

会期を通じた開催

ポスター発表

[Poster] ポスター発表

- [P01] 低塩分濃度水攻法における圧入水の塩構成及び
pHが炭酸塩岩コアの濡れ性及び圧力挙動に与える影響
○高岡 由貴¹、阿部 一徳¹（1. 秋田大学 大学院国際資源学
研究科）
- [P02] 砂岩中の粘土鉱物が SiO₂ナノ粒子の透過性及び油置換
効率に与える影響
○猪俣 泰祐¹、阿部 一徳¹（1. 秋田大学 大学院国際資源学
研究科）
- [P03] シリカ-アルミナ担持硫化物触媒の酸性質
○野上 健幸¹、三浦 大樹^{1,2,3}、穴戸 哲也^{1,2,3}（1. 東京都立大
学、2. 東京都立大学 水素エネルギー社会構築推進研究セン
ター、3. 京都大学ESICB）
- [P04] リン化合物－硫化物複合触媒の調製と水素化脱硫活性
○張 天馳¹、張 治宇¹、神田 康晴¹（1. 室蘭工業大学大学
院）
- [P05] GC-SCD法による等モル感度特性を利用した軽油中硫
黄化合物の分析
○長尾 優¹、北野 理基¹、武守 佑典¹、近藤 友明¹、Kelting
Rebecca²、Giusti Pierre³、Piparo Marco³（1. 株式会社島
津製作所 分析計測事業部 グローバルアプリケーション開
発センター、2. Shimadzu Europa GmbH、3. Total Refining
and Chemicals, Total Research &Technology Gonfreville,
International Joint Laboratory - iC2MC: Complex Matrices
Molecular Characterization）
- [P06] 化学発光硫黄検出システム Nexis SCD-2030を用いた
軽油中の総硫黄量分析
○北野 理基¹、長尾 優¹、武守 佑典¹、近藤 友明¹、Piparo
Marco²、Giusti Pierre²（1. 株式会社島津製作所、2. Total
Research &Technology Gonfreville）
- [P07（オンライン発表）] ラマン散乱測定によるアスファル
テンおよび構成分子を模したモ
デル分子の凝集状態観察の試み
○森田 剛¹、森本 正人²、山本 秀樹³、田中 隆三^{4,5}、鈴木 昭雄⁵（1. 千葉
大学、2. 産業技術総合研究所、3. 関西
大学、4. 出光興産、5. 石油エネル
ギー技術センター）
- [P08（オンライン発表）] 工業的に使われる不純物除去技術
－水銀吸着剤と酸化触媒－
○下澤 健一¹（1. ジョンソン・マッセ
イ・ジャパン合同会社 資源技術開発
部門）

- [P09] 使用済 PETボトルの MIL-53(Al)へのワンポット変換と
水中フェノール吸着特性評価
○佐藤 宏基¹、今野 大輝¹（1. 東邦大学）
- [P10] ZIF-8を用いた休廃止鉱山由来汚染水の浄化検討とメ
カニズムの考察
○谷原 彩音¹、菊地 紘平¹、今野 大輝¹（1. 東邦大学）
- [P11] イミダゾレート錯体のガソリンペーパー吸着特性に与
える細孔構造の影響
○小泉 大生¹、今野 大輝¹（1. 東邦大学）
- [P12] MOFを利用した ZrO₂被覆 SAPO-34ゼオライトの合成
○藤本 侑吾¹、周 安博¹、三宅 浩史¹、内田 幸明¹、西山 憲和¹
（1. 大阪大学）
- [P13] エタン脱水素化反応に向けた MFI型ゼオライトの開発
○鷲見 知香¹、三宅 浩史¹、内田 幸明¹、西山 憲和¹（1. 大阪
大学）
- [P14] プラスチック分解に向けた構造欠陥導入ゼオライト触
媒の開発
○國領 伸哉¹、三宅 浩史¹、内田 幸明¹、水沢 厚志²、久保
直嗣²、西山 憲和¹（1. 大阪大学、2. AC Biode(株)）
- [P15] In添加 Pt触媒によるメチルシクロヘキサン脱水素反応
○小林 歩夢¹、三浦 潤¹、神田 康晴¹（1. 室蘭工業大学）
- [P16] 水安定な BaTiO_{3-x}N_yH_z 担持 Ni触媒によるアンモニア
分解
○小笠原 気八¹、宮崎 雅義¹、北野 政明¹、細野 秀雄¹（1.
東京工業大学）
- [P17] CoNxを含有したミクロ/メソポーラスカーボンの合成
とその ORR性能
○周 安博¹、三宅 浩史¹、内田 幸明¹、西山 憲和¹（1. 大阪大
学）
- [P18] キレート剤により金属を導入した NiCuAl-LDH触媒の
メタノール水蒸気改質における安定性評価
○赤木 太政¹、池永 直樹²（1. 関西大学大学院、2. 関西大
学）
- [P19] 竹からの固体セルロース単離と樹脂複合材への利用
○松本 美涼¹、石丸 裕也¹、吉川 琢也¹、佐藤 太裕¹、中坂
佑太¹、井上 昭夫²、増田 隆夫¹（1. 北海道大学、2. 近畿大
学）
- [P20（On-line presentation）] 単一金属からバイメタルサ
イトへ：バイメタル触媒を
用いた高い炭化水素収率の
CO₂水素化
○Cui Yu¹、Guo Lisheng¹、Y
ang Guohui¹、椿 範立¹（1.
富山大学）
- [P21] アミン溶液の固液相変化を利用した低濃度 CO₂回収シ
ステム

○天本 和志¹、吉川 聡一^{1,2,3}、藤木 裕宇¹、平山 純^{1,2}、加藤 玄⁴、三浦 大樹^{2,3,4}、宍戸 哲也^{2,3,4}、山添 誠司^{1,2,3,5}（1. 東京都立大学大学院 理学研究科 化学専攻、2. 京都大学 触媒・電池の元素戦略研究拠点、3. 東京都立大学大 水素エネルギー社会構築推進研究センター、4. 東京都立大学大学院 都市環境科学研究所 環境応用化学域、5. 国立研究開発法人科学技術振興機構 さきがけ）

[P22] ハーフチタノセン触媒によるエチレンとアリルベンゼンとの共重合

○郭 麗娟¹、野村 琴広¹（1. 東京都立大学）

[P23] 非環式ジエンメタセシス重合を用いる可溶性のバイオベースネットワークポリマーの合成

○GO Lance O' Hari P.¹、Abdellatif Mohamed Mehawed¹、野村 琴広¹（1. 東京都立大学）

[P24] 溶液 XAFS手法を用いたハーフチタノセン触媒によるシンジオ特異的スチレン重合の機構解析

○岩瀬 龍祐¹、伊澤 樹、中谷 直輝¹、山添 誠司¹、野村 琴広¹（1. 東京都立大学）

[P25] 非環式ジエンメタセシス（ADMET）共重合によるバイオベースポリエステル合成

○小嶋 美華¹、野村 琴広¹（1. 東京都立大学）

[P26] ハーフチタノセン錯体触媒による新規環状オレフィン共重合体の合成

○岡部 正暉¹、野村 琴広¹（1. 東京都立大学）

[P27] フェノキシ配位子を有する芳香族イミド配位ニオブ錯体の合成とエチレンとの反応

○中島 野乃香¹、小出 晃士、野村 琴広¹（1. 東京都立大学）

[P28] 単座グアニジン配位子を有するイミド配位有機ニオブ錯体の合成とその反応性

○渡部 楓音¹、小出 晃士¹、野村 琴広¹（1. 東京都立大学）

[P29] 単核及び複核 NHC銀錯体によるエチレン重合

○木村 なな子¹、竹内 大介¹、小倉 沙代子²、高澤 彩香²、境上 将規²、山延 健²、上原 宏樹²（1. 弘前大学大学院理工学研究科、2. 群馬大学大学院理工学府）

[P30（オンライン発表）] 化学的活性化法による Ziegler-Natta触媒の活性ナノ構造の形成
○和田 透^{1,2}、ピオヴァノ アレッサンドロ^{2,3}、高棹 玄徳¹、チャミンクワン パッチャニー^{1,2}、グロッポ エレナ^{2,3}、寺野 稔^{1,2}、谷池 俊明^{1,2}（1. 北陸先端科学技術大学院大学、2. DPI、3. トリノ大学）

[P31（オンライン発表）] 有機ジルコニウム錯体によるベンゼンからのフェノール合成

○西川 諒^{1,2}、鮫島 皓^{1,2}、松本 崇弘^{1,2,3,4}、小江 誠司^{1,3,4}（1. 九州大学大

学院工学研究院応用化学部門、2. 国立研究開発法人科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業さきがけ、3. 九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所、4. 九州大学小分子エネルギーセンター）

[P32（オンライン発表）] 有機鉄錯体によるメタンの光酸化反応

○木村 健人^{1,2}、松本 崇弘^{1,2,3,4}、小江 誠司^{1,3,4}（1. 九州大学大学院工学研究院応用化学部門、2. 国立研究開発法人科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業さきがけ、3. 九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所、4. 九州大学小分子エネルギーセンター）

[P33（オンライン発表）] 均一系ルテニウム錯体による飽和炭化水素の光変換反応

○中村 玄太^{1,2}、松本 崇弘^{1,2,3,4}、木村 健人^{1,2}、中野 龍也^{1,2}、阿部 司^{5,6}、塩田 淑仁^{5,6}、吉澤 一成^{5,6}、小江 誠司^{1,3,4}（1. 九州大学大学院工学研究院応用化学部門、2. 国立研究開発法人科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業さきがけ、3. 九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所、4. 九州大学小分子エネルギーセンター、5. 九州大学先端物質化学研究所、6. 国立研究開発法人科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業CREST）

[P34（オンライン発表）] 均一系イリジウム錯体を触媒とするメタンの光変換反応

○三瀬 周平^{1,2}、村上 雅人^{1,2}、木村 健人^{1,2}、西川 諒^{1,2}、松本 崇弘^{1,2,3,4}、小江 誠司^{1,3,4}（1. 九州大学大学院工学研究院応用化学部門、2. 国立研究開発法人科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業さきがけ、3. 九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所、4. 九州大学小分子エネルギーセンター）

[P35] セリアージルコニア複合酸化物に担持した銅触媒の三元触媒活性

○篠原 慧也¹、西田 吉秀¹、羽田 政明¹（1. 名古屋工業大学）

ポスター発表

[Poster] ポスター発表

プログラム番号の後に（オンライン発表）とあるポスター発表は、対面 QAの時間帯もオンラインで QAを行います。

- | | |
|----------------|---|
| [P01] | <p>低塩分濃度水攻法における圧入水の塩構成及び pHが炭酸塩岩コアの濡れ性及び圧力挙動に与える影響</p> <p>○高岡 由貴¹、阿部 一徳¹（1. 秋田大学 大学院国際資源学研究科）</p> |
| [P02] | <p>砂岩中の粘土鉱物が SiOナノ粒子の透過性及び油置換効率に与える影響</p> <p>○猪俣 泰祐¹、阿部 一徳¹（1. 秋田大学 大学院国際資源学研究科）</p> |
| [P03] | <p>シリカ-アルミナ担持硫化物触媒の酸性質</p> <p>○野上 健幸¹、三浦 大樹^{1,2,3}、奥戸 哲也^{1,2,3}（1. 東京都立大学、2. 東京都立大学 水素エネルギー社会構築推進研究センター、3. 京都大学 ESICB）</p> |
| [P04] | <p>リン化合物-硫化物複合触媒の調製と水素化脱硫活性</p> <p>○張 天馳¹、張 治宇¹、神田 康晴¹（1. 室蘭工業大学大学院）</p> |
| [P05] | <p>GC-SCD法による等モル感度特性を利用した軽油中硫黄化合物の分析</p> <p>○長尾 優¹、北野 理基¹、武守 佑典¹、近藤 友明¹、Kelting Rebecca²、Giusti Pierre³、Piparo Marco³（1. 株式会社島津製作所 分析計測事業部 グローバルアプリケーション開発センター、2. Shimadzu Europa GmbH、3. Total Refining and Chemicals, Total Research &Technology Gonfreville, International Joint Laboratory - iC2MC: Complex Matrices Molecular Characterization）</p> |
| [P06] | <p>化学発光硫黄検出システム Nexis SCD-2030を用いた軽油中の総硫黄量分析</p> <p>○北野 理基¹、長尾 優¹、武守 佑典¹、近藤 友明¹、Piparo Marco²、Giusti Pierre²（1. 株式会社島津製作所、2. Total Research &Technology Gonfreville）</p> |
| [P07（オンライン発表）] | <p>ラマン散乱測定によるアスファルテンおよび構成分子を模したモデル分子の凝集状態観察の試み</p> <p>○森田 剛¹、森本 正人²、山本 秀樹³、田中 隆三^{4,5}、鈴木 昭雄⁵（1. 千葉大学、2. 産業技術総合研究所、3. 関西大学、4. 出光興産、5. 石油エネルギー技術センター）</p> |
| [P08（オンライン発表）] | <p>工業的に使われる不純物除去技術ー水銀吸着剤と酸化触媒ー</p> <p>○下澤 健一¹（1. ジョンソン・マッセイ・ジャパン合同会社 資源技術開発部門）</p> |
| [P09] | <p>使用済 PETボトルの MIL-53(Al)へのワンポット変換と水中フェノール吸着特性評価</p> <p>○佐藤 宏基¹、今野 大輝¹（1. 東邦大学）</p> |
| [P10] | <p>ZIF-8を用いた休廃止鉱山由来汚染水の浄化検討とメカニズムの考察</p> <p>○谷原 彩音¹、菊地 紘平¹、今野 大輝¹（1. 東邦大学）</p> |

- [P11] イミダゾレート錯体のガソリンベーパー吸着特性に与える細孔構造の影響
○小泉 大生¹、今野 大輝¹（1. 東邦大学）
- [P12] MOFを利用した ZrO_2 被覆 SAPO-34ゼオライトの合成
○藤本 侑吾¹、周 安博¹、三宅 浩史¹、内田 幸明¹、西山 憲和¹（1. 大阪大学）
- [P13] エタン脱水素化反応に向けた MFI型ゼオライトの開発
○鷲見 知香¹、三宅 浩史¹、内田 幸明¹、西山 憲和¹（1. 大阪大学）
- [P14] プラスチック分解に向けた構造欠陥導入ゼオライト触媒の開発
○國領 伸哉¹、三宅 浩史¹、内田 幸明¹、水沢 厚志²、久保 直嗣²、西山 憲和¹（1. 大阪大学、2. AC Biode(株)）
- [P15] In添加 Pt触媒によるメチルシクロヘキサン脱水素反応
○小林 歩夢¹、三浦 潤¹、神田 康晴¹（1. 室蘭工業大学）
- [P16] 水安定な $\text{BaTiO}_{3-x}\text{N}_y\text{H}_z$ 担持 Ni触媒によるアンモニア分解
○小笠原 気八¹、宮崎 雅義¹、北野 政明¹、細野 秀雄¹（1. 東京工業大学）
- [P17] CoNx を含有したミクロ/メソポーラスカーボンの合成とその ORR性能
○周 安博¹、三宅 浩史¹、内田 幸明¹、西山 憲和¹（1. 大阪大学）
- [P18] キレート剤により金属を導入した NiCuAl-LDH 触媒のメタノール水蒸気改質における安定性評価
○赤木 太政¹、池永 直樹²（1. 関西大学大学院、2. 関西大学）
- [P19] 竹からの固体セルロース単離と樹脂複合材への利用
○松本 美涼¹、石丸 裕也¹、吉川 琢也¹、佐藤 太裕¹、中坂 佑太¹、井上 昭夫²、増田 隆夫¹（1. 北海道大学、2. 近畿大学）
- [P20 (On-line presentation)] 単一金属からバイメタルサイトへ：バイメタル触媒を用いた高い炭化水素収率の CO_2 水素化
○Cui Yu¹、Guo Lisheng¹、Yang Guohui¹、椿 範立¹（1. 富山大学）
- [P21] アミン溶液の固液相変化を利用した低濃度 CO_2 回収システム
○天本 和志¹、吉川 聡一^{1,2,3}、藤木 裕宇¹、平山 純^{1,2}、加藤 玄⁴、三浦 大樹^{2,3,4}、穴戸 哲也^{2,3,4}、山添 誠司^{1,2,3,5}（1. 東京都立大学大学院 理学研究科 化学専攻、2. 京都大学 触媒・電池の元素戦略研究拠点、3. 東京都立大学大 水素エネルギー社会構築推進研究センター、4. 東京都立大学大学院 都市環境科学研究科 環境応用化学域、5. 国立研究開発法人科学技術振興機構 さきがけ）
- [P22] ハーフチタノセン触媒によるエチレンとアリルベンゼンとの共重合
○郭 麗娟¹、野村 琴広¹（1. 東京都立大学）
- [P23] 非環式ジエンメタセシス重合を用いる可溶性のバイオベースネットワークポリマーの合成
○GO Lance O' Hari P.¹、Abdellatif Mohamed Mehawed¹、野村 琴広¹（1. 東京都立大学）

- [P24] 溶液 XAFS手法を用いたハーフチタノセン触媒によるシ
ンジオ特異的スチレン重合の機構解析
○岩瀬 龍祐¹、伊澤 樹、中谷 直輝¹、山添 誠司¹、野村 琴広¹（1. 東京
都立大学）
- [P25] 非環式ジエンメタセシス（ADMET）共重合によるバイ
オベースポリエステルの合成
○小嶋 美華¹、野村 琴広¹（1. 東京都立大学）
- [P26] ハーフチタノセン錯体触媒による新規環状オレフィン
共重合体の合成
○岡部 正暉¹、野村 琴広¹（1. 東京都立大学）
- [P27] フェノキシ配位子を有する芳香族イミド配位ニオブ錯
体の合成とエチレンとの反応
○中島 野乃香¹、小出 晃士、野村 琴広¹（1. 東京都立大学）
- [P28] 単座グアニジン配位子を有するイミド配位有機ニオブ
錯体の合成とその反応性
○渡部 楓音¹、小出 晃士¹、野村 琴広¹（1. 東京都立大学）
- [P29] 単核及び複核 NHC銀錯体によるエチレン重合
○木村 なな子¹、竹内 大介¹、小倉 沙代子²、高澤 彩香²、攪上 将規²
、山延 健²、上原 宏樹²（1. 弘前大学大学院理工学研究科、2. 群馬大学
大学院理工学府）
- [P30（オンライン発表）] 化学的活性化法による Ziegler-Natta触媒の活性ナノ構
造の形成
○和田 透^{1,2}、ピオヴァノ アレッサンドロ^{2,3}、高棹 玄德¹、チャミンクワ
ン パッチャニー^{1,2}、グロッポ エレナ^{2,3}、寺野 稔^{1,2}、谷池 俊明^{1,2}（1.
北陸先端科学技術大学院大学、2. DPI、3. トリノ大学）
- [P31（オンライン発表）] 有機ジルコニウム錯体によるベンゼンからの
フェノール合成
○西川 諒^{1,2}、鮫島 皓^{1,2}、松本 崇弘^{1,2,3,4}、小江 誠司^{1,3,4}（1. 九州大学大
学院工学研究院応用化学部門、2. 国立研究開発法人科学技術振興機構戦
略的創造研究推進事業さきがけ、3. 九州大学カーボンニュートラル・エ
ネルギー国際研究所、4. 九州大学小分子エネルギーセンター）
- [P32（オンライン発表）] 有機鉄錯体によるメタンの光酸化反応
○木村 健人^{1,2}、松本 崇弘^{1,2,3,4}、小江 誠司^{1,3,4}（1. 九州大学大学院工学
研究院応用化学部門、2. 国立研究開発法人科学技術振興機構戦略的創造
研究推進事業さきがけ、3. 九州大学カーボンニュートラル・エネル
ギー国際研究所、4. 九州大学小分子エネルギーセンター）
- [P33（オンライン発表）] 均一系ルテニウム錯体による飽和炭化水素の光変換反
応
○中村 玄太^{1,2}、松本 崇弘^{1,2,3,4}、木村 健人^{1,2}、中野 龍也^{1,2}、阿部 司^{5,6}
、塩田 淑仁^{5,6}、吉澤 一成^{5,6}、小江 誠司^{1,3,4}（1. 九州大学大学院工学研
究院応用化学部門、2. 国立研究開発法人科学技術振興機構戦略的創造
研究推進事業さきがけ、3. 九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国
際研究所、4. 九州大学小分子エネルギーセンター、5. 九州大学先端物
質化学研究所、6. 国立研究開発法人科学技術振興機構戦略的創造研究推
進事業CREST）

[P34（オンライン発表）]

均一系イリジウム錯体を触媒とするメタンの光変換反応

○三瀬 周平^{1,2}、村上 雅人^{1,2}、木村 健人^{1,2}、西川 諒^{1,2}、松本 崇弘^{1,2,3,4}、小江 誠司^{1,3,4}（1. 九州大学大学院工学研究院応用化学部門、2. 国立研究開発法人科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業さきがけ、3. 九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所、4. 九州大学小分子エネルギーセンター）

[P35]

セリアージルコニア複合酸化物に担持した銅触媒の三元触媒活性

○篠原 慧也¹、西田 吉秀¹、羽田 政明¹（1. 名古屋工業大学）

低塩分濃度水攻法における圧入水の塩構成及び pH が炭酸塩岩コアの濡れ性及び圧力挙動に与える影響

(秋田大学大学院国際資源学研究科*) ○高岡 由貴*, 阿部 一徳*

石油増進回収法の一つである低塩分濃度水攻法 (LSWF: Low Salinity Water Flooding) は、砂岩及び炭酸塩岩双方の貯留層において最大 20%程度の増油効果が報告されている。増油メカニズムの一つとして貯留岩表面の濡れ性改質が挙げられているが、炭酸塩岩表面においては水相中イオンの吸脱着や溶解反応が同時に起こるため、表面改質プロセスには不明瞭な点も多い。そのため、水相成分と岩石表面に焦点を絞り、濡れ性改質効果との相関関係を検討する必要がある。炭酸塩岩の濡れ性変化は、塩水中の二価の陽イオンや硫酸イオンの影響を大きく受けると推測されるため、塩水の組成が炭酸塩岩の濡れ性改質に与える影響を評価することが重要である。さらに、LSWF の掃攻試験

において、低塩分濃度水圧入時、差圧の上昇と模擬貯留層の有効浸透率の低下が報告されている。砂岩を対象とした先行研究では、圧入水の pH を低下させることで、急激な圧入圧力の上昇と浸透率の低下を抑制することが示されているが、炭酸塩岩における圧力挙動に関しては検討段階である。したがって本研究では、炭酸塩岩を対象とした際の圧入塩水のイオン組成と pH に着目した。掃攻試験では、圧入する塩水のイオン組成や pH を調整し、それぞれの増油効果と圧力挙動の評価を行った。また、同様の塩水を用いた際の相対浸透率測定及びゼータ電位測定を行い、岩石表面の濡れ性変化や微細粒子の移動に関する検討を行った。

砂岩中の粘土鉱物が SiO₂ ナノ粒子の透過性及び油置換効率に与える影響

(秋田大学大学院国際資源学研究科*) ○猪俣 泰祐*, 阿部 一徳*

SiO₂ ナノ粒子(以下 SNPs)を用いた石油増進回収法(以下 EOR)は、砂岩コアを用いた掃攻試験において油回収率の向上が報告されており、主な増油機構は岩石表面の濡れ性改善効果が挙げられている。フィールド適用に向けては、一般的に油の掃攻効率を下げないために、貯留層内において圧入流体中の薬剤の残存率を最小限に抑えることが望ましいとされているが、貯留層条件下における SNPs の安定性や挙動は不明瞭な点も多い。また、砂岩コアの特性に着目すると、砂岩に含まれる粘土鉱物は、油と吸着しやすく親油性の傾向を持つことや、砂岩の主成分である石英とは異なる電荷を持つため、SNPs-岩石表面間の相互作用等に影響を与える可能性がある等、油回収率や SNPs の岩

石透過性に大きく寄与すると考えられる。そのため、SNPs の材料特性に加えて砂岩中の各含有鉱物等に焦点を当て、濡れ性改善効果と SNPs の岩石透過性を合わせて評価することは重要である。そこで、本研究では粘土鉱物量が異なる砂岩コアを用いた掃攻試験を実施し、増油効果に与える影響、掃攻試験の排出液中の SNPs の濃度測定の実施、および掃攻試験の条件における SNPs-岩石間の相互作用を求め、SNPs の岩石透過性に与える影響を評価した。本掃攻試験の結果、いずれの岩石コアにおいても一定の油の追加回収が認められた。また、本掃攻試験において、圧入した SNPs の 82%~91% 程度が岩石から排出されたことを確認した。

シリカ-アルミナ担持硫化物触媒の酸性質

(都立大院都市環境 1*, 都立大水素社会構築セ 2**, 京大 ESICB3***)

○野上^{のがみ} 健幸^{たけゆき}1*, 三浦^{みうら} 大樹^{ひろき}1*2**3*** 宍戸^{ししど} 哲也^{てつや}1*2**3***

最近，金属硫化物の特徴的な酸性質やその発現機構について報告がなされている．しかし，金属硫化物の酸性質については，未だ不明な点が多い．本研究では，様々な $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比を有する $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ を担体とした $\text{WO}_3/\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ および $\text{WS}_2/\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 触媒を調製し，その構造と酸性質の相関について検討をおこなった．

$\text{WO}_3/\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 触媒は，含浸法により調製し，空气中 773 K で焼成することにより得た．得られた $\text{WO}_3/\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 触媒を 3% $\text{H}_2\text{S}/\text{H}_2$ 流通下，773 K で硫化し， $\text{WS}_2/\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 触媒を得た．触媒の活性は，パルス反応装置，流通型反

応装置によるクメンのクラッキングにより評価した．触媒の構造解析は XRD，XPS によって行い，酸性質の評価は，Pyridine 吸着 IR， NH_3 -TPD により行った．

XRD と XPS の結果から，担体の $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比によって WO_3 の担持状態が変化すること，硫化によって構造と W の電子状態が変化することが分かった．触媒の活性は $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比に大きく影響を受け，硫化による大きな活性の低下はなかった．クメンのクラッキングにおける失活挙動の違いから，硫化によって酸強度の異なる新たな酸点の形成が示唆された．

リン化合物－硫化物複合触媒の調製と水素化脱硫活性

(室蘭工業大学) ○張天馳, 張治宇, 神田康晴

近年, 燃料中の硫黄分の規制値が強化されており, 高活性な水素化脱硫 (HDS) 触媒の開発が求られている. 我々は, 工業的に HDS 反応に用いられる NiMo 系触媒よりも高い HDS 活性を示す貴金属リン化合物触媒を開発した. しかし, この触媒の水素化能は高いが, C-S 結合の切断能が低い. 一方で, NiMo 系触媒は C-S 結合の切断能が高いものの, 水素化能は低い. そこで, これらを複合化することで高活性な HDS 触媒が開発できると考えた.

複合触媒は硫化処理前の NiMoP/Al₂O₃ 触媒と 550℃で水素還元した Rh-P/SiO₂ 触媒を混合することで得た. この複合触媒を硫化する際には,

Rh-P 触媒に対しても硫化処理が行われることになる. そこで, Rh-P 触媒の耐硫黄性と Rh-P+NiMoP 複合触媒の硫化挙動を確認するため, 昇温硫化 (TPS) プロファイルを測定した. その結果, Rh-P 触媒のみではほとんど H₂S 消費量が見られず, この触媒は高い耐硫黄性を示すことがわかった. また, 複合触媒では NiMoP 触媒の硫化が確認された. さらに複合触媒では, 芳香環の水素化とこれに続く C-S 結合の切断が促進され, 高い HDS 活性が得られた. Rh₂P に起因する高い水素化能と NiMoS に起因する高い C-S 結合の切断能を有するため, 複合触媒は高い HDS 活性を示すと考えられた.

GC-SCD 法による等モル感度特性を利用した軽油中硫黄化合物の分析

(株式会社島津製作所*, Shimadzu Europa GmbH**, Total Research & Technology Gonfreville***) ○長尾優*, 北野理基*, 武守佑典*, 近藤友明*, Kelting Rebecca**, Marco Piparo***, Pierre Giusti***

石油化学製品において硫黄濃度の管理は重要であり、軽油やガソリンなどに含まれる硫黄総量は脱硫工程を経ることで、10ppm 以下の微量で管理されています。微小な硫黄化合物を測定する有効な分析法として、GC による化学発光硫黄検出器 (SCD) を用いた手法が挙げられます。SCD は硫黄化合物に対して、その硫黄原子の数に比例した感度応答をする (等モル感度特性) ため、石油化学製品に含まれる微小かつ多種の硫黄化合物を定性せずとも、その含有する硫黄量を定量することが可能です。本研究では

Nexis SCD-2030 システムにより、硫黄数の異なる硫黄化合物への等モル感度特性を調べたところ、分子内硫黄数が 1, 2, 3 の硫黄化合物に対して硫黄数に比例した感度が確認できました。また、石油化学製品に代表的な 7 種の硫黄化学種をヘキサン、軽油にそれぞれ溶解し測定したところ、等モル感度特性 RRF は 75~120% となり、繰り返し面積再現性は RSD<4% でした。SCD は多量の炭化水素マトリクスの影響下においても極めて選択的に硫黄化合物を検出でき、等モル感度特性を保つことが分かりました。

化学発光硫黄検出システム Nexis SCD-2030 を用いた軽油中の総硫黄量分析

(株式会社島津製作所*, Total Research & Technology Gonfreville**)

○北野理基*, 長尾優*, 武守佑典*, 近藤友明*, Marco Piparo**, Pierre Giusti**

硫黄化合物は微量でも人体に有毒性があり、加えて触媒被毒を起こすため、石油化学製品において硫黄濃度が管理されています。化学発光硫黄検出器（SCD）は選択的に硫黄化合物を検出するものであり、高マトリックス中の微量検出に有効です。さらに、硫黄原子の数に対して線形的に応答する等モル感度特定を有しているため、クロマトグラムにてピークを厳密に分離し各々の定量を行うことなく、含有硫黄総量を簡便に定量することが可能です。また、石油製品によく用いられる全硫黄分析装置と異なり、クロマトグラムによる情報が得られるため、含

有される硫黄化合物の組成を大まかに確認することが可能です。

本研究では、化学発光硫黄検出システム Nexis SCD-2030 の優れた等モル感度特性を利用し、含有硫黄濃度の異なる軽油を対象として全硫黄量を測定しました。結果、約 10~10000 mg/kg の幅広い濃度範囲において、全硫黄量を測定することができました。また、得られたクロマトグラムから組成毎の濃度比率も確認することができました。得られた全硫黄量は、全硫黄分析装置で得られた結果と同等の結果となりました。

ラマン散乱測定によるアスファルテン および構成分子を模したモデル分子の凝集状態観察の試み

(千葉大学*, 産業技術総合研究所**, 関西大学***, 出光興産****, 石油エネルギー技術センター*****)

○森田 剛*, 森本 正人**, 山本 秀樹***, 田中 隆三****, *****, 鈴木 昭雄*****

ラマン散乱は、古典的には分子内分極率のゆらぎにより、輻射として入射光(レイリー光)波長からずれた散乱光が生じる現象である。スペクトロスコープとして、分子内の特定部位の振動状態や相互作用に関する情報を弁別しながら取得できる。本研究はこの観点で、アスファルテン、および、構成分子を模し特別に化学合成されたモデル分子に対して、トルエン溶液中でのラマン散乱測定を行い、凝集状態の直接的観測を行った。測定には、ファイバー型の高感度分光器と励起レーザーを用い、励起波長は 785 nm とし蛍光の影響を

軽減して実施した。測定時間を 1 秒露光 30 回サイクルとすることで高 S/N でシグナルを得ることができた。初期的観測の結果、アスファルテンでは、G バンドと D1 バンドを良好な S/N で得ることができた。G バンドと D1 バンドは、それぞれ、多体凝集した芳香族部分の炭素 sp^2 伸縮振動、および、凝集せずランダム構造を有する芳香族部分に帰属される。今後、モデル化合物を含め、装置構築を経て、高温高压下でラマン散乱測定を実施することで、アスファルテン凝集に関するより詳細な知見が得られるものと期待される。

工業的に使われる不純物除去技術－水銀吸着剤と酸化触媒－

(ジョンソン・マッセイ・ジャパン) 下澤 健一

石油化学品原料に含まれている水銀は設備を腐食したり後段の触媒反応を阻害したりするため、プロセスの早い段階で吸着剤により除去されている。また、火力発電設備や焼却炉からの排ガスには水銀を含むものがあり、この水銀は触媒で酸化後、アルカリスクラバーで除去されている。

1. 金属硫化物系水銀吸着剤

ジョンソン・マッセイでは、1990 年代初頭から金属硫化物による水銀吸着剤を供給している。現在も技術的改良は続けており、最近は下記のような開発を行なっている。

- ・吸着速度向上(吸着槽容積削減, 寿命延長) (図 1)
- ・耐凝集性向上 (抜き出し時の凝集防止)
- ・製造時使用エネルギー削減

2. 酸化触媒

排ガス中の水銀の酸化には、プレート型酸化触媒を供給している (図 2)。

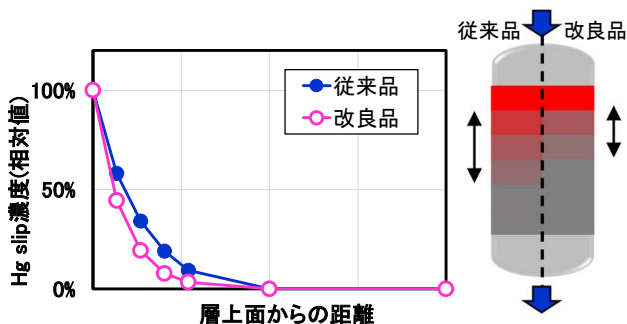


図 1. 吸着速度の改善と吸着境界層厚み。



図 2. プレート型酸化触媒。

使用済 PET ボトルの MIL-53(Al) へのワンポット変換と 水中フェノール吸着特性評価

(東邦大学大学院 理学研究科 環境科学専攻) ○佐藤 宏基, 今野 大輝

金属有機構造体の一種でアルミニウムイオンとテレフタル酸の配位結合で合成される MIL-53(Al)は、高比表面積と耐加水分解性を持つため、液相吸着剤として可能性を有している。一方、国内の使用済み PET ボトルは、繊維化やフィルム化によるマテリアルリサイクルが主流であり、ケミカルリサイクルによる循環利用例は少ない。そこで本研究では、PET ボトルの加水分解 (≒テレフタル酸へのモノマー化) および MIL-53(Al)への結晶成長を同時に行うワンポット合成と、そのようにして得られた PET 由来 MIL-53(Al)の吸着特性を評価した。水熱合成条件と焼成条件の適切な条

件を見出したことで、試薬テレフタル酸由来の MIL-53(Al)と同等の BET 比表面積を有する PET 由来 MIL-53(Al)を得られた。さらに水環境汚染モデル物質としてフェノールに対する吸着特性を確認したところ、おおよそ同等の吸着容量を示す結果となった。また得られた吸着等温線の解析から、*Langmuir* 吸着モデルに適應することが確認でき、これは MIL-53(Al)がミクロ孔を有する多孔性材料であることから、水中フェノールは MIL-53(Al)細孔内へ吸着されていることが示唆された。

本研究の一部は、JSPS 科研費、および公益財団法人 JKA の助成を受けて実施されました。

ZIF-8 を用いた休廃止鉱山由来汚染水の浄化検討とメカニズムの考察

(東邦大学大学院 理学研究科 環境科学専攻) ○谷原彩音, 菊地紘平, 今野大輝

かつて日本には多数の鉱山が稼働し、そこで採掘された資源が経済活動を支えていたものの、現在は 5,000 か所以上の休廃止鉱山が存在している。この鉱山跡地から半永久的に排出される坑廃水は高濃度の重金属を含む酸性水であり、周辺河川の水質や生態系に影響を及ぼすため、持続的な処理対策が重要な課題となっている。そこで本研究では、そのような坑廃水が引き起こす周辺河川水の汚染問題への対策技術を検討するため、多孔性錯体結晶である Zeolitic imidazolate framework 8 (ZIF-8) の水中重金属イオンに対する浄化性能やそのメカニズムを明らかにすることで、新たな坑廃水処理技術に向けた適用可能性を検証した。

従来吸着剤である活性炭やゼオライトと比較して、ZIF-8 は水中 Pb^{2+} , Cu^{2+} イオンに対する高い除去性能を示すことが確認された。そこでメカニズムを明らかにすべく、 Pb^{2+} , Cu^{2+} 除去後の ZIF-8 の構造を確認した。X 線回折パターン、IR スペクトル、 N_2 吸着等温線、そして SEM 画像から、 Pb^{2+} 除去後では ZIF-8 の結晶構造が維持されているのに対し、 Cu^{2+} の場合は破壊されていることが示唆された。結晶サイズの異なる ZIF-8 を吸着剤とした場合に、 Pb^{2+} では吸着速度に差があったのに対して、 Cu^{2+} の場合には変わらなかったことから、 Pb^{2+} の場合は主に吸着現象、 Cu^{2+} の場合にはイオン交換現象が進行することが明らかとなった。

イミダゾレート錯体のガソリンベーパー吸着特性に与える 細孔構造の影響

(東邦大学大学院 理学研究科 環境科学専攻) ○小泉 大生, 今野 大輝

ガソリンベーパーは大気汚染を招く VOC の一種であり、欧米を中心に厳しい排出抑制が行われている。自動車用ガソリンベーパー回収剤には活性炭が用いられているが、吸着容量や選択性の観点から、より高性能な吸着剤の登場が期待されている。一方で Metal-Organic Frameworks (MOFs) は次世代の多孔性材料として注目を集めている。本研究では、MOFs の中でもイミダゾレート錯体の ZIF-8 (細孔径 0.34 nm, SOD 型, $S_{\text{BET}} = 1650 \text{ m}^2/\text{g}$) と MAF-6 (細孔径 0.74 nm, RHO 型, $S_{\text{BET}} = 1100 \text{ m}^2/\text{g}$) に焦点を当て、炭化水素蒸気に対する吸着特性を評価し、細孔構造の影響を明らかにした。

n-Hexane を吸着質とした場合、ZIF-8 と MAF-6 の各吸着量は BET 比表面積におよそ比例する結果となった。一方 Cyclohexane の場合は、MAF-6 が高い吸着量を示した。また Cyclohexane 吸着における速度解析を実施したところ、ZIF-8 を吸着剤とした場合は擬一次モデルに、MAF-6 の場合は擬二次モデルに、それぞれ適合する結果となった。つまり ZIF-8 の場合は表面吸着が、そして MAF-6 の場合は細孔内拡散が、それぞれ律速段階であることが示唆された。このように MOFs の細孔構造は、炭化水素吸着量と吸着現象における律速段階に影響を与えることが明らかになった。

MOF を利用した ZrO_2 被覆 SAPO-34 ゼオライトの合成

(大阪大) ○藤本侑吾、周安博、三宅浩史、内田幸明、西山憲和

低級オレフィン、非常に重要な基礎化学品である。近年、非石油資源から低級オレフィンを得る手法として **methanol-to-olefins (MTO)** 反応が注目を集めている。小細孔ゼオライトの 1 つである **SAPO-34** は、その酸性質と細孔径に由来する高い低級オレフィン選択性により、**MTO** 反応に有効な触媒であることが知られている。しかし、コーク堆積による急速な失活が問題視されている。

そこで、本研究では、**SAPO-34** を結晶性 ZrO_2 で被覆し、外表面の触媒活性点を不活性化することで触媒寿命の改善を試みた。結晶性 ZrO_2 は **Brønsted** 酸性を殆ど示さないため、**SAPO-34** 外表面上に形成するコークを抑制できると考えら

れる。また、**SAPO-34** の骨格構造を保ちつつ結晶性 ZrO_2 ナノ粒子を被覆する手法として、金属有機構造体 (MOF) を ZrO_2 の前駆体として利用する新規法を開発した。

PXRD 測定の結果から、**SAPO-34** と結晶性 ZrO_2 の複合体の形成を確認した。ピリジンをプローブ分子に用いた **FT-IR** により、外表面上の酸性質分析を行ったところ、 ZrO_2 被覆によって不活性化されていることが判った。この触媒を用いて **MTO** 反応を行ったところ、結晶性 ZrO_2 を修飾していない従来の **SAPO-34** よりも優れた触媒寿命を有することが判った。

エタン脱水素化反応に向けた MFI 型ゼオライトの開発

(大阪大) ○鷲見知香、三宅浩史、内田幸明、西山憲和

BTX (Benzene, Toluene, Xylene)は、基礎化学製品の原料として、非常に需要の高い物質である。現行では、石油資源由来のナフサの熱分解により製造されているが、石油資源の枯渇の懸念から、天然ガスの利用が注目されている。天然ガスに含まれる成分の中でも特に、エタンから BTX を直接得る触媒の合成の開発が盛んに行われている。

エタンの脱水素芳香族化反応の触媒の一つとして、ゼオライトが挙げられる。近年、エタンを BTX へ転換する触媒の開発として、 Zn^{2+} でイオン交換した MFI 型ゼオライト ($\text{Zn}[\text{Al}]\text{-MFI}$)が

有用であることが報告されている。しかし、この触媒は、酸強度が強く、コークの生成速度が大きいため、細孔閉塞によって急速な失活を引き起こすことが問題点として挙げられる。

そこで、本研究では、コーキング抑制に有効とされている固体塩基の MgO を担持した触媒 $\text{MgO}/\text{Zn}[\text{Al}]\text{-MFI}$ を調製し、エタンの脱水素芳香族化反応における触媒寿命の向上について調べた。その結果、 MgO を担持することにより、エタン転化率および BTX の収率の低下が抑制され、触媒寿命が向上することがわかった。

プラスチック分解に向けた構造欠陥導入ゼオライト触媒の開発

(大阪大*, AC Biode**) ○國領伸哉*, 三宅浩史*, 内田幸明*,
水沢厚志**, 久保直嗣**, 西山憲和*

廃プラスチックの深刻な増加に伴って、近年ケミカルリサイクルへの注目が高まっている。この方法によって、プラスチック資源の循環が実現する。しかし、化学分解に要するエネルギーが膨大であるため、未だ社会にはほとんど実装されていない。したがって、適切な触媒を設計し、分解温度を低下させて省エネ化することが目下の課題である。この反応の触媒として主に用いられているゼオライトの中でも、*BEA 型ゼオライトである **Beta** は、高い外表面積と大きなマイクロ細孔を持つため、ポリマー分解において非常に高い触媒活性を示すことが知られてい

る。しかし、外表面積とマイクロ細孔径の制御による性能向上は限界を迎えつつあるため、新たなアプローチが必要である。我々は、**Beta** が他のゼオライトと比べて結晶内部に多くの構造欠陥を有することに着目した。

本研究では、methyltriethoxysilane(MTES)を添加することで、意図的に多くの構造欠陥を導入した **MTES-Beta** を合成した。その結果、構造欠陥由来のシラノール基と骨格外の 6 配位 Al 原子が増加した。その増加に伴って、ゼオライトの Lewis 酸性が向上し、低密度ポリエチレン(LDPE)分解性能が向上することを確認した。

In 添加 Pt 触媒によるメチルシクロヘキサン脱水素反応

(室蘭工大) ○小林歩夢, 三浦潤, 神田康晴

次世代のエネルギーとして水素が期待されているが、その貯蔵・輸送方法が課題となっている。この方法として、トルエン-メチルシクロヘキサン(MCH)系による有機ハイドライド法に注目した。本研究では、高性能な MCH 脱水素触媒の開発のため、Pt/Al₂O₃ 触媒の MCH 脱水素活性に与える In の添加効果について検討した。

In の添加により、活性の安定性とトルエンの選択率が向上した。また、1wt%の Pt に対する In 添加量の最適値は、0.8wt%であることが分かった。さらに、非担持の Pt 粉末と SiO₂ を物理混合した触媒は、Pt 粉末のみと同等の活性を示した。一方、

Pt 粉末に In₂O₃ を混合した触媒では、Pt 粉末の 2 倍程度の活性が得られた。これより、In 添加による高活性の発現には、Pt と In₂O₃ の界面が重要であるといえる。

In 添加 Pt/Al₂O₃ 触媒のキャラクタリゼーションより、In の添加により Pt 粒子の凝集は確認されず、Pt は負に帯電することが明らかとなった。これより、負に帯電した Pt が、活性の安定性と生成物選択性に重要な役目を果たしたと判断した。

以上のことから、In₂O₃ 修飾された粒子径の小さな Pt が負に帯電することで、高い活性と安定性に加え、優れた生成物選択性を示したと考えた。

水安定な $\text{BaTiO}_{3-x}\text{N}_y\text{H}_z$ 担持 Ni 触媒によるアンモニア分解

(東京工業大学) ○小笠原気八, 宮崎雅義

北野政明, 細野秀雄

炭素フリーな水素キャリアであるアンモニアから、効率よく水素を製造するための安価で高性能な触媒が必要とされている。我々はこれまでに窒素化合物 (CaNH や CeN) に Ni を担持することでアンモニア分解活性が飛躍的に向上することを報告してきた。一方でこれらの化合物は大気不安定な物質であることから、本研究では大気中および水中で安定な $\text{BaTiO}_{3-x}\text{N}_y\text{H}_z$ を開発しアンモニア分解触媒への応用を試みた。

$\text{BaTiO}_{3-x}\text{N}_y\text{H}_z$ は BaH_2 と TiO_2 を前駆体として合成した $\text{BaTiO}_{3-x}\text{H}_y$ を窒化することで合成した。

Ni/ $\text{BaTiO}_{3-x}\text{N}_y\text{H}_z$ 触媒のアンモニア分解活性を評

価したところ、Ni/ BaTiO_3 触媒に比べて約 14 倍高い活性を示すことが明らかとなった。また、同触媒を水洗浄した後、再度活性試験を実施したところ触媒活性が維持されていることがわかった。以上の結果から同触媒は優れた促進効果と高い耐久性を持つことが示された。アンモニア分解反応の機構を調べるために、Ni/ $\text{BaTiO}_{3-x}\text{N}_y\text{H}_z$ 触媒上で $^{15}\text{NH}_3$ ガスの分解実験を実施したところ質量数 29, 30 の窒素種の生成が確認された。よって、Ni/ $\text{BaTiO}_{3-x}\text{N}_y\text{H}_z$ 触媒上では Mars-van Krevelen 型の機構で反応が進行していると考えられる。

CoNx を含有したミクロ/メソポーラスカーボンの合成とその ORR 性能

(大阪大) ○周安博、三宅浩史、内田幸明、西山憲和

近年、持続循環可能社会の実現に向けた次世代のエネルギーデバイスとして、水素と酸素を原料とした燃料電池が大きな注目を浴びている。現在、燃料電池の電極には白金を用いた触媒が使用されているが、その希少性とコストの高さが問題となっている。そのため、安価かつ高効率な代替触媒の開発が求められている。代替触媒として、コバルト/窒素 (CoNx) 種を含有した炭素材料が有効であると考えられている。

当該触媒では、CoNx 種を高分散かつ選択的に形成させることで触媒界面を増大できるため、触媒作用の向上に適した解決法であると考えられる。しかし、高分散 CoNx 種含有触媒を作る際

の問題点となるのが、合成時の金属粒子の凝集による触媒性能の低下である。

そこで、本研究では Co 含有イオン液体の導入による高分散 CoNx 含有メソポーラスカーボンの合成を試みた。イオン液体と界面活性剤の相互作用を用いることで、合成時の金属粒子の凝集の抑制を可能にした。得られたサンプルに対して、窒素脱着吸着測定、PXRD 測定及び透過型電子顕微鏡観察を行い、特性評価を行った。また、この触媒を用いて塩基溶液中における触媒性能を測定した結果、高い触媒性能と白金触媒より優れた耐久性を示した。

キレート剤により金属を導入した NiCuAl-LDH 触媒の メタノール水蒸気改質における安定性評価

(関西大) ○赤木 太政, 池永 直樹

現在、資源枯渇の観点からバイオマス由来のメタノールから水素 (H_2) を製造する水蒸気改質 (MSR) が研究されている。キレート剤は吸着金属の分散性を向上させることで知られている。また、当研究室では、LDH 由来 NiCuAl 複合酸化物触媒が高いメタノール転化率および H_2 収率を示すことを明らかにしている。本研究では、この複合酸化物と金属を吸着したキレート剤を複合した触媒を調製し、MSR に対する活性および安定性評価を行った。

触媒は、共沈法により調製した NiCuAl-LDH を空気流通下 500°C で焼成後、 $\text{pH}=7$ に調整した

キレート剤 (EDTA、DTPA、NTA およびグルコン酸) と金属種を含む水溶液中に浸漬・ろ過し得た。触媒活性評価は常圧固定床流通式反応装置を用い、反応管に触媒 100 mg を充填し、 450°C で 1 h の H_2 還元後、メタノール-水混合溶液を供給し 280°C で 0.5~10 h の反応を行った。

その結果、キレート剤 EDTA を用いて LDH に Cu を導入した触媒が高い転化率 82.6 %および H_2 収率 53.5 %を示し、10 h の反応後でもそれぞれ 43.7 %、23.9 %の高い値を示した。この活性向上には、金属表面積や触媒表面上の電子状態および炭素析出量が影響していることがわかった。

竹からの固体セルロース単離と樹脂複合材への利用

(北海道大*, 近畿大**) ○松本美涼*, 石丸裕也*
吉川琢也*, 佐藤太裕*, 中坂佑太*, 井上昭夫**, 増田隆夫*

竹は構造力学的に最適化されたセルロース繊維配列を持つため¹⁾, 他の草本類と比べ高強度である。竹に合成樹脂を含浸することで腐朽劣化を抑えられるため, 構造物としての利用可能性がある。樹脂充填率の増加により, その複合効果の向上が期待される。当研究室では, オルガノソルブ処理による木質・草本系バイオマスの成分分離技術を開発している。本研究では同法を応用し, 竹に含まれるリグニンとヘミセルロースの分離を制御し, 回収した竹由来セルロースに合成樹脂を含浸させることで, 新素材の創製を検討した。

まず回分反応器を用い, セルロース単離の処理

条件を最適化した。回収したセルロースは, リグニン・ヘミセルロースの分離によりメソ孔が形成された。また, 未処理竹と比較して熱分解に伴う吸熱ピーク温度が上昇し, 熱安定性が向上した。単離処理により, セルロースの結晶化度が向上したためと考えられる。次に, 単離処理後の竹片に樹脂液を含浸させ, 樹脂複合材を作製した。単離後竹片の樹脂充填率は, 未処理竹と比較し大幅に増加した。単離処理により生じたメソ孔にも樹脂が含浸されたためと考えられる。[謝辞] 本研究は科研費(JP18KT0037)の助成を受けたものである。

1) M.Sato *et al.*, *PLoS One*, 12 (2017)

From Single Metal to Bimetallic Sites: Enhanced Higher Hydrocarbons Yield of CO₂ Hydrogenation over Bimetallic Catalysts

(University of Toyama) ○Yu Cui, Lisheng Guo
Guohui Yang, Noritatsu Tsubaki

Massive CO₂ emission has led to a series of ecological and environmental problems. Sustainable conversion and utilization of CO₂ is one of the focuses of today's society. However, the inertness of CO₂ molecules and weak chain growth ability limit the efficient utilization of CO₂. Herein, different from conventional Fe-based catalysts, a series of bimetallic catalysts (FeCo) were prepared to investigate the effects of cobalt species existence on catalytic yield of CO₂ hydrogenation. The existence of cobalt

promotes the formation of small-size iron carbides. Meanwhile, a suitable surface composition of Co (2.4 at. %) and Fe (7.4 at. %) element is helpful to promote the selective generation of C₂₊ products, thus presenting a high yield (Co/Fe@C-8). This study can provide a systematic guidance to the utilization of high-efficiently bimetallic catalysts for higher hydrocarbon formation with high yield from CO₂.

アミン溶液の固液相変化を利用した低濃度 CO₂ 回収システム

(都立大院理¹, 京大 ESICB², 都立大 ReHES³, 都立大院都市環境⁴, JST さきがけ⁵)

○天本 和志¹, 吉川 聡一^{1,2,3}, 藤木 裕宇¹, 平山 純^{1,2}, 加藤 玄⁴, 三浦 大樹^{2,3,4},

穴戸 哲也^{2,3,4}, 山添 誠司^{1,2,3,5}

化石燃料に依存した我々の生活を維持するためには、大気中の CO₂ を直接回収する (DAC) システムの確立が課題である。工業排ガスなど比較的高濃度の CO₂ の回収にはモノエタノールアミン (MEA) を代表とするアミン水溶液が検討されているが、平衡の制約を受けるため、低濃度 CO₂ に対する吸収効率は低い。本研究では、固体の析出を利用した固液相変化によって低濃度 CO₂ の吸収し、低温で効率よく放出できる DAC システムの開発を検討した。

アミン 1 mmol の DMSO 溶液に室温で 400ppm の CO₂ (75 mL min⁻¹) を流通した。CO₂ の脱離は N₂

流通下、60 °C で評価した。オンラインの赤外分光光度計により下流の CO₂ 濃度の経時変化を定量した。従来型の MEA 溶液では、400ppm CO₂ の除去効率が 2 h で 90% 以下に低下するのに対し、本研究の固液相変化システムでは 13 h にわたり高い除去率 (>90%) を維持し、用いたアミンと等量の CO₂ を吸収した。また、吸収した CO₂ と等量の CO₂ を 60 °C で放出し、吸収・放出を 5 回にわたって繰り返しても顕著な性能の低下は認められなかった。このように、大流量の低濃度 CO₂ を高効率で吸収・放出する DAC システムの構築をアミン溶液の固液相変化によって達成した。

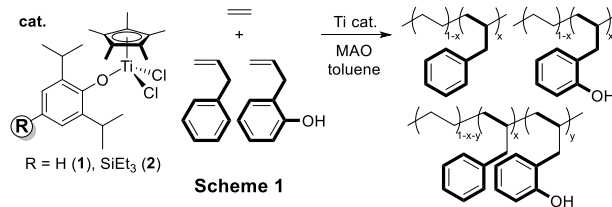
Ethylene copolymerization with allylbenzene containing hydroxy group

(都立大院理) ○Lijuan Guo, Kotohiro Nomura

Introduction of polar functional group into polyolefin has been an attractive subject for development of value-added polyolefins. The subject by adopting the direct copolymerization approach using the early transition metal complex catalysts generally faces a difficulty due to an interaction of the polar functional group in inserted monomer and the centered metal, leading synthesis of low molecular weight polymers with low efficiency (low content, activity, decomposition etc.). Recently, the phenoxide modified half-titanocenes, $\text{Cp}^*\text{TiCl}_2(\text{O}-2,6\text{-}i\text{Pr}_2\text{-4-R-C}_6\text{H}_2)$ [$\text{R} = \text{H}$ (**1**), SiEt_3 (**2**)], especially **2** showed both remarkable catalytic and efficient comonomer incorporation in ethylene copolymerization with alkene-1-ol.¹

We herein present our results for ethylene copolymerization with allylbenzene containing hydroxy group using phenoxide-modified half-titanocenes (**1**, **2**) in the presence of MAO (**Scheme 1**). The ethylene copolymerization with allylbenzene (AB)

yielded high molecular weight copolymers with efficient comonomer incorporation (5.6-26.9 mol%). It was revealed that the ethylene/AB copolymerization in the presence of 2-hydroxyallylbenzene (HAB) proceeded to afford the copolymers containing hydroxy group. Moreover, the ethylene/HAB copolymerization also gave the copolymers with uniform compositions. Details will be introduced in the symposium.



References

(1) S. Kitphaitun, Q. Yan, K. Nomura, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2020, **59**, 23072-23076.

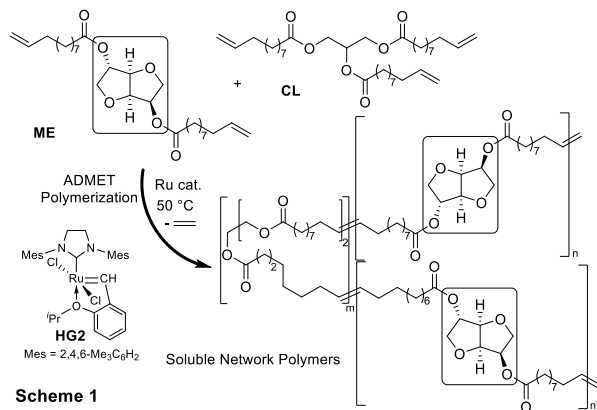
Synthesis of bio-based network polymers by acyclic diene metathesis polymerization

(都立大院理) ○Lance O. P. Go, Mohamed M. Abdellatif, Kotohiro Nomura

Development of bio-based advanced polymers derived from natural abundant non-edible plant resources attracts considerable attention.¹ Previous work on tandem acyclic diene metathesis (ADMET) polymerization of dianhydro-*D*-glucityl bis(undec-10-enoate) (**ME**) using Ru catalyst (**HG2**) and subsequent hydrogenation yielded rather high molecular weight polymers.² In order to develop more advanced materials, we prepared the network polymers in the presence of tri-arm cross linkers (**Scheme 1**).³

Upon presence of glycerol based cross-linker (**CL**), the ADMET polymerization of **ME** by **HG2** afforded high molecular weight polymers with unimodal molecular weight distributions; both the M_n values and the distributions were affected by the conditions. The results have shown that using 5 mol % of the **CL** results in formation of an organo-gel while 1-2.5 mol % of the **CL** produces a soluble network polymer. This soluble network polymer, after hydrogenation, showed an increase in ultimate strain and toughness compared to the linear

polymers. More details will be presented in the symposium.



- (1) K. Nomura, N. W. B. Awang, *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 2021, **9**, 5486-5505.
(2) K. Nomura, P. Chaijaroen, M.M. Abdellatif. *ACS Omega*, 2020, **5**, 18301-18312.
(3) D. Le, C. Samart, S. Kongparakul, K. Nomura. *RSC Adv.*, 2019, **9**, 10245-10252.

溶液 XAFS 手法を用いたハーフチタノセン触媒による シンジオ特異的スチレン重合の機構解析

(都立大院理) ○岩瀬龍祐, 伊澤樹, 中谷直輝, 山添誠司, 野村琴広

ハーフチタノセン錯体、 CpTiCl_3 (**1**), Cp^*TiX_3 ($\text{X} = \text{Cl}, \text{OMe}$), $\text{Cp}^*\text{TiCl}_2(\text{O}-2,6\text{-Me}_2\text{C}_6\text{H}_3)$ (**2**), はシンジオタクチックポリスチレンの合成触媒として知られている¹⁾。最近の溶液 XAFS 測定による $\text{Cp}^*\text{TiCl}_2(\text{O}-2,6\text{-}i\text{-Pr}_2\text{C}_6\text{H}_3)$ ($\text{Cp}' = \text{Cp}, i\text{-BuC}_5\text{H}_4$) 触媒によるシンジオ特異的スチレン重合の機構解析では、MAO ではなく、スチレンにより中心金属が還元された中性の 3 価錯体が活性種として作用することが示唆された²⁾。従って、この事実が一般的なチタン錯体触媒に共通の事実であることを確認するために、各種ハーフチタノセン触媒によるスチレン重合の機構解析に取り組んだ。

トルエン溶液の Ti K-Edge XANES スペクトル (**Figure 1**) より、錯体 **1** や **2** に MAO を添加し

ても価数変化は見られず、スチレンの添加により 3 価種の生成が観測された。この事実は、既報の結果²⁾と一致し、この種の錯体触媒でも中性の 3 価種がスチレンのシンジオ特異性重合の活性種となることが示唆された。詳細を報告予定である。

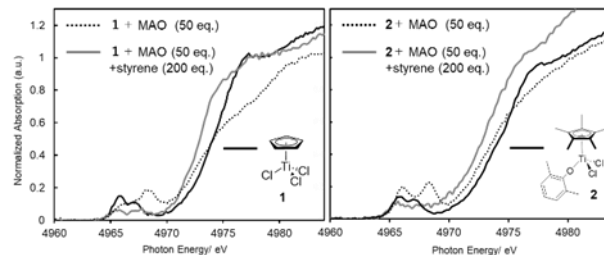


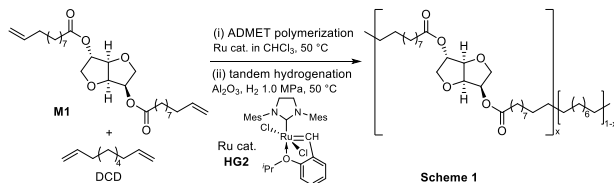
Figure 1. Ti K-Edge XANES スペクトル

- 1) Byun, D. J. et al., *Macromolecules* **2004**, 37, 5530.
- 2) K. Nomura et al., *Organometallics* **2019**, 38, 4497.

非環式ジエンメタセシス (ADMET) 共重合による バイオベースポリエステルの合成

(都立大院理) ○小嶋美華, 野村琴広

非可食の植物資源からリサイクル可能な高分子機能材料の創製は、従来の化学品合成の代替となる重要な基礎技術であると認識されている¹⁾。当研究室で提案された穏和な条件下での非環式ジエンメタセシス (ADMET) 重合とつづく tandem 水素化によるポリエステルの合成法²⁾に従い、本研究では植物油と糖化合物から誘導される対称型の α,ω -ジエン (M1) と各種 α,ω -ジエンとの共重合体の合成に取り組んだ (Scheme 1)。



M1 と DCD (1,9-decadiene) の共重合を各種モル比で検討しても、単峰性の分子量分布を有する比較的高分子ポリマーが得られた。得られるポリマーの分子量は Ru 錯体量や重合時間の影響を受け、重合途中に溶媒置換を行うことで分子量が増加した³⁾。重合後の反応溶液に少量のアルミナを添加し、水素化を行った。水素化後のポリマーの融点は単一で、直鎖ジエンの割合を高めると上昇し、融点が 100 °C を超える共重合体が得られた。

References

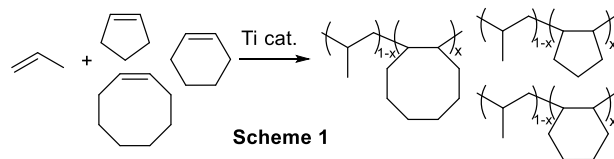
- 1) K. Nomura, N.W. B Awang, *ACS Sustainable Chem Eng.*, **9**, 5485 (2021).
- 2) K. Nomura, Chaijaoroen.P., Abdellatif, M. M., *ACS Omega*, **5**, 18301(2020).
- 3) M. Kojima, M. M. Abdellatif, K. Nomura *Catalysts*, **11**, 1098 (2021).

ハーフチタノセン錯体触媒による新規環状オレフィン共重合体の合成

(都立大院理) ○岡部 正暉, 野村 琴広

環状オレフィン系共重合体は、高透明性や高耐熱性、低吸湿性等に優れた機能性高分子材料として、光学レンズや医用材料等に利用されている。しかし、その報告例はエチレンと環ひずみの高いノルボルネンとの共重合に限定され、低ひずみの環状オレフィンとの報告例は希少である。一方、当研究室では、エチレンと低ひずみの環状オレフィンとの共重合を可能とする、非架橋型ハーフチタノセン触媒の創製に成功している¹⁾。そこで、本研究では同触媒を用いるプロピレンと各種環状オレフィンとの共重合を検討した。

Cp 配位子上の置換基やアニオン性配位子の異なる各種錯体触媒による検討の結果、プロピレンとシクロオクテンやシクロペンテン、シクロヘキ



センなどの低歪み環状オレフィンとの共重合が進行し、GPC や DSC などの結果を基に、分子量の揃った均一組成の非晶性ポリマーが得られた。環状オレフィン含量とガラス転移温度は直線関係が成立し、特に低環状オレフィン含量では、エチレン共重合体よりガラス転移温度が高くなることが判明した。ポスター発表にて詳細を報告する。

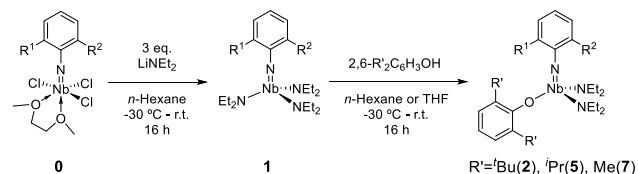
1) (a) Wang, W.; Fujiki, M.; Nomura, K. *J. Am. Chem. Soc.* **2005**, 128, 4582; (b) Liu, J.; Nomura, K. *Adv. Synth. Catal.* **2007**, 349, 2235; (c) Harakawa, H.; Okabe, M.; Nomura, K. *Polymer Chemistry* **2020**, 11, 5590.

フェノキシ配位子を有する芳香族イミド配位ニオブ錯体の合成とエチレンとの反応

(都立大院理) ○中島 野乃香, 小出 晃士, 野村 琴広

ニオブ触媒はジエンや2 置換アセチレン¹⁾の重合等, 他の遷移金属触媒にみられない特徴を示すことから, その分子触媒の開発は興味深い研究対象である. 当研究室ではオレフィン重合や二量化に高性能を発現するバナジウム触媒を報告した背景から, 配位不飽和4 配位型ニオブ錯体に注目した^{2,3)}. しかし, ニオブ錯体は中心金属への強い溶媒配位故にバナジウムと同一のトリクロリド錯体を出発化合物とする経路では, 合成可能な錯体が限定される³⁾. トリス (ジメチルアミド) 錯体からの錯体合成では⁴⁾, 出発錯体が単離困難で, 使用できるイミド配位子が限定される. 今回, トリス (ジエチルアミド) 錯体を出発錯体とする新たな配位不飽和ニオブ錯体の合成ルートを

開拓し, フェノールとの反応で各種フェノキシ配位子を有する各種イミド新規錯体を合成したので, エチレン重合の結果も含めて報告する.



Scheme 1. ニオブ錯体の合成経路

References

- 1) a) K. Nomura et al., *Organometallics* **35**, 2773 (2016);
b) K. Nomura et al., *Macromolecules* **53**, 5266 (2020).
- 2) K. Nomura et al., *Organometallics*, **39**, 3742 (2020).
- 3) K. Nomura et al., *ACS Omega*, **3**, 6166 (2018).
- 4) K. Nomura et al., *Organometallics* **38**, 1544 (2019).

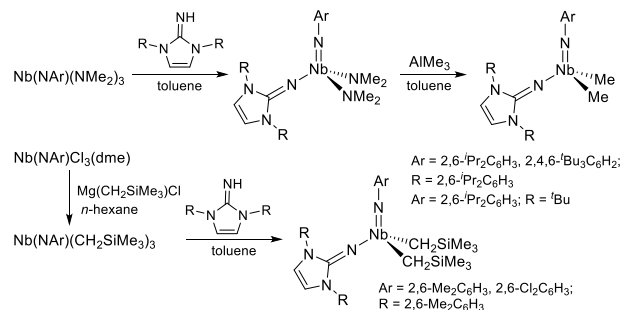
単座グアニジン配位子を有するイミド配位有機ニオブ錯体の合成とその反応性

(都立大院理) ○渡部 楓音, 小出 晃士, 野村 琴広

高酸化状態の前周期遷移金属アルキリデン錯体はオレフィンメタセシス反応に有用な触媒である。特に、イミド配位ニオブ錯体では、他の遷移金属触媒では報告例のない2置換アセチレンのリビング重合が進行する¹⁾。本研究では、電子供与性で電子の非局在化により高酸化状態の錯体の安定化が可能な単座グアニジン配位子に着目し、特に本発表では imidazolin-2-iminato 配位子を有する有機ニオブ錯体の合成の検討結果を報告する。

$\text{Nb}(\text{NAr})(\text{NMe}_2)_3$ 錯体と AlMe_3 との反応によりジメチル錯体の合成では、芳香族イミド配位子上にかさ高い置換基のある場合に合成可能となる。得られた錯体は MAO 助触媒の存在下、エチレン重合に活性を示した。一方で、配位子上の置換基

の異なる各種イミド配位錯体の合成が可能なトリクロリド錯体では、**Grignard** 試薬との反応で容易にアルキル化が可能で続く配位子前駆体との反応でジアルキル錯体が得られる。本発表では合成の詳細とアルキリデン錯体の合成を検討した結果についても紹介する。



1) Izawa, I.; Nomura, K. *Macromolecules* **2020**, *53*, 5266.

単核および複核 NHC 銀錯体によるエチレン重合

(弘前大*, 群馬大**) ○木村なな子*, 竹内大介*

小倉沙代子**, 高澤彩香**, 攪上将規**, 山延健**, 上原宏樹**

エチレン重合には様々な遷移金属が触媒として用いられてきた。NHC 配位子を持つ三核 Ag 錯体は、エチレン重合に中程度の活性を示すことが報告されているがその重合の詳細は明らかではない。本研究では、種々の NHC 配位子をもつ銀錯体を用いてエチレンの重合を行い、重合の詳細を明らかにすることを目指し検討を行った。

ピリジルメチル基をもつ NHC 銀錯体/MAO を用いたエチレン重合では、高融点のポリエチレンが得られた ($T_m = 141.4^\circ\text{C}$)。得られたポリエチレンのモルフォロジーは cob-web で、超高分子量ポリエチレンの可能性が示唆された。一方で、

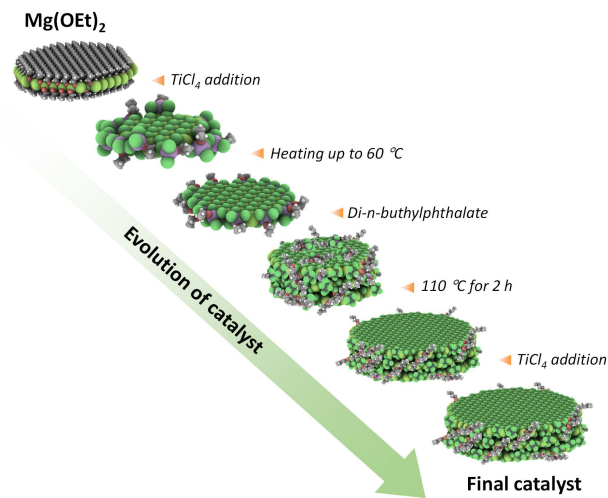
複核銀錯体を用いると、高融点のポリエチレンが同様に得られた ($T_m = 140.8^\circ\text{C}$) が、そのモルフォロジーは単核銀錯体を用いた場合とは異なっていた。NHC と MAO を組み合わせた触媒系を用いた場合にも高融点を示すポリエチレンが得られたことから、活性種は NHC 銀錯体ではなく、NHC 配位子が有機アルミニウムに移動した、NHC アルミニウム錯体であることが示唆された。実際に (NHC) 銀錯体と Me_3Al との反応で、NHC アルミニウム錯体が生成することが NMR により確かめられた。

Formation of active nanostructures of Ziegler-Natta catalysts by chemical activation protocol

(JAIST* • DPI** • UNITO***) ○Toru Wada^{*,**}, Alessandro Piovano^{**,***},
Gentoku Takasao^{*}, Patchanee Chammingkwan^{**,}, Elena Groppo^{**,***},
Minoru Terano^{*,**}, Toshiaki Taniike^{*,**}

Ziegler-Natta catalysts, obtained by chemical activation, are known to be highly active in olefin polymerization. We pursued the evolution of catalysts during preparation by multifaceted analytical methods to investigate the origin of the active nanostructures.

Acknowledgments: The work of T. W., A. P., P. C., E. G., M. T., and T. T. forms part of the research programme of DPI (P.O. Box 902, 5600 AX Eindhoven, the Netherlands), project #802.



有機ジルコニウム錯体によるベンゼンからのフェノール合成

(九大院工¹, JST さきがけ², WPI-I2CNER³)

○西川諒^{1,2}, 鮫島皓^{1,2}, 松本崇弘^{1,2}, 小江 誠司^{1,3}

フェノールは、フェノール樹脂の原料やエポキシ樹脂の原料となるビスフェノール A の合成に使用されるなど、種々多様な化成品の原料として汎用性の高い化合物である。現在、フェノールの工業的な製造にはクメン法が用いられているが、反応効率の低さや副生成物の課題から代替プロセスの開発が求められている。本研究では、触媒として有機ジルコニウム錯体 $[\text{Zr}^{\text{IV}}_2(\eta^5\text{-C}_5\text{H}_5)_4(\text{Cl})_2(\mu\text{-O})]$ (**1**) を用い、酸素と光エネルギーを利用することで、副生成物が生成しないフェノールの合成反応を新規に開発した (図 1)。速度論的考察では、重ベンゼンを用いた際

の速度論的考察では、重ベンゼンを用いた際の速度論的

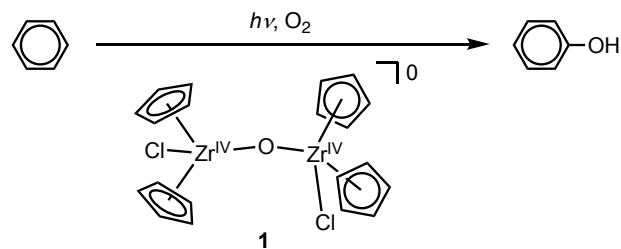


図 1. Zr 錯体によるベンゼンの光酸化反応

有機鉄錯体によるメタンの光酸化反応

(九大院工¹, JST さきがけ², WPI-I2CNER³)

○木村健人^{1,2}, 松本崇弘^{1,2,3}, 小江誠司^{1,3}

メタンガスは、バイオマスから安定的に製造可能であることから、カーボンニュートラルな再生可能資源としての認識が高まっており、ナフサに替わる化学原料としての役割が期待されている。しかし、メタンはその不活性さ故に、利用範囲が今も限定的であり、化学原料として広範囲かつ汎用的に利用するためには新たな変換方法の探索が必要である。本研究では、光応答性有機鉄錯体 $[\text{Fe}^{\text{I}}_2(\eta^5\text{-C}_5\text{H}_5)_2(\mu\text{-CO})_2(\text{CO})_2]$ (**1**) を用いることで、メタンの酸素酸化によるメタノールへの変換を達成した (図 1)。錯体 **1** は光照射によって CO の脱離と単核種への変換が知られている。この錯

体 **1** のアセトニトリル溶液に、メタン (4 MPa) と酸素 (2 MPa) を添加し、紫外光照射 (250-385 nm) することでメタノールの生成を GC-MS によって明らかにした。

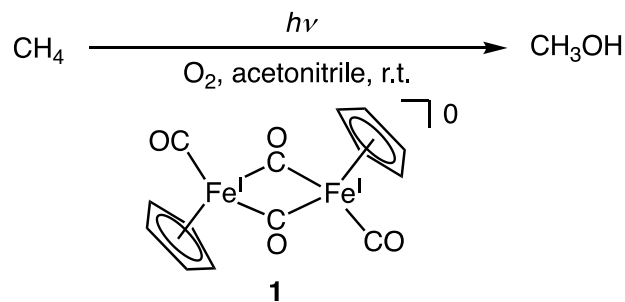


図 1. 有機鉄錯体による光駆動型メタン酸化

均一系ルテニウム錯体による飽和炭化水素の光変換反応

(九大院工¹, JST さきがけ², WPI-I2CNER³, 九大先導研⁴, JST-CREST⁵)

○中村玄太^{1,2}, 松本崇弘^{1,2,3}, 木村健人^{1,2}, 中野龍也^{1,2}, 阿部司^{4,5},
塩田淑仁^{4,5}, 吉澤一成^{4,5}, 小江誠司^{1,3}

近年、メタンは再生可能資源であるバイオマスから製造可能となったことから、環境資源問題の観点からも、有効利用法の開発が求められている。本研究では、均一系触媒である新規 bis(μ -oxo)二核 Ru^{IV} 錯体 [Ru^{IV}₂(η^5 -C₅Me₅)₂(μ -O)₂]²⁺ (**1**) を用いてメタンの光駆動型直接酸化を達成した (図 1)。錯体 **1** は、水中で [Ru^{III}(η^5 -C₅Me₅)(H₂O)₃]⁺ と酸素を反応させることで容易に得られる。紫外光透過窓付き耐圧反応容器に、錯体 **1** の水溶液、メタン(4 MPa)、および酸素(2 MPa)を添加し、5 時間、紫外光照射 (250-385 nm) を行ったところ、反応

後にメタノールとホルムアルデヒドが生成していることを明らかにした。

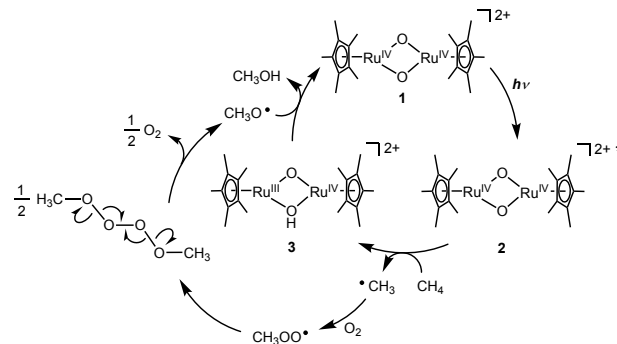


図 1. 提案するメタン酸化反応メカニズム

均一系イリジウム錯体を触媒とするメタンの光変換反応

(九大院工¹, JST さきがけ², WPI-I2CNER³)

○三瀬周平^{1,2}, 村上雅人^{1,2}, 木村健人^{1,2}, 西川諒^{1,2},
松本崇弘^{1,2,3}, 小江誠司^{1,3},

メタンは最も高い C-H 解離エネルギー (105 kcal/mol) を持つ飽和炭化水素であるため、その C-H 結合の酸化は高難度反応として知られている。その一方で、酸化生成物であるメタノールの酸化のされ易さから、メタンからメタノールへの変換は極めて難しい反応とされている。本研究では、光エネルギーを駆動力とすることで、均一系有機 Ir^I 錯体 [Ir^I(η⁵-C₅Me₅)(CO)₂] (**1**) によるメタンからメタノールへの酸素酸化を見出した (図 1)。Ir 錯体 **1** をアセトニトリルに溶解し、メタン (2.0 MPa) を加えて、紫外光を照射すると、メタ

ンの C-H 結合のホモリティックな開裂を伴い、Ir^I 中心に酸化的付加することで、ヒドリド基とメチル基が結合した Ir^{III} 錯体 [Ir^{III}(η⁵-C₅Me₅)(CH₃)(H)] (**2**) が生成した。次いで、酸素を添加し、紫外光を照射することで、メタノールが生成することを明らかにした。

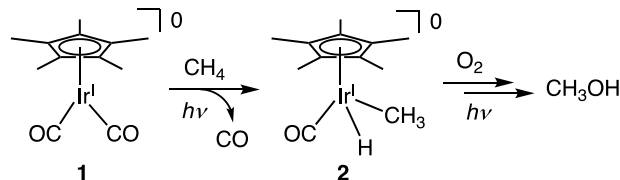


図 1. Ir 錯体を用いるメタンの光酸化反応

セリアージルコニア複合酸化物に担持した銅触媒の三元触媒活性

(名古屋工大) ○篠原 慧也, 西田 吉秀, 羽田 政明

自動車用三元触媒には、必須成分として貴金属が使用される。しかし貴金属は希少元素のため、高コスト、資源の枯渇などが問題となっており、その代替材料である貴金属フリーな三元触媒の開発が求められている。本研究では、高活性な非貴金属系三元触媒の開発を目的に、NO 還元活性を示す Cu に着目し、 $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ への Cu 添加効果を検討した。また種々のキャラクタリゼーションにより、触媒活性種としての Cu の状態を明らかにするための検討を行った。

水熱法、共沈法、含浸法を用いて触媒調製を行ったところ、共沈法で得られたサンプルが最も高い NO 還元活性を示すことが分かった。そこで共

沈法を用い Cu 担持量と Ce/Zr 比の最適化を行ったところ、5wt% Cu-CZ (1:1)が最も優れた NO 還元活性を示した。 H_2 -TPR 測定から、Ce/Zr 比により Cu 種の還元特性が異なること、特に Cu-CZ の水素消費量は Cu/Zr よりも多く、Cu と相互作用を持つ Ce 種が還元されていることが示唆された。また、Ce を含まない Cu-Zr は低活性であることから、Cu-CZ の高い NO 還元活性は、Cu-CZ 相互作用を持つ界面サイトに由来し、粒子径や比表面積の制御が触媒活性向上に有効であると結論した。