

平成 26 年 4 月 26 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360354

研究課題名(和文)自己分散型クラスター・ナノ粒子による高耐久低温燃焼触媒の設計

研究課題名(英文) Design of long-life and high activity cluster/nano-particle automobile catalysts utilizing self-dispersion

研究代表者

薩摩 篤 (Satsuma, Atsushi)

名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00215758

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円、(間接経費) 4,170,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は金属ナノ粒子・ナノクラスターの自己組織化を制御し、長寿命・低温活性触媒設計のための戦略を提案することである。成果として、(1) CeO₂担体上のPd, Ag, Ruが加熱条件でナノサイズの粒子に再分散する挙動とその機構を明らかにし、(2)動作温度域を下げるためには金属の還元促進と酸素吸蔵放出能が鍵であり、(3)この知見から既存のPd/Al₂O₃触媒に比べてCO酸化反応温度域が約100℃低温化したPd/TiO₂/CeO₂を開発した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to clarify the strategy for the long-life automobile catalyst having higher activity at low temperature, controlling the self-assembly of metal nanoparticles and nano clusters. The following results are obtained: (1) the self-dispersion of Ag, Ru, and Pd over CeO₂ surface and its mechanism are clarified, (2) the key factors for the higher catalytic activity at low temperatures are reducibility of metals and oxygen storage and release properties of supports, (3) based on the result (2) we developed Pd/TiO₂/CeO₂ which shows the CO oxidation activity 100 °C lower than ordinary Pd/Al₂O₃ catalyst.

研究分野：触媒・資源化学プロセス

科研費の分科・細目：触媒機能解析

キーワード：自動車触媒 酸素吸蔵放出能 低温動作 長寿命 金属再分散 in-situ分析 セリア チタニア

科学研究費補助金研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

近年、自動車のアイドリングストップ機能やハイブリッド車のような低燃費技術が進歩している。しかし、このような自動車ではエンジン on-off の繰り返しにより、排ガス温度が低下するため、自動車触媒の作動温度の低温化の必要性が高まっている。なおかつ、過酷な動作環境（800～1000℃）でも劣化を抑えて必要な金属使用量を削減することも求められている。

このような実社会での自動車触媒への高耐久性と低温活性向上への要求に対して、本申請研究は次の學術背景を持って臨んだ。先ず、申請者らは Ag クラスタ・ナノ粒子の特異的な触媒作用を発見していた。具体的には Ag が 4～8 個程度集合したクラスタの形成により、炭化水素による NO 還元反応の活性は劇的に向上する。また、申請者らは予備的な検討により反応場での自己分散現象により金属クラスタ・ナノ粒子が自発的に形成する例を見いだしていた。さらにクラスタおよび反応機構を解析する手法として、固体表面のダイナミクスを解析する必須ツールである、in-situ UV-Vis を開発し、また in-situ FT-IR, in-situ EXAFS, さらに FT/IR を用いた operando 分析の経験と実績を有していた。

以上の背景により本研究を立案し遂行した。

2. 研究の目的

本研究では担持金属触媒において酸化物担体と反応雰囲気との適切な制御により発現する自己分散現象を解明し、その知見を応用して長寿命・低温活性触媒設計のための戦略を提案する。本研究では(1)科学的な価値と、(2)工学的な価値の 2 つの方向において、次の課題を達成目標とした。

(1)自己分散現象を制御するための担体および金属粒子の構造因子の解明：自己分散現象の機構を解明するため、酸化物担体と担持金属の物性に対して相関性を明らかにする。

(2)自己分散型クラスタ・ナノ粒子触媒の高耐久・低温燃焼触媒への応用：自己分散型クラスタ触媒を自動車触媒を中心とする次の分野において応用し、有効性を示す。

3. 研究の方法

自己分散現象の機構を解明するため、酸化物担体（酸塩基、酸化還元、格子欠陥、融点など）と金属の物性（酸化還元、酸化物の熱分解温度、融点など）に対して相関性を明らかにし、制御の方法を提案する。また、応用として PM, CO, 炭化水素の燃焼等への最適化を目指した。

平成 23 年度：(1)自己分散現象を制御するための構造因子の解明と、(2)高耐久・低温燃

焼触媒への応用を目的として Ag/CeO₂, Ag/SnO₂ を用いたカーボン燃焼を検討した。

平成 24 年度：前年度の結果を受けて、金属が分散するための機構について Ru/CeO₂ をモデル触媒として明らかにする。また、耐久性と低温活性を両立する触媒系を検討する。

平成 25 年度：低温燃焼触媒活性を向上させるため、(1)制御因子を解明し、(2)その知見を元に 100℃ 以下での燃焼触媒活性の向上を実現する。この成果は近年普及が著しい低燃費車への応用が期待される。

4. 研究成果

(1) 自己分散制御因子: Ag 担持触媒による PM 燃焼

ディーゼルエンジン排気ガスに含まれる PM (Particulate Matter, 粒子状物質) を排気ガス温度(300℃ 程度)で連続除去することが望まれている。本研究では、Ag 粉と CeO₂ を物理混合後に焼成処理した混合触媒が、Ag が微粒化することで担持触媒に近い触媒活性をもつことを見出した。Ag の微粒化は n 型半導体担体の酸素欠陥に起因することを明らかにした。

反応評価では触媒と CB (Carbon Black, 三菱化学 MA-7) の物理混合物の TG-DTA 曲線を測定した。DTA 曲線の最大値を示す温度を T_{max}, 重量減少開始温度を T_i と定義し触媒活性を比較した。Ag 粉の T_{max} は 455℃ であり、CeO₂ の T_{max} は 371℃ であった。物理混合後に焼成処理した Ag+CeO₂ の T_{max} は 300℃ であり、Ag/CeO₂ (T_{max} = 269℃) に近い活性を示した。CeO₂ だけでなく SnO₂ を担体として用いた場合も、同様に燃焼温度 T_{max} の低温化が見られた。

表 1. 金属酸化物の生成エンタルピー変化(ΔH), 電気陰性度 (E.N.), 半導体性と活性温度変化(ΔT).

Catalyst	H ^a (kcal/mol)	E.N. ^b	p/n	T (°C)
CeO ₂	130.7	2.32	n	-64
TiO ₂	107.1	2.50	n	-47
ZrO ₂	129.3	2.43	n	-47
ZnO	83.4	2.39	n	-54
SnO ₂	69.1	2.73	n	-49
Nb ₂ O ₅	N.A.	2.56	n	-19
Co ₃ O ₄	49.0	2.54	p	9
NiO	58.4	2.45	p	11
La ₂ O ₃	179.7	2.12	-	1
SiO ₂	101.5	2.74	-	-3
Al ₂ O ₃	133.0	2.45	-	10
CaO	151.7	1.89	-	1
MgO	143.8	2.06	-	41

金属酸化物担体の役割を調べるために、 CeO_2 や SnO_2 以外の金属酸化物を担体に用いて同様の反応を行い、物理混合触媒の焼成前後における T_{max} の差を T と定義し比較した(表 1)。 TiO_2 , ZnO , ZrO_2 や Nb_2O_5 などの T_{max} が低温化したグループと、 SiO_2 などの低温化が見られないグループに分けられた。

物理混合後の焼成処理による燃焼温度の低温化 ($T < 0$) は、金属酸化物の標準生成エンタルピー H や電気陰性度とは無関係であり、 n 型半導体性を持つ酸化物のみで観察された。 n 型半導体は酸素欠陥を生成しやすいため、本系における酸素欠陥の寄与が示唆される。

TEM により $\text{Ag}+\text{CeO}_2$ 触媒の Ag 粒子径を観察したところ、未焼成の $\text{Ag}+\text{CeO}_2$ 触媒は Ag が平均粒子径 $66 \pm 46 \text{ nm}$ の粒子からなり、大きな Ag 粒子(約 400 nm)も確認された。一方、 500°C , 3h 焼成後の $\text{Ag}+\text{CeO}_2$ は平均粒子径 $7.6 \pm 1.4 \text{ nm}$ の Ag ナノ粒子のみが存在し、分散していない Ag 粒子は観測されなかった。 SnO_2 , TiO_2 , ZnO の n 型半導体酸化物でも Ag 粒子の微粒子化が観測されたが、 SiO_2 , MgO , Al_2O_3 では Ag の微粒子化はほとんど観測されなかった。 Ag の微粒子化が活性向上因子であることが示された。

焼成温度の異なる CeO_2 を用いて $\text{Ag}+\text{CeO}_2$ を調製した。焼成温度の上昇に伴い比表面積が減少するのに対し、着火温度 T_i は $500 \sim 1000^\circ\text{C}$ の間で緩やかに上昇し、 1100°C , 20 h 焼成した CeO_2 では T_i が著しく上昇した。一般に、焼成温度が上昇すると CeO_2 の酸素欠陥数は減少することが知られている。 CeO_2 の酸素欠陥数が減少することにより、着火温度 T_i が上昇したと解釈される。実際、酸素欠陥量を 77 K での吸着酸素における O_2 の ESR シグナル強度により見積もったところ、 T_i の焼成温度による変化と挙動が一致した。担体表面の酸素欠陥が Ag の自己分散の制御因子であることを明らかにした。

(2) 熱耐久性の向上: Ag/SnO_2 による PM 燃焼

先に示した Ag/CeO_2 触媒は PM 燃焼に有望な触媒の一つであるが、 800°C 以上の高温負荷では Ag が凝集し失活する問題がある。本研究は、 Ag/SnO_2 触媒が高活性であり、かつ高温耐久性を有する触媒であることを見出した。また、 Ag/SnO_2 触媒の高温耐久性が発現する機構について検討した。

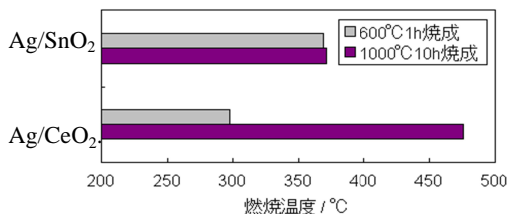


図 1. Ag/SnO_2 と Ag/CeO_2 の CB 燃焼活性(T_{max}).

Ag/SnO_2 触媒と Ag/CeO_2 触媒を用いたときの CB 燃焼温度を図 1 に示す。 Ag/SnO_2 触媒は 400°C 以下で CB を燃焼させる触媒であることが分かった。また、 1000°C 焼成後に著しく活性が低下した Ag/CeO_2 触媒とは異なり、 1000°C 焼成後でも高活性を維持した。

Ag/SnO_2 触媒において、酸化・還元処理を繰り返し行った(表 2)。XRD, EXAFS より、 Ag/SnO_2 触媒では還元処理によって金属間化合物 Ag_3Sn が形成したことが確認された(処理 2)。また、このとき CB 燃焼活性は大きく低下した。再酸化処理後には、 Ag_3Sn 結晶相は消失し、 10 nm 程度の金属 Ag 粒子が再分散したことが XRD より確認され、還元前よりも高い活性を示した(処理 3) さらに還元、酸化を繰り返し行ったときには活性を維持した(処理 5)。すなわち、 Ag/SnO_2 触媒は、CB 燃焼において図 2 に示すような自己再生機能を有した触媒であり、この特性により高温耐久性が発現すると結論した。

表 2 Ag/SnO_2 の CB 酸化活性 (T_{max}) と結晶相.

800 $^\circ\text{C}$ での処理	T_{max} ($^\circ\text{C}$)	結晶相
1. $20\% \text{ O}_2$	368	-
2. $1\% \text{ H}_2$	488	$\text{Ag}_3\text{Sn}, \text{Sn}$
3. $10\% \text{ O}_2$	334	Ag
4. $1\% \text{ H}_2$	-	-
5. $10\% \text{ O}_2$	339	Ag

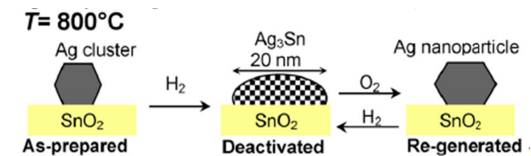


図 2. Ag/SnO_2 の再生メカニズム.

(3) Ru/SnO_2 上での Ru の自己分散過程

本研究では Ru と CeO_2 担体を物理混合で調製した触媒が、 Ru 金属粒子が自己分散現象をすることを見いだした。さらに、その機構を Raman 分光で検討した。

$\text{Ru}+\text{CeO}_2$ 物理混合触媒は、平均粒子径 30 nm の Ru 金属粉末($2\text{wt}\%$)と CeO_2 粉を乳鉢で 10 min 混合した後、 700°C , 1 h 焼成した。 CO 酸化活性を測定したところ、 $\text{Ru}+\text{CeO}_2$ 触媒の活性は代表的な酸化触媒である $\text{Pt}/\text{Al}_2\text{O}_3$ より高く、低温領域では Pt/CeO_2 の活性に匹敵した。 Ru の粒子径を CO 吸着と XRD から求めたところ、混合前では Ru 金属粉末の平均粒子径は 30 nm であったものが、 CeO_2 担体上では 2.0 nm (分散度 56%)となり、 Ru の自己分散に応じた CO 酸化活性の向上が観察された。焼成条件において、in-situ Raman 分光では $\text{Ru}-\text{O}-\text{Ce}$ に帰属されるバンドが $690, 963$

cm⁻¹に観察され、XANESからはRuが担体との接触面と外表面において酸化されていることが示唆された。以上より Ru + CeO₂ の高いCO酸化活性は、焼成中にRuの酸化とRu-O-Ce結合の形成による自己分散により引き起こされ、その結果として高いCO酸化活性が発現することが示された。

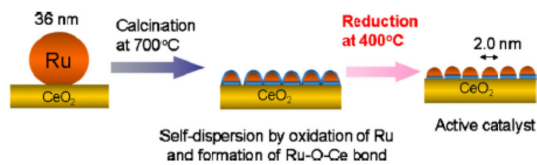


図3. CeO₂担体上でのRuの自己分散過程

(4) 高温での再生能力と高いCO酸化活性を持つAg/Al₂O₃触媒

本研究では銀粉とγ-Al₂O₃の混合物を原料として合成した触媒が高い耐熱・耐redox安定性を示し、CO酸化に高い活性を示すことを見出した。

Ag粉(5wt%)とγ-Al₂O₃を乳鉢で混合した粉体を所定の温度で酸化還元処理した。混合触媒の各調製過程でのHAADF-STEM像とそのCO酸化活性の温度変化を図4に示す。試料を空气中1000℃で焼成すると(試料C)、XANESはAg⁺種に特徴的な吸収(25516 eV)を示した。担体はθ-Al₂O₃に変化した。固相反応によりAg⁺イオンがθ-Al₂O₃上に高分散したアルミネート種が生成することがわかった。表面ルイス酸点をAl³⁺と酸素欠陥のペアサイト(Al³⁺-□)と考えると、以上の結果は反応(1)によりAgの分散化が進行すること示している。Ag⁰ + Al³⁺-□ + 1/2 O₂ → Al³⁺-O⁻-Ag⁺ (1)。

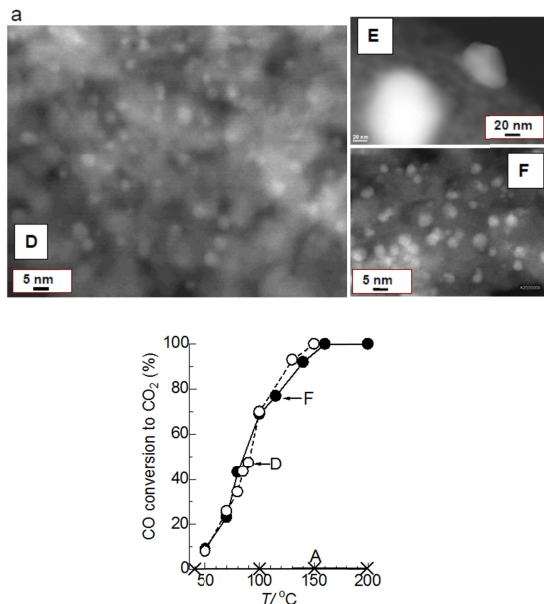


図4. 各種処理後のAg5+Al₂O₃のHAADF-STEM像とCO酸化反応結果。処理の詳細は文章参照。

試料Cを300℃で水素還元した試料DのSTEM像(図4D)には0.8~5nmのAgクラスターがみられ、EXAFSのAg-Ag配位数(6.0)より見積もった平均粒子径は0.9nmであった。試料DはCO酸化反応に高い活性を示した。試料Dを900℃で水素還元した試料EのXRDには金属Agの回折線が現れた。STEM像(図4E)には100nm程度のAg粒子もみられるが、XRDより見積もったAgの平均粒子径は20nmであった。CO酸化活性も70%から10%に低下した。この劣化触媒(試料E)を空气中1000℃で再焼成(0.5h)すると、試料Cと同様のアルミネート種に特徴的なEXAFS、XANESを示した。これを300℃で水素還元した試料FのSTEM像には5nm以下の微粒子のみが見られた。EXAFSのAg-Ag配位数(6.1)は劣化前(試料D)と同等の値を示し、触媒活性も回復した。以上より、一端シンタリングしたAg粒子が高温酸化雰囲気下での反応(1)による再分散化を経て、ナノクラスター構造と活性が可逆的に回復することが示された。

Au触媒やPt触媒もCO酸化に高い活性を示すことが知られるが、同様の高温処理により著しく失活したのに対して、Ag+Al₂O₃触媒は高い活性を維持した。Ag+Al₂O₃は高温酸化処理、高温酸化還元処理後に従来触媒と比べて極めて高い活性を示す触媒である。

(5) 担持Pd触媒の低温燃焼活性:活性制御因子の解明

ここでは、担持Pd触媒の低温度域でのCO酸化において(1)Pdの還元性と(2)酸素吸蔵能(Oxygen Storage Capacity, OSC)が活性制御因子であることを明らかにした。

CO酸化反応活性を比較したところ、Pd/Al₂O₃、Pd/ZrO₂での着火温度はそれぞれ140、160付近であるのに対してPd/CeO₂、Pd/TiO₂の着火温度は100以下であった。表3に無酸素CO雰囲気下での昇温還元(CO-TPR)結果を示す。Pd/Al₂O₃、Pd/ZrO₂では単一の還元ピークがそれぞれ141、176に観察された。Pd/CeO₂、Pd/TiO₂では還元ピークは2つあり、第1ピークは106付近に観察された。還元ピークの温度は着火温度と概ね一致しており、CO酸化反応中に低温でPdが還元され金属状態を形成しやすいことが触媒活性を向上させる一つの因子であることを示している。Pd/CeO₂とPd/TiO₂では還元ピーク温度はほとんど変わらないが、CO酸化活性はPd/CeO₂が高く、Pdの価数以外の要因も示唆された。

CO-TPRにおいて、Pd/Al₂O₃、Pd/ZrO₂ではCO₂生成量はPdO + CO → Pd + CO₂の量論量(0.097 mmol g⁻¹)と一致した。一方、

Pd/CeO₂ と Pd/TiO₂ ではこの値を超えていたことから、担体の還元も起きていることが確認された。表 3 には CO 酸化反応における反応次数を示す。Pd/Al₂O₃ 上での CO 酸化反応は CO に対して反応次数は負であり、CO 吸着による自己被毒を示唆している。一方、Pd/CeO₂ と Pd/TiO₂ では CO に対する次数は正であり、CO 被毒が回避されている。また、O₂ に対する次数は 0.5 より小さい。CO-TPR の結果とも併せると、CeO₂ と TiO₂ 担体上では Pd 表面が CO で被毒されても、担体の OSC 能により酸素が担体側から供給されるため低温でも CO 酸化が進行することを示している。担持 Pd 触媒の低温活性向上には(1)低原子価の Pd の形成と、(2)担体の OSC 能の 2 つの因子の制御の必要性が示された。

表 3. 担持 Pd 触媒における CO-TPR の結果と CO 酸化反応における反応次数。

Catalyst	CO-TPR		Order of reaction	
	Temp. / °C	CO ₂ * / mmol g ⁻¹	[CO] ^m	[O ₂] ⁿ
Pd/CeO ₂	106	0.39	0.22	0.24
Pd/TiO ₂	106	0.16	0.01	0.31
Pd/Al ₂ O ₃	149	0.10	-0.38	0.53
Pd/ZrO ₂	176	0.10	-0.40	0.32

*生成CO₂量。

(6) 担持 Pd 触媒の低温燃焼活性: 低温活性促進のための担体設計

(5) で得られた知見を用いて低温活性をさらに促進する担体を設計した。図6にPd/MO_x触媒上でのCO転化率の温度依存性を示す。

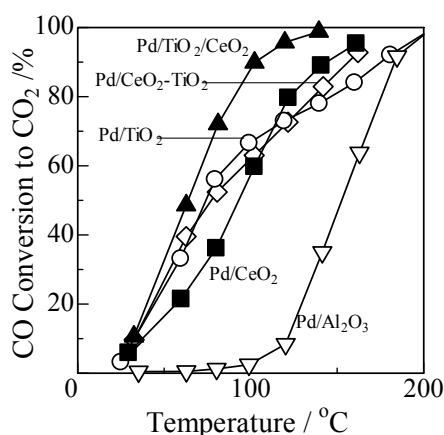


図5. Pd/MO_x触媒のCO転化率の温度依存性。

Pd/CeO₂ は Pd/Al₂O₃ に比べて反応温度域が約 50 低く、担体の OSC が反応温度の低温化に有効であることを示している。担体が TiO₂ の場合、更に 100 以下の低温での活性が向上したが、一方 100 以上における活性はむしろ

Pd/CeO₂ よりも低下した。In-situ Raman 及び TG-DTA で触媒の酸化還元挙動を観察したところ、Pd/TiO₂ は低温での担体表面の酸素放出速度が速いが、高温での吸蔵放出量は Pd/CeO₂ よりも低いことがわかった。TiO₂ の表面における酸素放出の速さと、CeO₂ のバルクの OSC の高さを両立をするため、CeO₂ に TiO₂ を 5.4 wt% 担持した担体 (TiO₂/CeO₂) を調製した。100 以下および 100 以上の広い温度域で高い CO 酸化活性を示す Pd/TiO₂/CeO₂ 触媒を得ることができた。

4. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 14 件)

1. K. Shimizu, K. Sawabe, A. Satsuma, Self-Regenerative Silver Nanocluster Catalyst for CO Oxidation, ChemCatChem, 3 (2011). 1290–1293 DOI: 10.1002/cctc.201100122
2. K. Shimizu, H. Kawachi, S. Komai, K. Yoshida, Y. Sasaki, A. Satsuma, Carbon Oxidation with Ag/Ceria Prepared by Self-dispersion of Ag Powder into Nano-particles, Catal. Today, 175 (2011) 93-99. DOI: 10.1016/j.cattod.2011.03.053
3. K. Shimizu, M. Katagiri, S. Satokawa, A. Satsuma, Sintering-resistant and self-regenerative properties of Ag/SnO₂ catalyst for soot oxidation, Appl. Catal. B: Environ. 108-109 (2011) 39-46. DOI: 10.1016/j.apcatb.2011.08.003
4. K. Shimizu, T. Oda, Y. Kamiya, H. Yoshida, A. Satsuma, Quantitative determination of average rhodium oxidation state by a simple XANES analysis, Applied Catalysis B, 111-112 (2012) 509-514. DOI: 10.1016/j.apcatb.2011.11.002
5. K. Shimizu, A. Satsuma, Silver Cluster Catalysts for Green Organic Synthesis, J. Jpn. Petro. Inst., 54, 347-360 (2011). DOI: 10.1039/C2CY00422D
6. Q. Lin, K. Shimizu, A. Satsuma, Kinetic analysis of reduction process of supported Rh/Al₂O₃ catalysts by time resolved in-situ UV-vis spectroscopy, Appl. Catal. A: Gen., 419-420 (2012) 142-147. DOI: 10.1016/j.apcata.2012.01.021
7. K. Shimizu, Y. Kamiya, K. Osaki, H. Yoshida, A. Satsuma, The Average Pd oxidation state in Pd/SiO₂ quantified by L₃ edge XANES analysis and its effects on catalytic activity for CO oxidation, Catal. Sci. Technol., 2, 767-772 (2012). DOI: 10.1039/c2cy00422d
8. M. Tamura, K. Shimizu, A. Satsuma,

- Comprehensive IR study on acid/base properties of metal oxides, Appl. Catal. A: General, 433-434 (2012) 135-145. Do DOI:10.1016/j.apcata.2012.05.008
9. A. Satsuma, R. Sato, K. Osaki, K. Shimizu, Unique effect of surface area of support on propene combustion over Pd/ceria, Catal. Today, 185, (2012) 61-65. Doi: 10.1016/j.cattod.2011.07.028
 10. A. Satsuma, M. Yanagihara, J. Ohyama, K. Shimizu, Oxidation of CO over Ru/Ceria prepared by Self-dispersion of Ru Metal Powder into Nano-sized Particle, Catal. Today, 201 (2013) 62-67. DOI: 10.1016/j.cattod.2012.03.048
 11. A. Satsuma, K. Osaki, M. Yanagihara, J. Ohyama, K. Shimizu, Activity Controlling Factors for Low-Temperature Oxidation of CO over Supported Pd Catalysts, Appl. Catal. B: Environ., 132-133 (2013) 511-518. DOI: 10.1016/j.apcatb.2012.12.025
 12. M. Tamura, A. Satsuma, K. Shimizu, CeO₂-catalyzed nitrile hydration to amide: reaction mechanism and active site, Catal. Sci. Tech., 3 (2013) 1386-1393. DOI: 10.1039/c3cy00033h
 13. K. Sawabe, Y. Yoshikawa, A. Satsuma, Density-functional theoretical study on the role of Lewis and Brønsted acid sites on CeO₂(110) surfaces for nitrile hydration, Top. Catal., in press. DOI 10.1007/s11244-014-0274-8
 14. Y. Mahara, H. Ishikawa, J. Ohyama, K. Sawabe, Y. Yamamoto, S. Arai, A. Satsuma, Enhanced CO Oxidation Activity of Ni@Ag Core-Shell Nanoparticles, Chem. Lett., in press. DOI: 10.1246/cl.140165

〔学会発表〕(計46件)

1. 薩摩篤, 環境触媒(招待講演), 第五回触媒道場, 2011/9/5-6, 関西セミナーハウス(京都市).
2. A. Satsuma, K. Sawabe, K. Shimizu, Ag cluster as an effective catalyst for selective NO_x reduction and green chemical reactions(招待講演), 2011 KICHe Fall Meeting "Global Frontiers in Catalysis and Adsorption Symposium, 2011/10/27, Incheon(Korea).
3. 薩摩篤, セリア担持触媒上での特異的な金属-担体相互作用(招待講演), 触媒学会西日本支部 広島地区講演会, 2011/11/15, 広島大学工学部(東広島市).
4. 薩摩篤, 自動車触媒における金属-担体相互作用に基づく構造変化 (招待講演), 材料表面改質トライアルコア研究会,

2012/11/13, あいち産業科学技術総合センター(刈谷市).

5. 薩摩篤, クリーンディーゼル触媒開発のための放射光利用 (招待講演), 第26回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 2013/1/12, 名古屋大学(名古屋市).
6. 薩摩篤, 貴金属担体・固体ルイス酸としての酸化セリウムのユニークな性質(招待講演), 日本希土類学会第31回講演会, 2013/11/15, ホテル ルブラ王山(名古屋市).
7. 薩摩篤, 大山順也, 金属ナノクラスター触媒の可能性 - バイオマス変換・燃料電池電極(招待講演), 第44回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2013/11/2-3, 静岡大学浜松キャンパス(浜松市).

他39件

〔図書〕(計4件)

1. 薩摩篤, 清水研一 他(分担執筆), NTS, 「触媒調製ハンドブック」(分担執筆), 2011, 702.
2. 薩摩篤 他(分担執筆), 技術情報協会, 触媒の設計・反応制御 事例集, 2013, 827
3. 大山順也, 薩摩篤 他(分担執筆), コロナ社, 太陽エネルギー社会を築く材料テクノロジー(II)-材料プロセス編-, 2013, 196.
4. 薩摩篤 他(分担執筆), 情報機構, in-situ測定/その場観察 事例集, 2013, 315.

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

研究室ホームページ

<http://www.apchem.nagoya-u.ac.jp/06-BS-6/satsumaken/index.html>

6. 研究組織

- 1) 研究代表者
薩摩篤 (SATSUMA ATSUSHI)
名古屋大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 00215758
- 2) 研究分担者
清水研一 (SHIMIZU KENICHI)
名古屋大学・大学院工学研究科・助教
(平成22年10月1日より北海道大学・触媒化学研究センター・准教授)
研究者番号: 60324000
大山順也 (OHYAMA JUNYA)
名古屋大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 50611597
沢邊恭一 (SAWABE KYOICHI)
名古屋大学・大学院工学研究科・講師
研究者番号: 80235473