

令和 2 年 4 月 29 日現在

機関番号：35403

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04978

研究課題名（和文）放射性セシウム高効率同位体分離のための励起状態衝突緩和の光制御の研究

研究課題名（英文）Laser control of collision relaxation of excited atoms for highly efficient isotope separation of radioactive cesium

研究代表者

松岡 雷士 (Matsuoka, Leo)

広島工業大学・工学部・准教授

研究者番号：50455276

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 15,400,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では原子の光励起状態の衝突緩和によって発生する光誘導ドリフトと呼ばれる現象を利用したセシウムの同位体分離法を開発するため、半導体レーザーを用いた分離試験システムの開発を行った。同時に関連する装置の高度化や現象の発生機構の解明のための研究・手法開発を行った。セシウムの光誘導ドリフト現象の実験的観測に成功し、理論的な研究では予測できなかった同位体分離効率の高さを実験的に実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

放射性廃棄物の地層処分への負担を軽減するためには、中性子照射等による放射性物質の無害化が有効である。ところが放射性セシウムに関しては有効な同位体分離技術が存在しないため、分離・処分シナリオ全体が影響を受けている。放射性セシウムの高効率分離の実現は、放射性廃棄物処分に関するロードマップを大きく転換させる可能性がある。セシウム原子の光誘導ドリフトはこれまでに観測された例がなく、本研究によってセシウムの高効率同位体分離実現の可能性が実験的に実証された。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed an isotope separation method for cesium using a phenomenon called light-induced drift, which is caused by collisional relaxation of the photo-excited state of atoms. We have developed a test system using diode lasers and studied for the improvement of related instruments and the mechanism of the phenomenon. We successfully observed the light-induced drift of cesium experimentally and demonstrated the high effectiveness of the isotope separation method that could have not been predicted by theoretical studies.

研究分野：原子分子物理

キーワード：原子・分子物理 反応・分離工学 半導体レーザー 核変換 数理物理

1. 研究開始当初の背景

放射性セシウム的一种である Cs-135 は半減期が 230 万年を超える長寿命核分裂生成物であり、その水溶性との相乗効果から地層処分における公衆被曝の主要因の一つとされている[1]。仮に Cs-135 を地層処分対象から除外出来れば、公衆被曝のリスクを二桁減少させられる試算が出されている。Cs-135 は中性子捕獲によって安定な Ba に核変換することが可能である。ところが安定同位体である Cs-133 が Cs-135 と混在している状態で中性子照射を行う場合、Cs-133 が優先的に中性子を捕獲して Cs-135 が逆に増加する。Cs-135 の核変換を実用化するためにはセシウムの同位体分離が必須の前処理となる。

Cs-133 と Cs-135 は質量数のみならず電子構造や核スピンの至るまで極めて性質が似ており、通常の化学的な手法では同位体分離が成立しない。レーザー同位体分離は同位体間の微小なエネルギー差を狙い撃つことによって、通常では不可能な同位体分離を成立させる可能性が誇示される。しかしながら現実には処理量の小ささがネックとなり、実用化は躊躇される。とりわけセシウムに関してはレーザーを用いたとしても微量の分離すら相当困難である。既往のレーザー分離法の大半は軽元素や極低温の重元素では成り立つが、重元素において少しでも温度が上がると破綻する。状況を打開するためには、極低温を脱して熱分布・熱平衡・高温の環境下で適用可能なレーザー分離法を開発する必要がある。

研究代表者は 1970 年代から 1980 年代にかけて盛んに研究された光誘導ドリフトと呼ばれる現象に着目した。光誘導ドリフトは原子の励起状態の衝突による速度緩和を利用する方法であり、これまでレーザー同位体分離で邪魔者とされていた原子間衝突を逆に積極的に利用する手法である。セシウムへの適用例は無かったが、ポピュレーション分布全体の運動を一齐に制御することが出来るため、他のレーザー法とは比較にならないほど高い処理量の同位体分離を実現できる可能性がある。またドリフトによって空間的な「分離」が即座に発生するため、中長期的な安定性にこだわらなければ、化学的な事後回収プロセスを設計する必要がない。

研究代表者は本研究の開始前にセシウム原子の光誘導ドリフトの理論研究を行った。第一原理計算によって算出した原子間ポテンシャルを用いてドリフトの平均速度の見積もりを行った結果、特定のレーザー波長において Cs-133 と Cs-135 が逆方向にドリフトすることを見出す結果を得た。しかしながら理論研究にはいくつもの肯定的仮定が含まれており、実現可能な環境におけるドリフト発生の可否、平均速度に含まれない効果による分離効率の低下などの懸念が存在した。実験によるセシウム原子の光誘導ドリフトの実証が急務となった。

2. 研究の目的

本研究は放射性セシウムのレーザー同位体分離の基盤となる光誘導ドリフトについて、基礎的な観点からの機構解明と応用的な観点からの技術開発の双方を目的とした。具体的には以下の三つの項目を設定した。

- (1) セシウム原子の光誘導ドリフトの実験的観測を行い、光誘導ドリフトによる放射性セシウム同位体分離の可能性について、放射能を使用しない範囲で実証を行う。
- (2) 光誘導ドリフトの駆動原理となる原子の速度変化衝突についての実験解析手法の開発を行い、衝突が支配的となる状況での原子制御と状態観測に関する学術的な基盤を構築する。
- (3) 光誘導ドリフト同位体分離の効率化に直接的・間接的につながる光関連技術の開発と高度化を行い、実用化のための技術基盤を構築する。

3. 研究の方法

- (1) セシウム原子の光誘導ドリフトを観測するための実験システムの開発を行った。光源は安価で小型の半導体レーザーとし、レーザーが入手しやすい D₂ 線 (852 nm) に波長を絞った。レーザーシステム開発に関する様々な試行錯誤を経て、最終的にはドリフト駆動用には分布帰還型レーザー (DFB レーザー) と外部共振器レーザー (ECDL) を一本ずつ使用するシステムとした。ドリフトを観測するためのセシウム封入容器については特に試行錯誤を重ねたが、最終的には直径 40 mm のガラス管を領域分割し、直径 5 mm の穴で領域間を接続する設計を用いた。光誘導ドリフトの発生と同時に出現するセシウム原子の発光を赤外線ビューアによる目視、および、赤外線カメラによって解析し、光誘導ドリフトの相対速度の計測と条件最適化を行った。レーザー波長の精細な計測のために D₂ 線に波長をロックした垂直共振器面発光レーザー (VCSEL) を絶対波長標準として利用した。
- (2) 原子の速度変化衝突の状況を観測することが可能な飽和吸収分光を中心技術とし、既に速度変化衝突が観測出来ていたアルゴンアークジェットプラズマとセシウム原子をターゲットとした速度変化衝突の実験と解析手法開発を行った。アルゴンは複雑な超微細構造を持たないため、単純なモデル原子として有効であった。飽和吸収スペクトルの取得と背景圧力依存性を実験的に取得し、数値計算を用いた解析を行った。速度変化衝突の影響下にある飽和吸収スペクトルの解析を行うため、粒子群最適化を用いたスペクトルフィッティング法の開発を行った。
- (3) 光誘導ドリフト周辺技術の開発を多角的な観点から実施した。密封したセシウム同位体を全光学的に定量分析可能な技術として、変調移行分光の実装を行った。変調移行分光のスペクトルについて、定量性と環境による鈍化の検証を行った。広帯域リボンレーザーを効

率的に生成するためのフィネス可変光干渉計の開発を行った。量子ウォークの考え方に基づく独自のコンセプトで干渉計を設計し、実装を行った。セシウム原子のリポンプや観測を効率的に行うためのシステムとして、安価な青色半導体レーザーシステムの開発と機能検証を行った。セシウム原子の衝突や光による状態制御の基礎となる理論研究・数値計算を行った。

4. 研究成果

- (1) セシウム原子の光誘導ドリフトの観測に成功した(図1)。セシウム原子の光誘導ドリフトは既往の報告がなく、本研究での観測が世界初となる。光誘導ドリフトが発生する圧力においては原子の粘性の効果が顕著となり、セシウム原子蒸気は細い管の中を移動できなくなる。また電子準位間遷移に共鳴するレーザー光が照射された場合、同一の原子が移動することなく光と相互作用し続ける状態になるため、非共鳴準位への滞留が一瞬で発生する。光誘導ドリフトが発生する条件下でセシウムのレーザー誘起蛍光を観測するためには、この二つの効果への対策が重要となった。セシウム原子がレーザー照射領域に移動できるように容器形状を工夫し、非共鳴準位への滞留を防止するためのリポンプレーザーを導入した。レーザー波長の変化に対応して方向と速度が変化する光誘導ドリフトを、まずは原子発光の目視観測で確認した。適切にドリフトが発生している条件下では逆方向にドリフトする原子は観測されず、原子集団のドリフト方向を完全に制御できていることが確認された。この観測結果は本手法によってほぼ完全に近い同位体分離が可能である事実を直接的に示唆している。さらに、ドリフト中の原子発光を結像して減衰距離を解析することにより、相対的なドリフト速度の評価を行った。系統的な実験によって、ドリフト速度が飽和するレーザー強度、バッファガス種とガス圧力に対するドリフト効率の変化に関するデータを取得した。ドリフト速度のレーザー波長依存性を詳細に取得し、理論研究では考慮されていなかった二本の狭帯域レーザーによるドリフトの効率的駆動について定量的な証拠を得た。

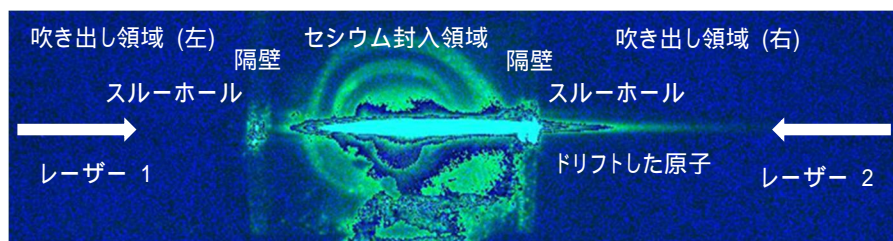


図1. キセノン中でのセシウム原子の光誘導ドリフト(右方向)

- (2) 原子間衝突による飽和吸収スペクトルの変化に関する系統的な数値計算によって、アルゴン原子に関して衝突パラメータとスペクトル形状の傾向を系統的に整理できる結果を得た。飽和吸収スペクトルは概ね5種類のパターンに分類可能であることがわかった。対象とした共鳴の上準位と下準位の衝突頻度が異なる場合の飽和吸収スペクトルの理論研究は前例がなく、本研究が初めてのものとなる。また実験スペクトルを数値計算にフィットする手段として粒子群最適化を利用した手法を開発した。まず数値計算で生成したテストスペクトルを用いて、効率的に最適解を探索する手法の開発を行った。局所最適解への収束を回避するためには、粒子群最適化の中での収束戦略を独自改良する必要があった。さらにセシウム原子に関して飽和吸収スペクトルの圧力依存性を取得した。しかしながら飽和の影響が大きく、直接的な情報の抜き出しは困難であったが、光誘導ドリフトが発生するよりも若干低い圧力においてセシウム原子が希ガスとどのように衝突しているのかを実験的に観測できる手段が開発できた。
- (3) セシウム原子の変調移行スペクトルを観測するシステムを作成した。合金蒸気源を用いてセシウムの蒸気密度を変化させて取得したスペクトルの形状により、原子間衝突の無い条件下では変調移行スペクトルに定量性があることを示すことが出来た。この過程で変調移行スペクトルにレーザー偏光依存性があり、鮮明なスペクトルを得るためには偏光の最適化が必要であることも明らかにした。またセシウム原子の計測領域のバッファガス圧力を上昇させたところ、明らかに二段階の鈍化プロセスが存在することが明らかになった。この鈍化の原因はまだわからないが、変調周波数の変更によって今後も研究を継続する。
 フィネス可変干渉計について、定常状態量子ウォークを実装する形で考案し、数値計算によってこの干渉計の機能と有効性を検証した。ECDLを用いて平板オプティクスを用いた簡易的な実装を行ったが、干渉計とフィネス可変機能の実証は出来たものの、空間モードの不一致により高いフィネスは得られなかった。また、光誘導ドリフト実験においてレーザーの広帯域化が最優先事項では無いことが明らかになったため、広帯域リポンプレーザーの開発は断念した。ただし、本干渉計は数学グループとの協働によって開発した実験装置として、数工連携の観点から一定の評価を得ることが出来た。
 市販の安価な青色半導体レーザーを利用してセシウムを検出・ポンプする実験を行った。近赤外の半導体レーザーと比して市販のレーザーそのままでは発振モードのスペクトルと

しての品質が悪く、簡易的な利用は困難であった。実験を通して青色半導体レーザーのナトリウム計測への応用を着想し、マレーシアの TNB Research Sdn. Bhd.との国際共同研究につながった。

セシウムレーザー同位体分離に関連する研究として、セシウム原子のヨウ化セシウム分子との交換反応、ルビジウム原子の光誘導ドリフト、光によって結合された量子準位ネットワークにおけるポピュレーション分布の局在化などについて共同研究を行った。光誘導ドリフト同位体分離の成立の可否を考察するための基盤となる理論的なデータを得ることが出来た。

<引用文献>

- [1] 「放射性廃棄物の分離変換」研究専門委員会、分離変換技術総論、日本原子力学会 (2016. 9) pp. 1-306.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kusano Y, Nishiya N, Matsuoka L	4. 巻 625
2. 論文標題 Development of a stretched absolute wavelength standard using dichroic atomic vapor spectroscopy towards observation of light-induced drift	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 012007 ~ 012007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1757-899X/625/1/012007	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 Lim Mooktzeng, Matsuoka Leo	4. 巻 -
2. 論文標題 Quantitative analysis and speciation of alkali metal emissions from biomass combustion in a 150 kWth furnace by optical emission spectroscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Communications	6. 最初と最後の頁 1 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00986445.2019.1647182	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 Nishiya Noritaka, Matsuoka Leo	4. 巻 47
2. 論文標題 Numerical Study of Change in Shape of Saturated Absorption Spectrum of Argon Arcjet Plasma by Strong Velocity-Changing Collisions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Plasma Science	6. 最初と最後の頁 1129 ~ 1133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TPS.2018.2864744	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 Kobayashi Takanori, Matsuoka Leo, Yokoyama Keiichi	4. 巻 1150
2. 論文標題 A quasiclassical trajectory calculation to compute the reaction cross section and thermal rate constant for the cesium exchange reaction $133\text{Cs} + 135\text{Cs} \rightarrow 133\text{Cs} + 135\text{Cs}$	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Computational and Theoretical Chemistry	6. 最初と最後の頁 40 ~ 48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.comptc.2019.01.008	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 Matsuoka L, Lavicka H	4. 巻 936
2. 論文標題 The continuous-time quantum walk with transition moments of the Gaussian distribution as a mathematical model of rotational excitation in molecules by an optical pulse	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012075 ~ 012075
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/936/1/012075	査読の有無 無
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 Matsuoka L., Nishiya N., Yuki K., Sonoyama Y.	4. 巻 12
2. 論文標題 Numerical study of collisional effects in saturated absorption spectrum of argon arcjet plasma	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 C11023 ~ C11023
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/12/11/C11023	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 Matsue Kaname, Matsuoka Leo, Ogurisu Osamu, Segawa Etsuo	4. 巻 6
2. 論文標題 Resonant-tunneling in discrete-time quantum walk	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Quantum Studies: Mathematics and Foundations	6. 最初と最後の頁 35-44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s40509-017-0151-9	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 -

〔学会発表〕 計32件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 21件)

1. 発表者名 松岡富士、草野雄也、吉村善治、中野圭視、西谷徳高、結城謙太、鈴木千尋
2. 発表標題 速度変化衝突が支配的な圧力でのセシウム原子のレーザー分光と運動制御
3. 学会等名 「プラズマ分光計測と原子分子素過程研究の融合最前線」 「原子分子データ応用フォーラムセミナー」 合同研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松岡 雷士、草野 雄也、西谷 徳高、吉村 善治、中野 圭視、後藤 仁志、溝口 亮、松下 智悟、結城 謙太、小林 孝徳
2. 発表標題 光誘導ドリフトによるセシウムの高効率同位体分離の安定同位体実験
3. 学会等名 日本原子力学会2020年春の年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Lim Mooktzeng, Matsuoka Leo
2. 発表標題 Quantitative Analysis and Speciation of Alkali Metal Emissions from Biomass Combustion in A 150 Kw Furnace by Optical Emission Spectroscopy
3. 学会等名 ENERGY SECURITY AND CHEMICAL ENGINEERING CONGRESS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Honoka Yokoro, Yuya Kusano, Noritaka Nishiya, Leo Matsuoka
2. 発表標題 Development of a finesse tunable resonator for massive population control of cesium atoms
3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Fuels and Energy (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keishi Nakano, Mooktzeng Lim, Leo Matsuoka
2. 発表標題 Utilization of blue diode laser for detection and control of the alkali metal atomic vapor
3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Fuels and Energy (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuya Kusano, Noritaka Nishiya, Leo Matsuoka
2. 発表標題 Development of an experimental system for velocity measurement of light-induced drift of cesium atoms
3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Fuels and Energy (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshiharu Yoshimura, Leo Matsuoka, Taiichi Shikama, Chihiro Suzuki, Shinichi Namba
2. 発表標題 Development of a laser system for spatially-resolved measurement of the parameter distribution in an arcjet plasma
3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Fuels and Energy (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Noritaka Nishiya, Leo Matsuoka
2. 発表標題 Numerical simulation of saturated absorption spectrum as a detection method of velocity-changing collisions
3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Fuels and Energy (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuya Kusano, Noritaka Nishiya, Leo Matsuoka
2. 発表標題 Development of a laser system for observation of light-induced drift of Cs atoms
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO Pacific Rim, CLEO-PR 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshiharu Yoshimura, Yutaro Sonoyama, Chihiro Suzuki, Leo Matsuoka
2. 発表標題 Visualization of a periodic structure in arcjet plasma by laser absorption spectroscopy
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO Pacific Rim, CLEO-PR 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuya Kusano, Noritaka Nishiya, Leo Matsuoka
2. 発表標題 Development of a stretched absolute wavelength standard using dichroic atomic vapor spectroscopy towards observation of light-induced drift
3. 学会等名 2019 the 3rd International Conference on Materials Engineering and Nano Sciences (ICMENS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Leo Matsuoka
2. 発表標題 Development of a Highly Efficient Laser-based Method of Radioactive Cs Isotope Separation Utilizing Light-induced Drift
3. 学会等名 2019 the 3rd International Conference on Materials Engineering and Nano Sciences (ICMENS 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松岡雷士
2. 発表標題 放射性セシウムの高効率レーザー同位体分離：原子法の新展開
3. 学会等名 日本原子力学会中国・四国支部 第7回通常支部大会・講演会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Noritaka Nishiya
2. 発表標題 Numerical simulation of saturated absorption spectroscopy of Argon arcjet plasma with the effect of velocity changing collision
3. 学会等名 The 1st International Symposium on Fuels and Energy (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuya Kusano
2. 発表標題 Dichroic atomic vapor spectroscopy of Cesium for development of laser system with widely tunable stabilized wavelength
3. 学会等名 The 1st International Symposium on Fuels and Energy (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshiharu Yoshimura
2. 発表標題 Development of a laser system for visualization of shock wave structure in arcjet plasma
3. 学会等名 The 1st International Symposium on Fuels and Energy (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yutaro Sonoyama
2. 発表標題 Spatially-resolved laser absorption spectroscopy of argon arcjet plasma
3. 学会等名 The 1st International Symposium on Fuels and Energy (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenta Yuki
2. 発表標題 Mathematical analysis of isotope-selective localization on rotational states in diatomic molecules induced by a train of optical pulses
3. 学会等名 The 1st International Symposium on Fuels and Energy (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 結城謙太
2. 発表標題 遷移行列の対角成分に由来する連続時間量子ウォークの局在化の数理解析
3. 学会等名 IMI 短期共同研究： レーザー同位体分離の実用化における量子ウォークの数理解析 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 L Matsuoka, H Lavicka
2. 発表標題 The continuous-time quantum walk with transition moments of the Gaussian distribution as a mathematical model of rotational excitation in molecules by an optical pulse
3. 学会等名 6th International Conference on Mathematical Modeling in Physical Sciences (IC-MSQUARE) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西谷徳高、松岡雷士
2. 発表標題 光誘起ドリフト発生条件における飽和吸収スペクトルの数値シミュレーション
3. 学会等名 日本原子力学会 中国・四国支部 第11回研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 草野雄也、西谷徳高、松岡雷士
2. 発表標題 光誘起ドリフト実験に向けた二色性原子蒸気分光法によるレーザー波長の広範囲安定化
3. 学会等名 日本原子力学会 中国・四国支部 第11回研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Leo Matsuoka, Noritaka Nishiy, Kenta Yuki, Yutaro Sonoyama
2. 発表標題 Numerical study of collisional effects in saturated absorption spectrum of Argon arcjet plasma
3. 学会等名 18th, Laser Aided Plasma Diagnostics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松岡雷士
2. 発表標題 量子ウォーク数理に基づいた光共振器の概念設計
3. 学会等名 5th Yokohama workshop in Quantum walks
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 結城謙太
2. 発表標題 連続時間量子ウォークとマシユ関数との対応
3. 学会等名 5th Yokohama workshop in Quantum walks
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉村 善治、園山 裕太郎、前田 佑一郎、西谷 徳高、草野 雄也、松岡 雷士
2. 発表標題 レーザー吸収分光によるアークジェットプラズマ中の原子速度分布の解析
3. 学会等名 Plasma Conference 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Leo Matsuoka, Yuya Kusano, Noritaka Nishiya
2. 発表標題 Utilization of a Blue Diode Laser for Visual Observation of Cesium Vapor
3. 学会等名 The 6th Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology - JCREN 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuya Kusano, Noritaka Nishiya, Kenta Yuki, Leo Matsuoka
2. 発表標題 Development of a laser system stabilized with dichroic atomic vapor spectroscopy toward isotope separation of radioactive cesium utilizing light-induced drift
3. 学会等名 The 6th Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology - JCREN 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Noritaka Nishiya, Leo Matsuoka
2. 発表標題 Numerical Study of Change in Shape of Saturated Absorption Spectrum of Argon Arc Jet Plasma by Strong Velocity-Changing Collisions
3. 学会等名 The 10th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (APSPT-10) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yutaro Sonoyama, Yoshiharu Yoshimura, Yuichiro Maeda, Chihiro Suzuki, Leo Matsuoka
2. 発表標題 Spatially resolved laser absorption spectroscopy of argon arcjet plasma
3. 学会等名 The 10th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (APSPT-10) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松岡雷士、園山裕太郎、西谷徳高、吉村善治、前田佑一郎、溝口亮、草野雄也、結城謙太
2. 発表標題 アークジェットプラズマの空間分解レーザー吸収分光
3. 学会等名 「原子分子素過程研究と受動・能動分光計測の高度化のシナジー効果によるプラズマ科学の新展開」「原子分子データ応用フォーラムセミナー」合同研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松岡雷士
2. 発表標題 原子力工学と量子ウォークのインタラクション
3. 学会等名 岡山-広島 解析・確率論セミナー 2018 (招待講演)
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
研究協力者	結城 謙太 (Yuki Kenta)		

6. 研究組織（つづき）

	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	小林 孝徳 (Kobayashi Takanori)		
研究協力者	西谷 徳高 (Nishiya Noritaka)		
研究協力者	草野 雄也 (Kusano Yuya)		
研究協力者	吉村 義治 (Yoshimura Yoshiharu)		
研究協力者	瀬川 悦生 (Segawa Etsuo)		
研究協力者	横山 啓一 (Yokoyama Keiichi)		
研究協力者	飯沼 昌隆 (Iinuma Masataka)		
研究協力者	リン モッツェン (Lim Mooktzeng)		

6. 研究組織（つづき）

	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	ラビチュカ ヒネック (Lavicka Hynek)		
研究協力者	四籠 泰一 (Shikama Taiichi)		
研究協力者	園山 裕太郎 (Sonoyama Yutaro)		
研究協力者	余頃 穂乃花 (Yokoro Honoka)		
研究協力者	中野 圭視 (Nakano Keishi)		