

令和 5 年 6 月 30 日現在

機関番号：63902

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01883

研究課題名(和文) ナノ多孔性エレクトライドを用いたCsフリー高ビーム電流密度水素負イオン源の実現

研究課題名(英文) Cs-free high beam current density hydrogen negative ion source using nanoporous electrides

研究代表者

中野 治久 (Nakano, Haruhisa)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授

研究者番号：90442524

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：低仕事関数を持つC12A7エレクトライドを用いたセシウムフリー水素負イオン源の実現可能性を試行した。Compact ECRイオン源(放電電力30W)において、モリブデンと比較してC12A7エレクトライドを用いた場合、14倍程度の水素負イオンビーム電流を観測した。より大電力の1.2kWの誘導結合放電でもC12A7エレクトライドの負イオン生成効果が確認した。C12A7エレクトライドに正バイアスを印加して水素プラズマに暴露すると仕事関数が減少した。二衝突モデルによる計算結果から負イオンはC12A7表面で後方散乱(反射)過程によるものが支配的であり、エネルギースペクトルが実験結果と良い一致を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

C12A7エレクトライドは化学合成・分解・触媒や電子源としての開発研究や性能評価が行われていたが、本研究では水素負イオン生成面として着目したものである。C12A7エレクトライドは水素雰囲気中で仕事関数が増加する性質を持つ一方、水素プラズマ曝露により仕事関数が減少することも示した。セシウムフリー水素負イオン源は大型加速器やホウ素中性子捕捉療法等の医療用加速器にも応用できるものであり、本研究を基にした研究の発展は社会的インパクトを与えるものである。

研究成果の概要(英文)：The feasibility of a cesium-free negative hydrogen ion source using C12A7 electride with a low work function was conducted. Approximately 14 times higher negative hydrogen ion beam current was observed in the Compact ECR ion source (30 W discharge power) using C12A7 electride compared to molybdenum. The negative ion production effect of C12A7 electride was also confirmed in a higher power 1.2 kW inductively coupled discharge. The work function decreased when C12A7 electride was exposed to hydrogen plasma with a positive bias. Calculations based on the two-collision model indicate that the negative ions were mainly produced by backscattering (reflection) processes on the C12A7 surface, and the energy spectra were in good agreement with the experimental results.

研究分野：プラズマ科学

キーワード：負イオン源 C12A7エレクトライド 表面生成 Csフリー水素負イオン源 中性粒子ビーム入射装置

1. 研究開始当初の背景

核融合プラズマの加熱・電流駆動に用いられる中性粒子ビーム入射装置 (NBI) では、大電力水素原子ビームを得るために大型水素負イオン源を用いて大電流水素負イオン (H^-) ビームを生成する。また、大強度陽子加速器施設 (J-PARC) (日本) や大型ハドロン衝突型加速器 (LHC) (欧州) 等の大型加速器やホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) や陽電子断層撮像法 (PET) 等の医療用加速器では、リング入射時の実空間と位相空間上の制約・制限を回避するために初段に水素負イオン源が用いられている。これら水素負イオン源では、高ビーム電流密度の H^- ビームを得るために、セシウム (Cs) 蒸気を導入してプラズマ/ビーム境界の金属電極 (プラズマ電極 (PG)) 表面に被覆させて低仕事関数面 ($\sim 2\text{ eV}$) を生成する。この表面に衝突する親粒子 (水素原子 (H^0) と正イオン (H_x^+)) に電子を渡して H^- に変換している。しかし、Cs は徐々に排気されるので Cs 補充の必要性による運転時間の制限やビーム引出・加速電極部への蓄積による絶縁劣化等の問題がある。メンテナンスフリーが求められる医療用加速器や清浄環境を必要とするマイクロエレクトロニクス分野 (基板上で帯電しない H^- ビーム表面処理・表面改変) では、Cs の使用が水素負イオン源の技術革新を困難にしている。この様な広範な学術領域での利用と需要がある水素負イオン源には、Cs フリーでメンテナンスフリーかつ清浄環境で使用できる高ビーム電流密度負イオン源の開発が切望されている。本研究開始前において、日本発の機能性材料、C12A7 エレクトライドがアルカリ金属級の低仕事関数 ($\sim 2.4\text{ eV}$) を持ち、 LaB_6 等の低仕事関数物質に比べて極めて化学的に安定かつ機械加工性に優れ、動作温度や電気伝導性にも優位性があるという知見を得て、水素負イオン源の H^- 生成面としての適用可能性を考えた。C12A7 エレクトライドとアルカリ複合被覆モリブデン (仕事関数 $2.0\text{-}2.5\text{ eV}$) に H^0 を入射して H^- の生成量を比較する初期実験の結果、C12A7 エレクトライドはアルカリ被覆金属と同等の H^- 生成性能を持っていた。

2. 研究の目的

C12A7 エレクトライドは Ca と Al と O で囲まれたケージに電子が内包されたナノ多孔性構造を持ち、電子が陰イオンとして機能する電子化物 (エレクトライド) である。ただし、水素ガス雰囲気下でケージ内の電子 H^- に置換されて導電性が失われて仕事関数が高くなることが知られている。即ち、この状態が低温プラズマである水素負イオン源プラズマで起こると、電子供給がなくなり親粒子に電子を渡せないことになり矛盾する。そこで、水素プラズマ環境下において C12A7 エレクトライドの仕事関数が低く抑えられ、 H^- が生成されビームとして引き出せることの検証を目的とした。合わせて、水素プラズマ環境下における C12A7: e^- からの H^- 生成・放出機構を検討することとした。

3. 研究の方法

水素プラズマ環境下における C12A7 エレクトライドによる水素負イオン生成およびビーム引き出しの検証を行うために、Compact ECR イオン源 (図 1) を用いた。2.45 GHz、 $< \sim 50\text{ W}$ のマイクロ波を直径 15 mm、長さ 18 mm の容器に導入してイオン源プラズマを生成する。プラズマ電極は厚さ 2 mm、ビーム引き出し孔径は 6 mm を基本とする。イオン源下流にはファラデーカップが設置されており、ビーム電流を測定することができる。NBI 用水素負イオン源では、現在、誘導結合性放電 (ICP) によるイオン源プラズマ生成が想定されており、1つの放電部あたり $\sim 100\text{ kW}$ の放電電力が想定されている。この Compact ECR イオン源と比べて放電電力の乖離が大きいため、1.2 kW-13.56 GHz の ICP を用いた小型負イオン源を新たに製作した (図 2)。ICP は直径 40 mm、長さ 200 mm の石英管の外部に 3-10 巻のコイルにより生成される。放電部 (ドライバ) 下流には石英管 (ビーム) に垂直方向のフィルタ磁場を形成してある。また、Augsburg 大

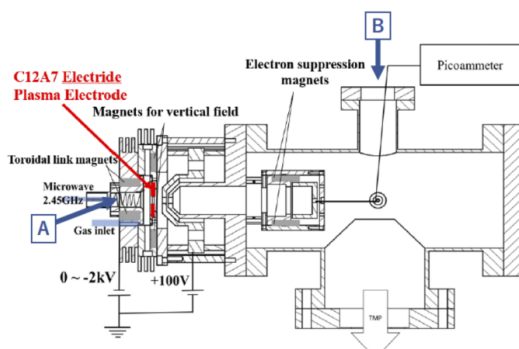


図 1 Compact ECR イオン源 [T. Eguchi et al., Rev. Sci. Instrum. 91, 013508 (2020)].

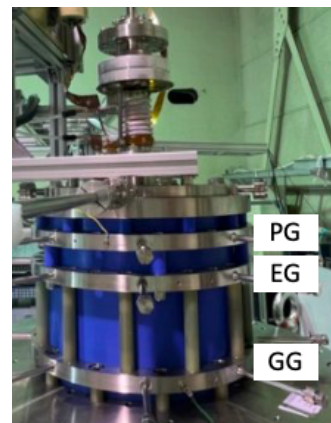


図 2 ICP の小型水素負イオン。

において、試料の仕事関数計測が可能なプラズマ源 ACCesS[S. Cristofaro et al., Plasma Res. Express 2, 035009 (2020)]を用いて軽水素と重水素放電の比較を行った。

C12A7 エレクトライドからのH⁻生成・放出機構を検討には、Aix-Marseille 大にある試料を加熱、光電子収量分光法による仕事関数計測、プラズマ放電およびプラズマ粒子のエネルギー分解質量分析が可能な装置[A. Ahmad et al., Plasma Sources Sci. Technol. 22, 025006 (2013)]と二衝突モデル ACAT (Atomic Collision in Amorphas Target) コードを用いた。

4. 研究成果

(1) Compact ECR イオン源によるH⁻引き出し

Compact ECR イオン源に、保護膜付きのC12A7 エレクトライドを Pre-Annealing して仕事関数が ~ 2.8 eV であることを確認したものをプラズマ電極として装着し、H⁻ビームを引き出した結果を図3に示す。放電電力は30 Wで水素ガス圧は0.2 Pa であり、プラズマ電極近傍において密度 $n_e \sim 4.0 \times 10^{16} \text{ m}^{-3}$ 、電子温度 $T_e \sim 1.2$ eVであった。モリブデン (Mo) に比べてC12A7 エレクトライドを用いた場合、約14倍のH⁻電流が得られることを確認した。このことから、水素プラズマ中においてもC12A7 エレクトライド表面でH⁻が生成され、ビームとして引き出せることが確認でき、C12A7 エレクトライドが Cs フリー水素負イオン源の有望なプラズマ電極材料であることが示された。

(2) kW 級放電におけるH⁻生成

プラズマ中に負イオンが含まれる場合、Langmuir Probe 信号の、所謂、電子飽和電流は I_{es} は電子密度に対する負イオン密度の比が大きくなると減少する。すなわち、電子飽和電流は I_{es} とイオン飽和電流 I_{is} の比から負イオンの相対的变化を評価することができる。図4に、小型水素負イオン源において、C12A7 エレクトライドと参照材料としてステンレス SUS304を示す。これより、放電電力がkW 級になった場合でもC12A7 エレクトライドの負イオン生成効果が確認できた。

(3) プラズマ曝露、バイアス電圧と仕事関数

ACCesS において、正のバイアス電圧を印加したC12A7 エレクトライドに水素プラズマを曝露すると仕事関数が下がった(図4)。一方、負にバイアスすると仕事関数が増加した。これは、C12A7 エレクトライドへの正イオンと電子の流束の比がC12A7 エレクトライドのケージ内の電子密度に影響を与え、仕事関数にも影響を与えていると考えられる。現在のセシウム添加型 NBI 用水素負イオン源では、電力効率を悪化させかつ熱負荷となる水素負イオンとともに引き出される随伴電子電流を抑制するため、プラズマ電極を正にバイアスしている。したがって、C12A7 エレクトライドの仕事関数に対するバイアス電圧依存性は、随伴電子電流抑制するためのバイアス電圧印加と定性的に共存可能であることが示された。

(4) 同位体効果

Aix-Marseille 大の装置において軽水素と重

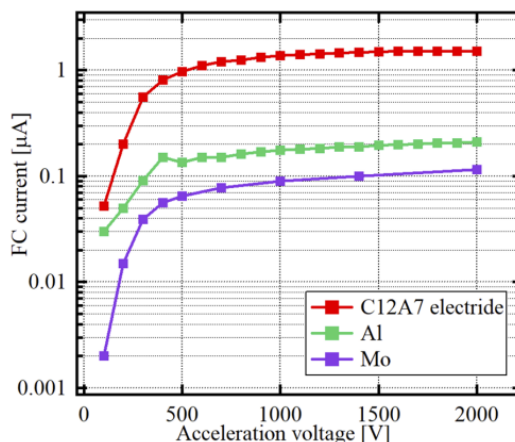


図3 Compact ECR イオン源において、C12A7 エレクトライド、アルミニウム (Al) およびモリブデン (Mo) 製 PG を用いて引き出されたH⁻電流 [T. Eguchi et al., Rev. Sci. Instrum. 91, 013508 (2020)].

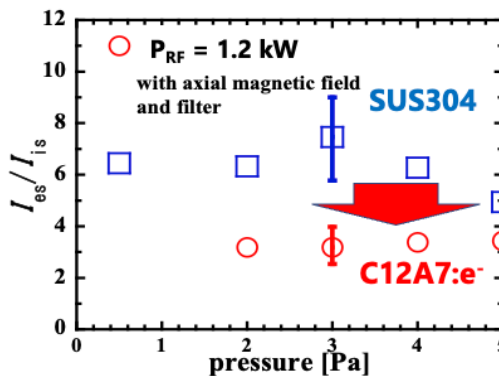


図4 ICP タイプの小型負イオン源 (図2) におけるプラズマ電極近傍の電子飽和電流とイオン飽和電流の比[S. Shimizu et al., 30th International Toki Conference (2021)].

を設置し、1.2kW 放電時にそれらの近傍の I_{es}/I_{is}

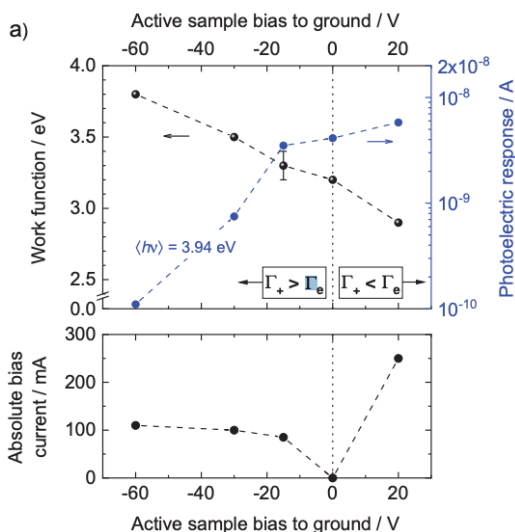


図4 C12A7 エレクトライド に印加するバイアス電圧に対する仕事関数、光電子電流[A. Heiler et al., AIP Conference Proceedings 2373, 020004 (2021)].

水素放電を行ったところ、重水素では負イオン生成効果（収率）が低いことがわかった[笹尾真実子 他, 第 37 回プラズマ核融合学会年会(2020)]。これは、負イオンの親粒子である正イオン（この実験の場合は主に H_3^+ もしくは D_3^+ ）が C12A7 エレクトライドに衝突する速度差および C12A7 エレクトライドからの負イオン離脱エネルギーに起因する離脱確率が影響を及ぼしたと考えられる。

(5) 負イオン放出過程

C12A7 エレクトライドからの負イオン放出過程として後方散乱、脱離、ケージからの放出が考えられる。これらを考慮に入れて ACAT コードを計算すると、後方散乱が最も支配的であった。また、実験結果[M. Sasao et al., Appl. Phys. Express, 11, 066201]と比較するために観測立体角を考慮して再構成すると、低エネルギー成分のピークを含むエネルギースペクトルをよく再現した[和田元 他, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会 (2019)]。

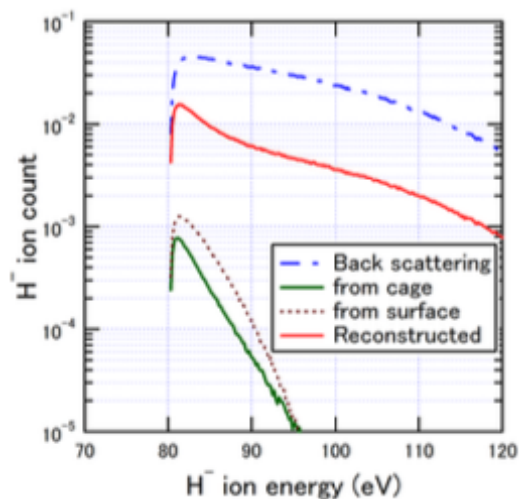


図 5 C12A7 エレクトライドからの負イオン放出過程として後方散乱、脱離、ケージからの放出を考慮した ACAT コードの計算[和田元 他, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会]。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 17件）

1. 著者名 Eguchi Takayuki, Sasao Mamiko, Shimabukuro Yuji, Ikemoto Fumiya, Kisaki Masashi, Nakano Haruhisa, Tsumori Katsuyoshi, Wada Motoi	4. 巻 91
2. 論文標題 A compact electron cyclotron resonance negative hydrogen ion source for evaluation of plasma electrode materials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 013508 ~ 013508
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5128610	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 Nakano H., Kisaki M., Ikeda K., Tsumori K., Nagaoka K., Haba Y., Masaki S., Fujiwara Y., Kamio S., Osakabe M.	4. 巻 59
2. 論文標題 Deuterium experiment with large-scale negative ion source for large helical device	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SHHC09 ~ SHHC09
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab80a7	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 Heiler A., Friedl R., Fantz U., Nocentini R., Sasao M.	4. 巻 2373
2. 論文標題 Work function behavior of a biased C12A7 electride in low temperature hydrogen plasmas	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 20004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0057482	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Bito K., Sasao M., Kisaki M., Wada M.	4. 巻 2373
2. 論文標題 Plasma electrode shape suitable for plasma electrode performance study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 30006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0057489	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 Ikeda K., Kasaki M., Nakano H., Tsumori K., Nagaoka K., Fujiwara Y., Masaki S., Rattanawongnara E., Osakabe M.	4. 巻 2373
2. 論文標題 Validation of the distribution of stripping loss neutrals in the accelerator of the negative ion source	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 60001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0057443	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 Wada M., Kenmotsu T., Ikeda K., Kasaki M., Nakano H., Tsumori K.	4. 巻 2373
2. 論文標題 Damage to N-NBI systems due to positive ion back-streaming	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 80001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0057427	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 Masaki S., Nakano H., Kasaki M., Rattanawongnara E., Nagaoka K., Ikeda K., Fujiwara Y., Osakabe M., Tsumori K.	4. 巻 2373
2. 論文標題 Development of the directional Langmuir probe for the charged particle flow measurement	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 90003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0058837	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 Shibata T, Kato R, Nakano H, Hayashi K, Sato J, Miyamoto K, Hoshino K, Hatayama A	4. 巻 2244
2. 論文標題 Numerical study of different electron density observed in Hydrogen and Deuterium ion source plasmas	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012002 ~ 012002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2244/1/012002	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 Kato Ryo, Hoshino Kazuo, Nakano Haruhisa, Shibata Takatori, Miyamoto Kenji, Iwanaka Kengo, Hayashi Katsuya, Hatayama Akiyoshi	4. 巻 2244
2. 論文標題 Numerical analysis of isotope effect in NIFS negative ion source	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012035 ~ 012035
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2244/1/012035	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 Miyamoto K., Nagaoka K., Hatayama A., Hoshino K., Nakano H., Shibata T., Tsumori K.	4. 巻 2244
2. 論文標題 Study of negative ion beam emittance characteristic using 3D PIC-MCC simulation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012040 ~ 012040
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2244/1/012040	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 Nagaoka K., Nakamoto R., Sasaki T., Hamajima T., Nakano H., Ikeda K., Fujiwara Y., Osakabe M., Takeiri Y., Tsumori K.	4. 巻 2244
2. 論文標題 Beam instability in the vicinity of beam extraction region of negative ion source	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012043 ~ 012043
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2244/1/012043	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 Bito K., Sasao M., Wada M.	4. 巻 2244
2. 論文標題 Probe measurement of an ECR hydrogen plasma facing the C12A7 electride surface	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012048 ~ 012048
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2244/1/012048	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 Nakano H, Masaki S, Rattanawongnara E, Tsumori K, Ikeda K, Hamajima T, Nagaoka K, Osakabe M	4. 巻 2244
2. 論文標題 Comparison of ion source plasma responses to extraction grid bias between hydrogen and deuterium operations in NIFS-RNIS	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012046 ~ 012046
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2244/1/012046	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 Masaki S., Nakano H., Rattanawongnara E., Nagaoka K., Ikeda K., Fujiwara Y., Osakabe M., Wada M., Tsumori K.	4. 巻 2244
2. 論文標題 Study of the charged particle flow near the plasma grid in negative ion source	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012059 ~ 012059
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2244/1/012059	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 Ikeda K., Tsumori K., Nakano H., Nagaoka K., Takeiri Y., Masaki S., Rattanawongnara E., Osakabe M.	4. 巻 2244
2. 論文標題 Difference of co-extracted electron current and beam acceleration in a negative ion source with hydrogen-isotope ions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012060 ~ 012060
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2244/1/012060	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 Matsumoto Y, Nakano H, Kisaki M, Shinto K, Sasao M, Wada M	4. 巻 2244
2. 論文標題 Analysis of electron behaviour around a spring-shape filament inside a low-energy electron gun	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012084 ~ 012084
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2244/1/012084	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 Haba Yasuaki, Aramaki Mitsutoshi, Tsumori Katsuyoshi, Osakabe Masaki, Ikeda Katsunori, Nakano Haruhisa, Nagaoka Kenichi	4. 巻 12
2. 論文標題 Abundance ratio of multiple velocity distribution components in a single negative ion beamlet produced by a cesium-seeded negative ion source	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 035223 ~ 035223
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0083300	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 Sartori Emanuele, Poggi Carlo, Ugoletti Margherita, Brombin Matteo, Pimazzoni Antonio, Kasaki Masashi, Nakano Haruhisa, Tsumori Katsuyoshi, Laterza Bruno, Franchin Luca, Cervaro Vannino, Moro Gianluca, Agostinetti Piero, Delogu Rita, Marconato Nicolo, Serianni Gianluigi	4. 巻 50
2. 論文標題 Investigation of Negative Ion Energy Distribution and Extraction Mechanism With a Compact Retarding Field Energy Analyzer in a Large Filament-Arc Source for Neutral Beam Injectors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Plasma Science	6. 最初と最後の頁 3897 ~ 3905
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TPS.2022.3215888	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計38件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 30件)

1. 発表者名 Haruhisa Nakano, Christian Wimmer, Masashi Kasaki, Federica Bonomo, Stefan Brieffi, Markus Froeschle, Andrew Hurlbatt, Alessandro Mimo, Kenichi Nagaoka, Bernd Heinemann, Katsuyoshi Tsumori, and Ursel Fantz
2. 発表標題 Initial results of a plasma grid comparison experiment between NIFS and ITER-like types at BATMAN Upgrade
3. 学会等名 The 7th International Symposium on Negative Ions, Beams and Sources (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Keita BITO, Mamiko SASAO and Motoi WADA
2. 発表標題 Plasma Electrode Shape Suitable for Negative Hydrogen Ion Production
3. 学会等名 The 7th International Symposium on Negative Ions, Beams and Sources (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Lenny Tahari, Gilles CARTRY, Mamiko SASAO, Marco MINISSALE, Jean-Marc LAYE
2. 発表標題 Measurements of work function and negative ion spectra from C12A7 electride immersed in a hydrogen plasma
3. 学会等名 The 7th International Symposium on Negative Ions, Beams and Sources (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 A. Heiler, R. Friedl, R. Nocentini, U. Fantz, M. Tajmar, and M. Sasao
2. 発表標題 Work function behavior of C12A7 electride materials in low temperature hydrogen plasmas
3. 学会等名 The 7th International Symposium on Negative Ions, Beams and Sources (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Masaki, H. Nakano, M. Kisaki, E. Rattanawongnara, K. Nagaoka, K. Ikeda, Y. Fujiwara, M. Osakabe, and K. Tsumori
2. 発表標題 Development of the directional Langmuir probe for the charged particle flow measurement
3. 学会等名 The 7th International Symposium on Negative Ions, Beams and Sources (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中野 治久, 木崎 雅志, 永岡 賢一, 津守克嘉, C. Wimmer, F. Bonomo, S. Briefi, M. Froeschle, A. Hurlbatt, A. Mimo, B. Heinemann, and U. Fantz
2. 発表標題 NIFS-IPP国際共同研究によるBATMANでのプラズマ電極比較の初期実験結果
3. 学会等名 第37回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Nakano, A. Mimo, M. Kasaki, C. Wimmer, I. Mario, D. Wuenderlich, K. Ikeda, S. Masaki, Y. Haba, K. Nagaoka, Y. Fujiwara, M. Osakabe, U. Fantz and K. Tsumori
2. 発表標題 Characteristics Comparison of Negative Ion Density between Negative Ion Sources at NIFS and IPP
3. 学会等名 18th International Conference on Ion Sources (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mamiko Sasao, Takayuki Eguchi, Yuji Shimabukuro, James Hernandez, Masashi Kasaki, Haruhisa Nakano, Katsuyoshi Tsumori, Motoi Wada, Gilles Cartry
2. 発表標題 Prospect of Cs-free hydrogen negative ion sources using C12A7 plasma electrodes
3. 学会等名 18th International Conference on Ion Sources (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takayuki Eguchi, Mamiko Sasao, Yuji Shimabukuro, James Hernandez, Masashi Kasaki, Haruhisa Nakano, Motoi Wada, Katsuyoshi Tsumori
2. 発表標題 A Compact Electron Cyclotron Resonance Negative Hydrogen Ion Source for Evaluation of Plasma Electrode
3. 学会等名 18th International Conference on Ion Sources (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Nakano, M. Kasaki, K. Ikeda, K. Tsumori, K. Nagaoka, Y. Haba, S. Masaki, Y. Fujiwara, S. Kamio and M. Osakabe
2. 発表標題 First Deuterium Experiment on NIFS-RNIS
3. 学会等名 The Joint Conference of XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases and the 10th International Conference on Reactive Plasmas (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中野治久、木崎雅志、笹尾真実子、和田元、津守克嘉
2. 発表標題 C12A7 : e-を用いたkW級高周波放電 Csフリー水素負イオン源試験計画
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 Mamiko SASAO, Motoi WADA, Naoki MIYAMOTO
2. 発表標題 Cs-Free Hydrogen Negative Ion Sources for Industrial Applications
3. 学会等名 3rd International Symposium of the Vacuum Society of the Philippines (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takayuki Eguchi, Mamiko Sasao, Masashi Kisaki, Haruhisa Nakano, Katsuyoshi Tsumori, Motoi Wada
2. 発表標題 A compact Electron-Cyclotron Resonance (ECR) negative hydrogen ion source to study cesium free plasma grid materials
3. 学会等名 3rd International Symposium of the Vacuum Society of the Philippines (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Katsunori Ikeda, Katsuyoshi Tsumori, Haruhisa Nakano, Kenichi Nagaoka, Yutaka Fujiwara, Yasuhiko Takeiri, Shingo Masaki, Engrhyt Rattanawongnara, Masaki Osakabe
2. 発表標題 Difference of Co-Extracted Electron Current and Beam Acceleration in a Negative Ion Source with Hydrogen-Isotope Ions
3. 学会等名 The 19th International Conference on Ion Sources (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名	Taiga Hamajima, Ryoya Nakamoto, Kenichi Nagaoka, Haruhisa Nakano, Engrhyt Rattanawongnara, Katsuyoshi Tsumori, Katsunori Ikeda, Masashi Kisaki, Shingo Masaki, Kenji Miyamoto, Masaki Osakabe, Kazunori Takahashi, Shinji Yoshimura
2. 発表標題	Effect of RF Electric Field on Beam Focusing in Negative Ion Source Plasma
3. 学会等名	The 19th International Conference on Ion Sources (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Kenji Miyamoto, Akiyoshi Hatayama, Kenichi Nagaoka, Katsuyoshi Tsumori, Kazuo Hoshino, Nakano Haruhisa, Takanori Shibata
2. 発表標題	Study of Negative Ion Beam Emittance Characteristics Using 3D PIC-MCC Simulation
3. 学会等名	The 19th International Conference on Ion Sources (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Kenichi Nagaoka, Haruhisa Nakano, Katsuyoshi Tsumori, Katsunori Ikeda, Masaki Osakabe, Masashi Kisaki, Ryoya Nakamoto, Shinji Yoshimura, Taiga Hamajima, Toru Sasaki, Yutaka Fujiwara
2. 発表標題	Beam Instability in the Vicinity of Beam Extraction Region of Negative Ion Source
3. 学会等名	The 19th International Conference on Ion Sources (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Takanori Shibata, Ryo Kato, Haruhisa Nakano, Katsuya Hayashi, Jo Sato, Kenji Miyamoto, Kazuo Hoshino, Akiyoshi Hatayama
2. 発表標題	Numerical Study of Different Electron Density Observed in a Hydrogen and Deuterium Negative Ion Source Plasma
3. 学会等名	The 19th International Conference on Ion Sources (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名 Ryo Kato, Kazuo Hoshino, Haruhisa Nakano, Takanori Shibata, Kenji Miyamoto, Kengo Iwanaka, Katsuya Hayashi, Akiyoshi Hatayama
2. 発表標題 Numerical Analysis of Isotope Effect in NIFS Negative Ion Source
3. 学会等名 The 19th International Conference on Ion Sources (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shingo Masaki, Haruhisa Nakano, Engrhyt Rattanawongnara, Kenichi Nagaoka, Katsunori Ikeda, Yutaka Fujiwara Masaki Osakabe, Motoi Wada, Katsuyoshi Tsumori
2. 発表標題 Study of the Charged Particle Flow near the Plasma Grid in Negative Ion Source
3. 学会等名 The 19th International Conference on Ion Sources (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshikatsu Matsumoto, Haruhisa Nakano, Masashi Kasaki, Katsuhiko Shinto, Mamiko Sasao, Motoi Wada
2. 発表標題 Optimization of Cathode Settings in a Low-Energy Electron Gun to Develop a Diagnostic Tool for H- Ion Source Plasmas
3. 学会等名 The 19th International Conference on Ion Sources (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keita Bito, Mamiko Sasao, Motoi Wada, Katsuyoshi Tsumori, Nakano Haruhisa
2. 発表標題 Probe Measurement of an ECR Hydrogen Plasma Facing the C12A7 Electride Surface
3. 学会等名 The 19th International Conference on Ion Sources (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Haruhisa Nakano, Engrhyt Rattanawongnara, Katsuyoshi Tsumori, Shingo Masaki, Taiga Hamajima, Katsunori Ikeda, Kenichi Nagaoka, Yutaka Fujiwara, Masaki Osakabe
2. 発表標題 Comparison of Ion Source Plasma Response by Extraction Grid Bias Between Hydrogen and Deuterium Operation in NIFS-RNIS
3. 学会等名 The 19th International Conference on Ion Sources (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Shimizu, H. Nakano, K. Saito, M. Sasao M. Wada, K. Bito, A. Ando
2. 発表標題 Evaluation of negative ion production with C12A7 electride in negative hydrogen ion source with kW-class ICP discharge
3. 学会等名 The 30th International Toki Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清水星弥, 中野治久, 斎藤健二, 笹尾真実子, 和田元, 尾藤圭太, 安藤晃
2. 発表標題 kW級ICP放電型水素負イオン源におけるC12A7エレクトライド表面近傍のプラズマ特性
3. 学会等名 第38回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中野治久, 清水星弥, 斎藤健二, 笹尾真実子, 尾藤圭太, 和田元, 安藤晃
2. 発表標題 C12A7エレクトライドを用いたkW級RF水素負イオン源の初期結果
3. 学会等名 物理学会 第77会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西脇万由子, 山岡人志, 笹尾真実子, 東海樹弘, 尾藤圭太, 中野治久, 津守克嘉, 和田元
2. 発表標題 水素原子・分子イオンと低仕事関数材料との相互作用
3. 学会等名 第14回核融合エネルギー連合講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mayuko Nishiwaki, Mamiko Sasao, Motoi Wada, Haruhisa Nakano, Katsuyoshi Tsumori
2. 発表標題 Work function measurement of plasma electrode materials for negative ion sources using semiconductor light sources
3. 学会等名 The 22nd International Vacuum Congress (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kenichi Nagaoka, Haruhisa Nakano, Katsunori Ikeda, Katsuyoshi Tsumori, Masaki Osakabe, Masashi Kisaki, Ryoya Nakamoto, Taiga Hamajima, Yasuhiko Takeiri
2. 発表標題 Dynamic responses of negative ion meniscus to externally applied RF field
3. 学会等名 The 8th International symposium on Negative Ions, Beams and Sources (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mayuko Nishiwaki, Haruhisa Nakano, Katsuyoshi Tsumori, Mamiko Sasao, Motoi Wada
2. 発表標題 Photoelectric current measurement of plasma grid materials for a compact H ⁻ ion source
3. 学会等名 The 8th International symposium on Negative Ions, Beams and Sources (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mamiko Sasao, Motoi Wada, Gilles Cartry
2. 発表標題 Plasma Electrode Materials for Cs-free Negative hydrogen ion Sources
3. 学会等名 The 8th International symposium on Negative Ions, Beams and Sources (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Engrhyt rattanawongnara, Katsunori Ikeda, Kenichi Nagaoka, Masaki Osakabe, Nakano Haruhisa, Tsumori Katsuyoshi, Yasuhiko Takeiri
2. 発表標題 Langmuir-probe measurement in the vicinity of plasma grid aperture of hydrogen negative ion source
3. 学会等名 The 8th International symposium on Negative Ions, Beams and Sources (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Katsuyoshi Tsumori, Katsunori Ikeda, Haruhisa Nakano, Yasuhiko Takeiri, Kenji Saito, Engrhyt Rattanawongnara, Ken-ichi Nagaoka, Pierluigi Veltri, Werner Kraus, Stefan Briefi, Bernd Heinemann, Ursel Fantz, Masaki Osakabe
2. 発表標題 Construction of a Filament-RF driven hybrid negative ion source at NIFS
3. 学会等名 The 8th International symposium on Negative Ions, Beams and Sources (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Haruhisa Nakano, Shingo Masaki, Katsuyoshi Tsumori, Masaki Osakabe, Katsunori Ikeda, Yasuhiko Takeiri, Engrhyt Rattanawongnara, Kenichi Nagaoka
2. 発表標題 Negative and positive ion density in front of negative ion production surface in large-scaled negative ion source for fusion
3. 学会等名 The 8th International symposium on Negative Ions, Beams and Sources (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩中健悟, 塩谷岳大, 星野一生, 中野治久, 柴田崇統, 宮本賢治
2. 発表標題 NIFS負イオン源におけるプラズマ輸送過程の評価
3. 学会等名 第39回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 E. Sartori, C. Poggi, M. Ugoletti, M. Brombin, A. Pimazzoni, M. Kasaki, H. Nakano, K. Tsumori, B. Laterza, L. Franchin, V. Cervaro, G. Moro, P. Agostinetti, R. Delogu, N. Marconato, G. Serianni
2. 発表標題 Investigation of negative ion energy distribution and extraction mechanism with a compact retarding field energy analyser in a large filament-arc source for neutral beam injectors
3. 学会等名 The 29th IEEE Symposium on Fusion Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 和田元, 江口貴之, 笹尾真実子, 木崎雅志, 中野治久, 津守克嘉
2. 発表標題 水素プラズマ中 C12A7 エレクトライド表面からの H-放出
3. 学会等名 第80回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 笹尾真実子, L. ターリ, G. カートリ, J.M.ラエット, M. ミニザーリ, A. ハイラー, R. フリードル, U. ファンツ, 尾藤圭太, 和田元
2. 発表標題 C12A7 エレクトライドの仕事関数ならびに負イオン生成挙動
3. 学会等名 第37回プラズマ核融合学会年会
4. 発表年 2020年

〔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	笹尾 真実子 (Sasao Mamiko) (00144171)	同志社大学・研究開発推進機構・研究員 (34310)	
研究分担者	安藤 晃 (Ando Akira) (90182998)	東北大学・工学研究科・教授 (11301)	
研究分担者	木崎 雅志 (Kisaki Masashi) (70598945)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教 (63902)	削除：2020年12月25日

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	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)	
研究協力者	永岡 賢一 (Nagaoka Kenichi) (20353443)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・教授 (63902)	
研究協力者	斎藤 健二 (Saito Kenji) (10353442)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授 (63902)	

6. 研究組織 (つづき)

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	柴田 崇統 (Shibata Takanori) (20773956)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器 研究施設・助教 (82118)	
研究協力者	清水 星弥 (Shimizu Seiya)		
研究協力者	和田 元 (Wada Motoi) (30201263)	同志社大学・理工学部・教授 (34310)	
研究協力者	西脇 万由子 (Nishiwaki Mariko)		
研究協力者	正木 伸吾 (Masaki Shingo)		
研究協力者	Cartry Gilles (Cartry Gilles)	Aix-Marseille University・ Professor	
研究協力者	Heiler Adrian (Heiler Adrian)	Max-Planck-Institute for Pl asma Physics	
研究協力者	江口 貴之 (Eguchi Takayuki)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	尾藤 圭太 (Blto Keita)		
研究協力者	古田 紘己 (Furuta Hiroki)		

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