

令和 3 年 5 月 26 日現在

機関番号：14603

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2016～2020

課題番号：16H06522

研究課題名(和文) 表面配位に基づく非対称ナノ粒子システムの構築と光・電子機能開拓

研究課題名(英文) Design and Exploring Photonic/Electronic Functions of Asymmetric Nanoparticles System Based on Surface Coordination

研究代表者

中嶋 琢也(Nakashima, Takuya)

奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・准教授

研究者番号：70379543

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 27,900,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、無機結晶の構造制御剤としてキラル有機配位子を用い、ナノ粒子の構造非対称化に取り組み、ナノ粒子特有の高度な構造制御性を見出した。キラルな原子配列を最安定相として有するシナパー(硫化水銀)ナノ粒子において、有機配位子のキラル配位構造変化に依存した、キラリティー反転、増幅現象を見出した。また、銀29クラスターが構造不斉を有することを見出し、キラルHPLCによりエナンチオマーを分離した。さらに、キラル配位子や、表面におけるホスト-ゲスト化学を通じたキラリティー反転等の応答性を実証することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

無機物質の特徴は構造堅牢性にある。応答性や柔軟性などの構造制御性は有機物の高次構造や金属錯体の配位構造特有のものであり、無機結晶とは縁遠い性質であるというのが共通認識とされてきた。本課題では、無機結晶の構造制御剤としてキラル有機配位子を用い、ナノ粒子の構造非対称化に取り組み、ナノ粒子特有の高度な構造制御性を見出した。すなわち、無機ナノ結晶やクラスターにおいて、応答性を含めた動的構造制御性を実証できたことに学術的意義を有する。

研究成果の概要(英文)：Extensive research has been conducted on chirality-related phenomena in organic molecular systems including metal complexes and polymers. Contrarily, the subject of chirality in inorganic nanomaterials has emerged only in the last two decades, while some minerals have long been known to possess intrinsically chiral crystalline structures, as represented by quartz. Semiconductor nanocrystals and metal clusters with intrinsic chirality (crystallographic chirality) constitute an important part of novel chiral nanomaterials. We have made efforts to control the handedness in such chiral nanomaterials through interactions with organic molecules including chiral ligands. The handedness of atomic arrangement in the nanoparticles and clusters could be regulated by means of control of energy landscape in the nanoparticle growth. The structural control could be a result of interplay of chiralities between organic ligands and inorganic compounds.

研究分野：光化学

キーワード：キラリティー ナノ粒子 クラスター 自己組織化

1. 研究開始当初の背景

学術的には生命起源の考察や生体分子システムの理解、実用的には創薬における重要性から不斉の創出と認識に関する研究は衰えを知らない。不斉触媒開発と構造物理化学的興味からキラル配位子を有するナノ粒子が注目されている。バルクの無機物は高い構造対称性を有するが、サイズダウンにより配位子の非対称性を反映した結晶、表面状態を与える。例えば、キラルな金、銀ナノクラスターについて多くの研究例があり、無機結晶 = 高対称性という従来の概念を払拭した。ナノ粒子の配位子は最表面金属に結合し、異方集積した配位空間を創出する。このような界面集積型金属錯体の非対称化による電子、光学、触媒特性は未解明である。また、適切な配位子設計を通じた表面配位空間とナノ粒子コア間の電子状態のカップリング、双方のシナジーにより、未踏の光・電子機能の発現が期待される。

2. 研究の目的

本研究では、ナノ粒子表面を足場とした、配位圏の設計により、“ナノ結晶構造～表面局在の集積型配位空間～ナノ粒子自己集合体”のマルチスケールにおける構造非対称化と非対称集積電子系特有の機能開拓を目的とした。バイオミネラリゼーションに倣ったキラル有機配位子による無機結晶のキラル結晶化構造制御を含めた各要素技術をボトムアップ的にナノ粒子システムとして統合し、各階層における非対称構造特有の物理化学現象の解明と革新機能の開拓を進めた。

3. 研究の方法

本領域研究では、特に、非対称な原子配列を最安定構造として有する金属クラスター(銀クラスター)並びに半導体辰砂ナノ粒子(HgS)ナノ粒子を対象として研究を行った。これら非対称原子配列無機中心とキラル配位子との相互作用(シナジー)を起源とした構造制御性と応答性の発現に関する研究を行った。さらに、非対称原子配列結晶表面における分子集積と機能発現について検討を行った。

4. 研究成果

(1) 非対称原子配列を有する銀クラスターにおける不斉構造制御と応答性

金属クラスターは決まった数の金属元素と有機配位子から形成され、電子遷移に基づく特徴的な光学特性を示す。また、その構造は構成元素数に依存し、バルクで形成される高対称結晶構造とは異なり、表面、配位子の影響を受けて低対称化されやすい。さらに、キラルな原子配列が最安定構造としてクラスターを形成することもある。我々は、まず、アキラルな二座配位子 1,3-ベンゼンジチオール(BDT)と銀原子により構成される Ag_{29} クラスター¹⁾がその構造(原子配列)にキラリティーを有することを発見し、キラル HPLC による光学分割とキラル配位子によるエナンチオ選択的合成に取り組んだ。アミロース誘導体系のキラルカラムを用いて、HPLC によるエナンチオマー間の分離に成功した。第一分離成分と第二分離成分の CD スペクトルは鏡像関係にあり、エナンチオ分離が達成された(図 1)。さらに、共同研究による量子化学計算から、第一、第二分離成分の主成分がそれぞれ右巻き、左巻きの原子配列を有するクラスターであることが支持された。さらに、詳細な TD DFT 計算から、キラルな Ag -ジチオレートネットワークを有する外殻から Ag_{13} コアへの電荷移動性の電子遷移が、CD シグナルに寄与していることが明らかとなった。²⁾

一方、アキラルな BDT を用いる場合、左右両方巻きの原子配列を有するクラスターがラセミ体として等量生成するが、キラルな配位子を利用することにより、いずれかの鏡像体 NC が優先的に得られる。³⁾ BDT と同様、二座配位性の α -ジヒドロリボ酸(DHLA)は $Ag_{29}(DHLA)_{12}$ の組成を与える。R 体、S 体の DHLA を用いることで、それぞれ、左巻き(AC)、右巻き(C)のクラスターが得られることが示唆された。一方、その選択性的原因となる左右クラスターのエネルギー差は僅か数 kcal/mol 程度あり DHLA の対掌性誘導力は低い。そこで、(R)-DHLA を用いて種々の温度で Ag_{29} クラスターを合成し、その光学活性を CD スペクトルにより評価した。CD ピーク 500 nm における異方性因子 ($g = \Delta\epsilon/\epsilon$) を調製温度に対してプロットしたところ、温度上昇とともに g 値が向上することが分かった(図 2)。調製温度が高くなるほど、クラスターの光学純度が向上する現象は熱力学的な平衡では説明されず、クラスター形成において動力学的過程が支

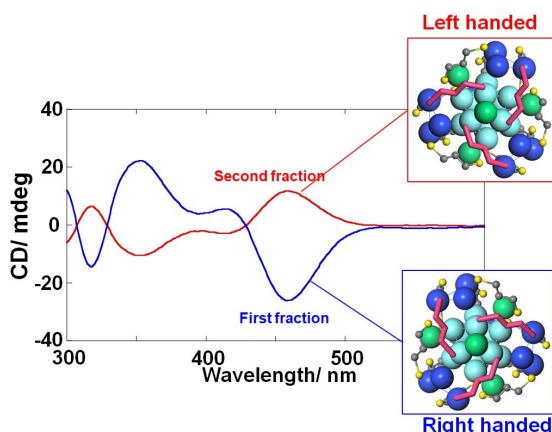


図 1. $Ag_{29}(BDT)_{12}$ クラスターのモデル構造とキラル HPLC 分離後の CD スペクトル

配的であること、さらに、DHLA においては動力学的なキラル誘導能が低いことが分かった。また、低温で作製したクラスターを加熱すると、 g 値が増加し、C-クラスターからのキラル反転により AC-クラスターの存在比が高くなることが示唆された。以上により、 Ag_{29} クラスターの生成とキラル誘導におけるエネルギーランドスケープを図 2 のように明らかにした。

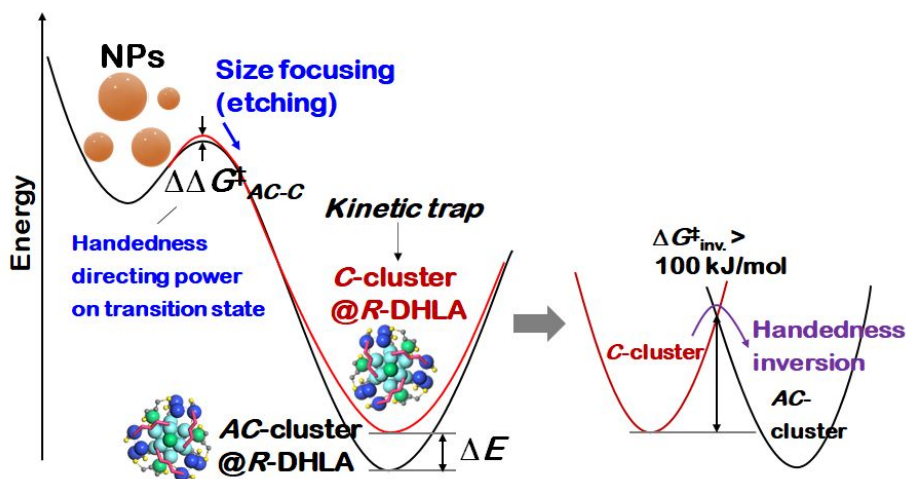


図 2. $Ag_{29}(R-DHLA)_{12}$ クラスターの生成と AC-、C-クラスター間の熱力学平衡におけるエネルギーダイアグラム

一方、クラスター生成における活性化エネルギー差ならびに熱力学平衡における AC-、C-クラスターのエネルギー差は小さい。すなわち、わずかな摂動により生成、安定化エネルギーを逆転できる可能性を示唆している。

Ag_{29} クラスター表面にはキラル T 対称配置されたルイス酸性の銀サイトが 4 つ存在する。このルイス酸性銀サイトの周りに DHLA が C_3 対称配置され、そのカルボキシレートが配位、安定化する (図 3、 $Ag-DHLA_3$ ユニット)。これに、ピリジンや 4-ジメチルアミノピリジン (DMAP) などのルイス塩基性分子を加え、還元剤により表面配位子の配列を再構成させることで原子配列のキラル反転が起こることを見出した。 $Ag_{29}(R-DHLA)_{12}$ クラスターは 500 nm に $g_{abs} = 1.47 \times 10^{-3}$ の CD 活性を与える。ここに、DMAP を添加し、さらに、 $NaBH_4$ 水溶液による NC の再構成を行うことで、CD スペクトルが反転し、500 nm における g_{abs} 値は -1.52×10^{-3} となった (図 3)。ルイス塩基がクラスター表面の銀原子に配位することで、対掌体の相対安定性が逆転し、再構成を経ることでキラリティーが反転することを明らかにした。

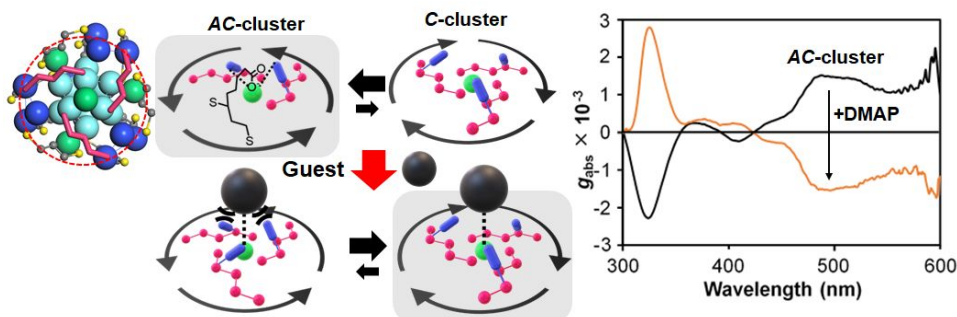


図 3. $Ag_{29}(DHLA)_{12}$ クラスターのモデル構造と表面 $Ag-DHLA_3$ ユニットの拡大図。ゲスト分子 (DMAP) 添加による CD スペクトル反転

(2) 非対称原子配列コアを有する HgS ナノ粒子における不斉構造制御

辰砂として朱色顔料にも用いられる硫化水銀 (HgS) は構成元素がらせん状に配置したキラル結晶構造を与える。バルク結晶における対掌性の制御は困難であるが、キラルな配位子を共存させることで、対掌体選択的な HgS ナノ粒子合成が達成される。

キラル配位子が形成するキラル二座配位構造が対掌体選択的なナノ粒子の安定化に寄与し、 HgS ナノ粒子におけるキラル誘導、キラル反転を導くことを発見した。具体的には、 N -メチル-L-システイン : $Ac-L-Cys$ を用いたキラル反転現象を見出した。⁴⁾ 調製直後 $Ac-L-Cys$ 被覆 HgS ナノ粒子は正の第一コットン効果を示した。これを $80^\circ C$ で加熱したところ、CD スペクトルが連

続的に変化し、最終的に正負逆転した CD スペクトルを与えた(図4)。Ac-L-Cys はチオールとカルボキシ基またはチオールとアミド基の二座配位パターンを形成し、これらはほぼ鏡像関係にある(図4)。即ち、この表面における二座配位パターンの変化がHgS ナノ粒子のキラル原子配列の反転を誘起していると考えた。さらに、FTIR測定、ならびに量子化学計算の結果から、キラル配位子の表面二座配位パターンがHgS ナノ粒子コアのキラル誘起に重要な役割を果たしていることを明らかにした。以上のように、単一のキラル配位子を用いた場合でも、左右両方の対掌性を有する HgS ナノ粒子が得られたことは、キラル配位子の対掌性誘導力に再考の余地を与える結果となった。

キラル HgS ナノ粒子の生成について詳細に評価し、ナノ粒子の成長におけるキラル配位子の役割とキラル発展機構を提案した(図5)。⁵⁾ HgS ナノ粒子は、準安定な対称性の閃亜鉛鉱結晶を形成し、5.5 nm の臨界サイズを超えて、最安定な非対称性の三方晶構造へと相転移することを見出した(A-B)。5.5 nm を超えた三方晶ナノ粒子形成が実質的なキラル誘導過程であるが、動力学的に左右両方の対掌性結晶が安定化され、キラル配位子の対掌性誘導力は低い(Stage B)。一方、キラル配位子と対掌性結晶の組み合わせにはエネルギー差があり、加熱処理により、より不安定な対掌性ナノ粒子が分解し(Stage C)、より安定な対掌性ナノ粒子の成長が促進される(Stage D)。すなわち、オストワルド熟成によるナノ粒子の成長と対掌性純度の向上が協調して進行することを明らかにした。

さらに、階層的なキラル構造を有するナノ粒子の表面において、アキラル色素のキラル集積化による円偏光発光(CPL)発生に成功した。HgS ナノ粒子は seed-growth の手法により、キラルツイスト形状のナノ粒子へと成長させることができる。また、HgS における結晶の対掌性とツイスト形状ナノ粒子の形状の対掌性は独立に制御することが可能である。⁶⁾ HgS におけるキラル原子配列を足場として、ナノ粒子表面におけるアキラル色素のキラル配列ならびに CPL 発生を期待した。結果として、単純なアキラル形状を有する HgS ナノ粒子へのアキラル色素修飾は CPL 発生を誘導しなかったが、キラル形状を有するツイストナノ粒子表面において CPL が誘起されることを見出した。CPL シグナルのキラリティーは、HgS の結晶キラリティーに依存せず、ツイスト形状のキラリティーに従うことから、キラル形状ナノ粒子表面における色素配列にキラリティーが転写されていることが示唆された(図6)。

ナノ粒子のキラル配位子とキラル結晶のシナジーは発展的なホモキラリティーの発生に関わるキラル選別、増幅の機構を与える重要な知見となることを期待している。

<引用文献>

- 1) L. G. AbdulHalim, M. S. Bootharaju, Q. Tang, S. Del Gobbo, R. G. AbdulHalim, M. Eddaoudi, D. E. Jiang, O. M. Bakr, *J. Am. Chem. Soc.* **2015**, *137*, 11970.
- 2) H. Yoshida, M. Ehara, U. D. Priyakumar, T. Kawai, T. Nakashima, *Chem. Sci.* **2020**, *11*, 2394.
- 3) J. Kumar, T. Kawai, T. Nakashima, *Chem. Commun.*, **2017**, 53, 1269.
- 4) J. Kuno, Y. Imamura, M. Katouda, M. Tashiro, T. Kawai, T. Nakashima, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2018**, *57*, 12022.

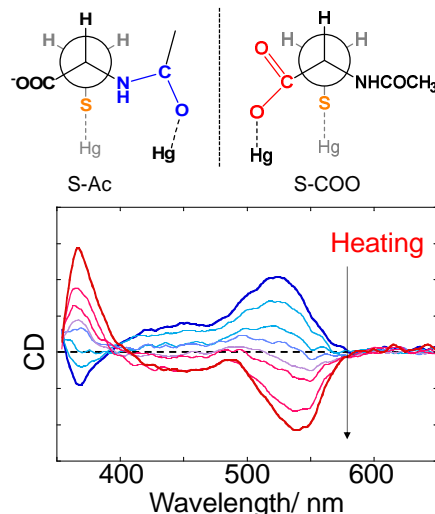


図4. 加熱処理に伴う Ac-L-Cys 被覆 HgS ナノ粒子の CD スペクトル変化と HgS ナノ粒子表面における二座配位パターン

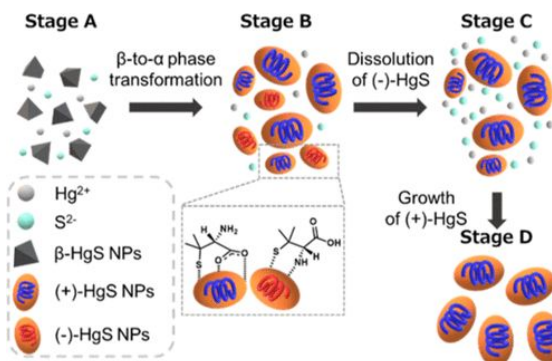


図5. キラル HgS ナノ粒子の成長とキラル発展

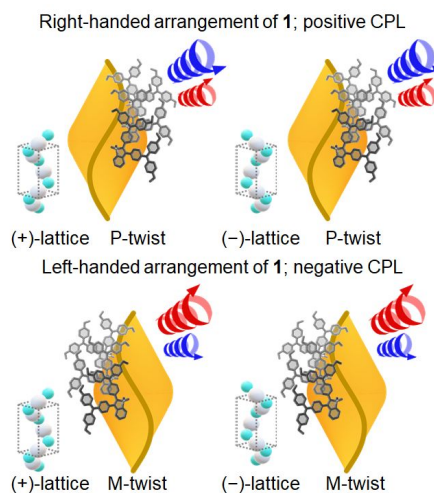


図6. キラル形状ナノ粒子表面におけるアキラル色素配列へのキラリティー転写と CPL 発生

- 5) J. Kuno, T. Kawai, T. Nakashima, *Chem. Mater.* **2020**, 32, 8412.
- 6) P. Wang, S. -J. Yu, A. O. Govorov, M. Ouyang, *Nat. Commun.* **2017**, 8, 14312.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 22件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yonezawa Shumpei, Kawai Tsuyoshi, Nakashima Takuya	4. 巻 9
2. 論文標題 Supramolecular Copolymerization of Bichromophoric Chiral and Achiral Perylenediimide Dyes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Chemistry	6. 最初と最後の頁 652703-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fchem.2021.652703	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yoshida Hiroto, Kumar Jatish, Ehara Masahiro, Okajima Yasuo, Asanoma Fumio, Kawai Tsuyoshi, Nakashima Takuya	4. 巻 93
2. 論文標題 Impact of Enantiomeric Ligand Composition on the Photophysical Properties of Chiral Ag ₂₉ Nanoclusters	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 834 ~ 840
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20200089	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 該当する
1. 著者名 Kuno Jumpei, Miyake Kazuhiro, Katao Shohei, Kawai Tsuyoshi, Nakashima Takuya	4. 巻 32
2. 論文標題 Enhanced Enantioselectivity in the Synthesis of Mercury Sulfide Nanoparticles through Ostwald Ripening	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 8412 ~ 8419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.0c02409	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 Yonezawa Shumpei, Sethy Ramarani, Fukuhara Gaku, Kawai Tsuyoshi, Nakashima Takuya	4. 巻 55
2. 論文標題 Pressure-dependent guest binding and release on a supramolecular polymer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 5793 ~ 5796
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9cc02696g	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 Asthana Deepak, Hisamitsu Shota, Morikawa Masa-aki, Duan Pengfei, Nakashima Takuya, Kawai Tsuyoshi, Yanai Nobuhiro, Kimizuka Nobuo	4. 巻 1
2. 論文標題 Aqueous Photon Upconversion by Anionic Acceptors Self-Assembled on Cationic Bilayer Membranes with a Long Triplet Lifetime	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Organic Materials	6. 最初と最後の頁 043 ~ 049
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/s-0039-3400250	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 該当する

1. 著者名 Yoshida Hiroto, Ehara Masahiro, Priyakumar U. Deva, Kawai Tsuyoshi, Nakashima Takuya	4. 巻 11
2. 論文標題 Enantioseparation and chiral induction in Ag29 nanoclusters with intrinsic chirality	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 2394 ~ 2400
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9sc05299b	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Tsunega Seiji, Jin Ren Hua, Nakashima Takuya, Kawai Tsuyoshi	4. 巻 85
2. 論文標題 Transfer of Chiral Information from Silica Hosts to Achiral Luminescent Guests: a Simple Approach to Accessing Circularly Polarized Luminescent Systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemPlusChem	6. 最初と最後の頁 619 ~ 626
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cplu.201900615	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 Nakashima Takuya, Shigekawa Kasumi, Katao Shohei, Asanoma Fumio, Kawai Tsuyoshi	4. 巻 21
2. 論文標題 Solvation of quantum dots in 1-alkyl-1-methylpyrrolidinium ionic liquids: toward stably luminescent composites	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science and Technology of Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 187 ~ 194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/14686996.2020.1735923	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Marine Louis, Ramarani Sethy, Jatish Kumar, Shouhei Katao, Regis Guillot, Takuya Nakashima, Clemence Allain, Tsuyoshi Kawai, and Remi Metivier	4. 巻 10
2. 論文標題 Mechano-responsive circularly polarized luminescence of organic solid-state chiral emitters	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chem. Sci.	6. 最初と最後の頁 843-847
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8sc04026e	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 該当する

1. 著者名 Ramarani Sethy, Remi Metivier, Arnaud Brosseau, Tsuyoshi Kawai, Takuya Nakashima	4. 巻 9
2. 論文標題 Impact of Optical Purity on the Light Harvesting Property in Supramolecular Nanofibers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 4516-5421
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.8b02015	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 該当する

1. 著者名 Jumpei Kuno, Yutaka Imamura, Michio Katouda, Motomichi Tashiro, Tsuyoshi Kawai, Takuya Nakashima	4. 巻 57
2. 論文標題 Inversion of Optical Activity in the Synthesis of Mercury Sulfide Nanoparticles: Role of Ligand Coordination	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Angew. Chem. Int. Ed.	6. 最初と最後の頁 12022-12026
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201807191	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 Sugimoto Masumi, Liu Xin-Ling, Tsunega Seiji, Nakajima Erika, Abe Shunsuke, Nakashima Takuya, Kawai Tsuyoshi, Jin Ren-Hua	4. 巻 24
2. 論文標題 Circularly Polarized Luminescence from Inorganic Materials: Encapsulating Guest Lanthanide Oxides in Chiral Silica Hosts	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 6519 ~ 6524
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201705862	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 Hashimoto Yuichiro, Nakashima Takuya, Kuno Jumpei, Yamada Miku, Kawai Tsuyoshi	4. 巻 4
2. 論文標題 Dynamic Modulation of Circularly Polarized Luminescence in Photoresponsive Assemblies	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ChemNanoMat	6. 最初と最後の頁 815 ~ 820
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cnma.201800124	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 Hashimoto Yuichiro, Nakashima Takuya, Yamada Miku, Yuasa Jupnei, Rapenne Gwenael, Kawai Tsuyoshi	4. 巻 9
2. 論文標題 Hierarchical Emergence and Dynamic Control of Chirality in a Photoresponsive Dinuclear Complex	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 2151-2157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.8b00690	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 該当する

1. 著者名 Sugimoto Masumi, Liu Xin-Ling, Tsunega Seiji, Nakajima Erika, Abe Shunsuke, Nakashima Takuya, Kawai Tsuyoshi, Jin Ren-Hua	4. 巻 24
2. 論文標題 Circularly Polarized Luminescence from Inorganic Materials: Encapsulating Guest Lanthanide Oxides in Chiral Silica Hosts	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chem. Eur. J.	6. 最初と最後の頁 6519-6524
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201705862	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 Sethy Ramarani, Kumar Jatish, Metivier Remi, Louis Marine, Nakatani Keitaro, Mecheri Nila Mohan Thazhe, Subhakumari Akhila, Thomas K. George, Kawai Tsuyoshi, Nakashima Takuya	4. 巻 56
2. 論文標題 Enantioselective Light Harvesting with Perylenediimide Guests on Self-Assembled Chiral Naphthalenediimide Nanofibers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Angew. Chem. Int. Ed.	6. 最初と最後の頁 15053 ~ 15057
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201707160	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 該当する

1. 著者名 Taniguchi Yuki, Takishita Takao, Kobayashi Yusei, Arai Noriyoshi, Kawai Tsuyoshi, Nakashima Takuya	4. 巻 118
2. 論文標題 Amphiphilic self-assembly of semiconductor nanocrystals with heterogeneous compositions	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Eurphys. Lett.	6. 最初と最後の頁 68001 ~ 68001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1209/0295-5075/118/68001	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 Taniguchi Yuki, Sazali Muhammad Adli Bin, Kobayashi Yusei, Arai Noriyoshi, Kawai Tsuyoshi, Nakashima Takuya	4. 巻 11
2. 論文標題 Programmed Self-Assembly of Branched Nanocrystals with an Amphiphilic Surface Pattern	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 9312 ~ 9320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.7b04719	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 Kuno Jumpei, Kawai Tsuyoshi, Nakashima Takuya	4. 巻 9
2. 論文標題 The effect of surface ligands on the optical activity of mercury sulfide nanoparticles	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 11590 ~ 11595
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7nr02603j	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 J. Kumar, T. Kawai, T. Nakashima	4. 巻 53
2. 論文標題 Circularly polarized luminescence in chiral silver nanoclusters	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chem. Commun.	6. 最初と最後の頁 1269-1272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c6cc09476g	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 S. Iijima, T. Nakashima, T. Kawai	4. 巻 40
2. 論文標題 Stereoselective photoreaction in P-stereogenic dithiazolylbenzo [b] phosphole chalcogenides	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 New J. Chem.	6. 最初と最後の頁 10048-10055
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C6NJ02446G	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 J. Kumar, B. Marydasan, T. Nakashima, T. Kawai, J. Yuasa	4. 巻 52
2. 論文標題 Chiral supramolecular polymerization leading to eye differentiable circular polarization in luminescence †	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Chem. Commun.	6. 最初と最後の頁 9885-9888
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c6cc05022k	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50件 (うち招待講演 15件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 米澤俊平、河合壯、中嶋琢也
2. 発表標題 キラルおよびアキラル構造を有するPDI誘導体の超分子共集合の構築と構造制御
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中嶋琢也、吉田裕斗、河合壯
2. 発表標題 キラル銀クラスター合成における対掌性制御
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井航、河合壯、中嶋琢也
2. 発表標題 銀クラスターにおける近赤外発光増強
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷辺陸、河合壯、中嶋琢也
2. 発表標題 不斉原子配列を有する銀クラスターへのゲスト分子結合を介したキラル構造反転
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中嶋琢也、吉田裕斗、谷辺陸、河合壯
2. 発表標題 銀ナノクラスターにおける超分子化学的キラリティー制御
3. 学会等名 MRM Forum 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久野純平、河合壯、中嶋琢也
2. 発表標題 キラル表面配位子による硫化水銀ナノ粒子のキラリティー選択的Ostwald成長
3. 学会等名 MRM Forum 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉田裕斗、江原正博、河合壯、中嶋琢也
2. 発表標題 HPLCによるアキラル配位子を有するAg ₂₉ ナノクラスターの光学分割
3. 学会等名 ナノ学会第18回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久野純平、河合壯、中嶋琢也
2. 発表標題 Ostwald成長によるエナンチオ選択的キラル硫化水銀ナノ結晶の形成
3. 学会等名 ナノ学会第18回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 谷辺陸、吉田裕斗、河合壯、中嶋琢也
2. 発表標題 Ag ₂₉ ナノクラスターへのゲスト分子結合に誘起されるキラル反転
3. 学会等名 ナノ学会第18回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中嶋琢也・米澤俊平・Sethy Ramarani・河合壯
2. 発表標題 超分子集合体上のゲスト結合解離挙動における圧力効果
3. 学会等名 第17回ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 米澤俊平・Sethy Ramarani・河合壯・中嶋琢也
2. 発表標題 ナフタレンジイミドキラルナノファイバーを宿主とするペリレンジイミド誘導体の結合挙動
3. 学会等名 第17回ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroyoshi Yoshida・Junpei Kuno・Tsuyoshi Kawai・Takuya Nakashima
2. 発表標題 Impact of Chiral Surface Structure on Physicochemical Property of Silver Nanocluster
3. 学会等名 The International Conference on Photocatalysis and Photoenergy 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田裕斗・江原正博・河合壯・中嶋琢也
2. 発表標題 高速液体クロマトグラフィーによるアキラル配位子を有するAg ₂₉ ナノクラスターの光学分割
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中嶋琢也
2. 発表標題 コアと表面配位子のシナジーが導くナノ粒子の化学
3. 学会等名 分子システム科学センター 第68回セミナー (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 米澤俊平・河合壯・中嶋琢也
2. 発表標題 キラル超分子ナノファイバーをホストとするペリレンジイミド誘導体の結合挙動
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久野純平・河合壯・中嶋琢也
2. 発表標題 Highly Enantioselective Synthesis of Chiral Mercury Sulfide Nanoparticles
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中嶋琢也・屋宮竜太・吉田裕斗・河合壯
2. 発表標題 銀ナノクラスターにおけるキラル増幅
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuya Nakashima
2. 発表標題 Control of Optical Activity in Semiconductor Nanoparticle through Surface Coordination Chemistry
3. 学会等名 ICCC2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中嶋琢也、茂川香澄、河合壯
2. 発表標題 イオン液体中におけるナノ粒子の溶媒和
3. 学会等名 第69回コロイドおよび界面化学討論会（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田裕斗、河合壯、中嶋琢也
2. 発表標題 銀ナノクラスターの物性と表面キラル構造の相関
3. 学会等名 第69回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jumpei Kuno, Tsuyoshi Kawai, Takuya Nakashima
2. 発表標題 Chirality Inversion in the Synthesis of HgS Nanoparticles Triggered by Ligand Coordination Alternation
3. 学会等名 第69回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takuya Nakashima, Ramarani Sethy, Hiroto Yoshida, Tsuyoshi Kawai
2. 発表標題 Role of Chirality in Emerging Properties of Self-Assembly
3. 学会等名 International Workshop on Self -Assembly and Hierarchical Materials in Biomedicine（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田裕斗、河合壯、中嶋琢也
2. 発表標題 銀ナノクラスター物性における表面キラル構造の影響
3. 学会等名 第8回CSJ化学フェスタ2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takuya Nakashima
2. 発表標題 Control of Chirality in Semiconductor Nanocrystals through Coordination of Surface Ligands
3. 学会等名 2018 Nankai International Symposium on Advanced Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jumpei Kuno, Tsuyoshi Kawia, Takuya Nakashima
2. 発表標題 Optical Activity Inversion of Chiral HgS Nanoparticles Induced by Chiral Ligands Coordination Alternation
3. 学会等名 10th Asian Photochemistry Conference
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryuta Okumiya, Hiroto Yoshida, Tsuyoshi Kawai, Takuya Nakashima
2. 発表標題 Preparation and properties of Ag nanocluster oligomers linked by bifunctional chiral ligands
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 米澤俊平、河合壯、中嶋琢也
2. 発表標題 キラルナノファイバーにおけるゲスト認識の圧力依存性
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuya Nakashima
2. 発表標題 Emergence and Control of Circularly Polarized Luminescence through Supramolecular Interactions
3. 学会等名 Japan-China Joint Interdisciplinary Symposium on Coordination-based Hybrid Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuichiro Hashimoto, Takuya Nakashima, Miku Yamada, Tsuyoshi Kawai
2. 発表標題 Photochromic dinuclear europium (III) complex
3. 学会等名 The 28th International Conference on Photochemistry (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 久野純平、河合壯、中嶋琢也
2. 発表標題 Chiroptical property of HgS nanoparticles
3. 学会等名 2017年光化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中嶋琢也
2. 発表標題 Circularly polarized luminescence in chiral self-assembled molecular systems
3. 学会等名 2017年光化学討論会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 橋元祐一郎、中嶋琢也、山田美久、湯浅順平、河合壯
2. 発表標題 Photo-Switching of Circularly Polarized Luminescence in a Dinuclear Europium Complex
3. 学会等名 2017年光化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 茂川香澄、中嶋琢也、河合壯
2. 発表標題 イオン液体中における半導体ナノ粒子の光学特性 及び構造評価
3. 学会等名 2017年光化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 久野 純平、河合壯、中嶋琢也
2. 発表標題 硫化水銀ナノ結晶のキラル構造反転
3. 学会等名 CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 茂川香澄、河合壯、中嶋琢也
2. 発表標題 イオン液体-半導体ナノ粒子複合体の発光特性と構造評価
3. 学会等名 CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takuya Nakashima
2. 発表標題 Self-Assembly of Semiconductor Nanocrystals with an Amphiphilic Surface Pattern
3. 学会等名 International Conference on Novel Nanomaterial: engineering and properties (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takuya Nakashima
2. 発表標題 Self-Assembly of Quantum Dots with a Patterned Surface Property
3. 学会等名 5th CMS International Symposium on Photofunctional Chemistry and Molecular Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中嶋琢也
2. 発表標題 表面化学を通じたナノ粒子の自己組織化設計
3. 学会等名 2017年度東北大学高分子・ハイブリッド材料研究センター若手フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 久野純平、中嶋琢也、河合壯
2. 発表標題 表面キラル分子の配位構造変換に基づく硫化水銀ナノ結晶のキラリテー反転
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田裕斗、久野純平、河合壯、中嶋琢也
2. 発表標題 キラル銀ナノクラスターの発光特性におけるキラル配位子の効果
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中嶋琢也
2. 発表標題 Optical Activity in Chiral Nanoparticle System
3. 学会等名 日本化学会第97春季年会(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 久野純平・河合壯・中嶋琢也
2. 発表標題 キラル配位子を有する硫化水銀ナノ粒子の調製と光学特性
3. 学会等名 日本化学会第97春季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中嶋琢也
2. 発表標題 Directed Self-Assembly of Quantum Dots
3. 学会等名 日本化学会第97春季年会(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 橋元祐一郎・中嶋琢也・河合壯
2. 発表標題 Photo-switching of Circularly Polarized Luminescence Based on Photochromic Foldamer
3. 学会等名 日本化学会第97春季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中嶋琢也
2. 発表標題 キラル自己組織化分子システムからの円偏光発光制御
3. 学会等名 日本化学会第97春季年会(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Nakashima
2. 発表標題 Self-Assembly of Semiconductor Nanoparticles with Anisotropic Shapes
3. 学会等名 SPIRITS international symposium 3(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中嶋琢也・谷口祐基・滝下貴雄・河合壮
2. 発表標題 半導体ナノ結晶の次元制御自己組織化
3. 学会等名 第26回日本MRS年次大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Nakashima
2. 発表標題 Circularly Polarized Luminescence in Soft Materials
3. 学会等名 IUMRS-ICYRAM 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Nakashima
2. 発表標題 Emergence and Control of Circularly Polarized Luminescence through Hierarchical Structural Control in Chiral Dye Systems
3. 学会等名 9th Asian Photochemistry Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 中嶋琢也・谷口祐基・滝下貴雄・河合壮
2. 発表標題 Tip-to-Tip Self-Assembly of Anisotropic Semiconductor Nanoparticles
3. 学会等名 第67回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 波長変換部材および発光装置	発明者 中嶋琢也・河合壯・ 和泉真・両輪達也・ 森下まみ・山角師之	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2016-151936	出願年 2016年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 発光装置	発明者 中嶋琢也・河合壯・ 和泉真・両輪達也・ 森下まみ・山角師之	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2016-151935	出願年 2016年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------	---------