

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：34419

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2012～2016

課題番号：24109003

研究課題名(和文) 感応性低配位典型元素化合物の創製と反応

研究課題名(英文) Synthesis and Reactions of Stimuli-responsive Low-coordinate Compounds of Main Group Elements

研究代表者

松尾 司(MATSUO, Tsukasa)

近畿大学・理工学部・准教授

研究者番号：90312800

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 22,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、縮環型立体保護基(Rind基)の立体効果を活用して新奇な低配位典型元素化合物を創製し、分子構造や物性、反応性について実験化学と理論化学とのインタープレイによって探究した。一連の高周期14族元素二価化学種「ジアリールテトリレン」を合成し、高度に分極した14族元素-酸素二重結合を有する「重いケトン」への合成変換を調査して、「ジアリールスタニレン」の初合成を達成した。また、ゲルマニウムの酸素原子移動反応に基づき、従来にないゲルマニウム酸化触媒を開発して性能を調査した。領域内共同研究により、種々の感応性低配位化合物について探究し、遷移金属錯体や触媒配位子への応用について調査した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigated the synthesis, characterization, and reactivity of stimuli-responsive low-coordinate compounds of main group elements by taking advantage of the steric effects of the fused-ring bulky Rind groups (Rind = 1,1,3,3,5,5,7,7-octa-R-substituted s-hydridacen-4-yl). A complete series of diaryltetrylenes, (Eind)<sub>2</sub>E: (E = Si, Ge, Sn, and Pb), were synthesized, and their molecular structures were confirmed by X-ray crystallography. The first diarylstannanone, (MPind)<sub>2</sub>Sn=O, was obtained by the reaction of (MPind)<sub>2</sub>Sn: with N<sub>2</sub>O gas, whose X-ray structure exhibits a planar tricoordinate tin center with a very short Sn-O bond. We also examined the oxygen atom transfer (OAT) reaction of germanone, (Eind)<sub>2</sub>Ge=O, with isocyanide involving the cleavage of Ge-O bond and their application to the novel germanium catalytic system. We performed many joint researches of stimuli-responsive low-coordinate compounds and their application to the ligands for transition metal complexes.

研究分野：応用元素化学

キーワード：低配位典型元素化合物 高周期14族元素 不飽和結合 感応性化学種 合成化学 テトリレン 酸素原子移動反応 典型元素触媒

### 1. 研究開始当初の背景

第三周期以降の高周期元素の不飽和化合物は、反応性が高く不安定であるため長い間存在しないとされてきた。1981年にWestや吉藤らによって、ケイ素-ケイ素二重結合化合物「ジシレン」やリン-リン二重結合化合物「ジホスフェン」が「かさ高い置換基(立体保護基)による速度論的安定化」の概念に基づき初めて安定に合成された。それ以来、多くの化学者によって様々な立体保護基が提案され、低配位構造を有する典型元素不飽和化合物に関する研究が進められてきた。近年では、有機ケイ素化学者の夢化合物の一つであったケイ素-ケイ素三重結合化合物「ジシリレン」の合成も達成された(関口 *Science* 2004、Wiberg *ZAAC* 2004、時任 *JACS* 2008)。

研究代表者は、科研費「特別推進研究(研究代表者:玉尾皓平)」(平成19~23年度)の研究分担者として、汎用性の高い「縮環型立体保護基(Rind基: octa-R-substituted s-hydrindaceneの略称)」を開発し、「テトラシラシクロプタジエン」(*Science* 2011)や「ゲルマノン」(*Nat. Chem.* 2012)の合成に成功してきた。物性や反応性に興味を持たれながらも、これまで仮想分子とされてきた典型元素不飽和化合物が、Rind基の優れた立体効果により安定に合成出来ることが明らかになってきた。本研究では、これまでに見いだした先駆的知見をプラットフォームにして、未だ知られていない「低配位典型元素化合物」の持つ反応性を巧みに引き出し、本研究領域の目指す「感応性化学種」の新しいサイエンスに立脚した革新的な分子変換反応の開発に取り組むことにした。

### 2. 研究の目的

本研究では、かさ高い「縮環型立体保護基(Rind基)」を導入することにより、学術的にも価値の高い「低配位典型元素化合物」の創製を目指した。それらの分子構造や化学結合を実験化学と理論化学とのインタープレイによって解明するとともに、結合電子に由来する特異な反応性を探究し、典型元素化合物に関する物質科学研究の新領域の開拓に貢献することを目的とした。また、領域内の遷移元素化学の研究者との共同研究により、新しい「感応性化学種」の創製と新反応の開発に貢献することを目指した。

### 3. 研究の方法

本研究では、Rind基の立体効果を活用し、(1)高周期14族元素二価化学種「ジアリールテトリレン」の合成と高度に分極した14族元素-酸素二重結合を有する「重いケトン」への合成変換、及び、それらの反応性の開拓と「典型元素触媒」への応用、(2)高周期14族元素「不飽和環状化合物」の合成と電荷分離した結合電子に基づく反応性の探究、(3)新奇な13族元素水素化物や15族元素不飽和化合物の合成と新反応の開発、(4)領域内共

同研究に基づく遷移金属錯体や触媒配位子への応用、などの研究テーマを立案した。主な研究手法は、Rind基の速度論的安定化に基づく低配位化合物の合成、分光学的手法や結晶構造解析による分子構造と化学結合の実験化学的解明、理論化学とのインタープレイによる電子構造の解明、特異な結合電子に基づく反応性の探究、である。領域内共同研究により、新しい研究の創造と研究成果の相乗的な発展を計画した。

### 4. 研究成果

#### (1)高周期14族元素二価化学種「ジアリールテトリレン」の合成

研究代表者らは以前に、(Eind)Liとジクロロゲルミレン・ジオキサン錯体との反応により、ゲルマニウム二価化学種「ジアリールゲルミレン(Eind)<sub>2</sub>Ge:」を合成した(*Nature Chem.* 2012)。本研究では、ケイ素上にかさ高いEind基を2つ有するジプロモシラン(Eind)<sub>2</sub>SiBr<sub>2</sub>(*Chem. Lett.* 2016)とtBuLiとの反応により、ケイ素二価化学種「ジアリールシリレン(Eind)<sub>2</sub>Si:」を合成した。この化合物は熱的に不安定であり、高温ではシリレン中心への側鎖のエチル基の分子内C-H結合挿入反応によりケイ素四価環状化合物が生成した。また、(Rind)Liと二塩化スズ・ジオキサン錯体や二塩化鉛との反応により、スズや鉛の二価化学種「ジアリールスタンニレン(Rind)<sub>2</sub>Sn:」、及び、「ジアリールプルンビレン(Rind)<sub>2</sub>Pb:」を合成した。一連の「ジアリールテトリレン(Eind)<sub>2</sub>E: (E = Si, Ge, Sn, Pb)」の分子構造をX線結晶構造解析により明らかにした(図1)。「ジアリールシリレン」の分子構造をX線により決定した初めての例である(理研橋爪大輔博士との共同研究)。

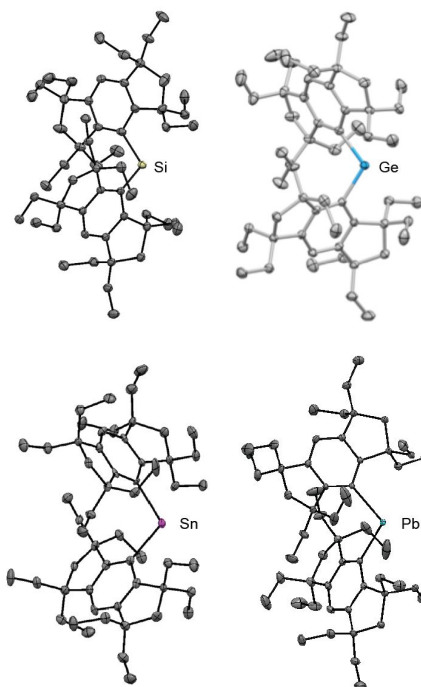


図1 ジアリールテトリレンの分子構造

(2)高周期 14 族元素 - 酸素二重結合を有する「重いケトン」の合成

研究代表者らは以前に、かさ高い Eind 基を有するゲルミレン (Eind)<sub>2</sub>Ge: とアミノオキシドとの反応により、ゲルマニウム - 酸素二重結合化合物「ゲルマノン (Eind)<sub>2</sub>Ge=O」の合成を報告した (*Nature Chem.* 2012)。本研究では、よりかさ高い MPind 基を有するスタンニレン (MPind)<sub>2</sub>Sn: と亜酸化窒素 (N<sub>2</sub>O) との反応により、スズ - 酸素二重結合化合物「スタンナノン (MPind)<sub>2</sub>Sn=O」の初合成に成功した。分子構造を X 線結晶構造解析により決定し、スズ中心が平面三配位構造であり、スズ - 酸素結合長が極めて短いことを明らかにした (図 2) (理研橋爪大輔博士との共同研究)。

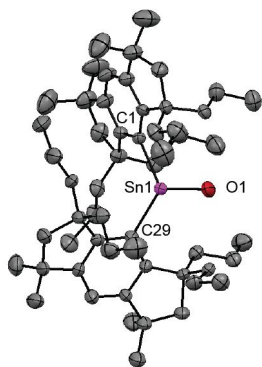


図 2 スタンナノン分子構造

(3)ゲルマニウム酸化触媒の開発

本研究では、ゲルマノン (Eind)<sub>2</sub>Ge=O の新たな反応性として「酸素原子移動反応」を見いだした。ゲルマノンとイソシアニドとの反応では、ゲルマニウム - 酸素結合が切断されて、ゲルミレンとイソシアナートが生成した。この量論反応に基づき、ゲルマニウム触媒反応を構築した (図 3)。触媒量のゲルミレンの存在下、N-メチルモルフォリンオキシドと 2,6-ジメチルフェニルイソシアニドは、N-メチルモルフォリンと 2,6-ジメチルフェニルイソシアナートに変換された。近年、典型元素を用いた小分子活性化や触媒反応の研究が活発化しており、本研究は「ゲルマニウム酸化触媒」を達成した初めての例である。

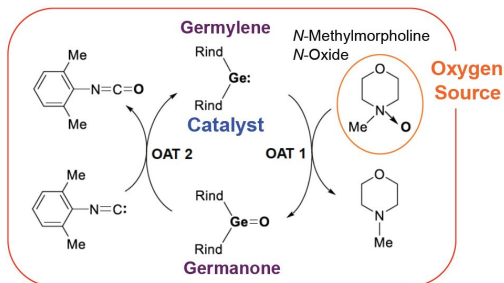


図 3 ゲルマニウム酸化触媒サイクル

(4)高周期 14 族元素アヌレン化合物の合成

研究代表者らは以前に、かさ高い EMind 基を有するトリプロモシラン (EMind)SiBr<sub>3</sub> の還

元反応により、4 電子系シクロブタジエンのケイ素類縁体「テトラシラシクロブタジエン (EMind)<sub>4</sub>Si<sub>4</sub>」を合成し、ケイ素四員環が「極性の Jahn-Teller 歪み」に基づき電荷分離した平面ひし形構造であることを報告した (*Science* 2011)。これは、初めてのケイ素アヌレン化合物である。本研究では、EMind 基を有するゲルマニウム - ゲルマニウム二重結合化合物「ジハロジゲルメン」の還元反応により、ゲルマニウム類縁体「テトラゲルマシクロブタジエン (EMind)<sub>4</sub>Ge<sub>4</sub>」を合成した。X 線結晶構造解析と理論計算により、ゲルマニウム四員環が電荷分離した平面ひし形構造であることを解明した (図 4)。これは、初めての「ゲルマニウムアヌレン化合物」である (理研橋爪大輔博士との共同研究)。

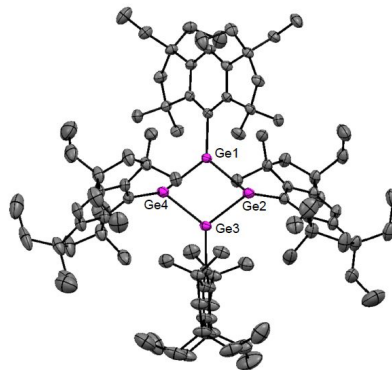


図 4 テトラゲルマシクロブタジエンの分子構造

(5) 新奇な 13 族元素水素化物の創製と反応性の探究

研究代表者らは以前に、かさ高い Eind 基により安定化された「二重水素架橋型ジボラン (4)」について報告した (*JACS* 2010)。本研究では、よりかさ高い MPind 基の導入により、「末端水素型ジボラン (4)」を合成した (*Chem. Lett.* 2014)。また、Eind 基を有する「ジアルマン (6)」を合成し、分子構造を X 線結晶構造解析により決定するとともに (図 5) (*Organometallics* 2016) (理研橋爪大輔博士との共同研究)、溶液中において「モノアルマン」との平衡状態であることを明らかにした (*Angew. Chem. Int. Ed.* 2016) (京都大学時任宣博教授との共同研究)。さらに、「ジアルマン (6)」によるピリジン類の「水素化アルミニウム化反応」について調査した。

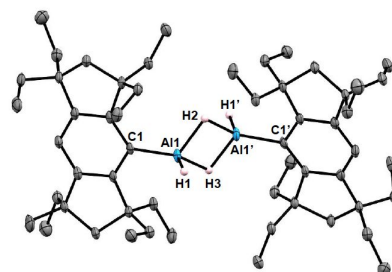


図 5 ジアルマン (6) の分子構造



また、Eind 基を有する「ジボラン(6)」と「ジアルマン(6)」との反応により、13 族元素混合型水素化物である「アルマボラン(6)」の初合成に成功した。分子構造を X 線結晶構造解析により決定するとともに(図 6)、ホウ素(-)とアルミニウム(+ )の電荷分離した極限構造式の寄与について理論計算により明らかにした。

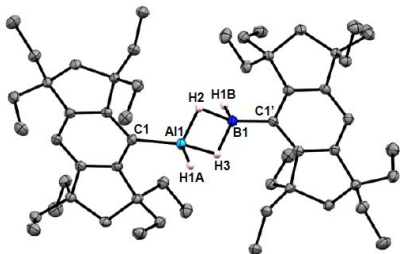


図 6 アルマボラン(6)の分子構造

(6)NHC によるリン - リン二重結合切断反応の発見

研究代表者らは以前に、かさ高い Eind 基を有するリン - ケイ素二重結合化合物「ホスファシレン」について報告した(*JACS* 2009)。本研究では、Rind 基を有するリン - リン二重結合化合物「ジホスフェン」を合成した(*Heteroat. Chem.* 2014)(理研橋爪大輔博士との共同研究)。また、ケイ素 - ケイ素二重結合化合物「ジハロジシレン」(*JACS* 2011)と強いルイス塩基である *N*-ヘテロ環状カルベン(NHC)との反応により、「プロモシリレン・NHC 付加体」、及び、「カチオン性シリレン・NHC ビス付加体」が生成することを解明した(*Chem. Eur. J.* 2014)(京都大学時任宣博教授、理研橋爪大輔博士との共同研究)。

これらの知見に基づき、「ジホスフェン」と NHC との反応について調査し、リン - リン二重結合の切断に伴い「ホスフィニデン・NHC 付加体」が生成することを見いだした(図 7)(*Angew. Chem. Int. Ed.* 2017)。理論計算により反応機構を調査したところ、分極したリン - リン結合を有する「ジホスフェン・NHC 付加体」が中間体であり、リン原子間の \* 軌道、及び、\* 軌道と NHC のローンペアとの相互作用によって、リン - リン二重結合が段階的に切断されることが示唆された。

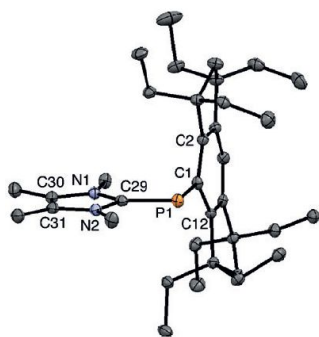


図 7 ホスフィニデン・NHC 付加体の分子構造

(7)共同研究による遷移金属錯体や触媒配位子への応用など

PNP ピンサー型ホスファアルケン配位子の開発と遷移金属錯体への応用(*Organometallics* 2016, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2016)(京都大学小澤文幸教授、九州大学吉澤一成教授との共同研究)  
シリレン遷移金属錯体の合成と反応性(*Organometallics* 2016)(東北大学橋本久子准教授との共同研究)  
アリールオキシド配位子を有するチタン錯体の合成(*Inorg. Chem.* 2016)(東京工業大学川口博之教授との共同研究)  
アリールチオラート配位子を有する四鉄 - 硫黄クラスターの合成と電気化学特性(*Inorg. Chem.* 2014)(名古屋大学大木靖弘准教授、京都大学時任宣博教授との共同研究)  
ジアゾメタンの光反応(大阪府立大学池田浩教授との共同研究)

## 5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計 20 件)

早川直輝、貞森和也、辻本祥太、畑中美穂、若林知成、松尾司、Cleavage of a P=P Double Bond Mediated by *N*-Heterocyclic Carbenes, *Angewandte Chemie International Edition*, 査読有、56 巻、2017、5765–5769

DOI: 10.1002/anie.201701201

大谷卓、三好真由、柴田高範、松尾司、橋爪大輔、玉尾皓平、Thermally Stable Monosubstituted Thiophene 1-Oxide and 1-Imides Stabilized by a Bulky Rind Group at Their 3-Position: Synthesis, Structure and Inversion Barriers on the Sulfur Atom, *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 査読有、90 巻、2017、697–705 (Selected Paper)

DOI: 10.1246/bcsj.20170042

竹内勝彦、田口廣臣、谷川一平、辻本祥太、松尾司、田中宏昌、吉澤一成、小澤文幸、A Square Planar Complex of Platinum(0), *Angewandte Chemie International Edition*, 査読有、55 巻、2016、15347–15350

DOI: 10.1002/anie.201609515

吉本崇志、橋本久子、早川直輝、松尾司、飛田博実、A Silylyne Tungsten Complex Having an Eind Group on Silicon: Its Dimer-Monomer Equilibrium and Cycloaddition Reactions with Carbodiimide and Diaryl Ketones, *Organometallics*, 査読有、35 巻、2016、3444–3447

DOI: 10.1021/acs.organomet.6b00670

室崎貴大、金田将平、丸橋亮大、貞森和也、庄子良晃、玉尾皓平、橋爪大輔、早川直輝、松尾司、Synthesis and Structural Characteristics of Discrete Organoboron and Organo-

aluminum Hydrides Incorporating Bulky Eind Groups, Organometallics, 査読有、35 巻、2016、3397–3405

DOI: 10.1021/acs.organomet.6b00633  
長田浩一、室崎貴大、吾郷友宏、笹森貴裕、松尾司、時任宣博、Activation of Dihydrogen by Masked Doubly Bonded Aluminum Species, Angewandte Chemie International Edition, 査読有、55 巻、2016、12877–12880 (Very Important Paper, Inside Cover Picture)

DOI: 10.1002/anie.201606684  
金澤涉也、大平泰史、合田舜、早川直輝、谷川智春、橋爪大輔、石田豊、川口博之、松尾司、Synthesis and Structural Characterization of Lithium and Titanium Complexes Bearing a Bulky Aryloxide Ligand Based on a Rigid Fused-Ring s-Hydrindacene Skeleton, Inorganic Chemistry, 査読有、55 巻、2016、6643–6652

DOI: 10.1021/acs.inorgchem.6b00762  
田口廣臣、佐々木大智、竹内勝彦、辻本祥太、松尾司、田中宏昌、吉澤一成、小澤文幸、Unsymmetrical PNP-Pincer Type Phosphaalkene Ligands Protected by a Fused-Ring Bulky Eind Group: Synthesis and Applications to Rh(I) and Ir(I) Complexes, Organometallics, 査読有、35 巻、2016、1526–1533

DOI: 10.1021/acs.organomet.6b00113  
合田舜、二階正憲、伊藤幹直、橋爪大輔、玉尾皓平、岡澤厚、小島憲道、笛野博之、田中一義、小林義男、松尾司、Synthesis and Magnetic Properties of Linear Two-Coordinate Monomeric Diaryliron(II) Complexes Bearing Fused-Ring Bulky “Rind” Groups, Chemistry Letters, 査読有、45 巻、2016、636–638  
DOI: 10.1246/cl.160216

早川直輝、森本達人、高木陽広、谷川智春、橋爪大輔、松尾司、Synthesis and Structures of Sterically-Congested Diarylsilanes Bearing Two Bulky Rind Groups, Chemistry Letters, 査読有、45 巻、2016、409–411

DOI: 10.1246/cl.151191  
小林恵、早川直輝、松尾司、李保林、福永武男、橋爪大輔、笛野博之、田中一義、玉尾皓平、(Z)-1,2-Di(1-pyrenyl)-disilene: Synthesis, Structure, and Intramolecular Charge-Transfer Emission, Journal of the American Chemical Society, 査読有、138 巻、2016、758–761

DOI: 10.1021/jacs.5b11970  
松尾司、炭素とケイ素の不思議(14 族元素) 月刊うちゅう(大阪市立科学館発行) 査読無、32 巻、2016、4–9  
<http://www.sci-museum.jp/about/publ>

ication/universe/?year=2015  
李良春、松尾司、橋爪大輔、笛野博之、田中一義、玉尾皓平、Coplanar Oligo(p-phenylenedisilylene)s as Si=Si Analogues of Oligo(p-phenylene-vinylene)s: Evidence for Extended  $\pi$ -Conjugation through the Carbon and Silicon  $\pi$ -Frameworks, Journal of the American Chemical Society, 査読有、137 巻、2015、15026–15035

DOI: 10.1021/jacs.5b10113  
松尾司、玉尾皓平、Fused-Ring Bulky “Rind” Groups Producing New Possibilities in Elemento-Organic Chemistry, Bulletin of the Chemical Society of Japan, 査読有、88 巻、2015、1201–1220 (Inside Cover)

DOI: 10.1246/bcsj.20150130  
李保林、辻本祥太、李永明、辻勇人、玉尾皓平、松尾司、Synthesis and Characterization of Diphosphenes Bearing Fused-Ring Bulky Rind Groups, Heteroatom Chemistry, 査読有、25 巻、2014、612–618

DOI: 10.1002/hc.21197  
庄子良晃、金田将平、笛野博之、田中一義、玉尾皓平、橋爪大輔、松尾司、An Isolable Diborane(4) Compound with Terminal B-H Bonds: Structural Characterization and Electronic Properties, Chemistry Letters, 査読有、43 巻、2014、1587–1589 (Editor’s Choice)

DOI: 10.1246/cl.140507  
吾郷友宏、早川直輝、笹森貴裕、松尾司、橋爪大輔、時任宣博、Reactions of Diaryldibromodisilenes with N-Heterocyclic Carbenes: Formation of Formal Bis-NHC Adducts of Silyliumylidene Cations, Chemistry A European Journal, 査読有、20 巻、2014、9246–9249

DOI: 10.1002/chem.201403083  
松尾司、Air-Stable Emissive Disilenes Protected by Fused-Ring Bulky “Rind” Groups, TCI MAIL (東京化成工業(株)季刊誌) 査読無、163 巻、2014、1–6

<http://www.tcichemicals.com/ja/jp/support-download/tcimail/backnumber/2014.html>

谷藤一樹、山田昇広、田嶋智之、笹森貴裕、時任宣博、松尾司、玉尾皓平、大木靖弘、巽和行、A Convenient Route to Synthetic Analogues of the Oxidized Form of High-Potential Iron-Sulfur Proteins, Inorganic Chemistry, 査読有、53 巻、2014、4000–4009

DOI: 10.1021/ic402890k  
小林恵、早川直輝、中林弘一、松尾司、橋爪大輔、笛野博之、田中一義、玉尾皓

平、Highly Coplanar (*E*)-1,2-Di(1-Naphthyl)disilene Involving a Distinct CH- Interaction with the Perpendicularly Oriented Proteting Eind Group、Chemistry Letters、査読有、43巻、2014、432-434  
DOI: 10.1246/cl.131043

[学会発表](計15件)

招待講演・依頼講演

松尾司、*s*-Conjugated Disilenes Stabilized by Bulky Rind Groups、第70回藤原セミナー、2016年4月18日、ザ・ルイガンズ(福岡県・福岡市)  
松尾司、Fused-Ring Bulky Rind Groups Producing New Possibilities in Organoelement Chemistry、Institute for Chemical Research International Symposium 2016 (ICRIS'16)、2016年3月7日、京都大学(京都府・宇治市)  
松尾司、sp<sup>2</sup>ケイ素のビルドアップ技術の開発、ケイ素材料の新展開：環境共生スマート材料研究拠点講演会、2016年2月29日、広島大学(広島県・東広島市)  
松尾司、高周期14族元素-酸素二重結合化学種の創成、東京工業大学講演会、2015年7月28日、東京工業大学(東京都・目黒区)  
松尾司、炭素とケイ素の不思議(14族元素) 元素検定2015、2015年6月28日、大阪市立科学館(大阪府・大阪市)  
松尾司、Fused-Ring Bulky Rind Groups Producing New Possibilities in Organoelement Chemistry、The 10th Organoelement Chemistry Seminar、2015年6月8日、京都大学(京都府・宇治市)  
松尾司、発光性ジシレン化合物の開発、ケイ素材料講演会：有機ケイ素材料の新展開、2015年2月27日、広島大学(広島県・東広島市)  
松尾司、ヘビー級ケトン：ゲルマノン、筑波大学講演会、2014年12月8日、筑波大学(茨城県・つくば市)  
松尾司、ケイ素の新環状化合物：テトラシランクロブタジエン、鳥取大学講演会、2013年11月22日、鳥取大学(鳥取県・鳥取市)  
松尾司、典型元素不飽和結合の電子化学 14族元素不飽和化合物の最新化学を中心に、第46回有機金属若手の会夏の学校、2013年7月8日、宮城蔵王ロイヤルホテル(宮城県・蔵王町)  
松尾司、かさ高いRind基を用いたヘテロ原子化学、近畿化学協会ヘテロ原子部会平成24年度第3回談話会、2013年2月28日、大阪科学技術センター(大阪府・大阪市)  
松尾司、典型元素不飽和結合の化学2012、近畿化学協会有機金属部会平成24年度第4回例会、2013年1月30日、大阪科

学技術センター(大阪府・大阪市)  
松尾司、典型元素不飽和結合のπ電子科学、錯体化学若手の会中部東海地区勉強会、2012年12月1日、名古屋大学(愛知県・名古屋市)  
松尾司、A New Family of *s*-Conjugated Silicon Compounds Incorporating the Bulky Rind Groups、2nd International Symposium on Element Innovation Pre ASiS-IV Symposium、2012年10月19日、群馬大学(群馬県・桐生市)  
松尾司、典型元素不飽和結合のπ電子科学、有機金属若手研究者の会、2012年9月12日、大阪大学(大阪府・吹田市)

[図書](計3件)

松尾司(分担執筆)、赤阪健、大須賀篤弘、福住俊一、神取秀樹(監修)、Springer、Chemical Science of *s*-Electron Systems、2015、777 (Part V: Heteroatom-Conjugated *s*-Electron Systems、Chapter 23: *s*-Conjugated Disilenes and Tetrasilacyclobutadiene、393-402)  
松尾司、関口章(分担執筆)、吉良満夫、玉尾皓平(編)、化学同人、DOJIN ACADEMIC シリーズ3 有機ケイ素化学、2013、444 (第3章 多彩な有機ケイ素化合物、第5節 ジシレンとジシリン、135-150)  
松尾司(分担執筆)、赤阪健、大須賀篤弘、福住俊一、神取秀樹(監修)、シーエムシー出版、高次空間の創発と機能開発、2013、245 (第1章 新しい電子系化合物の創製、第10節 共役系ジシレン化合物の構築と機能開発、55-59)

[その他]

ホームページ

- (1) 近畿大学理工学部最先端研究  
[http://www.kindai.ac.jp/sci/research/forefront\\_research/matsuo\\_tsukasa.html](http://www.kindai.ac.jp/sci/research/forefront_research/matsuo_tsukasa.html)
- (2) 近畿大学理工学部応用化学科応用元素化学研究室ホームページ  
<http://www.apch.kindai.ac.jp/element-folder/index.html>

試薬製品化・東京化成工業(株)

- (1) 4-Bromo-1,1,7,7-tetraethyl-1,2,3,5,6,7-hexahydro-3,3,5,5-tetramethyl-*s*-indacene (EMind-Br) 製品コード (B4379)
- (2) 4-Bromo-1,1,3,3,5,5,7,7-octaethyl-1,2,3,5,6,7-hexahydro-*s*-indacene (Eind-Br) 製品コード (B4380)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松尾 司 (MATSUO, Tsukasa)  
近畿大学・理工学部・准教授  
研究者番号：90312800