

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01195

研究課題名(和文) 水素ペアイオンプラズマの集団物性解明とイオン連星系の検証

研究課題名(英文) Investigation of collective properties in hydrogen pair-ion plasma and verification of ion binary system

研究代表者

大原 渡 (Oohara, Wataru)

山口大学・大学院創成科学研究科・教授

研究者番号：80312601

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)：負イオン崩壊させずに、正負イオンから成る水素イオン性プラズマを実現させるために、負イオン崩壊を抑制できる水素正イオン加速電圧とイオン制御グリッド電圧の電圧条件が明らかになった。負イオン崩壊原因として仮説を立てた、原子状水素正負イオンの回転対構造の存在は明確に示せなかったが、水素化アルミ負イオンという次の候補物質に行きついた。静電波を励起・伝搬させて、1 MHz以下の分散関係の詳細が明らかになった。進行波(位相速度が正値)、逆進行波(位相速度が負値)、後進波(群速度が負値)が存在して、それらモードの周波数帯や減衰率は、正イオンエネルギーに依存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

ペアプラズマは粒子運動に関連した時空間対称性を有する独特の媒体なので、その物性解明が世界的に注目されてきた。ペアプラズマに類似する水素イオン性プラズマが実現され、従来に比べて1桁以上高周波数まで、伝搬波の分散関係が明らかになったことは大きな進歩である。また、通常の伝搬波である進行波だけでなく、物理的に理解し難い逆進行波の存在が明らかになったことは、集団物性の解明という基礎研究に新たな知見もたらしたと言える。

研究成果の概要(英文)：In order to realize a hydrogen ionic plasma consisting of positive and negative ions without negative-ion collapse, the voltage conditions of positive-ion acceleration voltage and ion control-grid voltage that can suppress negative-ion collapse have been clarified. Although the existence of the rotating pair structure of atomic hydrogen positive and negative ions, which was hypothesized as the cause of negative-ion collapse, could not be clearly shown, the next candidate substance, aluminum hydride negative ions, was found. By exciting and propagating electrostatic waves, the details of the dispersion relation of 1 MHz or less were clarified. It became clear that there are traveling waves (phase velocity is positive), reverse waves (phase velocity is negative), and backward waves (group velocity is negative), and the frequency band and attenuation rate of these modes depend on the positive ion energy.

研究分野：プラズマ理工学

キーワード：プラズマ・核融合 ペアイオンプラズマ 水素負イオン

1. 研究開始当初の背景

通常のプラズマは、質量が大きく異なる電子と正イオンから構成されており、質量の違いが電磁場に対する荷電粒子の応答に影響を与える。軽い電子が関与する短小の時間的・空間的スケールに対して、重い正イオンは長大の時空間スケールに関与する。また、電子と正イオン両方が関与するハイブリッド時空間スケールもある。異質量の荷電粒子運動に起因する時空間的な階層構造が生み出されることが、プラズマ物性に豊富な多様性が現れる所以である。一方、等質量の正負荷電粒子のみから構成される特別なプラズマは、ペアプラズマと呼ばれる。ペアプラズマは正負荷電粒子の時空間スケールが等しく、粒子挙動に対称性があることに特徴がある。通常の電子-正イオンプラズマでは時空間的に全く独立した別々の集団的現象であったものが、ペアプラズマでは中間のハイブリッド的な領域へ縮退するという現象が現れる。ペアプラズマは粒子運動に関連した時空間対称性を有する独特の媒体として、世界的に注目されてきた。電子の反物質である陽電子と電子から成る電子-陽電子ペアプラズマの生成は行われたが、安定して生成・維持することが難しく、集団的現象の実験的解明は進んでいない。そこで、安定したペアプラズマを実現することが期待されている。

等質量の重い正負イオンから成るペアプラズマが、2000-2007年に安定して生成されてきた。低周波数帯の静電波に限定されているが、ペアプラズマの集団物性の一つとして波動伝搬特性が調べられた。電子-正イオンプラズマ中の電子プラズマ波とイオン音波は、周波数が2桁以上異なる独立したモードとして存在するが、ペアプラズマでは縮退して各モードの周波数が近接するようになる。理論的に存在しないとされるモード間の周波数帯において、後進波(位相速度 >0 、群速度 <0)が安定に存在することが実験的に明らかとなった。その後、後進波について理論的に検討された研究論文が発表されている。多様性を含む電子-正イオンプラズマであっても、円柱磁化プラズマの静電電子波(TG波)など、後進波の存在は限られている。メタマテリアルの分野で注目されている電磁波の後進波は、電極構造の工夫により誘電率と透磁率が負の状態の伝搬モードである。透明マントに代表される応用が期待されており、活発に研究開発が行われている。体系化された電子-正イオンプラズマ中の波動伝搬、シース、遮蔽などの基本的な集団物性が、ペアプラズマ中ではどのように変化するのか、といった理論、シミュレーション研究は進展しており、論文は既に多数発表されている。これらの成果に対して、実験により検証することが求められている。さらに、後進波のように予想されていなかった新たなモードを、実験的に発見することも期待されている。

2. 研究の目的

等質量の正負イオンは、少なくとも電子2個分の質量誤差がある。電子と陽電子ほど高精度の等質量ではないため、電子-陽電子ペアプラズマと区別するため、正負イオンから構成されるペアプラズマは、ペアイオンプラズマと呼ばれる。等質量の重い正負イオンから構成されるペアイオンプラズマは、電磁場に対するイオンの応答速度が非常に遅く、取り扱える集団的現象として低周波数の線形的静電現象に限定されるという問題点がある。そこで、あらゆるイオンの中で最も質量が小さい、原子状水素の正負イオン(H^+ , H^-)から構成されるペアイオンプラズマの実現に取り組んできた。このようなペアイオンプラズマによって、ペアプラズマ物性を実験的に解明しようとする研究グループは、世界的に見て申請者らのみであり、学術的に独自性のある研究アプローチであるといえる。これまでに、電子はほぼ含まれないが、分子状正イオンが含まれるイオン性プラズマの生成には成功しているが、原子状水素正負イオンのみから成る水素ペアイオンプラズマは実現できていない。水素ペアイオンプラズマの実現を目指すことと、理論研究等で予測されている集団物性を実証することが研究目的である。

水素イオン性プラズマを生成する過程で、負イオンが局所空間において崩壊するという現象が明らかになった。電子や中性ガスとの衝突による一般的な負イオン崩壊は、状況から考えにくいことから、別の崩壊機構の存在が考えられる。様々な実験結果を考察する中で、正イオンと負イオンとの間に働くクーロン力と遠心力が釣り合った、古典力学的安定な回転対構造が形成されるという仮説を立てるに至った。電磁場などの外部要因がこの回転対構造に与えられると、正

負イオンが電磁場から受ける力は反対方向なので、正負イオンは互いに離れようとする。電子親和準位を回る付着電子は 0.75 eV 程度以上のエネルギーが与えられると脱離するため、正イオンに引かれて脱離して、負イオンが崩壊すると予想している。相対速度が小さく、質量に近い正負イオンが近接して存在すると、この回転対構造が形成され得ると考えている。ケプラーの法則として知られる天体の公転運動において、重力とクーロン力は数学的に平行した議論ができるため、重力をクーロン力に置き換えた正負荷電粒子対の回転運動があり得ることは広く知られている。しかし、片方が電子で、原子核の周りを電子が回る原子のような場合には、電子から電磁波が放射されない量子力学的な安定性が要求される。よって、一般的に電子との組み合わせでは、回転対構造は形成されないが、電子の代わりに高質量の負イオンとの組み合わせならば、電磁波放射がないと考えられる。イオン半径の小さい正イオンとの組み合わせならば、回転の重心が各々の原子核に近く、熱擾乱エネルギーに対して比較的大きなクーロン力が働いて、安定した回転対構造が維持され得る、とする仮説である。電子を持たない陽子のイオン半径は特に小さく、陽子とほぼ等質量の負イオン H^- との組み合わせならば、 H^+-H^- 回転対構造（イオン連星系）が存在可能かもしれない。これは共有電子による $H^+-2e^-+H^+$ の水素分子 H_2 構造とは全く異なる。このようなイオン連星系である、回転対構造の存在実証をすることも研究目的である。

3. 研究の方法

本研究で実施する項目は(1)~(3)で、その方法について述べる。

(1) 原子状水素正負イオンのみから成るイオン系のペアプラズマの実現

水素ペアイオンプラズマを実現するための課題は、プラズマ密度の向上と分子状正イオン生成抑制である。表面で生成された負イオンを加速することによって崩壊は避けられるが、水素イオン性プラズマの密度が大幅に減少する。負イオンを崩壊させずに、プラズマ密度を向上させるために、放電プラズマから低速/高速の正イオンを同時に供給して、負イオン生成しつつ、密度減少を抑制する。また、放電領域のプロトン比を高めて、分子状正イオン H_2^+ と H_3^+ の密度をできる限り低減させる。

(2) 水素ペアイオンプラズマ中の線形静電波とパルス等の非線形波の伝搬特性を検証

従来よりも高周波数帯 (< 1 MHz) までの波動伝搬特性を明らかにする。C₆₀ ペアイオンプラズマで存在が明らかになった後進波が、水素ペアイオンプラズマでも存在することを確認する。電圧追従特性が良く、密度変化が急峻にできるならば、パルス波やショック波などの非線形波の伝搬特性についても明らかにする。

(3) 負イオンの局所空間における崩壊機構の解明

磁場や電場の印加、遠赤外線から可視光までの異なる波長の光照射など、外部要因を付加することによって、仮説の回転対構造を選択的に破壊して、負イオン崩壊が促進されるかを調べる。高周波電場の印加によって、特定の周波数で共鳴崩壊するか調べて、回転対構造の回転周波数の同定を試みる。また、負イオン単独の光脱離波長との違いに注目して、回転対構造の結合エネルギーの同定を試みる。

4. 研究成果

【水素イオン性プラズマの高密度化】

水素ペアイオンプラズマの実現に向けて、ドライバープラズマの改善に取り組んだ。エンドプレートに附属する形で小型の水素プラズマ（ドライバープラズマ）を生成して、主放電プラズマのターゲットプラズマへ正イオンを加速入射することができるようになった。ここで、フィラメント支持ロッドの水冷却、放電体積の増加といった改良によって、ドライバープラズマ密度が増加したため正イオンビーム電流が増加して、分子状正イオンを含む水素イオン性プラズマ密度の向上に成功した。また、正イオンビームエネルギーを決めるドライバープラズマ電圧と負イオンを引出す制御グリッド電圧を制御パラメータとして、水素イオン性プラズマ密度と負イオン崩壊について詳細に調べた。正イオンビームエネルギーよりも高い制御グリッド電圧範囲において、負イオン崩壊が抑制されつつ、密度の高い水素イオン性プラズマが実現された。2次元コンターマップで詳細に示せるようにしたところ、制御グリッド電圧がドライバープラズマ電圧の 1.6 倍程度で、最適条件は線形に比例することが明らかになった。また、負イオン生成するプラズマグリッド電極を通過した正イオンビームエネルギー分布を測定したところ、ターゲット

プラズマ中の低エネルギー正イオンのエネルギー幅に比べて、ビーム成分のエネルギー幅は3倍程度広く、ターゲットプラズマを横切る際にエネルギー散乱していることが明らかになった。

【プロトン比の向上】

ドライバープラズマを大型化して、より高密度の水素プラズマ生成を行った。主放電プラズマと同じサイズの水素プラズマを生成して、金属メッシュ(分離グリッド)を介してタンデム接続させた装置を整備した。ドライバープラズマ電位を正電位にすると、分離グリッド近傍のシースによって加速された正イオンが、ターゲットプラズマへ入射されるが、プロトン比の変化はほとんど見られなかった。一方、ドライバープラズマ電位を負電位にすると、電子がターゲットプラズマへ入射されて、バルマー系列の発光強度は35%増加し、ターゲットプラズマ密度は10%増加した。入射電子量の増加に伴ってプロトン比は1%程度増加したが、十分に改善されたとは言えない。分離グリッドを通過する電子はシースで抑制されており、ドライバープラズマを電子源として、より多くの電子を入射して解離・電離を促すことが必要である。また、放電に用いるフィラメントの太さから、最大放電電流の上限がある。フィラメントをより太くして、最大放電電流を増加させて解離・電離を促すことも必要と考えられる。

【負イオンの崩壊】

高周波電場を水素イオン性プラズマの局所領域へ印加して、回転対構造の共鳴的な破壊を試みた。3.5 MHz 近傍で負電流が増加して、負イオン崩壊による脱離電子を測定した兆候が得られた。しかし、正イオン電流も増加していることから、高周波電場によって負イオン崩壊したとは明言できない。次に、光吸収による回転対構造の破壊を試みた。水素イオン性プラズマへLEDを用いて赤外領域(940 nm, 1.3 eV)の光照射を行った。光照射すると、プローブの正飽和電流はあまり変化しないが、負飽和電流は若干増加した。この波長帯では、Hが光脱離するため、回転対構造が崩壊したとはいえない。次に、可視光である数eV程度の光子を照射しても、明確な崩壊は確認されなかった。LEDを用いたので光子束密度は低いとはいえ、数eV程度以下の波長帯の光照射によって、回転対構造が崩壊したとは明確には言えないことが分かった。次に、水素プラズマをアルミへ照射しても、その表面の仕事関数は4eV程度と大きく変化しないことがin-situ分析で確認された。負イオンの生成は仕事関数にあまり依存しておらず、仕事関数は比較的高いことから、負イオンが表面で生成されていない可能性がある。これは表面で生成された負イオンによって、回転対構造が形成され得るとの仮説に疑問を投げかけることになる。崩壊によって脱離電子が現れるため、回転対構造に替わる何か崩壊しやすい構造体がないかを検討した。アルミと水素の化合物である AlH_4^- という分子が存在して、 AlH_3^+ とHがクーロン結合したような構造をしていることが分かった。この水素イオン性プラズマ中にこの分子が存在するか、崩壊による脱離電子が現れるか、などを実証することは、今後の課題である。

【波動伝搬特性の解明】

水素イオン性プラズマを形成可能な条件を満たす正イオンビームエネルギーの範囲において、円環状電極によって密度変調により静電波を励起した。励起電極近傍における10 kHz~1 MHzの分散関係を測定した。進行波(位相速度が正值)、逆進行波(位相速度が負値)、後進波(群速度が負値)が存在して、それらモードの周波数帯や減衰率は、入射正イオンエネルギーに依存していることが明らかになった。また、波動励起電圧とプローブ正負電流との間には、周波数に依存して位相ずれが生じており、容量結合または誘導結合の励起特性があることも明らかになった。波数が負値となり、外部励起波動にも関わらず遠方より励起源に近づいて伝搬する逆進行波は、物理的に説明がつかない。波数が負値となる原因を解明するには至らなかったが、そのような不可解な現象が、水素イオン性プラズマ中に存在することを明らかにできたことは、大きな進歩だと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Oohara W., Kaji T., Hirose K., Fujii M., Watano R., Watai M., Hiraoka Y., Yoshida M.	4. 巻 10
2. 論文標題 Role of deflection magnetic field in hydrogen ionic plasma formation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 095006 ~ 095006
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0020697	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 Yoshida M., Watano R., Morinaga Y., Kamikawa T., Oohara W.	4. 巻 28
2. 論文標題 Extraction of negative hydrogen ions produced with aluminum plasma grid	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 033512 ~ 033512
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0038262	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 Oohara W., Fujii M., Watai M., Hiraoka Y., Egawa M., Morinaga Y., Takamori S., Yoshida M.	4. 巻 9
2. 論文標題 Generation of hydrogen ionic plasma superimposed with positive ion beam	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 085303 ~ 085303
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.5109805	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 -

〔学会発表〕 計45件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 弘瀬和正, 藤井征志, 瀧本康平, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 進行波と逆進行波が伝搬する水素イオン性プラズマ
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第24回支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中陸太, 綿野稜眞, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 膜厚の異なる参加アルミニウムの仕事関数に及ぼす水素プラズマ照射の影響
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第24回支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 紀幸志郎, 丸崎優太, 前田哲志, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 アルミニウムプラズマグリッドを通過した水素負イオンのエネルギー分析
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第24回支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 瀧本康平, 加治龍矢, 弘瀬和正, 藤井証志, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 大口径テーパ構造のアルミニウムプラズマグリッドを用いた水素イオン性プラズマの生成
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第24回支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 前田哲志, 紀幸志郎, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 タンデム型水素プラズマ源のプロトン比最大条件の探索
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第24回支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 弘瀬和正, 藤井征志, 瀧本康平, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 水素イオン性プラズマにおける後進波の周波数帯と振幅の関係
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第37回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 紀幸志郎, 丸崎優太, 前田哲志, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 水素プラズマへ入射された高エネルギー正イオン成分のエネルギー散乱
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第37回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中陸太, 綿野稜眞, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 水素プラズマ照射が酸化アルミニウムの仕事関数へ及ぼす影響
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第37回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 瀧本康平, 加治龍矢, 弘瀬和正, 藤井征志, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 大口径水素イオン性プラズマの生成
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第37回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 前田哲志, 紀幸志郎, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 金属グリッドで仕切られたタンデム型プラズマ源によるプロトン比制御
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第37回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加治龍矢, 濱元康平, 藤井征志, 渡井雅巳, 綿野稜眞, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 偏向磁場印加された金属表面近傍の水素イオン性プラズマ
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第23回支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 白石崇, 前田哲志, 綿野稜眞, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 酸化アルミニウム膜の水素プラズマ照射による導電性の発現
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第23回支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤井征志, 弘瀬和正, 平岡勇人, 渡井雅巳, 加治龍矢, 綿野稜眞, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 水素負イオンの崩壊条件と積極的な崩壊
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第23回支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中陸太, 平松幸己, 綿野稜眞, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 水素プラズマ照射に伴うアルミニウム仕事関数の変化
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第23回支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 弘瀬和正, 藤井征志, 平岡勇人, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 正イオンビームを重畳した水素イオン性プラズマ中の後進波
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第23回支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 綿野稜眞, 森永悠太, 紀幸志郎, 白石崇, 藤井征志, 加治龍矢, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 アルミニウム製プラズマグリッドから引出される水素負イオンの最大電流密度
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第23回支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 弘瀬和正, 藤井征志, 平岡勇人, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 水素イオン性プラズマにおける分散関係に及ぼす正イオンビームの影響
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第36回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田雅史, 大原渡, 小島有志, 平塚淳一, 梅田尚孝, 市川雅浩, 柏木美恵子
2. 発表標題 セシウム挙動モデルを用いた負イオン源内の安定運転条件の検討
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第36回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中陸太, 平松幸己, 綿野稜眞, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 水素プラズマ照射された酸化アルミニウム仕事関数のその場分析
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第36回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 綿野稜眞, 森永悠太, 藤井征志, 白石崇, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 水素負イオン電流密度を最大化する条件探索
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第36回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤井征志, 弘瀬和正, 平岡勇人, 渡井雅巳, 加治龍矢, 綿野稜眞, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 高密度水素イオン性プラズマ生成に最適な負イオン引出し
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第36回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加治龍矢, 濱元康平, 藤井征志, 渡井雅巳, 綿野稜眞, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 金属表面磁場によって保護される水素イオン性プラズマ
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第36回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 弘瀬和正, 藤井征志, 平岡勇人, 渡井雅巳, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 水素イオン性プラズマにおける軸対称励起電極による静電波の分散関係
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 弘瀬和正, 平岡勇人, 藤井征志, 江川正樹, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 水素イオン性プラズマの斜め方向へ伝搬する静電波
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第22回支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 平岡勇人, 藤井征志, 弘瀬和正, 江川正樹, 渡井雅巳, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 軸方向伝搬する静電波の分散関係へ正イオンビーム重畳が及ぼす影響
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第22回支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林大晃, 綿野稜眞, 白石崇, 巽優祐, 渡井雅巳, 藤井柁志, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 偏向磁場付制御グリッドを介して引出された水素負イオンの二次元分布
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第22回支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加治龍矢, 弘瀬和正, 渡井雅巳, 平岡勇人, 藤井柁志, 巽優祐, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 金属電極孔近傍の水素イオン性プラズマ分布
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第22回支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤井柁志, 平岡勇人, 弘瀬和正, 江川正樹, 巽優祐, 小林大晃, 白石崇, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 制御グリッド孔を通過した水素負イオン崩壊の解明
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第22回支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 綿野稜眞, 森永悠太, 白石崇, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 偏向磁場配位一定でAIプラズマグリッド孔へ印加した負イオン引出電場分布の最適化
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第22回支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 白石崇, 森永悠太, 小林大晃, 綿野稜眞, 渡井雅巳, 藤井証志, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 正イオンビーム重畳による水素負イオン引出電流の増加
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第22回支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森永悠太, 綿野稜眞, 白石崇, 渡井雅巳, 高森暁, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 水素負イオン生成量が最大となるプラズマグリッド材質
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第22回支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡井雅巳, 平岡勇人, 藤井証志, 巽優祐, 高森暁, 森永悠太, 白石崇, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 高周波電場による水素負イオンの崩壊
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第22回支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田 雅史, 森永悠太, 加美川俊満, 平岡勇人, 綿野稜眞, 大原渡, QSTグループ
2. 発表標題 孔内表面生成法で生成した水素負イオンの高効率引出し
3. 学会等名 平成30年度 核融合科学研究所共同研究 負イオン研究会「負イオンの基礎と実践の最前線」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡井雅巳, 平岡勇人, 藤井征志, 巽優祐, 高森暁, 森永悠太, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 負イオン崩壊に関する粒子の検証
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第35回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤井征志, 平岡勇人, 江川正樹, 巽優祐, 小林大晃, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 負イオン崩壊を伴う水素イオン性プラズマの拡散
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第35回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 綿野稜眞, 森永悠太, 白石崇, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 プラズマグリッドへ印加した水素負イオン引出電場の効果
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第35回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加治龍矢, 弘瀬和正, 渡井雅巳, 平岡勇人, 大原渡, 小代田拓巳, 西村遼太郎, 原田真衣, 松原響子, 泉淳也
2. 発表標題 金属表面近傍に維持される水素イオン性プラズマ
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第35回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林大晃, 綿野稜眞, 白石崇, 巽優祐, 渡井雅巳, 藤井柁志, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 偏向磁場付制御グリッドを介して引出された水素負イオン分布
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第35回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 白石崇, 森永悠太, 小林大晃, 綿野稜眞, 渡井雅巳, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 正イオンビーム重畳時の水素負イオン質量分析
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第35回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森永悠太, 綿野稜眞, 白石崇, 渡井雅巳, 高森暁, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 水素負イオン生成量が最大となる条件探索
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第35回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 平岡勇人, 藤井柁志, 江川正樹, 渡井雅巳, 吉田雅史, 大原渡
2. 発表標題 水素イオン性プラズマにおける静電波の分散関係
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第35回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田雅史, 大原渡, 小島有志, 平塚淳一, 梅田尚孝, 市川雅浩, 柏木美恵子
2. 発表標題 負イオン源内の運転条件最適化に向けたセシウム挙動モデルの構築
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第35回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Yoshida, W. Oohara, A. Kojima, M. Ichikawa, J. Hiratsuka, M. Kashiwagi, and N. Umeda
2. 発表標題 Evaluation of the temperature dependence of the Cesium deposition on the plasma grid in the JT-60 negative ion source
3. 学会等名 The 6th International Symposium on Negative Ions, Beams and Sources (NIBS '18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤井 証志, 平岡 勇人, 江川 正樹, 渡井 雅巳, 巽 優祐, 吉田 雅史, 大原 渡
2. 発表標題 水素イオン性プラズマ中における局所負イオン崩壊条件の解明
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 平岡 勇人, 藤井 証志, 江川 正樹, 渡井 雅巳, 巽 優祐, 吉田 雅史, 大原 渡
2. 発表標題 負イオン崩壊を抑制した水素イオン性プラズマの波動伝搬
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018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	吉田 雅史 (Yoshida Masafumi) (80638825)	山口大学・大学院創成科学研究科・助教 (15501)	

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