

令和 2 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H02881

研究課題名(和文)電子EDM探索のための冷却分子の研究

研究課題名(英文) Study of ultracold molecules toward the search of electron electric dipole moment

研究代表者

青木 貴稔 (Aoki, Takatoshi)

東京大学・大学院総合文化研究科・助教

研究者番号：30328562

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,600,000円

研究成果の概要(和文)：レーザー冷却技術を用いて原子・分子で電子の電気双極子能率(EDM)を 10^{-29} e cm まで測れば超対称性粒子の探索が可能である。そこで、我々は、強い内部電場0.8 GV/cmを持つLiSr分子実験を提案した。本研究では、原子数増大のため、レーザー冷却のリポンプ遷移の原子構造の解明、高安定なレーザー光源の開発、堅牢で高安定な波長変換システムの開発に成功した。理論計算により、LiSr分子の有効電場の精密な計算に成功し、2.0 GV/cmへと改善された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた成果は、第1には、レーザーシステムの高安定化である。レーザー冷却実験では、複数のレーザー光の周波数を、50億分の1以下のレベルで制御する必要がある。本研究では、波長497 nm(青緑色)のレーザー光は50億分の1以下、689 nm(赤色)のレーザー光は1兆分の1以下に制御することに成功した。また、理論計算により、LiSr分子を用いると電子EDMが、原子の場合と比べて2000倍以上に増幅されることを明らかにした。これらの技術と理論計算を融合させることで、今後、電子EDMの感度を向上させることができる。

研究成果の概要(英文)：Measurement of electron electric dipole moment (EDM) down to 10^{-29} e cm, using laser cooling technique of atoms and molecules, enables us to search for supersymmetry particles. Therefore, we proposed the LiSr molecule experiment with strong effective electric field of 0.8 GV/cm. In this work, we demonstrated the clarification of atomic structure due to the repumping transition for laser cooling, development of laser source with high stability, wave transformation system with robust and high stability, in order to increase the number of atoms. The precise theoretical calculations improved the effective electric field to 2.0 GV/cm.

研究分野：量子エレクトロニクス

キーワード：実験核物理 量子エレクトロニクス 原子・分子物理

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

レーザー冷却技術を用いて原子・分子で電子の電気双極子能率 (EDM) を 10^{-29} e cm まで測れば超対称性粒子の探索が可能である。そこで、我々は、強い内部電場 0.8 GV/cm を持つ LiSr 分子を生成し冷却トラップすることで、従来の分子 EDM 実験と比べて相互作用時間を 1000 倍へと改善し、電子 EDM 測定精度を飛躍的に向上させる方法を提案した。

我々の研究室では、Li 原子のレーザー冷却と、Sr 原子のレーザー冷却を行っている。Sr 原子のレーザー冷却はレーザー冷却で到達できる温度が極めて低いという利点がある一方、複数の波長の異なるレーザー光源が必要であり、堅牢なレーザーシステムの構築が急務であった。

2. 研究の目的

本研究では、レーザー冷却された Li 原子と Sr 原子から、レーザー光により LiSr 分子を生成し電子 EDM 探索を行うことを目指して、第 1 に、Sr 原子のレーザー冷却において原子数増大を目指したレーザーシステムの高安定化と周波数安定化。第 2 の目的として、Li 原子と Sr 原子から LiSr 分子生成を行う。第 3 の目的として、分子 EDM 理論の構築を行い、分子 EDM 実験の理論面からのサポートを行う。

3. 研究の方法

冷却分子生成のためには、光会合による分子生成や、生成後の分子の量子状態を制御するラマン遷移のレーザーなど複数のレーザー光源が必要である。しかし、配分された金額が申請時の計画から大幅に削減されていたため、2 年目に希望していた高額な光源は購入することができなかった。そのため、研究計画のうち、第 1 の目的である Sr 原子数増大のため、レーザー冷却光源の高安定化と周波数安定化に集中した。そのために、以下の研究を行った。

【実験】

(1) ホローカソードランプによる ^{87}Sr 原子レーザー冷却のリポンプ光 (497 nm) の周波数安定化を行う。

(2) レーザー光源の高安定化、堅牢化のために、従来のリットロー型 ECDL を干渉フィルターを用いたキャッツアイ型へ変更する。レーザーの周波数安定化のために、ホローカソードランプを用いた周波数安定化と、共振器を用いた周波数の安定化を行う。

(3) 波長 461 nm のレーザー冷却光源は、従来、第 2 次高調波発生においてリング共振器を使用していたため、アライメントに敏感であり、堅牢性や長期安定度に問題があった。そこで、リング共振器を必要としない PPLN 導波路を用いた方法へ変更する。また、波長 689 nm のレーザー冷却光源は、大出力化のために、従来のリットマン型からリットロー型へと変更した。689 nm 遷移は、自然幅が 7 kHz と細いため、リットロー型 ECDL のレーザー光を ULE 共振器を用いて線幅狭窄化を行う。

【新物理探索のために分子 EDM のための分子トラップ理論、EDM 実験と相補的なパリティの破れについて】

(4) 分子の光トラップの計算。基本対称性の実験方法の研究。パリティ非保存実験について、分担者の酒見先生、東工大の Das 先生、インドの Sahoo 先生、フランスの Kastberg 先生との国際共同研究。

【分子 EDM に関する理論研究】

(5) 分担者 梶田氏による分子遷移の理論研究

(6) 分担者 阿部氏による分子構造計算の理論研究を行う。

4. 研究成果

LiSr 分子 EDM 探索を目指して、本研究で得られた成果は、次の 6 つである。

我々は波長 689nm のブロード光レーザー冷却に成功しているが、安定な実験装置へと改善する必要がある。そこで、安定なレーザー光源作製を目指して、ホローカソードランプを用いた半導体レーザーの周波数安定化、干渉フィルター型 ECDL 作製、共振器を用いずに第 2 次高調波を発生する方法による光源開発を行った。

(1) ^{87}Sr のレーザー冷却のリポンプ遷移分光は、冷却原子を用いて行われた例があるが、直接の励起を観測する方法ではないため、分光データは限られていた。そこで我々は、ホローカソードランプを用いて、 ^{87}Sr の FM 分光を行った。これまで観測されていなかった超微細構造遷移を観測することができた (図 1)。この観

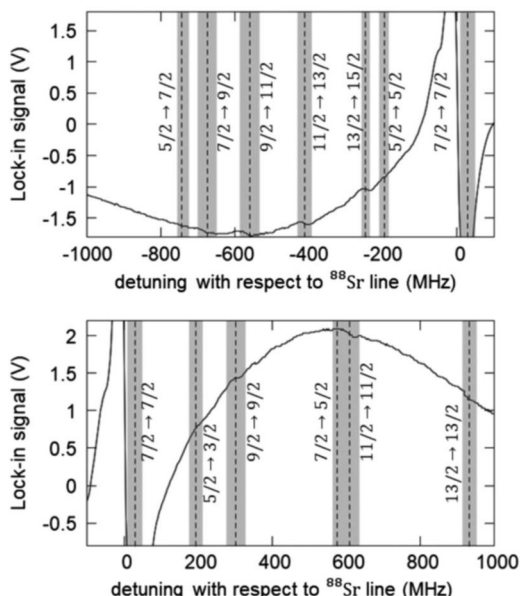


図 1 ^{87}Sr の超微細構造の観測結果

測結果から、磁気双極子と電気四重極の超微細構造定数を決定し論文にまとめた。

(2) 外部共振器型半導体レーザーは、従来はリットロー型が主流であったが、波長選択性や出射角はアライメントに敏感である。一方、干渉フィルター型 ECDL は、波長選択性は鈍感であり、キャッツアイ構造により出射角も安定である。そこで、干渉フィルター型 ECDL 作製し、環境変化に対して長期的に安定なシステムの構築を行った。

近年、ECDL の環境変化に対して、偏光信号を利用した安定化法が報告されている。そこで、我々は、干渉フィルター型 ECDL の偏光信号を利用した長期安定化に取り組んだ。また一般に、干渉フィルター型 ECDL は、リットロー型と比べて共振器長が長いため、モードホップフリー領域が狭くなる。我々は、まずリポンブ光源である 994 nm での製作を行い、シングルモード発振に成功した。そして、偏光信号を利用して、モードホップフリー領域を、24 GHz へ拡張することに成功した。これは、干渉フィルター型では世界最高である(図2)。これは、分子分光に必要な広大な周波数掃引をするために、重要である。

Sr のレーザー冷却のリポンブ光源である 497 nm の光に対して、ホローカソードランプを用いた DAVLL 分光により周波数安定化に成功した。また、原子セルに頼らず自作の共振器への周波数安定化も行った。

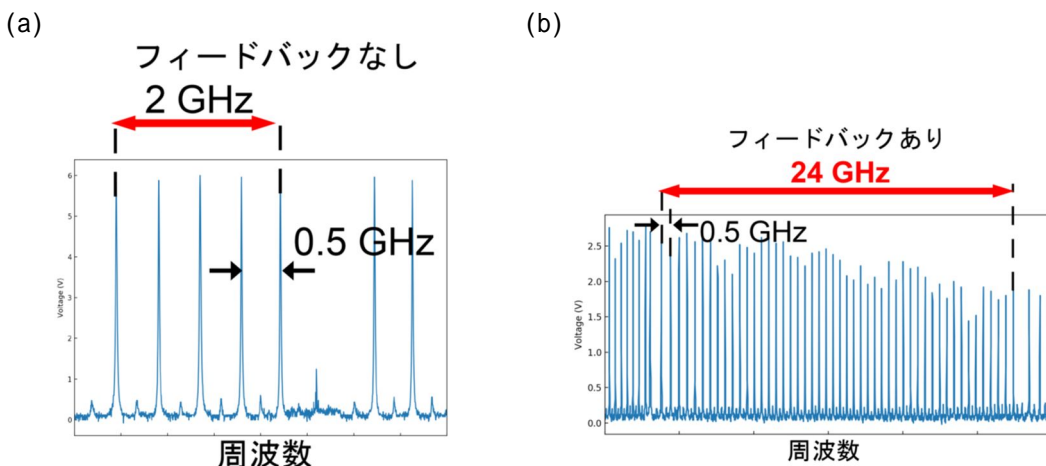


図2 レーザー周波数の掃引時におけるモードホップの観測(a)制御なし(b)制御あり

(3) 分子 EDM 実験で重要となる、原子数の大強度化として 461 nm 光源の改良とリポンブ光源 497 nm の周波数安定化、分子生成で重要となる 689 nm 光源の線幅狭窄化を行った。以下、この 3 光源について述べる。

Sr のレーザー冷却用の波長 461 nm 光源として、従来は共振器に KNbO₃ 結晶を用いて、922 nm 光を 461 nm 光へと変換していた。大パワーが得られる一方、共振器長を 922 nm 光の周波数へ安定化させる必要があり、かつ入射光や共振器のアライメントに敏感であり、一度大きくずれたときの復活に時間がかかる。そこで、昨年 PPLN 導波路を用いて、共振器を用いずに 461 nm 光源システムの開発に着手した。PPLN 導波路は共振器を用いず、シングルパスで 922 nm から 461 nm へ光の波長変換ができるが、大パワーを得るのが難しい。そこで、今年度は、大強度 461 nm 光源システムを 3 台立ち上げることで、共振器を用いない高安定な光源システムを開発した。

光会合で重要な 689 nm 光源について、リットマン型 ECDL より大きな出力が得られるリットロー型 ECDL で、ULE 共振器を用いた PDH 法により、レーザー線幅狭窄化を行った。以上より、分子 EDM 実験で重要となる 3 つの光源の高安定化と周波数安定化に成功した。

(4) 分担者の酒見氏と共に、分子 EDM の研究を行った。まず、LiSr 分子の光シフトを計算した。LiSr 分子は、たくさんの振動準位があるため、magic 波長や tune out する波長がたくさん存在する。また、各共鳴周波数付近では、光の自然放出に伴い冷却原子が過熱されてしまう。そこで、共同研究者の阿部氏らにより、各振動準位と振動準位間のフランクコンドン因子が計算されている。そこで、フランクコンドン因子を考慮した上で、LiSr 分子の光シフトを計算した。その結果、実験に必要なレーザー波長を同定できる光シフトを計算することができた(図3)。

また、EDM と同じく基本対称性の破れと

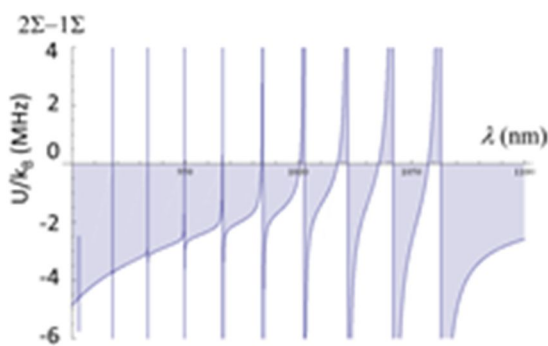


図3 LiSr 分子の光シフト

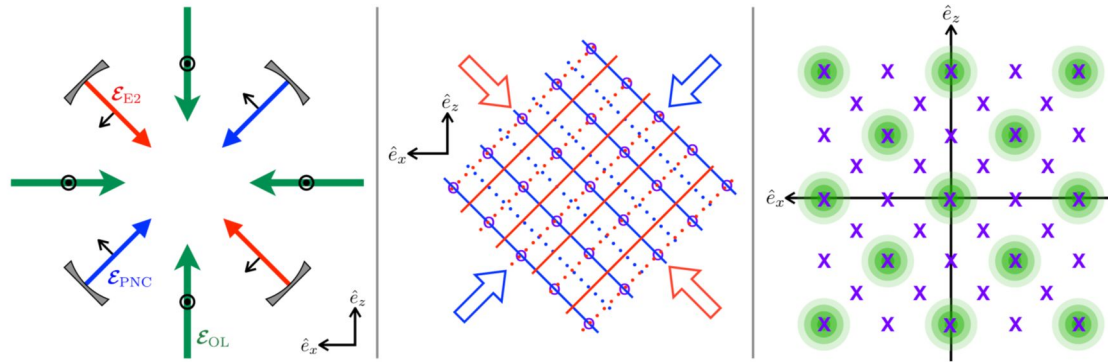


図4 パリティ非保存実験のための、Cs 原子の新しい光格子実験

してパリティの破れについて、Fr 原子の光シフトを用いた方法を国際会議で発表し、論文も出版された。また、東工大の Das 教授、インドの Sahoo 教授、フランスの Kastberg 教授と国際共同研究を行い、Cs 原子の光格子を用いた新しいパリティ非保存実験を提案し、論文にまとめた(図4)。そして、分子 EDM とパリティの破れの成果について国際会議で発表した。

(5) 分担者の梶田氏は、分子 EDM 実験で重要となる周波数の安定度について、要素技術として分子の周波数標準の研究を行った。まず、ダークエネルギーの実験的研究の鍵を握る陽子電子質量比変化の観測を、原子時計を使わないで分子イオンの 2 本の振動遷移周波数のみを用いて測定する方法を考案した。その一方で、超小型原子時計に位相変調を用いて変調可能な範囲を広げる方法を開発した。

精密計測可能な分子遷移周波数として、レーザー冷却後に光格子内でトラップされた CaF 分子の振動遷移周波数を用いることを考案した。その一方で遷移の有無を吸収でなくて検出光の位相で検出する方法を考案した。

分子遷移の周波数標準の要素技術として、分子イオンの $(J, F) = (0, 1/2) - (1, 1/2)$ 回転遷移周波数を用いる可能性を理論的に検討した。この遷移周波数は電気的四重極シフトが存在しないので、磁場を制御して二次 Zeeman シフトを抑制すれば 15 桁以上の確度が得られると期待できる。

(6) 分担者の阿部氏は、相対論量子化学計算を行った。分子を用いて電子 EDM を求めるためには、EDM 相互作用に起因するエネルギーシフトの実験的計測とともに、相対論量子化学による有効電場の理論計算が必要になる。2017 年度は、有限摂動法に基づく結合クラスター法の開発を行い、従来法より高精度な有効電場計算手法を確立させた。

分担者の阿部氏は、相対論量子化学計算を行った。電子 EDM 探査実験に適する原子分子の持つべき重要な特徴として、大きな有効電場、分子整列のしやすさ、冷却分子形成の可能性などがあげられる。新規実験分子を提案するために、重原子 重原子系分子や、水銀 アルカリ金属系分子などについて、先述した項目に関する理論計算を行い、実験の優位性について論じた。

本研究の LiSr 分子の電子 EDM 電子構造を精密に計算し(図5) 有効電場を精密に計算することに成功し、2.0 GV/cm と求まった。これは、本研究開始時に近似計算で得られていた 0.8 GV/cm と比べて 2.5 倍大きく、本研究の LiSr 分子 EDM の利点がさらに明確になった。そして論文を出版した。

また、EDM の起源に関して相補的な原子核 EDM で重要となる TlF 分子の計算を行った。核 EDM は電子 EDM 同様 CP 対称性破れを示し、閉殻 2 原子分子で測定可能な量である。本研究では、核 EDM 探査に必要な、高精度な相対論的量子化学理論に基づくプログラム開発を行い、TlF 分子における電子状態項を最高精度で決定することに成功した。

電子 EDM や核 EDM の測定においては、理論計算による候補分子の測定感度予測が重要である。電子 EDM に関しては、有効電場の大きな分子種の提案(HgLi、SrLi、YbOH、RaH 等)を行い、また核 EDM に関する高精度な相対論的量子化学理論プログラムの開発に新たに成功した。

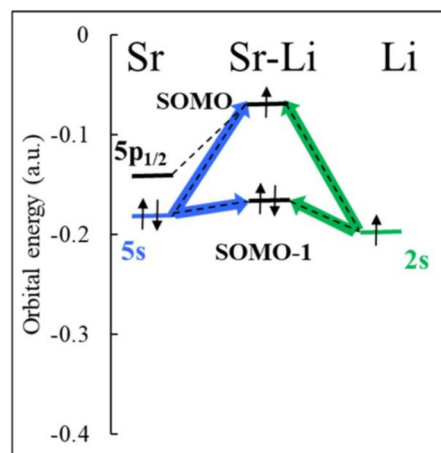


図5 LiSr 分子のエネルギー計算

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計35件（うち査読付論文 34件 / うち国際共著 20件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 A. Uchiyama, K. Harada, T. Inoue, H. Kawamura, K. S. Tanaka, M. Itoh, T. Aoki, A. Hatakeyama, Y. Takahashi, and Y. Sakemi	4. 巻 1206
2. 論文標題 Development of a Dual Isotope Co-Magnetometer Using Laser Cooled Rubidium Toward Electron Electric Dipole Moment Measurement Using Francium	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012008-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1088/1742-6596/1206/1/012008	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 A. Kastberg, T. Aoki, B. K. Sahoo, Y. Sakemi, and B. P. Das	4. 巻 100
2. 論文標題 Optical-lattice-based method for precise measurements of atomic parity violation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 050101(R)-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevA.100.050101	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 A. Sunaga, M. Abe, V. S. Prasanna, T. Aoki, and M. Hada	4. 巻 53
2. 論文標題 Relativistic coupled-cluster study of diatomic metal-alkali-metal molecules for electron electric dipole moment searches	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics	6. 最初と最後の頁 015102-1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1088/1361-6455/ab5255	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 M. Kajita, R. Bala, and M. Abe	4. 巻 53
2. 論文標題 Attainable accuracies of QH+ rotational transition frequencies (Q: 40Ca, 24Mg, 202Hg)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics	6. 最初と最後の頁 085401-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://dx.doi.org/10.1088/1361-6455/ab7425	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 M. Kajita	4. 巻 88
2. 論文標題 Estimation of Blackbody Zeeman Shift in $1S0?3P0$ Transition Frequencies	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 104001-1-2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7566/JPSJ.88.104001	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 H. Nishino Hitoshi, M. Hara, Y. Yano, M. Toda, Y. Kanamori, M. Kajita, T. Ido, and T. Ono	4. 巻 12
2. 論文標題 A reflection-type vapor cell using anisotropic etching of silicon for micro atomic clocks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 072012-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7567/1882-0786/ab2a3c	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. Yano, M. Kajita, T. Ido, and M. Hara	4. 巻 58
2. 論文標題 Fast numerical analysis of the time response in coherent population trapping resonance based on Galerkin spectral method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SGG805-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7567/1347-4065/ab0bab	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 V. S. Prasanna, N. Shitara, A. Sakurai, M. Abe, and B. P. Das	4. 巻 99
2. 論文標題 Enhanced sensitivity of the electron electric dipole moment from YbOH: The role of theory	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 062502-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.99.062502	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 V. S. Prasanna, A. Sunaga, M. Abe, M. Hada, N. Shitara, A. Sakurai, and B. P. Das	4. 巻 7
2. 論文標題 The Role of Relativistic Many-Body Theory in Electron Electric Dipole Moment Searches Using Cold Molecules	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Atoms	6. 最初と最後の頁 58-1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/atoms7020058	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 N. M. Fazil, V. S. Prasanna, K. V. P. Latha, M. Abe, and B. P. Das	4. 巻 99
2. 論文標題 RaH as a potential candidate for electron electric-dipole-moment searches	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 052502-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.99.052502	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 A. Sunaga, V. S. Prasanna, M. Abe, M. Hada, and B. P. Das	4. 巻 99
2. 論文標題 Ultracold mercury-alkali-metal molecules for electron-electric-dipole-moment searches	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 040501-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.99.040501	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 Uchiyama A, Harada K, Inoue T, Kawamura H, Tanaka K S, Itoh M, Aoki T, Hatakeyama A, Takahashi Y, Sakemi Y	4. 巻 1206
2. 論文標題 Development of a Dual Isotope Co-Magnetometer Using Laser Cooled Rubidium Toward Electron Electric Dipole Moment Measurement Using Francium	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012008 ~ 012008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1088/1742-6596/1206/1/012008	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 青木貴稔, 鳥井寿夫, Sahoo Bijaya Kumar, Das Bhanu Pratap, 原田健一, 早水友洋, 坂本幸祐, 川村広和, 井上壮志, 内山愛子, 伊藤沙希, 田中香津生, 伊藤正俊, 畠山温, 酒見泰寛	4. 巻 18
2. 論文標題 標準模型を超えた新物理を探索するための原子パリティ非保存効果の精密周波数測定	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電子回路研究会	6. 最初と最後の頁 ECT-018-060-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://www.ieej-ect.org/ect/ectp/2018/p18-09-07.html	査読の有無 無
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 Uchiyama A., Harada K., Sakamoto K., Dammalapati U., Inoue T., Itoh M., Ito S., Kawamura H., Tanaka K. S., Yoshioka R., Sakemi Y.	4. 巻 89
2. 論文標題 Effective multiple sideband generation using an electro-optic modulator for a multiple isotope magneto-optical trap	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 123111 ~ 123111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1063/1.5054748	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 Long A. M., Adachi T., Beard M., Berg G. P. A., Couder M., deBoer R. J., Dozono M., G?rres J., Fujita H., Fujita Y., Hatanaka K., Ishikawa D., Kubo T., Matsubara H., Namiki Y., O'Brien S., Ohkuma Y., Okamura H., Ong H. J., Patel D., Sakemi Y. 他	4. 巻 97
2. 論文標題 -unbound levels in Ar34 from Ar36(p,t)Ar34 reaction measurements and implications for the astrophysical S30(,p)Cl33 reaction rate	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 054613-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevC.97.054613	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 酒見泰寛	4. 巻 47
2. 論文標題 冷却原子を用いた電子の電気双極子能率の探索	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 光学	6. 最初と最後の頁 301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://myosj.or.jp/kogaku/backnumber/47-7/	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 Bala Renu, Nataraj H.S., Abe Minori, Kajita Masatoshi	4. 巻 349
2. 論文標題 Accurate ab initio calculations of spectroscopic constants and properties of BeLi +	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Molecular Spectroscopy	6. 最初と最後の頁 1~9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.jms.2018.03.013	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 Kajita Masatoshi	4. 巻 87
2. 論文標題 Non-destructive Monitoring of Molecular Vibrational Transitions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 074301 ~ 074301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7566/JPSJ.87.074301	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 Kajita Masatoshi	4. 巻 87
2. 論文標題 Precise Measurement of Transition Frequencies of Optically Trapped $^{40}\text{Ca}^{19}\text{F}$ Molecules	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 104301 ~ 104301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7566/JPSJ.87.104301	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 Hara M., Yano Y., Kajita M., Nishino H., Iyata Y., Toda M., Hara S., Kasamatsu A., Ito H., Ono T., Ido T.	4. 巻 89
2. 論文標題 Microwave oscillator using piezoelectric thin-film resonator aiming for ultraminiaturization of atomic clock	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 105002 ~ 105002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1063/1.5048633	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 Bala Renu, Nataraj H. S., Abe Minori, Kajita Masatoshi	4. 巻 117
2. 論文標題 Calculations of electronic properties and vibrational parameters of alkaline-earth lithides: MgLi+ and CaLi+	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Molecular Physics	6. 最初と最後の頁 712 ~ 725
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1080/00268976.2018.1539258	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 Kokish Mark G., Stollenwerk Patrick R., Kajita Masatoshi, Odom Brian C.	4. 巻 98
2. 論文標題 Prospects for a polar-molecular-ion optical probe of varying proton-electron mass ratio	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 052513-1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevA.98.052513	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 Fazil N. M., Prasanna V. S., Latha K. V. P., Abe M., Das B. P.	4. 巻 99
2. 論文標題 RaH as a potential candidate for electron electric-dipole-moment searches	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 052502-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevA.99.052502	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 Sunaga A., Prasanna V. S., Abe M., Hada M., Das B. P.	4. 巻 99
2. 論文標題 Ultracold mercury-alkali-metal molecules for electron-electric-dipole-moment searches	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 040501 (R)-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevA.99.040501	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 Purnama Indra、Salmahaminati Salmahaminati、Abe Minoru、Hada Masahiko、Kubo Yuji、Mulyana Jacob Yan	4. 巻 48
2. 論文標題 Factors influencing the photoelectrochemical device performance sensitized by ruthenium polypyridyl dyes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 688 ~ 695
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1039/C8DT03502d	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 Sunaga A.、Prasanna V. S.、Abe M.、Hada M.、Das B. P.	4. 巻 98
2. 論文標題 Enhancement factors of parity- and time-reversal-violating effects for monofluorides	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 042511-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevA.98.042511	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 Fazil N. M.、Prasanna V. S.、Latha K. V. P.、Abe M.、Das B. P.	4. 巻 98
2. 論文標題 Electron correlation trends in the permanent electric dipole moments of alkaline-earth-metal monohydrides	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 032511-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevA.98.032511	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 Hayakawa Yusuke、Sato Takumi、Watanabe Chika、Aoki Takatoshi、Torii Yoshio	4. 巻 57
2. 論文標題 Doppler-free spectroscopy of metastable Sr atoms using a hollow cathode lamp	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 1450 ~ 1454
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.57.001450	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 Aoki T., Torii Y., Sahoo B. K., Das B. P., Harada K., Hayamizu T., Sakamoto K., Kawamura H., Inoue T., Uchiyama A., Ito S., Yoshioka R., Tanaka K. S., Itoh M., Hatakeyama A., Sakemi Y.	4. 巻 -
2. 論文標題 Parity-Nonconserving Interaction-Induced Light Shifts in the $7S_{1/2} - 6D_{3/2}$ Transition of the Ultracold 210Fr Atoms to Probe New Physics Beyond the Standard Model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Exploring the World with the Laser	6. 最初と最後の頁 509 ~ 527
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-64346-5_29	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 Dammalapati Umakanth, Harada Ken-ichi, Hayamizu Tomohiro, Sakamoto Kosuke, Kato Ko, Aoki Takahiro, Ito Sako, Inoue Takeshi, Uchiyama Aiko, Kawamura Hirokazu, Itoh Masatoshi, Aoki Takatoshi, Hatakeyama Atsushi, Sakemi Yasuhiro	4. 巻 18
2. 論文標題 Francium: Tool for Fundamental Symmetry Investigations	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 011046-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.18.011046	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 Yano Yuichiro, Kajita Masatoshi, Ido Tetsuya, Hara Motoaki	4. 巻 111
2. 論文標題 Coherent population trapping atomic clock by phase modulation for wide locking range	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 201107-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4991560	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 Kajita Masatoshi	4. 巻 86
2. 論文標題 Search for the Variation in (m_p/m_e) Using Two Vibrational Transition Frequencies of Molecular Ions	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 123301-1-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.86.123301	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 Prasanna V. S., Abe M., Bannur V. M., Das B. P.	4. 巻 95
2. 論文標題 Theoretical analysis of effective electric fields in mercury monohalides	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 042513-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.95.042513	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 Abe M., Prasanna V. S., Das B. P.	4. 巻 97
2. 論文標題 Application of the finite-field coupled-cluster method to calculate molecular properties relevant to electron electric-dipole-moment searches	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 032515-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.97.032515	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 Itoh M, Ando S, Aoki T, Arikawa H, Ezure S, Harada K, Hayamizu T, Inoue T, Ishikawa T, Kato K, Kawamura H, Sakemi Y, Uchiyama A	4. 巻 863
2. 論文標題 Measurement of the 3- decay from the Hoyle and the broad 10 MeV states in ¹² C	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012019-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/863/1/012019	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56件 (うち招待講演 16件 / うち国際学会 25件)

1. 発表者名 青木貴稔
2. 発表標題 極低温Fr原子を用いたパリティ非保存効果誘起の光シフトの研究：標準模型を超えた新物理と核のアナポールモーメント
3. 学会等名 第 29 回 核分光研 & 新学術領域研究「量子ビーム応用」合同セミナー (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Aoki, Y. Torii, B. K. Sahoo, B. P. Das, K. Harada, T. Hayamizu, K. Sakamoto, H. Kawamura, T. Inoue, A. Uchiyama, S. Ito, R. Yoshioka, K. S. Tanaka, et al.
2. 発表標題 Electron EDM search and study of parity non-conservation effect using laser cooling of Fr to probe new physics beyond the standard model
3. 学会等名 12th International Workshop on Fundamental Physics Using Atoms (FPUA2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Aoki
2. 発表標題 Parity-nonconserving interaction-induced light shifts of ultracold ^{210}Fr atoms to probe new physics beyond the standard model
3. 学会等名 第1回冷却原子研究会(アトム学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Birefringent atomic vapor laser lock in a hollow cathode lamp
2. 発表標題 T. Sato, Y. Hayakawa, Y. Shimomura, T. Aoki, and Y. Torii
3. 学会等名 第1回冷却原子研究会(アトム学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Sakemi
2. 発表標題 Fundamental physics with cold radioactive atoms
3. 学会等名 APPC14 (14th ASIA-PACIFIC PHYSICS CONFERENCE) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Sakemi
2. 発表標題 Fundamental physics with laser cooled atoms
3. 学会等名 36th Mazurian Lakes Conference on Physics (Probing fundamental laws of nature with exotic nuclei and atoms) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Kajita
2. 発表標題 Measurement of molecular transition frequencies with the uncertainties lower than 10^{-17}
3. 学会等名 European Quantum Electronics Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梶田雅稔
2. 発表標題 分子時計概要
3. 学会等名 第3回精密計測を元に科学技術に変革をもたらす回路技術調査専門委員会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梶田雅稔
2. 発表標題 黒体輻射によるZeemanシフト
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 富山尚大、藤田武瑠、阿部穰里、波田雅彦
2. 発表標題 核の電気双極子モーメントに関する電子状態項の理論式の再考
3. 学会等名 第13回分子科学討論会名古屋2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Sunaga, V. S. Prasanna, M. Abe, M. Hada, and B. P. Das
2. 発表標題 Enhancement factors of parity-and time-reversal-violating effects for monofluorides
3. 学会等名 International Summit on OPTICS, PHOTONICS AND LASER TECHNOLOGIES
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Tomiyama, and M. Abe
2. 発表標題 Reconsideration of the electronic term of the Schiff moment in diamagnetic molecules
3. 学会等名 The 12th International Workshop on Fundamental Physics Using Atoms (FPUA2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Aoki, Y. Torii, B. K. Sahoo, B. P. Das, K. Harada, T. Hayamizu, K. Sakamoto, H. Kawamura, T. Inoue, A. Uchiyama, S. Ito, R. Yoshioka, K. S. Tanaka, M. Itoh, A. Hatakeyama, and Y. Sakemi
2. 発表標題 Parity-nonconserving interaction-induced light shifts in the $7S_{1/2} - 6D_{3/2}$ transition of the ultracold ^{210}Fr atoms to probe new physics beyond the standard model
3. 学会等名 ICAP2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Sato, Y. Hayakawa, T. Aoki, and Y. Torii
2. 発表標題 Measurement of the hyperfine structure of the 5s5d 3D3 state in 87Sr using a hollow cathode lamp
3. 学会等名 ICAP2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下村優輔, 青木貴稔, 酒見泰寛, 鳥井寿夫
2. 発表標題 干渉フィルター型ECDLにおけるモードホップフリーチューニング領域の拡張
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 佐藤拓海, 早川悠介, 青木貴稔, 鳥井寿夫
2. 発表標題 ホローカソードランプを用いたSr+イオンの5S1/2-5P1/2遷移のドップラーフリー分光
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 内山愛子, 原田健一, 田中香津生, 川村広和, 伊藤正俊, 早水友洋, 長濱弘季, 小澤直也, 堤惇, 井上壮志, 青木貴稔, 畠山温, 高橋義朗, 酒見泰寛
2. 発表標題 電子の電気双極子能率探索に向けた極低温85Rb, 87Rb原子による磁場測定
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 早水友洋, 長濱弘季, 小澤直也, 堤惇, 原田健一, 田中香津生, 内山愛子, 青木貴稔, 畠山温, 高橋義朗, 羽場宏光, 大前宣昭, 酒見泰寛
2. 発表標題 電子の永久電気双極子モーメント探索へ向けたフランシウム原子の生成とトラップ
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 青木貴稔, 鳥井寿夫, B. K. Sahoo, B. P. Das, 原田健一, 早水友洋, 坂本幸祐, 川村広和, 井上壮志, 内山愛子, 伊藤沙希, 田中香津生, 伊藤正俊, 畠山温, 酒見泰寛
2. 発表標題 標準模型を超えた新物理を探索するための冷却Fr原子のパリティ非保存相互作用誘起の光シフト
3. 学会等名 日本物理学会 秋の分科会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 原田健一, 川村広和, 田中香津生, 内山愛子, 早水友洋, 長濱弘季, 小澤直也, 堤惇, 青木貴稔, 畠山温, 高橋義朗, 酒見泰寛
2. 発表標題 電子の電気双極子能率探索に向けたフランシウム原子の磁気光学トラップ
3. 学会等名 日本物理学会 秋の分科会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 酒見泰寛
2. 発表標題 人工RI結晶による基本対称性の研究
3. 学会等名 研究会「超重元素研究の新展開」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 酒見泰寛
2. 発表標題 光格子重元素干渉計による基本対称性の研究
3. 学会等名 理研「物質階層原理 & ヘテロ界面」研究報告会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 酒見泰寛
2. 発表標題 Fundamental physics with laser cooled heavy elements
3. 学会等名 2019重元素化学ワークショップ (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mark Kokish, Patric Stollenwerk, 梶田雅稔, Brian Odom
2. 発表標題 分子イオンE1遷移観測による周波数精密計測
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 Minori Abe
2. 発表標題 Relativistic Quantum Chemical Calculations of Nuclear Electric Dipole Moments in Diamagnetic Molecules
3. 学会等名 The 11th International Workshop on Fundamental Physics Using Atoms (FPUA) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Minori Abe
2. 発表標題 Relativistic ab initio calculations of uranium isotope fractionations
3. 学会等名 International Conference Uranium Biogeochemistry Transformations, isotopes, and applications (Uranium-Biogeo Conference 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Minori Abe
2. 発表標題 Relativistic many-body theories for time-reversal violation in molecules
3. 学会等名 Second European Symposium on Chemical Bonding (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阿部穰里
2. 発表標題 Relativistic quantum chemical calculations for uranium isotope fractionations caused by biological events
3. 学会等名 ナノ構造・物性 ナノ機能・応用部会合同シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Sunaga, M. Abe, B. P. Das, M. Hada
2. 発表標題 Relativistic study of parity and time reversal symmetry-violating interaction using atoms and molecules
3. 学会等名 6th International Congress of Quantum Chemistry (ICQC) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Sunaga, M. Abe, B. P. Das, M. Hada
2 . 発表標題 Analysis of enhancement factors of electron EDM and scalar-pseudoscalar interaction for atoms and molecules
3 . 学会等名 7th Japan-Czech-Slovakia (JCS) Symposium on Theoretical Chemistry, the Institute of Organic Chemistry and Biochemistry (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. Aoki, Y. Torii, B. K. Sahoo, B. P. Das, K. Harada, T. Hayamizu, K. Sakamoto, H. Kawamura, T. Inoue, A. Uchiyama, S. Ito, R. Yoshioka, K. S. Tanaka, M. Itoh, A. Hatakeyama, and Y. Sakemi
2 . 発表標題 Parity-nonconserving interaction-induced light shifts of the ultracold ^{210}Fr atoms to probe new physics beyond the standard model
3 . 学会等名 The 23rd International Conference on Laser Spectroscopy (ICOLS2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Masatoshi Kajita
2 . 発表標題 Attainable accuracy of vibrational transition frequencies of homonuclear diatomic molecular ions
3 . 学会等名 1st North American Conference on Trapped Ions (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 M. Abe
2 . 発表標題 Relativistic quantum chemistry and recent applications to physics and chemistry
3 . 学会等名 E3 project seminar (RIKEN) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Abe, F. Moynier, K. Asai, K. Ono, P. Sossi, Y. Zempo, Y. Imamura, M. Hada
2. 発表標題 Theoretical study of reduced partitioning function ratios of Zn-bearing minerals and metals
3. 学会等名 GoldSchmidt 2018 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ayaki Sunaga, Minoru Abe, Masahiko Hada
2. 発表標題 Analysis of hyperfine structure in Dirac theory: abnormal increase of relativistic contraction of outer orbitals
3. 学会等名 11th Triennial Congress of the World Association of Theoretical and Computational Chemistry (WATOC) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ayaki Sunaga, Minoru Abe, Masahiko Hada
2. 発表標題 Anomalous increase of relativistic effect for hyperfine coupling constant of outer orbitals
3. 学会等名 REHE-2017, 12th International Conference on Relativistic Effects in Heavy-Element Chemistry and Physics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takashi Tsutsui, Minoru Abe, Bhanu P. Das, and Masahiko Hada
2. 発表標題 Effective electric field for electron's electric dipole moment in BiO molecule: comparison between Dirac CCSD and CASPT2
3. 学会等名 REHE-2017, 12th International Conference on Relativistic Effects in Heavy-Element Chemistry and Physics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Minori Abe
2. 発表標題 Relativistic calculations of parity and time reversal violation effects
3. 学会等名 International Symposium "Theoretical Design of Materials with Innovative Functions Based on Element Strategy and Relativistic Electronic Theory (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ayaki Sunaga, Minori Abe, Masahiko Hada
2. 発表標題 Analysis of effective electric fields of heavy molecules for search of the electron EDM
3. 学会等名 Theoretical Design of Materials with Innovative Functions Based on Element Strategy and Relativistic Electronic Theory (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takashi Tsutsui, Minori Abe, Amar Vutha, Jorgen Ekman, Bhanu Das, Masahiko Hada
2. 発表標題 P and T symmetry violation in diamagnetic molecules: Schiff moment enhancement calculations at relativistic CCSD level
3. 学会等名 Theoretical Design of Materials with Innovative Functions Based on Element Strategy and Relativistic Electronic Theory (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Minori Abe
2. 発表標題 Relativistic calculations of parity and time reversal violation effects in molecules
3. 学会等名 FPUA 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuhiro Sakemi
2. 発表標題 Fundamental physics with ultra cold radioactive atoms and molecules
3. 学会等名 MITP program “Low energy probes of new physics (LEPONP2017)” (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasuhiro Sakemi
2. 発表標題 Fundamental physics with cold radioactive atoms and molecules
3. 学会等名 RCNP Workshop on Fundamental Physics using Neutrons and Atoms (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasuhiro Sakemi
2. 発表標題 Fundamental physics with cooled radioactive atoms - possible extension of Fr EDM -
3. 学会等名 STORI'17 -10th International Conference on Nuclear Physics at Storage Rings (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 青木貴稔, 鳥井寿夫, B. K. Sahoo, B. P. Das, 原田健一, 早水友洋, 坂本幸祐, 川村広和, 井上壮志, 内山愛子, 伊藤沙希, 吉岡里紗, 田中香津生, 伊藤正俊, 畠山温, 酒見泰寛
2. 発表標題 ナポールモーメント検出のための冷却Frパリティ非保存相互作用誘起の光シフト
3. 学会等名 日本物理学会 秋の分科会 (岩手大学 上田キャンパス)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐藤拓海, 早川悠介, 青木貴稔, 鳥井寿夫
2. 発表標題 ホローカソードランプを用いた 87Sr 原子 $5s5d\ 3D3$ 準位の超微細構造の測定
3. 学会等名 日本物理学会 秋の分科会 (岩手大学 上田キャンパス)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 梶田雅稔
2. 発表標題 分子遷移周波数到達精度は原子を上回れないか?
3. 学会等名 日本物理学会 秋の分科会 (岩手大学 上田キャンパス)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鳥井寿夫, 早川悠介, 青木貴稔
2. 発表標題 ホローカソードランプを用いた準安定 Sr 原子の分光: 同位体シフトおよび超微細構造の観測
3. 学会等名 超精密周波数計測とその比較技術による回路技術調査専門委員会 第3回委員会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 内山愛子, 原田健一, 坂本幸祐, 伊藤沙希, 伊藤正俊, 井上壮志, 川村広和, 田中香津生, U. Dammalapati, 吉岡里紗, 青木貴稔, 畠山温, 高橋義朗, 酒見泰寛
2. 発表標題 電子の永久電気双極子能率探索に向けた冷却 85Rb , 87Rb 原子の同時スピン緩和時間測定
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会 (東京理科大学 野田キャンパス)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阿部穰里
2. 発表標題 相対論的量子化学の理論開発と応用
3. 学会等名 エネルギー・環境・資源問題の解決に繋がる革新的材料創出に向けた光・量子ビーム応用技術調査専門委員会第1回研究会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 砂賀彩光, 阿部穰里, B. P. Das, 波田雅彦
2. 発表標題 4成分相対論にも適用可能な超微細結合定数の演算子に関する検討
3. 学会等名 第19回理論化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 砂賀 彩光, 阿部 穰里, 波田 雅彦
2. 発表標題 4成分相対論にも適用可能な超微細結合定数の演算子に関する検討
3. 学会等名 第20回理論化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 砂賀 彩光, 阿部 穰里, 波田 雅彦
2. 発表標題 4成分相対論における超微細結合定数の定式化に関する考察
3. 学会等名 日本コンピュータ化学会2017年春季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 砂賀 彩光, 阿部 穰里, 波田 雅彦
2. 発表標題 Dirac理論に基づく超微細結合定数の解析 - 外殻軌道における相対論効果の増幅現象 -
3. 学会等名 第11回分子科学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 阿部穰里, F. Moynier, 浅井久瑠美, 小野克真, P. Sossi, 善甫康成, 今村穰, 波田雅彦
2. 発表標題 亜鉛含有鉱物や亜鉛金属における換算分配関数比の理論的研究
3. 学会等名 第16回同位体科学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤有汰留、阿部穰里、波田雅彦
2. 発表標題 バクテリアによるウラン同位体分別の理論的研究
3. 学会等名 第16回同位体科学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 M. Kajita	4. 発行年 2019年
2. 出版社 IOP Science	5. 総ページ数 120
3. 書名 Measurement, Uncertainty and Lasers	

1. 著者名 Masatoshi Kajita	4. 発行年 2018年
2. 出版社 IOP Science	5. 総ページ数 94
3. 書名 Measuring Time: Frequency Measurements and Related Development in Physics	

〔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	梶田 雅稔 (Kajita Masatoshi) (50359030)	国立研究開発法人情報通信研究機構・グローバル推進部門・嘱託 (82636)	
研究分担者	阿部 穰里 (Abe Minoru) (60534485)	首都大学東京・理学研究科・助教 (22604)	
研究分担者	酒見 泰寛 (Yasuhiro Sakemi) (90251602)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・教授 (12601)	