

令和 2 年 6 月 17 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H03782

研究課題名(和文) 遷移金属 ケイ素・ゲルマニウム多重結合の反応性の特徴を活かした分子変換反応の開発

研究課題名(英文) Development of Molecular Conversion Reactions Taking Advantage of the Reactivity of Transition Metal-Silicon/Germanium Multiple Bonds

研究代表者

飛田 博実 (TOBITA, Hiromi)

東北大学・理学研究科・教授

研究者番号：30180160

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：高周期14族元素であるケイ素またはゲルマニウムと遷移金属との間に二重結合や三重結合などの多重結合を持つ新規錯体を多数合成し、それらの特徴的な分子構造を明らかにした。また、これらと様々な有機分子との反応を検討し、金属-14族元素多重結合が関与する環化付加反応などの幾つかの新しいタイプの反応を発見した。さらに、これらの錯体の反応性の特徴を活かして、これらの錯体を試薬または触媒とする幾つかの有機分子変換反応の開発に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

炭素と遷移金属との間に多重結合を持つ錯体(カルベン錯体等)は、オレフィン・メタセシス反応等の触媒として有機合成化学において極めて重要な役割を果たしているが、その高周期14族元素類縁体の反応性の解明や応用に関する研究はほとんど進んでいなかった。本研究では、ケイ素およびゲルマニウム類縁錯体の系統的な合成と反応性の解明、さらに分子変換反応への応用に成功した。地球上に無尽蔵に存在するケイ素の有効利用に向けて、その社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：We synthesized a number of new complexes containing transition metal-heavier Group 14 element (Si, Ge) multiple bonds (double bonds, triple bonds, etc.), and clarified the characteristic molecular structures of them. We examined the reactions of them with various organic molecules, and discovered several new types of reactions such as cycloaddition reactions, in which the metal-Group 14 element multiple bonds played important roles. Moreover, taking advantage of the characteristic reactivity of these complexes, we succeeded in developing some transformation reactions of organic molecules mediated or catalyzed by these complexes.

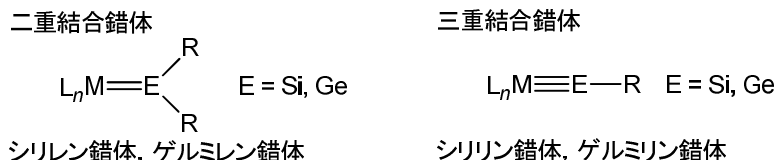
研究分野：有機金属化学，錯体化学

キーワード：有機金属錯体 遷移金属錯体 二重結合 三重結合 ケイ素 ゲルマニウム 環化付加反応 触媒

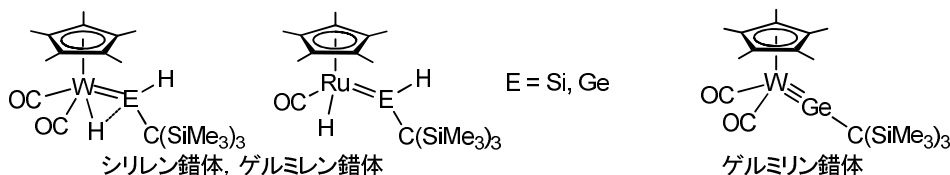
## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

遷移金属と炭素との間に多重結合を持つカルベン錯体およびカルピン錯体は、多重結合部分に高い被占軌道と低い空軌道を持ち、遷移金属中心の配位数や酸化状態の柔軟さと相まって、オレフィン・メタセシス反応をはじめとするユニークかつ有用な反応を実現できる触媒となるため、有機合成化学における重要性は計り知れない。一方、これらの錯体の炭素を同じ 14 族元素であるケイ素やゲルマニウムに換えた、遷移金属とケイ素・ゲルマニウム間に多重結合を持つ錯体(下図参照)は、20 世紀末頃から、高い置換基等によって安定化された錯体が種々合成されてきた。しかしながら、その多くは安定に単離することを主目的として高い置換基等により過剰に安定化されていたため、通常のサイズの有機分子とは反応せず、反応性に関する研究は遅々として進まなかった。



我々は以前、高い置換基を持つトリヒドロシランまたはトリヒドロゲルマンと配位不飽和遷移金属錯体との反応により、金属上およびケイ素・ゲルマニウム上の両方に水素を持つシリレン錯体およびゲルミレン錯体の合成に成功した。これらの錯体は、金属 ケイ素・ゲルマニウム二重結合の周りが、高の小さい水素の存在により比較的空いていたため、それ以前の錯体と比べて遥かに多様な有機分子と容易に反応することを見出し、系統的な反応研究により代表的な不飽和有機分子との基本的な反応性を明らかにした。さらに、本研究課題を申請する直前に、ヒドリド(ヒドロゲルミレン)タングステン錯体からイソシアナートによって水素原子 2 個を引き抜き、金属 ゲルマニウム三重結合を持つゲルミリン錯体を合成することに成功した。以上を背景として、機は熟したと判断し、本研究課題の申請を行った。



### 2. 研究の目的

本研究では、適度な安定性と高い反応性を併せ持つ錯体を精密に設計して合成し、それらを駆使して様々な有機・無機分子との反応を実験的に研究し、遷移金属 ケイ素/ゲルマニウム多重結合の反応性を明らかにすると共に、理論計算の助けを借りて、炭素、ケイ素およびゲルマニウムの類縁錯体間での反応性の類似点と相違点を合理的に説明することを目指した。

具体的には、以下の 4 つの目標を掲げて研究を行った。

- (1) 遷移金属 ケイ素・ゲルマニウム二重結合および三重結合錯体の精密設計と合成
- (2) 遷移金属 ケイ素・ゲルマニウム多重結合錯体を用いた多様な有機・無機分子の新しい分子変換反応の開発
- (3) 遷移金属 ケイ素・ゲルマニウム多重結合錯体を用いた様々な触媒反応の開発と機構研究
- (4) 遷移金属 ケイ素・ゲルマニウム多重結合錯体を用いた不活性分子・不活性結合の活性化

### 3. 研究の方法

(1) 我々は既に、遷移金属 ケイ素・ゲルマニウム二重結合および三重結合を持つ、反応性の高い幾つかの錯体の合成に成功していたが、依然として目指す構造を持つ錯体を自在に合成できるという段階からは程遠かった。そこで、①遷移金属フラグメント、②ケイ素・ゲルマニウム上の置換基、および 二重結合、三重結合の構築法を種々変えて新しい錯体の合成を試み、錯体合成法に改良を加えながら高活性かつ高安定性の錯体の創出を目指した。

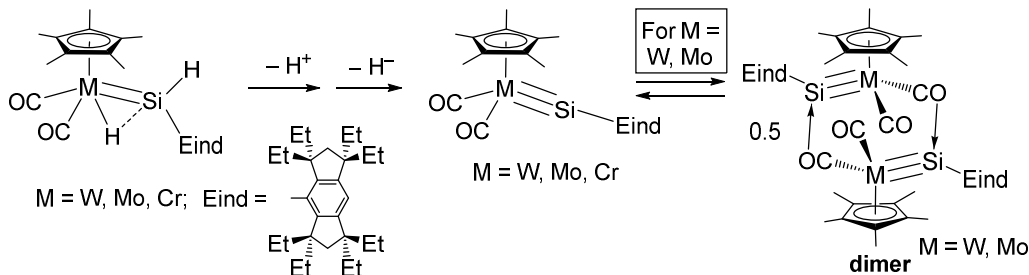
(2) 合成した遷移金属 ケイ素・ゲルマニウム二重結合および三重結合錯体と種々の有機・無機分子とを反応させ、生成物の単離とキャラクタリゼーション、および反応の速度論的研究と生成物や中間体の分子軌道法計算を行うことにより、遷移金属 ケイ素・ゲルマニウム多重結合による新しい分子変換反応の発見を目指した。特に、生成物や中間体での転位反応や動的挙動に注目して研究を行った。

(3) 遷移金属 ケイ素・ゲルマニウム多重結合錯体は、ケイ素・ゲルマニウム中心がルイス酸としてドナー性基質を取り込む一方、それに隣接する遷移金属中心は配位、酸化的付加等により異なるタイプの基質を取り込むことができる。また、この多重結合部分は有機基質の不飽和結合と環化付加反応を起こすこともできる。これらのユニークな性質を利用して、これらの錯体を触媒とする分子変換反応の開発を目指した。最も典型的な反応としてカルボニル化合物のヒドロシリル化反応に重点を置いて研究を進めた。

### 4. 研究成果

### (1) Eind 基をケイ素上に持つシリリントングステン, モリブデンおよびクロム錯体の合成

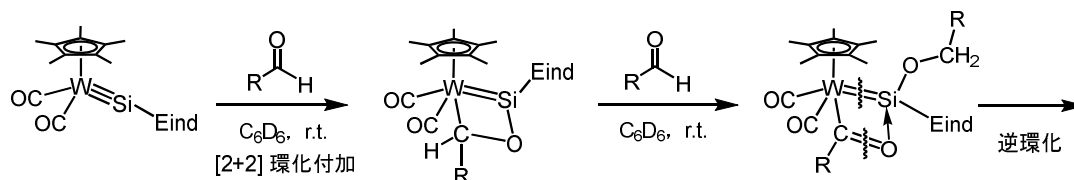
遷移金属と高周期 14 族元素との間に三重結合を持つ錯体は, 2 価の 14 族元素化学種と遷移金属錯体との反応を用いて既に幾つか合成されていたが, 限られた特殊な 14 族元素化学種を原料として用いなければならないという欠点があった。これに対し, 我々は本研究課題を始める少し前に, ヒドリド(ヒドロゲルミレン)タングステン錯体から水素を引き抜くことによって, タングステン-ゲルマニウム三重結合を持つゲルミリン錯体を合成する方法を見出していた。本研究では, まずこの方法のシリリン錯体合成への応用を目指した。最初にゲルマニウムの場合と同様にイソシアナートによる水素引き抜きを試みたが, うまくいかなかった。そこで, 様々な反応を試みた結果, 最終的に, *N*-ヘテロ環式カルベン(NHC)でプロトンを引き抜いてアニオン性シリレン錯体に誘導した後, ルイス酸性の強いボランでヒドリドを引き抜くことによって, シリリン錯体を合成できることを見出した。この方法は一般性があり, タングステンだけでなくモリブデンおよびクロムでも比較的高収率でシリリン錯体を合成できることが分かった。



合成したケイ素上に Eind 基を持つシリリン錯体のうち, タングステンおよびモリブデンの錯体は結晶中では八員環骨格を持つ二量体として存在するのに対し, クロム錯体は結晶中でも単量体であった。また, 前者の二つは溶液中では二量体と単量体との間に速い解離平衡が存在し, 室温ではタングステン錯体は二量体側に, モリブデン錯体は単量体側に平衡が偏っていることが分かった。

### (2) シリリン錯体と幾つかの有機分子との反応

①アルデヒドとの反応: Eind 基を有するシリリントングステン錯体は, 2 分子のアルデヒドときれいに反応し, ホルミル水素の分子内転位を伴って, 四員環メタラサイクルを与えることが分かった。生成した四員環は, 加熱すると逆環化を起こして W-C 三重結合を持つカルピン錯体と Si=O 結合を持つシラン酸エステルを生成し, 後者はさらに head-to-tail 型で二量化して 1,3-シクロジシロキサンを与えることを見出した。この四員環メタラサイクルの逆環化反応は前例のない反応であり, Si=O 結合化学種を温和な条件で発生する稀有な反応としても重要である。



アルキンとの反応: タングステン, モリブデンおよびクロムのシリリン錯体はアルキンと[2+2]環化付加反応を起こし, シラメタラシクロブタジエンを与えることを見出した。X 線結晶構造および NMR データから, 生成物の四員環骨格は金属が負に, -炭素が正に分極し, ケイ素と -炭素との間に弱い結合を持つ双性イオン型の極限構造の寄与を強く持つことが分かった。

### (3) カチオン性メタロゲルミレンおよびゲルミリン錯体の合成と反応

NHC で安定化されたクロロゲルミレントングステン錯体から塩化物イオンを引き抜いて合成できる, イミダゾリウム基を持つカチオン性メタロゲルミレンおよびゲルミリン錯体は, いずれも中性の類縁体より反応性が高いことを見出した。例えば, ゲルミリン錯体の W-Ge 三重結合部分の反応性を比較すると, トリシル基((Me<sub>3</sub>Si)<sub>3</sub>C)を持つ中性錯体では二水素, アルキン, ピリジンのいずれとも反応しないのに対し, 上記カチオン錯体ではこれらの分子と容易に反応し, 付加生成物または特異な環化付加生成物を与えた。

### (4) ヒドリド(ゲルミレン)鉄錯体の合成と反応

ピリジン配位として持つヒドロゲルミル鉄錯体をトリフェニルボランで処理したところ, ピリジンがボラン付加体として外れ, 水素の 1,2-転位を伴ってヒドリド(ゲルミレン)鉄錯体が赤紫色結晶として得られた。この錯体は様々な有機分子と反応し, ニトリルは鉄中心に配位するのに対し, ケトン, アルデヒドおよびイソシアナートとはヒドロゲルミル化生成物を与え, イソチオシアナートとの反応では C=S 結合の開裂を伴ってイソニトリルとゲルマンチオラトが配位した錯体が生成した。

### (5) 水素架橋ビス(シリレン)錯体の合成と反応

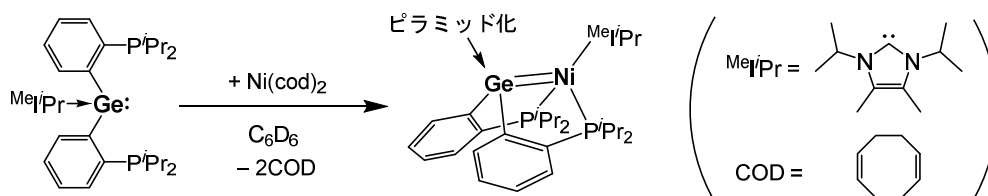
①ジヒドロジシランと配位不飽和タングステンまたはモリブデン錯体との反応により, 水素原子が 2 つのシリレン配位子を架橋した特異な構造を持つ錯体の合成・単離に成功した。この錯体は, 同一金属上にあるヒドロシリル配位子からシリレン配位子へ水素が 1,3-転位する反応の遷移状態のスナップショットとみなせる学術的に重要な化合物である。当初, この四員環メタラサイクルを速度論的に安定化するために *t*-ブチル基を持つ錯体を合成したが, 最終的にはケイ素

上の置換基が全てメチル基である水素架橋ビス(シリレン)錯体の合成・単離にも成功した。この錯体は、*t*-Bu 基を持つ錯体よりも反応活性であり、イソシアナートやカルボジイミドとも室温で容易に反応して独特の付加生成物を与えた。

ロジウムのカチオン性水素架橋ビス(シリレン)錯体を、クロロロジウム錯体とジヒドロシランから *in situ* で発生させる方法を見出した。この水素架橋ビス(シリレン)錯体は様々な極性有機分子と反応し、環化付加生成物を高収率で与えることを明らかにした。

#### (6) ピラミッド化したゲルマニウム中心を持つゲルミレンニッケル錯体の合成

新しく開発した三座配位子である PGeP 型ピンサーゲルミレン配位子を用い、ピラミッド化したゲルマニウム中心を持つ初めてのゲルミレンニッケル錯体の合成に成功した。この錯体の Ge=Ni 結合の特異な軌道相互作用を DFT 計算によって明らかにすると共に、幾つかの求核剤および求電子剤との反応を検討し、ピラミッド化したゲルマニウム中心が求電子性と求核性の両方を示すことを明らかにした。



#### (7) アニオン性シリレンタングステン錯体の単離と反応

アニオン性シリレンタングステン錯体は、上記の(1)で述べたシリレン錯体合成の中間体として得られる。この錯体は中性のシリレン錯体よりも反応性の高い W=Si 二重結合を持ち、アールアルデヒドおよび末端アルキンと反応して、いずれも [2+2] 環化付加生成物を与えることを見出した。また、アセトニトリルとの反応では、メチル基の C-H 結合が W=Si 二重結合に付加して、アニオン性のヒドリド(シアノメチル)錯体が生成するのに対し、アールニトリルとの反応を DMAP 存在下で行うと、W-C-N 骨格を持つ中性の三員環メタラサイクルが得られることが分かった。

#### (8) ゲルミリンモリブデンおよびクロム錯体の合成と構造

「1. 研究開始当初の背景」でも述べたように、ゲルミリンタングステン錯体はヒドリド(ヒドロゲルミレン)錯体とイソシアナートとの反応により高収率で得られる。これに対し、対応するモリブデンおよびクロムの錯体は、光化学的な脱離反応をうまく利用することで合成・単離に成功し、構造を決定した。

#### (9) 遷移金属 ケイ素/ゲルマニウム多重結合錯体の触媒作用

①ヒドリド(ジアルキルシリレン)ルテニウム錯体は、ケトン、エステルおよびアルデヒドのヒドロシリル化反応の触媒となることを見出した。例えば、ジヒドロシランとアルデヒドとの反応では、2分子のアルデヒドが取り込まれてジアルコキシシランが生成した。

上記の(8)で合成したゲルミリンモリブデン錯体は、温和な加熱条件下でアルデヒドおよびケトンのヒドロシリル化反応の触媒となることを見出した。これは、金属-ゲルマニウム三重結合が触媒となって、隣り合った金属とゲルマニウムの共同作用で触媒反応が進行した初めての例である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 T. Yoshimoto, H. Hashimoto, M. Ray, N. Hayakawa, T. Matsuo, J. Chakrabarti, H. Tobita	4. 巻 49
2. 論文標題 Products of [2+2] Cycloaddition between a W Si Triple-bonded Complex and Alkynes: Isolation, Structure, and Non-classical Bonding Interaction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 311-314
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.190952	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 T. Watanabe, Y. Kasai, H. Tobita	4. 巻 25
2. 論文標題 A Nickel Complex Containing a Pyramidalized, Ambiphilic Pincer Germylene Ligand	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 13491-13495
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201903069	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 T. Yoshimoto, H. Hashimoto, N. Takagi, S. Sakaki, N. Hayakawa, T. Matsuo, H. Tobita	4. 巻 25
2. 論文標題 Reactions of a Silylyne Complex with Aldehydes: Formation of W-Si-O-C Four-Membered Metallacycles and Their Metathesis-Like Fragmentation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 3795-3798
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201900457	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 T. Dhungana, H. Hashimoto, H. Tobita	4. 巻 2017
2. 論文標題 An iron germylene complex having Fe-H and Ge-H bonds: synthesis, structure and reactivity	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 8167-8179
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7dt01159h	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 T. Fukuda, H. Hashimoto, H. Tobita	4. 巻 848
2. 論文標題 NHC-Induced Conversion of a W-Ge Double Bond into the Triple Bond through Formation of W-Ge Single and Double Bonded Intermediates	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Organometallic Chemistry	6. 最初と最後の頁 89-94
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jorganchem.2017.07.027	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 Z. Hui, T. Watanabe, H. Tobita	4. 巻 36
2. 論文標題 Synthesis of Base-Stabilized Hydrido(hydroborylene)Tungsten Complexes and Their Reactions with Terminal Alkynes To Give 3-Boraallyl Complexes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Organometallics	6. 最初と最後の頁 4816-4824
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.organomet.7b00723	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 H. Hashimoto, H. Tobita	4. 巻 355
2. 論文標題 Recent Advances in the Chemistry of Transition Metal-Silicon/Germanium Triple-Bonded Complexes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Coordination Chemistry Reviews	6. 最初と最後の頁 362-379
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ccr.2017.09.023	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 T. Yoshimoto, H. Hashimoto, N. Hayakawa, T. Matsuo, H. Tobita	4. 巻 35
2. 論文標題 A Silylyne Tungsten Complex Having an Eind Group on Silicon: Its Dimer-Monomer Equilibrium and Cycloaddition Reactions with Carbodiimide and Diaryl Ketones	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Organometallics	6. 最初と最後の頁 3444-3447
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.organomet.6b00670	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 H. Hashimoto, K. Komura, T. Ishizaki, Y. Odagiri, H. Tobita	4. 巻 -
2. 論文標題 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	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7dt00505a	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 T. Fukuda, H. Hashimoto, H. Tobita	4. 巻 137
2. 論文標題 Unexpected Formation of NHC-Stabilized Hydrosilylyne Complexes via Alkane Elimination from NHC-Stabilized Hydrido(alkylsilylene) Complexes	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 10906-10909
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.5b06366	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 K. Inomata, T. Watanabe, Y. Miyazaki, H. Tobita	4. 巻 137
2. 論文標題 Insertion of a Cationic Metallogermylene into E-H Bonds (E = H, B, Si)	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 11935-11937
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.5b08169	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 T. Fukuda, H. Hashimoto, S. Sakaki, H. Tobita	4. 巻 55
2. 論文標題 Stabilization of a Silaldehyde by its eta2 Coordination to Tungsten	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 188-192
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201507956	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 T. Fukuda, T. Yoshimoto, H. Hashimoto, H. Tobita	4. 巻 35
2. 論文標題 Synthesis of a Tungsten-Silylyne Complex via Stepwise Proton and Hydride Abstraction from a Hydrido Hydrosilylene Complex	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Organometallics	6. 最初と最後の頁 921-924
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.organomet.6b00095	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 飛田 博実	4. 巻 1
2. 論文標題 遷移金属 - ケイ素 / ゲルマニウム多重結合の化学 二重結合と三重結合の構築法および反応性	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Organometallic News	6. 最初と最後の頁 8-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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12件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 H. Tobita
2. 発表標題 Dehydrogenative Formation of Metal-E (E = Ge, Si) Triple-Bonded Complexes from REH <sub>3</sub> and Their Reactivity to Organic Molecules
3. 学会等名 International Conference on the Coordination and Organometallic Chemistry of Germanium, Tin and Lead (ICCOG-GTL-16) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Yoshimoto, K. Watanabe, H. Hashimoto, H. Tobita
2. 発表標題 Unique Reactivity of Transition Metal-Silicon Triple-Bonded Complexes
3. 学会等名 28th International Conference on Organometallic Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 H. Tobita
2. 発表標題 Recent Developments in the Chemistry of Tungsten-Germanium/Silicon Triple-Bonded Complexes
3. 学会等名 43rd International Conference on Coordination Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Tobita
2. 発表標題 Reactions of Transition Metal-Silicon Triple-Bonded Complexes with Various Unsaturated Organic Molecules
3. 学会等名 18th Japan-Korea Joint Symposium on Organometallic and Coordination Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Tobita, Y. Kasai, T. Watanabe
2. 発表標題 Synthesis and Reactions of Novel Nickel Complexes Containing PGeP-Type Pincer Ligands
3. 学会等名 18th International Symposium on Silicon Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 飛田博実
2. 発表標題 遷移金属 - ケイ素 / ゲルマニウム結合 その特徴と反応性および触媒への応用
3. 学会等名 九州大学先導物質化学研究所非常勤講師 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. Tobita
2. 発表標題 Recent Developments in the Chemistry of Transition Metal Complexes Coordinated by Low-Valent Silicon and Germanium Species
3. 学会等名 27th International Conference on Organometallic Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 H. Tobita
2. 発表標題 Synthesis and Some Unique Reactions of Neutral and Cationic Tungsten-Germanium Multiple-Bonded Complexes
3. 学会等名 International Conference on the Coordination and Organometallic Chemistry of Germanium, Tin and Lead, 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 H. Tobita
2. 発表標題 Synthesis and Some Characteristic Reactions of Transition Metal-Germanium and -Silicon Triple-Bonded Complexes
3. 学会等名 17th Korea-Japan Joint Symposium on Organometallic and Coordination Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 H. Tobita, K. Inomata, T. Watanabe
2. 発表標題 Synthesis of Tungsten Complexes with Cationic Mono-Substituted Germanium Species as Ligands
3. 学会等名 5th Asian Conference on Coordination Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 H. Tobita
2. 発表標題 Transformation of Transition Metal-Silicon/Germanium Double Bonds into Triple Bonds
3. 学会等名 IUPAC-2015, 45th World Chemistry Congress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 H. Tobita
2. 発表標題 Novel Synthetic Approaches to Transition Metal-Germanium and -Silicon Triple-Bonded Complexes
3. 学会等名 The 5th Asian Silicon Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 荻野 博, 飛田 博実, 岡崎 雅明	4. 発行年 2016年
2. 出版社 東京化学同人	5. 総ページ数 358
3. 書名 基本無機化学 第3版	

1. 著者名 H. Tobita	4. 発行年 2016年
2. 出版社 Academic Press	5. 総ページ数 375-380
3. 書名 “Bis-silyl Chelate Ligand Precursor XantsilH <sub>2</sub> and Some Ruthenium Xantsil Complexes” in “Efficient Methods for Preparing Silicon Compounds”	

1. 著者名 H. Tobita	4. 発行年 2016年
2. 出版社 Academic Press	5. 総ページ数 381-384
3. 書名 “Silyl(silylene) Complexes of Iron and Ruthenium” in “Efficient Methods for Preparing Silicon Compounds”	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究協力者	福田 哲也  (FUKUDA Tetsuya)		
研究協力者	猪股 航也  (INOMATA Koya)		
研究協力者	吉本 崇志  (YOSHIMOTO Takashi)		
研究協力者	宮崎 義知  (MIYAZAKI Yoshikazu)		
研究協力者	小村 克斗  (KOMURA Katsuto)		

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	石崎 隆敏  (ISHIZAKI Takatoshi)		
研究協力者	小田桐 悠斗  (ODAGIRI Yuto)		
研究協力者	笠井 裕未  (KASAI Yumi)		
研究協力者	ドゥンガナ タラ プラサド  (DHUNGANA Tara Prasad)		
研究協力者	鈴木 ふゆ美  (SUZUKI Fuyumi)		
研究協力者	小林 勇斗  (KOBAYASHI Yuto)		
研究協力者	松岡 正紘  (MATSUOKA Masahiro)		
研究協力者	大村 啓貴  (OHMURA Hirotaka)		

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	橋本 久子 (HASHIMOTO Hisako)  (60291085)	東北大学・大学院理学研究科・教授  (11301)	
連携研究者	小室 貴士 (KOMURO Takashi)  (20396419)	東北大学・大学院理学研究科・助教  (11301)	
連携研究者	渡邊 孝仁 (WATANABE Takahito)  (90425413)	東北大学・大学院理学研究科・助教  (11301)	