

令和元年6月10日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H06031

研究課題名(和文) 曲面分子の構造・性質を利用した新規機能性超分子の創成

研究課題名(英文) Creation of supramolecular materials based on curved pi-conjugated molecules

研究代表者

廣戸 聡 (Hiroto, Satoru)

京都大学・人間・環境学研究科・准教授

研究者番号：30547427

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,800,000円

研究成果の概要(和文)：通常平面である機能性分子を曲面にすることで、どのような利点があるかを明らかにすることを目的として研究を遂行した。その結果、分子を集積することで平面分子では発現しない二光子吸収特性のスイッチング機能や、超分子ポリマーの形成、反応性を明らかにした。また、摩擦や光、温度など外的刺激によって吸収色または発光色を変化させる新たな分子を開発し、分子の構造とその変化の相関を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、分子が曲面になることで平面より優れた、または平面分子にはない反応性を示すことを実験的に明らかにできた。これは、分子の曲面という構造的な要因の意義を実験的に初めて示した学術的に重要な結果である。さらに、三次元分子の柔軟性および集積による外部刺激応答性を発現したことは、分子センサーの新たな設計の指針を示す。また、曲面上の窒素元素の効果を示したことは、炭素材料におけるヘテロ元素導入の効果を実験的に解明する重要な手がかりとなり、今後の炭素材料の発展に貢献できる。以上のように、本研究は、曲面分子という新たな分子材料の創出とともに従来の炭素材料の発展の促進に繋がる意義深いものである。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research was to disclose effect of curved structures on molecular functionalities compared with planar pi-conjugated molecules. As a result, we discovered unique supramolecular assemblies based on curved pi-conjugated molecules. In particular, we have achieved a creation of novel two-photon absorption switching host-guest molecules based on azabuckybowl and C60. In addition, we found a formation of supramolecular polymer with azabuckybowl dimer in the presence of stoichiometric amount of C60. These phenomena have not been reported for planar pi-conjugated molecules. Secondly, stimuli-responsibilities of three-dimensional molecules have been developed by dimerization of hexa-peri-hexabenzocoronene. The dicyanoethano-bridged dimer exhibited mechanochromic behaviors. Furthermore, fluoromechanochromism was also observed for the dicyanoetheno-bridged dimer. These results would lead to creation of novel molecular sensors based on curved pi-conjugated molecules.

研究分野：構造有機化学

キーワード：曲面 共役分子 ヘリセン バッキーボウル 外部刺激応答性

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

曲面構造をもつ π 共役分子はフラーレンやカーボンナノチューブの部分構造としてその合成が古くから研究されてきた。これらは異方的な構造をもつため集積することで電気伝導方向の制御、円二色性、および電場応答性が期待できる。しかしながら、合成が多段階かつ過酷な条件を使用していたため大量合成や多様化が困難であった。これに対し、申請者はヘテロ元素および金属イオンを含有した歪み構造をもつ曲面 π 共役分子の溶液プロセスでの簡便かつ高効率での合成法を確立した(*Angew. Chem. Int. Ed.*, **51**, 2894 (2012), *Angew. Chem. Int. Ed.*, **52**, 5740 (2013), *Org. Lett.*, **16**, 3004 (2014), *J. Am. Chem. Soc.*, **137**, 142 (2015), *Chem. Commun.*, **50**, 2715 (2014). *Nat. Commun.* **6**, 8215 (2015))。そこで、本研究ではさらにこれらの研究を進展させ、曲面 π 共役分子の集積および物性を置換基により制御することにより、新しい超分子材料を創成することを目指した。これら曲面分子は非対称な三次元構造をもつため、整列させることで自然と異方的な環境が組み上がる。このような異方的な超分子構造と曲面 π 共役分子の三次元構造に起因する、キラル発光、ねじれによる電子物性の変化、動的挙動という物性を組み合わせることで、これまでにない全く新しい分子材料が創出できると考え、本研究を遂行した。

2. 研究の目的

本研究では、我々がこれまでの研究で開発した、ねじれたポルフィリン多量体、アザバッキーボウルおよびアザヘリセン、の3つの曲面 π 共役分子を用いて超分子集合体を形成し、その機能性を明らかにする。まず、開発した合成法を元に、新たな官能基導入法を開発し、超分子形成の足がかりとなる分子を構築する。以上の研究により、曲面 π 共役分子を用いた平面分子では実現できない機能性を明らかにする。特に、超分子形成に伴う光および電気的特性について明らかにする。さらに圧力や機械刺激に対する応答性を評価する。それぞれの結果を分子設計にフィードバックし、再形成することで曲面 π 共役分子ならではの構造構築、および機能性を引き出す。

3. 研究の方法

まず、超分子形成に適切なビルディングブロックの探索のため、分子の設計・合成を行う。具体的には、基本的な曲面構造構築手法は変更せず、積層構造の調節に必要な長鎖アルキル基の位置選択的な導入法の開発、およびそれによる積層構造形成の評価を行う。合成したビルディングブロックの超分子形成挙動を検証し、曲面構造特有の構造構築および物性の発現を目指す。具体的には、1. ねじれたポルフィリンの自己集積による張力応答導電性分子バネの創成、2. バッキーボウルの会合による超効率光捕集アンテナの創成、3. アザヘリセンの自己集積によるメタルフリーなキラルリン光発光材料の創成 の3つの研究を並行して遂行する。1については、すでに、置換基の大きさによるねじれの違いにおいて電子物性が変化することをつきとめている。本研究ではさらに、圧力などの外部刺激によってねじれを変化させることで、分子自体の電子物性および光物性が制御できるかを明らかにする。2では、アザバッキーボウルの新規官能基化法を開発するとともに、溶液中における会合挙動を精査する。3では、すでにアザヘリセンの官能基化法は確立している。これを用いて、ヨウ素など重原子を導入するとともに、積層させることによってリン光発光性を示すアザヘリセンの創出を行う。積層はアザヘリセンのアントラセン部位の置換基、および窒素上の置換基に長鎖のアルキル基を導入し、その長さおよび種類を変化させることによって制御する。リン光発光性および遅延蛍光を測定し、構造と発光強度の関係性を明らかにする。この結果を分子設計にフィードバックすることで、強いリン光発光性および蛍光とのコントラストが大きい世界初のキラルリン光分子の開発を目指す。

4. 研究成果

本研究は3年に渡り遂行し、計11報の論文発表と39件の学会発表を含む成果を出した。うち5報は雑誌の cover picture として highlight されるなど注目度の高い研究となった。目的である超分子形成挙動の解明のみならず、曲面分子にヘテロ元素を導入した効果を示す、曲面分子特有の現象を明らかにした。また、新たな三次元 π 共役分子の創成にも成功し、固体中での力学応答性を明らかにした。以下に具体的なそれぞれの成果について示す。

(1) ねじれたポルフィリン多量体の外部刺激応答特性

これまで我々が合成したねじれたポルフィリン多量体は中心にNi(II)金属を有する。今回、更なる分子を配位可能なZn(II)を有するねじれたポルフィリン多量体の合成に成功した。この多量体はキラルアミンの添加によって、そのキラリティーに応じた円二色性を示し、ポルフィリン二量体の化学刺激応答性を明らかにした(図1)。

さらに、我々は β 位に置換基を導入した誘導体の合成にも成功した。X線構造解析により、 β 位に置換基を導入することでねじれ角が増大することを見出した。特に4量体では、溶媒の極性または温度に依存して吸収スペクトルが変化し、サーモクロミズム特性を示すことを明らかにした。現在のところ、この変化は分子の構造変化に起因して発現したものと考えている。

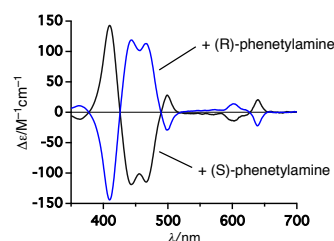


図1. ねじれたポルフィリンのCDスペクトル

以上のような分子のねじれを外部刺激によって変化させた例は極めて稀であり、特に溶媒の極性に応答する性質は、不斉触媒やセンサーなどの機能創出が期待でき、有用である。

(2) アザヘリセン多量体の合成と固体発光

ハロゲン置換基をもつアザヘリセン誘導体を合成し、さらにクロスカップリング反応を用いることでアザヘリセン二量体の合成に成功した。この分子の構造はX線構造解析により、8の字構造をしていることを明らかにした。さらに、この分子は原料である単量体と比較して蛍光量子収率が増大し、さらにキラル発光特性も3倍の値を示すことを明らかにした。光化学測定および理論計算により、分子が剛直かつ8の字構造になることで優れた光物性が創出したことを明らかにした。このように、高い蛍光量子収率と優れたキラル発光特性を併せ持つ分子の創出は困難であり、本研究成果はそのような分子の合成戦略を示す重要な手がかりとなると考えている。

(3) アザバッキーボウルとフラーレンの会合を用いた機能性超分子の創成

お椀分子を直接結合した二量体の合成に成功した。この分子はフラーレンと溶液中でも強く会合し、会合体形成により近赤外領域に幅広い吸収を示した。またフラーレンの添加する当量を調整することでファイバー状の超分子多量体が創出することを明らかにした(図2a)。また、お椀分子を π 共役分子で結合した二量体を合成したところ、この分子がこれまで報告されているお椀型分子の中でフラーレンと最大の会合定数を示すことを明らかにした。この会合体は非常に安定であり、共有結合で構成された分子と同様の分離技術が使用できる。そこで、この会合体の二光子吸収断面積を測定したところ、200 GM程度の活性を示した(図2b)。一方、フラーレンを含まない状態では二光子吸収特性を示さなかった。これは、フラーレンの包接により、二光子吸収特性をON/Offできる分子を創出できたことを示す。本研究は米国化学会誌 *Journal of the American Chemical Society* に掲載され、Front Cover に選出されるなど、注目度の高い研究となった。

また、アザバッキーボウルは電子豊富な窒素元素を中心に含むため、高い酸化能を示す。アザバッキーボウルを積極的に化学酸化を行ったところ、安定なラジカルカチオンを生成することを見出した。通常ラジカルカチオンは空气中で不安定で、すぐに反応してしまうが、アザバッキーボウルラジカルカチオンは空气中、溶液状態でも数日間安定に存在した。さらに、アザバッキーボウルラジカルカチオンが固体中で二量化することを明らかにした。この二量化挙動は溶液中でも観測することができ、温度を変化させることによって分子間結合が形成、または解離することを明らかにした(図2c)。特に、新たな結合は分子の中心で形成した。

通常 π 共役分子では、分子の外周部で結合を形成する。計算や構造解析の結果、この現象が分子の曲面構造に起因するものであることを突き止めた。これは、曲面構造に由来する分子内部における反応性を実験的に初めて明らかにした結果である。

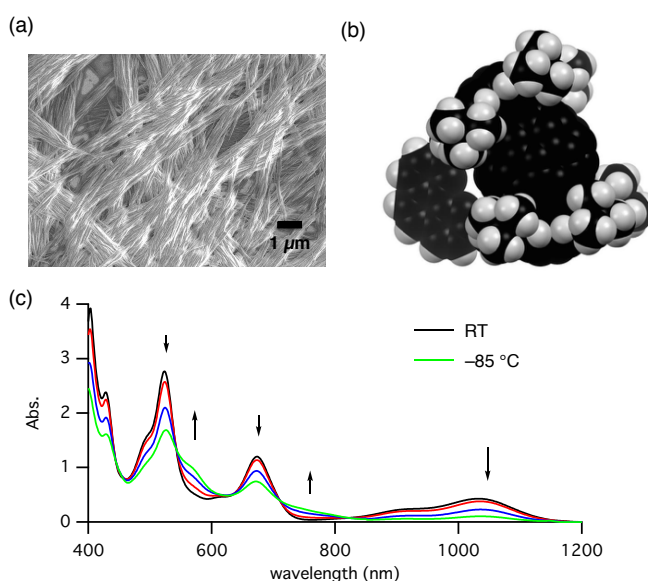


図2. アザバッキーボウルの超分子形成挙動 (a) アザバッキーボウル二量体とフラーレン複合体の電子顕微鏡像 (b) アザバッキーボウルキャッチャーのX線構造 (c) アザバッキーボウルラジカルカチオンの温度依存性

(4)

多環芳香族炭化水素であるヘキサベンゾコロネンを修飾・酸化することでジシアノエテン基で連結した二量体の合成に成功した。生成した二量体はX線構造解析により、三次元構造をしていることを明らかにした。さらに、固体における発光が単量体に比べて増強することを見出し、擦ることで固体の発光色が変化するメカノフルオロクロミズムを示すことも明らかにした(図3)。一方、ジシアノエタノ基で連結した二量体の合成にも成功した。この生成物は力学刺激に応答して、固体色、すなわち、吸収スペクトルが変化することを見出した。この変化は、力学応答性を示す有機化合物に見られる、分子間相互作用に起因するものではなく、結合の切断によるラジカルの発生に起因することを明らかにした。これらの結果は *RSC* の雑誌に掲載され、後者の結果は Hot paper に選ば

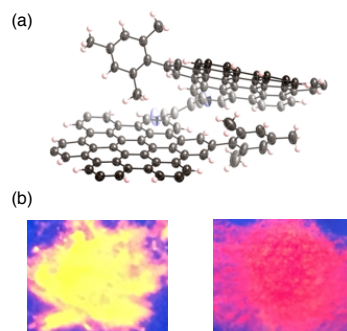


図3 HBC二量体の結晶構造 (b) ジシアノエテン架橋HBCの発光色変化: 擦る前(左)、擦った後(右)

れるなど注目度の高い研究となった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 11 件)

- (1) "Synthesis of Dihydropyrazine-fused Porphyrin Dimers"
A. Takiguchi, M. Wakita, S. Hiroto, H. Shinokubo
Chem. Lett. **2019**, *48*, 371-373. (査読有) (doi: 10.1246/cl.190002)
- (2) "Azabuckybowl-Based Molecular Tweezers as C₆₀ and C₇₀ Receptors"
M. Takeda, S. Hiroto, H. Yokoi, S. Lee, D. Kim, H. Shinokubo
J. Am. Chem. Soc. **2018**, *140*, 6336-6342. (査読有) (doi: 10.1021/jacs.8b02327)
- (3) "Reversible σ -Bond Formation in Bowl-Shaped π -Radical Cations: The Effects of Curved and Planar Structures"
H. Yokoi, S. Hiroto, H. Shinokubo
J. Am. Chem. Soc. **2018**, *140*, 4649-4655. (査読有) (doi: 10.1021/jacs.8b00798)
- (4) "Supramolecular assemblies of a nitrogen-embedded buckybowl dimer with C₆₀"
H. Yokoi, S. Hiroto, D. Sakamaki, S. Seki, H. Shinokubo
Chem. Sci. **2018**, *9*, 819-824. (査読有) (doi: 10.1039/C7SC04453D)
Highlighted as Inside Front Cover
- (5) " π -Extended Dihydrophenazines with Three-State NIR Electrochromism Involving Large Conformational Changes"
J. Nagasaki, S. Hiroto, H. Shinokubo
Chem. Asian. J. **2017**, *12*, 2311-2317. (査読有) (doi: 10.1002/asia.201700840)
Highlighted as Front cover
- (6) "NIR Mechanochromic Behaviours of Tetracyanoethylene-Bridged Hexa-*peri*-Hexabenzocoronene Dimer and Trimer through Dissociation of C-C Bonds"
K. Oda, S. Hiroto, H. Shinokubo (査読有)
J. Mater. Chem. C **2017**, *5*, 5310-5315. (doi: 10.1039/C7TC01270E)
Highlighted as Front cover, Selected as Hot Paper
- (7) "10-Silacorroles Exhibiting NIR Absorption and Emission"
H. Omori, S. Hiroto, H. Shinokubo
Chem. Eur. J. **2017**, *23*, 7866-7870. (査読有) (doi: 10.1002/chem.201701474)
Highlighted as Frontispiece, Selected as Hot Paper
- (8) "Synthesis of bright red-emissive dicyanoetheno-bridged hexa-*peri*-hexabenzocoronene dimers"
K. Oda, S. Hiroto, I. Hisaki, H. Shinokubo
Org. Biomol. Chem. **2017**, *15*, 1426-1434. (査読有) (doi: 10.1039/C6OB02775J)
- (9) "Synthesis of a figure-eight azahelicene dimer with high emission and CPL properties"
A. Ushiyama, S. Hiroto, J. Yuasa, T. Kawai, H. Shinokubo
Org. Chem. Front. **2017**, *4*, 664-667. (査読有) (doi: 10.1039/C6Q000629A)
- (10) "Synthesis of Free-Base 10-Azacorroles"
H. Omori, S. Hiroto, H. Shinokubo
Org. Lett. **2016**, *18*, 2978-2981. (査読有) (10.1021/acs.orglett.6b01323)
- (11) "Control of Conformation and Chirality of Nonplanar π -Conjugated Diporphyrins Using Substituents and Axial Ligands"
S. Ito, S. Hiroto, N. Ousaka, E. Yashima, H. Shinokubo
Chem. Asian. J. **2016**, *11*, 936-942. (査読有) (10.1002/asia.201600105)
Highlighted as Inside cover

[学会発表] (計 39 件)

- (1) 「二次元 π 共役分子を素材とした新規機能性曲面構造の創出」
○廣戸 聡、丸山研究奨励賞受賞講演、京都 (京都)、2016 年 4 月 16 日。
- (2) 「ヘテロ元素を含む π 曲面分子の合成および機能性の創出」
○廣戸 聡、第 11 回有機元素セミナー、宇治 (京都)、2016 年 6 月 4 日。
- (3) 「ねじれたポルフィリン多量体の合成と動的挙動の制御」
○廣戸 聡、第 65 回高分子討論会、横浜 (神奈川)、2016 年 9 月 14 日。
- (4) "Innovative Synthesis and Functions of Curved- π Conjugated Molecules"
○廣戸 聡、日本化学会第 97 春季年会、横浜 (神奈川)、2017 年 3 月 19 日。
- (5) 「曲面構造をもつ π 共役分子の合成戦略とその機能」
○廣戸 聡、第 17 回リング・チューブ超分子研究会シンポジウム、札幌 (北海道)、2017 年 6 月 9 日。
- (6) 「Redox Chemistry of Nitrogen-Containing 3D π -Conjugated Systems」
○廣戸 聡、日本化学会第 98 春季年会、船橋 (千葉)、2018 年 3 月 22 日。

- (7) 「 π 平面をねじる:ヘテロ元素を含む 曲面 π 共役分子の創成」
○廣戸 聡、京都大学薬学部セミナー、京都、2018年5月25日
- (8) "Synthesis of Nitrogen-Embedded Buckybowl and Its Strong Association Behavior with C_{60} "
Satoru Hiroto, 229th ECS Meeting, San Diego (USA), 2016/6/1.
- (9) "Highly-twisted porphyrin oligomers: Synthesis, characterization and applications"
Satoru Hiroto, Ninth International Conference on Porphyrins and Phthalocyanines (ICPP-9), Nanjing (China), 2016/7/8.
- (10) "Concise Synthesis of Curved- π Conjugated Molecules"
Satoru Hiroto, IUPAC 12th International Conference on Novel Materials and their Synthesis (NMS-XII), Changsha (China), 2016/10/14.
- (11) "Reactivity and Assembling Behaviors of Heteroatom-Contained Curved π -Conjugated Molecules"
Satoru Hiroto, 9th International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT2017), Singapore (Singapore), 2017/6/18-23.
- (12) "Synthesis and Multi-chromic Characteristics of Oligoene-bridged Polycyclic Aromatic Hydrocarbons"
Satoru Hiroto, 9th International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT2017), Singapore (Singapore), 2017/6/18-23.
- (13) "Development of novel synthetic protocol of porphyrinoids based on distorted structures"
Satoru Hiroto, Tenth International Conference on Porphyrins and Phthalocyanines (ICPP-10), Munich (Germany), 2018/7/1. **Award Lecture**
- (14) "Chemistry of nitrogen-embedded buckybowl"
Satoru Hiroto, The 11th Japan-Taiwan Bilateral Symposium on "Architecture of Functional Organic Molecules", Taiwan, 2018/8/26.
- (15) "Supramolecular assembly of nitrogen-embedded curved π -conjugated molecules"
Satoru Hiroto, EMN Auckland Meeting, Auckland (New Zealand), 2018/12/18.
- (16) "脱炭酸のカップリングによるグラフェン量子ドットの可溶化と発光色の制御"
第63回 応用物理学会春季学術講演会、東京工業大学、2016年3月19日~22日
○小田一磨・廣戸 聡・忍久保洋
- (17) "中心に窒素原子をもつバッキーボウルの物性とフラーレン包接挙動"
日本化学会第96春季年会、同志社大学京田辺キャンパス (京都)、2016年3月24日~27日
○横井 寛生・平岡 勇哉・廣戸 聡・酒卷 大輔・関 修平・忍久保 洋
- (18) "反芳香族ノルコロールの新規周辺官能基化反応の開発"
日本化学会第96春季年会、同志社大学京田辺キャンパス (京都)、2016年3月24日~27日
○川島 弘之、野澤 遼、廣戸 聡、忍久保 洋
- (19) "反芳香族ノルコロールの積層型二量体の合成と物性"
日本化学会第96春季年会、同志社大学京田辺キャンパス (京都)、2016年3月24日~27日
○野澤 遼・廣戸 聡・清水 宗治・Cha Won Young・Kim Dongho・忍久保 洋
- (20) "アザヘリセンを基盤とした8の字型キラル発光分子の合成"
日本化学会第96春季年会、同志社大学京田辺キャンパス (京都)、2016年3月24日~27日
○牛山綾子・湯浅順平・河合 壯・廣戸 聡・忍久保 洋
- (21) "メゾ位にケイ素およびリンを含む新規ポルフィリノイドの合成"
日本化学会第96春季年会、同志社大学京田辺キャンパス (京都)、2016年3月24日~27日
○大森裕土・廣戸 聡・武田洋平・南方聖司・忍久保洋
- (22) "脱炭酸のカップリングによるグラフェン量子ドットの可溶化と発光色の制御"
日本化学会第96春季年会、同志社大学京田辺キャンパス (京都)、2016年3月24日~27日
○小田一磨・廣戸 聡・忍久保洋
- (23) "アザコラヌレン二量体の合成とその性質"
第27回基礎有機化学討論会、広島国際会議場 (広島)、2016年9月1日~3日
○横井 寛生、廣戸 聡、酒卷 大輔、関 修平、忍久保 洋
- (24) "メゾ位にケイ素およびリンを含む新規ポルフィリノイドの合成"
第27回基礎有機化学討論会、広島国際会議場 (広島)、2016年9月1日~3日
○大森 裕土・廣戸 聡・武田 洋平・南方 聖司・忍久保 洋
- (25) "転位反応を用いた反芳香族ノルコロールの位置選択的臭素化"

- 第 27 回基礎有機化学討論会、広島国際会議場（広島）、2016 年 9 月 1 日～3 日
○川島 弘之・廣戸 聡・忍久保 洋
- (26) “芳香環架橋アザバッキーボウル二量体の合成”
第 27 回基礎有機化学討論会、広島国際会議場（広島）、2016 年 9 月 1 日～3 日
○武田 基希・横井 寛生・廣戸 聡・忍久保 洋
- (27) “近赤外領域に吸収をもつ新規ポルフィリン二量体の合成”
第 47 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会、豊橋技術科学大学（愛知）、2016 年 11 月 5 日～6 日
○永井 智大・上田 真之・小田 一磨・廣戸 聡・忍久保 洋
- (28) “縮環ポルフィリンの可逆的構造変化への試み”
第 7 回 CSJ フェスタ 2017、タワーホール船堀（東京）、2017 年 10 月 18 日
○瀧口あさひ・廣戸 聡・忍久保 洋
- (29) “可逆的に構造変化する縮環ポルフィリンの合成”
第 48 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会、岐阜大学（岐阜）、2017 年 11 月 11 日
○瀧口あさひ・廣戸 聡・忍久保 洋
- (30) “メゾ位にヘテロ原子を含む新規ポルフィリノイドの合成”
第 28 回基礎有機化学討論会、九州大学（福岡）、2017 年 9 月 8 日
○大森裕士・廣戸 聡・武田洋平・南方聖司・忍久保 洋
- (31) “ π 拡張アザコラニューレンラジカルカチオンの二量化反応”
第 28 回基礎有機化学討論会、九州大学（福岡）、2017 年 9 月 7 日
○横井寛生・廣戸 聡・忍久保 洋
- (32) “アザヘリセン金属錯体の合成とその光物性”
第 28 回基礎有機化学討論会、九州大学（福岡）、2017 年 9 月 7 日
○武田基希・牛山綾子・廣戸 聡・忍久保 洋
- (33) “アミノピレンの酸化による窒素含有縮環 π 共役分子の合成法の開発”
第 28 回基礎有機化学討論会、九州大学（福岡）、2017 年 9 月 7 日
○早川 咲穂・横井 寛生・廣戸 聡・忍久保 洋
- (34) “アルキンの環化反応を利用した縮環ポルフィリン二量体の合成”
第 28 回基礎有機化学討論会、九州大学（福岡）、2017 年 9 月 8 日
○永井 智大・上田 真之・小田 一磨・廣戸 聡・忍久保 洋
- (35) “可逆的に構造変化するポルフィリン二量体の合成と C_{60} との包接挙動”
第 98 日本化学会春季年会、日本大学船橋キャンパス（千葉）、2018 年 3 月 21 日
○瀧口あさひ・廣戸 聡・忍久保 洋
- (36) “金属配位部位をもつアザバッキーボウルの合成”
第 98 日本化学会春季年会、日本大学船橋キャンパス（千葉）、2018 年 3 月 21 日
○横田智也・廣戸 聡・忍久保 洋
- (37) “お椀型ドナーをもつドナー・アクセプター型分子の合成とその物性”
第 98 日本化学会春季年会、日本大学船橋キャンパス（千葉）、2018 年 3 月 21 日
○田中佑宜・廣戸 聡・忍久保 洋
- (38) “Azacorroles from Nitrogen Bridged Bisdipyrrens”
9th International Conference on Porphyrins and Phthalocyanines (ICPP-9)
Hiroto Omori, Satoru Hiroto, Hiroshi Shinokubo
南京, 2016/7/3-7/8.
- (39) “Synthesis and properties of azacorannulenes”
International Symposium on Pure and Applied Chemistry (ISPAC-2016)
Hiroki Yokoi, Yuya Hiraoka, Satoru Hiroto, Daisuke Sakamaki, Shu Seki, Hiroshi Shinokubo, Borneo Convention Centre Kuching, 2016/8/15-8/18.

[図書] (計 1 件)

- (1) S. Hiroto, H. Shinokubo, World Scientific, Singapore, “Syntheses and Properties of Antiaromatic Porphyrinoids” in Handbook of Porphyrin Science vol. 37, K. M. Kadish, K. M. Smith, R. Guilard, Eds. (2016).

[その他]

ホームページ等

<http://www.hiroto.h.kyoto-u.ac.jp/>

6. 研究組織

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。