

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05538

研究課題名（和文）14族および15族典型元素を利用した機能超原子クラスターの開拓

研究課題名（英文）Development of functional superatomic clusters with group 14 or group 15 elements

研究代表者

神戸 徹也（Kambe, Tetsuya）

東京工業大学・科学技術創成研究院・助教

研究者番号：00733495

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）：これまでに開発してきたアルミニウムを構成元素とする超原子合成を発展させ、構成元素の変更を達成した超原子合成を行った。その後、14族元素であるスズや15族元素であるビスマスを構成元素とする超原子の合成に取り組んだ。その結果、ビスマスによるサブナノサイズの粒子の合成に成功した。またスズを構成元素として用いた場合は鉄を1原子付加することで安定に金属クラスターが合成できることを見出した。さらに、様々な比率での配合集積や金属クラスター合成を開拓した。特に、Fe1原子とSn12原子とを集積させて合成した合金クラスターにおいて、磁気・発光機能を見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超原子は、原子の様な特性を発現する数個の原子から構成される金属クラスターである。これは価電子の数で特性が制御できることから希少元素の代替の可能性が注目されている。こうした超原子はこれまで、気相での微量合成は行われていたが材料として利用可能な量合成への展開は困難であった。本研究では樹状高分子を鋳型とした錯形成による金属原子数制御手法を駆使することで、超原子の液相での合成を検討した。特に14族および15族元素の利用を実現できれば機能発現可能な超原子が開拓できると設計した。本研究で開拓した14族および15族元素の原子数規定手法及び超原子合成手法は、今後の超原子の液相合成の重要な成果となった。

研究成果の概要（英文）：In our previous work, a superatomic cluster with aluminum atoms was reported. In this work, a change in the constituent element was achieved. In addition, the synthesis of functional superatomic clusters composed of tin, a Group 14 element, or bismuth, a Group 15 element, was investigated. Subnano-sized bismuth particles were successfully prepared by using a dendrimer template. In the case of tin clusters, it was found that the cluster could be stably synthesized by adding one atom of iron. The magnetic and luminescent functions of the alloy cluster were revealed, which was synthesized from a dendrimer precursor with Fe1 and Sn12 atoms.

研究分野：無機化学

キーワード：超原子 量子材料 クラスター

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

超原子は原子の様な特性を発現する金属クラスターであり、数個の原子から構成される微小粒子により発現が可能となる特異な物質である。この超原子は価電子の数で特性が制御できることから希少元素の代替の可能性や、新たな物質の構成単位になり得ることが理論提唱されてきた。超原子はこれまで気相での微量合成は行われていた一方で、量合成が困難であることから材料としての応用は困難とされていた。

上記課題に対して申請者はこれまで、溶液中での樹状高分子を鋳型とした精密な微小金属クラスターや超原子の合成を研究してきた。その結果、樹状高分子を利用した典型金属元素の精密集積手法と原子数規定手法を開拓し[1,2]、アルミニウムを構成単位とする超原子の合成[3]を見出してきた。

### 2. 研究の目的

本研究では樹状高分子を鋳型とした錯形成による金属原子数制御手法を発展させることで、14 族および 15 族元素を利用した超原子合成手法の開拓を目的とする。本研究で開拓される元素バリエーションを駆使することで価電子の制御を可能にし、金属クラスターの超原子性による機能開拓を目指す。

### 3. 研究の方法

超原子合成のための原子数規定手法はフェニルアゾメチン部位を骨格とする樹状高分子を用いて行った。フェニルアゾメチンのイミン部位とルイス酸性の金属塩が 1:1 で錯形成することを利用して、イミンの数で原子数を規定した。樹状高分子の枝分かれ骨格は分子周辺部の分子密度を上昇させることから内部にナノスケールの空間が生じる。この空間を利用して数原子からなる金属粒子を安定化させ、溶液中で合成した。樹状高分子としてコア部分がテトラフェニルメタン部位である第四世代樹状高分子(TPM-DPAG4)および、テトラフェニルメタンの 1 つのベンゼン環をピリジン環に置換した第四世代樹状高分子(Py-DPAG4)を利用した。Py-DPAG4 では最内層のピリジン部位に最初に金属が配位するために、TPM-DPAG4 を用いて金属集積した場合と比較して集積できる金属原子数が 1 つだけ増えるという特徴がある。また、ピリジン部位が側鎖である樹状部位の電子密度を変化させることから金属集積が非対称となり、複雑な金属集積が可能となるものである。本研究ではこれまでの研究から元素種の拡張を行い、14 族元素であるスズや 15 族元素であるビスマスを用いた研究へと展開した。

本研究では金属集積挙動について UV-vis 吸収スペクトルの変化から確認し、集積させた金属錯体は  $\text{NaBH}_4$  などを用いて還元することでクラスターを合成した。構造は走査透過電子顕微鏡 (STEM) を用いて解析した。また、電子状態などの基礎物性は光電子分光測定などを用いて解明した。

### 4. 研究成果

#### 1) 樹状高分子への集積金属種の拡張と新超原子の合成

超原子の合成手法として樹状高分子を鋳型として用いる手法を利用した。このフェニルアゾメチンを骨格とする樹状高分子は電子密度勾配を有しており、内層から段階的に金属集積できる。この樹状高分子への集積を規定することで原子数を制御した。

これまでの研究において、ピリジン部位をコアに有する第 4 世代の樹状高分子であり Py-DPAG4 を用いることで 13 原子のアルミニウムからなる超原子の合成を見出している[3]。本研究ではガリウム塩である  $\text{GaCl}_3$  を、1 分子の Py-DPAG4 に対して 13 分子精密集積させた。集積は UV-vis 吸収スペクトルの変化により確認した。集積させたガリウムをクラスター化することでハロゲン超原子を合成した(図 1)。13 原子のガリウムから構成される超原子はハロゲン様超原子に分類されるものである。このクラスターは電子顕微鏡観察下において三次元的な立体構造が示された。この安定性について酸化特性や電気化学特性により解明した[4]。

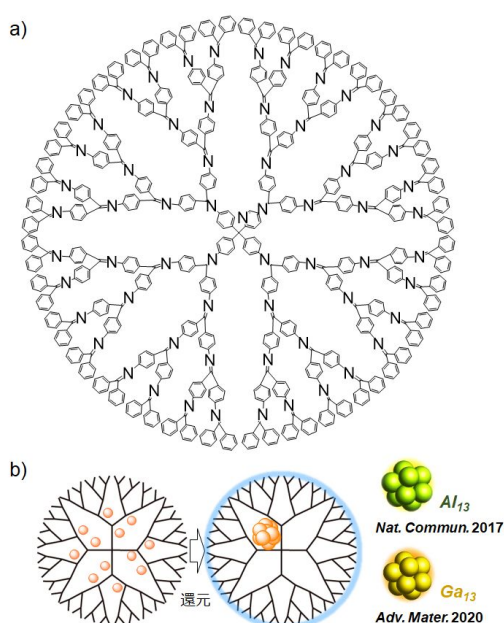


図 1 超原子合成の模式図 .a) Py-DPAG4 の化学構造と b) ハロゲン様超原子の合成 .



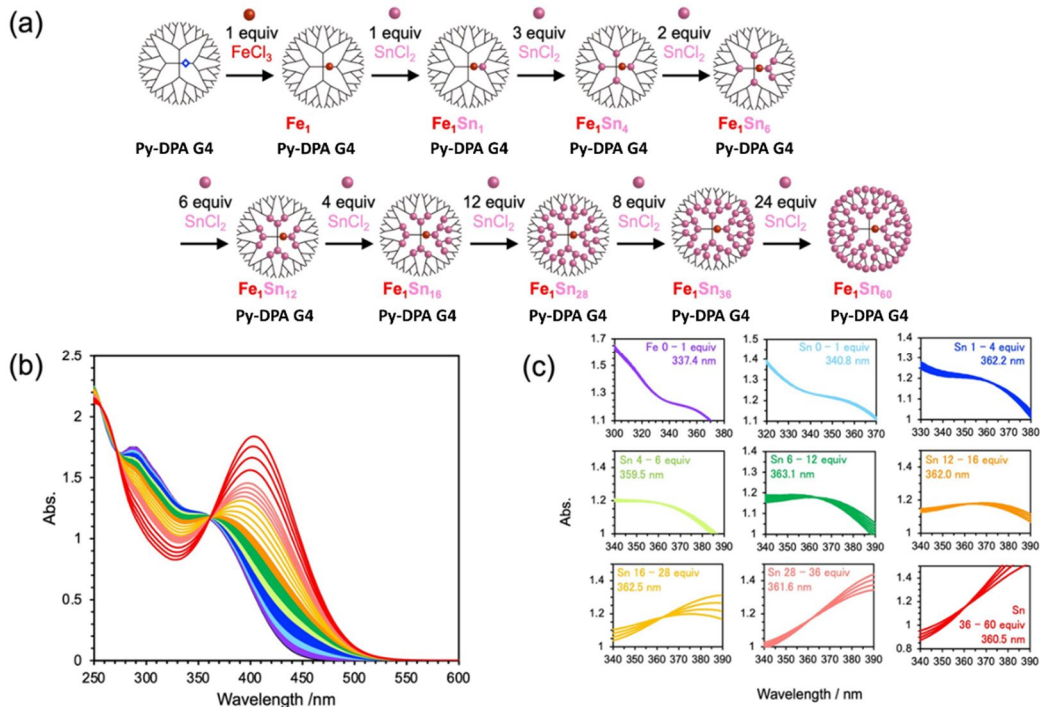


図3 .Py-DPA G4 に対する Fe/Sn の配合精密集積 .a) 集積スキーム .b,c) 集積による吸収スペクトルの変化 .

1 当量の  $\text{FeCl}_3$  と 12 当量の  $\text{SnCl}_2$  を樹状高分子に集積させたのち、 $\text{NaBH}_4$  溶液で還元することで Fe と Sn からなる合金クラスターを合成した。合成したクラスターは容易に凝集する性質を有していたが、高分子であるポリビニルピロリドン(PVP)を用いることで凝集を抑制した。クラスターの同定は走査透過電子顕微鏡(STEM)観察および付随するエネルギー分散型分光器(EDS)で行い、0.84 nm の平均粒径であることが明らかとなった(図4 a,b)。 $\text{Fe}_1\text{Sn}_{12}$  クラスターを構成している Fe と Sn の元素は、EDS 測定により観測された。さらに合成した  $\text{Fe}_1\text{Sn}_{12}$  クラスターの磁気特性および発光特性を測定したところ、1200 nm 付近の近赤外領域での発光が観測された。

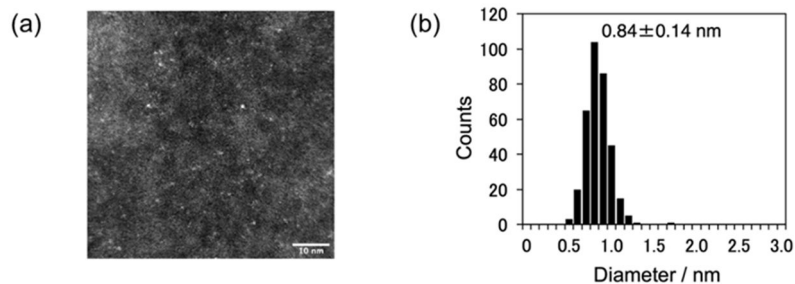


図4 . 合成した Fe/Sn クラスターの電子顕微鏡像(a)とその粒径分布(b) .

#### 4) 樹状高分子と配位子とを利用した原子数と構造規定手法の開発

新たな超原子合成手法として、樹状高分子で集積した金属塩に対して還元すると同時に配位子で保護する手法を開発した。この手法により初期状態で金属原子数を規定した状態で、金 25 原子からなる超原子を合成する手法を開発した[6]。

本実験において、TPM-DPA G4 に対して  $\text{AuCl}_3$  の段階的な集積を吸収スペクトルにより見出した。樹状高分子の層ごとに等吸収点のシフトが観測され、内層から段階的に集積されていることが明らかとなった。樹状高分子に集積させた  $\text{AuCl}_3$  に対して  $\text{NaBH}_4$  の水溶液と 2-phenylethanethiol (PET) とを加えることで 25 核の金原子から形成されるクラスター  $\text{Au}_{25}\text{PET}_{18}$  を合成した。目的とするクラスターの生成は質量分析により確認でき、 $\text{Au}_{25}\text{PET}_{18}$  に相当するシグナルが明確に観測された(図5)。

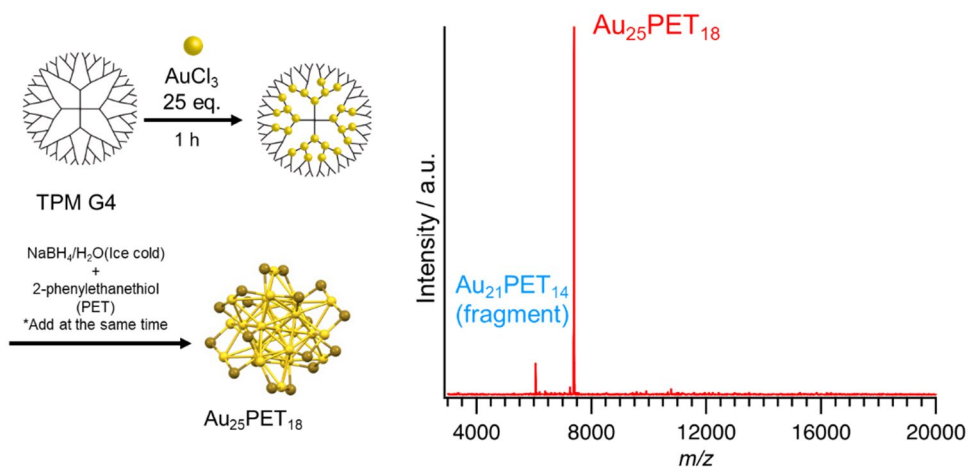


図5 . 樹状高分子鋳型と配位子とを利用した Au 超原子の合成と質量分析結果 .

### 5) ホウ素クラスターへの展開

当初の想定外の成果として、ホウ素からなる二次元クラスターの合成を新たに見出した。これは本研究で開拓してきた典型金属元素からなるクラスター合成を新しく発展させたものである。結晶構造解析の結果、単原子層の積層構造を有していることが明らかとなり、末端部位の化学反応により液晶へと変化することを発見した[7,8]。このホウ素二次元材料の特異な構造に基づく新機能の発見が期待される。

#### 【引用文献】

- [1] T. Kambe, A. Watanabe, T. Imaoka, K. Yamamoto, "Bismuth Complexes in Phenylazomethine Dendrimers: Controllable Luminescence and Emission in the Solid State" *Angew. Chem. Int. Ed.*, **55**, 13151-13154 (2016)
- [2] T. Kambe, T. Imaoka, K. Yamamoto, "Reducing Capsule Based on Electron Programming: Versatile Synthesizer for Size-Controlled Ultra-Small Metal Clusters" *Chem. Eur. J.*, **22**, 16406-16409 (2016)
- [3] T. Kambe, N. Haruta, T. Imaoka, K. Yamamoto, "Solution-phase Synthesis of Al<sub>13</sub><sup>-</sup> Using a Dendrimer Template" *Nat. Commun.*, **8**, 2046 (2017)
- [4] T. Kambe, A. Watanabe, M. Li, T. Tsukamoto, T. Imaoka, K. Yamamoto, "Superatomic Gallium Clusters in Dendrimers: Unique Rigidity and Reactivity Depending on their Atomicity" *Adv. Mater.*, **32**, 1907167 (2020)
- [5] T. Kambe, T. Takamasa, T. Imaoka, K. Yamamoto, "Expansion of dendrimer template function for subnanoparticle synthesis" *Chem. Lett.*, **50**, 1648-1651 (2021)
- [6] H. Muramatsu, T. Kambe, T. Tsukamoto, T. Imaoka, K. Yamamoto, "Controlled Synthesis of Au<sub>25</sub> Superatom Using a Dendrimer Template" *Molecules*, **27**, 3398 (2022)
- [7] T. Kambe, R. Hosono, S. Imaoka, A. Kuzume, K. Yamamoto, "Solution Phase Mass Synthesis of 2D Atomic Layer with Hexagonal Boron Network" *J. Am. Chem. Soc.*, **141**, 12984-12988 (2019)
- [8] T. Kambe, S. Imaoka, M. Shimizu, R. Hosono, D. Yan, H. Taya, M. Katakura, H. Nakamura, S. Kubo, A. Shishido, K. Yamamoto, "Liquid crystalline 2D borophene oxide for inorganic optical devices" *Nat. Commun.*, **13**, 1037 (2022)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Imaoka Takane, Kuzume Akiyoshi, Tanabe Makoto, Tsukamoto Takamasa, Kambe Tetsuya, Yamamoto Kimihisa	4. 巻 474
2. 論文標題 Atom hybridization of metallic elements: Emergence of subnano metallurgy for the post-nanotechnology	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Coordination Chemistry Reviews	6. 最初と最後の頁 214826 ~ 214826
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ccr.2022.214826	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 Hisanori, Kambe Tetsuya, Tsukamoto Takamasa, Imaoka Takane, Yamamoto Kimihisa	4. 巻 27
2. 論文標題 Controlled Synthesis of Au <sub>25</sub> Superatom Using a Dendrimer Template	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 3398 ~ 3398
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules27113398	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 Kambe Tetsuya, Yamamoto Kimihisa	4. 巻 51
2. 論文標題 Development of Precisely Controlled Structures Containing Main Group Elements for Preparing Superatoms	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 966 ~ 970
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.220291	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 神戸徹也、田辺真、葛目陽義、山元公寿	4. 巻 80
2. 論文標題 主要族元素を含むサブナノおよびナノ構造体の精密合成と機能	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bull. Jpn. Soc. Coord. Chem.	6. 最初と最後の頁 68-71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 Tetsuya Kambe, Shotaro Imaoka, Misa Shimizu, Reina Hosono, Dongwan Yan, Hinayo Taya, Masahiro Katakura, Hirona Nakamura, Shoichi Kubo, Atsushi Shishido, Kimihisa Yamamoto	4. 巻 13
2. 論文標題 Liquid crystalline 2D borophene oxide for inorganic optical devices	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1037
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-022-28625-w	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 Hiromu Koizumi, Makoto Tanabe, Tetsuya Kambe, Takane Imaoka, Wang-Jae Chun, Kimihisa Yamamoto	4. 巻 51
2. 論文標題 Copper-bismuth Binary Oxide Clusters: An Efficient Catalyst for Selective Styrene Bisperoxidation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 317 ~ 320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.210725	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 Tetsuya Kambe, Kimihisa Yamamoto	4. 巻 54
2. 論文標題 Functionalization of phenylazomethine dendrimers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 97 ~ 105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-021-00524-9	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 Takamasa Tsukamoto, Tetsuya Kambe, Takane Imaoka, Kimihisa Yamamoto	4. 巻 5
2. 論文標題 Modern cluster design based on experiment and theory	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Reviews Chemistry	6. 最初と最後の頁 338 ~ 347
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41570-021-00267-4	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 Tetsuya Kambe, Meijia Li, Takamasa Tsukamoto, Takane Imaoka, Kimihisa Yamamoto	4. 巻 50
2. 論文標題 Expansion of Dendrimer Template Function for Subnanoparticle Synthesis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1648 ~ 1651
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.210316	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 Kambe Tetsuya, Watanabe Aiko, Li Meijia, Tsukamoto Takamasa, Imaoka Takane, Yamamoto Kimihisa	4. 巻 32
2. 論文標題 Superatomic Gallium Clusters in Dendrimers: Unique Rigidity and Reactivity Depending on their Atomicity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 1907167 ~ 1907167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.201907167	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 Morai Tetsuya, Tsukamoto Takamasa, Tanabe Makoto, Kambe Tetsuya, Yamamoto Kimihisa	4. 巻 59
2. 論文標題 Selective Hydroperoxygation of Olefins Realized by a Coinage Multimetallic 1 Nanometer Catalyst	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 23051 ~ 23055
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202010190	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 Ida Yumi, Okazawa Atsushi, Sonobe Kazutaka, Muramatsu Hisanori, Kambe Tetsuya, Imaoka Takane, Chun Wang-Jae, Tanabe Makoto, Yamamoto Kimihisa	4. 巻 10
2. 論文標題 A useful preparation of ultrasmall iron oxide particles by using arc plasma deposition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 41523 ~ 41531
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0ra07443h	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47件(うち招待講演 4件/うち国際学会 8件)

1. 発表者名 神戸徹也、山元公寿
2. 発表標題 ホウ素単層構造体の液晶機能開拓
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 T. Kambe, T. Tsukamoto, T. Imaoka, K. Yamamoto,
2. 発表標題 Superatomic gallium cluster in dendrimer
3. 学会等名 ICPAC 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村松央教, 神戸徹也, 塚本 孝政, 今岡享稔, 山元公寿
2. 発表標題 デンドリマー錯体を利用した Au <sub>25</sub> (SR) <sub>18</sub> の合成
3. 学会等名 第12回CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 内山真理子、神戸徹也、李美佳、塚本孝政、今岡享稔、山元公寿
2. 発表標題 デンドリマーを用いて精密合成したPt/Ga合金サブナノ粒子の触媒機能開拓
3. 学会等名 第12回 CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 内山真理子、神戸徹也、李美佳、塚本孝政、今岡享稔、山元公寿
2. 発表標題 デンドリマー型精密集積錯体によるGa/Pt合金サブナノ粒子の合成と触媒機能開拓
3. 学会等名 第72回 錯体化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Muramatsu, T. Kambe, T. Tsukamoto, T. Imaoka, K. Yamamoto
2. 発表標題 New method for synthesis of Au <sub>25</sub> SR <sub>18</sub> by dendrimer template
3. 学会等名 錯体化学会 第72回討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村松央教, 神戸徹也, 塚本孝政, 今岡享稔, 山元公寿
2. 発表標題 デンドリマー錯体を利用したAu <sub>25</sub> (SR) <sub>18</sub> 超原子の合成
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 神戸徹也, 山元公寿
2. 発表標題 ホウ素二次元物質の合成と液晶特性
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第35回シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 神戸徹也, Yan Dongwan, 山元公寿
2. 発表標題 ホウ素二次元構造体の合成と無機液晶機能
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Kambe, K. Yamamoto
2. 発表標題 2D ATOMIC BORON NETWORK: PREPARATION OF BOROPHENE OXIDES AND THE PROPERTIES
3. 学会等名 ICCC2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Uchiyama, T. Kambe, M. Li, T. Tsukamoto, T. Imaoka, K. Yamamoto
2. 発表標題 Synthesis of gallium/platinum alloy sub-nanoparticles using dendrimers
3. 学会等名 ACCC8 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tetsuya Kambe, Takamasa Tsukamoto, Takane Imaoka, Kimihisa Yamamoto
2. 発表標題 Superatom synthesis and typical metal assembly using a dendrimer template
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mariko Uchiyama, Tetsuya Kambe, Meijia Li, Takamasa Tsukamoto, Takane Imaoka, Kimihisa Yamamoto
2. 発表標題 Synthesis of gallium/platinum bimetallic sub-nanoparticles using dendrimers
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hisanori Muramatsu, Tetsuya Kambe, Takamasa Tsukamoto, Reina Hosono, Takane Imaoka, Kimihisa Yamamoto
2. 発表標題 Properties of iron/tin hetero-clusters precisely synthesized by dendrimer templates
3. 学会等名 錯体化学会 第71回討論会 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tetsuya Kambe, Takane Imaoka, Kimihisa Yamamoto
2. 発表標題 Luminous Bismuth Complexes in Phenylazomethine Dendrimers
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 内山 真理子・神戸 徹也・李 美佳・塚本 孝政・今岡 享稔・山元 公寿
2. 発表標題 デンドリマーを用いて精密合成したPt/Ga合金サブナノ粒子の機能開拓
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hisanori Muramatsu, Tetsuya Kambe, Takamasa Tsukamoto, Reina Hosono, Takane Imaoka, Kimihisa Yamamoto
2. 発表標題 Precise synthesis of iron-tin alloy clusters using dendrimer template method and their properties
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内山真理子, 神戸徹也, 李美佳, 塚本孝政, 今岡享稔, 山元公寿
2. 発表標題 デンドリマーを鋳型としたGa/Pt合金サブナノ粒子の精密合成
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村松央教, 神戸徹也, 塚本 孝政, 細野伶奈, 今岡享稔, 山元公寿
2. 発表標題 デンドリマーによって精密合成された鉄-スズクラスターの物性
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋篤輝, 神戸徹也, 長谷川理咲, 塚本孝政, 今岡享稔, 山元公寿
2. 発表標題 ピリジンコアデンドリマーを利用したピスマスサブナノ粒子の合成
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神戸徹也
2. 発表標題 デンドリマー精密鑄型法による超原子合成
3. 学会等名 第14回 ChemBioハイブリッドレクチャー（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村松央教, 神戸徹也, 塚本孝政, 細野伶奈, 今岡享稔, 山元公寿
2. 発表標題 デンドリマー鑄型法による鉄/スズクラスターの合成と物性
3. 学会等名 ナノ学会第19回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内山真理子・神戸徹也・李美佳・塚本孝政・今岡享稔・山元公寿
2. 発表標題 デンドリマーを鑄型としたGa/Pt合金サブナノ粒子の精密合成
3. 学会等名 ナノ学会第19回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田 希生, 塚本 孝政, 神戸 徹也, 今岡 享稔, 山元 公寿
2. 発表標題 デンドリマーを鑄型とした貴金属-典型金属合金サブナノ粒子の合成および物性解明
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 小泉 宙夢, 神戸 徹也, 田邊 真, 山元 公寿
2. 発表標題 Copper-Metal Oxide Hybrid Subnanoparticles for Catalytic Selective Oxidations
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 村松 央教, 神戸 徹也, 塚本 孝政, 細野 伶奈, 今岡 享稔, 山元 公寿
2. 発表標題 一原子置換スズクラスターの合成と物性
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 李 美佳, 神戸 徹也, 塚本 孝政, 今岡 享稔, 山元 公寿
2. 発表標題 ガリウム超原子への白金置換による機能開拓
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 森合達也, 塚本孝政, 田邊真, 神戸徹也, 今岡享稔, 山元公寿
2. 発表標題 貨幣合金サブナノ粒子触媒によるオレフィンの選択的ヒドロペルオキシ化反応
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 神戸 徹也, 田谷 ひなよ, 山元 公寿
2. 発表標題 ポロフェン類似二次元シート結晶の電気特性
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 高橋 篤輝, 神戸 徹也, 長谷川 理咲, 塚本 孝政, 今岡 享稔, 山元 公寿
2. 発表標題 ビリジンコアデンドリマーを利用したビスマスサブナノ粒子の合成A03-1vn-06
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 内山 真理子, 神戸 徹也, 李 美佳, 塚本孝政, 今岡享稔, 山元公寿
2. 発表標題 デンドリマーを鋳型とした Ga <sub>3</sub> Pt <sub>2</sub> クラスターの合成
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 神戸徹也, 塚本孝政, 今岡享稔, 山元公寿
2. 発表標題 デンドリマーに集積された典型金属種の機能化と超原子合成
3. 学会等名 第47回有機典型元素化学討論会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 村松央教, 神戸徹也, 塚本孝政, 細野伶奈, 今岡享稔, 山元公寿
2. 発表標題 dendroliamer-wo koushou toshite uitaite tsu to suse no kowaku shuuchuu to gane kurasuta no gousei to busei
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森合達也, 塚本孝政, 田邊真, 神戸徹也, 今岡享稔, 山元公寿
2. 発表標題 貨幣金属合金クラスター触媒によるシクロヘキセンの選択的酸化反応
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村松 央教, 神戸 徹也, 塚本 孝政, 細野 伶奈, 今岡 享稔, 山元 公寿
2. 発表標題 Precise assembly of iron and tin dendrimers and synthesis of heterocluster
3. 学会等名 錯体化学会 第70回討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森合達也, 塚本孝政, 神戸徹也, 今岡享稔, 山元公寿
2. 発表標題 Multimetallic Dendrimer Complexes for Synthesis of 1-nanometer Alloy Catalysts
3. 学会等名 錯体化学会 第70回討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森合達也, 塚本孝政, 田邊真, 神戸徹也, 今岡享稔, 山元公寿
2. 発表標題 貨幣金属合金クラスターを触媒としたシクロヘキセンの選択的酸化反応
3. 学会等名 第14回分子科学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 李美佳, 神戸徹也, 渡邊藍子, 塚本孝政, 今岡享稔, 山元公寿
2. 発表標題 鑄型デンドリマーを用いたガリウムによる超原子の合成とその合金化
3. 学会等名 第14回分子科学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神戸徹也, 塚本孝政, 今岡享稔, 山元公寿
2. 発表標題 デンドリマー鑄型を利用した超原子の液相合成
3. 学会等名 第71回コロナおよび界面化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神戸徹也
2. 発表標題 デンドリマー鑄型を用いた 典型金属種の精密集積と超原子の合成
3. 学会等名 錯体化学若手の会 第4回ウェブ勉強会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村松央教, 神戸徹也, 塚本孝政, 細野伶奈, 今岡享稔, 山元公寿
2. 発表標題 デンドリマーを鋳型とした鉄 1 原子置換スズクラスターの合成と物性
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 神戸徹也, 山元公寿
2. 発表標題 ポロフェン類似ホウ素原子層構造体の構築
3. 学会等名 ナノ学会第18回大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 西原寛、山元公寿 編著	4. 発行年 2020年
2. 出版社 三共出版	5. 総ページ数 537
3. 書名 フロンティア機能高分子金属錯体	

〔産業財産権〕

〔その他〕

山元・今岡研究室 論文・解説 <a href="http://www.res.titech.ac.jp/~inorg/achievement/papers/">http://www.res.titech.ac.jp/~inorg/achievement/papers/</a> <a href="http://www.res.titech.ac.jp/~inorg/member/kambe/">http://www.res.titech.ac.jp/~inorg/member/kambe/</a>
--

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