

平成 30 年 5 月 18 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03757

研究課題名(和文) 原子状水素ペアイオンプラズマの実現と集団的物性の検証

研究課題名(英文) Realization of atomic hydrogen pair-ion plasma and verification of the collective properties

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) 15,100,000円

研究成果の概要(和文)：二成分のエネルギーを持つ水素正イオンを、アルミニウム製プラズマグリッドに照射して、その引出孔内で負イオンを生成した。続く制御グリッドによって、通過したイオンのエネルギーを制御しつつ、電子を偏向除去した。負イオンは、低エネルギー正イオンが負イオン化して生成され、局所空間において崩壊することが明らかになった。正イオン加速電圧と制御グリッド電圧の調整によって、負イオン崩壊せずに正負イオンから成るイオン性プラズマを実現できた。静電波の励起・伝搬をさせることはできたが、負イオン崩壊を伴っている。崩壊させる要因は電場と磁場の印加であることは明らかになったが、崩壊する物理的機構は明らかになっていない。

研究成果の概要(英文)：Positive hydrogen ions with two component energies were irradiated on an aluminum plasma grid to produce negative ions in the extraction apertures. The energy of passing ions was adjusted by the subsequent control grid and electrons were deflected and removed by a magnetic field applied. It became clear that negative ions are produced by negative ionization of low energy positive ions and collapse in local space. By adjusting the positive-ion acceleration voltage and the control-grid voltage, the ionic plasma consisting of only positive and negative ions was able to be realized without collapse of negative ions. Although the electrostatic waves were able to be excited, negative ions collapsed. The cause of collapse seemed to be the application of electric and magnetic fields, but the physical mechanism of collapse has not been elucidated.

研究分野：プラズマ工学

キーワード：ペアイオンプラズマ プラズマ・核融合 水素負イオン

1. 研究開始当初の背景

通常のプラズマは電子と正イオンから構成されており、その質量の大きな違いが荷電粒子運動に関連した時空間的な階層構造を生み出し、非線形性・多様性が豊富に現れる所以である。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。粒子挙動の時間的・空間的スケールが等しいことから集団的現象の縮退が現れるなど、粒子運動に関連した時空間対称性を有する、この独特の媒体が世界的に注目されてきた。

これまでに電子の反物質である陽電子を用いた、電子-陽電子ペアプラズマの生成が試みられた。プラズマ振動周期より短い時間スケールでポジトロニウム化(中性化)や対消滅(光子化)により荷電粒子が消滅して、プラズマの安定生成が難しく、プラズマ集団的物性解明の能動実験を行うには至っていない。しかし、体系化された通常プラズマの集団的物性との違いを示すペアプラズマの理論・シミュレーション研究論文は、既に多数発表されている。ここで、実験的に安定なペアプラズマを実現し、理論等で予想されている集団的物性を実証することが期待されている。

申請者は等質量の正負イオンのみから成るペアプラズマの生成と、その集団的物性の解明に取り組んできた。イオン種としてフラーレン(C_{60})、環状電子ビーム、磁気フィルター効果などを利用することにより、 C_{60} ペアイオンプラズマの生成に成功した。引き続き、線形静電波の伝搬特性を解明して、理論的に予測されていない後進波等も発見した。しかし、 C_{60} の質量数が極めて大きい(720 amu)ために、電磁場に対する時間的な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ている。電磁場に対する応答特性を向上させて、電磁波を含む高周波数帯の線形波や非線形波を取り扱い可能とするため、あらゆるイオンの中で最も質量が小さい原子状水素イオン(H^+ , H^-)を導入すればよいと考えた。

2. 研究の目的

電子が存在せず H^+ と H^- のみから成る水素ペアイオンプラズマを実現することが第一の目的である。また、広範囲にわたる周波数領域において、ペアプラズマ集団的物性の実験検証を行う。静的特性として静電遮蔽やシースを含む電位構造形成、また動的特性として kHz から MHz の周波数帯における線形/非線形プラズマ波動の特性解明を行うことが第二の目的である。

3. 研究の方法

ラインカスプ磁場付き直流アーク放電により水素プラズマ ($n_e < 10^{11} \text{ cm}^{-3}$) を生成する。負イオンを生成しやすいアルミニウム Al で製作された、9 個の引出孔を持つプラズマグリッド(Al-PG)に対して、放電プラズマの

正イオンを照射して、プラズマ支援触媒イオン化(孔内表面生成法)により負イオンを生成する。続く制御グリッド(CG)に印加された静電場によってイオンエネルギーを制御する。また、CG 電極には磁場が印加されており、電子を偏向除去できる。CG 電極を通過したプラズマは、径方向への発散損失を低減させるために、8 極のラインカスプ磁場が印加された内径 155 mm のステンレス円筒内へ導かれる。静電波の励起をする場合には、CG 電極を通過後すぐに、内直径 80 mm の円筒励起電極も設置している。この励起電極には、プラズマ損失を低減させるため、周方向に 6 極のカスプ磁場が印加されている。励起電極に正弦波電圧を印加して、静電波の励起を行う。

プラズマの計測は、半径中心で軸方向へ掃引することができるラングミュアプローブまたはディスクプローブによって測定を行う。CG 電極を通過したプラズマに含まれるイオン種を測定する場合には、磁場偏向型の質量分析器を用いる。

4. 研究成果

ラインカスプ磁場で閉じ込められた、熱陰極直流アーク放電で生成された水素プラズマを、厚さのあるアルミニウム製のプラズマグリッド(Al-PG)へ照射して水素負イオンを生成した。制御グリッド(CG)電極に印加された偏向磁場を横切る過程で電子を除去して、正イオンと負イオンから成るイオン性プラズマを生成することができた。

ラングミュアプローブを軸方向へ掃引することにより、放電プラズマから下流域のイオン性プラズマまでのプラズマ分布を測定した。CG 電極近傍の磁場が印加されている領域から無磁場領域へイオン性プラズマが拡散する際に、負イオンの一部が局所空間で崩壊するという新たな現象が見出された。ステンレス円筒内側壁近傍に印加したラインカスプ磁場によって、イオン性プラズマを維持したままプラズマ損失を減らすことができたことが明らかになった。ここで電子や中性粒子との衝突によって負イオン崩壊するのではなく、正イオンが関与して崩壊が発生していると予想されるが、具体的な崩壊機構は明らかになっていない。当初予想されなかった現象が発見できたことは進歩と言えるが、ペアイオンプラズマ生成という観点では望ましくない現象である。

原子状水素正負イオン、不純物イオン、電子がプラズマ中に含まれる割合を調べるために、小型電磁石(直径 10 cm、長さ 5 cm、鉄心直径 3 cm)を用いた磁場偏向型質量分析器を開発した。水素ガス圧が 0.1 Pa のとき、正イオンは H_3^+ と H^+ から成り、特に H_3^+ が多い。イオン種は水素ガス圧に依存しており、高速電子によって初めに H_2^+ が生成されて、中性分子 H_2 との衝突を経て H_3^+ へ変換している。負イオン化する正イオンは、照射エネルギーが 10 eV 未満の低エネルギーであること

が明らかになった。

イオン性プラズマ中の一部の負イオンが、下流域の局所空間において崩壊する条件を調べた。自由空間へのプラズマ拡散に伴う場合や、プラズマに強い電場または磁場を印加した場合に崩壊する。ここで、正負イオンの相対速度が小さい場合に崩壊しており、イオンの加減速電極電圧を適切に選べば、崩壊を抑制できることが明らかになった。しかし、負イオン化する照射正イオンは低エネルギーであることから、負イオン加速に伴い正イオンが減速・反射されて、プラズマ密度減少が顕著になる問題が発生した。

これまでに生成していた放電プラズマは、ターゲットプラズマと呼んでいる。体積が1/4程度のドライバープラズマを別途生成して、分離メッシュで両プラズマを隔てている。ドライバープラズマ電位を正電位にすると、正イオンが分離メッシュ近傍のシースで加速されて、ターゲットプラズマへ入射される。数eVと数十eV以上の二成分のエネルギーを持つ正イオンがAl-PGへ照射される。正イオンビーム電流は低エネルギー正イオン電流の10%未満にも関わらず、CG電極を通過するプラズマは、正イオンビームエネルギーとCG電極電圧に強く依存する。CG電極電圧

正イオンビーム加速電圧 > 0 V の場合、負イオンを加速して、正イオンビームの一部を静電反射させると、負イオンの崩壊が抑制され、さらにイオン性プラズマ密度は数十倍程度と大幅に増加させることに成功した。

負イオンが崩壊する機構について検討した。電子や中性ガスとの衝突による崩壊とは考えにくい。負イオン単独に、電場や磁場を印加しても崩壊しないことはよく知られている。このプラズマで特徴的なのは、正イオンと負イオンが混在していることである。等質量異符号の H^+ と H^- が、クーロン力と遠心力の釣り合いによって回転対構造を形成しているという仮説を立てた。宇宙において、重力と遠心力の釣り合いによって回転対構造を形成する連星が発想の基になっている。この回転対構造の結合力は、水素原子の電子と陽子の間の結合力 (13.6 eV) より、はるかに弱いはずである。回転対構造に電場または磁場が印加されると、正負イオンに働くクーロン力またはローレンツ力は逆向きで、正負イオンが引き離される方向に力が働いて、回転対構造が破壊されると考えている。正イオンが離れる時に、負イオンの付着電子を脱離させて、結果的に負イオンが崩壊したように測定されると考えている。負イオンを引出し加速すると負イオン崩壊が抑制されるのは、この回転対構造の形成が阻害されるためだと予想している。回転対構造の存在を実証するためには、回転周波数と一致する変動電場を印加して共鳴的に破壊する方法や、特定波長の光を照射して光吸収によって破壊させる方法などが考えられる。時間の都合で、この実証実験を実施するには至らなかった。

負イオン崩壊や分子状正イオンの存在など、現状では理想とする水素ペアイオンプラズマにはなっていない。しかし、正負イオンから成るイオン性プラズマにおける静電波の励起方法の検討、および波動の測定手法を確立させるために、静電波の励起・伝搬実験を行った。密度変調させる励起電極がメッシュのようにプラズマを横切る場合には、電圧条件に依らず負イオン崩壊する、メッシュ表面で負イオンが生成される、密度が減少するなど、不都合な点がある。そこで、プラズマが内側を通過する円筒励起電極に正弦波電圧を印加することによって、密度変調を起こして静電波を励起させることに成功した。

上記の円筒励起電極には、6極のカスプ磁場が印加されている。このカスプ磁場は、プラズマが円筒励起電極に触れて損失することを防ぐための磁場である。波動を励起すると電子が空間中に発現するため、イオン性プラズマの波動伝搬特性とはいえない、という問題があった。軸方向プラズマ分布を調べると、円筒励起電極近傍で負イオンが崩壊して電子が発現していた。負イオン崩壊は、変動電圧の振幅や周波数などに依存するが、それよりもプラズマ損失を防ぐために印加しているカスプ磁場が、最も負イオン崩壊に影響を与えていることが明らかになった。時間の都合で、カスプ磁場無しで静電波の励起・伝搬特性を測定するには至らなかった。

研究期間を通じて、新たに得られた知見をまとめると、次の通りである。

- ◆ 低エネルギー (数 eV) の水素正イオンが負イオン化すること
- ◆ 局所空間において負イオンが崩壊すること
- ◆ 生成された負イオンを引出し加速すると、崩壊を抑制できること
- ◆ 負イオン化する低エネルギー正イオン以外に、高エネルギー (数十 eV 以上) 正イオンを重畳させると、イオン性プラズマ密度を1桁以上増加させることができること
- ◆ 波動励起する電極に、磁場を印加してはならないこと
- ◆ 負イオン崩壊は、正イオンと共存することが鍵であり、正負イオンの回転対構造の形成に関係する、という仮説を立てるに至った

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計8件)

W. Oohara, H. Yokoyama, S. Takamori, T. Kamikawa, and N. Anegawa, Negative Hydrogen Ions Extracted from Metal Grids and an Ionic Plasma owing to Diffusion, Physics of Plasmas, 査読有, Vol. 24, Issue 2, 2017, 023509-1-4

DOI: 10.1063/1.4976985

S. Takamori, M. Watai, Y. Morinaga, H. Kobayashi, M. Yoshida, W. Oohara, Mass Spectrometry of Hydrogen Ions Extracted from Metal Grid Surface, Proceedings of Plasma Conference 2017, 査読無, 23P33-1-2
Y. Tatsumi, M. Watai, H. Kobayashi, M. Egawa, Y. Hiraoka, M. Yoshida, W. Oohara, Improvement of Hydrogen Ionic Plasma Density Owing to Irradiation of Positive Ions with Binary Energy Distribution, Proceedings of Plasma Conference 2017, 査読無, 23P34-1-2

M. Egawa, Y. Hiraoka, N. Anegawa, M. Watai, Y. Tatsumi, M. Yoshida, W. Oohara, Properties of Electrostatic-Wave Propagation in Hydrogen Ionic Plasma with Suppressed Negative-Ion Collapse, Proceedings of Plasma Conference 2017, 査読無, 2017, 23P35-1-2

M. Watai, S. Takamori, Y. Tatsumi, M. Yoshida, W. Oohara, Separation between Charged and Neutral Particles Using Electric Sector, Proceedings of Plasma Conference 2017, 査読無, 23P37-1-2

Y. Morinaga, T. Kamikawa, Y. Hiraoka, M. Yoshida, W. Oohara, A. Kojima, M. Ichikawa, and M. Kashiwagi, Dependence of Negative Hydrogen Ion Production on Plasma Grid Material, Proceedings of Plasma Conference 2017, 査読無, 23P38-1-2

M. Yoshida, W. Oohara, A. Kojima, J. Hiratsuka, N. Umeda, M. Ichikawa, and M. Kashiwagi, Property of adsorption/desorption of Cs in the negative ion source, Proceedings of Plasma Conference 2017, 査読無, 2017, 23P51-1-2

W. Oohara, N. Anegawa, M. Egawa, K. Kawata, and T. Kamikawa, Hydrogen Ionic Plasma Generated using Al Plasma Grid, Physics of Plasmas, 査読有, Vol. 23, Issue 8, 2016, 083518-1-4

DOI: 10.1063/1.4960826

[学会発表](計42件)

大原 渡, 吉田 雅史, 水素負イオンの崩壊条件,平成29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,2017年12月26日,核融合科学研究所(土岐市)

高森 暁,渡井 雅巳,森永 悠太,小林 大晃,吉田 雅史,大原 渡,高エネルギー水素正イオンから負イオン生成される機構,プラズマ・核融合学会九州・沖縄・山口支部第21回支部大会論文集,2017年12月17日,佐賀大学本庄キャンパス(佐賀市)

巽 優祐,江川 正樹,渡井 雅巳,小林 大晃,平岡 勇人,吉田 雅史,大原 渡,水素負イオン崩壊条件の探索,プラズマ・核

融合学会九州・沖縄・山口支部第21回支部大会論文集,2017年12月17日,佐賀大学本庄キャンパス(佐賀市)

江川 正樹,藤井 柁志,平岡 勇人,姉川 伸季,渡井 雅巳,巽 優祐,吉田 雅史,大原 渡,水素イオン性プラズマ中の波動伝搬における負イオン崩壊の影響,プラズマ・核融合学会九州・沖縄・山口支部第21回支部大会論文集,2017年12月16日,佐賀大学本庄キャンパス(佐賀市)

小林 大晃,平岡 勇人,高森 暁,森永 悠太,渡井 雅巳,加美川 俊満,吉田 雅史,大原 渡,Alプラズマグリッドを通過したプラズマの質量分析,プラズマ・核融合学会九州・沖縄・山口支部第21回支部大会論文集,2017年12月16日,佐賀大学本庄キャンパス(佐賀市)

平岡 勇人,小林 大晃,高森 暁,江川 正樹,姉川 伸季,渡井 雅巳,巽 優祐,吉田 雅史,大原 渡,負イオン崩壊した水素イオン性プラズマの質量分析,プラズマ・核融合学会九州・沖縄・山口支部第21回支部大会論文集,2017年12月16日,佐賀大学本庄キャンパス(佐賀市)

渡井 雅巳,高森 暁,平岡 勇人,小林 大晃,巽 優祐,吉田 雅史,大原 渡,静電セクターによる中性粒子の分離と荷電粒子の質量分析,プラズマ・核融合学会九州・沖縄・山口支部第21回支部大会論文集,2017年12月16日,佐賀大学本庄キャンパス(佐賀市)

森永 悠太,加美川 俊満,平岡 勇人,吉田 雅史,大原 渡,小島 有志,市川 雅浩,柏木 美恵子,水素負イオン生成するプラズマグリッド材質の効果,プラズマ・核融合学会九州・沖縄・山口支部第21回支部大会論文集,2017年12月16日,佐賀大学本庄キャンパス(佐賀市)

吉田 雅史,森永 悠太,加美川 俊満,平岡 勇人,大原 渡,小島 有志,市川 雅浩,柏木 美恵子,セシウムフリー負イオン生成に向けた孔内表面生成法による負イオン引出特性,第33回九州・山口プラズマ研究会,2017年11月11日,長崎につしよつかん(長崎市)

大原 渡,高森 暁,加美川 俊満,巽 優祐,姉川 伸季,江川 正樹,吉田 雅史,金属表面を反射した水素イオンの質量/エネルギー分析,日本物理学会第72回年次大会,2017年3月20日,大阪大学豊中キャンパス(大阪府)

江川 正樹,姉川 伸季,巽 優祐,加美川 俊満,高森 暁,吉田 雅史,大原 渡,Alプラズマグリッドを用いて生成された水素イオン性プラズマ,日本物理学会第72回年次大会,2017年3月20日,大阪大学豊中キャンパス(大阪府)

加美川 俊満,巽 優祐,江川 正樹,姉川 伸季,高森 暁,吉田 雅史,大原 渡,Alプラズマグリッドから水素負イオンの引

- 出特性, プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第 20 回支部大会, 2016 年 12 月 17 日, 九州大学伊都キャンパス(福岡市)
- 高森 暁, 加美川 俊満, 横山 浩之, 吉田 雅史, 大原 渡, 金属メッシュ表面で生成される水素負イオンの生成条件, プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第 20 回支部大会, 2016 年 12 月 17 日, 九州大学伊都キャンパス(福岡市)
- 姉川 伸季, 江川 正樹, 巽 優祐, 加美川 俊満, 吉田 雅史, 大原 渡, 水素イオン性プラズマ中の静電波励起伝搬特性, プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第 20 回支部大会, 2016 年 12 月 17 日, 九州大学伊都キャンパス(福岡市)
- 江川 正樹, 姉川 伸季, 巽 優祐, 加美川 俊満, 吉田 雅史, 大原 渡, PG/CG を通過した負イオン/電子分離計測, プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第 20 回支部大会, 2016 年 12 月 17 日, 九州大学伊都キャンパス(福岡市)
- 巽 優祐, 姉川 伸季, 江川 正樹, 加美川 俊満, 吉田 雅史, 大原 渡, 水素負イオンの局所崩壊条件の解明, プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第 20 回支部大会, 2016 年 12 月 17 日, 九州大学伊都キャンパス(福岡市)
- 加美川 俊満, 巽 優祐, 江川 正樹, 姉川 伸季, 竹田 敬, 大原 渡, AI プラズマグリッドにおける低エネルギー水素正イオンの負イオン化, プラズマ・核融合学会 第 33 回年会, 2016 年 11 月 30 日, 東北大学青葉山キャンパス(仙台市)
- 高森 暁, 加美川 俊満, 横山 浩之, 大原 渡, 金属メッシュで生成される水素負イオンと照射正イオンの質量分析, プラズマ・核融合学会 第 33 回年会, 2016 年 11 月 30 日, 東北大学青葉山キャンパス(仙台市)
- 吉田 雅史, 加美川 俊満, 平岡 勇人, 森永 悠太, 大原 渡, 柏木 美恵子, 小島 有志, 市川 雅浩, セシウムフリー負イオン生成に向けた孔内表面生成法のビーム適用可能性について, プラズマ・核融合学会 第 33 回年会, 2016 年 11 月 30 日, 東北大学青葉山キャンパス(仙台市)
- 加美川 俊満, 巽 優祐, 江川 正樹, 姉川 伸季, 竹田 敬, 高森 暁, 大原 渡, 水素負イオンと電子の偏向磁場による分離計測, 第 18 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム, 2016 年 11 月 19-20 日, 山口大学工学部キャンパス(宇部市)
- ②① 姉川 伸季, 江川 正樹, 巽 優祐, 加美川 俊満, 大原 渡, 水素イオン性プラズマ中で負イオン崩壊しない密度変調法の調査, 第 18 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム, 2016 年 11 月 19-20 日, 山口大学工学部キャンパス(宇部市)
- ②② 高森 暁, 加美川 俊満, 横山 浩之, 大原 渡, バケツ型水素プラズマ源から引出された正イオンの質量・エネルギー分析, 第 18 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム, 2016 年 11 月 19-20 日, 山口大学工学部キャンパス(宇部市)
- ②③ 江川 正樹, 姉川 伸季, 巽 優祐, 加美川 俊満, 大原 渡, ラインカスプ磁場で閉じ込められた水素イオン性プラズマ, 第 18 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム, 2016 年 11 月 19-20 日, 山口大学工学部キャンパス(宇部市)
- ②④ 巽 優祐, 姉川 伸季, 江川 正樹, 加美川 俊満, 大原 渡, 制御グリッドを通過した水素負イオンの崩壊, 第 18 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム, 2016 年 11 月 19-20 日, 山口大学工学部キャンパス(宇部市)
- ②⑤ 大原 渡, 竹田 敬, 加美川 俊満, 横山 浩之, 河田 晃佑, 中村 将, 武田 俊明, 前谷 祐亮, 竹田 敬, 高森 暁, 姉川 伸季, 江川 正樹, 巽 優祐, 林 智成, AI プラズマグリッド孔で生成される水素負イオンのエネルギー分析, 日本物理学会 第 71 回年次大会, 2016 年 3 月 19 日, 東北学院大学泉キャンパス(仙台市)
- ②⑥ 姉川 伸季, 江川 正樹, 巽 優祐, 竹田 敬, 加美川 俊満, 大原 渡, 水素イオン性プラズマにおける負イオンの安定閉じ込め, 日本物理学会 第 71 回年次大会, 2016 年 3 月 19 日, 東北学院大学泉キャンパス(仙台市)
- ②⑦ 横山 浩之, 高森 暁, 竹田 敬, 大原 渡, 金属グリッドで生成された水素負イオンの質量分析, プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第 19 回支部大会, 2015 年 12 月 19 日, 熊本大学くすのき会館(熊本市)
- ②⑧ 加美川 俊満, 竹田 敬, 姉川 伸季, 大原 渡, AI プラズマグリッド近傍で崩壊する水素負イオン, プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第 19 回支部大会, 2015 年 12 月 19 日, 熊本大学くすのき会館(熊本市)
- ②⑨ 竹田 敬, 加美川 俊満, 横山 浩之, 姉川 伸季, 大原 渡, AI プラズマグリッド孔内を通過した負イオン質量スペクトル, プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第 19 回支部大会, 2015 年 12 月 20 日, 熊本大学くすのき会館(熊本市)
- ③⑩ 大原 渡, 竹田 敬, 横山 浩之, 姉川 伸季, 加美川 俊満, 巽 優祐, 江川 正樹, 高森 暁, 林 智成, 負イオン生成における Cs フリー化の試み, プラズマ・核融合学会 第 32 回年会, 2015 年 11 月 24 日, 名古屋大学(名古屋市)
- ③⑪ 竹田 敬, 加美川 俊満, 武田 俊明, 横山 浩之, 姉川 伸季, 大原 渡, AI プラズマグリッドを用いた Cs フリー水素負イオン生成, プラズマ・核融合学会 第 32 回年会, 2015 年 11 月 24 日, 名古屋大学(名古屋市)
- ③⑫ 加美川 俊満, 竹田 敬, 林 智成, 姉川 伸

- 季, 大原 渡, AI プラズマグリッド孔内外におけるプラズマ分布, プラズマ・核融合学会 第 32 回年会, 2015 年 11 月 24 日, 名古屋大学 (名古屋市)
- ③③ 姉川 伸季, 河田 晃佑, 江川 正樹, 巽 優祐, 加美川 俊満, 竹田 敬, 大原 渡, 水素イオン性プラズマ中の負イオン崩壊, プラズマ・核融合学会 第 32 回年会, 2015 年 11 月 26 日, 名古屋大学 (名古屋市)
- ③④ 横山 浩之, 竹田 敬, 高森 暁, 林 智成, 前谷 祐亮, 大原 渡, プラズマ支援触媒イオン化で生成された負イオンの質量分析, プラズマ・核融合学会 第 32 回年会, 2015 年 11 月 26 日, 名古屋大学 (名古屋市)
- ③⑤ 林 智成, 横山 浩之, 前谷 裕亮, 加美川 俊満, 大原 渡, Ni グリッドを用いた水素イオン性プラズマ生成, 平成 27 年度 (第 66 回) 電気・情報関連学会 中国支部連合大会, 2015 年 10 月 17 日, 山口大学 (宇部市)
- ③⑥ 加美川 俊満, 竹田 敬, 林 智成, 姉川 伸季, 大原 渡, AI プラズマグリッドによって生成される水素イオン性プラズマ, 平成 27 年度 (第 66 回) 電気・情報関連学会 中国支部連合大会, 2015 年 10 月 17 日, 山口大学 (宇部市)
- ③⑦ 姉川 伸季, 河田 晃佑, 江川 正樹, 巽 優祐, 加美川 俊満, 竹田 敬, 大原 渡, 水素イオン性プラズマの軸方向分布, 平成 27 年度 (第 66 回) 電気・情報関連学会 中国支部連合大会, 2015 年 10 月 17 日, 山口大学 (宇部市)
- ③⑧ 横山 浩之, 竹田 敬, 高森 暁, 林 智成, 前谷 祐亮, 大原 渡, 磁場偏向型質量分析器の開発と水素正イオン構成比率の分析, 平成 27 年度 (第 66 回) 電気・情報関連学会 中国支部連合大会, 2015 年 10 月 17 日, 山口大学 (宇部市)
- ③⑨ 竹田 敬, 加美川 俊満, 武田 俊明, 横山 浩之, 姉川 伸季, 大原 渡, AI プラズマグリッドを通過したイオンの質量分析, 平成 27 年度 (第 66 回) 電気・情報関連学会 中国支部連合大会, 2015 年 10 月 17 日, 山口大学 (宇部市)
- ④⑩ 大原 渡, Cs フリー表面生成法によるイオン性プラズマの生成, 平成 27 年度 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会「微粒子プラズマ物理に基づいた新規ナノ材料創成」, 2015 年 8 月 31 日, 東北大学青葉山キャンパス (仙台市)
- ④⑪ 竹田 敬, 加美川 俊満, 武田 俊明, 横山 浩之, 姉川 伸季, 大原 渡, AI プラズマグリッド孔内で生成された負イオンの質量分析, 平成 27 年度 核融合科学研究所共同研究 負イオン研究会「負イオンとビーム/科学と技術の協奏」, 2015 年 9 月 25 日, 核融合科学研究所 (土岐市)
- ④⑫ 大原 渡, 竹田 敬, 横山 浩之, 姉川 伸季, 加美川 俊満, 林 智成, 巽 優祐, 江川 正樹, 高森 暁, プラズマグリッド孔内

外のイオン性プラズマ分布, 平成 27 年度 核融合科学研究所共同研究 負イオン研究会「負イオンとビーム/科学と技術の協奏」, 2015 年 9 月 25 日, 核融合科学研究所 (土岐市)

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

吉田 雅史 (Yoshida, Masafumi)

山口大学・大学院創成科学研究科・助教
研究者番号: 80638825

(4) 研究協力者

竹田 敬 (Takeda, Takashi)

横山 浩之 (Yokoyama, Hiroyuki)

姉川 伸季 (Anegawa, Nobuki)

加美川 俊満 (Kamikawa, Toshimitsu)

林 智成 (Hayashi, Tomonari)

巽 優祐 (Tatsumi, Yusuke)

江川 正樹 (Egawa, Masaki)

高森 暁 (Takamori, Satoru)

渡井 雅巳 (Watai, Masami)

森永 悠太 (Morinaga, Yuta)

小林 大晃 (Kobayashi, Hiroaki)

平岡 勇人 (Hiraoka, Yuto)

山口大学・大学院創成科学研究科・大学院生