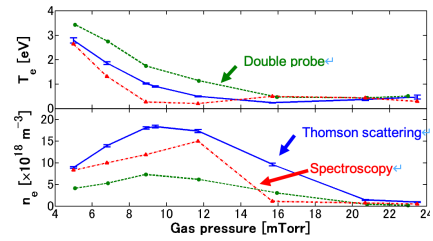


図 4.3.1 三つの計測手法による中性粒子圧力を変化させたときの電子温度・電子密度

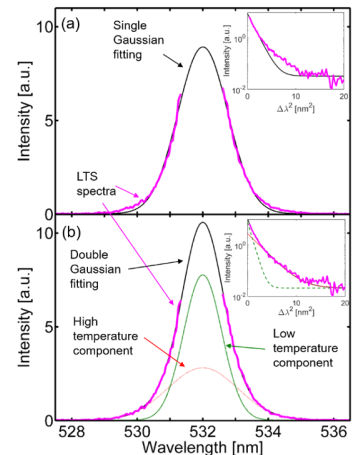


図 4.3.2 非接触プラズマにおけるトムソン散乱スペクトルと (a) シングルガウスフィッティング、(b) ダブルガウスフィッティング。挿入図では、波長が長い側のデータを中心波長からの差の 2 乗の関数としてプロットした

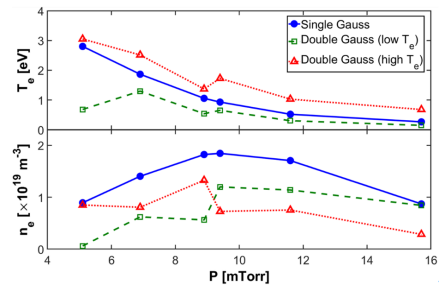


図 4.3.3 単一ガウス関数・2 ガウス関数で評価した電子温度・電子密度の中性粒子圧力依存性

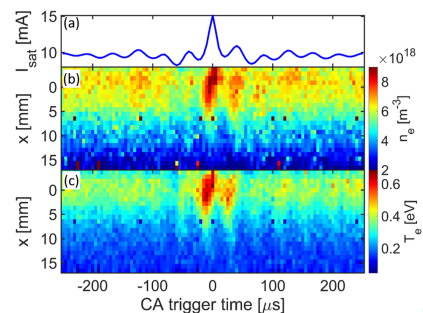


図 4.3.4 条件付き平均により得られた (a) イオン飽和電流、(b) 電子密度、(c) 電子温度の時間発展

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 KAJITA Shin, TANAKA Hirohiko, OHNO Noriyasu, ONDA Takuya	4. 巻 13
2. 論文標題 Mode Structure Analysis of Detached Plasmas with 2D Images	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 1402033 ~ 1402033
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.13.1402033	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Tanaka H, Takeyama K, Yoshikawa M, Kajita S, Ohno N, Hayashi Y	4. 巻 60
2. 論文標題 Localized spiraling plasma ejection contributing the ion-flux broadening in the detached linear plasma	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma Physics and Controlled Fusion	6. 最初と最後の頁 075013 ~ 075013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6587/aac0d8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kajita Shin, Suzuki Kensuke, Tanaka Hirohiko, Ohno Noriyasu	4. 巻 25
2. 論文標題 Helium line emission spectroscopy in recombining detached plasmas	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 063303 ~ 063303
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5029414	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 OHSHIMA Hiroshi, KAJITA Shin, TANAKA Hirohiko, OHNO Noriyasu, VAN DER MEIDEN Hennie J.	4. 巻 13
2. 論文標題 Thomson Scattering Measurement of Two Electron Temperature Components in Transition to Detached Plasmas	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 1201099 ~ 1201099
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.13.1201099	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Natsume H., Tanaka H., Kajita S., Yoshikawa M., Seki M., Ohshima H., Ohno N.	4. 巻 9
2. 論文標題 Multipoint measurements employing a microwave interferometer and a Langmuir probe in the detached linear plasma	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 015016 ~ 015016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5081929	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 TAKANO Hiroki, OHSHIMA Hiroshi, KAJITA Shin, TANAKA Hirohiko, OHNO Noriyasu	4. 巻 14
2. 論文標題 Development of Thomson Scattering Measurement System for Upstream Plasmas in the NAGDIS-II Device	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2405031 ~ 2405031
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.14.2405031	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hayashi Y., Nishikata H., Ohno N., Kajita S., Tanaka H., Ohshima H., Seki M.	4. 巻 59
2. 論文標題 Double-probe measurement in recombining plasma using NAGDIS-II	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Contributions to Plasma Physics	6. 最初と最後の頁 e201800088
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ctpp.201800088	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kajita Shin, Tsujihara Tadashi, Aramaki Mitsutoshi, van der Meiden Hennie, Oshima Hiroshi, Ohno Noriyasu, Tanaka Hirohiko, Yasuhara Ryo, Akiyama Tsuyoshi, Fujii Keisuke, Shikama Taiichi	4. 巻 24
2. 論文標題 Behavior of 23S metastable state He atoms in low-temperature recombining plasmas	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 073301 ~ 073301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4990077	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tanaka H., Kawamura G., Masuzaki S., Kobayashi M., Akiyama T., Peterson B.J., Mukai K., Sano R., Dai S.Y., Sakamoto R., Morisaki T., Ohno N.	4. 巻 12
2. 論文標題 Toroidally symmetric/asymmetric effect on the divertor flux due to neon/nitrogen seeding in LHD	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 241 ~ 246
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4997840	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Aramaki M., Tsujihara T., Kajita S., Tanaka H., Ohno N.	4. 巻 8
2. 論文標題 Measurement of He neutral temperature in detached plasmas using laser absorption spectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 015308 ~ 015308
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4986100	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hayashi Y., Ohno N., Kajita S., Tanaka H.	4. 巻 24
2. 論文標題 Influence of expanding and contracting magnetic field configurations on detached plasma formation in a linear plasma device	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 062509 ~ 062509
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6587/aa5394	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ohno N	4. 巻 59
2. 論文標題 Plasma detachment in linear devices	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Plasma Physics and Controlled Fusion	6. 最初と最後の頁 034007 ~ 034007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6587/aa5394	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sawada Keiji, Goto Motoshi	4. 巻 4
2. 論文標題 Rovibrationally Resolved Time-Dependent Collisional-Radiative Model of Molecular Hydrogen and Its Application to a Fusion Detached Plasma	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Atoms	6. 最初と最後の頁 29 ~ 29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ctpp.201500142	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 TAKEYAMA Kohei, OHNO Noriyasu, YOSHIKAWA Masayuki, TANAKA Hirohiko, KAJITA Shin	4. 巻 12
2. 論文標題 Localized Density Fluctuation in the Downstream of Detached Plasma	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 1202007 ~ 1202007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2016.12.017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Onda Takuya, Kajita Shin, Iijima Takaaki, Tonegawa Akira, Ohno Noriyasu, Tanaka Hirohiko	4. 巻 57
2. 論文標題 Transverse motion of a plasma column in a sheet plasma	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Contributions to Plasma Physics	6. 最初と最後の頁 87 ~ 93
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ctpp.201500142	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawamura G., Ohno N., Takamura S., Tomita Y.	4. 巻 12
2. 論文標題 A Particle-In-Cell approach to particle flux shaping with a surface mask	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 297 ~ 301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2016.12.017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計45件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 21件）

1. 発表者名 N.Ohno, Y.Hayashi, S.Kajita, H.Tanaka, H.Ohshima, M.Seki, K.Sawada, M.Aramaki, M.Yoshikawa, H.J.van der Meiden
2. 発表標題 Influence of recombination front region on plasma detachment in a linear divertor plasma simulator
3. 学会等名 International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices 2018 (PSI2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H.Takano, H.Ohshima, S.Kajita, H.Tanaka, N.Ohno
2. 発表標題 Development of the Thomson Scattering Measurement System for Diagnosing Upstream Plasma in NAGDIS-II
3. 学会等名 12th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (OS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 I. Saeki, H. Tanaka, N. Ohno, M. Seki, H. Takano, S. Kajita, S. Masuzaki, K. Sawada, A. Hatayama, K. Hoshino
2. 発表標題 Detached helium plasma simulaton in a linea device by using the LINDA code
3. 学会等名 27th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research & the 13th Asia Pacific Plasma Theory Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Natsume, H. Tanaka, S. Kajita, M. Yoshikawa, M. Seki, H. Ohshima, N. Ohno
2. 発表標題 Observation with microwave interferometer and Langmuir probe along the magnetic field in the detached linear plasma
3. 学会等名 27th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research & the 13th Asia Pacific Plasma Theory Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 関真倫, 大嶋啓嗣, 田中宏彦, 梶田信, 大野哲靖, 夏目祥揮, 増崎貴
2. 発表標題 再結合フロント近傍におけるプラズマパラメータ揺動の軸・径方向分布評価
3. 学会等名 第12回核融合エネルギー連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大嶋啓嗣, 梶田信, 田中宏彦, 関真倫, 大野哲靖, 秋山毅志
2. 発表標題 トムソン散乱計測を用いた非接触プラズマにおける電子速度分布計測
3. 学会等名 第12回核融合エネルギー連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鷹野大輝, 大嶋啓嗣, 梶田信, 田中宏彦, 大野哲靖
2. 発表標題 レーザートムソン散乱計測による非接触プラズマ上・下流部の温度・密度計測
3. 学会等名 第2回「境界プラズマ挙動の理解と異分野間融合による新展開」研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐伯勇弥, 田中宏彦, 大野哲靖, 関真倫, 鷹野大輝, 梶田信, 増崎貴, 澤田圭司, 畑山明聖, 星野一生
2. 発表標題 LINDAコードを用いた直線装置における非接触ヘリウムプラズマシミュレーション
3. 学会等名 第35回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鷹野大輝, 梶田信, 大嶋啓嗣, 大野哲靖, 田中宏彦, 安原亮
2. 発表標題 NAGDIS-IIにおけるレーザートムソン散乱計測法を用いた再結合フロント上・下流部のプラズマ計測
3. 学会等名 第35回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大嶋啓嗣, 関真倫, 梶田信, 田中宏彦, 大野哲靖
2. 発表標題 条件付き平均法を用いた非接触プラズマ中の高時間分解トムソン散乱計測
3. 学会等名 第35回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 関真倫, 大嶋啓嗣, 田中宏彦, 梶田信, 大野哲靖, 夏目祥揮
2. 発表標題 再結合フロント近傍における非接触プラズマパラメータの時空間分布計測
3. 学会等名 第35回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 夏目祥揮, 田中宏彦, 梶田信, 関倫真, 大嶋啓嗣, 大野哲靖, 吉川正志, 秋山毅志
2. 発表標題 再結合フロント近傍における多地点同時揺動計測と相関解析
3. 学会等名 第35回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 K.Suzuki, S.Kajita, T.Tsujihara, N.Ohno, T.Iijima, T.Takimoto, A.Tonegawa
2 . 発表標題 Population distribution of helium atoms in H ₂ -He mixture plasmas
3 . 学会等名 9th International Symposium on Advanced Plasma Science and Its Application for Nitrides and Nanomaterials/ 10th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 S.Kajita, T.Tsujihara, M.Aramaki, H.van der Meiden, H.Oshima, N.Ohno, R.Yasuhara, K.Fujii, T.Shikama
2 . 発表標題 Laser diagnostics in low-temperature recombining helium plasmas
3 . 学会等名 9th International Symposium on Advanced Plasma Science and Its Application for Nitrides and Nanomaterials/ 10th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 H.Tanaka, K.Takeyama, N.Ohno, M.Yoshikawa, S.Kajita, Y.Hayashi, Y.Tsuji
2 . 発表標題 Captureing of the enhanced cross-field transport localized in the recombining linear plasma
3 . 学会等名 7th Asia Pacific Transport Working Group International Conference (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 N.Ohno, N.Matsunami, T.Kuwabara
2 . 発表標題 Dynamic Behavior of Hydrogen Isotope Retention in Tungsten during and after Plasma Exposure
3 . 学会等名 Ion-Surface Interactions ISI-2017 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 N. Ohno
2. 発表標題 Challenge for Fusion Energy: High Priority Study on Divertor and Plasma-Material Interactions
3. 学会等名 ICAFE2017(4th International Conference on Advances in Electrical Engineering) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Hayashi, N. Ohno, S. Kajita, H. Tanaka, H. Ohshima, M. Seki, H. Takano, H. Natsume, M. Aramaki, H. van der Meiden
2. 発表標題 Comprehensive study of plasma detachment in the linear plasma device NAGDIS-II
3. 学会等名 6th International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (PMIF2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大嶋 啓嗣、梶田 信、田中 宏彦、大野 哲靖、Hennie van der Meiden、安原 亮、秋山 毅志、鈴木 健介、関 真倫、鷹野 大輝
2. 発表標題 NAGDIS-II非接触プラズマ中における電子温度・電子密度のトムソン散乱計測
3. 学会等名 Plasma Conference 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 林 祐貴、大野 哲靖、梶田 信、田中 宏彦、関 真倫
2. 発表標題 Super-Xダイバータを模擬した局所的収縮磁場が再結合フロントに与える影響
3. 学会等名 Plasma Conference 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中 宏彦、河村 学思、松永 剛、星野 一生、小林 政弘、柴田 欣秀、林 祐貴、桑原 竜弥、大野 哲靖
2. 発表標題 EMC3-EIRENEコードを用いたJT-60SA周辺プラズマモデリング
3. 学会等名 Plasma Conference 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 関 真倫、大野 哲靖、梶田 信、田中 宏彦、増崎 貴、大嶋 啓嗣、夏目 祥揮
2. 発表標題 直線型装置における非接触プラズマの軸・径方向二次元パラメータ分布計測
3. 学会等名 Plasma Conference 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大野哲靖, 林祐貴, 田中宏彦, 梶田信, 大嶋啓嗣, 関真倫, 澤田圭司, 荒巻光利, 吉川正志
2. 発表標題 非接触ダイバータプラズマ物理研究の進展
3. 学会等名 Plasma Conference 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木 健介, 梶田 信, 大嶋 啓嗣, 大野 哲靖, 田中 宏彦, 秋山 毅志
2. 発表標題 He 原子線強度比法を用いた非接触プラズマの電子温度・密度評価
3. 学会等名 平成29年電気学会A部門大会
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 Hayashi, Y., Ohno, N., Kuwabara, T., Tanaka, H., Kawamura, G., Kajita, S., Tsujihara, T., Ohshima, H., Aramaki, M., Feng, Y
2 . 発表標題 Modeling of the linear plasma device NAGDIS-II with neutral gas puffing and pumping by using EMC3-EIRENE
3 . 学会等名 16th International Workshop on Plasma Edge Theory in Fusion Devices (PET16) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y.Hayashi, N.Ohno, S.Kajita, N.Ezumi
2 . 発表標題 Ion temperature measurement by using ion sensitive probe in detached recombining plasmas in the linear plasma device NAGDIS-II
3 . 学会等名 22nd International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 G.Kawamura, N.Ohno, S.Takamura, Y.Tomita
2 . 発表標題 A particle-in-cell approach to particle flux shaping with a surface mask
3 . 学会等名 22nd International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 H.Tanaka, S.Masuzaki, G.Kawamura, T.Akiyama, M.Kobayashi, B.J.Peterson, K.Mukai, R.Sano, S.N.Pandya, S.Dai, R.Sakamoto, T.Morisaki, N.Ohno, the LHD Experiment Group
2 . 発表標題 Impacts of nitrogen and neon seeding on the divertor particle and heat loads in LHD
3 . 学会等名 22nd International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 N.Ezumi, K.Nojiri, A.Terakado, K.Ichimura, M.Sakamoto, K.Sawada, N.Ohno, H.Tanaka, M.Kobayashi, S.Masuzaki, Y.Nakashima
2 . 発表標題 Evaluation of ion temperature and its anisotropy using an ion sensitive probe in the divertor simulation plasma of GAMMA 10/PDX
3 . 学会等名 22nd International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 M.Sakamoto, A.Terakado, K.Nojiri, N.Ezumi, Y.Nakashima, K.Oki, K.Ichimura, M.Fukumoto, K.Shimizu, K.Sawada, N.Ohno, S.Masuzaki, J.Kohagura, M.Yoshikawa
2 . 発表標題 Molecular activated recombination in divertor simulation plasma on GAMMA 10/PDX
3 . 学会等名 22nd International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 N.Asakura, K.Hoshino, S.Tokunaga, K.Shimizu, H.Utoh, H.Kudou, N.Ohno and Joint Special Team for Demo Design
2 . 発表標題 Simulation Studies of the Divertor Geometry and Plasma Parameters for 1.5GW Fusion Power Demo Reactor
3 . 学会等名 22nd International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 T.Tsujihara, M.Aramaki, S.Kajita, T.Shikama, N.Ohno
2 . 発表標題 Application of laser absorption spectroscopy to low temperature recombining plasmas
3 . 学会等名 International workshop on Plasma Spectroscopy 2016 (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1. 発表者名 Y.Hayashi, H.Nishikata, N.Ohno, S.Kajita, K.Jesko, H.Meiden, J.Vernimmen, T.W.Morgan, T.Iijima, A.Tonegawa, A.Okamoto, S.Kado
2. 発表標題 Investigation of Detached Recombining Plasmas in a Linear Device Pilot-PSI and its Impact on Plasma Detachment in Fusion Devices
3. 学会等名 Fusion Energy Conference 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 N.Asakura, K.Hoshino, H.Utoh, Y.Someya, S.Tokunaga, S.Suzuki, K.Ezato, Y.Seki, H.Kudou, K.Shimizu, Y.Sakamoto, R.Hiwatari, K.Tobita, N.Ohno, Y.Ueda
2. 発表標題 Physics and Engineering Design Studies on Power Exhaust and Divertor for a 1.5 GW Fusion Power DEMO
3. 学会等名 Fusion Energy Conference 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 S.Kajita, T.Tsujihara, M.Aramaki, H.van der Meiden, H.Oshima, N.Ohno, R.Yasuhara, K.Fujii, T.Shikama
2. 発表標題 Laser diagnostics in low-temperature recombining helium plasmas
3. 学会等名 ISPlasma2017 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 竹山紘平、大野哲靖、吉川正志、田中宏彦、梶田信
2. 発表標題 直線型ダイバータ模擬実験装置における再結合フロント近傍の揺動計測
3. 学会等名 第11回核融合エネルギー連合講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 林祐貴、西方勇人、大野哲靖、梶田信、坂本瑞樹、江角直道
2. 発表標題 直線型ダイバータ模擬実験装置における磁場の発散・収縮過程と非接触プラズマ形成
3. 学会等名 第11回核融合エネルギー連合講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 西方勇人、林祐貴、大野哲靖、梶田信
2. 発表標題 非接触プラズマにおけるダブルプローブ計測の電極形状効果
3. 学会等名 第11回核融合エネルギー連合講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 林祐貴、西方勇人、大野哲靖、梶田信、K.Jesko, H.J. vander Meiden, J.W.M.Vernimmen, T.W.Morgan
2. 発表標題 次期核融合装置に向けた定常高粒子束プラズマ環境下での非接触プラズマの熱・粒子輸送特性
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第33回年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 桑原竜弥、田中宏彦、河村学思、関真倫、西方勇人、林祐貴、大野哲靖、小林政弘、FENG Yuhe
2. 発表標題 直線型プラズマ装置NAGDIS-IIにおける中性粒子バランスを考慮したEMC3-EIRENEシミュレーション
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第33回年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 竹山紘平、大野哲靖、田中宏彦、吉川正志、梶田信
2. 発表標題 分割エンドターゲットおよびマイクロ波干渉計を用いた非接触プラズマ中の揺動計測
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第33回年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 稲垣翔平、土門太、大野哲靖、梶田信
2. 発表標題 パルスプラズマ-アブレーション材料表面相互作用における分光計測システム開発
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第33回年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大野哲靖
2. 発表標題 高熱流プラズマをガスで制御する：非接触プラズマ
3. 学会等名 「自然科学における階層と全体」シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大野哲靖
2. 発表標題 核融合炉に向けたダイバータ研究開発の進展
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会九州・沖縄・山口支部第20回支部大会（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 辻原匡志、荒巻光利、梶田信、四籠泰一、大野哲靖
2. 発表標題 HeI23S-23P遷移を用いた非接触プラズマでのレーザー吸収分光法の適用
3. 学会等名 平成28年度電気学会基礎材料共通部門大会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

名古屋大学大学院工学研究科電気工学専攻大野研究室 http://www.nuee.nagoya-u.ac.jp/labs/plaene/j/achievements/on-journals.html 名古屋大学研究者DB http://profs.provost.nagoya-u.ac.jp/view/html/100003873_ja.html
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	梶田 信 (Kajita Shin) (00455297)	名古屋大学・未来材料・システム研究所・准教授 (13901)	
研究分担者	澤田 圭司 (Sawada Keiji) (40262688)	信州大学・学術研究院工学系・教授 (13601)	
研究分担者	荒巻 光利 (Aramaki Mitsutoshi) (50335072)	日本大学・生産工学部・教授 (32665)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	田中 宏彦 (Tanaka Hirohiko) (60609981)	名古屋大学・工学研究科・助教 (13901)	
研究分担者	河村 学思 (Kawamura Gakushi) (70509520)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教 (63902)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関