

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05417

研究課題名(和文)新規三脚型四座配位子を有する金属錯体を用いた小分子活性化反応の開発

研究課題名(英文)Activation of Small Molecules by Use of Metal Complexes Bearing New Tripodal Tetradentate Ligands

研究代表者

武田 亘弘 (Takeda, Nobuhiro)

群馬大学・大学院理工学府・准教授

研究者番号：80304731

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：新規PS3型三脚型四座配位子や新規SiS3型三脚型四座配位子を有する9-11族金属錯体を合成し、これらの錯体の構造、反応性、触媒活性を明らかにした。特に、SiS3型配位子を有するロジウム錯体を触媒としたフェニルアセチレンのヒドロシリル化反応において、室温ではZ-アルケンが、50 °CではE-アルケンが高収率で得られ、温度により選択性が逆転することを明らかにした。また、PS3型配位子を有する1価ロジウム錯体を合成し、この錯体がO<sub>2</sub>と速やかに反応してロジウム-酸素錯体を与えることを明らかにした。この錯体はO<sub>2</sub>の活性化に有効であることが期待される。

研究成果の概要(英文)：We synthesized group 9-11 metal complexes bearing new PS3-type or SiS3-type tripodal tetradentate ligands, and revealed their structures, reactivity and catalytic activity. A rhodium complex bearing the SiS3-type ligand, [RhCl(C<sub>8</sub>H<sub>13</sub>){Si(C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>-2-S-i-Pr)<sub>3</sub>}], catalyzed hydrosilylation of phenylacetylene to give the corresponding Z-alkene at room temperature. On the other hand, the reaction at 50 °C resulted in the formation of the corresponding E-alkene as a main product. It is interesting that the selectivity is changed by the reaction temperature. In addition, a rhodium(I) complex bearing the PS3-type ligand, [RhCl{P(C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>-2-S-i-Pr)<sub>3</sub>}], readily reacted with O<sub>2</sub> to afford the corresponding Rh-O<sub>2</sub> complex. It is expected that the rhodium(I) complex can activate O<sub>2</sub> molecule.

研究分野：有機元素化学, 有機金属化学

キーワード：三脚型四座配位子 シリル配位子 チオエーテル配位子 ホスフィン配位子 遷移金属錯体 小分子の  
活性化 触媒反応 ヒドロシリル化反応

### 1. 研究開始当初の背景

近年、三脚型四座配位子を有する遷移金属錯体の特異な構造や性質に興味を持たれ、多くの研究が行われている。例えば最近、1つのアミン部位と3つのアミド部位を持つNN<sub>3</sub>型の三脚型四座配位子を有するMo錯体<sup>1</sup>や1つのボリル部位と3つのホスフィン部位を持つBP<sub>3</sub>型の三脚型四座配位子を有するFe錯体<sup>2</sup>がN<sub>2</sub>を原料としたNH<sub>3</sub>合成反応の触媒として働くことが報告され、注目を集めている。しかしながら、カルコゲノエーテル部位を有する三脚型四座配位子に関する研究は比較的少ない。1つのホスフィンと3つのカルコゲノエーテル部位を持つ三脚型四座配位子に関しては、PO<sub>3</sub>型の配位子やトリス(2-メチルチオフェニル)ホスフィンなどの配位子が報告されている<sup>3</sup>が、その他の配位子に関しては殆ど研究が行われていない。また、ごく最近、SiP<sub>3</sub>型の三脚型四座配位子を有するFe錯体がN<sub>2</sub>の活性化に有効であることが示唆され<sup>4</sup>、三脚型四座シリル配位子が注目されている<sup>5</sup>が、1つのシリル基と3つのカルコゲノエーテル部位を持つ三脚型四座配位子に関する研究は、殆ど報告されていない<sup>6</sup>。

一方申請者は、1つのホスフィン部位と3つのカルコゲノエーテル部位を有する配位子P(C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>-2-YR)<sub>3</sub>(**1**<sub>PO</sub>: Y = O, **1**<sub>PS</sub>: Y = S, **1**<sub>PSe</sub>: Y = Se, **1**<sub>PmS</sub>: Y = CH<sub>2</sub>S) および1つのシリル部位と3つのチオエーテル部位を有する配位子-Si(C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>-2-YR)<sub>3</sub>(**1**<sub>Sis</sub>: Y = S, **1**<sub>Sims</sub>: Y = CH<sub>2</sub>S)を開発し (Figure 1), 配位子**1**<sub>PY</sub>を有するRu, 10族金属<sup>7</sup>, 11族金属錯体, **1**<sub>SiY</sub>を有するIr, Pd およびPt錯体<sup>8</sup>の合成に成功した。さらに, **1**<sub>PS</sub>(R = *i*-Pr)を有するジメチルパラジウム錯体**2**やジカチオン性二核金錯体**3**, **1**<sub>Sims</sub>(R = *t*-Bu)を有し空配位座を有するカチオン性イリ

ジウム(III)錯体**4**などの高い反応性を有すると期待される錯体を合成している。

### References:

1. D. V. Yandulov and R. R. Schrock, *Science*, **301**, 76-78 (2003).
2. J. S. Anderson, J. Rittle, J. C. Peters, *Nature*, **501**, 84-87 (2013).
3. J. S. Sun, C. E. Uzelmeier, D. L. Ward and K. R. Dunbar, *Polyhedron*, **17**, 2049-2063 (1998); Y. Yamamoto, K. Sugawara and X. H. Han, *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, **2002**, 195-211; G. Dyer and D. W. Meek, *Inorg. Chem.*, **4**, 1398-1402 (1965); L. P. Haugen and R. Eisenber, *Inorg. Chem.*, **8**, 1072-1078 (1969).
4. Y. Lee, N. P. Mankad, and J. C. Peters, *Nature Chemistry*, **2**, 558-565 (2010).
5. C. Tsay, N. P. Mankad, and J. C. Peters, *J. Am. Chem. Soc.*, **132**, 13975-13977 (2010); Y. Lee and J. C. Peters, *J. Am. Chem. Soc.*, **133**, 4438-4446 (2011).
6. M. S. Balakrishna, P. Chandrasekaran, and P. P. George, *Coord. Chem. Rev.*, **241**, 87-117 (2003).
7. N. Takeda, Y. Tanaka, F. Sakakibara and M. Unno, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **83**, 157-164 (2010).
8. N. Takeda, D. Watanabe, T. Nakamura, and M. Unno, *Organometallics*, **29**, 2839-2841 (2010).

### 2. 研究の目的

本研究では、既に合成に成功しているジメチルパラジウム錯体**2**およびジカチオン性二核金錯体**3**, 空配位座を有するカチオン性イリジウム(III)錯体**4**等の高い反応性を有すると期待される錯体とN<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO, エチレンなどの小分子との反応性を明らかにして、これらの錯体の小分子の活性化への応用を検討する。さらに、配位子**1**<sub>EY</sub>を有する他の金属錯体についても、ヒドロシリル化やカップリング反応、多重結合への求核付加反応などに対する触媒活性について明らかにし、有機合成触媒としての応用を検討する。

### 3. 研究の方法

- (1) 既に合成に成功しているジメチルパラジウム錯体**2**とプロトン酸との反応によりカチオン性パラジウム錯体を合成し、その構造、反応性、触媒活性を明らかにする。
- (2)-(4) 既に合成に成功しているジカチオン性二核金錯体**3**, SiS<sub>3</sub>型配位子を有する9族金属錯体, SiS<sub>3</sub>型配位子を有する白金錯体を触媒として用いて、ヒドロシランによるアルコールのシリル化反応, アルキンやアルケンのヒドロシリル化反応, ヒドロシランの加水分解反応などを検討する。
- (5) PS<sub>3</sub>型配位子を有するロジウム錯体を合成し、その構造や反応性を明らかにする。

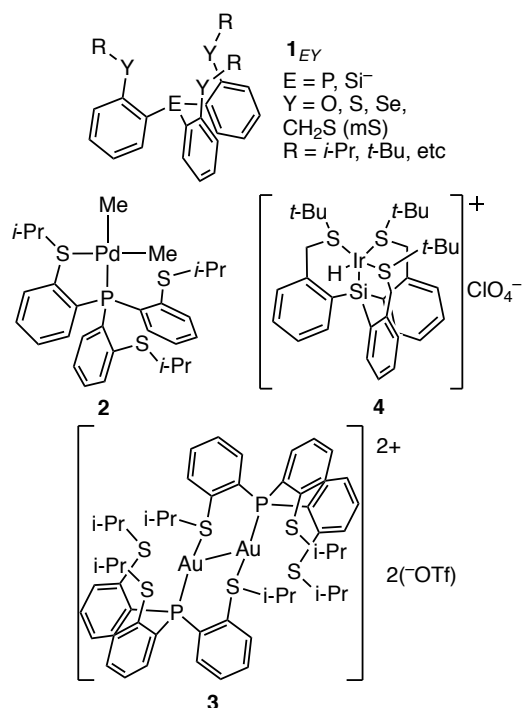
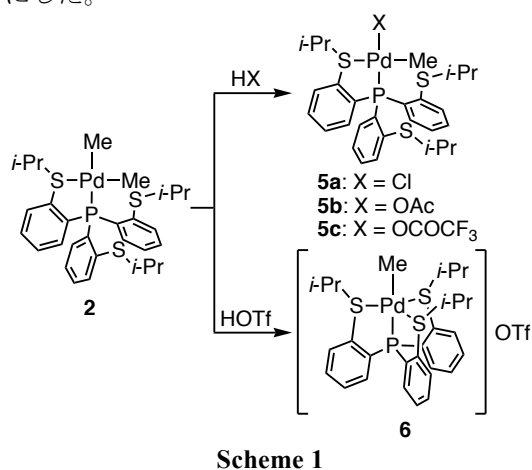


Figure 1

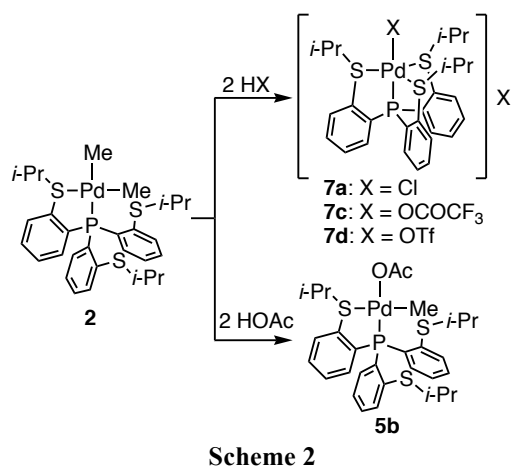
#### 4. 研究成果

##### (1) $PS_3$ 型配位子を有するジメチルパラジウム錯体 **2** とプロトン酸の反応

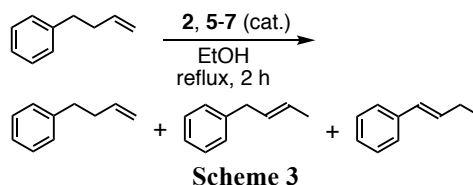
ジメチルパラジウム錯体 **2** と 1 当量のプロトン酸 HX (X = Cl, OAc, OCOCF<sub>3</sub>, OTf) とを反応させたところ、メチル基の 1 つが X によって置換された化合物 **5a-c**, **6** が得られた (Scheme 1)。X 線結晶構造解析により、錯体 **5a-c** が平面四配位構造を有する中性錯体であるのに対し、錯体 **6** が三方両錐型五配位構造を有するカチオン性錯体であることを明らかにした。



一方、ジメチルパラジウム錯体 **2** と 2 当量の HX とを反応させた場合には、X = Cl, OCOCF<sub>3</sub>, OTf との反応では二置換体 **7a,c,d** が得られたのに対し、酢酸との反応では一置換体 **5b** が得られた (Scheme 2)。金属-炭素結合は一般に反応活性であることが知られており、**5b** の Pd-C 結合が酢酸に対して安定であったことは興味深い。

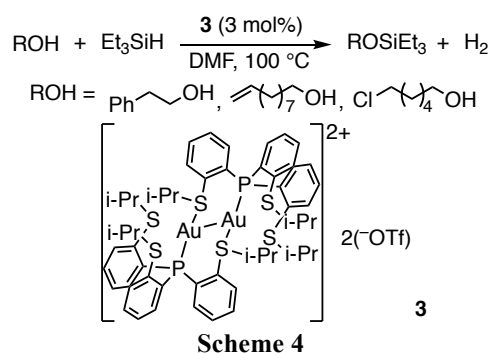


エタノール中、触媒量の錯体 **2**, **5-7** 共存下で 4-フェニル-1-ブテンを加熱したところ、多量化反応は進行せず、アルケンの異性化反応のみが進行した (Scheme 3)。この異性化反応においては、トリフラートアニオンを対アニオンとするカチオン性錯体 **6**, **7d** が高い触媒活性を示し、1-フェニル-1-ブテンが主生成物として得られた。



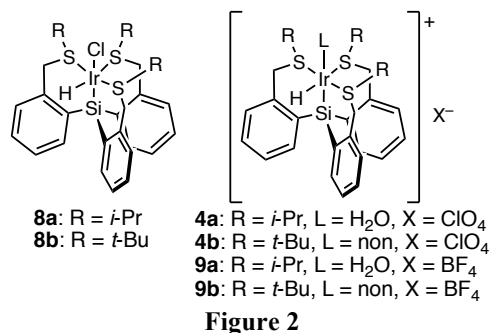
##### (2) ジカチオン性二核金錯体 **3** を用いた触媒反応の開発

触媒量のジカチオン性二核金錯体 **3** (Figure 1) 存在下、DMF 中 100 °C でフェネチルアルコールとトリエチルシランとの反応を行ったところ、対応するシリルエーテルが高収率で得られた (Scheme 4)。また、アルケン、クロロ基を有するアルコールを用いた場合でも、アルコールのみが選択的にシリル化されることが明らかとなった。



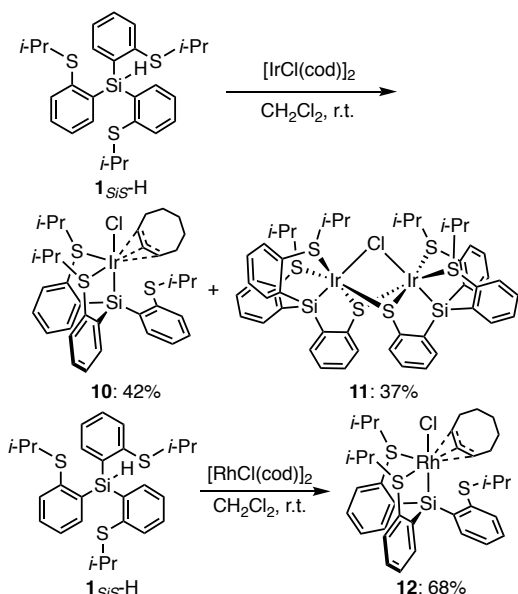
##### (3) $SiS_3$ 型配位子を有する9族金属錯体を触媒として用いたヒドロシリル化反応

申請者らはすでに  $SiS_3$ 型配位子 **1<sub>SiMS</sub>** を有するイリジウム錯体 **8a,b** およびカチオン性イリジウム錯体 **4a,b**, **9a,b** の合成に成功している (Figure 2)。

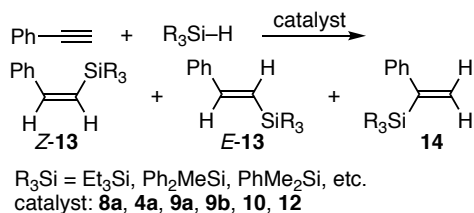


一方、 $SiS_3$ 型配位子前駆体 **1<sub>SiS-H</sub>** と [IrCl(cod)]<sub>2</sub> とを反応させたところ、シクロオクテニルイリジウム錯体 **10** と二核イリジウム錯体 **11** が得られた (Scheme 5)。また、**1<sub>SiS-H</sub>** と [RhCl(cod)]<sub>2</sub> との反応では、シクロオクテニルロジウム錯体 **12** が良好な収率で得られた。

イリジウム錯体 **8a**, **4a**, **9a,b**, **10** を触媒として用いて、シラン (HSiMe<sub>2</sub>Ph, HSiMePh<sub>2</sub>, HSiEt<sub>3</sub>) によるフェニルアセチレンのヒドロシリル化反応を検討したところ、いずれの場合にも Z-アルケン **Z-13** が高い収率で得られた (Scheme 6)。特に錯体 **4a**, **9a** を用いた場合にはいずれの



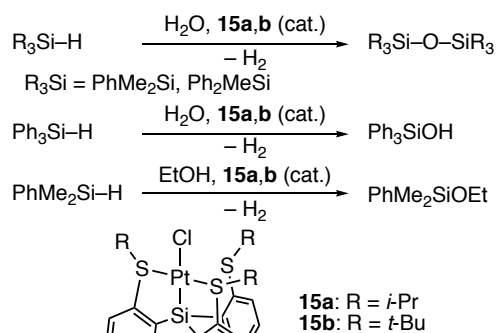
シランを用いた場合でも99%以上の選択性でZ-13が得られた。これまでもフェニルアセチレンのヒドロシリル化反応において選択的にZ-アルケンが生成する例は報告されているが、99%以上の選択性でZ-アルケンが生成する系は限られており、この結果は興味深い。



一方、触媒量のロジウム錯体12存在下でフェニルアセチレンとPhMe<sub>2</sub>SiHを反応させた場合には、室温ではZ-13が、50 °Cでは、E-13が高収率で得られ、温度により選択性が逆転することが明らかになった。さらに錯体12がアルキルアセチレン、内部アセチレン、末端アルケンのヒドロシリル化反応においても触媒として有効に働くことを明らかにした。

(4) Si<sub>3</sub>S<sub>3</sub>型配位子を有する白金錯体を触媒として用いたヒドロシランの加水分解

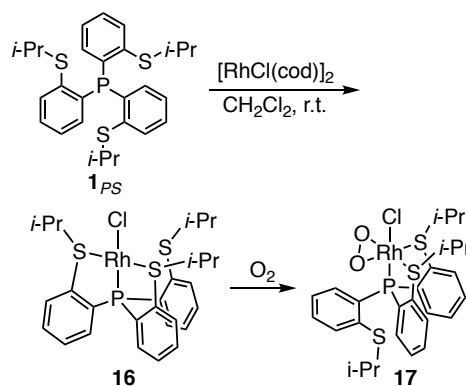
申請者らはすでに、Si<sub>3</sub>S<sub>3</sub>型配位子 1<sub>SiS</sub>を有するクロロ白金錯体 15a,bの合成に成功している。本研究では、白金錯体 15a,bがSi-H結合を活性化し、HSiMe<sub>2</sub>Ph, HSiMePh<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>Oとの反応において触媒として働いて対応するジシロキサンを生成させることを明らかにした (Scheme 7)。また、シランとしてPh<sub>3</sub>SiHを用いた場合には、対応するシラノールが得られた。さらに、HSiMe<sub>2</sub>Phとの反応においてH<sub>2</sub>Oの代わりにEtOHを用いた場合には、対応するシリルエーテル PhMe<sub>2</sub>SiOEtが生成することを明らかにした。



**Scheme 7**

(5) PS<sub>3</sub>型配位子を有するロジウム錯体の合成と性質

PS<sub>3</sub>型三脚型四座配位子 1<sub>PS</sub> (R = *i*-Pr)と[RhCl(cod)]<sub>2</sub>との反応を行ったところ、対応する1価ロジウム錯体16が得られた (Scheme 8)。錯体16はO<sub>2</sub>と速やかに反応して、RhO<sub>2</sub>環を有する錯体17を与えた。錯体17は空气中で徐々に分解することから、錯体16はO<sub>2</sub>の活性化に有効であることが示唆された。錯体16は他の小分子の活性化にも有効であることが期待される。



**Scheme 8**

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. Stereoisomerization of Cyclic Silanols, H. Endo, N. Takeda, and M. Unno, *Chem. Asian J.*, **12**, 1224-1233 (2017). 査読有, DOI: 10.1002/asia.201700125.
2. Unusual Reactions of Cyclic Fluorosiloxanes, N. Oguri, Y. Egawa, Y. Kawakami, C. Kobuna, N. Takeda, and M. Unno, *ChemistrySelect*, **2**, 2300-2304 (2016). 査読有, DOI: 10.1002/slct.201700306.
3. Activation of C-S Bond by Group 10 Metal Complexes: Reaction of Phosphine Ligand Tethered with Three *tert*-Butylthiophenyl Groups with Group 10 Metal Compounds, N. Takeda, Y. Tanaka, R. Oma, F. Sakakibara, and M. Unno, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **89**,

- 922-930 (2016). 査読有, DOI: 10.1246/bcsj.20160089.
- Synthesis of Hydrosilyl-substituted Cyclic Siloxane: New Building Block for Materials, Y. Egawa, S. Murakami, N. Takeda, and M. Unno, *Chem. Lett.*, **45**, 738-739 (2016). 査読有, DOI: 10.1246/cl.160272.
  - Janus Cube Octasilsesquioxane: Facile Synthesis and Structure, N. Oguri, Y. Egawa, N. Takeda, and M. Unno, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **55**, 9336-9339 (2016). 査読有, DOI: 10.1002/anie.201602413.
  - Cyclic Silanols with Long Alkyl Chains, S. Murakami, Y. Egawa, C. Kuramochi, N. Takeda, M. Unno, *Chem. Lett.*, **45**, 309-311 (2016). 査読有, DOI: 10.1246/cl.151143.
  - Facile Synthesis of Cyclic Fluorosiloxanes, N. Oguri, M. Unno, and N. Takeda, *Chem. Lett.*, **44**, 1506-1508 (2015). 査読有, DOI: 10.1246/cl.150692.
  - Refractive Indices of Silsesquioxanes with Various Structures, H. Endo, N. Takeda, M. Takashi, T. Imai, and M. Unno, *Silicon*, **7**, 127-132 (2015). 査読有, DOI: 10.1007/s12633-014-9239-6.
- [学会発表] (計 44 件)
- t*-Bu 基を有する PS<sub>3</sub> 型三脚型四座配位子を用いたカチオン性パラジウム錯体の合成と性質, 大間倫・武田亘弘・海野雅史, 日本化学会第 9 8 春季年会, 2018 年.
  - 新規 PS<sub>3</sub>S<sub>3</sub> 型七座配位子の合成と性質, 中島知也・武田亘弘・海野雅史, 日本化学会第 9 8 春季年会, 船橋, 2018 年.
  - PS<sub>3</sub> 型三脚型四座配位子を用いたジメチルパラジウム錯体及びカチオン性パラジウム錯体の合成とその性質, 大間倫・武田亘弘・海野雅史, 第 44 回有機典型元素化学討論会, 2017 年.
  - PS<sub>3</sub> 型三脚型四座配位子を有するルテニウム錯体の合成とその触媒反応への応用, 土屋俊悟・三丸涼・植草奈津子・武田亘弘・海野雅史, 第 44 回有機典型元素化学討論会, 2017 年.
  - SiS<sub>3</sub> 型三脚型四座配位子を用いたイリジウムおよびロジウム錯体の合成とそのヒドロシリル化反応触媒への応用, 武田亘弘・藤川雄介・小林史明・正田奈々美・海野雅史, 第 44 回有機典型元素化学討論会, 2017 年.
  - SiS<sub>3</sub> 型三脚型四座配位子を有する 9 族金属錯体の合成とそのヒドロシリル化反応触媒への応用, 武田亘弘・藤川雄介・小林史明・正田奈々美・海野雅史, 第 2 1 回ケイ素化学協会シンポジウム, 2017 年.
  - Synthesis and Properties of Ruthenium Complexes Bearing PS<sub>3</sub>-type Tripodal Tetradentate Ligands, Nobuhiro Takeda, Shungo Tsuchiya, Ryo Mimiru, Natsuko Uekusa, Masafumi Unno, 錯体化学会第 6 7 回討論会, 2017 年.
  - SiS<sub>3</sub> 型三脚型四座配位子を有する 10 族金属錯体の触媒反応への応用, 瀧澤裕・米田裕・武田亘弘・海野雅史, 錯体化学会第 6 7 回討論会, 2017 年.
  - SiS<sub>3</sub> 型三脚型四座配位子を有するロジウム錯体の合成とそのヒドロシリル化反応触媒への応用, 藤川雄介・武田亘弘・海野雅史, 錯体化学会第 6 7 回討論会, 2017 年.
  - PS<sub>3</sub> 型三脚型四座配位子を有する 11 族金属錯体の合成とその触媒反応への応用, 藤本礼真・富澤由紀・土屋賢人・戸丸貴行・武田亘弘・海野雅史, 錯体化学会第 6 6 回討論会, 2017 年.
  - Synthesis of Cationic Palladium Complexes Bearing PS<sub>3</sub>-Type Tripodal Tetradentate Ligand from the Corresponding Dimethylpalladium Complex and Their Properties, Nobuhiro Takeda, Rin Oma, Yusuke Tanaka, Yuki Kogure, Fumiaki Sakakibara, Masafumi Unno, 第 63 回有機金属化学討論会, 2017 年.
  - Synthesis and Coordination Chemistry of Novel SiS<sub>3</sub>S<sub>3</sub>-type Heptadentate Ligands, Suguru Yamaguchi, Nobuhiro Takeda, Masafumi Unno, 18th International Symposium on Silicon Chemistry in Conjunction with 6th Asian Silicon Symposium, 2017 年.
  - PS<sub>3</sub> 型三脚型四座配位子を有する新規パラジウム錯体の触媒活性, 大間倫・武田亘弘・海野雅史, 日本化学会第 9 7 春季年会, 2017 年.
  - SiS<sub>3</sub> 型三脚型四座配位子を有するルテニウム錯体の合成と構造, 吉田知史・坂本祥一・武田亘弘・海野雅史, 平成 28 年度日本化学会関東支部群馬地区研究交流発表会, 2016 年.
  - 新規 PS<sub>3</sub> 型三脚型四座配位子を有する 11 族金属錯体の合成とその性質の解明, 戸丸貴行・富澤由紀・土屋賢人・武田亘弘・海野雅史, 第 43 回有機典型元素化学討論会, 2016 年.
  - 新規な PSe<sub>3</sub> 型三脚型四座配位子を有する 11 族金属錯体の合成と構造, 石田規朗・武田亘弘・海野雅史, 第 43 回有機典型元素化学討論会, 2016 年.
  - Synthesis and Catalytic Activities of Group 9 Metal Complexes Bearing New SiS<sub>3</sub>-Type Tripodal Tetradentate Ligand, Nobuhiro Takeda, Yusuke Fujikawa, Fumiaki Kobayashi, Masafumi Unno, 第 63 回有機金属化学討論会, 2016 年.
  - Synthesis and Properties of New Palladium Complexes by Using Dimethyl Palladium Complex Bearing New PS<sub>3</sub>-type Tripodal Tetradentate Ligand, Rin Oma, Nobuhiro

- Takeda, Masafumi Unno, 錯体化学会第6回討論会, 2016年.
19. Synthesis and Properties of Group 10 and 11 Metal Complexes Bearing New PSe<sub>3</sub>-type Tripodal Tetradentate Ligand, Nobuhiro Takeda, Noriaki Ishida, Mika Machii, Masafumi Unno, 錯体化学会第6回討論会, 2016年.
  20. 新規 SiS<sub>3</sub> 型三脚型四座配位子を含む金錯体の合成と性質, 今井涼太・武田亘弘・海野雅史, 錯体化学会第6回討論会, 2016年.
  21. SiS<sub>3</sub> 型三脚型四座配位子を含む10族金属錯体の合成とその触媒反応への応用, 瀧澤裕・米田裕・武田亘弘・海野雅史, 錯体化学会第6回討論会, 2016年.
  22. SiS<sub>3</sub> 型三脚型四座配位子を含むロジウム錯体の合成とその性質の解明, 藤川雄介・武田亘弘・海野雅史, 錯体化学会第6回討論会, 2016年.
  23. PS<sub>3</sub>型三脚型四座配位子を含むルテニウム錯体を用いたアミン類の触媒的酸化反応, 土屋俊悟・三丸涼・植草奈津子・武田亘弘・海野雅史, 錯体化学会第6回討論会, 2016年.
  24. 新規 PS<sub>3</sub> 型三脚型四座配位子を含む10族金属錯体の反応性の解明, 大間倫・武田亘弘・海野雅史, 日本化学会第96春季年会, 2016年.
  25. 新規三脚型四座配位子を含む4配位2価10族金属錯体と5配位錯体間の平衡に関する研究, 武田亘弘・大間倫・高橋周平・石田規朗・田中雄介・佐原真治・町井美香・瀧澤裕・米田裕・富宇加剛広・渡邊大亮・海野雅史, 日本化学会第96春季年会, 2016年.
  26. 新規な SiS<sub>3</sub> 型三脚型四座配位子を含む9族および10族金属錯体の合成とその性質, 武田亘弘・小林史明・米田裕・瀧澤裕・海野雅史, 第42回有機典型元素化学討論会, 2015年. 新規な PS<sub>3</sub> 型三脚型四座配位子を含むカチオン性パラジウム錯体の合成とその触媒反応への応用, 大間倫・武田亘弘・海野雅史, 第42回有機典型元素化学討論会, 2015年.
  27. 新規な PSe<sub>3</sub> 型三脚型四座配位子を含む10族および11族金属錯体の合成と構造, 石田規朗・町井美香・武田亘弘・海野雅史, 第42回有機典型元素化学討論会, 2015年.
  28. 新規 SiS<sub>3</sub> 型三脚型四座配位子を含む11族金属錯体の合成, 今井涼太・武田亘弘・海野雅史, 錯体化学会第65回討論会, 2015年.
  29. Synthesis, Structure, and Catalytic Activity of Palladium and Platinum Complexes Bearing New SiS<sub>3</sub>-type Tripodal Tetradentate Ligand, Nobuhiro Takeda, Yutaka Komeda, Takahiro Tomiuka, Noriaki

- Ishida, and Masafumi Unno, 錯体化学会第65回討論会, 2015年.
30. Synthesis of Ruthenium Complexes Bearing New PS<sub>3</sub>-Type Tripodal Tetradentate Ligand and Their Application to Catalytic Oxidation of Amines, Nobuhiro Takeda, Ryo Mimiru, Natsuko Uekusa, and Masafumi Unno, 第62回有機金属化学討論会, 2015年.
  31. Synthesis of Iridium Complexes with New PS<sub>3</sub>-type Tripodal Tetradentate Ligand, Fumiaki Kobayashi, Daisuke Watanabe, Runa Shioya, Nobuhiro Takeda, and Masafumi Unno, 11th International Conference on Heteroatom Chemistry, 2015年.

ほか13件

[その他]  
ホームページ等  
<http://element.chem-bio.st.gunma-u.ac.jp/%7Etake/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

武田 亘弘 (TAKEDA NOBUHIRO)  
群馬大学・大学院理工学府・准教授  
研究者番号：80304731