

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「多様な天然炭素資源の活用に資する
革新的触媒と創出技術」
研究課題「メタンから低級オレフィンへの直接転換
を可能にする金属超微粒子を担持した複合酸化物
触媒材料の創製」

研究終了報告書

研究期間 2016年10月～2022年3月

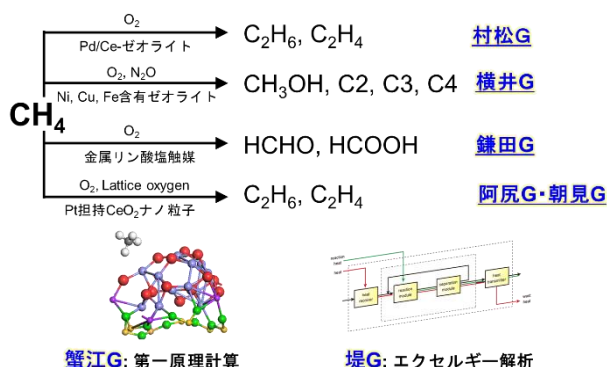
研究代表者：村松 淳司
(東北大学多元物質科学研究所 教授)

§ 1 研究実施の概要

(1) 実施概要

➤ 村松チーム

本研究チームでは、メタン転換により低級オレフィンをはじめとする高付加価値化合物を直接かつ低温で生成可能な触媒材料の創製を目指した。右図に示すように、各々のグループが得意とする触媒材料・合成技術を基盤とした研究を展開・融合し、高難度なメタンの酸化的変換反応を実現した。また、計算化学的な支援により、触媒合成や反応プロセスの設計指針を明確化することで、効率的な新奇触媒材料開発を図った。さらに、実験室系で完結するのではなく、最終的な社会実装を見据えて、エクセルギー解析を取り入れ、実際の工業プロセスとして稼働する際に必要な触媒プロセスの改良点についても検討した。



メタンの酸化的変換反応に取り組む上で、メタンの燃焼や生成物の逐次酸化による CO および CO₂ の副生は、避けては通れない課題である。我々の研究チームでは、この課題の解決に向けて、活性サイトや反応場を精密にデザインすることで、メタンの反応性を制御し、選択的に目的生成物を得ることを目標とした。特に、触媒中の金属酸化物や金属リン酸塩の格子酸素や、酸化物クラスターの持つ酸素種によるメタンの活性化を軸とした触媒設計を行った。各グループの触媒反応結果を俯瞰的に考察すると、今回の反応系においては、Mars-van Krevelen 機構により反応が進行していることが示唆された。また、この結果は、第一原理計算の結果からも支持された。すなわち、触媒中の酸素種の制御の重要性が立証されたと言える。村松グループ、横井グループでは、主にゼオライト中に導入した金属酸化物や酸化物クラスター中の酸素種によって、従来よりも低い反応温度 (600 ° C 以下) でもメタン転換反応が進行し、選択的にカップリング生成物やメタノールを生成することを見出した。村松グループでは、メカノケミカル法と呼ばれる独自のゼオライト合成手法により Ce 含有ゼオライトを合成し、Pd 種を担持することで、従来よりも低温でメタンの酸化カップリング (OCM) 反応が進行することを見出した。横井グループでは、ゼオライト中にイオン交換的に導入した Ni や Cu カチオン種が酸化剤と反応し、生成する酸化物クラスターを用いたメタンの部分酸化反応を実現している。この反応系では、触媒材料の検討は勿論のこと、酸化剤についても検討を行っており、各触媒に対して適切な酸化剤を選択することで目的生成物収量が向上した。また、鎌田グループでは、金属酸化物と比較して弱い塩基性を持つ金属リン酸塩を触媒として用いることで逐次酸化反応を抑制した。阿尻グループ、朝見グループでは、露出面が高度に制御された CeO₂ ナノ粒子を触媒もしくは触媒担体として用いることで、格子酸素が効率的にメタンを活性化し、低級オレフィン合成を実現した。前述したように、蟹江グループが実施した第一原理計算では、触媒中に取り込まれた酸素種がメタンを活性化している可能性が高いことが示されている。村松グループの反応系では、担持された PdO の酸素が活性点であり、横井グループの系では、Ni カチオン同士を架橋する酸素種が反応に有効であることが示された。これらの反応系を実工業プロセスへと展開する際の問題点および改良指針を明確化するために、堤グループによるエクセルギー解析を行った。その結果、省エネルギーを図るために、加熱を全て熱循環システムで行うことが重要となることが明らかとなった。自己熱再生が実現されれば、あらゆるプロセスのエネルギー消費を 1/5-1/10 に削減できることがわかった。

本 CREST プロジェクトを通じて、メタン活性化に有効な金属酸化物およびリン酸塩中の格子酸素や、酸化物クラスター中の酸素種を戦略的に触媒上に形成させることで、フリーな原子状酸素による逐次酸化を抑制し、選択的に目的生成物を生成できることを明らかとした。また、計算化学的な視点から各触媒材料のメタン活性化機構を推察し、実験結果の裏付けを得ることができた。さらに、エクセルギー解析も行ったことで、高効率なメタン転換反応プロセスを構築する上で重要な知

見を得ることができたと言える。

➤ 旧大山チーム

本プロジェクトの目的は、メタンを低温で活性化し、含酸素化合物を高効率に生成する革新的な触媒技術を開発することである。この目的に向け、1) 酸素分子使用による過酸化の課題に対処するための酸素原子シャトルの利用、2) メタンと酸化剤の活性化を担うサイトを分離したバイメタリック触媒の開発、3) 過剰な生成物の酸化を抑制するためのコア・シェル触媒の開発、4) 過酸化の問題に対処するための酸素分離膜反応器の利用、5) 変調 *in situ* XAFS/FTIR 測定による反応サイトのその場観察と反応機構解析に取り組んだ。

当初、東京大学大山グループ(大山 G)を中心に研究を進め、NO/NO₂ シャトル機構に基づくメタンからジメチルエーテル(DME)の直接合成、メタンと酸化剤(分子状酸素)を混合する膜反応器の構築などについて成果を積み重ねた。また、大山 G と連携し、北九州市立大黎 G、首都大(現都立大)宍戸 G が、バイメタリック触媒の構築とその評価に取り組んだ。九州大高垣 G は、Pt/Al₂O₃ 触媒を中心に反応条件の検討や反応中における Pt の状態と吸着種、生成物との相関について検討を進めた。さらに産総研阪東 G は、変調分光測定システムの構築を進めると共に大山 G の見出したメタンからジメチルエーテル(DME)生成の反応メカニズムの解明を進め、本反応における反応中間体の同定に成功した。さらに、大山 G、黎 G、宍戸 G と連携し、バイメタリック触媒の構造解析を行った。また、阪東 G は、大山 G、高垣 G と連携し、*in situ* XAFS/FTIR 測定システムの構築を進め、反応中の Pt の状態と吸着種について基礎的な知見を蓄積した。一方、高垣 G は、Pt/Al₂O₃ 触媒を用いた NO/NO₂ 系の反応条件を精査し、NO のみを供給した場合に部分酸化生成物が高選択的に生成することを見出した。また、宍戸 G、大山 G、阪東 G の連携により *in situ* FTIR および酸素同位体実験から、吸着 nitrate 種を経由するメタンへの NO₂ 由来の酸素の取り込みが進行し、最終的に DME が生成することを明らかとし、NO/NO₂ シャトル機構の有効性を示した。

2020 年度から研究体制の変更を行い、1) NO によるメタンの部分酸化(高垣 G、宍戸 G)、2) バイメタリック複合酸化物触媒によるメタンからのホルムアルデヒド生成(黎 G)をターゲットとした。阪東 G は、高垣 G、宍戸 G、黎 G のそれぞれと連携し、*in situ* 分光による活性種の構造解析、反応機構の解析に取り組んだ。

高垣 G は、Pt/Al₂O₃ 触媒について NO を酸化剤として用いることで 300°C 程度の低温からメタンからシアン化水素(HCN)とアンモニア(NH₃)が高選択的に生成すること、さらに、反応温度 400°C において 120 時間にわたって安定した活性を示すことを見出した。宍戸 G は、様々な酸化物、リン酸塩を担体とする担持白金触媒について NO を酸化剤とするメタン活性化について評価した。高垣 G、宍戸 G は、阪東 G と連携し、速度論的解析、*in situ* 分光による活性種の構造解析、吸着種の同定を進め、メタン/NO 系における一次生成物は、HCN であり、CO₂、NH₃ は、二次生成物であることを明らかとした。この結果は、担持 Pt 触媒上でメタンの C-H 結合および NO の N-O 結合の開裂と C-N 結合の生成が進行することを示している。また、反応条件の精査を行い NO を酸化剤とする HCN 生成の機構は、アンドルソフ法等、従来の HCN 生成プロセスとは反応機構が異なっており、新規なメタン活性化機構であることを示した。さらに、宍戸 G は、Pt/Al₂O₃ 触媒の表面を疎水的なシリカ層で被覆したコア・シェル触媒によって HCN 生成速度が向上することを明らかにした。また、Pt に Au を導入し、Pt の電子状態と局所構造を調整した Pt-Au バイメタリック触媒では、Pt 触媒と比較して HCN 生成速度が向上することも示した。高垣 G は、計算予測実証チャレンジに参画し、白金酸化物によるメタンからのメタノール生成についても検討を進めた。

一方、黎 G は、ガルバニック法を利用して担持 Pd-Ru バイメタリック複合酸化物触媒の調製に成功した。Pd-Ru バイメタリック複合酸化物触媒では、Pd-Ru 間に位置する格子酸素の反応性が向上すること、この格子酸素がメタンの選択酸化によるホルムアルデヒドの生成に有効な酸素種であることを見出した。Pd-Ru バイメタリック複合酸化物触媒は、酸素のみを酸化剤とした場合にもホルムアルデヒドを最高 70% 程度の選択性で連続的かつ安定に生成させることができる。阪東 G と連携し、活性種の構造解析を進め、Pd と Ru は、ペロブスカイト型酸化物を形成しており、この格子酸素を有効に活用していることを明らかとした。

(2) 顕著な成果

< 優れた基礎研究としての成果 >

➤ 村松チーム

1. メカノケミカル法による Ce 含有ゼオライトの合成と低温メタン転換反応用触媒としての応用

概要:メカノケミカル法により合成した Ce-MFI 中の Ce 種は、XAS や STEM 解析から、単純な水熱合成法や含浸法でゼオライト中に形成させた Ce 種と比較して、より均一かつ高分散に導入されていることを明らかにした。高分散 Ce 種は、露出面積が大きいために担持金属種との協奏作用を発現し易く、この構造によって Pd/Ce-MFI 触媒および Pd,Co/Ce-MFI 触媒が特異的な低温 C2 生成活性を示すことを見出した。このような触媒構造に関する知見から、ゼオライト結晶中に高分散な化学種を作り出すための手法としてのメカノケミカル法の優位性を明らかにした。

2. 金属含有ゼオライトにおける位置・状態制御の重要性

概要:ゼオライトの空間内に Fe, Ni, Co, Cu, Pt, Ag などの金属種を導入した“金属含有ゼオライト触媒”は脱水素、水素化、酸化、NO_x 選択還元など様々な反応に活性を示すため、注目されている。一方で、触媒性能面において、金属種の位置・状態の重要性は認識されているにもかかわらず、困難さ故に「制御する」といった視点で学術的な研究はなされてきてはいない。本研究を通じ、金属含有ゼオライトに関して、金属種のナノ空間内での位置、そして状態・サイズを制御する手法の開発に成功し、今後の展開が期待できる。

3. リン酸鉄ナノ粒子触媒によるメタン酸化反応機構の解明

概要:リンゴ酸を用いたゾルゲル法による合成したリン酸鉄 FePO₄ ナノ粒子触媒がメタンからホルムアルデヒドへの選択酸化に高い触媒活性を示した。完全酸化反応のみが進行する酸化鉄 Fe₂O₃ 触媒とは異なる反応性を表面の酸化力と酸塩基性の両面から検討を行い、酸化還元能を有する均質な Lewis 酸点 Fe³⁺と弱塩基点 PO₄³⁻の存在が温和な条件でのメタンの C-H 結合活性化と酸化生成物の逐次酸化抑制効果に重要であることを明らかとした。

➤ 旧大山チーム

1. NO/NO₂ シャトル機構によるメタンの低温変換

概要:担持白金触媒によるメタンからのジメチルエーテル (DME) 合成について、変調励起分光法による *in situ* 解析による吸着種の観測および酸素同位体実験により吸着 nitrate 種を経由する DME への NO₂ 由来の酸素の取り込みが進行することを示した。酸素のみを酸化剤とすると DME は全く生成しなかった。さらに、DME 生成反応中に NO (あるいは NO₂) の消費がないことから NO/NO₂ シャトル機構によってメタンから部分酸化生成物である DME が高い選択性で生成することを示した。本研究の成果は、従来にない新たな活性酸素種の発生法である。

2. 白金触媒によるメタンからシアン化水素への低温変換

概要:一酸化窒素を酸化剤としてアルミナ担持白金触媒を用いることで 300°C よりメタンからシアン化水素が生成した。NO 解離、C-H 活性化、C-N カップリングを低温で進行させることができた。400°C において 100 時間安定して収率 1% を与え、触媒活性は同温度領域において非平衡プラズマを用いた先行例よりも 1桁以上高かった。また高温での従来プロセスとは異なる反応機構で進行していることが示された。本研究成果は従来にない新たな反応系であることがわかった。

3. 新規複合酸化物触媒によるメタンからホルムアルデヒドへの低温変換

概要:ガルバニックディスプレイメント法を利用して、これまでにない複合酸化物を導入した担持 Pd-Ru 複合酸化物触媒の調製に成功した。XRD および XAFS による解析から、この複合酸化物 PdRuO₃ はペロブスカイト系構造を有していると考えられる。ペロブスカイト構造を有する複合酸化物は強い誘電性および酸素イオン伝導性を持つため、本プロジェクトで発見されたペロブスカイト型 PdRuO₃ は、格子酸素を効果的に利用することが可能な今後の新規触媒および新材料の開発

に貢献できる。

< 科学技術イノベーションに大きく寄与する成果 >

➤ 村松チーム

1. 低温メタン転換反応用ゼオライト触媒開発

概要:メカノケミカル法により合成したゼオライト担持金属触媒は、比較的温和な条件下(400 ° C 以下)でのメタン酸化カップリング(OCM)反応を実現した。メタンを基幹化学品へと転換する触媒開発は、古くから盛んに行われているが、そのほとんどは、700 ° C 以上の高温を必要とするため、環境調和型のプロセスとは言い難く、今回得られた成果は科学技術イノベーションに大きく寄与する成果であると言える。

2. 高難度選択酸化反応用ゼオライト触媒プロセスの開発

概要:今回、最も困難なメタンの部分酸化反応により、メタノールならびに低級オレフィンを合成するゼオライト触媒開発を実施し、世界に先駆けて活性サイトを自在に制御可能な“ゼオライト触媒調製化学”を切り拓き、ゼオライト科学分野にパラダイムシフトをもたらすことができた。工業材料として幅広く用いられているゼオライトを基盤にしていることから、我が国の産学官にとっても極めて重要であると考えている。ここで得られた知見をベースにすることで、ゼオライトの用途展開の拡大、ならびに多様な炭化水素の有効活用に資する触媒プロセスの開発に寄与することができる。

3. エクセルギー解析法とプロセス設計手法の開発

概要:物質・エネルギー生産システムを、4 種の熱力学基本プロセスモジュールで構成された物質フロープロセスとエネルギー流れのみのエネルギー変換モジュールの組み合わせで表記する新しいエクセルギー解析法を開発した。また、プロセスに必要な最小仕事 W_{\min} が、エクセルギー破壊の総和 $\sum T_0 S_{\text{gen}}$ をアネルギーとする廃熱 Q_w になってシステムから取り出されることを明らかにした。これによって自己熱再生が最も省エネであることが証明され、最適プロセスを簡単に設計できるようになった。

➤ 旧大山チーム

1. 白金系触媒による低温メタン酸化

概要:一酸化窒素を酸化剤とし白金触媒を用いることでメタンの C-H 活性化が低温で進行できることがわかり、完全酸化の二酸化炭素だけではなくシアン化水素が選択的に生成した。アンモニア生成を経由せずに、窒素から窒素酸化物が副生するプラント等があれば、化成品製造に有用なシアン化水素を低温で合成できる可能性を示した。

2. 新規複合酸化物触媒によるメタンからホルムアルデヒドへの低温変換

概要:本プロジェクトで開発した担持 Pd-Ru 複合酸化物触媒の格子酸素は、300 ° C 程度の低温領域で、メタンの選択酸化によるホルムアルデヒド生成に有効な酸素種であることが見出され、酸素のみを酸化剤とした場合でもホルムアルデヒドを高選択的に生成させることに成功した。このメタンの直接選択酸化プロセスは、畜産場やバイオエタノール発酵残渣などの分散型の小規模メタン発酵施設では、効率的ホルムアルデヒドの製造に期待できる。

3. 膜反応器の利用による酸素の供給

概要:膜技術は、相互に適合しない反応ガスの安全な混合を必要とするプロセスを可能にする。これには、あらゆる種類の酸化プロセスが該当する。膜リアクターでは、連続反応の選択性を制御するために、制御された反応ガスの添加も可能である。高圧の酸化雰囲気下での操作を可能にするシリカベースの膜を開発した。この技術を実装し膜反応器の性能を検討したところ、従来の充填層反応器よりも高性能が実証された。

<代表的な論文>

➤ 村松チーム

1. Mizuho Yabushita*, Motohiro Yoshida, Ryota Osuga, Fumiya Muto, Shoji Iguchi, Shuhei Yasuda, Atsushi Neya, Mami Horie, Sachiko Maki, Kiyoshi Kanie, Ichiro Yamanaka, Toshiyuki Yokoi, Atsushi Muramatsu*, “Mechanochemical Route for Preparation of MFI-Type Zeolite Containing Highly Dispersed and Small Ce Species and Catalytic Application to Low-Temperature Oxidative Coupling of Methane”, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **2021**, *60*, 10101-10111.

概要:メカノケミカル法を用いて Ce 含有 MFI 型ゼオライト(Ce-MFI)を合成した。Ce-MFI 中に存在する Ce 種は、従来法で合成したゼオライトに比べ、より均一かつ高分散に導入されており、担持金属種との相互作用・協奏作用を発現し易いという利点がある。実際に Ce-MFI に Pd を担持すると、特異的な低温 OCM 反応活性を示すことを見出した。

2. Ryota Osuga, Saikhantsetseg Bayarsaikhan, Shuhei Yasuda, Ryo Manabe, Hisashi Shima, Susumu Tsutsuminai, Atsushi Fukuoka, Hirokazu Kobayashi, and Toshiyuki Yokoi*, “Metal cation-exchanged zeolites with the location, state, and size of metal species controlled”, *Chemical Communications*, **2020**, *56*, 5913-5916.

概要:Rh 含有 MFI 型ゼオライト触媒において、骨格内 Al の位置制御を行うことで、導入される Rh 種の位置・Rh 種の状態(カチオン、酸化物クラスター)制御に成功した。このような触媒を用い、メタンの部分酸化反応を行ったところ、合成ガス収率に大きな差が見られた。すなわち、金属含有ゼオライトにおいて、金属の位置・状態制御の重要性を示すものである。

3. Gimyeong Seong, Tsutomu Aida, Yoshino Nakagawa, Tetsuya Nanba, Osamu Okada, Akira Yoko, Takaaki Tomai, Seiichi Takami, Tadafumi Adschiri*, “Fabrication of FeO_x-ZrO₂ nanostructures for automotive three-way catalyst by supercritical hydrothermal synthesis with supercritical CO₂ drying”, *J. Supercrit. Fluids*, **2019**, *147*, 302-309.

概要:酸化鉄は Fe³⁺から Fe⁰まで変化し、酸素を貯蔵および放出する能力に優れている。しかし、高温および還元条件では、焼結が激しく起こるために容易に劣化が起こる。一方、酸化鉄にジルコニアを添加することで熱的に安定なナノ材料を作ることができる。本研究では、鉄-ジルコニア複合体を超臨界水熱合成法で連続合成すると同時に、超臨界二酸化炭素乾燥を介してナノ粒子の凝集を防ぐ技術を開発した。

➤ 旧大山チーム

1. Vibin Vargheese, Junichi Murakami, Kyoko K. Bando, I. Tyrone Ghampson, Gwang-Nam Yun, Yasukazu Kobayashi, S. Ted Oyama*, “The direct molecular oxygen partial oxidation of CH₄ to dimethyl ether without methanol formation over a Pt/Y₂O₃ catalyst using an NO/NO₂ oxygen atom shuttle”, *J. Catal.*, **2020**, *389*, 352-365.

概要:Pt/Y₂O₃触媒を用いて、NO/O₂を酸化剤として、CH₄をジメチルエーテル(DME)に直接部分酸化する方法を検討した。DMEの生成には、Ptの存在とNO+O₂の混合ガスが必要であり、NOがない場合はCO₂のみが生成された。メタンの部分酸化反応では、NOとNO₂はN₂に還元されず、O₂からCH₄へ酸素を移動させるシャトルとして働いていることがわかった。

2. I. Tyrone Ghampson, Sean-Thomas B. Lundin, Tetsuya Shishido, S. Ted Oyama*, “Isotopic ¹⁸O/¹⁶O substitution study on the direct partial oxidation of CH₄ to dimethyl ether over a Pt/Y₂O₃ catalyst using NO/O₂ as an oxidant”, *Catal. Sci. Technol.*, **2021**, *11*, 2708-2712.

概要:Pt/Y₂O₃触媒を用いて、NO/O₂混合ガスを酸化剤とするとCH₄をジメチルエーテル(DME)に直接部分酸化することができた。実際の反応ガスは、NOとNO₂の混合物であるが、これらの種の分解や消費はなかった。¹⁸O₂を用いることで、同位体標識された酸素がO₂からCH₄に移動したことを示した。この結果は、NO/NO₂混合物による酸素原子シャトル機構が機能していることを示している。

3. Tatsuya Yamasaki, Atsushi Nishida, Nobuya Suganuma, Yang Song, Xiaohong Li, Junichi

Murakami, Tetsuya Kodaira, Kyoko K. Bando, Tatsumi Ishihara, Tetsuya Shishido*, Atsushi Takagaki*, “Low-Temperature Activation of Methane with Nitric Oxide and Formation of Hydrogen Cyanide over an Alumina-Supported Platinum Catalyst”, *ACS Catal.*, **2021**, *11*, 14660-14668.

概要: Pt/Al₂O₃ 触媒を用いて、NO を酸化剤および窒化剤として、CH₄ をシアン化水素 (HCN) に低温で直接変換することに成功した。HCN は反応温度 400°C にて 100 時間以上連続して生成した。300°C より HCN の生成は確認され、C-H 開裂、NO 解離、C-N カップリングが白金触媒上で進行することがわかった。吸着種として Pt-CN の存在が観測され、反応性と相関が見られた。
(Supplementary Cover Art)

§2 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

➤ 村松チーム

① 反応グループ1(村松グループ)

研究代表者:村松 淳司 (東北大学多元物質科学研究所 教授)

研究項目:

- ・ メタンを低級オレフィンへ直接転換可能な多孔質金属酸化物触媒の創製

② 反応グループ2(朝見グループ)

主たる共同研究者:朝見 賢二 (北九州市立大学国際環境工学部 教授)

研究項目:

- ・ 露出面制御ナノ触媒上でのメタン転化特性の解析

③ 反応グループ3(横井グループ)

主たる共同研究者:横井 俊之 (東京工業大学科学技術創成研究院 准教授)

研究項目:

- ・ 金属含有ゼオライト触媒によるメタンからの低級オレフィン合成

④ 反応グループ4(鎌田グループ)

主たる共同研究者:鎌田 慶吾 (東京工業大学科学技術創成研究院 准教授)

研究項目:

- ・ 金属リン酸塩触媒によるメタンの直接酸化

⑤ 材料グループ(阿尻グループ)

主たる共同研究者:阿尻 雅文 (東北大学材料科学高等研究所 教授)

研究項目:

- ・ 超臨界水熱合成による露出面制御ナノ触媒開発

⑥ 触媒設計及び評価グループ(蟹江グループ)

主たる共同研究者:蟹江 澄志 (東北大学多元物質科学研究所 教授)

研究項目:

- ・ 計算化学、構造解析に基づく触媒設計及び評価

⑦ システム評価グループ(堤グループ)

主たる共同研究者:堤 敦司 (東京大学教養学部附属教養教育高度化機構 特任教授)

研究項目:

- ・ エクセルギー解析に基づく触媒プロセス、操作条件の提案

➤ 旧大山チーム

⑧ 宍戸グループ

主たる共同研究者:宍戸 哲也 (東京都立大学大学院都市環境科学研究科 教授)

研究項目:

- ・ 新規メタン酸化反应用触媒の合成

⑨ 黎グループ

主たる共同研究者:黎 暁紅 (北九州市立大学国際環境工学部 教授)

研究項目:

- ・ 新規メタン選択酸化反应用触媒の調製および性能評価

⑩ 阪東グループ

主たる共同研究者: 阪東 恭子 (産業技術総合研究所ナノ材料研究部門 主任研究員)

研究項目:

- ・ 新規メタン酸化反応用触媒の精密構造解析

⑪ 高垣グループ

主たる共同研究者: 高垣 敦 (九州大学大学院工学研究院 准教授)

研究項目:

- ・ 新規メタン選択酸化反応用触媒の合成・性能評価

(2) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

➤ 村松チーム

① 山中 一郎 (東京工業大学物質理工学院 教授)、朝倉 清高 (北海道大学触媒科学研究
所 教授)、井口 翔之 (東京工業大学物質理工学院 助教)

連携内容: ゼオライト触媒の局所構造と反応機構解明を目的とした *in-situ* XAS 測定

② 片田 直伸 (鳥取大学大学院工学研究科 教授)、奥村 和 (工学院大学工学部応用化学科
教授)、脇原 徹 (東京大学大学院工学系研究科 教授)、伊與木 健太 (東京大学大学院工
学系研究科 講師)

連携内容: ゼオライト合成と触媒反応への応用、計算化学によるメタン転換反応機構の解明

③ 吉澤 一成 (九州大学先導物質化学研究所 教授)、塩田 淑仁 (九州大学先導物質化学
研究所 准教授)

連携内容: 計算化学予測に立脚した新奇ゼオライト触媒、金属酸化物触媒の開発

④ 西堀 麻衣子 (東北大学国際放射光イノベーション・スマート研究センター 教授)、二宮 翔
(東北大学国際放射光イノベーション・スマート研究センター 助教)

連携内容: XAS 測定によるゼオライト合成メカニズムの解明

⑤ 石川 敦之 (物質・材料研究機構エネルギー・環境材料研究拠点 主任研究員)、館山 佳
尚 (物質・材料研究機構エネルギー・環境材料研究拠点 グループリーダー)

連携内容: 計算化学的アプローチによる金属リン酸塩触媒固体表面上でのメタン活性化機構の解
明

➤ 旧大山チーム

特になし