

令和 6 年 9 月 6 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究

研究期間：2022～2023

課題番号：22K14649

研究課題名(和文) 気相極低温分光で捉える有機配位子保護金属クラスターの構造ゆらぎとその起源

研究課題名(英文) Structural Fluxionality of Ligand-Protected Metal Clusters Studied by Cold Gas-Phase Spectroscopy

研究代表者

村松 悟 (Muramatsu, Satoru)

広島大学・先進理工系科学研究科(理)・助教

研究者番号：40837796

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：有機配位子保護金属クラスターをはじめとするクラスター化合物において見られるクラスターコア構造の柔軟な変化(「構造ゆらぎ」)に対し、それに起因する電子状態変化や機能発現を気相分光・分析手法によって明らかにすることを最終的な目的に研究を推進した。一連の研究により、(1)ホスフィン保護金クラスターの構造ゆらぎに起因する衝突誘起コア開裂、(2)二硫化炭素ダイマーラジカルイオンの構造ゆらぎに起因する電荷共鳴吸収の温度依存シフトなど種々の新しい現象を見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で見出したクラスター化合物の「構造ゆらぎ」に基づく一連の現象は、クラスター科学に新たな知見を提供し、その一層の深化に貢献するものである。近年ではクラスター化合物の物性・機能(触媒活性や蛍光特性など)をそのサイズ(構成原子数、化学組成)によって制御する研究が広く展開されるようになったが、それに加えて幾何構造をも制御することで望みの機能を実現していくことができると考えられ、本研究がそのための設計指針の一端を担うことが期待される。

研究成果の概要(英文)：The objective of this project has been characterizing the electronic and geometrical structures of highly fluxional cluster compounds by using our gas-phase spectroscopic/spectrometric techniques. Over the course of the project, we have identified several novel phenomena, including (1) core fission in phosphine-protected gold clusters owing to collision-induced structural deformation and (2) a temperature-dependent energy shift in the charge-resonance transition of a dimer radical cations of carbon disulfide.

研究分野：物理化学，クラスター科学，分子分光学

キーワード：配位子保護金属クラスター 分子クラスターラジカルイオン 極低温イオントラップ 八極子イオンガイド イオン光学 光解離分光 衝突誘起解離 質量分析

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

金属原子が数個から百個程度集まって構成された金属クラスターはバルク金属からは類推できない特異な構造や物性を有し、新たな高性能触媒や発光材料の機能中心として注目されている。特に、有機配位子(チオラートやホスフィンなど)による表面保護を利用することで、特定の構成原子数(サイズ)からなるクラスターのみを選択的に湿式合成することができるだけでなく、その幾何構造が単結晶 X 線回折によって一義的に決定されてきた。一方で、ごく最近になって、これら金属クラスターの幾何構造は溶液中や気相中ではゆらいでおり、現実にはエネルギー的に近接した複数の異性体として共存している(構造ゆらぎ)という描像が明らかにされつつある。例えば、金属クラスター研究におけるベンチマークであり、15年以上に亘って完全に構造が決定していると信じられてきた[Au₂₅(SR)₁₈]⁻(SR:チオラート)クラスターにおいて、気相中で単結晶構造とは異なる金属コア構造・配位子の配座を有する準安定異性体が現れることが、今年になってイオン移動度分析により見出された。一般に金属クラスターの電子構造や物性、機能はクラスターの幾何構造の違いを敏感に反映することから、その幾何構造を正確に捉え、異性化の起源(すなわち準安定構造を実現する安定化要因)を解明することが重要である。金属クラスター研究において、単結晶中に現れない構造に対する実験的かつ高精度な構造探究手法は未だに乏しい中、研究代表者・村松がここ数年来取り組んできた極低温環境における気相分光法こそ、上述のような課題に対する最適なアプローチであると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、上述の背景を踏まえて、以下内容を目的とした研究を推進した。

- (課題1) 従来から開発を進めてきた気相極低温分光装置のクラスター化合物への最適化を進めること
- (課題2) 実際に、構造ゆらぎを示すクラスター化合物の気相極低温分光を行うこと
- (課題3) 構造ゆらぎの効果を明瞭に捉えるための分光に限らない気相実験手法を開拓すること

3. 研究の方法

気相極低温下での分光においては、我々がここ数年来開発を進めてきた極低温イオントラップ/光解離分光装置を用いた。すなわち、ヘリウム冷凍機のヘッド(~4 K)に接続した3次元型四重極イオントラップ(QIT)に測定対象イオンを捕捉することで、あらかじめ内部に導入しておいたヘリウム緩衝ガスとの衝突を介した冷却(collisional cooling)を実現する。そこにレーザー光を照射し、生じた光解離イオンを後段の飛行時間型質量分析計(TOF-MS)で検出する。レーザー光波長を掃引しながら解離収量をプロットすることで、吸収スペクトルに相当する光解離スペクトルを取得することが可能となる。本研究では、後述の通り、この分光装置を高感度化するための「3段イオンレンズ」の設計・開発を行った(課題1)。また、本装置を用いて、クラスター化合物の一つである二硫化炭素ダイマーラジカル正イオン([(CS₂)₂]⁺)を超音速ジェット/電子衝撃法で生成し、410-1000 nm領域の可視-近赤外光解離分光を行った(課題2)。また、本研究を進める傍らで、有機配位子保護金属クラスターの衝突誘起解離パターンを調べる必要性が生じた。市販(サーモフィッシャー社)の質量分析装置であるOrbitrap-XLを用いて、ホスフィン保護金9量体クラスターイオン[Au₉(PPh₃)₈]³⁺をエレクトロスプレーイオン化法によって気相中に導入し、窒素ガスと任意のエネルギーで衝突させることで解離を引き起こし、その生成物の質量分析を行った(課題3)。

4. 研究成果

課題 1: 気相極低温分光装置の高感度化—「3 段イオンレンズ」の設計と開発

本装置では、測定対象イオンの光吸収効率を、光解離収率(すなわち解離前後でのイオン強度)として TOF-MS でモニタする。したがって、本手法におけるスペクトル測定感度には、装置内部でのイオンの輸送効率がそのまま反映される。そこで、イオンの輸送効率を高めるために、QIT 前段に設置した八極子イオンガイド (OPIG) およびイオンレンズに着目し、その再設計を行った。具体的な問題点としては、QIT のイオン導入口は直径 3 mm しかないにも関わらず、そこに至るまでにイオンが通過する OPIG の中では原理的にイオンバンチが一定の広がりを持ってしまう点が挙げられた。これまでは 1 段のイオンレンズによってその間をつなぐ (OPIG 内で広がったイオンバンチを集束させ、QIT 導入口を透過させる) 設計にしていた。しかし、イオン軌道計算ソフトウェア SIMION を用いてこの動作をシミュレーションしたところ、現有装置のセットアップではイオン集束のために kV オーダーの高電圧を要することが明らかになった。この結果を踏まえて、SIMION を用いた種々の検討の末に、3 段で構成される新たなイオンレンズ (「3 段イオンレンズ」) を考案した。それを実際に製作し、装置に導入したところ、実際にイオン検出感度が大幅 (10 倍以上) に増大することが確認された。以上の装置改良により、配位子保護金属クラスターの極低温光解離分光実験のための端緒を掴んだ。

課題 2: 常温で構造ゆらぎを示す二硫化炭素ダイマーラジカル正イオン $[(CS_2)_2]^+$ の気相極低温分光

上記装置の立ち上げに際して、クラスター化合物である二硫化炭素ダイマーラジカル正イオン $[(CS_2)_2]^+$ を用い、その光解離分光を実施した。QIT 温度を常温 (295 K) および極低温 (5 K) に設定してそれぞれスペクトルを取得したところ、イオントラップの冷却に伴って吸収バンド位置が大きく高波数シフト ($>1000\text{ cm}^{-1}$) することが見出された。結合クラスター法を用いた高精度量子化学計算によって、常温程度の熱エネルギーにおいて $[(CS_2)_2]^+$ の構造がエネルギー的に近接した 2 つの異性体の間をゆらいでいることを明らかにした。また、それら異性体の電子遷移エネルギーが異なることを見出し、極低温冷却に伴って最安定な 1 つの異性体に構造が収束することで見かけ上のバンドシフトが生じたことを明らかにした。このように、本分光手法が配位子保護金属クラスターに限らないクラスター化合物の構造ゆらぎを実験的に捉えるのに有効であることを実証した。本成果はアメリカ化学会の物理化学速報誌である *The Journal of Physical Chemistry Letters* 誌に掲載された (vol.15, pp.1493–1499 (2024)., 図 1)。

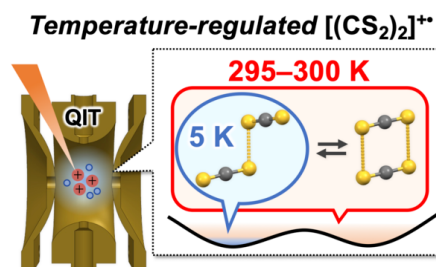


図 1. 二硫化炭素ダイマーラジカル正イオン $[(CS_2)_2]^+$ の構造ゆらぎと極低温冷却による構造収束.

課題 3: 構造ゆらぎを誘起することで生じるホスフィン保護金クラスター $[Au_9(PPh_3)_8]^{3+}$ のクラスターコア開裂現象の発見

上記装置の立ち上げに際して、実際に代表的な配位子保護金クラスターの 1 つである $[Au_9(PPh_3)_8]^{3+}$ の分光測定を試みたところ、QIT 導入時に衝突誘起解離 (CID) が生じることが示唆された。そこで、高分解能質量分析によってこの解離パターンを詳細に調査したところ、従来の配位子保護金属クラスターには見られない解離パターンとして、価電子数の変化を伴うクラスターコア開裂が生じていることが明らかになった。同クラスターの中心金原子をパラジウムに置換 ($[PdAu_8(PPh_3)_8]^{2+}$) してク

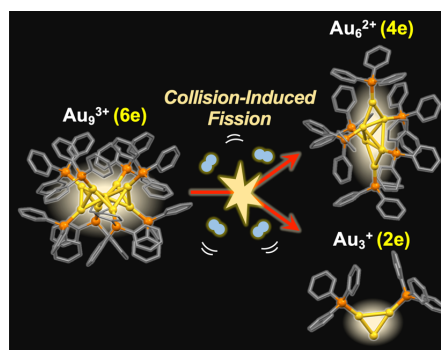


図 2. ホスフィン保護金クラスター $[Au_9(PPh_3)_8]^{3+}$ の衝突誘起コア開裂.

クラスターコア内金属結合を固くするとこの開裂が抑制された。種々の考察により、緩衝ガスとの衝突に伴うクラスターコアの構造変化（すなわち、構造ゆらぎの誘起）によって開裂が生じるものと結論した。このように、思いがけず金属クラスターの構造ゆらぎを誘起する手法を見出し、ゆらぎに起因する特異な現象を明らかにすることができた。本成果もまた *The Journal of Physical Chemistry Letters* 誌に掲載され (vol.14, pp. pp.5641–5647 (2023)., 図 2), Supplementary Journal Cover に選出された。

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 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Masahiro Koyama, Satoru Muramatsu, Yasuaki Hirokawa, Jidai Iriguchi, Akihito Matsuyama, Yoshiya Inokuchi	4. 巻 15
2. 論文標題 Correlation of the Charge Resonance Interaction with Cluster Conformations Probed by Electronic Spectroscopy of Dimer Radical Cations of CO_2 and CS_2 in a Cryogenic Ion Trap	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 <i>The Journal of Physical Chemistry Letters</i>	6. 最初と最後の頁 1493-1499
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.jpcllett.3c03500	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 Satoru Muramatsu, Yuki Nakahigashi, Tsubasa Omoda, Shinjiro Takano, Tatsuya Tsukuda, Yoshiya Inokuchi	4. 巻 14
2. 論文標題 Collision-Induced Fission of Oblate Gold Superatom in $[\text{Au}_9(\text{PPh}_3)_3]_{\text{Au}_8}^+$: Deformation-Mediated Mechanism	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 <i>The Journal of Physical Chemistry Letters</i>	6. 最初と最後の頁 5641-5647
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.jpcllett.3c01153	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 Iwamoto Masashi, Koyasu Kiiichirou, Konuma Takeki, Tsuruoka Kazuyuki, Muramatsu Satoru, Tsukuda Tatsuya	4. 巻 803
2. 論文標題 Temperature effect on photoelectron spectra of AuCO_2^- : Relative stability between physisorbed and chemisorbed isomers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Physics Letters	6. 最初と最後の頁 139823 ~ 139823
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.cpllett.2022.139823	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 Muramatsu Satoru, Tokizane Takayuki, Inokuchi Yoshiya	4. 巻 126
2. 論文標題 One-Dimensionally Conjugated Carbocyanine Dyes Isolated under Cold Gas-Phase Conditions: Electronic Spectra and Photochemistry	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry A	6. 最初と最後の頁 8127 ~ 8135
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.jpca.2c05111	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 Muramatsu Satoru, Ohshimo Keijiro, Shi Yuan, Kida Motoki, Shang Rong, Yamamoto Yohsuke, Misaizu Fuminori, Inokuchi Yoshiya	4. 巻 29
2. 論文標題 Gas Phase Characterization of Hypervalent Carbon Compounds Bearing 7 6 7 Ring Skeleton: Penta <i>versus</i> Tetra Coordinate Isomers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 e202203163
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202203163	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 Hirata Sakiko, Kusaka Ryoji, Meiji Shogo, Tamekuni Seita, Okudera Kosuke, Hamada Shoken, Sakamoto Chihiro, Honda Takumi, Matsushita Kosuke, Muramatsu Satoru, Ebata Takayuki, Kajiya Daisuke, Saitow Ken-ichi, Ikeda Toshiaki, Hirao Takehiro, Haino Takeharu, Watanabe Masayuki, Inokuchi Yoshiya	4. 巻 62
2. 論文標題 Lanthanide and Actinide Ion Complexes Containing Organic Ligands Investigated by Surface-Enhanced Infrared Absorption Spectroscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 474 ~ 486
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.2c03618	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 Kida Motoki, Ujihira Tomoyuki, Kubo Mayuko, Muramatsu Satoru, Ebata Takayuki, Inokuchi Yoshiya	4. 巻 127
2. 論文標題 Electronic Interaction between Aromatic Chromophores in Dibenzo-Crown Ether Complexes with Alkali Metal Ions Investigated via Cold Gas-Phase Spectroscopy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry A	6. 最初と最後の頁 3210 ~ 3220
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpca.3c01447	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 -

〔学会発表〕 計52件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 17件)

1. 発表者名 村松悟, 小山雅大, 入口時代, 廣川靖明, 松山晃仁, 井口佳哉
2. 発表標題 極低温イオントラップを用いた気相光解離分光装置の製作と分子クラスターラジカルイオンへの適用
3. 学会等名 第71回質量分析総合討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Satoru Muramatsu, Shiori Machida, Saya Kanazawa, Ryosuke Goda, Yuma Kitamura, Yoshiya Inokuchi
2. 発表標題 Toward cold gas-phase spectroscopy of chemical intermediates formed in solution: development of electrospray-based isolation systems
3. 学会等名 The 38th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masahiro Koyama, Satoru Muramatsu, Yoshiya Inokuchi
2. 発表標題 Photodissociation spectroscopy and CASSCF calculation of cryogenically cooled $[(CX_2)_2]^+$ ions (X = O, S)
3. 学会等名 The 38th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Satoru Muramatsu
2. 発表標題 Fission of Oblate Gold Superatom in $[Au_9(PPh_3)_8]^+$ via Collision-Induced Core Deformation
3. 学会等名 30th International Symposium on Molecular Beams (ISMB2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Satoru Muramatsu, Takayuki Tokizane, Yoshiya Inokuchi
2. 発表標題 One-dimensionally conjugated carbocyanine dyes in the gas phase: Electronic spectra and photochemistry
3. 学会等名 8th Asian Spectroscopy Conference 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shoken Hamada, Satoru Muramatsu, Yoshiya Inokuchi
2. 発表標題 Cold gas-phase spectroscopy of anthocyanin complex involved in blue Hydrangea
3. 学会等名 8th Asian Spectroscopy Conference 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masahiro Koyama, Satoru Muramatsu, Yoshiya Inokuchi
2. 発表標題 Cryogenic gas-phase spectroscopy of $[(CX_2)_2]^+(\cdot)$ ($X = O, S$): correlation of geometrical structure and charge resonance interaction
3. 学会等名 8th Asian Spectroscopy Conference 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kosuke Okudera, Satoru Muramatsu, Yoshiya Inokuchi
2. 発表標題 Surface-enhanced infrared absorption spectroscopy of diglycolamide complexes with lanthanide ions and comparison between the spectra and solvent extraction efficiency
3. 学会等名 8th Asian Spectroscopy Conference 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村松悟, 松山晃仁, 岩永大輝, 井口佳哉
2. 発表標題 超原子価化合物 $[(C_5H_5N)_2X]^+$ ($X = Br, I$)の極低温気相分光: N-X結合に対するハロゲン依存性
3. 学会等名 第17回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小山雅大, 村松悟, 井口佳哉
2. 発表標題 二硫化炭素ダイマーカチオン[(CS ₂) ₂] ⁺ の極低温気相分光: 幾何構造と電荷共鳴相互作用の相関
3. 学会等名 第17回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 濱田昇賢, 村松悟, 井口佳哉
2. 発表標題 アジサイの青色に関わるアントシアニン錯体の極低温気相分光
3. 学会等名 第17回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中村祐稀, 町田榮, 村松悟, 井口佳哉
2. 発表標題 鈴木・宮浦カップリング反応におけるパラジウム反応中間体の極低温気相分光
3. 学会等名 第17回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 四方嶺宏, 入口時代, 小山雅大, 村松悟, 井口佳哉
2. 発表標題 極低温光解離分光装置におけるイオンガイド部の再設計: イオン光学シミュレーションによる評価
3. 学会等名 第17回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 合田遼介, 村松悟, 井口佳哉
2. 発表標題 ジシアノナフタレンの光アリル化反応中間体の質量分析と気相分光：置換基位置と反応機構の関係
3. 学会等名 第17回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 奥寺洸介, 村松悟, 井口佳哉
2. 発表標題 ジグリコールアミド-ランタノイド錯イオンの表面増強赤外吸収分光：溶媒抽出能との相関
3. 学会等名 第17回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村松悟
2. 発表標題 極低温イオントラップが拓く気相分光：隠れた分子機能の発掘を目指して
3. 学会等名 2023年度日本分光学会年次講演会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村松悟
2. 発表標題 Fission of Oblate Gold Superatoms in $[\text{Au}_9(\text{PPh}_3)_8]^{3+}$ via Collision-Induced Core Deformation in the Gas Phase
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（ナノ学会）（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村松悟, 松山晃仁, 岩永大輝, 井口佳哉
2. 発表標題 振電構造に見る超原子価ハロゲン化合物の結合状態: $[(C_5H_5N)_2X]^+$ ($X = Br, I$)を例として
3. 学会等名 第50回有機典型元素化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masahiro Koyama, Satoru Muramatsu, Yoshiya Inokuchi
2. 発表標題 Cryogenic gas-phase spectroscopy of $[(CX_2)_2]^+$ ($X = O, S$): Correlation of cluster conformations and charge resonance interaction
3. 学会等名 The 20th Nano-Bio-Info Chemistry Symposium (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村松悟
2. 発表標題 極低温イオントラップ気相分光が拓く超原子価化合物の化学
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 村松悟
2. 発表標題 "構造のゆらぎ"に見る, 気相孤立した分子 / 金属クラスターの電子構造と結合状態
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 湯川圭祐, 村松悟, 高畑遼, 寺西利治, 井口佳哉
2. 発表標題 衝突誘起解離質量分析によるカドミウム硫黄クラスター[Cd10S4(SPh)16]4-および解離イオンの構造評価
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Satoru Muramatsu, Akihito Matsuyama, Yoshiya Inokuchi
2. 発表標題 Hypervalent iodine compound in the gas phase: observation and assignment of vibronic structures of (C5H5N)2I+
3. 学会等名 第37回化学反応討論会(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 合田遼介, 金沢紗矢, 町田栞, 村松悟, 井口佳哉
2. 発表標題 極低温気相分光によるアルキルアンモニウムイオン-クラウンエーテル包接錯体の立体構造とその炭素鎖長依存性の解明
3. 学会等名 第19回ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村松悟, 井口佳哉
2. 発表標題 ホスト・ゲスト化合物の極低温気相分光
3. 学会等名 第19回ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村松悟
2. 発表標題 ”気相 + 極低温” が拓く分子分光学：ホストゲスト錯体と超原子価化合物への展開
3. 学会等名 ケムサロン（広島大学理学部化学科）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村松悟，時實崇之，井口佳哉
2. 発表標題 1次元共役シアニン色素の極低温気相分光：電子スペクトルの帰属と光解離過程
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中東祐貴，村松悟，重田翼，高野慎二郎，佃達哉，井口佳哉
2. 発表標題 偏平型ホスフィン保護金クラスター-Au ₉ (PPh ₃) ₈₃₊ の衝突誘起解離：準閉殻電子構造および異種金属ドーピングの効果
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩永大輝，松山晃仁，村松悟，井口佳哉
2. 発表標題 極低温気相分光による超原子価ヨウ素化合物(C ₅ H ₅ N) ₂ I ⁺ の振電構造の観測と帰属
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 合田 遼介, 村松 悟, 井口 佳哉
2. 発表標題 ジシアノベンゼンの光アリル化反応の中間体気相分光: 置換基位置が反応機構に及ぼす影響
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小山 雅大, 入口 時代, 廣川 靖明, 松山 晃仁, 村松 悟, 井口 佳哉
2. 発表標題 極低温光解離分光装置の開発と分子クラスターラジカルイオンへの適用
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金沢 紗矢, 町田 菜, 木田 基, 村松 悟, 井口 佳哉
2. 発表標題 短寿命反応中間体の気相単離機構の開発と気相分光の試み
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 町田 菜, 金沢 紗矢, 村松 悟, 井口 佳哉
2. 発表標題 溶液混合により生成する反応中間体の質量分析と極低温気相分光の試み
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 為國 誠太, 平田 早紀子, 明地 省吾, 村松 悟, 井口 佳哉
2. 発表標題 量子化学計算による, ランタノイド/マイナーアクチノイド錯イオンの構造探索とSEIRAスペクトルとの比較
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 時實 崇之, 村松 悟, 井口 佳哉
2. 発表標題 シアニン色素の気相光解離スペクトルの測定と解析: 構造探索と光異性化過程の検討
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奥寺 洸介, 村松 悟, 平尾 岳大, 灰野 岳晴, 井口 佳哉
2. 発表標題 ジグリコールアミド骨格配位子のコンビナトリアル合成とランタノイド錯体の表面増強赤外吸収分光
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 入口 時代, 小山 雅大, 村松 悟, 井口 佳哉
2. 発表標題 低真空下でイオンを集束させる "イオンカーペット" の試作と性能評価
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Satoru Muramatsu, Yuki Nakahigashi, Tsubasa Omoda, Shinjiro Takano, Tatsuya Tsukuda, Yoshiya Inokuchi
2. 発表標題 Collision-induced dissociation of phosphine-protected oblate gold clusters $[\text{Au}_9(\text{PPh}_3)_8]^{3+}$ and $[\text{MAu}_8(\text{PPh}_3)_8]^{2+}$ (M = Pd, Pt)
3. 学会等名 2022 Atometrically Precise Nanochemistry Conference, Gordon Research Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩永大輝, 松山晃仁, 村松悟, 井口佳哉
2. 発表標題 超原子価ヨウ素化合物(C ₅ H ₅ N) ₂ I ⁺ の極低温気相分光：振電構造の観測
3. 学会等名 2022年日本化学会中国四国支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小山雅大, 入口時代, 村松悟, 井口佳哉
2. 発表標題 気相孤立イオンの構造評価のための極低温光解離分光装置の開発
3. 学会等名 2022年日本化学会中国四国支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 入口時代, 小山雅大, 村松悟, 井口佳哉
2. 発表標題 高効率にイオンを輸送する気相光解離分光装置の設計と開発
3. 学会等名 2022年日本化学会中国四国支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中東祐貴, 村松悟, 重田翼, 高野慎二郎, 佃達哉, 井口佳哉
2. 発表標題 衝突誘起解離質量分析を用いたホスフィン保護金クラスター-Au ₉ (PPh ₃) ₈₃₊ の構造評価
3. 学会等名 2022年日本化学会中国四国支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Satoru Muramatsu
2. 発表標題 Gas-Phase Spectroscopy of Cryogenically Cooled Molecular Ions: A Case Study of Cyanine Dyes
3. 学会等名 International Congress on Pure & Applied Chemistry Kota Kinabalu (ICPAC Kota Kinabalu 2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村松悟, 松山晃仁, 岩永大輝, 井口佳哉
2. 発表標題 気相極低温分光法を用いた超原子価ヨウ素化合物[(C ₅ H ₅ N) ₂ I] ⁺ の構造評価
3. 学会等名 第49回有機典型元素化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 時實崇之, 村松悟, 井口佳哉
2. 発表標題 Carbocyanine Dyes Isolated under Cold Gas-Phase Conditions: Electronic Spectra and Photochemistry
3. 学会等名 The 19th Nano Bio Info Chemistry Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金沢紗矢, 町田菜, 木田基, 村松悟, 井口佳哉
2. 発表標題 Development of gas-phase isolation systems for short-lived chemical intermediates in solution and their gas-phase spectroscopy
3. 学会等名 The 19th Nano Bio Info Chemistry Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 為国誠太, 村松悟, 井口佳哉
2. 発表標題 A Theoretical Study on the Structure of Lanthanide/Minor Actinide Ion Complexes with Organic Ligands
3. 学会等名 The 19th Nano Bio Info Chemistry Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奥寺洸介, 村松悟, 平尾岳大, 灰野岳晴, 井口佳哉
2. 発表標題 Combinatorial Synthesis of Diglycolamide Ligands and Infrared Spectroscopy of their Lanthanide Complexes
3. 学会等名 The 19th Nano Bio Info Chemistry Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 町田菜, 村松悟, 井口佳哉
2. 発表標題 Cold gas-phase spectroscopy of chemical intermediates produced by the mixing of reactant solutions
3. 学会等名 The 19th Nano Bio Info Chemistry Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Satoru Muramatsu, Yoshiya Inokuchi
2. 発表標題 Cold Gas-Phase Spectroscopy of Chemical Intermediates Formed in Solution: Development of Electrospray-Based Isolation Systems for Short-Lived Ions
3. 学会等名 Gaseous Ions: Structures, Energetics and Reactions, Gordon Research Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 坂本知優, 村松悟, 久保麻友子, 合田遼介, 井口佳哉
2. 発表標題 ベンゾクラウンエーテル-アンモニウムイオン錯体の光誘起反応
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Satoru Muramatsu, Akihito Matsuyama, Daiki Iwanaga, Keijiro Ohshimo, Motoki Kida, Yuan Shi, Rong Shang, Yohsuke Yamamoto, Fuminori Misaizu, Yoshiya Inokuchi
2. 発表標題 Hypervalent Carbon and Iodine Compounds Investigated by Cryogenic Gas-Phase Spectroscopy
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>広島大学大学院先進理工系科学研究科構造物理化学研究室 https://inokuchilab.hiroshima-u.ac.jp/ 広島大学研究者総覧(村松悟) https://seeds.office.hiroshima-u.ac.jp/profile/ja.3dba8870e6d84c32520e17560c007669.html</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			
オーストラリア	ウロンゴン大学			