

樹木流や自然に触発された 太陽光や廃熱などで駆動される持続可能な水輸送

(信州大学工学部) 杉岡 秀行

TEL 026-269-5756 e-mail hsugioka@shinshu-u.ac.jp

I. はじめに

今や地球温暖化が人類の大きな脅威となっており、「環境制約対応型の社会形成」は急務である。しかし、エネルギー・水・食料問題の繋がりや、その環境やエコシステムあるいは健康への影響は、複雑で互いに絡みあつた問題である。一方、5億年前のカンブリア爆発期頃に現れた、木の水輸送や植物の原形質流動は、人間のつくるマイクロポンプを超えたものがあり、人間が学ぶべき設計思想がそこにある。また、SDGの一環として、電気のいらないポンプ、太陽光で流れる小川、用水路、人工ツリーはできないものかと、エネルギー変換、熱流体工学の観点から検討を重ねてきた。本報告では、“樹木流や自然に触発された太陽光や廃熱などで駆動される持続可能な水輸送”について、最近の我々の研究を紹介する。

II. 樹木の弁構造に触発された光点滅型人工ツリーの研究[1]

木はなぜ水を 100 m 以上くみ上げることができるのか？通常の人工ツリーは、蒸散現象を模したものがほとんどであるが、この間に答えていない。これに対し、我々は日周運動と木が内蔵するトールスと呼ばれる弁構造に着目した空気圧制御型の人工ツリーを提案し、水を光で 30 cm ほど吸い上げ、取り出せることを示した。また、この原理を使えば多段式にすることで 100 m 以上くみ上げられる可能性がある。

詳しくは、樹木における水の輸送は、道管の死んだ管状の細胞（仮導管と呼ばれる）で行われ、仮導管はピットペアによって接続されている。さらに、一対のピットの間にはピット膜と呼ばれる構造があり、ピット膜（またはトーラス）はバルブとして機能する。つまり、バルブは通常、樹木に存在する。また、凝集張力理論によると、樹木における水の輸送は蒸散に伴って負圧の勾配に沿って発生するが、小さな気泡が仮導管に膨張する現象はキャビテーション（またはエンボリズム）として知られている。つまり、樹木には通常、空気タンク（空洞部分）が存在している。さらに、健康な樹木では、空洞部分は水で満たされている。それゆえ、仮説ではあるが、日周運動などによる光の点滅があると、点灯時に空気タンクが高圧になり、消灯時に空気タンクが低圧になるため、もしバルブに方向性があると、樹木においても空気圧型ポンプとして作動する可能性があるのでないかと考えている。

III. 太陽光や廃熱による対流を利用した水輸送[2-6]

流れの制御は、流体研究者の基本的な問い合わせである。特に、未利用熱を有効に利用するために、方向性のある正味の流れを作り、電気エネルギーに変換したり、持続可能な水輸送、水の浄化、海水からの飲料水の精製、食糧供給のための農業用灌漑、砂漠の緑化など、本来多大なエネルギーが必要とされるシステムに直接応用できるようにしたりする事は重要な課題である。この課題に対し、我々は、対流の方向を制御して周期的な温度勾配からの機械的エネルギーを創出できる対流型 Buttiker-Landaur pump (BLP) の基礎概念を提案し、実証した。

IV. 廃熱による核沸騰を利用した水輸送[7-10]

沸騰現象を利用した熱力学的サイクルは、ランキンサイクルの名で知られ、産業革命を

牽引した。また、現在も、発電所のタービンの駆動力として、エネルギー供給の中核を担う。しかし、それは、ボイラーによって、水を完全に高圧の蒸気に変えて、その高圧の蒸気圧によってタービンを回すもので、低温の未利用熱を利用できる技術ではない。また、現在、プライマリーエネルギーの 1/3 しか利用できていない現実がある。それゆえエネルギー変換技術として有望な沸騰現象を、低温の未利用熱を有効利用できる技術に進化させることは重要である。そこで、我々は、核沸騰を利用したなポンプを提案し、その性能を検証した。

V. 放電を利用した水の殺菌ポンプ[11]

安全な水を提供するため、殺菌作用を持つ水中放電を使った回転ポンプを提案し検証した。

VI. まとめ

既存の再生可能エネルギー技術は、費用や投入エネルギーと回収できるエネルギーとの関係で必ずしも、最終的な解ではない。それゆえ、より良い持続可能な水輸送の技術の開発が重要と考えている。

謝辞

This work was partially supported by JSPS KAKENHI Grant Number 21K18698

Reference

1. Hideyuki Sugioka, Kazuma Matsuo, “Sustainable bio-inspired water pump using a thermo-pneumatic phenomenon with a blinking light”, Appl. Phys. Lett. 123, 193902 (2023)
2. Hideyuki Sugioka and Yusuke Someya: Natural circulation pump with asymmetrical heat transfer wall as the element of Büttiker- Landauer thermal ratchet, Phys. Fluids 32, 112016 (2020)
3. Hideyuki Sugioka, Saki Hatanaka, and Yusuke Someya, “Sustainable light-driven water pump using Büttiker- Landauer ratchet”, Appl. Phys. Lett. 120, 123901 (2022)
4. Hideyuki Sugioka, Yusuke Someya, “Rapid increase in strength of vortices and a directional net flow due to Marangoni force in Büttiker- Landauer ratchet”, Physics of Fluids 34, 064113 (2022)
5. H Sugioka, H Yoshijima: Sustainable high-pressure light-driven water pump with a spiral tube structure and Büttiker- Landauer ratchet, Physics of Fluids 34, 114121 (2022)
6. Hideyuki Sugioka, Hiroki Yoshijima, and Shintaro Ushio, ” Sustainable Macroscopic Guide-Wall-Less Light-Driven Water Pump Using Light-Absorbing Triangular Prism Structures with a Büttiker- Landauer Ratchet”, J. Phys. Soc. Jpn. 92, 114401 (2023)
7. Hideyuki Sugioka, Narifumi Higuchi, and Yusuke Someya: Self-propelled bubble pump in a nucleate boiling regime, Japanese Journal of Applied Physics 60 108001 (2021)
8. Hideyuki Sugioka and Atsushi Miyauchi, “Generation of a net flow due to fixed oblique beam structures in the nucleate boiling region”, Physics of Fluids 35, 024102 (2023)
9. Hideyuki Sugioka, Atsushi Miyauchi, Atsushi Oshiro, “Water transportation using a low-height overhang structure along with an expansion pressure of bubbles in a nucleate boiling region”, Physics of Fluids 36, 024124 (2024)
10. Hideyuki Sugioka, Atsushi Miyauchi, “Generation of a Net Flow Using a Two-phase Büttiker - Landauer Ratchet Pump in a Nucleate Boiling Region”, J. Phys. Soc. Jpn. 93, 064402 (2024)
11. Hideyuki Sugioka, Daisuke Sumida, and Kazuma Matsuo: Rotary pump using underwater electrical discharge, Jpn. J. Appl. Phys. 63 097002 (2024)