

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05444

研究課題名(和文) 低原子価14族元素化学種からなるルイス酸性反応場を鍵とする高活性金属錯体の創製

研究課題名(英文) Syntheses of active metal complexes that bear low-valent Group 14 element species as a Lewis acidic reactive site

研究代表者

橋本 久子 (Hashimoto, Hisako)

東北大学・理学研究科・准教授

研究者番号：60291085

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、新しい反応活性な金属化合物の合成とそれを利用した新規反応の開発を最終目的に、ケイ素やゲルマニウムの低原子価化学種が金属に配位した新規金属錯体の合成を行い、これらのルイス酸性の性質を生かしたこれまでに知られていないタイプの反応を幾つか発見した。特に、一価ケイ素化学種が配位したシリリン錯体とアルデヒドとの反応において、メタセシス的な結合組み換え反応を発見したことはこの分野における大きな成果である。

研究成果の概要(英文)： In this research, we investigated to synthesize new metal compounds bearing a low-valent silicon- and germanium-based ligand as active metal complexes that can mediate new reactions. Indeed, we succeeded to isolate several such complexes and found new types of reactions that have not been observed before. One of the most notable achievements is that a metathesis-like reaction was found to occur in the reaction of a silylyne complex with arylaldehydes through double [2+2] cycloaddition followed by fragmentation of the resulting four-membered-ring complexes.

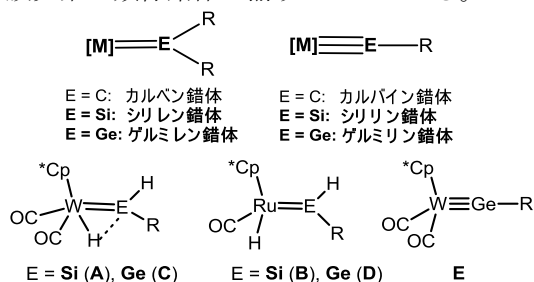
(554 characters)

研究分野：有機金属化学

キーワード：有機金属錯体 高周期14族元素 ルイス酸 二重結合 三重結合 ケイ素 ゲルマニウム 反応化学

1. 研究開始当初の背景

14 族の高周期元素であるケイ素やゲルマニウムの二価化学種や一価化学種が遷移金属に配位した錯体は、有機合成化学において優れた反応試薬や触媒として多大な貢献をしているカルベン錯体やカルバイン錯体の高周期類縁体として、世界的にも注目されてきた。これら錯体の合成・単離は一般的には困難とされていたが、かさ高い置換基の開発に伴い速度論的な錯体の安定化が可能になり、最も困難とされてきたケイ素のカルバイン類縁錯体が 2010 年に単離され、全ての 14 族元素の類縁錯体が揃うに至っている。



一方で、これらの錯体の分極した金属-14 族元素結合を基質の活性化に生かすという観点での研究はまだ非常に少ない。これは、従来の錯体は、導入したかさ高い置換基により反応部位が過剰に保護されており反応性が低かったためと考えられる。これに対し、当研究室および米国の Tilley らの研究室では、比較的かさの小さい置換基を有し、反応部位となる金属-ケイ素結合部位が空間的に適度に空いている錯体の合成に成功し、これらが多様な反応性を示すことを見出している。例えば、Tilley らは、シリレン錯体によるオレフィンの触媒的ヒドロシリル化反応を見出しており、当研究室では、シリレン錯体 A や B (上図) が、ニトリルやケトン、エノン等の様々な不飽和有機基質を活性化することを見出した。我々のシリレン錯体では、シリレン配位子のケイ素中心がルイス酸として働き、ここに基質が配位することで基質の活性化が始まると考えられる。さらに最近、我々はゲルマニウム類縁体 C や D およびゲルミリン錯体 E の合成に成功し、ルイス酸としての働きに基づくと考えられる幾つかの新規反応を見出している。

2. 研究の目的

本申請者は、これまでにケイ素やゲルマニウムの低原子価化学種が配位した錯体において、配位子自体が強いルイス酸部位として働き、金属中心と協働して分極した有機基質の活性化を促進することを見出している。これらの知見をもとに、本研究では、不活性な分子も活性化しうる強いルイス酸部位を持つ高活性な遷移金属錯体を創出し、それらに

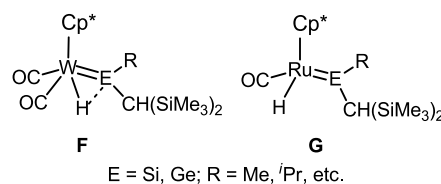
よる新しい分子の活性化法を開拓することを目指した。

3. 研究の方法

研究を効果的に進めるために、また、うまくいかないときの対策としても、以下の 3 つの主要課題を同時並行的に進める計画を立てた。

(1) 課題 1 新規ヒドリド (シリレン) およびヒドリド (ゲルミレン) 錯体の合成と新反応開発

これまでに合成し錯体 A-D の置換基を精緻に改良し、様々なルイス酸性能を持つシリレンおよびゲルミレン錯体 F や G を合成する。また、モリブデンやパラジウム等、他の金属の類縁錯体を合成し、活性な錯体の開発に取り組む。

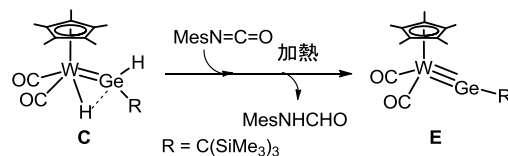


(2) 課題 2 ハロゲンで置換されたシリレンおよびゲルミレン錯体の合成と小分子の活性化法の開発

電子求引性のハロゲンが置換したシリレンおよびゲルミレン錯体の 14 族元素中心のルイス酸性は強くなると考えられる。既に、白金のハロシリレン錯体の合成に成功しているため、類似のハロシリレンあるいはハロゲルミレン錯体の合成を行い、これらと有機基質・小分子との反応を検討することにより、新しい基質活性化法の開発を検討する。

(3) 課題 3 ゲルミレン錯体とゲルミリン錯体との変換を利用した水素化反応サイクルの構築

申請者らは、最近、ゲルミレン錯体 C がイソシアナートと反応しほぼ定量的にゲルミリン錯体 H と N-ホルムアミドを与えることを見出した。



この反応において、ゲルミリン錯体 E をゲルミレン錯体 C に戻すことができれば、触媒的な水素化反応サイクルの構築が可能となる。本研究ではそのルート開発を行うと共に、他の有機基質や二酸化炭素の水素化への適用を試みる。

4. 研究成果

(1) 課題 1 に関する研究

① 新規ルテニウムシリレン錯体の合成とそれを用いた触媒反応の開発

ケイ素上にメチル基とダイシル基を有するルテニウムシリレン錯体 **G** を合成した。この錯体はアリールニトリルと反応して η^3 -アザシラアシル錯体を与え、加熱すると逆反応が進行した。すなわち、温和な条件でケイ素-窒素結合の可逆的な形成/切断が起こることを見出した。この系では容易に基質の結合形成/切断が起こることから、触媒的反応の発見を期待し、ルテニウムシリレン錯体と求核剤や求電子剤との反応を調べた。その結果、ベンズアルデヒドが2分子取り込まれたシランが化学量論的に得られることが明らかになった。反応機構を考察してさらに反応条件を検討したところ、ジヒドロシランの2つのSi-Hがベンズアルデヒドによりベンジルアルコキシ基に置換されたシランが選択的および触媒的に生成することを見出した。アリール上に電子供与基や電子吸引基を持つ様々なアリールアルデヒドとの反応でも、同様に対応する生成物を高収率で与えることを明らかにした。一方、ケトンを経験として用いると通常のヒドロシリル化生成物のみが選択的に得られた。

② 新規鉄ゲルミレン錯体の合成と反応研究

鉄のゲルミレン錯体の合成・単離に成功した。様々な不飽和有機分子との反応を検討し、タングステン類縁錯体に匹敵、あるいはより反応活性であることを明らかにした。例えば、イソチオシアナートのC=S二重結合を切断する反応が鉄錯体では室温で容易に進行した。これはタングステン類縁錯体では起こらなかった反応である。

(2) 課題2に関する研究

① 10族金属のシリレン錯体の合成研究

10族金属を中心金属とするハロゲン置換シリレン錯体の合成・単離を目指して研究を行う中で、生成物がかなり熱的に不安定であることが判明した。そこで、近畿大学の松尾研との共同研究として嵩高いアリール基(EMind基)をケイ素上に導入し、ケイ素上に水素を持つシリレン錯体の10族金属錯体の合成を検討した。しかし、シリレン錯体の前駆体となるヒドリドシリル白金錯体を高収率で得たが、そこから目的のシリレン錯体への誘導は困難であった。

(3) 課題3に関する研究

① ゲルミレン錯体とゲルミリン錯体との相互変換反応を利用した触媒反応開発の試み

「研究の方法」の項で述べたタングステンゲルミリン錯体 **E** を、水素、あるいはプロトン源やヒドリド源との反応から、ゲルミレン錯体 **C** に戻すことができれば、触媒的なイソシアナートの水素化反応が進行することを期待して種々条件を検討したが、困難であった。そこで、一般的に触媒活性が高い第二遷移金属であるモリブデンに注目し、同様のゲルミレン錯体からゲルミリン錯体への変換

を検討したところ、実際に類似の変換が起こることを見出した。重要なことに、水素受容体としてイソシアナートの代わりにニトリルを用いても、同じゲルミリン錯体を得られることを明らかにした。これはタングステン類縁錯体では起こらなかった反応である。まだ触媒的反応には展開できていないが、その可能性が示唆される。

② タングステンシリレン錯体によるメタセシス類似反応の発見

カルビン錯体の化学において、不飽和有機化合物のメタセシス反応は、最も重要な反応の一つである。しかし、ケイ素化合物のメタセシス反応は未だ見つかっていない。今回、タングステンシリレン錯体がアルデヒドとの反応において、連続した[2+2]環化付加と分子内ホルミル水素移動により4員環メタラサイクルを与え、この錯体から加熱により結合組み換え反応が起こることを見出した。これは、メタセシスに最も近い反応であり、ケイ素化合物のメタセシス反応開発に大きな一歩を踏み出したといえる成果である。

③ モリブデンシリレン錯体の合成と不飽和有機分子との環化付加反応

モリブデンのシリレン錯体の合成にも成功し、二量体の結晶として単離した。この錯体は、溶液中では単量体との解離平衡にあり、単量体に大きく偏っていることを明らかにした。この錯体はタングステン錯体と同様に、アルキン類と[2+2]環化付加反応を起こし、4員環のメタラシラシクロプタジエンを与えた。さらに、トリメチルシリルアジドや1-アダマンタンアジドと速やかに反応し、これまでに前例のない3員環錯体であるシライミノアシル錯体を与えた。この錯体は、シリレン錯体として初めての[2+3]環化付加反応の後、窒素分子の脱離を経て生成したと考えられる。

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 8 件)

- ① Hisako Hashimoto, Hiromi Tobita, Recent Advances in the Chemistry of Transition Metal-Silicon/Germanium Triple-Bonded Complexes, *Coord. Chem. Rev.* 査読有, **2018**, 355, 362-379
- ② Tetsuya Fukuda, Hisako Hashimoto, Hiromi Tobita, NHC-Induced Conversion of a W-Ge Double Bond into the Triple Bond through Formation of W-Ge single and Double Bonded Intermediates, *J. Organomet. Chem.* 査読有, **2017**, 848,

- ③ Hisako Hashimoto, Katsuto Komura, Takatoshi Ishizaki, Yuto Odagiri, Hiromi Tobita, Hydrogen-bridged bis(silylene) complexes of ruthenium and iron: synthesis, structures and multi-centre bonding interactions at the M-Si-H-Si four-membered ring, 査読有, *Dalton Trans.* **2017**, 46, 8701-8704
- ④ Dungana, Prasad Tara, H. Hashimoto, H. Tobita, An Iron Germylene Complex Having Fe-H and Ge-H Bonds: Synthesis, Structure and Reactivity, *Dalton Trans.* 査読有, **2017**, 46, 8167-8179
- ⑤ Takashi Yoshimoto, Hisako Hashimoto, Naoki Hayakawa, Tsukasa Matsuo, Hiromi Tobita, A Silylyne Tungsten Complex with an Eind Group: Its Dimer-Monomer Equilibrium and [2+2] Cycloaddition Reactions with C=N and C=O Compounds, *Organometallics* 査読有, **2016**, 35, 3444-3447.
- ⑥ Tetsuya Fukuda, Hisako Hashimoto, Shigeyoshi Sakaki, Hiromi Tobita, Stabilization of a Silaldehyde by its η^2 -Coordination to Tungsten, *Angew. Chem. Int. Ed.* 査読有, **2016**, 55, 188-192.
- ⑦ Tetsuya Fukuda, Takashi Yoshimoto, Hisako Hashimoto, Hiromi Tobita, Synthesis of a Tungsten-Silylyne Complex via a Stepwise Hydrogen Abstraction from a Hydrido(hydrosilylene) Complex, *Organometallics* 査読有, **2016**, 35, 921-924
- ⑧ Tetsuya Fukuda, Hisako Hashimoto, Hiromi Tobita, Unexpected Formation of NHC-Stabilized Hydrosilylyne Complexes via Alkane Elimination from Hydrido(alkylsilylene) Complexes, *J. Am. Chem. Soc.* 査読有, **2015**, 137(34), 10906-10909.
- [学会発表] (計 42 件)
- ① Hisako Hashimoto, Takashi Yoshimoto, Naoki Hayakawa, Tsukasa Matsuo, Hiromi Tobita, Synthesis and Some Peculiar Properties of a Transition-Metal Complex Having a Metal-Silicon Triple Bond, International Congress on Pure & Applied Chemistry (ICPAC) 2018, 2018年3月, Siem Reap, Cambodia (招待)
- ② 吉本崇志, 橋本久子, 早川直輝, 松尾司, 飛田博実, シリリンタングステン錯体とアルキンとの反応: [2+2]環化付加反応によるシラメタラシクロブタジエンの生成, 日本化学会第98春季年会, 2018年3月, 船橋
- ③ Dungana, Prasad Tara, 橋本久子, 飛田博実, Synthesis and Structure of a Complex Having an Mo-Ge Triple Bond, 日本化学会第98春季年会, 1A8-02, 2018年3月, 船橋
- ④ 鈴木ふゆ美, 橋本久子, 飛田博実, 金属-ケイ素二重結合をもつアニオン性錯体のアルデヒドおよびアルキンとの反応, 第11回理学・生命科学2研究科合同シンポジウム, P23, 2018年2月, 仙台
- ⑤ 吉本崇志, 橋本久子, 早川直輝, 松尾司, 飛田博実, Eind基を有するタングステンシリリン錯体とオルト位に置換基を持つ芳香族アルデヒドとの反応, 第21回ケイ素化学協会シンポジウム, P70, 2017年10月, 蔵王
- ⑥ 野中寛之, 橋本久子, 飛田博実, ヒドリド(シリレン)ルテニウム錯体を触媒としたジヒドロシランとアルデヒドからのジアルコキシシランの生成, 第21回ケイ素化学協会シンポジウム, 2017年10月, 蔵王
- ⑦ 渡邊晃平, 橋本久子, 早川直輝, 松尾司, 飛田博実, モリブデン-ケイ素三重結合錯体の合成と性質, 錯体化学会第67回討論会, 2017年9月, 札幌
- ⑧ 鈴木ふゆ美, 橋本久子, 飛田博実, アニオン性(ヒドロシリレン)タングステン錯体とカルボニル化合物等との反応, 錯体化学会第67回討論会, 2017年9月, 札幌
- ⑨ 吉本崇志, 橋本久子, 早川直輝, 松尾司, 飛田博実, シリリンタングステン錯体とアルキンとの[2+2]環化付加反応, 第64回有機金属化学討論会, 2017年9月, 仙台
- ⑩ Dhungan Prasad Tara, Hisako Hashimoto, Hiromi Tobita, Reactions of a Hydrido(hydrogermylene)iron Complex with Polar Unsaturated Organic Compounds, Tohoku University's Chemistry Summer School 2017, 2017年8月, 仙台
- ⑪ 吉本崇志, 橋本久子, 早川直輝, 松尾司, 飛田博実, Reactions of a Tungsten Complex Having a Metal-Silicon Triple Bond with Aldehydes, Tohoku University's Chemistry Summer School 2017, P-65, 2017年8月, 仙台
- ⑫ 野中寛之, 橋本久子, 飛田博実, Catalytic Hydrosilylation Reactions of Aldehydes and Ketones with Dihydrosilanes Mediated by a Ru=Si Double-Bonded Complex, Tohoku University's Chemistry Summer School 2017, 2017年8月, 仙台

- ⑬ 橋本久子, 小村克斗, 石崎隆敏, 小田桐悠斗, 飛田博実, Hydrogen-Bridged Bis(silylene) Complexes of Ruthenium and Iron Featuring a Four-Center Bonding Interaction at the MSi_2H Moiety, 18th International Symposium on Silicon Chemistry in Conjunction with 6th Asian Silicon Symposium, 2017年8月, Ji'nan, China
- ⑭ 吉本崇志, 橋本久子, 早川直輝, 松尾司, 飛田博実, Reactions of a Silylyne Complex Having an Eind Group on Its Silicon Atom with Benzaldehyde and Pivalaldehyde”18th International Symposium on Silicon Chemistry in Conjunction with 6th Asian Silicon Symposium, 2017年8月, Ji'nan, China.
- ⑮ Hisako Hashimoto, Tetsuya Fukuda, Shigeyoshi Sakaki, Hiromi Tobita, Tungsten Complexes Coordinated by an η^2 -Silaaldehyde, International Symposium on Pure & Applied Chemistry (ISPAC 2017), Ho Chi Minh City, Vietnam, June 8-10, 2017 (招待)
- ⑯ 吉本崇志, 橋本久子, 早川直輝, 松尾司, 飛田博実, ケイ素上に Eind 基を有するタングステンシリリン錯体とアルデヒドおよびアルジミンとの反応, 日本化学会第97春季年会, 2017年3月16日, 横浜
- ⑰ 野中寛之, 橋本久子, 飛田博実, ヒドリド(シリレン)ルテニウム錯体を触媒とするアルデヒドまたはケトンとジヒドロシランとの反応, 日本化学会第97春季年会, 2017年3月16日, 横浜
- ⑱ Hisako Hashimoto, Takashi Yoshimoto, Hiroyuki Nonaka, Naoki Hayakawa, Tsukasa Matsuo, Hiromi Tobita, Reactions of Metal-Silicon Double and Triple Bonded Complexes with Unsaturated Organic Substrates, The 2nd International Symposium on Stimuli-responsive Chemical Species for the Creation of Functional Molecules, March 7, 2017, Hiroshima (依頼)
- ⑲ Dhungan Prasad Tara, 橋本久子, 飛田博実, Reactions of an Iron-Germanium Double Bond Complex with Organic Substrates Having C=N, C≡N, C=O, and C=S Bonds, 第10回6専攻合同シンポジウム, 2017年2月17日, 仙台
- ⑳ 吉本崇志, 橋本久子, 早川直輝, 松尾司, 飛田博実, シリリン錯体とベンズアルデヒドの反応: W-Si-O-C 四員環メタラサイクルの生成およびシラン酸エステルへの分解, 第43回有機典型元素化学討論会, P-97, 2016年12月8-10日, 仙台
- 21 橋本久子, 低原子価ケイ素化学種の配位化合物, 錯体化学若手の会東北支部勉強会, 2016年11月5日, 仙台(招待)
- 22 萩庭莞爾, 橋本久子, 飛田博実, 陽イオン性水素架橋ビス(シリレン)ロジウム錯体の合成とケトンおよびニトリルとの反応, 第20回ケイ素化学協会シンポジウム, 2016年10月7日, 広島
- 23 吉本崇志, 橋本久子, 早川直輝, 松尾司, 飛田博実, シリリンタングステン錯体とC=N および C=O 二重結合を有する不飽和有機基質との反応, 第20回ケイ素化学協会シンポジウム, 2016年10月7日, 広島
- 24 橋本久子, 白岩礼士, 飛田博実, ヒドリド(ジアルキルシリレン)鉄錯体の合成, 構造および不飽和有機分子との反応, 第20回ケイ素化学協会シンポジウム, 2016年10月7日, 広島
- 25 Dhungan Prasad Tara, 橋本久子, 飛田博実, Fe-H および Ge-H 結合を持つゲルミレン鉄錯体と幾つかの不飽和有機化合物との反応, 第63回有機金属化学討論会, 2016年9月16日, 東京
- 26 吉本崇志, 橋本久子, 早川直輝, 松尾司, 飛田博実, Reactions of a Tungsten Silylyne Complex with Aldehydes: Formation of Dimers of Silanone via Formal Metathesis Reactions, 第63回有機金属化学討論会, 01-09, 2016年9月14日, 東京
- 27 Hisako Hashimoto, Tetsuya Fukuda, Hiromi Tobita, Silicon and Germanium Analogs of Carbyne Complexes: Synthesis, Structure, and Some Reactions, IKM International Symposium on Pure & Applied Chemistry (ISPAC 2016), Kuching, Malaysia, August 16-18, 2016 (招待)
- 28 橋本久子, 福田 哲也, 飛田博実, Synthesis and structure of anionic η^2 -sila-aldehyde-tungsten complexes, 27th International Conference on Organometallic Chemistry, 2016年7月19日, Melbourne, Australia
- 29 吉本崇志, 橋本久子, 早川直輝, 松尾司, 飛田博実, Dimeric Tungsten Silylyne Complex: Its Dimer-Monomer Dissociation Equilibrium and Reactions with Unsaturated Organic Substrates, 47th Silicon Symposium, 2016年6月19-22日, Portland, USA
- 30 橋本久子, 福田 哲也, 榊 茂好, 飛田博実, アニオン性シリリンタングステン錯体の酸素化反応: アニオン性・2-シラアルデヒド錯体の単離, 新学術研究領域「感応性化学種」第6回公開シンポジウム, 2016年5月20日, 東広島
- 31 吉本崇志, 橋本久子, 早川直輝, 松尾司, 飛田博実, Synthesis of a dimeric silylyne

- tungsten complex and its dissociation equilibrium with a monomer in solution, The 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM), 2015年12月18日, Hawaii, Honolulu.
- 32 福田哲也, 橋本久子, 飛田博実, Isolation of anionic η^2 -silaaldehyde-tungsten complexes, The 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM), P2A-19, 2015年12月16日, Hawaii, Honolulu
- 33 吉本崇志, 橋本久子, 早川直輝, 松尾司, 飛田博実, Formation of a Tungsten-silylyne Complex and its Monomer-dimer Dissociation Equilibrium in Solution, Stimulating Meeting for Young Researchers in Chemistry on Stimuli-responsive Chemical Specie, 2015年11月12日, 京都
- 34 吉本崇志, 福田哲也, 橋本久子, 早川直輝, 松尾司, 飛田博実, ヒドリド (ヒドロシリレン) 錯体の段階的脱水素化反応によるシリレン錯体の合成およびその構造, 第19回ケイ素化学協会シンポジウム, P65, 2015年10月23日, 滋賀
- 35 Dhungan Prasad Tara, 橋本久子, 飛田博実, Synthesis and Structures of hydrido(germylene) iron complexes and their reactivity toward unsaturated organic substrates, 第65回錯体化学討論会, 2015年9月22日, 奈良
- 36 萩庭莞爾, 橋本久子, 飛田博実, 陽イオン性水素架橋ビス (シリレン) ロジウム錯体の合成と性質, 第65回錯体化学討論会, 2015年9月21日, 奈良
- 37 吉本崇志, 橋本久子, 早川直輝, 松尾司, 飛田博実, シリリントングステン錯体二量体とカルボニル化合物との反応, 第62回有機金属化学討論会, 2015年9月8日, 大阪
- 38 吉本崇志, 橋本久子, 早川直輝, 松尾司, 飛田博実, Formation of a Tungsten Complex Having a Metal-Silicon Triple Bond and Its Monomer-dimer Dissociation Equilibrium, Tohoku University's Chemistry Summer School 2015, 2015年8月27日, 仙台
- 39 Hisako Hashimoto, Tetsuya Fukuda, Takashi Yoshimoto, Naoki Hayakawa, Tsukasa Matsuo, Hiromi Tobita, Tungsten/-Silicon Triple Bonded Complexes: Syntheses and Structures, The Golden Jubilee Chemistry Conference (GJCC), Singapore, August 6-8, 2015 (招待)
- 40 橋本久子, タングステン-ケイ素/ゲルマニウム三重結合錯体の合成とその性質, 第32回無機・分析化学コロキウム, 2015年6月5日, 川渡
- 41 吉本崇志, 橋本久子, 早川直輝, 松尾司, 飛田博実, ケイ素上にEind基を有するシリレン錯体の合成およびその二量体との解離平衡, 第32回無機・分析化学コロキウム, 2015年6月5日, 川渡
- 42 橋本久子, 福田哲也, 吉本崇志, 早川直輝, 松尾司, 飛田博実, タングステン-ゲルマニウム/ケイ素三重結合錯体の新規合成”, 新学術領域研究「感応性化学種」第4回公開シンポジウム 2015年5月23日, 京都

[図書] (計 1 件)

- ① Hisako Hashimoto, Chapter 21 “Tungsten- and ruthenium-silylene complexes,” in “Efficient Methods for Preparing Silicon Compounds,” ed by Herbert W. Roesky, Elsevier, **2016**, Chap. 21, pp261-267. ISBN :9780128035306.

[その他]

ホームページ等

<http://inorg.chem.tohoku.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋本 久子 (HASHIMOTO HISAKO)
 東北大学・大学院理学研究科・准教授
 (2018.1.1 より教授)
 研究者番号：60291085

(3) 連携研究者

飛田 博実 (TOBITA HIROMI)
 東北大学・大学院理学研究科・教授
 研究者番号：30180160

(4) 研究協力者

福田 哲也 (FUKUDA Tetsuya)
 吉本 崇志 (YOSHIMOTO Takashi)
 石崎 隆敏 (ISHIZAKI Takatoshi)
 西村 公彦 (NISHIMURA Kimihiko)
 小村 克斗 (KOMURA Katsuto)
 萩庭 莞爾 (HAGINIWA Kanji)
 白岩 礼士 (SHIRAIWA Norihito)
 野中 寛之 (NONAKA Hiroyuki)
 渡邊 晃平 (WATANABE Kohei)
 鈴木 ふゆ美 (SUZUKI Fuyumi)