

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01074

研究課題名(和文) ポジトロニウムとポジトロニウム負イオンの基礎および応用研究の新展開

研究課題名(英文) New developments of fundamental and applied researches on positronium neutral atoms and positronium negative ions

研究代表者

長嶋 泰之 (Nagashima, Yasuyuki)

東京理科大学・理学部第二部物理学科・教授

研究者番号：60198322

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,300,000円

研究成果の概要(和文)：研究代表者が開発したポジトロニウム負イオン(陽電子1個と電子2個の束縛状態)の高効率生成技術を利用した研究を展開した。まず、エネルギー可変ポジトロニウムビームの高品質化を行った。この装置ではポジトロニウム負イオンを電場加速の後にレーザー光照射して電子を脱離させることによってエネルギー可変ポジトロニウムビームを生成する。本研究によって高品質ポジトロニウムビームを生成することに成功した。次にこれを用いてポジトロニウムの運動誘起共鳴の観測を行った。またポジトロニウム負イオンの束縛エネルギーを測定することにも成功した。いずれも世界初の研究であり、この分野では極めて大きな成果である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ポジトロニウム負イオンは最も単純な三体束縛状態であり、その特性を明らかにすることは基礎物理学的に重要である。これを目的として束縛エネルギーの計算など理論的な研究はかなり進んでいたが、生成効率が極めて低かったため、実験による研究はほとんど行われていなかった。本研究で独自のポジトロニウム負イオン高効率生成技術を駆使して束縛エネルギーが初めて測定されたことは、この分野にとって大きな成果である。また本研究では高品質エネルギー可変ポジトロニウムビームが得られた。これを用いたポジトロニウム運動誘起共鳴の観測も大きな成果である。今後はこのビームを利用した固体表面の解析も可能になると期待される。

研究成果の概要(英文)：We have developed researches using the high-efficiency generation of positronium negative ions (bound state of one positron and two electrons) developed by the principal investigator. First, the quality of the variable energy positronium beam was improved. In this system, an energy-tunable positronium beam is generated by irradiating accelerated positronium negative ions with laser light to photodetach electrons. This study succeeded in producing a high quality positronium beam. Next, using this beam, the motion-induced resonance of positronium was observed for the first time. We also succeeded in measuring the binding energy of positronium negative ions for the first time. Both are extremely successful achievements in this field.

研究分野：量子ビーム

キーワード：ポジトロニウム ポジトロニウム負イオン 光脱離 ビーム 束縛エネルギー 共鳴

1. 研究開始当初の背景

電子の反粒子である陽電子が金属や半導体の物性を測定するためのプローブとして利用できることは、古くから知られている。単色のエネルギー可変ビームにして用いれば、固体表面近傍の研究や深さ方向の格子欠陥分布の測定などが可能である。気体分子と衝突させて衝突断面積を測定する研究などにも用いられ、基礎から応用まで様々な成果が得られている。また陽電子は電子と束縛して水素原子様の束縛状態であるポジトロニウムを形成することがあり、それに注目した研究も展開されている。ポジトロニウムは短い時間に構成要素である陽電子と電子が対消滅して複数本の線となってしまいが、消滅するまでは最も軽い中性原子として特有の振る舞いをする。このようなポジトロニウムも、固体や液体、あるいは気体のプローブとして、あるいは量子電磁気学検証の対象として利用されている。

ポジトロニウムはさらにもう1個の電子と束縛してポジトロニウム負イオンを形成することがある。ポジトロニウム負イオンは最も簡単な三体束縛状態であり、少数多体系の研究の一つとして重要である [1]。それだけでなくポジトロニウム負イオンは、生成が容易ではないエネルギー可変ポジトロニウム生成のための中間状態として利用することができる。すなわち、ポジトロニウム負イオンを生成して電場で加速した後に、レーザー照射によって電子1個を脱離させることで、エネルギー可変ポジトロニウムビームを生成することが可能となる。このようなポジトロニウムビームは、固体や薄膜の構造解析や原子や分子との相互作用の研究や量子電磁気学の検証など、種々の研究に利用できることが期待されている。

研究代表者は2008年に、アルカリ金属を蒸着したタングステンに低速陽電子ビームを入射すると、ポジトロニウム負イオンを効率よく生成できることを発見した [1-3]。こうして生成したポジトロニウム負イオンを、レーザー照射によってポジトロニウムと電子に分離することにも成功した [4]。さらにこれらの技術を用いて、新たなエネルギー可変ポジトロニウムビーム装置の開発に取り組んできた [5]。またその過程で、理論的に予測されていたポジトロニウム負イオンの共鳴状態の観測に成功するなど、重要な成果を挙げてきた [6]。

2. 研究の目的

本研究課題では、これまで開発してきたエネルギー可変ポジトロニウムビームを、高品質ポジトロニウムビームとして用いるための最適化を行った [7]。またこの装置を用いて、ポジトロニウムの運動誘起共鳴の観測を目指した [8]。さらに、光脱離を閾値付近で詳細に観測することにより、ポジトロニウム負イオンの束縛エネルギーを世界で初めて測定することにも挑戦した [9]。

3. 研究の方法

ポジトロニウム負イオンの生成には、ナトリウムを蒸着したタングステン薄膜を用いた。このような表面を用いると、高い効率 (~2%) でポジトロニウム負イオンが生成されることが分かっている。生成されたポジトロニウム負イオンを光脱離させるためには、高強度のレーザー光が

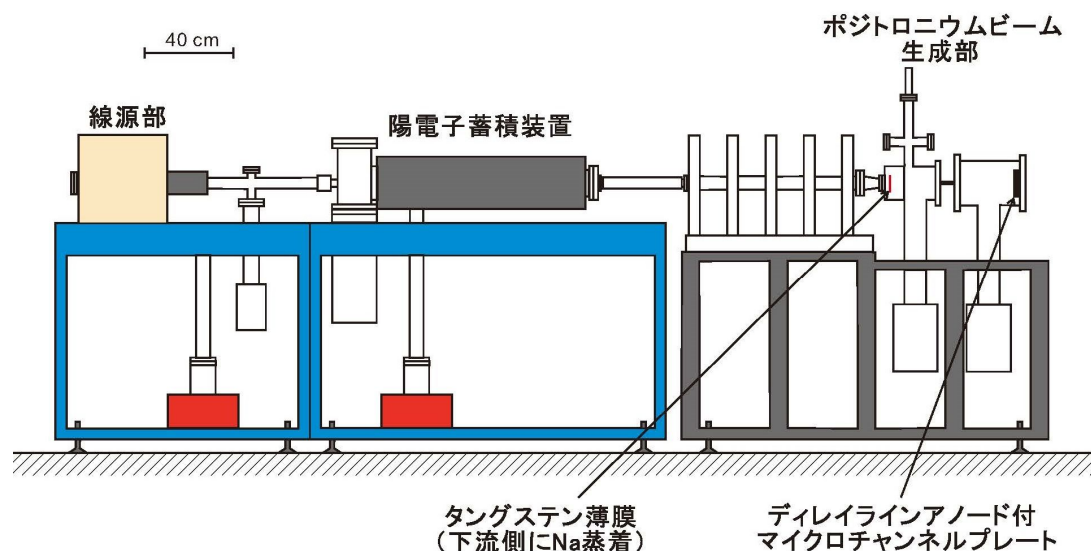


図1 ポジトロニウム負イオンの光脱離を利用したエネルギー可変ポジトロニウムビーム装置 [7]。

必要である。その光源として、Nd:YAG のパルスレーザーの基本波を用いた。Nd:YAG レーザーの基本波の光子のエネルギーは 1.165eV であり、ポジトロニウム負イオンの光脱離に利用することができる。またパルス状に得られるため光子の密度が高く、ほとんどすべてのポジトロニウム負イオンを光脱離させることが可能である。ただし、レーザーパルスと同期したパルス状陽電子ビームが必要である。そこで、線源から放出される陽電子パルスビームに成型するための陽電子蓄積装置 [10] を用いた。

図 1 に装置の全体図を示す。陽電子源は 740 MBq の密封 ^{22}Na 線源である。この線源は、世界で唯一の生産拠点である南アフリカの iThemba LABS から購入した。

線源から放出された高エネルギー陽電子を減速するために、固体ネオンを用いた。固体ネオンは、線源を冷却し表面にネオンを吹き付けることで成長させた。

低速陽電子は、Surko トラップと呼ばれる陽電子蓄積装置に蓄積される。この装置は California 大 San Diego 校の Clifford Surko 教授ら [11] によって開発されたもので、陽電子は磁場と電場で蓄積される。入射陽電子は希薄な窒素ガス中で窒素分子と衝突してエネルギーを失うことで蓄積が可能となる。こうして得られた蓄積陽電子から、幅数 ns、繰り返し周波数 50Hz のパルス状陽電子ビームが得られる。これを磁場レンズで収束させて厚さ 100nm のタングステン薄膜に入射する。薄膜の下流側にはナトリウムが蒸着されており、ポジトロニウム負イオンが効率よく放出される。ポジトロニウム負イオンを電場で加速した後にレーザー光照射によって電子を脱離させて、エネルギー可変ポジトロニウムビームを得る。ポジトロニウムは最下流に設置されたマイクロチャンネルプレートで検出される。このマイクロチャンネルプレートには遅延ラインアノードによる位置検出システムが取り付けられているため、ポジトロニウムビームの入射位置情報が得られる。

この装置を用い、次の 2 つの実験を行った。

(1) ポジトロニウムの運動誘起共鳴の観測 [8]

イオンや原子を光やマイクロ波で照射すると、電子遷移が起こる。イオンや原子を加速して一定の速度で周期的な静電場あるいは静磁場中を透過させても、光やマイクロ波で照射したときと同じように遷移が起こる。この現象はオコルコフ効果、コヒーレント共鳴励起、あるいは運動誘起共鳴と呼ばれ、イオンや原子中の電子のエネルギー準位を調べるために用いられる。同様な現象はポジトロニウムでも起こるはずであるが、高速で単色性のよいビームが得られたことがなかったため測定された例はない。

本研究課題では、ポジトロニウムの運動誘起共鳴を観測する実験を行った。注目した遷移は全スピンの 1 (スピン三重項状態) のオルソポジトロニウムと全スピン 0 (スピン一重項状態) のパラポジトロニウムとの間の遷移である。オルソポジトロニウムはパラポジトロニウムよりも $8.42 \times 10^{-4}\text{eV}$ だけエネルギーが高い。周波数にすると 203GHz であり、マイクロ波の照射でこの間の遷移が起こる。ただしこの遷移は禁制遷移であるため極めて効率が悪く、観測のためにはかなり強度の大きなマイクロ波源が必要である [12]。

本研究では、軟鉄板と銅板を交互に重ねてスリットを穿ち、永久磁石を取り付けてスリット内に周期的な静磁場を発生させた磁気格子を製作した。このスリットにエネルギー可変ポジトロニウムビーム装置からのオルソポジトロニウムを透過させ、下流に置かれたマイクロチャンネルプレートで検出した。その結果、オルソポジトロニウムが特定の速度でマイクロチャンネルプレートに届かなくなる様子が観測された。ポジトロニウムがマイクロチャンネルプレートで観測されなくなったのは、運動誘起共鳴によってパラポジトロニウムへの遷移が起こったことを示している。オルソポジトロニウムの寿命は 142ns であるのに対しパラポジトロニウムの寿命は 125ps で、パラポジトロニウムに遷移するとポジトロニウムは瞬く間に自己消滅するため、下流に置かれた検出器では検出されなくなる。

この実験により、ポジトロニウムで運動誘起共鳴が起こることが初めて示された。

(2) ポジトロニウム負イオンの束縛エネルギーの測定 [9]

ポジトロニウム負イオンの束縛エネルギー、すなわちポジトロニウムと電子の親和力は古くから計算され、数多くの結果が報告されている (表 1)。2005 年に Drake と Grigorescu [13] は、相対論効果、QED 効果、それにスピンの効果を考慮して束縛エネルギーの計算を行った。それによればパラポジトロニウムと電子の間の束縛エネルギーは $0.326\ 021\ 01(2)\text{ eV}$ であった。このように詳細な理論計算が行われているにも関わらず、測定は行われたことがなく、実験の結果が待たれていた。

本研究では、Nd:YAG レーザーを OPO/OPA レーザーに置き換えて閾値付近で波長を走査し、マイクロチャンネルプレートで検出されるポジトロニウムの数の光子エネルギー依存性を測定した。その結果、レーザー光の光子が特定のエネルギーを閾値としてポジトロニウムの数が増加を始める様子が観測された。その閾値からポジトロニウム負イオンの束縛エネルギーの値は $(0.326\ 88 \pm 0.000\ 09(\text{stat}) \pm 0.000\ 10(\text{sys}))\text{ eV}$ と得られた。

上述の Drake と Grigorescu の計算結果にポジトロニウムの超微細構造分裂を加えると、オルソポジトロニウムと電子の間の束縛エネルギーとなる。その値は $0.326\ 862\ 17(2)\text{ eV}$ であり、

表 1 ポジトロニウムと電子の間の束縛エネルギーの理論計算値。表の一番下に、本研究課題の実験で得られた束縛エネルギーの値を示す。

Year	Authors	Binding energy	Method
1946	Wheeler	≥ 0.19 eV	Variational method
1946	Hylleraas	0.19eV	Variational method
1960	Kolos, Roothaan, et al.	0.011 9956 au	Variational method
1964	Frost, Inokuti et al.	0.012 0011 au	Variational method
1983	Bhatia, Drachman	0.012 005 057 au	Variational method
1993	Ho	0.012 005 070 232 9 au	Variational method
1999	Frolov	0.012 005 070 232 975 7 au	Variational method
2000	Korobov	0.012 005 070 232 980 107 7(3) au	Variational method
2005	Drake, Grigorescu [13]	0.012 005 070 232 980 107 69 (28) au	Variational method
		2.87×10^{-7} au	Relativistic correction
		0.75×10^{-7} au	QED correction
		$0.103\ 648\ 372(14) \times 10^{-4}$ au	Effect of spin
		0.011 981 051(1) au	Total (p-Ps - e ⁻)
		=0.326 021 13(3) eV	
		0.326 862 17(2) eV	Total (o-Ps - e ⁻)
2012	Blinov, Czarnecki	0.012 005(2) au	Dimensional scaling method
2015	Frolov	0.012 005 070 232 980 107 770 400 51 au	Variational method
2020	本研究 [9]	0.326 88 \pm 0.000 09(stat) \pm 0.000 10(sys)	Experiment (o-Ps - e ⁻)

我々の測定結果は測定の不確かさの範囲内で一致している。最初の理論計算から 74 年を経て初めて待望の測定値が得られ、その結果は近年の計算値と一致した。

4 . 研究成果

本研究課題では、以下の 3 つの成果が得られた。

- ポジトロニウム負イオンの光脱離を利用して得られるエネルギー可変ポジトロニウムビーム装置の最適化を行い、高品質ポジトロニウムビームを得ることに成功した [7]。この結果は米国の Review of Scientific Instruments 誌に掲載され、雑誌の表紙と featured として選ばれた。さらに American Institute of Physics の Scilight (ハイライト) に選ばれた。
- ポジトロニウムの運動誘起共鳴の観測に成功した [8]。この方法は今後、ポジトロニウムのさまざまなエネルギー準位の決定に利用できる可能性がある。
- ポジトロニウム負イオン中のポジトロニウムと電子の束縛エネルギーを初めて実験で決定した [9]。得られた Drake と Grigorescu による、相対論、QED、およびスピンの効果の補正を入れた理論計算の値と一致した。

参考文献

- [1] Y. Nagashima, Phys. Rep. **545**, 95 (2014).
- [2] Y. Nagashima, T. Hakodate, A. Miyamoto, and K. Michishio, New J. Phys. **10**, 123029 (2008).
- [3] H. Terabe, K. Michishio, T. Tachibana, and Y. Nagashima, New J. Phys. **14**, 105003 (2012).
- [4] K. Michishio, T. Tachibana, H. Terabe, A. Igarashi, K. Wada, A. Yagishita, T. Hyodo, and Y. Nagashima, Phys. Rev. Lett. **106**, 153401 (2011).
- [5] K. Michishio, T. Tachibana, R. H. Suzuki, K. Wada, A. Yagishita, T. Hyodo, and Y. Nagashima, Appl. Phys. Lett. **100**, 254102 (2012).

- [6] K. Michishio, T. Kanai, S. Kuma, T. Azuma, K. Wada, I. Mochizuki, T. Hyodo, A. Yagishita, and Y. Nagahsima, *Nat. Commun.* **7**, 11060 (2016).
- [7] K. Michishio, L. Chiari, F. Tanaka N. Oshima, and Y. Nagashima, *Rev. Sci. Instrum.* **90**, 023305 (2019).
- [8] Y. Nagata, K. Michishio, T. Iizuka, H. Kikutani, L. Chiari, F. Tanaka, and Y. Nagashima, *Phys. Rev. Lett.* **124**, 173202 (2020).
- [9] K. Michishio, S. Kuma, Y. Nagata, L. Chiari, T. Iizuka, R. Mikami, T. Azuma, and Y. Nagashima, *Phys. Rev. Lett.* **125**, 063001 (2020).
- [10] R. G. Greaves and J. Moxom, *AIP Conf. Proc.* **692**, 140 (2003).
- [11] C. M. Surko, M. Leventhal, and A. Passner, *Phys. Rev. Lett.* **62**, 901 (1989).
- [12] T. Yamazaki, A. Miyazaki, T. Suehara, T. Namba, S. Asai, T. Kobayashi, H. Saito, I. Ogawa, T. Idehara, and S. Sabchevski, *Phys. Rev. Lett.* **108**, 253401 (2012).
- [13] G. W. F. Drake and M. Grigorescu, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **38**, 3377 (2005).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Nagata Y., Michishio K., Iizuka T., Kikutani H., Chiari L., Tanaka F., Nagashima Y.	4. 巻 124
2. 論文標題 Motion-Induced Transition of Positronium through a Static Periodic Magnetic Field in the Sub-THz Region	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 173202-1, 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.124.173202	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 Michishio Koji, Kuma Susumu, Nagata Yugo, Chiari Luca, Iizuka Taro, Mikami Riki, Azuma Toshiyuki, Nagashima Yasuyuki	4. 巻 125
2. 論文標題 Threshold Photodetachment Spectroscopy of the Positronium Negative Ion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 063001-1, 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.125.063001	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 Yasuyuki Nagashima	4. 巻 238
2. 論文標題 Positronium Negative Ions: The Simplest Three Body State Composed of a Positron and Two Electrons	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 FB22 2018: Recent Progress in Few-Body Physics, Springer Proceedings in Physics book series	6. 最初と最後の頁 3-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Michishio K., Chiari L., Tanaka F., Oshima N., Nagashima Y.	4. 巻 90
2. 論文標題 A high-quality and energy-tunable positronium beam system employing a trap-based positron beam	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 023305-023305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5060619	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 Michishio Koji, Chiari Luca, Tanaka Fumi, Oshima Nagayasu, Nagashima Yasuyuki	4. 巻 7
2. 論文標題 Development of a high-brightness, energy-tunable positronium beam for surface scattering experiments	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011304-011304
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAPCP.7.011304	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24件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 三上力久, 永田祐吾, 長嶋泰之
2. 発表標題 ポジトロニウム干渉実験に向けた グラフェンの電子線回折スポットの加熱処理による尖鋭化
3. 学会等名 原子衝突学会第45回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長嶋泰之
2. 発表標題 低速陽電子ビーム技術の新展開
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 満汐孝治, 久間晋, 永田祐吾, Chiari Luca, 飯塚太郎, 三上力久, 東俊行, 長嶋泰之
2. 発表標題 ポジトロニウム負イオンのしきい光脱離の赤外レーザー分光
3. 学会等名 低速陽電子実験施設研究会 2021年2月 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永田祐吾、満汐孝治、飯塚太郎、鞠谷温人、L. Chiari、田中文、長嶋泰之
2. 発表標題 静的な周期磁場を通過するポジトロニウムの超微細構造の共鳴遷移
3. 学会等名 低速陽電子実験施設研究会2021年2月（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永田祐吾，三上カ久，長嶋泰之
2. 発表標題 運動誘起共鳴によるポジトロニウムの超微細構造共鳴遷移の周期数依存性
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会 2020年
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 満汐孝治，久間晋，永田祐吾，Chiari Luca，飯塚太郎，三上カ久，東俊行，長嶋泰之
2. 発表標題 ポジトロニウム負イオンのしきい光脱離分光実験
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会 2020年
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasuyuki Nagashima
2. 発表標題 Positron surface processes - positronium negative ion emission and positron-annihilation-induced ion desorption from surfaces
3. 学会等名 15th International Conference of Computational Methods in Sciences and Engineering（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Nagashima, K. Michishio, L. Chiari, Y. Nagata, H. Terabe, S. Iida, F. Tanaka, T. Iizuka and N. Oshima
2. 発表標題 Progress in the study of energy tunable Ps beams employing the Ps- photodetachment technique (plenary)
3. 学会等名 15th International Workshop on Slow Positron Beam Techniques and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯塚太郎, 永田祐吾, 満汐孝治, 鞠谷温人, 田中文, L. Chiari, 長嶋泰之
2. 発表標題 運動誘起共鳴によるポジトロニウムの超微細構造遷移の観測実験
3. 学会等名 原子衝突学会第44回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永田祐吾, 満汐孝治, 飯塚太郎, 田中文, 鞠谷温士, Luca Chiari, 大島永康, 長嶋泰之
2. 発表標題 静周期磁場によるポジトロニウム超微細構造遷移の実験
3. 学会等名 京都大学複合原子力科学研究所専門研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuyuki Nagashima
2. 発表標題 Positronium negative ions: the simplest three body state composed of a positron and two electrons
3. 学会等名 XXII International Conference on Few-Body Problems in Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuyuki Nagashima
2. 発表標題 Ps and Ps- production using alkali-metal coated surfaces and its applications (plenary)
3. 学会等名 18th International Conference on Positron Annihilation, Orlando, USA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Michishio, L. Chiari, T. Tanaka, S. Kuma, T. Azuma, K. Wada, I. Mochizuki, T. Hyodo, A. Yagishita, Y. Nagashima
2. 発表標題 Laser spectroscopic studies on the positronium negative ion and its application to an energy-tunable positronium beam
3. 学会等名 18th International Conference on Positron Annihilation, Orlando, USA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Nagata, K. Michishio, L. Chiari, F. Tanaka, N. Ohshima, Y. Nagashima
2. 発表標題 Toward the observation of the hyperfine transition of positronium using a multi-layered transmission magnetic grating
3. 学会等名 18th International Conference on Positron Annihilation, Orlando, USA (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 永田祐吾、満汐孝治、飯塚太郎、田中文、鞠谷温士、Luca Chiari、大島永康、長嶋泰之
2. 発表標題 静周期磁場によるポジトロニウム超微細構造遷移の実験
3. 学会等名 京都大学複合原子力科学研究所専門研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 海和俊亮、岩森大直、飯田進平、望月出海、和田健、兵頭俊夫、長嶋泰之
2. 発表標題 N型Ge(111)からのポジトロニウム放出
3. 学会等名 京都大学複合原子力科学研究所専門研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuyuki NAGASHIMA, Koji MICHISHIO, Tsuneto KANAI, Susumu KUMA, Toshiyuki AZUMA, RIKEN, Ken WADA, Izumi MOCHIZUKI, Toshio HYODO and Akira YAGISHITA
2. 発表標題 Shape resonance of the positronium negative ion
3. 学会等名 XXX International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collision (ICPEAC2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasuyuki NAGASHIMA
2. 発表標題 Ps- beams and photodetachment spectroscopy (plenary)
3. 学会等名 XIX International Workshop on Low-Energy Positron and Positronium Physics (POSMOL2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasuyuki Nagashima
2. 発表標題 Experimental studies on Ps- for precision physics
3. 学会等名 Precision Physics, Quantum Electrodynamics and Fundamental Interactions (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 永田祐吾、満汐孝治、田中文、Luca Chiari、大島永康、長嶋泰之
2. 発表標題 透過型多層薄膜磁気格子によるポジトロニウム超微細構造の磁気共鳴観測の検討
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中文、満汐孝治、L. Chiar, 永田祐吾、大島永康、長嶋泰之
2. 発表標題 ポジトロニウム負イオンの光脱離におけるレーザ偏角依存性
3. 学会等名 京都大学原子炉実験所専門研究会「陽電子科学とその理工へ応用」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中拓也、海和俊亮、飯田進平、山下貴志、望月出海、兵頭俊夫、長嶋泰之
2. 発表標題 タングステ薄膜を用いた低エネルギーポジトロニウムの生成
3. 学会等名 京都大学原子炉実験所専門研究会「陽電子科学とその理工へ応用」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 満汐孝治、Luca Chiari、田中文、大島永康、長嶋泰之
2. 発表標題 ポジトロニウムビームを用いた表面散乱実験
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中文、満汐孝治、Luca Chiari、長嶋泰之
2. 発表標題 ポジトロニウム負イオンの光脱離におけるレーザー偏光の影響
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東京理科大学 理学部第二部物理学科/大学院理学研究科物理学専攻 長嶋研究室 https://www.rs.kagu.tus.ac.jp/ynagahp/
--

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	満汐 孝治 (Michishio Koji) (10710840)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・計量標準総合センター・主任研究員 (82626)	
研究分担者	Chiari Luca (Chiari Luca) (20794572)	千葉大学・大学院工学研究院・特任助教 (12501)	

	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
連携研究者	永田 祐吾 (Nagata Yugo) (30574115)	東京理科大学・理学部第二部・助教 (32660)	

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