

令和元年6月25日現在

機関番号：54502

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06861

研究課題名(和文) 有機保護剤を利用したPt-Mナノ粒子の構造制御とヘテロ構造化による触媒機能の向上

研究課題名(英文) Synthesis of Pt-based bimetallic nanoparticles with heterostructure for improvement of alcohol oxidation properties

研究代表者

久貝 潤一郎 (KUGAI, Junichiro)

神戸市立工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：80617134

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：液相法による炭素担持Pt系二元系ナノ粒子の合成において有機保護剤分子を加えることで粒子構造や組成を制御した。20～30重量%の高い白金担持量であっても炭素鎖の長いカルボン酸やホスフィン酸を保護剤として添加することによって1～2 nmの白金や合金の微粒子が炭素上に高分散に担持できることを見出した。保護剤の作用メカニズムをシミュレーションによって明らかにした。ホスフィン酸を添加して得た触媒は2-プロパノール酸化反応において反応中間体の酸化に優れ、CuがPtに固溶した触媒は2-プロパノール分子の脱水素に優れる傾向を見出し、触媒設計の指針を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

20～30重量%の高い白金担持量で1～2 nmの白金または合金粒子を炭素上に高分散させる手法を見出したことは実用面での進歩である。各種の保護剤が白金表面に吸着し粒子を保護する現象を実験と理論(量子計算)の両面から探る手法は本研究の独創的な点であり、粒子保護のメカニズムに関する物理化学的な理解が進んだ。また、異なる保護剤を利用して得られる白金系ナノ粒子を用いて構造とアルコール酸化の素反応の特性を関係付けることができた。

研究成果の概要(英文)：Carbon-supported Pt-based bimetallic nanoparticles were prepared by a liquid-phase method using organic stabilizer additives for controlling the structure and composition of the nanoparticles. Even with 20-30 wt% of high platinum loading, platinum or platinum-based alloy nanoparticles of 1-2 nm in diameter highly dispersed on carbon support were obtained by adding long chain carboxylates or phosphinate. Understanding of the protection mechanism of small particles with stabilizer was deepened by computer simulation. Phosphinate-protected catalyst showed high oxidation current at a potential region of intermediate oxidation of 2-propanol while copper addition to platinum tended to show high current at the potential region of dehydrogenation of 2-propanol. These results help designing an effective catalyst.

研究分野：工学

キーワード：ナノ粒子 構造 触媒 液相還元 アルコール酸化 燃料電池

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) アルコール溶液を加熱還流してその中に含まれる金属イオンを還元する「アルコール還元法」や放射線を照射して溶液中にラジカルを発生させ金属イオンを還元する「放射線還元法」は、金属ナノ粒子の合成法の中でもナノ粒子の構造を容易に制御できるという特徴を持つ。ナノ粒子の構造特性は燃料電池の電極反応をはじめとする触媒作用に深く関与する。従って、これらの液相法におけるナノ粒子の生成プロセスを理解し構造を緻密に制御することは、エネルギーデバイスの高性能化に繋がる。

(2) ナノ粒子の構造は合成時の複数の因子に依存するものの、これらは結晶核の生成と核の安定化(核の成長等)の2つのプロセスに集約される。アルコールの還流や放射線の照射により原料溶液中に還元ラジカル種が発生し、これが金属イオンを還元して結晶核を生成させる。続いて結晶核の成長、担体への担持、金属イオンへの再酸化等が同時に進行する。結晶核生成プロセスでは還元ラジカルの種類や濃度が結晶核の濃度や最終生成物の構造・分散性に影響を与える。続く安定化プロセスは複雑で、条件因子が最終生成物の構造に与えるインパクトも大きい。

(3) 既に、 Fe_2O_3 や CeO_2 等の酸化物担体を分散させ Pt と Cu のイオンを加えた水溶液に、放射線を照射すると Pt-Cu 合金と酸化銅の二相からなる複合体が生成し、合成条件によって複合体の構造や化学状態を制御できることを見出している。例えば、原料水溶液に SO_4^{2-} イオンを含ませるとこれが担体とナノ粒子の相互作用を阻害し数 nm に成長した Pt-Cu 合金粒子が酸化銅と共に析出する。 SO_4^{2-} イオンを含まない場合、生成した金属の結晶核が担体と相互作用し 1 nm 程度の微細な Pt 粒子と酸化銅が生成する。この構造の違いは触媒性能にも影響し、前者は酸化活性が劣るものの水素中の微量の一酸化炭素(CO)を選択的に酸化でき、後者は酸化活性が高いが選択性に乏しく水素が燃焼する。

(4) 放射線還元法で炭素担持 Pt-Cu 触媒や Cu 触媒を合成し、合成時に添加する還元助剤(アルコール)の種類により粒子構造が異なることも見出している。還元助剤は放射線を照射した際に発生する酸化性ラジカルをトラップする目的で加えられるが、このアルコールの酸化生成物は粒子保護剤として機能する。還元助剤として 2-プロパノールを用いるよりもエチレングリコールを用いた方が微細で Cu が良く固溶した Pt-Cu 合金や酸化銅を含まない Cu 単元ナノ粒子が得られる。

2. 研究の目的

(1) 還元助剤のアルコールの分子構造により、Pt-Cu ナノ粒子のサイズや合金組成が変わることから、カルボン酸類等の有機保護剤の分子構造の影響を詳細に調べ、これをナノ粒子構造の制御に応用することを着想した。本研究の目的は、触媒合成時に添加する有機保護剤の構造、即ち保護剤分子が金属表面に吸着する際の電子的・立体的効果と得られるナノ粒子の構造との関係から粒子構造を決める因子を抽出し、Pt をベースにした二元系ナノ粒子の構造を制御する方法を確立することである。また、得られた知見を応用して組成やサイズの異なる異種粒子を同一担体上に共存させて触媒の高機能化を図る。

(2) 更に、得られた粒子の構造特性とアルコール酸化特性との相関から、アルコール酸化反応におけるキーステップ(C-C 結合の切断、脱水素、炭素フラグメントの酸化等)を支配する触媒構造特性を明らかにし、高性能な触媒の設計に繋げることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 炭素担持白金系二元ナノ粒子は、0.6 mmol/L 金属イオンと炭素粉末を含むアルコール水溶液を沸点付近で加熱還流する「アルコール還元法」により合成した。Pt 担持量が 10 wt% または 30 wt% となるように炭素担体を測りとり、超音波照射によりメタノール水溶液(体積比= 1:1)中に分散させた。金属源として H_2PtCl_6 、 CuSO_4 、 $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ 、 RuCl_3 、 $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ を用いた。また、保護剤として 6 mmol/L のカルボン酸ナトリウム(ホスフィン酸ナトリウムの場合は 0.5 mmol/L)を添加した。カルボン酸塩の保護剤としてマロン酸(炭素数 3)、コハク酸(炭素数 4)、アジピン酸(炭素数 6)、スベリン酸(炭素数 8)、セバシン酸(炭素数 10)、クエン酸のナトリウム塩を用いた。その他、不飽和結合を含むアクリル酸やマレイン酸の塩、芳香環を含む安息香酸とそのクロロ置換体、フタル酸やアントラニル酸のナトリウム塩、更にはドデシルリン酸塩、ドデシル硫酸塩等のヘテロ原子を官能基に含む保護剤の効果も調べた。これらの原料を含む懸濁液に窒素ガスを通して溶存酸素を除去しながら、溶液を加熱し沸点の 73 °C 付近で 1 時間還流した。冷却後、粉末を濾過、洗浄、乾燥して炭素担持ナノ粒子触媒を得た。

(2) 加熱還流中の原料アルコール水溶液(炭素担体を含まない)の UV-VIS スペクトルの時間変化を調べるとともに、目視でも溶液の変化を観察した。炭素を含む原料懸濁液の上澄み組成を誘導結合プラズマ発光スペクトル(ICP-AES)で分析し、炭素に吸着した金属イオンの割合を求めた。触媒粉末の金属成分を王水に溶解した後これを水で希釈したものを ICP-AES で分析し化学組成を決定した。触媒の結晶構造を X 線回折法により分析した。触媒の形状を透過型電子顕微鏡

で観察した。触媒を構成する元素の分布を電子顕微鏡の暗視野像とエネルギー分散 X 線マッピングを併用して調べた。触媒中の金属成分の化学状態と局所構造を X 線吸収法で調べた。X 線吸収法を用いた実験は放射光施設 SPring-8 で実施した。

(3) 触媒のアルコール酸化反応特性を三極式セルとポテンシostatを用いてサイクリックボルタンメトリーとクロノアンペロメトリーにより評価した。触媒粉末の水性インクをガラス状炭素電極に塗布、ナフィオン膜で固定したものを作用極とし、Pt 線を対極、Ag/AgCl 電極を参照極とした。電解質には 0.185~1.0 mol/L のアルコールを含む 0.1 mol/L 硫酸水溶液を用いた。また、Pt の電気化学的表面積を一酸化炭素ストリッピングボルタンメトリーにより見積もった。

4. 研究成果

(1) カルボン酸系保護剤を用いた Pt 系ナノ粒子の合成

Pt 担持量が 10 wt%、Pt と Cu の元素比が 1:1 となるように Pt と Cu のイオンを仕込み、保護剤として炭素鎖長の異なる二価カルボン酸塩(マロン酸、コハク酸、アジピン酸のナトリウム塩)を原料水溶液に添加して加熱還流したところ、保護剤の炭素鎖が長くなるほど微細でよく分散した Pt-Cu 合金粒子が得られた。炭素担体の有無に関係なく同様の傾向が認められたことから Pt は担体上ではなく、液相中で還元され粒子を生成することがわかった。一方、Cu については保護剤の炭素鎖が長くなるほど、加熱還流前の原料溶液中に酸化銅とみられる白色の懸濁が顕著に認められたことから、液相中にイオンとして存在する Cu が多いほど Pt-Cu 粒子が凝集する傾向にあることがわかった。この理由は明らかになっていないが、Pt 格子内への Cu の拡散障壁の低さ(粒子の接触面で Cu が粒子内部に拡散しやすいこと)、または結晶成長の異方性(Cu が(111)面の方向に成長しやすいこと)が原因であると考えられる。

炭素担持 Pt-Cu ナノ粒子の元素分析の結果、保護剤を添加しない場合には仕込んだ Cu の一部しか担持されなかったが、保護剤を添加すると Pt とほぼ等モルの Cu が担持された。よって、保護剤には粒子サイズの抑制や分散性の向上だけでなく、Cu の溶出を抑制する効果もあることが明らかとなった。炭素に担持された Cu のうち Pt に固溶した Cu(金属 Cu)の割合は、保護剤の炭素鎖長に依存しなかったことから、原料中に酸化銅が析出している Pt 存在下で加熱還流すると合金を形成することがわかった。炭素に担持した酸化銅と Pt のコロイドを別々に調製し、これらを混合して加熱還流することによっても Pt-Cu 合金が生成することを確認した。

クエン酸塩を保護剤に用いると、Pt リッチな粒子が数個から十個程度集まった凝集体が生成した。加熱還流前の原料溶液には酸化銅が析出せず、Cu 原料はイオンとして溶けた状態であるが、マロン酸塩を用いた場合に比べて Pt 粒子に固溶する Cu が少なく、凝集体を構成する粒子の数も少なかった。クエン酸塩で安定化したコロイドは数日間にわたり安定に分散状態を保った。これらの現象は、クエン酸塩が粒子表面により強く吸着し、粒子表層での金属イオン(特に Cu イオン)の吸着・還元が抑制された結果であると結論できる。Pt-Cu 結晶の(111)面上のクエン酸塩の吸着構造を密度汎関数法によりシミュレートした。図 1 に示すように、カルボキシレート部位と水酸基を介した多座配位構造が安定であることがわかった。吸着によりカルボキシレートの C-O 結合長が 1.2 から 1.3 に伸び、Pt からカルボキシレートに電荷が移動することも明らかにした。

Pt 単元ナノ粒子についても同様に二価カルボン酸塩を添加して調製したところ、保護剤の炭素鎖長に依らず担体上に分散した粒子が得られた。液相中の Cu イオンが凝集体形成の原因であることを裏付けるものである。Cu イオンは主に Pt 表面で還元され、表面の Cu がバルクに拡散する過程で粒子同士の接触部分が融着しやすくなり、凝集体が形成されると推察される。

Pt-L₃ 端の X 線吸収スペクトルにより、いずれの試料においても Pt は金属状態で Cu と合

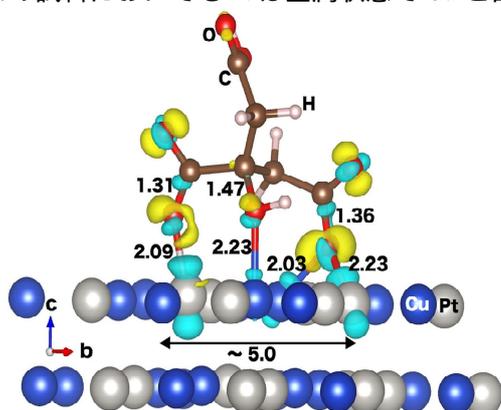


図 1 Pt-Cu 面に吸着したクエン酸イオンの構造

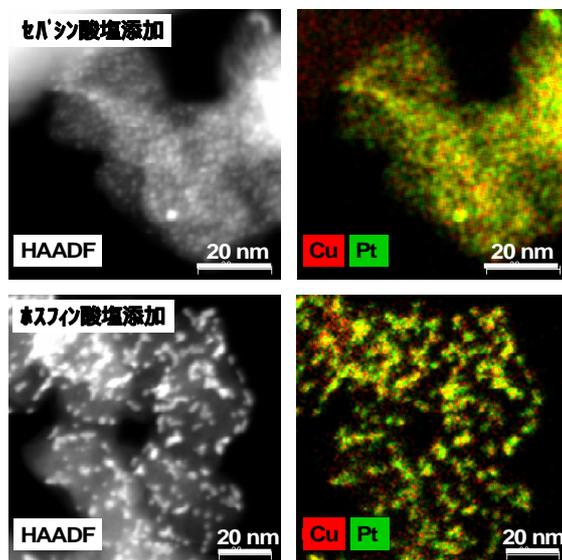


図 2 保護剤を添加して合成した Pt-Cu/C の伝顕像(左)と元素マッピング(右)

金を形成していることを確認した。一方、Cu-K 端のスペクトルは酸化銅のそれに近かったことから、Cu は比較的高い酸化状態にあることがわかった。二価の酸化銅が共存することに加え、Pt に固溶した Cu も電子軌道の混成により電子密度が低下することを示すものである。

(2) 高担持量 Pt 系ナノ粒子の合成

Pt 担持量が低いと微細な粒子を得易いが、燃料電池の電極触媒として用いる場合には触媒層が厚くなり、燃料やガスの拡散の制御が難しくなる。従って、実用には高担持量の Pt を高分散させることが望ましい。保護剤を用いて Pt 担持量を 20~30 wt% まで増量した触媒を調製した。Pt 単元系と Pt-Cu に加え、Pt-Ru、Pt-Co、Pt-Ni の組成の触媒を、カルボン酸塩及びホスフィン酸塩を保護剤に用いて調製した。炭素数が 8 以上のスベリン酸塩やセバシン酸塩等の炭素鎖が更に長いカルボン酸塩を保護剤に用いることによって、Pt 担持量を増やしても Pt-Cu の結晶サイズを 2 nm 以下に抑えられることがわかった(図 2)。Pt-Cu 以外の系ではいずれもホスフィン酸塩を保護剤に用いると炭素担体上に 2 nm 程度の微粒子が高分散に担持することも見出した。Pt-Cu は合金粒子と酸化銅の複合物、Pt-Ru は Pt 粒子と酸化ルテニウムの複合物、Pt-Co と Pt-Ni は Pt 粒子と少量の第二元素の酸化物で構成され、第二元素の還元電位と合金の熱力学的安定性の両方が合金形成の条件であることが確認できた。

(3) その他の保護剤の検討

不飽和脂肪酸の塩や芳香族カルボン酸塩は Pt と π 錯体を形成することが知られる。これらを添加すると Pt 塩が還元されにくくなることがわかった。H₂PtCl₆ とホスフィン酸塩や安息香酸塩を炭素粉末に染み込ませ乾燥させた後の X 線吸収スペクトルを測定した結果、Pt の第一配位元素との結合長は H₂PtCl₆ のそれに近かったものの Pt がより還元された状態となっており、Pt と保護剤の相互作用が示唆された。ポリマーはいずれも Pt コロイドの分散には効果を示したものの、X 線回折ピークの半値幅から見積もられる結晶サイズは大きく、微細化の効果は乏しかった。ドデシル硫酸塩やドデシルリン酸塩の Pt-Cu 粒子に対する保護効果は小さく、分子の大きさが必ずしも粒子の微細化に寄与するとは言えない。

(4) 保護剤を用いて合成した Pt-Cu ナノ粒子のメタノール酸化特性

Pt-Cu/C 触媒(Pt 担持量：約 10 wt%)の電気化学的表面積を一酸化炭素(CO)ストリッピング法により測定したところ、アジピン酸を添加して調製した触媒が最も大きく、次いでクエン酸、コハク酸、マロン酸を添加して調製した触媒の順となった。触媒表面に吸着した CO が酸化される電位はいずれの触媒においても約 0.7 V vs. Ag/AgCl であったが、炭素鎖の長いアジピン酸を添加して得た触媒の CO 酸化に伴う電流のピークにはテーリングが見られ、CO を強く吸着するサイトが多いことがわかった。メタノールの酸化活性をサイクリックボルタメトリーにより測定したところ、触媒の電気化学的表面積が大きいほど酸化電流の応答が遅く(電位走査方向にピークがシフトし)、メタノールや表面酸素を強く吸着することがわかった。

(5) 保護剤を用いて合成した Pt, Pt-Cu, Pt-Ru ナノ粒子の 2-プロパノール酸化特性

炭素担持 Pt, Pt-Cu, Pt-Ru 触媒(Pt 担持量:20~30 wt%)の一酸化炭素酸化特性と 2-プロパノール酸化特性を調べた。ホスフィン酸塩を保護剤として用い合成した触媒がスベリン酸塩を用いて合成した触媒よりも低電位で CO を酸化したことから触媒に残存したリンが CO の吸着力を弱めることが示唆された。Pt-Ru 触媒は Pt や Pt-Cu 触媒よりも更に低電位から CO の酸化が開始したことから、Ru は酸化物であっても CO の酸化を促進すると言える。図に 1 mol/L の 2-プロパノールを含む硫酸水溶液中でのサイクリックボルタモグラムを示した。正方向に電位を走査すると 0.3~0.4 V 付近に 2-プロパノールの酸化電流、0.6~0.7 V 付近に中間体の酸化電流、アセトン中間体の酸化電流と思われるピークが認められた。セバシン酸塩を保護剤として合成した Pt-Cu 触媒は 0.6~0.7 V 付近のピークが無く、表面が酸素に被覆されて中間体の酸化が進まないことが示唆された。負方向に電位を走査すると 0.5~0.6 V 付近に表面酸素の脱離に伴う酸化電流の回復が認められた。0.3 V 以下での電流は 2-プロパノールの脱水素によるものと考えられるが、これは触媒粒子のサイズや分散度に依存しなかった。Pt-Cu 触媒はこの電位域で比較的高い酸化電流を示すことから、2-プロパノールを弱く吸着するサイト(テラスサイトや Pt-Cu 表面)で脱水素が進むと考えられる。ホスフィン酸塩を保護剤として合成した Pt や Pt-Cu 触媒は電位走査方向に依らず電流ピークが高電位側にシフトしたことから、触媒に残存したリンが触媒表面に吸着する酸素種を活性化することが示唆された。

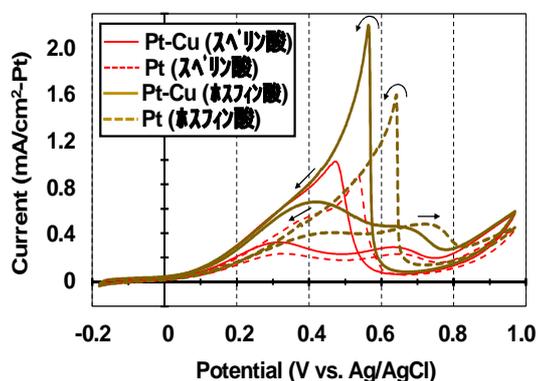


図 3 2-プロパノールの酸化特性 0.01 V/s, 30 , 1 mol/L 2-propanol + 0.1 mol/L H₂SO₄(aq)

(6) 電気化学酸化反応における反応物及び生成物の拡散の影響

反応物及び生成物の拡散の影響を探るため、回転電極装置を用いてメタノール酸化反応を行った。作用極を回転させると回転させない場合に比べて電流が低下した。回転により脱離した反応中間体が溶液に拡散するためであると考えられる。2-プロパノールの酸化反応でも同様の挙動が認められた。基質の脱水素を担う活性サイトと反応中間体の吸着・酸化を担う活性サイトを近傍に配置することにより触媒活性が高められることを示唆するものである。ギ酸の酸化反応では正方向への走査時にのみ回転によって電流値が低下し、負方向への走査時には電流値が回転数にほとんど依存しなかった。回転によりギ酸の酸化生成物である炭酸塩の濃度が低下して高電位域で触媒表面が酸化しやすくなった結果、電流が減少したと考えている。

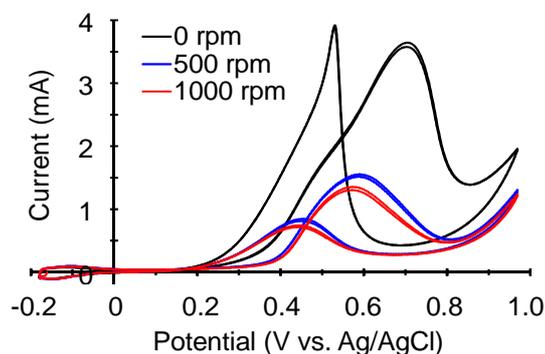


図 4 メタノール酸化電流の電極回転数への依存性 25 °C, 0.01 V/s, 1 mol/L methanol + 0.1 mol/L H₂SO₄(aq), TEC 10E50E 触媒

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

J. Kugai, T. Okazaki, S. Seino, T. Nakagawa, T.A. Yamamoto, S. Tanaka, Effects of carboxylate stabilizers on the structure and activity of carbon-supported Pt-Cu nanoparticles towards methanol oxidation, *Int. J. Hydrogen Energy*, 42 (2017) 2984-2995.
DOI: 10.1016/j.ijhydene.2016.12.064

T. Okazaki, S. Seino, J. Kugai, Y. Ohkubo, H. Nitani, T. Nakagawa, T.A. Yamamoto, Effect of metal ion location in reaction medium on formation process and structure of PtCu-CuO nanoparticles supported on carbon and γ -Fe₂O₃, *Journal of Nuclear Science and Technology*, 54 (2017) 472-480.
DOI: 10.1080/00223131.2017.1286268

T. Okazaki, S. Seino, Y. Matsuura, H. Otake, J. Kugai, Y. Ohkubo, H. Nitani, T. Nakagawa, T.A. Yamamoto, Effect of counterpart metals in carbon-supported Pt-based catalysts prepared using radiation chemical method, *Radiation Physics and Chemistry*, 133 (2017).67-71.
DOI: 10.1016/j.radphyschem.2016.12.020

J. Kugai, S. Seino, T. Nakagawa, T.A. Yamamoto, S. Tanaka, N. Taguchi, Comparison of stabilizer effects on the size, dispersion, and catalytic property of Pt, PtCu, and PtRu nanoparticles, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 18 (2018) 5738-5748.
DOI: 10.1166/jnn.2018.15437

〔学会発表〕(計 17 件)

本石祐輝, 久貝潤一郎, パラジウム系触媒の塩基性条件での蟻酸酸化活性, 日本化学会第 97 春季年会, 2017.3.16-19, 慶應義塾大学日吉キャンパス, 口頭発表

上垣直人, 久貝潤一郎, シリカ担持 Pt 系触媒の CO 選択酸化活性の CO 濃度依存性, 日本化学会第 97 春季年会, 2017.3.16-19, 慶應義塾大学日吉キャンパス, 口頭発表

清野智史, 大久保雄司, 久貝潤一郎, 中川貴, 山本孝夫, 放射線照射還元法による貴金属ナノ粒子担持材料の合成, 日本金属学会 2017 年秋期 (第 161 回) 講演大会, 北海道大, 2017.9.6-8, 口頭発表

久貝潤一郎, 清野智史, 中川貴, 山本孝夫, Pt 系ナノ粒子触媒の構造・形状と 2-プロパノール酸化特性, 第 120 回触媒討論会, 2017.9.12-14, 愛媛大学, 口頭発表

本石祐輝, 久貝潤一郎, Effect of non-noble and noble metal addition to Pd catalysts on formic acid oxidation, 日本化学会第 98 春季年会, 2018.3.20-23, 日本大学船橋キャンパス, ポスター発表

上垣直人, 久貝潤一郎, Effect of support structure and property of silica-supported Pt-Co catalyst on selective oxidation of carbon monoxide, 日本化学会第 98 春季年会, 2018.3.20-23, 日本大学船橋キャンパス, ポスター発表

細野悠風, 久貝潤一郎, 非有機電解質を用いた二次電池の開発, 神戸高専産金学官技術フォーラム'17, 2017.11.8, 神戸市産業振興センター, ポスター発表

樫本憲征, 久貝潤一郎, Ru-Ni/TiO₂ 触媒の一酸化炭素水素化特性, 神戸高専産金学官技術フォーラム'17, 2017.11.8, 神戸市産業振興センター, ポスター発表

Naoto Uegaki, Satoshi Seino, Junichiro Kugai, Shun Fujieda, Takashi Nakagawa, Takao A. Yamamoto, Synthesis of mesoporous silica supported noble metal nanoparticles using electron

beam induced reduction method, 日本化学会第 99 春季年会, 2019.3.18, 甲南大学, ポスター発表

田子恭介, 久貝潤一郎, CO メタン化反応における Ni/TiO₂ 触媒の担体物性の効果, 日本化学会第 99 春季年会, 2019.3.17, 甲南大学, 口頭発表

上垣直人, 清野智史, 久貝潤一郎, 藤枝俊, 中川貴, 山本孝夫, 放射線還元法によるメソポーラスシリカ担持貴金属ナノ粒子の合成, 第 7 回日本セラミックス協会 MFD 研究会, 2019.3.5, 東北大学, ポスター発表

田子恭介, 久貝潤一郎, 水素製造用 TiO₂ 担持 Ni 触媒の TiO₂ 構造の効果, 神戸高専産金学官技術フォーラム'18, 2018.11.14, 神戸市産業振興センター, ポスター発表

古川大秀, 久貝潤一郎, 燃料電池電極用の窒素含有炭素材料の合成, 神戸高専産金学官技術フォーラム'18, 2018.11.14, 神戸市産業振興センター, ポスター発表

濱田諭敬, 久貝潤一郎, 窒素を添加した炭素粉末の酸素還元特性, 神戸高専産金学官技術フォーラム'18, 2018.11.14, 神戸市産業振興センター, ポスター発表

田邊貴裕, 清野智史, 中川貴, 山本孝夫, 久貝潤一郎, 電子線還元法による PtCu/C ナノ粒子合成における担体への金属イオン吸着の影響, 日本セラミックス協会第 31 回秋季シンポジウム, 2018.9.7, 名古屋工業大学, 口頭発表

Yuki Motoishi, Junichiro Kugai, Satoshi Seino, Takashi Nakagawa, Takao A. Yamamoto, Effect of reduction temperature and second metal addition to Pd catalysts for formic acid electrooxidation, 8th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (TOCAT8), Yokohama Japan, 2018.8.5-10, Poster

久貝潤一郎, Pt 系ナノ粒子の構造制御と触媒機能の向上, 第 7 回 JACI/JSC シンポジウム, 2018.6.14-15, ANA クラウンプラザホテル神戸, ポスター発表

〔その他〕

ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：中川貴

ローマ字氏名：NAKAGAWA, Takashi

所属研究機関名：大阪大学

部局名：大学院工学研究科

職名：招へい教授

研究者番号 (8 桁): 70273589

研究分担者氏名：清野智史

ローマ字氏名：SEINO, Satoshi

所属研究機関名：大阪大学

部局名：大学院工学研究科

職名：准教授

研究者番号 (8 桁): 90432517

(2)研究協力者

研究協力者氏名：山本孝夫

ローマ字氏名：YAMAMOTO, Takao

研究協力者氏名：田中真悟

ローマ字氏名：TANAKA, Shingo

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。