

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 1 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05824

研究課題名（和文）複合機能希土類触媒による精密物質変換反応の開発

研究課題名（英文）Multi-functional Rare Earth Catalysts for Precision Chemical Transformation

研究代表者

西浦 正芳（Nishiura, Masayoshi）

国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・専任研究員

研究者番号：30332258

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,800,000円

研究成果の概要（和文）：独自の知見に基づく新しい触媒を開発し、それらを用いて、例えば、炭素-水素結合活性化を経由する不斉環化反応や、非極性オレフィンと極性オレフィンとの精密共重合による自己修復ポリマーの創製やヘプタジエン類の立体選択的環化重合など、従来では実現困難であった新しい化学変換反応の開拓や新機能性材料の創製に成功し、物質創製化学の新しいフロンティアを拓いた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、有機金属化学や触媒化学、有機合成化学、高分子合成化学などの基礎科学分野の新しいフロンティアの開拓のみならず、新たな知財の形成や新産業の創出にもつながることが期待できる。例えば、本研究を通して創製された新規自己修復ポリマーは、空気中だけでなく、水や酸、アルカリ性水溶液中でも優れた自己修復性能や形状記憶性能を示し、従来のものでは見られない実用性の高い新機能性材料として多方面から大きな期待が寄せられている。

研究成果の概要（英文）：This project aimed to develop new catalysts, new reactions and new functional materials superior or complementary to the existing ones. By using half-sandwich rare-earth catalysts, we have achieved for the first time the copolymerization of ethylene and polar α -olefins in a controlled fashion, which afforded new functional polyolefins with excellent self-healing and shape-memory properties. We have synthesized a series of chiral half-sandwich rare-earth alkyl complexes that show excellent enantioselectivity and activity in various transformations such as asymmetric C-H alkylation via C=C insertion. This work has not only opened up new avenues in chemical science, but may also offer new entries into chemical industry innovation.

研究分野：有機金属化学、有機合成化学、高分子化学

キーワード：希土類金属 シクロペンタジエニル基 C-H結合活性化 非極性オレフィンと極性オレフィンの共重合 自己修復材料

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

新しい触媒の開発は、より効率的・選択的な分子変換反応の実現や新しい機能性材料の創出など、様々な波及効果をもたらす極めて重要な研究課題である。また、多少複雑な有機化合物やポリマー合成に関しては多段階合成が必要であり、入手容易な単純な原料から有用な物質の one-pot 合成はほとんど実現されていない。これは、従来の触媒系の多くがある一つの反応に対して特化しており、複数の反応を進行させることが困難であることに起因している。例えば、原子効率が高く最近活発に研究されている C-H 結合活性化反応や高分子合成に重要なオレフィン重合は、それぞれの分野で個別に触媒開発が行われている。これらの二つの反応を行うことが可能な複合機能触媒を開発することによって、反応プロセスの削減による大幅な合成効率の向上だけでなく、新たな複雑な骨格を有する化合物群の合成が期待できる。さらにこの複合機能触媒は、高分子合成の分野で大きな研究課題となっている、極性官能基を有するポリオレフィン合成にも応用できる可能性が極めて高い。

2. 研究の目的

入手容易な単純な原料から付加価値の高い有用な化合物を高効率に合成するためには、複数の反応を進行させることができる複合機能触媒系の開発が極めて重要である。本研究では、本申請者がこれまで独自に進めてきたカチオン性希土類錯体触媒を中心として、C-H 結合活性化反応と炭素-炭素不飽和結合の連続挿入による重合を同時にまたは one-pot で逐次的に進行させることが可能な、有機合成触媒と重合触媒の特徴を併せ持つ複合機能希土類触媒を開発し、従来の触媒では合成困難な極性官能基を有するポリオレフィン類などの高機能性高分子材料の開発を目指す。

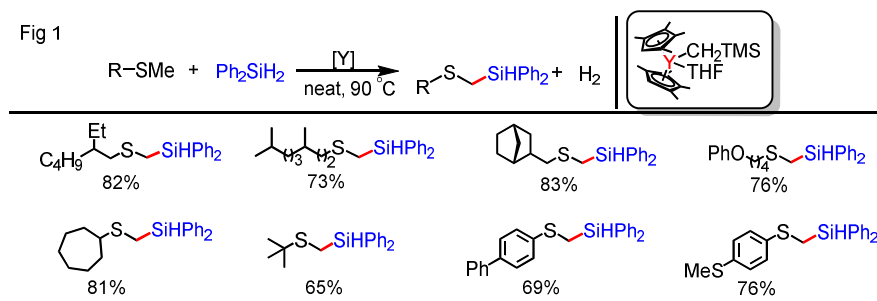
3. 研究の方法

様々な置換シクロペンタジエニル配位子をもつハーフサンドイッチ型希土類ジアルキル錯体を合成し、構造を明らかにした上、触媒活性に対する配位子および中心金属の影響について系統的に検討する。特に C-H 結合の活性化を鍵とする様々な新規変換反応や不斉触媒反応、非極性オレフィンと極性オレフィンとの共重合などを中心に検討を行う。得られた結果を統合的に検討し、分子設計や触媒設計へフィードバックさせる。

4. 研究成果

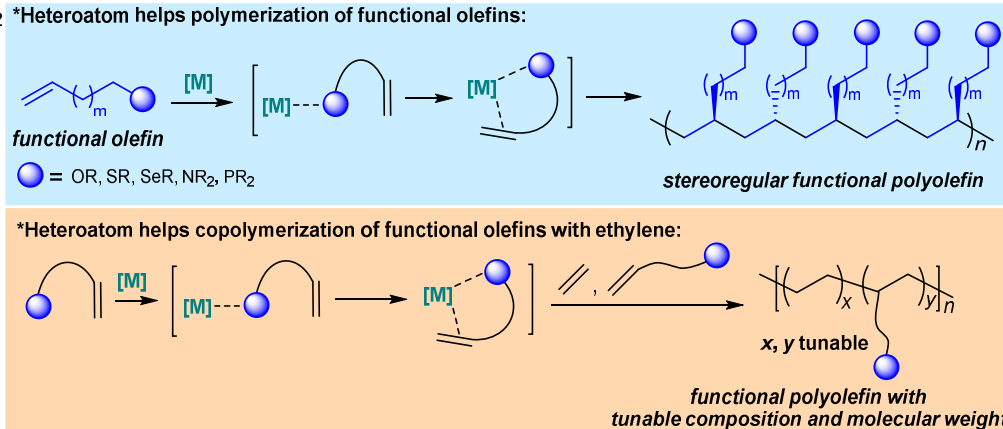
(1) ハーフサンドイッチ型希土類触媒を用いた新規有機合成反応の開発研究において、希土類アルキル種の高い反応性および希土類金属イオンの高いヘテロ原子親和性を生かし、従来の触媒では実現困難であった、様々なヘテロ原子を有する有機基質の選択的 C-H 結合変換反応の開発に成功した。例えば、希土類触媒を用いたアニソール類とヒドロボランとの反応によって、アニソールのオルト選択的 C-H 結合のホウ素化を初めて達成し、またメチルスルフィドとヒドロシランとの反応では、 $-C(sp^3)-H$ 結合の選択的シリル化を初めて実現した (Fig1)¹。

Fig 1

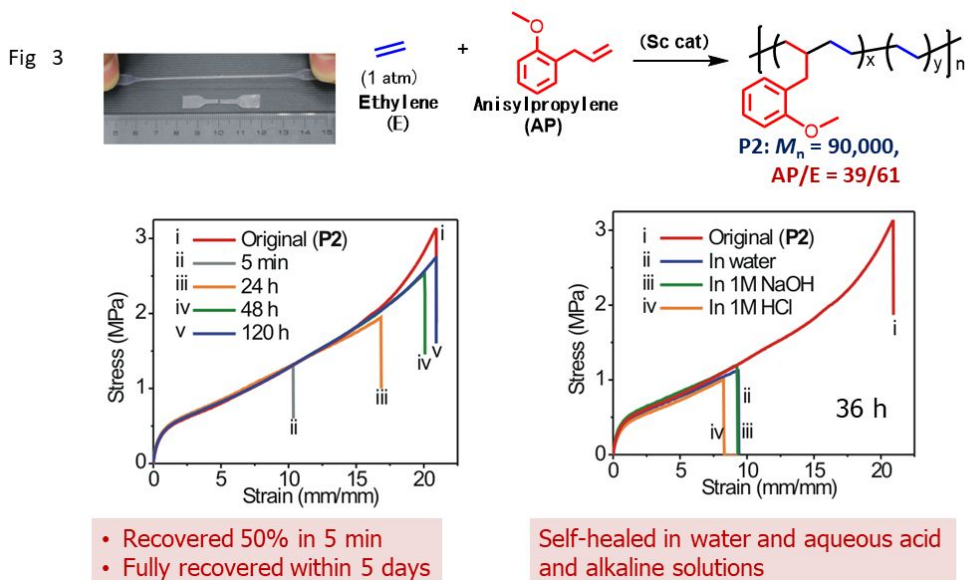


(2) 希土類金属イオンのヘテロ原子に対する強い親和性と希土類アルキル種の C=C 二重結合に対する高い挿入活性を利用して、適宜なかさ高さを有するハーフサンドイッチ型スカンジウム触媒を用いることにより、様々なヘテロ原子 (酸素、硫黄、リン、窒素) を有する極性 α -オレフィンとエチレンとの共重合を任意の混合比で実現し、高分子量の機能性ポリオレフィンの合成に成功した (Fig 2)²。

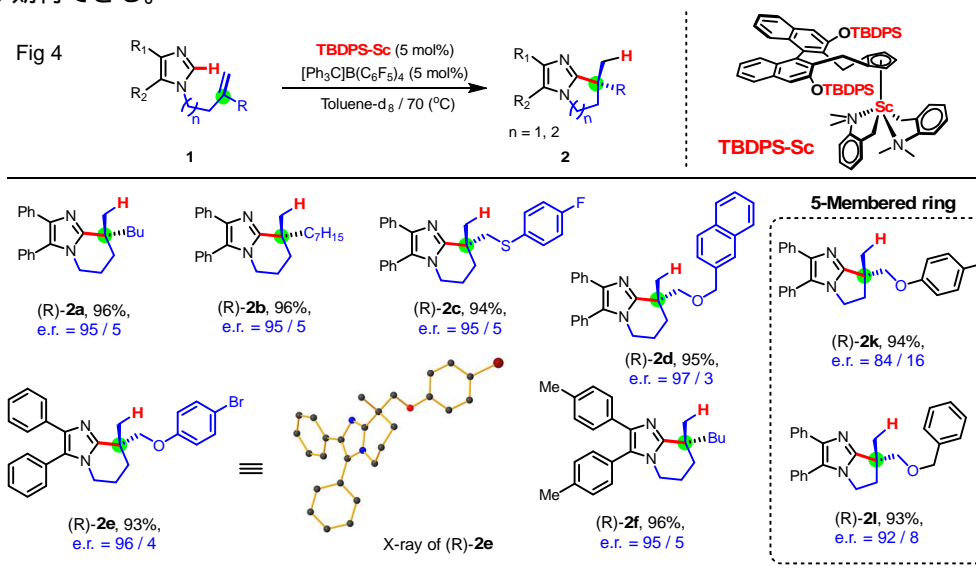
Fig 2 *Heteroatom helps polymerization of functional olefins:



また、ヘテロ原子を有する非共役ジエンの位置および立体選択的環化重合に成功した。一方、アニシル置換プロピレンとエチレンとの共重合では、アニシルプロピレンとエチレンの交互挿入が優先的に進行しかつ短いエチレン連鎖も形成することによって、極めてユニークなマルチブロック共重合体が得られた。これらの新規共重合体は優れたゴム弾性に加え、乾燥空気中だけでなく、水や酸、アルカリ性水溶液中でも優れた自己修復性能や形状記憶性能を示し、従来のものでは見られない実用性の高い新機能的な材料として、多方面から大きな期待が寄せられている (Fig 3)³。これらの成果は、研究の当初では全く予想できず、優れた自己修復機能的な材料の設計・合成に新しい道を切り拓くものとして、今後さらなる展開が大いに期待できる。



(3) ピナフチル骨格を持つ軸不斉キラルシクロペンタジエニル配位子を用いることにより、初めての光学活性なハーフサンドイッチ型希土類ジアルキル錯体の合成に成功し、これらを触媒として用いて様々な新規不斉合成反応の開発に成功した。例えば、光学活性なスカンジウム触媒を用いることにより、様々なプロキラルな二級シラン類によるアルケン類の不斉水素化を初めて実現し、不斉ケイ素中心を有する新規三級ケイ素化合物を高収率および高い光学純度で合成することに成功した。一方、スカンジウム錯体触媒を用いて、1,1-二置換アルケンユニットを有するイミダゾール類を反応させることにより、エキソ選択的に分子内 C-H アルキル化反応が進行し、4 置換炭素の構築を初めて達成した。また、キラルハーフサンドイッチ型スカンジウム触媒を用いることにより、不斉環化反応に成功した (Fig 4)⁴。これらの反応は、従来の触媒では実現困難であり、不斉触媒化学の新しいフロンティアを切り開くものとして、今後さらなる展開が期待できる。



引用文献

1. Y. Luo, H. Teng, C. Xue, M. Nishiura, Z. Hou, *ACS Catal.*, **2018**, 8, 8027.
2. C. Wang, G. Luo, M. Nishiura, G. Song, A. Yamamoto, Y. Luo, Z. Hou, *Sci. Adv.*, **2017**, 3, e1701011.
3. H. Wang, Y. Yang, M. Nishiura, Y. Higaki, A. Takahara, Z. Hou, *J. Am. Chem. Soc.*, **2019**, 141, 3249.
4. S. Lou, Z. Mo, M. Nishiura, Z. Hou, *J. Am. Chem. Soc.*, **2020**, 142, 1200.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Huailong Teng, Yuanhong Ma, Gu Zhan, Masayoshi Nishiura, Zhaomin Hou	4. 巻 8
2. 論文標題 Asymmetric C(sp)-H Addition of Terminal Alkynes to Cyclopropenes by a Chiral Gadolinium Catalyst	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 4705-4709
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.8b01189	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 Yang Yang, Masayoshi Nishiura, Haobing Wang, Zhaomin Hou	4. 巻 376
2. 論文標題 Metal-catalyzed C-H Activation for Polymer Synthesis and Functionalization	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Coordination Chemistry Reviews	6. 最初と最後の頁 506-532
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ccr.2018.08.017	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 Can Xue, Yong Luo, Huailong Teng, Yuanhong Ma, Masayoshi Nishiura, Zhaomin Hou	4. 巻 8
2. 論文標題 Ortho-Selective C-H Borylation of Aromatic Ethers with Pinacol-borane by Organo Rare-Earth Catalysts	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 5017-5022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.8b01364	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 Yong Luo, Huailong Teng, Can Xue, Masayoshi Nishiura, Zhaomin Hou	4. 巻 8
2. 論文標題 Yttrium-Catalyzed Regioselective alpha-C-H Silylation of Methyl Sulfides with Hydrosilanes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 8027-8032
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.8b02405	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 Gu Zhan, Huailong Teng, Yong Luo, Shao-Jie Lou, Masayoshi Nishiura, Zhaomin Hou	4. 巻 57
2. 論文標題 Enantioselective Construction of Silicon-Stereogenic Silanes by Scandium-Catalyzed Intermolecular Alkene Hydrosilylation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 12342-12346
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201807493	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 Yuanhong Ma, Shao-Jie Lou, Gen Luo, Yong Luo, Gu Zhan, Masayoshi Nishiura, Yi Luo, Zhaomin Hou	4. 巻 57
2. 論文標題 B(C6F5)3/Amine-Catalyzed C(sp)-H Silylation of Terminal Alkynes with Hydrosilanes: Experimental and Theoretical Studies	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 15222-15226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201809533	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

1. 著者名 Haobing Wang, Yang Yang, Masayoshi Nishiura, Yuji Higaki, Atsushi Takahara, Zhaomin Hou	4. 巻 141
2. 論文標題 Synthesis of Self-Healing Polymers by Scandium-Catalyzed Copolymerization of Ethylene and Anisylpropylenes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 3249-3257
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.8b13316	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 Yamamoto Atsushi, Nishiura Masayoshi, Yang Yang, Hou Zhaomin	4. 巻 36
2. 論文標題 Cationic Scandium Anisyl Species in Styrene Polymerization Using Anisole and N,N-Dimethyl-o-toluidine as Chain-Transfer Agents	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Organometallics	6. 最初と最後の頁 4635 ~ 4642
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.organomet.7b00526	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 Luo Yong, Teng Huai-Long, Nishiura Masayoshi, Hou Zhaomin	4. 巻 56
2. 論文標題 Asymmetric Yttrium-Catalyzed C(sp ³)-H Addition of 2-Methyl Azaarenes to Cyclopropenes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 9207 ~ 9210
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201705431	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 Teng Huai-Long, Luo Yong, Nishiura Masayoshi, Hou Zhaomin	4. 巻 139
2. 論文標題 Diastereodivergent Asymmetric Carboamination/Annulation of Cyclopropenes with Aminoalkenes by Chiral Lanthanum Catalysts	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 16506 ~ 16509
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.7b10786	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 Higaki Yuji, Suzuki Ken, Kiyoshima Yudai, Toda Tomoyuki, Nishiura Masayoshi, Ohta Noboru, Masunaga Hiroyasu, Hou Zhaomin, Takahara Atsushi	4. 巻 50
2. 論文標題 Molecular Aggregation States and Physical Properties of Syndiotactic Polystyrene/Hydrogenated Polyisoprene Multiblock Copolymers with Crystalline Hard Domain	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 6184 ~ 6191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.7b01193	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 Chunxiang, Luo Gen, Nishiura Masayoshi, Song Guoyong, Yamamoto Atsushi, Luo Yi, Hou Zhaomin	4. 巻 3
2. 論文標題 Heteroatom-assisted olefin polymerization by rare-earth metal catalysts	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 1701011 ~ 1701011
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.1701011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Wang Haobing, Zhao Yanan, Nishiura Masayoshi, Yang Yang, Luo Gen, Luo Yi, Hou Zhaomin	4. 巻 141
2. 論文標題 Scandium-Catalyzed Regio- and Stereoselective Cyclopolymerization of Functionalized , - Dienes and Copolymerization with Ethylene	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 12624 ~ 12633
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.9b04275	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

1. 著者名 S. Lou, Z. Mo, M. Nishiura, Z. Hou	4. 巻 141
2. 論文標題 Construction of All-Carbon Quaternary Stereocenters by Scandium-Catalyzed Intramolecular C-H Alkylation of Imidazoles with 1,1-Disubstituted Alkenes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 1200-1205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.9b1250	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 Li Zhenghua, Zhang Liang, Nishiura Masayoshi, Luo Gen, Luo Yi, Hou Zhaomin	4. 巻 142
2. 論文標題 CO2 Activation by Lewis Pairs Generated Under Copper Catalysis Enables Difunctionalization of Imines	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 1966 ~ 1974
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.9b11423	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

1. 著者名 Xu Wenxuan, Teng Huailong, Luo Yong, Lou Shaojie, Nishiura Masayoshi, Hou Zhaomin	4. 巻 15
2. 論文標題 Rare Earth Catalyzed C-H Silylation of Aromatic Heterocycles with Hydrosilanes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 753-756
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.202000089	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 Cong Xuefeng, Zhan Gu, Mo Zhenbo, Nishiura Masayoshi, Hou Zhaomin	4. 巻 142
2. 論文標題 Diastereodivergent [3 + 2] Annulation of Aromatic Aldimines with Alkenes via C-H Activation by Half-Sandwich Rare-Earth Catalysts	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 5531 ~ 5537
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.0c01171	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 Haobing, Wu Xia, Yang Yang, Nishiura Masayoshi, Hou Zhaomin	4. 巻 59
2. 論文標題 Co syndiospecific Alternating Copolymerization of Functionalized Propylenes and Styrene by Rare Earth Catalysts	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 7173 ~ 7177
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201915760	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 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Masayoshi Nishiura
2. 発表標題 Heteroatom-assisted copolymerization of ethylene with functionalized olefins by rare-earth metal catalysts
3. 学会等名 The 5th International Symposium on Rare Earth Resource Utilization (ISRERU-5) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yong Luo, Adi Nako, Masayoshi Nishiura, Zhaomin Hou
2. 発表標題 Rare-Earth-Catalyzed C-H Alkylation with Alkenes
3. 学会等名 International Conference on Coordination Chemistry, 2018, Sendai, Japan (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nishiura M
2. 発表標題 Rare-Earth-Catalyzed C-H Activation for Polymer Synthesis
3. 学会等名 Asian Polyolefin Workshop AP02017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Atsushi Yamamoto, Masayoshi Nishiura, Fan Liu, Yi Luo, Zhaomin Hou
2. 発表標題 Rare-Earth-Catalyzed Syndiotactic Polymerization of Styrene Using Pyridines as Chain Transfer Agents
3. 学会等名 第66回高分子討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Zhan Gu, Nishiura Masayoshi, Hou Zhaomin
2. 発表標題 Scandium-Catalyzed C-H Addition of Pyridines to Heteroatom-Functionalized Internal Alkenes
3. 学会等名 第35回希土類討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Cong Xuefeng, Nishiura Masayoshi, Hou Zhaomin
2. 発表標題 Rare-Earth-Catalyzed Diastereodivergent [3+2] Annulation of Aldimines with Alkenes via C-H Activation
3. 学会等名 第35回希土類討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Lou Shao-Jie, Mo Zhen-Bo, Nishiura Masayoshi, Hou Zhaomin
2. 発表標題 Constructin of All-Carbon Quaternary Stereocenters via Scandium Catalyzed C-H Cyclization of Imidazoles with 1,1-Disubstituted Alkenes
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 Cong Xuefeng, Nishiura Masayoshi, Hou Zhaomin
2. 発表標題 Rare-Earth-Catalyzed Diastereodivergent [3+2] Annulation of Aldimines with Alkenes via C-H Activation
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 Wang Haobing, Nishiura Masayoshi, Hou Zhaomin
2. 発表標題 Scandium-Catalyzed Regio-and Stereoselective Cyclopolymerization of Functionalized Alpha-omega-Dienes and Copolymerization with Ethylene
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wang Haobing, Yang Yang, Nishiura Masayoshi, Hou Zhaomin
2. 発表標題 Co-syndiospecific Alternating Copolymerization of Functionalized Propylenes and Styrene by Rare-Earth Catalysts
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 西浦 正芳, 侯 召民	4. 発行年 2018年
2. 出版社 化学同人	5. 総ページ数 7
3. 書名 構造制御による革新的ソフトマテリアル創成	

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 極性オレフィン系重合体からなる成形品とその物性	発明者 Yang Yang, 王号兵、 西浦正芳、侯召民	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-046829	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 極性オレフィン重合体及び共重合体の製造方法	発明者 王 春翔、王号兵、 Yang Yang, 西浦正 芳、侯召民	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2018/010009	出願年 2018年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔その他〕

理研究室ホームページ http://www.riken.jp/lab-www/organometallic/index.html RIKEN public website-english http://www.riken.jp/en/research/labs/chief/organometal_chem/ 理研侯有機金属化学研究室ホームページ http://www.riken.jp/research/labs/chief/organometal_chem/ 環境資源科学研究センター 先進機能触媒研究グループホームページ http://www.riken.jp/research/labs/csrs/adv_catal/ 理研究室ホームページ http://www.riken.jp/lab-www/organometallic/index.html RIKEN public website-english http://www.riken.jp/en/research/labs/chief/organometal_chem/ 理研侯有機金属化学研究室ホームページ http://www.riken.jp/research/labs/chief/organometal_chem/ 環境資源科学研究センター 先進機能触媒研究グループホームページ http://www.riken.jp/research/labs/csrs/adv_catal/
--

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