

令和 2 年 6 月 19 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H04207

研究課題名(和文) ラボ・オン・ウォーターシステム構築に向けたリキッドマーブルの運動・合一・崩壊制御

研究課題名(英文) Control of movement and stability of liquid marbles toward development of lab-on-water system

研究代表者

藤井 秀司 (FUJII, Syuji)

大阪工業大学・工学部・教授

研究者番号：70434785

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：リキッドマーブル(固体粒子が表面に吸着することで安定化された液滴)をキャリアーとする、光照射による省エネルギー型物質デリバリーシステムを実現化した。具体的には、光熱変換能を有する高分子粒子で安定化されたリキッドマーブルへの光の局所照射により、水面上のリキッドマーブル周囲場に界面張力の空間勾配を生み出し、これを運動の駆動力とする液体(リキッドマーブル内部液)の運動に成功した。また、水面を実験室(ラボ)として捉え、水面上においてリキッドマーブルの崩壊により液体の混合・放出を行う、ラボ・オン・ウォーターシステムの基本概念を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

機能物質のカプセル化が可能なりキッドマーブルを用い、物体の運動に、物質の「運搬」の概念を導入した点、および光照射によって遠隔からオンデマンドで運動のオン・オフおよび方向制御を可能にした点に学術的意義がある。また、光によって誘起された運動を利用して発電機を動かすことができると、現行の電気エネルギーを介する低エネルギー変換効率の太陽光発電とは異なる原理の高効率発電法の開発につながる可能性があり、エネルギー問題の解決に資する。

研究成果の概要(英文)：Remotely controlling and powering the locomotion of liquid marbles (liquid droplets stabilized by solid particles adsorbed to air-liquid interface) by an irradiation of light has been realized in this project. The local light irradiation to the polymer particle-stabilized liquid marbles with photothermal property on a water surface induced Marangoni flow, which can work as a driving force. This approach makes it possible to not only transport the materials encapsulated within the liquid marble but also to release them at a specific place and time, as controlled by external stimuli. Furthermore, a lab-on-water system has been proposed, where mixing and releasing of liquids on the water surface via disruption of the liquid marbles can be conducted.

研究分野：高分子材料

キーワード：リキッドマーブル 気液界面 物質輸送 光熱変換 吸着 マランゴニ対流 導電性高分子 粉体

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

自発的に運動するやわらかな微小物体は、アクティブソフトマターと呼ばれ、近年、物理、化学分野で注目を集めている。これまでのところ、マイクロからミリメートルサイズの微小物体の並進運動に関して活発に研究が行われているが、その制御について系統的な研究は十分には行われていない。また、その運動を利用した同一系内での物質の運搬、放出の概念は実現化されていない。

固体微粒子が、気液界面に吸着することで安定化されたミリメートルサイズの液滴は、リキッドマーブルと呼ばれる【Aussilious ら Nature 2001, 411, 924】。研究代表者は、高分子微粒子が液滴表面に吸着することで、リキッドマーブルの安定化が可能であることを見出し、高分子の有する刺激応答性を生かした、リキッドマーブルの機能化に関する一連の研究を世界に先駆けて推進している【例えば、研究代表者ら J. Am. Chem. Soc. 2009, 131, 5386; Adv. Funct. Mater. 2016, 26, 7206】。既に研究代表者らは、(i) リキッドマーブルが水面上で容易に移動すること、(ii) 固体基板上にて複数のリキッドマーブルを合一化し、内部液の混合が可能であること、(iii) pH や温度等の環境変化により内部物質の徐放が可能であることを見出している。

このような背景のもと、リキッドマーブルを微小容器状物体として捉え、リキッドマーブルの運動を制御し、その運動を利用する物質の運搬を行うことで、省エネルギー型物質デリバリーシステムの実現が可能になると考えた。さらに水面上でリキッドマーブルの合一を通じた内部液の化学反応、リキッドマーブルの崩壊による内部物質の放出を誘起できると、水面を実験室とするラボ・オン・ウォーターシステムの構築が実現できると想到した。

2. 研究の目的 (図 1)

光熱変換能 (光を熱に変換する能力) を有する導電性高分子微粒子を安定化剤として利用し、リキッドマーブルを作製する。次いで、水面に浮かべたリキッドマーブルにレーザー光を局所照射することで、光熱変換現象が引き起こす周辺場の界面張力の空間勾配を運動の駆動力とし、リキッドマーブルの運動制御を実現化する。また、リキッドマーブルの運動を数値解析し、運動の制御因子を明らかにする。さらに、水面上におけるリキッドマーブルの合一・崩壊条件を精査する。

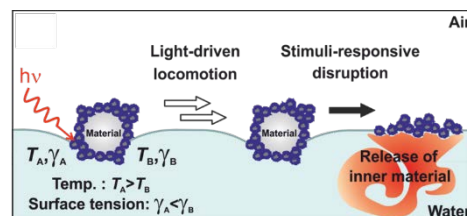


図 1 リキッドマーブルを用いた物質運搬・放出を目的とするラボ・オン・ウォーターシステムの概念図

本研究では下記の 4 項目を目標として設定する。

- (1) 光熱変換能を有する導電性高分子微粒子で安定化されたリキッドマーブルの作製
- (2) 光熱変換現象が誘起するマランゴニ対流による、リキッドマーブルの運動制御
- (3) リキッドマーブルの運動の数値解析
- (4) リキッドマーブルの合一・崩壊条件の最適化

これらの項目により、リキッドマーブルの運動・合一・崩壊制御について、界面コロイド化学、高分子化学、物理学を学術基盤とした科学的理解を行う。さらに、省エネルギー型物質デリバリーシステムおよびラボ・オン・ウォーターシステムを具現化する。

3. 研究の方法

(1) 導電性高分子微粒子の精密合成・光熱変換能評価

- ① リキッドマーブル安定化剤として疎水的表面を有する粒子が利用される。本項目では、高疎水性分子をドーパントとする化学酸化重合を行うことで、疎水的表面を有する導電性高分子微粒子を合成し、生成粒子の粒子径、形状、化学構造 (ドーピングレベル)、組成、表面化学を評価した。
- ② 導電性高分子の光熱変換能は、界面張力の空間勾配の発現と相関しているため、リキッドマーブルの運動を制御する上で重要な因子である。そこで、サーモグラフィーを使用し、導電性高分子微粒子の光熱変換効率を評価した。

(2) リキッドマーブルの作製条件の最適化

- ① リキッドマーブル形成にあたり、内部液として使用する液体が乾燥粒子表面で弾かれることが必要であり、そのため濡れ性評価は重要である。本項目では、研究の方法 (1) で合成する粒子の乾燥体表面における、水滴の接触角測定を行い、粒子表面の親水性疎水性バランスを評価した。
- ② 研究の方法 (1) で合成する導電性高分子微粒子乾燥体の表面上で液滴を転がすことで、表面に粒子を吸着させ、リキッドマーブルの作製を試みた。本項目では、水面上における運動実験に耐える、水面上にて 1 時間は安定に存在するリキッドマーブルの作製条件を精査した。

(3) リキッドマーブルの運動制御・牽引動力源としての機能評価

- ① 水面上におけるリキッドマーブルの運動制御についての知見蓄積に取り組んだ。水面上に浮かべたリキッドマーブルに対しレーザー光、太陽光を照射することで、光熱変換現象により界面張力の空間勾配を生み出し、これを「運動」の駆動力とすることで、リキッドマーブルの水面

上での運動を誘起した。具体的には、リキッドマーブルへの光照射方向と、リキッドマーブルの運動の方向・速度との相関の解明に取り組んだ。

② レーザー光照射により誘起されるリキッドマーブルの運動を、物体の牽引動力へ変換することを試みた。具体的には、3D プリンターを使用して作製する船の機能を果たす物体に貨物を積載し、これをリキッドマーブルの運動を駆動力とし、牽引した。

(4) リキッドマーブルの運動の数値解析

リキッドマーブルの運動を高速デジタルビデオカメラで録画し、動画解析ソフトウェアを使用することで、変位、速度、加速度を解析した。次いで、光照射したリキッドマーブル周辺場の温度分布をサーモグラフィーを用いて可視化・数値化し、界面張力の空間勾配の視覚化に取り組んだ。取得する上記の情報に基づき運動方程式を立てることで、リキッドマーブルに作用する力と仕事の大きさを評価した。

(5) リキッドマーブルの合一・崩壊条件の最適化

水面上に静置したリキッドマーブルに対し、光照射により運動エネルギーを獲得したリキッドマーブルを様々な速度で衝突させることで、合一が起きるか起きないかを評価し、合一に必要な運動エネルギーの数値化を試みた。また、溶剤蒸気（例えば、エタノール）をリキッドマーブルに吹きかけることで粒子の液体への濡れ性を向上させ、気液界面から脱着させることでリキッドマーブルの崩壊を誘発し、内部物質の放出を試みた。

4. 研究成果

(1) 導電性高分子微粒子の精密合成・光熱変換能評価

炭化水素系およびフッ素系の疎水的ドーパントの存在下にて水系化学酸化重合を行うことで、導電性高分子微粒子（ポリピロール、ポリアニリン、ポリ(3,4-エチレンジオキシチオフェン)、ポリ *N*-エチルピロール）を合成した。その結果、サブマイクロメートルサイズの小粒子から形成されるマイクロメートルサイズの不定形な凝集体が生成することが電子顕微鏡観察により明らかになった（図 2a）。また、X 線光電子分光分析により、生成粒子表面に疎水性ドーパントが存在することを確認し、水滴の接触角は 90 度以上と測定され、粒子は疎水的表面を有することを明らかにした。さらに、導電性高分子微粒子乾燥体に近赤外線（808 nm）を照射すると、数秒以内に 800°C 以上まで昇温することを確認した。

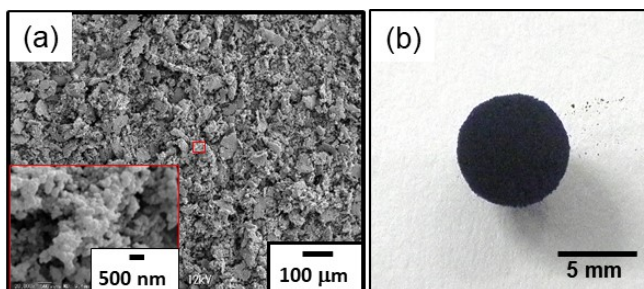


図 2 (a) フッ素系ドーパントを用いた水系化学酸化重合により合成したポリピロール粒子 (b) ポリピロール粒子で安定化されたリキッドマーブル

(2) リキッドマーブルの作製条件の最適化

上記項目で合成した粒子水分散体を自然乾燥または凍結乾燥し、粒子乾燥体を取得した。乾燥方法によらず、すべての導電性高分子粒子系で流動性を有する粒子粉体が得られ、その粉体上において水滴を 1 分以上転がすことで、表面が粒子で被覆されたリキッドマーブルが形成された（図 2b）。ポリピロール系においては、内部液として、水だけでなく表面張力が 48 mN/m 以上の非水液体でもリキッドマーブルが作製できることが明らかになった。また、水面上で 1 時間以上安定に存在するリキッドマーブルの作製に成功した。

(3) リキッドマーブルの運動制御

水面上に浮かべたリキッドマーブルに対し光を照射することで、光熱変換現象により界面張力の空間勾配を生み出し、これを「運動」の駆動力とすることで、リキッドマーブルを水面上で移動させることに成功した。具体的には、水面にのせたリキッドマーブルに対し、レーザー光を水面に対して 45 度程度の角度で照射することで、良好にリキッドマーブルの並進運動を誘起することができた。また、光照射方向を制御することで、リキッドマーブルの運動方向のコントロールが可能であることを明らかにした（図 3）。レーザー光の光源として、リキッドマーブル表面に吸着している粒子が高い吸収を示し、高効率で熱に変換する近赤外光（808 nm）が適しており、光の出力を高くすると、リキッドマーブルの発熱温度が上がり、運動の速度が向上することを確

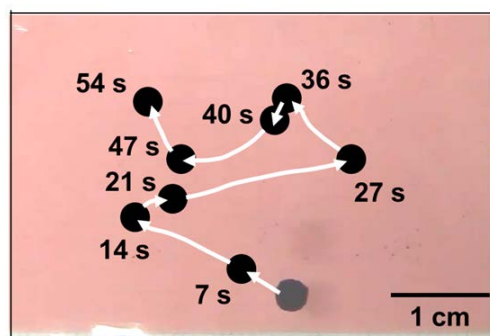


図 3 近赤外光レーザー照射により誘起されるマランゴニ対流を利用したポリピロール粒子安定化リキッドマーブルの運動制御

認した。また、太陽光も光源として利用可能であることも明らかにした。

(4) 牽引動力源としての機能評価

レーザー光照射により誘起されるリキッドマーブルの運動を、物体の牽引動力へ変換することに成功した。具体的には、3D プリンターを使用して作製した船の機能を果たす物体に貨物を積載し、これをリキッドマーブルの運動を駆動力とし、牽引した。リキッドマーブルの 150 倍の重量を有する船を動かすことに成功した。

(5) リキッドマーブルの運動の数値解析

リキッドマーブルの運動を上方向および横方向から高速デジタルビデオカメラで録画し、動画解析ソフトウェアを使用することで、変位、速度、加速度について数値解析を行った。その結果、リキッドマーブルは近赤外光レーザー照射 1 ショットあたり 10^{-2} m オーダーの距離を移動し、 10^{-2} m/s オーダーの速度、 10^{-1} m/s² オーダーの加速度で運動することが確認できた (図 4)。また、リキッドマーブルの水中への潜り込みの深さが大きくなると、これらの値が小さくなることが明らかになった。光照射により発生するリキッドマーブル周辺場の温度分布をサーモグラフィを用いて可視化・数値化し、界面張力の空間勾配の視覚化に成功した。取得した情報に基づきニュートンの運動方程式を立て、リキッドマーブルに作用している力の大きさを評価したところ、数 μ N であることが明らかになった。

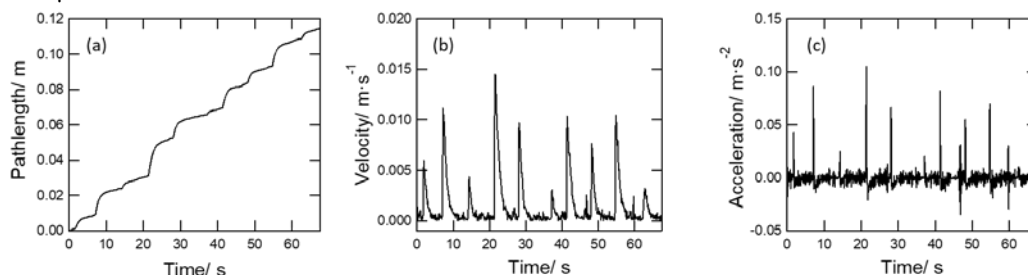


図 4 近赤外光レーザー照射により誘起されるマランゴニ対流を利用したポリピロール粒子安定化リキッドマーブルの運動の数値解析 : (a) 変位、(b) 速度、(c) 加速度

(6) リキッドマーブルの合一・崩壊条件の最適化

水面上に静置したリキッドマーブルに対し、近赤外レーザー光により運動させたリキッドマーブルを衝突させたところ、リキッドマーブルは合一せずに、弾き飛ばされる様子が観察された。リキッドマーブルの運動エネルギーが、衝突したリキッドマーブルの運動エネルギーに変換されたため、崩壊に必要なエネルギーが良好に伝わらなかったことが合一が起こらなかった原因だと考えられる。また、エタノール等のアルコール蒸気をリキッドマーブルに吹きかけることで粒子の液体への濡れ性を向上させ、気液界面から脱着させることでリキッドマーブルの崩壊を誘発し、水面上での内部物質の放出が実現できた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計29件（うち査読付論文 24件／うち国際共著 11件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Thomas Casey A., Kido Kohei, Kawashima Hisato, Fujii Syuji, Ireland Peter M., Webber Grant B., Wanless Erica J.	4. 巻 529
2. 論文標題 Electrostatic formation of polymer particle stabilised liquid marbles and metastable droplets - Effect of latex shell conductivity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Colloid and Interface Science	6. 最初と最後の頁 486 ~ 495
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcis.2018.04.044	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 Ireland Peter M., Kido Kohei, Webber Grant B., Fujii Syuji, Wanless Erica J.	4. 巻 6
2. 論文標題 pH-Responsive Particle-Liquid Aggregates-Electrostatic Formation Kinetics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Frontiers in Chemistry	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fchem.2018.00215	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 Kawashima Hisato, Okatani Ryo, Mayama Hiroyuki, Nakamura Yoshinobu, Fujii Syuji	4. 巻 148
2. 論文標題 Synthesis of hydrophobic polyanilines as a light-responsive liquid marble stabilizer	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 217 ~ 227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2018.06.039	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 Azizian Saeid, Fujii Syuji, Kasahara Moe, Butt Hans-Jurgen, Kappl Michael	4. 巻 30
2. 論文標題 Effect of particle morphology on mechanical properties of liquid marbles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Powder Technology	6. 最初と最後の頁 330 ~ 335
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.appt.2018.11.010	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 Inoue Hiroki, Hirai Tomoyasu, Hanochi Haruka, Oyama Keigo, Mayama Hiroyuki, Nakamura Yoshinobu, Fujii Syuji	4. 巻 52
2. 論文標題 Poly(3-hexylthiophene) Grains Synthesized by Solvent-Free Oxidative Coupling Polymerization and Their Use as Light-Responsive Liquid Marble Stabilizer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 708 ~ 717
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.8b02426	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 Geyer Florian, Asaumi Yuta, Vollmer Doris, Butt Hans-Jurgen, Nakamura Yoshinobu, Fujii Syuji	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Polyhedral Liquid Marbles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 1808826 ~ 1808826
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.201808826	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 Kawashima Hisato, Shioi Akihisa, Archer Richard J., Ebbens Stephen J., Nakamura Yoshinobu, Fujii Syuji	4. 巻 9
2. 論文標題 Light-driven locomotion of a centimeter-sized object at the air-water interface: effect of fluid resistance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 8333 ~ 8339
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9ra01417a	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 Shimogama Natsuko, Uda Makoto, Oyama Keigo, Hanochi Haruka, Hirai Tomoyasu, Nakamura Yoshinobu, Fujii Syuji	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Hydrophobic poly(3,4-ethylenedioxythiophene) particles synthesized by aqueous oxidative coupling polymerization and their use as near-infrared-responsive liquid marble stabilizer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-019-0189-0	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 Kasahara Moe, Akimoto Shin-ichi, Hariyama Takahiko, Takaku Yasuharu, Yusa Shin-ichi, Okada Shun, Nakajima Ken, Hirai Tomoyasu, Mayama Hiroyuki, Okada Satoshi, Deguchi Shigeru, Nakamura Yoshinobu, Fujii Syuji	4. 巻 35
2. 論文標題 Liquid Marbles in Nature: Craft of Aphids for Survival	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 6169 ~ 6178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.9b00771	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. Kawashima, H. Mayama, Y. Nakamura, S. Fujii	4. 巻 8
2. 論文標題 Hydrophobic polypyrrole synthesized by aqueous chemical oxidative polymerization and its use as a light-responsive liquid marble stabilizer	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 2609-2618
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7PY00158D	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 Kido Kohei, Sumoto Takashi, Yasui Yoshihide, Nakamura Yoshinobu, Fujii Syuji	4. 巻 28
2. 論文標題 Droplet size and morphology analyses of dry liquid	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Advanced Powder Technology	6. 最初と最後の頁 1977 ~ 1981
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.appt.2017.04.027	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 Kawashima Hisato, Paven Maxime, Mayama Hiroyuki, Butt Hans-Jurgen, Nakamura Yoshinobu, Fujii Syuji	4. 巻 9
2. 論文標題 Transfer of Materials from Water to Solid Surfaces Using Liquid Marbles	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 33351 ~ 33359
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.7b11375	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 *Ireland, P. M.; Noda, M.; Jarrett, E. D.; Fujii, S.; Nakamura, Y.; Wanless, E. J.; Webber, G. B.	4. 巻 303
2. 論文標題 Electrostatic Formation of Liquid Marbles - Influence of Drop and Particle Size	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Powder Tech.	6. 最初と最後の頁 55-58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.powtec.2016.08.036	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 *Fujii, S.; Yusa, S.; Nakamura, Y.	4. 巻 26
2. 論文標題 Stimuli-responsive liquid marbles: controlling structure, shape, stability and motion	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Adv. Funct. Mater.	6. 最初と最後の頁 7206-7223
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.201603223	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 Sisakova Marketa, Asaumi Yuta, Uda Makoto, Seike Musashi, Oyama Keigo, Higashimoto Shinya, Hirai Tomoyasu, Nakamura Yoshinobu, Fujii Syuji	4. 巻 52
2. 論文標題 Dodecyl sulfate-doped polypyrrole derivative grains as a light-responsive liquid marble stabilizer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 589 ~ 599
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-020-0307-z	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 Asaumi Yuta, Rey Marcel, Vogel Nicolas, Nakamura Yoshinobu, Fujii Syuji	4. 巻 36
2. 論文標題 Particle Monolayer-Stabilized Light-Sensitive Liquid Marbles from Polypyrrole-Coated Microparticles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 2695 ~ 2706
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.0c00061	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 Roy Pritam Kumar、Binks Bernard P.、Bormashenko Edward、Legchenkova Irina、Fujii Syuji、Shoval Shraga	4. 巻 575
2. 論文標題 Manufacture and properties of composite liquid marbles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Colloid and Interface Science	6. 最初と最後の頁 35 ~ 41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcis.2020.04.066	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 Fujii Syuji	4. 巻 45
2. 論文標題 Delivery and Release of Materials Based on Particle-Stabilized Dispersed Systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 MEMBRANE	6. 最初と最後の頁 108 ~ 114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5360/membrane.45.108	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 藤井秀司*	4. 巻 72
2. 論文標題 リキッドマール工学：微粒子安定化液滴が可能にする物質運搬・放出技術	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 化学と工業	6. 最初と最後の頁 13-15
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 S. Fujii*, H. Mayama	4. 巻 4
2. 論文標題 Delivery and release of materials based on liquid marble engineering	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Accounts of Materials & Surface Research	6. 最初と最後の頁 61-68
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計59件（うち招待講演 38件 / うち国際学会 14件）

1. 発表者名 藤井秀司
2. 発表標題 リキッドマーブル工学：光駆動型物質運搬システムの構築
3. 学会等名 第78回分析化学討論会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Syuji FUJII
2. 発表標題 Stimuli-driven material delivery and release systems using liquid marbles
3. 学会等名 16th Conference of the International Association of Colloid and Interface Scientists（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤井秀司
2. 発表標題 リキッドマーブルが実現する光刺激による物質運搬制御システム
3. 学会等名 第157回ラドテック研究会講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤井秀司
2. 発表標題 微粒子安定化気液分散体工学に基づく機能性材料の創出
3. 学会等名 第36回 関西界面科学セミナー（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤井秀司
2. 発表標題 微粒子の界面吸脱着現象に基づくソフト材料化学
3. 学会等名 第282回分子工学コロキウム（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤井秀司
2. 発表標題 微粒子をプラットフォームとするバイオミメティクス
3. 学会等名 第166回講演会 バイオインスパイアード技術と成形加工 ～生物模倣から革新的技術へ～（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤井秀司
2. 発表標題 微粒子安定化ソフト分散体を基盤とする機能性材料創出
3. 学会等名 日本化学会東北支部 山形地区講演会 元素ブロックによる機能材料創製（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤井秀司
2. 発表標題 粒子を表面にくっつけて泡・液滴を安定化する技術の開発
3. 学会等名 2018年 日本化学会中国四国支部 地区化学講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Syuji FUJII
2. 発表標題 Liquid marble: From nature to engineering
3. 学会等名 7th Nagoya Biomimetics International Symposium (NaBIS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤井秀司
2. 発表標題 機能性高分子微粒子が実現する泡・リキッドマーブルの構造・機能制御
3. 学会等名 接着界面科学研究会Part 第3回例会～10周年記念シンポジウム～ (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤井秀司
2. 発表標題 微粒子を界面活性剤として利用する！：泡、リキッドマーブルの安定化
3. 学会等名 第8回CSJ化学フェスタ2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤井秀司
2. 発表標題 高分子粒子安定化ソフト分散体を基盤とする機能性材料の創出
3. 学会等名 第18回中国四国地区高分子材料研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤井秀司
2. 発表標題 微粒子安定化気液分散体工学
3. 学会等名 第69回コロイドおよび界面化学討論会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Syuji FUJII
2. 発表標題 Stimuli-Driven Delivery and Release Using Particle-stabilized Soft Dispersed Systems
3. 学会等名 VII. Polymer Science and Technology Congress（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤井秀司・伊藤将也・眞山博幸・中村吉伸
2. 発表標題 高分子粒子安定化泡をキャリアーとする物質運搬システムの構築
3. 学会等名 高分子学会第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤井秀司
2. 発表標題 バイオミメティクスに基づく微粒子安定化ソフト分散体材料の創出
3. 学会等名 NBCIテクノロジー委員会 バイオミメティクス分科会講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hisato Kawashima, Maxime Paven, Hiroyuki Mayama, Hans-Jurgen Butt, Yoshinobu Nakamura, Syuji Fujii
2. 発表標題 Stimuli-driven material delivery and release using liquid marble
3. 学会等名 The 4th international Symposium on the Hybrid Materials and Processing (HyMaP 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Syuji FUJII, Hiroyuki Mayama
2. 発表標題 Stimuli-Driven Delivery and Release Systems Using Liquid Marbles
3. 学会等名 Asian Conference on Oleo Science 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Syuji Fujii, Hiroyuki Mayama, Hisato Kawashima, Maxime Paven, Hans-Jurgen Butt, Yoshinobu Nakamura
2. 発表標題 Stimuli-Driven Delivery and Release of Materials Using Liquid Marbles
3. 学会等名 IUMRS-ICAM 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Syuji Fujii
2. 発表標題 Stimuli-Driven Delivery and Release Systems Using Liquid Marbles
3. 学会等名 Western Mass / Western Japan Polymer Symposium, The University of Massachusetts Amherst (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Syuji Fujii
2. 発表標題 Stimuli-Driven Delivery and Release Systems Using Liquid Marbles
3. 学会等名 Research seminar, University of Newcastle (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤井秀司
2. 発表標題 微粒子安定化気液ソフト分散体を基盤とする機能性材料創出
3. 学会等名 第55回日本接着学会年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤井秀司, 川嶋永人, 眞山博幸, Maxime Paven, Hans-Jurgen Butt, 中村吉伸
2. 発表標題 元素ブロック高分子粒子安定化リキッドマープルに基づく物質運搬システムの構築
3. 学会等名 高分子学会 第66回高分子討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤井秀司
2. 発表標題 機能性高分子微粒子の気液界面吸着現象を利用したソフト分散体の創出
3. 学会等名 高分子学会 高分子同友会勉強会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤井秀司
2. 発表標題 高分子微粒子が拓く機能性気液分散体の材料化学
3. 学会等名 九州地区高分子若手研究会・冬の講演会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Fujii, H. Mayama, H. Kawashima, M. Paven, H.-J. Butt, and Y. Nakamura
2. 発表標題 Stimuli-Driven Delivery and Release Systems Using Liquid Marbles
3. 学会等名 254th ACS National Meeting & Exposition (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川嶋 永人, 眞山 博幸, 中村 吉伸, 藤井 秀司
2. 発表標題 光熱変換リキッドマールを用いた物質運搬・放出制御
3. 学会等名 第63回高分子研究発表会（神戸）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川嶋 永人, 眞山 博幸, 中村 吉伸, 藤井 秀司
2. 発表標題 光刺激応答性リキッドマールを用いた物質運搬・放出制御
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 川嶋 永人, 眞山 博幸, 中村 吉伸, 藤井 秀司
2. 発表標題 光熱変換リキッドマールを用いた遠隔物質運搬・放出システムの構築
3. 学会等名 第17回高分子表面研究討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川嶋 永人, 眞山 博幸, 中村 吉伸, 藤井 秀司
2. 発表標題 非水液体を内部液とする光熱変換リキッドマールの遠隔物質運搬
3. 学会等名 第27回 日本MRS年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hisato KAWASHIMA, Hiroyuki MAYAMA, Yoshinobu NAKAMURA, Syuji FUJII
2. 発表標題 Light-driven delivery of materials using liquid marble
3. 学会等名 The 6th Asian Symposium on Emulsion Polymerization and Functional Polymeric Microspheres (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Fujii
2. 発表標題 Material Chemistry based on liquid marbles
3. 学会等名 Group seminar (Prof. E. J. Wanless) (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 S. Fujii
2. 発表標題 Particle stabilized soft dispersed systems as a platform towards adhesive materials
3. 学会等名 5th Nagoya Biomimetics International Symposium (NaBIS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 S. Fujii, M. Paven, H. Mayama, H. Kawashima, H.-J. Butt, Y. Nakamura
2. 発表標題 Light-Driven Delivery and Release of Materials Using Liquid Marbles
3. 学会等名 The 14th International Conference on radiation Curing (RadTech Asia 2016) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 藤井秀司、中村吉伸
2. 発表標題 リキッドマール工学に基づくカプセル材料の創出
3. 学会等名 日本ポリマースクラッチコンソーシアム第17回会議 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 藤井秀司
2. 発表標題 微粒子が拓くソフト分散体工学
3. 学会等名 第37回粘着技術研究会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 藤井秀司
2. 発表標題 機能性微粒子安定化ソフト分散体が拓く材料化学
3. 学会等名 2016KIPS 若手高分子シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 藤井秀司
2. 発表標題 微粒子安定化ソフト分散体を基盤とする機能性材料の創出
3. 学会等名 精密ネットワーク研究会第10回若手シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤井秀司, 川嶋永人, 眞山博幸, Maxime Paven, Hans-Jurgen Butt, 中村吉伸
2. 発表標題 光刺激応答性リキッドマーブルを用いた物質運搬システムの構築
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 川嶋永人, 眞山博幸, 藤井秀司, 中村吉伸
2. 発表標題 遠隔物質運動制御システム構築に向けた光熱変換リキッドマーブルの創出
3. 学会等名 ACA2016および第54回日本接着学会年次大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 川嶋永人, 眞山博幸, 藤井秀司, 中村吉伸
2. 発表標題 リキッドマーブルを用いた遠隔物質運搬システムの構築
3. 学会等名 第62回高分子研究発表会(神戸)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 川嶋永人, 眞山博幸, 藤井秀司, 中村吉伸
2. 発表標題 近赤外光を用いた光熱変換リキッドマーブルの遠隔物質運動制御システムの構築
3. 学会等名 第34回関西界面科学セミナー もっと知りたい・ここが知りたい分散と材料の界面科学
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 川嶋永人, 眞山博幸, 藤井秀司, 中村吉伸
2. 発表標題 光熱変換リキッドマーブルを用いた物質運搬制御システムの構築
3. 学会等名 第67回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 川嶋永人, 眞山博幸, 藤井秀司, 中村吉伸
2. 発表標題 物質運搬制御システム構築に向けた光熱変換リキッドマーブルの創出
3. 学会等名 第19回高分子ミクロスフェア討論会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 S. Fujii, E. J. Wanless, S. Yusa, G. B. Webber, N. Ishida	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Springer International Publishing	5. 総ページ数 464
3. 書名 Stimulus-responsive soft surface/interface toward applications in adhesion, sensor and biomaterial	

1. 著者名 分担 藤井秀司、中村吉伸（監修 藤本啓二）	4. 発行年 2017年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 316
3. 書名 高分子微粒子ハンドブック 第3編 第5章	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>大阪工業大学工学部応用化学科高分子材料化学領域webページ http://www.oit.ac.jp/chem/cherry/4_lab/ 藤井秀司 研究紹介webページ https://www.youtube.com/watch?v=u2TArGB-79Y&list=UUxBwz6-418ToeacGK1BtVmw&index=5 朝日新聞（電子版）で研究がハイライト https://www.asahi.com/articles/ASM3D6JR3M3DPLBJ009.html 日本化学会新領域研究グループ（分散凝集の学理構築への科学と技術戦略） http://dispersion.chemistry.or.jp/ 大阪工業大学工学部応用化学科高分子材料化学研究室webページ http://www.oit.ac.jp/chem/cherry/4_lab/ 藤井秀司 研究紹介webページ https://www.youtube.com/watch?v=u2TArGB-79Y&list=UUxBwz6-418ToeacGK1BtVmw&index=5 日本経済新聞（電子版）で研究がハイライト https://r.nikkei.com/article/DGXMZ023542770W7A111C1000000 日本化学会新領域研究グループ（分散凝集の学理構築への科学と技術戦略） http://dispersion.chemistry.or.jp/ 大阪工業大学工学部応用化学科高分子材料化学研究室webページ http://www.oit.ac.jp/chem/cherry/4_lab/ 藤井秀司 研究紹介webページ https://www.youtube.com/watch?v=u2TArGB-79Y&list=UUxBwz6-418ToeacGK1BtVmw&index=5</p>

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	中村 吉伸 (NAKAMURA Yoshinobu) (70298800)	大阪工業大学・工学部・教授 (34406)	

6. 研究組織 (つづき)

	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	眞山 博幸 (MAYAMA Hiroyuki) (70360948)	旭川医科大学・医学部・准教授 (10107)	