

防曇制御に応用可能な生体模倣技術による液体輸送

Anti-fog Control by Biomimetic Liquid Transport

桑田 力真、石井 大佑

キーワード：バイオインスパイアド、微細構造、液体輸送、毛細管現象、表面張力

Keywords: Bioinspired, Microstructure, Liquid transport, Capillary action, Surface tension

1. はじめに

酵素解析やDNA解析に用いられるマイクロ流体デバイスや、パソコンなどの電子機器の冷却のための熱輸送に用いられるヒートパイプにみられるように、毛細管現象による液体輸送技術は人々の生活や産業の様々な場面で役立っている。自然界に目を向けると生物は進化の過程で水を輸送する様々な器官を獲得している¹⁻⁵⁾。この器官の構造を解析し、模倣することは、新規液体操作技術の創生に繋がるため意義深い。

本研究では沿岸生物であるフナムシの脚の流路に着目した。流路は微細な毛で構成されており、毛細管現象を利用した受動的な水輸送ができる^{6,7)}。フナムシの流路から着想を得て、微小突起で構成されたフナムシ模倣流路をフォトリソグラフィーで作製した。作製したフナムシ模倣流路の輸送量を推定するために、蛍光色素水溶液の輸送計測を行った。また、突起のサイズや形状や配列の変化が液体輸送速度へ影響を与えるかを調査した。フナムシ模倣流路の輸送時の液膜の厚みと流路構造と液体輸送速度の対応を把握することで、自発的な液体輸送の精密制御を実現できる。このような精密液体輸送制御は、防曇効果が期待される超親水表面での瞬時の液膜生成プロセスへの応用が期待される。

2. 生物の自発的な液体輸送

自然界には濡れ現象を巧みに利用して自発的に液体輸送している生物がいる。例えば、オーストラリアの砂漠に生息するモロクトカゲは、体表全体に細い溝が走っており、わずかな雨や霧や水溜りから、毛細管現象によって水を収集し、それを受動的に口へ輸送し、摂取することができる²⁾。蜘蛛の巣の横糸は、軸となる繊維を親水性のナノフィブリルが周期的に取り巻く構造になっており、霧などの小さな水滴が付着すると、水が凝集してナノフィブリルが収縮し、周期的なコブが形成される。それによって生まれる表面自由エネルギーの勾配とラプラス圧の勾配を駆動力として、糸についた水滴をコブに向かって移動させ、合体させて成長させる。これにより付着した水滴を効率よく収集している³⁾。サボテンは棘に階層的な微細構造があり、それに起因する表面粗さの勾配やラプラス圧の勾配を駆動力として、霧ほどの小さな水滴を、合体させて成長させながら、棘の根本方向に輸送する^{4,5)}。近年、このような生体構造を模倣して、水を無動力で輸送できる材料の研究報告が相次いでいる⁸⁻¹³⁾。

3. フナムシの自発的な液体輸送

本報ではフナムシの脚の微細な毛で構成された流路に着目した。フナムシはエラ呼吸に必要な海水を、脚にある流路を用いて腹部のエラまで輸送している。この流路は、流路縁部を覆う

2021年5月10日受付
KUWADA Rikima, ISHII Daisuke
名古屋工業大学 大学院工学研究科