

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 28 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26288047

研究課題名(和文)高性能脱水素化触媒の開発と低環境負荷型有機合成反応における活用

研究課題名(英文) Development of Novel Transition Metal Catalysts and Their Application to Environmentally Benign Organic Synthesis Based on Dehydrogenative Transformation of Organic Molecules

研究代表者

藤田 健一 (FUJITA, KEN-ICHI)

京都大学・人間・環境学研究科(研究院)・教授

研究者番号：80293843

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題は、研究代表者がこれまでに開発してきた、金属と機能性配位子の協働作用に基づく触媒的脱水素化に関する研究を発展させ、低環境負荷型有機合成において活用することを目的として遂行した。その結果、以下の成果を得た。1) 機能性配位子を有する新しい高性能脱水素化触媒の合成に成功した。2) アルコールの脱水素的酸化触媒系を開発した。3) 機能性配位子のファインチューニングによる触媒の高性能化に成功した。4) 有機分子の触媒的脱水素化を基軸とする低環境負荷型有機合成反応への応用に成功した。5) 簡便な手順による触媒回収法を開発した。

研究成果の概要(英文)：This study has been carried out to develop environmentally benign methods for organic synthesis, based on our previous investigations on cooperative catalysis by transition metals with functional ligands for dehydrogenative transformation of organic molecules. The accomplishments are as follows. (1) New catalysts for dehydrogenation have been synthesized. (2) Dehydrogenative oxidation of alcohols has been accomplished. (3) Improvement of performance of the catalyst has been achieved by fine tuning of the electronic and steric nature of the functional ligand. (4) New environmentally benign methods for organic synthesis based on catalytic dehydrogenation of organic molecules have been developed. (5) Efficient procedure for the recovery of the catalyst has been developed.

研究分野：有機金属化学

キーワード：イリジウム触媒 ルテニウム触媒 機能性配位子 脱水素化反応 低環境負荷型有機合成 水素 アルコール

1. 研究開始当初の背景

従来の化学合成手法を見直し、環境影響に配慮した新しい触媒的な物質変換法の開発が必要とされている。特に、グリーンケミストリーの観点から、原子効率の高い、触媒を活用した直截的な分子変換に基づいた合成反応の開拓が強く求められている。このような背景の下、有機分子の脱水素的変換を基軸とする有機合成反応が注目されている。すなわち、有機分子の酸化反応は従来、量論量の酸化剤を用いて行われ、目的生成物に加えて酸化剤に由来する廃棄物を生み出すものであった。これに対し、触媒を活用する脱水素的変換によれば、酸化剤を用いることなく酸化反応を達成して目的生成物を与えるだけでなく、エネルギー源として利用価値の高い水を共生成分として生み出すという利点を有する。

このような脱水素的変換反応は、アルコール、アミン、アルカン等の有機化合物を原料に用いて検討され、それぞれアルデヒド・ケトン、イミン、アルケン等を与える触媒系が開発されてきたが、高効率なものも数は少なかった。ごく最近になって、中心金属と機能性配位子との協働作用に基づいて精緻に分子設計された錯体触媒を用いる反応が、Milstein, Gelman, Baratta、そして本研究者らによって開発され、アルデヒド・ケトンの合成や、それらを応用したエステルおよびアミドの合成等に展開されてきた。

しかしながら、こうした脱水素的変換反応に関する研究は黎明期にあり、より高性能で実用性の点で優れた新しい脱水素化触媒の開発が急務といえる。また、触媒的な脱水素化の素過程における中心金属と機能性配位子との協働作用の詳細は十分に解明されているとはいえず、多様な錯体触媒を開発し、基礎的知見を蓄積することが必要とされている。

2. 研究の目的

本研究では、新規高性能脱水素化触媒を設計・合成し、それを活用する低環境負荷型有機合成反応を開発することを目的とするものである。この目的を達成するため、当該研究期間に、次の(1)～(5)を計画して研究を実施した。

- (1) 「機能性配位子を有する新しい高性能脱水素化触媒の設計と合成」に取り組み、本研究で使用する一連の触媒を得るとともに、その分子構造と基礎的な性質を明らかにする。
- (2) 「アルコールの脱水素的変換を基軸とする有機合成反応の開発」に取り組み、アルデヒド、ケトン、エステル等を低環境負荷かつ高効率に得る新しい触媒系を構築する。
- (3) 「機能性配位子のファインチューニングによる触媒の高性能化」に取り組み、(1)で開発した新規触媒の電子的・立体的な特性を微調整し、さらなる性能向上を目指す。
- (4) 「アルコールの脱水素的変換を格段に発展させることによる低環境負荷型有機合成

反応への応用」に取り組み、カルボン酸、ラクトン、アミド、ニトリル等を得る触媒系を構築する。

(5) 「簡便な手順による触媒回収法の開発」に取り組み、実用性の向上と低コスト化を目指す。

3. 研究の方法

(1) 機能性配位子を有する新しい高性能脱水素化触媒の設計と合成

新規な高性能脱水素化触媒を合成することを目的とし、電子供与能が極めて高いことが知られる含窒素複素環カルベンと、2-ヒドロキシピリジン骨格とを連結した新しいキレート構造の機能性配位子を設計し、その合成を行った。続いて、本配位子を有するイリジウム錯体の合成について調査した。得られた新規錯体の構造を単結晶 X 線構造解析によって明らかにすることを検討した。

さらに、本研究者らが既に開発した脱水素化錯体触媒と類似構造の新規錯体を合成し、その多様化を図ることにした。このとき、中心金属として従来用いていたイリジウムに代わり、8 族遷移金属のルテニウムを有する錯体の合成について調査した。ルテニウムは、その触媒化学の発展が近年目覚しいが、イリジウムに比べて 10 分の 1 以下の価格であり、低コストの脱水素化触媒に用いる中心金属として魅力的である。本研究では、電子的特性の異なるルテニウム錯体を合成するため、各種アレーン配位子を用いて検討した。

(2) アルコールの脱水素的変換を基軸とする有機合成反応の開発

まず、第二級アルコールの脱水素的酸化によってケトンを得る反応をとりあげ、一連の新規錯体の触媒活性をそれぞれ調査した。

さらに、第一級アルコールの脱水素化反応の応用として、エステル(ラクトン)化反応について検討した。これは、脱水素化で一旦生じたアルデヒドが、系内に残存するアルコールの付加によってヘミアセタルへと変換され、再び脱水素化を受けてエステル(ラクトン)を与えるものである。

(3) 機能性配位子のファインチューニングによる触媒の高性能化

上記計画(1)で合成した脱水素化触媒の電子的・立体的な特性を微調整し、さらなる性能向上に取り組んだ。まず、機能性含窒素複素環カルベン配位子の骨格に各種置換基を導入したものや、骨格の π 電子共役系を拡張したものの合成について検討した。

(4) アルコールの脱水素的変換を格段に発展させることによる低環境負荷型有機合成反応への応用

上記計画(2)で得た成果を発展させ、第一級アルコールの水溶液を原料として用いた脱水素的変換によるカルボン酸合成や、アミンの脱水素化によってイミンやニトリルを得

るための新しい触媒系の開発に取り組んだ。

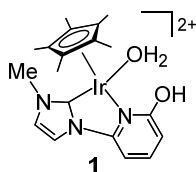
(5) 簡便な手順による触媒回収法の開発

遷移金属触媒を簡便な手法で回収し再び利用することは、資源の有効利用や反応プロセスの低コスト化の観点から重要である。本研究においては、一連の触媒反応で触媒回収を行い、実用性の高い触媒系へと発展させることに取り組んだ。

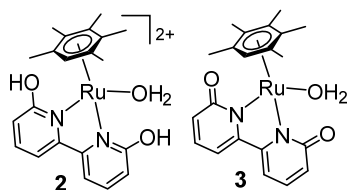
4. 研究成果

(1) 機能性配位子を有する新しい高性能脱水素化触媒の設計と合成

含窒素複素環カルベンと 2-ヒドロキシピリジン骨格とを連結した新しいキレート構造の機能性配位子を有するジカチオン性の新規イリジウム錯体触媒 1 の合成に成功した。錯体触媒 1 の構造は、スペクトルデータ、元素分析、および X 線構造解析により明らかにした。

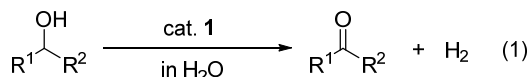


さらに、8 族遷移金属のルテニウムを中心金属とし、機能性配位子として 6,6'-ジヒドロキシ-2,2'-ビピリジンならびに 6,6'-ジオナート-2,2'-ビピリジンを有する一連のルテニウム錯体触媒 2 および 3 の合成に成功した。

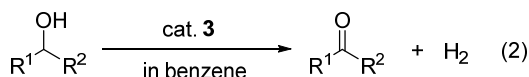


(2) アルコールの脱水素的変換を基軸とする有機合成反応の開発

上記研究成果(1)で合成した新規イリジウム錯体触媒 1 を用いることにより、アルコールの水溶液中での脱水素的酸化によってカルボニル化合物を与える反応が良好に進行することを見出した(式 1)。

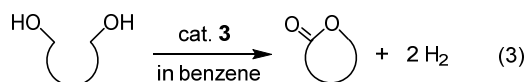


さらに、上記研究成果(1)で合成した新規ルテニウム錯体触媒 3 を用いることによって、第二級アルコールの脱水素的酸化によりケトンが得られることについても明らかにした(式 2)。



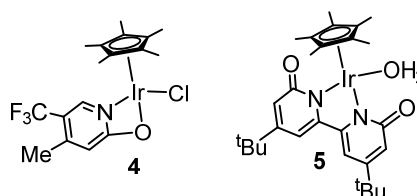
これらに加え、ジオールを原料とする分子内脱水素的環化反応によってラク톤を得

る反応が高収率で進行することも明らかにした(式 3)。

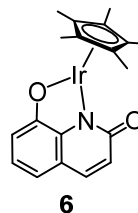


(3) 機能性配位子のファインチューニングによる触媒の高性能化

本研究者が機能性配位子として用いてきた 2-ピリドナートならびに 6,6'-ジオナート-2,2'-ビピリジンの骨格内に、電子供与性および電子求引性置換基を導入した一連の新規イリジウム錯体 4 および 5 を合成することに成功した。この成果により、触媒分子の機能性を最大限に高めるためのファインチューニングの際に必要な基礎的知見を得ることができた。

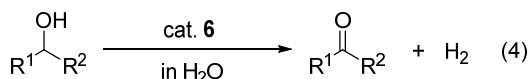


これに加え、2-キノリノン系機能性配位子を有する新規イリジウム錯体触媒 6 についても合成し、その構造を明らかにした。

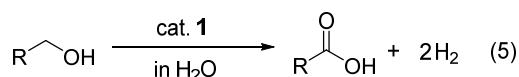


(4) アルコールの脱水素的変換を格段に発展させることによる低環境負荷型有機合成反応への応用

上記研究成果(3)で合成した新規イリジウム錯体触媒 6 を用いることにより、水溶液中での第二級アルコールの脱水素的酸化によるケトン合成が、従来よりも少ない触媒量で達成されることを見出した(式 4)。



さらに、錯体触媒 1 を用いた水溶液中での脱水素的酸化反応において、第一級アルコール水溶液を原料として用いた場合には、カルボン酸が得られることも明らかとなった(式 5)。一般的に、第一級アルコール水溶液の脱水素的酸化によってカルボン酸を得る際は、強塩基性で行わなければならないことから、本研究で開発した新規触媒系は環境負荷が低く、原子効率に優れたものであるといえる。



このほか、本研究において開発した新規錯体触媒を用いてアミン類の脱水素化を検討し、イミンが生成することを明らかにしているが、現在までのところ、最適条件の確立にまでは至っていない。

(5) 簡便な手順による触媒回収法の開発

本研究において開発した脱水素化に有効な錯体触媒の、水溶液中での液性変化にともなう構造変化を系統的に調査し、水相 - 有機相間の抽出分離による錯体触媒の回収を容易に行える手順を確立した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計5件)

Yamaguchi, R.; Kobayashi, D.; Shimizu, M.; Fujita, K., Synthesis of a Series of Iridium Complexes Bearing Substituted 2-Pyridonates and Their Catalytic Performance for Acceptorless Dehydrogenation of Alcohols under Neutral Conditions, *J. Organomet. Chem.*, **2017**, *843*, 14-19, 査読有, DOI: doi.org/10.1016/j.jorganchem.2017.05.018.

Toyomura, K.; Fujita, K., Synthesis of Coordinatively Unsaturated Iridium Complexes Having Functional 8-Quinolinolato Ligands: New Catalysts for Dehydrogenative Oxidation of Alcohols in Aqueous Media, *Chem. Lett.*, **2017**, *46*, 808-810, 査読有, DOI: doi.org/10.1246/cl.170166.

藤田健一, イリジウム錯体触媒による脱水素化反応を活用する水素製造法ならびに水素貯蔵システムの開発, *Organometallic News*, **2017**, No. 2, 46-51, 査読有.

Fujita, K.; Kawahara, R.; Aikawa, T.; Yamaguchi, R., Hydrogen Production from a Methanol-Water Solution Catalyzed by an Anionic Iridium Complex Bearing a Functional Bipyridonate Ligand under Weakly Basic Conditions, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2015**, *54*, 9057-9060, 査読有, DOI: doi.org/10.1002/anie.201502194.

藤田健一, ディビジョン・トピックス: 均一系錯体触媒を活用するメタノール水溶液からの水素製造, *化学と工業*, **2015**, *68*(9), 820, 査読無.

[学会発表](44件)

Ken-ichi Fujita, Tomokatsu Wada, Reversible Dehydrogenation and Hydrogenation of Nitrogen Heterocycles Catalyzed by an Iridium Complex for the Storage of Hydrogen, 2nd International Symposium on Precisely Designed Catalysts with Customized Scaffolding, 2017年5月12日~2017年5月13日, Osaka, Japan.

藤田健一, 機能性配位子を有するイリジウム錯体触媒を用いた高難度脱水素化反応の開発(特別企画講演), 日本化学会第97春季年会, 4S8-06, 横浜(慶應義塾大学、神奈川県横浜市), 2017年3月19日.

小野田光貴, 藤田健一, イリジウム錯体触媒を用いたアルコールのカップリング反応によるエステルおよびエーテル合成, 日本化学会第97春季年会, 3E2-51, 横浜(慶應義塾大学、神奈川県横浜市), 2017年3月18日.

森島凡乃, 藤田健一, NHC イリジウム錯体触媒を用いた温和な条件下でのアミンとアルコールのN-アルキル化反応, 日本化学会第97春季年会, 3E2-50, 横浜(慶應義塾大学、神奈川県横浜市), 2017年3月18日.

辻晶子, 藤田健一, NHC イリジウム錯体触媒を用いたメタノールによるアミンの効率的N-メチル化反応, 日本化学会第97春季年会, 1PB-086, 横浜(慶應義塾大学、神奈川県横浜市), 2017年3月16日.

和田智勝, 藤田健一, イリジウム錯体触媒を用いた含窒素複素環化合物の可逆的な脱水素化と水素化, 日本化学会第97春季年会, 1PB-084, 横浜(慶應義塾大学、神奈川県横浜市), 2017年3月16日.

藤田健一, 機能性配位子を持つイリジウム錯体による触媒的脱水素化反応(招待講演), 第13回触媒相模セミナー, 神奈川(相模中央化学研究所、神奈川県綾瀬市), 2016年11月17日.

Fujita, K., Hydrogen Production from a Methanol-Water Solution Catalyzed by an Iridium Complex Bearing a Functional Ligand (Invited Lecture), International Symposium in Catalysis and Fine Chemicals 2016 (C&FC 2016), IS-16, Taipei, TAIWAN, November 11, 2016.

藤田健一, イリジウム触媒による水素移動ならびに脱水素化を基軸とする分子変換(招待講演), 近畿化学協会有機金属部会平成28年度第3回例会, 名古屋(名古屋大学、愛知県名古屋市), 2016年10月11日.

和田智勝, 藤田健一, 機能性配位子を有するイリジウム錯体触媒を用いた含窒素複素環の脱水素化と水素化, 第46回複素環化学討論会, 1P-19, 金沢(金沢歌劇座、石川県金沢市), 2016年9月26日.

辻晶子, 藤田健一, NHC 配位子を有するイリジウム錯体触媒を用いたメタノールによる芳香族アミンの選択的N-モノメチル化, 第63回有機金属化学討論会, P3-90, 東京(早稲田大学、東京都新宿区), 2016年9月16日.

藤田健一, 永野祐大, 機能性配位子を有するイリジウム錯体触媒を用いた多価アルコールからの水素発生反応, 錯体化学会第66

回討論会, 2PD-09, 福岡(福岡大学、福岡県福岡市), 2016年9月11日.

梶田舜平, 吉田真人, 藤田健一, 機能性ピピリドナート配位子を有する遷移金属錯体の合成とメタノール水溶液の脱水素化反応における触媒性能, 錯体化学会第66回討論会, 2PD-08, 福岡(福岡大学、福岡県福岡市), 2016年9月11日.

和田智勝, 藤田健一, イリジウム触媒を活用した含窒素複素環の脱水素化ならびに水素化, 第36回有機合成若手セミナー, P-03, 京都(京都薬科大学、京都府京都市), 2016年8月9日.

辻晶子, 藤田健一, イリジウム錯体触媒を活用するメタノールを炭素源としたアミンの選択的N-メチル化, 第36回有機合成若手セミナー, P-28, 京都(京都薬科大学、京都府京都市), 2016年8月9日.

Fujita, K.; Kawahara, R.; Aikawa, T.; Yamaguchi, R., Hydrogen Production from a Methanol-Water Solution Catalyzed by an Iridium Complex Bearing a Functional Ligand under Mild Conditions, 20th International Symposium on Homogeneous Catalysis (ISHCXX), 1P-013, Kyoto, JAPAN(京都テルサ、京都府京都市), July 12, 2016.

Yoshida, M.; Tamura, R.; Tanaka, Y.; Fujita, K., Dehydrogenative Oxidation of Alcohols in Water Catalyzed by an Iridium Complex Bearing a Functional N-Heterocyclic Carbene Ligand, 20th International Symposium on Homogeneous Catalysis (ISHCXX), 1P-033, Kyoto, JAPAN(京都テルサ、京都府京都市), July 12, 2016.

吉田真人, 田中雄飛, 藤田健一, イリジウム触媒を用いた環境調和型カルボン酸合成, 第5回JACI/GSCシンポジウム, A-76, ANAクラウンプラザホテル神戸(兵庫県・神戸市), 2016年6月3日.

辻晶子, 藤田健一, イリジウム触媒を用いたメタノールによるアミンの効率的N-メチル化, 第5回JACI/GSCシンポジウム, A-24, ANAクラウンプラザホテル神戸(兵庫県・神戸市), 2016年6月3日.

和田智勝, 藤田健一, イリジウム触媒を用いた含窒素複素環の脱水素化ならびに水素化, 第5回JACI/GSCシンポジウム, B-21, ANAクラウンプラザホテル神戸(兵庫県・神戸市), 2016年6月3日.

⑲ 永野祐大, 藤田健一, 機能性ピピリドナート配位子を有するイリジウム錯体触媒を用いた多価アルコールからの水素発生反応, 日本化学会第96春季年会, 3PC-088, 京都, 2016年3月26日.

⑳ 豊村一期, 藤田健一, 2-キノリノン系機能

性配位子を有するイリジウム錯体触媒を用いた水溶媒中でのアルコールの脱水素的酸化反応, 日本化学会第96春季年会, 3PC-087, 京都, 2016年3月26日.

㉑ 梶田舜平, 吉田真人, 藤田健一, 機能性ピピリドナート配位子を有する新しいイリジウム錯体の合成とメタノール水溶液からの水素製造における触媒性能, 日本化学会第96春季年会, 3PC-086, 京都, 2016年3月26日.

㉒ 和田智勝, 藤田健一, 機能性ピピリドナート配位子を有するイリジウム錯体触媒を用いた含窒素複素環化合物の脱水素化反応, 日本化学会第96春季年会, 1H7-09, 京都, 2016年3月24日.

㉓ 永野祐大, 藤田健一, イリジウム触媒を用いたジオール類の脱水素的環化によるラクトン合成, 第45回複素環化学討論会, 1P-32, 東京, 2015年11月19日.

㉔ Tanaka, Y.; Yamaguchi, R.; Fujita, K., Synthesis of Carboxylic Acids through Dehydrogenation of Primary Alcohols in Water Catalyzed by Iridium Complexes Bearing a Functional Ligand, 13th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry, PA(C)-30, Kyoto, JAPAN, November 10, 2015.

㉕ Fujita, K., Hydrogen Production from a Methanol-Water Solution Catalyzed by a Water-Soluble Iridium Complex under Mild Conditions (Invited Lecture), 10th International Conference on Cutting-Edge Organic Chemistry in Asia (ICCEOCA-10), IL-30, Kaohsiung, TAIWAN, November 5, 2015.

㉖ 永野祐大, 藤田健一, 機能性ピピリドナート配位子を有するイリジウム錯体触媒を用いたジオール類の脱水素的ラクトン化反応, 第5回CSJ化学フェスタ2015, P4-065, 東京, 2015年10月14日.

㉗ 和田智勝, 白石巧充, 藤田健一, 機能性ピピリドナート配位子を有するイリジウム錯体の合成と含窒素複素環化合物の脱水素化反応における触媒活性, 第5回CSJ化学フェスタ2015, P4-064, 東京, 2015年10月14日.

㉘ 豊村一期, 佐野隼人, 山口良平, 藤田健一, 機能性ピピリドナート配位子を有する新規ルテニウム錯体の合成と脱水素化反応における触媒活性, 錯体化学会第65回討論会, 2PD-07, 奈良, 2015年9月22日.

㉙ 田中雄飛, 山口良平, 藤田健一, 機能性配位子を有するイリジウム錯体触媒を用いた第一級アルコールの水溶液中での脱水素的変換によるカルボン酸合成, 第62回有機金属化学討論会, P2-51, 大阪, 2015年9月8日.

㉚ Fujita, K.; Kawahara, R.; Aikawa, T.;

Yamaguchi, R., Hydrogen Production from Methanol-Water Solution Catalyzed by an Iridium Complex Bearing a Functional Bipyridonate Ligand under Mild Conditions, 7th International Conference on Green and Sustainable Chemistry (GSC-7) and 4th JACI/GSC Symposium, B-7-05, Tokyo, JAPAN, July 8, 2015.

③③ 豊村一期, 佐野隼人, 山口良平, 藤田健一, 機能性ピピリドナート配位子を有するルテニウム錯体触媒を用いたアルコールならびにジオール類の脱水素化反応, 日本化学会第95春季年会, 3PC-155, 千葉, 2015年3月28日.

③④ 大澤康子, 渡辺正人, 堤邦彦, 藤田健一, 山口良平, 酸化剤を用いない Cp*イリジウム触媒によるアルコールの脱水素的酸化反応, 日本化学会第95春季年会, 1PC-036, 千葉, 2015年3月26日.

③⑤ 古川翔一, 藤田健一, 山口良平, 新規水溶性 NHC イリジウム錯体触媒を用いたアルコールとアンモニア水からの高原子効率的な第一級アミン合成, 日本化学会第95春季年会, 1PC-036, 千葉, 2015年3月26日.

③⑥ 永野祐大, 山口良平, 藤田健一, 機能性ピピリドナート配位子を有するイリジウム錯体触媒を用いた多価アルコールの脱水素化反応, 日本化学会第95春季年会, 1E5-19, 千葉, 2015年3月26日.

③⑦ 田中雄飛, 山口良平, 藤田健一, イリジウム錯体触媒を用いた第一級アルコールの水溶液中での脱水素化反応によるカルボン酸合成, 日本化学会第95春季年会, 1E5-18, 千葉, 2015年3月26日.

③⑧ 古川翔一, 藤田健一, 山口良平, 新規水溶性 Cp*Ir 含窒素複素環カルベン錯体の合成とアルコールによるアンモニア水の N-アルキル化反応における触媒活性, 第61回有機金属化学討論会, P2C-25, 福岡, 2014年9月24日.

③⑨ 田中雄飛, 田村竜一, 藤田健一, 山口良平, 機能性含窒素複素環カルベン配位子を有する新規水溶性イリジウム錯体触媒を用いた水溶媒中でのアルコールの脱水素的酸化, 第61回有機金属化学討論会, P2C-24, 福岡, 2014年9月24日.

④⑩ 山口良平, 伊藤航, 藤田健一, 機能性配位子を有する水溶性イリジウム錯体触媒を用いた水溶媒中でのジオール類の脱水素的ラクトン化反応, 第44回複素環化学討論会, 2P-51, 札幌, 2014年9月11日.

④⑪ 大澤康子, 渡辺正人, 堤邦彦, 藤田健一, 山口良平, Cp*イリジウム触媒によるアルコールの酸化反応, プロセス化学会 2014 サマースイムposium, 2P-43, 東京, 2014年8月1日.

④⑫ 藤田健一, 機能性配位子を有する脱水素化錯体触媒の開発とその活用(招待講演), 第70回白鷺セミナー(大阪府立大学), 大阪, 2014年7月25日.

④⑬ Furukawa, S.; Fujita, K.; Yamaguchi, R., Synthesis of New Water-Soluble N-Heterocyclic Carbene Complexes of Iridium and Their Catalytic Performance in Alkylation of Aqueous Ammonia with Alcohols, 26th International Conference on Organometallic Chemistry (ICOMC 2014), 2P107, Sapporo, JAPAN, July 15, 2014.

④⑭ Fujita, K.; Aikawa, T.; Kawahara, R., Tanaka, Y.; Yamaguchi, R., Dehydrogenation of Methanol-Water Solution Catalyzed by a New Water-Soluble Anionic Iridium Complex Bearing a Functional Bipyridonate Ligand, 26th International Conference on Organometallic Chemistry (ICOMC 2014), 1P198, Sapporo, JAPAN, July 14, 2014.

〔図書〕(計1件)

Yamaguchi, R.; Fujita, K., Ligand Platforms in Homogenous Catalytic Reactions with Metals: Practice and Applications for Green Organic Transformations, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2014.

〔その他〕

研究成果の一部は以下のホームページにおいても公開している。

<http://www.greenchem.h.kyoto-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤田 健一 (FUJITA, Ken-ichi)

京都大学・大学院人間・環境学研究所・教授
研究者番号： 8 0 2 9 3 8 4 3

(2) 連携研究者

山口 良平 (YAMAGUCHI, Ryohei)

京都大学・大学院人間・環境学研究所・名誉教授

研究者番号： 4 0 1 1 5 9 6 0