



2021年2月15日

報道関係者各位

慶應義塾大学
福井大学
理化学研究所

分子スケールの能動的な水輸送機構の提案 —水の豊かな地球環境の実現に向けて—

水は我々にとって最も大事な資源の1つです。将来の生命の持続可能性のために、水の輸送を自在に制御できる技術の開発が世界各国で進められています。慶應義塾大学理工学部の荒井規允准教授、福井大学工学部の古石貴裕准教授および理化学研究所開拓研究本部戎崎計算宇宙物理研究室の戎崎俊一主任研究員の研究グループは、コンピュータシミュレーションによって、水の輸送を行う分子スケールのポンプシステムが可能であることを示しました。

これまで、主にカーボンナノチューブ※1を用いた分子スケールでの水の輸送が提案されてきましたが、それらは濃度差や圧力差によって駆動する受動的な輸送方式でした。本研究で提案したポンプは、チューブ表面に特殊な加工を施すことで、圧力差がない場合や逆の場合（圧力が低いところから高いところへ）でも水を能動的に輸送することができます。本研究で示した方法はこれまでに比べ非常に単純なメカニズムであるため、様々な水輸送技術への応用が可能で、低エネルギーでの人工浄化システムなど持続可能な開発目標（SDGs）を達成するために有効な装置を実現する可能性を秘めています。

本研究成果は2021年2月3日（現地時間）にアメリカ化学会誌「ACS Nano」にて公開されました。

1. 本研究のポイント

- ・これまでにない新たな方法で水輸送方法を提案
- ・圧力差や濃度差などが不要な能動的な水輸送ポンプを実現
- ・これまでに比べ単純なメカニズムかつ極小サイズで水輸送を可能にすることから、例えば24時間365日の安定稼働が求められる人工臓器など様々な水輸送技術への応用・技術革新が期待

2. 研究背景

世界的な人口増加とともに、水不足の問題は今後さらに深刻化すると考えられています。限られた水資源を有効に活用するため、水輸送技術の発展とそれによる技術革新は人類の急務であり、これまで様々な水輸送手法が提案されてきました。特に分子スケールでの水輸送は、地球環境だけでなく、半導体や電池の高性能化、我々の体内環境（健康）とも密接に関わっているため、幅広い分野で精力的に研究が行われています。

これまでいくつか分子スケールでの水輸送手法が提案されてきましたが、それらは周りの環境（圧力差や濃度差）の影響で水が移動する受動的な手法でした。しかし、水の輸送の自在制御のためには環境に左右されない能動的な手法が必要となります。我々は能動的かつ単純なメカニズム（低エネルギー）で駆動する水ポンプの実現を目指し、研究に取り組みました。

3. 研究内容・成果

今回、分子スケールの水輸送機構実現のため、本研究グループはヒト体内の機能に着目しました。なぜなら、我々の体内では健康維持のために、単純かつ極めて高いエネルギー効率で水の輸送が実現されているからです。本研究グループでは以前に、疎水性相互作用※2を利用して気泡を作り出し、モーターと同じ動きを創り出せることを明らかにしました。そしてそれは、未だ解明されていない生体分子モーター※3の駆動原理として考えられることを提案しました[1]。本研究でもそれを踏襲し、ナノチューブの表面に疎水性の加工を施し、図1のようにON（強疎水）とOFF（弱疎水）が交互に切り替わるだけで、水の能動輸送を行う分子スケールのポンプが実現できることを示しました（図1）。

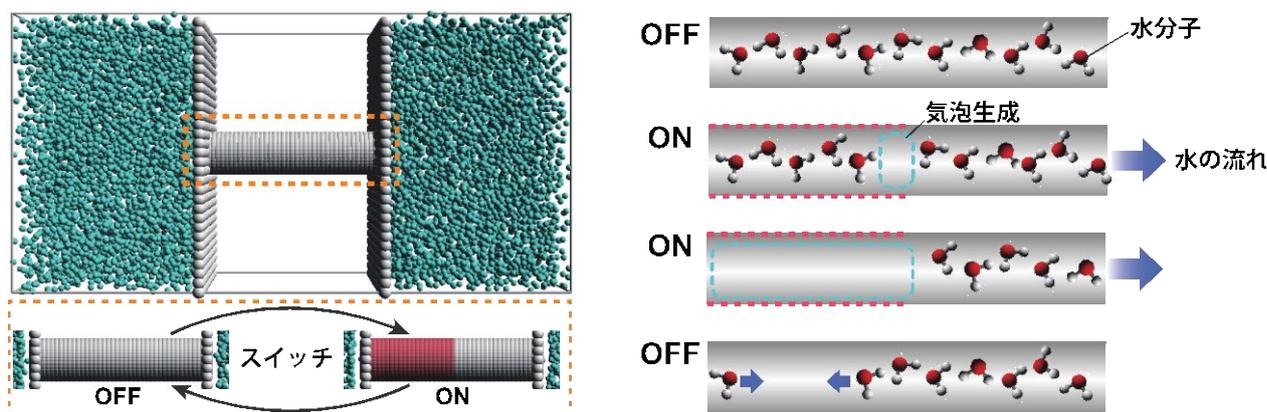


図1 疎水性切り替えによるポンプシステムとチューブ内部の水分子の挙動

4. 今後の展開

提案したポンプシステムは、単純かつ高いエネルギー効率を備えているため、様々な水輸送システムの構築が可能となります。例えば、水質浄化や海水の淡水化など水不足問題に直接アプローチする装置だけでなく、燃料電池内における水移動の制御や半導体内の冷却技術などへも応用の可能性を秘めています。

さらにこの水輸送システムはサイズがナノスケール（100万分の1ミリメートル）ととても小さいため携帯性に優れ、かつ高集積化により24時間365日の安定稼働が求められる人工臓器などへの応用も期待できます。

<参考文献>

[1] Understanding Molecular Motor Walking along a Microtubule : A Thermosensitive Asymmetric Brownian Motor Driven by Bubble Formation（生体分子モーターの歩行メカニズムの理解）、N. Arai. *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.*, **135**, 8616 (2013).

<原論文情報>

タイトル（和訳）：Nanotube active water pump driven by alternating hydrophobicity（疎水性の切り替えによって駆動される水の能動輸送ポンプ）

掲載誌：ACS Nano (DOI: 10.1021/acsnano.0c06493)

著者名：荒井 規允¹、古石 貴裕²、戎崎 俊一³

1 慶應義塾大学理工学部機械工学科、2 福井大学工学部応用物理学科、

3 理化学研究所開拓研究本部戎崎計算宇宙物理研究室

<用語説明>

※1 カーボンナノチューブ

炭素原子で作られた直径が数ナノメートルの筒状の物質。アルミニウムよりも軽く、鋼鉄より強い強度を持ち、自動車や航空機への応用が検討されている。

※2 疎水性相互作用

疎水性とは水と親和性が低い（水をはじく、または水と混ざりにくい）性質である。疎水性を持つ分子同士が水中に存在するときは、水からはじかれる形で互いが集合し、この引力効果が疎水性相互作用である。体内の細胞の形成やタンパク質の安定化にも重要な役割を果たすと考えられている。

※3 生体分子モーター

細胞内でエネルギーを機械的な動きに変換する分子のこと。我々は分子モーターの働きによって、筋肉を動かしたり、生命維持のために必要な物質を体内の至るところに届けたりしている。

※ご取材の際には、事前に下記までご一報くださいますようお願い申し上げます。

※本リリースは文部科学記者会、科学記者会、福井県教育・スポーツ記者クラブ、各社科学部等に送信させていただいております。

・研究内容についてのお問い合わせ先 （注）メールアドレスの※マークは半角@に置き換えてください。

慶應義塾大学 理工学部 機械工学科 准教授 荒井 規允（あらい のりよし）

TEL : 045-566-1846 FAX : 045-566-1495 E-mail : arai ※ mech.keio.ac.jp

・福井大学 工学部 応用物理工学科 准教授 古石 貴裕（こいし たかひろ）

・本リリースの配信元

慶應義塾広報室（澤野）

TEL : 03-5427-1541 FAX : 03-5441-7640

E-mail : m-pr ※ adst.keio.ac.jp <https://www.keio.ac.jp/>

福井大学 広報課

TEL : 0776-27-9733 E-mail : sskoho-k ※ ad.u-fukui.ac.jp

理化学研究所 広報室 報道担当

E-mail : ex-press ※ riken.jp