

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：12601

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H05796

研究課題名(和文)二酸化炭素有効利用に向けた高難度触媒反応開発

研究課題名(英文)Development of Difficult Substrate Conversion Reaction toward Carbon Dioxide Utilization

研究代表者

野崎 京子(NOZAKI, Kyoko)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授

研究者番号：60222197

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 89,100,000円

研究成果の概要(和文):魅力的な炭素資源である二酸化炭素の有効利用について、いくつかの方向性を示すことができた。(1)二酸化炭素の水素化によるギ酸合成においては、有機塩基存在下でこれまでで最高の活性を達成した。ギ酸の有機塩基の塩からはギ酸を蒸留で精製できるため、実用化の可能性が高まった。(2)エポキシドと二酸化炭素の交互共重合による脂肪族ポリカルボネート合成についても、世界最高レベルの活性を示す触媒開発に成功した。(3)二酸化炭素と炭素-炭素および炭素-酸素2重結合の反応の開発ではアルデヒドと二酸化炭素から $\alpha$ -ヒドロキシカルボン酸を合成する高難度新反応を達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

二酸化炭素は炭素化合物の燃焼最終生成物であり、熱力学的に安定な、不活性な化合物である。一方で、二酸化炭素は安価で豊富な炭素資源であり、その有効利用は科学的興味に留まらず社会的にも大きなインパクトをもつ。本研究で達成された二酸化炭素の変換反応のうち、ギ酸の合成と脂肪族ポリ炭酸エステル合成はいずれも世界最高レベルの活性を達成しており、工業的に用いられるレベルに至った。また、 $\alpha$ -ヒドロキシカルボン酸合成は、医薬品合成中間体の合成法として今後の展開が期待できる。

研究成果の概要(英文): We have accomplished three research projects to realize effective use of carbon dioxide: (1) The highest level of catalytic activity was achieved in the formic acid production by hydrogenation of carbon dioxide with organic base. Since formic acid can be purified by distillation, the method opens a new route to its practical use in industry. (2) In the synthesis of aliphatic polycarbonate by the alternating copolymerization of epoxide and carbon dioxide, the highest level of turnover number was accomplished. (3) In our trials to use carbon dioxide in its reaction with C-C and C-O double bonds, we developed a new reaction to afford  $\alpha$ -hydroxyacids from aldehydes and carbon dioxide.

研究分野：有機合成化学

キーワード：合成化学 高分子合成 有機化学 均一系触媒 再生可能資源

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

二酸化炭素は炭素化合物の燃焼最終生成物であり、熱力学的に安定な、不活性化化合物である。一方で、二酸化炭素は安価で豊富な炭素資源であり、その有効利用は科学的興味に留まらず社会的にも大きなインパクトをもつ。われわれはPNPピンサー配位子をもつイリジウム触媒を用いて水酸化カリウム共存下で二酸化炭素を水素化し、極めて高効率にギ酸のカリウム塩を得る反応を開発していた。また、チタンやゲルマニウムなどの4価の金属や、3価の鉄がエポキシドと二酸化炭素から脂肪族ポリカルボナートを合成するための触媒となることを発見していた。しかし、前者においては、生成物であるギ酸を蒸留で回収するためにはアミンなどの有機塩基の使用が必須であるにも関わらず、有機塩基存在下では活性が上がらないこと、後者においても触媒活性が不十分なことがいずれも解決すべき問題として残されていた。

### 2. 研究の目的

本研究では精密制御反応場を利用して上記の(1)二酸化炭素の水素化によるギ酸合成、(2)エポキシドと二酸化炭素の交互共重合による脂肪族ポリカルボナート合成において残された課題を解決するとともに、(3)二酸化炭素を用いる新物質創製と新反応開発にも取り組み、高難度反応の達成を目的とした。

### 3. 研究の方法

(1)についてはPC(II)Pピンサー配位子の強い供与性を強い受容性によってイリジウム上に構成される特異な反応場に注目した。また(2)については、多核金属錯体やアンモニウム基を分子内にもつ2官能性アルミニウム錯体など、反応のために精密に各原子が配置された錯体を設計・合成し反応に用いた。また、(3)については、二酸化炭素とジエンから得られるポリマーの反応性について調査するとともに、二酸化炭素の有効利用を目指しアルデヒドとの還元的カップリング反応にも挑戦した。

### 4. 研究成果

#### (1)二酸化炭素の水素化によるギ酸合成

われわれは先にPNPピンサー配位子をもつIr錯体を触媒に用いてKOH共存下で二酸化炭素を水素化し、高効率でギ酸のカリウム塩を得た。しかし、この方法では生じたギ酸を取り出すためには酸で中和する必要があり、大スケールでの合成には向かない。一方、アミンなどの有機塩基を用いるとギ酸アンモニウムから蒸留でギ酸を分離することができるが、触媒活性が大きく低下する。DFT計算に基づく、カチオン性Ir水素分子錯体からのプロトン引き抜きが律速段階であると示唆されたため、配位子からの電子供与によってこの過程を加速すべく、本研究では、西林らによって開発された電子供与性のPC(II)P-ピンサー型Ir錯体を用いて反応を検討した。その結果有機塩基を用いる系としては最高の触媒回転数を達成した(Figure 1)<sup>1</sup>。

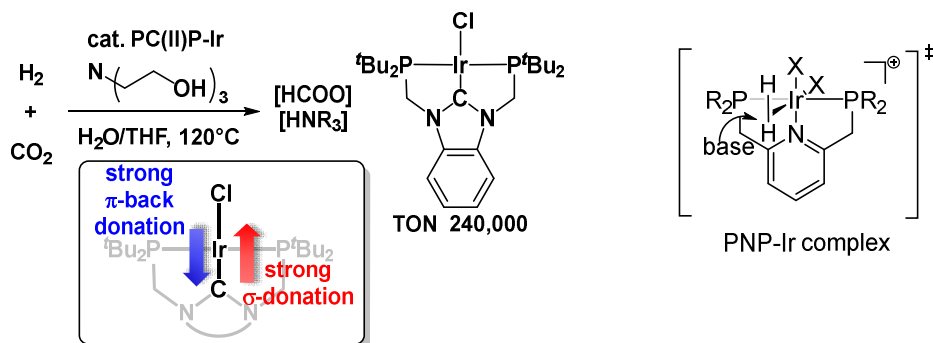
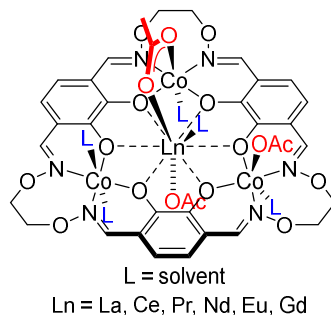


Figure 1. Ir-PCP catalysts for hydrogenation of CO<sub>2</sub>.

#### (2)エポキシドと二酸化炭素の交互共重合による脂肪族ポリカルボナート合成

われわれは先にCo(III)/ salen錯体にメチレンリンカーを通じてアンモニウム基を結合させた錯体が、プロピレンオキシドと二酸化炭素の交互共重合の高活性化に有効なことを示した。本研究では、このような反応場の効果を、多核錯体を用いる系に発展させた<sup>2</sup>。真島らとの共同研究では、Co(II)イオン3個とLn(III)イオン1個からなる大環状錯体を用い同反応の高活性化に成功した<sup>3</sup>。速度論的考察によりCo(II)とLn(III)がそれぞれ二酸化炭素とエポキシドの活性化に寄与していることが示唆され、精密制御反応場の有効性を示す結果となった。

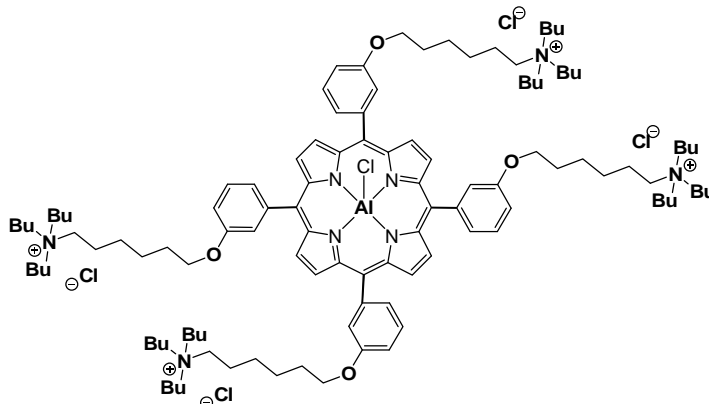


**Figure 2.** Multimetallic catalyst for the alternating copolymerization of cyclohexene oxide and CO<sub>2</sub>

また、依馬・長谷川らとの共同研究でこのアンモニウム基導入の効果を Al 触媒系に発展させ (Figure 3) シクロヘキセンオキシドと二酸化炭素の共重合で、世界最高の活性 (TOF 10,000 h<sup>-1</sup>, TON 55,000) を達成した<sup>4</sup>。理論化学的な解析により、分子内のアンモニウム基が成長鎖末端のアニオン種を静電的相互作用で捕捉し、Al 中心に配位したエポキシドへの求核付加を促進したことが明らかになった。

### (3) オレフィンと二酸化炭素の共重合

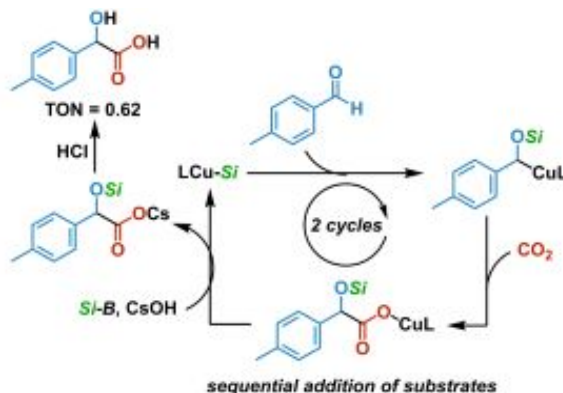
当初計画した夢の反応であるエチレンと二酸化炭素の共重合については種々の触媒を検討したが二酸化炭素の挿入を認めるには至らなかったが、ブタジエンと二酸化炭素の共重合体についての研究を進める中で、高分子鎖の官能基変換を可逆的におこなえることを見つけた<sup>5</sup>。すなわち、加水分解によって得られたポリヒドロキシカルボン酸は 180 °C で 45 分間加熱するだけで、架橋することなく完全にもとのポリマーに戻ることを確認した。温度応答を利用した用途展開が期待される。



**Figure 3.** Bifunctional Al-catalyst for the alternating copolymerization of cyclohexene oxide and CO<sub>2</sub>

### (4) アルデヒドと二酸化炭素のカップリングによるα-ヒドロキシカルボン酸の合成

上記研究遂行中、思いがけずアルデヒドと二酸化炭素からα-ヒドロキシカルボン酸を得た。還元能力をもつ金属による反応は知られているが、本研究ではシリルボランを還元剤として、銅を再利用でき、高難度反応触媒化への道筋を拓いた(Figure 4)<sup>6</sup>。



**Figure 4.** Reductive coupling of aldehyde and CO<sub>2</sub> mediated by Cu(I).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計30件（うち査読付論文 30件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 H. Asaba, T. Iwasaki, M. Hatazawa, J. Deng, H. Nagae, K. Mashima, K. Nozaki	4. 巻 in press.
2. 論文標題 Alternating Copolymerization of CO <sub>2</sub> and Cyclohexene Oxide Catalyzed by Cobalt-Lanthanide Mixed Multinuclear Complexes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Inorg. Chem.	6. 最初と最後の頁 in press.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.0c01156	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. Deng, M. Ratanasak, Y. Sako, H. Tokuda, C. Maeda, J. Hasegawa, K. Nozaki, T. Ema	4. 巻 in press.
2. 論文標題 Aluminum Porphyrins with Quaternary Ammonium Halides as Catalysts for Copolymerization of Cyclohexene Oxide and CO <sub>2</sub> : Metal-Ligand Cooperative Catalysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chem. Sci.	6. 最初と最後の頁 in press.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0SC01609H	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 Kusumoto Shuhei, Kishino Masamichi, Nozaki Kyoko	4. 巻 5
2. 論文標題 Cleavage of C-C and C-O bonds in -O-4 Linkage of Lignin Model Compound by Cyclopentadienone Group 8 and 9 Metals Complexes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 477-480
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200037	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 Sugiyama Masafumi, Akiyama Midori, Nishiyama Kohei, Okazoe Takashi, Nozaki Kyoko	4. 巻 13
2. 論文標題 Synthesis of Fluorinated Dialkyl Carbonates from Carbon Dioxide as a Carbonyl Source	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ChemSusChem	6. 最初と最後の頁 1775 ~ 1784
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cssc.202000090	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 Koyama Minoru, Kawakami Takafumi, Okazoe Takashi, Nozaki Kyoko	4. 巻 25
2. 論文標題 Cyanide Free One Pot Synthesis of Methacrylic Esters from Acetone	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry ? A European Journal	6. 最初と最後の頁 10913 ~ 10917
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201901933	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 Wang Xiaoming, Seidel Falk William, Nozaki Kyoko	4. 巻 58
2. 論文標題 Synthesis of Polyethylene with In Chain , Unsaturated Ketone and Isolated Ketone Units: Pd Catalyzed Ring Opening Copolymerization of Cyclopropanone with Ethylene	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 12955 ~ 12959
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201906990	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 Moon Seunghwan, Masada Koichiro, Nozaki Kyoko	4. 巻 141
2. 論文標題 Reversible Polymer-Chain Modification: Ring-Opening and Closing of Polylactone	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 10938 ~ 10942
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.9b03205	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 Koizumi Yu, Jin Xiongjie, Yatabe Takafumi, Miyazaki Ray, Hasegawa Jun ya, Nozaki Kyoko, Mizuno Noritaka, Yamaguchi Kazuya	4. 巻 58
2. 論文標題 Selective Synthesis of Primary Anilines from NH <sub>3</sub> and Cyclohexanones by Utilizing Preferential Adsorption of Styrene on the Pd Nanoparticle Surface	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 10893 ~ 10897
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201903841	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 Phanopoulos Andreas, Nozaki Kyoko	4. 巻 8
2. 論文標題 Branched-Selective Hydroformylation of Nonactivated Olefins Using an N-Triphos/Rh Catalyst	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 5799 ~ 5809
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.8b00566	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 Murayama Toshiki, Nozaki Kyoko	4. 巻 57
2. 論文標題 Single-Step Construction of the anti-Deoxypropionate Motif from Propylene: Formal Total Synthesis of the Cuticular Hydrocarbons Isolated from <i>Antitrogonus parvulus</i>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 11394 ~ 11398
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201804711	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 Wang Xiaoming, Nozaki Kyoko	4. 巻 140
2. 論文標題 Selective Chain-End Functionalization of Polar Polyethylenes: Orthogonal Reactivity of Carbene and Polar Vinyl Monomers in Their Copolymerization with Ethylene	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 15635 ~ 15640
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.8b10335	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 Higashi Takuya, Ando Hideaki, Kusumoto Shuhei, Nozaki Kyoko	4. 巻 141
2. 論文標題 Metal-Ligand Cooperative C-H Bond Formation by Cyclopentadienone Platinum Complexes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 2247 ~ 2250
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.8b13829	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 Pal Shrinwantu, Kusumoto Shuhei, Nozaki Kyoko	4. 巻 37
2. 論文標題 Dehydrogenation of Dimethylamine-Borane Catalyzed by Half-Sandwich Ir and Rh Complexes: Mechanism and the Role of Cp* Noninnocence	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Organometallics	6. 最初と最後の頁 906 ~ 914
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.organomet.7b00889	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 Hatazawa Masahiro, Takahashi Rei, Deng Jingyuan, Houjou Hirohiko, Nozaki Kyoko	4. 巻 50
2. 論文標題 Cationic Co-Salphen Complexes Bisligated by DMAP as Catalysts for the Copolymerization of Cyclohexene Oxide with Phthalic Anhydride or Carbon Dioxide	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 7895 ~ 7900
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.7b01130	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 Jin Xiongjie, Koizumi Yu, Yamaguchi Kazuya, Nozaki Kyoko, Mizuno Noritaka	4. 巻 139
2. 論文標題 Selective Synthesis of Primary Anilines from Cyclohexanone Oximes by the Concerted Catalysis of a Mg <sup>2+</sup> /Al Layered Double Hydroxide Supported Pd Catalyst	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 13821 ~ 13829
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.7b07347	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 Koizumi Yu, Taniguchi Kento, Jin Xiongjie, Yamaguchi Kazuya, Nozaki Kyoko, Mizuno Noritaka	4. 巻 53
2. 論文標題 Formal arylation of NH <sub>3</sub> to produce diphenylamines over supported Pd catalysts	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 10827 ~ 10830
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7CC06737B	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 Ando Hideaki, Kusumoto Shuhei, Wu Weiwei, Nozaki Kyoko	4. 巻 36
2. 論文標題 Cp*Ir-Catalyzed Acceptorless Dehydrogenation of Carbon-Carbon Single Bonds	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Organometallics	6. 最初と最後の頁 2317 ~ 2322
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.organomet.7b00245	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 Hatazawa Masahiro, Takahashi Rei, Deng Jingyuan, Houjou Hirohiko, Nozaki Kyoko	4. 巻 50
2. 論文標題 Cationic Co <sup>2+</sup> Salphen Complexes Bisligated by DMAP as Catalysts for the Copolymerization of Cyclohexene Oxide with Phthalic Anhydride or Carbon Dioxide	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 7895 ~ 7900
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.7b01130	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 Jin Xiongjie, Koizumi Yu, Yamaguchi Kazuya, Nozaki Kyoko, Mizuno Noritaka	4. 巻 139
2. 論文標題 Selective Synthesis of Primary Anilines from Cyclohexanone Oximes by the Concerted Catalysis of a Mg <sup>2+</sup> /Al Layered Double Hydroxide Supported Pd Catalyst	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 13821 ~ 13829
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.7b07347	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 Koizumi Yu, Taniguchi Kento, Jin Xiongjie, Yamaguchi Kazuya, Nozaki Kyoko, Mizuno Noritaka	4. 巻 53
2. 論文標題 Formal arylation of NH <sub>3</sub> to produce diphenylamines over supported Pd catalysts	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chem. Commun.	6. 最初と最後の頁 10827 ~ 10830
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7CC06737B	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 Ando Hideaki, Kusumoto Shuhei, Wu Weiwei, Nozaki Kyoko	4. 巻 36
2. 論文標題 Cp*Ir-Catalyzed Acceptorless Dehydrogenation of Carbon-Carbon Single Bonds	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Organometallics	6. 最初と最後の頁 2317 ~ 2322
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.organomet.7b00245	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 Jin Xiongjie, Taniguchi Kento, Yamaguchi Kazuya, Nozaki Kyoko, Mizuno Noritaka	4. 巻 53
2. 論文標題 A Ni/Mg/Al layered triple hydroxide-supported Pd catalyst for heterogeneous acceptorless dehydrogenative aromatization	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chem. Commun.	6. 最初と最後の頁 5267 ~ 5270
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7CC01182B	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 Tao W., Akita S., Nakano R., Ito S., Hoshimoto Y., Ogoshi S., Nozaki K.	4. 巻 53
2. 論文標題 Copolymerisation of ethylene with polar monomers by using palladium catalysts bearing an N-heterocyclic carbene-phosphine oxide bidentate ligand	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chem. Commun.	6. 最初と最後の頁 2630 ~ 2633
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7CC00002B	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 Pal Shrinwantu, Kusumoto Shuhei, Nozaki Kyoko	4. 巻 36
2. 論文標題 Facile Styrene Formation from Ethylene and a Phenylplatinum(II) Complex Leading to an Observable Platinum(II) Hydride	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Organometallics	6. 最初と最後の頁 502 ~ 505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.organomet.6b00892	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 X. Jin, K. Taniguchi, K. Yamaguchi, K. Nozaki, N. Mizuno	4. 巻 53
2. 論文標題 A Ni-Mg-Al layered triple hydroxide-supported Pd catalyst for heterogeneous acceptorless dehydrogenative aromatization	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chem. Commun.	6. 最初と最後の頁 5267-5270
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7CC01182B	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 Taniguchi Kento, Jin Xiongjie, Yamaguchi Kazuya, Nozaki Kyoko, Mizuno Noritaka	4. 巻 8
2. 論文標題 Versatile routes for synthesis of diarylamines through acceptorless dehydrogenative aromatization catalysis over supported gold/palladium bimetallic nanoparticles	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chem. Sci.	6. 最初と最後の頁 2131 ~ 2142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C6SC04455G	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 Hatazawa Masahiro, Nakabayashi Koji, Ohkoshi Shin-ichi, Nozaki Kyoko	4. 巻 22
2. 論文標題 In Situ Generation of CoIII-Salen Complexes for Copolymerization of Propylene Oxide and CO2	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 13677 ~ 13681
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201602546	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 Bui Phuong P., Oyama S. Ted, Takagaki Atsushi, Carrow Brad P., Nozaki Kyoko	4. 巻 6
2. 論文標題 Reactions of 2-Methyltetrahydropyran on Silica-Supported Nickel Phosphide in Comparison with 2-Methyl tetrahydrofuran	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 4549 ~ 4558
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.6b01033	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 W. Aoki, N. Wattanabinin, S. Kusumoto, K. Nozaki	4. 巻 89
2. 論文標題 Development of Highly Active Ir&shy;PNP Catalysts for Hydrogenation of Carbon Dioxide with Organic Bases	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Bull. Chem. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 113-124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://dx.doi.org/10.1246/bcsj.20150311">http://dx.doi.org/10.1246/bcsj.20150311</a>	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 M. L. Lephoto, K. Nakano, D. Appavoo, B. O. Owaga, K. Nozaki, J. Darkwa	4. 巻 6
2. 論文標題 Pyrazole Supported Zinc(II) Benzoates as Catalysts for the Ring Opening Copolymerization of Cyclohexene Oxide and Carbon Dioxide	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Catalysts	6. 最初と最後の頁 17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/catal6010017	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 該当する

[学会発表] 計49件 (うち招待講演 24件 / うち国際学会 31件)

1. 発表者名 Nozaki, K.
2. 発表標題 Toward Efficient Utilization of Renewable Resources: Ligand Contribution to Late Transition Metal Mediated Reactions
3. 学会等名 The 2nd Japan Germany Singapore Trilateral Symposium on Precision Synthesis and Catalysis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浅場 裕貴・岩崎 孝紀・長江 春樹・真島 和志・野崎 京子
2. 発表標題 Cobalt/Lanthanide Multinuclear Complexes for Copolymerization of An Epoxide with Carbon Dioxide
3. 学会等名 錯体化学会第69回討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nozaki, K.
2. 発表標題 Homogeneous Catalysis for Today and Tomorrow
3. 学会等名 GDCh Science Forum Chemistry (WiFo 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nozaki, K.
2. 発表標題 Organometallic Chemistry Directed Towards Organic Synthesis (OMCOS) of Polymers
3. 学会等名 20th IUPAC International Symposium on Organometallic Chemistry Directed Towards Organic Synthesis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nozaki, K.
2. 発表標題 Homogeneous Catalysis for Organic Synthesis and Polymer Synthesis
3. 学会等名 47th IUPAC World Chemistry Congress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Falk William Seidel・野崎 京子
2. 発表標題 A novel rigid bidentate B/P ligand: Synthesis and Coordination Chemistry
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浅場 裕貴・岩崎 孝紀・長江 春樹・真島 和志・野崎 京子
2. 発表標題 Synthesis of Macrocyclic Cobalt/Lanthanide Multinuclear Complexes for Copolymerization of An Epoxide with Carbon Dioxide and Study on Its Activity
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seunghwan Moon・野崎 京子
2. 発表標題 Polymer modification involving structural change of a polymer chain
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 東 拓也・安藤 秀明・楠本 周平・野崎 京子
2. 発表標題 Metal-Ligand Cooperative C-H Bond Formation and Cleavage by Cyclopentadienone Platinum Complexes
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 時丸 祐輝・伊藤 慎庫・野崎 京子
2. 発表標題 A Hybrid of Corannulene and Azacorannulene: Synthesis and Properties of a Highly Curved Nitrogen-Containing Buckybowl
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jin Jung・野崎 京子
2. 発表標題 Copolymerization of ethylene and polar monomers using a cobalt complex with tethered cyclopentadienyl ligand
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富澤 泉・堅固山 千尋・伊藤 慎庫・野崎 京子
2. 発表標題 Design and Synthesis of Novel Palladium/Phosphine/Sulfonate Catalysts for Highly Stereospecific Polymerization of Propylene
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takaoka, S. Eizawa, A. Kusumoto, S. Nakajima, K. Nishibayashi, Y. Nozaki, K.
2. 発表標題 Synthesis of PC(II)P-Ir Complex and Application to Hydrogenation of CO <sub>2</sub>
3. 学会等名 43rd International Conference on Coordination Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Murayama, T. Ota, Y. Nozaki, K.
2. 発表標題 Development of stereospecific propylene oligomerization toward single-step synthesis of deoxypropionate motif
3. 学会等名 28th International Conference on Organometallic Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Phanopoulos, A. Nozaki, K.
2. 発表標題 Iso-Selective Hydroformylation of Non-Activated Alkenes
3. 学会等名 21st International Symposium on Homogeneous Catalysis (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 永野 太郎・宮島 大吾・伊藤 慎庫・相田 卓三・野崎 京子
2. 発表標題 アザペンタベンゾコラニユレンをコアとする液晶性分子の合成と性質
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村 公洋・永野 太郎・時丸 祐輝・伊東 慎庫・野崎 京子
2. 発表標題 Development of a Method for Introducing Substituents to Azapentabenzocorannulenes
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shrinwantu Pal・楠本 周平・野崎 京子
2. 発表標題 Dehydrogenation of dimethylamine-borane catalyzed by half-sandwich Ir and Rh complexes: Mechanism and the role of Cp* non-innocence
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 前田 千尋・徳田 秀樹・依馬 正・Jingyuan Deng・野崎 京子
2. 発表標題 Copolymerization of Cyclohexene Oxide and Carbon Dioxide Catalyzed by Bifunctional Aluminum Porphyrin Complexes
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高岡 咲都子・永澤 彩・楠本 周平・中島 一成・西林 仁昭・野崎 京子
2. 発表標題 PCP-Ir錯体の合成と二酸化炭素水素化反応への応用
3. 学会等名 第7回CSJ化学フェスタ2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 公山 稔・川上 貴史・岡添 隆・野崎 京子
2. 発表標題 アセトン、クロロホルム、アルコールを原料としたメタクリル酸エステルのワンポット合成
3. 学会等名 第7回CSJ化学フェスタ2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高岡 咲都子・永澤 彩・楠本 周平・中島 一成・西林 仁昭・野崎 京子
2. 発表標題 PCP-Ir錯体の合成と二酸化炭素水素化反応への応用
3. 学会等名 錯体化学会第67回討論会
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 津田 知拓・新谷 亮・三澤 奈々・飯野 亮・藤井 幹也・山下 晃一・野崎 京子
2. 発表標題 ロジウム触媒を用いた縫合反応によるキノイド型縮環オリゴシロールの合成および物性探索
3. 学会等名 第64回有機金属化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kyoko Nozaki
2. 発表標題 Unsymmetrical bidentate ligand for homogeneous catalysis
3. 学会等名 Symposium des 50 ans du LHFA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Seung Joo Lee, Shuhei Urayama, Yasuo Azuma, Tomohiro Tsuda, Ryo Takano, Ryo Shintani, Kyoko Nozaki, Yutaka Majima
2. 発表標題 Electron Transport of Solid-State Single Molecular Device with Quinoidal Fused Oligosilole Derivative
3. 学会等名 Gwangju Institute of Science and Technology, Gwangju, Korea (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shingo Ito, Taro Nagano, Yuki Tokimaru, Kyoko Nozaki
2. 発表標題 Synthesis, Structure, and Properties of Azapentabenzocorannulenes
3. 学会等名 17th International Symposium on Novel Aromatics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yosuke Sato, Chihiro Takagi, Ryo Shintani, Kyoko Nozaki
2. 発表標題 Asymmetric Synthesis of Silicon-Stereogenic 5,10-Dihydrophenazasilines via Enantioselective 1,5-Palladium Migration
3. 学会等名 Asymmetric Synthesis of Silicon-Stereogenic 5,10-Dihydrophenazasilines via Enantioselective 1,5-Palladium Migration (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nozaki, K.
2. 発表標題 Development of New Catalytic Reactions toward Utilization of Renewable Resources
3. 学会等名 U. Montreal Lecture Series (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nozaki, K.
2. 発表標題 Development of New Catalytic Reactions toward Utilization of Renewable Resources
3. 学会等名 LAVAL University Lecture Series (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nozaki, K.
2. 発表標題 Development of New Catalytic Reactions toward Utilization of Renewable Resources
3. 学会等名 McGill University Lecture Series (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nozaki, K.
2. 発表標題 Direct and Selective Hydrogenolysis of Arenols and Aryl Methyl Ethers
3. 学会等名 International Symposium on C-O Activation (ISCO-2016) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Nozaki, K.
2. 発表標題 Development of New Catalytic Reactions toward Utilization of Renewable Resources
3. 学会等名 24th Solvay Conference on Chemistry Catalysis in Chemistry and Biology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Nozaki, K.
2. 発表標題 Development of New Catalysts toward Utilization of Renewable Resources
3. 学会等名 Merck-Pfister Lecturer in Organic Chemistry MIT (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Nozaki, K.
2. 発表標題 Organic Synthesis of Polymers
3. 学会等名 Merck-Pfister Lecturer in Organic Chemistry MIT (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Nozaki, K.
2. 発表標題 Development of New Catalytic Reactions toward Utilization of Renewable Resources
3. 学会等名 National Sun Yat-sen University Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Nozaki, K.
2. 発表標題 Development of New Catalytic Reactions toward Utilization of Renewable Resources
3. 学会等名 Mini-Symposium on Organic Synthesis, Organometallics and Elemento-Organic Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Nozaki, K.
2. 発表標題 Utilization of Carbon Dioxide as a Carbon Resource in Bulk Chemicals and in Polymeric Materials
3. 学会等名 Carbon Dioxide Catalysis Conference 2016 (ZING Conference) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Nozaki, K.
2. 発表標題 Catalyst Development for Utilization of Renewable Resources
3. 学会等名 SeleCa Workshop on Precision Polymerization Catalysis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Nozaki, K.
2. 発表標題 "Development of New Catalytic Reactions toward Utilization of Renewable Resources"
3. 学会等名 7th International Conference on Green and Sustainable Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Nozaki, K.
2. 発表標題 "Development of New Catalytic Reactions Toward Utilization of Renewable Resources"
3. 学会等名 Gordon Research Conference-New Challenges and Opportunities for Organometallic Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Nozaki, K.
2. 発表標題 Development of New Catalytic Reactions toward Utilization of Renewable Resources
3. 学会等名 IUPAC-2015 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 野崎京子
2. 発表標題 触媒開発：再生可能資源を利用するために
3. 学会等名 第5回CSJ化学フェスタ (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Hatazawa, M.; Nozaki, K.
2. 発表標題 In Situ Generation of Salen/Co(III) Complexes for Copolymerization of Propylene Oxide and CO <sub>2</sub>
3. 学会等名 The 8th International Forum on Chemistry of Functional Organic Chemicals (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Hatazawa, M.; Nozaki, K.
2. 発表標題 PPC/PPO selectivity dependency on oxidation state of Co/salicy complex
3. 学会等名 The 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Nozaki, K.
2. 発表標題 Carbon dioxide as a renewable C1 feedstock for polymer synthesis
3. 学会等名 The 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 野崎京子
2. 発表標題 二酸化炭素有効利用に向けた触媒開発
3. 学会等名 新学術領域研究「精密制御反応場」第1回公開シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Nozaki, K.
2. 発表標題 Development of New Catalysts toward Utilization of Renewable Resources
3. 学会等名 沖縄科学技術大学院大学(OIST)講演会(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hatazawa, M.; Nozaki, K.
2. 発表標題 In situ Generation of Salen/Co(III) Complexes for Copolymerization of Propylene Oxide and CO <sub>2</sub>
3. 学会等名 Annual Florida Heterocyclic and Synthetic Conference (FLOHET-2016)(国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Nozaki, K.
2. 発表標題 Development of New Catalysts toward Utilization of Renewable Resources
3. 学会等名 Challenges in Organic Chemistry(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Nakano, R.; Nozaki, K	4. 発行年 2016年
2. 出版社 S&T出版	5. 総ページ数 305
3. 書名 二酸化炭素を用いた化学品製造技術	

1. 著者名 Ito, S.; Nozaki, K.	4. 発行年 2016年
2. 出版社 化学同人	5. 総ページ数 204
3. 書名 精密重合が拓く高分子合成	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>野崎研HP  <a href="http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/nozaki/lab/publication/index.html">http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/nozaki/lab/publication/index.html</a>          東京大学大学院工学系研究科化学生命工学専攻野崎研究室</p>
---

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
---------------------------	-----------------------	----