

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H02033

研究課題名(和文) ポリマーブラシ付与微粒子/液晶混合系における秩序形成

研究課題名(英文) Ordered structure formation in polymer-brush-decorated-particle/liquid-crystal mixed system

研究代表者

大野 工司 (OHNO, Kohji)

京都大学・化学研究所・准教授

研究者番号：00335217

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、ポリマーブラシ付与微粒子の液晶中での分散性および配列挙動を系統的に研究し、学際的にも実際的にも注目される斬新なコロイド分散系液晶を開拓することである。具体的な成果として、微粒子表面にグラフトしたポリマーブラシの種類によって、液晶の配向挙動を制御できる技術を開発した。特筆すべきは、報告例が少ないHexadecapolar型およびbaseball型の転傾構造を発見できたことである。また、ロッド型粒子に拡張することに成功し、異方性微粒子に特有の液晶の配向挙動を見出した。さらに、付与するポリマーブラシの適切な選択により液晶中における微粒子の配列状態を制御できることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

液晶中でのコロイド粒子の配列制御に関する研究は、微粒子の表面構造・化学組成の重要性が認識されているにも関わらず、それらを化学的により積極的に制御されてこなかった。本研究では、独自のポリマーブラシ付与微粒子の合成技術を活かし、様々な構造パラメータを有する微粒子を設計しそれらに対する液晶の配向挙動を系統的に評価することで、液晶の配向挙動を制御できる技術を開発できたことは意義深い。液晶の応用はディスプレイのみにとどまらないことを考慮すれば、本研究の知見が多方面で活用されると期待できる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to systematically investigate the dispersibility and arrangement behavior of polymer-brush-decorated hybrid particles in liquid crystals, and to develop a novel colloid/liquid-crystal dispersion system that is attracting attention both academically and practically. We here have developed a technology that can control the orientation behavior of liquid crystals to a surface by the type of polymer brush grafted on fine particles. It should be noted that we could found disclination structures such as hexadecapolar and baseball types, which are rarely reported. In addition, we succeeded in expanding this technique into rod-shaped particles and found the orientation behavior of liquid crystal peculiar to anisotropic fine particles. Furthermore, we clarified that the arrangement state of fine particles in the liquid crystal can be controlled by appropriately selecting polymer brush grafted on the surfaces.

研究分野：高分子化学

キーワード：微粒子 ポリマーブラシ 液晶 コロイド 表面・界面

1. 研究開始当初の背景

液晶に微粒子を混合することで、基礎・応用の両面で極めて興味深い現象が報告されてきた。例えば、液晶の駆動電圧の低下、液晶ゲルの形成、コレステリックブルー相の発現温度の拡張である。そのため、微粒子/液晶混合系は物理・化学、材料学にわたる幅広い学問領域から注目され、ソフトマター研究の新しい分野を形成してきた。他方、本分野には未知・未開拓の研究対象が非常に多く存在していることも事実であり、さらに発展することは疑いなかった。

我々は、表面開始リビングラジカル重合により特異な機能・物性を示す高分子組織体である濃厚ポリマーブラシを世界に先駆けて合成・開発した。特に、同法により各種微粒子の表面にその分散性を全く損なうことなく濃厚ポリマーブラシを付与する技術をはじめて開発した。さらに、高度に膨潤伸張したポリマーブラシ間の立体斥力を駆動力として、複合微粒子が全く新しいタイプのコロイド結晶を形成することを発見した。これは、複合微粒子の構造の均一性と極めて優れた溶媒への分散性を示す実験的証拠であり、合成技術の精巧さを強く示している。研究開始当初は、ポリマーブラシ付与微粒子/液晶混合系に注力していた。成果として、機械特性に優れた複合ゲル材料を創製した。また、液晶相構造の光変調に基づくゲル-ゾル転移を組み合わせることで、自己修復材料性を示す複合ゲルを開発した。さらに研究を推進し、ポリマーブラシの構造が、微粒子と液晶の相溶性に影響を及ぼし、ゲルの物性を左右することを明らかにしていた。この際、微粒子の表面構造・化学組成と液晶との相互作用に与える影響を系統的に理解し、材料設計に活かすことは極めて重要であると認識した。さらに検討を進めるなかで、ある種のポリマーブラシ付与微粒子と液晶の組合せにより、複合微粒子が極めて長い鎖状構造を形成するなどの新しい現象を発見した。これらの組織体がもたらす科学的なインパクトは計り知れず、ソフトマターの研究に革新をもたらす強力な原動力になると信じ、本研究を開始した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、我々が独自に発見した「微粒子がネマチック液晶中で極めて長く鎖状に配列する」という世界初の現象を基礎および応用の両面から探求し、学際的にも実際的にも注目される斬新なコロイド分散系液晶を開拓することである。液晶中でのコロイド粒子の配列制御に関する先行研究では、物理学的アプローチが多いため、汎用的なシリカやポリスチレン粒子が主に用いられている。そのため、微粒子の表面構造・化学組成の重要性が認識されているにも関わらず、それらを化学的アプローチにより積極的に制御し、液晶中での分散性・配向挙動を検討した研究は皆無に等しい。この状況を打破し本分野に大きなブレイクスルーをもたらすべく、本研究では、我々独自のポリマーブラシ付与微粒子の合成技術を適用する。これがオリジナリティを示す所以の一つである。また、我々は、リビングラジカル重合法および高密度グラフト化法に関する豊富な知識と経験があり、思いどおりの複合微粒子を多種多彩に構築できる。この確かな合成技術は大きな武器となるであろう。これにより、ポリマーブラシ付与微粒子の液晶中での分散性および配列挙動を系統的かつ包括的に研究することが可能である。さらに、本研究の最大のチャレンジ性は、液晶コロイドを系統的に理解すべく、微粒子の精密設計から秩序構造の精密構造解析までを一貫して行い、物理学や計算科学が先行する本分野に“モノづくり”の力を融合することにある。

3. 研究の方法

微粒子の構造パラメータは、液晶との相互作用に大きな影響を及ぼす。そこで、重合開始基を固定化した微粒子（主にシリカ粒子）から表面開始リビングラジカル重合（表面開始 LRP）により、各種ポリマーをグラフトした複合微粒子を精密に合成した。特に、リビングラジカル重合（LRP）の特長を活かしてグラフトポリマーの分子量を制御し、シェル部のポリマーブラシ層の厚みでサイズを変化させた。また、グラフト鎖長の制御は粒子最表面の有効グラフト密度を同時に制御できる。粒子表面の化学組成の効果を検証するために、各種モノマーのグラフト重合を行った。モノマーは、メソゲン基を有する液晶性モノマー、各種のメタクリレート誘導体およびスチレン誘導体を用い、ホモポリマーのみならず共重合体のグラフト化を行った。粒子形状の効果を検証するために、ロッド型粒子にポリマーブラシを付与した。

ポリマーブラシ付与微粒子と液晶との相互作用は各種の光学顕微鏡により行った。液晶が微粒子表面と相互作用（アンカリング）することにより、系全体の液晶分子の配向に歪みが生じる。これをエネルギー的に解消するため、微粒子周辺に転傾と呼ばれる配向欠陥が現れる。転傾構造は液晶のアンカリング強度および配向方向に依存する。ネマチック液晶中では、液晶分子が微粒子表面に対して垂直に配向する場合、そのアンカリング強度に応じて、より強い場合は **Hedgehog defect** (図 1 a)、弱い場合には **Saturn ring defect** (図 1 b) と呼ばれる欠陥が生成し、前者を持つ微粒子は双極子的、後者を持つ微粒子は四極子的な微粒子間相互作用を示す。一方、液晶分子が微粒子表面に対して水平に配向する場合、**Boojum defect** (図 1 c) と呼ばれる欠陥が生成し、この欠陥を持つ微粒子は四極子的な粒子間相互作用を示す。微粒子の構造パラメータを変えながら一連の実験を行い、微粒子の構造と転傾構造との相関を系統的に評価した。

4. 研究成果

図2に各種のポリマーをグラフトした微粒子に対する 4-cyano-4'-pentylbiphenyl (5CB)の配向挙動を示す。poly(methylmethacrylate) (PMMA)ブラシを付与した微粒子の周囲では、Boojum defect が観察され、液晶

が微粒子表面に対して水平に配向していることがわかった。また、poly(lauryl methacrylate) (PLMA)ブラシを付与した微粒子の周囲では、Saturn ring defect が観察され、液晶が微粒子表面に対して垂直に配向していることがわかった。これにより、側鎖アルキル基の鎖長により、微粒子周囲での液晶配向構造が変化することがわかった。PLMA ブラシ付与微粒子では、最表面において、PLMA の長いアルキル側鎖の配向の効果により液晶が垂直配向したと考えられる。オリゴエチレングリコールを側鎖に有するポリメタクリレート、また、ポリスチレンをグラフトしたシリカ微粒子においても水平配向が観察された。また、poly(6-((4'-cyano-[1,1'-biphenyl]-4yl)oxy)hexylmethacrylate) (PCBMA)ブラシを付与した微粒子は、微粒子ごとに周囲の液晶の配向状態が異なり、定義できないランダムな配向が観察された。これは、側鎖メソゲン基が高密度にスタックした PCBMA が微粒子表面で結晶構造を形成し、5CB の配向がランダムに強く乱されたことによると考えられる。また、これらの微粒子では、周囲の液晶の配向構造はポリマーの分子量に関わらず種類ごとに同様の傾向を示した。

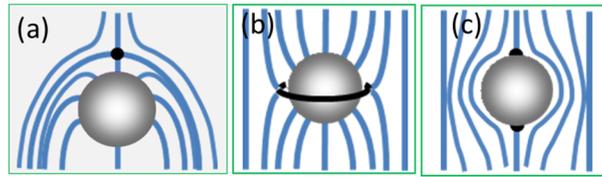


図1. 微粒子近傍のネマチック液晶の配向状態

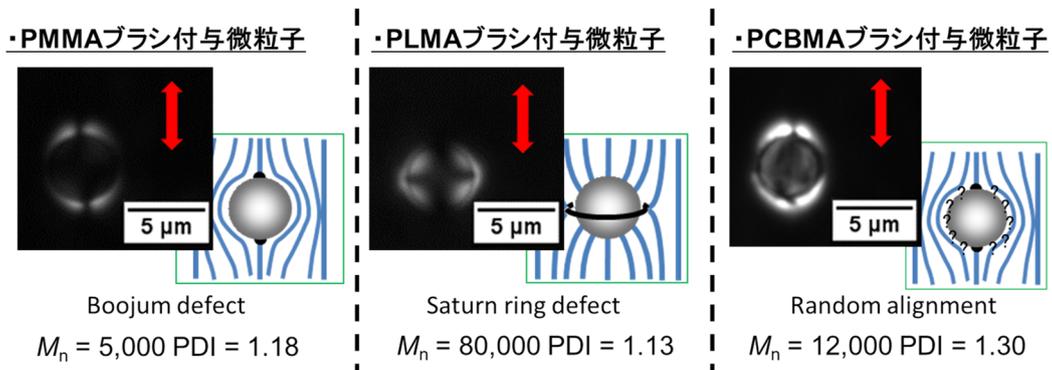
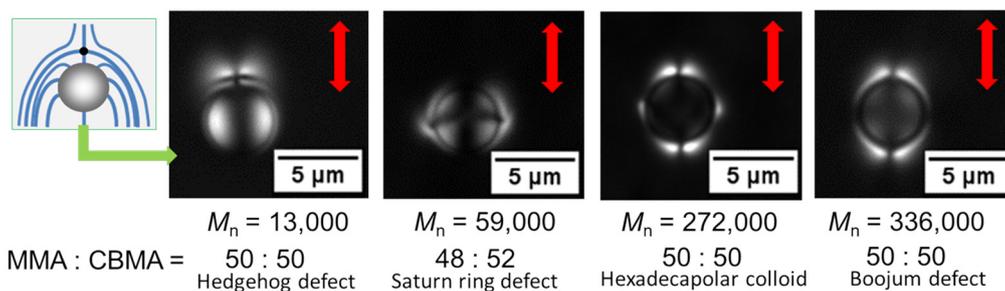


図2. ホモポリマーブラシ付与微粒子に対する 5CB の配向挙動

・P(MMA-*r*-CBMA) ブラシ付与微粒子



・P(LMA-*r*-CBMA) ブラシ付与微粒子

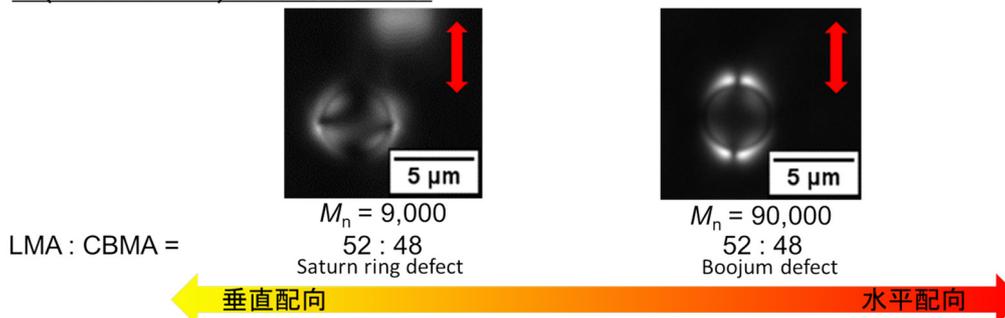


図3. ランダム共重合体ブラシ付与微粒子に対する 5CB の配向挙動

図3に MMA と CBMA、LMA と CBMA からなるランダム共重合体ブラシを付与したシリカ微粒子に対する 5CB の配向特性を示す。P(MMA-*r*-CBMA)ブラシを付与した微粒子では、上記のホモポリマーブラシを付与した微粒子とは異なり、ポリマーの分子量に応じて、微粒子周囲の液晶の配向構造が変化した。ブラシの分子量が小さいときには、強い垂直配向を示す Hedgehog defect、そこから分子量を大きくしていくことに従って、順に、Saturn ring defect、Hexadecapolar colloid、最終的には、表面に対して水平配向を示す Boojum defect が観察された。また、P(LMA-*r*-CBMA)ブラシを付与した微粒子でも、ポリマーの分子量に応じて、微粒子周囲の液晶の配向構造の変化が観察され、同様に分子量が大きくなるに従って、垂直配向から水平配向に変化した。また、P(MMA-*r*-CBMA)ブラシ付与微粒子と比較すると、より低い重合度で垂直配向から水平配向に変化することが明らかとなった。特筆すべきは、Hexadecapolar 型の配向構造が観察されたことである。この配向を示す粒子はこれまでにほとんど例がなく、ポリマーブラシの構造の特異性（コア微粒子界面からのポリマー構造の連続的な変化）が液晶の配向性に影響を与えたと考えられる。また、低分子量の P(LMA-*r*-CBMA)ブラシを付与した微粒子で観察された配向は baseball 型の転傾構造を発現した可能性がある。これはシミュレーションでは存在が明らかとなっていたが実験的には観察されていない転傾であり、今後さらに解明をすすめていく。

さらに、5CB 中での微粒子の相互作用について評価した。注目すべき現象として、P(LMA-*r*-CBMA)ブラシ付与微粒子は、Boojum defect 同士が反発するようにして、最近接の微粒子の中心を結んだ軸が液晶の director 方向に対して $\theta=30^\circ$ 程度ずれるように並んだ(図 4 a)。director 方向と垂直に電場を印加すると、電場による配向の影響を受け、液晶の配向方向が変化したことで画面が明るくなった。また、微粒子が Boojum defect 同士が

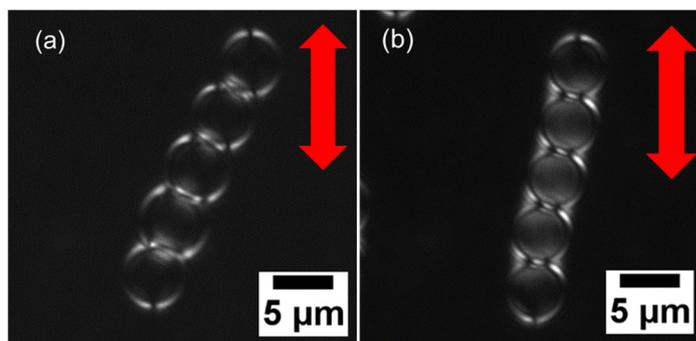


図 4. 液晶中における複合微粒子の鎖状構造形成

結合するようにして鎖状に並ぶ様子が観察された(図 4 b)。さらに、電場を切ると、全体の液晶の配向はもとの配向方向に戻ったが、微粒子の鎖状構造と、その微粒子間の欠陥構造は維持されたままだった。また、粒子のサイズを変更しても同様に鎖状構造を形成できた。このような四極的相互作用を示す微粒子による鎖状構造は、実験系ではコレステリック液晶中においてしか実現されていない。ネマチック液晶中において、Boojum defect を有する微粒子同士は director 方向に対して $\theta=45^\circ$ からの接近で引力が働き、 $\theta=0^\circ$ 、 $\theta=90^\circ$ からの接近では斥力が働くが、 $\theta=0^\circ$ において、エネルギー障壁を超えて一定以下の距離に接近すると、欠陥同士が横に反発しずれることによって引力が働き、Boojum defect が変形し、2本の欠陥となる。その欠陥を介して微粒子が鎖状に配列するというシミュレーションによる報告がある。この欠陥の周囲では微粒子の曲面に挟まれることにより、液晶がねじれるように配向しており、このねじれ配向の安定化が鎖状構造の安定性に大きく関わっているとも報告されている。P(LMA-*r*-CBMA)ブラシ付与微粒子では、ブラシ構造のソフトな表面により、表面間のねじれ配向の安定化や最表面において液晶が再配向しやすといった効果によると考えられる。また、ネマチック液晶中における微粒子の高い分散性も鎖状構造の形成に役立っていると考えられる。

これまでのポリマーブラシ付与複合微粒子による研究を異方性微粒子へと展開することを企図し、本研究ではロッド状微粒子を選択した。そこで、ポリマーブラシを付与したマイクロロッド(MR)の合成とその液晶中における分散挙動について検討した。また、液晶中における MR 特有の挙動の確認、球状微粒子との比較を行った。MR 粒子へポリマーブラシを付与するためにシリカ層で被覆したロッド状ポリスチレン微粒子を作成した。具体的には、Ethanol 中で 2,2'-azobis(isobutyronitrile)(AIBN)を開始剤、polyvinylpyrrolidone K-30(PVP K-30) を分散安定剤、sodium bis(2-ethylhexyl) sulfosuccinate(AOT) を界面活性剤として用いて、スチレン (St) と 3-(trimethoxysilyl)propyl methacrylate(MOPS)の分散共重合を 70°C で行い、P(St-*r*-MOPS)微粒子を得た。P(St-*r*-MOPS)微粒子(粒径 $1.5\ \mu\text{m}$)を 4.9 wt% polyvinyl alcohol (PVA)水溶液と混合し、 60°C の真空乾燥機中で乾燥させることで球状微粒子を 23 wt%含有した PVA フィルムを作製した。このフィルムを 120°C において、 $3\ \text{mm/s}$ の速度で一軸方向に 2 倍に延伸することで球状微粒子を MR へ変形させた。延伸後の PVA フィルムを isopropanol:水 = 3:7(v/v)の混合液を用い、 65°C において溶解させることにより、サイズの揃った MR を回収した。MR に対し、シリカコートを行った。ethanol 中で MR 3.2 wt%、polyvinylpyrrolidone K-90(PVP K-90) 2.7 wt%の条件で MR に PVP K-90 を吸着させた。1 h 以上経過後、MR を ethanol で洗浄し、遠心分離、デカンテーション

した後、ethanol中に再分散させた。洗浄から再分散までのプロセスを2回繰り返した。その後、ethanol中でMR 1.8 wt%、NH₃ 0.24 M、水 0.60 M、TEOS 0.03 Mの条件で反応させ、MR表面へのシリカコートを行った。MR表面のシリカ層にATRPの開始基を固定化し、さらに表面開始リビングラジカル重合によりポリマーブラシをグラフトした。

ポリマーブラシ付与MR粒子に対する5CBの配向挙動を観察した結果、PMMAブラシ付与MR近傍ではboojum欠陥が観察されたため、MR表面に対し液晶が水平配向していると判断し、また、MRはその長軸とラビング方向が水平となる方向を向いていた。一方、PLMAブラシ付与MR近傍ではsaturn ring欠陥が観察されたため、MR表面に対し液晶が垂直配向していると判断し、また、MRはその長軸とラビング方向が垂直となる方向を向いていた。さらに、それぞれの液晶配向を取るときのMRの向きは過去のシミュレーションで最安定状態として予測されているものと一致している。以上のように、MR近傍の液晶配向に応じてMRの向きが異なってくるというところに異方性微粒子としての特徴が現れているといえる。PCBMAブラシ付与MR近傍では液晶の配向が不規則に歪められている様子が観察され、MRの向きも様々であった。これはブラシ側鎖のメソゲン基の配向性が5CBの配向場を乱したことに由来すると考えられる。上述したように、PMMA、PLMA、PCBMAブラシを付与した球状シリカ微粒子を5CB中に分散させた場合、それぞれの微粒子近傍でboojum欠陥（水平配向）、saturn ring欠陥（垂直配向）、不規則に歪められている様子が観察された。したがって、同種のブラシを付与した場合は球状微粒子であってもMRであっても、その近傍における配向性が同様であることがわかった。

Poly(MMA-*r*-CBMA)ブラシ付与MR近傍の配向挙動について検討した。その結果、低分子量体の場合、その近傍でsaturn ring欠陥が観察されるMRとhedgehog欠陥が観察されるMRの二種類が観察された。どちらについてもMR表面に対し液晶が垂直配向していることがわかる。前者はMR長軸とラビング方向が垂直となる方向を向き、後者はMR長軸とラビング方向が水平となる方向を向いていた。これらはそれぞれ、過去のシミュレーションで最安定状態、準安定状態として予測されているものと一致している。高分子量体をグラフトした場合、MR近傍ではboojum欠陥が観察されたため、MR表面に対し液晶が水平配向していることがわかる。また、MRはその長軸とラビング方向が水平となる方向を向いていた。以上のように、MR近傍の液晶配向に応じてMRの向きが異なってくるというところに異方性微粒子としての特徴が現れているといえる。上述したように、P(MMA-*r*-CBMA)ブラシを付与したシリカ球状微粒子を5CB中に分散させた場合、 $M_n = 13,000$ 、 $M_n = 59,000$ と低分子量の場合、それぞれ微粒子近傍でhedgehog欠陥（垂直配向）、saturn ring欠陥（垂直配向）が観察され、 $M_n = 336,000$ と高分子量の場合、微粒子近傍でboojum欠陥（水平配向）が観察されている。したがって、P(MMA-*r*-CBMA)ブラシ付与微粒子に対する液晶配向の分子量依存性は、微粒子の形状に依らず同様の傾向を示すことが明らかとなった。

MRの分散性は、PMMA、PLMA、PCBMAブラシを付与したものについては良好とは言えず、凝集が多く見られた。P(MMA-*r*-CBMA)ブラシ付与MRについても、低分子量の場合については分散性が良好とは言えず、凝集が多く見られたが、hedgehog欠陥を介してMRが鎖状に並ぶ現象も見られた(図5)。これは球状微粒子を用いた液晶コロイドにおいても確認されている現象であり、エネルギー的に不安定な領域である欠陥を微粒子間で共有することで起こったと考えられる。一方で、高分子量の場合については比較的良好的な分散性が確認された。5CBがブラシ間に入り込んでいる（ブラシが膨潤、伸長している）ことに由来するブラシの立体斥力と、運動性の比較的高いブラシ側鎖のメソゲン基の存在によりMR近傍の液晶配向の歪みが軽減されたことが原因ではないかと考えている。

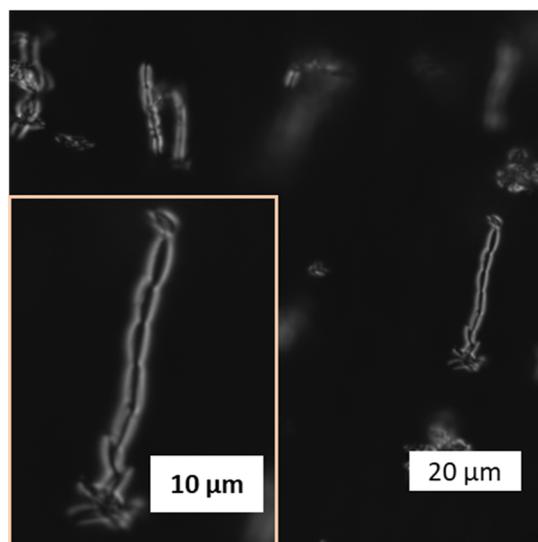


図5. ポリマーブラシ付与MRの配向挙動

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ohno Kohji, Mizuta Yuuki	4. 巻 2
2. 論文標題 Structural Color Materials Using Polymer-Brush-Decorated Hybrid Particles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Polymer Materials	6. 最初と最後の頁 368 ~ 375
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsapm.9b00839	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 Ohno Kohji, Zhao Chenzhou, Nishina Yuta	4. 巻 35
2. 論文標題 Polymer-Brush-Decorated Graphene Oxide: Precision Synthesis and Liquid-Crystal Formation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 10900 ~ 10909
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.9b01747	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 Ohno Kohji, Masuda Shota, Ogawa Hiroki	4. 巻 10
2. 論文標題 Polymer-brush-decorated colloidal platelets: precision synthesis and self-assembly	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 2686 ~ 2696
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9PY00436J	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 Ohno Kohji, Yahata Yoshikazu, Sakaue Motokazu, Ladmiral Vincent	4. 巻 25
2. 論文標題 Grafting of Polymer Brushes from Xanthate Functionalized Silica Particles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 2059 ~ 2068
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201805121	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 Safaie Niloofer, Rawal Bandana, Ohno Kohji, Ferrier Robert C.	4. 巻 53
2. 論文標題 Aluminum-Based Initiators from Thiols for Epoxide Polymerizations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 8181 ~ 8191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.0c00464	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 Hsu Shu-Yao, Ohno Kohji, Sakakibara Keita, Tsujii Yoshinobu	4. 巻 53
2. 論文標題 Convenient Synthesis of Very-Thick Concentrated Polymer Brushes by Atom Transfer Radical Polymerization in an Ionic Liquid	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 7936 ~ 7943
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.0c00161	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 Beheshti Amir, Huang Yun, Ohno Kohji, Blakey Idriss, Stokes Jason R.	4. 巻 144
2. 論文標題 Improving tribological properties of oil-based lubricants using hybrid colloidal additives	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tribology International	6. 最初と最後の頁 106130 ~ 106130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.triboint.2019.106130	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 Hsu Shu-Yao, Kayama Yuzo, Ohno Kohji, Sakakibara Keita, Fukuda Takeshi, Tsujii Yoshinobu	4. 巻 53
2. 論文標題 Controlled Synthesis of Concentrated Polymer Brushes with Ultralarge Thickness by Surface-Initiated Atom Transfer Radical Polymerization under High Pressure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 132 ~ 137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.9b02072	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9件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Kohji Ohno
2. 発表標題 Self-Assembly in Colloidal Dispersion of Polymer-Brush-Decorated Hybrid Particles
3. 学会等名 The 16th Pacific Polymer Conference (PPC16) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kohji Ohno, Haruhisa Ohno
2. 発表標題 Ordered Structure Formation in Colloidal Dispersion of Polymer-Brush-Decorated Particles
3. 学会等名 Okinawa Colloids 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kohji Ohno
2. 発表標題 Polymer-Brush-Decorated Hybrid Particles: Controlled Synthesis and Self-assembly
3. 学会等名 ADVANCES IN POLYMER SCIENCE AND RUBBER TECHNOLOGY (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大野工司
2. 発表標題 ポリマーブラシの精密合成とコロイド化学の融合
3. 学会等名 精密ネットワークポリマー研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kohji Ohno
2. 発表標題 Binary Colloid Crystals from Nucleobase-Containing-Polymer-Brush-Decorated Particles
3. 学会等名 ACS Colloid & Surface Science Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大野晴久、辻井敬巨、大野工司
2. 発表標題 水素結合性ポリマーブラシ付与複合微粒子による二成分系コロイド結晶の構築
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大野晴久、辻井敬巨、大野工司
2. 発表標題 水素結合性ポリマーブラシ付与複合微粒子による二成分系コロイド結晶の構築
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 大野工司
2. 発表標題 ポリマーブラシと微粒子の複合化
3. 学会等名 ポリマーフロンティア21 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大野工司
2. 発表標題 ポリマー修飾粒子の自己組織化
3. 学会等名 ソフトマター工学分科会講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 中村 浩、山中淳平	4. 発行年 2020年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 251
3. 書名 コロイド結晶の形成とその応用	

〔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
---------	---------------------------	-----------------------	----

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			
米国	Michigan State University			
オーストラリア	University of Queensland			