

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H03412

研究課題名(和文) 生物の表面微細構造から着想を得たオープン流路を応用した環境応答型液体操作法の開発

研究課題名(英文) Development of environment-responsive liquid manipulation method applying open flow path inspired by the surface microstructure of living organisms

研究代表者

石井 大佑 (Ishii, Daisuke)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60435625

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、バイオデバイス・創薬・燃料電池などの開発に必要不可欠な精密液体制御・操作の革新を目指し、微細構造流路の動的濡れ挙動を駆動力とした省エネルギープロセスの開発および環境応答型液体操作の実現を試みた。その結果、1)生物のもつ特異な液体操作表面を模倣した流路構造を作製し、2)表面化学組成を制御するために刺激応答性分子を表面修飾し、3)微細構造と表面化学組成の制御により動的濡れ挙動を環境応答性させ、環境処理に有用な液体分離プロセスや創薬に結びつく微量反応場などの精密な液体操作の実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究はこれまでに無い概念を利用した新規材料開発であると言える。これまでの液体分離技術は、ろ過膜や吸着・膨潤材を使用した使い捨てシステムが多く、今後のエコ社会に対応しているとは言い難い。本成果は、エコプロセスのモデルとして、生物や植物のもつ液体操作システムを利用している。生物や植物は環境に応じて多様に進化や退化を繰り返し、生存に必要な多様な機能を創生している。いかにエネルギーの消費を少なく機能を生みだしているかである。フナムシ模倣液体輸送プロセスは、表面構造の違いのみを利用して液体を分離する新規プロセスとなりうる。

研究成果の概要(英文)：In this research, we aim to innovate precision liquid control and operation, which are indispensable for the development of biodevices, drug discovery, fuel cells, etc. As a result, 1) a flow path structure that imitates the unique liquid manipulation surface of living organisms is produced, 2) stimulus-responsive molecules are surface-modified to control the surface chemical composition, and 3) microstructure and surface chemical composition by controlling the dynamic wetting behavior, the dynamic wetting behavior is made environmentally responsive, and precise liquid operations such as a liquid separation process useful for environmental treatment and a trace reaction field linked to drug discovery have been realized.

研究分野：生物模倣材料、界面科学

キーワード：表面濡れ性 接触角 表面張力 動的濡れ性 表面修飾 液体操作 液体輸送 液体分離

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

現在、微量液体の操作技術は、燃料電池電極層での気泡付着防止・二次電池電極触媒の防水処理・太陽電池の防汚処理、創薬開発やバイオ試験のマイクロバイオチップなどに用いられており、圧力・加熱乾燥・力学的な振動といった外部エネルギーを必要としている。本研究のような生物を模倣した表面構造由来の液体操作と界面自由エネルギーの外部刺激応答とを複合した液体操作デバイスは、生物や植物のもつ液体操作機構の単純な模倣を超越した一世代進歩した概念であり、非常に斬新かつ独創性が高い。しかし、これまでの研究は微細構造と表面化学組成が生み出す界面自由エネルギーと静止している液体との関係である静的濡れ挙動のみを焦点にしていた。また、微細構造の濡れ挙動の評価に関しては、表面張力と液体の粘性抵抗とが競合するために、単純なテクスチャー表面での物理学的研究はされているが、複雑な微細構造では機構の理解が困難であった。

そこで、本研究課題では、液体操作機構の駆動力を、水の動きにより計測可能な動的濡れ挙動で指標化することで、精密な液体操作機構を構築できると考え、外部エネルギーを利用しない省エネルギー・高効率プロセスの創生を試みる。例えば、pH 環境応答型の液体流動による除去プロセスの高効率化、高湿度環境下でのみ流路機能を有する空間環境制御システムの創成、高感度センシング、抗重力液体輸送、真空下での液体操作プロセスの構築、複雑化しているバイオデバイスの効率向上等の微量液体に関わる分野での革新的技術として期待でき、非常に大きな発展性をもつ課題である。

また、学術的にも重要な生物学分野における表面機能解析と物理化学分野における階層構造の表面ぬれ特性制御に関する新規な知見も得られ、エネルギー高効率化社会の実現を目指す現在の産業界および学術界における界面・表面技術開発に大きく貢献できると考えられる。

### 2. 研究の目的

これまでに申請者は、トップダウン技術やボトムアップ技術による高分子規則構造体の作製や、化学的な反応を利用した表面改質についての独創的な研究を遂行してきた。近年は、生物学者と共同でフナムシの脚にある微細突起構造からなるオープン流路の抗重力液体輸送機構を直接的な物理化学解析により解明する手法を提案し、微細突起構造と液体との間に働く界面自由エネルギーが液体輸送能力を支配していることを明らかにした。上述した生物学および物理化学の研究のながれを鑑み、本研究課題ではフナムシの脚構造に見られる微細構造配列からなるオープン流路に着目し、その微細構造のもつ界面自由エネルギー由来の表面濡れ特性と、環境応答性有機物質の外部刺激応答による界面自由エネルギー制御を複合し、動的濡れ挙動の環境応答制御に基づく新奇な精密液体操作デバイスの構築を目的とする。

### 3. 研究の方法

#### 1) フナムシの脚構造を完全に模倣した微細構造の作製と流路機能解析

フナムシの脚にある流路構造は、針状突起毛が流路の縁部を覆い、流路の中心部に平板状突起毛が流路長軸に沿って配列した異方的な微細突起構造で構成されている。この種類の違う突起毛の静的濡れ挙動を評価すると、共に接触角は0度となり超親水性であったが、針状毛の方が平板状毛よりも0度になるまでに要した時間が短かった。これは、液体を引き込む駆動力が大きいことを意味しており、動的濡れ挙動が異なっていると考えられる。フナムシの脚の流路構造は、その幅が500  $\mu\text{m}$ 程度しかなく、動的な濡れ挙動を評価することは困難である。そこで、フナムシの脚の突起構造を完全に模倣した微細構造を数cm角で作製し、動的な濡れ挙動の評価、および、その流路機能の解析を行った。流路機能解析には、垂直に立てた基板を液面につけた際に構造中を流れる液体をモニタリングし、その流速を解析した。フナムシ模倣微細構造はフォトリソグラフィにより作製し、その配列パラメータを変えることで流路を流れる流速を変化させ、動的な濡れ挙動との相関を図る。

#### 2) フナムシ脚構造を模倣した微細構造の簡便作製法の確立と構造制御による流路最適化

固体表面上における液体の動的濡れ挙動は、表面の微細構造と化学組成に依存している。既述のように、生物や植物は緻密な微細構造と疎水性分泌液との複合効果により、界面自由エネルギーを変化させて液体を弾いたり輸送したりしている。つまり、この2因子を変化させる事により、液体と表面との界面自由エネルギーを制御できる。上記1)では、フナムシ模倣表面の有する流路機能を明確にするために、フォトリソグラフィを用いた構造作製を行ったが、フォトマスクを用いた1 by 1の作製プロセスでは、コストと手間を要するという問題点があった。そこで、同様の1 by 1の作製プロセスでもフォトマスクが不要な構造転写法による微細構造の簡便作製法の確立を試みた。三軸精密走査装置を用い、微細針を鋳型高分子基板に突き刺すことで多孔配列パターンを形成し、その構造を転写した突起配列パターンを作製した。本手法により、配列パターンを $\mu\text{m}$ スケールで制御可能であり、突き刺す深さにより容易に突起高さも制御できた。突起間隔、突起高さ、突起形状、転写材料(エンブラ・ゴム等)を変化させて作製した数10種類の流路構造の流路機能を上記1)と同様の手法により計測し、構造の最適化を行った。

### 3) 微細構造流路の動的濡れ挙動解析と動的濡れ性の流路機能に対する指標化

表面の濡れ特性を示す指標は、静的濡れ挙動と動的濡れ挙動の2つである。静的濡れ挙動は、表面に液体を静置させた際の液滴の形状から計測できる接触角を評価するものであり、これまでの濡れ特性の主要な評価法であった。しかし、液体輸送や液体分離などの実用的なマイクロfluidicデバイスでは常に液体の動きが生じているために、その性能を最適化するための指標としては不十分であることが近年問題となっている。

そこで、動的濡れ挙動を液体操作の指標として用いた。動的濡れ挙動は、表面に静置した液滴を加液・減液したり、基板ごと傾けて液滴を滑落させたりして測定できる前進接触角・後退接触角・転落角を用いて評価できる。この動的濡れ挙動から得られる代表的な指標として前進接触角と後退接触角の差分で表されるヒステリシスがある。本研究では、前進接触角と後退接触角を測定し、前進接触角は輸送現象の指標として、後退接触角は構造との付着現象の指標とした。

### 4) 化学修飾による刺激応答性物質の複合化および動的濡れ挙動の環境応答性評価

上記1)で作製した流路機能をもつ微細突起構造に、疎水性または親水性官能基を末端にもつシランカップリング剤やチオール化合物による表面化学修飾を施し、動的濡れ挙動の表面化学組成依存性を検討した。

また上記2)で作製した微細構造流路のパターンを、上記4)の方法で末端に感応性官能基もつ化合物を導入することで、界面エネルギーの外部刺激応答により液種選択的な流路機能の導不通制御を試みる(図1)。また、流体の組成、粘度、温度等の環境に依存した液体輸送現象の違いを利用した、バイオセンサー・分離プロセス・自発流体輸送・輸送効率化等の流体輸送制御システムの構築を検討した。

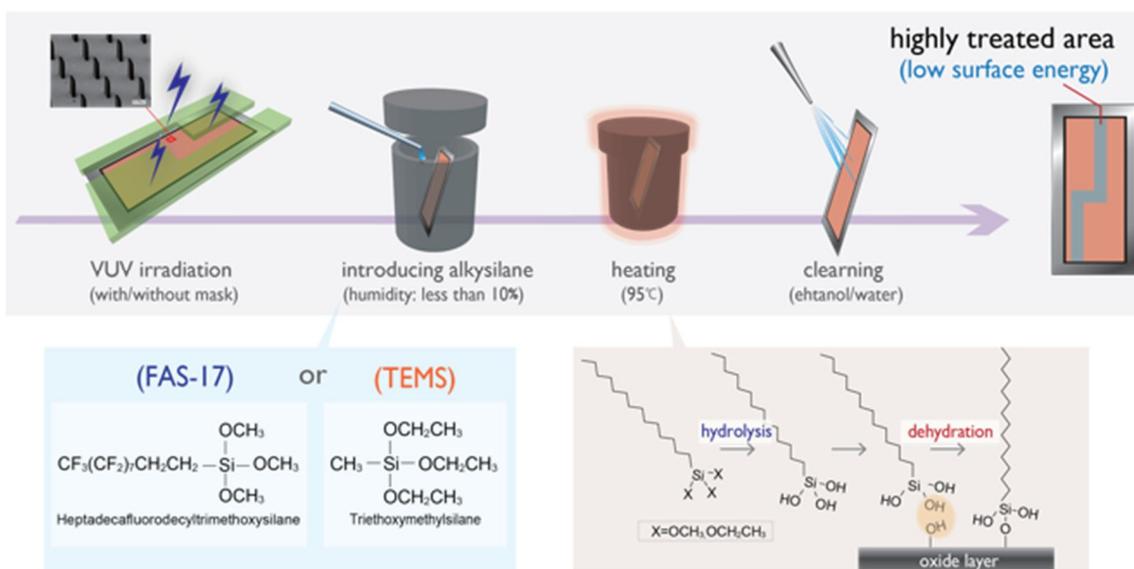


図1 環境応答型液体操作可能な微細構造流路パターンの作製法の一例

## 4. 研究成果

### 1) フナムシ脚構造を完全に模倣した微細構造の作製と流路機能解析

フナムシ模倣流路構造は突起の厚みに対する突起の高さのアスペクト比が十分に大きい突起を精密に作製できるフォトリソグラフィにより作製した。構造パラメータは、突起高さを  $h$ 、短辺方向の突起間隔を  $LW$ 、突起の長辺の長さを  $SL$ 、長辺方向の突起間隔を  $PI$  で表した。これらの構造パラメータ以外の構造パラメータは固定値にしており、突起の短辺の長さ  $w$  は  $2\mu\text{m}$ 、長辺方向の位相差は半周期ずれるように作製した。作製した28種類のサンプルの構造パラメータを右下表に示す。本研究では断面形状と関連のある突起間隔  $LW$  と突起高さ  $h$  の比率  $h/LW$  に着目した。

輸送に用いる液体はヘキサデカン、粘度の異なるシリコンオイル、水、およびエタノールを用いた。効率的な自発輸送を行うため、表面にシリカナノ粒子を含む親水コーティング剤 (Excel Pure、中央自動車工業株式会社) をスピコート ( $2000\text{ rpm}$ ,  $1\text{ min}$ ) して、親水処理を行った後に液体輸送挙動を解析した。液体輸送は CCD カメラで撮影した。Image J を用いて動画の解析を行い、経過時間  $t$  に対する輸送距離  $l$  のプロットの近似曲線を得た。詳細はここでは割愛するが、この近似曲線を解析することで得られる速度パラメータ  $P_c k / \varepsilon \mu$  を液体輸送速度の指標と考え、各サンプルの液体輸送速度を評価した。

平板状突起配列構造の突起間を一本の流路ユニットとみなすと、図2のような複数の流路が並列した流路構造とみなせる。突起の短辺方向の間隔  $LW$  および突起高さ  $h$  を変化させると、この流路の断面形状が変化する。この流路断面が小さくなると、接触線の気液界面の曲率が大き

くなり、ラプラス圧が増加すると考えられる。また、固体壁面において流速は0になり、流体の粘性によるせん断応力により、摩擦圧力損失が生じるが、流路断面が大きくなれば、固体壁面から離れた速い流れが増加し、摩擦圧力損失を低減できると考えられる。この流路断面を、平板状突起配列構造の突起高さ  $h$  と流路断面のアスペクト比  $h/LW$  と定義し、液体輸送速度パラメータとの関係を調べた結果を図3に示す。横軸は流路断面のアスペクト比  $h/LW$  を対数軸で表示し、縦軸は液体輸送速度パラメータの指標  $\Delta P_{ck}/\epsilon\mu$  である。このプロットから、流路断面のアスペクト比  $h/LW$  が1のとき、すなわち、流路断面が正方形のときに輸送速度のピークを持ち、突起が高いほど輸送が速くなるのが明らかとなった。 $h/LW$ が増加するほど  $LW$  は小さくなり、接触線の気液界面の曲率が大きくなり、ラプラス圧が増加するが、流れと固体壁面との距離が縮まり摩擦圧力損失も増加してしまう。そのため、 $h/LW$ が増加すると、 $0.1 < h/LW < 1$  の領域ではラプラス圧の増加により輸送が速くなるが、 $1 < h/LW < 10$  の領域では摩擦圧力損失の増加により輸送が遅くなる。このラプラス圧と摩擦圧力損失のトレードオフの関係のなかで、最もこれらのバランスの良い状態が  $h/LW = 1$  で、流路断面が正方形のときであると考えられる。また、突起が高いほど輸送する液膜が厚くなり、基板表面から離れた速い流れが増加し、摩擦圧力損失が減少すると考えられる。

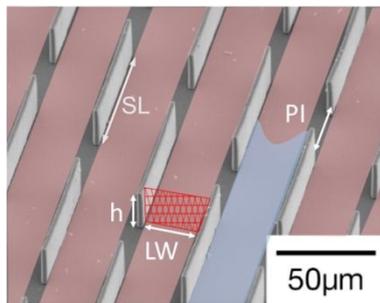


図2 流路断面形状のモデル図

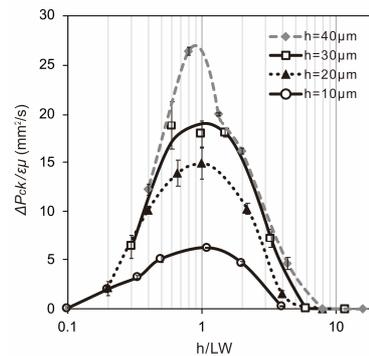


図3 流路断面のアスペクト比に対する輸送速度

## 2) フナムシ脚構造を模倣した微細構造の簡便作製法の確立と構造制御による流路最適化

鋳型法により、微小構造表面の作製を行った。鋳型を作製するために、精密卓上型3軸口ロボット (RAP3, COMS社) を用いた。精密卓上型3軸口ロボットに装着した金属針を用いて、polyethylene (PE) に微小な穴隙構造の配列を作製し鋳型とした。金属針の先端の形状を変えることにより、作製される穴隙構造の形状も変化させた。針の先端の形状として、円錐状と針状の針を用いた。また、精密卓上型3軸口ロボットの走査プログラムを変えることにより、穴隙構造間の距離や深さを変化させた鋳型を作製した。

作製した鋳型と転写微細構造の表面を、デジタルマイクロスコブおよび走査型電子顕微鏡で観察した結果、PE鋳型上に円錐・針状の孔が等間隔に配列していることが確認された。走査プログラムを制御することにより、円錐・針状の突起高さを  $100\mu\text{m}$  に統一し、突起中心間距離を様々に変化させた突起構造を作製し、液体輸送速度との関係を明らかにした。抗重力方向への液体輸送能測定は、エキシマ光照射 ( $15\text{min}$ ) により、超親水化された KR-112 微細構造表面をディップコーターで水面に対して垂直に着水させた。水が抗重力方向に上昇する様子を撮影・解析し、Washburnの式を用いて液体輸送速度を定量化した。

抗重力方向への液体上昇の解析結果を図4に示す。DはWashburnの式から算出された輸送速度係数、Iは突起の中心間距離である。このグラフはX軸の値が小さい程流路内に突起が密に配列しており、Y軸の値が大きい程液体上昇速度が大きいことを表している。グラフからa、bどちらの流路でも突起中心間距離が  $100\mu\text{m}$  (流路断面が正方形) の時に輸送速度が最大であり、それよりも狭い場合でも、広い場合でも液体輸送速度の減少が確認された。この結果は、上記1)のフォトリソグラフィで作製した模倣流路の場合と同様に、ラプラス圧・粘性抵抗・重力の兼ね合いにより全体の毛管力が決まることを示している。

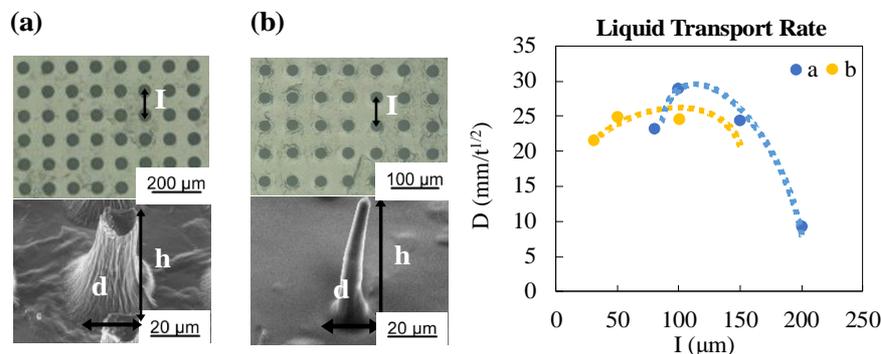


図4 鋳型法により作製した模倣流路構造の水輸送能評価 (a)円錐状、(b)針状

### 3) 化学修飾による刺激応答性物質の複合化および動的濡れ挙動の環境応答性評価

高粘性オイル分離プロセスの開発するために、表面微細構造と表面化学組成を精密に制御し、オイルに対して粘性抵抗とならない流路を作製した。固体表面上における液体の挙動は、その表面微細構造と化学組成に依存しており、この2因子を変化させる事により、液体と表面との界面自由エネルギーを制御可能である。上記1)および2)で明らかにした水に対する微細流路構造を最適化し、オイルに対する表面処理を施すことで高効率オイル輸送を実現する。上記1)で作製したフナムシ模倣微細流路構造を用い、ヘキサデカン、ひまし油、不揮発性のイオン液体等の各種粘性液体に対する表面ぬれ特性(静的接触角、動的接触角、滑落角、液量依存性、粘性依存性)や濡れのダイナミクス(液体輸送プロセス時の移動速度や移動距離)を、接触角計や表面張力計を用いて測定した。また、微細構造表面に疎水性官能基を末端にもつシランカップリング剤を自己組織化法(SAM法)や表面化学反応により物理化学的に修飾することで表面化学組成を制御し、同様の測定により各種液体に対する表面ぬれ特性の表面化学組成依存性を検討した。その結果、図5に示す様に表面張力に比例して接触角が大きくなる事がわかり、模倣構造流路が輸送できる液体種の依存性がある事が示唆された。また、表面張力は温度により変化することから、液体や微細構造表面の温度により、輸送能力に変化が生じることが示唆された。

CA's on silicon wafer with each surface modification

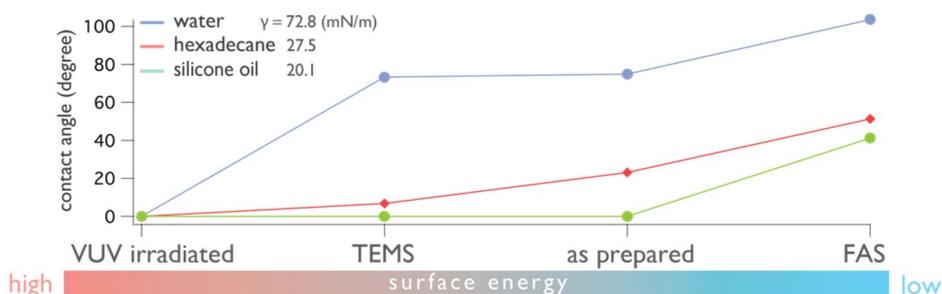


図5 異なる表面張力になるように表面修飾した微細構造流路の接触角の変化

### 4) 環境応答型液体操作法を応用した分離プロセスや微量反応場の開発

最終的に、表面修飾や微細構造の最適化を行い、高粘性オイル等の粘性液体の高効率輸送や水-オイル分離可能な機能性デバイスの構築を試みた。さらに、模倣流路構造の動的濡れ挙動を表面化学組成制御により変化させることで、環境依存型の微小流路を形成した。動的濡れ挙動には輸送を支配している前進接触角と付着を支配している後退接触角があり、その度合いを制御することで、ある溶媒中でのみ混溶しない液体が流路を流れる条件を明らかにした(図6)。具体的には、オイル中の微量の水のみを輸送可能な流路など、オイル中の不純物である水を効率よく除去するプロセスに応用できる。また、大気中ではオイル輸送できないが、水中ではオイル輸送可能な表面修飾条件を明らかにでき、水中でのみオイル輸送可能なデバイスの構築に成功した。これは、微量の液体の反応場としても利用可能であり、接触および脱着が液中への出し入れのみで可能となる。

#### 動的接触角から考える選択的液体輸送

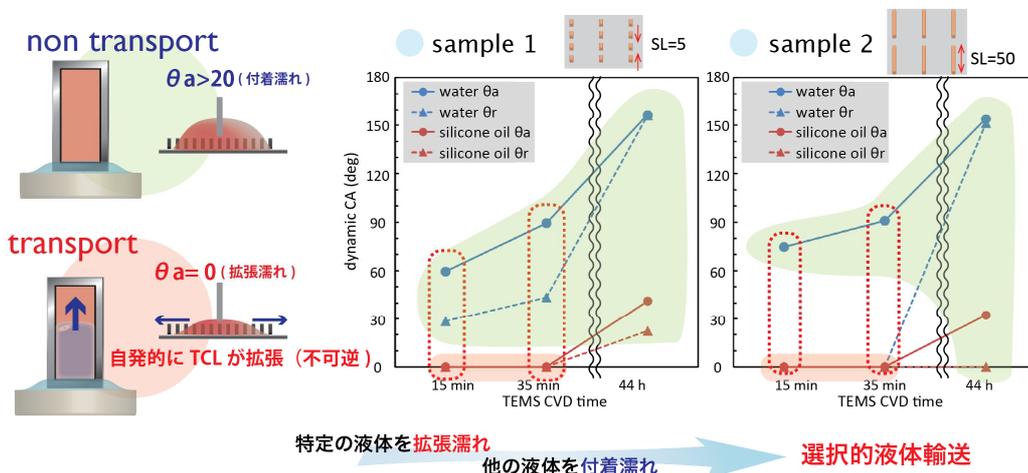


図6 後退角の制御による液体輸送の解析および選択的液体輸送との関連性

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5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 石井大佑、犬飼茉莉亜、磯貝 隆、根元 勉	4. 巻 54
2. 論文標題 Dynamic Wettability of High Antifouling Coating Surface	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 塗装工学	6. 最初と最後の頁 170 - 174
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 Kuwada Rikima、Ishii Daisuke	4. 巻 33
2. 論文標題 Optimizing Liquid Transport Velocity of Bioinspired Open-type Micro-blade Arrays	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 177 ~ 184
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2494/photopolymer.33.177	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 Muto Koji、Ishii Daisuke	4. 巻 544
2. 論文標題 Effects of anisotropic liquid spreading on liquid transport in arrow-like micropillar arrays	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects	6. 最初と最後の頁 86 ~ 90
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.colsurfa.2018.02.023	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 Muto Koji、Ishii Daisuke	4. 巻 544
2. 論文標題 Effects of anisotropic liquid spreading on liquid transport in arrow-like micropillar arrays	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects	6. 最初と最後の頁 86 ~ 90
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.colsurfa.2018.02.023	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 Chiaki Suzuki, Yasuharu Takaku, Hiroshi Suzuki, Daisuke Ishii, Tateo Shimozawa, Shuhei Nomura, Masatsugu Shimomura, Takahiko Hariyama	4. 巻 4
2. 論文標題 Hydrophobic-hydrophilic crown-like structure enables aquatic insects to reside effectively beneath the water surface	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Commun. Biol.	6. 最初と最後の頁 708
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 桑田力真、吉田将徳、伊藤高人、Hamed Rajabi、石井大佑	4. 巻 56
2. 論文標題 共焦点レーザー顕微鏡による非接触組成分析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 昆虫と自然	6. 最初と最後の頁 29～32
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 該当する

[学会発表] 計40件(うち招待講演 2件/うち国際学会 10件)

1. 発表者名 桑田力真、武藤光司、八重尾太郎、石井大佑
2. 発表標題 フナムシから着想を得た自発的液体輸送の高速化
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 八重尾太郎、武藤光司、桑田力真、石井大佑
2. 発表標題 鋳型法によるバイオメテリック凹凸構造の作製と液体輸送量評価
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 門脇 凜、石井大佑
2. 発表標題 温度応答性架橋高分子膜の作製
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 石井大佑
2. 発表標題 微細構造作製技術を利用した生体模倣材料
3. 学会等名 第232回フォトポリマー懇話会講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石井大佑
2. 発表標題 生物模倣による液体操作技術：超撥水～超親水
3. 学会等名 第62回藤技会主催講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 門脇 凜、石井大佑
2. 発表標題 温度応答性架橋高分子膜の作製と濡れ特性評価
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 桑田力真、武藤光司、八重尾太郎、石井大佑
2. 発表標題 パイオミメティック開放型流路における液体輸送速度の制御
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 T. Yaeo, D. Ishii
2. 発表標題 Liquid Spreading on Bioinspired Textured Surfaces of Wharf Roach
3. 学会等名 IU-MRS-ICA 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石井大佑
2. 発表標題 動的濡れ挙動による表面物性評価
3. 学会等名 材料WEEK 2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taro Yaeo, Koji Muto, Rikima Kuwada, Daisuke Ishii
2. 発表標題 Evaluation of Liquid Transport Ability of Bioinspired Textured Surfaces by Template Method
3. 学会等名 Okinawa Colloids 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rin Kadowaki, Daisuke Ishii
2. 発表標題 Preparation and wettability evaluation of thermoresponsive crosslinked polymer thin films
3. 学会等名 Okinawa Colloids 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rikima Kuwada, Taro Yaeo, Koji Muto, Daisuke Ishii
2. 発表標題 Control of Liquid Transport Velocity of Open-type Micro-blade Arrays Inspired by Wharf Roach
3. 学会等名 MRS Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 八重尾太朗、桑田力真、土井貴裕、河合航輝、石井大佑
2. 発表標題 表面張力を利用したフナムシ模倣流路の新展開
3. 学会等名 第22回ポリマー材料フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rikima Kuwada, Taro Yaeo, Koji Muto, Daisuke Ishii
2. 発表標題 Controlling of Liquid Transport Velocity of Bioinspired Open-type Micro-blade Arrays
3. 学会等名 Okinawa Colloids 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鹿島翼、河合航輝、石井大佑
2. 発表標題 フナムシの脚を模倣したフレキシブルなマイクロ流体デバイスの作製と液体輸送
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 八重尾 太郎、石井 大佑
2. 発表標題 バイオミメティック極微細流路構造の鋳型法による作製と 物性評価
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑田力真、武藤光司、石井 大佑
2. 発表標題 フナムシ模倣流路の液体輸送速度の高速化メカニズム
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 鹿島翼、河合航輝、石井大佑
2. 発表標題 凹凸構造をもつフナムシ模倣流路の作製と濡れ挙動制御
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 八重尾太朗・石井大佑・鹿島 翼・武藤光司・河合航輝
2. 発表標題 フナムシの脚を模倣したバイオメテック微小流路の作製と濡れ挙動評価
3. 学会等名 第8回CSJ化学フェスタ2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Yaeo, D. Ishii
2. 発表標題 Evaluation of wetting behavior by control of array sequences of biomimetic microfine channel structures
3. 学会等名 IUMRS ICA 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Kashima, K. Kawai, D. Ishii
2. 発表標題 Evaluation of Spread Wetting on Biomimetic Microstructured Surfaces
3. 学会等名 IUMRS ICA 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Yaeo, D. Ishii
2. 発表標題 Optimization of Bioinspired Liquid Transport Devices by Array Change
3. 学会等名 MNC 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 八重尾 太郎、石井 大佑、鹿島 翼
2. 発表標題 表面張力を利用した開放型突起構造による高速液体輸送
3. 学会等名 第27回ポリマー材料フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鹿島翼・河合航輝・石井大佑
2. 発表標題 フナムシの脚から着想を得た微細構造による液体拡張制御
3. 学会等名 高分子と水に関する研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑田力真・武藤光司・石井大佑
2. 発表標題 フナムシ模倣流路の高速液体輸送メカニズム
3. 学会等名 高分子と水に関する研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 八重尾太郎・石井大佑・鹿島翼・武藤光司・河合航輝
2. 発表標題 毛管力を利用したバイオメティック極微細流路の液体輸送速度の高速化
3. 学会等名 高分子と水に関する研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 武藤光司、石井大佑
2. 発表標題 1列に並んだ平板状微細突起で構成される開放型流路における液体の拡張ぬれ
3. 学会等名 第 66 回高分子討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鹿島翼、河合航輝、石井大佑
2. 発表標題 フナムシ模倣表面の突起構造の違いによる液体上昇能評価
3. 学会等名 第 67 回高分子討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 武藤光司、石井大佑
2. 発表標題 平板状突起の配列構造における液体ぬれ挙動と 配列構造の独立性
3. 学会等名 第7回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鹿島翼、河合航輝、石井大佑
2. 発表標題 フナムシに倣う微小な凹凸構造と液体輸送能の 関係
3. 学会等名 第7回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 武藤光司、石井大佑
2. 発表標題 Advancing of Liquid Film in Bio-Inspired Structured Surfaces
3. 学会等名 the 8th International Symposium on Surface Science (ISSS-8) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊佐地純麗・石井大佑
2. 発表標題 金属表面におけるフナムシ模倣突起構造の形状とその液滴挙動
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 土井貴裕・石井大佑
2. 発表標題 高低差を有する微細突起流路の作製および液体挙動の評価
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川口貴弘・石井大佑
2. 発表標題 キューティクル模倣構造による液体挙動変化の解析
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉山穂乃佳・犬飼茉莉亜・石井大佑
2. 発表標題 微細構造表面の濡れ性と水中における気泡の動的挙動の相関
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉山穂乃佳・犬飼茉莉亜・石井大佑
2. 発表標題 異なる位相差の微細構造表面による流体抵抗低減能力評価
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊佐地純麗・石井大佑
2. 発表標題 鋳型法により作製された高分子微細構造への直接金属被膜形成
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉山穂乃佳・犬飼茉莉亜・石井大佑
2. 発表標題 Correlation of dynamic wettability of microstructure surfaces between under air and water atmospheres
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 土井貴裕・石井大佑
2. 発表標題 サンプル内で高低差を有する微細突起流路の作製と輸送挙動調査
3. 学会等名 第59回高分子と水に関する討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川口貴弘・石井大佑
2. 発表標題 キューティクル模倣表面の構造変化による異方的な濡れ現象の解明
3. 学会等名 第30回ポリマー材料フォーラム
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 液体制御テ&#12441; ;ハ&#12441; ;イス及ひ&#12441; ;その利用	発明者 石井大佑	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-154923	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------	---------