

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H05757

研究課題名(和文)精密無機合成を基盤とする超原子の創成と機能解明

研究課題名(英文)Creation of Superatoms Based on the Precision Inorganic Synthesis and Elucidation of its Function

研究代表者

山元 公寿(yamamoto, kimihisa)

東京工業大学・科学技術創成研究院・教授

研究者番号：80220458

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 184,160,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では多くの金属、及び金属間化合物を対象として、デンドリマーリアクター法を開発し、多彩な元素種への拡張を目指し、実在する76の安定元素のうち67種類のデンドリマーへの集積を達成した。これを駆使して35種類の金属サブナノ粒子の合成を達成し、3種類の異種金属からなるハイブリッドサブナノ粒子の合成にも世界で初めて成功した。またハロゲン超原子である(Al₁₃, Ga₁₃)のほかに、新たに異種金属配合超原子の設計と合成で、Gブロック超原子に相当する超原子を発見した。機能面では、高活性な触媒となるサブナノ粒子の解明、超原子における特異的な発光や磁性機能を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

67元素もの周期表の安定元素をほぼ網羅できる本研究は、原子数を自在に制御してサブナノ粒子を創製できる唯一の独自の手法となっている。これは異種元素の配合にも利用でき、金属サブナノ粒子の設計と合成は全く新しい機能、物性の発現する新物質を誕生させ、異種元素配合サブナノ粒子を分子と捉える新たな金属分子化学をもたらすと考えている。超原子理論を考慮してクラスターの価電子数を変化させることで、希土類や貴金属の超原子の合成が期待できる。特に、これまでに研究してきた希土類や超重元素であるGブロック元素に相当する超原子を合成し、その特性を解明することは新たな元素代替手法となる。

研究成果の概要(英文)：Using the dendrimer reactor method, we have achieved the accumulation of 67 of the 76 stable elements into dendrimers. Among them, 35 metallic elements successfully formed subnanoparticles, and hybrid subnanoparticles consisting of three different metals were synthesized precisely for the first time. Furthermore, we succeeded in the liquid phase synthesis of Al₁₃ for the first time, which was the symbolic super atom. We have also discovered the halogen superatom Ga₁₃, and a G-block superatom. We have elucidated sub-nanoparticles as highly active catalysts and demonstrated specific luminescence and magnetic functions in superatoms.

研究分野：高分子錯体科学、機能材料化学

キーワード：デンドリマー クラスタ 超原子

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

炭素や酸素、水素などの原子から自在に多様な分子構造を構築できる有機合成化学には、無数の確立された反応があり、医薬品のみならず今やナノ材料開発の原動力にもなっている。これに対し無機材料や金属材料は遥かに多い 90 種類近くの金属元素が利用できるにもかかわらず、未だ偶然と経験に依存した高温下加熱焼成を基盤としており、原子レベルで組成や構造をデザインし、論理的な構築を可能とする精密無機金属合成化学は発展途上である。ナノテクの半数以上を占めるナノ粒子の合成でさえ、未だ平均組成や粒径の制御にとどまっており、統計的なサイズ分布を伴う混合物であるという現状から脱却していない。

1 ナノを切るサブナノ領域の金属微粒子やクラスターを精密に合成し単離した例は極めて少ない。配位子保護クラスターとして得ることができるものは魔法数に限定されている。また、超高真空中で行われる気相合成の歴史は長いものの、合成スケールは ng 程度と極めて小さく、実践的な材料としての目処は全く得られていない。サブナノ領域の金属微粒子を原子単位で自在に制御して、所望の不安定金属粒子を材料として得た例は、我々の精密金属集積反応法以外全く存在しない。以上のようにサブナノ領域での精密無機合成は未開拓領域である。

代表者は、精密金属集積分子として、樹状構造体のフェニルアゾメチン dendrimer の開発に成功した[JACS2001]。他に類例のない金属イオンの多段階放射状錯形成を発見し[Nature 2002]、世界で初めて金属イオンの個数と位置を決めて dendrimer 分子内に精密集積を可能とし、これまでに 20 種類以上の金属元素を集積している(図1)。

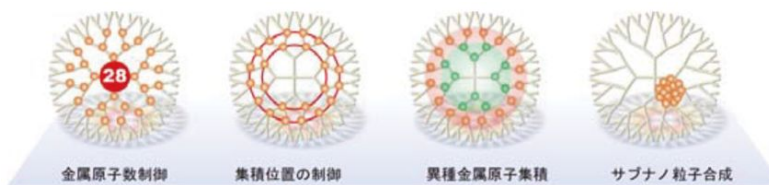


図1 デンドリマーを利用した精密金属集積

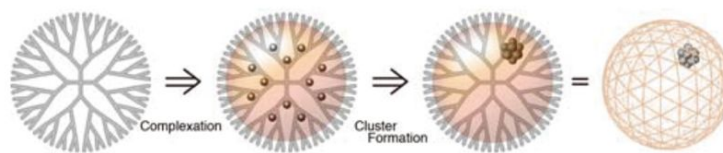


図2 デンドリマーリアクタを利用したサブナノ粒子合成

デンドリマーを異種金属の種類と原子数を決めて精密に集め反応させる、いわゆる分子リアクター(反応器)として利用し、精密に原子数制御されたサブナノ粒子の合成法を確立した[Acc. Chem. Res. 2014] (図2)。

本手法を活用して、研究開始当初時点で延べ 10 種類のサブナノ粒子に成功していた。デンドリマーリアクターの利用により Pt_{12} , Pt_{13} , Pt_{28} , Pt_{60} の 1 原子制御のつくり分けに成功し、驚くべきことに酸素還元触媒機能が原子数で大きく異なる事を明らかにしている[Nature Chem. 2009, JACS 2013]。また、酸化チタン $[(TiO_2)_{12}]$ 単分散サブナノ粒子を合成し量子サイズ効果の発見した[Nature Nanotech.2008]。

2004 年に、 Al_{13} がハロゲン様の特性を示すという驚くべき概念が米国の物理学者によって提唱された。すなわち、サブナノ領域粒子の中には元来の構成元素とは全く異なる元素の性質を発現する「超原子」特性が発現すると理論的に予測された。しかし、2015 年の研究開始当初においてもこの超原子の概念の立証は、理論的な予測や、超高真空中での超微量なイオンビームの検出にとどまっていた。超原子の化学的合成には従来の方法では全く対応できないが、我々の開発した精密金属集積反応法で初めて可能となると計画した。いわゆる「超原子を創製する化学」の実現は、150 年の歴史を持つメンデレーエフ元素周期表の従来の常識を覆し新しいサイエンスの誕生となると期待している。

2. 研究の目的

研究期間内に 下記 3 項目を推進することを目的とした。

目的 1) 精密金属集積合成法の確立: 異種金属元素を原子単位で集積した 2-30 原子のサブナノ粒子を全て揃えるためのデンドリマーテンプレートの開発

目的 2) 超原子の創製と物性解明: 9-11 族貴金属元素の金属微粒子および 4, 5, 13, 14 族元素の酸化物微粒子の原子数を揃え合成、触媒、半導体特性を解明し超原子を探索する。超原子と従来元素の物性相関を解明する。

目的 3) 超原子機能の実証: 精密サブナノ合金粒子の機能を解明し、高性能環境触媒、次世代型燃料電池、量子ドットメモリー などデバイスを作製し性能評価を行う。

3. 研究の方法

本研究は、「 dendrimer-templated synthesis 」 「 superatom synthesis 」 「 catalyst activity verification 」 の3本を融合的に展開して突破口を開くように計画し、相乗的な成果を生むような研究体制とした。

当初の研究計画・方法として 精密無機合成プロセス「精密金属集積合成法」の確立、新物質群「超原子」創製、の項目を挙げて、無機ナノ材料の新領域を開くことを目的とした。中間報告のある29年度までに項目、を重点的に展開し、順調に進展し予想以上の成果が得られた。当初の計画外の成果として、環状多核白金錯体前駆体を用いて、従来の dendrimer では困難であった Pt₅-Pt₁₁ までのシングル原子数サブナノ粒子の合成に成功した。

30年度以降後半の研究では、初期の探索型の幅広い研究展開から、確実に成果を出すため選択と集中を実行する推進方策をとる段階に入った。超原子の創製と機能解明に向けて、新しい物質群を開拓することを目的としており、効率の高く突出した成果を得るために、これまでの成果を基盤として、研究の焦点を絞り、集中した展開に心がけた。当初計画では対象とする元素を幅広く設定をしていたが、Alと同様に価電子数が明確で、結合も共有結合性が強い典型元素である Ga, Biなどに焦点当てた結果、新たな超原子の発見につながった。

サブナノ粒子は新物質であるため、構造解析や計測が極めて困難と予測される。また、その応用も触媒、エレクトロニクス、医療など幅広い。従って、数多くの専門家らと緊密に連携して研究を遂行した。

4. 研究成果

(1) 精密金属集積合成法の確立(目的1)

サブナノ粒子群の精密合成のため、下記(a)-(c)のテンプレート手法を新たに開拓し、2-30原子までの制御が事実上すべて可能となった。

(a) 専用 dendrimer-リアクターによる10-20原子制御

従来型 dendrimer-テンプレートで厳密に構成原子数が決定可能な集積パターンは、20以下では2,3,4,6,7,9,12,13,17の9種であった。全ての原子数に対応するため、配位座の数を厳密に規定した図3(a)の dendrimer を新たに設計・合成した。配位座数が10 - 17である dendrimer の合成を既に達成しており、それぞれ GaCl₃ との滴定実験より、規定の当量数で規定金属数の集積が可能であることを確認した。

(b) 特異集積法：おもに20-30原子制御

(i) ダミー集積法、(ii) トリフェニルピリジンコアを用いた精密集積、(iii) 入れ子集積法を新たに開拓した。これら手法を併用することで、鑄型への段階的集積に格段のバリエーションを与えた。これまでの集積数とは異なる数の制御が可能となり、結果として既存 dendrimer を用いて20-30原子の精密集積にすべて対応した図3(b)。

(c) 環状錯体鑄型法：5-12原子制御

(a)(b)の方法で既に10原子以上にすべて対応しているが、本研究を推進する過程で図3(c)に示す原子数5-12の白金多核錯体が安定に単離可能であることを偶然発見した。これを用いることで、5-12原子の白金サブナノ粒子が1原子精度で合成できると考え、計画外課題として着手した。目論見通り5-12原子白金サブナノ粒子の単原子精度化学合成を早期に達成した(Nature Commun. 2017)。

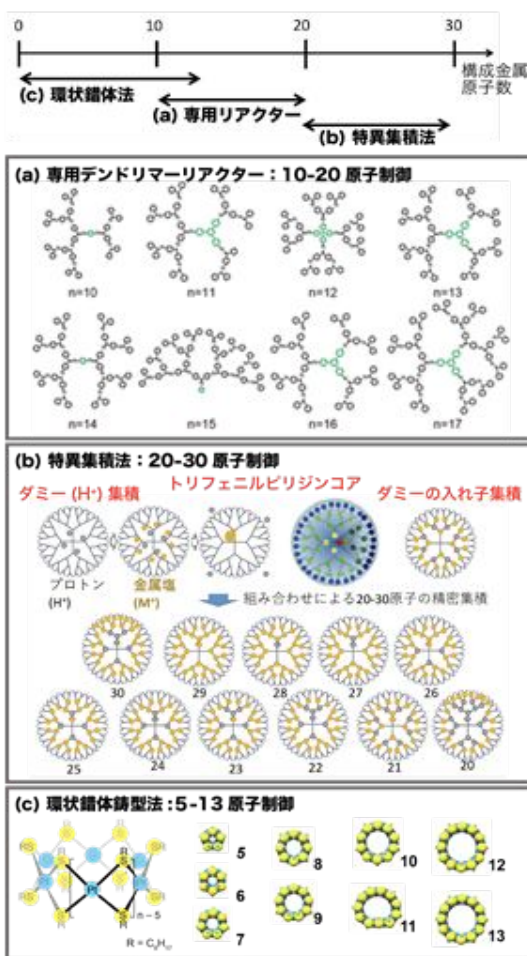


図3 サブナノ粒子のターゲットサイズと対応する錯体集積テンプレート

異種元素超原子の精密合成

異種2元素超原子の合成において、In と Sn に対して配合比を自在に制御したサブナノ粒子を合成した。また、異種3元素超原子の合成においては、Au, Ag, Cu によるサブナノ粒子の合成に成功した(図4上)。原子分解 STEM 観察により約60原子から成るサブナノ粒子の存在を

確認した。STEM/EDS 分析によりサブナノ粒子中に Au、Ag、Cu が存在することを確認した(図 4 下)。

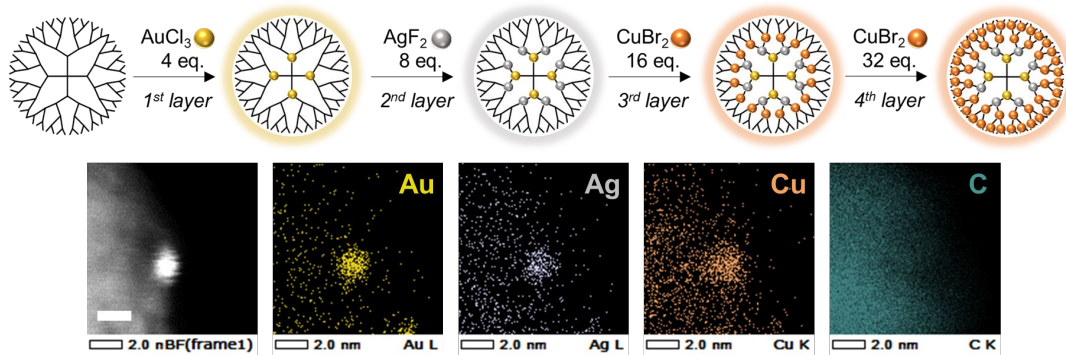


図 4 Au、Ag、Cu の 3 元素によるサブナノ粒子の合成と EDS マッピング

(2) 超原子の創製と物性解明(目的2)

Al₁₃超原子の液相合成と物性

超原子の化学的合成を目指し、研究代表者らは、13原子専用にデザインした dendrimer を鑄型として Al^{III} を 13 原子精密に集積、その還元により Al₁₃ の液相化学合成を初めて達成した。合成した Al₁₃ 超原子の内核電子状態測定や電気化学測定も初めて可能となった。サブナノサイズでのアルミニウムクラスターの金属数依存性を解明し、**素材利用できる超原子を開拓した**(*Nature Commun.* 2017)。

13 族元素による超原子バリエーションの構築

ガリウムはアルミニウムと同属の 13 族元素であり、その 13 原子からなるサブナノ粒子 (Ga₁₃) は Al₁₃ と同様のハロゲン超原子になることが期待される。そこで、ピリジンコアのフェニルアゾメチン dendrimer (pyDPAG4) を利用して Ga₁₃ サブナノ粒子を合成した。

合成して得られた Ga サブナノ粒子のサイズを STEM により解明し、電子状態を XPS により明らかとした。Ga₁₃ は Al₁₃ と同様にアニオン状態で安定であり、ハロゲン超原子であることが明らかになった(*Adv. Mater.* 2020)。

合成した Ga₁₃⁻ を含む、13 族元素による 13 原子サブナノ粒子の軌道エネルギーを、理論計算から考察した。構成元素を軸に見ると、Al、Ga、In の順にその 13 原子クラスターの HOMO-LUMO のエネルギーギャップは小さくなっていくことがわかった。この傾向はハロゲンアニオンにおいて、Cl⁻、Br⁻、I⁻ の順に HOMO-LUMO のエネルギーギャップが小さくなることと対応できる。電気化学測定により実測した Ga₁₃⁻ の酸化電位から判断すると、Ga₁₃⁻ はハロゲンとして Br と I の間の特性に近いことが示唆された。

さらに新たな超原子として H₂Ga₃、Bi₁₂ や Ga₄Bi₈ も発見しており、今後、遷移金属に相当する d ブロックや、実在元素が存在しない g ブロック相当の超原子になることを理論計算と実験から実証する。これまで合成した超原子の一覧表を図 5 に示す。



図 5 合成した超原子一覧。合成したハロゲン超原子である Ga₁₃ は Br と I の間の性質を持つ

(3) 精密サブナノ粒子合金の機能の解明と超原子機能の実証(目的3)

異種金属配合サブナノ粒子による cyclohexene 酸化触媒

金銀銅の原子組成を集積したサブナノ粒子の合成に成功している。金属触媒、cyclohexene、acetonitrile を加えて O₂、1 atm、80 °C で 5 h、cyclohexene 酸化反応を実施した。主な反応

生成物として 2-cyclohexen-1-hydroperoxide (A)、2-cyclohexene-1-one (B)、2-cyclohexene-1-ol (C)、1,2-epoxycyclohexene (D)が得られた。

これら 4 つの生成量から触媒回転数 (TON)を求めた、単元サブナノ粒子の中では Cu_{28} が特に高い触媒活性を示した。さらに、Cu に Au や Ag を配合することで活性は向上し、 $\text{Au}_4\text{Ag}_8\text{Cu}_{16}$ が最も高い TON 値と A 選択率を示した。

反応性が高いサブナノ粒子を触媒として用いることで、従来の触媒を用いた既報には見られないほどの穏和な条件下で cyclohexene 酸化反応の進行を実現させることに成功した。

高性能環境触媒への展開

白金サブナノ粒子は水素添加反応に対しても原子数特異的であることを見出している。例えば、 Pt_8 , Pt_9 , Pt_{10} の比較を行なったところ、 Pt_{10} のみが高い活性を示した

(*Nature Commun.* 2017)。 Pt_{10} は類似のサイズのクラスターと比較して格段の安定性を有していることが理論計算によっても支持された。

このほか、白金サブナノ粒子 Pt_{19} はトルエンのバルク酸素酸化活性が市販白金ナノ粒子触媒と比べて1700倍にのぼるなど市販白金触媒に比べ卓越した触媒活性を示すことなどを次々と見出している(*Angew. Chem. Int. Ed.* 2019)。

白金以外でも、 $(\text{SnO}_2)_{12}$ が異常な原子価を発現し、CO酸化の活性が低温領域で増大することを発見している(*ACS. Catal.* 2018)。サブナノ粒子全般で予想外の特性が発現(超原子化)しており、高性能環境触媒としての発展が期待される。

燃料電池への展開

原子数 8 以上のPtサブナノ粒子のORR活性を明らかにし、 Pt_{19} は最も高いORR活性を示すことを見出しており、市販Pt/C触媒に対する質量活性のアドバンテージは約20倍にものぼる。

Pt、Pd、 Pt_xPd_y のサブナノ粒子を用いて、水素還元反応を詳細に調べ、バルクやナノ粒子とは全く異なる合金組成 $\text{Pd}_2\text{Pt}_{27}$ の高い活性を発見した。得られた白金サブナノ粒子について、実際に燃料電池セルを作製し(図6)性能試験を実施した。発電特性が確認できたが、現状の触媒担持濃度(～1wt%)では物質移動が律速であり、担持濃度向上が課題であることが判明した。これには既に対処し、濃度を10 wt%まで引き上げる成果が得られている。

量子ドットメモリーへの展開

粒径1nmの金ナノ粒子を2枚の電極間に挟み込んだ素子を作製しI-V特性を観測、抵抗可変メモリ効果の発現が初めて確かめられた(図7)。大きなヒステリシスを持つ安定なメモリ - として期待される。



図 6 燃料電池特性の評価

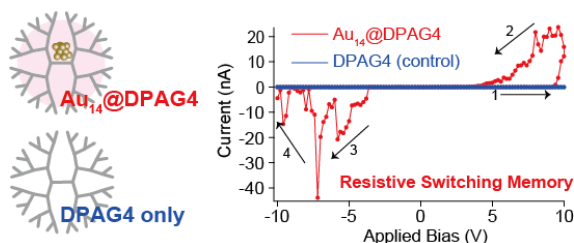


図 7 I-V 特性を観測例

総括

我々は、本プロジェクト中間時当初の計画をほぼ達成することができ、さらに当初の予想を上回る成果を得ることができて A+ の評価を頂いた。ここでは主に、中間評価以降に得られた上記(1)(2)(3)の成果を記載した。予想を超える成果が得られ、原子を精密に扱う化学「超原子化学」というサイエンスが今後広がると期待している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計38件（うち査読付論文 38件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 15件）

1. 著者名 Sonobe Kazutaka, Tanabe Makoto, Yamamoto Kimihisa	4. 巻 14
2. 論文標題 Enhanced Catalytic Performance of Subnano Copper Oxide Particles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 1804 ~ 1810
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.9b07582	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 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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yamamoto Kimihisa, Imaoka Takane, Tanabe Makoto, Kambe Tetsuya	4. 巻 120
2. 論文標題 New Horizon of Nanoparticle and Cluster Catalysis with Dendrimers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Reviews	6. 最初と最後の頁 1397 ~ 1437
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemrev.9b00188	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 Huda Miftakhul, Minamisawa Keigo, Tsukamoto Takamasa, Tanabe Makoto, Yamamoto Kimihisa	4. 巻 58
2. 論文標題 Aerobic Toluene Oxidation Catalyzed by Subnano Metal Particles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 1002 ~ 1006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201809530	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 C Amruth, Luszczynska Beata, Szymanski Marek Zdzislaw, Ulanski Jacek, Albrecht Ken, Yamamoto Kimihisa	4. 巻 74
2. 論文標題 Inkjet printing of thermally activated delayed fluorescence (TADF) dendrimer for OLEDs applications	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Organic Electronics	6. 最初と最後の頁 218 ~ 227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.orgel.2019.07.011	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 Inomata Yusuke, Albrecht Ken, Haruta Naoki, Yamamoto Kimihisa	4. 巻 31
2. 論文標題 Dendrimer-Templated Synthesis and Characterization of Tin Oxide Quantum Dots Deposited on a Silica Glass Substrate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 8373 ~ 8382
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.9b01925	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 C Amruth, Luszczynska Beata, Szymanski Marek Zdzislaw, Ulanski Jacek, Albrecht Ken, Yamamoto Kimihisa	4. 巻 74
2. 論文標題 Inkjet printing of thermally activated delayed fluorescence (TADF) dendrimer for OLEDs applications	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Organic Electronics	6. 最初と最後の頁 218 ~ 227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.orgel.2019.07.011	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 Albrecht Ken, Minagawa Ken, Nakajima Sae, Kushida Soh, Yamamoto Yohei, Kuzume Akiyoshi, Yamamoto Kimihisa	4. 巻 48
2. 論文標題 Nanosphere Formation of π -Conjugated Dendrimers by Simple Precipitation Method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1240 ~ 1243
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.190511	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 Wakizaka Masanori, Imaoka Takane, Yamamoto Kimihisa	4. 巻 48
2. 論文標題 Composition-defined nanosized assemblies that contain heterometallic early 4d/5d-transition-metals	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 14261 ~ 14268
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9DT03094H	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 Kambe Tetsuya, Imaoka Shotaro, Hasegawa Risaki, Tsukamoto Takamasa, Imaoka Takane, Natsui Keisuke, Einaga Yasuaki, Yamamoto Kimihisa	4. 巻 30
2. 論文標題 Electrochemical Measurement of Bismuth Clusters in Dendrimer Through Transformation from Atomicity Controlled Complexes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials	6. 最初と最後の頁 169 ~ 173
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10904-019-01390-y	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 N. Haruta, T. Tsukamoto, A. Kuzume, T. Kambe, K. Yamamoto	4. 巻 9
2. 論文標題 Nanomaterials design for super-degenerate electronic state beyond the limit of geometrical symmetry	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Commun.	6. 最初と最後の頁 3758
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-018-06244-8	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 T. Tsukamoto, T. Kambe, A. Nakao, T. Imaoka, K. Yamamoto	4. 巻 9
2. 論文標題 Atom-hybridization for synthesis of polymetallic clusters	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Commun.	6. 最初と最後の頁 3873
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-018-06422-8	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 H. Miftakhul, K. Minamisawa, T. Tsukamoto, M. Tanabe, K. Yamamoto	4. 巻 58
2. 論文標題 Aerobic Toluene Oxidation Catalyzed by Subnano Metal Particles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Angew. Chem. Int. Ed.	6. 最初と最後の頁 1002-1006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201809530	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 Y. Inomata, K. Albrecht, K. Yamamoto	4. 巻 8
2. 論文標題 Size Dependent Oxidation state and CO Oxidation Activity of Tin Oxide Clusters	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Catal.	6. 最初と最後の頁 451-456
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.7b02981	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. Nakajima, K. Albrecht, S. Kushida, E. Nishibori, T. Kitao, T. Uemura, K. Yamamoto, U. Bunz, Y. Yamamoto	4. 巻 54
2. 論文標題 A fluorescent microporous crystalline dendrimer discriminates vapour molecules	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chem. Commun.	6. 最初と最後の頁 2534-2537
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7CC09342J	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 K. Albrecht, K. Matsuoka, K. Fujita, K. Yamamoto	4. 巻 2
2. 論文標題 A dendrimer emitter doped in a dendrimer host: efficient thermally activated delayed fluorescence OLEDs with fully-solution processed organic-layers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Mater. Chem. Front.	6. 最初と最後の頁 1097-1103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7QM00579B	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 K. Omoto, N. Hosono, M. Gochomori, K. Albrecht, K. Yamamoto, S. Kitagawa	4. 巻 54
2. 論文標題 Anisotropic convergence of dendritic macromolecules facilitated by a heteroleptic metal-organic polyhedron scaffold	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chem. Commun.	6. 最初と最後の頁 5209-5212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8CC02460J	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 K. Matsuoka, K. Albrecht, A. Nakayama, K. Yamamoto, K. Fujita	4. 巻 10
2. 論文標題 Highly Efficient Thermally Activated Delayed Fluorescence Organic Light-Emitting Diodes with Fully Solution-Processed Organic Multilayered Architecture: Impact of Terminal-Substitution on Carbazole-Benzophenone Dendrimer and Interfacial Engineering	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Appl. Mater. Interfaces	6. 最初と最後の頁 33343-33352
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.8b09451	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 R. Yamada, K. Albrecht, T. Ohto, K. Minode, K. Yamamoto, H. Tada	4. 巻 10
2. 論文標題 Single-molecule rectifiers based on voltage-dependent deformation of molecular orbitals in carbazole oligomers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 19818-19824
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8NR06049E	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 T. Kambe, T. Imaoka, K. Yamamoto	4. 巻 28
2. 論文標題 Insight into the Effect of Dendrimer Structure on Photoluminescence from Assembled Bismuth Complexes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J Inorg Organomet Polym.	6. 最初と最後の頁 463-466
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10904-017-0705-7	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 T. Imaoka, N. Bukeo, K. Yamamoto	4. 巻 23
2. 論文標題 Epitaxially Grown Ultra-Flat Self-Assembling Monolayers with Dendrimers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 485
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules23020485	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 T. Kambe, S. Imaoka, T. Imaoka, K. Yamamoto	4. 巻 20
2. 論文標題 Build-up enhancement of photoluminescence from phenylazomethine bismuth dendrimer using Bi(OTf) ₃	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J Nanopart Res.	6. 最初と最後の頁 118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11051-018-4222-6	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 T. Kambe, R. Hosono, T. Imaoka, K. Yamamoto	4. 巻 31
2. 論文標題 Ultra-small Bismuth Particle in Dendrimer Protected by Polyvinylpyrrolidone	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Photopolym. Sci. Technol.	6. 最初と最後の頁 311-314
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.31.311	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, Haruta Naoki, Imaoka Takane, Yamamoto Kimihisa	4. 巻 8
2. 論文標題 Solution-phase synthesis of Al ₁₃ using a dendrimer template	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 2046
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-017-02250-4	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 Imaoka Takane, Akanuma Yuki, Haruta Naoki, Tsuchiya Shogo, Ishihara Kentaro, Okayasu Takeshi, Chun Wang-Jae, Takahashi Masaki, Yamamoto Kimihisa	4. 巻 8
2. 論文標題 Platinum clusters with precise numbers of atoms for preparative-scale catalysis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 688
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-017-00800-4	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 Matsuno Sho, Yamashina Masahiro, Sei Yoshihisa, Akita Munetaka, Kuzume Akiyoshi, Yamamoto Kimihisa, Yoshizawa Michito	4. 巻 8
2. 論文標題 Exact mass analysis of sulfur clusters upon encapsulation by a polyaromatic capsular matrix	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 749
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-017-00605-5	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 Kambe Tetsuya, Imaoka Takane, Yamamoto Kimihisa	4. 巻 28
2. 論文標題 Insight into the Effect of Dendrimer Structure on Photoluminescence from Assembled Bismuth Complexes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials	6. 最初と最後の頁 463 ~ 466
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10904-017-0705-7	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 Naitoh Yasuhisa, Albrecht Ken, Wei Qingshuo, Yamamoto Kimihisa, Shima Hisashi, Ishida Takao	4. 巻 7
2. 論文標題 Fabrication of sub-1nm gap electrodes using metal-mask patterning and conductivity measurements of molecules in nanoscale spaces	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 53503 ~ 53508
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7RA10873G	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 Matsuoka Kenichi, Albrecht Ken, Yamamoto Kimihisa, Fujita Katsuhiko	4. 巻 7
2. 論文標題 Multifunctional Dendritic Emitter: Aggregation-Induced Emission Enhanced, Thermally Activated Delayed Fluorescent Material for Solution-Processed Multilayered Organic Light-Emitting Diodes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 41780 ~ 41780
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep41780	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 Albrecht Ken, Matsuoka Kenichi, Yokoyama Daisuke, Sakai Yoshiya, Nakayama Akira, Fujita Katsuhiko, Yamamoto Kimihisa	4. 巻 53
2. 論文標題 Thermally activated delayed fluorescence OLEDs with fully solution processed organic layers exhibiting nearly 10% external quantum efficiency	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 2439 ~ 2442
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C6CC09275F	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 Sakanoue Tomo, Yonekawa Fumihiro, Albrecht Ken, Yamamoto Kimihisa, Takenobu Taishi	4. 巻 29
2. 論文標題 An Ionic Liquid That Dissolves Semiconducting Polymers: A Promising Electrolyte for Bright, Efficient, and Stable Light-Emitting Electrochemical Cells	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 6122 ~ 6129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.7b02128	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 Jono Keisuke, Suzuki Akira, Akita Munetaka, Albrecht Ken, Yamamoto Kimihisa, Yoshizawa Michito	4. 巻 56
2. 論文標題 A Polyaromatic Molecular Clip That Enables the Binding of Planar, Tubular, and Dendritic Compounds	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 3570 ~ 3574
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201612489	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 K. Albrecht, Y. Hirabayashi, M. Otake, S. Mendori, Y. Tobari, Y. Azuma, Y. Majima, K. Yamamoto	4. 巻 2
2. 論文標題 Polymerization of a divalent/tetravalent metal-storing atom-mimicking dendrimer	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 1601414-1601414
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.1601414	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 T. Kambe, A. Watanabe, T. Imaoka, K. Yamamoto	4. 巻 55
2. 論文標題 Bismuth Complexes in Phenylazomethine Dendrimers: Controllable Luminescence and Emission in the Solid State	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Angew. Chem. Int. Ed.	6. 最初と最後の頁 13151-13154
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201607396	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 T. Kambe, T. Imaoka, K. Yamamoto	4. 巻 22
2. 論文標題 Reducing Capsule Based on Electron Programming: Versatile Synthesizer for Size-Controlled Ultra-Small Metal Clusters	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Chem. Eur. J.	6. 最初と最後の頁 16406-16409
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201603229	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 K. Matsuoka, K. Albrecht, K. Yamamoto, K. Fujita	4. 巻 29
2. 論文標題 Mono-Substituted Carbazole Dendrimers as Solution Processable Host Materials for Phosphorescent Organic Light-Emitting Diodes	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 J. Photopolym. Sci. Technol.	6. 最初と最後の頁 323-326
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.29.323	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 T. Imaoka, S. Tsuchiya, K. Yamamoto	4. 巻 45
2. 論文標題 Transformation of Size-controlled Platinum Clusters on the Surface Ligand-exchange Reactions	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 1450-1452
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.160822	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 T. Imaoka, H. Kitazawa, W. Chun, K. Yamamoto	4. 巻 54
2. 論文標題 Finding the Most Catalytically Active Platinum Clusters With Low Atomicity	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Angew. Chem. Int. Ed.	6. 最初と最後の頁 9810-9815
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201504473	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 -

〔学会発表〕 計33件 (うち招待講演 33件 / うち国際学会 30件)

1. 発表者名 Kimihiya Yamamoto
2. 発表標題 Multimetallic Subnanoparticles based on Atomhybridization
3. 学会等名 12th China-Japan Joint Symposium on Metal Cluster Compounds, Suzhou, China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuya Kambe
2. 発表標題 Synthesis of Al13 superatom through typical metal assembly in a dendrimer template
3. 学会等名 The 76th Fujihara Seminar, International Workshop on Designer Nanocluster Materials, Tomakomai, Hokkaido (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kimihiya Yamamoto
2. 発表標題 Atomhybridization:synthesis of multimetallic clusters using a dendrimer reactor
3. 学会等名 8th International Conference on Nanoscience and Technology, Beijing, China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kimihiya Yamamoto
2. 発表標題 Dendrimers for Multimetallic Nanomaterials
3. 学会等名 20th Edition of International Conference on Materials Science & Nanobiotechnology, Melbourne, Australia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuya Kambe
2. 発表標題 Al13- Superatom Synthesized by a Dendrimer Template
3. 学会等名 ICPAC Yangon 2019, Yangon, Myanmar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今岡 享稔
2. 発表標題 錯体化学を基盤とした金属合金ナノ粒子の精密デザイン
3. 学会等名 新化学技術推進協会(JACI) 先端化学・材料技術部会 新素材分科会 講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神戸 徹也
2. 発表標題 典型金属集積メタロ dendrimer の構築と超原子合成
3. 学会等名 新しいハイブリッド材料を考える会 シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kimihiisa Yamamoto
2. 発表標題 Atom-hybridization using Dendrimer Reactors
3. 学会等名 18th IUPAC International Symposium Macromolecular-Metal Complexes (MMC-18), Moscow, Russia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kimihiisa Yamamoto
2. 発表標題 Dendrimers for Multimetallic Nanometaterials
3. 学会等名 11th International Dendrimers Symposium (IDS11), Funchal, Portugal (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kimihiisa Yamamoto
2. 発表標題 Synthesis of Pt Subnano Catalyst Using a Dendrimere Reactor
3. 学会等名 3rd International Conference on Nanotechnology and Materials Science Conference Rome 2019, Roma, Italy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kimihiisa Yamamoto
2. 発表標題 Synthesis of Pt subnano catalyst using a dendrimer reactor
3. 学会等名 Advanced Nanotechnology, Paris, France (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kimihiisa Yamamoto
2. 発表標題 Synthesis of Multimetallic Subnano Particles Using a Dendrimer Reactor
3. 学会等名 235th ECS Meeting, Dallas, TX (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kimihiisa Yamamoto
2. 発表標題 Precision Synthesis of Subnanoparticles Using a Dendrimer Reactor
3. 学会等名 233rd ECS Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kimihiisa Yamamoto
2. 発表標題 Synthesis of Fine-controlled Sub-nano Metal Particles using Melalldendrimers
3. 学会等名 ICCMS2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kimihiisa Yamamoto
2. 発表標題 Fine-controlled sub-nano metal particles in a dendrimer reactor
3. 学会等名 Advanced Materials & Nanotechnology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kimihiisa Yamamoto
2. 発表標題 Synthesis of Platinum Sub-nano Calalyst Using a Dendrimer Reactor
3. 学会等名 ICCP-2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kimihiisa Yamamoto
2. 発表標題 Dendrimer Reactor for Fine-controlled Subnano Metal Particles
3. 学会等名 IPC2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kimihiisa Yamamoto
2. 発表標題 Dendrimer Reactor for Fine-controlled Subnano Metal Particles
3. 学会等名 Modern Treands in Dendrimer Chemistry and Applications, Moscow, Russia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kimihiya Yamamoto
2. 発表標題 Fine-controlled subano-metal particles in a dendrimer reactor
3. 学会等名 6th Asian Conference on Coordination Chemistry, Melbourne, Australia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kimihiya Yamamoto
2. 発表標題 Fine-controlled subano-metal particles in a dendrimer reactor
3. 学会等名 9th World Congress on Materials Science and Engineering, Rome, Italy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kimihiya Yamamoto
2. 発表標題 Metal Assembly of a Dendrimer with a Porphyrin Core
3. 学会等名 229th ECS Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kimihiya Yamamoto
2. 発表標題 Fine-controlled sub nano particles in Dendrimer
3. 学会等名 The International Conference on Small Science (ICSS 2016) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kimihiisa Yamamoto
2. 発表標題 Precision Synthesis of Subnanoparticles Using a Dendrimer Reactor
3. 学会等名 International Symposium on Polymer Chemistry (PC2016) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kimihiisa Yamamoto
2. 発表標題 Fine-controlled subano-metal particles in a dendrimer reactor
3. 学会等名 6th International Conference and Exhibition on Materials Science and Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山元 公寿
2. 発表標題 デンドリマーを分子リアクターとする 精密サブナノ粒子の合成
3. 学会等名 第65回高分子討論会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kimihiisa Yamamoto
2. 発表標題 Synthesis of Subnano Metal-Particles Using a Dendrimer Reactor
3. 学会等名 Nano Science & Technology 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kimihiisa Yamamoto
2. 発表標題 Synthesis of Fine-controlled Subnano-metal Particles Using a Dendrimer Reactor
3. 学会等名 International Conference and Exhibition on Materials Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kimihiisa Yamamoto
2. 発表標題 SYNTHESIS OF SUBNANO-SIZE METAL PARTICLES USING A NANO-REACTOR
3. 学会等名 10th CJSWCC will be held at Fuzhou (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Kimihiisa Yamamoto
2. 発表標題 Precision Synthesis of Metal Particles with Atomicity Using a Dendrimer Reactor
3. 学会等名 11th IUPAC International Conference on Novel Materials and their Synthesis (NMS-XII) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Kimihiisa Yamamoto
2. 発表標題 Dendrimer Reactor for Synthesis of Sub-Nano Particles
3. 学会等名 BIT's 5th Annual World Congress of Nano Science and Technology 2015 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Kimihiisa Yamamoto
2. 発表標題 Dendrimer Reactor for Synthesis of Subnano Metal Particles
3. 学会等名 16th IUPAC International Symposium on Macromolecular Complexes(MMC-16) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Kimihiisa Yamamoto
2. 発表標題 Synthesis of sub nano-size metal particles using a nano-reactor
3. 学会等名 Nanotechnology Congress & Expo (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Kimihiisa Yamamoto
2. 発表標題 Synthesis of Subnano-Metal-Particles using a Dendrimer Reactor
3. 学会等名 9th International Dendrimer Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 神戸徹也, 山元公寿	4. 発行年 2018年
2. 出版社 化学同人	5. 総ページ数 5
3. 書名 化学	

1. 著者名 神戸徹也, 山元公寿	4. 発行年 2018年
2. 出版社 テクノプラザ	5. 総ページ数 5
3. 書名 Ceramic Data Book	

1. 著者名 高橋 正樹, 山元 公寿	4. 発行年 2017年
2. 出版社 日本工業出版(株)	5. 総ページ数 6
3. 書名 クリーンテクノロジー	

1. 著者名 今岡 享稔, 山元 公寿	4. 発行年 2017年
2. 出版社 (公社)日本表面科学会	5. 総ページ数 6
3. 書名 表面科学	

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 フェニルアゾメチン型 dendrimer の金属塩化合物集積体の合成とサブナノ粒子の製造方法	発明者 高田健司、アルブレヒト建、柿沼純子、今岡享稔、山元公寿	権利者 東京工業大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-217178	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 脂環式炭化水素を基質とする有機酸化物の製造方法および触媒	発明者 田邊 真、松浦耕大、Miftakhul Huda、山元公寿	権利者 東京工業大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019- 47646	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 4種以上の異種金属塩を精密集積した dendrimer の異種金属錯体とサブナノ金属粒子の製造方法	発明者 塚本孝政、神戸徹也、春田直毅、今岡享稔、山元公寿	権利者 東京工業大学
産業財産権の種類、番号 特許、特許第6582310号	取得年 2019年	国内・外国の別 国内

〔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
研究分担者	神戸 徹也 (Kambe Tetsuya) (00733495)	東京工業大学・科学技術創成研究院・助教 (12608)	
研究分担者	山下 建 (アルブレヒト建) (Albrecht Ken) (50599561)	東京工業大学・科学技術創成研究院・助教 (12608)	削除：2018年12月6日
研究分担者	今岡 享稔 (Imaoka Takane) (80398635)	東京工業大学・科学技術創成研究院・准教授 (12608)	削除：2016年4月1日
研究協力者	田 旺帝 (Chun Wang Jae)		
研究協力者	高橋 正樹 (Takahashi Masaki)		
研究協力者	佐藤 宗英 (Satoh Norifusa)		