様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　元 年　６ 月 １１ 日現在

機関番号：１４３０１
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2016～2018
課題番号：１６Ｈ０４５６７

研究課題名（和文）貴金属元素をプロモーターとした超高活性酸化触媒の開発

研究課題名（英文）Development of oxidation catalyst using precious group metal species as promoter

研究代表者
田中　庸裕（Tanaka, Tsunehiro）

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：７０２０１６２１

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　13,900,000円

研究成果の概要（和文）：自動車や種々の工業プロセスにおいて排出される揮発性有機化合物（VOC）の除去には触媒燃焼法が有効であり，低温域における触媒活性の向上が望まれている．本研究では，貴金属と遷移金属複合酸化物から成る触媒に着目し，遷移金属複合酸化物がもつ触媒機能を極微量の貴金属元素添加により飛躍的に増幅させることを検討した．その結果，高い酸化能をもつMn系複合酸化物に極微量の貴金属種を担持することで，COおよびC3H6燃焼活性が劇的に向上することを見出した．遷移金属種が苦手とする反応基質の吸着を貴金属種がプロモートすることで，触媒全体の活性が向上することを明らかにした．

研究成果の学術的意義や社会的意義
本研究課題では，少量の貴金属元素が遷移金属元素の触媒能を促進するという新規な発想に基づき，貴金属元素をプロモーターとした超高活性燃焼用触媒の開発を目指した．従来まで，貴金属系の触媒の活性点は貴金属サイトであるという固定概念があったが，本研究では遷移金属が活性サイトであり，その機能をアシストするために貴金属を導入するという視点で触媒設計を行った．その結果，触媒活性が非常に高い材料を設計することに成功した．このような触媒設計指針は触媒活性の向上を生むだけでなく，貴金属元素の使用量の低減化も見込めるため，経済的・社会的観点からも意義深い成果であると考えている．

研究成果の概要（英文）：Catalytic combustion method is effective for the removal of volatile organic compounds (VOCs) emitted from automobile or various industrial processes, and the development of novel catalyst material having a high activity at low temperature range is highly desired. This research demonstrates that the catalytic function of transition metal-based mixed oxide is dramatically amplified by adding a trace amount of precious group metal (PGM) species. For CO and C3H6 combustion, catalytic activity of Mn-based catalyst are enhanced by PGM loading. A small amount of PGM species adequately promotes the adsorption of CO or C3H6, resulting in the improvement of catalytic activity of Mn-based catalyst. These results suggest that the development of transition metal-based catalyst having high catalytic activity leads to reduce PGM usage.

研究分野：触媒化学

キーワード：燃焼触媒　自動車触媒　貴金属触媒　遷移金属触媒

様　式　C－１９、F－１９－１、Z－１９、CK－１９（共通）

１．研究開始当初の背景

自動車や塗料工場などから排出される炭化水素類や CO の触媒燃焼反応に対して，低温域での飛躍的な活性向上が望まれている．このような反応に有効な触媒として，Pd/CeO_2 のような貴金属触媒・Co_3O_4 のような単独遷移金属酸化物触媒・ペロブスカイト型構造を有する $LaCoO_3$ や $LaMnO_3$ のような金属複合酸化物触媒がある [1)-4)]．貴金属触媒では，高分散担持された貴金属種の創製やクラスター触媒の開発に注力が置かれている．単独遷移金属酸化物触媒は非貴金属触媒にもかかわらず高い触媒活性を示すが，焼結が進行しやすく，耐熱性が極めて低いという問題がある．また，金属複合酸化物触媒では，$La_{1-y}Ce_yCo_{1-x}Fe_xO_3$ のように複雑な組成を有するペロブスカイト型金属複合酸化物がメタノール燃焼に高い活性を示すことが見出されている [5)]．また，貴金属を結晶骨格中に固溶させた触媒においても高い活性を示すことが報告されており，Hedge らは $Ce_{1-x}Ru_xO_{2-\delta}$ が CO や炭化水素の燃焼反応に対して高い活性を示すことを報告している [6)]．これら複合酸化物が高い触媒機能を発現する理由として，種々の異なる電荷を有する金属を固溶させることで目的金属種の電子状態を制御できること，および酸素欠陥の形成や酸素移動能向上が挙げられる．しかし，高い活性をもつ遷移金属複合酸化物触媒に貴金属種を担持した触媒による燃焼反応の研究は，それほど多くないのが実情である．

このような背景を基に，本研究課題では，貴金属と遷移金属複合酸化物から成る触媒に着目し，遷移金属元素がもつ触媒機能を少量の貴金属元素の担持により飛躍的に向上させることを検討した．

２．研究の目的

触媒燃焼法による炭化水素や CO の燃焼反応は，大気汚染物質である NO_x の副生を抑制することができるため，長年に亘り研究がおこなわれている．しかし，本法に有効な触媒は Pd や Pt といった貴金属元素を含む触媒が多く，これら貴金属種の使用量を低減することが望まれている．本触媒反応には複合酸化物触媒も有効であることが知られており，ペロブスカイト構造を有する $LaFe_{0.57}Co_{0.38}Pd_{0.05}O_3$ 触媒が自動車用排ガス浄化触媒に適用可能であることが報告されている [7)]．

希土類（RE）と鉄の比が 1:1 の組成である希土類－鉄複合酸化物（$REFeO_3$）には斜方晶ペロブスカイト型構造（*o*-$REFeO_3$）と六方晶構造（*h*-$REFeO_3$）が存在する．熱力学的に準安定相である *h*-$REFeO_3$ は合成が困難であるが，我々はソルボサーマル（ST）法により *h*-$REFeO_3$ を容易に調製できること，および炭化水素の燃焼反応に対して *h*-$YbFeO_3$ が *o*-$YbFeO_3$ より高い活性を示すことを既に報告している [8)]．さらに，ST 合成した Mn 修飾 *h*-$YbFeO_3$（Mn-YFO）触媒が従来型のアルミナ担持 Pd 触媒よりも高い燃焼活性を示すことも見出している [9)]．

そこで，本研究では，Mn-YFO 触媒の高い酸化能を活かし，排ガス中に含まれる CO や C_3H_6 の低温での酸化活性向上を試みた．具体的には，Mn-YFO に少量の貴金属（PGM）を担持させた触媒を用いて CO や C_3H_6 燃焼反応を検討した．

３．研究の方法

Mn 修飾六方晶 $YbFeO_3$（Mn-YFO）はソルボサーマル（ST）法により合成した．$YbFe_{0.6}Mn_{0.4}O_3$ の組成比になるように $Yb(OAc)_3$，$Fe(acac)_3$，$Mn(acac)_3$ を 1,4-butanediol 中に懸濁させ，オートクレーブに導入した．その後，オートクレーブ中を窒素置換し，ST 反応（315°C，2 h）を行った．生成物を Methanol で洗浄し風乾することで Mn-YFO を得た．これを空気中，500°C で 30 min 焼成したものを担体として使用した．貴金属（Ru, Rh, Pd, Ir, Pt）の担持は，担体に対して貴金属量が金属として 1.0wt%となるように各種前駆体を室温にて含浸担持し，空気中，500°C で 30 min 焼成することで触媒を得た．また，Al_2O_3 担体として，触媒学会の参照触媒（JRC-ALO-8）を用い，同様の方法で Al_2O_3 担持貴金属触媒を調製した．

CO および C_3H_6 燃焼反応は固定床流通型反応装置を用いて行った．反応ガス（CO, 5000ppm; O_2, 5000ppm; He, balance もしくは C_3H_6, 250ppm; O_2, 2250ppm; He, balance）を $W/F = 0.06$ g s mL^{-1} で触媒に流通させ，出口ガスをガスクロマトグラフにより分析した．

４．研究成果

（1）CO 燃焼反応

Mn-YFO に各種貴金属を 1.0wt%担持させた触媒を用いて CO 燃焼反応を行った結果を Fig. 1 に示す．Pt および Ir の担持効果は全く見られなかったが，Mn-YFO に Pd，Rh および Ru を担持した触媒は Mn-YFO の活性を飛躍的に向上させた．その中でも，CO 燃焼反応では Pd を担持させた触媒が最も高い活性を示した．担体の効果について検討するため，Pd/Al_2O_3 触媒を用い

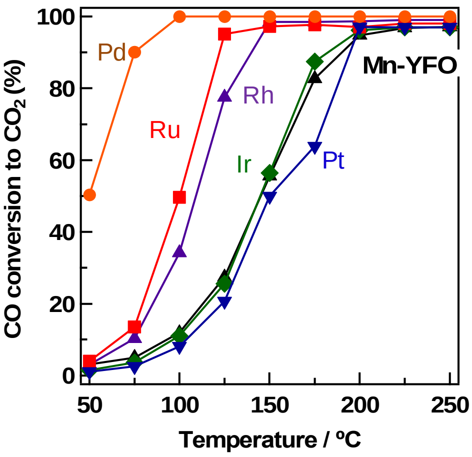

Fig. 1 CO conversions over 1.0 wt% PGM/Mn-YFO. PGM species are represented in the figure as element symbols.

て CO 燃焼反応を行った．その結果，Pd/Mn-YFO 触媒（78 m^2 g^{-1}）の方が Pd/Al_2O_3 触媒（183 m^2 g^{-1}）に比べて低表面積であるにもかかわらず，極めて高い CO 酸化活性を示した．

Mn-YFO の Mn および Fe K-edge の XAFS 測定を行った（Fig. 2）．ST 合成したものと錯体重合法（PC）で合成したものでは Fe のスペクトルは同様の形状を有していたが，Mn のものは大きく異なっていた．PC 合成したもののスペクトル形状は *h*-$YbFeO_3$ に固溶した Mn 種に特有の形状であったが，ST 合成した触媒中に含まれるすべての Mn 種を固溶型 Mn 種に同定することはできなかった．そこで，線形結合フィッティングにより ST 合成した触媒に含まれる固溶型 Mn 種と非固溶型 Mn 種の存在比を検討した．その結果，非固溶型 Mn 種として Mn_3O_4 と MnO_2 がそれぞれ 30%以上も存在していることが明らかとなった．一方，ST 合成した触媒の XRD 測定では，Mn 種に由来するピークは認められなかった．さらに，XRD および TEM 観察の結果から，ST 合成した触媒は *c* 軸方向の結晶成長が抑制された薄い板状の形態を有していることが明らかとなった．これらの結果から，ST 合成した触媒には Mn_3O_4 や MnO_2 構造に類似した無定形 Mn 種が，六角板状結晶上に多量に存在していると結論した．Pd K-edge XAFS 測定を行ったところ，Pd/Mn-YFO および Pd/Al_2O_3 の EXAFS フーリエ変換スペクトルには，Pd-O-Pd 結合に由来するピークは存在しなかった．このことから，両触媒において Pd は高分散状態で担持されていることが明らかとなった．これらの結果は，Pd 種の分散状態ではなく，担体が CO 燃焼に寄与している可能性を示唆している．

PGM/Mn-YFO 触媒の還元挙動を観察するために，水素昇温還元（H_2-TPR）を行った（Fig. 3）．貴金属を担持していない Mn-YFO 触媒においては，100 度から 500 度にかけて幅広い還元ピークが観測された．本触媒の水素消費量は 1361 μmol g^{-1} であり，この値は Mn-YFO 中に含まれる Mn 種の $Mn^{3.2+}$ から Mn^{2+} への還元に対応している．Mn-YFO に貴金属を担持させた結果，還元ピークが低温側に現れるといった傾向が見られた．これらの水素消費量を算出したところ，いずれの担持貴金属触媒においても，無担持触媒のものと水素消費量が同程度であった．つまり，貴金属を担持させることで担体中に存在する Mn 種の還元がより低温で引き起こされることが示された．現に，水素流通下における Mn および Fe K-edge の in-situ XAFS からも，Pd 担持により Mn 種の還元が劇的に低温で進行していることを明らかにしている．なお，PGM/Mn-YFO の中でも Pd を担持させた触媒において，Mn-YFO の還元が最も低温で起きていた．

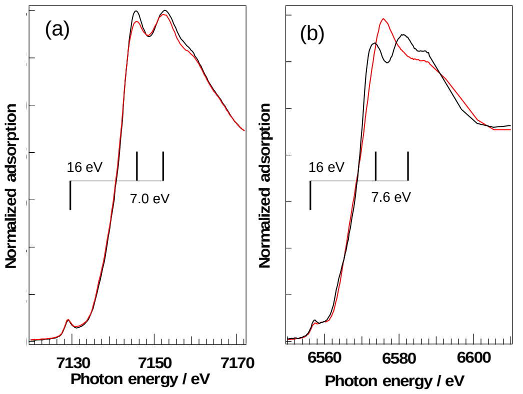

Fig. 2 Fe (a) and Mn (b) K-edge XANES spectra of Mn-YFO(ST) (red line) and Mn-YFO(PC) (black line).

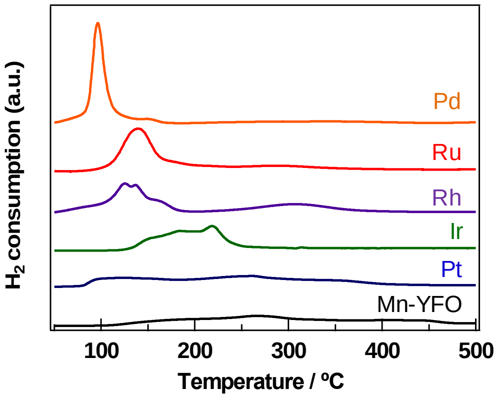

Fig. 3 H_2-TPR profiles of the PGM/Mn-YFO catalysts.

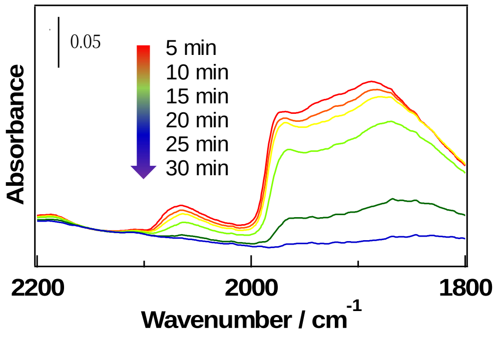

Fig. 4 Desorption behavior under He flow at 200 ℃ of CO species adsorbed over Pd/Mn-YFO catalyst.

Pd の役割を詳細に検討するため，CO 流通下での DRIFT 測定を行った．貴金属を担持していない Mn-YFO 触媒では CO の吸着は観測されなかったが，Pd を担持させることで 2050-2100 cm^{-1} や 1750-2000 cm^{-1} に直線型 CO や架橋型 CO などに由来するバンドが観測された．つまり，本触媒において Pd は担体の還元温度を低温化させるだけではなく CO の吸着能を向上させていることが示唆された．また，Pd 触媒に限らず他の貴金属触媒においても CO の吸着挙動を検討したところ，いずれの触媒においても CO に由来するバンドが観測された．そこで，CO 吸着後の試料を He 気流中に曝すことで，CO 脱離挙動を検討した(Fig. 4)．その結果，CO 燃焼活性が高かった Pd 触媒では CO の脱離が顕著に見られた．一方で，触媒活性が低かった Pt 触媒や Ir 触媒においては CO の脱離は顕著に起きなかった．以上の結果から，Pd/Mn-YFO に吸着した

CO は他の貴金属触媒に比べ円滑に脱離することが出来るため，Pd/Mn-YFO 触媒が高い活性を示したものと結論した．

（2）C_3H_6 燃焼反応

Mn-YFO に各種貴金属を 1.0wt%担持させた触媒を用いて C_3H_6 燃焼反応を行った（Fig. 5）．最も低温で触媒の還元が生じる Pd 触媒よりも Ru 触媒の方が高い C_3H_6 燃焼活性を示した．また，Ru/Mn-YFO 触媒は Ru/Al_2O_3 触媒に比べ高い C_3H_6 燃焼活性を示した．そこで，Ru K-edge XAFS 測定を行ったところ（Fig. 6），いずれの触媒においても同様のスペクトルが得られた．しかし，Ru/Mn-YFO 触媒における Ru-O-Ru 結合（2.5 Å – 4 Å）由来のピーク強度は Ru/Al_2O_3 触媒のものに比べて弱いことが認められた．このことから，Ru/Mn-YFO 触媒には凝集した Ru 種の他に，高分散な Ru 種が存在していることが推察される．そこで，高分散 Ru 種のみが存在する 0.5wt% Ru/Mn-YFO および RuO_2 の XANES スペクトルを用いて，線形結合フィッティングを行った．その結果，Ru/Mn-YFO 触媒には，0.65wt%の高分散な Ru 種と 0.35wt%の凝集した RuO_2 が存在していることが明らかとなった．そこで，担持量の異なる Ru/Mn-YFO 触媒による C_3H_6 燃焼反応を行った．その結果，Ru 担持量の増加とともに活性は向上し，0.7wt% Ru/Mn-YFO 触媒は 1.0wt% Ru/Mn-YFO 触媒と同程度の活性を示した．このような触媒活性の挙動は XAFS 測定から算出した高分散 Ru 種の量と良い相関があった．以上のことから，Mn-YFO 上に高分散担持された Ru 種が C_3H_6 燃焼活性に寄与していると結論付けた．

C_3H_6 の吸着挙動を観察するため，C_3H_6 流通下での DRIFT 測定を行った．その結果，貴金属を担持していない Mn-YFO 触媒や Pd/Mn-YFO 触媒においては，C_3H_6 由来の酸化生成物が中間体として明瞭に確認できなかった．一方，Ru/Mn-YFO 触媒においては acetate などに由来するバンドを確認することができた．この結果は，Mn-YFO 上の Ru 種は Pd 種に比べ，C_3H_6 の吸着を促進させている可能性を示唆している．

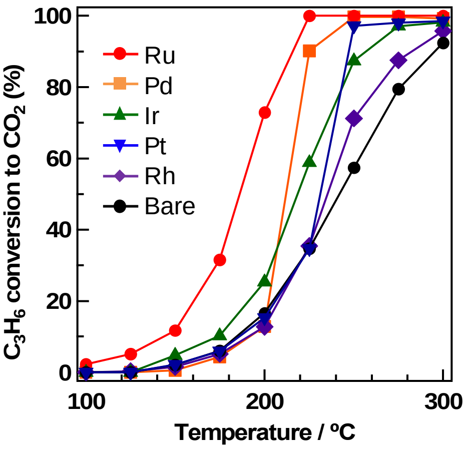

Fig. 5 C_3H_6 conversions over 1.0 wt% PGM/Mn-YFO. PGM species are represented in the figure as element symbols.

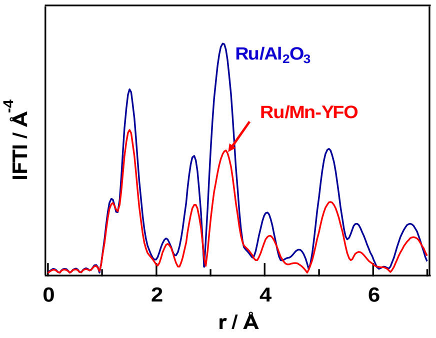

Fig. 6 Ru K-edge EXAFS Fourier transform spectra of Ru/Mn-YFO (red line) and Ru/Al_2O_3 (blue line).

従来まで，Pd や Ru 等の貴金属種が反応基質の吸着や活性化等の触媒作用を一手に担っていたため，触媒担体の設計としては貴金属種の凝集を防ぐという機能に着目されてきた．本研究のように担体自身が高い触媒能を有する材料を創製することが出来れば，活性サイトとしての卑金属 MnO_x 種が苦手とする機能（基質吸着能）を極微量の貴金属種で補うことができ，触媒全体の活性を飛躍的に向上することが可能であることを明らかにした．貴金属種を助触媒（プロモーター）として利用する本概念は，貴金属使用量の低減化に向けた触媒設計や高機能性触媒の創製に繋がるものと期待している．

なお，本成果以外に高い酸素貯蔵能をもつ $Sr_3Fe_2O_{7-\delta}$担持 Pd 触媒が C_3H_6 と CO を還元剤に用いた NO 還元に有効であることも明らかにしており，$Sr_3Fe_2O_{7-\delta}$上の Pd 種が NO の還元をプロモートしていることを見出している．

[引用文献]

1) T.V. Choudhary, S. Banerjee, V.R. Choudhary, *Appl. Catal. A*, 234 (2002) 1.
2) B.P. Barbero, J.A. Gamboa, L.E. Cadús, *Appl. Catal. B*, 65 (2006) 21.
3) G. Centi, *J. Mol. Catal. A*, 173 (2001) 287.
4) D. Ciuparu, M.R. Lyubovsky, E. Altman, L.D. Pfefferle, A. Datye, *Catal. Rev.* 44 (2002) 593.
5) B. Levasseur, S. Kaliaguine, *Appl. Catal. B: Environmental*, 88, (2009) 305.
6) P. Singh, M. S. Hedge, et al., *Chem. Mater.*, 21 (2009) 3337
7) Y. Nishihata, J. Mizuki, T. Akao, H. Tanaka, M. Uenishi, M. Kimura, T. Okamoto, N. Hamada., *Nature*, 418 (2002) 164.
8) S. Hosokawa, H. J. Jeon, S. Iwamoto, M. Inoue, *J. Am. Ceram. Soc.*, 92 (2009) 2847.
9) S. Hosokawa, Y. Masuda, T. Nishimura, K. Wada, R. Abe, M. Inoue, *Chem. Lett.*, 43 (2014) 874.

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 8 件）

① S. Hosokawa, S. Matsumoto, K. Onishi, H. Asakura, K. Teramura, T. Tanaka, CO and C_3H_6 oxidation over platinum-group metal (PGM) catalysts supported on Mn-modified hexagonal $YbFeO_3$, 査読有, Catal. Today, 2019, 332, 183-188.
DOI: 10.1016/j.cattod.2018.07.026

② K. Beppu, A. Demizu, S. Hosokawa, H. Asakura, K. Teramura, T. Tanaka, Pd/$SrFe_{1-x}Ti_xO_{3-\delta}$ as Environmental Catalyst: Purification of Automotive Exhaust Gases, ACS Appl. Mater. Interfaces, 査読有, 2018, 10, 22182-22189.
DOI: 10.1021/acsami.8b05169

③ K. Beppu, S. Hosokawa, A. Demizu, Y. Oshino, K. Tamai, K. Kato, K. Wada, H. Asakura, K. Teramura, T. Tanaka, Striking Oxygen-Release/Storage Properties of Fe-Site-Substituted $Sr_3Fe_2O_{7-\delta}$, J. Phys. Chem. C, 査読有, 2018, 122, 11186–11193.
DOI: 10.1021/acs.jpcc.7b12754

④ K. Beppu, S. Hosokawa, H. Asakura, K. Teramura, T. Tanaka, Role of lattice oxygen and oxygen vacancy sites in platinum group metal catalysts supported on $Sr_3Fe_2O_{7-\delta}$ for NO-selective reduction, Catal. Sci. Technol., 査読有, 2017, 8, 147-153.
DOI: 10.1039/C7CY01861D

⑤ K. Beppu, S. Hosokawa, T. Shibano, A. Demizu, K. Kato, K. Wada, H. Asakura, K. Teramura, T. Tanaka, Enhanced Oxygen Release-Storage Property of Pd-Loaded $Sr_3Fe_2O_{7-\delta}$, Phys. Chem. Chem. Phys., 査読有, 2017, 19, 14107-14113.
DOI: 10.1039/C7CP01614J

⑥ S. Hosokawa, K. Matsuki, K. Tamaru, Y. Oshino, H. Aritani, H. Asakura, K. Teramura, T. Tanaka, Selective Reduction of NO over Cu/Al_2O_3: Enhanced Catalytic Activity by Infinitesimal Loading of Rh on Cu/Al_2O_3, 査読有, Mol. Catal. 2017, 442, 74-82.
DOI: 10.1016/j.mcat.2017.09.005

⑦ 細川三郎，松本祥吾，多田稜平，芝野卓也，田中庸裕，貴金属使用量低減化を目指した Mn 修飾六方晶 $YbFeO_3$ 触媒の創製, J. Jpn. Soc. Powder Powder Metallurgy, 査読有, 2017, 64, 583-588.

⑧ S. Hosokawa, R. Tada, T. Shibano, S. Matsumoto, K. Teramura, T. Tanaka, Promoter effect of Pd Species on Mn Oxide Catalysts Supported on Rare-Earth-Iron Mixed Oxide, Catal. Sci. Technol., 査読有, 2016, 6, 7868-7874.
DOI: 10.1039/c6cy01462c

〔学会発表〕（計 12 件）

① 大西謙也・細川三郎・朝倉博行・寺村謙太郎・田中庸裕（ポスター発表）
Fe-Nb 系複合酸化物を触媒担体に用いた三元触媒
第 123 回触媒討論会，大阪市立大学，大阪，2019 年 3 月

② 渡邉力・細川三郎・朝倉博行・寺村謙太郎・田中庸裕（口頭発表）
ペロブスカイト型 Sr-Ti 系複合酸化物を担体とした自動車排ガス浄化用触媒の開発
日本セラミックス協会 2019 年年会，工学院大学 新宿キャンパス，東京，2019 年 3 月

③ 押野雄大・別府孝介・細川三郎・朝倉博行・寺村謙太郎・田中庸裕（口頭発表）
Browmmillerite 型 $Ca_2AlMnO_{5+\delta}$ 担持 Pd 触媒による三元触媒反応
第 122 回触媒討論会，北海道教育大学函館校，北海道，2018 年 9 月

④ 細川三郎・出水章登・別府孝介・朝倉博行・寺村謙太郎・田中庸裕（口頭発表）
Pd/$SrFe_{1-x}Ti_xO_3$ 触媒の自動車排気ガス浄化特性
セラミックス協会関西支部　平成 30 年度学術講演会，姫路商工会議所，兵庫，2018 年 7 月

⑤ 別府孝介・細川三郎・朝倉博行・寺村謙太郎・田中庸裕（口頭発表）
Pd/$Sr_3(Fe_{1-x}Ni_x)_2O_{7-\delta}$ 触媒による NO 選択還元
第 121 回触媒討論会，東京大学 駒場キャンパス，東京，2018 年 3 月

⑥ 田中庸裕（招待講演）
貴金属使用量減量を指向した自動車排ガス浄化触媒
「自動車排気触媒システムの多様性への対応」シンポジウム,東京，2016 年 2 月

⑦ 松本祥吾・細川三郎・朝倉博行・寺村謙太郎・田中庸裕（口頭発表）
Mn 修飾六方晶 $YbFeO_3$ 担持貴金属触媒の酸化特性
第 120 回触媒討論会，愛媛大学 城北キャンパス，愛媛，2017 年 9 月

⑧ S. Matsumoto, T. Shibano, S. Hosokawa, H. Asakura, K. Teramura, T. Tanaka（ポスター発表）
C_3H_6 combustion over Mn-modified hexagonal $YbFeO_3$
The 8th Japan-China Workshop on　Environmental Catalysis，Tsukuba，Japan，2017 年 12 月

⑨ 細川三郎・芝野卓也・多田稜平・朝倉博行・寺村謙太郎・田中庸裕（口頭発表）
ソルボサーマル合成した Mn 修飾六方晶 $YbFeO_3$ 触媒を用いた三元触媒反応
第 119 回 触媒討論会，首都大学東京 南大沢キャンパス，東京，2017 年 3 月

⑩ 松本祥吾・芝野卓也・細川三郎・朝倉博行・寺村謙太郎・田中庸裕（口頭発表）

ソルボサーマル合成したMn修飾六方晶$YbFeO_3$触媒を用いたC_3H_6燃焼反応
日本セラミックス協会 2017年年会，日本大学 駿河台キャンパス，東京，2017年3月
⑪　松木和也・細川三郎・朝倉博行・寺村謙太郎・田中庸裕（口頭発表）
Cu/Al_2O_3触媒を用いたNO選択還元に対する貴金属添加効果
第46回石油・石油化学討論会，京都リサーチパーク，京都，2016年11月
⑫　松本祥吾・芝野卓也・細川三郎・朝倉博行・寺村謙太郎・田中庸裕（口頭発表）
Mn修飾六方晶$YbFeO_3$担持貴金属触媒によるC_3H_6酸化
第46回石油・石油化学討論会，京都リサーチパーク，京都，2016年11月

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕
○出願状況（計0件）

○取得状況（計0件）

〔その他〕
ホームページ等
http://www.moleng.kyoto-u.ac.jp/~moleng_04/

６．研究組織

研究協力者
研究協力者氏名：細川　三郎
ローマ字氏名：（Saburo Hosokawa）

研究協力者氏名：寺村　謙太郎
ローマ字氏名：（Kentaro Teramura）

※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。