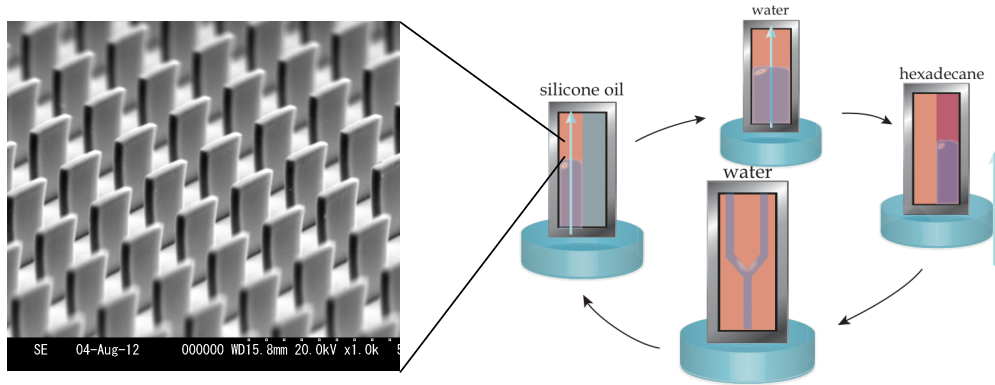


微細構造作製技術を利用した生体模倣材料



名古屋工業大学大学院 生命・応用化学専攻 石井大佑
(TEL/FAX 052-735-5254 ishii.daisuke@nitech.ac.jp)

2019年6月6日 フォトポリマー懇話会 第232回講演会

講演要旨

近年、医療用カテーテルや分析装置といった微小流路をもつマイクロ流体デバイスの研究が盛んである。微小流路のメリットは、分析試料の微量化による廃棄物削減や反応速度上昇による実験効率の向上などが挙げられる。しかし、既存の微小流路はチューブ状の閉塞流路であるため、液体を輸送するために流路内を高圧にする必要があり、不純物付着による流路阻害や洗浄効率の悪化といった問題を抱えている。

生物のもつ表面構造機能を模倣し、上記の問題を解決することを試みた。岸壁に生息するフナムシの後ろ脚には、水を効率よくエラまで輸送する毛状の微小構造で形成されたオープン流路がある。我々のグループでは、表面濡れ性を制御した実際の脚の直接的な物理化学的測定を試み、流路を形成している微細構造の濡れダイナミクスの違いと表面化学組成の違いにより、液体が輸送されている事を明らかにした。これまでに、フナムシの流路構造を模倣した微細表面をフォトリソグラフィにより作製し、表面濡れ性を制御することで、フナムシと同様に親疎水性の違いを利用した水輸送を実現できている。また、作製したフナムシ流路の安全装置を見つけたこと、および、フナムシ模倣流路でも安全装置が再現できることを報告している。

本研究では、表面の微細構造の化学組成を系統的に変化させることで、純水のみならずオイル輸送も可能であることを見いだしたことから、表面修飾のパターニング等により液体輸送および水-オイル分離システムなど、液体輸送制御に関して報告する。

2019年6月6日 フォトポリマー懇話会 第232回講演会

表面構造に由来する機能

Diversity of structure, morphology and wetting of plant surfaces

Kerstin Koch,^{a,b} Bharat Bhushan^b and Wilhelm Barthlott^a *Soft Matter*, 2008, 4, 1943–1963 | 1943

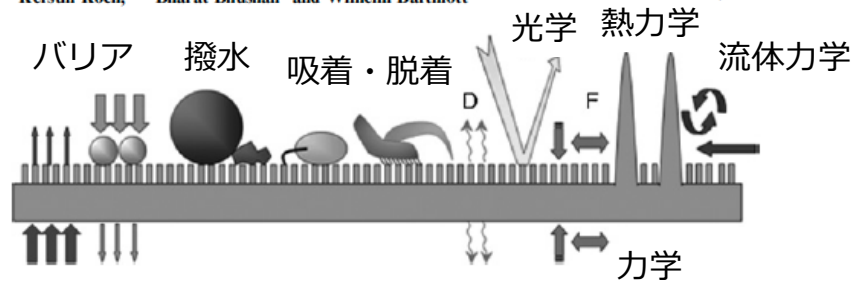


Fig. 1 Schematic survey of the most prominent functions of the plant boundary layer on a hydrophobic micro-structured surface. A) Transport barrier: limitation of uncontrolled water loss/leaching from interior and foliar uptake; B) surface wettability; C) anti-adhesive, self-cleaning properties: reduction of contamination, pathogen attack and reduction of attachment/locomotion of insects; D) signaling: cues for host–pathogen/insect recognition and epidermal cell development; E) optical properties: protection against harmful radiation; F) mechanical properties: resistance against mechanical stress and maintenance of physiological integrity; G) reduction of surface temperature by increasing turbulent air flow over the boundary air layer (modified after ref. 8).

生物は常に自分が生きる環境をセンシングし、環境から身を守り、環境を利用して効率よく生きようとする。その界面が生物表面である。

2019年6月6日 フォトポリマー懇話会 第232回講演会

バイオミメティクスの定義

バイオリジープッシュ

生物学的な発見 → 新技術

- 1) 生物に関する分析
- 2) アナロジー
(生物学的モデル)
- 3) 抽象化 (原理の抽出・一般化)
- 4) プロジェクト/実験計画
- 5) 実験/計算
- 6) 最適化された原型構造/製造
- 7) 応用テスト
- 8) 総合評価
- 9) 発明

テクノロジープル

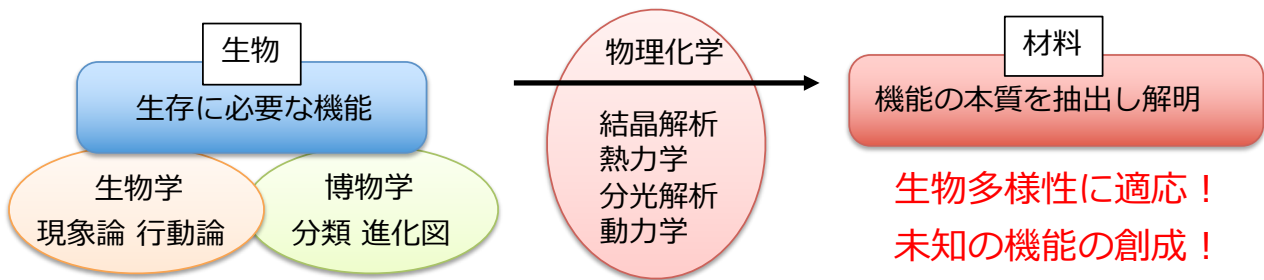
既存技術の問題 → 解決策を生物からヒント

- 1) 既存技術・製品の問題の抽出
- 2) アナロジー
(生物学的モデルとの類似性の検討)
- 3) 抽象化 (原理の抽出・一般化)
- 4) プロジェクト/実験計画
- 5) 実験/計算
- 6) 最適化された原型構造/製造
- 7) 応用テスト
- 8) 総合評価
- 9) 発明

アナロジーと抽象化プロセスが存在しない材料開発はバイオミメティクス材料開発として認められない

2019年6月6日 フォトポリマー懇話会 第232回講演会

バイオミメティクスの実現プロセス



生物分野と物理化学分野の融合で研究促進 → 産学連携で応用開発

生物のもつ機能の本質を解析する必要がある！

物理化学的手法で生物表面を解析する場合の問題点

- ・ 個体間の誤差や生息環境の誤差が非常に大きい
- ・ 既存の測定装置に適したサイズではない場合がある
- ・ サンプル作製から実測定までに時間を要すると表面構造が変化する
- ・ 高真空下では水分が蒸発して表面構造が変化する
- ・ 死ぬと表面の機能を損失することがある

2019年6月6日 フォトポリマー懇話会 第232回講演会

既存の微小流路の問題点

- ・ クローズド流路のため高圧が必要
- ・ 不純物付着による流路阻害
- ・ クローズド空間のため洗浄効率悪化

要素技術の開発

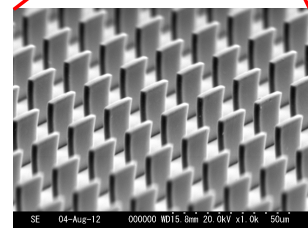
- ・ デバイス設計
- ・ 流体制御機構

分析用デバイス
・ 微量・高速分析
・ 省エネ・省資源

研究用デバイス
・ 研究開発の高速化

生産用デバイス
・ 高速、均一、省エネ
・ スケールアップ研究

オープン流路



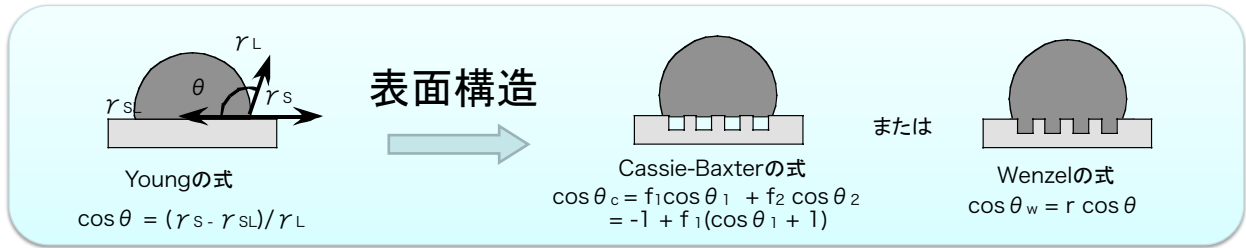
目的

- クローズド流路の問題点をオープン流路の微細構造・表面組成制御により解決
- より安全で省エネルギーなエコプロセスの実現へ！
- これまでに報告例のない現象が観察され、新規微細流路構築の新指針に！

2019年6月6日 フォトポリマー懇話会 第232回講演会

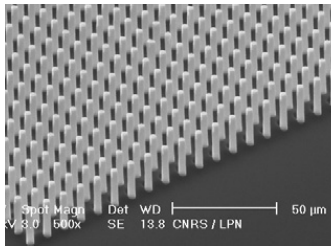
液体操作にとっても重要な微細構造

- 微細構造と化学組成による界面自由エネルギー制御

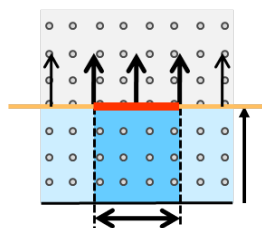


- 微細構造への浸透による液体上昇制御

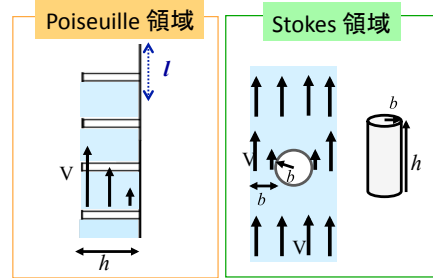
テクスチャー表面



駆動力 (表面張力)



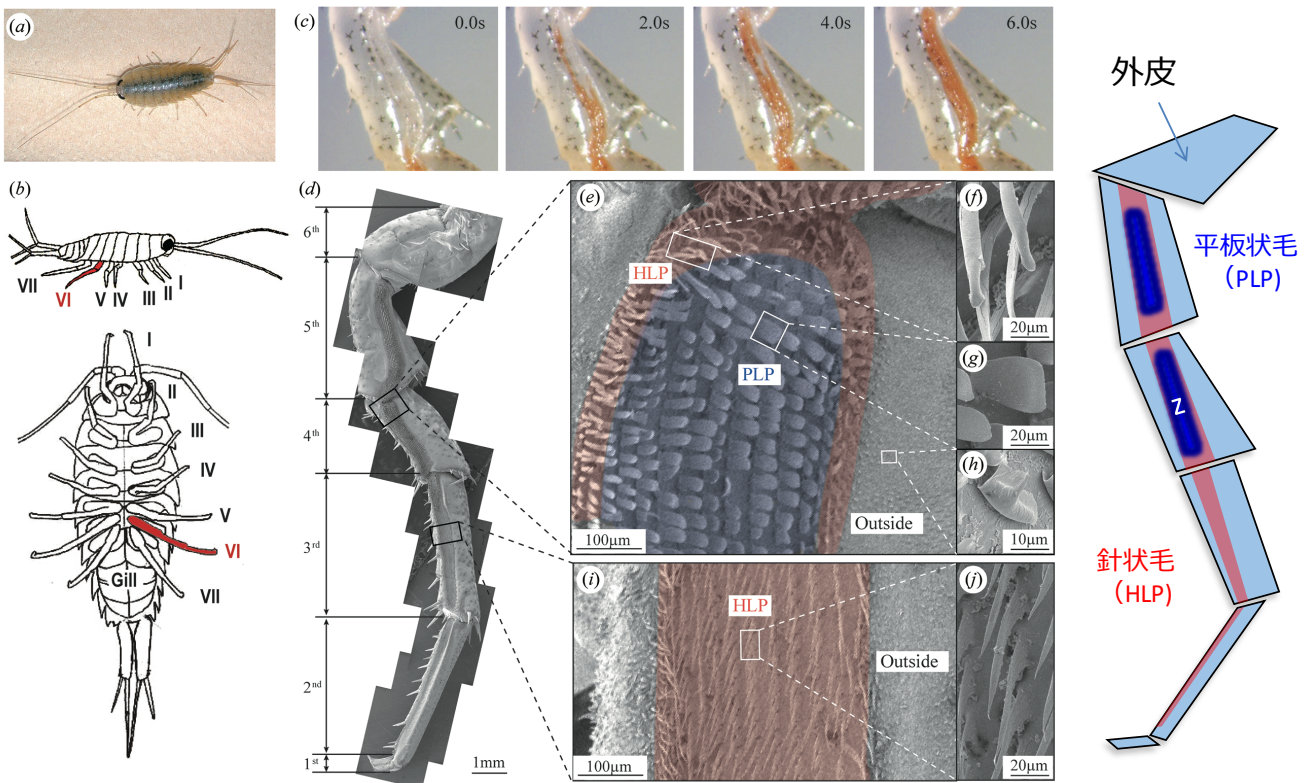
抵抗力 (粘性抵抗)



C. Ishino, M. Reyssat, E. Reyssat, K. Okumura and D. Quéré, *Europhys. Lett.* 79 (2007)

2019年6月6日 フォトポリマー懇話会 第232回講演会

フナムシの脚にみられる微小流路構造



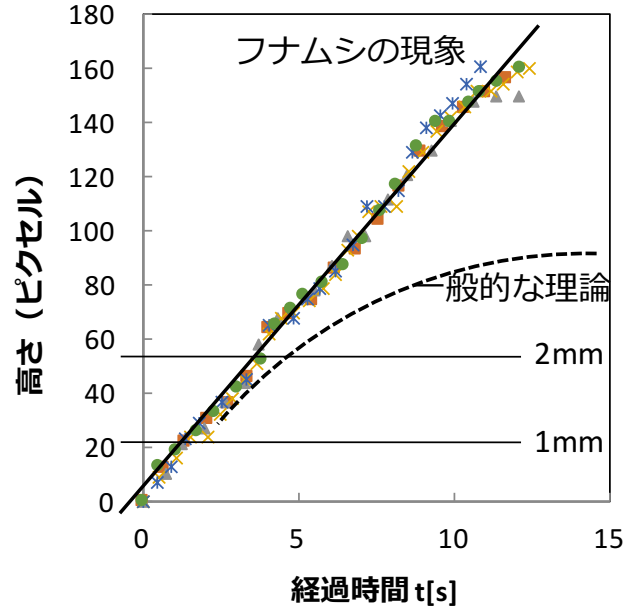
H. Horiguchi, T. Hariyama, et. al., *Biol. Bull.*, 213, 196 (2007).

2019年6月6日 フォトポリマー懇話会 第232回講演会

フナムシの流路の輸送解析（毛細管現象）



(実時間再生)



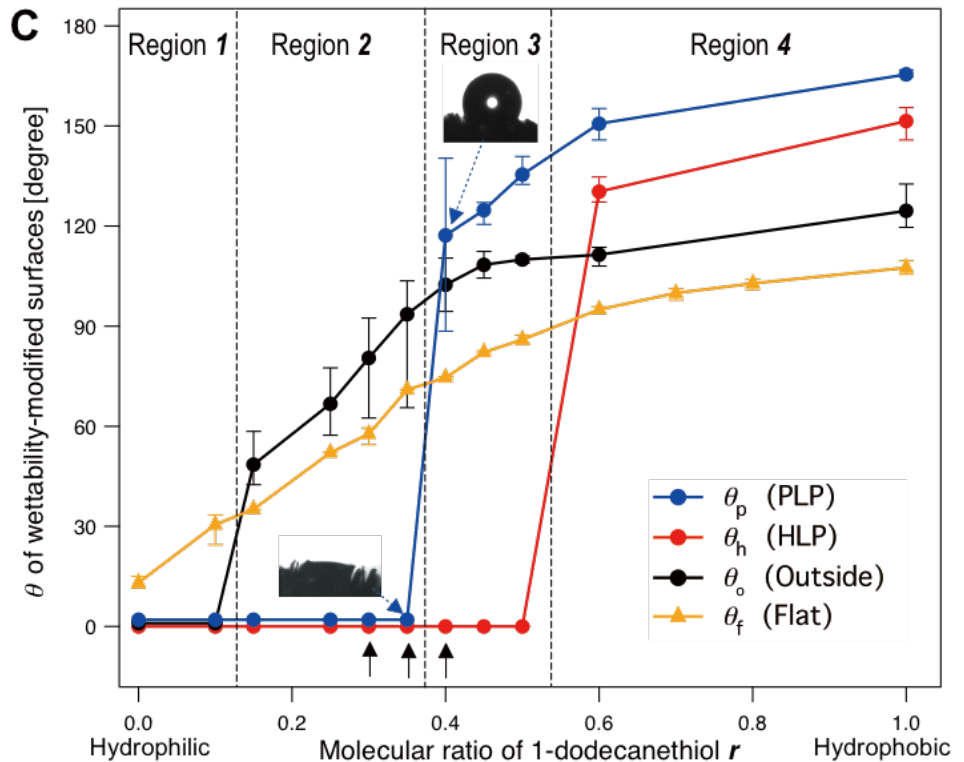
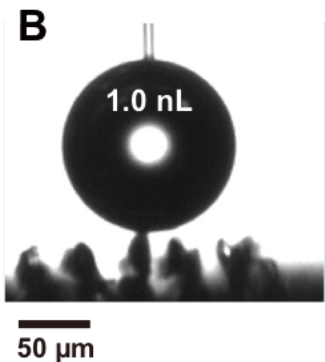
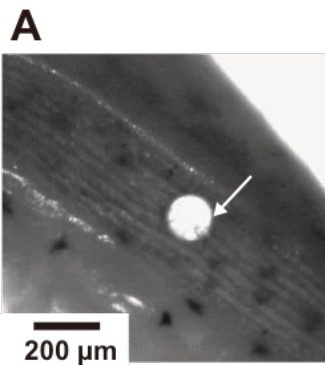
一般的な理論：高さは時間の1/2乗に比例する

全体として時間に対して線形（1乗）に見える?!

M. Tani, D. Ishii, S. Ito, T. Hariyama, M. Shimomura, PLoS ONE, 9(5), e96813 (2014).

2019年6月6日 フォトポリマー懇話会 第232回講演会

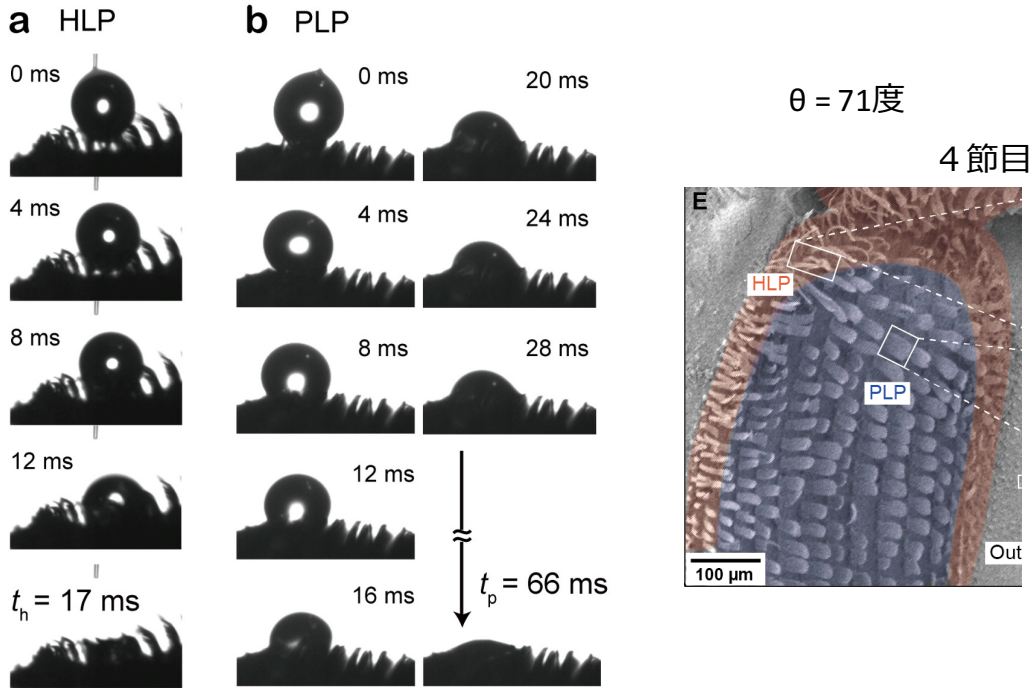
表面修飾したフナムシ脚の濡れ特性解析



毛の微細構造に依存して、濡れ性が異なる

2019年6月6日 フォトポリマー懇話会 第232回講演会

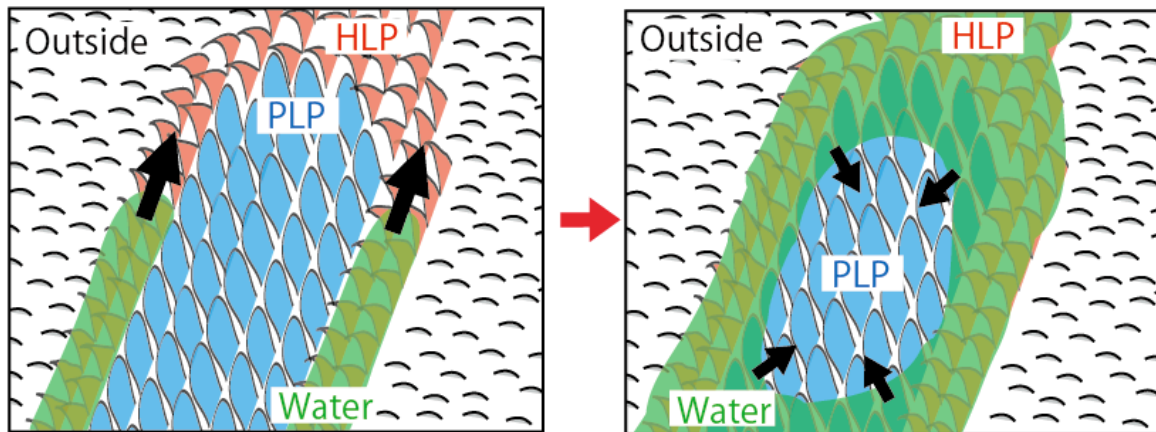
表面修飾したフナムシ脚の濡れのダイナミクス解析



毛の微細構造と表面処理の親疎比率の両方に依存して、濡れのダイナミクスが異なる

2019年6月6日 フォトポリマー懇話会 第232回講演会

オープン流路における微細構造の役割



- 針状 (エッジ) . . . 流路を形成する機能
- 平板状 (中央) . . . 液量を確保する機能
- 外皮 . . . 流路外への流出を防止する機能

オープン流路中の微細構造は、流路促進にも流路抵抗にもなり得る。
 → 微細構造と表面組成の精密設計により、新規オープン流路の設計が可能？

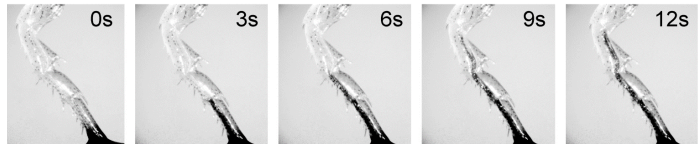
D. Ishii, H. Horiguchi, T. Hariyama, M. Shimomura, et al., Scientific Reports, 3, 3024 (2013).

2019年6月6日 フォトポリマー懇話会 第232回講演会

フナムシ模倣流路の設計

I 生物学モデルの着目

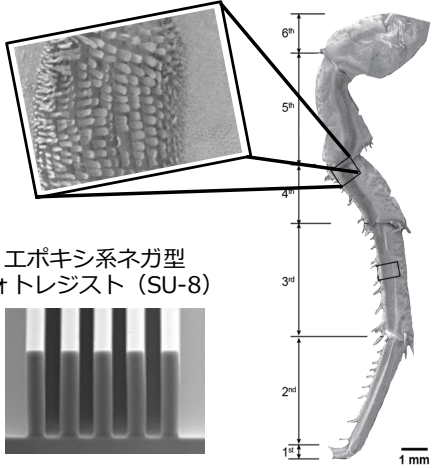
脚側面にオープンキャピラリーで駆動する微小流路があり、**構造由来の吸水現象**



II 機能の抽出

フナムシの吸水には**表面の複雑な化学組成**も寄与

→ **表面微細構造を模倣**

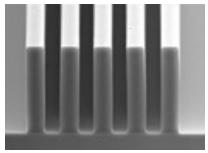


III 応用

フォトリソグラフィーによる表面構造形成

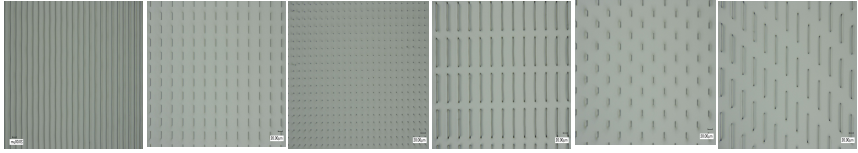


→ **表面エネルギーを使った特異的な吸水を確認**



IV 最適化

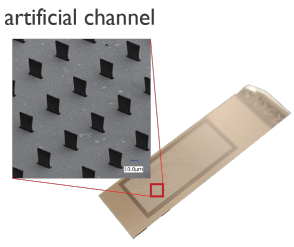
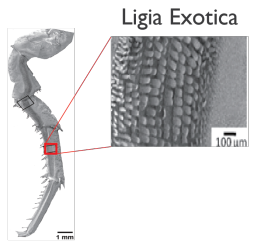
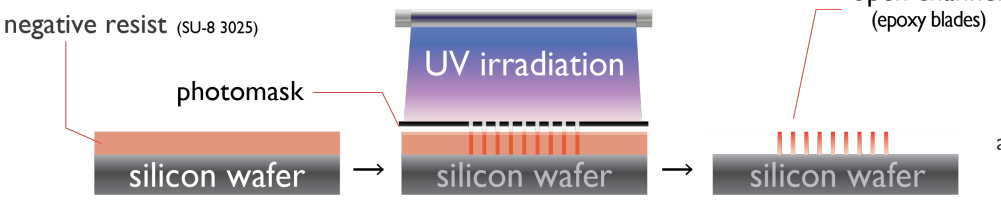
多様な表面構造を形成し、最適な構造・組成を選定



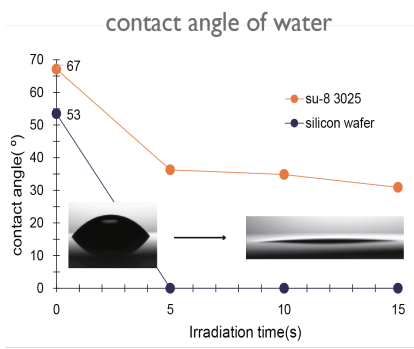
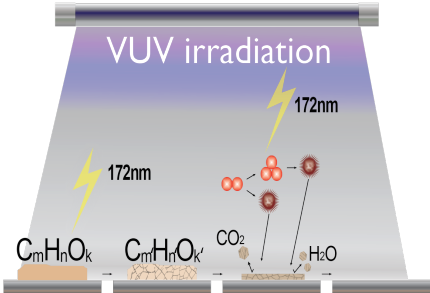
2019年6月6日 フォトポリマー懇話会 第232回講演会

フナムシ模倣流路の作製

フォトリソグラフィ



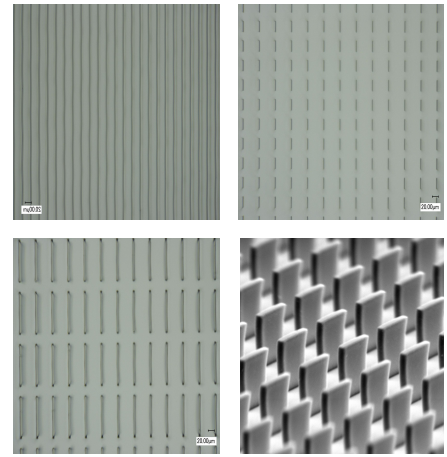
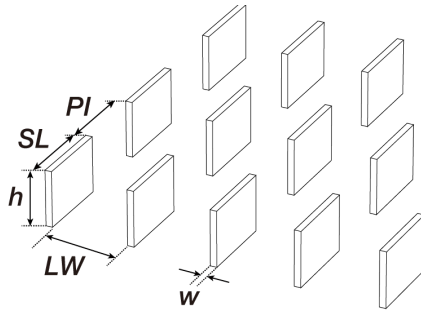
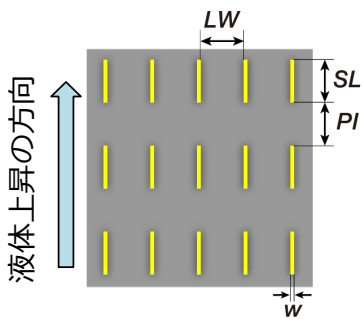
表面親水化処理



約5秒で超親水化

2019年6月6日 フォトポリマー懇話会 第232回講演会

模倣流路の微細構造の最適化



上昇しにくい ← → 上昇しやすい

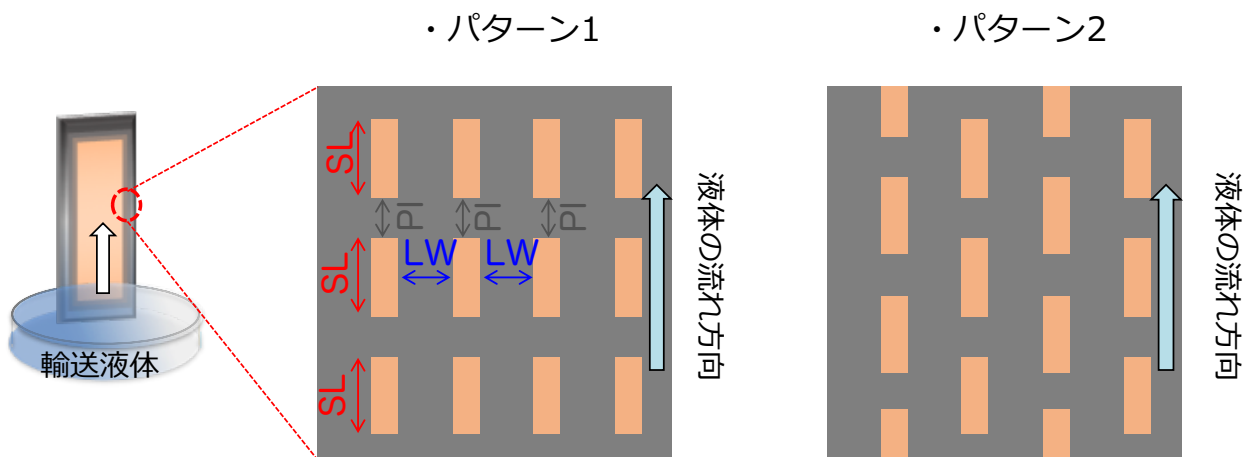
遅い	上昇速度	速い
低い	パターン高さ (h)	高い
広い	ライン幅 (LW)	狭い
大きい	ピッチ間隔 (PI)	小さい
大きい (疎水性)	接触角 (θ)	小さい (親水性)

オープン流路の毛管力やテクスチャー浸透の理論に合致した実験結果

2019年6月6日 フォトポリマー懇話会 第232回講演会

微細構造の最適化

突起の位相をずらし、接触面積を固定



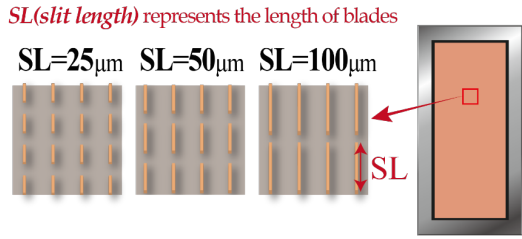
水や粘度の異なる3種類のシリコンオイルを使用

接触表面積は同じ → マクロな構造のもつ表面張力 (駆動力) は同じ

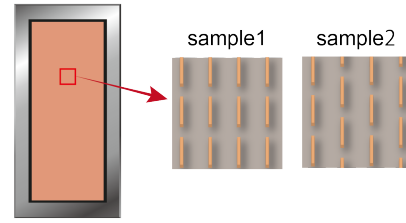
2019年6月6日 フォトポリマー懇話会 第232回講演会

微細凹凸表面の粘性液体輸送効率最適化

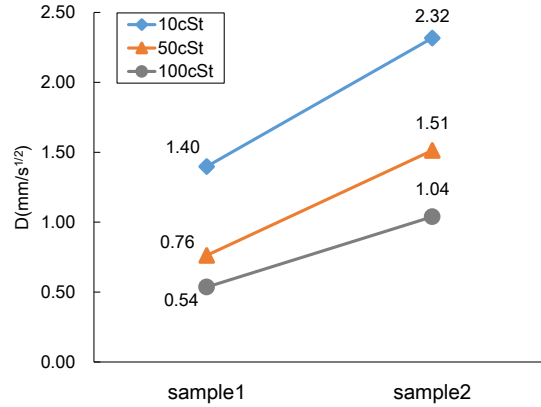
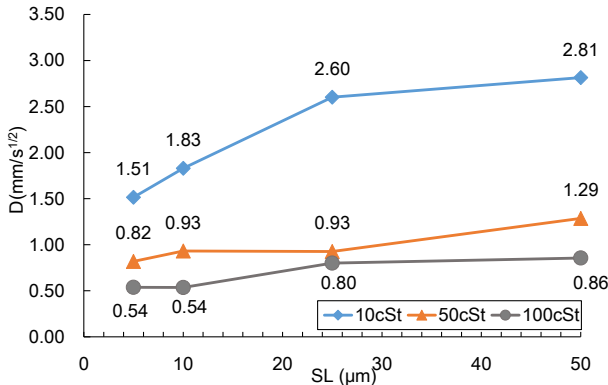
①突起サイズ変化



②配列変化



粘度の異なるシリコンオイル輸送実験

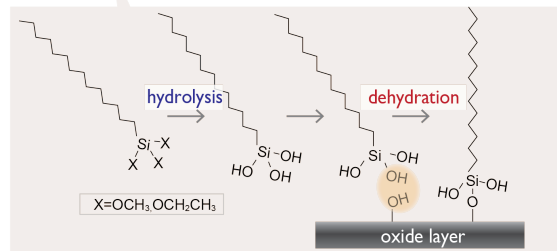
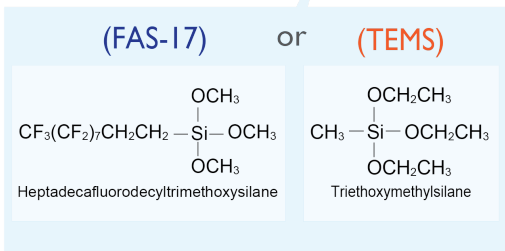
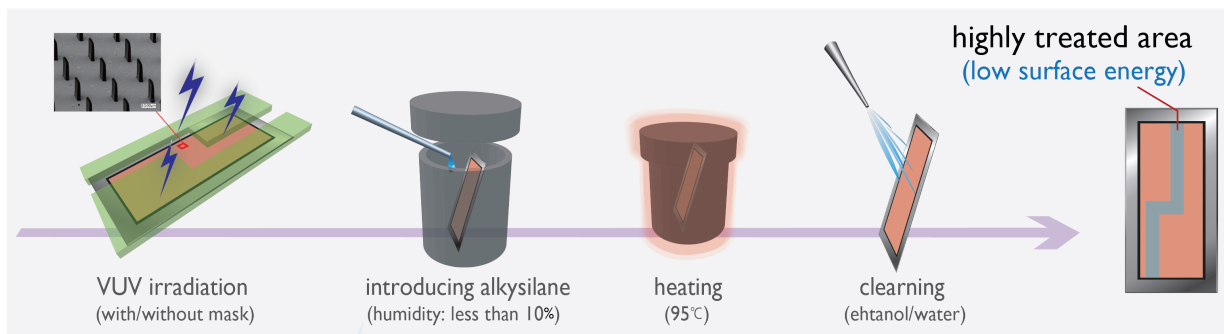


配列変化によって高粘性液体の輸送速度向上に成功

2019年6月6日 フォトポリマー懇話会 第232回講演会

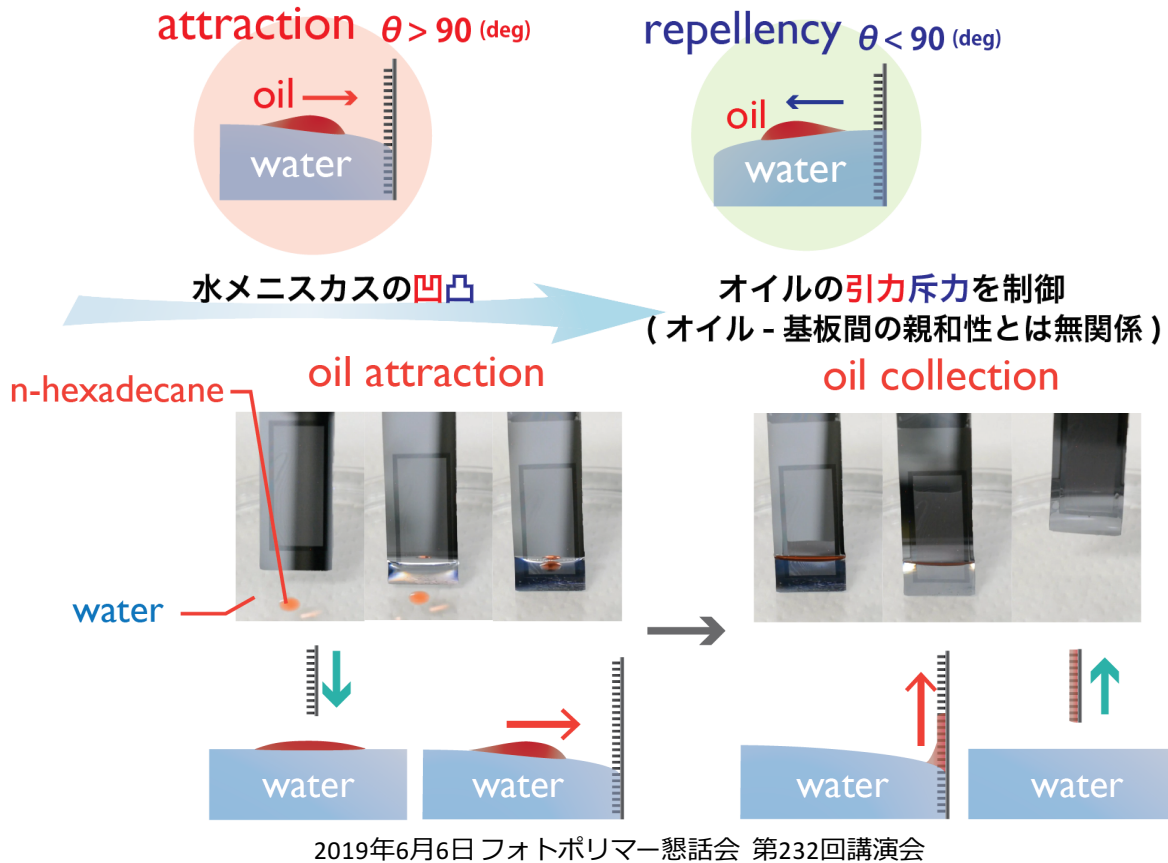
表面組成制御による流路デバイスの構築

CVDによる表面化学組成制御



2019年6月6日 フォトポリマー懇話会 第232回講演会

メニスカスを利用した自発的なオイル分離輸送プロセス



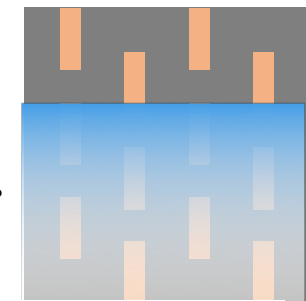
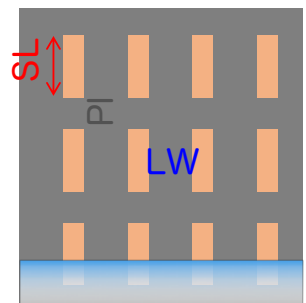
まとめ

◆ 構造制御による流路設計

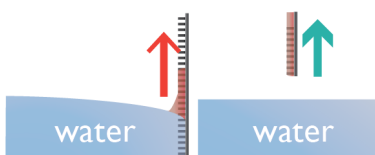
- ・ 流路構造のパラメータ(SL, LW, PI)変化により、液の輸送速度制御に成功。
- ・ 突起配置の調節により、接触面積を変化させることなく、液輸送高速化に成功。
- ・ 粘性の高い油を送液可能な流路の設計に成功

◆ 表面組成制御による流路設計

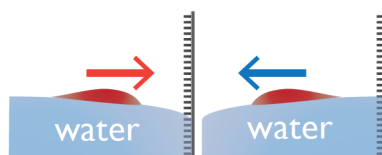
- ・ 流路表面の化学組成変化により、液体の選択的輸送を達成。
- ・ 設計した流路の可逆的な“書き出し”および“書き換え”を達成。
- ・ メニスカスによる液体輸送方向制御
- ・ 環境に依存した濡れ挙動の制御プロセス



1 液体選択的輸送



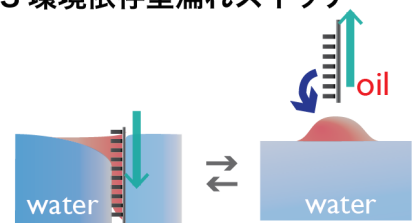
2 引力斥カスイッチ



Attraction

Repellency

3 環境依存型濡れスイッチ



Attachment

Detachment