

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 23 日現在

機関番号：10101

研究種目：新学術領域研究

研究期間：2008～2012

課題番号：20111009

研究課題名（和文） 無機クラスター高次ネットワーク構造の構築と機能創発

研究課題名（英文） Construction of functionalized network architectures composed of molecular metal clusters

研究代表者

小西 克明 (KONISHI KATSUAKI)

北海道大学・大学院地球環境科学研究所・教授

研究者番号：80234798

研究成果の概要（和文）：金属原子の集合体であるクラスターを構造単位として用いた特定のモルフォロジーを有する無機集積体の構築を目指して、幾何構造、組成が規定された単位クラスター種の探索を行なった。その結果、創発的プロセスを含む自己組織化を利用することで、従来法では得られない特異な幾何構造、金属数を有する新奇金クラスターをいくつか見いだすとともに、そのユニークな光科学的特性を明らかにした。さらに、それらのクラスター種に導入された機能団を足がかりにクラスター集積構造の構築検討を行なった。

研究成果の概要（英文）：In this research, we aimed to create metal cluster-based assemblies with defined morphologies. For this purpose, we explored synthetic routes to various fundamental cluster units having defined geometric structures and compositions. By taking the emergent principle in the formation and transformation of metal cluster species, we have succeeded in the syntheses of novel diphosphine-coordinated molecular gold clusters with unique geometric and optical features. We also studied the cluster functionalization and the construction of cluster assemblies.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	19,400,000	5,820,000	25,220,000
2009年度	9,300,000	2,790,000	12,090,000
2010年度	11,400,000	3,420,000	14,820,000
2011年度	8,500,000	2,550,000	11,050,000
2012年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
総計	55,400,000	16,620,000	72,020,000

研究分野：有機化学、錯体化学

科研費の分科・細目：複合化学、機能物質化学

キーワード：結晶材料、自己組織化、分子認識、超分子、クラスター、発光材料

1. 研究開始当初の背景

金属原子の自己集合体であるクラスター、ナノ粒子はバルク金属や錯体には見られない特異な電子的・光化学的性質を示すことから近年興味を持たれており、これを構成単位として自己組織化させ秩序構造を作製する試みは広く行われている。しかしながら、そ

れら構造単位自体の構造の不明確さがゆえに、分子レベルでの精密な階層・集積構造をプログラミングすることは困難である。一方、数個～数十個程度の規定された数の金属原子から構成される分子性クラスターは、明確な核数・幾何構造を有するため、超分子科学的な方法論に基づいて特定の形態をもつ無

機集積構造を構築するための基本素材として有望と考えられる。しかし、単位クラスターの基本骨格構造を原子レベルで制御するための自己集合化の学理は十分確立されているとは言い難い。

2. 研究の目的

上記のような背景のもと、本系では熱力学的平衡を基盤とする従前の自己組織化の学理に創発的なアプローチを導入し、1) 構造、組成が規定された新奇単位クラスターの設計、2) 得られたクラスター種の超分子的集積化、の二つの階層工程を経て、特定のモルフロジーをもつクラスター集積体を創発的に組み上げることを目指した。

3. 研究の方法

本研究では、単位クラスターとして 10 程度の金属原子から構成されるサブナノサイズのクラスター群に注目した。これらは、ナノ粒子と同様に金属原子の自己組織化によって合成されるが、明確な核数・幾何構造を有するため、超分子科学的方法論に基づいたプログラム組織化によって、特定の形態をもつクラスター集合構造を構築するのに適している。こうしたクラスター種、ナノ粒子は、通常、配位子存在下で金属イオンを還元することで合成されるが、構造や核数が異なる複数のクラスター種の混合物を与えることが多く、クロマトグラフィーや再沈殿などの多段階の分離操作が必要となり非効率である。そこで、クラスターの形成プロセス自体を見直して、特定のクラスターが形成される条件を探索することにした。

ここでは特に、クラスターを構成する金属間に働く引力的相互作用が弱いため、容易に金属数 (nuclearity) 変化や骨格組換を起こしうる点に着目し、創発的自己組織化のコンセプト (出発原料が同じでもその過程によっては、異なる最終生成物となる場合がある) に立脚した検討を行ない、特異な幾何構造を有する新奇クラスター群を創出するための手法を検討した。さらに、得られたクラスター群について、分子構造、スペクトル的特性など構造・物性などの基礎的情報の蓄積を進めるとともに、第二階層の機能団導入のための誘導化法の探索を行い、超分子集合化について検討を行なった。

4. 研究成果

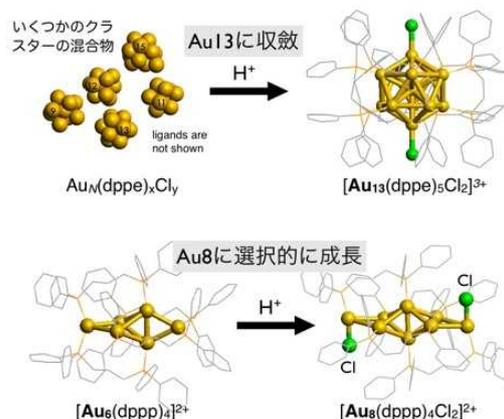
(1) ポスト合成法による二十面体型 Au₁₃ クラスターの選択的形成

二十面体構造を有する M₁₃ 型クラスターは幾何学的に安定であることが予見されており (いわゆる魔法数クラスター)、理論化学の分野で汎用されているが、実際の実験系で純物質として単離することは困難である。

Au₁₃ クラスターについても、以前に報告例があるものの再現性に乏しく実用的ではない。先に述べたように、一般に金クラスターは、表面を保護する配位子の存在下で金錯イオンを還元することで合成されるが、多様なクラスター種が反応系内で生成し、構成元素数が定まったクラスターを合成することは容易ではない。

一方、金属ナノ粒子の無機骨格は外部因子によって粒子の成長、エッチングが容易に起こることが知られている。この性質をサイズの小さいクラスター系にも適用することで創発的なアプローチを模索した。その結果、通常の還元条件下で形成されるいくつかの金属数から構成されるクラスター種の混合物を塩酸で処理すると、酸との相互作用を通じて金クラスター骨格が再組織化され金属数が 13 に収斂し、最終的には二十面体構造の Au₁₃ が唯一のクラスター種として得られることが見いだした (ESI-MS、単結晶 X 線解析により同定)。

例えば、2 座配位子 dppe (Ph₂PC₂H₄PPh₂) の Au(I) 錯体 Au₂(dppe)Cl₂ を NaBH₄ で還元し、生成物を ESI-MS で調べると、Au₉, Au₁₁, Au₁₂, Au₁₃, Au₁₅ などのいくつかのクラスター種に帰属されるピークが観察された。しかしここに HCl 水溶液を添加すると、徐々に [Au₁₃(dppe)₅Cl₂]³⁺ (1) に帰属されるピークが優勢となり、最終的には Au₁₃ が唯一のクラスター種として得られた [Small, 2010, 6, 1216]。一方、HCl 処理を施さない場合には、当初得られたクラスター混合物は本質的に安定で、その分布は長時間にわたって維持された。従って、一旦速度論的に生成したメタステーブルなクラスター種が、HCl の存在下で熱力学的平衡に移行し、安定な Au₁₃ に転化したものと想定される。また、この現象はモノホスフィン錯体由来のクラスター混合物では起こらず、むしろ HCl でクラスターの分解が促進されたことから、Au₁₃ への収斂において配位子である dppe のキレート能力が決定的な役割を果たしていることがわかった。さらに、橋掛け炭素鎖長 n が 3, 4, 5 のジホスフィン (Ph₂P(CH₂)_nPPh₂, dppp, dppb,



dpppe) を用いた場合には、いくつかのクラスター混合物から Au₁₃ への収斂は起こるものの、ホスフィン/塩素配位子の組成が異なる、[Au₁₃(Ph₂P(CH₂)_nPPh₂)₄Cl₄]³⁺ (2) が選択的に生成した (*Nanoscale* 2012, 4, 4125)。

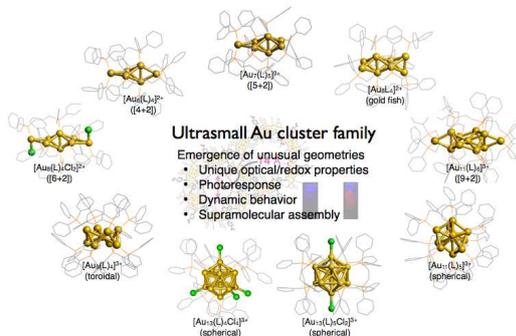
(2) 非球状型サブナノ金クラスター群の発見

上記(1)で示したように、ホスフィン配位型金クラスターは、酸処理をはじめとする外部物質の作用によって容易に金属数 (nuclearity) や構造の変化を起こし、結果として単核ソースから直接成長させた場合には得られないクラスター種が創発的に得られる。ここでは、これを他の系にも適用し、ジホスフィン存在下で、cluster-to-cluster 型の変換を利用して新奇クラスターを選択的に合成するためのルートの探索を行なったところ、これまでにほとんど例がない非球状型形態を有するクラスター群を特異的に得られることを見いだした。

例えばトロイド型 Au₉ クラスターを二座ホスフィン配位子 dppp と反応させると、コアがエッチングされて、[Au₆(dppp)₄]²⁺ (3) が得られるが、この過程で [Au₈(dppp)₄]²⁺ (4) が中間体として得られた。X 線結晶解析で構造を調べたところ、3つの四面体が辺を共有して連結した構造をとることが明らかとなった。一方、[Au₆(dppp)₄]²⁺ を Au(PPh₃)Cl と混合したところ、コアの成長がおり [Au₈(dppp)₄Cl₂]²⁺ (5) が得られた。5の幾何構造は 4とは異なり、辺を共有した四面体二量体の両端に Cl 配位子が結合した金原子が一つずつ配置されていた (‘core+exo’ 型構造)。これらのクラスター部分の酸化数が異なる二種の Au₈ 異性体は、幾何構造に依存した特徴的な吸収・発光特性を示し、酸化還元により互いに可逆に変換可能であった。特筆すべき点として、上記の2つのクラスターは、その構成単位 (配位子や金属など) を通常 conditions で自己組織化させた場合には minor product として検出されるにすぎない。従って、post-synthetic な創発的プロセスを経ることによって初めて現れるクラスター構造である。 (*Angew. Chem., Int. Ed.*, 2011, 50, 7442)

さらに検討を続けたところ、5と同様の ‘core+exo’ 型構造をとる Au₁₁ クラスター [Au₁₁(dppe)₆]³⁺ (6) を得ることに成功した。core+exo 型構造をとる 3, 5, 6 は共通とした特徴として、通常の (擬) 球状クラスターには見られない孤立した可視吸収帯を有する。これらについて理論計算 (DFT) から行い、3, 5, 6 は類似した電子構造を有すること、強い可視吸収バンドが core→exo の遷移に帰属できることを明らかとした (*Inorg. Chem.*, in press)。また、ジホスフィン配位 Au₁₁ クラ

スターについては擬球状の形態をとる異性構造が過去に知られている ([Au₁₁(dppp)₅]³⁺) が、その吸収スペクトルパターンは、6とは著しく異なる。この結果を基盤として、分子性のサブナノ金クラスターの電子構造は金属数よりも幾何構造に強く依存することを理論、実験の両面から明らかにした。 (*Chem. Commun.*, 2012, 48, 7559)



(3) サブナノ金クラスターへの機能団導入と組織化の検討

以上のように、「弱い金属間相互作用のために容易に金属数変化や骨格組換を起こしうる」という金属クラスター特有の性質を活用した創発的アプローチを通じて、ユニークな幾何構造や光化学特性を有するサブナノ金クラスターを効率的に得るルートを確立することに成功し、一連のライブラリを得ることができた (上図)。こうしたクラスターを構造単位として、特定のモルフォロジーをもつクラスター集積体を構築するためには、リンカーとして働く機能団をクラスター上に導入する必要がある。そこで 1, 2, 5 などの塩素配位子を求核置換反応によって、チオレートやアセチリドなどの有機配位子に置換する手法を確立し、そこにピリジル基やカルボキシル基など配位結合や水素結合で架橋できる機能団を導入した。これらの修飾クラスターを用いて、集積化の試みを行なったが、その構造や特性を同定するまでに至っていない。例えばピリジル基を導入したクラスターについて配位相互作用して架橋構造を形成することが予想される Pd²⁺, Pt²⁺ と相互作用させ、クラスター集積体への誘導を検討したが、集積化兆候は観察されなかった。単位クラスター自体が有する正の電荷との反発のためであると思われる。しかし、これらの機能団を有するクラスターは、溶液中、固体中でゲストに応答したクロミック現象を示すなど、興味深い挙動を示すことから、集積化を通じて機能創発できる可能性を有しており、今後の展開が期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① Yukatsu Shichibu and Katsuaki Konishi, Electronic Properties of [Core+exo]-type Gold Clusters: Factors Affecting the Unique Optical Transitions, Inorganic Chemistry, 査読有、No.4、2013、印刷中。(10.1021/ic4005592)
- ② Yukatsu Shichibu, Kai Suzuki, and Katsuaki Konishi, Facile synthesis and optical of magic-number Au₁₃ clusters, Nanoscale, 査読有、No. 4, 2012, 4125-4129. (10.1039/C2NR30675A)
- ③ Yukatsu Shichibu, Yutaro Kamei, and Katsuaki Konishi, Unique [core+two] structure and optical property of dodeca-ligated undecagold cluster: Critical contribution of the exo gold atoms to the electronic structure, Chemical Communications, 査読有、No. 48, 2012, 7559-7561. (10.1039/C2CC30251A)
- ④ Yutaro Kamei, Yukatsu Shichibu, and Katsuaki Konishi, Generation of Small Gold Clusters with Unique Geometries through Cluster-to-Cluster Transformation. Octanuclear Clusters with Edge-sharing Gold Tetrahedron Motifs, Angewandte Chemie International Edition, 査読有、No. 50, 2011、7442-7445. (10.1002/anie.201102901)
- ⑤ Yukatsu Shichibu and Katsuaki Konishi, HCl-induced Nuclearity Convergence in Diphosphine-protected Ultrasmall Gold Clusters: A Novel Synthetic Route to "Magic-Number" Au₁₃ Clusters, Small, 査読有、No. 6, 2010, 1216-1220. (10.1002/smll.200902398)

[学会発表] (計 57 件)

1. 亀井優太郎、七分勇勝、小林直貴、小西克明、チオレート配位子を位置特異的に導入した Au₈ クラスターの合成と酸化還元挙動、日本化学会第 93 回春季年会、2013 年 3 月 22-25 日、立命館大学
2. 小林直貴、亀井優太郎、七分勇勝、小西克明、有機配位子修飾サブナノ金クラスターの合成と光機能探索、日本化学会第 93 回春季年会、2013 年 3 月 22-25 日、立命館大学
3. 張明喆、亀井優太郎、七分勇勝、小西克明、含水有機溶媒中における Au₆ クラスターのフォトクロミック特性、日本化学会第 93 回春季年会、2013 年 3 月 22-25 日、立命館大学
4. 小林直貴、亀井優太郎、七分勇勝、小西

克明、有機機能団で修飾した金クラスターの合成と性質、化学系学協会北海道支部 2013 年冬季研究発表会、2013 年 1 月 29-30 日、北海道大学

5. 張明喆、亀井優太郎、七分勇勝、小西克明、含水有機溶媒中における Au₆ クラスターの特異的な光応答活性、化学系学協会北海道支部 2013 年冬季研究発表会、2013 年 1 月 29-30 日、北海道大学
6. 七分勇勝、亀井優太郎、小西克明、新規サブナノ Au クラスター群の合成と構造に基づく特性開拓、第 62 回錯体化学討論会、2012 年 9 月 21-23 日、富山大学
7. 亀井優太郎、七分勇勝、Maxwell Reinhardt, Neil Robertson, 小西克明、酸化還元によりコア構造転移を示す非球状サブナノ金属クラスター、第 62 回錯体化学討論会、2012 年 9 月 21-23 日、富山大学
8. 加藤雄貴、亀井優太郎、七分勇勝、小西克明、金クラスターとポリ酸からなる多孔性複合結晶の構築と特性、第 62 回錯体化学討論会、2012 年 9 月 21-23 日、富山大学
9. 七分勇勝、亀井優太郎、小西克明、Non-Spherical Gold Clusters Exhibit Intense Absorption Bands : Correlation between Geometric and Electronic Structures, Gold2012, 2012 年 9 月 5-8 日、京王プラザホテル東京
10. 亀井優太郎、七分勇勝、Maxwell Reinhardt, Neil Robertson, 小西克明、Molecular Au₈ clusters with unique geometries and optical/redox properties, Gold2012, 2012 年 9 月 5-8 日、京王プラザホテル東京
11. 瀬田敬太、七分勇勝、小西克明、環状金属チオレートクラスターの選択的な金属イオンとの錯形成、日本化学会北海道支部 2012 夏期研究発表会、2012 年 8 月 4 日、旭川工業高等専門学校
12. 加藤雄貴、亀井優太郎、七分勇勝、小西克明、金クラスターとポリ酸からなる多孔性複合結晶の設計、日本化学会北海道支部 2012 夏期研究発表会、2012 年 8 月 4 日、旭川工業高等専門学校
13. 小西克明、Unique optical properties of non-spherical molecular gold clusters、16th International Symposium on Small Particles and Inorganic Clusters, 2012 年 7 月 10 日、ルーベンカトリック大学 (ベルギー)
14. 李卿、亀井優太郎、七分勇勝、小西克明、金を含む二元系金属サブナノクラスターの合成、ナノ学会第 10 回大会、2012 年 6 月 14-16 日、大阪大学会館

15. 七分勇勝、亀井優太郎、小西克明、Non-Spherical-Shape Gold Clusters with Unique Absorption Bands: Correlation between Geometric and Electronic Structures、第14回 IACIS 国際会議、2012年5月13-18日、仙台国際センター
16. 亀井優太郎、七分勇勝、小西克明、Unique optical and redox properties of ultrasmall gold clusters with defined core structures、第14回 IACIS 国際会議、2012年5月13-18日、仙台国際センター
17. 中川大輔、七分勇勝、小西克明、チオレート配位金ナノ粒子の合成と光化学特性、日本化学会第92春季年会、2012年3月25-28日、慶應義塾大学
18. 大塚英華、七分勇勝、小西克明、アルキニルで表面修飾したサブナノ Au₁₃ クラスタ誘導体の合成と発光特性、日本化学会第92春季年会、2012年3月25-28日、慶應義塾大学
19. 七分勇勝、亀井優太郎、小西克明、ユニークな吸収バンドを有する非球状型 Au クラスタ群の合成と幾何・電子構造解析、日本化学会第92春季年会、2012年3月25-28日、慶應義塾大学
20. 亀井優太郎、七分勇勝、小西克明、サブナノ Au クラスタの酸化還元特性を利用した機能探索、日本化学会第92春季年会、2012年3月25-28日、慶應義塾大学
21. 亀井優太郎、七分勇勝、小西克明、Syntheses of Novel Au 8 Clusters and their Optical Responses to Metal Ions、11th International Symposium on Applied Bioinorganic Chemistry、2011年12月1-7日、Casa de Convalescència (スペイン)
22. 小西克明、福永直人、Organic-modified Cadmium Chalcogenide Clusters bearing Recognition Site near the Inorganic Core: Selective Luminescence Response to Lipophilic Phenols、International Symposium on Clusters and nano-Structures、2011年11月7-11日、Jefferson Hotel (アメリカ)
23. 七分勇勝、亀井優太郎、小西克明、特徴的な吸収バンドを有するサブナノ Au クラスタ群の合成と幾何・電子構造解析、第5回分子科学討論会 2011、2011年9月20-23日、札幌コンベンションセンター
24. 小西克明、亀井優太郎、七分勇勝、Post 合成法を用いるユニークなコア構造をもつサブナノ金クラスタの創製、第61回錯体化学討論会、2011年9月17-19日、岡山理科大学
25. 七分勇勝、亀井優太郎、小西克明、ユニークな吸収帯を有するサブナノ Au クラスタ群の合成と幾何・電子構造解析、第61回錯体化学討論会、2011年9月17-19日、岡山理科大学
26. 大塚英華、七分勇勝、小西克明、サブナノ Au クラスタの表面修飾と機能化、第61回錯体化学討論会、2011年9月17-19日、岡山理科大学
27. 亀井優太郎、七分勇勝、小西克明、酸化還元により幾何構造が変化する新規 Au₈ クラスタ、第61回錯体化学討論会、2011年9月17-19日、岡山理科大学
28. 小西克明、七分勇勝、Facile Synthesis of Ultrasmall Gold Clusters with Unique Core Geometries via Post-Synthetic Methods、Advanced complex inorganic materials、2011年9月11-14日、ナミュール大学 (ベルギー)
29. 七分勇勝、亀井優太郎、小西克明、金属コアの柔軟性を利用した新規 Au クラスタ群の合成と特性開拓、ナノ学会第9回大会、2011年6月2-4日、北海道大学
30. 七分勇勝、亀井優太郎、小西克明、金原子間の弱い相互作用を利用した Au クラスタの合成と新規特性の開拓、日本化学会第91春季年会、2011年3月26-29日、神奈川大学
31. 亀井優太郎、七分勇勝、小西克明、cluster-to-cluster 型の変換を利用したサブナノ Au クラスタの合成と機能、日本化学会第91春季年会、2011年3月26-29日、神奈川大学
32. 鈴木快、七分勇勝、小西克明、有機保護 Au ナノクラスタ中に生成した露出無機表面の特性、化学系学協会北海道支部 2011年冬季研究発表会、2011年2月1-2日、北海道大学
33. 亀井優太郎、七分勇勝、小西克明、An approach for luminescent guest-sensing modules、PACIFICHEM 2010、2010年12月15-20日、ハワイコンベンションセンター (アメリカ)
34. 七分勇勝、小西克明、HCl-induced nuclearity convergence of polydisperse gold clusters via re-assembly process : facile synthesis of magic-number icosahedral Au₁₃ clusters、PACIFICHEM 2010、2010年12月15-20日、ハワイコンベンションセンター (アメリカ)
35. 亀井優太郎、七分勇勝、小西克明、サブ

- ナノ Au クラスター群が示す多様な骨格構造と動的特性、第 60 回錯体化学討論会、2010 年 9 月 27-30 日、大阪国際交流センター
36. 鈴木快、七分勇勝、小西克明、露出サイトを有する有機保護 Au ナノクラスターの反応と相互作用特性、第 60 回錯体化学討論会、2010 年 9 月 27-30 日、大阪国際交流センター
37. 七分勇勝、亀井優太郎、小西克明、サブナノ Au クラスターの構造評価と光化学特性、第 60 回錯体化学討論会、2010 年 9 月 27-30 日、大阪国際交流センター
38. 鈴木快、七分勇勝、小西克明、露出金属サイトを有する有機保護 Au クラスターの特性、日本化学会北海道支部 2010 年夏季研究発表会、2010 年 7 月 24 日、函館工業高等専門学校
39. 小西克明、Molecular Communication at the Organic-Cluster Heterogeneous Interface, The 25th CRC International Symposium, 2010 年 7 月 24 日、洞爺パークホテル
40. 亀井優太郎、七分勇勝、小西克明、Acid-induced nuclearity alteration in diphosphine-protected ultrasmall gold clusters, 第 5 回大環状化合物および超分子化学国際会議、2010 年 6 月 6-10 日、奈良県新公会堂
41. 鈴木快、七分勇勝、小西克明、Reactions on the inorganic surface of organic-modified gold nanoclusters, 第 5 回大環状化合物および超分子化学国際会議、2010 年 6 月 6-10 日、奈良県新公会堂
42. 小西克明、クラスター性ナノ金属種の無機表面で起こる化学事象の探索、日本化学会第 90 春季年会 ATP 依頼講演、2010 年 3 月 26-29 日、近畿大学
43. 小西克明、ナノクラスター化合物の分子認識特性と応答機能、日本化学会第 90 春季年会特別企画講演、2010 年 3 月 26-29 日、近畿大学
44. 小西克明、半導体クラスター表面での分子認識を駆動力とする発光センシング、日本化学会第 90 春季年会、2010 年 3 月 26-29 日、近畿大学
45. 七分勇勝、小西克明、ジホスフィン配位 Au クラスター幾何構造と光化学特性、日本化学会第 90 春季年会、2010 年 3 月 26-29 日、近畿大学
46. 亀井優太郎、七分勇勝、小西克明、クラウン型配座を持つサブナノ Au クラスターの合成と性質、日本化学会第 90 春季年会、2010 年 3 月 26-29 日、近畿大学
47. 鈴木快、村上嘉崇、小西克明、有機保護金ナノクラスターの無機表面が示す反応特性、日本化学会第 90 春季年会、2010 年 3 月 26-29 日、近畿大学
48. 亀井優太郎、七分勇勝、小西克明、クラウン型 Au クラスターの合成と機能、化学系学協会北海道支部 2010 年冬季研究発表会、2010 年 1 月 26-27 日、北海道大学
49. 鈴木快、小西克明、有機保護金ナノ粒子の無機用免状の反応特性、化学系学協会北海道支部 2010 年冬季研究発表会、2010 年 1 月 26-27 日、北海道大学
50. 鈴木快、村上嘉崇、小西克明、有機保護金クラスターの無機表面上でおきる物質間相互作用と反応、第 59 回錯体化学討論会、2009 年 9 月 25-27 日、長崎大学
51. 亀井優太郎、小西克明、七分勇勝、メタロクラウンユニットを有する Au クラスターの合成と性質、第 59 回錯体化学討論会、2009 年 9 月 25-27 日、長崎大学
52. 小西克明、七分勇勝、二十面体構造を持つ Au₁₃ クラスターの合成と誘導化、第 59 回錯体化学討論会、2009 年 9 月 25-27 日、長崎大学
53. 小西克明、半導体ナノクラスター表面での分子認識を用いた発光センシング、日本分析化学会第 58 年会、2009 年 9 月 24-26 日、北海道大学
54. 七分勇勝、小西克明、二十面体構造をとる Au₁₃ クラスターの合成と光化学特性、第 5 回ホスト・ゲスト化学シンポジウム、2009 年 5 月 30-31 日、宇都宮大学
55. 七分勇勝、小西克明、構造が規定されたサブナノサイズ Au クラスターの合成と誘導化、第 89 日本化学会春季年次大会、2009 年 3 月 27-30 日、日本大学
56. 小西克明、ソフトナノ界面を利用するクラスター性金属種の機能化、第 89 日本化学会春季年次大会、2009 年 3 月 27-30 日、日本大学
57. 小西克明、クラスター性ナノ金属種のソフト界面化学、第 39 回中部化学関係学協会支部連合協議会秋季大会、2008 年 11 月 8-9 日、名古屋大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小西 克明 (KONISHI KATSUAKI)
北海道大学・大学院地球環境科学研究院・教授
研究者番号：80234798

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし