

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01787

研究課題名(和文) In-situ/operando分光法に立脚した精密環境触媒設計

研究課題名(英文) Design and fine tuning of environmental catalysts based on in-situ/operando spectroscopy

研究代表者

薩摩 篤 (Satsuma, Atsushi)

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：00215758

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、in-situ/operando分光分析による反応機構解析を基盤として、環境触媒の分子・原子レベルでの精密な設計を示した。具体的には、(1)炭化水素優先酸化とNO-CO反応を組み合わせたタンデム触媒により貴金属並みの活性を示す貴金属フリー触媒を世界で初めて提案、(2)Pdナノ粒子において金属担体相互作用による活性結晶面の選択的露出、酸化還元性の制御に成功、(3)燃料電池用水素酸化反応触媒表面での吸着サイト分離によりRu/Pt/CにおいてPt/Cの2倍以上の活性を実現。

研究成果の学術的意義や社会的意義

社会的意義：希少な貴金属の使用量の削減につながることで、(1)～(3)に共通する意義である。特に(1)は触媒の機能を分割することにより貴金属を使わない自動車排ガス浄化触媒設計の可能性を提示した。

学術的意義：動作条件下でのスペクトル測定が、環境触媒の反応機構や活性を制御する因子を原子レベルで理解するための有効な手段であることを示した。特に(2)では高分解能電子顕微鏡を利用して、金属ナノ粒子上で高い触媒活性を示す結晶面の特定と担体による制御を行った。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to find a design strategy of environmental catalysts based on the reaction mechanism analysis by in-situ/operando spectroscopies, and we obtained the following results: (1) Proposal of noble metal-free tandem catalyst which is combined a hydrocarbon preference oxidation catalyst and a NO-CO reaction catalyst. This is the world's first example that noble metal-free catalyst exhibited comparable deNOx activity to that of a noble metal catalyst. (2) Successful demonstration of selective exposure of active crystal planes and control of redox properties by metal-support interaction in Pd nanoparticles. (3) Design concept of hydrogen oxidation reaction catalyst for fuel cells by adsorption sites separation. Ru/Pt/C catalyst exhibited 2.4 times higher activity compared to a standard Pt/C catalyst.

研究分野：触媒プロセスおよび資源化学プロセス関連

キーワード：触媒反応 環境触媒 ナノ材料 in-situ operando

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

自動車触媒を代表とする環境触媒は、触媒分野で最も大きな出荷額を占め、その社会的重要性が極めて高いが、精密な構造制御に基づいて設計されているとは言い難い。本研究では、in-situ あるいは operando 分光分析による解析を基盤として[ChemCatChem, 2018, Catalysis 2019, 以下対応する成果の雑誌名と発行年]、自動車三元触媒、メタン燃焼触媒、燃料電池電極触媒を中心とする環境触媒の活性な結晶相、結晶面、反応機構を明らかにし、その知見を基に高活性触媒の原子レベルでの精密な設計を目指した。本研究では、これまでに得られていた以下の知見を基礎とした。また、当該研究者らが得意とする、(1) In-situ, operando 分光法に立脚した研究、(2)実験化学と理論化学のコラボレーション、により原子レベルでの精密な触媒設計を目指した。

## 2. 研究の目的

本研究では、in-situ あるいは operando 分光分析による解析を基盤として、自動車三元触媒やメタン燃焼触媒を中心とする環境触媒の活性な結晶相、結晶面、反応機構を明らかにし、その知見を基に高活性触媒の原子レベルでの精密な設計を目指す。具体的には、[課題 1]  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  およびその他のスピネル型金属酸化物による金属酸化物三元触媒の設計、[課題 2] Pd 露出面を制御した高活性メタン燃焼触媒、[課題 3] 金属の露出面と電子状態を制御した燃料電池電極触媒、を研究目的とした。

## 3. 研究の方法

[課題 1] 複合金属酸化物触媒は基本的には共沈法または逆共沈法で調製し、 $500^\circ\text{C}$ 、3 h、空气中で焼成した。金属担持触媒は硝酸水溶液を前駆体として含浸法にて調製した。三元触媒活性は、触媒量 17.5 mg、酸素下  $500^\circ\text{C}$  で 10 min 前処理を行った後、全流量 60 ml/min、 $\text{NO}$ : 1000 ppm,  $\text{CO}$ : 4000 ppm,  $\text{C}_3\text{H}_6$ : 1000 ppm,  $\text{O}_2$ : 6000 ppm, Ar balance (GHSV: 約  $140,000\text{ h}^{-1}$ ) の化学量論条件下で測定した。[課題 2] 球状 Pd ナノコロイドは加熱還元法により調製した。 $\text{CH}_4$  燃焼試験は触媒 20 mg に反応ガス ( $0.4\% \text{CH}_4$ ,  $10\% \text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  balance, 100 mL/min) を流通させ、出口ガスを  $\text{CO}_2$  分析器にて検出することで行った。 $300^\circ\text{C}$  での  $\text{CH}_4$  転化率から表面 Pd 当たりの反応速度 (TOF) を求めた。[課題 3] 異種金属修飾 Pt ナノ粒子 (M/Pt/C, M = Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Pd, Ag) は、田中貴金属工業製 Pt/C (TEC10E50E) を金属前駆体含有溶液中に 7.7-14.3 at% 含浸し、 $\text{H}_2$  で還元して調製した。修飾状態を球面収差補正 STEM (Cs-S/TEM) で解析した。HOR 活性は回転ディスク電極法を用いた Linear sweep voltammetry ( $\text{H}_2$  飽和 0.1 M NaOH,  $25^\circ\text{C}$ , 10 mV/s) で評価した。

## 4. 研究成果

### 4-1. 卑金属酸化物による自動車三元触媒

自動車三元触媒はガソリン自動車に含まれる一酸化炭素 (NO)、一酸化炭素 (CO)、炭化水素 ( $\text{C}_x\text{H}_y$ , 主にプロピレン、エチレン) を同時に浄化するために使用される。触媒成分には Pt, Rh, Pd といった貴金属がその触媒性能の高さゆえに用いられている。近年の排ガス規制強化および自動車自体の需要増加から、高価で希少性の高い貴金属の代替技術の開発が急務である。これまでに合金触媒 [J. Phys. Chem. C 2019] や卑金属触媒が検討されてきたが、卑金属触媒の NO 還元活性は実貴金属触媒の 1/8 以下と極めて低く、これが貴金属フリー触媒開発の最大の障壁となっていた。ここでは、貴金属フリー自動車三元触媒の開発のために、以下の検討を行った。(4-1-1) 有望な材料を探索するための結晶構造の異なる酸化鉄触媒の構造-活性相関性を調査、(4-1-2) 金属酸化物触媒表面の in-situ 観察による反応機構解析と卑金属酸化物の NO 還元活性が低い要因の解明、(4-1-3) 反応機構解析の結果に基づいた 2 種類の卑金属酸化物から成るタンデム型触媒の設計。

#### 4-1-1. 酸化鉄触媒の組成・構造変化が活性に及ぼす影響の調査

金属酸化物触媒では組成・結晶構造により活性が大きく変化する。有望な金属酸化物材料を探索するため、種々の結晶構造の酸化鉄触媒の構造-活性相関性を調べ、さらに同じ構造を有する酸化鉄触媒における異種元素添加効果を調べた。ペロブスカイト型、コランダム型、スピネル型の金属酸化鉄触媒の活性を比較したところ、スピネル型酸化鉄触媒が最も高い NO 還元活性を示した (Fig. 1)。Ni の添加によりスピネル型酸化鉄触媒の活性は更に向上した。 $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  の NO 還元活性は既報の卑金属触媒の最高活性を上回った。DFT 計算により、スピネル型酸化鉄の表面サイトではコランダム型の  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  よりも NO が強く吸着し、これが NO 還元活性の向上に関わっていることが示された。[Chem. Eur. J. 2019]

#### 4-1-2. 卑金属酸化物触媒上の反応機構解析

$\text{NiFe}_2\text{O}_4$  の NO 還元反応活性はまだ実用には不十分であり、卑金属酸化物触媒の NO 還元活性が低い要因を明らかにする必要がある。その場観察赤外分光を用いて  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  上で  $\text{NO-C}_3\text{H}_6\text{-CO-O}_2$  反応中のその場表面観察を行った。 $\text{C}_3\text{H}_6/\text{CO}$  濃度依存性の試験および吸着量の計算から反応中には  $\text{C}_3\text{H}_6$  部分酸化種 ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) が触媒表面を覆っており、NO は CO と反応できないことが分かった。NO と  $\text{C}_3\text{H}_6$  部分酸化種の反応性を調べるために、赤外分光および質量分析計を併用して、吸着種の挙動と出口ガスの Operando 分析を行った。Fig. 2 に示すように、赤外分光により見積もった  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  の反応における活性化エネルギーと活性試験から求めた NO 還元反応の活性

化エネルギーが同等の値を示したことから、さらに質量分析により  $N_2$  の生成を確認したことから、 $C_3H_6$  部分酸化種( $CH_3COO^-$ )が  $NO$  を還元して  $N_2$  生成が進行することが分かった。対照触媒として  $Rh$  担持触媒の赤外分光測定を行ったところ、 $NO$  や  $CO$  の吸着種が確認された。したがって、 $NiFe_2O_4$  の  $NO$  還元活性が低い要因は、 $C_3H_6$  部分酸化種( $CH_3COO^-$ )が触媒表面を覆ってしまっているためだと結論付けた[ACS Catal. 2019].

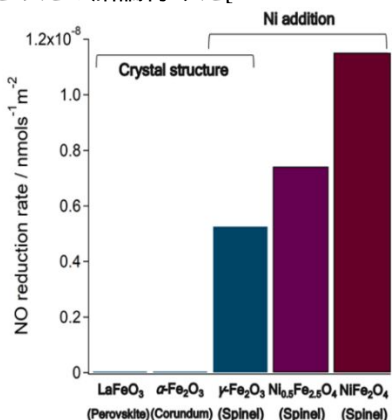


Fig. 1. Specific NO reduction rate of Fe-Ni oxide catalysts.

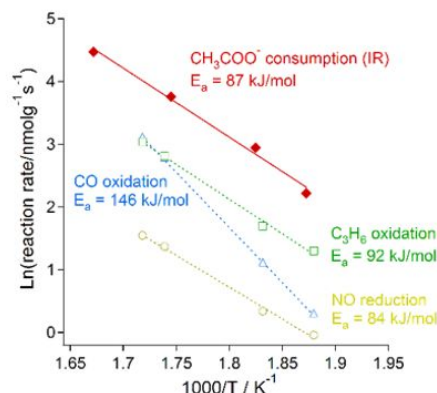


Fig. 2. Arrhenius plots of reaction rates of gas phase and surface species analyzed by operando IR-Mass measurements.

#### 4-1-3. 高活性タンデム型触媒の開発

反応機構解析の結果より、卑金属酸化物 ( $NiFe_2O_4$ ) 触媒の  $NO$  還元活性が低い要因は  $C_3H_6$  部分酸化種が卑金属酸化物触媒上を覆い、 $NO$  と  $CO$  が反応できないことにあることが分かった。実際に  $C_3H_6$  非存在下で活性試験を行うと、 $NiFe_2O_4$  は非常に高い  $NO$  還元活性を示した。これらの結果を基に、タンデム型(2層構造)触媒の開発を考案した (Fig. 3)。まず前段触媒上で  $CO$  存在下において  $C_3H_6$  のみを選択的に酸化させる。それにより、後段触媒上では  $C_3H_6$  濃度が激減するため、 $CO$  を用いて  $NO$  を還元させることができる。前段触媒では  $CO$  流通下で  $C_3H_6$  のみを選択的に  $O_2$  で酸化させる性能が求められ、後段触媒では  $CO$  を用いて効率よく  $NO$  を  $N_2$  まで還元させる触媒能が必要である。それぞれ必要な性能を有する  $ZnCr_2O_4$ 、 $CuCo_2O_4$  を用いて、このコンセプトの有効性を検証した。Fig. 4 に示すように、タンデム触媒の  $NO$  還元活性は  $Rh/ZrO_2$  触媒と同程度の値を示した。タンデム触媒は  $N_2$  生成選択性が高く、 $Rh/ZrO_2$  よりも高い  $N_2$  収率を記録した。この高い  $N_2$  選択性は後段触媒である  $CuCo_2O_4$  の格子欠陥が生成しやすいことに起因することが  $CO$  流通昇温還元法より明らかになった。[ACS Catal. 2019]

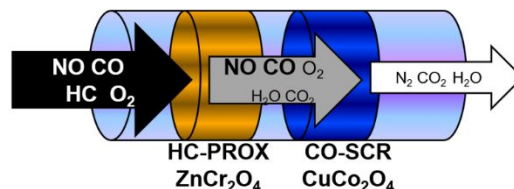


Fig. 3. Schematic illustration of the tandem catalyst.

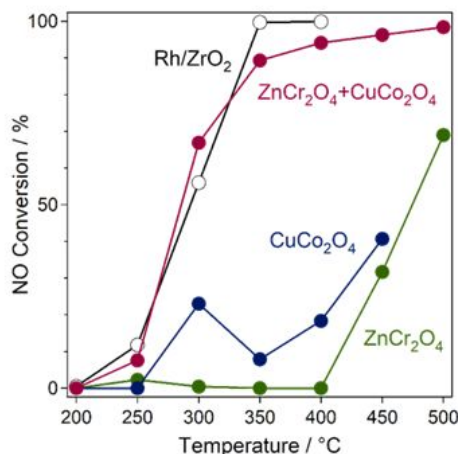


Fig. 4. Temperature dependence of NO conversion over the tandem catalyst ( $ZnCr_2O_4+CuCo_2O_4$ ), and  $Rh/ZrO_2$ .

#### 4-2. 担体との相互作用を利用した Pd ナノ粒子触媒の設計

金属ナノ粒子 (Metal Nano Particles: MNPs) は自動車排気ガス浄化や石油化学といった様々な触媒プロセスで利用されている。触媒活性を持つ  $Pt$  や  $Pd$  といった貴金属元素は  $Al_2O_3$  などの高い表面積をもつ担体に高分散な MNPs として担持される。 $Pt$  や  $Pd$  は高価で希少であるために、少量でも高い活性を示す触媒設計が望まれている。MNPs は配位数の異なる corner, step (edge), plane といった表面サイトを持ち、その割合は粒子サイズに依存して劇的に変化する。このため、MNPs のサイズ効果についてこれまでに広く研究が行われてきた。バルクとは異なる性質を示す MNPs の結晶構造や形状、表面構造は触媒性能を向上させる可能性がある。しかしながら、実用触媒である担持 MNPs において MNPs の構造を制御する方法論は未だ確立されていない。

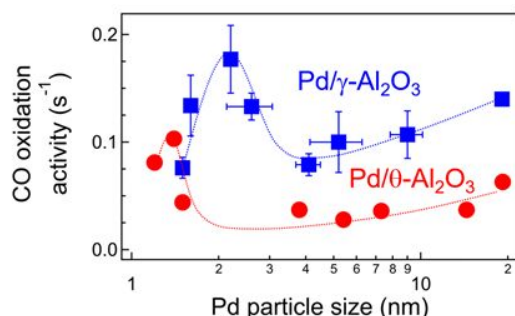
金属-担体間相互作用 (Metal-Support Interaction: MSI) は担持 MNPs の形状や表面構造の変化、電荷移動を引き起こし、その触媒作用にも影響を与える。担持 MNPs のサイズや担体、処理の観



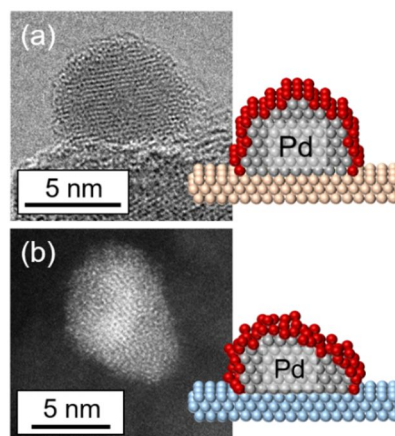
点から MSI をチューニングすることで担持 MNPs の構造とその触媒作用の制御が行うことが期待できる。本研究では、MSI によって担持 MNPs の形状や表面構造、酸化状態を制御した。更に、原子スケールでの構造解析によって、原子配列の乱れに起因した活性な担持 MNPs を見出した。

#### 4-2-1. 粒子サイズと MSI によって変化する担持 MNPs の形状と表面構造

Pd ナノ粒子は Pd<sup>0</sup> PdO の酸化還元サイクルにより酸化反応を促進し、特に C-H 結合の活性化が難しい CH<sub>4</sub> 酸化に有効である[ChemCatChem, 2018]。Pd 粒子サイズと Pd-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 間の相互作用によって変化する Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 担持 Pd 粒子の形状と表面構造の触媒作用について調べた。配位不飽和な 5 配位 Al<sup>3+</sup> サイトをもつ  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は Pd と強く相互作用し、5 配位 Al<sup>3+</sup> サイトをもつ  $\theta$ ,  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の MSI は弱いと予想した。様々な結晶相をもつ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ( $\gamma$ ,  $\theta$ ,  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) に担持した Pd 触媒の CO 酸化反応における Pd 粒子のサイズ効果、担体効果を検討した。Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の活性は約 2 nm で最大となった(Fig. 5)。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 担体間で比較すると、全ての粒子サイズにおいて Pd/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の CO 酸化は Pd/ $\theta$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> よりも高かった[Phys. Chem. Chem. Phys. 2019]。



**Fig. 5.** Relationships between Pd particle size and (a) CH<sub>4</sub> and (b) CO oxidation activities.



**Fig. 6.** STEM images and schematic model of Pd particles on (a)  $\theta$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and (b)  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

走査/透過型電子顕微鏡(STEM)による Pd ナノ粒子の構造を観察した。 $\theta$ ,  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 上の Pd 粒子は 1 から 20 nm へと粒子サイズが増加するにつれて、アモルファス構造、球状規則正しい面を露出した構造へと変化した(Fig. 6a)。一方で、 $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 上の Pd 粒子は、粒子サイズが大きくなっても、乱れたアモルファス様の構造を保持していた(Fig. 6b)。CO 酸化反応活性は、Pd ナノ粒子上の corner 或いは Pd(111)の割合が増加するにつれて増加し、 $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 上の corner を高い割合でもつアモルファス Pd 粒子が CO 酸化にとっての高活性種であることが示唆された。Pd の粒子状態と CO 吸着挙動の相関を in-situ IR で調査した。Pd に表面には linear 型, bridge 型, corner の割合が高い Pd 粒子表面では corner に直線型で吸着した CO, step に Bridge 型で吸着した CO, plane に Bridge 型で吸着した CO が観察された。これらは昇温により脱離するが, corner に直線型で吸着した CO がより低温で脱離した。Corner が多くなるほど CO が低温で脱離するため、酸素活性方のためサイトが容易となり, corner での CO 酸化反応がより低温で進行することが明らかとなった。

#### 4-2-3. 吸着分子による担持 MNPs の形状制御

金属ナノ粒子の形状に依存した触媒作用は、担持 Pt ナノ粒子, Pd ナノ粒子上でのシナムアルデヒド (以下 CAL) の水素化においても検討した。[Catal. Sci. Tech. 2019, Chem. Lett. 2019] ここでは金属の還元処理の雰囲気ガスに H<sub>2</sub> のみならず CO や NH<sub>3</sub> を用いて金属ナノ粒子の形状を制御した。以下に Pd ナノ粒子の形状制御を説明する。CO 分子が Pd 表面に強く吸着することを利用して、Carbon および SiO<sub>2</sub> 担持 Pd ナノ粒子の構造の制御を試みた。[ACS Appl. Mater. Interfaces, 2020] 担体上に分散した Pd 前駆体を 4% CO/Ar あるいは 100% H<sub>2</sub> によって 200 °C で還元した。STEM と CO 吸着 IR による構造解析によると、CO によって還元された Pd ナノ粒子は step を豊富にもつ球状と四面体の形状であり、一方 H<sub>2</sub> によって還元された Pd ナノ粒子は plane 表面をもつ扁平な形状であった。CO 還元処理による Pd 表面構造の変化の原理は密度汎関数理論 (DFT) 計算から求めた Pd 表面エネルギーで説明された。CO 吸着によって Pd(110)の表面エネルギーは Pd(111)や Pd(100)よりも相対的に減少した。Pd(110)の割合が高い Wulff モデルが再現できた。H<sub>2</sub> 還元条件では H<sub>2</sub> の解離吸着によって優先的に Pd(111)を露出した。形状制御した Pd ナノ粒子を用いて CAL 水素化を行った。CAL は C=C と C=O 結合を有する芳香族化合物である。いずれの担体でも CO 還元した Pd ナノ粒子は H<sub>2</sub> 還元した Pd ナノ粒子よりも活性及び C=C 結合の選択性は高くなった。速度解析と in-situ IR により、CAL の C=C 結合は plane よりも step 上に優先的に吸着するために、C=C 結合の水素化に高い選択性を示したことが明らかになった。

#### 4-2-4. 担持 MNPs の酸化還元性のチューニング

担持 MNPs の酸化還元性への MSI の影響について系統的に調査した。初めに、様々な酸化物

担体に担持した Pd ナノ粒子の CH<sub>4</sub> 燃焼活性を調べた。CH<sub>4</sub> 燃焼活性は担体の酸化物標準生成エンタルピーに対して火山型の傾向を示した。X 線光電子分光法(XPS)によって平均的な Pd の化学状態について分析した。担体の酸化物標準生成エンタルピーが増加するにつれて、担持 Pd ナノ粒子の Pd<sup>0</sup> の割合は増加した。更に STEM-電子エネルギー損失分光法(EELS)によって局所的な Pd の酸化状態を観察した。高活性を示した Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 上の Pd 粒子は Pd コア-PdO シェル構造を形成していた。一方で、MgO 上では完全に酸化された PdO 粒子であり、TiO<sub>2</sub> 上では Pd 粒子はほとんど酸化されていなかった[ACS Catal. 2020].

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 担体の構造と担持 Pd ナノ粒子の CH<sub>4</sub> 燃焼活性との関係を明らかにした。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 担体の五配位 Al<sup>3+</sup>サイトの割合が減少するにつれて、酸化還元性の抑制のために担持 Pd ナノ粒子の CH<sub>4</sub> 燃焼活性は低くなった.[Chem. Lett. 2021, Catal. Sci. Tech. 2021]

CeO<sub>2</sub> 担持 MNPs を用いた Soot 燃焼を検討した。CeO<sub>2</sub> 担持 MNPs の Soot 燃焼活性は遷移金属の M-O 結合エネルギーに対して火山型の傾向を示した。Cu や Rh の担持は MNPs の高い分散性に由来する界面の豊富さと界面からの酸素放出のし易さの両方の点で優れることを明らかにした。以上の結果は、担体の化学組成と構造、担持金属種の違いによって、担持 MNPs の酸化還元性のチューニングが可能であることを示した。[Catal. Sci. Tech. 2020]

#### 4-2-5. 触媒反応に間接的に関与する担体の役割の解明

CH<sub>4</sub> 燃焼排ガスには多量の H<sub>2</sub>O (10-15%) が存在するため、H<sub>2</sub>O 存在下でも高い CH<sub>4</sub> 燃焼活性を示す担持 Pd 触媒の開発が求められている。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 担体の親/疎水性が Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 触媒の H<sub>2</sub>O 存在下での CH<sub>4</sub> 燃焼に及ぼす影響を調べた。結晶相の異なる Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 担体について比較すると、Pd/α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の CH<sub>4</sub> 燃焼活性は Pd/θ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や Pd/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> よりも高くなった。H<sub>2</sub>O 昇温脱離と IR 測定によると、疎水的なα-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> はθ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> やγ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> よりも OH/H<sub>2</sub>O 種の速い可逆的な吸脱着が可能であるために、隣接する活性 PdO への H<sub>2</sub>O 被毒が少なかった。疎水的な Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 担体は活性 PdO 種への H<sub>2</sub>O 被毒を抑制するために、担持 Pd 触媒の CH<sub>4</sub> 燃焼活性を向上させた。したがって、H<sub>2</sub>O の存在する排気ガス浄化において疎水的な反応場の設計が重要であることを示した。[ACS Catal. 2020].

#### 4-3 . 燃料電池電極触媒の設計

アニオン交換膜形燃料電池(AEMFC)は、安価な非貴金属触媒を利用できるため、有用な新規燃料電池である。これまで水素酸化反応(HOR)触媒として、高い水素解離能を持つ Pt が用いられてきたが、活性が低く、AEMFC 実用化への障害となっている。本研究では、Pt 表面を 15 種の異種金属 (第 4 周期, 第 5 周期における 4-11 族元素) で修飾することにより触媒活性の向上、およびバイメタル界面が HOR に与える影響の解明を目的とした [Chem. Commun. 2019, ACS Appl. Energy Mater. 2020] .

Ru 修飾 Pt/C の構造を STEM により解析した。Pt/C の場合には、面が露出した Pt ナノ粒子がみられた。一方、Ru/Pt/C では、Pt 面の周囲にコントラストの低い Ru 原子が観察された。原子位置が Pt の結晶構造と異なることから Ru 原子であることが推察される。Ru は Pt 表面を修飾しバイメタル界面の生成が確認された。

M/Pt/C を用いて HOR を行い、電気化学的表面積あたりの触媒活性 (Specific activity; SA) を評価した (Fig. 7) . 異種金属修飾により Pt/C の HOR 活性が向上した。特に、Ru/Pt/C は、Pt/C の 2.4 倍の重量比活性、2.0 倍の Specific activity を示した。以下、異種金属の効果について議論を行う。HOR は、 $H_2 + 2OH^- \rightleftharpoons 2H_2O + 2e^-$  の式により表されることから、反応物 OH の吸着性に着目した。異種金属修飾 Pt/C の Specific activity を「酸素結合性」の指標となる「修飾金属の酸化反応の標準電極電位」を用いて整理した。その結果、火山型の相関を示したことから、修飾金属は反応条件下において酸素種 OH の吸着サイトとして働くことが示唆された。さらに、HOR 電位範囲(0.0-0.5 V)に頂点を持つことから酸素種の反応への関与が支持される。以上より、アルカリ条件下 HOR における異種金属修飾 Pt/C は、「Pt による H 吸着サイト」と「修飾金属による OH 吸着サイト」からなる二機能性触媒であると結論づけた。

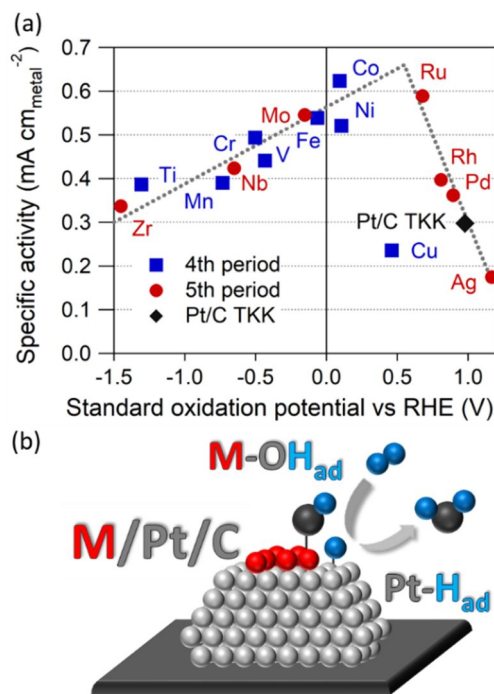


Fig. 7. (a) Plot of the SA of M/Pt/C against the standard oxidation potential of M. (b) A model of the reaction mechanism.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計24件（うち査読付論文 24件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 K. Ueda, J. Ohyama, K. Sawabe, A. Satsuma	4. 巻 25
2. 論文標題 Structure-Activity Relationship of Iron Oxides for NO reduction in the presence of C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> , CO, and O <sub>2</sub>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chem. Eur. J	6. 最初と最後の頁 13964-13971
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201902994	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. Murata, E. Eleeda, J. Ohyama, Y. Yamamoto, S. Arai, A. Satsuma	4. 巻 21
2. 論文標題 Identification of active sites in CO oxidation over Pd/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> catalyst	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Phys. Chem. Chem. Phys.	6. 最初と最後の頁 18128-18137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CP03943K	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. Murata, D. Kosuge, J. Ohyama, Y. Mahara, Y. Yamamoto, S. Arai, A. Satsuma	4. 巻 10
2. 論文標題 Exploiting Metal-Support Interactions to Tune the Redox Properties of Supported Pd Catalysts for Methane Combustion	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Catal.	6. 最初と最後の頁 1381-1387
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.9b04524	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 J. Ohyama, K. Okubo, K. Ishikawa, T. Saida, Y. Yamamoto, S. Arai, A. Satsuma	4. 巻 3
2. 論文標題 Removal of Surface Poisoning Improving Hydrogen Oxidation Performance of Pt Catalysts under Basic Conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Appl. Energy Mater.	6. 最初と最後の頁 1854-1859
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.9b02274	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. Mahara, K. Murata, K. Ueda, J. Ohyama, K. Kato, A. Satsuma	4. 巻 10
2. 論文標題 Time Resolved in situ DXAFS Revealing Highly Active Species of PdO Nanoparticle Catalyst for CH4 Oxidation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ChemCatChem	6. 最初と最後の頁 3384-3387
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cctc.201800573	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. Okubo, J. Ohyama, A. Satsuma	4. 巻 22
2. 論文標題 Surface Modification of Pt Nanoparticles with Another Metal Boosting Alkaline Hydrogen Oxidation Reaction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chem. Commun.	6. 最初と最後の頁 3101-3104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CC00582J	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. Ueda, M. Tsuji, J. Ohyama, A. Satsuma	4. 巻 9
2. 論文標題 Tandem Base Metal Oxide Catalyst: Superior NO Reduction performance to Rh Catalyst in NO-C3H6-CO-O2	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Catal.	6. 最初と最後の頁 2866-2869
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.9b00526	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. Murata, K. Ueda, Y. Mahara, J. Ohyama, A. Satsuma	4. 巻 31
2. 論文標題 In situ and operando analysis of environmental catalysts - Studies on reaction mechanism and active site	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Catalysis	6. 最初と最後の頁 242-266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/9781788016971-00242	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. Kato, J. Ohyama, M. Machida, A. Satsuma	4. 巻 9
2. 論文標題 Gas-Phase Synthesis of Morphology-Controlled Pt Nanoparticles and Their Impact on Cinnamaldehyde Hydrogenation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Catal. Sci. Tech.	6. 最初と最後の頁 2097-2102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CY00158A	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 Ohyama Junya, Kato Sosuke, Machida Masato, Satsuma Atsushi	4. 巻 48
2. 論文標題 Shape Control Preparation of Supported Platinum Nano-octahedra by Ethylene Treatment for Enhancement of Selective Hydrogenation of Cinnamaldehyde	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1203 ~ 1205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.190462	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 Ohyama Junya, Shibano Jumpei, Satsuma Atsushi, Fukuda Ryoichi, Yamamoto Yuta, Arai Shigeo, Shishido Tetsuya, Asakura Hiroyuki, Hosokawa Saburo, Tanaka Tsunehiro	4. 巻 123
2. 論文標題 Quantum Chemical Computation-Driven Development of Cu-Shell?Ru-Core Nanoparticle Catalyst for NO Reduction Reaction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 20251 ~ 20256
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b03687	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 Kataoka Hiroto, Kosuge Daichi, Ogura Keiji, Ohyama Junya, Satsuma Atsushi	4. 巻 352
2. 論文標題 Reductive conversion of 5-hydroxymethylfurfural to 1,2,6-hexanetriol in water solvent using supported Pt catalysts	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Catalysis Today	6. 最初と最後の頁 60 ~ 65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cattod.2019.12.002	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 Ishikawa Kazutomo, Ohyama Junya, Okubo Keiichi, Murata Kazumasa, Satsuma Atsushi	4. 巻 12
2. 論文標題 Enhancement of Alkaline Hydrogen Oxidation Reaction of Ru?Ir Alloy Nanoparticles through Bifunctional Mechanism on Ru?Ir Pair Site	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 22771 ~ 22777
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c00506	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 Murata Kazumasa, Ogura Keiji, Ohyama Junya, Sawabe Kyoichi, Yamamoto Yuta, Arai Shigeo, Satsuma Atsushi	4. 巻 12
2. 論文標題 Selective Hydrogenation of Cinnamaldehyde over the Stepped and Plane Surface of Pd Nanoparticles with Controlled Morphologies by CO Chemisorption	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 26002 ~ 26012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c05938	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 Tsuchiya Akihiro, Masaoka Sota, Ohyama Junya, Sawabe Kyoichi, Satsuma Atsushi	4. 巻 10
2. 論文標題 Effects of carbon number and bond saturation on hydrocarbon combustion over a diesel oxidation catalyst	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Catalysis Science & Technology	6. 最初と最後の頁 3868 ~ 3874
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CY00017E	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 Murata Kazumasa, Ohyama Junya, Yamamoto Yuta, Arai Shigeo, Satsuma Atsushi	4. 巻 10
2. 論文標題 Methane Combustion over Pd/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Catalysts in the Presence of Water: Effects of Pd Particle Size and Alumina Crystalline Phase	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 8149 ~ 8156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.0c02050	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 Ashikaga Ryota, Murata Kazumasa, Ito Tetsuya, Yamamoto Yuta, Arai Shigeo, Satsuma Atsushi	4. 巻 10
2. 論文標題 Tuning the oxygen release properties of CeO <sub>2</sub> -based catalysts by metal-support interactions for improved gasoline soot combustion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Catalysis Science & Technology	6. 最初と最後の頁 7177 ~ 7185
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CY01294G	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 Oda Akira, Shionoya Hitomi, Hotta Yuusuke, Takewaki Takahiko, Sawabe Kyoichi, Satsuma Atsushi	4. 巻 10
2. 論文標題 Spectroscopic Evidence of Efficient Generation of Dicopper Intermediate in Selective Catalytic Reduction of NO over Cu-Ion-Exchanged Zeolites	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 12333 ~ 12339
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.0c03425	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 Oda Akira, Tanaka Tomoyasu, Sawabe Kyoichi, Satsuma Atsushi	4. 巻 11
2. 論文標題 How to Constrain Metal-Oxyl Bonds on a Solid Surface? Lesson from Isovalent Zn(II)-Oxyl and Ga(III)-Oxyl Bonds Isolated in Zeolite Matrix	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 9426 ~ 9431
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.0c02980	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 Murata Kazumasa, Ohyama Junya, Satsuma Atsushi	4. 巻 11
2. 論文標題 Kinetic analysis of Ag particle redispersion into ZSM-5 in the presence of coke using in situ XAFS	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Catalysis Science & Technology	6. 最初と最後の頁 506 ~ 515
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CY01989E	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 Murata Kazumasa, Shiotani Takumi, Ohyama Junya, Satsuma Atsushi	4. 巻 50
2. 論文標題 Selective Hydrogenation of C=C bond in Cinnamaldehyde on Pd Step Sites of Pd/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 599 ~ 602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200856	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 Oda Akira, Kumagai Jun, Sawabe Kyoichi, Ohkubo Takahiro, Kuroda Yasushige, Satsuma Atsushi	4. 巻 125
2. 論文標題 17O-ESR Evidence for Zeolite Matrix Isolation of a Square Planar ZnO <sub>3</sub> Ring Radical with C <sub>2v</sub> Symmetry	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 5136 ~ 5145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c01042	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 Murata Kazumasa, Shiotani Takumi, Ohyama Junya, Wakabayashi Ryutaro, Maruoka Hirokazu, Kimura Tatsuo, Satsuma Atsushi	4. 巻 11
2. 論文標題 Relationship between penta-coordinated Al <sup>3+</sup> sites in the Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> supports and CH <sub>4</sub> combustion activity of Pd/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> catalysts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Catalysis Science & Technology	6. 最初と最後の頁 2374 ~ 2378
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CY00098E	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 Murata Kazumasa, Kurimoto Natsuki, Yamamoto Yuta, Oda Akira, Ohyama Junya, Satsuma Atsushi	4. 巻 4
2. 論文標題 Structure-Property Relationships of Pt-Sn Nanoparticles Supported on Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> for the Dehydrogenation of Methylcyclohexane	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 4532 ~ 4541
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.1c00128	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 -

[学会発表] 計29件(うち招待講演 4件/うち国際学会 10件)

1. 発表者名 K. Ueda, M. Tsuji, J. Ohyama, A. Satsuma
2. 発表標題 Automotive Tandem Three-Way Catalyst Composed of PGM-free HC-PROX and CO-SCR
3. 学会等名 MCARE2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田村 武裕、沢邊 恭一、大山順也、薩摩 篤
2. 発表標題 COガス処理による双晶Agナノ粒子の調製法とそのCO酸化反応活性
3. 学会等名 第124回触媒討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村田和優, ELEEN Eleeda, 大山順也, 山本悠太, 荒井重勇, 薩摩篤
2. 発表標題 Pd/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 上でのCO酸化における高活性サイト
3. 学会等名 第124回触媒討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 酒井亮佑, 植田格弥, 大山順也, 薩摩篤
2. 発表標題 卑金属自動車三元触媒の開発 - 担持バナジウム触媒上での炭化水素選択燃焼反応における担体効果
3. 学会等名 第124回触媒討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田村 武裕, 大山 順也, 沢邊 恭一, 薩摩 篤
2. 発表標題 COガス処理による双晶Agナノ粒子の調製法とそのCO酸化反応活性
3. 学会等名 第124回触媒討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小椋啓司、村田和優、大山順也、薩摩篤
2. 発表標題 担持Pdナノ粒子によるシナムアルデヒドの選択的水素化-CO還元処理の効果
3. 学会等名 第49回 石油学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Ueda, M. Tsuji, J. Ohyama, A. Satsuma
2. 発表標題 Precious Metal Free Automotive Three-Way Catalyst - Inhibition of NO reduction by self-poisoning and solution with tandem configuration
3. 学会等名 The 9th East Asia Joint Symposium on Environmental Catalysis and Eco-Material (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Shibano, J. Ohyama, A. Satsuma
2. 発表標題 NO reduction on Cu-shell Ru-core nanoparticle prepared via Electronic Adsorption
3. 学会等名 The 9th East Asia Joint Symposium on Environmental Catalysis and Eco-Material (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 K. Murata, E. Eleeda, J. Ohyama, Y. Yamamoto, S. Arai, A. Satsuma
2. 発表標題 Particle size effect on CO oxidation over Pd/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> with different alumina crystalline phase
3. 学会等名 MATERIALS RESEARCH MEETING 2019 (MRM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Mahara, T. Tojo, K. Murata, J. Ohyama, A. Satsuma
2. 発表標題 Pd/CoAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Prepared by Galvanic Deposition - Promotion of Reduction-Oxidation Steps of Pd Particle during Methane Combustion
3. 学会等名 MATERIALS RESEARCH MEETING 2019 (MRM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村田和優、小菅大智、大山順也、馬原優治、山本悠太、荒井重勇、薩摩篤
2. 発表標題 金属-担体間の相互作用によるメタン燃焼用Pd触媒の酸化還元性の制御
3. 学会等名 第125回触媒討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大島正己・植田格弥・大山順也・薩摩篤
2. 発表標題 Ni-Ga複合酸化物による自動車三元触媒反応 - 組成と空燃比の効果
3. 学会等名 石油学会第61回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 "植田格也, Cheen Aik Ang, 永井詩織, 伊藤由浩, 大山順也, 薩摩 篤
2. 発表標題 非貴金属自動車触媒 ~ これまでの動向と今後の展望 ~
3. 学会等名 ESICB電池・電子論合同検討会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村田和優・馬原優治・大山順也・山本悠太・荒井重勇・薩摩篤
2. 発表標題 Dependence of Particle Size and Metal-Support Interaction of Pd/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> on Methane Combustion Activity
3. 学会等名 第9回触媒科学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大久保慶一・大山順也・薩摩篤
2. 発表標題 Bifunctional effect of Ru-modified Pt catalyst for hydrogen oxidation reaction under alkaline conditions
3. 学会等名 第9回触媒科学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazumasa Murata, Yuji Mahara, Junya Ohyama, Yuta Yamamoto, Shigeo Arai, Atsushi Satsuma
2. 発表標題 Particle size and metal-support interaction induced surface structure variation of Pd/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> catalysts for methane combustion
3. 学会等名 12th International Symposium on the "Scientific Bases for the Preparation of Heterogeneous Catalysts" (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Saori HOSHI, Daiki YAMASHITA, Junya OHYAMA, Atsushi SATSUMA
2. 発表標題 Effect of Chemical Composition of Real PM on Combustion Temperature
3. 学会等名 The 8th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sosuke KATO, Junya OHYAMA, Atsushi SATSUMA
2. 発表標題 Cinnamaldehyde hydrogenation over morphology-controlled Platinum nanoparticles by CO/H <sub>2</sub> pretreatment gas
3. 学会等名 The 8th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keiichi OKUBO, Junya OHYAMA, Atsushi SATSUMA
2. 発表標題 Modification of Pt/C with various metal oxides improving catalytic activity for alkaline hydrogen oxidation
3. 学会等名 The 8th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村田和優・大山順也・薩摩篤
2. 発表標題 水存在下でのメタン燃焼におけるPd/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 触媒のPd粒子サイズ及びアルミナ結晶相の効果
3. 学会等名 第122回触媒討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小菅大智・村田和優・大山順也・薩摩篤
2. 発表標題 コロイド法で調製した担持Pdナノ粒子触媒上でのメタン燃焼活性におけるサイズ依存性
3. 学会等名 第122回触媒討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大久保慶一, 大山順也, 薩摩篤
2. 発表標題 Improvement of catalytic performance of Pt nanoparticles for alkaline hydrogen oxidation by surface modification with various metals
3. 学会等名 第48回石油化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石川万智・大山順也・薩摩篤
2. 発表標題 カーボン担持Ru-Irバイメタル触媒の表面組成がアルカリ条件下水素酸化反応に及ぼす影響
3. 学会等名 第59回電池討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 薩摩 篤
2. 発表標題 触媒機能の複合化と分離によるプロセスの効率化ーバイオマス転化と自動車触媒を例に
3. 学会等名 第3回東日本キャタリシスセミナー（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大久保慶一, 大山順也, 薩摩篤
2. 発表標題 in situ XAFS解析による白金上への電気化学的水素吸着量の電解質pH依存性
3. 学会等名 第8回名古屋大学シンクロトン光研究センターシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村田和優・大山順也・薩摩篤
2. 発表標題 In-situ XAFSを用いたコーク存在下におけるゼオライト上のAg粒子の再分散速度解析
3. 学会等名 第8回名古屋大学シンクロトン光研究センターシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 植田格弥・辻雅史・大山順也・薩摩篤
2. 発表標題 貴金属フリー自動車三元触媒の開発～卑金属酸化物の限界とタンデム型レイアウトによる機能化 "
3. 学会等名 触媒・電池元素戦略研究拠点 第14回公開シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村田和優・ELEEDA, Eleen・小菅大智・馬原優治・大山順也・山本悠太・荒井重勇・薩摩篤
2. 発表標題 Pd/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> のPd表面構造に依存するCH <sub>4</sub> 及びCO酸化活性
3. 学会等名 第123回触媒討論会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 K. Murata, Y. Mahara, J. Ohyama, A. Satsuma
2. 発表標題 Promotion of Methane Combustion over Pd/Al2O3 by Galvanic Deposition of Co and Support Effect of Al2O3
3. 学会等名 ICEC&EECAT2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 排ガス浄化触媒	発明者 薩摩 篤, 植田 格 弥, 辻 雅史, 大山 順也	権利者 国立大学法人名 古屋大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-098843	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 メタン浄化触媒	発明者 薩摩篤, 藤田直人, 他3名	権利者 株式会社キャタ ラー・国立大学 法人名古屋大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-067927	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 排ガス浄化用触媒の製造方法	発明者 青野紀彦、薩摩篤、 東城巧、大山順也、 石川裕之	権利者 株式会社キャタ ラー・国立大学 法人名古屋大学
産業財産権の種類、番号 特許、特許第6395212号	取得年 2018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	大山 順也  (Ohyama Junya)  (50611597)	熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・准教授   (17401)	
研究 分 担 者	沢辺 恭一  (Sawabe Kyoichi)  (80235473)	名古屋大学・工学研究科・講師   (13901)	

6. 研究組織（つづき）

	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	織田 晃  (Oda Akira)  (80762377)	名古屋大学・工学研究科・助教    (13901)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関