

信州大学繊維学部・施建准教授ら、魚の鰓の塩排出機構に着想を得た 全バイオマス型ソーラー蒸発材を開発

—高濃度塩水でも塩の蓄積を抑え、太陽光による長時間の淡水化を実現—

信州大学学術研究院繊維学系の施建 准教授(繊維学部機械・ロボット学科、信州大学 Rising Star 教員)らの研究チームは、魚の鰓が海水中でイオンを調節する仕組みに着想を得て、高濃度塩水でも塩の蓄積を抑えながら、太陽光による淡水化を長時間継続できるバイオマス系エアロゲル蒸発材を開発しました。その成果は、Springer Nature が発行する国際学術誌 Nano-Micro Letters に掲載されました。

太陽光を利用して水を蒸発させ、蒸気を凝縮して淡水を得る太陽光駆動型界面蒸発は、電力への依存を抑えながら海水や高濃度塩水を処理できる技術として研究が進められています。一方で、蒸発が続くと水だけが失われるため、塩分が蒸発面に集まり、塩の結晶が表面や内部に蓄積するという問題があります。特に塩濃度が高い水を長時間処理する場合、この塩の蓄積によって水の供給や蒸発が妨げられ、性能が低下することが大きな課題となっています。

今回の研究では、この問題を解決するため、海水中で塩分を調節しながら水を取り込む魚の鰓の機能に着目しました。材料には天然由来のカルボキシメチルキトサン(CMCS)とアルギン酸ナトリウム(SA)を基材とし、竹由来カーボンを光熱変換材として組み込んだ多孔質エアロゲルを作製しました。材料中の負電荷によるイオン排除作用と、表面に形成される薄い水膜による水輸送を組み合わせることで、蒸発面への塩分の集中を抑制しました。

開発したエアロゲルは、1sun の光照射下で 3.5 wt% NaCl 水溶液に対して $2.88 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ の蒸発速度を示しました。また、20 wt% NaCl 水溶液において 24 時間にわたり約 $2.53 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ の安定した蒸発速度を維持し、目立った塩結晶の形成を抑制しました。さらに、1 日 10 時間の光照射を 7 日間繰り返した試験では、平均 $32.63 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ の水生成量を達成しました。

実海水を用いた試験でも、8 時間の連続照射において $2.85 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ の蒸発速度を維持しました。得られた水では、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} などの主要イオンが大幅に低減され、総塩分量は処理前と比較して約 3 桁低下しました。

屋外での実証試験も信州大学上田キャンパスで実施しました。秋季の自然光を利用した試験では、最大日射強度が 0.76 sun という条件でも、正午に $2.16 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ の蒸発速度を記録しました。また、異なる気象条件下で 4 日間の屋外試験を行った結

果、日射量の変化に応じて安定した蒸発挙動を示しました。天然海水中に 20 日間浸漬した後も、圧縮回復性、湿潤状態での機械的安定性および蒸発性能が維持されました。

本研究の特徴は、魚の鰓に見られるイオン調節と水輸送の考え方を材料設計に取り入れ、塩蓄積という太陽光蒸発技術の主要な課題に対して、イオン排除と水膜輸送を組み合わせで対応した点にあります。天然由来材料を主体とする本技術は、電力や大型設備への依存を抑えた海水淡水化・廃水処理技術の発展に貢献することが期待されます。

掲載誌

Springer Nature の国際学術誌 Nano-Micro Letters, Volume 18, Article 435 (2026)

論文タイトル

“Gill-Inspired Dual-Effect All-Biomass Aerogel Evaporator Overcoming Salt Accumulation for Sustainable Solar Desalination”

著者

Nuo Liu, Chunqing Niu, Xin Zhang, Deqian Yang, Weiyang Gu, Guangyu Zhang, Haifeng Zhang, Chunhong Zhu, Jian Shi

DOI

<https://doi.org/10.1007/s40820-026-02284-8>

研究支援

本研究は、独立行政法人日本学術振興会(JSPS)科学研究費助成事業(25KJ1373)および JSPS「地域中核・特色ある研究大学強化促進事業(J-PEAKS)」(JPJS00420230007)の支援を受けて実施されました。

〈本件に関するお問い合わせ先〉

〒386-8567 長野県上田市常田 3-15-1

信州大学 繊維学部 機械・ロボット学科 施建 准教授

TEL: 0268-21-5438 E-mail: shi@shinshu-u.ac.jp