

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H03512

研究課題名(和文)水素負イオン源プラズマ電極での水素反射と脱離

研究課題名(英文) Hydrogen reflection and desorption at the plasma electrode of a negative hydrogen ion source

研究代表者

和田 元 (Wada, Motoi)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：30201263

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,000,000円

研究成果の概要(和文)：加速器科学や核融合プラズマの中性粒子ビーム加熱に用いられるCs添加型水素負イオン源の効率を改善し、運転信頼性を向上するためにイオン源壁面で生じる水素反射と吸着の影響について調査した。成果として重水素と軽水素の間でイオン源内でのCsリサイクリングに差異が生じ、重水素運転時にはイオン源壁面からCsが失われ易くなることが分かった。実験データの採取が200 eV/Hの低エネルギーまで可能になり、20 eV/Hの更なる低エネルギーでの水素入射による反射データの採取可能性を確認した。また、Csフリー運転が期待されるエレクトライド材料に対しても実験データ採取、表面反射・吸着計算が行えるようになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果により、Cs導入量の少ない負イオン源運転シナリオの構築が可能となった。本研究でも調査したCsを用いない負イオン生成に加え、省Cs型の負イオン源運転が可能となることにより、将来の核融合実証炉の設計指針策定にあたっての自由度が大きくなった。同時に、プラズマ・固体表面相互作用とプラズマシース領域を繋ぐ計算機科学分野の開拓にも、本研究は貢献した。社会的な意義としては脱炭素社会に向けて、今後研究開発が加速されるものと予想される核融合発電の実現に向けての貢献が期待される。2025年より実験が予定されているITER核融合計画においても本研究が対象とした水素負イオン源が用いられる予定である。

研究成果の概要(英文)：Ion sources delivering negative hydrogen (H-) ion beams for high-energy accelerators and neutral beam heating of the fusion experiment plasmas are operated with addition of Cs into the hydrogen discharge. Hydrogen particle reflection and adsorption at plasma grids (PG) for these sources are studied through two approaches: laboratory experiments and computer simulations based on binary collision approximation. A computer simulation model has predicted that the hydrogen isotope adsorbed layer between a Cs top layer and Mo PG bulk plays an important role in Cs loss through the surface collision cascade excited by a plasma bombardment. Another model has successfully predicted the energy distribution of H- ions produced at a C12A7 electride surface immersed in hydrogen plasma. Hydrogen reflection characteristics are now measured down to 200 eV/H incident energy, while this research project realized the system that enables measurement down to less than 20 eV/H incident energy.

研究分野：物理学

キーワード：負イオン 仕事関数 粒子反射 スパッタリング 負イオン源 中性粒子加熱 表面生成

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 2017年初頭に開始予定であった LHD 重水素運転に伴い、将来的な負イオン源をベースとした中性粒子加熱（以降 Negative Ion Based Neutral Beam Heating を NNBI と略称）システムの性能予測が大きな課題となっていた。既存の水素負イオン（H<sup>-</sup>）源に重水素を導入して重水素負イオン（D<sup>-</sup>）源として運転した際の性能評価の予測と、予想される性能低下に対する対策案の構築、およびこれら調査に必要な負イオン源プラズマの計測技術のまとめが必要となっていた。

(2) 欧州においては ITER プラズマ加熱のために ELISE が稼働を開始し、多くのプラズマ診断機器を取り付けた上での長時間運転時のデータ採取が行われていた。その中で Cs コンディショニングを適正化することにより、イオン源運転時の安定性が格段に向上されることが確認された。国内のイオン源運転においては既に、Cs コンディショニングが経験的に最適化されており、最適条件下での負イオンフロー研究が開始されていた。

### 2. 研究の目的

(1) イオン源内 Cs リサイクリング調査：イオン源壁面への Cs 付着量は水素反射による負イオン生成に大きく影響を与える。そこでイオン源を運転する上で最低限必要となる Cs 導入量を評価するため、数値計算モデルの構築を目的とした。また、Cs フリー材料として有望視されている C12A7(12CaO-7Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) エレクトライド材料の仕事関数と物性について調査し、仕様可能な Cs フリー材料に要求される条件について、数値計算モデルと実験により明らかにすることを目的とした。

(2) Cs 導入量に応じたイオン源寿命予測：研究の進展に伴い、単に Cs がイオン源から漏洩して加速段に蓄積されるのみでなく、Cs 蓄積により生じ得るシステム全体の劣化機構について、可能性を調査することを目的とした。

### 3. 研究の方法

(1) モデル計算によるアプローチ：実際のイオン源においては不純物の影響が無視しえないものの、理解できている基礎過程からどのような結果が得られるか、入射粒子—固体原子の二体衝突近似により表面反応を模擬するアプローチを採用した。

(2) 実験室での小規模実験によるアプローチ：実際の大型イオン源に関する調査については核融合科学研究所や量子科学技術研究機構との共同研究を通じてデータを供与頂き、本研究計画では核融合科学研究所、同志社大学に小型の実験設備を整備し、基礎過程データを採取した。

### 4. 研究成果

#### (1) 表面反応計算モデルの構築

水素同位体のプラズマ電極 (Plasma Grid: PG) 表面への吸着と、それが水素負イオン生成、Cs リサイクリングに及ぼす効果について、モデル計算により調査した。代表的な研究成果として、重水素運転時には Cs 消費量が増える結果が得られたので図 1 により紹介する。本研究成果は 2017 年のイオン源国際会議での招待講演として発表し、内容は Journal 論文として纏められている。プラズマイオンの質量が倍となってスパッタリング率が增大する効果のみでなく、Mo 上に Cs が被覆される際、Cs と Mo 表面の間に水素同位体吸着層が生成される。この吸着層が軽水素から重水素に変化すると Cs 除去効率が飛躍的に増大することがシミュレーション結果から示された。その他、吸着層が重水素の時、Cs のセルフスパッタリングやイオン源中の酸素不純物イオンによる Cs ス

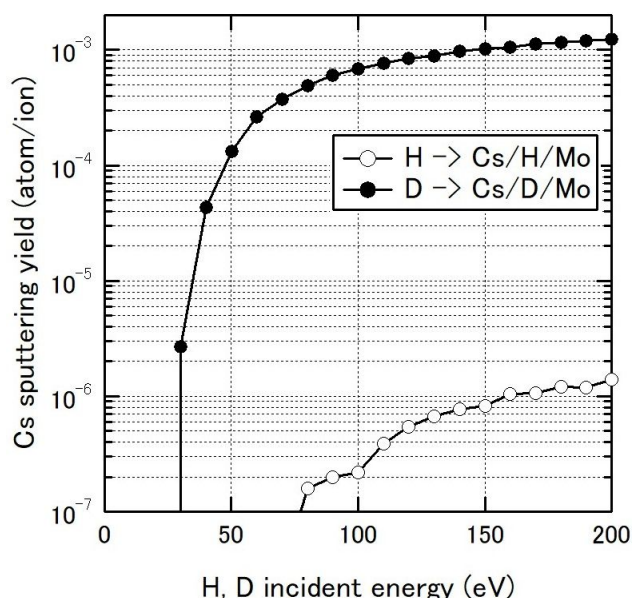


図 1 高エネルギーイオンによる PG 表面からの Cs 原子の損失率。

パッタリングも低エネルギー領域から大きくなることが分かった。

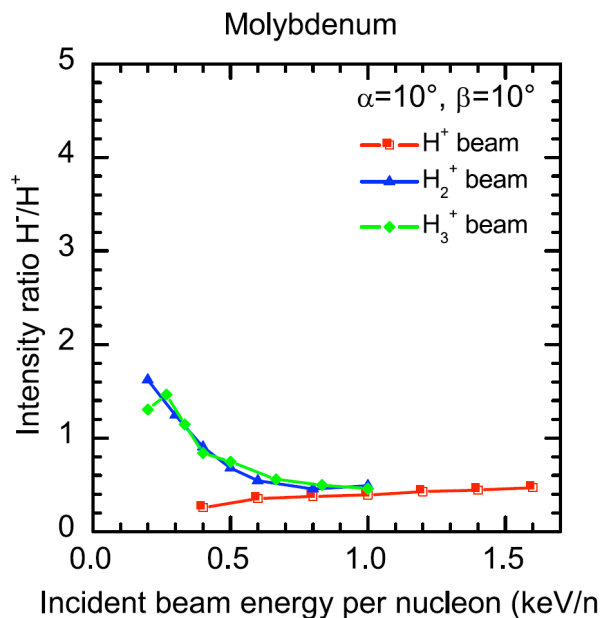


図2 入射角 = 10°, 出射角 = 10°での反射水素の  $H^-/H^+$ 比. 低エネルギー領域で負イオン比率が高くなる.

### (2) 水素負イオン源の壁面損傷

研究の低エネルギー化については時間をかけて進めているが、イオン源プラズマと壁面相互作用については、研究期間中に寿命にも関連する課題が多く認められ、高エネルギー反応についての応用についても取り組みを開始し、研究成果の一部を2020年国際負イオン・ビーム源会議にて報告した。また内容については間もなくAIP Conference Proceedingsとして報告される予定である。結論として、水素吸着と重水素吸着を比較したとき、重水素吸着の方がイオン源端面への粒子負荷やグリッド損耗に与える影響が大きいこと、Mo等のイオン源やその電極を構成する材料に対して、水素同位体の吸着が逆流イオンなどの損傷に与える影響は、想定される負イオン加速エネルギーに対しては数%程度と小さいことが分かった。ただし、総合的な評価はNNBIシステム全体としてなされるべきであり、今後はより詳細な設計仕様に基づいて行われる必要がある。

### (3) プラズマ電極表面での粒子反射と脱離

実験的調査については核融合科学研究所に整備している低エネルギー粒子反射実験装置の改造を行い、データを取得した。結果例を図2に示す。図より200 eV/Hの低いエネルギー領域まで粒子反射データが得られるようになったことが分かる。さらに低エネルギー領域にまで測定範囲を広げるため、超低エネルギーイオン源の研究開発を行い、イオン輸送の効率化を図るために質量分離部からターゲットへの粒子輸送部の最適化を行った。核融合科学研究所の装置には既に前モデルの据付を終えている。ほぼ同一のイオン輸送システムを同志社で構築して運転の最適化を行ったところ、ビーム電流量に大幅な改善が得られた。改善後のイオン輸送システムの性能の一部を図3に示す。運転条件最適化により、実験に必要なnAレベルのビームを10 eV以下の領域まで得られるようになった。感染症対応のために実験を見合わせているが、図2のカーブをさらに低エネルギー領域にまで伸ばし、理論計算との対比を行う準備は完了している。

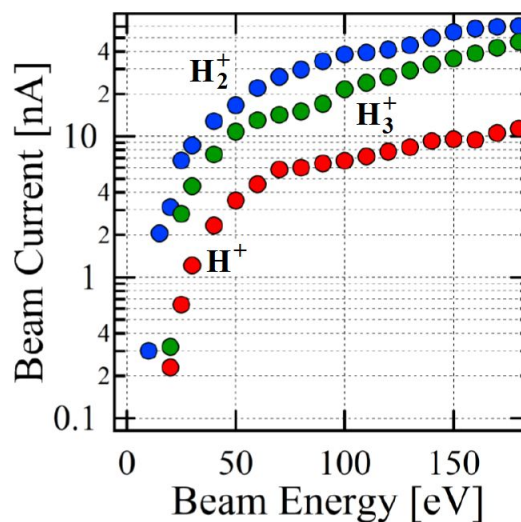


図3 本研究で作成した超低エネルギーイオン源のイオン引き出し特性.  $H_2^+$ ビームの利用により10 eV/Hを下回るエネルギーを実現可能.

### (4) エレクトライド材料からの水素反射

将来的な水素負イオン源のCsフリー化を目指したPG材料候補としてC12-A7エレクトライド材料の研究も行い、核融合研究所の表面粒子反射装置を用いた研究を開始した。(現在感染症対策のため一時休止している。)実験的に得られたスペクトルを計算と比較したところ、エレクトライド材料の場合、水素吸着あるいはナノ構造(cage structure)への水素取込みが存在する可能

性が高いと分かった。材料の表面電子構造を含めたより詳細な計算モデルの構築が今後とも必要となるが、不純物による影響も大きく、今後さらに研究を継続することが、エレクトライド材料の基本物性を解明する上で不可欠であると考えている。また、エレクトライド材料をプラズマ電極とする小型イオン源を試作し、モリブデン製のプラズマ電極として高い水素負イオン生成能を示すことを確認し、今後のテストイオン源設計への指針を得ることができた。

#### <引用文献>

- Y. Takeiri et al. “Extension of the operational regime of the LHD towards a deuterium experiment,” Nucl. Fusion, 57, 102023 (2017).
- T. Wunderlich et al. “Progress of the ELISE test facility: Towards one-hour pulses in hydrogen,” Nucl. Fusion, 56, 106004 (2016).
- S. Geng et al. “Charged particle flows in the beam extraction region of a negative ion source for NBI,” Rev. Sci. Instrum. 87, 02B103.
- M. Wada, “Plasma-surface interaction in negative hydrogen ion sources,” Rev. Sci. Instrum. 89, 052103 (2018).
- M. Wada, T. Kenmotsu, K. Ikeda, M. Kasaki, H. Nakano, K. Tsumori, “Damage to N-NBI systems due to positive ion back streaming,” to be published in AIP Conference Proceedings.
- N. Tanaka, F. Ikemoto, I. Yamada, Y. Shimabukuro, M. Kasaki, W.A. Dino, M. Sasao, M. Wada, H. Yamaoka, “Positive and negative hydrogen ion reflections of low-energy atomic and molecular hydrogen ion beam from HOPG and Mo surfaces.” Rev. Sci. Instrum. 91, 013313 (2020).
- F. Ikemoto, I. Yamada, T. Kasuya, M. Kinsho, M. Wada, “Hydrogen ion beam transport in an energy range lower than 50 eV: ion beam species,” Rev. Sci. Instrum. 91, 013507 (2020).
- M. Sasao, R. Moussaoui, D. Kogut, J. Ellis, G. Cartry, M. Wada, K. Tsumori, H. Hosono, “Negative-hydrogen-ion production from a nanoporous  $12\text{CaO}7\text{Al}_2\text{O}_3$  electride surface,” Applied Physics Express 11, 066201 (2018)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計31件（うち査読付論文 31件／うち国際共著 6件／うちオープンアクセス 19件）

1. 著者名 Bacal M, Sasao M. Wada M.	4. 巻 129
2. 論文標題 Negative Ion Sources	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 221101 ~ 221101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0049289	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 Tsumori K., Wada M.	4. 巻 8
2. 論文標題 A review of diagnostic techniques for high-intensity negative ion sources	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Reviews	6. 最初と最後の頁 021314 ~ 021314
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0042498	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 Liu D.H., Dai S.Y., Wada M., Yang K.R., Chen J.Y., Liu D.P., Cherenda N., Wang D.Z.	4. 巻 26
2. 論文標題 Modelling of hydrogen atoms reflection from an annealed tungsten fuzzy surfaces	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 100909 ~ 100909
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2021.100909	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 Liu D.H., Dai S.Y., Wada M., Wang M., Wang D.Z.	4. 巻 60
2. 論文標題 Modelling of hydrogen reflection on tungsten fuzzy surface in an erosive hydrogen plasma	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 056018 ~ 056018
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/ab7b3a	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 GINES Arnold Rey B., WADA Motoi	4. 巻 14
2. 論文標題 Characteristics of an ECR Sheet-Shaped Plasma Formed by a Combination of Permanent Magnets and Field Coils	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 3401085 ~ 3401085
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.14.3401085	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 GUHIT Jhoelle Roche M., DOI Kenta, WADA Motoi	4. 巻 14
2. 論文標題 Effect of Substrate Temperature on the Hydrogen Reflection at Metal Surfaces	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 3401098 ~ 3401098
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.14.3401098	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 Shingo, MAESHIRO Kenta, TSUMORI Katsuyoshi, WADA Motoi	4. 巻 14
2. 論文標題 Electric Potential Structure in the Extraction Region of the Negative Hydrogen Ion Source	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 3401136 ~ 3401136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.14.3401136	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., Shinto K., Shibata T., Sasao M.	4. 巻 91
2. 論文標題 Measurement of a time dependent spatial beam profile of an RF-driven H <sup>+</sup> ion source	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 013330 ~ 013330
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5128015	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 Tanaka Nozomi, Ikemoto Fumiya, Yamada Ippei, Shimabukuro Yuji, Kasaki Masashi, Di?o Wilson Agerico, Sasao Mamiko, Wada Motoi, Yamaoka Hitoshi	4. 巻 91
2. 論文標題 Positive and negative hydrogen ion reflections of low-energy atomic and molecular hydrogen ion beam from HOPG and Mo surfaces	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 013313 ~ 013313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5129576	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 Kuzumi Tatsuya, Wada Motoi	4. 巻 91
2. 論文標題 Development of a miniaturized duoplasmatron ion source	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 013505 ~ 013505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5128752	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 Ikemoto Fumiya, Yamada Ippei, Kasuya Toshiro, Kinsho Michikazu, Wada Motoi	4. 巻 91
2. 論文標題 Hydrogen ion beam transport in an energy range lower than 50 eV: Ion beam species	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 013507 ~ 013507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5128518	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 Eguchi Takayuki, Sasao Mamiko, Shimabukuro Yuji, Ikemoto Fumiya, Kasaki 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 Bacal M, Wada M	4. 巻 29
2. 論文標題 Negative ion source operation with deuterium	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma Sources Science and Technology	6. 最初と最後の頁 033001 ~ 033001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6595/ab6881	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 Motoi	4. 巻 2052
2. 論文標題 Effects of impurity ions upon Cs recycling in a negative hydrogen ion source	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 020005/1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5083723	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., Maeshiro K., Tsumori K., Wada M.	4. 巻 2052
2. 論文標題 Study of the materials on plasma electrode surface for negative ion extraction in hydrogen and deuterium operation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 020002/1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5083720	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 Shimabukuro Yuji, Kuzumi Tatsuya, Wada Motoi	4. 巻 2052
2. 論文標題 Injection of atomic hydrogen from a thermal cracker cell to plasma grid surface of a H <sup>+</sup> ion source	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 020004/1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5083722	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 Kobayashi M., Sasao M., Kisaki M., Eguchi T., Wada M.	4. 巻 2052
2. 論文標題 Study of the beam extraction system of a negative ion source with a C12A7 electrified plasma electrode	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 020003/1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5083721	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 Tsumori K., Wada M., Nakano H., Kisaki M., Ikeda K., Haba Y., Nagaoka K., Kamio S., Fujiwara Y., Osakabe M.	4. 巻 2052
2. 論文標題 Caesiated H- source operation with helium	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 040015/1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5083749	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 Doi Kenta, Lee Heun Tae, Tanaka Nozomi, Yamaoka Hitoshi, Ueda Yoshio, Wada Motoi	4. 巻 136
2. 論文標題 Spectroscopic study of hydrogen reflection at modified tungsten surface	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 100 ~ 105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2018.01.001	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 Masaki S., Sasao M., Wada M.	4. 巻 2011
2. 論文標題 Diagnostics of Ta deposited plasma electrode for negative hydrogen ion production with DC laser photodetachment method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 050031/1-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5053329	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 Yamada Ippei, Yamaoka Hitoshi, Sasao Mamiko, Wada Motoi	4. 巻 2011
2. 論文標題 Development of a compact molecular hydrogen ion source for low-energy surface scattering experiments	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 020007/1-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5053249	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 Shimabukuro Yuji, Kuwahara Daisuke, Wada Motoi	4. 巻 2011
2. 論文標題 Contribution of atomic hydrogen flux on H <sup>+</sup> ion beam extracted from a negative hydrogen ion source	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 050008/1-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5053306	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., Kasaki M., Sasao M., Wada M.	4. 巻 2011
2. 論文標題 Study of low-energy electron transport at extraction region in hydrogen negative ion source with an additional electron source	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 20011
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5053253	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 Abraham B. Padama Allan, Agerico Di?o Wilson, Wada Motoi, Tsumori Katsuyoshi, Kasaki Masashi, Kasai Hideaki, Nakanishi Hiroshi, Sasao Mamiko, Tanaka Nozomi	4. 巻 16
2. 論文標題 Adsorption of H on Cs/W(110): Impact of H on the Stability of Cs on the Surface	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 e-Journal of Surface Science and Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 391 ~ 395
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1380/ejssnt.2018.391	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 Sasao Mamiko, Moussaoui Roba, Kogut Dmitry, Ellis James, Cartry Gilles, Wada Motoi, Tsumori Katsuyoshi, Hosono Hideo	4. 巻 11
2. 論文標題 Negative-hydrogen-ion production from a nanoporous 12CaO ? 7Al2O3 electrified surface	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 066201 ~ 066201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.11.066201	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 Wada Motoi	4. 巻 89
2. 論文標題 Plasma-surface interaction in negative hydrogen ion sources	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 052103 ~ 052103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5016262	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 Kenta Doi , Hitoshi Yamaoka, Takahiro Kenmotsu, and Motoi Wada	4. 巻 46
2. 論文標題 Spectroscopy Study of Hydrogen Atoms Reflected From Tungsten Surface in a Magnetized Plasma	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE	6. 最初と最後の頁 482, 488
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TPS.2018.2803753	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 Y. Shimabukuro, H. Takahashi, M. Wada,	4. 巻 57
2. 論文標題 Electrode structure of a compact microwave driven capacitively coupled atomic beam source	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 01AA02-1, 4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.01AA02	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 M. Wada, K. Doi, T. Kenmotsu	4. 巻 1869
2. 論文標題 Impact due to impurity contamination upon Cs consumption of a negative hydrogen ion source	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 020003-1, 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4995709	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 M. Sasao, T. Kanazawa, K. Doi, Y. Watanabe, K. Tanemura, S. Kato, T. Kenmotsu, M. Wada, H. Yamaoka, M. Kisaki, K. Tsumori	4. 巻 1869
2. 論文標題 Negative ion formation by proton reflection from a molybdenum surface at a shallow incidence angle	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 020008-1, 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4995714	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 M. Bacal M. Wada	4. 巻 1869
2. 論文標題 Effect due to plasma electrode adsorbates upon the negative ion current and electron current extracted from a negative ion source	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 030025-1, 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4995745	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

〔学会発表〕 計36件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 27件)

1. 発表者名 笹尾真実子, L. Tahri, G. Cartry, Jean-Marc Layet, M. Minissale, A. Heiler, R. Friedl, U. Fantz, 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

1 . 発表者名 T. Tokai, Y. Shimabukuro, H. Takahashi, M. Wada
2 . 発表標題 Velocity distribution of hydrogen atoms in ion source discharges
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 K. Bito, M. Sasao, M. 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 T. Shibata, K. Shinto, M. Wada, H. Oguri, K. Ikegami, K. Ohkoshi, K. Nanmo
2 . 発表標題 High-speed Emittance Measurements for Beams Extracted from J-PARC RF Ion Source
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 M. Wada, T. Kenmotsu, K. Ikeda, M. Kisaki, H. Nakano, K. Tsumori
2 . 発表標題 Damage to N-NBI Systems due to Positive Ion Back-streaming
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 M. Wada
2 . 発表標題 Negative ion source fundamentals
3 . 学会等名 The 7th International Symposium on Negative Ions, Beams and Sources (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Katsuyoshi Tsumori, H. Nakano, K. Ikeda, M. Kisaki, S. Geng, K. Nagaoka, M. Wada, Y. Haba, S. Masaki, S. Kamio, Y. Fujiwara, M. Osakabe
2 . 発表標題 Plasmas in Caesium-Seeded Negative Ion Sources
3 . 学会等名 34th International Conference on Phenomena in Ionized Gases (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kenta Maeshiro, Motoi Wada, Singo Masaki
2 . 発表標題 Effect of tantalum deposition on plasma electrode surface upon negative hydrogen ion production
3 . 学会等名 34th International Conference on Phenomena in Ionized Gases (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Fumiya Ikemoto, Ippei Yamada, Yuji Shimabukuro, Nozomi Tanaka, Katsuyoshi Tsumori, Hitoshi Yamaoka, Mamiko Sasao, Motoi Wada
2 . 発表標題 Detection efficiencies of a micro-channel plate for positive/negative low energy hydrogen ions
3 . 学会等名 34th International Conference on Phenomena in Ionized Gases (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Wada , K. Shinto, T. Shibata, and M. Sasao
2 . 発表標題 Measurement of a time dependent spatial beam profile of an RF-driven H <sup>-</sup> ion source
3 . 学会等名 The 18th International Conference on Ion Sources ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Nozomi Tanaka , Fumiya Ikemoto, Ippei Yamada, Yuji Shimabukuro , Masashi Kasaki, Wilson, Agerico Dino , Mamiko Sasao, Motoi Wada, and Hitoshi Yamaoka
2 . 発表標題 Positive and negative hydrogen ion reflections of low-energy atomic and molecular hydrogen ion beam from HOPG and Mo surfaces
3 . 学会等名 The 18th International Conference on Ion Sources ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Tatsuya Kuzumi, and Motoi Wada
2 . 発表標題 Development of a miniaturized duoplasmatron ion source
3 . 学会等名 The 18th International Conference on Ion Sources ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Fumiya Ikemoto, Ippei Yamada, Toshiro Kasuya, Michikazu Kinsho, and Motoi Wada
2 . 発表標題 Hydrogen ion beam transport in an energy range lower than 50 eV: Ion beam species
3 . 学会等名 The 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, Fumiya Ikemoto, Masashi Kasaki, Haruhisa Nakano, Katsuyoshi Tsumori, and Motoi Wada
2. 発表標題 A compact electron cyclotron resonance negative hydrogen ion source for evaluation of plasma electrode materials
3. 学会等名 The 18th International Conference on Ion Sources (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Aliena Mari MIRANDA, James Edward HERNANDEZ II, Allen Vincent CATAPANG, Glynnis Mae SAQUILAYAN, Mieko KASHIWAGI, Motoi WADA
2. 発表標題 Laser desorption measurement of cesium adsorbed on a molybdenum plasma grid of a negative hydrogen ion source
3. 学会等名 The 28th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motoi WADA
2. 発表標題 Plasma-wall interactions in ion sources
3. 学会等名 International Symposium of the Vacuum Society of the Philippines (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Motoi Wada
2. 発表標題 Effects of impurity ions upon Cs recycling in a negative hydrogen ion source
3. 学会等名 The 6th International symposium on Negative Ions, Beams and Sources (国際学会)
4. 発表年 2018年



1 . 発表者名 M. Sasao, D. Kuwahara, M. Kobayashi, R Moussaoui, G. Cartry, M. Wada, T. Eguchi
2 . 発表標題 Study of H- extraction from a single-hole plasma electrode of C12A7 electride
3 . 学会等名 The 6th International symposium on Negative Ions, Beams and Sources ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Roba, M. Sasao, M. Wada, G. Cartry, H. Hosono
2 . 発表標題 Negative ion production study on nanoporous $12Ca0.7Al2O3$ electride surface in low pressure $H_2$ plasma
3 . 学会等名 The 6th International symposium on Negative Ions, Beams and Sources ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Masaki, K. Maeshiro, K. Tsumori, M. Wada
2 . 発表標題 Study of the Materials on Plasma Electrode Surface for Negative Ion Extraction in Hydrogen and Deuterium Operation
3 . 学会等名 The 6th International symposium on Negative Ions, Beams and Sources ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Ishikawa, K. Oura, N. Miyamoto, M. Wada
2 . 発表標題 Plasma Electrode Structure Suitable for H- Extraction from a Bernas Type Ion Source
3 . 学会等名 The 6th International symposium on Negative Ions, Beams and Sources ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Shimabukuro, T. Kuzumi, M. Wada
2 . 発表標題 Injection of Atomic Hydrogen from a Thermal Cracker Cell to Plasma Grid Surface of H- Ion Source
3 . 学会等名 The 6th International symposium on Negative Ions, Beams and Sources ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Sasao, M. Kisaki, M. Wada, T. Eguchi
2 . 発表標題 Design of Negative Ion Source Using a Plasma Electrode of C12A7 Electride
3 . 学会等名 The 6th International symposium on Negative Ions, Beams and Sources ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. TSUMORI, M. WADA, Motoi, M. KISAKI, H.NAKANO, K. IKEDA, Y. HABA, K. NAGAOKA, Y. FUJIWARA, S. KAMIO, M. OSAKAB
2 . 発表標題 Caesiated H- source operation with helium
3 . 学会等名 The 6th International symposium on Negative Ions, Beams and Sources ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Masaki, K. Maeshiro, K. Tsumori, M. Wada
2 . 発表標題 Electric Potential Structure in the Extraction Region of the Negative Hydrogen Ion Source
3 . 学会等名 The 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 小林益美, 江口貴之, 笹尾真実子, 木崎雅志, 津守克嘉, 和田元
2. 発表標題 C12A7エレクトライド製プラズマ電極を有するH-源
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 正木伸吾, 津守克嘉, 和田元
2. 発表標題 水素負イオン引き出し領域への非蒸発ゲッター材料の挿入
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 池本史弥, 山田逸平, 島袋祐次, 田中のぞみ, 津守克嘉, 山岡人志, 笹尾真実子, 和田元
2. 発表標題 水素正負イオンに対するMCPの検出効率
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 眞榮城健太, 正木伸吾, 和田元
2. 発表標題 プラズマ電極へのTa蒸着が与える水素負イオン引き出しへの効果
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 笹尾真実子, 小林益美, 江口貴之, 島袋祐次, James Hernandez II, 木崎雅志, 津守克嘉, 和田元
2. 発表標題 エレクトライド電極を用いた小型水素負イオン源：表面生成基礎実験との比較
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和田元, 小林益美, 江口貴之, 笹尾真実子, 木崎雅志, 津守克嘉
2. 発表標題 低仕事関数材料をプラズマ電極とする水素負イオン源
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和田元, 剣持貴弘, 笹尾真実子, 津守克嘉
2. 発表標題 重水素運転時のH-イオン源プラズマグリッド上のCs層厚
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 桑原大典, 笹尾真実子, 和田元
2. 発表標題 半導体光源を用いた仕事関数の測定
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Motoi Wada
2. 発表標題 Plasma-Surface Interaction in Negative Hydrogen Ion Sources
3. 学会等名 17th International Conference on Ion Sources (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuji Shimabukuro, Daisuke Kuwahara, Motoi Wada
2. 発表標題 Contribution of Atomic Hydrogen Flux on H <sup>-</sup> Ion Beam extracted from a Negative Hydrogen Ion Source
3. 学会等名 17th International Conference on Ion Sources (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Marthe Bacal, Motoi WADA
2. 発表標題 Negative Ion Source Operation with Deuterium
3. 学会等名 17th International Conference on Ion Sources (国際学会)
4. 発表年 2017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	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)	

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