

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03026

研究課題名(和文) 飽和炭化水素アルカンガスを選択的に吸着する多孔性金属錯体の合成と機構解明

研究課題名(英文) Synthesis and mechanism elucidation of porous metal complexes showing selective saturated hydrocarbon (alkane gas) adsorption

研究代表者

野呂 真一郎 (Noro, Shin-ichiro)

北海道大学・地球環境科学研究所・教授

研究者番号：70373347

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,700,000円

研究成果の概要(和文)：炭化水素分離の高効率化へ向けた選択的アルカンガス吸着材料の開発を行った。Zrと4,4'-ビフェニルジカルボキシレート配位子から構築される三次元多孔性金属錯体UiO-67をベースに、配位子上に剛直なパーフルオロアルキル基と柔軟なアルコキシ基を導入した。パーフルオロアルキル基を有する多孔性金属錯体は同程度のプロパン、プロピレン吸着量を示したが、アルコキシ基を有する多孔性金属錯体が低圧条件下でアルカンガスであるプロパンをアルケンガスであるプロピレンよりも選択的に吸着することが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アルケンガス、プロピレンは重要な化成品原料の一つであるが、その精製のためには特性の非常によく似たアルカンガス、プロパンを除去する必要がある。現状は高コスト分離法である蒸留法によって力づくで分離しているが、マイナー成分であるプロパンを多孔性材料による吸着法で高効率に分離できれば、分離コストの大幅な削減につながる。本研究では、これまでほとんど報告されていないアルカンガスであるプロパンを選択的に吸着する材料を見出し、現状の高コスト分離法に代わる低コスト分離法を実現する上で極めて重要な知見となる。

研究成果の概要(英文)：Development of selective alkane gas adsorption materials was carried out toward efficient hydrocarbon separation. Based on the three-dimensional porous metal complex UiO-67 constructed from Zr cations and 4,4'-biphenyldicarboxylate ligands, rigid perfluoroalkyl and flexible alkoxy groups were introduced to the ligands. Porous metal complex with perfluoroalkyl groups showed similar propane and propylene adsorption amounts. On the other hand, porous metal complex with alkoxy groups was found to show selective propane gas adsorption over propylene under low pressure condition.

研究分野：錯体化学

キーワード：多孔性金属錯体 炭化水素ガス 吸着分離

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

多くの化成品原料となる C3 炭化水素プロピレン、C4 炭化水素 1 - ブテンおよび 1,3 - ブタジエンは主に石油クラッキングの副産物として得られる。これらは石油から天然ガス、シェールガスへの原材料シフトに伴い供給不足に陥ることが懸念されている。したがって、石油に代わるガスから産業の基幹化学品であるプロピレン、1 - ブテン、1,3 - ブタジエンの製造プロセスの基盤技術開発が求められており、その一つとして分離プロセスの低コスト化が挙げられる。現在は粗製ガスを 100m 程の多段蒸留塔や溶媒抽出等の操作により分離精製しており、その設備投資、精製コストは高価になっている。圧カスイング吸着法 (Pressure Swing Adsorption, PSA) は、上記分離法に代わる低コスト分離法として現在注目されている。

図 1 に炭化水素アルカン (プロパン、 n - ブタン) とアルケン (プロピレン、1 - ブテン、1,3 - ブタジエン) の各パラメータを示す。粗ガス中からアルケンを分離精製する場合、最も分離が困難なガスは分子サイズ・沸点が極めて類似したプロピレン / プロパン、1 - ブテン / n - ブタン、1,3 - ブタジエン / n - ブタンである。一般に原料となるアルケンが粗ガス中の主成分となるが、アルケンを選択分離する場合には、アルケン / アルカン分離度が 100 以上なら、PSA を二段とすることで高純度 (99.99%) が得られる。一方で、少量成分であるアルカンを選択分離する場合は、アルカン / アルケン分離度が 5 以上であれば、PSA を一段でも同様の純度に行うことができ、大幅な設備投資削減へつながる。しかしながら、アルカンを選択的に吸着する多孔性材料の報告は偶然得られた三例のみであり (*J. Am. Chem. Soc.* 2012, 8115) その選択性の発現機序に関しては全く解明されていないため、系統的に研究するための物質系が限られていることがアルカン分離研究の発展の大きな障害になっている。

2. 研究の目的

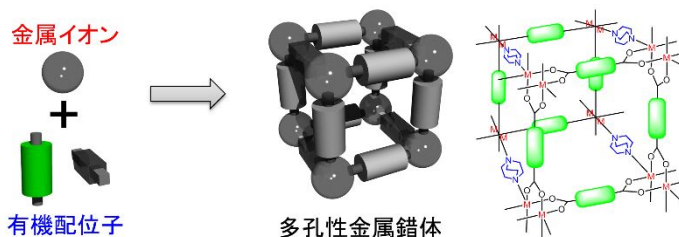
非芳香族部位で構築した細孔壁とアルカンガスとの相互作用を利用した選択的アルカンガス吸着材料の開拓とデータベースの提示を本研究の目的とした。

- (1) シクロヘキサン環や長鎖アルキル基などの非芳香族部位を多孔性金属錯体の骨格中に導入する。非芳香族部位で囲まれた細孔が構築できれば、アルカンガスの選択吸着が発現できる。このような条件を満たす多孔性金属錯体を分子設計により系統的に合成する。
- (2) 得られたアルカンガス吸着材料について構造の詳細と選択性発現の機序を解明する。結果を分子設計にフィードバックすることで、アルカンガス吸着材料の多様なデータベースを構築しつつ、より高性能な吸着材料の開拓を進める。データベースに基づいて設計指針を提示し、アルカンガス分離研究の基盤を形成する。

3. 研究の方法

(1) 非芳香族部位から形成される細孔壁をもった多孔性金属錯体の合成

非芳香族部位を有する有機分子を用いて、飽和炭化水素であるアルカンを選択的に吸着する細孔を構築する。その際、アルケンの二重結合と選択的に相互作用しうる金属イオンの配位不飽和サイトの形成を極力抑える。右図の配位不飽和サイトをもたない



三次元多孔性金属錯体 $[M_2(OOC-R-COO)_2(dabco)]$ (M = 金属イオン、 $dabco$ = 1,4-diazabicyclo[2.2.2]octane) や $[Zr_6O_4(OH)_4(OOC-R-COO)_6]$ を多孔性骨格のベースとして検討する。

(2) 構造評価

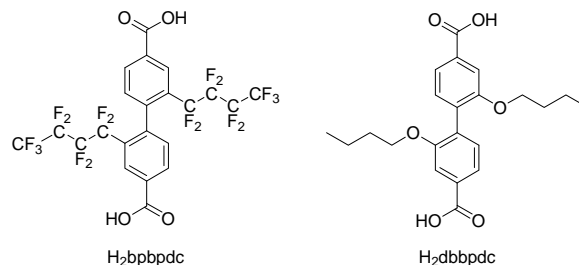
単結晶が得られる錯体については低温における単結晶 X 線構造解析を行い、詳細な結晶構造を決定する。固溶体のような単結晶が得られにくい錯体に関しては、粉末 X 線回折、 1H -NMR、XAFS 測定から結晶構造を推定する。結晶溶媒の有無、溶媒脱離温度、分解温度については TG-DTA 測定から評価し、その情報を基に温度可変粉末 X 線回折測定から結晶溶媒脱離後の構造変化を追跡する。

(3) 吸着特性評価

単成分ガス吸脱着等温線の温度依存性を中心に、ガス雰囲気下における各種測定もを行い、吸着状態を明らかにする。また、計算による吸着構造、吸着エネルギーの評価も行う。単成分ガス吸着解析により高選択率を示した金属錯体については、実際に混合ガスを分離できるかどうか熱力学および速度論的に評価する。

4. 研究成果

右図の二種の有機配位子、 $H_2bpbpdc$ と $H_2dbbpdcc$ を新規に合成した。それぞれ、perfluorobutyl 基と butoxy 基を有し、これらが非芳香族部位としてアルカンと選択的に相互作用することを期待した。錯体の合成は、塩化ジルコニウムと右図の配位子のいずれか、置換基をもたない 4,4'-



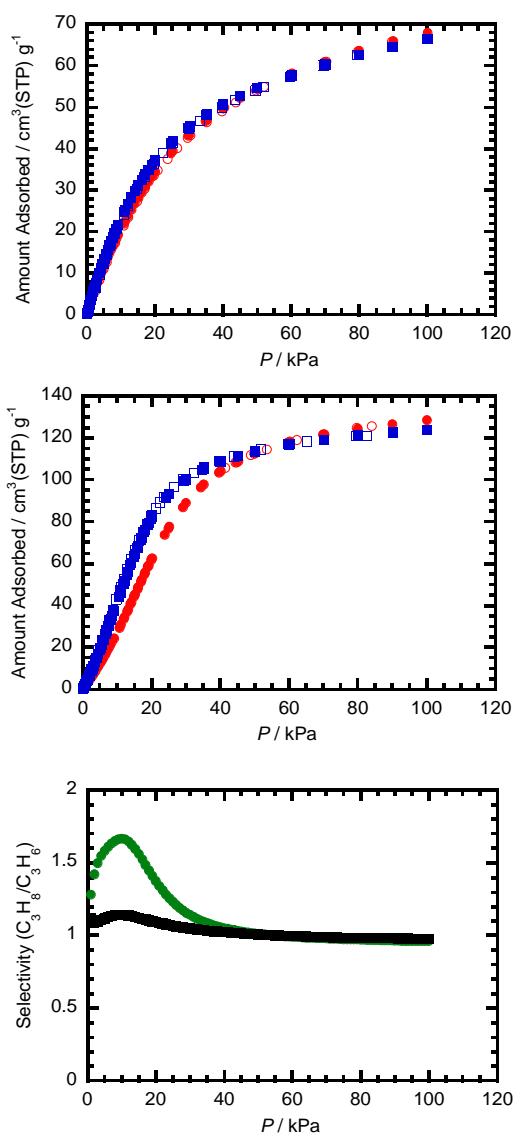
biphenyldicarboxylic acid (H_2bpbdc)を DMF 中で反応させることによって得られた。 $H_2bpbpdc$ から得られた錯体を UiO-67-PF、 $H_2dbbpdcc$ から得られた錯体を UiO-67-DB と表記する。

構造評価は粉末 X 線回折測定により行った。置換基をもたない H_2bpbdc のみから構築される多孔性金属錯体 UiO-67 [$Zr_6O_4(OH)_4(bpdc)_6$]はすでに構造決定されている (*J. Am. Chem. Soc.* **2018**, 2363)。合成した錯体の粉末 X 線回折パターンは UiO-67 の単結晶構造データから計算されたシミュレーションパターンとよく一致しており、合成した Zr 錯体は UiO-67 と同様の 3 次元構造を形成していることが分かった。

次に吸着特性の評価を行った。初めに、77K における窒素吸着測定を行った。吸着等温線から BET 比表面積を算出した結果、UiO-67-PF は $1129 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ 、UiO-67-DB は $922 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ であり、置換基をもたない UiO-67 の比表面積 ($2252 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) の約半分程度であった。以上の結果より、導入した置換基が細孔中に存在していることが示唆された。そこで、アルカンガスであるプロパンとアルケンガスであるプロピレンの吸着測定を行った。UiO-67-PF の 298K におけるプロパン (青)、プロピレン (赤) の吸脱着等温線 (吸着: closed symbols、脱着 open symbols) を右上図に示すが、40kPa 以下の低圧領域でプロパン吸着量がプロピレン吸着量よりもわずかに高い結果が得られた。一方、UiO-67-DB は 298K において右中図のように UiO-67-PF よりもプロパンとプロピレンの吸着量差が大きくなった。各圧力におけるプロパン/プロピレン選択率をプロットしたところ (右下図、黒: UiO-67-PF、緑: UiO-67-DB) UiO-67-PF では 10kPa で最大選択率 1.1 を示したのに対し、UiO-67-DB では 10kPa で最大選択率 1.7 を示した。以上の結果より、UiO-67-DB において低圧条件下でアルカンガスであるプロパンが選択的に吸着分離できる可能性があることが明らかとなった。

ここで、perfluorobutyl 基と butoxy 基のプロパン、プロピレン吸着特性に与える影響について考察する。perfluorobutyl 基を含むパーフルオロアルキル基は剛直な直線構造をとることが知られている。そのため多孔性骨格中において perfluorobutyl 基同士が密にパッキングせず吸着サイトとして有効に作用していない可能性が高い。一方、butoxy 基のようなアルコキシ基は柔軟な構造をとることができる。そのため、多孔性骨格中で近接した butoxy 基と相互作用することによって、細孔内に疑似的なアルキル液体が形成していると考えられる。このアルキル液体が同様の構造を有するプロパンに対する選択性向上に寄与したものと推察される。

以上、本研究では選択的アルカンガス吸着材料を見出すことに成功した。アルカンガスであるプロパンを選択的に吸着する材料はこれまでほとんど報告されておらず、本成果は現状の高コスト分離法に代わる低コスト分離法を実現する上で極めて重要な知見となる。今後は、温度可変測定や混合ガスを用いた測定を行うことでさらに詳細な解析を進めるとともに、アルコキシ置換基の長さや置換位置、置換量を最適化してより選択性の高い吸着材料の開発を進める予定である。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Masaru Kato, Marika Muto, Naohiro Matsubara, Yohei Uemura, Yuki Wakisaka, Tsubasa Yoneuchi, Daiju Matsumura, Tomoko Ishihara, Takashi Tokushima, Shin-ichiro Noro, Satoru Takakusagi, Kiyotaka Asakura, and Ichizo Yagi	4. 巻 1
2. 論文標題 Incorporation of Multinuclear Copper Active Sites into Nitrogen-Doped Graphene for Electrochemical Oxygen Reduction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Appl. Energy Mater.	6. 最初と最後の頁 2358-2364
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.8b00491	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 Misaki Shiga, Shota Kawaguchi, Masaru Fujibayashi, Sadafumi Nishihara, Katsuya Inoue, Tomoyuki Akutagawa, Shin-ichiro Noro, Takayoshi Nakamura, and Ryo Tsunashima	4. 巻 47
2. 論文標題 Chemo-chromism in an orthogonal dabco-based Co(II) network assembled by methanol-coordination and hydrogen bond formation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Dalton Trans.	6. 最初と最後の頁 7656-7662
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8DT01220B	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 Andreas Schneemann, Robin Rudolf, Sebastian Henke, Yukiko Takahashi, Hung Banh, Inke Hante, Christian Schneider, Shin-ichiro Noro, and Roland A. Fischer	4. 巻 46
2. 論文標題 Linker Functionalization Triggers an Alternative 3D-Topology for Zn-Isophthalate-4,4 - Bipyridine Frameworks	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Dalton Trans.	6. 最初と最後の頁 8198-8203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7dt01195d	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 Fujun Cheng, Qianqian Li, Jingui Duan, Nobuhiko Hosono, Shin-ichiro Noro, Rajamani Krishna, Hongliang Lyu, Shinpei Kusaka, Wanqin Jin, and Susumu Kitagawa	4. 巻 46
2. 論文標題 Fine-tuning optimal porous coordination polymers by functional alkyl groups for CH ₄ purification	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Mater. Chem. A	6. 最初と最後の頁 17874-17880
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7ta02760e	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 Rika Ochi, Shin-ichiro Noro, Yuh Hijikata, Kazuya Kubo, and Takayoshi Nakamura	4. 巻 なし
2. 論文標題 Structural Diversification of Light-Metal Coordination Polymers Using 4-(Methylsulfonyl)benzoate with a Charge-Polarized Neutral Methylsulfonyl Coordination Moiety	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Eur. J. Inorg. Chem.	6. 最初と最後の頁 4013-4019
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejic.201700627	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 Takashi Takeda, Yasutaka Suzuki, Jun Kawamata, Shin-ichiro Noro, Takayoshi Nakamura, and Tomoyuki Akutagawa	4. 巻 19
2. 論文標題 The emergent intramolecular hydrogen bonding effect on the electronic structures of organic electron acceptors	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Chem. Chem. Phys.	6. 最初と最後の頁 23905-23909
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7cp04402j	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 Ryo Tsunashima, Ippei Nakamura, Rika Oue, Seiya Koga, Hirofumi Oki, Shin-ichiro Noro, Takayoshi Nakamura, and Tomoyuki Akutagawa	4. 巻 46
2. 論文標題 Inter-cluster distance dependence of electrical properties in single crystals of a mixed-valence polyoxometalate	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Dalton Trans.	6. 最初と最後の頁 12619-12624
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7DT02623D	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 Shin-ichiro Noro and Takayoshi Nakamura	4. 巻 9
2. 論文標題 Fluorine-functionalized metal-organic frameworks and porous coordination polymers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 NPG Asia Mater.	6. 最初と最後の頁 e433
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/am.2017.165	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 Jingui Duan, Masakazu Higuchi, Jiajia Zheng, Shin-ichiro Noro, I-Ya Chang, Kim Hyeon-Deuk, Simon Mathew, Shinpei Kusaka, Easan Sivaniah, Ryotaro Matsuda, Shigeyoshi Sakaki, and Susumu Kitagawa	4. 巻 139
2. 論文標題 Density Gradation of Open Metal Sites in the Mesospace of Porous Coordination Polymers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Am. Chem. Soc.	6. 最初と最後の頁 11576-11583
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.7b05702	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 Takashi Takeda, Shin-ichiro Noro, Takayoshi Nakamura, Yasutaka Suzuki, Jun Kawamata, and Tomoyuki Akutagawa	4. 巻 20
2. 論文標題 Selective MeCN/EtCN sorption and preferential inclusion of substituted benzenes in a cage structure with arylsulfonamide-armed anthraquinones	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 CrystEngComm	6. 最初と最後の頁 17-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7CE01752A	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 Hiroshi Nishiyama, Takashi Takeda, Norihisa Hoshino, Kiyonori Takahashi, Shin-ichiro Noro, Takayoshi Nakamura, and Tomoyuki Akutagawa	4. 巻 18
2. 論文標題 Host-Guest Molecular Crystals of Diamino-4,4-bithiazole and Dynamic Molecular Motions via Guest Sorption	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Cryst. Growth Des.	6. 最初と最後の頁 286-296
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.7b01236	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 -

〔学会発表〕 計32件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Xin Zheng, Kiyonori Takahashi, Takayoshi Nakamura, Shin-ichiro Noro
2. 発表標題 A series of copper coordination polymers constructed by bis(imidazole) ligands and bulky fluorinated anions: synthesis, structures, and physical properties
3. 学会等名 錯体化学会第68回討論会 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kiyonori Takahashi, Norihisa Hoshino, Shin-ichiro Noro, Tomoyuki Akutagawa, and Takayoshi Nakamura
2. 発表標題 Crystal Structure, Gas Sorption and Dielectric Properties of One-Dimensional Copper(II) Coordination Polymer with 2-Thiophenecarboxylate Ligand
3. 学会等名 43th International Conference on Coordination Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 張雲雅、高橋仁徳、中村貴義、野呂真一郎
2. 発表標題 4-スチリルピリジン配位子を有するウェルナー型錯体の合成と性質
3. 学会等名 化学系学協会北海道支部2019年冬季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤彰則、大関隆志、野呂真一郎
2. 発表標題 Perfluoro基で修飾された多孔性Zr錯体の合成と特性評価
3. 学会等名 化学系学協会北海道支部2019年冬季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋仁徳、白川祐基、星野哲久、野呂真一郎、芥川智行、中村貴義
2. 発表標題 Dibenzo[24]crown-8/1-ethyl-3-methylimidazolium超分子カチオンを導入した[Ni(dmit)2]アニオンラジカル塩の融解挙動と電気物性
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会(2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀葵、久保和也、キム ユナ、森田朝子、友田千尋、角屋智史、野呂真一郎、玉置伸之、中村貴義、山田順一
2. 発表標題 ビビリジンとジチオレン配位子誘導体からなる分極性非対称白金錯体のエレクトロクロミック特性
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会(2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤林将、高橋仁徳、野呂真一郎、中村貴義、網島亮
2. 発表標題 混合原子価ポリオキソメタレートが示す分子構造相転移における結晶溶媒の影響
3. 学会等名 2018年日本化学会中国四国支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石ヶ森あずみ、和泉雅之、野呂真一郎、中村貴義、越智里香
2. 発表標題 糖脂質型両親媒性分子ライブラリの合成とその自己集合能の評価
3. 学会等名 2018年日本化学会中国四国支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石ヶ森あずみ、和泉雅之、高橋仁徳、野呂真一郎、中村貴義、越智里香
2. 発表標題 糖残基を有する双頭型両親媒性分子の合成とその集合能評価
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会(2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤星周平、景山義之、丸田悟朗、高橋幸裕、野呂真一郎、武田定
2. 発表標題 [Cu ₂ (4-X-benzoate) ₄ (L)] _n (X=H,Me,F,Cl,Br,I/L=pyrazine, diazabicyclooctane)の構造相転移を伴う極性・無極性気体分子の吸蔵
3. 学会等名 日本化学会北海道支部2017年夏季研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 赤星周平、丸田悟朗、景山義之、高橋幸裕、野呂真一郎、武田定
2. 発表標題 誘電性スイッチングを目指した[Cu ₂ (4-X-benzoate) ₄ (L)] _n (X=H,Me,F,Cl,Br,I/L=Pyrazine, Diazabicyclooctane)の構造相転移を伴う極性及び無極性気体分子吸蔵
3. 学会等名 第11回分子科学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shin-ichiro Noro
2. 発表標題 Light Metal Coordination Polymers Using Organic Ligands with a Charge-Polarized Neutral Coordination Moiety
3. 学会等名 The 2nd Japan-US Bilateral Meeting on Coordination Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kiyonori Takahashi, Yuji Miyazaki, Shin-ichiro Noro, Motohiro Nakano, Tomoyuki Akutagawa, and Takayoshi Nakamura
2. 発表標題 Solid-State Phase Transition Behavior and Molecular Dynamics of Hydrogen Bonded One-Dimensional Copper Complexes with Fluorinated Benzoate Ligands
3. 学会等名 錯体化学会第67回討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Xin Zheng, Shin-ichiro Noro, Kiyonori Takahashi, and Takayoshi Nakamura
2. 発表標題 Solid-solid, Solid-Liquid and Solid-Glass Phase Transitions of The Coordination Polymer Containing Flexible Building Blocks
3. 学会等名 錯体化学会第67回討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 白川祐基、高橋仁徳、野呂真一郎、芥川智行、中村貴義
2. 発表標題 N-ヘテロ環カチオン-クラウンエーテル超分子構造を含む[Ni(dmit) ₂]錯体結晶の構造と物性
3. 学会等名 錯体化学会第67回討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Jiao Chen, Daisuke Nishide, Masaru Fujibayashi, Kiyonori Takahashi, Kazuya Kubo, Shin-ichiro Noro, Ryo Tsunashima, and Takayoshi Nakamura
2. 発表標題 Structures and Magnetic Properties of Tri-Nuclear Lanthanoid Complexes Sandwiched by Lacunary Keggin Polyoxometalates
3. 学会等名 錯体化学会第67回討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木和重、野呂真一郎、高橋仁徳、中村貴義
2. 発表標題 Paddle-Wheel型二核銅錯体と屈曲配位型架橋配位子ピリミジンからなる一次元ジグザグ鎖状錯体の合成と構造
3. 学会等名 錯体化学会第67回討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 越智里香、野呂真一郎、神谷裕一、土方優、久保和也、中村貴義
2. 発表標題 水/2-プロパノール混合蒸気分離特性を示す柔軟な二次元層状マグネシウム配位高分子
3. 学会等名 第66回高分子討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masaru Fujibayashi, Kiyonori Takahashi, Shin-ichiro Noro, Takayoshi Nakamura, Ryo Tsunashima
2. 発表標題 Basket Shaped Organic-Inorganic Hybrid Polyoxometalates Substituted with Alkyl Group
3. 学会等名 12th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets (ISCOM2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuki Shirakawa, Kiyonori Takahashi, Shin-ichiro Noro, Tomoyuki Akutagawa, Takayoshi Nakamura
2. 発表標題 Crystal Structure and Physical Properties of Supramolecular Asssembly with In-Plane Rotator
3. 学会等名 12th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets (ISCOM2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Jiao Chen, Daisuke Nishide, Masaru Fujibayashi, Kiyonori Takahashi, Kazuya Kubo, Shin-ichiro Noro, Takayoshi Nakamura
2. 発表標題 Structures and Magnetic Properties of Sandwich-Type Lanthanoid-Containing Polyoxometalates
3. 学会等名 12th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets (ISCOM2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名	Kiyonori Takahashi, Yuji Miyazaki, Shin-ichiro Noro, Motohiro Nakano, Tomoyuki Akutagawa, and Takayoshi Nakamura
2. 発表標題	Correlative Molecular Motion and Dielectric Response of Solid-State Supramolecular Rotator
3. 学会等名	12th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets (ISCOM2017) (国際学会)
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	Shin-ichiro Noro, Xin Zheng, and Takayoshi Nakamura
2. 発表標題	CO ₂ gas separation using PCPs/MOFs with fluorinated anions
3. 学会等名	1st International Conference on Energy and Material Efficiency and CO ₂ Reduction in the Steel Industry (国際学会)
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	Xin Zheng and Shin-ichiro Noro
2. 発表標題	Flexible Porous Coordination Polymers Decorated with Fluorinated Anions and Their Pelletization
3. 学会等名	JST ACCEL R&D Project International Symposium: The Nanospace Science of PCP for Molecular Control - Application and Development - (国際学会)
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	Kiyonori Takahashi, Yu Oshima, Kazuya Kubo, Shin-ichiro Noro, Sadamu Takeda, Tomoyuki Akutagawa, and Takayoshi Nakamura
2. 発表標題	Multiple Rotational Dynamics in Supramolecular Crystal of (3-Fluoroadamantylammonium)(Dibenzo[18]Crown-6)[Ni(dmit) ₂]
3. 学会等名	The 18th RIES-Hokudai International Symposium 極 (国際学会)
4. 発表年	2017年

1. 発表者名 Jiao Chen, Daisuke Nishide, Masaru Fujibayashi, Kiyonori Takahashi, Kazuya Kubo, Shin-ichiro Noro, and Takayoshi Nakamura
2. 発表標題 Structures of Carbonate-Bridged Lanthanoid Triangles Sandwiched by Lacunary Keggin Polyoxometalates
3. 学会等名 The 18th RIES-Hokudai International Symposiym 極 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuki Shirakawa, Kiyonori Takahashi, Shin-ichiro Noro, Tomoyuki Akutagawa, and Takayoshi Nakamura
2. 発表標題 Supramolecular cations of (diazinium)(dibenzo[24]crown-8) in [Ni(dmit) ₂] salt
3. 学会等名 The 18th RIES-Hokudai International Symposiym 極 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Chen Jiao、西出大輔、藤林将、高橋仁徳、久保和也、野呂真一郎、中村貴義
2. 発表標題 Synthesis and Characterization of Sandwich-type Polyoxometalates [(PW9034) ₂ (H ₂ OTb) ₃ CO ₃] ₁₁ - Containing Carbonate-Bridged Terbium Triangles with Organic Cations
3. 学会等名 化学系学協会北海道支部2018年冬季研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤林将、高橋仁徳、野呂真一郎、中村貴義、網島亮
2. 発表標題 18核ポリオキソメタレートへのアルキルホスホン酸修飾に伴う骨格構造のひずみ
3. 学会等名 化学系学協会北海道支部2018年冬季研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 白川祐基、高橋仁徳、野呂真一郎、芥川智行、中村貴義
2. 発表標題 複素環カチオン-ジベンゾ[24]クラウン-8超分子構造を含む[Ni(dmit) ₂]塩の構造
3. 学会等名 化学系学協会北海道支部2018年冬季研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 越智里香、野呂真一郎、久保和也、中村貴義
2. 発表標題 多孔性配位高分子によるグルコースからフルクトースへの異性化促進
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会(2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kiyonori Takahashi, Shin-ichiro Noro, Tomoyuki Akutagawa, and Takayoshi Nakamura
2. 発表標題 Gas Sorption and Dielectric Properties of One-Dimensional Copper Coordination Polymers with Heteroaromatic Ligands
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会(2018)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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