

令和 5 年 5 月 22 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05432

研究課題名(和文) 緩衝ガス冷却法と局所振動励起による化学反応経路の分割的観測

研究課題名(英文) Identification of chemical reaction pathways by local excitation with buffer gas cooling

研究代表者

高口 博志 (Kohguchi, Hiroshi)

広島大学・先進理工系科学研究科(理)・准教授

研究者番号：40311188

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：反応速度定数は反応性を記述する指標であり、その温度依存性から反応機構が考察されてきた。反応温度は並進や振動を含むすべての分子自由度に一律に与えられるが、一般に反応の起きやすさへの寄与は反応系の運動自由度ごとに異なる。イオン・分子反応は多くの速度論的研究が行われ、その反応速度定数は電荷・誘起双極子相互作用を駆動力とするモデルによってよく記述されるが、分子振動・回転といった量子状態ごとの反応性から、反応機構を微視的に考察する研究はごく限られてきた。本研究課題では、低温条件下で分子内部自由度を局所的に励起する実験手法を確立することで、イオン・分子反応の分子内自由度の役割を実験的に明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で取り扱ったイオン・分子反応は反応性が高く、多様な反応場において有用な物質合成に使われる。その反応性の高さについては単純なモデルが確立され、実際の反応性予測に適用されている。本研究では、そのメカニズム、すなわち、化学結合がどのように形成・開裂していくのかの解明を目的に、レーザー分光法によって分子イオンの特定の振動・回転にエネルギーを与え、同時に反応相手と衝突させるエネルギーを制御する反応実験法を確立した。反応分子系の運動を分離した実験結果からは、高いエネルギーを持つほど反応性が高くなると従来から考えられている挙動とは異なる、新奇なイオン・分子反応の性質を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The temperature in chemical reactions is supposed to be uniform for all the degrees of molecular freedoms, such as translation and vibrations. However, individual molecular motions should contribute to the reactivity in different manners. Ion-molecule reactions have been extensively studied in reaction kinetics approaches, where the reactivity is well-described charge-induced dipole moment interactions. On the other hand, understanding of the reaction mechanisms at a microscopic level in terms of the quantum states associated with the molecular motions is limited based on the reaction dynamics approaches. In the present research project, we elucidated the distinct roles of individual molecular degrees of freedom in the ion-molecule reactions based on our development of the state-resolved experimental method.

研究分野：物理化学

キーワード：化学反応ダイナミクス イオンガイド反応実験 ヒドリド移動 衝突エネルギー依存性 量子状態依存性

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

並進温度が極限的に冷却された状態での化学反応は、孤立系二体衝突 ( $A+B \rightarrow C+D$ ) のポテンシャルエネルギー曲面 (PES) の形状を敏感に反映する。衝突対の相対運動を抑制した超低エネルギー衝突 ("Cold Collision") の研究は、主として原子間衝突を対象として発展してきた経緯があり、極限条件下での新奇な原子過程・集団の量子効果を実験的に明らかにしてきた。一方、分子の結合形成・開裂が主要過程である化学反応に対しては、PES 座標に相関する振動・回転といった内部自由度の役割に着目した反応ダイナミクス研究が、低温化学の新しい研究テーマとして始まりつつあった。

一般に化学反応経路は、反応対 ( $A+B$ ) の接近に伴って新しい結合が形成される過程と、エネルギー放出を伴って生成物 ( $C+D$ ) へ安定化していく過程とに、概念的には分離して考えることができる。新しい結合形成から解離過程への遷移を境にして分子内座標と反応座標 (生成対間距離) が入れ替わることから、分子振動励起と分子間並進運動を独立に変化させた際の反応結果の違いに基づいて、反応が有効に進行する経路を実験的に探索できれば、多原子分子系の化学反応ダイナミクス研究の新しい方向性を見出すことができる。それまでの化学反応研究において、量子状態を選別した反応ダイナミクス研究は、少数原子系に対する反応経路同定に有力な手段であることが実証されている。

以上を背景として、本研究課題では、多自由度・多曲面 PES での運動様式 (反応経路) を決定する新しいアプローチとして、衝突エネルギーと反応分子の量子状態を同時制御する方法の確立と、イオン・分子反応実験におけるその有効性の実証を研究テーマとする着想に至った。

### 2. 研究の目的

(1) 反応速度定数は一般に温度の関数として測定され、その温度依存性に基づいて反応機構が考察される。反応温度は並進や振動を含むすべての分子自由度に様に与えられるが、本研究課題では、低温条件下での化学反応において分子内部自由度を局所的に励起することで、反応性に対する個々の自由度の役割を実験的に区別するアプローチを確立することを目的とした。特に PES 上での反応系の挙動に強く結合する反応分子の振動自由度に着目して、レーザー分光法を用いて振動励起した分子イオンの反応系を対象とした。特定の振動モードが反応座標に關与する場合には、新しい結合を形成したことを境にして、その座標 (構造パラメーター) は並進運動に性質が変わる。この反応経路の動力学的性質を利用して、反応前の分子振動励起が有効に反応経路に接続する様子を測定する実験法・解析法を構築することを目指した。振動励起の影響が顕著に現れる反応条件として、並進エネルギーを抑制した衝突実験とレーザー分光法を組み合わせた実験装置の開発を行うこととした。

(2) 対象とする反応系は、RF イオンガイド反応装置が適用できるイオン・分子反応とした。イオン・分子反応は、一般に低エネルギー衝突条件で指数関数的に反応性が增大する特徴を持つ。幅広い反応場で大きな反応断面積を示すイオン・分子反応系は、従来型のイオンガイド装置を含む手法により速度論的研究が行われ、中でもプロトン性イオンと中性分子との反応における主要過程であるプロトン ( $H^+$ ) 移動に関しては、多くの反応系での反応速度定数がデータベース化されている。一方、非プロトン性イオンと炭化水素との反応で見られるヒドリド ( $H^-$ ) 移動については、その反応機構の詳細は未解明である。本研究課題で開発・整備した手法を用いて、ヒドリド移動の動力学的性質に関して、新しい知見を得ることを反応ダイナミクス研究としての目的とした。低衝突エネルギー条件で反応性が増すイオン・分子反応に対しては、反応分子の振動励起の効果はより顕在化すると期待できることから、低温反応ダイナミクス研究に対して、新しいテーマを探索することも同時に進めることとした。

### 3. 研究の方法

(1) 本研究課題で使用した RF イオンガイド反応装置の概略図を図 1 に示した。レーザー光イオン化その他の方法で生成された分子イオンは、エネルギー制御電極で速度を制御したのち、8 重極イオンガイド (OPIG) に入射される。OPIG が貫通する反応セルに、単一衝突条件を満たす微量の中性試料を導入してイオン・分子反応を起こさせ、未反応イオンと生成物イオンを、高電圧パルスによって、OPIG と直交方向に加速する。イオン検出器までの飛行時間を測定することで、質量を分離して各イオン量を計測した。

本測定装置の最大の技術課題は、低速イオン輸送であった。一般にイオン・分子反応の反応性が增大する  $5\text{ eV}$  以下の衝突エネルギーでは、研究開始当初では、イオンガイド効率が急激に低下して、セル内での反応量が検出限界に達しなかった。本研究期間内の制御電極の

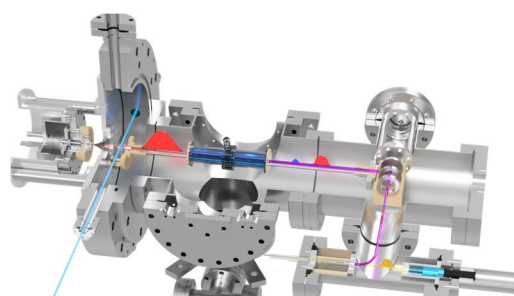


図 1 RF イオンガイド反応装置 (光イオン化仕様)  
前駆体試料の超音速分子線にレーザー光を照射して、量子状態を選別した分子イオンを発生させる。反応セルを貫通する OPIG は、反応物イオン・生成物イオンを直交再加速式の質量分析検出器へと輸送する。

改良には、生成される電場の数値シミュレーションを併用して行った。

(2) 分子イオンの状態選択生成には、リドベルグ状態を経由する共鳴多光子イオン化法を適用した。本研究期間では、主に一酸化窒素分子を前駆体として、量子状態を選別した  $\text{NO}^+$  を反応実験に用いた。光イオン化効率を向上させるために、二波長光イオン化法を適用した。レーザー光イオン化法はその状態選別性が最大の利点であるが、これを効率的に行える電子遷移を持つ分子種は限られている。本実験装置を多くの反応系に適用するために、パルス放電法とストレージ型 RF イオン源(図 2) を製作した。

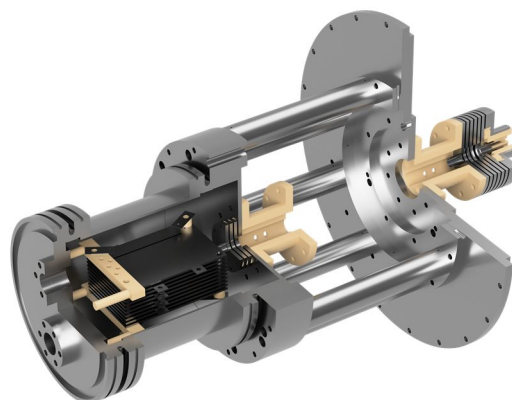


図 2 ストレージ型 RF イオン源(概略図)

熱フィラメントによる電子衝撃イオン化を利用したイオン源であり、多くの前駆体試料に適用できる。イオン生成の確認実験は、Ar 試料を用いた  $\text{Ar}^+$  で行った。生成されたイオンは交流(RF)電場が印可された複プレート内部の空洞領域に貯蔵され、パルス電場によって引き出される。

#### 4. 研究成果

(1) 衝突エネルギーと量子状態を同時制御するイオンガイド反応実験を実現した。振動・回転状態を選別した  $\text{NO}^+(\nu, J)$  とイソペンタン、エタノールとの反応実験を行い、衝突エネルギー依存性と量子状態依存性の相関を観測した。図 3 は  $\text{NO}^+(\nu, J) + i\text{-C}_5\text{H}_{12}$  反応実験で得られた信号である。低速輸送された  $\text{NO}^+$  は、反応セルを経由して直交再加速電極に至るまでに広がる (~50  $\mu\text{s}$  幅) ため、高電圧パルス (2  $\mu\text{s}$  幅) で切り出しタイミング (OPIG TOF 軸) を掃引して測定した。質量分析の異なる飛行時間 (Reaccel TOF 軸) に、未反応  $\text{NO}^+$  と生成物  $\text{C}_5\text{H}_n^+$  と帰属される信号が検出されている。衝突エネルギーと  $\text{NO}^+(\nu, J)$  の量子状態を変えて生成物信号強度を測定することで、反応エネルギーを付与する分子自由度を制御した反応実験が可能となり、本研究課題で目標とした方法論を構築することができた。

(2) パルス放電法を用いた反応実験では、中性励起種に由来する生成物信号が相対的に強く観測された。イオン種ではないため、電場による衝突エネルギー制御ができなかったが、準安定励起種によるイオン化反応実験に適用できる見通しが得られた。

開発した貯蔵式 RF イオン源の性能評価を  $\text{Ar}^+$  生成実験にて行った。分子性前駆体 ( $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ ) を用いることで、当初目的とした  $\text{CH}_3^+$ 、 $\text{H}_3\text{O}^+$  などの多様なイオン生成が可能になる。そのためには質量分離が必要となるが、製作した RF イオン源を OPIG 反応装置に適用するための次工程に結びつけることができた。

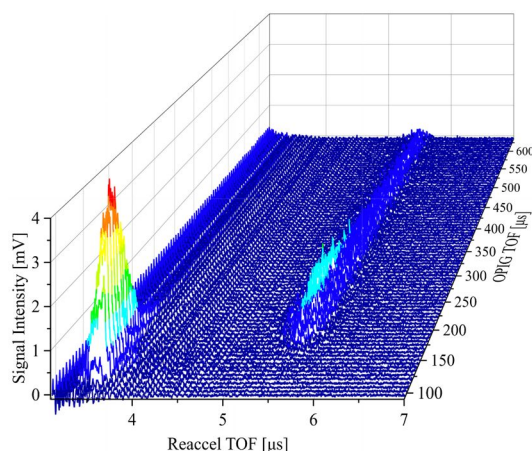


図 3 状態選別・エネルギー制御 OPIG 反応装置で得られた  $\text{NO}^+(\nu, J) + i\text{-C}_5\text{H}_{12}$  反応信号

質量軸(横軸) 3.5 $\mu\text{s}$ : 未反応  $\text{NO}^+$  信号、 5.5 $\mu\text{s}$ :  $\text{C}_5\text{H}_n^+$  生成物信号

(3)  $\text{NO}^+$  と  $i\text{-C}_5\text{H}_{12}$  との反応実験では、生成物信号をヒドリド移動 ( $\text{NO}^+ + i\text{-C}_5\text{H}_{12} \rightarrow \text{HNO} + \text{C}_5\text{H}_{11}^+$ ) 由来と帰属した。振動基底状態の  $\text{NO}^+(\nu=0)$  の反応断面積は、イオン・分子反応の一般的な性質である低衝突エネルギーほど反応断面積が増大する結果を示した。一方、振動励起した  $\text{NO}^+(\nu=1)$  は、同じ衝突エネルギー条件でも生成物信号強度が大きく抑制されており、顕著な量子状態依存性が明らかになった。これは、反応対の並進自由度と反応分子の振動自由度の化学反応性に対する役割を実験的に分割する本研究課題の目標を達成したといえる成果である。本研究期間内で設定した課題は発展性のある内容であり、本研究課題はイオン・分子反応に対する新しい反応ダイナミクスの知見を得るといった、さらに進んだ研究テーマに展開できる。当初の目標達成を越えて、今後につなげるための技術的課題が明確になったことも、本研究課題での成果である。具体的には、(1)ヒドリド移動と競合するとされている電荷移動 ( $\text{NO}^+ + \text{C}_5\text{H}_{12} \rightarrow \text{NO} + \text{C}_5\text{H}_{12}^+$ ) の生成物を厳密に分離するための質量分解能の向上 ( $\Delta m = 1 \text{ amu}$ ) (2)パルスレーザーでの高密度イオン生成に現れる空間電荷効果の抑制と並進エネルギー値・幅の定量化、(3)OPIG の RF 電場に重畳する DC オフセット電圧を利用した低速イオン輸送技術の高度化、が挙げられる。これら技術的課題に対する解決策の検討も行った。

本研究では、反応対の並進自由度と反応分子の振動自由度の化学反応性に対する役割を実験的に分割することを目標として取り組み、ヒドリド移動反応における並進と分子振動の寄与の違いを明らかにする測定を実現した。新たな実験技術開拓の方向性を明確にしたことと合わせて、長距離相互作用支配とされてきた多原子系イオン・分子反応に対して、新しい分子論的理解につながる反応ダイナミクス研究のアプローチを確立することができた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 0件）

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Tendo Shogo, Tanimoto Yuki, Daijogon Takumi, Adaniya Masataka, Kawabata Daigo, Kobayashi Kei, Ogino Yusuke, Kohguchi Hiroshi, Yamasaki Katsuyoshi | 4. 巻<br>797                   |
| 2. 論文標題<br>Overall and state-to-state quenching of atomic oxygen O(2p33p 3P) by collisions with He and N2   | 5. 発行年<br>2022年               |
| 3. 雑誌名<br>Chemical Physics Letters  | 6. 最初と最後の頁<br>139508 ~ 139508 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.cplett.2022.139508  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |
| 1. 著者名<br>Nagamori Keigo, Haze Misato, Nakata Hiroyuki, Zingsheim Oliver, Yamasaki Katsuyoshi, Kohguchi Hiroshi   | 4. 巻<br>126                   |
| 2. 論文標題<br>Generation of Highly Vibrationally Excited CO in Sequential Photodissociation of Iron Carbonyl Complexes   | 5. 発行年<br>2022年               |
| 3. 雑誌名<br>The Journal of Physical Chemistry A   | 6. 最初と最後の頁<br>306 ~ 313       |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1021/acs.jpca.1c09922  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する                  |
| 1. 著者名<br>Kuroko Yuri, Kanesaki Mayuu, Kohguchi Hiroshi, Yamasaki Katsuyoshi  | 4. 巻<br>789                   |
| 2. 論文標題<br>Complete rotational assignment of the (0,0) vibrational band of the A1 -1 + transition of carbon monosulfide                                     | 5. 発行年<br>2022年               |
| 3. 雑誌名<br>Chemical Physics Letters  | 6. 最初と最後の頁<br>139326 ~ 139326 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.cplett.2021.139326  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |
| 1. 著者名<br>Tendo Shogo, Nishimura Ayaka, Ogino Yusuke, Kohguchi Hiroshi, Yamasaki Katsuyoshi   | 4. 巻<br>787                   |
| 2. 論文標題<br>Detection of atomic bromine (4p5 2P; J=1/2, 3/2) by two-photon laser-induced vacuum ultraviolet emission   | 5. 発行年<br>2022年               |
| 3. 雑誌名<br>Chemical Physics Letters  | 6. 最初と最後の頁<br>139253 ~ 139253 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.cplett.2021.139253  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Tendo Shogo, Tanimoto Haruka, Kobayashi Kei, Kohguchi Hiroshi, Yamasaki Katsuyoshi  | 4. 巻<br>779                   |
| 2. 論文標題<br>Nascent vibrational distributions of S2 generated in the S(1D) + OCS reaction and vibrational relaxation by collisions with He and CF4 | 5. 発行年<br>2021年               |
| 3. 雑誌名<br>Chemical Physics Letters  | 6. 最初と最後の頁<br>138841 ~ 138841 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.cplett.2021.138841  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Asvany O., Markus C. R., Nagamori K., Kohguchi H., Furuta J., Kobayashi K., Schlemmer S., Thorwirth S. | 4. 巻<br>910           |
| 2. 論文標題<br>Pure Rotational Spectrum of CCl+  | 5. 発行年<br>2021年       |
| 3. 雑誌名<br>The Astrophysical Journal  | 6. 最初と最後の頁<br>15 ~ 15 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3847/1538-4357/abe536   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する          |

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Haze Misato, Nakata Hiroyuki, Inoue Kento, Shinohara Ryo, Wangchingchai Peerapat, Nagamori Keigo, Onitsuka Yuuki, Yamasaki Katsuyoshi, Kohguchi Hiroshi | 4. 巻<br>378                   |
| 2. 論文標題<br>Improvement and Determination of Higher-Order Centrifugal Distortion Constants of the A2 $\rightarrow$ X2 Electronic Transition of NO                  | 5. 発行年<br>2021年               |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Molecular Spectroscopy   | 6. 最初と最後の頁<br>111475 ~ 111475 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.jms.2021.111475   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

|   |                           |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名<br>Hiroyuki Nakata, Keigo Nagamori, Misato Haze, Katsuyoshi Yamasaki, and Hiroshi Kohguchi                                     | 4. 巻<br>124               |
| 2. 論文標題<br>Primary and Secondary Loss of CO and NO Ligands in the Ultraviolet Photodissociation of the Heteroleptic Co(CO)3NO Complex | 5. 発行年<br>2020年           |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Physical Chemistry A   | 6. 最初と最後の頁<br>10694-10704 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1021/acs.jpca.0c07812  | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>-                 |

|   |                  |
|---|------------------|
| 1. 著者名<br>Daigo Kawabata; Shogo Tendo; Yuki Tanimoto; Rintaro Fukami; Hiroshi Kohguchi, and Katsuyoshi Yamasaki | 4. 巻<br>754      |
| 2. 論文標題<br>Branching ratios of electronic quenching of atomic sulfur S(3p34p 3PJ) by collisions with N2         | 5. 発行年<br>2020年  |
| 3. 雑誌名<br>Chemical Physics Letters  | 6. 最初と最後の頁<br>13 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.cplett.2020.137730  | 査読の有無<br>有       |
| オープンアクセス<br>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<br>-        |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Muramatsu, Satoru; Nakayama, Shingo; Kinoshita, Shin-nosuke; Onitsuka, Yuuki; Kohguchi, Hiroshi; Inokuchi, Yoshiya; Zhu, Chaoyuan; Ebata, Takayuki | 4. 巻<br>124             |
| 2. 論文標題<br>Electronic State and Photophysics of 2-Ethylhexyl-4-Methoxycinnamate as UV-B Sunscreen under Jet-Cooled Condition                                 | 5. 発行年<br>2020年         |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Physical Chemistry A  | 6. 最初と最後の頁<br>1272-1278 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1021/acs.jpca.9b11893   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する            |

|   |                      |
|---|----------------------|
| 1. 著者名<br>Daigo Kawabata, Shogo Tendo, Hiroshi Kohguchi, Katsuyoshi Yamasaki                                  | 4. 巻<br>736          |
| 2. 論文標題<br>Overall and state-specific electronic quenching of atomic sulfur S(3p34p 3P) by collisions with He | 5. 発行年<br>2020年      |
| 3. 雑誌名<br>Chemical Physics Letters  | 6. 最初と最後の頁<br>136962 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.cplett.2019.136962  | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>-            |

|   |                           |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名<br>Matthias Toepfer, Anders Jensen, Keigo Nagamori, Hiroshi Kohguchi, Tamas Szidarovszky, Attila G. Csaszar, Stephan Schlemmer, and Oskar Asvany | 4. 巻<br>22                |
| 2. 論文標題<br>Spectroscopic signatures of HHe2+ and HHe3+  | 5. 発行年<br>2020年           |
| 3. 雑誌名<br>Physical Chemistry Chemical Physics   | 6. 最初と最後の頁<br>22885-22888 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1039/D0CP04649C  | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する              |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Oskar Asvany, Charles Markus, Keigo Nagamori, Hiroshi Kohguchi, Jin Furuta, Kaori Kobayashi, S. Schlemmer, and S. Thorwirth | 4. 巻<br>910         |
| 2. 論文標題<br>Pure rotational spectrum of CCl <sub>2</sub> <sup>+</sup>  | 5. 発行年<br>2020年     |
| 3. 雑誌名<br>Astrophysical Journal   | 6. 最初と最後の頁<br>15-19 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3847/1538-4357/abe53   | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する        |

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件)

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>T. Mochizuki, K. Yamasaki, H. Kohguchi  |
| 2. 発表標題<br>Development of Guided Ion Beam Apparatus to Measure Ion Rotational and Vibrational Effects in NO <sup>+</sup> + Hydrocarbon Systems |
| 3. 学会等名<br>36th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Y. Unemi, K. Inoue, K. Yamasaki, H. Kohguchi  |
| 2. 発表標題<br>Correlation between the vibronic state of methyl nitrite and the vibrational state of NO products in the S <sub>1</sub> photodissociation |
| 3. 学会等名<br>36th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>P. Wangchingchai, K. Yamasaki, H. Kohguchi   |
| 2. 発表標題<br>N-CH <sub>3</sub> and N-H dissociation pathways from 3p Rydberg state of dimethylamine |
| 3. 学会等名<br>36th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics (国際学会)                                |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>井上健翔, 篠原亮, 采見悠吾, 山崎勝義, 高口博志            |
| 2. 発表標題<br>二面角ポテンシャルエネルギー曲面による亜硝酸メチルの高回転励起NO生成の考察 |
| 3. 学会等名<br>第15回分子科学討論会                            |
| 4. 発表年<br>2021年                                   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Hiroyuki Nakata, Keigo Nagamori, Misato Haze, and Hiroshi Kohguchi                     |
| 2. 発表標題<br>Gas-Phase Study of Photo-Induced Ligand Release Dynamics of Transition-Metal Complexes |
| 3. 学会等名<br>11th Asian Photochemistry Conference (招待講演)  |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>高口博志、金安達夫、彦坂泰正、和田真一、加藤政博、藤本將輝、太田紘志、鈴木喜一 |
| 2. 発表標題<br>光電子円二色性を示すキラル分子の探索                      |
| 3. 学会等名<br>UVSORシンポジウム2021                         |
| 4. 発表年<br>2021年                                    |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>樋美里, 中田裕之, 長森啓悟, 松木大, 水田勉, 山崎勝義, 高口博志   |
| 2. 発表標題<br>遷移金属錯体の光脱離反応における $\mu$ 5-C5H5配位子の電子供与効果 |
| 3. 学会等名<br>分子科学会オンライン討論会2020                       |
| 4. 発表年<br>2020年                                    |



|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>高口博志、金安達夫、彦坂泰正、和田真一、加藤政博、藤本將輝、鈴木喜一 |
| 2. 発表標題<br>光電子円二色性のエネルギー依存性の測定                |
| 3. 学会等名<br>UVSORシンポジウム2020                    |
| 4. 発表年<br>2020年                               |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>望月 達人, 中田 裕之, 長森 啓悟, 山崎 勝義, 高口 博志 |
| 2. 発表標題<br>量子状態を制御した低速イオン-分子反応測定装置の開発        |
| 3. 学会等名<br>原子衝突学会年会                          |
| 4. 発表年<br>2020年                              |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(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 |  |  |
|---------|---------|--|--|
| ドイツ     | ケルン大学   |  |  |