

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：37112

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K19135

研究課題名（和文）分子モーターで自己駆動するナノシート液晶

研究課題名（英文）Active nanosheet liquid crystal driven by molecular motor

研究代表者

宮元 展義（Miyamoto, Nobuyoshi）

福岡工業大学・工学部・准教授

研究者番号：80391267

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：モータータンパク質の構成要素であるチューブリンが重合して微小管が形成される可逆的な生化学反応を、液晶性粘土鉱物ナノシートが共存する系において進行させることにより、ナノシートの液晶構造を可逆的に制御することに成功した。さらに、チューブリンのような生体分子を単層剥離したナノシート上に強固に固定化するための新しい合成手法として、分解性の高分子ゲル網目内にナノシートを固定化して凝集を抑制し、シリル化反応を行う手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

チューブリンの生化学反応をナノシート存在下で進行できることが実証できたことで、モータータンパク質であるチューブリン/キネシン系を組み込んだアクティブナノシート系への展望が開けた。将来的には、アクティブな自己組織化に基づく新しいナノファブ리케이션が可能となり、さまざまな応用が期待される。さらに、大きな比表面積を持つ単層剥離ナノシート上に生体分子を固定化するための新しい手法が開発されたことで、微量のDNA検出による診断など多くの応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：We successfully confirmed the biochemical reaction of tubulin, which is known as a part of motor protein, to form microtubules in the presence of liquid crystalline clay nanosheets, leading to reversible control of the liquid crystal structure. In addition, we developed a new synthetic method to covalently immobilize biomolecules on single layer nanosheets like tubulin by immobilizing the nanosheets in a gel network to avoid aggregation before silylation reaction.

研究分野：機能材料化学

キーワード：ナノシート 生体分子

## 1. 研究開始当初の背景

層状結晶の剥離によって得られる無機ナノシートは、厚さ 1 nm、横サイズ数  $\mu\text{m}$  以上の極めて異方的な形状をもつ。一定濃度以上のナノシート分散系では熱運動するナノシートが熱力学的な平衡状態として自発的に配向・組織化された液晶相が形成される。この「ナノシート液晶」は、無機物特有の性質などから、従来の有機分子の液晶とは異なる応用が期待されている。様々な応用のためには、液晶相の構造を自在に制御することが鍵となる。これまでに、各パラメータ（ナノシート濃度、ナノシート粒径・粒径分布、塩濃度、電荷密度、対カチオン種）を制御してナノシート間相互作用（エントロピー力や電気二重層斥力）を調節したり、電場や磁場などの外場を印加したりすることで、配向や微構造の制御が行われてきた。さらに、他のコロイド物質（球やロッド形状）や高分子を共存させることも有効であることが分かってきた。

一方、生体内で起こる現象の多くは上述のような熱運動によって支配されない非平衡開放系であり、エネルギーや物質の出入りを伴いながら、能動的な構造形成などが起こる。このことを模倣した系として、非ブラウン運動的に、すなわち自律的に運動する粒子（自己駆動粒子）が、「アクティブマター」として注目されている。自己駆動粒子間の相互作用を制御しながら多数の粒子を集団運動させると、魚が群れを作るように動的な集合構造を形成する。このような方法は、自己組織化の新しい手法としても注目に値する。

## 2. 研究の目的

そこで本研究では、自立的に運動するモータータンパク質であるチューブリン/キネシン系をナノシートと複合化することによって、生化学反応で制御される非平衡の構造形成を目的とした。生体内に存在するチューブリンタンパク質が重合して形成される微小管は、キネシンと呼ばれるタンパク質と協働して、化学エネルギー物質（ATP）で駆動する「分子モーター」の機能を発現し、鞭毛や細胞などの運動を担っている。分子モーター機能は、キネシンが化学エネルギー物質であるアデノシン三リン酸(ATP)を消費しながら、微小管のマイナス端からプラス端に移動する事で生じる。微小管とキネシンクラスターを混合したアクティブネマチック液晶などがすでに報告されている。

## 3. 研究の方法

### <生化学反応によって制御されるチューブリン/ナノシート混合コロイドの動的な構造形成>

トピー工業製フルオロヘクトライト (FHT) を  $25^{\circ}\text{C}$ 、15000 rpm で 1 時間遠心分離し上澄みと不純物を含んだ沈殿物を除去したものをナノシートコロイド分散液とした。次に、豚脳から抽出したチューブリンを重合バッファー（5% DMSO, 1 mM GTP）中で  $37^{\circ}\text{C}$ 、30 分間加熱することによって微小管を調製した。2 種の溶液を一定の割合で混合させた後、 $37^{\circ}\text{C}$  と  $4^{\circ}\text{C}$  の条件下で偏光顕微鏡と小角 X 線散乱(SAXS)を用いた構造解析を行った。

### <単層剥離ナノシートへの生体分子固定化にむけた検討>

六ニオブ酸ナノシート/水コロイドに、モノマーであるアクリル酸、分解性の化学架橋剤である 3,9-divinyl-2,4,8,10-tetraoxaspiro[5.5]undecane、光重合開始剤である 2-hydroxy-1-[4-(2-hydroxyethoxy)phenyl]-2-methyl-1-propanone を加え、紫外線照射を行うことによって、ナノシートが高分子網目中に固定化されたヒドロゲルを得た。合成後、分解性ゲルを 0.01 M の塩酸水溶液に浸漬して、室温で 5 日間、静置することで、無機ナノシートの対カチオンであるプロピルアンモニウムをプロトンに交換し、反応に影響する可能性のある剥離剤のプロピルアンモニウムを除去した。このゲルの溶媒をジメチルホルムアミドに置換した後に 3-メルカプトプロピル（ジメトキシ）ジメチルシランを導入し、加熱することで、ナノシート表面へのシリル化反応を進行させた。さらに、このゲルと水を耐圧容器内に入れて高温で加熱することで、ゲルを分解し、有機修飾ナノシートを回収した。

## 4. 研究成果

### < 生化学反応によって制御されるチューブリン/ナノシート混合コロイドの動的な構造形成 >

FHT ナノシートと微小管は均一に混合され、温度変化による微小管の重合・脱重合も進行したことが、偏光顕微鏡で観察から確認された。2 wt%の FHT 単独のコロイドと 120 $\mu$ Mの微小管単独の溶液では、液晶性コロイドが配向して形成される液晶相による定常的な複屈折を示した。FHT と微小管を混合した溶液では、それぞれの単独系とは異なるテクスチャを示した。混合系を 4 $^{\circ}$ Cで 30min 冷却すると複屈折が弱くなった。これらの結果から、ナノシートという異物が共存する状況でも、微小管・ダイマー間の重合・脱重合が進行したことを示している。

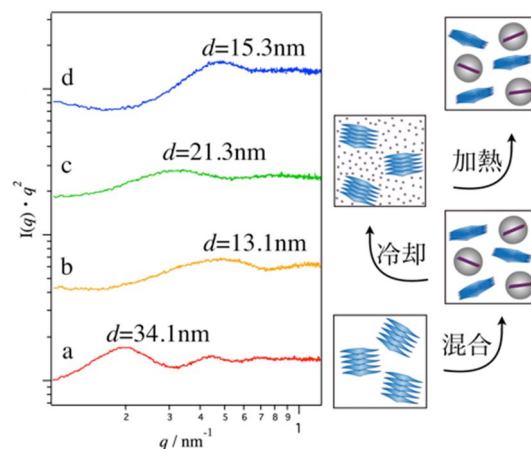


Fig. 1 ナノシート/微小管混合溶液の SAXS パターンと模式図

SAXS による液晶構造の解析を行うと、偏光顕微鏡で観察された温度による複屈折変化と対応して、メソスケールの構造変化が起こっていることがわかった(Fig. 1)。FHT ナノシート単独の系 (a) では、ナノシートの間隔が 34.1nm の膨潤ラメラ構造に帰属されるピークが確認された。微小管と FHT ナノシートの混合系 (b) では、FHT ナノシート単独に比べピークがシフトし、 $d=13.1\text{nm}$  に減少した。混合系を冷却すると (c) ピークは  $d=21.3\text{nm}$  へとシフトした。この変化は可逆的であり、再加熱すると (d) 再び  $d=15.3\text{nm}$  へとシフトした。混合系における温度に応答したナノシートの液晶構造変化は、微小管の重合・脱重合に伴うものであり、Onsager 理論に基づいて説明することが可能である。

### < 単層剥離ナノシートへの生体分子固定化にむけた検討 >

六ニオブ酸ナノシートの IR スペクトル(Fig. 2)では、Nb-O 伸縮振動( $\bullet$ ;920 $\text{cm}^{-1}$ )に帰属されるピークとナノシートの対カチオンであるプロピルアミン由来の第一級アミン塩の  $\text{NH}_3^+$  の C-H 変角振動( $\square$ ;1506 $\text{cm}^{-1}$ ) アミンの N-H 伸縮振動( $\blacksquare$ ;1618 $\text{cm}^{-1}$ )に帰属されるピークが見られた。

ゲルを分解して回収したナノシート (Fig. 1b, c)では、pAA 由来のピークが出現しておらず、pAA を完全に分解除去できた。プロピルアンモニウム由来のピークも消滅し、プロトンへのイオン交換が確認された。また、ナノシート由来のピークである Nb-O 伸縮振動が見られることからナノシートの構造を維持できている。シリル化ナノシート(Fig. 1c)ではシリル化剤に由来する Si-O-Si 伸縮振動( $\circ$ ;1085 $\text{cm}^{-1}$ )、Si-CH<sub>3</sub> 伸縮振動( $\odot$ ;1259 $\text{cm}^{-1}$ )、C-O 伸縮振動( $\bullet$ ; 1463 $\text{cm}^{-1}$ )が強く見られており、シリル化剤が修飾されたことが確認された。

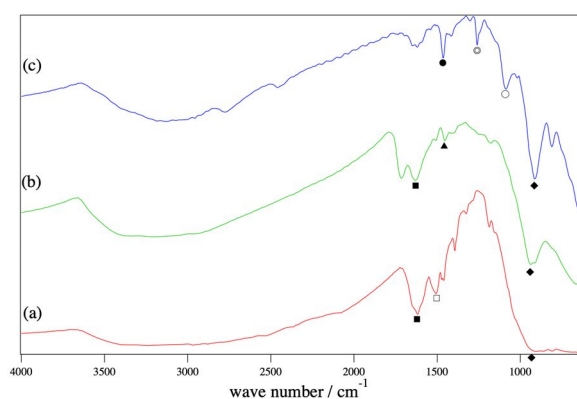


Fig. 2 (a)ナノシート、(b)pAA ゲル分解後の未修飾ナノシート、(c)pAA ゲル分解後のシリル化ナノシートの赤外吸光スペクトル

この方法によって回収した有機修飾ナノシートのコロイドは、剥離剤が除去されているにもかかわらず、良好に分散し流動複屈折を示した。これは、メルカプト基が修飾されたためであると考えられた。以上の結果より、一度 pDMAA ゲルに固定化したナノシートにシリル化反応し、ゲルを分解してシリル化ナノシートを回収する一連のプロセスが確立できた。今後、機能分子や

高分子ブラシ、また DNA やタンパク質などの生体分子をナノシート表面に修飾することで様々な応用展開が期待される。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Y. Ye;M. Nishi;Y. Wenqi;M. Takinoue;N. Miyamoto	4. 巻 804
2. 論文標題 Synthesis of Photocatalytic Niobate Nanosheet/Polymer Composite Microgel Particles through Microfluidic Approach	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Key Eng. Mater.	6. 最初と最後の頁 75-82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/KEM.804.75	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 T. Nakato;A. Takahashi;S. Terada;S. Yamaguchi;E. Mouri;M. Shintate;S. Yamamoto;Y. Yamauchi;N. Miyamoto	4. 巻 35
2. 論文標題 Mesoscopic Architectures Made of Electrically Charged Binary Colloidal Nanosheets in Aqueous System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 14543-14552
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.9b02474	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 H. Kino;A. Kiyota;N. Miyamoto;T. Inadomi;T. Kato;H. Fujioka	4. 巻 804
2. 論文標題 Basic Study of Heating Response Measurement for Nanosheet Particle/Polymer Composite Gel Actuator with Anisotropic Contraction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Key Eng. Materials.	6. 最初と最後の頁 17-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/KEM.804.17	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 H. Kino;A. Kiyota;T. Inadomi;T. Kato;H. Fujioka;N. Miyamoto	4. 巻 31
2. 論文標題 Step Response Characteristics of Anisotropic Gel Actuator Hybridized with Nanosheet Liquid Crystal	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Robotics Mechatronics	6. 最初と最後の頁 647-656
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2019.p0647	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 K. Katsuki;K. Kaneko;K. Kaneko;R. Kato;N. Miyamoto;T. Hanasaki	4. 巻 886
2. 論文標題 Design and phase transition behavior of siloxane-based monomeric and dimeric liquid crystals bearing cholesteryl mesogenic groups	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Organometal. Chem.	6. 最初と最後の頁 34-39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jorganchem.2019.02.016	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 H. Fujioka;J. Sawangphol;S. Anraku;N. Miyamoto;H. Kino;A. Hidaka	4. 巻 804
2. 論文標題 Detecting Nanosheet Objects from Noisy CLSM Images Using Deep Learning Approach	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Key Engineering Materials	6. 最初と最後の頁 44150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/KEM.804.11	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 N. Yamaguchi;S. Anraku;E. Paineau;C. R. Safinya;P. Davidson;L. J. Michot;N. Miyamoto	4. 巻 8
2. 論文標題 Swelling Inhibition of Liquid Crystalline Colloidal Montmorillonite and Beidellite Clays by DNA	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Sci. Rep.	6. 最初と最後の頁 4367
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-22386-7	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 Y. Song;N. Iyi;T. Hoshide;T. C. Ozawa;Y. Ebina;R. Ma;S. Yamamoto;N. Miyamoto;T. Sasaki	4. 巻 47
2. 論文標題 Massive hydration-driven swelling of layered perovskite niobate crystals in aqueous solutions of organo-ammonium bases	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Dalton Trans.	6. 最初と最後の頁 3022-3028
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7DT03413J	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 M. Shintate;T. Inadomi;S. Yamamoto;Y. Kuboyama;Y. Ohseido;T. Arimura;T. Nakazumi;Y. Hara;N. Miyamoto	4. 巻 122
2. 論文標題 Anisotropic self-oscillating reaction in liquid crystalline nanosheets hydrogels	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. B	6. 最初と最後の頁 2957_2961
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.7b11631	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 N. Miyamoto	4. 巻 53
2. 論文標題 Functional Materials from Inorganic Nanosheet Liquid Crystals (in Japanese)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Bulletin of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 324-327
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 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 R. Kato;A. Kakugo;K. Shikinaka;Y. Ohseido;A. M. R. Kabir;N. Miyamoto	4. 巻 3
2. 論文標題 Fusion of inorganic nanosheets and microtubules for active anisotropic colloid driven by biochemical energy and entropic force	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 14869 - 14874
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.8b01050	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 Yang Wenqi, Yamamoto Shinya, Sueyoshi Keiichiro, Inadomi Takumi, Kato Riki, Miyamoto Nobuyoshi	4. 巻 60
2. 論文標題 Perovskite Nanosheet Hydrogels with Mechanochromic Structural Color	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 8466 ~ 8471
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202015982	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 Anraku Shinya, Kaneko Yoshiro, Miyamoto Nobuyoshi	4. 巻 50
2. 論文標題 Grafting of Fluorescence-labeled ssDNA onto Inorganic Nanosheets and Detection of a Target DNA	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 632 ~ 635
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200698	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 Keya Jakia Jannat, Kudoh Hiroki, Kabir Arif Md. Rashedul, Inoue Daisuke, Miyamoto Nobuyoshi, Tani Tomomi, Kakugo Akira, Shikinaka Kazuhiro	4. 巻 15
2. 論文標題 Radial alignment of microtubules through tubulin polymerization in an evaporating droplet	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0231352
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0231352	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 Morooka Toki, Ohsedo Yutaka, Kato Riki, Miyamoto Nobuyoshi	4. 巻 2
2. 論文標題 Structure-regulated tough elastomers of liquid crystalline inorganic nanosheet/polyurethane nanocomposites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Advances	6. 最初と最後の頁 1035 ~ 1042
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0MA00768D	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 -

〔学会発表〕 計81件 (うち招待講演 21件 / うち国際学会 32件)

1. 発表者名 三好桃佳, 加藤利喜, 吉岡大輔, 宮元展義
2. 発表標題 単分散ナノシートコロイドの液晶相
3. 学会等名 第9回 次世代の物質科学・ナノサイエンスを探る、 知の協奏を目指すソフトおよびナノマテリアル研究会2020
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Oxide nanosheets for functional soft materials
3. 学会等名 2nd International Conference on Materials Research and Innovation (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wenqi Yang, Shinya Yamamoto, Keiichiro Sueyoshi, Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Synthesis of Perovskite Nanosheets/Poly (N-isopropylacrylamide) Composite Hydrogels with Structural Colors
3. 学会等名 The 18th Asian Chemical Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Morooka, Y. Ohseido and N. Miyamoto
2. 発表標題 Synthesis of inorganic nanosheet/polyurethane nanocomposite fiber
3. 学会等名 第29回日本MRS年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nobuyoshi Miyamoto, Daichi Matsuda, Wenqi Yang, Yumeng Ye, Masanari Nishi
2. 発表標題 Niobate nanosheet/acrylamide composite gel microparticles for photocatalytic applications
3. 学会等名 OKINAWA COLLOIDS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Miyamoto
2. 発表標題 Liquid crystalline nanosheet/polymer composites with highly regulated hierarchical structures
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wenqi Yang, Shinya Yamamoto, Keiichiro Sueyoshi, and Takumi Inadomi, and Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Composite Gel of Perovskite Nanosheets With Structural Colors
3. 学会等名 2019 International Conference on Nanospace Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤利喜、宮元展義
2. 発表標題 巨大配向ドメインを示すモンモリロナイトナノシートコロイド
3. 学会等名 第63回粘土科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三好桃佳, 加藤利喜, 吉岡大輔, 宮元展義
2. 発表標題 単分散ナノシートコロイドが形成する液晶相
3. 学会等名 第63回粘土科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮元 展義
2. 発表標題 メゾスケールの超構造をもつ単層剝離無機ナノシート液晶をそのまま固定化した複合高分子材料
3. 学会等名 第68回高分子討論会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古川 聡起・大背戸 豊・宮元 展義
2. 発表標題 ゲル鑄型を利用したナノシート/エポキシ樹脂複合材料の合成
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 宮元 展義
2. 発表標題 晶ナノシート/高分子複合ゲル中での異方的な物質拡散
3. 学会等名 第68回高分子討論会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Ishii and Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Mechanical strength of monodisperse mesoporous silica/N-isopropylacrylamide nanocomposite gel
3. 学会等名 West-Japan Nanosheet Society Camp 2019 (WJNS-SC2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Momoka Miyoshi, Riki Kato, Nobuyoshi Miyamoto, Daisuke Yoshida
2. 発表標題 Formation of Liquid Crystal Phases of Monodispersed Nanosheet Colloids
3. 学会等名 West-Japan Nanosheet Society Camp 2019 (WJNS-SC2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinya Yamamoto, Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Angular-independent Structural Color of Liquid Crystalline Colloids of Fluorohectorite Clay Nanosheets
3. 学会等名 EUROCLAY 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Riki Kato, Ryo Iwashita, Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Liquid crystal phase of clay nanosheet dispersed in N, N-dimethylformamide / water mixture
3. 学会等名 EUROCLAY 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮元展義
2. 発表標題 超構造が制御された無機ナノシートとその機能
3. 学会等名 日本化学会研究会「低次元系光機能材料研究会」第8回研究講演会～低次元規則構造がもたらす新機能～
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nobuyoshi Miyamoto, Takumi Inadomi and Wenqi Yang
2. 発表標題 Anisotropic composite gels from liquid crystalline nanosheets
3. 学会等名 The 3rd International Symposium for Advanced Gel Materials & Soft Matters (ISAGMSM) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮元 展義
2. 発表標題 無機ナノシートを利用した超構造機能材料の創成
3. 学会等名 超然プロジェクト講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Riki Kato, Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Liquid crystal structure of liquid crystallinity Inorganic and organic colloidal mixture system
3. 学会等名 Workshop on Soft and Nano Materials Orchestrated with Wisdom from Japan 2019 (SNOWJ 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Structures in nanosheet/polymer mixture
3. 学会等名 Workshop on Soft and Nano Materials Orchestrated with Wisdom from Japan 2019 (SNOWJ 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古川聡起、宮元展義
2. 発表標題 Synthesis of nanocomposite material using nanosheet/hydrogel composite polymer for template
3. 学会等名 2018年FIT-NKUST seminar ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Araya Chuebupa, Shinya Anraku, and *Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Preparation of Single- and Double-Layer Hexaniobate Nanosheets
3. 学会等名 第28回日本MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Ye, M. Nishi and *N. Miyamoto
2. 発表標題 Synthesis of Nanosheet / Polymer Composite Microgel Particles through Microfluidic Approach toward Photocatalytic Applications
3. 学会等名 第28回日本MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Inadomi and N. Miyamoto
2. 発表標題 Nanosheet liquid crystal/pNIPAM composite gel with asymmetrically regulated macroscopic alignment
3. 学会等名 第28回日本MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Anraku, Y. Kaneko and N. Miyamoto
2. 発表標題 Synthesis of ssDNA-grafted liquid crystalline nanosheets
3. 学会等名 第28回日本MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Furukawa, Y. Ohsedo, N. Miyamoto
2. 発表標題 Fluorohectorite Nanosheet/epoxy resin composite material via template gel
3. 学会等名 第28回日本MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Miyoshi, R. Kato, S. Anraku, N. Miyamoto
2. 発表標題 Liquid crystal phase of monodisperse titanate nanosheets
3. 学会等名 第28回日本MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Yamamoto, Y. Ebina, T. Sasaki, N. Miyamoto
2. 発表標題 Liquid crystalline colloids of layered perovskite nanosheets with regulated thickness
3. 学会等名 第28回日本MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Morooka, Y. Ohseido, N. Miyamoto
2. 発表標題 Synthesis of liquid crystalline inorganic nanosheet/polyurethane composite fiber
3. 学会等名 第28回日本MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮元展義
2. 発表標題 ナノシートコロイド液晶を利用した機能材料創製
3. 学会等名 キヤノン財団リユニオン 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古川 聡起・大背戸 豊・宮元 展義
2. 発表標題 ヒドロゲルを鋳型としたナノシート/高分子複合材料の合成
3. 学会等名 平成29年度物理化学インターカレッジセミナー 兼 油化学界面科学部会九州地区講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 諸岡時希・大瀬戸豊・宮元展義
2. 発表標題 ナノシート液晶/ポリウレタン複合ファイバーの合成
3. 学会等名 平成29年度物理化学インターカレッジセミナー 兼 油化学界面科学部会九州地区講演会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Nobuyoshi Miyamoto and Ryo Iwashita
2. 発表標題 Liquid crystallinity and rheology of non-aqueous colloids of clay nanosheets
3. 学会等名 Soft Matter Physics: from the perspective of the essential heterogeneity (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Colloidal Liquid Crystal of Inorganic Nanosheets
3. 学会等名 Seminar at Institut de Chimie et Physique des Matériaux de Strasbourg (IPCMS-DMO) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Liquid crystalline inorganic nanosheets meet with exotic biomatters
3. 学会等名 CEA Grenoble Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Liquid crystalline inorganic nanosheets with exotic biomatters
3. 学会等名 cfaed seminar series (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Oxide nanosheets for solid-state nanomaterials and soft materials
3. 学会等名 Department Seminar of Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Anisotropic Materials of Liquid Crystalline Nanosheet/Polymer Composites
3. 学会等名 France-Japan Workshop 2018 on Nanomaterials and Soft Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮元 展義、 稲富 巧、 山本 伸也、 浦山 健治
2. 発表標題 液晶性無機ナノシート/高分子複合ゲル
3. 学会等名 第67回高分子討論会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮元 展義、 諸岡 時希、 古川 聡起、 稲富 巧、 大背戸 豊
2. 発表標題 無機ナノシート液晶を複合化したエラストマーとゲル
3. 学会等名 第67回高分子討論会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 諸岡 時希, 大背戸豊, 宮元展義
2. 発表標題 液晶性無機ナノシート/ポリウレタン複合ファイバーの合成
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古川 聡起, 大背戸豊, 宮元展義
2. 発表標題 ヒドロゲルを鋳型としたナノシート高分子材料の創生
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮元展義, 岩下亮, 加藤利喜, 山本伸也
2. 発表標題 非水溶媒分散型ナノシートコロイドの液晶性と粘弾性
3. 学会等名 第62回粘土科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤利喜, 宮元展義
2. 発表標題 巨大配向ドメインを自発形成する液晶性クレイナノシートコロイド
3. 学会等名 2018年 日本液晶学会討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤利喜、角五彰、敷中一洋、宮元展義
2. 発表標題 長さ可変の棒状粒子とナノシートの混合コロイドが示す液晶相
3. 学会等名 2018 年 日本液晶学会討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Miyamoto , M. Shintate, T. Inadomi , and Y. Hara
2. 発表標題 Anisotropic Self-Oscillating Reaction in Liquid Crystalline Nanosheets Hydrogels
3. 学会等名 Gel Symposium 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 New Composite Materials for Energy Devices
3. 学会等名 The 5th International Conference on Nanomechanics and Nanocomposites (ICNN5) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Riki Kato, Akira Kakugo, Kazuhiro Shikinaka, and Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Thermoresponsive Liquid Crystal Phase of Mixture Solution of Nanosheets and Biomolecular Microtubules
3. 学会等名 The 5th International Conference on Nanomechanics and Nanocomposites (ICNN5) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shinya Anraku, Yoshiro Kaneko, and Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Modification of liquid crystalline nanosheets with single-strand DNA
3. 学会等名 The 5th International Conference on Nanomechanics and Nanocomposites (ICNN5) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toki Morooka, Yutaka Ohsedo, and Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Synthesis of nanosheet liquid crystal composite polyurethane fiber
3. 学会等名 The 5th International Conference on Nanomechanics and Nanocomposites (ICNN5) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yumeng Ye, Masanari Nishi, and Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Synthesis of Nanosheet / Polymer Composite Microgel Particles through Microfluidic Approach toward Photocatalytic Applications
3. 学会等名 The 5th International Conference on Nanomechanics and Nanocomposites (ICNN5) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Yamamoto and N. Miyamoto
2. 発表標題 Liquid Crystalline Clay Nanosheets with Structural Colors
3. 学会等名 The 5th International Conference on Nanomechanics and Nanocomposites (ICNN5) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshiki Furukawa, Yutaka Ohseido, and Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Synthesis of nanocomposite material using nanosheet/hydrogel composite polymer for template
3. 学会等名 The 5th International Conference on Nanomechanics and Nanocomposites (ICNN5) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takumi Inadomi and Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Asymmetrical deformation of pNIPAM hydrogel hybridized with macroscopically aligned liquid crystal nanosheets
3. 学会等名 The 5th International Conference on Nanomechanics and Nanocomposites (ICNN5) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shinya Anraku, Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Modification of liquid crystalline inorganic nanosheets with single-strand DNA
3. 学会等名 Th 27th International Liquid Crystal Conference (ILCC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Inorganic Nanosheets for Soft Materials: Liquid Crystal, Composite Gel, and Structural Color
3. 学会等名 The 30th PPC-PETROMAT (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Liquid crystalline inorganic nanosheets with exotic biomatters
3. 学会等名 The 1st Columbia "Molecules, Materials, Devices and Systems in Medicine" Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takumi Inadomi, Nobuyoshi Miyamoto, Hirotosugu Kikuchi, Yasusi Okumura, Kenji Urayama
2. 発表標題 Synthesis of pNIPAM hydrogel hybridized with inorganic nanosheet liquid crystal: macroscopic orientation controlled by electric field
3. 学会等名 2018 FIT-KMITL joint seminar (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jarupat Sawangphol, Rachanart Soontornvorn, Hiroyuki Fujioka, Nobuyoshi Miyamoto, Hitoshi Kino and Akinori Hidaka
2. 発表標題 Segmenting Nano-Sheet Objects from Noisy Microscopy Images Using U-Net
3. 学会等名 2018 FIT-KMITL joint seminar (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toki Morooka, Yutaka Ohseido, and Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Synthesis of Polyurethane / Nanosheet Liquid Crystal Composite Fiber
3. 学会等名 2018 FIT-KMITL joint seminar (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuyoshi Miyamoto
2. 発表標題 Inorganic Nanosheet Liquid Crystals
3. 学会等名 2018 FIT-KMITL joint seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuyoshi MIYAMOTO
2. 発表標題 Liquid crystal phase of Inorganic nanosheet colloid and their applications
3. 学会等名 US-Japan Workshop 2018 on Functional Soft-Materials and Nano-Composites (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuyoshi MIYAMOTO
2. 発表標題 Liquid crystalline inorganic nanosheets meet with exotic biomatters
3. 学会等名 Invited seminar at Columbia University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本伸也, 宮元展義
2. 発表標題 構造色を持つナノシート液晶
3. 学会等名 平成29年度物理化学インターカレッジセミナー 兼 油化学界面科学部会九州地区講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 諸岡 時希, 大背戸豊, 宮元展義
2. 発表標題 ナノシート/ポリウレタン複合体の合成
3. 学会等名 平成29年度物理化学インターカレッジセミナー 兼 油化学界面科学部会九州地区講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石井 宏樹, 古賀 朋代, 宮元展義
2. 発表標題 単分散メソポーラスシリカ微粒子と複合化された高分子ゲルの合成
3. 学会等名 平成29年度物理化学インターカレッジセミナー 兼 油化学界面科学部会九州地区講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古川 聡起, 大背戸豊, 宮元展義
2. 発表標題 ナノシート液晶を含有したダブルネットワーク高分子の合成
3. 学会等名 平成29年度物理化学インターカレッジセミナー 兼 油化学界面科学部会九州地区講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 葉 雨蒙, 西 諒也, 宮元展義
2. 発表標題 マイクロ流路デバイスを用いたナノシート/高分子複合ゲル微粒子の合成
3. 学会等名 平成29年度物理化学インターカレッジセミナー 兼 油化学界面科学部会九州地区講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤 利喜, 宮元展義
2. 発表標題 微小管/ナノシート混合系の液晶性
3. 学会等名 平成29年度物理化学インターカレッジセミナー 兼 油化学界面科学部会九州地区講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川浪 正樹, 井出裕介, 宮元展義
2. 発表標題 白金微粒子担持型層状シリケートの合成と触媒特性
3. 学会等名 平成29年度物理化学インターカレッジセミナー 兼 油化学界面科学部会九州地区講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩下 亮, 宮元展義
2. 発表標題 非水溶媒分散型粘土鉱物ナノシートコロイドの液晶性
3. 学会等名 平成29年度物理化学インターカレッジセミナー 兼 油化学界面科学部会九州地区講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 末吉 恵一郎, 山本伸也, 宮元展義
2. 発表標題 構造色をもつナノシート/高分子ゲル複合体
3. 学会等名 平成29年度物理化学インターカレッジセミナー 兼 油化学界面科学部会九州地区講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 平田 夏樹, 大背戸豊, 宮元展義
2. 発表標題 粘土鉱物/ポリイミド複合体の合成
3. 学会等名 平成29年度物理化学インターカレッジセミナー 兼 油化学界面科学部会九州地区講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安樂 信哉, 宮元展義
2. 発表標題 DNA修飾ナノシートの合成
3. 学会等名 平成29年度物理化学インターカレッジセミナー 兼 油化学界面科学部会九州地区講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 稲富 巧, 浦山健二, 宮元展義
2. 発表標題 ナノシート液晶/ゲル複合体
3. 学会等名 平成29年度物理化学インターカレッジセミナー 兼 油化学界面科学部会九州地区講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 チャーブッパー アラヤー, 宮元展義
2. 発表標題 六ニオブ酸カリウムの剥離制御
3. 学会等名 平成29年度物理化学インターカレッジセミナー 兼 油化学界面科学部会九州地区講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古賀 朋代, 宮元展義
2. 発表標題 DNAゲート型メソポーラスシリカ/ゲル微粒子複合体の合成
3. 学会等名 平成29年度物理化学インターカレッジセミナー 兼 油化学界面科学部会九州地区講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 梶原 悠哉, 宮元展義, 勝本之晶
2. 発表標題 Poly (N-isopropylacrylamide) ミクログル-ナノシート混合分散系の粘性挙動について
3. 学会等名 平成29年度物理化学インターカレッジセミナー 兼 油化学界面科学部会九州地区講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuyoshi Miyamoto, Shinya Anraku, Riki Kato・Cyrus R. Safinya・Laurent J. Michot・Erwan Paineau・Patrick Davidson
2. 発表標題 Inorganic Soft Materials : nanosheets, gels, and liquid crystals
3. 学会等名 第7回 次世代の物質科学・ナノサイエンスを探る
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤利喜, 角五彰, 敷中洋一, 宮元展義
2. 発表標題 モンモリロナイトコロイドの液晶性と粘弾性
3. 学会等名 第7回 次世代の物質科学・ナノサイエンスを探る
4. 発表年 2018年

## 〔図書〕 計1件

1. 著者名 N. Miyamoto; S. Anraku; M. Shintate	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Pan Stanford Publishing	5. 総ページ数 123-157
3. 書名 “Chapter 5: Inorganic Nanosheets as Soft Materials” in Functionalization of Molecular Architectures _ Advances and Applications on Low-Dimensional Compounds	

## 〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 複合ゲルの合成方法、及び複合ゲル	発明者 宮元展義、石井宏樹	権利者 学校法人福岡工業大学
産業財産権の種類、番号 特許、特開2020-015653	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 無機ナノシート - ポリマー複合体の製造方法、及び無機ナノシート - ポリマー複合体	発明者 宮元展義、諸岡時希、大背戸豊	権利者 学校法人福岡工業大学
産業財産権の種類、番号 特許、特開2020-015845	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 無機ナノシート - ポリマー複合体の製造方法、及び無機ナノシート - ポリマー複合体	発明者 宮元展義、古川聡起、大背戸豊	権利者 学校法人福岡工業大学
産業財産権の種類、番号 特許、特開2020-015844	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

## 〔取得〕 計0件

## 〔その他〕

宮元研究室ホームページ <a href="http://www.fit.ac.jp/~miyamoto">http://www.fit.ac.jp/~miyamoto</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
---------	---------