

令和 3 年 8 月 16 日現在

機関番号：24403  
研究種目：若手研究(A)  
研究期間：2016～2020  
課題番号：16H05968  
研究課題名（和文）規則ナノ細孔を有する分子シートのボトムアップ創製：相界面合成法の開発と分離膜応用

研究課題名（英文）Bottom-up synthesis of molecular nanosheets with size-regulated nanopores: development of interfacial synthetic methodology and separation membrane application

研究代表者  
牧浦 理恵 (Makiura, Rie)  
大阪府立大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：30457436  
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 19,200,000 円

研究成果の概要（和文）：高選択性・高透過性を併せ持つ分離膜の開発は、物質の分離・精製操作が必須とされる環境、エネルギー、化学工業において強く望まれている。本研究においては、究極の分離性能実現のための理想的な膜、すなわち規則ナノ細孔を有する極薄ナノシートを開発することを目的とした。気相と液相の界面反応により、構造設計性に富む有機分子をボトムアップ式に二次元に連結させ、狙いのナノ細孔構造を有する分子ナノシートを創出することに成功した。ナノシートの形成状態に影響を与える条件因子を系統的に変化させ、これらがナノシートの形成状態、特に厚さ、面積、結晶化度に与える影響を明らかにした。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

気相と液相の界面反応により、構造設計性に富む有機分子をボトムアップ式に二次元に連結させ、狙いのナノ細孔構造を有する分子ナノシートを作製することに成功した。溶液の濃度や酸性度など、界面反応に影響を及ぼす条件を系統的に変化させ、ナノシートの状態に影響を与える因子を明らかにした結果、ナノシートのシートサイズを拡大することができた。やこの研究成果は、規則細孔を有するナノシートが必要とされる、分離膜、ガスセンサ、分子認識デバイス、生体膜研究の進展へも波及効果をもたらす。

研究成果の概要（英文）： The development of separation membranes with high selectivity and high permeability is strongly desired in the environmental, energy, and chemical industries, where separation and purification operations are essential. In this study, we aimed to develop ideal membranes for the ultimate separation performance, i.e., ultra-thin nanosheets with regular nanopores.

We succeeded in creating molecular nanosheets with the targeted nanopore structure by assembling organic molecules with rich structural design bottom-up two-dimensionally through interfacial reactions between the air and liquid phases. We systematically varied the conditional factors that affect the nanosheet formation crystallinity.

研究分野：錯体化学、表面/界面科学

キーワード：ナノシート 気液界面 分離膜 配位高分子 金属錯体 結晶構造解析 多孔性材料 薄膜

## 1. 研究開始当初の背景

物質の分離・精製は、環境、エネルギー、化学工業などにおいて不可欠な操作である。膜による混合物の分離は、吸着分離や深冷分離などに比べ簡便且つ省エネルギーな方法として重要視されている。分離膜の材料としては、主にポリイミドなどの有機ポリマーが用いられており、作製が容易である一方、細孔径には分布が生じる。それゆえに、選択性(分離効率)を向上させるためには適度な厚みが必要であるが、厚すぎると透過(生産性)が低下するというトレードオフの関係が知られている。分離効率と生産性の両方を向上させるために、分子スケールでサイズの定まった規則ナノ細孔を有する極めて薄い膜(以降ナノシートと呼ぶ)の開発が強く望まれている。その候補として、多孔性分子ナノシートなど、有機分子を主成分とする結晶性固体が挙げられる。有機分子の設計性を生かし、細孔サイズや形状を多様且つ容易に変化させることが出来る。しかしながら、一般的に用いられる合成法では微結晶粉末として得られるため、そのナノシート化が大きな課題である。

## 2. 研究の目的

本研究においては、究極の分離性能実現のための理想的な膜、すなわち規則ナノ細孔を有する極薄ナノシートを開発することを目的とする。目的達成のために、気相と液相の界面反応を利用し、構造設計性に富む有機分子をボトムアップ的に二次元に連結させることで、狙いのナノ細孔構造を有する分子ナノシートを創出する。ナノシートの形成状態に影響を与える条件因子を系統的に変化させ、これらがナノシートの形成状態、特に厚さ、面積、結晶化度に与える影響を明らかにする。

本成果報告書においては、得られた成果の代表として、有機分子が水素結合により連結した HOF (hydrogen-bonded organic framework) ナノシート (LINAS-1 と称する) の合成と評価に関して説明する。

## 3. 研究の方法

### (1) 参照バルク結晶の単結晶構造解析

HOF ナノシートの構成要素となる有機分子に、1, 3, 5-tris(4-carboxyphenyl)benzene (略称: BTB) を用いた (図 1)。分子の中心にベンゼン環、その 1, 3, 5 位にカルボキシフェニル基を有する正三角形の分子である。BTB は MOF 構築の有機配位子として広く用いられているが、BTB 自体の結晶構造は報告されていなかったため、購入した BTB を再結晶することにより単結晶を得て、単結晶 X 線回折測定による構造解析を行った

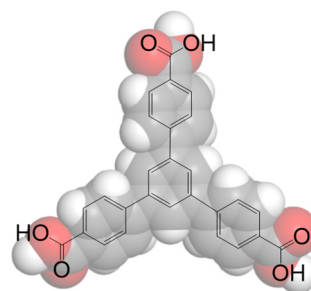


図 1. BTB 分子の構造

### (2) 気液界面における HOF ナノシート(LINAS-1)の合成

下層液としてトラフと呼ばれる浅い容器を純水で満たした。次に、有機分子を有機溶媒に溶解した溶液を展開液として下層液上に散布し、表面圧を測定しながら液表面をバリアで圧縮した。平均分子占有面積 (A) に対する表面圧 ( $\pi$ ) の変化から、ナノシートの形成状態やナノシート中の分子の配向を調べた。

### (3) Brewster 角顕微鏡およびその場 X 線回折測定にナノシート形成過程の解明

液面上で LINAS-1 が形成する様子を Brewster 角顕微鏡により観察した。X 回折計に組み込まれたトラフを用いて、上述と同様の方法で気液界面を用いて LINAS-1 を作製した。LINAS-1 の結晶構造を確認するために、気液界面におけるその場放射光 X 線回折測定を行った。

### (4) HOF ナノシート(LINAS-1)の細孔評価と分子吸着特性

LINAS-1 の細孔サイズと選択的ガス吸着能を調べるため、種々のガス吸着測定を行った。吸着測定を行うに際し、気液界面にて作製した LINAS-1 のろ過捕集を多数回繰り返し、測定に十分な試料量を得た。

## 4. 研究成果

### (1) 参照バルク結晶の単結晶構造解析

単結晶 X 線構造解析の結果、BTB 分子の外側に位置するカルボン酸が隣接する BTB のカルボン酸と二重の水素結合を生成し、正六角形状のリングを形成し、それらが二次元に広がったハニカム構造をすることがわかった (図 2 右下)。この正六角形リングの内径は約 3 nm 程度と大きく、別の正六角形リングが相互貫入することで互いにリングの隙間を埋めるようにパッキングした構造を有する。図に示すように、バルク結晶においては、ハニカム構造が三次元的に複雑に絡み合い、分子が密にパッキングした構造をとる。

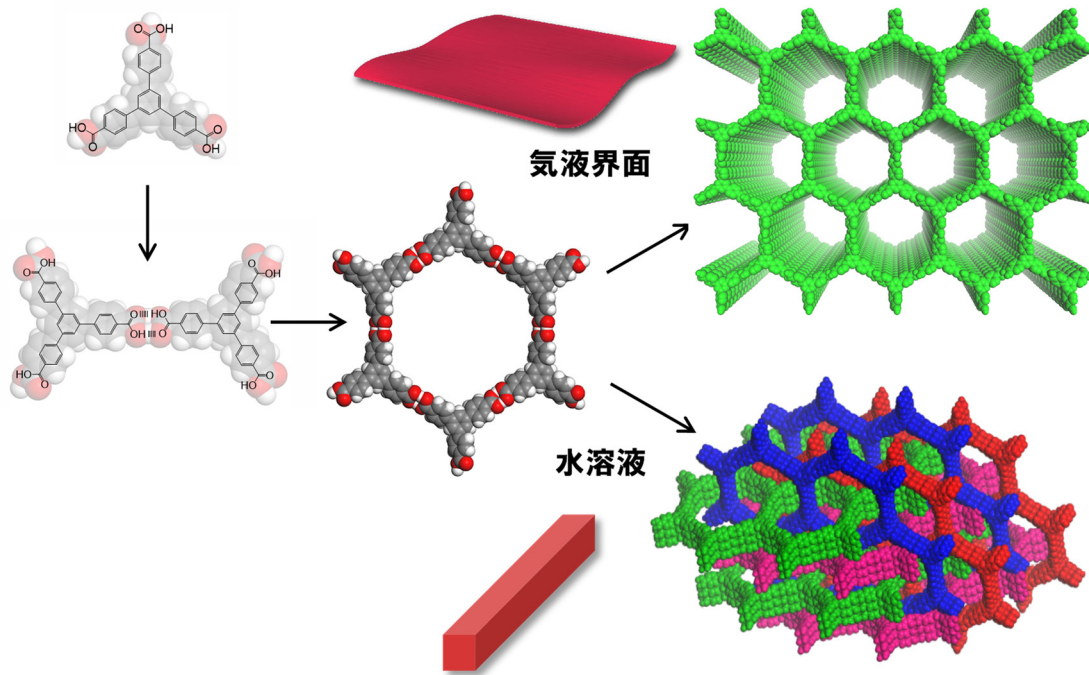


図2. BTB分子を構成要素として得られるバルク結晶の結晶構造（右下）と気液界面で特異的に創製される多孔性HOFナノシート（LINAS-1）の結晶構造（右上）

## (2) 気液界面における HOF ナノシート(LINAS-1)の形成とその場 X 線回折測定

平均分子占有面積 ( $A$ ) に対する表面圧 ( $\pi$ ) の変化、すなわち  $\pi$ - $A$  等温において (図 3)、表面圧が急峻に上昇する直線部分を外挿し、横軸と交差する点がナノシート中の平均分子占有面積と見積もることができる。ここで、BTB が連結して図 2 に示すようなハニカム構造を構築し、単分子層であると仮定した場合の平均分子占有面積は約  $420 \text{ \AA}^2$  である。一方で、 $\pi$ - $A$  等温線から見積もられた平均分子占有面積は約  $3.5 \text{ \AA}^2$  と小さいため、LINAS-1 が単層膜ではなく多層膜であるとともに、一部の BTB が下層液中に溶出していることが考えられる。

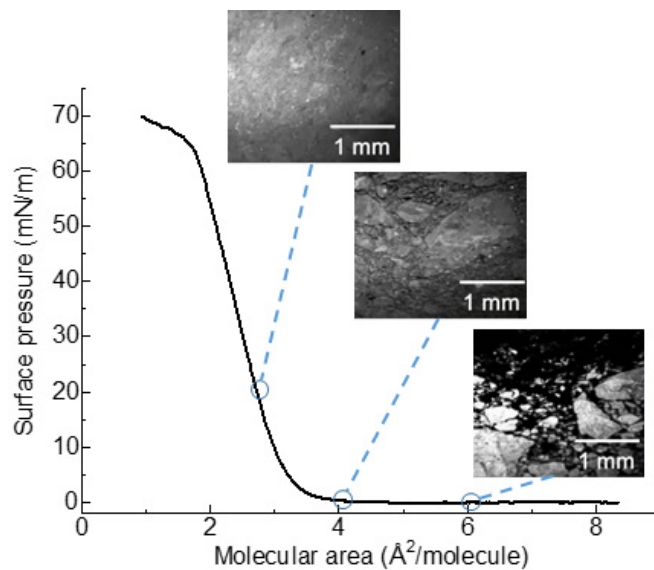


図3. LINAS-1の表面圧 ( $\pi$ )-平均分子占有面積 ( $A$ ) 等温線とBrewster角顕微鏡像

## (3) Brewster 角顕微鏡およびその場 X 線回折測定にナノシート形成過程の解明

液面上で LINAS-1 が形成する様子を Brewster 角顕微鏡により観察した (図 3)。明るい部分が LINAS-1、暗い部分が液面である。表面圧が低い領域では LINAS-1 の形成が確認されたが、液面が完全に LINAS-1 で覆われておらず、被覆率が低い。表面圧の上昇に伴い暗い部分が割合が小さくなり、表面圧が  $20 \text{ mN/m}$  においては、表面全体が LINAS-1 で覆われていることが確認された。

LINAS-1 の結晶構造を確認するために、気液界面におけるその場放射光 X 線回折測定を行った。回折計に組み込まれたトラフを用いた、上述と同様の方法で気液界面を用いて LINAS-1 を作製した。面内 X 線回折パターンに関して、表面圧上昇前の  $0 \text{ mN/m}$  の状態において結晶性由来する鋭い反射ピークが複数観測された。この結果から、BTB 同士が純水上で連結し、表面圧縮なしに自発的に結晶性のナノシートが形成されていることが示唆された。図 4(a)に示す通り、LINAS-1 の面内結晶構造は六角格子 ( $a = b = 31.2 \text{ \AA}$ ) からなることが想定され、この結晶構造に対して、面内 X 線回折ピークは全て ( $hk0$ ) で指数付けすることができたことから、LINAS-1 は完全配向していることが確認された。表面圧の上昇に伴い、回折ピークの数と位置の変化は見られなかったが、ピーク強度がいずれも上昇していることから、表面圧縮に伴い測定



領域における LINAS-1 の物質が増加していることがわかる。これは、Brewster 角顕微鏡により確認された表面圧縮に伴う LINAS-1 の被覆率の上昇と一致している。このことより、表面圧縮過程で LINAS-1 の高い結晶性は保持された状態で、LINAS-1 のナノシートドメインがより密に集まっていることが示唆される。その場 X 線回折測定により得られた面外 X 線回折パターンにおいては、表面圧上昇前の 0 mN/m の状態において、単一の回折ピークが確認された。回折ピークが得られた角度より算出された面間距離は 3.6 Å であり、 $\pi$ - $\pi$ 相互作用距離に一致することから、 $\pi$ 電子を含み平坦性の高い BTB 分子同士が、 $\pi$ - $\pi$ 相互作用により液面上で、液面に垂直方向に密に積層した構造を有することが示唆された (図 4(b))。表面圧上昇に伴う面外 X 線回折ピークの変化は、面内 X 線回折ピーク同様、ピーク位置は変化せず、ピーク強度のみ上昇が見られた。

#### (4) HOF ナノシート(LINAS-1)の細孔評価と分子吸着特性

77 K における窒素 ( $N_2$ ) ガス吸着測定の結果、同じ BTB 構成要素から成るにも関わらず、LINAS-1 と BTB バルク結晶の吸着等温線は大きく異なっていた。

LINAS-1 においては、低相対圧において急峻な吸着量の上昇が見られたことから、ナノ細孔の存在が示唆された。一方で、BTB バルク結晶においては、対応する吸着量の上昇は見られず、ナノ細孔を含まない分子が密にパッキングした結晶構造を有することが示唆され、単結晶 X 線構造解析から示された結晶構造を支持している。窒素吸着等温線の結果を用いて Barrett-Joyner-Halenda (BJH) 細孔分布解析を行った結果、2 つの細孔分布が見られた。1~3 nm 付近に見られるピークは、図 4(a)に示す結晶構造から想定される約 2.7 nm の細孔内径とよく一致し、有効なナノ細孔の存在が確認された。298 K における水蒸気 ( $H_2O$ ) 吸着測定と 77K における酸素 ( $O_2$ ) ガス吸着測定の結果結果においても、LINAS-1 と BTB バルク結晶では大きく結果が異なり、結晶構造の違いが由来していることが示唆される。BTB 分子は極性の高いカルボキシル基を 3 つ含むが、それらカルボキシル基の全てが水素結合を形成し得られた LINAS-1 は、水蒸気の特異吸着は示さず、LINAS-1 中の細孔は疎水的である点が興味深い。また、LINAS-1 においては、低相対圧領域において酸素を特異的に吸着することから、酸素分子の  $\pi$  電子と LINAS-1 の細孔内部に含まれるベンゼン環の  $\pi$  電子間の分子間相互作用が寄与していることが考えられる。

#### (5) まとめと今後の展開

グラフェンをはじめとし、金属酸化物や金属カルコゲナイトなどのナノシートが盛んに研究されているが、これらのほとんどがバルク結晶を剥離することにより得られている。バルク結晶を剥離する方法において、ナノシートを使用する際には、バルク結晶の作製、剥離、溶液中への分散、基板上への製膜など多くのプロセスが必要であり、大面積にわたり均一な膜として製膜するのは困難である。気液界面においては、均一で穏やかに反応が進行する溶液反応の特徴を活かしながら、生成物の成長方向を 2 次元に制御することが可能である。この点に着目し、気液界面での錯形成反応を利用することで、多孔性ナノシートを得ることに成功した。

HOF ナノシートは、サイズが定まった規則ナノ細孔を有するという特徴もある。このような多孔性のナノシートは、高い選択性と透過性を兼ね備えた分離膜として理想的であり、分離膜としての評価も進行中である。さらに、リチウムイオン電池の安定性向上のために、電極活物質 - 電解質間の界面層として、MOF 薄層を適用する研究も進行している。MOF 中のナノ細孔がイオン輸送に有利であり、3 次元ネットワーク構造により、層状化合物に見られるへき開などの構造破壊が起き難い。液相逐次成長法を用いて、分子レベルで MOF 界面層の膜厚を制御し、電池特性に対する MOF 界面層の効果の解明を進めている。

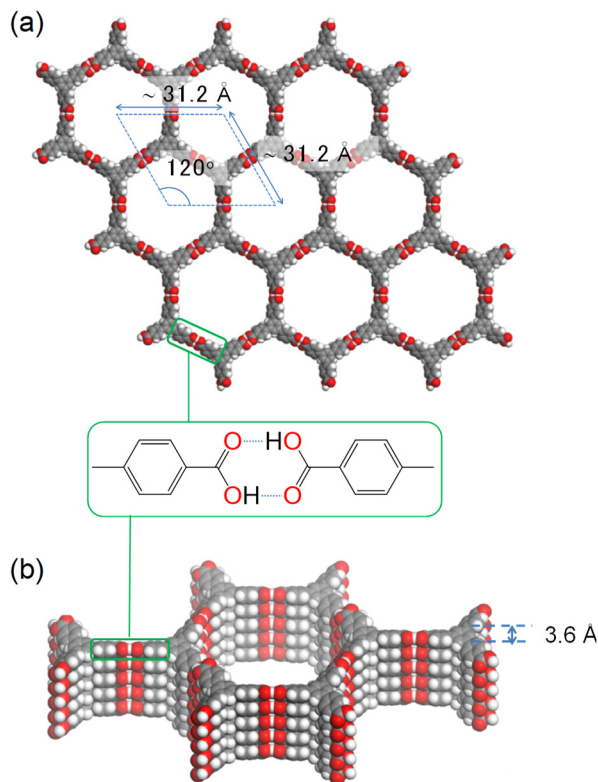


図4. LINAS-1の(a)面内結晶構造と(b)面外積層構造

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Makiura Rie, Tsuchiyama Kohei, Pohl Ehmke, Prassides Kosmas, Sakata Osami, Tajiri Hiroo, Kononov Oleg	4. 巻 11
2. 論文標題 Air/Liquid Interfacial Nanoassembly of Molecular Building Blocks into Preferentially Oriented Porous Organic Nanosheet Crystals via Hydrogen Bonding	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 10875 ~ 10882
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.7b04447	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 Ohata Takashi, Hirosawa Ichiro, Watanabe Takeshi, Makiura Rie	4. 巻 6
2. 論文標題 液相界面ボトムアップ法による分離膜向け分子ナノシートの創製と構造解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 SPRING-8/SACLA 利用研究成果集	6. 最初と最後の頁 137 ~ 140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18957/rr.6.1.137	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 Kishimoto Yuki, Yubuchi So, Hayashi Akitoshi, Tatsumisago Masahiro, Makiura Rie	4. 巻 19
2. 論文標題 Solution-based sequential modification of LiCoO <sub>2</sub> particle surfaces with iron(ii) oxalate nanolayers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 CrystEngComm	6. 最初と最後の頁 4175 ~ 4181
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7CE00552K	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 Makiura Rie	4. 巻 44
2. 論文標題 Influence of solution pH and reaction atmosphere on the morphology of SrTiO <sub>3</sub> nanocubes synthesized by thermohydrolysis	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Research on Chemical Intermediates	6. 最初と最後の頁 4775 ~ 4782
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11164-018-3283-6	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 牧浦 理恵	4. 巻 41
2. 論文標題 規則ナノ細孔を有する分子ナノシートの液相界面ボトムアップ合成	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Colloid & Interface Communication	6. 最初と最後の頁 19-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 牧浦 理恵	4. 巻 67
2. 論文標題 分子の界面積み木細工による高配向性ナノシート結晶の創製	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 工業化学	6. 最初と最後の頁 237-243
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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60件 (うち招待講演 22件 / うち国際学会 19件)

1. 発表者名 Takashi Ohata*, Rie Makiura
2. 発表標題 Creation of electrically conductive metal-organic framework nanosheets utilizing liquid-phase interfacial coordination
3. 学会等名 Okinawa colloids2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Ohata*, Rie Makiura
2. 発表標題 Creation of electrically conductive metal-organic framework nanosheets utilizing liquid-phase interfacial coordination
3. 学会等名 JSPS-EPSCRC Core-to Core International Workshop On Two-Dimensional Coordination Nanosheets (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大畑 考司*, 牧田 龍幸, 竹谷 純一, 牧浦 理恵
2. 発表標題 電子機能性metal-organic frameworkナノシート結晶の電気特性とモルフォロジーの相關調査
3. 学会等名 第65回高分子研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rie Makiura*
2. 発表標題 Porousmolecularnanosheetsassembledatair/liquidinterfaces:Applicationofmultiplemolecularcomponentstowardsfine tuneofporesize and shape
3. 学会等名 錯体化学会第69回討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤 遥子, 酒井 雄也, 牧浦 理恵, 豊田 太郎
2. 発表標題 界面活性剤系養生剤による水分逸散抑制効果に関する研究
3. 学会等名 第19回コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Ohata*, Rie Makiura
2. 発表標題 Creation of highly-oriented porous molecular nanosheets utilizing air/liquid interfaces and investigation of their optical properties
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Rie Makiura
2. 発表標題 Interfacial nanocrafting of molecular building blocks into crystalline porous nanosheets
3. 学会等名 The 7th Asian Conference on Coordination Chemistry (ACCC7) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rie Makiura
2. 発表標題 Liquid-phase interfacial nanoassembly of molecular building units into porous nanosheet crystals
3. 学会等名 Okinawa colloids 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rie Makiura
2. 発表標題 Liquid-phase Interfacial nanocrafting of molecular building blocks into crystalline porous nanosheets
3. 学会等名 JSPS-EPSCRC Core-to Core International Workshop On Two-Dimensional Coordination Nanosheets (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rie Makiura
2. 発表標題 多孔性金属錯体ナノシートの気液界面合成：モルフォロジー制御と機能創出 Air/liquid interfacial synthesis of porous metal complex nanosheets : Morphology tuning and creation of new functions
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会 (招待講演)
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 Takashi Ohata*, Rie Makiura
2. 発表標題 Electronic functional MOF nanosheet crystals varied by orientation and morphology
3. 学会等名 The 43rd International Conference on Coordination Chemistry (ICCC 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koki Fuchigami*, Rie Makiura
2. 発表標題 Pore-size adjustable MOF nanosheets assembled at air/liquid interfaces
3. 学会等名 The 43rd International Conference on Coordination Chemistry (ICCC 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大畑 考司*, 牧田 龍幸, 竹谷 純一, 牧浦 理恵
2. 発表標題 電子機能性MOFナノシート結晶のシート形態・配向性と電気的特性の相関関係調査
3. 学会等名 第64回高分子研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 淵上 晃輝*, 牧浦 理恵
2. 発表標題 気液界面における細孔径可変MOF薄膜の作製
3. 学会等名 第64回高分子研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 淵上 晃輝*, 牧浦 理恵
2. 発表標題 Pore-size-adjustable MOF nanosheets assembled at air/liquid interfaces
3. 学会等名 錯体化学第68回討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大畑 考司*, 牧田 龍幸, 竹谷 純一, 牧浦 理恵
2. 発表標題 MOFナノシート結晶の電子機能の開拓: 配向性・シート形態と電気的特性の調査
3. 学会等名 錯体化学第68回討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大畑 考司*, 牧田 龍幸, 竹谷 純一, 牧浦 理恵
2. 発表標題 電子機能性metal-organic frameworkナノシート結晶の電気特性とモルフォロジーの相関調査
3. 学会等名 第69回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 牧浦 理恵
2. 発表標題 気液界面における多孔性分子ナノシートの創製: 細孔サイズと形状の制御に向けた多成分の適用
3. 学会等名 第69回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 淵上 晃輝*, 牧浦 理恵
2. 発表標題 Pore-size-adjustable MOF nanosheets assembled at air/liquid interfaces
3. 学会等名 第59回錯体化学若手の会・近畿地区勉強会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石川 克樹*, 牧浦 理恵
2. 発表標題 サーモクロミック温度の精密制御に向けたV02ナノクラスターの合成
3. 学会等名 第59回錯体化学若手の会・近畿地区勉強会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西野 泰平*, 牧浦 理恵
2. 発表標題 Creation of highly-oriented metal-organic framework nanosheets for effective gas separation
3. 学会等名 第59回錯体化学若手の会・近畿地区勉強会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Rie Makiura
2. 発表標題 Liquid-phase interfacial nanoassembly of molecular building units into porous nanosheet crystals
3. 学会等名 The 43rd International Conference on Coordination Chemistry (ICCC 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 牧浦 理恵
2. 発表標題 液相界面の特異性を利用して創る多孔性分子ナノシート
3. 学会等名 第59回錯体化学若手の会・近畿地区勉強会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 牧浦 理恵
2. 発表標題 液相界面の特異性を利用して創る多孔性分子ナノシート
3. 学会等名 高分子同友会 関西地区勉強会（11月度）（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 牧浦 理恵
2. 発表標題 分子の積み木細工による2次元機能材料の創成 - 液面の特異性を利用して創る多孔性分子ナノシート -
3. 学会等名 第五回ヘキサカンファレンス（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 牧浦 理恵
2. 発表標題 分子の積み木細工による2次元機能材料の創製 - 液面の特異性を利用して作る多孔性分子ナノシート -
3. 学会等名 新規事業研究会 第315回 月例研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大畑 孝司*、牧田 龍幸、竹谷 純一、牧浦 理恵
2. 発表標題 高配向性 metal-organic frameworkナノシート結晶の形態と電気的特性の相関調査
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大畑 孝司*、牧浦 理恵
2. 発表標題 高配向性 metal-organic frameworkナノシート結晶の形態と電気的特性の相関調査
3. 学会等名 第9回関西無機機能性材料研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 淵上 晃輝*、牧浦 理恵
2. 発表標題 温度による細孔サイズの制御可能なナノシートの製膜
3. 学会等名 第9回関西無機機能性材料研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Ohata*、 Rie Makiura
2. 発表標題 Highly-orientated multi-layered MOF nanosheet crystals with triphenylene-derivatives at air/liquid interfaces
3. 学会等名 第11回NanoSquareワークショップ(国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Zhang Lihao*, Akihiro Nomoto, Yuta Sakai, Rie Makiura, Akiya Ogawa
2. 発表標題 Synthesis of acetylene-conjugated porphyrin for construction of metal-organic framework
3. 学会等名 Joint Symposium of Asia Five Universities (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Rie Makiura
2. 発表標題 Liquid-phase interfacial nanoassembly of molecular building units into porous nanosheet crystals
3. 学会等名 Joint Symposium of Asia Five Universities (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Rie Makiura
2. 発表標題 Air/liquid Interfacial nanoassembly of molecular building units into porous nanosheet crystals
3. 学会等名 11th Japan-China Joint Symposium on Metal Cluster Compounds (11th JCSMCC) 第11回日中クラスター会議 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 牧浦 理恵
2. 発表標題 Electronic state tuning of molecular-based porous frameworks by introducing guest molecules into pores
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 大畑 孝司*、牧浦 理恵
2. 発表標題 高配向性ニッケル錯体ナノシート結晶の気液界面合成
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 牧浦 理恵
2. 発表標題 気液界面に形成された多孔性分子ナノシートの構造とモルフォロジ制御
3. 学会等名 第68回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takashi Ohata*、 Rie Makiura
2. 発表標題 Synthesis of highly orientated metal-organic framework nanosheet crystals composed of triphenylene derivative at air/liquid interfaces
3. 学会等名 The 6th Asian Conference on Coordination Chemistry (ACCC6) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Rie Makiura
2. 発表標題 LIQUID-PHASE INTERFACIAL NANOASSEMBLY OF METAL-ORGANIC FRAMEWORKS INTO HIGHLY-CRYSTALLINE NANOSHEETS
3. 学会等名 The 6th Asian Conference on Coordination Chemistry (ACCC6) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大畑 孝司*、牧浦 理恵
2. 発表標題 トリフェニレン誘導体を用いた八ニカム型 metal-organic framework ナノシート結晶作製及びシート形態制御
3. 学会等名 第63回高分子研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 牧浦 理恵
2. 発表標題 水素結合により連結した結晶性分子ナノシートの気液界面合成
3. 学会等名 第63回高分子研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 牧浦理恵
2. 発表標題 分子の積み木細工による2次元機能材料の創製
3. 学会等名 第45回東北地区高分子若手研究会夏季ゼミナール（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 牧浦理恵
2. 発表標題 分子の積み木細工による2次元機能材料の創製：液面の特異性を利用して作る多孔性ナノシート
3. 学会等名 セミナー化学千一夜 有機合成化学協会 関西支部（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Azusa Taniguchi、Rie Makiura*
2. 発表標題 Size and crystallinity control in hydrogen-bonded porous molecular nanosheets assembled at air/liquid interfaces
3. 学会等名 日本化学会第97春季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takashi Ohata*、Rie Makiura
2. 発表標題 Synthesis of highly orientated metal-organic framework nanosheet crystals composed of triphenylene derivative at air/liquid interfaces
3. 学会等名 日本化学会第97春季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大畑 考司*、牧浦 理恵
2. 発表標題 トリフェニレン誘導体を用いた高配向性Metal-Organic Frameworksナノシート結晶の気液界面合成
3. 学会等名 日本化学会第97春季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 牧浦 理恵
2. 発表標題 多孔性配位高分子ナノシートの2次元液相界面合成
3. 学会等名 日本化学会第97春季年会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 牧浦 理恵
2. 発表標題 自分の可能性を信じ、新たな挑戦を
3. 学会等名 日本女性科学者の会第11回学術大会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大畑 考司*、牧浦 理恵
2. 発表標題 気液界面合成による高配向性metal-organic framework ナノシート結晶を用いたカラムネットワークの作製及び構造制御
3. 学会等名 第8回関西無機機能性材料研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 谷口 あずさ*、牧浦 理恵
2. 発表標題 多成分を用いた多孔性分子ナノシートの作製によるポアサイズの制御
3. 学会等名 第8回関西無機機能性材料研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Rie Makiura
2. 発表標題 Interfacial nanoassembly of molecular building units into crystalline porous nanosheets
3. 学会等名 The 13th Japanese-German Frontiers of Science (JGFos) Symposium (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Azusa Taniguchi*、Rie Makiura
2. 発表標題 Fine control of the pore size in a molecular nanosheet by applying multicomponents for organic solar cells
3. 学会等名 The 5th KIST-OPU-ECUST-TKU Joint Symposium on Advanced Materials and Application (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Rie Makiura
2. 発表標題 Interfacial nanoassembly of molecular building units into crystalline porous nanosheets
3. 学会等名 The 5th KIST-OPU-ECUST-TKU Joint Symposium on Advanced Materials and Application (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 牧浦 理恵
2. 発表標題 液相逐次成長法による無機粒子表面への配位高分子薄層の形成と2次電池電極材料への応用
3. 学会等名 第65回高分子討論会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Rie Makiura
2. 発表標題 Solution based step-by-step growth of metal-organic framework nanolayers on inorganic particle surfaces and application for secondary battery electrode materials
3. 学会等名 錯体化学会第66回討論会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Rie Makiura
2. 発表標題 Interfacial nanoassembly of molecular building units into crystalline porous nanosheets
3. 学会等名 1st Japan-Australia Joint Symposium on Coordination Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 南 孝明*、牧浦 理恵、中平 敦
2. 発表標題 水系プロセスを用いた ZIF-8の形態制御
3. 学会等名 日本セラミックス協会第29回秋季シンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 牧浦 理恵
2. 発表標題 液相界面を利用した分子ナノシート結晶のボトムアップ創製
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第29回秋季シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 牧浦 理恵
2. 発表標題 液相界面を利用した結晶性分子ナノシートのボトムアップ創製
3. 学会等名 第62回高分子研究発表会 ヤングサイエンティスト講演
4. 発表年 2016年



1. 発表者名 牧浦 理恵
2. 発表標題 液相界面での分子積み木細工によるナノシート結晶の創製
3. 学会等名 機能物性セミナー（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Rie Makiura
2. 発表標題 Interfacial Nanoassembly of Molecular Building Units into Crystalline Porous Nanosheets
3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Synthetic Two-Dimensional Polymers（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 牧浦理恵 他	4. 発行年 2020年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 448
3. 書名 ポストグラフェン材料の創製と用途開発最前線 -二次元ナノシートの物性評価、構造解析、合成、成膜プロセス技術、応用展開 「第11編 合成と成膜プロセス技術、第2章 二次元ナノシート合成技術、第3節 規則ナノ細孔を有する有機無機ポリマーナノシートの液相界面合成」	

1. 著者名 牧浦理恵 他	4. 発行年 2019年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 639
3. 書名 PCP/MOFおよび各種多孔質材料の作り方、使い方、評価解析 「第2章 PCP/MOFの応用利用,その可能性, 第14節 液相界面を利用した高配向MOFナノシートの創製」	

1. 著者名 Rie Makiura (edited by Hisashi Yamamoto, Takashi Kato)	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Wiley	5. 総ページ数 384
3. 書名 Molecular Technology: Life Innovation	

1. 著者名 牧浦理恵 他 (日本化学会編)	4. 発行年 2017年
2. 出版社 化学同人	5. 総ページ数 224
3. 書名 二次元物質の科学	

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究代表者の研究室のHP <a href="http://mtr1.osakafu-u.ac.jp/hybrid-nanomater/">http://mtr1.osakafu-u.ac.jp/hybrid-nanomater/</a>
---

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

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
---------	---------