

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03897

研究課題名(和文)量子波束イメージング分光による動的分子構造論の新展開

研究課題名(英文)New avenue for structural dynamics by wave-packet imaging spectroscopy

研究代表者

大島 康裕 (Ohshima, Yasuhiro)

東京工業大学・理学院・教授

研究者番号：60213708

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,200,000円

研究成果の概要(和文)：極短パルス光を用いたインパルス励起によって分子の回転量子波束を生成し、波束の時間発展に対応する分子の空間配向分布の時間変化からスペクトル情報を取得する「量子波束イメージング分光」を開発した。長い遅延光路を組み込んだ光学系を用いることにより100 MHz以下の周波数分解能を達成し、弱い分子間力で結合した分子クラスターの時間領域スペクトルの測定を行った。アルゴンなどの希ガス原子の2量体、エチレンの2・3量体、さらには窒素分子・メタン・プロピレンの2量体など、双極子モーメントがゼロもしくは小さい分子から構成される数々のクラスターについて純回転遷移の観測に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光学遷移により引き起こされる輻射場と分子系とのエネルギーのやり取りを観測量とする従来の分光計測法とは大きく異なり、分子の空間配向分布という多次元的情報に立脚する分子分光を創成した点に、本研究の大きな意義・独自性が存する。窒素分子・メタン・プロピレンの2量体の結果は世界で初めての分光学的研究成果である。特に、前者の2つは分子間相互作用の基本モデルとして幾多の理論化学研究の対象となっており、今回の成果は実験的レファレンスとして重要である。

研究成果の概要(英文)：We have developed "quantum-wave-packet imaging spectroscopy", where intense ultrashort laser pulses have been implemented to create rotational quantum wave packets of molecules, and spatiotemporal evolution of molecular orientation has been captured via time-resolved Coulomb-explosion imaging. By using an optical setup with > 10 ns delay time, we realize < 100 MHz frequency resolution. The present approach has been applied to observe pure rotational transitions of a number of weakly bound molecular clusters, such as rare-gas dimers, ethylene dimer and trimer, and dimers of nitrogen molecules, methane, and propylene.

研究分野：物理化学

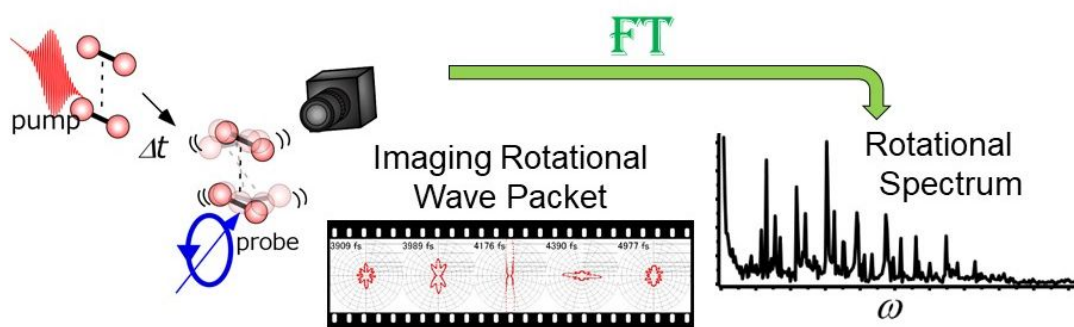
キーワード：分子分光 回転コヒーレンス イオンイメージング 分子クラスター

### 1. 研究開始当初の背景

分光法は、分子の幾何学的構造・結合形態・電子状態を理解する上で最も強力な実験手法の一つである。特に気相孤立状態では、周辺環境からの強い擾乱を受ける液相中や固体中とは異なり、分子全体の回転運動が明確に量子化される。そのため、エネルギー分解能が十分に高い分光手法を用いて回転準位間隔を明確に計測することにより、分子構造の精密決定が可能となる。マイクロ波からテラヘルツ領域における測定では < MHz の絶対周波数分解能が実現でき、原子数が 10 以下の比較的簡単な分子については < 1/100 の精度で結合距離が決定されている。近年では、測定効率の向上や気相中での分子生成法の改良によって、ポリペプチドなどの生体関連分子を含む複雑な分子への適用が進められ、また、反応活性なラジカルやカルベンなどについて精密な回転スペクトルの測定が可能となっている。以上のようなたゆまない進展にもかかわらず、単一光子・荷電粒子計数のような高感度な検出手法と組み合わせることが本質的に困難であるため、マイクロ波・テラヘルツ分光は赤外～紫外領域の分光法と比較して検出感度の面では大幅に不利な状況に留まっていた。

### 2. 研究の目的

上述の研究状況を打破するため、1) 分子クラスターなどの絶対生成量の少ない分子種についてのスペクトル測定を可能とする高い検出感度を有すること、2) 分子の回転遷移に対応するマイクロ波領域からクラスターの分子間振動の遷移に対応するテラヘルツ領域までを測定感度に大きな差がなく連続してカバーできること、3) 振動・回転準位やトンネル効果に起因する分裂なども観測しうるだけの周波数分解能 (< 100 MHz) が実現できること、という要請を満たす新規分光法の開発を目指した。従来のマイクロ波～テラヘルツ分光では達成が困難だった 1) 2) に対応しつつ同時に 3) をも満足させるために、本研究では、短パルス光によるコヒーレントな励起によって低波数振動や回転運動に関する量子波束を生成し、その時空間発展をイオンイメージングで追跡することにより取得した時間領域のデータからフーリエ変換を介して振動・回転エネルギー準位間隔を決定する「量子波束イメージング分光」(図1)の確立を目的とした。

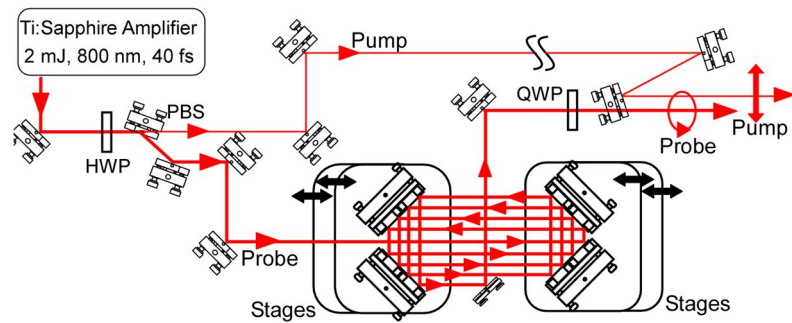


【図1】量子波束イメージング分光の模式図

### 3. 研究の方法

本研究では、当研究室で独自に開発してきた「空間スライス式イオンイメージング観測装置」を用いた [1, 2]。本装置は、2次元検出器を用いながら、レーザーの進行方向に垂直な平面内での解離生成イオンの空間分布を余分な演算なしに抽出しうる点に最大の特徴がある。本装置を用いて量子波束イメージング分光を行った。ここでは、超音速分子線中に生成したクラスターに対して直線偏光ポンブパルス (800 nm, 100 fs ~ 1 ps) を照射し、クラスター全体の回転もしくは分子間振動に関する量子波束の生成を行い、適当な遅延時間の後に円偏光のプロブ光 (400

nm, 100 fs) によってクーロン爆発を引き起こし、生成する解離イオンの空間分布の時間変化から、波束ダイナミックスの追跡を行った。解離生成物イオンの角度分布から各時刻における配向度を算出し、その時系列データをフーリエ変換して周波

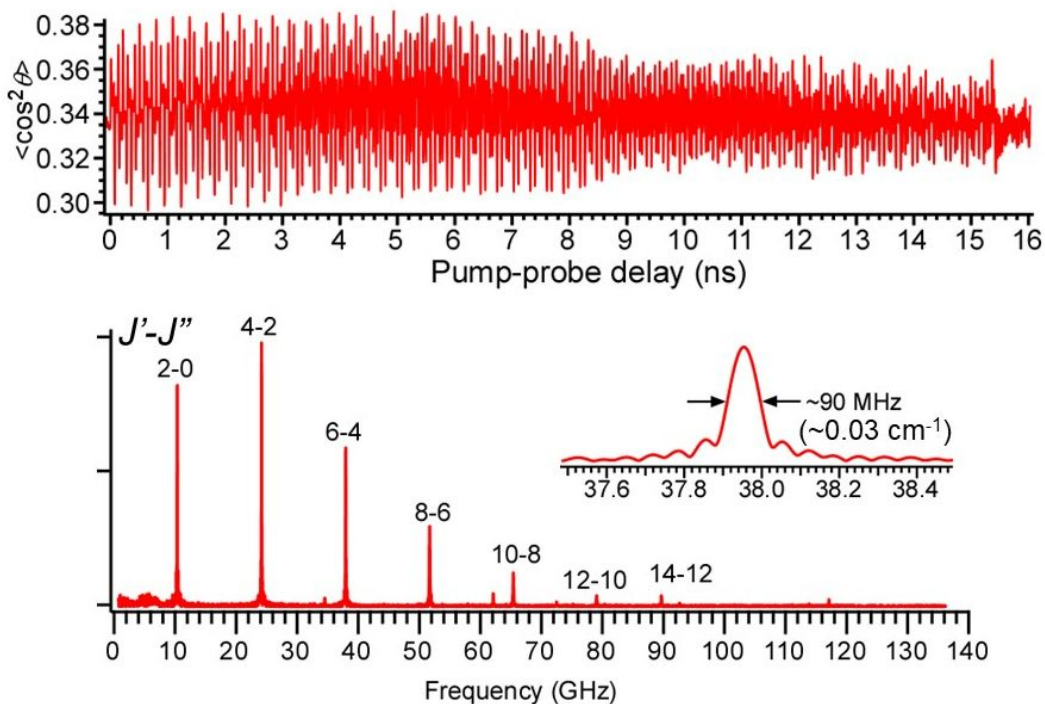


【図2】光学セットアップの模式図

数領域のスペクトルを得た。本手法での周波数分解能は、時系列データがカバーする観測時間に反比例する。そこで 20 ns までの測定を可能とする多重反射遅延ステージを組み込んだ光学システムを構築し(図2) 時系列データの取得に利用した。

#### 4. 研究成果

(1) **アルゴン 2 量体** [3] もっとも基本的な分子クラスターであるアルゴン 2 量体について、量子波束イメージング分光を適用した。ここでは、プローブ光の照射によって Ar<sub>2</sub> から生じた Ar<sub>2</sub><sup>2+</sup> より放出される Ar<sup>+</sup> を検出することによって、時間依存配向分布を測定した(図3上段)。16 ns までの遅延時間に対して時系列データを取得することができたことから、周波数領域スペクトルとして 90 MHz の分解能を達成することができた(図3下段)。スペクトル中に観測されたピーク(回転量子数を  $J$  として  $\Delta J = 2$  のビート信号に対応)の周波数を解析することにより、回転定数ならびに遠心力ひずみ定数を以下のように決定することができた： $B_0 = 1.72713 \pm 0.00009$  GHz,  $D_0 = 0.0310 \pm 0.0005$  MHz。今回の測定結果は、 $B_0$  の値として従来の遠紫外レーザー分光の結果 [4] よりも 10 倍以上の精度が達成されている。アルゴン 2 量体については極めて高精度の量子化学計算が行われているが [5, 6]、今回の結果は、これら理論研究を検証する上で最も詳細な実験的レファレンスを提供するものである。同様に、クリプトン 2 量体の測定も行った。

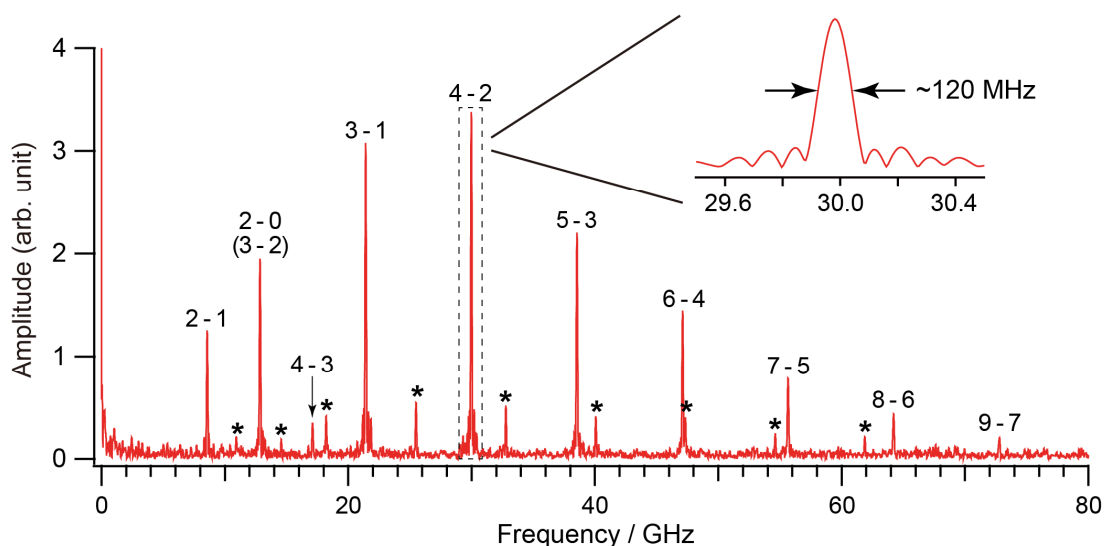


【図3】アルゴン 2 量体の回転量子波束イメージング分光の結果。  
上段：配向度の時間変化、下段：周波数領域スペクトル。

クラスター全体の回転ばかりでなく、分子間振動(今の場合は、希ガス原子間距離の伸縮)に関する量子波束イメージング分光も実現している。つまり、 $\text{Ar}^+$ 画像の動径方向の分布がポンプ-プローブ遅延時間に対して周期的に変動することを見出し、ポンプパルスによって誘起された原子間距離のコヒーレントな伸び縮みに対応して2量体から放出される  $\text{Ar}^+$ の反跳スピードが変調されることを明らかにした。この結果は、電子基底状態における分子間振動ダイナミクスを画像として捉えたものであり、量子波束イメージング分光の有効性を示すものである。

(2) **エチレン 2量体・3量体** [7] より複雑な分子のクラスターへの適用を目指して、エチレン 2量体の量子波束イメージング分光を行った。クラスターのクーロン爆発により生成した  $\text{C}_2\text{H}_2^+$ の画像を解析することにより時間依存配向分布を測定した。11 ns までの遅延時間に対する時系列データを取得し、周波数領域スペクトルとして 120 MHz の分解能を達成した(図4)。スペクトル中には、 $\Delta J=2$  のビート信号のみならず、対称コマ分子に特有の  $\Delta J=1$  の信号も観測された。ビート周波数の解析により、従来の赤外レーザー分光の結果 [8] よりも 10 倍以上の精度で、回転定数ならびに遠心力ひずみ定数を決定することができた。

時間依存配向分布には、2量体の信号の加えて、微弱ながらエチレン 3量体に由来するビート信号も観測された(図4中の \* をつけたピーク)。この3量体の信号は、イオン画像の動径方向分布を適当に選択することにより、選択的に検出可能であることが明らかになった。この結果は、量子波束イメージング分光が大きなサイズのクラスターに適用しうることを示している。



【図4】エチレン 2量体の回転量子波束イメージング分光。\* はエチレン 3量体の信号。

(3) **窒素分子 2量体** 2原子分子から構成される基本的なクラスターでありながら、これまでほとんど分光学的情報のない窒素分子 2量体の量子波束イメージング分光を行った。周波数領域スペクトル中には、等間隔のシリーズをなすピークの組が幾つか観測された。これらのシリーズは、クラスター中での窒素分子の内部回転状態が異なる準位のものに帰属される。詳細な検討によってすべてのシリーズの内部回転状態を特定し、実効的な分光定数を決定した。窒素 2量体についても高精度の量子化学計算が行われているが、今回の結果は、これらの理論研究を検証する上で最も詳細な実験的レファレンスを提供するものである。

(4) **メタン 2量体** 炭化水素に関する分子間相互作用についての最も基本的なモデル系でありながら、これまでほとんど分光学的情報のないメタン 2量体の量子波束イメージング分光を行った。窒素分子 2量体と同様に、周波数領域スペクトル中には等間隔のシリーズをなすピークの組が全部で幾つか観測された。これらのシリーズは、メタン分子の内部回転状態が異なる準位に由来すると考えられたが、当初その帰属は困難を極めた。研究の最終年度にハンガリーの理論

計算グループとの国際共同研究を開始し、高精度の量子化学計算による分子間ポテンシャルの構築ならびに振動・回転エネルギー準位の計算を進めている。理論予測は実測スペクトルの概要を良く説明する結果となり、5つの核スピン異性体由来するシリーズとしてスペクトルを帰属することに成功した。本研究は、実験と理論との緊密な連携によって、多自由度で大振幅な分子クラスターの振動ダイナミクスの詳細を明らかにしたものであり、分子分光の新しい方向性を示す成果といえる。

(5) **アセチレン2量体、プロピレン2量体** 上記の一連の研究に引き続き、アセチレンやプロピレンの2量体に対する量子波束イメージング分光を行った。特に、プロピレン2量体については、本研究が初めての分光学的検出例である。これらのクラスターは非対称コマに分類され、量子波束イメージング分光が多様なクラスターに適用可能であることを示す結果である。

(6) **分子選別器の開発とアンモニア反転運動のコヒーレント制御** 量子波束イメージング分光の今後の展開の上では、分子種や量子状態の選別が重要となる。そのために、超音速ジェットにより極低温に冷却された気体分子試料を不均一電場中を通過させることにより空間的に分離する、分子選別器の開発を行った。その上で、共鳴多光子イオン化による量子状態選択的な検出を組み合わせることによって、分子選別器によってNH<sub>3</sub>の単一量子状態を空間的に選別することが可能であることを示した。さらに、反転トンネル分裂の成分ごとに空間分離したNH<sub>3</sub>分子に対してマイクロ波を照射する実験を行い、マイクロ波のパルス幅に依存して各成分の状態分布が周期的に変動することを見出し、トンネル分裂した2準位のコヒーレントな結合が実現されていることを確認した。この分子選別と量子波束イメージングを結合することにより、アンモニア反転運動のような大振幅振動の実時間ダイナミクスの可視化が可能となると期待される。

- [1] K. Mizuse, K. Kitano, H. Hasegawa, and Y. Ohshima, *Sci. Adv.* **1**, e1400185 (2015).
- [2] K. Mizuse, R. Fujimoto, and Y. Ohshima, *Rev. Sci. Instrum.* **90**, 103107 (2019).
- [3] K. Mizuse, U. Sato, Y. Tobata, and Y. Ohshima, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **24**, 11014 (2022).
- [4] P. R. Herman, P. E. LaRocque, and B. P. Stoicheff, *J. Chem. Phys.* **89**, 4535 (1988).
- [5] K. Patkowski and K. Szalewicz, *J. Chem. Phys.* **133**, 094304 (2010).
- [6] T. Sahraeian and M. R. Hadizadeh, *Int. J. Quantum Chem.* **119**, e25807 (2019).
- [7] Y. Ohshima, Y. Tobata, and K. Mizuse, *Chem. Phys. Lett.*, in press (2022).
- [8] A.J. Barclay, K. Esteki, A.R.W. McKellar, and N. Moazzen-Ahmadi, *J. Mol. Spectrosc.* **347**, 24 (2018).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Mizuse Kenta, Sato Urara, Tobata Yuya, Ohshima Yasuhiro	4. 巻 24
2. 論文標題 Rotational spectroscopy of the argon dimer by time-resolved Coulomb explosion imaging of rotational wave packets	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 11014 ~ 11022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2CP01113A	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 Ueno Kazuki, Mizuse Kenta, Ohshima Yasuhiro	4. 巻 103
2. 論文標題 Quantum-state reconstruction of unidirectional molecular rotations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 53104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.103.053104	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 Mizuse Kenta, Sakamoto Naoya, Fujimoto Romu, Ohshima Yasuhiro	4. 巻 22
2. 論文標題 Direct imaging of direction-controlled molecular rotational wave packets created by a polarization-skewed double-pulse	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 10853 ~ 10862
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CP01084G	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 Hayashi Masato, Ohshima Yasuhiro	4. 巻 11
2. 論文標題 Quantum tunneling of a He atom above and below a benzene ring	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 9745 ~ 9750
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.0c02879	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 Akagi Hiroshi, Kumada Takayuki, Otobe Tomohito, Itakura Ryuji, Hasegawa Hirokazu, Ohshima Yasuhiro	4. 巻 49
2. 論文標題 Bromine-isotope Selective Ionization Using Field-free Alignment of IBr Isotopologues with a Switched Nanosecond Laser Pulse	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 416 ~ 418
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/CL.200024	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 Sayama Atsushi, Nihonyanagi Satoshi, Ohshima Yasuhiro, Tahara Tahei	4. 巻 22
2. 論文標題 In situ observation of the potential-dependent structure of an electrolyte/electrode interface by heterodyne-detected vibrational sum frequency generation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 2580 ~ 2589
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CP06253J	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 Mizuse Kenta, Fujimoto Romu, Ohshima Yasuhiro	4. 巻 90
2. 論文標題 Space-slice ion imaging: High slice resolution imaging in the polarization plane of arbitrarily polarized ionizing light	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 103107 ~ 103107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5110690	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 Nihonyanagi Satoshi, Sayama Atsushi, Ohshima Yasuhiro, Tahara Tahei	4. 巻 48
2. 論文標題 In-situ Referencing Method for Heterodyne-detected Vibrational Sum Frequency Generation Measurements at Liquid/Metal Interfaces	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1387 ~ 1390
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/CL.190606	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 Mizuse Kenta, Fujimoto Romu, Ohshima Yasuhiro	4. 巻 48
2. 論文標題 Acceleration and Deceleration of Unidirectional Molecular Rotation by a Femtosecond Laser Pulse	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1371 ~ 1374
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/CL.190614	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 Hayashi Masato, Ohshima Yasuhiro	4. 巻 150
2. 論文標題 Sub-Doppler electronic spectrum of the benzene-D <sub>2</sub> complex	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 14301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5077028	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31件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 17件)

1. 発表者名 大八木優平、水瀬賢太、大島康裕
2. 発表標題 間分解クーロン爆発イメージングを用いたメタン・重メタン二量体の回転分光
3. 学会等名 第21回分子分光研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池田 大、大島康裕
2. 発表標題 超短パルスを利用した量子固有状態間の完全分布移動へ向けて
3. 学会等名 第21回分子分光研究会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 大八木優平、水瀬賢太、大島康裕
2. 発表標題 時間分解クーロン爆発イメージングを用いたメタン・重メタン二量体の回転分光
3. 学会等名 分子科学会オンライン討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上野一樹、水瀬賢太、大島康裕
2. 発表標題 シュタルク偏向器によるアンモニア反転トンネル分裂準位の空間分離
3. 学会等名 分子科学会オンライン討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上野一樹、水瀬賢太、大島康裕
2. 発表標題 Stark デフレクターによる実空間でのアンモニアの量子状態分離
3. 学会等名 第20回 分子分光研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 薄井仁、水瀬賢太、大島康裕
2. 発表標題 2波長レーザーイオン化によるベンゼン-重水素クラスターの結合エネルギーの決定
3. 学会等名 第20回 分子分光研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 戸畑佑哉, 水瀬賢太, 大島康裕
2. 発表標題 時間分解クーロン爆発イメージングによるメタン二量体の回転分光
3. 学会等名 第20回 分子分光研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasuhiro Ohshima
2. 発表標題 Quantum Tunneling of a He Atom Above and Below the Benzene Ring
3. 学会等名 WRHI International Workshop on Advanced Laser Spectroscopy for Soft Molecular Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Ohshima
2. 発表標題 Time- and frequency-domain study on intermolecular vibration
3. 学会等名 Manchester International Symposium Highly Excited States, Many-body and Non-covalent Interactions (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Ohshima
2. 発表標題 Low frequency impulsive Raman investigation of gas-phase molecules and clusters
3. 学会等名 ICAVS10 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 二階堂 誠, 水瀬 賢太, 大島 康裕
2. 発表標題 極短パルスレーザーを用いたビフェニルおよびビフェニル誘導体における大振幅振動のコヒーレント制御
3. 学会等名 第13回 分子科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村井 友海, 水瀬 賢太, 大島 康裕
2. 発表標題 ベンゼン3量体における低周波数分子間振動ダイナミクスの実時間観測
3. 学会等名 第11回 分子科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Nikaido, Kenta Mizuse, Yasuhiro Ohshima
2. 発表標題 Control of large amplitude vibration and rotation of biphenyl and its derivatives by ultrashort laser pulses
3. 学会等名 第35回化学反応討論会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Dai Ikeda, Kenta Mizuse, Yasuhiro Ohshima
2. 発表標題 Spatiotemporal observation of the hyperfine depolarization in NO (A2Sigma+)
3. 学会等名 第35回化学反応討論会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂本 直也, 水瀬 賢太, 大島 康裕
2. 発表標題 超短パルス列による一方向分子回転波束の生成と制御
3. 学会等名 第13回 分子科学討論会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoya Sakamoto, Kenta Mizuse, Romu Fujimoto, Yasuhiro Ohshima
2. 発表標題 Creation and control of unidirectional molecular rotational wave packets using ultrashort pulses
3. 学会等名 WRHI International Workshop on Advanced Laser Spectroscopy for Soft Molecular Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuya Tobata, Kenta Mizuse, Yasuhiro Ohshima
2. 発表標題 Structure and intermolecular interaction of methane dimer studied by coulomb explosion imaging
3. 学会等名 WRHI International Workshop on Advanced Laser Spectroscopy for Soft Molecular Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomomi Mrai, Kenta Mizuse, Hirokazu Hasegawa, Yasuhiro Ohshima
2. 発表標題 Unexpected low frequency intermolecular vibration in benzene trimers revealed by time-domain approach
3. 学会等名 WRHI International Workshop on Advanced Laser Spectroscopy for Soft Molecular Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Dai Ikeda, Kenta Mizuse, Yasuhiro Ohshima
2. 発表標題 Direct Visualization of the Hyperfine Depolarization in Electronically Excited Nitric Oxide
3. 学会等名 WRHI International Workshop on Advanced Laser Spectroscopy for Soft Molecular Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuki Ueno, Kenta Mizuse, Yasuhiro Ohshima
2. 発表標題 Toward spatio-temporal observation of ammonia inversion motion
3. 学会等名 WRHI International Workshop on Advanced Laser Spectroscopy for Soft Molecular Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上野一樹, 水瀬賢太, 大島康裕
2. 発表標題 アンモニア反転運動の実空間観測に向けて
3. 学会等名 第19回分子分光研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水瀬賢太, 村井友海, 佐藤光, 石橋玄規, 石川春樹, 大島康裕
2. 発表標題 波束イメージングに基づく窒素2量体の広帯域・高分解能分光
3. 学会等名 第12回 分子科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuhiro Ohshima
2. 発表標題 Wave-packet imaging spectroscopy of the nitrogen dimer
3. 学会等名 The 25th International Conference on High Resolution Molecular Spectroscopy (BILBAO2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Dai Ikeda, Kenta Mizuse, Yasuhiro Ohshima
2. 発表標題 Visualizing angular distribution of photoexcited nitric oxide molecules
3. 学会等名 The 10th Asian Photochemistry Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenta Mizuse, Yasuhiro Ohshima
2. 発表標題 High-precision imaging of laser-induced molecular rotational wave packet dynamics
3. 学会等名 The 10th Asian Photochemistry Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomomi Murai, Kenta Mizuse, Hirokazu Hasegawa, Yasuhiro Ohshima
2. 発表標題 Real-time observation of intermolecular vibrational dynamics in benzene clusters
3. 学会等名 WRHI International Workshop on Advanced Laser Spectroscopy for Soft Molecular Systems (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Dai Ikeda, Kenta Mizuse, Yasuhiro Ohshima
2. 発表標題 Visualization of rotational eigenstates and wave packets of nitric oxide
3. 学会等名 WRHI International Workshop on Advanced Laser Spectroscopy for Soft Molecular Systems (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村井 友海, 水瀬 賢太, 長谷川 宗良, 大島 康裕
2. 発表標題 ベンゼンクラスターにおける分子間振動ダイナミクスの時間領域観測
3. 学会等名 第12回 分子科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石橋 玄規, 水瀬 賢太, 大島 康裕
2. 発表標題 フェムト秒時間分解イメージング法を用いた窒素二量体における分子間振動ダイナミクスの研究
3. 学会等名 第12回 分子科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池田 大, 水瀬 賢太, 大島 康裕
2. 発表標題 一酸化窒素分子における回転固有状態および回転波束の可視化
3. 学会等名 第12回 分子科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenta Mizuse, Yasuhiro Ohshima
2. 発表標題 High-resolution rotational wave packet imaging and imaging-based spectroscopy of gas-phase molecular systems
3. 学会等名 Stereodynamics2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>東京工業大学 理学院 化学系 大島・山崎研  <a href="http://www.chemistry.titech.ac.jp/~ohshima/index.html">http://www.chemistry.titech.ac.jp/~ohshima/index.html</a>          Ohshima-Yamazaki Group, Tokyo Tech  <a href="http://www.chemistry.titech.ac.jp/~ohshima/index_e.html">http://www.chemistry.titech.ac.jp/~ohshima/index_e.html</a></p>
--

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

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		
ハンガリー	Eotvos Lorand University		