

吸引不要な微小流路 — 微細構造で効率良く吸い上げ —

フナムシの脚の微細突起構造を模倣した水輸送流路の開発

(名工大若手イノベ・CREST) ○石井大佑

(浜松医大医・CREST) 堀口弘子・針山孝彦 (東北大 WPI・CREST) 下村政嗣

[2Pb28]

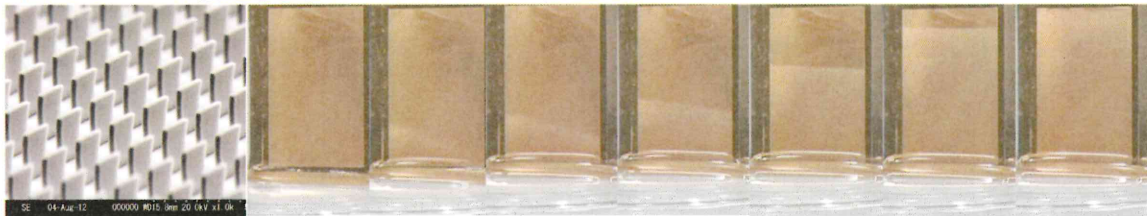
(Tel: 080-3250-2041)

名古屋工業大学若手研究イノベータ養成センターの石井大佑テニュアトラック助教、浜松医科大学医学部の針山孝彦教授、東北大学 WPI の下村政嗣教授らの JST-CREST 研究グループは、ポンプ不要で効率よく液体を吸い上げることが可能な微小流路の開発に成功した。この微小流路は、海辺に生息する甲殻類のフナムシの脚構造を模倣しており、平板状の微細突起毛が異方的に配列している構造をもっている。微細突起毛の配列構造や表面化学組成を制御することで、水だけでなくエタノール等のアルコールやシリコンオイル等の油も吸引ポンプを要せずに重力に逆らって上昇させることができる。開発した微小流路の配列構造や表面化学組成による表面張力と、各種液体の表面張力との相関により発現する界面自由エネルギーを巧みに操作することで、異種液体の分離プロセスへの応用も期待できる。

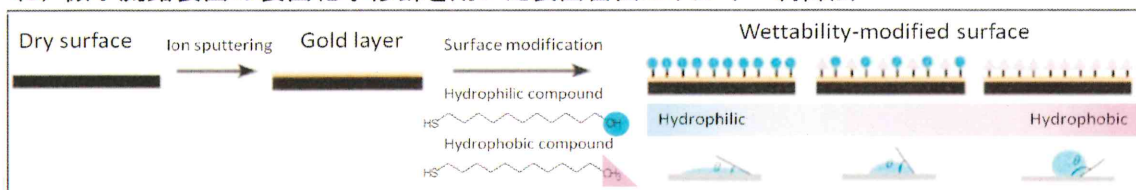
(a) フナムシの微小流路と水輸送現象



(b) フナムシの構造を模倣した微小流路と水輸送現象



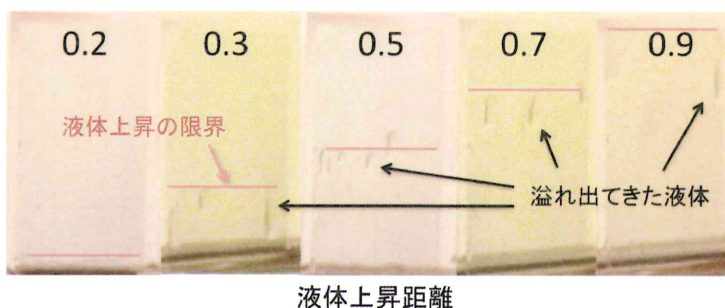
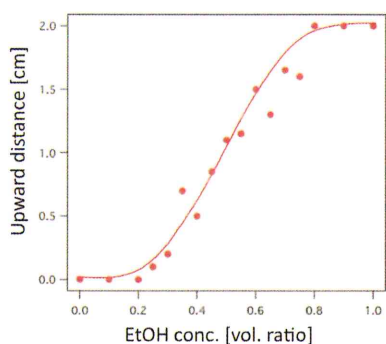
(c) 微小流路表面の表面化学修飾を用いた表面自由エネルギー制御法



● フナムシの脚構造に見られる微小流路と新規流路設計

フナムシは脚表面の微小流路構造を巧妙に使ってエラまで水を吸い上げている。脚先の流路には針状の微毛が配列しており、付け根近傍の流路では平板状の微毛列が中央に配置され、その両側に針状毛の列がある。毛細管現象による微小流路の形成のためには、微小流路表面が流路外と比較して著しく親水性である必要があるが、X線解析等の表面元素分析からは、流路内外での表面組成の差は見られなかった。そこで、微細構造による濡れ性の差により、微小流路が形成していると予想した。微細凹凸表面の濡れ性が、平滑表面に比べて著しく強調されることは、Wenzel や Cassie-Baxter によって明らかにされている。生物表面の微小流路内外の化学組成の差による毛細管現象の効果を排除するために、流路全体を金薄膜で均一に被覆し、組成の明らかな表面修飾剤によって金表面に自己組織化単分子膜を形成させ、表面構造の化学組成は均一で様々な濡れ性をもつ微小流路を作製した。各部分の接触角を測定した結果、流路内の濡れやすさが流路外の濡れやすさよりも著しく良くなる表面組成が存在することが明らかになり、表面の化学組成が均一でも微細構造の違いにより微小流路が形成されることが示唆された。

この結果を基に、フナムシの流路構造を規範として微小流路を設計し、フォトリソグラフィで作製した。表面の化学組成を表面修飾剤により制御したところ、流路内外の濡れやすさの違いを顕著に示す表面修飾組成を見だし、効率的な水輸送を実現できた。また、水とエタノールの混合溶液の上昇過程を観察したところ、エタノールの混合比により液体上昇限界が異なる結果となり、表面張力の異なる液体の視覚的なセンサーとして利用できる事が示された。さらに、通常の流路では流路外に液体を取り出す場合には吸引や加圧などの外力が必要であったが、この微小流路を用いた場合、上昇限界位置から液体が溢れ出す現象が確認でき、外力不要で液体を取り出すことに成功した。これらの仕組みは、全て微小流路のもつ表面自由エネルギーと、液体のもつ表面張力との相関関係によりもたらされる現象であり、新規微細流路の構築の新しい指針となる可能性を秘めている。



水-エタノール混合溶液の上昇過程と上昇限界で液体が溢れ出す挙動の画像

<適用分野>

液体の制御・操作が活用されるデバイスや分野

デジタル・マイクロフレイディクス・デバイス (MEMS、マイクロ TAS など)

微小液体センサー (環境試験)、微量液体輸送システム (医療用途や工業用途)