

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 24 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2012～2016

課題番号：24685007

研究課題名(和文)チオフェンからの触媒的芳香環変換反応

研究課題名(英文)Catalytic transformations of aromatic thiophenes

研究代表者

依光 英樹(Yorimitsu, Hideki)

京都大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00372566

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,700,000円

研究成果の概要(和文)：ジベンゾチオフェンを出発物質として、機能性有機材料として有用なトリフェニレンに変換する手法を開発した。また、ジベンゾチオフェンを酸化して対応するスルホンとし、ここから機能の宝庫であるカルバゾール、スピロ環状テトラアリアルメタン、ジベンゾホスホールを一段階で合成する手法も開発した。さらに、ベンゾフランの2位炭素-酸素結合への触媒的ホウ素挿入反応を開発し、この手法が、生物活性物質ならびに機能性有機材料のコア骨格として注目を集めている、オキサボリンの革新的合成手法になることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Aromatic thiophene skeletons are usually considered as being unbreakable due to their aromatic resonance energy. Compared with exocyclic modifications of thiophene rings, little is known about substitutions of endocyclic atoms through partial disassembly of the cyclic skeletons and subsequent ring reconstruction. Our endeavours have resulted in establishing aromatic metamorphosis, where heteroaromatic compounds such as dibenzothiophenes are transformed into different ring systems using a multi-step strategy or ideally in one step. Specifically, we have developed the following transformations: 1) Aromatic metamorphosis of dibenzothiophenes into triphenylenes, 2) Transition-metal-free synthesis of carbazoles and indoles by an SNAr-based aromatic metamorphosis of thiaarenes, 3) Synthesis of spirocyclic diarylfluorenes by one-pot twofold SNAr reactions of diaryl sulfones with diarylmethanes. Additionally, nickel-catalyzed transformations of benzofurans were also developed.

研究分野：有機化学

キーワード：チオフェン 芳香環メタモルフォシス パラジウム ニッケル

## 1. 研究開始当初の背景

チオフェンは重要なヘテロ芳香環であり、染料、医薬品、機能性有機材料の鍵を握る骨格として注目を集めている。それゆえ、チオフェンの合成法も数多く、応用研究も広範にわたる。今日では、様々な置換様式のチオフェン誘導体やベンゾ縮環体、オリゴマーなどが自在かつ簡便に入手可能となっている。

有機化学とその周辺分野の著しい発展に伴って、芳香族分子の重要性が再認識されている。特に有機エレクトロニクスの根幹を支えるのは電子の授受を担う芳香族分子であり、斬新な芳香族分子の合成と機能探索は現代社会の更なる発展に直結する。また、医薬品のコア骨格としても、芳香環の重要性はさらに高まっている。今日では、通常の芳香環に加えて、ホスホールなどの新しいヘテロ芳香族分子の合成・応用研究が盛んに行われている。しかしながら、こうした興味深いヘテロ芳香環の合成法は発展途上の段階である。

電子系芳香族分子に立脚した分子科学を目覚ましく発展させるためには、こうした新しい芳香族分子を効率よく、自由自在に合成する手法の確立が必須である。

チオフェンは芳香族化合物でありながら、その炭素-硫黄結合は比較的弱く、遷移金属触媒によって切断されることが知られている。例えば、グリニャール反応剤存在下ニッケル触媒で反応を行うと、有機基が二つ導入されたブタジエンが生成する。すなわち、チオフェンは「1,3-アルカジエニル-1,4-二求電子剤」と見なすことができる。したがって、もしヘテロ原子ジアニオン等価体をチオフェンと遷移金属触媒存在下反応させることができれば、チオフェンから別のヘテロ芳香環への変換が実現できると考えた。

## 2. 研究の目的

先に述べた背景を元に、我々は、シロールをはじめとする一連の新規芳香族分子群の合成に際し、出発物質としてチオフェンを利用できるのではないかと考えた。具体的には、チオフェンの硫黄原子を遷移金属触媒反応によりケイ素やリンなどに置き換える手法を開発する。これにより、チオフェンで蓄積してきた豊富な合成化学をケイ素やリン、ホウ素などを鍵元素とするヘテロ芳香環の合成に展開できる。

既存の有用チオフェン誘導体に対して上述の変換を行えば、新しい医薬品あるいは機能性有機材料への斬新なアプローチを提供できる。こうした応用展開も検討し、既存のものとは一線を画する合成ルートを開拓するとともに、興味深い生物活性・物性を有する芳香族分子の創製を目指す。

## 3. 研究の方法

チオフェン類を出発原料として、遷移金属触媒と適切なヘテロ元素求核剤を作用させて、対応するホスホールならびにシロール誘

導体を合成する手法を確立する。亜鉛などの硫黄との親和性の高い金属を含んだ塩基を利用するなどして、硫化物イオンを除去しつつ目的生成物を合成することが肝要であり、これについて重点的に検討を行った。次に、確立した芳香環変換反応を様々な含硫黄芳香環に適用し、ホスホールやシロールを骨格に持つ新分子群の創出を図った。具体的な基質としては、含硫黄機能性有機材料や生物活性物質にターゲットを絞った。また、斬新な芳香族性分子であるポラサイクルの合成にも挑戦した。

## 4. 研究成果

### 4-1 ジベンゾチオフェンからトリフェニレンへの変換法の発見

まずモデル反応としてチオフェンからピロールを合成する反応の開発を検討した。ジベンゾチオフェンに対して、かさ高い亜鉛アミド塩基の存在下、遷移金属触媒を作用させたが、対応するカルバゾールはほとんど得られなかった。そこでベンゾチオフェンを酸化して対応するスルホキシドやスルホンにして反応を行った。しかしながらやはり目的の生成物は得られなかった。一方で、ジベンゾチオフェンをトリフルオロメタンスルホン酸メチルによりメチル化してスルホニウム塩とし、これを用いて鈴木宮浦カップリング反応を行ったところ、効率は悪いものの炭素-硫黄結合切断に続いて炭素-炭素結合の生成がおこった。生成物は、有機エレクトロニクスの基本骨格とも言えるトリフェニレンであり、ピロール同様興味深い。そこで、ジベンゾチオフェンからトリフェニレンへの変換法に研究の方向性を一旦転換し、研究を続けることにした。

検討の結果、以下に示す四つの反応でトリフェニレンに変換する手法を確立した。(1) ジベンゾチオフェンを銀テトラフルオロボラートと1,4-ジハロアルカンで4-ハロブチル化し、対応するスルホニウム塩にする。(2) 塩基の添加を行わない条件で、ナトリウムテトラアリアルボラートを用いるパラジウム触媒開環アリアル化を新たに開発し、ターアリアルスルフィドを合成した。(3) 4-ハロブチルスルファニル基を銀ヘキサフルオロアンチモナートにより環化させて、環状スルホニウム塩に活性化する。(4) パラジウム/SPhos触媒による新規分子内C-Hアリアル化により、トリフェニレンとする。本手法は多段階を必要とするものの全収率は良好で、多置換トリフェニレンを自在に合成できる。

### 4-2 ジベンゾチオフェンからカルバゾールスピロ環状テトラアリアルメタンおよびジベンゾホスホールの合成

(2)の過程において、同様の条件でアニリンが反応すれば、ピロールの一種であり、極めて重要な窒素含有芳香族化合物であるカルバゾールとなる。これについて検討を重ね

たが、目的の反応を開発することはできなかった。そこで、別の手法によりジベンゾチオフェンを活性化することを着想した。すなわち、ジベンゾチオフェンを過酸化水素により対応するスルホンに変換する。このスルホンに、遷移金属を使わずに強塩基存在下アニリンを作用させたとこ、対応するカルバゾールが高収率で得られることが明らかになった。チオフェンの含窒素芳香環への分子変換法として極めて大きな進歩である。

同様の手法で、アニリンの代わりに、環状ジアリールメタンを作用させればスピロ環状テトラアリールメタンが、フェニルホスフィンを作用させればジベンゾホスホールが生じることも明らかになった。得られた成果はいずれも機能性有機材料ならびに医薬品の合成法を一変する研究につながるものである。

#### 4-3 ジベンゾフランからトリフェニレンへの変換

4-1の成果に基づき、ジベンゾチオフェンの代わりにジベンゾフランを用いて検討を行ったところ、ニッケル触媒とアリールグリニヤール反応剤を用いれば、ジベンゾフランの開環アリール化が進行することを見いだした。ジベンゾチオフェンの場合と異なり、銀塩を用いたアルキル化による活性化は不要であり、全行程数も三段階と短縮された。また、閉環にはトリフラート化とパラジウム触媒による分子内C-Hアリール化を利用した。このとき、触媒的閉環の代わりに光反応による電子環状反応の方がより強力に閉環できることも見つけた。

#### 4-4 ベンゾフランへのホウ素挿入反応によるボラサイクルの合成

オキサボリン類は、酸素原子とホウ素原子を六員環骨格の内部に含むボラサイクルであり、その光物性や電気的特性が注目されている。こうした背景のもと、我々は遷移金属触媒を用いたベンゾフラン類へのホウ素挿入反応を着想した。フラン骨格は酸素原子を含んだ五員環であり、この骨格にホウ素原子を割り込ませればオキサボリン骨格へと変換できる。この方法論は、既存の手法よりはるかに直接的にオキサボリン類が合成できるだけでなく、入手容易なフラン類を原料として利用できる点で優位である。

その結果、ベンゾフランとジボロン反応剤をニッケル-NHC 錯体触媒および塩基存在下トルエン中で反応させることで、ベンゾフランの2位炭素-酸素間に選択的にホウ素が挿入したボラート中間体が生成することを見いだした。このボラート中間体を酸で後処理すると、ヒドロキシオキサボリンが最終生成物として高収率で得られた。本反応の基質適用範囲は広く、ニッケル触媒によって反応しうるフルオロ基、メトキシ基、シロキシ基、エステルを有する基質でも、それらを損なう

ことなく良好な収率で反応が進行した。

中間生成物であるボラートおよび最終生成物であるヒドロキシオキサボリンは様々な変換が可能である。例えば、ボラートを含む反応混合物に対しパラジウム触媒とヨードアレーンを加えることで、ワンポット鈴木・宮浦カップリング反応が高収率かつ高いZ選択性で進行した。

また、このホウ素挿入反応は共役が拡大したナフトフラン類にも適用可能であり、従来法では構築が困難であったナフトオキサボリン骨格を容易に合成できた。さらに、ナフトオキサボリンのホウ素原子上のヒドロキシ基をアリール基で置換することにより、青色発光を示すオキサボリンを簡便に合成できた。

本反応は、ヘテロ芳香環の内部に新たにヘテロ原子を触媒的に挿入した初めての例であり、環構造の中にホウ素原子を割り込ませることでボラサイクルが構築できるという新たな方法論を実証している。

## 5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計16件)

Mitsuki Onoda, Yoshinari Koyanagi, Hayate Saito, M. Bhanuchandra, Yoshihiro Matano, and Hideki Yorimitsu, "Synthesis of Dibenzophospholes from Dibenzothiophene Dioxides and Phenylphosphine by Twofold  $\text{SnAr}$  Reactions", *Asian J. Org. Chem.*, 査読有, 6巻, 2017, 257-261  
DOI: 10.1002/ajoc.201600612

Yuto Kurata, Shinya Otsuka, Norihito Fukui, Keisuke Nogi, Hideki Yorimitsu, and Atsuhiko Osuka "Aromatic Metamorphosis of Dibenzofurans into Triphenylenes Starting with Nickel-Catalyzed Ring-Opening C-O Arylation", *Org. Lett.*, 査読有, 19巻, 2017, 1274-1277  
DOI: 10.1021/acs.orglett.6b03861

Ke Gao, Shinya Otsuka, Alexandre Baralle, Keisuke Nogi, Hideki Yorimitsu, and Atsuhiko Osuka, "Cross-coupling of Aryl Sulfides Powered by N-Heterocyclic Carbene Ligands", *J. Synth. Org. Chem. Jpn.*, 査読有, 74巻, 2016, 1119-1127  
DOI: 10.5059/yukigoseikyokaiishi.74.1119

Hideki Yorimitsu, Dhananjayan Vasu, M. Bhanuchandra, Kei Murakami, and Atsuhiko Osuka, "Aromatic Metamorphosis of Dibenzothiophenes",

*Synlett*, 査読有, 27 巻, 2016, 1765–1774  
DOI: 10.1055/s-0035-1561617

M. Bhanuchandra, Hideki Yorimitsu, and Atsuhiko Osuka, “Synthesis of Spirocyclic Diarylfluorenes by One-pot Twofold  $S_NAr$  Reactions of Diaryl Sulfones with Diarylmethanes”, *Org. Lett.* 査読有, 18 巻, 2016, 384–387  
DOI: 10.1021/acs.orglett.5b03384

Dhananjayan Vasu, Hideki Yorimitsu, and Atsuhiko Osuka, “Base-Free Palladium-Catalyzed Cross-Coupling of Arylsulfonium Salts with Sodium Tetraarylborates” *Synthesis*, 査読有, 47 巻, 2015, 384–387  
DOI: 10.1055/s-0035-1560476

Shinya Otsuka, Hideki Yorimitsu, and Atsuhiko Osuka, “Palladium-Catalyzed Zinc-Amide-Mediated C–H Arylation of Fluoroarenes and Heteroarenes with Aryl Sulfides” *Chem. Eur. J.*, 査読有, 21 巻, 2015, 14703–14707  
DOI: 10.1002/chem.201502101

M. Bhanuchandra, Kei Murakami, Dhananjayan Vasu, Hideki Yorimitsu, and Atsuhiko Osuka, “Transition-Metal-Free Synthesis of Carbazoles and Indoles by an  $S_NAr$ -based “Aromatic Metamorphosis” of Thiaarenes” *Angew. Chem. Int. Ed.*, 査読有, 54 巻, 2015, 10234–10238  
DOI: 10.1002/anie.201503671

Dhananjayan Vasu, Hideki Yorimitsu, and Atsuhiko Osuka, “Palladium-Assisted “Aromatic Metamorphosis” of Dibenzothiophenes into Triphenylenes” *Angew. Chem. Int. Ed.*, 査読有, 54 巻, 2015, 7162–7166  
DOI: 10.1002/anie.201501992

Ke Gao, Hideki Yorimitsu, and Atsuhiko Osuka, “Palladium-Catalyzed Amination of Aryl Sulfides with Aliphatic Amines” *Eur. J. Org. Chem.*, 査読有, 2015 巻, 2015, 2678–2682  
DOI: 10.1002/ejoc.201500226

Norihito Fukui, Hideki Yorimitsu, Jong Min Lim, Dongho Kim, and Atsuhiko Osuka “Synthesis of 7,8-Dehydropurpurin Dimers and Their Conversion to Conformationally Constrained  $\beta$ -to- $\beta$  Vinylene-bridged Porphyrin Dimers” *Angew. Chem. Int. Ed.*, 査読有, 53 巻, 2014, 4395–4398

DOI: 10.1002/anie.201400632

Keisuke Fujimoto, Tomoki Yoneda, Hideki Yorimitsu, and Atsuhiko Osuka, “Synthesis and Catalytic Activities of Porphyrin-Based PCP Pincer Complexes”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 査読有, 53 巻, 2014, 1127–1130  
DOI: 10.1002/anie.201308551

Yuko Suzuki, Norihito Fukui, Kei Murakami, Hideki Yorimitsu, and Atsuhiko Osuka, “Amination of *meso*-Bromoporphyrins and 9-Haloanthracenes with Diarylamines Catalyzed by a Palladium–PEPPSI Complex”, *Asian. J. Org. Chem.*, 査読有, 2 巻, 2013, 1066–1071  
DOI: 10.1002/ajoc.201300162

Norihito Fukui, Won-Young Cha, Sangsu Lee, Sumito Tokuji, Dongho Kim, Hideki Yorimitsu, and Atsuhiko Osuka, “Oxidative Fusion Reactions of *meso*-(Diarylamino)porphyrins”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 査読有, 52 巻, 2013, 9728–9732  
DOI: 10.1002/anie.201304794

Kei Murakami, Yutaro Yamamoto, Hideki Yorimitsu, and Atsuhiko Osuka, “Demetalation of Metal Porphyrins via Magnesium Porphyrins by Reaction with Grignard Reagents”, *Chem. Eur. J.*, 査読有, 19 巻, 2013, 9123–9126  
DOI: 10.1002/chem.201301146

Ryota Ueno, Daishi Fujino, Hideki Yorimitsu, and Atsuhiko Osuka, “TIPS-TTF as a Precursor of Low-Symmetry TTF Derivatives: Steric Protection Strategy in the Regioselective C–H Modification of TTF”, *Chem. Eur. J.*, 査読有, 19 巻, 2013, 7156–7161  
DOI: 10.1002/chem.201300623

[学会発表](計 29 件)

依光 英樹, 有機硫黄化学のルネッサンスから芳香環リフォームへの展開、第 76 回講演会有機化学研究会(白鷺セミナー)、2016/07/15、堺市(大阪)

依光 英樹, 有機硫黄化学のルネッサンス、第 51 回有機反応若手の会、2016/07/19–2016/07/21、諏訪湖ホテル(長野)

依光 英樹, 有機硫黄化学のルネッサンス

から芳香環リフォームへの展開、有機合成夏期セミナー「明日の有機合成化学」、2016/08/30–2016/08/31、大阪科学技術センター（大阪）

依光 英樹、有機硫黄化学のルネッサンスから芳香環リフォームへの展開、第 33 回有機合成化学セミナー、2016/09/06–2016/09/08、ヒルトンニセコプレッジ（北海道）

依光 英樹、有機硫黄化学のルネッサンスから芳香環リフォームへの展開、有機合成化学協会九州山口支部講演会、2016/11/17、九州大学（福岡）

Hideki Yorimitsu, “A Journey from Discovery of New Pummerer Chemistry to Catalytic C-S Bond Cleavage”, Fukui Seminar, 2016/04/13, 京都大学（京都）

Hideki Yorimitsu, “Aromatic Metamorphosis of Benzofurans”, The 12th International Symposium on Organic Reaction, 2016/04/22–2016/04/24, 京都テルサ（京都）

Hideki Yorimitsu, “Aromatic Metamorphosis of Benzofurans”, International Symposium on C-O Activation, 2016/10/25–2016/10/27, 姫路商工会議所（兵庫）

Hideki Yorimitsu, “Aromatic Metamorphosis of Benzofurans”, Catalysis and Fine Chemicals 2016, 2016/11/11–2016/11/14, 台北（台湾）

大塚 慎也、依光 英樹、大須賀篤弘、1,3-ジチオール-2-チオンの脱プロトン化-亜鉛化による置換基導入法、日本化学会第 96 春季年会、2016/03/24–2016/03/27、同志社大学京田辺キャンパス（京都）

倉田 悠都、大塚 慎也、福井 識人、依光 英樹、大須賀篤弘、ジベンゾフランからトリフェニレンへの芳香環リフォーム、日本化学会第 96 春季年会、2016/03/24–2016/03/27、同志社大学京田辺キャンパス（京都）

Ke Gao, Hideki Yorimitsu, and Atsuhiko Osuka, “Palladium-Catalyzed Amination of Aryl Sulfides with Aliphatic Amines”, The 13<sup>th</sup> International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry, 2015/11/09–2015/11/13, 京都リーガロ

イヤルホテル（京都）

Shinya Otsuka, Hideki Yorimitsu, and Atsuhiko Osuka, “Palladium-catalyzed C–H Arylation of Polyfluoroarenes and Heteroarenes with Aryl Sulfides”, The 13<sup>th</sup> International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry, 2015/11/09–2015/11/13, 京都リーガロイヤルホテル（京都）

Yuto Kurata, Shinya Otsuka, Norihito Fukui, Hideki Yorimitsu, and Atsuhiko Osuka, “Nickel-Catalyzed Ring-Opening Arylation of Dibenzofurans Followed by Intramolecular C–H Arylation: Aromatic Metamorphosis from Dibenzofurans to Triphenylenes”, The 13<sup>th</sup> International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry, 2015/11/09–2015/11/13, 京都リーガロイヤルホテル（京都）

Yuto Kurata, Shinya Otsuka, Norihito Fukui, Hideki Yorimitsu, and Atsuhiko Osuka, “Nickel-Catalyzed Ring-Opening Arylation of Dibenzofurans”, The 10<sup>th</sup> Organoelement Chemistry Seminar, 2015/06/08, 京都大学宇治キャンパス（京都）

Hideki Yorimitsu, “A Journey from Discovery of New Pummerer Chemistry to Catalytic C–S Bond Cleavage”, The 10<sup>th</sup> Organoelement Chemistry Seminar, 2015/06/08, 京都大学宇治キャンパス（京都）

Shinya Otsuka, Hideki Yorimitsu, and Atsuhiko Osuka, “Palladium-catalyzed Direct Arylation of Arenes Using Aryl Sulfides”, OMCOS 18, 2015/06/28–2015/07/02, Sitges（スペイン）

大塚 慎也、依光 英樹、大須賀篤弘、パラジウム触媒によるアリールスルフィドを用いたポリフルオロアレンおよび複素芳香環の直接アリール化、第 62 回有機金属化学討論会、2015/09/07–2016/09/09、関西大学（大阪）

倉田 悠都、大塚 慎也、福井 識人、依光 英樹、大須賀篤弘、Nickel-Catalyzed Ring-Opening Arylation of Dibenzofurans Followed by Intramolecular C–H Arylation: Aromatic Metamorphosis of

- Dibenzofurans to Triphenylenes、第 62 回有機金属化学討論会、2015/09/07–2016/09/09、関西大学(大阪)
- Hideki Yorimitsu, “A Journey from Discovery of New Extended Pummerer Chemistry to Catalytic C–S Bond Cleavage”, Symposium on New Organosulfur Chemistry, Pacificchem 2015, 2015/12/15–2015/12/20, ホノルル (米国)
- 21 依光 英樹、芳香環リフォーム、第 4 回元素化学懇談会、2015/05/16、高知県民文化ホール (高知)
- 22 バス ダナンジャヤン、依光 英樹、大須賀篤弘、パラジウム触媒を用いるジベンゾチオフェンスルホニウム塩の開環アリール化と続く C–H アリール化によるトリフェニレン合成、第 61 回有機金属化学討論会、2014/09/23–2014/09/25、九州大学 (福岡)
- 23 Hideki Yorimitsu, “Organosulfur Chemistry Revisited: From Pummerer Annulation to C–S Bond Cleavage”, 9<sup>th</sup> International Symposium on Integrated Synthesis, 2014/11/14–2014/11/15, 淡路島 (兵庫)
- 24 Dhananjayan Vasu, Hideki Yorimitsu, and Atsuhiko Osuka, “Palladium-Assisted Aromatic Metamorphosis of Dibenzothiophenes to Triphenylenes”, 9<sup>th</sup> International Symposium on Integrated Synthesis, 2014/11/14–2014/11/15, 淡路島 (兵庫)
- 25 Dhananjayan Vasu, Tomohiro Sugahara, Shinya Otsuka, Daishi Fujino, Kei Murakami, Hideki Yorimitsu, and Atsuhiko Osuka, “Catalytic C–S Bond Cleavage for Construction of  $\pi$ -Conjugated Molecules”, 41<sup>st</sup> International Conference on Coordination Chemistry, 2014/07/21–2014/07/25, シンガポール
- 26 依光 英樹、遷移金属触媒を駆使する電子系分子の合成、第 41 回オルガノメタリックセミナー<錯体触媒科学のフロンティア>、2013/12/19、岡山大学 (岡山)
- 27 Hideki Yorimitsu, Norihito Fukui, Sumito Tokuji, and Atsuhiko Osuka, “Oxidative Fusions of meso-(Diarylamino)porphyrin”, the 15<sup>th</sup> International Symposium on Novel Aromatic Compounds 2013/07/28–2013/08/02, 台北 (台湾)
- 28 Hideki Yorimitsu, “Synthesis of New Porphyrin-Based  $\pi$  Systems by Radical Reactions”, 6<sup>th</sup> Pacific Symposium on Radical Chemistry, 2013/06/16–2013/06/20, バンクーバー (カナダ)
- 29 Hideki Yorimitsu, “Palladium-Catalyzed Direct Arylation of Functional Heteroaromatics”, 3<sup>rd</sup> International Collaborative and Cooperative Chemistry Symposium, 2012/10/31–2012/11/01, Hangzhou (中国)
- { 図書 } (計 0 件)
- { 産業財産権 }
- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)
- { その他 }
- ホームページ：  
<http://kuchem.kyoto-u.ac.jp/orgchem/>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
依光 英樹 (YORIMITSU, Hideki)  
京都大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号： 00372566
- (2) 研究分担者  
該当なし
- (3) 連携研究者  
該当なし
- (4) 研究協力者  
DHANANJAYAN, Vasu  
京都大学・大学院理学研究科・博士研究員  
BHANUCHANDRA, Malli  
京都大学・大学院理学研究科・博士研究員  
倉田 悠都 (KURATA, Yuto)  
京都大学・大学院理学研究科・大学院生  
齊藤 颯 (SAITO, Hayate)  
京都大学・大学院理学研究科・大学院生  
野木 馨介 (NOGI, Keisuke)  
京都大学・大学院理学研究科・助教  
大須賀 篤弘 (OSUKA, Atsuhiko)  
京都大学・大学院理学研究科・教授