

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：23903

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03777

研究課題名(和文) 高周期14族元素低配位化合物を活用した小分子変換・多成分連結反応の開拓

研究課題名(英文) Creation of Small Molecules Activation Reactions by Utilization of Heavier Group 14 Elements

研究代表者

笹森 貴裕 (Sasamori, Takahiro)

名古屋市立大学・大学院システム自然科学研究科・教授

研究者番号：70362390

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：エチレンやアセチレンなどの小さな有機分子から機能性ある有機分子を作り上げる有機反応は重要である。これまでは、稀少で毒性ある遷移金属元素の触媒を活用することで有用な小分子変換反応が開拓されてきた。本研究課題では、豊富な典型元素を活用し、小分子変換反応を達成することを目標として研究を行った。その結果、遷移金属を使わず、典型元素のゲルマニウムの三重結合化合物を使うことで、エチレンやアセチレンを活性化できることを見出し、最終的には、これまで遷移金属元素触媒でしか成し得なかった、アセチレンからベンゼン化合物を創る反応を、遷移金属フリーで進行させるゲルマニウム触媒の開発に成功した。

研究成果の概要(英文)：The catalytic activation of neutral small molecules followed by the formation of C-C bonds is a highly important method to increase the complexity and value of simple starting materials. Traditionally, transition-metal catalysts have been used for this purpose. However, similar C-C coupling reactions of neutral small organic molecules in the absence of a transition-metal catalyst remain largely unknown, although such "transition-metal-free" catalytic systems would be highly desirable in order to avoid the use of precious metals.

We have succeeded in the isolation of a compound with a Ge-Ge triple bond, and showed its high susceptibility to [2+2]cycloadditions in the presence of two molecules of an acetylene to afford the corresponding 1,2-digermbenzene. We also found that an isolable digermene can act as a precatalyst for the cyclotrimerization of arylacetylenes to afford the corresponding 1,2,4-triarylbenzenes with absolute selectivity.

研究分野：有機元素化学、有機金属化学

キーワード：典型元素 小分子活性化 ゲルマニウム ジゲルミン エチレン アセチレン ジゲルミン

1. 研究開始当初の背景

有機化学研究においては、小分子の分子変換反応開発は重要な課題であり、特にアミノ化反応、アルケンまたはアルキンの重合、カルボニルの還元（特に二酸化炭素）などの諸反応は様々な用途から重要視され、研究されている。これらの反応を含め、有機化学において重要と考えられる小分子変換反応は、そのほとんどが適切な遷移金属触媒・配位子の探索・開発により達成されている。一方、元素枯渇の問題を重視し、希少な遷移金属元素を用いた反応を、鉄をはじめとする比較的豊富な遷移金属元素で代替する研究も盛んに行われている。しかし、SiやP、Sなど、クラーク数の高い高周期典型元素であっても、その小分子変換への活用という観点ではほとんど研究が進んでいない。これは、典型元素化合物の高い安定性から、他の有機小分子を変換するほどの駆動力が得られないことに起因する。

申請者は、C, H, N, O など第二周期元素を基本骨格とする有機化学を幅広い元素へと展開するため、高周期典型元素の基本的性質解明について研究を続けてきた。特に、従来非常に反応活性で単離困難と考えられている、高周期典型元素を含む低配位化学種（多重結合化合物やカルベン類縁体など）に興味を持ち、かさ高い置換基による立体保護効果を活用する適切な分子設計により、これまでに例のないケイ素、ゲルマニウムなどの三重結合化合物、カルベンの高周期類縁体であるケイ素二価化学種（シリレン）をはじめとする安定な高周期典型元素低配位化合物を数多く創出した。特に高周期 14 族元素低配位化学種が、オレフィンやカルボニル、アミンなどと容易に反応することを見出している。

2. 研究の目的

本研究課題では、このような第二周期元素には見られない高周期 14 族元素低配位化合物の活用を目指した。これまで蓄積した高周期 14 族元素低配位化学種に関する系統的な知見とそれに基づく緻密な分子設計を駆使し、遷移金属元素を用いることなく、高周期典型元素の性質を活用した新規な多成分小分子活性化反応を開発することを目的とする。最終的には小分子活性化につぐ分子変換を見出し、「典型元素触媒」の開発を目標とし、触媒開発の基盤となる知見をまとめる。

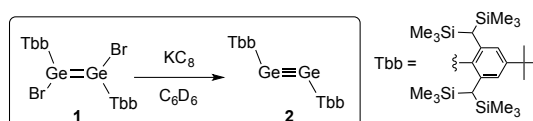
3. 研究の方法

新規な高周期 14 族元素低配位化学種を活用した小分子活性化反応開発研究として、**安定な高周期 14 族元素多重結合化合物**を対象を絞り、その化合物合成と性質解明、小分子活性化反応の検討を行う。まずは(i)既報の安定な低配位化学種と小分子との反応性の

検討、により基礎的知見を固める。この結果に基づき(ii)目的に合致した新規な低配位化学種的设计、合成検討、小分子活性化反応の検討を行う。対象とする低配位化学種は、三重結合化合物・二重結合化合物の二種類に絞り、それぞれについて(i)(ii)について研究を進める。具体的には、アルケン、アルキン、カルボニル化合物、アミン類、との反応性を検討し、最終的には水素ガスによる還元や、芳香族化合物共存下で反応を行うことで、芳香族置換反応への適用の可能性について検討する。

4. 研究成果

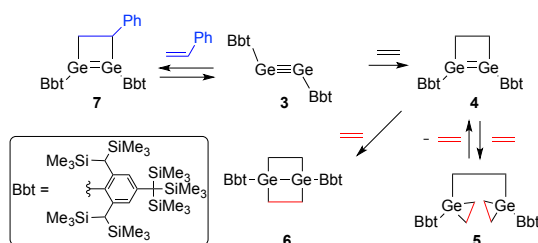
(1) 安定なゲルマニウム間三重結合化合物「ジゲルミン」の合成・単離



まず、小分子活性化が期待できる典型元素活性種として、ゲルマニウム間三重結合化合物「ジゲルミン」の合成¹を行った。ジゲルミンの単離に必要な立体保護基として、図に示す Tbb 基を選定した²。TbbLi と GeBr₂・dioxane との反応により、ジプロモジゲルメン **1** を合成・単離した³。これを KC₈ を用いて還元することにより、ジゲルミン **2** を安定なオレンジ色結晶として合成・単離することに成功した。ジゲルミン **2** は、Ge-Ge-C 角が約 130°と折れ曲がっており、炭素間三重結合とは顕著に異なる分子構造をとっていた。理論計算から、この折れ曲がり構造に起因して、ジゲルミン **2** は低い LUMO レベルと二種類の異なる π 結合を持つため、ユニークな反応性を示すことが示唆された。

(2) ジゲルミンとアルケン類の反応

Tbb 基とよく似た置換基である Bbt 基を有するジゲルミン **3** は既知化合物であり⁴、まずはこのジゲルミン **3** を用いて、アルケン類との反応を行った。



ジゲルミン **3** に対し、エチレンを作用させたところ、ジゲルマシクロブテン **4** が紫色結晶として得られた。さらにエチレンガスを反応させたところ、**4** の Ge=Ge 二重結合が開裂し、それぞれがエチレンと反応して三員環を形成した化合物 **5** が得られた。興味深いことに、この反応は可逆であり、室温ベンゼン中で化合物 **5** を放置したところ、エチレンガス

を生じ、化合物 **4** を再生した。一方、**4** と過剰のエチレンを反応させると、反応初期では **5** を生じるものの、徐々に生成物は [2.2.0]ジゲルマビシクロヘキサン **6** へと収斂した。理論計算を用いて反応機構を精査した結果、**4** とエチレンの反応において、**5** は速度論的生成物、**6** は熱力学的生成物であることが判った。次に、**3** に対し、スチレンを作用させたところ、エチレンの場合と同様に反応するジゲルマシクロブテン **7** が得られた。この場合、この [2+2] 付加環化反応が可逆であり、**7** の重ベンゼン溶液を室温で放置したところ、スチレンを放出しジゲルミン **3** を再生することが判った。これらの反応過程で、ゲルマニウム小員環化合物においては還元的脱離が進行する可能性が示唆された。

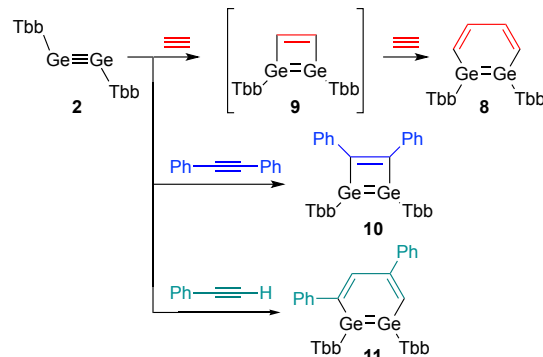
(3) ジゲルミンとアルキン類の反応

次に、ジゲルミン **2** とアルキン類との反応を検討した。ジゲルミン **2** に対し、アセチレンを作用させたところ、対応する 1,2-ジゲルマベンゼン **8** が得られた。化合物 **8** は初めての安定なジゲルマベンゼンの例であり、構造有機化学の観点からも興味を持たれる化合物である。X線結晶構造解析により **8** の分子構造を明らかとした結果、**8** の Ge-Ge、Ge-C、C-C 結合長は、それぞれ対応する単結合長と二重結合長の間の中間の値であることが判り、6 π 電子は六員環上で非局在化していると言える。しかし、 C_4Ge_2 六員環部分は、6 π 電子系であるにもかかわらず、平面構造ではなく、若干折れ曲がった構造をしていることが判った。また、ベンゼンとは対照的に、1,2-ジゲルマベンゼン **8** は固体・溶液共に黄色を呈する化合物であった。理論計算より、1,2-ジゲルマベンゼンが高い HOMO と低い LUMO を有するため、その π - π^* 電子遷移は可視光領域まで長波長に達することが判った。NICS 値の理論計算からは、炭素の系よりも弱いものの、1,2-ジゲルマベンゼンも十分な芳香族性を示す化合物であることが判った。

このように、**2** とアセチレンの反応では、無触媒の条件で [2+2+2] 環化反応が進行し、1,2-ジゲルマベンゼン **8** を与えたが、この反応において、二つのアセチレン分子が C-C 結合の形成を伴って連結している。ジゲルミン **3** とエチレンの反応によりジゲルマシクロブテン **4** を生じたことを考慮すると、**2** とアセチレンの反応は、ジゲルマシクロブタジエン **9** を中間体として進行しているものと考えられる。量子化学計算による反応経路探索においても、この反応機構が支持され、1,2-ジゲルマシクロブタジエン **9** は C-C 結合形成の鍵となる中間体と言える。そこで、**2** に対し、ジフェニルアセチレン (トラン) を作用させたところ、続く反応の進行は抑制され、1,2-ジゲルマシクロブタジエン **10** を安定な橙色結晶として得ることに成功した。

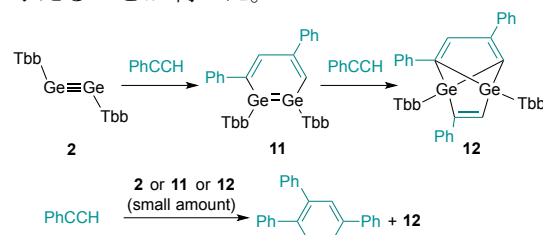
次に、**2** とフェニルアセチレンとの反応を行った。その結果、中間体として考えられる

1,2-ジゲルマシクロブタジエン誘導体は観測できなかったが、対応する 3,5-ジフェニル-1,2-ジゲルマベンゼン **11** が選択的に得られた。この反応において、異性体である 4,5-ジフェニル-1,2-ジゲルマベンゼンは全く生じていないことがわかり、本反応は完全な選択性で進行することが判った。



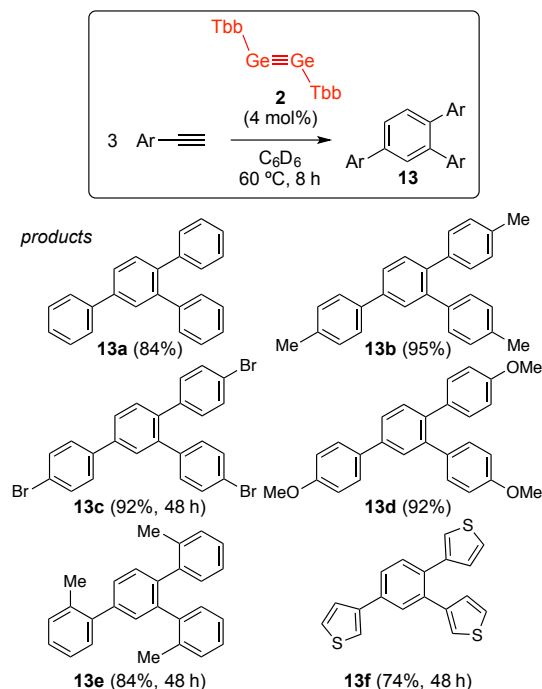
(4) ジゲルミン触媒による遷移金属フリーアルキン三量化反応

先に **2** とフェニルアセチレンとの反応により得られたジゲルマベンゼン **11** と小分子との反応性を調べる過程において、**11** がさらにフェニルアセチレンと反応し、化合物 **12** を与えることが判った。



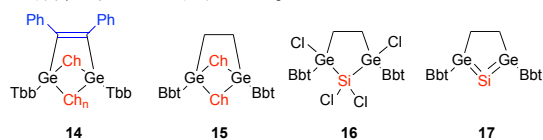
得られた化合物 **12** に対し、さらにフェニルアセチレンを作用させ加熱したところ、化合物 **12** に変化は見られず、フェニルアセチレンの三量化が進行し、1,2,4-トリフェニルベンゼンが生じた。つまり、化合物 **12** はフェニルアセチレンの三量化の触媒として機能することを見出した。最終的に、大過剰のフェニルアセチレンに対して、触媒量のジゲルミン **2**、ジゲルマベンゼン **11**、化合物 **12** のいずれを加えて加熱した場合でも、1,2,4-トリフェニルベンゼンの生成とともに、触媒量の **12** が生じていることが判った。つまり、**2** および **11** は触媒前駆体であり、触媒サイクル中で **2** \rightarrow **11** \rightarrow **12** と変換されていることが判る。この反応において、遷移金属触媒を用いたアセチレンの三量化反応 (Reppe 反応) に見られるような副生成物⁵、すなわち位置異性体である 1,3,5-トリフェニルベンゼンは全く見られず、完全な選択性で進行する反応であることを見出した。最終的に、最適条件として、フェニルアセチレンに対し、4mol% のジゲルミン **2** を加え、ベンゼン中 60 度に加熱すると、高収率で 1,2,4-トリフェニルベンゼンが得られることを見出した。本ゲルマニウム触媒反応は、様々なアリーール末端アセ

チレンに適用可能であることも見出した。一方、トラン、トリメチルシリルアセチレン、2-ピリジルアセチレンは、途中の安定な中間体を与えて反応が集結し、アセチレンの三量化反応は進行しなかった。いずれの触媒反応検討においても、位置異性体は生成せず、完全な選択性で進行する反応である。



(5) 環状ジゲルメンと小分子との反応

これまで述べた通り、ジゲルマシクロブテンやジゲルマシクロブタジエンなどの環状ジゲルメンが小分子活性化に対して鍵となる化合物であることを見出した。そこで、環状ジゲルメン **4** および **10** に対し種々の小分子との反応を検討した結果、図に示すような新規複素環化合物 **14-17** を得ることができた。これらの分子構造を明らかとし、生成機構を理論化学的に考察した。



<引用文献>

- Vasko, P.; Wang, S.; Tuononen, H. M.; Power, P. P. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2015**, *54*, 3802-3805; Cui, C.; Olmstead, M. M.; Fetting, J. C.; Spikes, G. H.; Power, P. P. *J. Am. Chem. Soc.* **2005**, *127*, 17530-17541.
- Nagata, K.; Agou, T.; Tokitoh, N., *Angew. Chem. Int. Ed.* **2014**, *53*, 3881-3884.
- Sasamori, T.; Sugiyama, Y.; Takeda, N.; Tokitoh, N. *Organometallics* **2005**, *24*, 3309-3314.
- Sugiyama, Y.; Sasamori, T.; Hosoi, Y.; Furukawa, Y.; Takagi, N.; Nagase, S.; Tokitoh, N. *J. Am. Chem. Soc.* **2006**, *128*,

1023-1031.

- Inglesby, P. A.; Evans, P. A. *Chem. Soc. Rev.* **2010**, *39*, 2791-2805.

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 25 件)

- Sasamori, T.; Sugahara, T.; Agou, T.; Guo, J.-D.; Nagase, S.; Streubel, R.; Tokitoh, N., Synthesis and Characterization of a 1,2-Digermbenzene, *Organometallics*, 査読有, **2015**, *34*, 2106-2109, doi: 10.1021/om501204u.
- Agou, T.; Wasano, T.; Sasamori, T.; Guo, J.-D.; Nagase, S.; Tokitoh, N., Ring Expansion to 1-Bromo-1-alumacyclonona-2,4,6,8-tetraene by Insertion of Two Alkyne Molecules into the Al-C Bonds, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 査読有, **2015**, *54*, 9568-9571, doi: 10.1002/anie.201504468.
- Miyake, H.; Sasamori, T.; Tokitoh, N., Sulfurization of 4,5,6-Triphospha[3]radialene, *Phosphorus, Sulfur and Silicon*, 査読有, **2015**, *190*, 1247-1250, doi: 10.1080/10426507.2014.991828.
- Sasamori, T.; Sugahara, T.; Agou, T.; Sugamata, K.; Guo, J.-D.; Nagase, S.; Tokitoh, N., Reaction of a Diaryldigermene with Ethylene, *Chem. Sci.*, 査読有, **2015**, *6*, 5526-5530, doi: 10.1039/C5SC01266J
- Sasamori, T.; Hirano, K.; Miyake, H.; Tokitoh, N., Photochemical (E)-(Z) Isomerization of the P=C Double Bond in Triphospha[3]radialene-[M(CO)₅] (M= W, Cr) Complexes, *Chem. Lett.*, 査読有, **2015**, *44*, 1240-1242, doi: 10.1246/cl.150422.
- Nagata, K.; Agou, T.; Sasamori, T.; Tokitoh, N., Formation of a diaminoalkyne derivative by dialumane-mediated homocoupling of *t*-butyl isocyanide, *Chem. Lett.*, 査読有, **2015**, *44*, 1610-1612, doi: 10.1246/cl.150688.
- Agou, T.; Ikeda, S.; Sasamori, T.; Tokitoh, N., Synthesis and Structure of Lewis-Base-Free Phosphinoalumane Derivatives, *Eur. J. Inorg. Chem.*, 査読有, **2016**, *2016*, 623-627, doi: 10.1002/ejic.201501141.
- Sasamori, T.; Franco, J. M. V.; Guo, J.-D.; Sugamata, K.; Nagase, S.; Streubel, R.; Tokitoh, N., Selenium-Substituted Phosphaalkenes Obtained through 1,2-Elimination of Chlorosilanes from Selenenylchlorophosphines, *Eur. J. Inorg. Chem.*, 査読有, **2016**, *2016*, 678-684, doi: 10.1002/ejic.201500989.
- Agou, T.; Nagata, K.; Sasamori, T.; Tokitoh,

- N., Reactivities of a barbelene-type dialumane as an equivalent of an Al=Al doubly-bonded species, *Phosphorus, Sulfur and Silicon*, 査読有, **2016**, 191, 588-590, doi: 10.1080/10426507.2015.1128912.
- ⑩ Guo, J.-D.; Sasamori, T.; Yamamoto, Y.; Matsubara, H.; Nagase, S.; Yorimitsu, H., Computational Picture of Silyl Transfer from Silylsilatrane to Arylpalladium Chloride, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 査読有, **2016**, 89, 192-194, doi: 10.1246/bcsj.20150343.
- ⑪ Suzuki, Y.; Sasamori, T.; Guo, J.-D.; Nagase, S.; Tokitoh, N., Isolation and Ambident Reactivity of a Chlorogermolenoid, *Chem. Eur. J.*, 査読有, **2016**, 22, 13784-13788, doi: 10.1002/chem.201602601.
- ⑫ Nagata, K.; Murosaki, T.; Agou, T.; Sasamori, T.; Matsuo, T.; Tokitoh, N., Activation of Dihydrogen by Masked Doubly Bonded Aluminum Species, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 査読有, **2016**, 55, 12877-12880, doi: 10.1002/anie.201606684.
- ⑬ Kyri, A. W.; Majhi, P. K.; Sasamori, T.; Agou, T.; Nesterov, V.; Guo, J.-D.; Nagase, S.; Tokitoh, N.; Streubel, R., Synthesis of a 1-Aryl-2,2-chlorosilyl(phospho)silene Coordinated by an N-Heterocyclic Carbene, *Molecules*, 査読有, **2016**, 21, 1309, doi: 10.3390/molecules21101309.
- ⑭ Agou, T.; Yanagisawa, T.; Sasamori, T.; Tokitoh, N., Synthesis and Structure of an Iron-Bromoaluminum Complex with a Tri-Coordinated Aluminum Center, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 査読有, **2016**, 89, 1184-1186, doi: 10.1246/bcsj.20160151.
- ⑮ Sugahara, T.; Guo, J.-D.; Sasamori, T.; Karatsu, Y.; Furukawa, Y.; Espinosa Ferao, A.; Nagase, S.; Tokitoh, N., Reaction of a Stable Digermene with Acetylenes: Synthesis of a 1,2-Digermabenzene and a 1,4-Digermabarrelene *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 査読有, **2016**, 89, 1375-1384, doi: 10.1246/bcsj.20160269.
- ⑯ Majhi, P. K.; Franco, J. M. V.; Schnakenburg, G.; Sasamori, T.; Streubel, R., Synthesis, Structure, and First Reactivity Studies of Functional (Phosphinoamino)boranes, *Eur. J. Inorg. Chem.*, 査読有, **2017**, 2017, 910-914, doi: 10.1002/ejic.201601366.
- ⑰ Mizuhata, Y.; Fujimori, S.; Sasamori, T.; Tokitoh, N., Germabenzylpotassium: A Germanium Analogue of a Phenyl Anion, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 査読有, **2017**, 56, 4588-4592, doi: 10.1002/anie.201700801.
- ⑱ Majhi, P. K.; Ikeda, H.; Sasamori, T.; Tsurugi, H.; Mashima, K.; Tokitoh, N., Inorganic-Salt-Free Reduction in Main-Group Chemistry: Synthesis of a Dibismuthene and a Distibene, *Organometallics*, 査読有, **2017**, 36, 1224-1226, doi: 10.1021/acs.organomet.7b00147.
- ⑲ Koner, A.; Pfeifer, G.; Kelemen, Z.; Schnakenburg, G.; Nyulászi, L.; Sasamori, T.; Streubel, R., 1,4-Diphosphinines from Imidazole-2-thiones *Angew. Chem. Int. Ed.*, 査読有, **2017**, 56, 9231-9235, doi: 10.1002/anie.201704070.
- ⑳ Sugahara, T.; Sasamori, T.; Tokitoh, N., Highly Bent 1,3-Digermene-2-silaallene *Angew. Chem. Int. Ed.*, 査読有, **2017**, 56, 9920-9923, doi: 10.1002/anie.201706297.
- ㉑ Sugahara, T.; Tokitoh, N.; Sasamori, T., Synthesis of a Dichlorodigermasilane: Double Si-Cl Activation by a Ge=Ge Unit, *Inorganics*, 査読有, **2017**, 5, 79, doi: 10.3390/inorganics5040079.
- ㉒ Hayakawa, N.; Sugahara, T.; Numata, Y.; Kawai, H.; Yamatani, K.; Nishimura, S.; Goda, S.; Suzuki, Y.; Tanikawa, T.; Nakai, H.; Hashizume, D.; Sasamori, T.; Tokitoh, N.; Matsuo, T., 1,2-Dihalodigermenes bearing bulky Eind groups: synthesis, characterization, and conversion to halogermolenoids, *Dalton Trans.*, 査読有, **2018**, 47, 814-822, doi: 10.1039/C7DT03819D.
- ㉓ Suzuki, Y.; Sasamori, T.; Guo, J.-D.; Tokitoh, N., A Redox-Active Bis(ferrocenyl)germylene and Its Reactivity, *Chem. Eur. J.*, 査読有, **2018**, 24, 364-368, doi: 10.1002/chem.201705598.
- ㉔ Sugahara, T.; Guo, J.-D.; Sasamori, T.; Nagase, S.; Tokitoh, N., Reversible addition of terminal alkenes to digermynes, *Chem. Commun.*, 査読有, **2018**, 54, 519-522, doi: 10.1039/C7CC08555A.
- ㉕ Sugahara, T.; Guo, J.-D.; Sasamori, T.; Nagase, S.; Tokitoh, N., Regioselective Cyclotrimerization of Terminal Alkynes Using a Digermene, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 査読有, **2018**, 57, 3499-3503, doi: 10.1002/anie.201801222.
- [学会発表] (計 9件)
- ① Sasamori, T.; Sugahara, T.; Agou, T.; Sugamata, K.; Guo, J.-D.; Nagase, S.; Tokitoh, N., Reactivity of Diaryldigermynes with Alkenes and Alkynes, 11th International Conference on Heteroatom Chemistry (ICHAC-11), 2015年6月
- ② 笹森貴裕、ゲルマニウム間三重結合化合物を元素ブロックとする新規有機反応の開拓、文部科学省科学研究費新学術領域研究 元素ブロック高分子材料の創出 第六回公開シンポジウム, 2015年9月
- ③ Sasamori, T.; Suzuki, Y.; Guo, J.-D.; Nagase, S.; Tokitoh, N., Structure and Reactions of Ferrocenyl-substituted

Chlorogermolenoid, The 70th Fujihara Seminar (International Symposium on New Development of Physical Organic Chemistry: Construction of Chemical Principles Determining Structures, Reactions, and Properties), 2016年4月

- ④ Sasamori, T.; Villalba Franco, J. M.; Guo, J.-D.; Sugamata, K.; Streubel, R.; Nagase, S.; Tokitoh, N., Selenium-substituted Phosphaalkenes via 1,2-Elimination of Chlorosilanes from Selenenylchlorophosphines, 13th International Conference on the Chemistry of Selenium and Tellurium (ICCST-13), 2016年5月
- ⑤ Sasamori, T.; Sakagami, M.; Niwa, M.; Suzuki, Y.; Tokitoh, N., π -d Electron Communications between Two Bulky Ferrocenyl Groups and Bridging Double-bond of Heavier Group 15 Elements, 27th International Conference on Organometallic Chemistry (ICOMC-27), 2016年6月
- ⑥ 笹森貴裕; 菅原知紘; 郭晶東; 永瀬茂; 時任宣博、低配位ゲルマニウム元素ブロックの構築とアルキン多量化反応への活用、第65回高分子討論会、2016年9月
- ⑦ Sasamori, T.; Sugahara, T.; Guo, J.-D.; Nagase, S.; Tokitoh, N., Digermyne-promoted Cyclotrimerization of Arylacetylenes, The 12th International Conference of Heteroatom Chemistry (ICHAC-12), 2017年6月
- ⑧ 笹森貴裕、高周期典型元素を活用した有機化学、第48回中部化学関係学協会支部連合秋季大会、2017年11月
- ⑨ 笹森貴裕、ゲルマニウム化合物が触媒するアセチレン三量化反応、第44回有機典型元素化学討論会、2017年12月

[その他]

ホームページ等

<http://www.nsc.nagoya-cu.ac.jp/~sasamori/www/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

笹森 貴裕 (SASAMORI, Takahiro)

名古屋市立大学・大学院システム自然科学研究科・教授

研究者番号：70362390

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

時任 宣博 (TOKITOH, Norihiro)

京都大学・化学研究所・教授

研究者番号：90197864

(4) 研究協力者

永瀬 茂 (NAGASE, Shigeru)

郭 晶東 (Guo, Jing-Dong)

菅原 知紘 (SUGAHARA, Tomohiro)