

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：17401

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）

研究期間：2018～2022

課題番号：18KK0142

研究課題名（和文）閉鎖性ナノ・サブミクロン空間の構造制御と機能開発

研究課題名（英文）Fabrication of nano-to-submicron-sized exclusive pods and their spatial functionalization

研究代表者

高藤 誠（Takafuji, Makoto）

熊本大学・大学院先端科学研究部（工）・教授

研究者番号：50332086

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、マイクロ粒子界面でのナノ・サブミクロンサイズのポッド状空間の創成ならびにポッドの形状、内部界面構造の制御による特異的空間の創出を目指し、（1）シリカナノ粒子を分散させた重合性モノマーの懸濁重合によるポリマー粒子界面へのシリカナノ粒子の集積化、（2）界面シリカ粒子の化学的溶解除去により、界面にポッド空間をもつポリマー粒子を作製した。ポッドの開口部や内部空間サイズは調製条件により様々に制御可能である。また、内部空間に色素分子からナノ粒子まで様々な物質を格納させることができたことから、空間内部は拡散性・流動性が高く、閉鎖性の高い空間であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

環状分子や有機金属構造体（MOF）、ゼオライト、層状化合物（ナノシート）などメソからナノサイズの空間を利用した研究は数多く報告されているが、サブミクロンの空孔を有する構造体の研究例は少なく、拡散性・流動性が存在するサイズの隔離空間として学術的に興味深い研究対象である。ナノ・サブミクロンポッドは界面自己組織化したナノ粒子をテンプレートとしており、空間のサイズや深さ、開口部の直径の制御が可能であり、開口部よりも広がった内部空間を作製することもできる。ポリマーマイクロ粒子界面にポッド配置していることから、カラム充填剤や物質輸送キャリアなどへの展開も可能である。

研究成果の概要（英文）：In this study, we aim to create nano- and submicron-sized pod-like spaces at the microparticle surface with specific inner spaces. Polymer particles with the pod structure on their surface were prepared by removal of interfacial silica particles from the core-shell polymer microspheres with silica nanoparticles-embedded on the surface. The pod aperture and internal size can be variously controlled by the preparation conditions. Various substances ranging from dye molecules to nanoparticles could be stored in the internal space of the pod, suggesting that the interior of the space is highly diffusive and fluid, but also that it is closed nature.

研究分野：高分子材料化学

キーワード：マイクロ粒子 閉鎖性空間 ディンプル構造 コアシェル粒子 ナノ空間

1. 研究開始当初の背景

メソからナノサイズ(0.1~100 nm)の空間を精密制御する技術が盛んに研究されており、資源、エネルギー、環境などの様々な分野に応用するための機能性材料として利用されている。一方で、サブミクロンサイズ(数10 nm~1 μm)の空間を制御する技術はレーザー加工や転写成型などのトップダウン法が利用されているが、平面基板上での構造形成に限定されるなど、加工上の制約があるため応用範囲が限定的である。また、内部に空間をもつカプセル粒子は様々なものが報告されているが、外部環境から孤立した空間であり、カプセルへの閉じ込めやカプセルからの放出にはセルの破壊を伴う場合が多い。外部環境との連結口としてのゲート構造(トランスポーテンション構造)をもつサブミクロンサイズの閉鎖性空間を(平板状基板ではなく)マイクロ粒子界面に形成させ、物質の閉じ込め性を評価した例は少ない。閉鎖性サブミクロン空間を界面にもつマイクロ粒子は、物質の格納(保持)や可搬性キャリアとして利用できることが期待できる。

2. 研究の目的

本研究では、ボトムアップ的手法を利用してマイクロ粒子界面にナノ・サブミクロンサイズのポッド状空間を創成するとともに、空間構造および界面構造の制御による機能性材料の開発を目指す。ナノ・サブミクロンサイズのポッド構造は、ナノ粒子や巨大分子(ポリマー、タンパク質、核酸塩基など)などの物質を格納することが可能であり、空間内部の特異的環境を科学的視点で評価することを目的とする。さらに、マイクロ粒子を基材として利用するため、平板状基材を利用した場合と異なり、キャリアとして利用できる。そのため格納した物質をマイクロ粒子とともに運搬、分離することが可能であり、その特徴を活用したナノ・サブミクロン空間を利用した機能性材料の開発を目指す。

3. 研究の方法

(A) 界面ポッド構造をもつポリマー微粒子の作製とポッド内部空間の構造制御

研究代表者らが開発した界面疎水化ナノシリカを分散させた重合性モノマーの懸濁重合によるコアシェル微粒子の作製と化学的方法による界面シリカナノ粒子の除去により界面にポッド状の空孔構造を有するポリマー微粒子を作製した。テンプレートとして様々なサイズ、疎水化率のナノシリカを利用することで、異なるゲート径、内部空間を界面にもつポリマー微粒子の作製を試みた。

(B) ポッド内表面の機能化

機能化前の内表面の化学構造を調査するために、ポッド空間内部への種々の色素分子の吸着実験を行った。また、ポッド空間内表面の化学構造制御技術を確認するために、ポリマー粒子内部でのナノシリカの生成およびシリカ表面への化学修飾を実施した。

(C) ポッド空間への物質の格納

数10ナノからサブミクロンサイズのポッド構造内部への分子から粒子を含む物質の取込みについて検討するとともに、格納後の保持、放出挙動を調査した。具体的には蛍光性分子ならびに無機ナノ粒子を用いて、種々の検討を行った。

(D) 界面ポッド構造をもつ微粒子の機能化

ポッド内部は、数10ナノからサブミクロンサイズの隔離空間(セル)であり、ゲートを通して外部環境と繋がっている。ポッド内部に格納した物質の選択的放出、外部刺激応答型の放出を目的とし、ポッド空間内部に格納した物質の保持・放出を可能にするゲート機能をポッド開口部に付与するためのポリマーネットワークハイドロゲルの合成を行った。また、ポッド空間内部に埋め込むための機能性ナノ粒子の開発を試みた。

4. 研究成果

(A) 界面ポッド構造をもつポリマー微粒子の作製とポッド内部空間の構造制御

界面にポッド空間をもつポリマー微粒子は、(1) シリカ粒子を分散させた重合性モノマーを水中で懸濁重合することで界面にシリカ粒子を集積させたポリマー微粒子(コアシェル微粒子)を合成し、(2) 酸を用いてシリカ粒子を溶解除去することで作製した。アルキル鎖長の異なるシランカップリング剤による化学修飾により界面極性を制御したシリカ粒子を用いることでポッド内部空間の体積およびゲートサイズの制御を試みた。シリカ粒子(平均粒子径=1.0 μm) 3.5 g を pH 8.5 の水酸化ナトリウム水溶液 4 mL に分散させ、トリメキシメチルシラン(C₁) 1.0 g を溶解させたメタノール溶液 16 mL を加えた後、マイクロウェーブ合成装置を用いて 150 °C で 10 分間加熱した。メタノールで洗浄後、減圧乾燥し、白色粉末を得た。トリメキシプロピルシラン(C₃) およびトリメキシヘキシルシラン(C₆)を用いて、同様の反応を行い、白色粉末を得た。FT-IR スペクトル測定、接触角測定、熱重量分析(TGA)から、いずれもシリカ界面にアルキル基がグラフト化されて

いるおり、有機成分量はそれぞれ 0.75 wt%(C₁)、0.75 wt%(C₃)、0.96 wt%(C₆)であることを確認した。次に、アルキル基グラフト化シリカ粒子(C₁S1.0, C₃S1.0, C₆S1.0)を用いて、コアシェル微粒子の作製を行った。シリカ粒子を所定の濃度になるようにスチレン 7.5 mL およびエチレングリコールジメタクリレート 7.5 mL の混合モノマーに分散させ、ここに開始剤として過酸化ベンゾイル 0.15 g(1%)を加えて溶解させた後、2 wt%ポリビニルアルコール水溶液 300 mL 中に添加した。30 °C で 1 時間かき混ぜた後、80 °C に昇温し 20 時間加熱した。その後、お湯およびメタノールを用いて洗浄後にろ過し、減圧乾燥して白色の粉末を得た。得られた白色粉末の走査型電子顕微鏡(SEM)観察の結果、界面にシリカ粒子が固定化されたコアシェル微粒子が確認された(図 1(左))。C₁S1.0 を用いて作製したコアシェル微粒子(C₁S1.0@pSE)は、埋まりこみが浅く、一部脱落していた。アルキル鎖が長くなるとともに、シリカ粒子の埋まりこみが深くなっており、C₆S1.0 を用いて作製したコアシェル微粒子(C₆S1.0@pSE)界面のポッド空間の入り口は 1.0 μm のシリカ粒子よりも小さいことが確認された。これらのコアシェル微粒子の熱重量分析を行った結果、ポリマー微粒子表面に固定化されたシリカ粒子は、それぞれ 6.9%(C₁S1.0@pSE)、7.5%(C₃S1.0@pSE)、8.3%(C₆S1.0@pSE)であった。仕込み時に、10%のシリカ粒子を添加しているにもかかわらず、担持量少ないことから、重合過程でシリカ粒子がモノマー油滴の外へ流出していることが考えられる。特に、C₁S1.0 は、より親水的であるため担持量の低下が顕著であった。コアシェル微粒子を 4.8%のフッ化水素酸(HF)に 10 分間

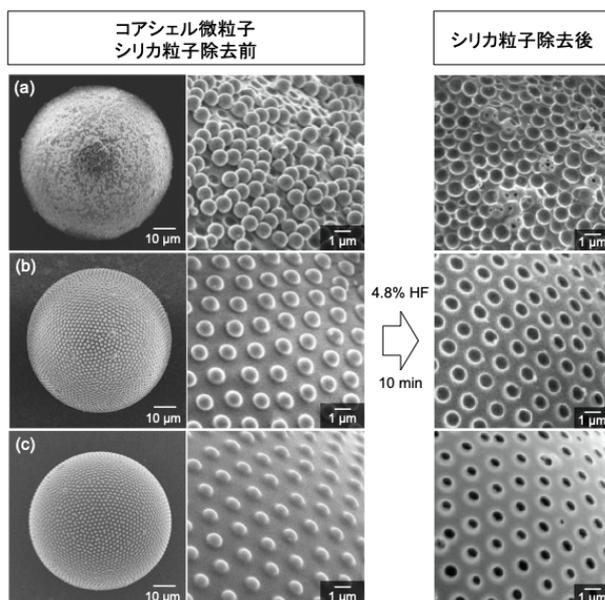


図1 コアシェル微粒子のシリカ粒子除去前後の SEM 画像。
(a) C₁S1.0@pSE, (b) C₃S1.0@pSE, (c) C₆S1.0@pSE

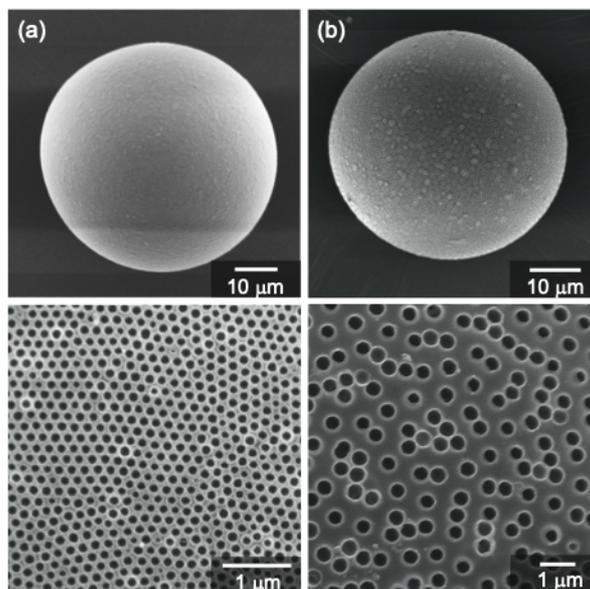


図2 異なるサイズのシリカナノ粒子を用いて作製した界面ポッド空間をもつポリマー微粒子の SEM 画像。
(a) 0.2 μm, (b) 0.5 μm

浸漬し、水およびメタノールで洗浄した後、減圧乾燥した微粒子の SEM 観察を行った結果、ポリマー微粒子界面に固定化されたシリカ粒子は、フッ化水素酸により溶解し、完全に除去されていることを確認した(図1(右))。ポリマー微粒子表面のポッド空間の見かけの直径を、画像解析ソフトを用いて計測した後、直径の平均値とポリマー微粒子の平均粒径からポッド空間の深さを算出した。孔径(d)および深さ(D)の平均はそれぞれ、 $d = 0.87 \mu\text{m}$, $D = 0.25 \mu\text{m}$ ($\text{C}_1\text{S1.0@pSE}$)、 $d = 0.92 \mu\text{m}$, $D = 0.69 \mu\text{m}$ ($\text{C}_3\text{S1.0@pSE}$)、 $d = 0.78 \mu\text{m}$, $D = 0.81 \mu\text{m}$ ($\text{C}_6\text{S1.0@pSE}$)であった。 $\text{C}_1\text{S1.0@pSE}$ では、シリカ粒子の25%程度しか埋まり込んでおらず、 $\text{C}_6\text{S1.0@pSE}$ ではシリカ粒子の約80%が埋まり込んでいることがわかった。シリカ粒子の界面極性の制御によりポリマー微粒子表面のポッドの深さを容易に制御できることが判った。また、サイズの異なるシリカナノ粒子(0.2, 0.5 μm)を用いて同様の方法でコアシェル微粒子の作製を行い、シリカを除去することで界面にサイズの異なるポッド空間をもつポリマー微粒子の作製に成功した(図2)。

(B) ポッド内表面の機能化

ポッド内表面の機能化のための事前調査として、ポッド空間内部への種々の色素分子の吸着実験を行った。0.1 mM のメチルオレンジ水溶液とベーシックレッド水溶液それぞれ 5 mL に界面ポッド空間をもつポリマー微粒子を 100 mg 添加し、減圧下で 30 分間超音波照射し、ポッド空間内部に色素水溶液を導入した。水で洗浄後、水中に浸漬させ、UV-vis スペクトルを用いて色素の溶出を経時的に観察した結果、メチルオレンジは 30 分後まで徐々に溶出したが、ベーシックレッドでは溶出が確認されなかった(図3)。水中に3時間浸漬させた後、ろ過して回収したポリマー微粒子を共焦点レーザー顕微鏡で観察した結果、いずれの場合もポッド内部だけに蛍光色素がトラップされていることが確認された(図4)。ポッド内表面への吸着が、アニオン性のメチルオレンジよりもカチオン性のベーシックレッドのほうが強いことから、ポッド内表面は疎水的であるがアニオン性基が存在していることが確認された。また、ポッド空間内表面の化学構造制御技術を確立するために、ポリマー粒子内部でのナノシリカの生成およびシリカ表面への化学修飾を試みた。低架橋ポリマー粒子をテトラエトキシシランとベンジルアミンの混合溶液中含浸することでポリマー粒子が膨潤し、ゾルゲル反応を行うことで、数十ナノメートルのシリカナノ粒子がポリマー粒子内部に生成したハイブリッド微粒子を合成した。ハイブリッド微粒子は、非極性の有機溶媒で再膨潤可能であり、トルエン中でシランカップリング剤を添加後に加熱することで、ポリマー内部のシリカの表面化学修飾を行った。内部にアミノ基を導入したハイブリッド微粒子をクロロホルム中に膨潤し、イオン性の色素の吸着実験を行った結果、カチオン性色素のみが内部に浸透し吸着される結果が得られ、ポリマー粒子内部に官能基を導入させることに成功した。

(C) ポッド空間への物質の格納

ポッド空間内部への固体物質の取込みおよび保持挙動を調査するために、サイズの異なるシリカ粒子を用いて検討した。界面ポッド空間をもつポリマー微粒子 10 mg に、4 種類のサイズの異なるシリカ粒

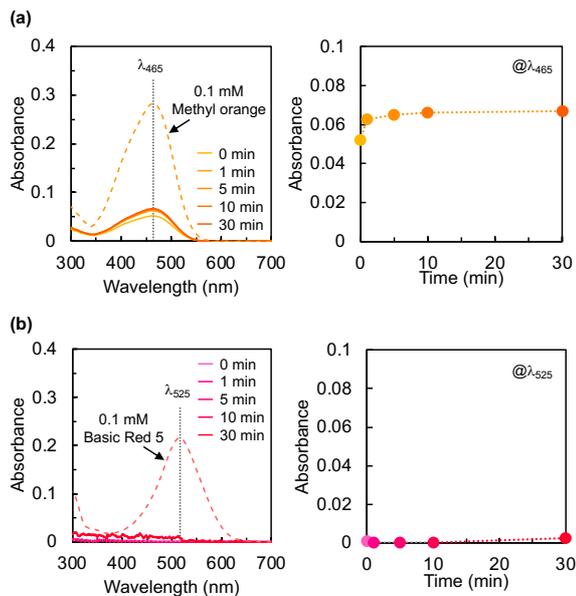


図3 ポリマー微粒子から溶出してきた色素溶液の UV-vis スペクトルおよび浸漬時間に対する吸光度の二次プロット。

(a) メチルオレンジ (b) ベーシックレッド

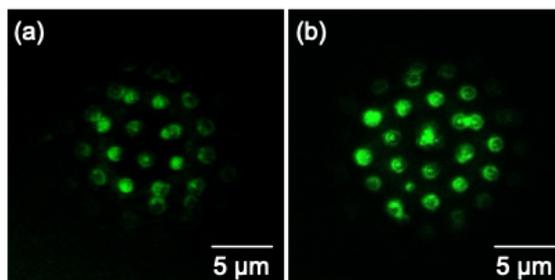


図4 ポッド内部に色素分子を吸着したポリマー微粒子の共焦点レーザー顕微鏡画像。

(a) メチルオレンジ (b) ベーシックレッド

子 (0.2 μm , 0.5 μm , 1.0 μm , 2.0 μm) を 1.0 g ずつそれぞれ混合し、インテリミキサーで 1 時間振り混ぜた後、メタノールを加えて外部超音波を照射し、5 μm のメッシュを用いてろ過して回収し減圧乾燥した。ポリマー微粒子の SEM 観察の結果、ポッドサイズよりも小さいシリカ粒子 (0.2 μm , 0.5 μm) を用いた場合、ポッド空間内部に充填されていたが、ポッドサイズと同じかそれより大きいシリカ粒子 (1.0 μm , 2.0 μm) はポッド空間内部へ取り込まれないことが確認された (図5)。また、サイズの異なるシリカ粒子 (0.2 μm , 0.5 μm , 1.0 μm) をそれぞれ 100 mg ずつ同時に界面ポッド空間をもつポリマー微粒子 10 mg と混合して上記と同様の操作を行いシリカ粒子の取込挙動の調査を行った。SEM 観察の結果、ポッドサイズよりも小さい 0.2 μm , 0.5 μm のシリカナノ粒子はポッド空間内部にトラップされるが、大きいサイズ (1 μm) のシリカ粒子は取り込まれないことが確認された (図6)。拡散性・流動性が存在するサブミクロンサイズの空間を外部環境から隔離可能であることを見出し、学術的にも意義のある成果が得られた。

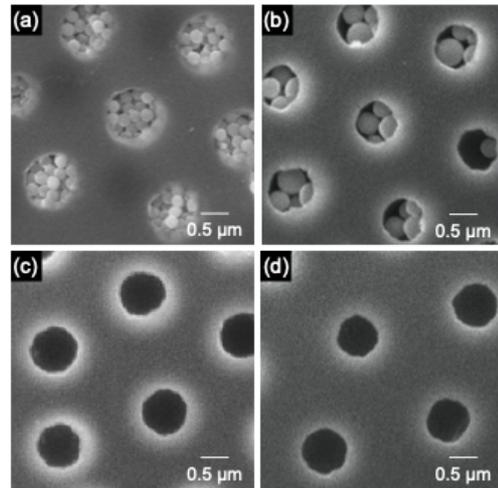


図5 シリカ粒子取込み実験後のポリマー微粒子の SEM 画像。
シリカ粒子サイズ: 0.2 μm (a), 0.5 μm (b), 1.0 μm (c), 2.0 μm (d)

(D) 界面ポッド構造をもつ微粒子の機能化

ポッド空間内部に格納した物質の保持・放出を可能にするゲート機能をポッド開口部に付与するためのポリマーネットワーク水ゲルの合成に取り組んだ。異なる下限臨界溶液温度 (LCST) をもつ2種類の熱応答性コポリマーをシリカナノ粒子で架橋し、2つの温度応答性をもつハイブリッドゲルを合成した。ハイブリッドゲルは、2種類のコポリマーの水溶液とコロイダルシリカの水溶液を混合するだけで、容易に合成可能であり、コポリマーやシリカの濃度を変えるだけでゲル化特性の制御が可能であることを確認した。示差走査熱量測定では、各コポリマーの LCST 付近の温度で2段階の相転移を示し、いずれのコポリマーも互いの相転移を妨げないことを確認した。さらにハイブリッドゲルの解膨潤は温度と時間に関して制御可能であることが確認された。反応性ポリマーをナノシリカで架橋することでゲル化させるシステムを構築するとともに、ゲル特性を自在に制御する技術を確立した (図7)。

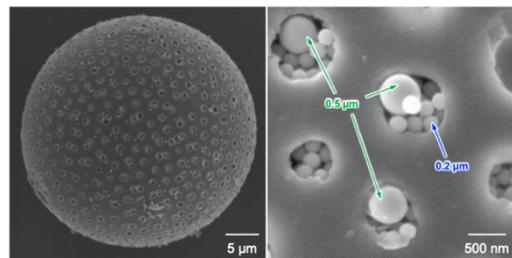


図6 サイズの異なるシリカ粒子の取込み実験後のポリマー微粒子の SEM 画像。

また、ポッド空間内部に埋め込むための機能性ナノ粒子の開発に取り組んだ。フェノール系芳香族と複素環アミンをモノマーとする沈殿重合 (溶媒中に溶解したモノマーが、重合の進行とともにポリマー化した後、析出して粒子が形成される) により単分散な真球状のポリマーナノ粒子を作製した。モノマー濃度や反応温度

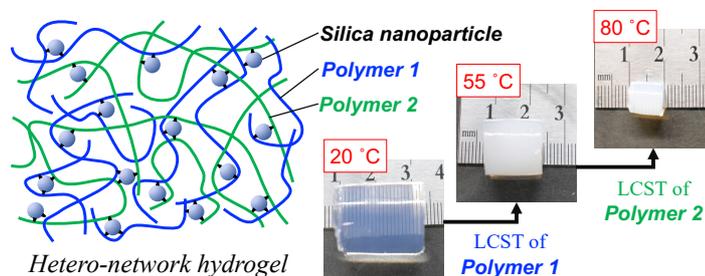


図7 2つの LCST をもつポリマーネットワーク水ゲル。

などの作製条件を変えることで、数 100 nm ~ 数 μm の範囲で粒径の制御が可能であることを確認した。また、ナノ粒子の表面電荷を容易に制御可能であり、極性溶媒から非極性溶媒まで様々な溶媒へと分散させることが可能であることを見出した。フェノール系芳香族の種類を変えることで、黒色でありながら近赤外光を選択的に反射する特性や蛍光ソルバトクロミズムが発現することを確認した。また、カルボキシル基やアミノ基を導入した粒子の開発にも着手しており、これらの官能基導入にも成功している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6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 Hano Nanami, Ryu Naoya, Nagaoka Shoji, Ihara Hirotaka, Takafuji Makoto	4. 巻 637
2. 論文標題 Selective reflection enhancement by controlling of surface-layering structure of inorganic nanoparticles on polymer microspheres	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects	6. 最初と最後の頁 128188 ~ 128188
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.colsurfa.2021.128188	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 Rahman M. Maria, Alam Md. Ashraful, Ihara Hirotaka, Takafuji Makoto	4. 巻 17
2. 論文標題 Hetero-network hydrogels crosslinked with silica nanoparticles for strategic control of thermal responsive property	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Soft Matter	6. 最初と最後の頁 4615 ~ 4622
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1SM00191D	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 Maria Rahman M., Al Foisal Jannat, Ihara Hirotaka, Takafuji Makoto	4. 巻 45
2. 論文標題 Efficient removal of methylene blue dye from an aqueous solution using silica nanoparticle crosslinked acrylamide hybrid hydrogels	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 New Journal of Chemistry	6. 最初と最後の頁 20107 ~ 20119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1NJ04383H	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 Noguchi Hiroki, Sultana Marzia, Hano Nanami, Kuwahara Yutaka, Takafuji Makoto, Nagaoka Shoji, Qiu Hongdeng, Ihara Hirotaka	4. 巻 10
2. 論文標題 Fabrication of Carbon-Like, -Conjugated Organic Layer on a Nano-Porous Silica Surface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanomaterials	6. 最初と最後の頁 1882 ~ 1882
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/nano10091882	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 Hano Nanami, Takafuji Makoto, Noguchi Hiroki, Ihara Hirotaka	4. 巻 2
2. 論文標題 Monodisperse Surface-Charge-Controlled Black Nanoparticles for Near-Infrared Shielding	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 3597 ~ 3605
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.9b00555	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 Toyofuji Ayumi, Hano Nanami, Yamaguchi Yuya, Wakiya Takeshi, Ihara Hirotaka, Takafuji Makoto	4. 巻 51
2. 論文標題 Preparation of Hybrid Microspheres with Homogeneously Dispersed Nanosilica Using In-situ Sol-Gel Reaction inside a Polystyrene Matrix	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 639 ~ 642
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.220121	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46件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 24件)

1. 発表者名 Mai Fukunaga, Nanami Hano, Hirotaka Ihara, Makoto Takafuji
2. 発表標題 One-pot synthesis of ionic spherical polymer nanoparticles with naphthalene backbone
3. 学会等名 12th International Colloids Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 M. Maria Rahman, Md. Ashraful Alam, Nanami Hano, Hirotaka Ihara, Makoto Takafuji
2. 発表標題 Strategic control of thermo-responsive property of the hetero-network hydrogels crosslinked with nanosilica
3. 学会等名 12th International Colloids Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nanami Hano, Naoya Ryu, S. Nagaoka, Hirotaka Ihara, Makoto Takafuji
2. 発表標題 Preparation of core-shell microspheres with surface-layering structure of inorganic nanoparticles and their selective reflectance property
3. 学会等名 12th International Colloids Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nanami Hano, Akari Yamamoto, Mai Fukunaga, Hirotaka Ihara, Makoto Takafuji
2. 発表標題 Preparation of colloidal polymer spherical nanoparticles having diverse aromatic backbone
3. 学会等名 The Pacific Polymer Conference (PPC17) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Makoto Takafuji, Nanami Hano, Udai Oishi, Mai Fukunaga, Haruka Kimura, Yuki Iwamoto, Hirotaka Ihara
2. 発表標題 Aromatic network polymer (ArNP) colloidal nanoparticles and their applications
3. 学会等名 The Pacific Polymer Conference (PPC17) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mai Fukunaga, Nanami Hano, Hirotaka Ihara, Makoto Takafuji
2. 発表標題 Introduction of ionic functional groups to spherical nanoparticles composed of aromatic network polymer
3. 学会等名 The Pacific Polymer Conference (PPC17) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高藤 誠
2. 発表標題 無機ナノ粒子の分散・凝集を利用した機能性ポリマー複合材料の開発
3. 学会等名 高分子学会 無機高分子研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高藤 誠、木村 春香、杷野 菜奈美、伊原 博隆
2. 発表標題 真球状カーボンナノ粒子の作製と構造評価
3. 学会等名 第20回日本炭化学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杷野 菜奈美、大石 祐大、木村 春香、岩本 有生、福永 真衣、小田 玲子、伊原 博隆、高藤 誠
2. 発表標題 ナフタレンを主鎖骨格にもつポリマー球状粒子の構造制御および機能化
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Makoto Takafuji, Nanami Hano, Udai Oishi, Kosuke Nakamae, Mai Fukunaga, Haruka Kimura, Hiroataka Ihara
2. 発表標題 One pot preparation of colloidal spheres composed of aromatic network polymer
3. 学会等名 11th International Colloids Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nanami Hano, Akari Yamamoto, Hirotaka Ihara, Makoto Takafuji
2. 発表標題 Preparation of monodisperse spherical aromatic network polymer particles using various phenolic monomers
3. 学会等名 11th International Colloids Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福永 真衣、杷野 菜奈美、伊原 博隆、高藤 誠
2. 発表標題 界面機能化単分散球状芳香族ポリマー粒子の作製
3. 学会等名 第21回高分子ミクロスフェア討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木村 春香、杷野 菜奈美、伊原 博隆、高藤 誠
2. 発表標題 単分散球状多孔質カーボン粒子の作製と粒径制御
3. 学会等名 第21回高分子ミクロスフェア討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杷野 菜奈美、金輪 静夏、龍 直哉、Reiko Oda、伊原 博隆、高藤 誠
2. 発表標題 マイクロ粒子界面のディンプル空間を利用した選択的物質捕捉
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福永 真衣、杷野 菜奈美、伊原 博隆、高藤 誠
2. 発表標題 多様な界面機能を導入した新規 共役ポリマー球状粒子の創製
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mst. Maria Rahman, Hirotaka Ihara, Makoto Takafuji
2. 発表標題 Facile control of thermal and mechanical properties of hetero-network hydrogels
3. 学会等名 48th World Polymer Congress (IUPAC-MACRO2020) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 豊藤 歩美、杷野 菜奈美、伊原 博隆、高藤 誠
2. 発表標題 膨潤性有機・無機ハイブリッドポリマー球状粒子の作製
3. 学会等名 第58回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福永 真衣、杷野 菜奈美、伊原 博隆、高藤 誠
2. 発表標題 機能性アミンの導入による黒色ポリマー粒子の界面電荷制御
3. 学会等名 第58回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高藤 誠、中前 昂祐、杷野 菜奈美、伊原 博隆
2. 発表標題 芳香族ネットワークポリマー粒子のカーボン化と高彩度・高耐熱性構造色への応用
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杷野 菜奈美、山本 朱莉、高藤 誠、伊原 博隆
2. 発表標題 フェノール性多環芳香族を主鎖骨格とする芳香族ネットワークポリマー粒子の光学特性制御
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mst. Maria Rahman, Hirotaka Ihara, Makoto Takafuji
2. 発表標題 Silica nanoparticles crosslinked acrylamide hybrid hydrogels for efficient removal of dye
3. 学会等名 The 16th International Student Conference on Advanced Science and Technology (ICAST 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Makoto Takafuji, Kosuke Nakamae, Nanami Hano, Hirotaka Ihara
2. 発表標題 Enhancement of colorfulness of colloidal silica photonic crystals by doping of monodisperse black polymer spheres
3. 学会等名 The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nanami Hano, Han Yuan Ng, Hirotaka Ihara, Makoto Takafuji
2. 発表標題 Preparation of amphiphilic monodisperse carbon-like black particles having selective reflectivity for near infrared light
3. 学会等名 The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ayumi Toyofuji, Nanami Hano, Yuya Yamaguchi, Takeshi Wakiya, Hirotaka Ihara, Makoto Takafuji
2. 発表標題 Preparation of swellable silica-hybridized polystyrene microspheres
3. 学会等名 The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mai Fukunaga, Nanami Hano, Hirotaka Ihara, Makoto Takafuji
2. 発表標題 Facile preparation of amino acid-incorporated pi-conjugated polymer particles
3. 学会等名 The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高藤 誠
2. 発表標題 単分散球状 共役ポリマー粒子の開発と多彩な光機能
3. 学会等名 2020年日本化学会九州支部秋期研究発表会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本 朱莉、桑原 穰、永岡 昭二、高藤 誠、伊原 博隆
2. 発表標題 ジヒドロキシ多環芳香族を用いるオール有機ポリマー微粒子の色彩制御
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中前 昂祐、杷野 菜奈美、伊原 博隆、高藤 誠
2. 発表標題 フォトニック結晶への単分散球状ブラックポリマー粒子のドーピングによる構造色の彩度制御
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡村 直哉、桑原 穰、高藤 誠、伊原 博隆
2. 発表標題 ピナフトールの直接重合による蛍光素材の合成
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杷野 菜奈美、金輪 静夏、竹田 賀美、Oda Reiko、高藤 誠、伊原 博隆
2. 発表標題 界面ディンプルポリマー微粒子の物質捕捉機能の評価
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河本 直樹、Yongxing Hu、Hongdeng Qiu、高藤 誠、伊原 博隆
2. 発表標題 機能性ナノゲル固定化多孔質シリカを利用した高選択的HPLC分離剤の開発
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 豊藤 歩美、杷野 菜奈美、山口 裕也、脇屋 武司、高藤 誠、伊原 博隆
2. 発表標題 シリカ複合化ポリスチレン微粒子の作製と膨潤挙動
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mst. Maria Rahman, Md. Ashraful Alam, Makoto Takafuji, Hirotaka Ihara
2. 発表標題 Facile preparation of hetero-network hydrogels with tunable thermo-responsive property
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中前 昂祐、杷野 菜奈美、伊原 博隆、高藤 誠
2. 発表標題 単分散球状ブラックポリマー粒子によるフォトニック結晶の構造色制御
3. 学会等名 2020年日本化学会九州支部秋期研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mst. Maria Rahman, Hirotaka Ihara, Makoto Takafuji
2. 発表標題 Fabrication of hetero-network hydrogels cross-linked with silica nanoparticles for strategic control of thermal responsive property
3. 学会等名 The 15th International Student Conference on Advanced Science and Technology (ICAST 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Namami Hano, Shizuka Kanawa, Yoshimi Takeda, Naoya Ryu, Reiko Oda, Hirotaka Ihara, Makoto Takafuji
2. 発表標題 Functionalization of inner space of dimples on the surface of polymer microspheres
3. 学会等名 10th International Colloids Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Makoto Takafuji, Kosuke Nakamae, Nanami Hano, Hirotaka Ihara
2. 発表標題 Chroma control of structural colours from silica colloidal crystal by doping of monodisperse black polymer particles
3. 学会等名 10th International Colloids Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杷野菜奈美、野口広貴、高藤誠、伊原博隆
2. 発表標題 選択的近赤外光反射特性を有する単分散黒色ナノ粒子の作製
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Takafuji
2. 発表標題 Surface-functionalized hybrid polymer microspheres with unique morphological feature
3. 学会等名 The 2nd Materials Research Society of Thailand International Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中前昂祐、杷野菜奈美、伊原博隆、高藤誠
2. 発表標題 単分散ブラック球状粒子を利用した構造色の色調制御
3. 学会等名 第56回化学関連支部合同九州大会・外国人研究者交流国際シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Takafuji, Nanami Hano, Kosuke Nakamae, Yutaka Kuwahara, Hirotaka Ihara
2. 発表標題 Monodisperse black polymer spherical particles for selective reflection materials
3. 学会等名 International Symposium for Advanced Materials Research (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Takafuji, Nanami Hano, Hiroki Noguchi, Yutaka Kuwahara, Hirotaka Ihara
2. 発表標題 Microwave-assisted Preparation of Monodisperse Black Polymer Nanoparticles and Their Selective Reflection Property of Near Infrared
3. 学会等名 The 16th Pacific Polymer Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kosuke Nakamae, Nanami Hano, Makoto Takafuji, Hirotaka Ihara
2. 発表標題 Enhancement of selective reflection of silica colloidal crystals by doping mono-disperse black polymer particles for vivid structural colors
3. 学会等名 The 16th Pacific Polymer Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Takafuji
2. 発表標題 Development of Surface-Functionalized Hybrid Microspheres
3. 学会等名 セルロース学会西部支部セミナー (国立成功大學 (NCKU), 台湾) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nanami Hano, Makoto Takafuji, Hirotaka Ihara
2. 発表標題 Morphological control of wrinkled-structure of silica nanoparticle-crosslinked shell on the polymer microsphere
3. 学会等名 12th SPSJ International Polymer Conference (IPC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuya Yamaguchi, Nanami Hano, Takeshi Wakiya, Makoto Takafuji, Hirotaka Ihara
2. 発表標題 Preparation of hybrid microspheres with interpenetrating polymer-silica network
3. 学会等名 12th SPSJ International Polymer Conference (IPC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究者のウェブページ http://www.chem.kumamoto-u.ac.jp/~wildcats/takafuji/index-j.html 研究者の所属する研究グループのウェブページ http://www.chem.kumamoto-u.ac.jp/~suprachemistry/

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	龍 直哉 (Ryu Naoya) (90743641)	熊本県産業技術センター(ものづくり室、材料・地域資源室、食品加工室)・その他部局等・研究員 (87402)	
研究分担者	伊原 博隆 (Ihara Hirotaka) (10151648)	沖縄工業高等専門学校・その他部局等・校長 (58001)	

	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
研究協力者	杷野 菜奈美 (Hano Nanami) (80816489)	熊本大学・大学院先端科学研究部・外国人客員研究員 (17401)	

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

フランス	ボルドー大学	フランス国立科学研究センター		
------	--------	----------------	--	--