

令和 3 年 5 月 8 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01966

研究課題名(和文) 単純な水素結合で実現する柔剛自在な単結晶性の 電子系多孔質フレームワークの創出

研究課題名(英文) Development of Single-Crystalline Porous Frameworks of Pi-Conjugated Molecules Connected through Simple Hydrogen Bonds

研究代表者

久木 一郎 (Hisaki, Ichiro)

大阪大学・基礎工学研究科・教授

研究者番号：90419466

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：有機分子で構成される多孔質構造体は、多様な分子の選択により構造と機能を自在にデザインできるため、ホストゲスト機能性材料や光電子素子の観点から大変興味もたれる。本研究では、結合の形成と解離を可逆的に示す指向性の高い水素結合に着目し、汎用な水素結合基であるカルボキシ基を剛直なパイ共役骨格に導入した一連の有機分子を用いて、(1)X線回折で精密に構造解析できる単結晶性、(2)チャネル状の明確な大空間を内部に保持できる堅牢性と外部刺激に応答できる柔軟性、および(3)所望の構造を狙いどおり構築できる普遍的なデザイン性を有する多孔性有機材料の創出を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水素結合のような弱い分子間相互作用によって分子を集積させて構築した多孔質構造体は、構造が弱く内部に大きな空孔を保持することはできない、というのがこれまでの一般的な認識であった。これに対して我々は、複数の水素結合基を幾何構造や対称性に配慮して剛直なパイ共役分子に導入すれば、内部に大きな空孔を保持できるだけの十分な強度を有する分子集積体を体系的に構築できることを示した。以上の結果は、様々な用途に応用されている多孔質材料の新たな側面を基礎と応用の両方の観点から照らし出すものである。特に近年、特定種の気体に対して、選択的に吸着・貯蔵・反応できる多孔質材料が求められており、本研究がこれに貢献できる。

研究成果の概要(英文)：Porous frameworks composed of organic molecules have been of attractive substantial interest from viewpoints of functional host-guest systems and optoelectronic materials because of tunability of molecular structures and properties. In this project, we successfully constructed various hydrogen-bonded organic frameworks based on organic molecules possessing a rigid pi-conjugated skeleton carboxy groups that is one of the simplest and the most fundamental hydrogen bonding group. The resultant HOFs exhibit (1) single crystallinity which allows to characterize precise molecular arrangements by X-ray crystallography, (2) rigidity of the frameworks with permanent porosity and flexibility to response external stimuli, and (3) high designability to achieve the structures as they were designed. These results contribute to progress of chemistry on porous molecular crystals.

研究分野：超分子化学

キーワード：水素結合 多孔質構造体 分子性結晶 パイ共役分子 有機フレームワーク ガス吸着 刺激応答 固体蛍光

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

有機分子をビルディングブロックに用いて構築した多孔質フレームワークは、分子レベルで空孔の形や大きさを精密に制御でき、またフレームワークの電子状態も設計できるため、化学種の高選択的な吸着と貯蔵、電極表面の修飾などの幅広い観点から研究がおこなわれている。特に Yaghi らによってはじめて報告された多孔性の共有結合性有機フレームワーク (covalent organic framework : COF) は、近年、非常に盛んに報告されており、機能性 COF の研究のすそ野は驚くほど急速に広がっている。しかし構造の詳細な議論や高結晶性 COF の構築例は限られている。一方、水素結合によって分子を連結した多孔性有機フレームワーク (hydrogen-bonded organic framework : HOF) は、その結合可逆性のために比較的大きな単結晶として得られることが多く、単結晶 X 線構造解析に基づく精密な構造の同定と構造物性相関の解明が可能である。しかし研究開始当初は、同時に構造の脆弱性や構造構築指針の欠如が課題であり、単結晶性で堅牢な HOF は散発的にしか報告されておらず、より汎用なデザイン原理に基づいて、系統的に空孔の形、大きさを変調できる堅牢な HOF の構築が求められていた。

2. 研究の目的

そこで本研究は、汎用の水素結合を高次集積化することで共役分子をつなぎ、構造の剛性を制御できる多孔質かつ単結晶性の HOF を構築することを目的とした。特に共役電子系の分子を構成要素に用いることによって、構造と電子的物性との相関を明らかにし、外部刺激に応答する有機多孔質材料を開発することを目指した。

3. 研究の方法

- (1) まず、高次超分子シントンを形成するための鍵構造である *o*-ビス(4-カルボキシフェニル)アリール基をもつ共役電子系ビルディングブロック分子を合成した (図 1)。
- (2) 高極性溶媒と高沸点低極性を適切に混合して高温で結晶化することにより HOF を構築した。隣接する 2 つのカルボキシフェニル基がなす角度 (バイト角) がおよそ 60 度の分子からは、2 次元分子ネットが相互貫入なしに積層した層状 HOF の構築を目指した。一方、バイト角が 60 度よりも大きくなる分子からは、3 次元分子ネットワークが相互貫入した剛直な相互貫入型 HOF の構築を目指した。
- (4) HOF の構造を全て単結晶 X 線構造解析により決定した。
- (5) 最適化した条件下で、空孔内に包接された溶媒分子を除去し、空間を活性化した。
- (6) 活性化後は、単結晶解析あるいは粉末 X 線回折により構造を決定および推定した。
- (7) ガス吸着実験により HOF の多孔性を評価した。
- (8) HOF の単結晶を用いた蛍光分光を行った。
- (9) 化学的な外部刺激への HOF の応答性を調べた。

(2) ヘテロ元素をパイ共役系に導入した分子を用いた HOF の構築と構築とその構造・機能 : HAT の周囲にベンゼン環を縮環させたヘキサザトリナフチレン誘導体 CPHATN および、導入された窒素原子の位置が異なる異性体であるベンゾトリキノキサリン誘導体 CPBTQ をそれぞれ合成して HOF の構築を行った。単結晶 X 線構造解析の結果、興味深いことに、弱塩基性のピラジン窒素部位はカルボン酸の 2 量化を妨げず、カルボキシ基同士が水素結合することにより多孔質フレームワークを構築していることが分かった (図 3)。また、両者はほとんど同様に分子構造をもつにもかかわらず異なる分子の積層構造を示す HOF を与えることが明らかになった。両構造を比較することにより、この構造の違いは、カルボキシフェニル基がピラジン環に結合するか、ベンゼン環に結合するかによって異なるねじれ角を示すことに起因していることが分かった。このうち、CPHATN から得られた HOF CPHATN-1 は、比表面積は HOF 1 g あたり 379 m² と比較的小さいものの、摂氏 360 度でも構造を維持できる高い熱安定性を示すことが明らかになった。

パイ共役部位に非共有電子対をもつ窒素原子が組み込まれた上述の分子は、カチオン種と相互作用し、さらに窒素原子上の電子的な変化が、パイ共役系全体の電子状態に摂動を与えると期待された。実際、HOF CPHATN-1 および CPBTQ-1 を活性化した CPHATN-1a および CPBTQ-1a を塩酸に曝露してその変化を観察した。まず CPHATN-1a のバルク結晶に濃塩酸を加えると黄色から赤褐色へと直ちに色が変化した。これを加熱して塩化水素を除くとまた元の色に戻った。CPHATN-1a のバルク結晶を塩化水素雰囲気中に曝露し UV-vis および蛍光スペクトルを測定したところ、600 nm 付近に新たな吸収帯が出現するとともに蛍光発光が消光することが分かった。CPBTQ-1a も同様の塩化水素応答性を示した。以上の結果より、複合機能性を有する剛直な有機多孔質材料の創出に向けた道すじを示すことができた。

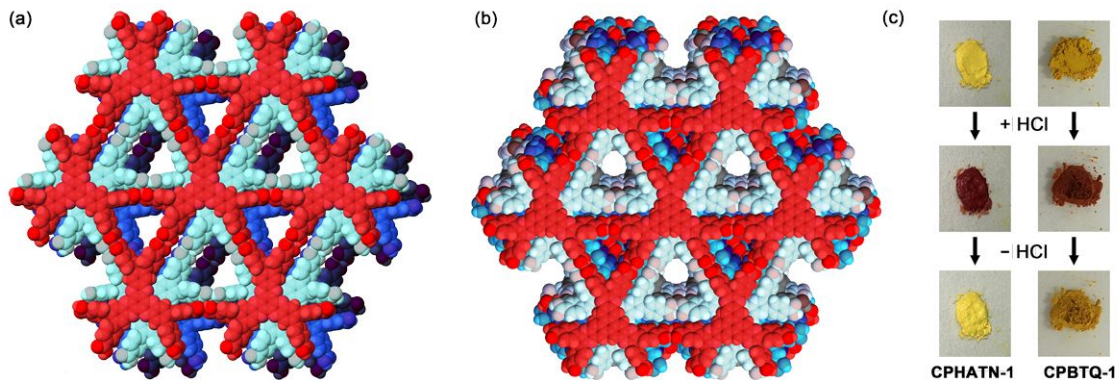


図 3 . 塩化水素に色変化で応答する HOF. (a) CPHATN-1 と (b) CPBTQ-1 の結晶構造と、(c) それぞれの結晶粉末が示す塩化水素への曝露による黄色から赤褐色への色調変化 .

(3) 非平面のパイ共役構造をもつ分子を用いた HOF の構築とその構造・機能 : 本研究課題において、HAT 分子が非常に剛直な HOF を与えることを見出しているが、この剛直性は HAT が結晶中でのパッキング力によってねじれた非平面状の配座を強制され、その配座が積層することにより分子が形状相補的にかみ合ったずれにくい集合構造を構築することに起因している。そこで、もともと非平面状の構造をもつパイ共役系分子であるジベンゾ[*g,p*]クリセンにカルボキシフェニル基を導入した CPDBC を合成して HOF の構築を行った。その結果、カルボキシ基同士の水素結合によって分子が連結されるとともにジベンゾクリセン部位が互いにぴったりと重なって積層した、大空隙をもつ HOF CPDBC-1 を得た (図 4a)。この HOF は大きな比表面積 (1 g あたり 1548 m²) をもち、摂氏 230 度くらいまで構造を保つことができる。さらに、値は小さいものの、ジベンゾクリセン部位の積層構造に起因した光伝導性を示すことが明らかになった。

一方、ジベンゾ[*g,p*]クリセンの炭素-炭素結合を2か所で切断した化合物と見なすことができるテトラピフェニルエテン誘導体CBPEも合成してHOFの構築を行った。大変興味深いことに、CBPEは、カルボキシ基同士が水素結合して形成する2次元ひし形状の(チキンワイヤーとも呼ばれる)フレームワークが3軸方向から相互貫入した非常に珍しい構造をもつことが分かった(図4b)。特にこの構造は、CBPEの周囲に配置された8枚のベンゼン環が示す高い配座自由度とそれにより実現されるベンゼン環同士がかみ合った剛直な集積様式によってもたらされる。空間活性化したHOF CBPE 1aは摂氏220度まで安定であり、中程度の比表面積(1gあたり555m²)を示した。ところで、ここで用いられたテトラピフェニルエテン骨格は、凝集誘起発光を示すことで知られるテトラフェニルエテン骨格をフェニレン基で伸長した類縁構造であり、その分子の配座および凝集状態に応じた蛍光発光挙動が期待された。実際、溶媒を包接したCBPE 1(MeBz)(ここでMeBzは空孔に包接された安息香酸メチルを示す)空間活性化したCBPE 1a、HOFをすり潰して空間と結晶性の構造体を壊したCBPE amorphの蛍光スペクトルを測定すると、それぞれ485 nm, 477 nm, および547 nmに極大を示す異なった色調の蛍光発光が観測された。またその蛍光量子収率もそれぞれ0.16、0.21、および0.55と互いに異なることが明らかになった。これらはそれぞれの構造を反映するものである。特にCBPE 1aの量子収率は、同じ分子を配位子に用いたMOFの量子収率(>0.9)と比べて著しく小さい。これは、HOF中では分子は水素結合によって固定されてはいるものの、配位結合と比較して分子はそこまで硬く固定されておらずある程度の運動自由度を維持していることを示すものである。

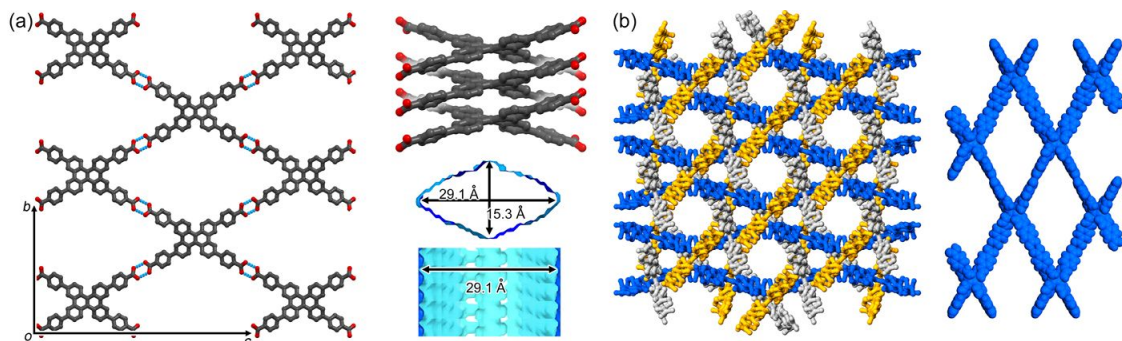


図4 . (a) CPDBC-1の多孔質構造、分子の積層および可視化した空間 . (b) CBPE 1の三方向編み込み構造と2次元ひし形状の単位構造 .

以上のように本研究課題では、種々の分子から分子構造の特徴を反映した様々な水素結合性多孔質フレームワーク(HOF)を構築し、その物性を明らかにした。いずれのHOFにおいても、単結晶を用いたX線構造解析によりその分子配列が精密に決定でき、チャンネル状の明確な空間が内部に保持できる堅牢性を有する。さらに、多孔性にくわえて外部刺激応答性を示す、複合機能性のHOFへと展開することができた。これらの結果は、様々な用途に応用されている多孔質材料の新たな側面を基礎と応用の両方の観点から照らし出すものである。特に近年、特定種の気体に対して、選択的に吸着・貯蔵・反応できる多孔質材料が求められており、本研究がこれに貢献できると期待している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 22件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Gomez Eduardo, Yasumiya Daisuke, Tohnai Norimitsu, Moreno Miquel, Cohen Boiko, Hisaki Ichiro, Douhal Abderrazzak	4. 巻 9
2. 論文標題 Deciphering the behavior of a new MOF and its composites under light at ensemble and single crystal levels: relevance to its photonic applications	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1TC01104A	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Gomez Eduardo, Hisaki Ichiro, Douhal Abderrazzak	4. 巻 22
2. 論文標題 Synthesis and Photobehavior of a NewDehydrobenzoannulene-Based HOF with Fluorine Atoms: From Solution to Single Crystals Observation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Molecular Sciences	6. 最初と最後の頁 4803 ~ 4803
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijms22094803	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Miyagawa Kazuya, Hisaki Ichiro, Fukui Norihito, Shinokubo Hiroshi	4. 巻 12
2. 論文標題 Redox-induced reversible [2 + 2] cycloaddition of an etheno-fused diporphyrin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 5224 ~ 5229
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1sc00438g	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shivakumar Kilingaru I., Noro Shin-ichiro, Yamaguchi Yuna, Ishigaki Yusuke, Saeki Akinori, Takahashi Kiyonori, Nakamura Takayoshi, Hisaki Ichiro	4. 巻 57
2. 論文標題 A hydrogen-bonded organic framework based on redox-active tri(dithiolylidene)cyclohexanetrione	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 1157 ~ 1160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CC07776C	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Qi Jiajun, Kim Yuna, Takahashi Kiyonori, Aoki Ken'ichi, Hisaki Ichiro, Nakamura Takayoshi, Tamaoki Nobuyuki	4. 巻 27
2. 論文標題 A Series of Bisamide Substituted Diacetylenes Exhibiting a Terminal Alkyl Odd/Even Parity Effect on Mechanoactivated Photopolymerization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry -A European Journal	6. 最初と最後の頁 3832 ~ 3841
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202004768	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Li Simin, Takahashi Kiyonori, Hisaki Ichiro, Kokado Kenta, Nakamura Takayoshi	4. 巻 49
2. 論文標題 One-dimensional DABCO hydrogen-bonding chain in a hexagonal channel of magnetic [Ni(dmit) ₂]	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 16772 ~ 16777
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0DT03386C	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Suzuki Yuto, Tohnai Norimitsu, Hisaki Ichiro	4. 巻 26
2. 論文標題 Triaxially Woven Hydrogen Bonded Chicken Wires of a Tetrakis(carboxybiphenyl)ethene	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry -A European Journal	6. 最初と最後の頁 17056 ~ 17062
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202002546	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hasegawa Yasuchika, Sawanobori Takuya, Kitagawa Yuichi, Shoji Sunao, Fushimi Koji, Nakasaka Yuta, Masuda Takao, Hisaki Ichiro	4. 巻 85
2. 論文標題 An Europium(III) Luminophore with Pressure Sensing Units: Effective Back Energy Transfer in Coordination Polymers with Hexadentate Porous Stable Networks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ChemPlusChem	6. 最初と最後の頁 1989 ~ 1993
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cplu.202000513	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Suzuki Yuto, Tohnai Norimitsu, Saeki Akinori, Hisaki Ichiro	4. 巻 56
2. 論文標題 Hydrogen-bonded organic frameworks of twisted polycyclic aromatic hydrocarbon	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 13369 ~ 13372
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0cc06081j	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hasuo Naohiro, Takahashi Kiyonori, Hisaki Ichiro, Kokado Kenta, Nakamura Takayoshi	4. 巻 23
2. 論文標題 Molecular motion of halogenated ethylammonium/[18]crown-6 supramolecular ions in nickel dithiolate magnetic crystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 CrystEngComm	6. 最初と最後の頁 2756 ~ 2763
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CE00253H	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hisaki Ichiro, Ji Qin, Takahashi Kiyonori, Tohnai Norimitsu, Nakamura Takayoshi	4. 巻 20
2. 論文標題 Positional Effects of Annelated Pyrazine Rings on Structure and Stability of Hydrogen-Bonded Frameworks of Hexaazatrinaphthylene Derivatives	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 3190 ~ 3198
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.0c00055	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Gomez Eduardo, di Nunzio Maria Rosaria, Moreno Miquel, Hisaki Ichiro, Douhal Abderrazzak	4. 巻 124
2. 論文標題 Shape-Persistent Phenylene-Ethynylene Macrocycles Spectroscopy and Dynamics: From Molecules to the Hydrogen-Bonded Organic Framework Material	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 6938 ~ 6951
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c01369	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hisaki Ichiro	4. 巻 96
2. 論文標題 Hydrogen-bonded porous frameworks constructed by rigid π -conjugated molecules with carboxy groups	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry	6. 最初と最後の頁 215 ~ 231
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10847-019-00972-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Gomez Eduardo, Suzuki Yuto, Hisaki Ichiro, Moreno Miquel, Douhal Abderrazzak	4. 巻 7
2. 論文標題 Spectroscopy and dynamics of a HOF and its molecular units: remarkable vapor acid sensing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 10818 ~ 10832
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9TC03830B	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Muraoka, Aoyama, Fujihara, Yamane, Hisaki, Miyata, Murata, Nakatsuji	4. 巻 11
2. 論文標題 Template-Free Synthesis of a Phenanthroline-Containing [2]Rotaxane: A Reversible pH-Controllable Molecular Switch	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Symmetry	6. 最初と最後の頁 1137 ~ 1137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/sym11091137	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nozawa Ryo, Kim Jinseok, Oh Juwon, Lamping Anna, Wang Yemei, Shimizu Soji, Hisaki Ichiro, Kowalczyk Tim, Fliegl Heike, Kim Dongho, Shinokubo Hiroshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Three-dimensional aromaticity in an antiaromatic cyclophane	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 3576
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-11467-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hisaki Ichiro, Suzuki Yuto, Gomez Eduardo, Ji Qin, Tohnai Norimitsu, Nakamura Takayoshi, Douhal Abderrazzak	4. 巻 141
2. 論文標題 Acid Responsive Hydrogen-Bonded Organic Frameworks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 2111 ~ 2121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.8b12124	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hisaki Ichiro, Xin Chen, Takahashi Kiyonori, Nakamura Takayoshi	4. 巻 58
2. 論文標題 Designing Hydrogen Bonded Organic Frameworks (HOFs) with Permanent Porosity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 11160 ~ 11170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201902147	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takeda Takashi, Wu Jianyun, Ikenaka Nobuaki, Hoshino Norihisa, Hisaki Ichiro, Akutagawa Tomoyuki	4. 巻 3
2. 論文標題 C3 Symmetric Hexaphenyltriphenylenehexamide: Molecular Design of Fluorescent Ferroelectrics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ChemistrySelect	6. 最初と最後の頁 10608 ~ 10614
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/slct.201802317	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hisaki Ichiro, Nakagawa Shoichi, Suzuki Yuto, Tohnai Norimitsu	4. 巻 47
2. 論文標題 CO2 Sorption of Layered Hydrogen-bonded Organic Framework Causes Reversible Structural Changes Involving Four Different Crystalline States under Ambient Pressure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1143 ~ 1146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.180491	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hisaki Ichiro, Suzuki Yuto, Gomez Eduardo, Cohen Boiko, Tohnai Norimitsu, Douhal Abderrazzak	4. 巻 57
2. 論文標題 Docking Strategy To Construct Thermostable, Single-Crystalline, Hydrogen-Bonded Organic Framework with High Surface Area	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 12650 ~ 12655
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201805472	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Gomez Eduardo, Gutierrez Mario, Cohen Boiko, Hisaki Ichiro, Douhal Abderrazzak	4. 巻 6
2. 論文標題 Single crystal fluorescence behavior of a new HOF material: a potential candidate for a new LED	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 6929 ~ 6939
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8TC01808A	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計20件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Ichiro Hisaki
2. 発表標題 Porous Molecular Crystalline Materials Constructed through Intermolecular Hydrogen Bonds
3. 学会等名 Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Iciro Hisaki
2. 発表標題 Benefits of twisted conformation for developing porous organic frameworks
3. 学会等名 Molecular Chirality Asia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久木一朗
2. 発表標題 水素結合で有機分子をつなげて組み立てた多孔質材料
3. 学会等名 ゼオライトセミナー（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木悠斗, 久木一朗, 藤内謙光
2. 発表標題 共役分子をかみ合いスタッキングで組み上げた大空孔水素結合性有機フレームワークの構築
3. 学会等名 , 第30回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木悠斗, 藤内謙光, 久木一朗
2. 発表標題 テトラフェニルエテン誘導体が形成する水結合性二次元ネットワークの編み込み集積構造とその蛍光挙動
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久木一朗
2. 発表標題 水素結合を介したパイ共役分子の自己集合による有機多孔質構造体の構築
3. 学会等名 第17回ホスト-ゲスト・超分子シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 I. Hisaki
2. 発表標題 Layered Organic Frameworks Constructed through Hydrogen-bonding
3. 学会等名 Conference on the Chemistry of the Organic Solid State (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 I. Hisaki, Y. Suzuki, E. Gomez, Q. Ji, N. Tohnai, K. Takahashi, T. Nakamura, A. Douhal
2. 発表標題 Hexaazatriphenylene- and Hexaazatrinaphthylene-based Porous Frameworks Constructed through Hydrogen-bonding
3. 学会等名 The 18th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久木一朗, 鈴木悠斗, G. Eduardo, 藤内謙光, A. Douhal
2. 発表標題 ヘキサアザトリフェニレンのかみ合い積層による水素結合性多孔質構造体の構築とその限界
3. 学会等名 有機結晶シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 I. Hisaki
2. 発表標題 Hydrogen-bonded Porous Frameworks with pi-Conjugated Systems
3. 学会等名 -EJ 2019 (pi-System Figuration European-Japanese Workshop 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 I. Hisaki
2. 発表標題 Hydrogen-bonded Organic Frameworks
3. 学会等名 2019 International Symposium of Research Institute for Electronic Science (RIES) and Center for Emerging Functional Matter Science (CEFMS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久木一朗
2. 発表標題 水素結合により組み立てる永続的多孔性フレームワーク
3. 学会等名 東京工業大学 化学生命科学研究所 講演会「超分子化学 - その未来 - 」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久木一朗
2. 発表標題 水素結合性多孔質フレームワーク
3. 学会等名 第7回錯体化学若手の会北海道支部勉強会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 久木一朗
2. 発表標題 水素結合性多孔質フレームワーク～パイ共役系を高次超分子シントンので組み上げる～
3. 学会等名 第12回超分子若手懇談会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ichiro Hisaki, Nobuaki Ikenaka, Yuto Suzuki, Eduardo Gomez, Boiko Cohen, Norimitsu Tohnai, Abderrazzak Douhal
2. 発表標題 Hexaazatriphenylene-based, Thermally Stable, Single Crystalline HOF with Permanent Porosity
3. 学会等名 13th International Workshop of the Crystal Growth of Organic Material (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ichiro Hisaki, Yuto Suzuki, Eduardo Gomez, Qin Ji, Norimitsu Tohnai, Takayoshi Nakamura, Abderrazzak Douhal
2. 発表標題 Acid-responsive Porous Hydrogen-bonded Organic Framework
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久木一朗, 鈴木悠斗, Eduardo Gomez, 藤内謙光, 中村貴義, Abderrazzak Douhal
2. 発表標題 ヘキサアザトリナフチレン誘導体の水素結合性多孔質フレームワーク
3. 学会等名 第27回有機結晶シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 久木一朗
2. 発表標題 水素結合性ヘキサゴナルネットワークの積層による機能性多孔質構造の構築
3. 学会等名 高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 久木一朗, 鈴木悠斗, 藤内謙光
2. 発表標題 酸の刺激で呈色する水素結合性有機フレームワーク
3. 学会等名 基礎有機化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 久木一朗, 鈴木悠斗, 藤内謙光
2. 発表標題 C3対称性のヘキサザトリナフチレン誘導体を基盤とした水素結合性多孔質フレームワーク：構造とその物性
3. 学会等名 第64回高分子研究発表会 神戸
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

大阪大学大学院基礎工学研究科物質創成専攻久木研究室 http://www.chem.es.osaka-u.ac.jp/mac/
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	藤内 謙光 (Tohnai Norimitsu) (30346184)	大阪大学・工学研究科・教授 (14401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------