

研究種目：学術創成研究費

研究期間：2005～2009

課題番号：17GS0207

研究課題名（和文） 高周期典型元素不飽和化合物の化学：
新規物性・機能の探求研究課題名（英文） The Chemistry of Unsaturated Compounds of Heavier
Main Group Elements: Pursuit of Novel Properties

研究代表者

時任 宣博 (TOKITOH NORIHIRO)

京都大学・化学研究所・教授

研究者番号：90197864

研究成果の概要（和文）：炭素や酸素など第二周期元素間不飽和化合物が有機化学の多様な反応性の中心を担い、有機化合物の機能・物性発現の鍵となっている。我々は、これまでの有機化学にはない新しい不飽和結合の化学への展開として、高周期元素間不飽和結合の特異な物性に着目し、機能・物性の発現を指向したケイ素やリンなどを含む新規な高周期元素間不飽和化合物を設計し、実際に合成・単離することでその機能を明らかとした。

研究成果の概要（英文）：Unsaturated compounds between the second row elements such as carbon and oxygen has played an important role in the function of organic compounds. In order to open the new chemistry of unsaturated compounds, we focused our attention on multiple-bond compounds between heavier elements such as silicon and phosphorus as novel functional materials. As a result, several numbers of novel unsaturated compounds between heavier elements have been successfully synthesized by utilizing kinetic stabilization and we have revealed their functions on the basis of element chemistry.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	90,000,000	27,000,000	117,000,000
2006年度	90,000,000	27,000,000	117,000,000
2007年度	85,500,000	25,650,000	111,150,000
2008年度	72,000,000	21,600,000	93,600,000
2009年度	72,000,000	21,600,000	93,600,000
総計	409,500,000	122,850,000	532,350,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：基礎化学・有機化学

キーワード：高周期典型元素

1. 研究開始当初の背景

ポリアセン類やポリフェニレンビニレン (PPV)等に代表される有機 π 電子系は、有機エレクトロニクスデバイスとして注目されている化合物であるが、これらは炭素・酸素・窒素といった第二周期元素のみから構成されている。一方、有機 π 電子系の新たな展

開として、含高周期典型元素不飽和化合物について興味を持たれ精力的に研究が行われてきたが、これらは非常に反応活性な化学種であり、通常の条件下では容易に多量化や加水分解等の副反応を起すため、安定な化合物として合成・単離された例は皆無であった。しかし、立体保護基を用いて多量化を防ぐ

「速度論的安定化」の手法を用いることで、1981年に、Si=Si 二重結合化合物である「ジシレン」(米・Westら)およびP=P 二重結合化合物である「ジホスフェン」(日・吉藤ら)が、初めて安定な化合物として合成・単離され、注目を集めた。以後、世界的に本研究分野は発展し、種々の含高周期元素不飽和結合化合物が合成・単離されてきた。

2. 研究の目的

含高周期元素不飽和化合物の新規物性の発現を目指し、以下の検討を行う。

- (1) 含高周期元素不飽和結合を π 電子系に組み込んだ、新規な拡張 π 電子系分子の設計・合成およびその性質と π 電子相互作用の解明
- (2) 物性の解明、新規物性発現の探求
- (3) 元素特性と物性の相関に関する系統的研究所に基づく、元素特性の解明

3. 研究の方法

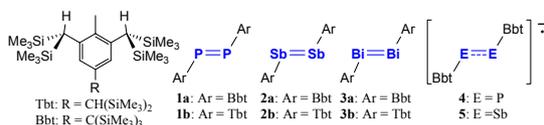
高周期元素不飽和結合を、従来の有機 π 電子系ユニット(フェニレンやオレフィンなど)や遷移金属d電子系ユニット(フェロセンなど)と連結することで、新規な含高周期元素不飽和結合 π 電子拡張共役系化合物を合成し、その性質や物性(特に電気化学特性・光物性・磁性等)を詳細に解明し、新規な機能・物性を探求する。

4. 研究成果

以下に記す新規な含高周期元素不飽和結合化合物の合成・単離に成功し、それらの特異な構造・物性を解明することに成功した。

(1) 高周期15族元素間不飽和結合の基本的性質の解明と電子受容能の評価

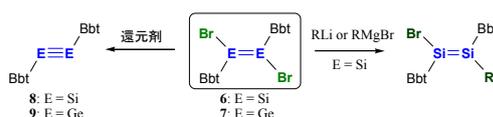
図に示す一連の高周期15族元素間二重結合化合物1-3について、その電子受容能について、実験化学・理論化学の両面から詳細に検討を行った。これらは容易に一電子還元を受け、特にアンチモンの系である2aが最も低い還元電位を示すことが明らかとなった。また対応するアニオンラジカル種4および5の合成・単離に成功しその性質を解明した。



(2) 新規高周期典型元素間不飽和結合化合物の創製と、高周期典型元素不飽和結合種のビルディングブロックの開発

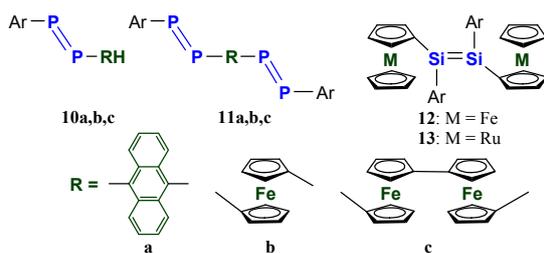
高周期典型元素間不飽和結合化合物は、本来単離困難なほど反応性が高く、安定な化合物として取り扱うためには立体保護基の導入が必須である。これまでの研究では、高周期

元素間不飽和結合化合物の合成・単離を主眼としていたため、不飽和結合に官能基を導入あるいは官能基変換を行うという観点での研究は進んでいなかった。我々は、ケイ素あるいはゲルマニウム原子間不飽和結合上の置換基として反応活性な臭素原子を有するジプロモジメタレン6および7の合成・単離に成功し、その性質を解明するとともに、それぞれ対応する三重結合化合物(ジメタリン)8および9のよい前駆体となることを明らかとした。また、6のケイ素上で形式的な求核置換反応が進行することが判り、6がSi=Siユニットのよいビルディングブロックとなることを明らかとした。



(3) 高周期典型元素不飽和結合を組み込んだ拡張 π 電子共役化合物

ジホスフェン部位とアントラセンまたはフェロセン、ビフェロセンと連結した拡張共役系化合物10および11、また二つのフェロセンあるいはルテノセンユニットをジシレンユニットで連結した12および13を安定な化合物として合成・単離することに初めて成功し、光物性や電子物性を調べた。特に10aは、微弱ながら蛍光特性を示すことが判った。これまで蛍光特性は全く無いとされていたジホスフェン類の中で、10aは初めての蛍光特性を有するジホスフェンとして重要な例となった。また、12および13は通常不安定な酸化還元挙動を示すジシレンユニットを持つ化合物であるが、フェロセンやルテノセンユニットとのd- π 共役の発現により、安定な四段階酸化還元挙動を示すことが判った。

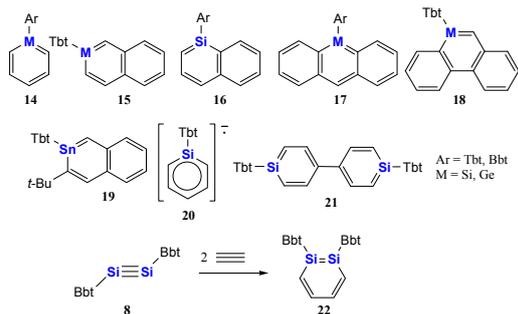


(4) 含高周期元素多核芳香環化合物

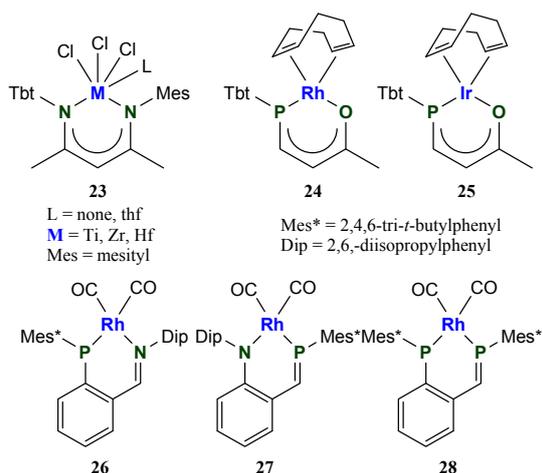
9-シラおよび9-ゲルマフェナントレン18(M = Si, Ge)および2-スタンナナフタレン19を初めて安定な化合物として合成・単離することに成功した。これまで合成に成功している14-18と併せ、一連の含高周期14族元素芳香環化合物について、十分な芳香族性を有することを明らかにした。2-スタンナナフタレン19は、初めての安定な中性含スズ芳香族化合物

物として重要な化合物であり、第5周期元素であるスズの系でも環状 π 電子共役系を構築できることを実証した点で関連各分野に大きなインパクトを与えた。また、一連の含ケイ素芳香族化合物は、対応する炭化水素の系と比べて低い酸化還元電位を有することを明らかとした。特にシラベンゼン **14** (M=Si, Ar = Tbt) の還元反応により、対応するシラベンゼンアニオンラジカル種 **20** が発生することを明らかとし、初めてその観測に成功した。含高周期元素芳香族化合物が電子輸送材料として活用できる可能性を示唆している。さらに、二つのシラベンゼンユニットをそのパラ位で連結した 1,1'-ジシラ-4,4'-ビフェニル **21** の合成にも成功し、その光物性を明らかとした。その結果、含ケイ素環状不飽和結合である芳香族化合物においても十分な π 共役が存在することが明らかとなり、また **21** は炭素の系のビフェニルには見られない蛍光特性を有することが判った。

一方、(2)で合成したジシリン **8** に対し、アセチレンを反応させたところ、初めての炭素置換ジシラベンゼン **22** を安定な化合物として合成・単離することに成功し、**8** もまた特異な含ケイ素不飽和結合化合物のよい前駆体となることを実証した。



(5) 新規な含典型元素-遷移金属元素不飽和結合化学種の創製と触媒化学への応用
非常にかさ高い β -ジケチミナト配位子を開発し、4族金属元素 (Ti, Zr, Hf) 塩化物 **22** を安定な化合物として合成・単離することに成功した。**23** を触媒として、エチレン/1-ヘキセン共重合反応を検討したところ、従来装置では分子量測定不能なほど超高分子量の高分子が得られた (住友化学との共同研究)。また、不飽和リン原子を有する一価二配位型の配位子を設計し、そのロジウム錯体 **24-28** を合成した。これらの配位子は、低配位リン原子の性質を反映し、高いトランス影響を有することが判った。実際これらのロジウム錯体 **26-28** を触媒として用いてオレフィンのヒドロシリル化反応を検討したところ、比較的高い触媒活性を有することが判った。このようなかさ高い置換基を有する含高周期元素 π 電子系化合物が、触媒化学にも展開可能であることを実証した。



(6) まとめ

本来非常に反応活性であるため合成・単離が困難な高周期元素間不飽和結合化合物も、適切な立体保護基と合成法を用いれば、比較的自由度のある分子設計に応じた分子を合成することが可能となった。炭素や酸素といった第二周期元素の系では、かなり複雑な分子設計により光物性、酸化還元特性などが発現するが、高周期元素不飽和結合の系では比較的単純な分子であっても、適切な分子設計を行うことで同様の物性発現が可能となることが判った。さらに、炭素の系には見られない高周期元素特有の新規物性を見出すことにも成功した。

高周期元素間不飽和結合の性質を解明する中で、それぞれの元素に共通するあるいは特徴的な性質が明らかとなり、今後の高周期元素の特性を活かした新規物質創製に関する研究に大きな波及効果をもたらしたと言える。

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 20 件)

- ① Han, J. S.; Sasamori, T.; Mizuhata, Y.; Tokitoh, N., Reactivity of an Aryl-Substituted Silicon-Silicon Triple Bond: Reactions of a 1,2-Diaryldisilyne with Alkenes. *J. Am. Chem. Soc.* **2010**, *132*, 2546-2547(査読有).
- ② Tanabe, Y.; Mizuhata, Y.; Tokitoh, N., Synthesis and Structure of a Heavier Congener of Biphenyl: 1,1'-Disila-4,4'-biphenyl, *Organometallics* **2010**, *29*, 721-723(査読有).
- ③ Sasamori, T.; Matsumoto, T.; Tokitoh, N., Synthesis of rhodium-carbonyl complexes bearing a novel P,N-chelating ligand of Schiff-base type. *Polyhedron* **2010**, *29*,

- 425-433(査読有).
- ④ Yuasa, A.; Sasamori, T.; Hosoi, Y.; Furukawa, Y.; Tokitoh, N., Synthesis and Properties of Stable 1,2-Bis(metallocenyl)-disilenes: Novel d- π ; Conjugated Systems with a Si=Si Double Bond. *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2009**, *82*, 793-805(査読有).
- ⑤ Mizuhata, Y.; Shinohara, A.; Tanabe, Y.; Tokitoh, N. *Chem. Eur. J.* **2009**, *15*, 8405-8408(査読有).
- ⑥ Tsurusaki, A.; Sasamori, T.; Tokitoh, N., [4+2] Cycloaddition of 9-Anthryldiphosphene with Electron-Deficient Olefins: Transformation of a Diaryldiphosphene to Alkylaryldiphosphenes. *Organometallics* **2009**, *28*, 3604-3607(査読有).
- ⑦ Sasamori, T.; Hironaka, K.; Sugiyama, Y.; Takagi, N.; Nagase, S.; Hosoi, Y.; Furukawa, Y.; Tokitoh, N., Synthesis and Reactions of a Stable 1,2-Diaryl-1,2-dibromodisilene: A Precursor for Substituted Disilenes and a 1,2-Diaryldisilyne. *J. Am. Chem. Soc.* **2008**, *130*, 13856-13857(査読有).
- ⑧ Mizuhata, Y.; Sasamori, T.; Nagahora, N.; Watanabe, Y.; Furukawa, Y.; Tokitoh, N., Synthesis and Properties of Stable 2-Metallanaphthalenes of Heavier Group 14 Elements. *Dalton Trans.* **2008**, 4409-4418(査読有).
- ⑨ Sasamori, T.; Yuasa, A.; Hosoi, Y.; Furukawa, Y.; Tokitoh, N., 1,2-Bis(ferrocenyl)disilene: A Multistep Redox System with an Si=Si Double Bond. *Organometallics* **2008**, *27*, 3325-3327(査読有).
- ⑩ Nagahora, N.; Sasamori, T.; Hosoi, Y.; Furukawa, Y.; Tokitoh, N., Generation, Isolation, and Reactivity of a Kinetically Stabilized Diphosphene Anion Radical. *J. Organomet. Chem.* **2008**, *693*, 625-632(査読有).
- ⑪ Sasamori, T.; Mieda, E.; Tokitoh, N., Chalcogenation Reactions of Overcrowded Doubly Bonded Systems between Heavier Group 15 Elements. *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2007**, *80*, 2425-2435(査読有).
- ⑫ Tokitoh, N.; Shinohara, A.; Matsumoto, T.; Sasamori, T.; Takeda, N.; Furukawa, Y., Synthesis and Properties of a Kinetically Stabilized 9-Silaphenanthrene. *Organometallics* **2007**, *26*, 4048-4053(査読有).
- ⑬ Sasamori, T.; Matsumoto, T.; Takeda, N.; Tokitoh, N., Synthesis and Properties of a Rhodium Complex Having a Novel β -Ketophosphenato Ligand, a Heavier Congener of a β -Ketoiminato Ligand. *Organometallics* **2007**, *26*, 3621-3623(査読有).
- ⑭ Tajima, T.; Sasamori, T.; Takeda, N.; Tokitoh, N., Synthesis and Structure of a Kinetically Stabilized Stannanethione. *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2007**, *80*, 1202-1204(査読有).
- ⑮ Sasamori, T.; Mieda, E.; Nagahora, N.; Sato, K.; Shiomi, D.; Takui, T.; Hosoi, Y.; Furukawa, Y.; Takagi, N.; Nagase, S.; Tokitoh, N., One-Electron Reduction of Kinetically Stabilized Dipnictenes: Synthesis of Dipnictene Anion Radicals. *J. Am. Chem. Soc.* **2006**, *128*, 12582-12588(査読有).
- ⑯ Sasamori, T.; Inamura, K.; Hoshino, W.; Nakata, N.; Mizuhata, Y.; Watanabe, Y.; Furukawa, Y.; Tokitoh, N., Synthesis and Characterization of Two Isomers of 14 π -Electron Germaaromatics: Kinetically Stabilized 9-Germaanthracene and 9-Germaphenanthrene. *Organometallics* **2006**, *25*, 3533-3536(査読有).
- ⑰ Mizuhata, Y.; Sasamori, T.; Takeda, N.; Tokitoh, N., A Stable Neutral Stannaromatic Compound: Synthesis, Structure and Complexation of a Kinetically Stabilized 2-Stannanaphthalene. *J. Am. Chem. Soc.* **2006**, *128*, 1050-1051(査読有).
- ⑱ Sugiyama, Y.; Sasamori, T.; Hosoi, Y.; Furukawa, Y.; Takagi, N.; Nagase, S.; Tokitoh, N., Synthesis and Properties of a New Kinetically Stabilized Digermyne: New Insights for a Germanium Analogue of an Alkyne. *J. Am. Chem. Soc.* **2006**, *128*, 1023-1031(査読有).
- ⑲ Mizuhata, Y.; Takeda, N.; Sasamori, T.; Tokitoh, N., Synthesis and Properties of a Stable 6-Stannapentafulvene. *Chem. Commun.* **2005**, 5876-5878(査読有).
- ⑳ Shinohara, A.; Takeda, N.; Sasamori, T.; Tokitoh, N., Synthesis of Kinetically Stabilized 1-Silanaphthalenes and Their Properties. *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2005**, *78*, 977-987(査読有).
- [学会発表] (計 19 件)
- ① Tokitoh, N. Synthesis and properties of novel functionalized disilenes and a stable diaryldisilyne, 5th European Silicon Days, Vienna, Austria, Sept. 21, 2009.
- ② Sasamori, T.; Matsumoto, T.; Tokitoh, N. Synthesis and Structures of Novel Rhodium Complexes Bearing a Schiff-base Type N, P-Chelating Ligands, 12th International Symposium on Inorganic Ring Systems, Goa, India, Aug. 19, 2009.
- ③ Tokitoh, N.; Tanabe, Y.; Mizuhata, Y. Some

- New Reactions of a Kinetically Stabilized Silabenzene and Isolation of a Stable 1,1'-Disila-4,4'-biphenyl, 13th International Symposium on Novel Aromatic Compounds, Luxembourg, July 22, 2009.
- ④ Tokitoh, N. The Chemistry of Polysulfides of Heavier Main Group Elements and Transition Metals: Syntheses and Their Unique Structures and Properties, RSC (Royal Society of Chemistry)/Shell Castle Conversation on Sulphur Chemistry, East Sussex, UK, Nov. 24, 2008.
- ⑤ Mizuhata, Y.; Sasamori, T.; Nagahora, N.; Watanabe, Y.; Furukawa, Y.; Tokitoh, N. Synthesis and properties of stable 2-metallaphthalenes of heavier group 14 elements, Dalton Discussion 11: The Renaissance of Main Group Chemistry, Berkeley, USA, June 24, 2008.
- ⑥ Matsumoto, T.; Tanabe, Y.; Mizuhata, Y.; Sasamori, T.; Tokitoh, N. Redox Behavior and Coordination Chemistry of Kinetically Stabilized Sila aromatics and Related Compounds, The 15th International Symposium on Organosilicon Chemistry, Jeju, Korea, June 2, 2008.
- ⑦ Tokitoh, N. New Aspects in the Chemistry of Doubly Bonded Systems between Heavier Group 15 Elements, Heterocyclic and Heteroatom Chemistry Conference 2008, Cancun, Mexico, Feb. 25, 2008.
- ⑧ Sasamori, T. Chemistry of Low-coordinated Species of Heavier Group 15 Elements, 2007 Workshop on Organometallic Chemistry, Wako, Japan, Nov. 9, 2007.
- ⑨ Tokitoh, N. New Aspects in the Chemistry of Low-coordinated Organosilicon Compounds, The 1st Asian Silicon Symposium, Zao Town, Japan, Nov. 1 2007.
- ⑩ Tokitoh, N.; Sugiyama, Y.; Tajima, T.; Inamura, K.; Mizuhata, Y.; Sasamori, T. Recent Progress in the Chemistry of Multiply Bonded Germanium and Tin Compounds, The 12th International Conference on the Coordination and Organometallic Chemistry of Germanium, Tin and Lead (ICCOC-GTL-12), Galway, Ireland, July 13, 2007.
- ⑪ Tokitoh, N.; Tajima, T.; Takeda, N.; Sasamori, T. Synthesis and Characterization of the First Stable Stannanetellone, The 10th International Conference on the Chemistry of Selenium and Tellurium (ICCST-10), Łódź, Poland, June 24 2007.
- ⑫ Mizuhata, Y.; Takeda, N.; Sasamori, T.; Tokitoh, N. Syntheses and Properties of Kinetically Stabilized Novel Tin-carbon Double-bond Compounds, The 2nd International Symposium of Core-to-Core Program on Main Group Chemistry, Tokyo, Japan, Aug. 27, 2006.
- ⑬ Tokitoh, N. Design and Synthesis of Novel Polythioether Ligands Tethered with Extremely Bulky Substituents and Their Application to the Synthesis of Unique Transition Metal Complexes, The 22nd International Symposium on the Organic Chemistry of Sulfur (ISOCS-22), Saitama, Japan, Aug. 21, 2006.
- ⑭ Tokitoh, N. Application of Extremely Bulky Polythioether Ligands to the Synthesis of Novel Transition Metal Complexes Having a Unique Metallacyclic Framework, The 11th International Symposium on Inorganic Ring Systems (IRIS XI), Oulu, Finland, Aug. 3, 2006.
- ⑮ Tokitoh, N.; Sugiyama, Y.; Sasamori, T. Recent Progress in the Chemistry of Kinetically Stabilized Disilenes, 2006 ACS Central Regional Meeting and the 39th Silicon Symposium, Frankenmuth, Michigan, U.S.A., May 18, 2006.
- ⑯ Tokitoh, N.; Mieda, E.; Nagahora, N.; Sasamori, T.; Takeda, N.; Takagi, N.; Nagase, S. New Aspects in the Chemistry of Kinetically Stabilized Dipnictenes, 2005 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2005), Honolulu, U.S.A., Dec. 19, 2005.
- ⑰ Tokitoh, N.; Shinohara, A.; Takeda, N.; Sasamori, T. Some Unique Reactions of Kinetically Stabilized Sila aromatic Compounds with Haloalkanes and Polyaromatic Hydrocarbons, The 14th International Symposium on Organosilicon Chemistry (ISOS XIV), Würzburg, Germany, Aug. 1, 2005.
- ⑱ Nagase, S. Interesting Bonding and Structures in Large Molecules, XIIth International Congress of Quantum Chemistry (ICQC), Kyoto (Japan), May 21, 2006.
- ⑲ Nagase, S. Functional Nanomolecules, 1st NAREGI International Nanoscience Conference, Nara (Japan), June 14, 2005
- [図書] (計 5 件)
- ① Mizuhata, Y.; Tokitoh, N. Stannenes, distannenes, and stannynes, in "Tin Chemistry: Fundamentals, Applications and Frontiers", ed. by M. Gielen, A. G. Davies, K. Pannell, and E. Tiekink, John Wiley & Sons, Chichester, pp. 177-200 (2008).
- ② Yamaguchi, K.; Tsukamoto, S.; Matsuda, K. GaSb/GaAs quantum nanostructures by

molecular beam epitaxy, in "Handbook of self-assembled semiconductor nanostructures novel devices in photonics and electronics", ed. by Henini, M., Elsevier B. V. 271-292 (2008).

- ③ Takeda, N.; Tokitoh, N.; Okazaki, R. The Compounds Between Si, Ge, and Sn and Chalcogens (S, Se, and Te) Having Both a Single and Double Bond (Heavy Ketones), in "Handbook of Chalcogen Chemistry: New Perspectives in Sulfur, Selenium and Tellurium", ed. by Devillanova, F. A. RSC Publishing, 195-222 (2007).
- ④ Furukawa, Y. Vibrational Spectroscopy of Conducting Polymers: Fundamentals and Applications, in "Vibrational Spectroscopy of Polymers: Principles and Practice", ed. by Everall, N. J.; Chalmers, J. M.; Griffiths P. R., John, Wiley & Sons, Chichester, pp. 537-556 (2007).
- ⑤ Sasamori, T.; Tokitoh, N. Group 14 Multiple Bonding, in "Encyclopedia of Inorganic Chemistry", 2nd Edition, ed. by King, R. B., John Wiley & Sons, Chichester, 1698-1740 (2005).

[産業財産権]

○ 出願状況 (計 0 件)

○ 取得状況 (計 3 件)

- ① 名称: ケイ素-ケイ素二重結合化合物
およびその安定化方法
発明者: 玉尾皓平、辻 勇人、深澤愛子
権利者: 国立大学法人京都大学
種類: 特許
番号: 特開 2009-90335
取得年月日: 2009 年 4 月 30 日
国内外の別: 国内
- ② 名称: 有機エレクトロルミネッセンス素子
発明者: 古川行夫、山田哲平、小野善伸
権利者: 学校法人早稲田大学、住友化学株式会社
種類: 特許
番号: 特開 2007-242601
取得年月日: 2007 年 9 月 20 日
国内外の別: 国内
- ③ 名称: 置換芳香族ニトリル化合物およびその製造方法
発明者: 辻 勇人、玉尾皓平、高嶋洋平、増田豪、飯田俊哉
権利者: 国立大学法人京都大学、株式会社日本触媒
種類: 特許
番号: 特開 2007-230999
取得年月日: 2007 年 9 月 13 日
国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://boc.kuicr.kyoto-u.ac.jp/www/csr/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

時任 宣博 (TOKITOH NORIHIRO)
京都大学・化学研究所・教授
研究者番号: 90197864

(2) 研究分担者

笹森 貴裕 (SASAMORI TAKAHIRO)
京都大学・化学研究所・准教授
研究者番号: 70362390
松田 一成 (MATSUDA KAZUNARI)
京都大学・化学研究所・准教授
研究者番号: 40311435
永瀬 茂 (NAGASE SHIGERU)
分子科学研究所・理論分子科学研究系・教授
研究者番号: 30134901
古川 行夫 (FURUKAWA YUKIO)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号: 50156965
水畑 吉行 (MIZUHATA YOSHIYUKI)
京都大学・化学研究所・助教
研究者番号: 30437264
(H19-H21)
田嶋 智之 (TAJIMA TOMOYUKI)
京都大学・次世代開拓ユニット・助教
研究者番号: 90467275
(H20)
長洞 記嘉 (NAGAHORA NORIYOSHI)
京都大学・生存基盤科学研究ユニット・助教
研究者番号: 30402928
(H18-H19)
武田 亘弘 (TAKEDA NOBUHIRO)
京都大学・化学研究所・助手
研究者番号: 80304731
(H17-H18)
辻 勇人 (TSUJI HAYATO)
京都大学・化学研究所・助手
研究者番号: 20346050
(H17)

(3) 連携研究者

佐藤 直樹 (SATO NAOKI)
京都大学・化学研究所・教授
研究者番号: 10170771