

令和 3 年 5 月 27 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01197

研究課題名(和文) 高強度光キャビティと高エネルギー負イオンの光中性化セルの開発

研究課題名(英文) Development of a high-intensity optical cavity and a photo-neutralizer for high energy negative ion beams

研究代表者

安藤 晃 (ANDO, Akira)

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号：90182998

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：核融合用中性粒子入射装置(NBI)の高性能化にとって重要な高周波負イオン源開発と中性化効率の向上を目指し研究開発を行った。特に、中性化効率が95%とほぼ完全に中性化できる光中性化セルの開発を目指してシミュレーションコード開発と同時に、光中性化セルに関する光学設計と高周波負イオン源を用いた負イオンビーム開発を行った。レーザー光とガス中性化を組み合わせることでビーム発散を抑えレーザー光強度も低減できることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

核融合実現には高温プラズマ閉じ込めと共に、数億度までプラズマを加熱することが必要であり、1MeVまで加速された中性の水素/重水素粒子ビームを外部から入射する中性粒子入射装置(NBI)が開発されている。本研究で検討進めた高周波負イオン源と光中性化セルを用いることで、核融合実現に必要なNBIの高性能化と大幅な電力低減が実現でき、核融合装置の定常運転や全体の電力供給量の大幅向上に繋がる成果であり、その学術的意義や社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：In order to improve the performance of the neutral particle injector (NBI) for fusion reactor, research and development in a negative ion source using radio-frequency power and improving neutralization efficiency was conducted. In particular, development of a photo-neutralization cell has been strongly expected due to its high neutralization efficiency of 95%. We have carried out development of the photo-neutralization cell and an negative ion source using a high-frequency radio-frequency(RF) power for continuous operation of the source. A computer simulation code using PIC(particle-in-cell) and MC(Monte Carlo) methods was developed. We have found that combined method of gas and photo neutralization is effective for high neutralization efficiency and beam focusing. While optimizing the optical design for the photo-neutralization cell, the RF negative ion source was developed with adding cesium vapor and negative hydrogen ion beam was obtained.

研究分野：プラズマ理工学

キーワード：プラズマ・核融合 中性粒子入射装置 光中性化セル 負イオン源 高エネルギー粒子ビーム

### 1. 研究開始当初の背景

将来の大規模エネルギー源として、核融合発電の実現に向けた研究開発が世界規模で実施されている。ITERの建設が着実に進行し、我が国でも、LHDやJT-60SAなど磁気閉じこめ方式における高温プラズマの維持・加熱手法の開発が急展開で進展している。NBI(Neutral Beam Injection)技術は、ビームエネルギーの高エネルギー化に伴う水素/重水素負イオンの大電流ビーム生成と加速制御の大きな課題を克服し、核融合装置の大電力加熱・電流駆動装置として着実に実績を上げてきた。今後、入射電力の増強や定常運転に向け、長パルス・定常化、高効率化に向けた研究開発が開発課題となっている。そのために必要とされる開発項目として、高周波(RF)大型負イオン源と光中性化セルの開発があげられる。とくに光中性化セルに関しての研究はその重要性が認識されつつ原理検証実験も行われていない状況であった。

光中性化セルを用いることで、イオンビームを95%の高効率で中性化が実現でき、現在のガス中性化セル(中性化効率約60%)に比べ、入射電力の大幅な増強とともに、中性化されなかった荷電ビーム熱除去、定常化の際に問題視されている中性ガスの排気負荷を低減できるなど、将来のNBI定常化にとって不可欠な開発項目となっている。それにもかかわらず開発が行われなかった理由として、必要な高強度定常レーザー光源がなく、また大面積のビーム全体に照射できる光学系(光キャビティ)の技術開発も必要など課題が多く検討も十分行われてこなかった。

### 2. 研究の目的

本研究は、NBI定常化と高効率化に大きく寄与する光中性化セルの実現を目指し、その特性を評価し実証するために必要な機器開発を進めることを目的とした。具体的には既に大型化に向け開発が進んでいる高周波水素負イオン源の開発を進め、定常動作可能な光中性化セルに向け、実用化に必要な計算機コード開発と光中性化セルの原理検証を目的とした研究を実施することとした。

これまでの研究においては、負イオンの光中性化過程は基礎的な反応過程の評価が行われ負イオン計測に応用されただけであり、光中性化セルは未だ基礎的な実験研究も少なく本格的な検討がなされていなかった。本研究では、必要とされる定常動作可能な高周波負イオン源の開発を進めると共に、光中性化セル中におけるビーム輸送やビーム発散の抑制効果、そして高強度光キャビティの検討をおこなった。

### 3. 研究の方法

#### (1) 高周波水素負イオン源の開発

NBIに用いられる水素/重水素負イオンビーム源として、高周波を用いた定常動作可能な負イオン源開発を行った。図1に開発した大型高周波負イオン源の概略図を示す。円筒形セラミック管(内径230mm)に高周波結合用コイルを巻き、ここに周波数0.2-0.5MHzの高周波電流を流しプラズマを生成した。この生成部は、ITERに用いられる高周波イオン源と同程度の大きさであり、高周波源としてインバータ型高周波電源(最大出力30kW)を用いて負イオン生成を行った。アンテナとのマッチングは位相ロックループ(Phase Locked Loop)回路により共振周波数を同調させ高効率でインバータを動作させている。この方式では直流から高周波への電源効率が85-90%と高く小型で高出力の電源を構成できる利点がある。

高周波プラズマ生成部下流には、プラズマ分布を広げるための拡散部とビームを引き出すための加速部を設けている。プラズマ閉じ込め特性を良くするために、生成部のバックプレート部と拡散部周辺にはカスプ磁場用の永久磁石を設置している。また、密度や温度などプラズマパラメータは静電プローブを用い、軸方向分布や拡散部での半径方向分布測定を行った。

ビーム加速を行うために、電極温度を制御可能なプラズマ電極、永久磁石を内蔵した引き出し電極、そして加速を行う加速電極の3枚構成のビーム加速電極を設置し、引き出し電圧1-10kV、加速電圧5-20kVで動作させ、必要とされる負イオンビームを引き出し加速を行った。また、負イオン電流値を増加させるためのセシウム導入装置を有し、セシウム導入効果についても実験を行った。

#### (2) 光中性化セルの検討

負イオンビームを用いたより高効率なNBIシステムの実現を目指し、必要とされる光中性化セルの検討を行うため、PIC(Particle-in-cell)法と

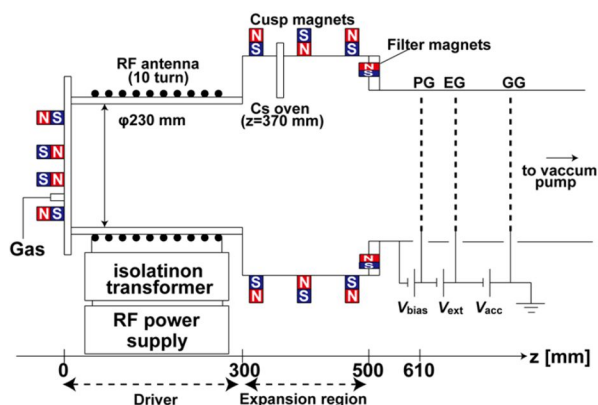


図1 大口径高周波水素負イオン源概略図

モンテカルロ (MC) 法とを組み合わせたシミュレーションコードを開発し、負イオンビームが光中性化セル内を通過する際のビーム中性化効率やビーム輸送の評価を行った。

シミュレーションには軸対称 2 次元の PIC/MC モデルを用いて行った。この時、中性化セル内において考慮した反応の一覧を表 1 に示す。

反応 (R1) が負イオンビームのガス中性化反応であり、(R7) が光中性化による反応である。その他の反応は負イオンビームによる背景ガスの電離反応 (R8) や、それによって生じる電子 ( $e_s$ : ストリップ電子,  $e_p$ : プラズマ電子) に起因する反応である。中性化セル内において生じる反応は表 1 以外にも存在するが、今回は特に反応断面積の大きな 12 個の反応のみを考慮するものとした。

構築したシミュレーションモデルを用いて種々の条件下でのビーム輸送効果について、特に中性化セル内に中性ガスが混在した際の効果や、印加するレーザーの中性化セル内での入射位置が中性化効率にどのような影響を与えるかについて詳細に評価を行った。あわせて高強度レーザー光を往復させるための光キャビティの検討を行った。

表 1: モデル内にて考慮した反応

(R1)	$D^- + D_2 \rightarrow D^0 + D_2 + e_s$
(R2)	$D^- + D_2 \rightarrow D^+ + D_2 + 2e_s$
(R3)	$D^+ + D_2 \rightarrow D^0 + D_2^+$
(R4)	$D^+ + D_2 \rightarrow D^0 + D_2^{2+}$
(R5)	$D^0 + D_2 \rightarrow D^+ + D_2 + e_s$
(R6)	$D^0 + D_2 \rightarrow D^- + D_2^+$
(R7)	$D^- + h\nu \rightarrow D^0 + e_s$
(R8)	$D^- + D_2 \rightarrow D^- + D_2^+ + e_p$
(R9)	$D^+ + D_2 \rightarrow D^+ + D_2^+ + e_p$
(R10)	$D^0 + D_2 \rightarrow D^0 + D_2^+ + e_p$
(R11)	$e_s, e_p + D_2 \rightarrow e_s, e_p + D_2^+ + e_p$
(R12)	$e_s, e_p + D_2 \rightarrow e_s, e_p + D_2$ (弾性衝突)

#### 4. 研究成果

##### (1) 高周波水素負イオン源の開発

プラズマ生成部に 10 ターンの高周波アンテナを設置し、印加周波数を 0.29MHz、印加高周波電力約 15kW とした際に RF 生成プラズマの電子密度、温度を計測したところ、電子密度は生成部 (アンテナ直下) で  $10^{18}m^{-3}$  台であり、プラズマ電極近傍では  $10^{17}m^{-3}$  程度であった。そのため、生成部背面と、拡散部の壁面に永久磁石を用いてカスプ磁場を印加することにより  $10^{18}m^{-3}$  を越える電子密度を実現でき、ガス圧 0.3Pa においても高密度プラズマの生成に成功している。プラズマ電極近傍のフィルタ磁場強度を最適化し、プラズマ電極近傍の電子密度の増加とともに、電子温度は負イオン生成に最適な 1eV 以下となり、水素負イオン生成に必要な条件が得られていることを確認した。単位体積あたりの印加高周波電力に対する生成されたプラズマ密度は、ITER 用イオン源を開発しているドイツの BATMAN 装置 (IPP-Garching) に比べ、本方式では約 2 倍の効率で RF プラズマ生成が実現できている。

この水素負イオン源にセシウムを導入して負イオンビーム引き出し実験を行った。図 2 にセシウムを導入後、セシウムの発光強度の増加と共に、徐々に負イオン電流値 (加速電流  $I_{acc}$ ) が増加し、一方で電子電流 ( $I_{ext} - I_{acc}$ ) が減少する状況が確認できる。拡散部周囲の壁面が冷却されていることからここにセシウムが付着し、プラズマ電極へのセシウム堆積量が不足している可能性があったため、ライナーと呼ばれる加熱可能な金属容器をイオン源内に導入し、プラズマ電極へのセシウムの輸送改善を行ったところ、導入開始後から効果が見られるまでの時間が大幅に短縮された。また、加速電流値も  $5mA/cm^2$  まで約 5 倍程度の上昇と電子電流比も約 1 程度まで減少する結果が得られている。水素負イオン密度の上昇を確認するためにプラズマ電極から 10 mm 上流側の位置でプローブ測定を行ったところ、セシウム添加前後で電子飽和電流値の減少とイオン飽和電流値の増加が見られ、このプローブ測定結果からもセシウム導入により水素負イオン量が増加していることが確認できた。

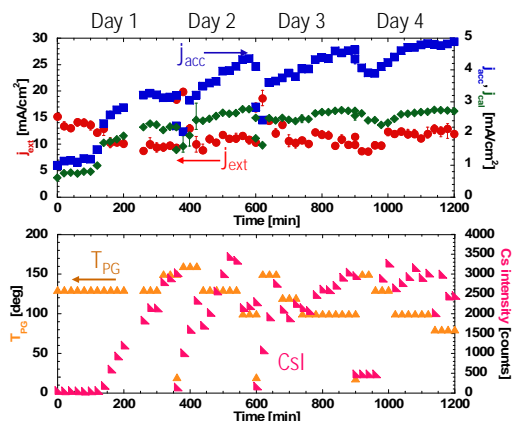


図 2 セシウム導入による負イオン電流値などの変化 ( $V_{ext}=2kV$ ,  $V_{acc}=16kV$ ,  $p=0.7Pa$ )

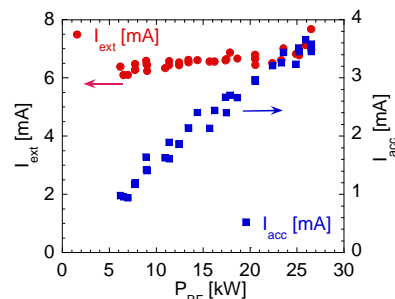


図 3 セシウム添加時の引き出し電流  $I_{ext}$  と加速電流  $I_{acc}$  の RF 電力依存性 ( $V_{ext}=3kV$ ,  $V_{acc}=15kV$ ,  $p=0.6Pa$ )

図 3 に引き出し電流と加速電流の高周波電力依存性を示す。印加電力の増加とともに引き出し電流はほぼ変化せず加速電流が増加している。これは負イオンビームが RF 電力増加とともに増え、電子電流が減少していることを示している。また負イオン電流に対する電子電流比  $I_{acc} / (I_{ext} - I_{acc})$  も 1 以下の値を達成している。

## (2) 光中性化セルの検討

光中性化セル内での負イオンビームの中性化の状況をシミュレートするため、PCI/MC コードを開発した。計算領域として図 4 に示すように、 $z \times r = 4.2 \text{ m} \times 0.05 \text{ m}$  とし、ここに半径 6 mm の負イオンビームを左端位置 ( $z = 0.6 \text{ m}$ ) より入射するものとした。また、光中性化方式として、負イオンビームに対して垂直にレーザー光を入射し、それがビームの両端に設置された凹ミラーによって多数回反射させている場所を通過することで光中性化が行われる状況を設定した。99.96% 以上の高反射率を持つミラーを用いた場合、ミラーによる損失、レーザー散乱・ずれなどにより、一度のイオンビームの通過によってレーザーエネルギーが 0.2% ずつ減少していくものと仮定し、この両端ミラーの光キャビティを用いることで光強度を 500 倍に増幅しビームを通過させる。この際、中性化反応によるレーザーエネルギーの損失はわずかであるため無視している。

ほぼすべての負イオンビームを中性化させ約 95% の光中性化効率を得るには入射パワーとして 25MW 以上が必要であることが反応断面積を用いた計算で得られるが、多重往復の光キャビティを用いることで 50kW まで低減可能である。しかしながら、現実にはこのパワーに定常で堪えるミラーがないため、本研究では入射するレーザー出力を 10kW に抑えた際の中性化の状況をシミュレートした。

まず光中性化のみのシミュレーション計算を行った。ビーム入射時から  $t = 15 \mu\text{s}$  後のイオンビーム空間分布とガスイオンプラズマ空間分布を図 5 に示す。ビーム入射開始から  $15 \mu\text{s}$  の時間内にビームの径方向分布は定常状態に達している。この結果、光中性化によって得られるモデル出口における中性化効率 は 72.8% とガス中性化において得られる中性化効率 56% と比べて大きな値となった。しかし、同図のようにビームが入射時より発散して進行していることがわかる。これは、入射した負イオンビーム内で電荷同士の反発が生じ、負イオンビームが径方向に発散したためである。

続いて、光中性化セル内にイオン源より流入した中性ガスが混入している状況を想定し、中性ガス及び光中性化を同時に行う混合システムにおけるシミュレーション計算を行った。この際、背景ガス密度の大きさとレーザー入射位置の値が重要なパラメータとなる。そのため、背景ガス密度とレーザー入射位置を変えることで、中性化効率がどのように変化するかを求め、どのような混合システムモデルを用いることがより効率的であるかを調べた。

中性化セル内の背景ガス密度分布は  $r$  方向に対しては一定とし、 $z$  方向に対しては ITER-NBI のガス中性化分布 (最大ガス密度  $8.0 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ ) を想定した。またレーザー入射位置として中性化セルの左端 ( $z = 0.6 \text{ m}$ )、中央 ( $z = 2.1 \text{ m}$ )、右端 ( $z = 3.6 \text{ m}$ ) の 3 箇所での入射位置を選択し、比較を行った。

図 6 に、レーザー入射位置を下流側、背景ガス密度 ITER-NBI 基準の 0.5 倍の時のイオンビーム空間分布とガスイオンプラズマ空間分布を示す。このように、中性ガスが存在し、密度が比較的高い場合には、負イオンビームの入射により中性化セル内にプラズマが生じ、負イオンビーム内で生じる径方向の電界を遮蔽する効果が働くためビーム発散は抑制されることがわかる。

今回この中性化セルの特性を示すパラメータとして、各粒子イオンビームの空間分布から計算した中性粒子ビーム収束率 (中性化セルを通過した後で入射ビーム径 (6 mm) 内に中性粒子が含まれる割合) と、中性化効率 (負イオンビームから中性粒子ビームに変換された割合) を用いた。レーザー光だけを用いて光中性化を行った際のビーム収束率は 25.4% と、ほとんどの中性粒子ビームが入射時のビーム径の外に発散しているという結果となった。このビーム発散により、核融合プラズマへと入射される中性粒子ビーム量は減少してしまい、実質的な加熱効率は低下してしまうと考えられる。

図 7 および図 8 に、背景ガス密度、レーザー入射位置を変えた際の負イオンビームの収束率と

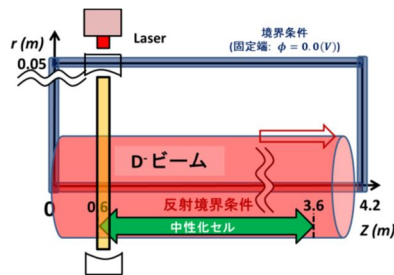


図 4 光中性化セル計算領域

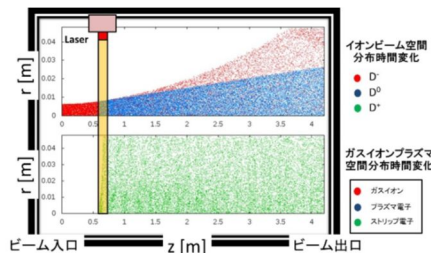


図 5 : 光中性化シミュレーション結果 ( $t = 15 \mu\text{s}$ ) (レーザー光のみ)

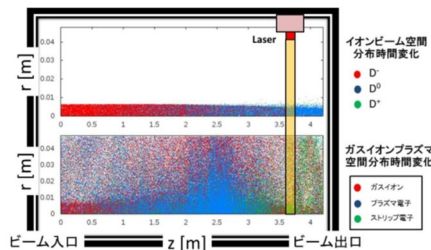


図 6 : 光中性化シミュレーション結果 ( $t = 15 \mu\text{s}$ ) (レーザー光 + ガス)

中性化効率を表したグラフを示す。図7より、背景ガス密度の大きさを通常ガス中性化に用いるガス密度の0.1倍とした時には光束収束率が低いことが分かる。これは、ビームプラズマによる電界遮蔽効果が不十分で、入射した負イオンビーム内で負イオン同士の反発が生じ、負イオンビームが径方向に発散してしまったためである。この結果により、中性化セル内の背景ガスには負イオンビームの発散を防ぐための最適なガス密度が存在することが示唆された。一方、図8に示されるように、レーザー入射位置、ガス密度を変化させた際の中性化効率は10kWのレーザーパワーでも約70%以上を達成できている。また、中性化セル入射直後にレーザーにより中性化すると、中性粒子ビームがガスによって再度イオン化されてしまうこともあり、入射するレーザーの位置は比較的下流側(z=3.6m)の方が中性化効率は高くなるということが示された。

上記の結果により、光中性化方式において、背景ガス密度とレーザー入射位置は中性化効率を左右する重要なパラメータであることが明らかになった。本研究で行った条件内においては、レーザー入射位置は下流側、背景ガス密度0.5倍の時に

おいて、中性化効率が77.2%と最も高い結果が得られた。この結果は、ガスの中性化効率56%や、光中性化単体モデルにおいて得られる中性化効率72.8%と比べても大きな値である。また、このときの光束収束率は97.1%と、通常ガス中性化に用いられるガス密度の時と比べて50%減少させた場合であっても、ビームプラズマによってイオンビームの発散を防ぐ十分な効果が得られた。このように、ガス中性化と光中性化を組み合わせることによって中性化効率の増加とビーム発散の抑制効果が得られることは、本研究において初めて示された成果である。

中性化セルにおいてガス密度を減少させることは、クライオポンプへのガス負荷の低減へとつながるため、NBIの長時間運転に耐えることができる。今回得られた知見は、将来のITER-NBIの実現に向けて、重要な指針となりうるものである。

上記のシミュレーション結果からも示されるように、光中性化セルの実現のためには、対向するミラー間で高強度のレーザー光を複数回(500~1000回)往復させる光キャビティが必要である。負イオン計測で用いられているキャビティリングダウン(CRD)法では対向するミラー間にレーザー光を導入し光キャビティを実現しているが(図9(a)の共焦点型光キャビティ)半透明ミラーの背面からレーザー光を直接照射しているため透過量はわずか(1%以下)であり、ミラーの破損も起こる。これを解決するため図9(b)に示すような異なる焦点距離を有した放物面鏡を対向させた光キャビティを開発している。この方式によればミラーに干渉することなく高強度のレーザー光を導入可能である。本研究において異径双曲面鏡を模擬した円筒型ミラーを対応させた光セル実験と、その際にセル内部での光強度分布計測法の開発を進め外部から導入したレーザー光が集光していく状況を確認している。

以上のように本研究において、次世代の核融合装置用NBI加熱の高性能化に不可欠な高周波イオン源の高性能化と光中性化セル開発に大きく寄与する成果を得ることができた。

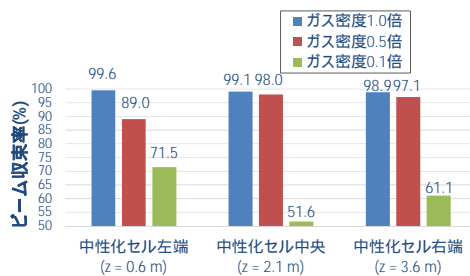


図7: レーザー入射位置とガス密度を変化させた際の光束収束率

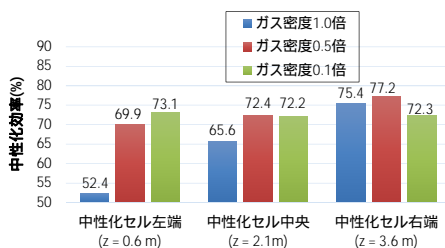


図8: レーザー入射位置とガス密度を変化させた際の中性化効率

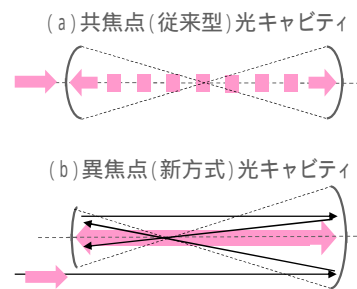


図9: 異焦点光キャビティ概要

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takahashi Kazunori, Imagi Tsuyoshi, Ishitomi Masashi, Nagaoka Kenichi, Haba Yasuaki, Nakano Haruhisa, Ando Akira, Kisaki Masashi, Tsumori Katsuyoshi, Ikeda Katsunori	4. 巻 21
2. 論文標題 Spatiotemporal oscillation of an ion beam extracted from a potential-oscillating plasma source	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 New Journal of Physics	6. 最初と最後の頁 093043-1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1367-2630/ab3f70	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 Mitsuhashi Kodai, Komuro Atsushi, Suzuki Kento, Natsume China, Ando Akira	4. 巻 30
2. 論文標題 Spatiotemporal variations of the electrical potential on surface dielectric barrier discharges	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma Sources Science and Technology	6. 最初と最後の頁 04LT02-1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1361-6595/abefa7	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11件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Kazunori Takahashi, Sho Takayama, and Akira Ando
2. 発表標題 Standing helicon induced by a rapidly bent magnetic field in plasmas
3. 学会等名 Japan-Germany Workshop on Negative Ion Source
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Taichi Saito, Kazunori Takahashi and Akira Ando
2. 発表標題 Enhanced plasma density downstream of an rf plasma source by enlarging an open source exit
3. 学会等名 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤平大輝, 増澤慶汰, 小室淳史, 高橋和貴, 安藤晃
2. 発表標題 Ion beam extraction in a large-diameter radio-frequency hydrogen negative ion source
3. 学会等名 平成30年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今義毅, 高橋和貴, 木崎雅志, 中野治久, 永岡賢一, 津守克嘉, 安藤晃
2. 発表標題 高周波電場を重畳した直流方式イオン源からのビームの特性
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今義毅, 高橋和貴, 木崎雅志, 中野治久, 永岡賢一, 津守克嘉, 安藤晃
2. 発表標題 イオンビーム源へのRF電位振動重畳実験
3. 学会等名 2018年度負イオン研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤平大輝, 小室淳史, 高橋和貴, 安藤晃
2. 発表標題 大口径高周波水素負イオン源におけるフィルタ磁場の負イオンビームへの効果
3. 学会等名 2018年度負イオン研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 後藤 亮, 津守克嘉, 森 義治, 石 禎浩, 安藤 晃
2. 発表標題 高周波空洞加速による MeV 級負イオンビーム加速方式の検討
3. 学会等名 第36回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yutaro Sekikawa, Ryo Goto, Kazunori Takahashi, Akira Ando, Katsuyoshi Tsumori, and Yoshiharu Mori
2. 発表標題 RF acceleration and photo-neutralization for the future negative-ion based NBI system
3. 学会等名 The 29th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石富 雅士 安藤 晃
2. 発表標題 光中性化セルにおける光強度分布のシミュレーションおよび計測
3. 学会等名 第37回プラ核学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 関川 悠太郎, 後藤 亮, 高橋 和貴, 安藤 晃, 津守 克嘉, 森 義治
2. 発表標題 将来の負イオンNBIシステムに向けた高周波空洞加速と光中性化
3. 学会等名 第37回プラ核学会年会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 鈴木朝陽, 藤平大輝, 高橋和貴, 安藤 晃
2. 発表標題 大口径高周波水素負イオン源における負イオン生成のCs添加効果
3. 学会等名 第37回プラ核学会年会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	石 禎浩 (ISHI Yoshihiro) (00525834)	京都大学・複合原子力科学研究所・准教授  (14301)	
研究分担者	津守 克嘉 (TSUMORI Katsuyoshi) (50236949)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・教授  (63902)	
研究分担者	小室 淳史 (KOMURO Atsushi) (70733137)	東京大学・大学院新領域創成科学研究科・助教  (12601)	
研究分担者	高橋 和貴 (TAKAHASHI Kazunori) (80451491)	東北大学・工学研究科・准教授  (11301)	

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