

平成 29 年 4 月 15 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2013～2016

課題番号：25708004

研究課題名(和文) シリレンの単一ケイ素上に共存するルイス酸・塩基部位を利用した 電子系改変反応

研究課題名(英文) Transformation of aromatic compounds utilizing ambiphilicity of silylene

研究代表者

石田 真太郎 (Ishida, Shintaro)

東北大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90436080

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 20,000,000円

研究成果の概要(和文)：単離可能なジアルキルケイ素二価化学種(シリレン)の環化付加を利用した脱芳香族化反応、特に含窒素芳香環に焦点をあてて検討を行った。その結果、ピリジン類の脱芳香族化反応によるアザシレピンの一般的な合成法を確立することができた。さらに、通常は触媒として機能しないシラノールが触媒するシリレンのピリジンへの形式的CH挿入反応を見出し、その機構を明らかにした。また、ケイ素以外の元素を用いた脱芳香族化反応を検討するため、シリレンと等電子構造のカチオン性二配位リンカチオンの発生を試みた。また、その前駆体であるアンチモンおよびビスマス中心ラジカルを溶液中観測可能な化学種として発生させることに初めて成功した。

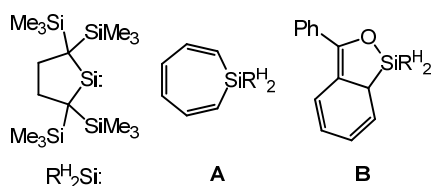
研究成果の概要(英文)：(1) Regioselective photochemical cycloadditions of silylene with azulene and guaiazulene gave bicyclic [4]dendralene and heptafulvene derivatives, respectively. A red-shifted absorption band of thus obtained [4]dendralene was observed, which is attributed to the orbital interactions between dendralene and a silacyclopropane moieties. (2) Thermal dearomative cycloaddition of silylene with pyridines to afford azasilepins was investigated. (3) We found a silanol-catalyzed formal C-H insertion of silylene with pyridine. This reaction proceeds via deprotonation of silanol by base-coordinated silylene. (4) Phosphenium cation and silylene are isolobal. Thus, we planned oxidation of phosphinyl radical to synthesize phosphenium cation for the dearomative cycloaddition. We obtained phosphalkene-silver complex by the oxidation of phosphinyl radical with silver salts. We succeeded in the generation of dicoordinate antimony- and bismuth-centered radicals as persistent species.

研究分野：有機典型元素化学

キーワード：シリレン 脱芳香族化反応 環化付加反応 ピリジン ラジカル

1. 研究開始当初の背景

申請者はジアルキル置換ケイ素二価化学種(シリレン)を $R^H_2Si:$ として合成・単離することに成功した(JACS 1999)。その結果、 $R^H_2Si:$ は単離できるにもかかわらず、極めて高い反応性を持つことが明らかになった。そして $R^H_2Si:$ に関する研究の途上、興味深い脱芳香族化反応を見いだした。すなわち、 $R^H_2Si:$ は光照射によりベンゼンと反応しシラノルカラジエンを経由しシレピン A を与える(JACS 2002, ACIE 2004)。また、 $R^H_2Si:$ と芳香族ケトンの反応はカルボニルシライリドを経由し、その分子内環化付加によりメチレンシクロヘキサジエン B を与える(Organometallics 2010, 2012 など)。



これは $R^H_2Si:$ 自体の性質、すなわち強いルイス酸と強いルイス塩基を同一ケイ素上に持つという特異な電子状態に由来している。シリレン $R^H_2Si:$ を用いた脱芳香族化反応は、これまでの一般的な脱芳香族化反応と全く異なるユニークなものであり有用性が高い。すなわち室温、中性条件、光照射を行う場合も 440 nm 以上の波長と極めて温和な条件で進行し、活性化されていない芳香環に対しても有効で収率も定量的である。シリレンを用いた類似の反応はいくつか知られているが(総説: Tokitoh et al. Chem. Rev. 2009, 109, 3479. など)その特異性を系統的に調べ、活用した例は申請者の知る限り無い。

2. 研究の目的

以上の背景をもとに、申請者はシリレンの単一ケイ素上に共存するルイス酸・塩基部位を利用した脱芳香族化を伴う π 電子系改変反応が可能であると考え、その開発と詳細な理解、および得られる化合物群の性質の解明を研究の目的とし、研究を行った。

3. 研究の方法

$R^H_2Si:$ を種々の芳香族化合物に対して反応を行い、脱芳香族化された生成物の物性を明らかにする。研究対象として、含窒素芳香族化合物に特に着目して検討を行った。併せて、脱芳香族化反応の一般化を目指し、シリレンと等電子構造の二配位 15 族元素中心カチオンについても研究を開始した。

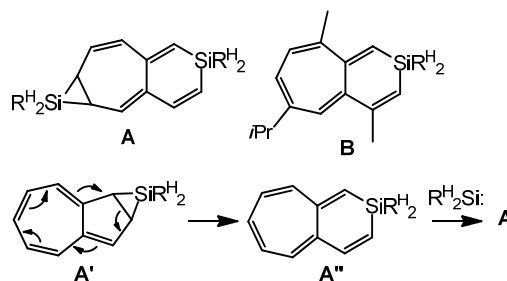
4. 研究成果

本課題で得られた主な成果を(1)から(4)として示した。

(1) シリレン $R^H_2Si:$ の環化付加によるアズレンからデンドラレンへの変換反応

アズレンは代表的な非ベンゼン系芳香族

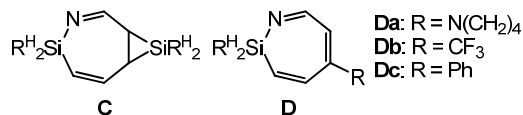
化合物である。シリレンを用いた光反応によって、アズレンを[4]デンドラレン誘導体へ変換する反応を見出した。すなわち、 $R^H_2Si:$ を光反応によりアズレンに導入すると、脱芳香族化を伴う環化付加と環拡大、二分子目の $R^H_2Si:$ の付加が進行し、化合物 A が 68% の収率で得られた。化合物 A は骨格に[4]デンドラレン構造を持つ。化合物 A は[4]デンドラレンとしては長波長側の 368 nm に最長波長吸収帯を持っていた。この長波長シフトの原因はシラシクロプロパン部位との π - π^* 共役のためであることを、理論計算から明らかにした。グアイアズレンに対して同様の反応を行うと、ヘプタフルベン骨格を持つ B が得られた。この結果から、 $R^H_2Si:$ とアズレンとの反応は、アズレンへの[1+2]環化付加によって生じる A' が初期生成物であり、その環拡大による生じる A'' に対してもう 1 分子の $R^H_2Si:$ が環化付加することで A が最終的に生成したと考えられる。



(2) シリレンを用いたピリジン類の脱芳香族化型環化付加反応

シリレン $R^H_2Si:$ を用いたピリジン類の脱芳香族化反応は熱的に進行する事を見出した。 $R^H_2Si:$ とピリジンとの反応を行うと、1:2 付加体 C が得られた。この化合物は脱芳香族化によって生じたアザシレピンのアルケン部位に、もう 1 分子の $R^H_2Si:$ が[1+2]環化付加することで生じたと考えられる。置換ピリジンに対して同様の反応を行った場合は、1:1 付加体に相当するアザシレピン Da-Dc を単離することに成功した。

アザシレピン生成は反応速度に大きな差があり、電子求引基を有するピリジンの方が、 $R^H_2Si:$ と速やかに反応した。これは単純な予想と逆に、 $R^H_2Si:$ がピリジンに対してルイス塩基として作用していることを示唆している。 $R^H_2Si:$ の HOMO である n 軌道と、ピリジン類の LUMO である π^* 軌道との相互作用が反応に関与していることを示す重要な知見である。



4,4'-ビピリジンに対して $R^H_2Si:$ を作用させると、ビ(アザシレピン) E が得られた。この化合物の構造は最終的に X 線結晶構造解析により決定した(図 1)。以上の様に、シリ

レンとピリジン類の反応はアザシレピン合成の一般的な方法となり得ることを示すことができた。

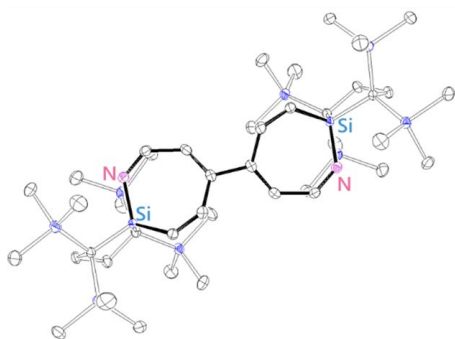
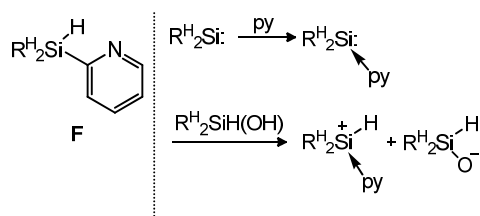


図 1. ビ (アザシレピン) E の分子構造。

(3) シラノールが触媒するシリレンの形式的 C-H 挿入反応

(2)の研究初期に結果の再現性に問題があり、その解決に取り組んだところ、予想外の反応を見出した。すなわち、シリレン $R^H_2Si:$ とピリジンとの反応を行うと、アザシレピン誘導体 A が得られる場合と、ピリジンの 2 位の C-H 結合に形式的にシリレンが挿入した化合物 F が得られる場合があった。条件を精査したところ、反応系中にシラノール $R^H_2SiH(OH)$ (シリレンと水との反応により定量的に生じる) が触媒量存在すると、F が得られる事が明らかとなった。

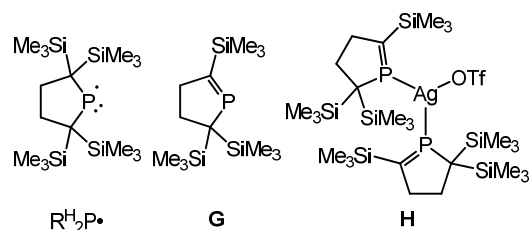


触媒量のシラノールが関与していることから、その機構の解明に取り組んだ。重水素ラベルした基質を用いるなどして反応の進行を NMR で調べた。その結果より、本反応にはピリジンの配位によりシリレンの塩基性が高められ、シラノールからプロトンを引き抜く過程が鍵反応として存在していることがわかった。シリレンがルイス酸性、ルイス塩基性両方の性質を持っていることが反応の進行に関わっていることを確認することができた。

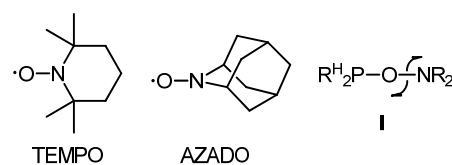
(4) 15 族類縁体の合成と関連する化学

二配位 15 族中心カチオンはシリレンと等電子構造である。従って、それらを用いることで、 $R^H_2Si:$ と同様の脱芳香族化を伴う環化付加が進行し、種々の 15 族元素を導入した電子系の構築が可能になると考え、その合成を検討した。既に申請者は、 $R^H_2P\cdot$ の合成を報告しているため (JACS 2011)、その酸化反応によるホスフェニウムカチオン合成を行った。銀塩 $AgOTf$ を用いてラジカル $R^H_2P\cdot$ の

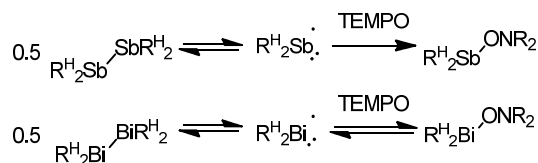
酸化を行うと、トリメチルシリル基の脱離によるホスファルケン G が生成し、それが銀に配位した錯体 H が得られた。この結果より、反応途中に目的としたホスフェニウムカチオン $[R^H_2P]^+$ が生成している可能性が示された。



次に安定アミノキシラジカルである TEMPO や AZADO を用いて $R^H_2P\cdot$ の酸化を試みたところ、一度ラジカルカップリングによる生成物 I が生じた後に O-N 結合の解裂が進行し、ホスホリルラジカルとアミノラジカルを経由した多様な生成物を与えることを見出した。これらの反応では当初の目的であるホスフェニウムカチオン $[R^H_2P]^+$ の合成には至らなかったものの、得られた結果はリン中心ラジカル反応として重要であり、それぞれ論文として報告した。



上記の検討と同時進行で、リンより高周期 15 族元素である、アンチモンやビスマスについても同様の研究を行った。二配位 15 族中心カチオンの前駆体となる中性二配位アンチモンおよびビスマス中心ラジカル (スチビニルおよびビスムチニルラジカル) は、有機アンチモン化合物や有機ビスマス化合物の分解に関係する化学種である。しかしながら、これらのラジカルを溶液中で分光学的に観測した例はこれまでなかった。そこでまず、 $R^H_2Sb\cdot$ および $R^H_2Bi\cdot$ の合成を行った。その結果、これらの化合物は結晶中では二量体 $[(R^H_2Sb)_2]$ および $[(R^H_2Bi)_2]$ として存在し、溶液中では二量体との平衡にあることを見出した。



平衡定数および各種熱力学的パラメータの算出により、室温希薄溶液中ではスチビニルラジカルおよびビスムチニルラジカルの方に平衡がほとんど偏っていることを明らかにした。この平衡を反映し、これらの化合物の 1H NMR スペクトルでは、低温では反磁性

種に由来する一般的なシグナルを示すのに対し、高温（室温）側では、常磁性シフトしたシグナルが観測された（図 2、ピスマスの系も同様の变化を示す）。同様の变化が紫外可視吸収スペクトルの温度依存性として観測された。これはスチビニルラジカルやピスマチルラジカルを溶液中において長寿命種として観測した初めての例である。

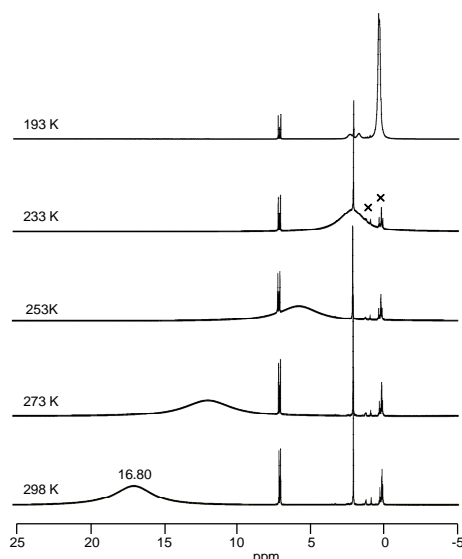


図 2. スチビニルラジカル $R^H_2Sb\cdot$ の 1H NMR スペクトルの温度依存性(重トルエン中)。

また、これらのラジカルは TEMPO と選択的ラジカルカップリング反応して対応する付加体が単離できることを見出した。これは二配位高周期 15 族中心ラジカルの化学的捕捉が可能であるということを示した点で重要な知見である。この結果は *Angewandte Chemie International Edition* 誌の口絵に採用されるなど、高い評価を受けた。この結果はラジカルの一電子酸化による二配位 15 族中心カチオンの合成とその脱芳香族化型環化付加反応を行うための重要な進展である。

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 29 件)

- (1) Coordination-induced Hydrogen Abstraction in the Reactions of a Stable Dialkylphosphinyl Radical with BH_3 -Lewis Base Adducts; Shintaro Ishida, Hitomi Ichikawa, Takeaki Iwamoto, *Chem. Lett.* **2017**, *accepted*. (査読有)
- (2) An Isolable Potassium Salt of a Borasilene-Chloride Adduct; Yuko Suzuki, Shintaro Ishida, Sota Sato, Hiroyuki Isobe, and Takeaki Iwamoto, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2017**, *56*, 4593-4597. (DOI: 10.1002/anie.201612545) (査読有)
- (3) Isolation and Characterization of Radical Anions Derived from a Boryl-Substituted Diphosphene; Shun-suke Asami, Shintaro Ishida,

Takeaki Iwamoto, Katsunori Suzuki, Makoto Yamashita, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2017**, *56*, 1658-1662. (DOI: 10.1002/anie.201611762) (査読有)

(4) Pentasila-1,4-diene: Homoconjugation between Si=Si Double Bonds via a $SiMe_2$ Unit; Tomoyuki Kosai, Shintaro Ishida, Takeaki Iwamoto, *J. Am. Chem. Soc.* **2017**, *139*, 99-102. (DOI: 10.1021/jacs.6b11912) (査読有)

(5) A Two-Coordinate Cyclic (Alkyl)(amino)silylene: Balancing Thermal Stability and Reactivity; Tomoyuki Kosai, Shintaro Ishida, Takeaki Iwamoto, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2016**, *55*, 15554-15558. (DOI: 10.1002/anie.201608736) (査読有)

(6) A Potassium Diboryllithate: Synthesis, Bonding Properties, and the Deprotonation of Benzene; Takuto Ohsato, Yuri Okuno, Shintaro Ishida, Takeaki Iwamoto, Ka-Ho Lee, Zhenyang Lin, Makoto Yamashita, Kyoko Nozaki, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2016**, *55*, 11426-11430. (DOI: 10.1002/anie.201605005) (査読有)

(7) Hydrogen Bonds-Enabled Design of a C_1 -Symmetric Chiral Brønsted Acid Catalyst; Norie Momiyama, Kosuke Funayama, Hirofumi Noda, Masahiro Yamanaka, Naohiko Akasaka, Shintaro Ishida, Takeaki Iwamoto, and Masahiro Terada, *ACS Catal.* **2016**, *6*, 949-956. (DOI: 10.1021/acscatal.5b02079) (査読有)

(8) Ferrocenyl-substituted Bicyclo[1.1.1]pentasilanes: Evaluation of Significant Interactions between Ferrocenyl Units and Rigid Silicon Cages; Yusuke Kishimoto, Shintaro Ishida, Takeaki Iwamoto, *Chem. Lett.* **2016**, *45*, 235-237. (DOI:10.1246/cl.151089) (査読有)

(9) Persistent four-coordinate iron-centered radical stabilized by π -donation; Yusuke Sunada, Shintaro Ishida, Fumiya Hirakawa, Yoshihito Shiota, Kazunari Yoshizawa, Shinji Kanegawa, Osamu Sato, Hideo Nagashima, Takeaki Iwamoto, *Chem. Sci.* **2016**, *7*, 191-198. (DOI: 10.1039/C5SC02601F) (査読有)

(10) Recent Advances in η^2 -Disilene and η^2 -Disilyne Mononuclear Transition Metal Complexes and Related Compounds; Shintaro Ishida, Takeaki Iwamoto, *Coord. Chem. Rev.* **2016**, *314*, 34-63. (DOI:10.1016/j.ccr.2015.11.007) (査読有)

(11) Persistent Dialkylsilanone Generated by Dehydrobromination of Dialkylbromosilanol; Shintaro Ishida, Takashi Abe, Fumiya Hirakawa, Tomoyuki Kosai, Katsuhiko Sato, Mitsuo Kira, Takeaki Iwamoto, *Chem. Eur. J.* **2015**, *21*, 15100-15103. (Selected as a front cover) (DOI: 10.1002/chem.201501478) (査読有)

(12) Transformation of azulenes to bicyclic [4]dendralene and heptafulvene derivatives by photochemical cycloaddition of dialkylsilylene; Tomoyuki Kosai, Shintaro Ishida, Takeaki

- Iwamoto, *Chem. Commun.* **2015**, 51, 10707-10709. (DOI:10.1039/C5CC03424H) (査読有)
- (13) An Isolable Radical Anion of an Organosilicon Cluster Containing Only σ -Bonds; Kyohei Otsuka, Naozumi Matsumoto, Shintaro Ishida, Soichiro Kyushin, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2015**, 54, 7833-7836. (DOI:10.1002/anie.201500523) (査読有)
- (14) Redox Reactions of a Stable Dialkylphosphinyl Radical; Fumiya Hirakawa, Hitomi Ichikawa, Shintaro Ishida, Takeaki Iwamoto, *Organometallics* **2015**, 34, 2714-2716. (DOI:10.1021/acs.organomet.5b00323) (査読有)
- (15) Reactions of a Stable Phosphinyl Radical with Stable Aminoxyl Radicals; Shintaro Ishida, Fumiya Hirakawa, Takeaki Iwamoto, *Chem. Lett.* **2015**, 44, 94-96. (DOI:10.1246/cl.140885) (査読有)
- (16) 嵩高いアルキル基で安定化されたリン中心ラジカルとその関連化合物; 石田真太郎, 有機合成化学協会誌 **2015**, 73, 885-894. (査読有)
- (17) A heavy analogue of the smallest bridgehead alkene stabilized by a base; Takeaki Iwamoto, Naohiko Akasaka, Shintaro Ishida, *Nat. Commun.* **2014**, 5, 5353. (DOI:10.1038/ncomms6353) (査読有)
- (18) Effect of Ring Sizes of Cyclooligosilanes on Construction of Organosilicon Clusters; Soichiro Kyushin, Shintaro Ishida, Akihiro Tsurusaki, Kyohei Otsuka, *J. Synth. Org. Chem. Jpn.* **2014**, 72, 1290-1297. (DOI:10.5059/yukigoseikyokaishi.72.1290) (査読有)
- (19) Two-coordinate Dialkylsilylene-Coinage Metal Complexes; Yuichiro Inagawa, Shintaro Ishida, Takeaki Iwamoto, *Chem. Lett.* **2014**, 43, 1665-1667. (DOI:10.1246/cl.14) (査読有)
- (20) Persistent Antimony- and Bismuth-Centered Radicals in Solution; Shintaro Ishida, Fumiya Hirakawa, Ko Furukawa, Kenji Yoza, Takeaki Iwamoto, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2014**, 53, 11172-11176. (DOI:10.1002/anie.201405509) (査読有)
- (21) Germanium-centered free radicals studied by muon spin spectroscopy; Robert West, Kerim Samedov, Amitabha Mitra, Paul W. Percival, Jean-Claude Brodovitch, Graeme Langille, Brett M. McCollum, Takeaki Iwamoto, Shintaro Ishida, Cameron Jones, Jiaye Li, *Can. J. Chem.* **2014**, 92, 508-513. (DOI:10.1139/cjc-2013-0427) (査読有)
- (22) Isolable 2,3-Disila-1,3-butadiene via Double Sila-Peterson Reaction; Daiki Motomatsu, Shintaro Ishida, Koichi Ohno, Takeaki Iwamoto, *Chem. Eur. J.* **2014**, 20, 9424-9430. (DOI:10.1002/chem.201402868) (査読有)
- (23) Unexpected Formation of Highly Strained 2,5-Dioxa-Silabicyclo[2.1.0]Pentane by the Reaction of Isolable Dialkylsilylene with Benzil; Shintaro Ishida, Kenya Uchida, Takeaki Iwamoto, *Heteroat. Chem.* **2014**, 25, 348-353. (DOI:10.1002/hc.21162) (査読有)
- (24) Near-IR Absorbing Nickel(II) Porphyrinoids Prepared by Regioselective Insertion of Silylenes into Antiaromatic Nickel(II) Norcorrole; Takaki Fukuoka, Kenya Uchida, Young Mo Sung, Ji-Young Shin, Shintaro Ishida, Jong Min Lim, Satoru Hiroto, Ko Furukawa, Dongho Kim, Takeaki Iwamoto, Hiroshi Shinokubo, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2014**, 53, 1506-1509. (DOI:10.1002/anie.201309921) (査読有)
- (25) Silicon compounds with inverted geometry around silicon atoms (Highlight Review); Takeaki Iwamoto, Shintaro Ishida, *Chem. Lett.* **2014**, 43, 164-170. (DOI: 10.1246/cl.130856) (査読有)
- (26) Silylation improves the photodynamic activity of tetraphenylporphyrin derivatives in vitro and in vivo; Hiroaki Horiuchi, Masahiro Hosaka, Hiroyuki Mashio, Motoki Terata, Shintaro Ishida, Soichiro Kyushin, Tetsuo Okutsu, Toshiyuki Takeuchi, Hiroshi Hiratsuka, *Chem. Eur. J.* **2014**, 20, 6054-6060. (DOI: 10.1002/chem.201303120) (査読有)
- (27) Two pentasilahousanes fused together; Akihiro Tsurusaki, Makoto Koganezono, Kyohei Otsuka, Shintaro Ishida, Soichiro Kyushin, *Chem. Eur. J.* **2014**, 20, 9263-9266. (DOI: 10.1002/chem.201403375) (査読有)
- (28) Palladium and Platinum η^2 -Disilyne Complexes Bearing an Isolable Dialkyldisilyne as a Ligand; Shintaro Ishida, Ryutaro Sugawara, Yoshifumi Misawa, Takeaki Iwamoto, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2013**, 52, 12869-12873. (DOI: 10.1002/anie.201308517) (査読有)
- (29) Anthryl-substituted 3-Silylene-2-silaziridine Obtained by Isomerization of Disilacyclopropanimine: An Exocyclic Silene Showing Distinct Intramolecular Charge Transfer Transition; Takeaki Iwamoto, Nobuyoshi Ohnishi, Naohiko Akasaka, Koichi Ohno, Shintaro Ishida, *J. Am. Chem. Soc.* **2013**, 135, 10606-10609. (DOI: 10.1021/ja404045f) (査読有)
- [学会発表](計14件)
- (1) 低配位有機ケイ素および有機リン化合物の安定化; 石田真太郎, 第15回化学系若手研究者セミナー, 2016年10月8日. 東北大学大学院薬学研究科 大講義室(仙台・宮城).
- (2) Generation of Diorganosilane in the Condensed Phase; Shintaro Ishida, 8th European Silicon Days, 2016年8月30日, Poznan, Poland.
- (3) 14族および15族元素の安定二配位化合物: 分子デザイン、合成、特異な反応性、石田真太郎, 第49回有機金属若手の会 夏の学校, 2016年7月12日, 東海大学孺恋高原研修センター(孺恋村・群馬).
- (4) Synthesis, Properties, and Reactions of a

Dialkyldisilyne; Shintaro Ishida, ASiS-5, 2015 年 10 月 19 日, Jeju, 韓国.

(5) 二配位リン、アンチモン、ピスマス中心ラジカルの長寿命化による 15 族化学の新展開、石田真太郎、第 32 回有機合成化学セミナー、2015 年 9 月 15 日、ニューウェルシティ湯河原(湯河原町・神奈川県).

(6) Double bond species containing silicon atom from silicon versions of carbene and alkyne, 石田真太郎、平成 27 年度化学系学協会東北大会、2015 年 9 月 12 日、弘前大学(弘前・青森).

(7) 安定ベンゾジシラシクロブタジエンの合成、構造、および性質; 石田真太郎、第 62 回有機金属化学討論会、2015 年 09 月 8 日、関西大学(大阪市・大阪府).

(8) A stable disilyne having bulky alkyl groups and its palladium and platinum complexes, Shintaro Ishida, the 46th Silicon Symposium, July 23, 2015, Davis, USA.

(9) η^2 -Dialkyldisilyne Palladium and Platinum Complexes, Shintaro Ishida, RSC Roadshow Organic Chemistry Symposium, Aoba-Science Hall, Tohoku University, June 1, 2015, Sendai, Japan.

(10) ベンゾジシラシクロブタジエンの合成と性質、石田真太郎、三澤祥文、岩本武明、第 41 回有機典型元素化学討論会、O-313、2014 年 11 月 29 日、宇部市文化会館(宇部市・山口県).

(11) An Isolable Dialkyldisilyne and Its Palladium and Platinum Complexes, Shintaro Ishida, Ryutaro Sugawara, Yoshifumi Misawa, Takeaki Iwamoto, The 17th International Symposium on Silicon Chemistry 2014 Berlin & the 7th European Silicon Days, Technische Universität Berlin, August 5, 2014, Berlin, Germany.

(12) Palladium and Platinum Complexes of an Isolable Silicon-Silicon Triply Bonded Compound, Shintaro Ishida, Ryutaro Sugawara, Yoshifumi Misawa, Takeaki Iwamoto, International Conference on Organometallic Chemistry (ICOMC) 2014 Pre-symposium in Sendai, Center Hall, School of Engineering, Tohoku University, July 11, 2014, Sendai, Japan.

(13) 嵩高いアルキル基を持つジシリレン-遷移金属錯体およびスピロペンタシラジエン、石田真太郎、第 9 回有機元素化学セミナー、2013 年 11 月 30 日、京都大学宇治キャンパス、(宇治市・京都府).

(14) 安定シリレンの特徴的な反応を利用した新規含ケイ素 π 電子系の創製、石田真太郎、第 17 回ケイ素化学協会シンポジウム、2013 年 10 月 25 日、箱根湯本温泉ホテルおかだ、(箱根町・神奈川県).

〔図書〕(計 3 件)

(1) Multiple Bonds with Silicon: Recent Advances in Synthesis, Structure, and Functions

of Stable Disilenes; Takeaki Iwamoto, Shintaro Ishida, in Structure and Bondings Vol. 156, Functional Molecular Silicon Compounds II, Low Oxidation States, D. Scheschkewitz Ed., Springer-Verlag, 2014, pp 125-202. (査読有)

(2) シリレン、石田真太郎、岩本武明、現代ケイ素化学、吉良満夫・玉尾皓平 編(化学同人) 2013, 第 5 章. (査読有)

(3) シリル転位反応、岩本武明、石田真太郎、現代ケイ素化学、吉良満夫・玉尾皓平 編(化学同人) 2013, 第 18 章. (査読有)

〔その他〕

研究室ホームページ:

<http://www.ssoc.chem.tohoku.ac.jp/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石田 真太郎 (ISHIDA SHINTARO)

東北大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号 : 90436080