

令和 4 年 5 月 29 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01987

研究課題名(和文) 金属クラスターと芳香族ユニットの間に働く引力相互作用の学理解明と機能開拓

研究課題名(英文) Elucidation and functions of attractive interactions between metal cluster and aromatic units

研究代表者

小西 克明 (KONISHI, KATSUAKI)

北海道大学・地球環境科学研究所・教授

研究者番号：80234798

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、芳香族架橋ジホスフィンで配位保護されたcore+exo型のAu<sub>6</sub>クラスターを数種類合成し、各種分光スペクトルを用いて、芳香族C-Hと金骨格の間に形成されるAu-H相互作用、金骨格と芳香族電子系の間にはたらく引力的相互作用の評価を行った。その結果、芳香族系が吸収スペクトル挙動、安定性に影響することが示され、近接する芳香族電子系が空間を通してAu骨格と電子的に相互作用する可能性が示唆された。さらに、本クラスターが示す独特の反応性を見出し、新規なクラスター種を効率的に取得する新手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

数個から数十個の金属原子が集まった金属クラスター化合物は、分子より一回り大きいサイズ領域に位置するナノ物質の一つであり、化学センサーや触媒などへの機能化の鍵となる物質候補として期待されている。こうした機能の開拓には、金属骨格と有機物との相互作用の理解が必須であるが現状では未解明な部分が多い。本研究は、金属骨格と芳香族電子系の間にはたらく相互作用を基礎的見地から調査し、実際にそうした相互作用が存在することを支持する結果を得た。こうした弱い相互作用を包括的に理解、活用することで、戦略的な材料開発が可能になると期待される。

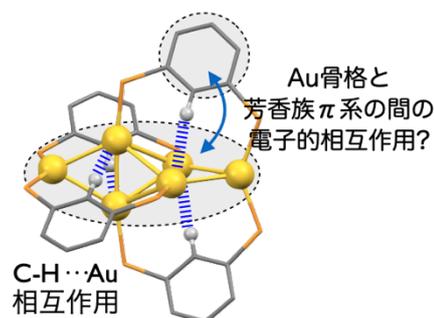
研究成果の概要(英文)：In this work, we have synthesized several new core+exo type Au<sub>6</sub> clusters protected by diphosphine ligands with aromatic bridges, and studied their spectroscopic properties in order to obtain insights into the Au-H interaction and attractive interaction between aromatic-system and gold framework. The aromatic-system in the proximity certainly affected the spectral profiles and stabilities of the clusters, which suggests the presence of through-space electronic interaction. We also found their unique reactivities and succeeded in the synthesis of unprecedented cluster species.

研究分野：機能物質化学

キーワード：クラスター 芳香族 電子 電子的相互作用

## 1. 研究開始当初の背景

金属種と有機基、特に芳香族  $\pi$  ユニットの間に働く非共有結合性の相互作用は、機能物性、触媒活性の発現において重要な役割を果たす。一方、有機配位子で被覆された Au クラスタ化合物の単結晶構造同定が近年飛躍的に進展してきた。これらは、Au コア内に残存する 6s 電子（部分酸化状態）のため、単なる「金錯体の集合体」とは異なる性質を示す。一方で多様な構造形態、離散的な電子構造などナノ粒子とは本質的に異なる固有のユニークな分子性に由来する性質を有することが判明しつつある。申請者らもジホスフィン配位子を用いて金属数 10 個程度の分子性 Au クラスタ群を種々創出し、X線結晶解析によって構造決定するとともに、電子的特性（吸収、蛍光）、電子構造が Au コア中の金属数とともに幾何構造（形態）に強く依存することを明らかとしてきた（総説：Struct. Bond., 2014, 161, 49）。その過程で、金属コアに  $\pi$  共役電子系機能団を連結することでクラスタ固有の光学特性を変調できることを見だし、Au コアを共役  $\pi$  電子系が電子的にカップリングすることを実験的に立証した (J. Am. Chem. Soc., 2013, 135, 16078; Chem. Comm., 2015, 51, 13519 等)。さらに、「非直結型」の  $\pi$  電子系との相互作用の可能性を検証するために、四面体 Au コアの両端に金原子が付加した core+exo 型  $[\text{Au}_6]^{2+}$  クラスタを被覆するジホスフィン配位子 (L) の架橋部位にベンゼン環を導入して Au コアと  $\pi$  平面が近接するように設計したところ、配位子中のベンゼン環 C-H と Au コアの間には弱い非共有結合的な Au...H 相互作用が存在することがわかった (Nature Commun. 2017, 8, 576)。このような「Au」と「芳香族ユニット」の間の相互作用は、単純な Au 錯体では例をみず、いくつかの Au 原子が集まって「クラスタ」を形成することではじめて獲得する特性であり、基礎科学的に興味もたれるだけでなく、これを利用した光学応答機能（化学センサー）など様々な応用展開が期待される。そのためには、相互作用や反応性などの基礎的知見を蓄積し、学理を十分理解する必要がある。



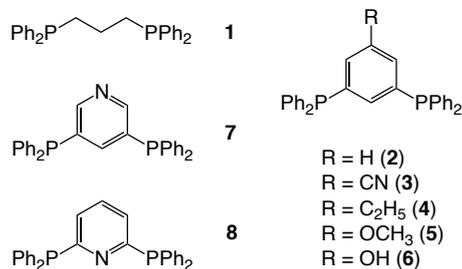
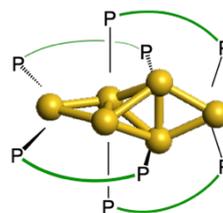
## 2. 研究の目的

上記のような背景を踏まえ、本研究では、配位子保護金クラスタの「金属コア」と「 $\pi$  ユニット」との間に働く引力的相互作用、電子的相互作用を構造的、基礎的側面から調査し、その知見に基づいて、外部物質に誘起される光学物性応答、特異な反応性などを探索することを目指した。具体的には、上記の最近の申請者らの研究において見いだされた「二座配位子中の架橋部位に配したベンゼン環中の C-H と Au クラスタコアの間にはたらく非共有結合性相互作用」を基盤として、種々の芳香族ユニットを架橋部位とするジホスフィン保護配位子 Au クラスタを合成し、その構造と特性を精査するとともに、外部物質との相互作用に誘起される応答機能の可能性を探索した。その一方で、配位子保護金属クラスタの金属骨格は堅固なものではなく、光などの外部刺激や外部物質との相互作用、反応によって、構造変化や金属数の増減がおこることがこれまでにわかっている。ここでは、こうしたクラスタ特有の動的な性質にも注目し、種々の芳香族を架橋部位として導入した新しいジホスフィン配位クラスタ種の開発を試みるとともに、金属コアの間にはたらく非共有結合的相互作用、電子的相互作用について検討することで、「cluster- $\pi$  相互作用」に関する包括的な知見を取得することを目指した。

## 3. 研究の方法

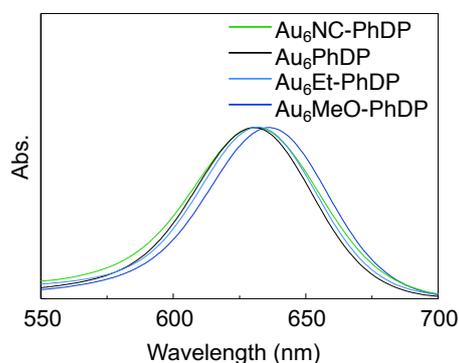
我々はこれまでに、様々な架橋部位をもつジホスフィン配位子を用いてサブナノ金クラスタ一群に関する研究を行ってきた。そのなかで、1,3-フェニレン架橋ジホスフィン (2) を配位子とする core+exo 型  $[\text{Au}_6]^{2+}$  クラスタの合成に成功し、X線結晶解析から、架橋配位子中のベ

ンゼン環 C-H と Au<sub>6</sub> 骨格の間には非共有結合性相互作用が存在することを明らかとした。ここで <sup>1</sup>H NMR スペクトルでは、架橋フェニレンの 2 位の C-H プロトンが大きく低磁場側にシフトして観察され、この部分が Au 骨格と相互作用していることが支持された。また、このクラスター-HOMO-LUMO 遷移に帰属される強い孤立吸収帯を 630nm 付近に示すが、脂肪族架橋ジホスフィン (1) から合成される [Au<sub>6</sub>]<sup>2+</sup> クラスターが示す吸収帯 (580 - 590 nm) に比べて大きくレッドシフトしていた。そこで、芳香環の π 電子密度の影響の効果を調べるために、5 位に電子求引性の CN 基を導入した (3)、電子供与性の C<sub>2</sub>H<sub>5</sub> (4)、OCH<sub>3</sub> (5)、OH (6) の置換基を導入したジホスフィン配位子を用いた検討をおこなった。また、1,3-フェニレン架橋部の 2 位の CH を N に置き換えた 2,6-ピリジル架橋ジホスフィン (6)、その異性構造である 3,5-ピリジル架橋ジホスフィン配位子 (7) についてもあわせて検討をおこなった。ジホスフィン配位子は相当するジプロモ体あるいはジフルオロ体とジフェニルホスフィノカリウムとの反応により合成した。これらの配位子はいずれも 1、2 と同様に、[Au<sub>9</sub>(PPh<sub>3</sub>)<sub>8</sub>](NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> との反応で容易に core+exo 型の Au<sub>6</sub> 骨格を有するクラスターに誘導でき、エレクトロスプレー質量分析により [Au<sub>6</sub>L<sub>4</sub>]<sup>2+</sup> の分子式を有することを確認した。



#### 4. 研究成果

各種のフェニレン架橋ジホスフィン配位子 (L = 2 - 6) で被覆された core+exo 型の Au<sub>6</sub> クラスター ([Au<sub>6</sub>L<sub>4</sub>]<sup>2+</sup>, 1' - 6') について、金クラスター骨格と相互作用するフェニレン芳香環の π 電子密度の影響の効果を、NMR スペクトル、紫外可視吸収スペクトル解析により評価した。その結果、<sup>1</sup>H NMR では、いずれの配位子を用いた場合にも、2 位のプロトンが通常芳香族プロトンと比較して大きく低磁場にシフトして 11~12ppm に観察され、Au...H 相互作用の存在が示された。ジホスフィンの 2 核 Au 錯体 (Au<sub>2</sub>LCl<sub>2</sub>) を基準として、架橋フェニレン上の 2 位のプロトンの低磁場シフトの程度を比較したところ、置換基の電子的性質 (供与性、求引性) と相関した明確な傾向は観察されなかった。この結果は、芳香環上の電子密度が Au...H 相互作用におよぼす影響が小さいことを示しており、極性が関与する引力というよりは、立体的に強制的に近接化することによってはたらく分散力が Au...H 相互作用の主たる駆動力としてはたらいっているものと考えられる。一方、可視吸収スペクトルでは、いずれのクラスターも、core+exo 型の Au<sub>6</sub> クラスター ([Au<sub>6</sub>L<sub>4</sub>]<sup>2+</sup>) に特有の孤立吸収帯を示したが、CN, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub> 基が置換したクラスター (3', 4') では無置換型 (2') とほぼ同じ位置 (630 nm) にピークを示したのに対し、強力な電子供与性をもつ OCH<sub>3</sub>, OH (置換型 (5', 6')) では 5 - 7 nm の長波長シフトが観察された。脂肪族で架橋された Au<sub>6</sub> クラスター (1') では著しく低波長側 (~585 nm) にピークが現れることから、芳香族 π 系は近接した Au 骨格との間で空間を通して電子的にカップリングしており、電子リッチな芳香族 π 系を用いた場合にはその効果がより顕著となると推定される。また、本 Au<sub>6</sub> クラスターは固体中では安定であるが、溶液中では徐々に分解する。そこで溶液中での安定性を吸収スペクトルによる追跡したところ、置換基の電子求引性が高いほど安定性が向上することをわかった。このように、芳香族 π 系の電子的性質は Au...H 相互作用自体には大きな影響を与えないものの、吸収スペクトルや安定性については明確な依存性が観察された。この結果は Au 骨格と近接する π 電子系との間に引力的な電子的相互作用が



存在する可能性を示唆している。関連して、1,3-diyanyl 配位子を導入した類似の core+exo 型の Au<sub>8</sub> クラスターにおいて、ジインの三重結合  $\pi$  電子系と Au 骨格の間の引力的相互作用が見いだされており、今後理論計算などを含めたさらなる解析が必要と考えられる。

ピリジル架橋のジホスフィン (**7**, **8**) を用いた検討も行った。3,5-pyridyl 型の **7** を用いて Au<sub>6</sub> クラスターを合成した場合には、P 原子が結合した 2 つの炭素に挟まれた CH が存在するため、予想通り **2-6** を用いた場合と同様に Au...H 相互作用が形成され、その吸収スペクトルは無置換型とほぼ一致した。一方、P 置換した 2 つの炭素の間に水素原子をもたない sp<sup>2</sup> 窒素を配した 2,6-pyridyl 型の **8** を用いると、Au<sub>6</sub> クラスター自体は同程度の効率で生成したが、吸収スペクトルの波形、位置に明確に異なる挙動が観察され、**2-7** 由来の Au<sub>6</sub> クラスターに比べてブロードなピークが短波長側 (618 nm) に現れた。吸収バンドのブロード化については、Au...H 相互作用が存在しないためにピリジン環の配向が固定されないためであると考えられるが、波長位置は、脂肪族架橋ホスフィン (**1**) 由来の Au<sub>6</sub> クラスター **1'** の 585 nm よりもなお長波長側に位置することから芳香族ピリジン環と Au 骨格の間の空間を通じた電子的相互作用の存在を示唆している。また興味深いことに、2,6-pyridyl 型の **8** を配位子とする Au<sub>6</sub> クラスター (**8'**) の吸収スペクトル位置が溶媒の極性に依存することが見出された。こうした傾向は、1,3-フェニレン架橋型配位子を有する **2'** では観察されなかったことから、溶媒分子の相互作用によりピリジル部位の配向が変化し、Au 骨格との相互作用が変化するものと考えられる。

続いて、上記で合成した芳香族架橋ジホスフィンを配位子とする core+exo 型の Au<sub>6</sub> クラスター ([Au<sub>6</sub>L<sub>4</sub>]<sup>2+</sup>, **1'-6'**) と外部物質との相互作用、反応について調査した。研究構想時には、架橋芳香族と Au 骨格の間に芳香族ゲスト分子がインターカレートして、架橋部と Au 骨格の相互作用がスイッチされ、光学特性等に出力される可能性を想定していた。しかし、様々な条件、ゲスト基質を検討したが、そのような兆候はみられなかった。また、上述のように 2,6-ピリジル架橋型の Au<sub>6</sub> クラスター (**8'**) では Au...H 相互作用は存在しないが、ピリジン環のプロトン化によって Au...H 相互作用が形成され、光学特性等に反映される可能性がある。しかし、酸処理によって分解あるいは別のクラスター種に変化することが判明し、このアプローチは断念した。しかし、これらの検討中に思いがけず、弱い可視光 (室内光) によって別のクラスターへと変換される場合があることを見出した。例えば、フェニレン架橋型の Au<sub>6</sub> クラスター (**2'-6'**) の BPh<sub>4</sub> 塩を溶液中で室内光に数日暴露すると、630nm 付近の吸収バンドが減少し、500 nm 付近に新しい孤立吸収帯が現れた。質量分析からは [Au<sub>8</sub>L<sub>4</sub>Ph<sub>2</sub>]<sup>2+</sup> に帰属されるピークが単一成成分として観察され、BPh<sub>4</sub> 由来の Ph 基が結合した core+exo 型の Au<sub>8</sub> クラスターへと特異的に変換されることがわかった。[Au<sub>8</sub>(**2**)<sub>4</sub>Ph<sub>2</sub>]<sup>2+</sup> については単結晶 X 線構造解析に成功し、既知の [Au<sub>8</sub>(**1**)<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub>]<sup>2+</sup> と同様の core+exo 型の Au 骨格構造を有しており、両端の exo 位の Au 原子に Ph 基が一つずつ結合していることがわかった。一方、2,6-ピリジル架橋型の Au<sub>6</sub> クラスター (**8'**) の硝酸塩は、特定の条件下で、室内光に室温で暴露するだけで、core+exo 型の Au<sub>7</sub> クラスター ([Au<sub>7</sub>(**8**)<sub>4</sub>]<sup>3+</sup>) へと定量的に変換された。こちらについても単結晶 X 線構造解析に成功し、予想通りの構造をとっていることがわかった。興味深いことに、前駆体である Au<sub>6</sub> クラスター (**8'**) は発光性を示さないのに対し、得られた Au<sub>7</sub> クラスターは二色発光性を示し、その強度比は温度に依存するなど興味深い光学特性を示す。これらの可視光に誘起されるクラスターの成長については、特定のホスフィン配位子、対アニオンを用いた場合に特異的に観察するなどそれほど単純なものではない。現時点では現象論にとどまっているが、今後様々な条件下で実験データを積み上げることにより、理解が進むと思われる。

また、ピリジンは様々な金属イオンに配位することができるため、2,6-ピリジル架橋型 Au<sub>6</sub> クラスター (**8'**) に外部から金属イオンを添加すれば、ピリジル部位と Au 骨格との電子的相互作用に摂動が生じ、光学特性応答を示す可能性がある。この可能性を探求するため、様々な金属塩を添加し、吸収・発光スペクトル変化を追跡した。その結果、銅イオンに対して特異的なスペクトル応答が観察され、質量スペクトルから **8'** に 2 つの Cu(I) が付加して、[Au<sub>6</sub>Cu<sub>2</sub>X(**8**)<sub>4</sub>]<sup>3+</sup> クラスターが生成していることが明らかとなった。加えて、X 線結晶解析に適した単結晶の作成に成功し、**8'** の core+exo 型の Au<sub>6</sub> 骨格構造にひずみが生じそこに銅の二核錯体がキャップされ、Au-Cu 間の結合が形成された合金型クラスターが形成されていることが明らかとなった。反応前の **8'** では 4 つの架橋部ピリジルユニットの N 原子は金原子に配位して

いないが、得られた合金型クラスターにおいてはいずれも銅あるいは金に配位しており、本合金クラスターの形成に決定的な役割をしているものと思われる。実際、1,3-フェニレン架橋配位子、あるいはN原子の位置が異なる異性体である3,5-ピリジル架橋ジホスフィンを用いた場合には合金型クラスターの形成は全く認められなかった。興味深いことに、Au<sub>6</sub>クラスター(8')は室温で全く発光しないのに対し、得られたAu-Cu合金型クラスターは近赤外域に比較的強い発光をしめす。したがって、合金化はクラスター由来の電子構造や発光特性をチューニングするための有力な手法であるといえる。

以上のように本研究では、種々の芳香族架橋ジホスフィン配位子を用いてcore+exo型のAu<sub>6</sub>クラスターを合成し、芳香族C-HとAu<sub>6</sub>骨格の間に形成されるAu-H相互作用に関する知見を蓄積するとともに、芳香族 $\pi$ 系とAuクラスター骨格の間に特異な電子的相互作用が存在することを実験的に支持する知見を得ることに成功した。また、芳香族架橋Au<sub>6</sub>クラスターが独特の反応性を有することを見出し、新規クラスターへと誘導化するルートを見出すことができた。これらの新反応の発見は全く予想外であったが、従来にない光学特性、電気化学特性、反応性を有するクラスターを設計する上で有力な手法となりえる。これらを用いて触媒やセンシング材料へと展開されることが期待される。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4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 Shichibu Yukatsu, Zhang Mingzhe, Iwasa Takeshi, Ono Yuriko, Taketsugu Tetsuya, Omagari Shun, Nakanishi Takayuki, Hasegawa Yasuchika, Konishi Katsuaki	4. 巻 123
2. 論文標題 Photoluminescence Properties of [Core+exo]-Type Au <sub>6</sub> Clusters: Insights into the Effect of Ligand Environments on the Excitation Dynamics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 6934-6949
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b01810	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 Iwasaki Mitsuhiro, Shichibu Yukatsu, Konishi Katsuaki	4. 巻 58
2. 論文標題 Unusual Attractive Au- Interactions in Small Diacetylene-Modified Gold Clusters	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 2443 ~ 2447
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201814359	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 Sugiuchi Mizuho, Shichibu Yukatsu, Konishi Katsuaki	4. 巻 57
2. 論文標題 An Inherently Chiral Au <sub>24</sub> Framework with Double-Helical Hexagold Strands	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 7855 ~ 7859
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201804087	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 Konishi Katsuaki, Iwasaki Mitsuhiro, Shichibu Yukatsu	4. 巻 51
2. 論文標題 Phosphine-Ligated Gold Clusters with Core+exo Geometries: Unique Properties and Interactions at the Ligand?Cluster Interface	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Accounts of Chemical Research	6. 最初と最後の頁 3125 ~ 3133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.accounts.8b00477	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35件（うち招待講演 11件 / うち国際学会 12件）

1. 発表者名 小西克明
2. 発表標題 Interactions at the organic-inorganic interface of ligand-coordinated molecular gold clusters
3. 学会等名 EMN Amsterdam Meeting 2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 板倉寛、岩崎光紘、七分勇勝、小西克明
2. 発表標題 架橋部にビリジル基を導入したジホスフィン配位子保護Auクラスターの合成と特性
3. 学会等名 日本化学会北海道支部2018年夏季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小西克明
2. 発表標題 Tiny Gold Clusters beyond Nano: Unique Structures and Properties
3. 学会等名 International Conference on ADVANCES IN CATALYSIS: INDUSTRIAL OUT (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小西克明
2. 発表標題 COORDINATED GOLD CLUSTERS IN THE SUBNANOMETER REGIME
3. 学会等名 15th IUPAC International Conference on Novel Materials and their Synthesis (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 板倉寛、岩崎光紘、七分勇勝、小西克明
2. 発表標題 ビリジンを架橋型ジホスフィン保護サブナノ金クラスターの合成と特性
3. 学会等名 錯体化学会第69回討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小西克明
2. 発表標題 Cluster Aggregation Events Causing Optical Perturbations
3. 学会等名 6th International Symposium on Monolayer Protected Clusters
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小西克明
2. 発表標題 Coordinated Subnano Gold Clusters: From Molecules to Assemblies
3. 学会等名 The 76th Fujihara Seminar International Workshop on Designer Nanocluster Materials; From Gas Phase to Condensed Phase
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小西克明
2. 発表標題 Subnanometer gold clusters with unique structures and properties
3. 学会等名 1th International Symposium on Nano & Supramolecular Chemistry (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小西克明
2. 発表標題 Phosphine-ligated Gold Clusters Revisited: Unique Chemistry at the Ligand-Cluster Interface
3. 学会等名 7th Asian Conference On Coordination Chemistry (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ruan, Linxiao., Wang, Shipeng., Iwasaki, Mitsuhiro., Shichibu, Yukatsu., Konishi, Katsuaki.
2. 発表標題 Synthesis and Properties of Subnano Gold Clusters Protected by Substituted-phenylene-bridged Diphosphines
3. 学会等名 化学系学協会北海道支部2020年冬季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ruan, Linxiao., Saito, Yuki., Wang, Shipeng., Iwasaki, Mitsuhiro., Shichibu, Yukatsu., Konishi, Katsuaki,
2. 発表標題 Synthesis and Properties of Au <sub>6</sub> Clusters Protected by Substituted-phenylene-bridged Diphosphines
3. 学会等名 日本化学会 第100春季年会 (2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小西克明
2. 発表標題 Gold Clusters beyond Nano: Diverse Structures and Unique Properties
3. 学会等名 Asian Symposium on Nanoscience and Nanotechnology 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩崎光紘・七分勇勝・小西克明
2. 発表標題 ジインと金クラスターの間での非結合性相互作用
3. 学会等名 ナノ学会第16回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小西克明
2. 発表標題 Supramolecular chemistry of small gold clusters. Unusual aggregation-induced optical responses
3. 学会等名 10th International Symposium on Nano and Supramolecular Chemistry 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 七分勇勝、小川悠里・杉内 瑞穂、小西克明
2. 発表標題 金ナノクラスターの配位子環境と光学特性
3. 学会等名 第30回配位化合物の光化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Konishi, Katsuaki., Bakar, M. Abu., Shichibu, Yukatsu.
2. 発表標題 Au-H hydrogen bonds in ligand-coordinated gold clusters
3. 学会等名 Gold 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小西克明
2. 発表標題 Au-H hydrogen bonds in diphosphine-coordinated gold clusters
3. 学会等名 43rd International Conference on Coordination Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 七分勇勝、小西克明
2. 発表標題 Geometries and Optical Properties of Magic-Number Icosahedral Au <sub>13</sub> Clusters
3. 学会等名 43rd International Conference on Coordination Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩崎光紘、七分勇勝、小西克明
2. 発表標題 Perturbation effects of non-bonding interactions in coordinated Au <sub>8</sub> cluster
3. 学会等名 43rd International Conference on Coordination Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Wang, Shipeng., Iwasaki, Mitsuhiro., Shichibu, Yukatsu., Konishi, Katsuaki.
2. 発表標題 Hydrogen bonding interaction in phosphine-ligated small gold clusters
3. 学会等名 The 19th International Symposium on Small Particles and Inorganic Clusters (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Konishi, Katsuaki.
2. 発表標題 Ligand-protected clusters beyond nano: From molecules to assemblies
3. 学会等名 The 19th International Symposium on Small Particles and Inorganic Clusters (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩崎光紘、七分勇勝、小西克明
2. 発表標題 ジイン修飾金クラスターでの特異なAu- 相互作用
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 七分勇勝、小川悠里、杉内瑞穂、小西克明
2. 発表標題 ジホスフィン配位金クラスターの配位子環境と光学特性
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 Konishi, Katsuaki.
2. 発表標題 Subnanometer gold clusters: How different form nano?
3. 学会等名 The China-Japan-Singapore Symposium on Metal Nanoclusters and Biomaterials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Konishi, Katsuaki.
2. 発表標題 Attractive Interactions at the Metal-Ligand Interface of Coordinated Clusters
3. 学会等名 2018 MRS Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Iwasaki, Mitsuhiro., Shichibu, Yukatsu., Konishi, Katsuaki.
2. 発表標題 Perturbation effect of $\pi$ -conjugation system through non-bonding interaction in small gold clusters
3. 学会等名 2018 MRS Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 王世鵬、岩崎光紘、七分勇勝、小西克明
2. 発表標題 フェニレン架橋サブナノ金クラスターの Au-H 水素結合特性
3. 学会等名 化学系学協会北海道支部2019年冬季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 七分勇勝、小川悠里、杉内瑞穂、小西克明
2. 発表標題 Optical properties and ligand environments of diphosphine-ligated gold clusters
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会(2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 板倉寛、岩崎光紘、七分勇勝、小西克明
2. 発表標題 ビリジン架橋されたジホスフィン保護 Au クラスターの合成と特性
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会(2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Iwasaki, Mitsuhiro., Wang, Shipeng., Shichibu, Yukatsu., Konishi, Katsuaki.
2. 発表標題 Unique Au-H interaction in diphosphine-protected gold clusters
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会(2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田和輝、板倉寛、岩崎光紘、七分勇勝、小西克明
2. 発表標題 ジホスフィン配位合金型 Au クラスターの合成と特性
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会 (2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Katsuaki Konishi
2. 発表標題 Ligand-protected gold clusters: From molecules to assemblies
3. 学会等名 Indo-Japan Virtual Workshop on Cluster Science by Interdisciplinary Approach: Emerging Materials and Phenomena (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田 和輝、板倉 寛、七分 勇勝、小西 克明
2. 発表標題 異種金属を導入したジホスフィン保護金クラスターの合成と特性
3. 学会等名 錯体化学会第71回討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田 和輝・板倉 寛・七分 勇勝・小西 克明
2. 発表標題 Cu二核錯体でキャップされたサブナノAuクラスターの合成と特性
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会 (2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齋藤 侑己・山田 和輝・七分 勇勝・小西 克明
2. 発表標題 可視光に誘起されるサブナノ Au クラスターの成長反応
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会 (2022)
4. 発表年 2022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
---------------------------	-----------------------	----

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