

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03812

研究課題名(和文)高性能分子触媒による精密重合・多量化を基盤とした高機能新材料・革新的合成法の開発

研究課題名(英文) Design of efficient molecular catalysis for precise olefin polymerization/oligomerization for development of new materials/green process

研究代表者

野村 琴広 (NOMURA, Kotohiro)

首都大学東京・理工学研究科・教授

研究者番号：20304165

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本課題は、高性能分子触媒による精密重合・多量化を基盤とした高機能新材料・革新的合成法の開発に関する基礎研究で、具体的には、従来技術で合成できない新規ポリマーの創製と特性解析、高機能材料の効率精密合成や革新的合成プロセスの構築を指向した高性能分子触媒の設計・創製に関する。特に、従来手法で極めて困難な各種環状オレフィン系ポリマーの精密合成やポリマー鎖への反応性官能基導入法に関する研究(ハーフチタノセン触媒)、環状オレフィンの開環メタセシス重合に高性能を発現するバナジウム-アルキリデン錯体触媒や安価・入手容易なAl助触媒で高活性を発現するバナジウム触媒の創製など、数多くの有用な知見が得られた。

研究成果の概要(英文)：Purpose on this research is to design new efficient molecular catalysts for olefin polymerization/oligomerization including synthesis of new polymers by precision polymerization. We demonstrated synthesis of new cyclic olefin copolymers (highly transparent, thermal resistant) in precise polymerization using half-titanocene catalysts. We also succeeded in design of new efficient (thermally robust) vanadium-alkylidene complex catalysts which exhibit remarkable catalytic activities for ring-opening metathesis polymerization of various cyclic olefins. (Imido)vanadium complex catalysts containing WCA-NHC ligand exhibited remarkable catalytic activities for ethylene polymerization in the presence of Al(i-Bu)<sub>3</sub> instead of MAO; this should also be the remarkable effort in terms of development of green sustainable polymerization process. Efficient incorporation of reactive functionalities into the polymer chain is also an interesting approach for synthesis of functionalized polyolefin.

研究分野：合成化学・有機金属化学・触媒化学

キーワード：合成化学 触媒設計 精密重合 環境調和型合成法 遷移金属錯体触媒 新規ポリマー オレフィンメ  
タセシス 機構解析

1. 研究開始当初の背景

高分子製品の約半分を占めるオレフィン系ポリマーの基幹技術は遷移金属触媒による配位重合で、精密重合による新規材料の創製を可能とする高性能触媒の開発が注目を集めている。この研究は入手容易なオレフィン原料への統一・簡素化及びリサイクルを基盤とする環境調和型社会の実現へ向けた最重要課題と認識されている。

エチレン重合に高活性を示す触媒の合成例が数多くある一方、高機能ポリマー(共重合体)の構造・組成を精密制御する独自触媒の分子設計に取り組む研究や助触媒の要らない触媒の設計・創製に関する研究例は希少であった。また、オレフィンの配位重合や二量化、メタセシス重合に有効なバナジウム錯体触媒の設計・創製や関連化学に関する報告例も極めて限定された。

2. 研究の目的

本課題は、高性能分子触媒による精密重合・多量化を基盤とした高機能新材料・革新的合成法の開発に関する基礎研究で、具体的には(1)従来技術で合成できない新規ポリマーの創製と特性解析、(2)高機能材料の効率精密合成や革新的合成プロセスの構築を指向した高性能分子触媒の設計・創製に関する。特に申請者の先導的な研究成果を基盤により高性能分子触媒の創製やその特徴を活かした高機能新材料の創製と特性解析、(従来法で必須の過剰量の助触媒が要らない)環境調和型の新しい配位重合プロセスの構築を期間内の主目的として取り組んだ。

3. 研究の方法

本課題は、高性能分子触媒による精密重合・多量化を基盤とした高機能新材料・革新的合成法の開発に関する基礎研究である。代表者が独自に設計・開発したシクロペンタジエニル(Cp')配位子とアニオン性配位子からなる非架橋型の(ハーフメタロセン型の)チタン錯体触媒を用いると、従来触媒では不可能なエチレンと2置換オレフィンや環状オレフィンとの共重合が進行することを明らかにしている。さらにホウ素含有Nヘテロカルベン配位子を有する前周期遷移金属錯体では、その配位子の特異性により、触媒活性種となるアルキルカチオン種の安定化効果がみられる予備的知見もあった。

さらに代表者は、熱安定性や価数の安定化に有用なイミド及びアニオン性配位子を有するバナジウム5価錯体に注目し、オレフィンの配位重合や二量化、メタセシス重合に高性能を発現する触媒を創製している。特に、本申請の基盤となる、ハロゲン化フェノキシ配位錯体では、高速メタセシス重合が進行することを明らかにしていた。

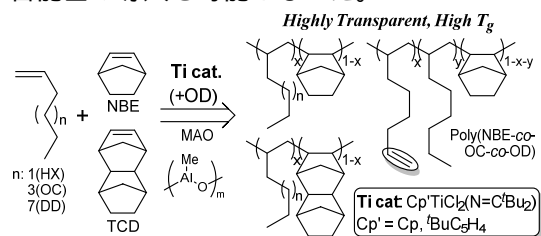
以上の知見を基に、期間内は(1)従来技術で合成できない新規ポリマーの創製と特性解析(チタン錯体触媒による新規環状オレフ

イン系高分子機能材料や特異形状ポリマーの精密合成と特性解析)(2)精密重合・多量化による高機能材料の効率精密合成に有効なバナジウム触媒の創製や(従来法で必須の過剰の助触媒が要らない)革新的合成プロセスの構築を指向した高性能チタン・バナジウム触媒の創製に取り組んだ。

4. 研究成果

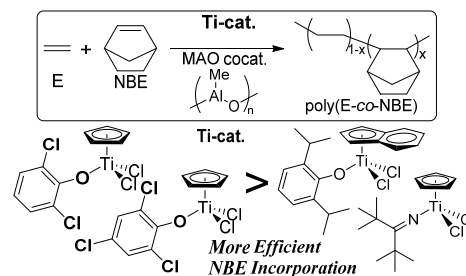
(1)チタン錯体触媒を用いる高機能オレフィン系ポリマーの合成と特性解析

ケチミド配位子を有する非架橋型のハーフチタノセン触媒を用いると、従来触媒では合成が極めて困難な、長鎖αオレフィンと環状オレフィン[norbornene (NBE), tetracyclododecene (TCD)]とのランダム共重合が進行した。得られるポリマーは非晶性かつ高透明性で、環状オレフィン含量の増加に伴いガラス転移温度の上昇がみられた。非共役ジエンとの共重合によりポリマー鎖中へ反応性の官能基の導入も可能となった。



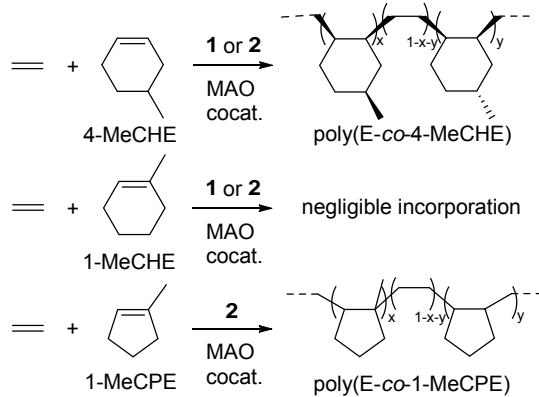
この種の触媒を用いると、従来はバナジウム触媒による低温重合で合成されている、エチレンとTCDとの共重合が進行した。反応温度を高める(40℃や60℃)では活性が向上し、非晶性かつ耐熱性・透明性に優れた環状オレフィン系共重合体の合成が可能となった(雑誌の表紙で紹介)。

この課題に関連し、より効率よく共重合が進行するための触媒設計に取り組み、電子求引性のアニオン性(ハロゲン化フェノキシ)配位子の導入により効率よく環状オレフィン系モノマーが取り込まれることを明らかにした。活性種の安定化のためには電子供与性の配位子の導入が重要とされる従来の配位子設計とは異なる考え方を提案・実証した。



また、当研究室で開発したチタン触媒を用いると、従来触媒では合成不可能なエチレンと置換シクロヘキセンやシクロペンテンとの共重合体が合成可能で、イタリアの国立高分子研究所(CNR Istituto per lo Studio delle Macromolecole, ISMAC)との国際共同研究でそのマイクロ構造解析(挿入形式・機構解析)に取り組んだ。特に3置換オレフィンである

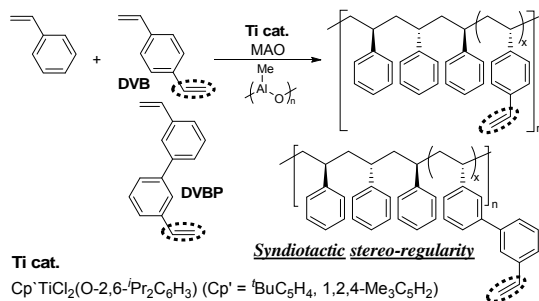
1-methylcyclopentene が 1,2-挿入でポリマー鎖に取り込まれる最初の報告例となったが、1-methylcyclohexane ではほとんど取り込まれなかった。



cat.: Cp'TiCl<sub>2</sub>(O-2,6-*i*-Pr<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>)

[Cp' = 1,2,4-Me<sub>3</sub>C<sub>5</sub>H<sub>2</sub> (1), <sup>t</sup>BuC<sub>5</sub>H<sub>4</sub> (2), C<sub>5</sub>Me<sub>5</sub>]

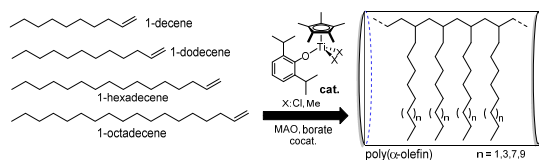
ジビニルベンゼン やジビニルピフェニルの存在下でチタン触媒によるスチレンのシンジオ特異的重合を行うことで、シンジオタクチックポリスチレンへの(立体規則性を保持した状態で)反応性官能基(芳香族ビニル基)の導入に成功した(雑誌の表紙で紹介)。



Ti cat.

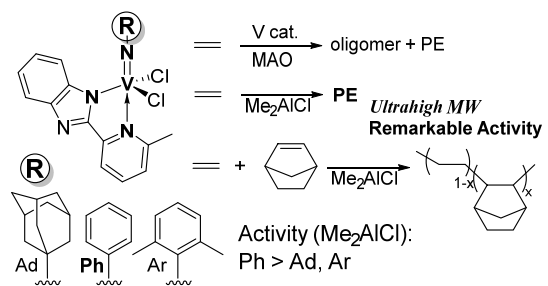
Cp'TiCl<sub>2</sub>(O-2,6-*i*-Pr<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>) (Cp' = <sup>t</sup>BuC<sub>5</sub>H<sub>4</sub>, 1,2,4-Me<sub>3</sub>C<sub>5</sub>H<sub>2</sub>)

また、フェノキシ配位ハーフチタノセン触媒による長鎖 α オレフィンの重合で、超高分子量ポリマー(オレフィン系櫛形ポリマー)の合成に成功した。この報告以降、ホウ素系助触媒との組み合わせでリビング重合挙動を取ることも明らかにしており、学術論文を投稿する段階にある。

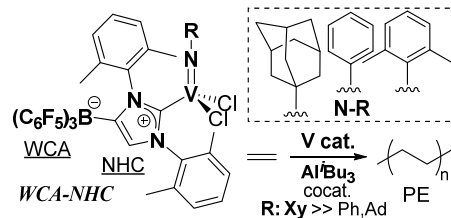


(2) 精密重合・多量化に有効な高性能チタン・バナジウム錯体触媒の設計・創製

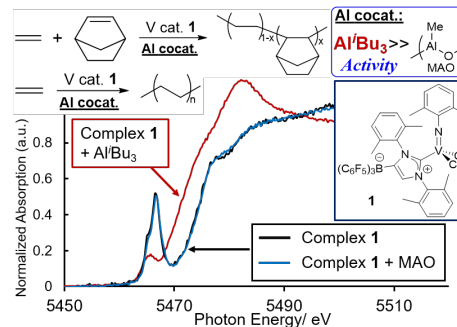
入手容易で安価な有機 Al 助触媒存在下でも高い触媒活性を発現するイミド配位バナジウム錯体の合成と触媒機能解析に取り組み、2-(2'-benzimidazolyl)-pyridine 配位錯体がエチレン重合や環状オレフィンとの共重合に高性能を発現することを見出した。



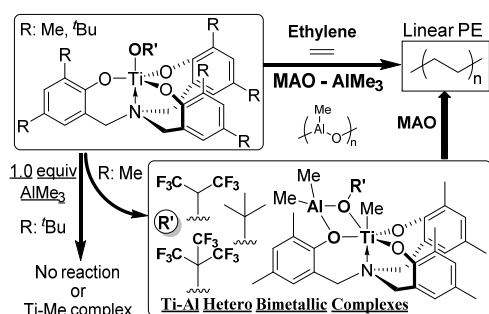
ホウ素アニオンを有するヘテロ環状カルベン(WCA-NHC)配位子を有する各種イミド配位バナジウム錯体ジクロリド錯体を合成・同定し、これらの錯体が一般に広く使用される MAO 助触媒よりも少量の Al(*i*-Bu)<sub>3</sub> の存在下でエチレン重合に高活性を示すことを見出した(独・Braunschweig 工科大の Tamm 教授と共同)。これはこの配位子が有する特徴で、非局在化によるアルキルカチオン種の安定化に起因すると考えた。



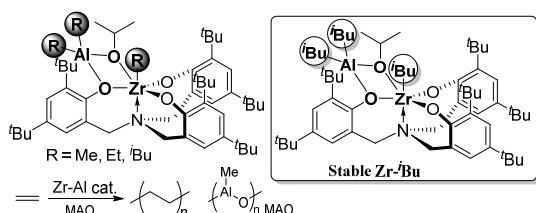
この触媒は環状オレフィン NBE との共重合にも有効で、触媒溶液の NMR や ESR、及び溶液 XAFS 測定より、Al(*i*-Bu)<sub>3</sub> の存在下では 3 価のバナジウム種が触媒活性種として機能することを明らかにした。MAO 助触媒存在下では触媒溶液の価数変化は見られないことから、使用する助触媒により価数の異なる活性種が生成することを明らかにした。



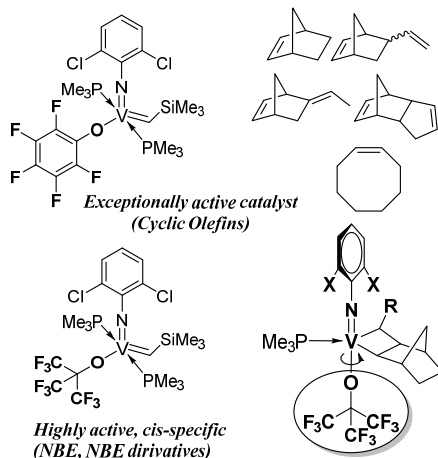
また、(今までの研究で)助触媒なしでエチレン重合に活性を示した Ti-Al<sub>2</sub> 核錯体の反応性を追求する目的で、各種アニオン性配位子、特に電子求引性のフッ素化アルコキシ配位子を有する tris(aryloxo)amine 配位チタン錯体と有機 Al 化合物との反応性を検討した。この種の Ti-Al<sub>2</sub> 核錯体では MAO 助触媒の存在下のみでエチレン重合が進行した。したがって、単座アニオン性配位子の性質が生成する 2 核錯体の構造及び続くエチレンとの反応性に大きく寄与することが示唆された。



この結果を基盤に、関連の Zr 錯体を合成し、有機 Al 化合物との反応により安定な 2 核錯体を合成・同定した。特に Al(*i*-Bu)<sub>3</sub> との反応で生成するアルキル錯体は加熱により安定で、この種の錯体では特異な反応性を示した。この種の錯体はいずれも MAO 助触媒の存在下、高温でエチレン重合に触媒活性を示した。

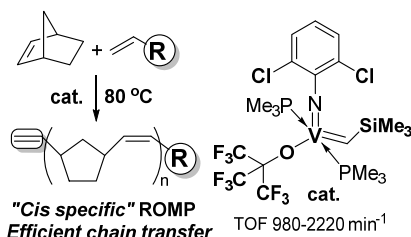


フッ素化フェノキシ配位子を有する（金属-炭素二重結合を有する）イミド配位バナジウム-アルキリデン錯体を合成・同定した。環状オレフィンである NBE の開環メタセシス重合における触媒活性はフェノキシ及びイミド配位に電子求引性の置換基の導入により向上し、ジクロロフェニルイミド及びペンタフルオロ配位子を有する錯体では、既報の最も高活性を示すモリブデン触媒より高活性を示した。この種の錯体は、従来触媒では不可能であった、高温でもオレフィンメタセシス重合に高活性を発現するバナジウム錯体触媒の創製に成功し、この特徴を活かしたオレフィン系高分子機能材料の開発に関する所定の成果を達成した。さらに 2 つの配位子の立体効果を利用して、得られるポリマーの立体規則性の制御にも成功した。



この種の触媒では、従来の遷移金属錯体触媒では困難な、歪みの小さいシクロオクテンの開環メタセシス重合も進行するようにな

った。また、連鎖移動剤の存在下、高温で立体特異性と分子量と末端制御を可能とすることも明らかとなった。この成果を紹介する、総説をはじめとする多くの機会を得た。



さらにこの触媒設計を基盤に、今迄に報告例が極めて希少な、オレフィンメタセシス重合に活性を示すニオブ-アルキリデン錯体触媒の創製に成功し、特に（従来触媒では極めて困難な）2 置換アセチレンのメタセシス重合が進行した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 28 件)

- (1) S. Zhang, W. Zhang, K. Nomura, Synthesis and reaction chemistry of alkylidene complexes with titanium, zirconium, vanadium, and niobium: Effective catalysts for olefin metathesis polymerization and the other organic transformations, *Adv. Organomet. Chem.*, **68**, 93-136 (2017). doi: 10.1016/bs.adomc.2017.08.001
- (2) 野村琴広, オレフィンメタセシス化学の最近の進展—より高活性かつ緻密な反応制御を可能とする触媒開発, *化学*, **72**, 70-71 (2017).
- (3) Q. Yan, K. Tsutsumi, K. Nomura, Synthesis and structural analysis of aryloxo-modified trinuclear half-titanocenes, and their use as catalyst precursors for ethylene polymerization, *RSC Adv.*, **7**, 41345-41358 (2017). doi: 10.1039/C7RA07581B
- (4) G. Nagai, T. Mitsudome, K. Tsutsumi, S. Sueki, T. Ina, M. Tamm, K. Nomura, Effect of Al cocatalyst in ethylene and ethylene/norbornene (Co)polymerization by (imido)vanadium dichloride complexes containing anionic *N*-heterocyclic carbenes having weakly coordinating borate moiety, *J. Jpn. Petrol. Inst.*, **60**(5), 256-262 (2017). 石油・石油化学討論会特集号(依頼) doi: 10.1627/jpi.60.256
- (5) S. Chaimongkolkunasin, X. Hou, K. Nomura, Ring opening metathesis polymerization of norbornene or tetracyclo-dodecene with cyclooctene by using (arylimido)-vanadium(V)-alkylidene catalyst, *J. Polym. Sci.: Part A: Polym. Chem.*, **55**, 3067-3074 (2017). Special issue for Prof. R. Grubbs doi: 10.1002/pola.28622
- (6) K. Nomura, M. Oshima, T. Mitsudome, H. Harakawa, P. Hao, K. Tsutsumi, G. Nagai, T. Ina, H. Takaya, W.-H. Sun, S. Yamazoe, Synthesis, structural analysis of (imido)vanadium dichloride complexes containing 2-(2'-benzimidazolyl)pyridine ligands: Effect of Al cocatalyst for efficient ethylene (co)polymerization, *ACS*

*Omega*, **2**, 8660-8673 (2017). doi: 10.1021/acs.omega.7b01225

(7) K. Nomura, X. Hou, *Cis* Specific chain transfer ring-opening metathesis polymerization using a vanadium(V)-alkylidene catalyst for efficient synthesis of end-functionalized polymers, *Organometallics (Communication)*, **36**, 4103-4106 (2017). doi: 10.1021/acs.organomet.7b00675

(8) K. Nomura, X. Hou, Synthesis of vanadium-alkylidene complexes and their use as catalysts for ring opening metathesis polymerization, *Dalton Trans*, **46**, 12-24 (2017). *Perspective, Backsidecover article* doi: 10.1039/c6dt03757g

(9) W. Zhao, K. Nomura, Design of efficient molecular catalysts for synthesis of cyclic olefin copolymers (COC) by copolymerization of ethylene,  $\alpha$ -olefins with norbornene, tetracyclododecene, *Catalysts*, **6**, 175 (2016). doi: 10.3390/catal6110175

(10) 野村琴広, 配位・メタセシス重合の新展開と展望, *高分子*, **65**, 509-511 (2016).

(11) S. Chaimongkolkunasin, X. Hou, K. Nomura, Ligand effect in (imido)vanadium-alkylidene complexes for olefin metathesis polymerization, *触媒(Catalysts&Catalysis)*, **59(B)**, 59-61 (2017).

(12) T. Omiya, N. Srisupap, K. Wised, K. Tsutsumi, K. Nomura, Synthesis and structural analysis of niobium(V) complexes containing amine triphenolate ligands of the type,  $[\text{NbCl}(\text{X})(\text{O}-2,4-\text{R}_2\text{C}_6\text{H}_2-6-\text{CH}_2)_3\text{N}]$  (R = Me, <sup>t</sup>Bu; X = Cl, CF<sub>3</sub>SO<sub>3</sub>), and their use in catalysis for ethylene polymerization, *Polyhedron*, **125**, 9-17 (2017). *Special issue, Tridentate and tetradentate tripodal ligands*, 依頼 doi: 10.1016/j.poly.2016.08.012

(13) K. Wised, K. Nomura, Synthesis of (imido)niobium(V)-alkylidene complexes that exhibit high catalytic activities for metathesis polymerization of cyclic olefins and internal alkynes, *Organometallics (Communication)*, **35**, 2773-2777 (2016). doi: 10.1021/acs.organomet.6b00560

(14) X. Hou, K. Nomura, Ring-opening metathesis polymerization of cyclic olefins by (arylimido)vanadium(V)-alkylidenes: Highly active, thermally robust *cis* specific polymerization, *J. Am. Chem. Soc.*, **138**, 11840-11849 (2016). doi: 10.1021/jacs.6b06330

(15) W. Zhao, Q. Yan, K. Tsutsumi, K. Nomura, Efficient norbornene (NBE) incorporation in ethylene/NBE copolymerization by half-titanocene catalysts containing chlorinated aryloxo ligands, *Organometallics*, **35**, 1895-1905 (2016). doi: 10.1021/acs.organomet.6b00242

(16) A. Igarashi, E. L. Kolychev, M. Tamm, K. Nomura, Synthesis of (imido)vanadium(V) dichloride complexes containing anionic *N*-heterocyclic carbenes that contain a weakly coordinating borate moiety: New MAO-free ethylene polymerization catalysts, *Organometallics*, **35**, 1778-1784 (2016). doi: 10.1021/acs.organomet.6b00200

(17) W. Apisuk, H. Ito, K. Nomura, Efficient synthesis of cyclic olefin copolymers with high

glass transition temperatures by ethylene copolymerization with tetracyclododecene (TCD) using (*tert*-BuC<sub>5</sub>H<sub>4</sub>)TiCl<sub>2</sub>(N=C<sup>t</sup>Bu<sub>2</sub>) - MAO catalyst, *J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem.*, **54**, 2662-2667 (2016). Cover article doi: 10.1002/pola.28144

(18) U. Tewasekson, K. Tsutsumi, K. Nomura, Synthesis and structural analysis of Zr-Al hetero-bimetallic complexes,  $[\text{ZrX}\{(\text{O}-2,4-\text{Bu}_2-\text{C}_6\text{H}_2-6-\text{CH}_2)_3(\mu_2-\text{O}-2,4-\text{Bu}_2-\text{C}_6\text{H}_2)_3\text{N}\}][\text{R}_2\text{Al}(\mu_2-\text{O}^i\text{Pr})]$  [X = Cl, Et, <sup>t</sup>Bu; R = Me, Et, <sup>t</sup>Bu]. Unique reactivity of the <sup>t</sup>Bu complex, *Organometallics*, **35**, 866-874 (2016). doi: 10.1021/acs.organomet.5b01027

(19) W. Apisuk, K. Nomura, Efficient introduction of aromatic vinyl group by incorporation of divinylbiphenyl, *p*-divinylbenzene in syndio-specific styrene polymerization using aryloxo-modified half-titanocene catalysts, *J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem.*, **54**, 1902-1907, (2016). Cover article doi: 10.1002/pola.28091

(20) K. Nomura, S. Pengoubol, W. Apisuk, Synthesis of ultrahigh molecular weight polymers by homopolymerisation of higher  $\alpha$ -olefins catalysed by aryloxo-modified half-titanocenes, *RSC Adv.*, **6**, 16203-16207 (2016). doi: 10.1039/C5RA27797C

(21) W. Zhao, K. Nomura, Copolymerizations of norbornene, tetracyclododecene with  $\alpha$ -olefins by half-titanocene catalysts: Efficient synthesis of highly transparent, thermal resistance polymers, *Macromolecules*, **49**, 59-70 (2016). doi: 10.1021/acs.macromol.5b02176

(22) K. Nomura, S. Patamma, H. Matsuda, S. Katao, K. Tsutsumi, H. Fukuda, Synthesis of half-titanocenes containing 1,3-imidazolidin-2-iminato ligands of type, Cp\*TiCl<sub>2</sub>[1,3-R<sub>2</sub>(CH<sub>2</sub>N)<sub>2</sub>C=N]: Highly active catalyst precursors in ethylene (co)polymerization, *RSC Adv.*, **5**, 64503-64513 (2015). doi: 10.1039/C5RA11402K

(23) K. Nomura, U. Tewasekson, Y. Takii, Synthesis of titanium complexes containing amine triphenolate ligand of the type,  $[\text{TiX}\{(\text{O}-2,4-\text{R}_2\text{C}_6\text{H}_2)-6-\text{CH}_2\}_3\text{N}]$ , and the Ti-Al hetero-bimetallic complexes with AlMe<sub>3</sub>: Effect of terminal donor ligand in ethylene polymerization, *Organometallics*, **34**, 3272-3281 (2015). doi: 10.1021/acs.organomet.5b00303

[学会発表](計77件)招待講演23件抜粋

(1) 野村琴広, 環状オレフィンの開環メタセシス重合における立体特異性の制御: 高性能触媒の設計・創製, 第10回次世代ポリオレフィン総合研究会(東京, 8月, 2015年).

(2) W. Zhao, K. Nomura, Synthesis of cyclic olefin copolymers by half-titanocene catalysts, The Seventh International Symposium on Engineering Plastics (EP'2015)(Xining, China, 8月, 2015年).

(3) K. Nomura, Design of efficient catalysts for synthesis of cyclic olefin (co)polymers by olefin insertion/metathesis polymerization, World Polyolefin Congress 2015 (Tokyo, 11月, 2015年). Keynote Lecture

(4) K. Nomura, Design of Efficient Molecular Catalysis for Synthesis of Advanced Polymers by Precise Polymerization, 8th AUN/SEED-Net Regional Conference on Chemical Engineering, Chemical Innovation for a Progress in ASEAN Industry and Society (Hanoi, Vietnam, 11月, 2015年). Plenary Lecture

(5) K. Nomura, Precise synthesis of fine polyolefins by ethylene copolymerization with sterically encumbered monomers, cyclic olefins, and with comonomers containing reactive functionality, Pacificchem 2015 (Hawaii, U.S.A., 12月, 2015年). Invited Lecture

(6) 野村琴広, 高性能オレフィン重合触媒の設計・創製・新触媒・新規ポリマー, 高分子学会・千葉地域高分子交流講演会 (市原, 6月, 2016年). 招待講演

(7) X. Hou, K. Nomura, Design and synthesis of (imido)vanadium-alkylidene complex catalysts for ring-opening metathesis polymerization of cyclic olefins, 9th International Symposium on High-tech Polymer Materials (HTPM-9) (Zhengzhou, China, 7月, 2016年). 招待講演

(8) K. Nomura, Design and synthesis of highly active olefin metathesis vanadium-alkylidene catalysts, Pure and Applied Chemistry International Conference 2017 (PACCON2017) (Bangkok, Thailand, 2月, 2017). 招待講演

(9) 野村琴広, 高性能分子触媒による新しいオレフィン系ポリマーの創製, 16-1 高分子学会講演会: 精密重合の課題と挑戦 -超精密化から工業化まで- (東京工業大学, 7月, 2016年). 招待講演

(10) K. Nomura, Design and synthesis of (imido)vanadium(V)-alkylidene complexes as efficient catalysts for ring-opening metathesis polymerization (ROMP) of cyclic olefins, International Symposium on Pure and Applied Chemistry 2016 (Kuching, Sarawak, Malaysia, 8月, 2016年). Invited Lecture

(11) K. Nomura, (Imido)vanadium complexes containing anionic ancillary donor ligands as efficient catalysts for olefin polymerization/dimerization, 10th International Vanadium Symposium: Chemistry, Biological Chemistry, & Toxicology (V10) (Taipei, China, 11月, 2016年). Invited Lecture

(12) K. Nomura, (Imido)vanadium(V)-alkylidene complexes: Highly active, thermally robust, cis specific ring-opening metathesis polymerization catalysts, 3rd International Conference on Molecular and Functional Catalysis (ICMFC-3) (Singapore, 2月, 2017年). Keynote Lecture

(13) K. Nomura, Olefin metathesis: Design of efficient catalysts for synthesis of advanced materials, Inner Mongolia University (Hohhot, China, 9月, 2017年). Invited Lecture

(14) K. Nomura, Design of efficient molecular catalysts for development of advanced polymeric materials, Institute of Process Engineering, CAS (Beijing, China, 9月, 2017年). Invited Lecture

(15) K. Nomura, Design of efficient molecular catalysts for development of advanced polymeric materials, Beijing Institute of Technology (Beijing, China, 9月, 2017年). Invited Lecture

(16) 野村琴広, ポリオレフィンの精密合成のための触媒設計, 2017年度高分子学会 Webinar 講演 (東京, 10月, 2017年). 招待講演

(17) S. Chaimongkolkunasin, X. Hou, K. Nomura, Design of (arylimido)vanadium(V) alkylidene complex catalysts for ring-opening metathesis polymerization of cyclic olefins, Asian Polyolefin Workshop 2017 (APO2017) (Tianjin, China, 10月, 2017年). Invited Lecture

(18) K. Nomura, Design of efficient molecular catalysts for development of polymeric functional materials, Solvay Colloquium, Universite libre de Bruxelles (Brussel, Belgium, 11月, 2017年). Invited Lecture

(19) K. Nomura, Olefin metathesis: Design of efficient catalysts and synthesis of advanced conjugated materials, University of Mons (Mons, Belgium, 11月, 2017年). Invited Lecture

(20) K. Nomura, Olefin metathesis: efficient methods for synthesis of advanced materials, University of Liege (Liege, Belgium, 11月, 2017年). Invited Lecture

(21) K. Nomura, (Imido)vanadium complex catalysts for olefin polymerization/dimerization, University of Lille (Lille, France, 12月, 2017年). Invited Lecture

(22) K. Nomura, Precise synthesis of cyclic olefin polymers by olefin insertion/metathesis polymerization, Beijing University of Chemical Technology (Beijing, China, 12月, 2017年). Invited lecture

(23) K. Nomura, (Imido)vanadium complex catalysts for olefin polymerization/ oligomerization, University of Science and Technology of China (Hefei, China, 12月, 2017年). Invited Lecture

〔図書〕(計3件)

- (1) 野村琴広, 「次世代ポリオレフィン総合研究所」, 郷茂夫, 寺野 稔(編), 三恵社, 5(22-26) (2015).
- (2) 野村琴広, 触媒技術の動向と展望 2016, 触媒学会(編), 2(287-288) (2016).
- (3) 野村琴広, ハーフチタノセン触媒による環状オレフィン系共重合体の精密合成, 「次世代ポリオレフィン総合研究」, 郷茂夫, 寺野 稔(編), 10, 54-58 (2016).

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

(研究室) <http://tmu-orgchem-lab.com/>

(個人) <http://kotohiro-nomura.com/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野村 琴広 (NOMURA KOTOHIRO)

首都大学東京・理工学研究科・教授

研究者番号: 20304165