

補助事業番号 2024M-481

補助事業名 2024年度

細線周方向への液滴輸送を利用した霧からの液体回収の高効率化 補助事業  
補助事業者名 岡山大学 山田 寛

## 1 研究の概要

世界では20億人程度が淡水を自由に使うことができない状態にあり、この課題解決のため霧から液体回収が注目されている。本研究では、回収装置となる細線に付着した液滴の挙動を制御することで、高効率に回収可能な装置の開発を目指している。具体的には、細線の周方向に超はっ水性から超親水性となる濡れ性の変化を持たせることで液滴を輸送し、回収量への影響を評価した。また、ハープ状に並べた細線同士の間隔や、霧の流速が回収量に与える影響について実験的に検討した。

## 2 研究の目的と背景

水は多くの生き物にとって不可欠であるだけでなく、工業的にも重要な資源として認識されている。一方、淡水は地球上の水の数%しかなく、人類が利用できるのは湖や河川など、そのうちのごくわずかとされている。そのため、工業的に淡水を得る手法が検討され、蒸留や逆浸透を利用した手法が用いられている。しかしながら、これらは水源や多くのエネルギー投入が必要であるため、それらのないところでは異なる淡水製造技術が求められている。その手法の1つとして、空気中を漂う霧からの液体回収が近年注目されており、平板やメッシュ、ハープ形状など、様々な回収装置が提案されている。本研究ではハープ形状の装置に着目し、ハープを構成する細線上での液滴挙動を制御することで、より高効率に液体を回収することを目標にしている。

## 3 研究内容

### (1) 液滴輸送挙動の評価

[https://www.cc.okayama-u.ac.jp/heat\\_transfer/heattransferlab/result\\_JKA.html](https://www.cc.okayama-u.ac.jp/heat_transfer/heattransferlab/result_JKA.html)

細線には直径0.5mmの銅線を使用し、濡れ性調整のための処理を施した。その後、表面の一部をプラズマエッチング処理することで親水面を露出させた。図1(a)に実験に使用した装置の概要を示す。霧発生槽で生成した霧をファンによって細線に吹き付ける構造となっており、細線は霧の出口から40mm

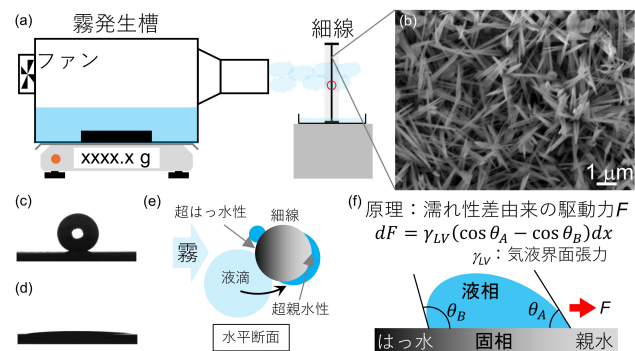


図1 (a)霧回収実験装置の概要 (b)細線のSEM像 (c)細線に付着した液滴移動の概要 (d)超はっ水面上の液滴 (e)超親水面上の液滴 (f)液滴移動の物理

後方に設置されている。図1(b)に細線表面の構造を示しており、数百nm程度の太さの針状構造が確認された。同様な処理を行った平板による濡れ性評価結果をより、表面構造とはっ水化処理では図1(c)に示すように液滴は球状を保つ超はっ水性を示し、はっ水被膜を除去することで図1(d)に示すように液体が薄く広がる超親水性を示すことが分かった。これより、細線の片側を超はっ水性、反対側を超親水性として霧の上流側に超はっ水面が来るように設置することで、細線に付着した液滴は周方向に輸送されると予想される(図1(e))。この際の物理は、液滴両端における濡れ性の差に起因する力(図1(f))によるものと考えられる。

液滴輸送挙動を評価するため、細線全体を超親水性(SHL)としたもの、超はっ水性(SHB)としたもの、SHBの一部をSHLとしたHybridのもの3つを用意した。図2には、Hybrid細線に付着した液滴の挙動を示す。矢印で示された液滴が細線の周方向に超親水側まで移動していることがわかる。これは、細線に付着していた液滴が霧中の液滴と合体

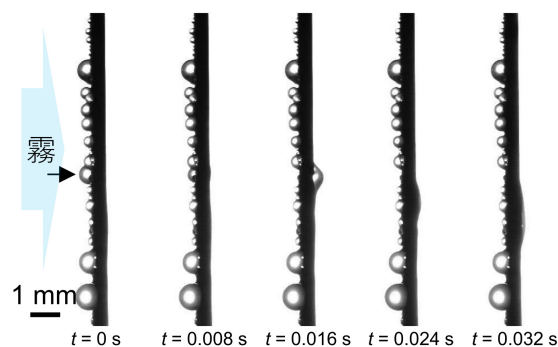


図2 Hybrid細線上での液滴輸送

することで成長し、図1(f)に示すメカニズムで移動したのと考えられる。一方、SHB細線では成長した液滴が重力によって細線から離脱し、下方に付着している液滴を巻き込みながら落下する様子が見られた。また、SHL細線では細線表面に液膜が形成されるのみであった。

## (2) 液体回収量の評価

[https://www.cc.okayama-u.ac.jp/heat\\_transfer/heattransferlab/result\\_JKA.html](https://www.cc.okayama-u.ac.jp/heat_transfer/heattransferlab/result_JKA.html)

液体回収量は、霧の流路幅(25mm)内に細線を配置した回収装置(図3(a))を用いて評価した。ここでは、細線中心同士の間隔 $w$ を3.0、2.0、1.5、1.0および0.75mmに変更し、これによって霧流路断面における回収装置の面積割合を示すShade coefficient( $SC_{geo}$ )が0.17、0.25、0.33、0.50および0.67となるようにした。また、図3(a)に示す細線配置( $SC_{geo}=0.25$ )を1段として、図3(b)に示すように複数段を霧の流れ方向に重ねた回収装置を用いて実験を行った。各段間の距離 $h$ は1.0mmとし、2~5段まで実施した。なお、霧の速度は1.5、2.0、3.0および4.0m/sに変更して実験を行った。

図4にHybrid細線を1段配置した際の実験結果を示す。ここで回収装置の性能は、霧発生槽

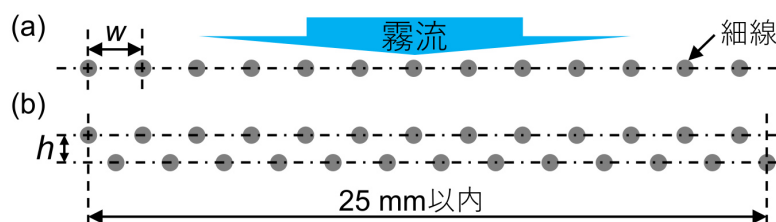


図3 霧回収装置における細線配置の模式図 (a)1段の場合および(b)2段の場合

から回収装置に向けて吐出された霧の質量に対する回収量の割合(回収効率:  $\eta$ )で評価している。また、図2からわかるように、細線に液滴が付着することで流路断面に対する回収に寄与する面積割合が増加する。この時の実効  $SC(SC_a)$  は、実験中の様子から解析することで求めている。これらを踏まえて図4を見ると、各速度において回収効率は  $SC_a$  とともに増加し、最大値を示した後に低下していることがわかり、この傾向は線で示された理論的傾向とも一致

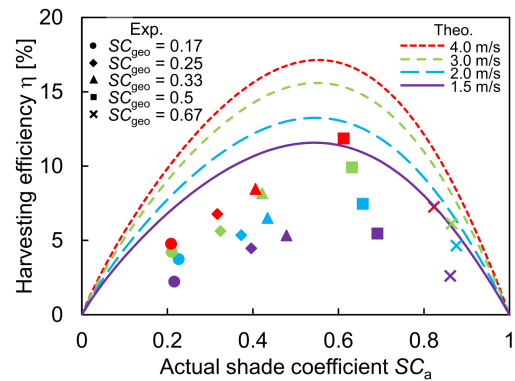


図4 Hybrid細線を用いた回収装置(1段)での実験結果

している。これは霧回収に寄与する断面積が大きくなりすぎる( $SC_a=0.6$ 程度以上)ことで流れの抵抗となり、回収装置に流入する霧の量が低下したためである。一方、 $SC_{geo}$ によらず、流速が増加するほど回収効率は向上しており、これは流路中の霧粒子の持つ慣性力が大きくなることで細線を回避しにくくなるためである。また、各  $SC_{geo}$  において流速が増加すると  $SC_a$  が低下する傾向がみられる。これは流速が増加することで細線に付着している液滴が後方の超親水性部分に輸送されやすくなったためと考えられ、これらの結果は液滴が付着した後の  $SC_a$  が0.5~0.6となるように流速に合わせて  $SC_{geo}$  を調整することが回収量の最大化につながることを示唆している。なお、得られた回収効率の最大値は11.9%であり、理論値と比較して5%程度低いものであった。これは回収した液滴の蒸発や、付着した小さな液滴が霧流に飛ばされてしまうなどしたためと考えられる。

さらに回収量の増加を図るため、図3(b)のように複数段設置した際の回収量について評価した。図5(a)には、各濡れ性細線を2段設置した際の結果を示す。霧流上流側から見た回収装置の断面積は千鳥配列とするため  $SC_{geo}=0.5$ となるが、1段かつ  $SC_{geo}=0.5$ の結果と比較して回収量が増加していることがわかる。また、ミリ流速4.0m/sにおける回収量の最大値は15.4%となることがわかった。

図5(b)には、1.5 m/sの条件で5段まで設置段数を増やした際の回収効率を示している。どの濡れ性においても段数が増加することで回収効率も増加するが、やがて減少に転じるのがわかる。特にSHBでは4段で減少に転じている。これは段数が増すことで回収装置としての  $SC_a$  の増加が顕

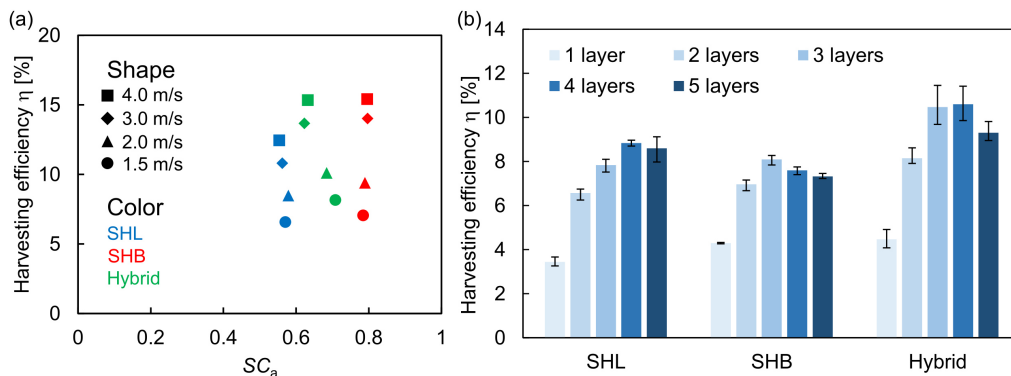


図5 各濡れ性の細線を複数段設置した際の回収効率の結果。(a)2段設置時の回収効率と流速の関係。(b)v=1.5 m/sにおける回収効率

著となったことが原因であると考えられる。一方、Hybrid細線では液滴が輸送されることで回収効率の良い $SC_0$ を維持することができるため、4段設置まで回収効率が増加したと考えられる。

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

水は人間が生きてゆくために必須の資源であり、供給網の発達していない山岳地域などで実用化することで、生活用水の一部を賄うことができると考えられる。しかし、本研究で使った霧は自然発生する霧と比較して数十倍濃いため、より大型の回収装置の構築が必須である。また、流速や風向きも安定しないことが想像できるため、今後もより高効率な回収装置を検討していく必要がある。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

霧からの液体回収の研究は2020年ごろから行ってきた。当初は細線間での液滴輸送を利用していたが、さらなる高効率化を目指して周方向に濡れ性変化を有する細線の利用に至った。今後も回収効率向上に向けて検討する予定である。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

該当なし

#### 7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

成果報告書

[https://www.cc.okayama-u.ac.jp/heat\\_transfer/heattransferlab/result\\_JKA.html](https://www.cc.okayama-u.ac.jp/heat_transfer/heattransferlab/result_JKA.html)

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

日本伝熱学会 伝熱分野のカーボンニュートラルへの取り組み HP

<https://htsj-carbon.jp/initiatives/> (⑫液滴・濡れ性)

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 岡山大学工学部（オカヤマダイガクコウガクブ）

住 所： 〒700-8530

岡山県岡山市北区津島中3-1-1

担 当 者： 講師 山田 寛（ヤマダ ユタカ）

担 当 部 署： 学術研究院環境生命自然科学学域

（ガクジュツケンキュウインカンキョウセイメイシゼンカガクガクイキ）

E - m a i l： y.yamada@okayama-u.ac.jp

U R L： [https://www.cc.okayama-u.ac.jp/heat\\_transfer/heattransferlab/index.html](https://www.cc.okayama-u.ac.jp/heat_transfer/heattransferlab/index.html)