

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20360361

研究課題名(和文) ナノクラスター化による銀触媒の新規機能発現

研究課題名(英文) Development of Novel Catalytic Functions of Ag Nano-Cluster

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

研究成果の概要(和文)：本研究では銀のナノクラスター、ナノ粒子の新たな触媒機能を明らかにし、次にかかげる新規触媒反応系を開拓した。(1)ディーゼルパーティキュレートの低温燃焼、(2)アルコールの選択的脱水素反応、(3)原子効率の高いワンポット C-C, C-N 結合形成反応、(4)ニトロ化合物の選択水素化。

研究成果の概要(英文)：In the present study, novel catalytic functions of Ag nano-cluster have been clarified and the following novel catalytic reaction systems have been developed: (1) Low temperature combustion of diesel particulate matter, (2) selective dehydrogenation of alcohols, (2) one-pot C-C and C-N bond formation with high atom-economy, and (4) selective hydrogenation of nitro-compounds.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	7,200,000	2,160,000	9,360,000
2009年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2010年度	2,400,000	720,000	3,120,000
総計	13,700,000	4,110,000	17,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：触媒・資源化学プロセス

キーワード：触媒反応, 触媒機能解析, グリーンケミストリ

## 1. 研究開始当初の背景

NO<sub>x</sub> 選択還元反応における発見：担持銀触媒は通常、炭化水素による NO 選択還元反応(HC-SCR)には 400°C以下の低温域でほとんど活性を示さないが、申請者らは水素共存下で銀がクラスター化して HC-SCR 活性が劇的に向上することを見いだしていた。この現象は”Hydrogen Effect”と呼ばれ、欧州の研究者・自動車メーカーも追試・研究がなされていた。

銀クラスターの反応機構：HC-SCR 反応における活性種が、図に示すような 4～8 個の Ag で構成されるサブナノサイズの Ag クラスターであることを in-situ UV-Vis, in-situ EXAFS により明らかにしていた。Ag クラスターが特異的な触媒活性を示す理由として、

①孤立 Ag が通常 0 価～1 価の酸化還元サイクルを持つのに対して、例えば 4 核のクラスターなら 0 価～4 価の酸化還元が可能となること、②クラスターから基質に供与できる電子数が限られるため例えば酸素の活性化では O<sub>2</sub><sup>-</sup>, O<sup>-</sup>などの活性酸素を形成できること、③クラスター化には Ag ヒドリドおよびプロトンが関与しているため、これらの化学種により例えば過酸化水素のような活性種を生じさせることを提案していた。

## 2. 研究の目的

本申請研究では銀をクラスター化することにより新たな触媒機能を引き出し、(1)ディーゼルパーティキュレートの低温燃焼、(2)

アルコールの選択的脱水素反応、(3)ワンポット C-C, C-N 結合形成反応、等において、Pt, Pd, Rh 等の希少貴金属に代わる新規触媒系を構築することを目的とした。

### 3. 研究の方法

以下に示す方法論を有機的に統合し、触媒反応機構を解明しながら触媒開発を進めた。

#### (1) 触媒探索・触媒設計

有機合成装置 ChemStation による効率的な触媒の探索、TG-DTA を用いたカーボン燃焼反応の活性測定、実験結果のフィードバックによる触媒および実験条件の最適化

#### (2) 触媒の基本的な構造分析

XRD, Raman, IR, XAFS, TEM によるナノクラスターの構造決定および調製した触媒の化学的性質(酸性質など)の測定

#### (3) 触媒反応のその場観察

In-situ IR, in-situ UV-Vis, in-situ EXAFS など触媒反応条件での触媒および触媒表面吸着種の観察により反応機構を解明した

#### (4) 計算化学による反応および活性種予測

実験化学では追えない触媒のミクロ構造、電子構造、あるいは反応の遷移状態などを計算し、触媒開発と機構解明にフィードバックさせた。

### 4. 研究成果

本研究は銀をクラスター化することにより新たな触媒機能を引き出し、白金系希少貴金属に代わる新規触媒系を構築することを目的として行われた。具体的には次にあげる様々な新規触媒反応を見いだした。さらに種々の分光学を用いて反応機構と Ag クラスターの役割を解明し、理論計算によって提案した機構の合理性を明らかにした。

#### (1) PM 低温燃焼反応

#### (2) 選択酸化反応 (アルコールの脱水素)

#### (3) One-pot C-C, C-N 結合形成

#### (4) 選択水素化反応

(1)の燃焼反応は 250°C 以上での固-気相反応であり、この温度領域では Ag ナノ粒子の酸素活性化能が有効に働くことが示された。

(2)~(4)の液相反応系においては基質からのヒドリドの引き抜きにより反応が開始され、このステップに Ag クラスターが有効に働く点で共通している。Ag クラスターサイズが小さいほどヒドリドの引き抜きに有利であり、1 nm 以下の Ag クラスターが極めて高い触媒活性を示す。これはメタルクラスターのエッジ、コーナーのサイトが特異的に触媒活性を発現することで説明できる。(5)の水素化の場合は、ヒドリド+プロトンのペアの作用により、C=C 二重結合よりも極性の高いニトロ基が選択的に水素化される。Ag クラスター

ーは極性のある水素イオンが関わる反応に対して、広範囲に適用可能であることが本研究全体の成果として示された。

以上のように本研究では、Ag のナノクラスター、ナノ粒子を用いた様々な新規触媒系を構築するとともに、触媒作用の本質を明らかにすることが出来た。詳細は以下にまとめた。

#### (1) PM 低温燃焼反応

ディーゼルエンジンはさらなる低燃費化が求められていることから、排出ガスに含まれる PM (Particulate Matter, 粒子状物質)を排出ガス温度で連続除去することが望まれている。低温での PM 燃焼に CeO<sub>2</sub> 系触媒が高活性を示すことが知られているが、実用には更なる低温着火が必要である。Ag<sub>2</sub>O は 300°C 以下で PM を燃焼可能な優れた量論酸化剤であるが、加熱により分解し Ag<sup>0</sup> となることで失活する。CeO<sub>2</sub> に Ag を担持した Ag/CeO<sub>2</sub> は CeO<sub>2</sub> よりも低温での PM 燃焼が可能である。排出ガスは 800°C 程度の高温にもなり得るため PM 燃焼触媒には高耐熱性も求められているが、貴金属を担持した金属酸化物触媒は加熱により貴金属がシンタリングし失活する。本研究では、Ag 粉と CeO<sub>2</sub> を物理混合後に焼成処理した混合触媒 (以下、Ag+CeO<sub>2</sub> 触媒と称す) が、Ag が微粒子化することで担持触媒 (以下、Ag/CeO<sub>2</sub> 触媒と称す) に近い触媒活性をもつことを見出した。種々の混合触媒を検討することにより、CeO<sub>2</sub> だけでなく n 型半導体の特性をもつ酸化物でも同様の効果が起きることを見出した。

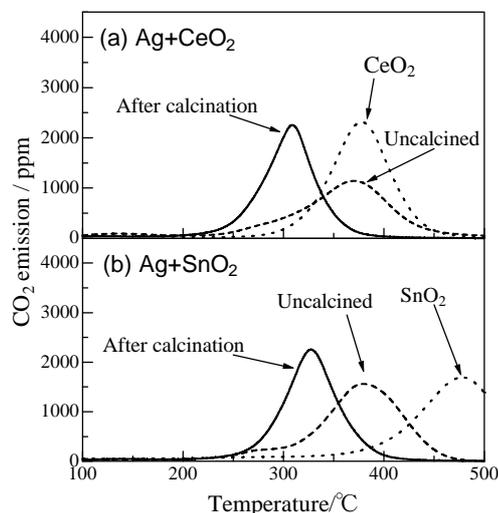


Fig. 1 CO<sub>2</sub> emission of PM combustion over (a) Ag+CeO<sub>2</sub> catalyst (b) Ag+SnO<sub>2</sub> catalyst.

実験結果を Fig. 1 に示す。Ag 粉の T<sub>max</sub> は 455°C であり、CeO<sub>2</sub> の T<sub>max</sub> は 371°C であった。物理混合後に焼成処理していない Ag+CeO<sub>2</sub> の T<sub>max</sub> は 365°C であり CeO<sub>2</sub> の場合と近い値を示したが、物理混合後に焼成処理した

Ag+CeO<sub>2</sub> の T<sub>max</sub> は 300°C であり, Ag/CeO<sub>2</sub> (T<sub>max</sub> = 269°C) に近い活性を示した (Fig.1(a)). 触媒活性は Ag 含有量が 20 wt% で最大となった. 種々の金属粉 (Pt, Cu, Pd) で同様に物理混合後, 焼成処理した触媒では, Ag に見られたような燃焼温度の低温化は見られなかった. 金属酸化物として CeO<sub>2</sub> だけでなく SnO<sub>2</sub> を用いた場合も, 同様に燃焼温度 T<sub>max</sub> の低温化が見られた (Fig.1(b)).

### (2) 選択酸化反応 (アルコールの脱水素)

アルコールのカルボニル化合物への選択酸化は有機合成化学における基本反応の一つである. 近年, アルコール酸化に高活性な均一系・不均一系触媒の報告は多いが, 酸化剤を用いない条件での検討例は少ない. Mitsudome らの報告した Mg-Al 系ハイドロタルサイト固定化 Ag ナノ粒子触媒は本反応に対して従来触媒(白金族錯体)よりも高活性な不均一系触媒として注目される. 我々は①銀アルミナの水素還元で生成する担持 Ag cluster 触媒が Ag+種や金属 Ag 粒子とは異なる特異的な redox 特性を示し, 白金族触媒を上回る高い脱硝活性を示し, ②Ag cluster とアルミナ担体の組み合わせが最も高活性な触媒を与えることを報告してきた. 上記の例は, d<sup>10</sup> 金属である Ag を原料に用いても cluster 化と適切な担体との組み合わせにより白金族触媒を代替する触媒の設計が可能であることを示唆している. 本研究ではアルミナ担持 Ag cluster 触媒が酸化剤フリー条件でのアルコール酸化に活性を示すことを見出した. 活性 Ag 種の構造, 反応機構の検討もを行い, Ag cluster 及び担体酸塩基点の役割に関する考察を通して, d<sup>10</sup> 金属を用いた C-H 活性化触媒の設計指針を提案する.

Table 1 Dehydrogenation of various alcohols.

entry	substrate	conv.(%)	yield(%)
1	4-methylbenzyl alcohol	99, 99 <sup>b</sup> , 99 <sup>c</sup> , 99 <sup>d</sup>	93, 90 <sup>b</sup> , 94 <sup>c</sup> , 91 <sup>d</sup>
2	benzyl alcohol	100	82
3	4-chlorobenzyl alcohol	79	70
4	1-phenylethanol	99	93
5	2-octanol	53	50
6	2-propanol	32	29
7	cyclohexanol	72	70
8	cyclodecanol	100	94
9	1-octanol	27	16

<sup>a</sup> Substrate (1 mmol), toluene (3 mL), catalyst (44 mg, 2 mol%), T = 373 K, t = 24-48 h. <sup>b</sup> reuse 1. <sup>c</sup> reuse 2. <sup>d</sup> reuse 3.

Table 1 に示すように Ag/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> による p-メチルベンジルアルコールの脱水素反応を行ったところ, アルデヒドと水素がほぼ等量で生成し, 48 h 後のアルデヒド収率は 93% に達した. 反応後の触媒を遠心分離・回収後, 焼成 (773 K, 10 分), 水素還元 (573 K, 10 分) 処理により触媒活性は回復し, 3 回反応を繰り返しても初期と同程度の活性を維持した. 本系の基質一般性を検討したところ, 種々のベンジル型アルコール, 1-phenylethanol, シクロヘキサノール等に対して収率 80% 以上で脱水素生成物が生成した. 以上のように, 本系は溶媒以外の反応補助剤がなく, 目的物と水素を選択的に与えることから, 環境調和型の不均一系触媒反応である.

返しても初期と同程度の活性を維持した. 本系の基質一般性を検討したところ, 種々のベンジル型アルコール, 1-phenylethanol, シクロヘキサノール等に対して収率 80% 以上で脱水素生成物が生成した. 以上のように, 本系は溶媒以外の反応補助剤がなく, 目的物と水素を選択的に与えることから, 環境調和型の不均一系触媒反応である.

### (3) One-pot C-C, C-N 結合形成

アミンの N 位や sp<sup>3</sup> 炭素へのアルキル化反応はアルキルハライドを用いた多段階法が一般的であるが, 有害な廃棄物を副生し原子効率も低い. 最近, 白金族触媒の脱水素・水素化能を利用したアルコールをアルキル化剤とする one-pot C-C, C-N 結合形成反応が注目されているが, 不均一系触媒の検討例は少なく, 非白金族触媒を用いた例も極めて少ない. 我々は銀アルミナが酸化剤非存在下でアルコール脱水素能を示すことを見出している. 本研究では銀アルミナの脱水素・水素化能を利用した新規触媒系が, アルコールをアルキル化剤とする原子効率の高い one-pot C-C, C-N 結合形成反応に活性を示すことを見出した.

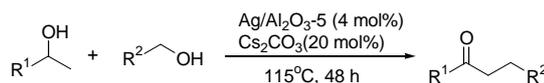
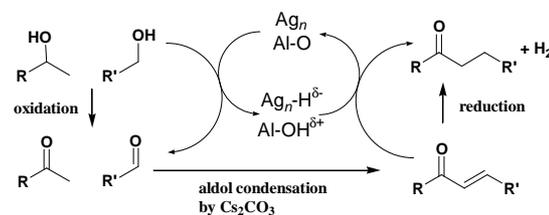


Table 2 Reaction of primary and secondary alcohols.<sup>a</sup>

Entry	R <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	Conv./%	Yield/%
1	Ph	Ph	100	80
2 <sup>c</sup>	Ph	MeOPh	100	73
3	Ph	MePh	100	72
4	Ph	FPh	100	67
5	Ph	t-Bu	100	74
6	Ph	2-Pyridyl	100	70
7	Ph	2-Furyl	100	81
8	MePh	Ph	100	79
9 <sup>b</sup>	MePh	2-Furyl	100	79
10 <sup>c</sup>	Ph	n-Pr	100	67

<sup>a</sup>alcohols (1 mmol), toluene (2 mL).

Conversion of secondary alcohol and yield of the product were determined by GC. b t = 72 h. c in p-xylene at 145 °C.



Scheme 1

銀アルミナのみで 1-phenylethanol(1a) と benzylalcohol(2a) の反応を行ったところ, C-C カップリング生成物はほとんど生成しなかつた.

った。塩基の添加により 1,3-diphenylpropan-1-one (3a)が選択的に生成し、Cs<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>の場合に最も高い触媒性能(転化率 100%, 選択率 80%)を示した。本系の基質一般性を検討したところ、種々のアルコールに対しても適用可能であった(Table 1)。反応後の触媒を遠心分離・洗浄後、焼成(600 °C, 10 分)、水素還元(300 °C, 10 分)処理により触媒活性は回復し、3 回反応を繰り返しても初期と同程度の活性を維持した。本反応を種々の貴金属をアルミナに担持した触媒を用いて Cs<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 共存下で行ったところ、銀アルミナが最も高い収率を与えた。これまで、1 級アルコールと 2 級アルコールの C-C カップリングを非白金族系触媒や不均一系触媒反応で進行させた例は無く、本系は環境調和型の新規触媒系といえる。

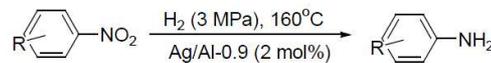
#### (4) 選択水素化反応

Ag は白金族に比べ水素化活性の低い触媒成分である。平滑表面での水素分子の解離吸着は白金族に比べて極めて起こりにくいことも知られている。最近、Au や Ag を微粒子化して特定の酸化物担体に担持した固体触媒が種々の選択水素化反応に高い性能を示すことがわかってきたが、水素化活性の発現機構や触媒設計指針は不明な点が多い。我々は銀アルミナがアルコール脱水素により開始される種々の合成反応を高選択的に進行させることを報告してきた。基礎的研究から、配位不飽和 Ag サイトと担体酸・塩基点の共同作用がこれらの反応に重要な役割を担うことを明らかにしてきた。基礎化学品、ファインケミカルズの製造過程において芳香族ニトロ化合物の選択的水素化反応は重要である。ビニル基等の還元されやすい官能基が存在する場合、白金族系触媒による接触水素化ではニトロ基選択的水素化は困難であり、本系に有効な触媒は Au/TiO<sub>2</sub> 等、数例に限られる。本研究では Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 担持 Ag 触媒が本反応に高い活性・選択性を示すことを見出した。構造活性相関や反応機構の検討も行い、配位不飽和金属サイト及び担体酸塩基点の役割に関する考察を通して、d<sup>10</sup> 金属を用いた選択水素化触媒の設計指針を提案する。

種々の酸化物に担持した Ag 触媒を用いて 4-ニトロスチレン(1)の水素化反応を行った。Fig. 1 にニトロ基選択的水素化生成物であるアミノスチレン(2)の生成速度(TOF)を示す。Ag 触媒の TOF は担体に大きく依存し、中程度の電気陰性度を持つ担体(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>)の場合に高い値となった。Ag/Al-0.9 の触媒特性を Table 3 に示す。反応時間 1h で、4-ニトロスチレン(1)は全て転化し、96%の高選択率で生成物(2)が生成した。一方、従来型の水素化触媒である Pt/Al-1.3 はニトロ基とビニル基両方が還元された生成物(3)のみを与えた。

Ag/Al-0.9 は種々の置換ニトロベンゼンに対しても 86%以上の高い選択率を示した。反応後の Ag/Al-0.9 は分離・焼成処理後、初期と同程度の活性を示した。

Table 3 Hydrogenation of nitroaromatic compounds.



Entry	R	t/h	Conversion/%	Selectivity/%
1	4- vinyl	1	100	96 (3) <sup>a</sup>
2 <sup>b</sup>	4- vinyl	1	100	91 (8) <sup>a</sup>
3	3- vinyl	1	100	92 (4) <sup>a</sup>
4 <sup>c</sup>	4-COCH	20	100	97 (0) <sup>a</sup>
5	4-CN	20	100	86 (0) <sup>a</sup>
6 <sup>d</sup>	4-CONH	20	100	92 (0) <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Selectivity of byproducts in which R groups are reduced.

<sup>b</sup> 2nd cycle. <sup>c</sup> Ag= 0.2 mol%. <sup>d</sup> Ag= 0.8 mol%

#### 5. 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 Unique catalytic features of Ag nano-cluster and nano-particles for selective NOx reduction and green chemical reactions, K. Shimizu, K. Sawabe, A. Satsuma, Catal. Sci. Tech., accepted. (Invited Review) (2011) 査読有.
- ② Silica-Supported Silver Nanoparticles with Surface Oxygen Species as a Reusable Catalyst for Alkylation of Arenes by Alcohols and Styrenes, K. Shimizu, Y. Miyamoto, A. Satsuma, Chem. Cat. Chem., 2, 84-91 (2010). (Inside Cover) 査読有.
- ③ Size- and support-dependent silver cluster catalysis for chemoselective hydrogenation of nitroaromatics, K. Shimizu, Y. Miyamoto, A. Satsuma, J. Catal. 270, 86-94 (2010) 査読有.
- ④ Study of active sites and mechanism for soot oxidation by silver-loaded ceria catalyst, K. Shimizu, H. Kawachi, A. Satsuma, Appl. Catal., B, 96, 169-175 (2010) 査読有.
- ⑤ Effect of Pt and Ba content on NOx Storage and Reduction over Pt/Ba/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Y. Saito, K. Shimizu, T. Nobukawa, A. Satsuma, Top. Catal., 53, 584-590 (2010) 査読有.
- ⑥ Density functional theory calculation on the promotion effect of H<sub>2</sub> in the selective catalytic reduction of NOx over Ag-MFI zeolite, K. Sawabe, T. Hiro, K. Shimizu, A. Satsuma, Catal. Today, 153 (3-4), 90-94

- (2010) 査読有.
- ⑦ Hydrogenation of pyrene using Pd catalysts supported on tungstated metal oxides, Qiang Lin, K. Shimizu, A. Satsuma, Appl. Catal. A:Gen. 387, 166-172 (2010) 査読有.
  - ⑧ Direct C-C Cross-coupling Reaction from Secondary and Primary Alcohols Catalyzed by  $\gamma$ -Alumina Supported Silver Subnano-Cluster, K. Shimizu, R. Sato, A. Satsuma, Angew. Chem. Int. Ed., 48, 3982-3986 (2009). (Hot article) 査読有.
  - ⑨ Redox Property of Tungstated- Zirconia Analyzed by Time Resolved in-situ UV-visible Spectroscopy, Q. Lin, K. Shimizu, A. Satsuma, Appl. Catal. A:Gen., 365 (1), 55-61(2009) 査読有.
  - ⑩ Direct Dehydrogenative Amide Synthesis from Alcohols and Amines Catalyzed by  $\gamma$ -Alumina Supported Silver Cluster, K. Shimizu, K. Ohshima, A. Satsuma, Chemistry - A European Journal, 15, 9977-9980 (2009) 査読有.
  - ⑪ Chemoselective Hydrogenation of Nitroaromatics by Supported Gold Catalysts: Mechanistic Reasons of Size- and Support-Dependent Activity and Selectivity, K. Shimizu, Y. Miyamoto, T. Kawasaki, T. Tanji, Y. Tai, A. Satsuma, J. Phys. Chem. C, 113, 17803-17810 (2009) 査読有.
  - ⑫  $\gamma$ -Alumina Supported Silver Cluster for N-Benzoylation of Anilines with Alcohols, K. Shimizu, M. Nishimura, A. Satsuma, Chem. Cat. Chem., 1, 497-503 (2009) 査読有.
  - ⑬ Oxidant-Free Dehydrogenation of Alcohols Heterogeneously Catalyzed by Cooperation of Silver Clusters and Acid-Base Sites on Alumina, K. Shimizu, K. Sugino, K. Sawabe, A. Satsuma, Chemistry - A European Journal, 15, 2341-2351 (2009) 査読有.
  - ⑭ Effect of Supports on Formation and Reduction Rate of Stored Nitrates on NSR Catalysts as Investigated by in-situ FT/IR, K. Shimizu, Y. Saito, T. Nobukawa, N. Miyoshi, A. Satsuma, Catal. Today, 139, 24-28(2008) 査読有.

[学会発表] (計 6 8 件)

- ① Combustion of Carbon using Ag/Ceria Prepared by Self-dispersion of Ag Powder into Nano-particles, K. Shimizu, H. Kawachi, and A. Satsuma, 6th International Conference on Environmental Catalysis, September 12-14, 2010, Beijing, China.
- ② Unique catalytic behaviour of Ag cluster in selective NOx reduction and greener chemical reactions, A. Satsuma, K. Sawabe

and K. Shimizu, Japan-UK Symposium: Catalysis for a Sustainable World, Thursday 15-16 July, 2010, Chemistry Centre, Burlington House, London, UK.

- ③ Environmental Friendly Catalytic Reactions by Silver Nano-Cluster, K. Shimizu, K. Sawabe and A. Satsuma, 文部科学省イノベーション創出事業ナノテクノロジー・ネットワーク第8回ナノテクノロジー総合シンポジウム (JAPAN NANO 2010), 平成22年2月19日, Tokyo, Japan.
- ④ Selective reduction of NO and combustion of soot on supported Ag cluster, A. Satsuma, K. Shimizu, The 11th International Symposium on Eco-materials Processing and Design (ISEPD2010), January 10, 2010, Graduate School of Engineering, Sakai, Japan.
- ⑤ 銀クラスター触媒の反応機構と排ガス浄化および選択酸化への応用, 清水研一・沢邊恭一・薩摩篤, 第45回触媒フォーラム-資源・環境・エネルギーを支える触媒技術-, 平成21年11月20日, 倉敷市.
- ⑥ 銀クラスターとアルミナの酸塩基点の共同作用を利用した合成反応, 清水研一, 第104回触媒討論会, 平成21年9月29日, 宮崎市.
- ⑦ 銀クラスター触媒-脱硝反応と酸化反応における特異的な挙動-, 薩摩篤, 触媒学会北海道地区第48回オーロラセミナー, 平成20年8月9日, 小樽市.

[図書] (計 4 件)

- ① Dynamic Behavior of Active Ag Species in NOx Reduction on Ag/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (in Molecular Nano Dynamics, Vol.2: Active Surfaces, Single Crystals and Single Biocells, Edited by H. Fukuoka, M. Irie, Y. Iwasawa, H. Masuhara, and K. Uosaki), A. Satsuma and K. Shimizu, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Weinheim, 401-425, (2009).
- ② 「触媒便覧」, 薩摩篤, 触媒学会編, 分担執筆, 講談社, 198-204, 436-438 (2008).
- ③ 「環境触媒研究」, 薩摩篤, 触媒技術の動向と展望, 2008, 69-71 (2008).
- ④ 「環境浄化触媒-90年代から現在そして未来」, 薩摩篤, 触媒 50, 25-27 (2008)

[産業財産権]

○出願状況 (計 4 件)

- ① 名称: アミンの製造方法  
発明者: 薩摩 篤、清水 研一、西村 雅翔、松田 洋和  
権利者: ダイセル化学工業株式会社  
種類: 特許  
出願人: ダイセル化学工業株式会社

出願番号：特願 2009-202630

出願日：平成 21 年 9 月 2 日

国内外の別：国内

- ② 名称：アミド化合物の製造方法  
発明者：薩摩篤、清水研一、大島啓一郎、松田洋和  
権利者：ダイセル化学工業株式会社、財団法人名古屋産業科学研究所  
種類：特許

出願人：ダイセル化学工業株式会社、財団法人名古屋産業科学研究所

出願番号：特願 2009-186807

出願日：平成 21 年 8 月 11 日

国内外の別：国内

- ③ 名称：芳香族ニトロ化合物の選択水素化触媒、その製造方法および再生方法並びにこれを用いた芳香族ニトロ化合物の選択水素化方法  
発明者：薩摩篤、清水研一、宮本裕士、他

権利者：エヌイーケムキャット株式会社  
種類：特許

出願人：エヌイーケムキャット株式会社

出願番号：特願 2009-184034

出願日：平成 21 年 8 月 7 日

国内外の別：国内

- ④ 名称：酸化用銀触媒  
発明者：堂坂健児、石丸真也、橋本雅識、清水研一、薩摩篤  
権利者：本田技研工業株式会社、国立大学法人名古屋大学  
種類：特許

出願人：本田技研工業株式会社、国立大学法人名古屋大学

出願番号：特願 2008-301056

出願日：平成 20 年 11 月 26 日

国内外の別：国内

[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  
研究者番号：60324000  
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

(3) 連携研究者 なし