

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：35504

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25600008

研究課題名(和文)多様な新規クラウン・ジュエル構造金属ナノクラスター触媒の創製

研究課題名(英文)Creation of Various Types of Novel Metal Nanocluster Catalysts with Crown Jewel Structure

研究代表者

戸嶋 直樹 (Toshima, Naoki)

山口東京理科大学・工学部・教授

研究者番号：50011010

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、金属ナノクラスターの頂点位のみ触媒活性のある金属原子を置換した構造、すなわちクラウン・ジュエル構造の種々の金属ナノクラスターの合成と、その高い触媒活性の検証を目的とする。本研究では母体クラスターに高分子(PVP)保護の種々の貴金属クラスターを用い、頂点位をAuで置換したクラウン・ジュエル触媒を合成したところ、IrPd母体クラスターより合成したクラウン・ジュエル触媒で、先に報告したPdを母体としたものに比べ、2倍近い高活性化に成功した。さらに遷移金属を主体としたPVP保護NiPd(9:1)クラスターでも、少量のAu添加でグルコース酸化活性を約12倍高活性化することを見出した。

研究成果の概要(英文)：This research is aimed to develop various catalytically active metal nanocluster catalysts with a Crown Jewel structure via a facile replacement reaction, in which Au atoms easily locate automatically at the top (vertex) sites in other kinds of less noble metal nanoclusters. The Crown Jewel catalyst starting from poly(N-vinyl-2-pyrrolidone)(PVP)-protected IrPd bimetallic nanoclusters has been found to reveal about twice catalytic activity of that starting from Pd nanoclusters for aerobic oxidation of glucose to produce glucoic acid. Since the transition metal clusters like Ni nanoclusters are not stable, the Ni clusters stabilized by alloying with noble metal like Pd have been used as the mother cluster in the next step. Then, the addition of small amount of Au to the PVP-protected NiPd (Ni: Pd = 9:1) mother nanoclusters for the replacement have been shown to improve the catalytic activity about 12 times higher than the NiPd mother nanoclusters.

研究分野：ナノテクノロジー 高分子錯体化学 機能性高分子 触媒化学 材料化学

キーワード：金属ナノ粒子 多元金属ナノクラスター クラウン・ジュエル触媒 単原子触媒 頂点位置換 グルコース酸素酸化 原子構造制御 環境に優しい触媒反応

1. 研究開始当初の背景

(1) 高分子に保護され、安定化された金属ナノクラスター分散液が安定な触媒として有用であることは、1978年の我々の発表以来、広く一般に認められるようになった。さらに一種の金属だけでなく、二種・三種の金属元素を組み合わせた二元・三元の金属ナノクラスター、特にコア/シェル構造に構造を制御された多元金属ナノクラスターは、単独金属ナノクラスターに比べより高い触媒活性を持つことが、1991年の我々のパラジウム/白金系やパラジウム/金系のコア/シェル構造二元金属ナノクラスター触媒の発表以来、来広く一般に認められるようになり、現在も数多くの研究発表が続いている。

(2) 金は従来触媒としては活性でないと言われてきたが、春田らが金属酸化物担体上に担持した金ナノクラスターは高活性であることを発表⁵して以来、多くの研究者の注目することとなり、現在も数多くの研究が発表されている⁶。また、金属酸化物に担持していない、高分子保護金ナノクラスターも、十分に粒径が小さくなると触媒活性を示すことが知られるようになった。

(3) このような中で我々はパラジウム・ナノクラスターの頂点(角、角頂)位の原子を金原子で置き換えた構造の二元金属ナノクラスター(図 1a)にすると、その金原子がグルコースの空気酸化に対して極めて高い触媒活性を持つことを見出し、これを王冠の頂上のダイヤモンド(図 1b)に模してクラウン・ジュエル触媒と命名した。このクラウン・ジュエル構造はナノ構造触媒に関して全く新しい概念を提案したものである。

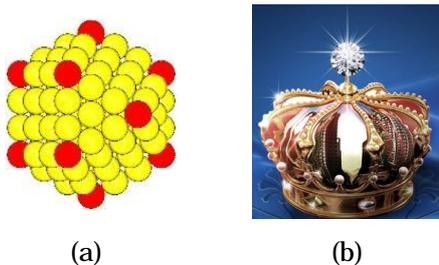


図 1. パラジウム原子(黄色)よりなるクラスターの頂点位の原子を金原子(赤色)で置換したクラウン・ジュエル触媒(a)とその命名のもととなった王冠(クラウン)の頂点に輝くダイヤモンドの写真(b).

2. 研究の目的

(1) 2012年に提案したクラウン・ジュエル触媒という新しい概念では、母体のパラジウム・ナノクラスターの頂点位のパラジウム原子12個を金原子で置換した構造のものを合成し、そのキャラクタリゼーションで構造を確認し、高い触媒活性が実証されたのみである。そこで、本研究では、この新概念の触媒が他の貴金属との組合せでも合成可能であり、それらが高活性触媒であることを実証す

ることで、クラウン・ジュエル触媒概念の一般化を図ることを目的とする。

(2) さらに貴金属のみならず、より安価な遷移金属ナノクラスターを母体とするクラウン・ジュエル触媒が合成可能か、またそのような構造の触媒でもグルコース酸素酸化に対して高い触媒活性を持つかどうかを検討する。加えて母体ナノクラスターを金属酸化物で作ることが可能かどうかを検討する。

3. 研究の方法

(1) IrPd/Au 三元金属ナノクラスターの合成

クラウン・ジュエル構造の IrPd/Au ナノクラスターは、母体となる IrPd 二元金属ナノクラスターの合成の過程とこの母体ナノクラスターの頂点位原子を Au で置換する過程の2段階の反応により合成する。母体となる IrPd 二元金属ナノクラスターは、PdCl₂ と IrCl₃ を所定の割合で、エタノール/水(1/4, v/v) 混合媒体中に溶解し、ポリ(N-ピロリドン)(PVP)の溶液(66 × 10⁻³ M、R_{PVP}(金属に対する PVP モノマーユニットのモル比)=100)と1:1の割合で混合後、100 °C で2時間加熱還流することで調製した。限外濾過膜(分画分子量: 10000)で分離洗浄後、40 °C で48時間乾燥して単離した。

頂点位の置換反応は、母体の二元金属ナノクラスターの水溶液に対し、窒素下室温で HAuCl₄ · 4H₂O の水溶液(0.135 × 10⁻³ M)を一滴ずつ滴下した後、100 °C で30分間油浴中で、加熱攪拌することで行った。滴下する Au³⁺イオンの量は、母体二元金属ナノクラスターの平均粒径をあらかじめ測定しておいて1粒子当たり12原子の Au が置換されるに必要な量を加えた。反応後、限外濾過、水洗、真空乾燥を行い、単離した。

(2) NiPd/Au 三元金属ナノクラスターの合成

母体の NiPd 二元金属ナノクラスターの合成は、酢酸パラジウム(Pd(OAc)₂)と硫酸ニッケル六水和物(NiSO₄ · 6H₂O)を原料にして、窒素下グリコール還元法により行った。すなわち Pd(OAc)₂ 22.5 mg をジオキサン 6.4 mL に溶解し、NiSO₄ · 6H₂O 237 mg、PVP 1.60 g と共に 500 mL 三口フラスコ中でエチレングリコール 240 mL を加えて溶解する。この混合溶液を油浴中 198 °C で3時間加熱する。反応終了後、窒素下限外濾過膜で洗浄分離し、減圧乾燥する。置換反応は、IrPd/Au 三元金属ナノクラスターのときと同様に、水中 100 °C で30分間加熱することで実施した。

(3) キャラクタリゼーション

UV-vis 吸収スペクトルは島津 UV-2500PC 分光光度計で、透過電子顕微鏡(TEM)観察は、加速電圧 80 kV で JEOL TEM1230 電子顕微鏡で、暗視野走査透過電子顕微鏡(DF-STEM)像は、加速電圧 200 kV で、JEOL TEM2010F 顕微鏡で、エネルギー分散型 X 線分光(EDS)は、STEM に取り付けた径 1 nm の電子ビームを用いて NORAN

UTW 型 Si(Li)半導体検出器で、高角度散乱暗視野走査透過電子顕微鏡 (HAADF-STEM) 像は、加速電圧 120 kV で CEOS の球面収差補正装置付きの JEOL TEM 2010F 顕微鏡で、高分解能電子エネルギー損失分光 (EELS) は HAADF-STEM に取り付けられた 0.12 nm ビーム径の ENFINA1000 検出器で、金属の元素分析は、Varian 720-ES を用いた誘導結合プラズマ発光分光法 (ICP-OES) で、それぞれ測定した。

触媒活性は、グルコースの酸化をモデル反応として評価した。すなわち、0.264 mol/L のグルコース水溶液 30 mL を、50 mL ガラスビーカー中、恒温槽で 60 °C に保ち、2~3 mg の触媒 (約 4×10^{-7} mol) を加えてマグネチックスターラーで激しく攪拌 (1500 rpm 以上) し、酸素を 100 mL/min の速度で吹き込む。自動電位差測定装置を用いて 1 mol/L の NaOH を滴下して実験中の pH を常に 9.4 に保つ。この滴定曲線の勾配から反応速度を求める。全触媒活性が、母体の金属ナノクラスターおよび金原子の触媒活性の原子分率を考慮した和で表されるとして、金原子当たりの触媒活性を計算した。

4. 研究成果

(1) クラウン・ジュエル構造 IrPd/Au 三元金属ナノクラスターの合成と触媒活性

貴金属二元金属ナノクラスターを母体とし、Au 置換によりクラウン・ジュエル構造の三元金属ナノクラスターを合成し、そのグルコース酸化触媒活性を検討した。まず、予備的に貴金属二元金属ナノクラスターとして、どのようなものを用いたときに最も活性が高くなるかを調べるため、PdPt、PdRh、PdIr いずれも (1:1 モル比) の二元金属ナノクラスターを調製し、Au 置換したものの触媒活性を比較した。結果は、これら 3 種の二元金属ナノクラスターを用いて合成したクラウン・ジュエル触媒は、いずれも Pd ナノクラスターを母体として調製した Pd/Au クラウン・ジュエル触媒よりも高活性であった。3 者を Pd を母体とするものと比較すると、次の順序であった。

$\text{Pd/Au} < \text{PdPt/Au} < \text{PdRh/Au} < \text{PdIr/Au}$

そこで、PdIr 二元金属ナノクラスターを母体とするクラウン・ジュエル触媒で、母体の PdIr クラスタの構成比や粒径を種々変化させ最適化を図った。その結果、 $\text{Pd}_{92}\text{Ir}_{55}$ の二元金属ナノクラスターで平均粒径 1.7 ± 0.8 nm のものを使うとき最も高活性になることが分かった。この $\text{Pd}_{92}\text{Ir}_{55}$ 原子を HAADF-STEM と dot-EDS で観察した結果、Pd と Ir は粒子全体に分布しているものの、Ir-コア/Pd-シェル様の構造をとっていることが明らかとなった。従って、これを Au^{3+} イオンで処理するとガルバニック置換が起こり、頂点位の Pd が Au に置換することが予想される。この頂点位を Au 原子で置換するときは図 2 に表すように予想通り、 $\text{Pd}_{92}\text{Ir}_{55}$ 合計 147 原子に対し

て Au 原子 12 個を置換したクラウン・ジュエル触媒が最も活性が高く、 $343,000 \text{ mol-glucose} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{mol-Au}^{-1}$ という高い値が得られた。Pd/Au のクラウン・ジュエル触媒のとき $195,000 \text{ mol-glucose} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{mol-Au}^{-1}$ であったので、2 倍近い高活性化に成功したことになる。

このクラウン・ジュエル触媒の HAADF-STEM 像を図 3 に示す。きれいに原子が並んでおり、(100)面、(111)面が見えているが、頂点位のうちには、図 3 に赤丸で囲んで示したように、欠落している部分もある。これは、置換反応中に Pd 原子が欠落して Au 原子がまだ付いていない状態であるとも考えられるが、むしろ、電子顕微鏡観察中に電子線照射によって頂点位の Au 原子が脱離したためとも考えられる。事実 HAADF-STEM 写真を連続して撮影すると、Au 原子が頂点位から順次離れていく様子が観察された。

Pd クラスタの頂点に付いた Au 原子の触媒活性が、Au ナノクラスターの表面 Au 原子に比べ高活性な理由は隣接する Pd 原子から Au 原子への電子移動が起り、Au 原子が電子リッチとなり、負に帯電しているためと考えられている。母体を PdIr 二元金属ナノクラスターにすると、頂点位の Au 原子は隣接する Pd 原子および、少量存在する Ir 原子からの直接の電子移動に加えて、Pd Ir Au の連続的協奏的な電子移動も受けるため、高い触媒活性を獲得したのと考えられる。しかし、まだ詳細は不明である。

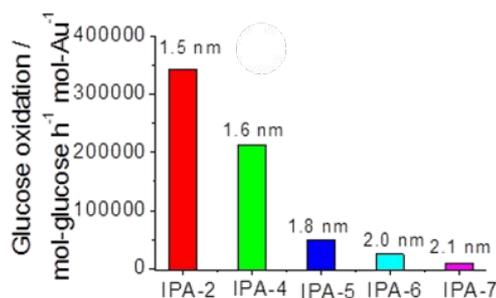


図 2. クラウン・ジュエル構造 IrPd/Au 三元金属ナノクラスター (IPA) の触媒活性の比較。Ir/Pd/Au³⁺ = 55/92/12 (IPA-2), 55/92/24 (IPA-4), 55/92/36 (IPA-5), 55/92/48 (IPA-6), 55/92/60 (IPA-7)。

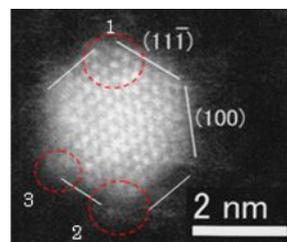


図 3. クラウン・ジュエル構造 IrPd/Au 三元金属ナノクラスターの HAADF-STEM 像。

(2) NiPd/Au 三元金属ナノクラスターの合成と触媒活性

高価な貴金属の代りに、より安価な遷移金

属を用いて母体金属ナノクラスターを作り、この頂点位に Au 原子を配置しても高活性触媒が調製可能であるかが次の課題である。Fe、Co、Ni、Cu などの金属で、ナノクラスターを作ることにはできるが、いずれも安定でなく空気中の酸素とただちに反応してしまうという問題がある。そこで、少量の貴金属を用いて遷移金属と合金化させ、ナノクラスターを安定化させる手法を用いた。

実験的には、NiPd (Ni : Pd = 9 : 1) の合金ナノクラスターをグリコール還元法で調製し、その後、水中で塩化金酸と共に攪拌加熱することで、クラウン・ジュエル構造の NiPd/Au 三元金属ナノクラスターを合成した。この合金化の方法をとることで Ni の酸化は抑えられ、クラウン・ジュエル構造に近いものが合成できたと考える。構造の確認は HAADF-STEM と局所 EDS 分析で行った。結果を図 4 に示す。付表に示すように頂点 Au を含む中心部は、Au の含量が多くなっており、周辺部と大きく異なっているため、置換反応で Au 原子は頂点位に置換したと考える。この触媒活性を Au モルあたりで計算すると $11,940 \text{ mol-glucose} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{mol-Au}^{-1}$ であり、貴金属ナノクラスターを母体としたものに比べると、それほど高くないが、母体の NiPd ナノクラスターと比べては勿論、十分に小さな Au ナノクラスターの触媒活性に比べても大きく、クラウン・ジュエル構造の有用性を示すことができた。

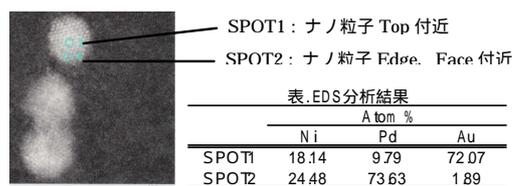


図 4. NiPd/Au 三元金属ナノクラスターの HAADF-STEM 像および SPOT1 (Top 付近) と SPOT2 (Edge, Face 付近) の局所 EDS 分析結果 (挿入表に記入)。

(3) その他の成果

ジルコニア、セリア、チタニアといった金属酸化物に担持された金クラスターが、金触媒として有効である⁶⁾。従って、母体ナノクラスターを金属酸化物のナノクラスターとしたクラウン・ジュエル触媒の合成は、きわめて興味ある課題である。このため、この合成を当初の研究計画に含ませていた。実際、いろいろな方法を試したが、ついにこの 2 年間では成功しなかった。1 つには、当初から予想していたが、金属酸化物の頂点への置換反応が起こらないのが原因である。

そこで、基本に立ち返ってレドックス置換反応でなく、余分の Au 原子をナノクラスター上に付加する形で金単原子触媒を合成する手法について検討した。その結果、例えば、高分子保護パラジウム・ナノクラスター分散

液に HAuCl_4 を加え、アスコルビン酸で Au^{3+} イオンを追加還元する方法を用いて成功した。この追加還元法は Pd ナノクラスターが還元触媒となり、Pd ナノクラスター上で起きやすく、Au 単原子のみを Pd ナノクラスター上にのせることに成功した。この Au 単原子触媒は疑似クラウン・ジュエル触媒とも言えるもので、高い触媒活性を示した。この方法を金属酸化物ナノクラスターに応用すれば、当初の研究目的の一つである酸化物を母体とするクラウン・ジュエル触媒の合成に至ると考えている。現在のところ、金属酸化物ナノクラスターまでは合成できたが、金原子一個をこの上にのせることに成功していない。

なお、クラウン・ジュエル触媒の概念は、他のいろいろな金属ナノクラスター系で検証された。保護高分子は PVP の代わりにポリシクロデキストリンを用いることもできるし、金属も Pd 以外の金属でも可能である。しかし、これまでのところ IrPd 二元金属ナノクラスターを母体としてものが最大の触媒活性を示している。

今後は本概念の触媒の安定化、長寿命化が実用化に向けた最大の課題となろう。

<引用文献>

- H. Hirai, Y. Nakao, N. Toshima, *J. Macromol. Sci. Chem.*, **A12**, 1117 (1978).
 N. Toshima, M. Harada, T. Yonezawa, K. Kushihashi, K. Asakura, *J. Phys. Chem.*, **95**, 7448 (1991).
 N. Toshima, M. Harada, Y. Yamazaki, K. Asakura, *J. Phys. Chem.*, **96**, 9927 (1992).
 N. Toshima, T. Yonezawa, *New J. Chem.*, **22**, 1179 (1998).
 M. Haruta, T. Kobayashi, H. Sano, N. Yamada, *Chem. Lett.*, **1987**, 405 (1987).
 T. Takei, T. Akita, I. Nakamura, T. Fujitani, M. Okumura, K. Okuzaki, J. Huang, T. Ishida, M. Haruta, *Adv. Catal.*, **55**, 1 (2012).
 H. Tsunoyama, N. Ichikuni, H. Sakurai, T. Tsukuda, *J. Am. Chem. Soc.*, **131**, 7086 (2009).
 H. Zhang, T. Watanabe, M. Okumura, M. Haruta, N. Toshima, *Nature Mater.*, **11**, 49 (2012).

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 20 件)

白石幸英, 元氣先生がゆく, *理大科学フォーラム*, 査読無, 2015 年 4 月号 (通巻 370), 1 (2015). ISSN:1346-1206

H. Zhang, L. Lu, K. Kawashima, M. Okumura, M. Haruta, N. Toshima, Catalytic Activity of Crown Jewel-structured (IrPd)/Au Trimetallic Nanoclusters, *Adv. Mater.*, 査読有, **27**, 1383-1388 (2015).

DOI: 10.1002/adma.201404870

Y. Iizuka, R. Inoue, T. Miura, N. Morita, N. Toshima, T. Honma, H. Oji, Chemical Environment of Ag Atoms Contained in Au-Ag

Bimetallic Catalysts and the Generation of the Catalytic Activity for CO Oxidation, *Applied Catalysis A: General*, 査読有, **483**, 63-75 (2014).

DOI: 10.1016/j.apcata.2014.06.030

H. Zhang, K. Kawashima, M. Okumura, N. Toshima, Colloidal Au Single-Atom Catalysts Embedded on Pd Nanocluster, *J. Mater. Chem.(RSC)*, 査読有, **2**, 13498-13508 (2014).

DOI: 10.1039/c4ta01696c

戸嶋直樹, Crown Jewel 触媒という新しい概念, *パターンダイナミクス紀要*, 査読無, **8**, 38-44 (2014). ISSN: 1881-7076

H. Zhang, N. Toshima, K. Takasaki, M. Okumura, Preparation of Ag_{core}/Au_{shell} Bimetallic Nanoparticles from Physical Mixtures of Au Clusters and Ag Ions under Dark Conditions and Their Catalytic Activity for Aerobic Glucose Oxidation, *J. Alloys Compds.*, 査読有, **586**, 462-468 (2014).

DOI:10.1016/j.jallcom.2013.10.048

岩田在博, 金丸真土, 高橋基, 白石幸英, 戸嶋直樹, 遷移金属触媒を利用したシラン還元法による金属ナノ粒子の合成, *山口県産業技術センター研究報告*, 査読無, **26**, 10-12 (2014). ISSN:1345-210X

A. Yoshida, N. Toshima, Gold Nanoparticle and Gold Nanorod Embedded PEDOT:PSS Thin Films as Organic Thermoelectric Materials, *J. Electronic Materials*, 査読有, **43**, 1492-1497 (2014).

DOI: 10.1007/s11664-013-2745-2

戸嶋直樹, ナノ粒子で展開する先進材料研究所, *理大科学フォーラム*, 査読無, 2013年10月号(通巻352号), 12-13 (2013). ISSN:1346-1206

H. Zhang, M. Haba, M. Okumura, T. Akita, S. Hashimoto, N. Toshima, Formation of Ag/Au Bimetallic Nanoparticles by Physical Mixture of Monometallic Nanoparticles in Dispersions and Their Application to Catalysts for Aerobic Glucose Oxidation, *Langmuir*, 査読有, **29**, 10330-10339 (2013).

DOI: 10.1021/la401878g

H. Zhang, N. Toshima, Au/M (M=Ag, Pd, Pt) Bimetallic Nanoparticles with Enhanced Catalytic Activity for Aerobic Glucose Oxidation, *J. Advanced Microscopy Research*, 査読有, **8**, 1-9 (2013).

DOI: 10.1166/jamr.2013.1129

S. K. Ghosh, J. Kang, M. Inokuchi, N. Toshima, Solvent-Mediated Synthesis, Characterization and Electrocatalytic Activity of Hydrophilic and Dispersive Au-Mn₃O₄ Nanocomposites, *Applied Catalysis A: General*, 査読有, **464-465**, 225-232 (2013).

DOI: 10.1016/j.apcata.2013.05.033

H. Zhang, T. Watanabe, M. Okumura, M. Haruta, N. Toshima, Crown Jewel Catalyst: How Neighboring Atoms Affect the Catalytic

Activity of Top Au Atoms?, *J. Catal.*, 査読有, **305**, 7-18 (2013).

DOI: 10.1016/j.jcat.2013.04.012

H. Zhang, N. Toshima, Crown Jewel-Structured Au/Pd Nanoclusters as Novel Catalysts for Aerobic Glucose Oxidation, *J. Nanosci. Nanotechnol.*, 査読有, **13**, 5405-5412 (2013).

DOI: 10.1166/jnn.2013.7463

[学会発表](計22件)

白石幸英, 古賀楓真, 浅野比, メチル化シクロデキストリンを用いた液晶バイオセンサーの開発, 第13回ホスト・ゲスト化学シンポジウム, 2015年6月6日, 東北大学(仙台市・宮城県)

野添裕央, 永徳宗汰, 浅野比, 白石幸英, 戸嶋直樹, ニッケル/パラジウム二元金属ナノ粒子の合成と、クラウン・ジュエル触媒への応用の検討, 日本化学会第95春季年会, 2015年3月28日, 日大理工学部船橋キャンパス(船橋市・千葉県)

白石幸英, 神崎天心, 浅野比, 戸嶋直樹, シクロデキストリンポリマーで保護した貴金属/ジルコニア複合ナノ粒子分散系液晶の電気光学特性, 日本化学会第95春季年会, 2015年3月27日, 日大理工学部船橋キャンパス(船橋市・千葉県)

白石幸英, 原田祐加里, 澤井寛哉, 小林駿介, 戸嶋直樹, フラーレン/シクロデキストリン保護貴金属ナノ粒子複合体の創製と液晶表示素子の電気光学特性, 第31回シクロデキストリンシンポジウム, 2014年9月11日, 島根県民会館(松江市・島根県)

岩田在博, 金丸真土, 高橋基, 石田浩一, 白石幸英, 戸嶋直樹, シラン還元法による銀ナノ粒子粉末製造技術の開発, 日本化学会第94春季年会, 2014年3月27-29日, 名古屋大学(名古屋市・愛知県)

N. Toshima, From Metal Nanoparticle Catalysts to Organic Thermoelectric Materials, The 3rd International Workshop on Green Innovation, March 10, 2014, Tokyo University of Science Yamaguchi (Japan). Invited Plenary Lecture.

Y. Nozoe, N. Toshima, Preparation of Trimetallic NP Catalysts for Oxidation of Glucose, The 3rd International Workshop on Green Innovation, March 10, 2014, Tokyo University of Science Yamaguchi (Japan).

白石幸英, ナノ粒子を用いた省エネ高性能液晶, 第31回無機材料に関する最近の研究成果発表会, 2014年1月27日, 東海大学校友会館(東京都), 招待講演.

澤井寛哉, 河野杏華, 垣内秀志, 大木妙子, 白石幸英, 戸嶋直樹, フィールドシークエンシャルカラー液晶表示素子におけるポリ(γ-シクロデキストリン)保護金ナノ粒子の粒径効果, 第64回コロイドおよび界面化学討論会, 2013年9月18-20日, 名工大(名古屋市・愛知県)

平川和貴,金子哲也,戸嶋直樹,銀および異種貴金属ナノ粒子の自発的複合化における活性化エネルギーの決定,第64回コロイドおよび界面化学討論会,2013年9月18-20日,名工大(名古屋市・愛知県)

川島慶介,戸嶋直樹,二元金属ナノ粒子触媒によるプロペンの溶液酸素酸化,第64回コロイドおよび界面化学討論会,2013年9月18-20日,名工大(名古屋市・愛知県)

N. Toshima, Recent Progress of Polymer-Protected Metal Nanoparticles for Material Conversion and Energy Conversion, 15th IUPAC International Symposium on Macro Molecular Complexes, August 13-16, 2013, Greenville (SC, USA), Invited Lecture.

〔図書〕(計6件)

米澤 徹,朝倉清高,幾原雄一 共編,ナノ材料解析の実際,講談社サイエンティフィック,2015年,印刷中.(分担執筆:白石幸英,ナノ粒子触媒評価,pp未定;戸嶋直樹,カロリメトリー,pp未定)

H. Ohshima, Ed., WILEY, Biocolloid and Biointerfacial Science, (2014), 印刷中. (Y. Shiraishi and N. Toshima, Syntheses of Metal Nanoparticles and Their Quenching Abilities of Active Oxygen Species, pp未定)

春田正毅 監修, (株)シーエムシー出版,「金ナノテクノロジー —その基礎と応用—」《普及版》,2014年,全361頁.(分担執筆:戸嶋直樹,第6章 多元系金ナノ粒子の調製,pp 85-96)

春田正毅 著,日本化学会編 共立出版,「ナノ粒子」(化学の要点シリーズ7),2013年,全135頁.(分担執筆:戸嶋直樹,コア・シェル構造を持つ多元系金属コロイド,pp 44-45)

米澤 徹,白石幸英 他40名, (株)シーエムシー出版,「金属ナノ・マイクロ粒子の最新技術と応用」,2013年,全237頁.(分担執筆:白石幸英,pp 39-44)

中野達也,戸嶋直樹 他103名共著,技術情報協会,「触媒の設計・反応制御 事例集」,2013年,全800頁.(分担執筆:戸嶋直樹,第6章第2節,金属ナノ粒子触媒の高活性化と副生成物の低減化,pp 342-347)

〔その他〕

ホームページ等

URL: <http://www.rs.tus.ac.jp/toshima/>

URL: <http://www.rs.tus.ac.jp/shiraishi/>

アウトリーチ活動情報(計16件)

戸嶋直樹,「ナノ」ってなぬ? ,サイエンスカフェ,2015年2月14日,山陽小野田市立図書館(山陽小野田市・山口県),一般市民を相手に解説

戸嶋直樹,「金ナノコロイド —実験で学ぶナノ粒子の性質と応用—」,県立山口高等学校 先端科学特別講義・実験,2014年12月12日と2013年12月6日,山口高等学校(山口市・山口県),理数科2年生を対象に3時間にわたり講義と実験指導

白石幸英,「世界で一番小さいカプセルの化学」,山口県高等学校教育研究会 理科・生物部会 防府地区研究協議会,2014年12月11日,山口東京理科大学(山陽小野田市・山口県),高校教員を対象に2時間にわたり講義

白石幸英,「イソジンをつかって、ウイルスより小さいGold粒子を作ってみよう」,山口県立宇部高等学校 先端科学特別講義・実験,2014年10月30日,山口東京理科大学(山陽小野田市・山口県),理数科2年生を対象に2時間にわたり実験指導

白石幸英,「スライムを作ろう」,小野田サンパーク かがく博覧会,2014年9月27日,小野田サンパーク(山陽小野田市・山口県),小中学生の来場者に実験指導

戸嶋直樹,ナノ材料のポテンシャルと事業化に向けた取組,次世代産業クラスター形成セミナー,2014年2月14日,山口県産業技術センター(宇部市・山口県) 約40人の民間企業人を相手に60分にわたりナノ粒子を用いる事業について解説

戸嶋直樹,金属ナノ粒子コロイド触媒のキャラクタリゼーションと高活性 Crown Jewel 触媒,触媒学会「第23回キャラクタリゼーション講習会」,2013年12月13日,九州大学筑紫キャンパス(春日市・福岡県),触媒学会主催の民間企業人と学生を相手にした講習会で50分の講演

戸嶋直樹,金属ナノクラスターの構造制御と新分野への展開,「元素ブロック」産学官連携シンポジウム,2013年12月12日,大工研(大阪市・大阪府),科研費新学術領域「元素ブロック」主催の一般人を相手にしたシンポジウムで120人を相手に講演

戸嶋直樹,ナノの化学—身近な材料で金ナノ粒子を作ろう(講義と実験実習),理科教員のためのリカレントセミナー(化学),2013年10月19日,山口東京理科大学(山陽小野田市・山口県),31人の中・高校教師を対象に最新の理科の情報を教えるセミナーで講義と実習を指導

⑩ 白石幸英,「ウイルスより小さな白金粒子をつくってみよう」,サイエンスフェスタ in 佐賀,2013年9月28日,佐賀学園高校(佐賀市・佐賀県),100名程度の来場者に実験指導

6. 研究組織

(1) 研究代表者

戸嶋 直樹 (Naoki Toshima) 山口東京理科大学・工学部・教授

研究者番号: 50011010

(2) 研究分担者

白石 幸英 (Yukihide Shirashi) 山口東京理科大学・工学部・教授

研究者番号: 60289303