

濡れ性差で駆動される液滴輸送を利用した霧からの液体回収

Fog harvesting using unidirectional droplet transport driven by wettability difference

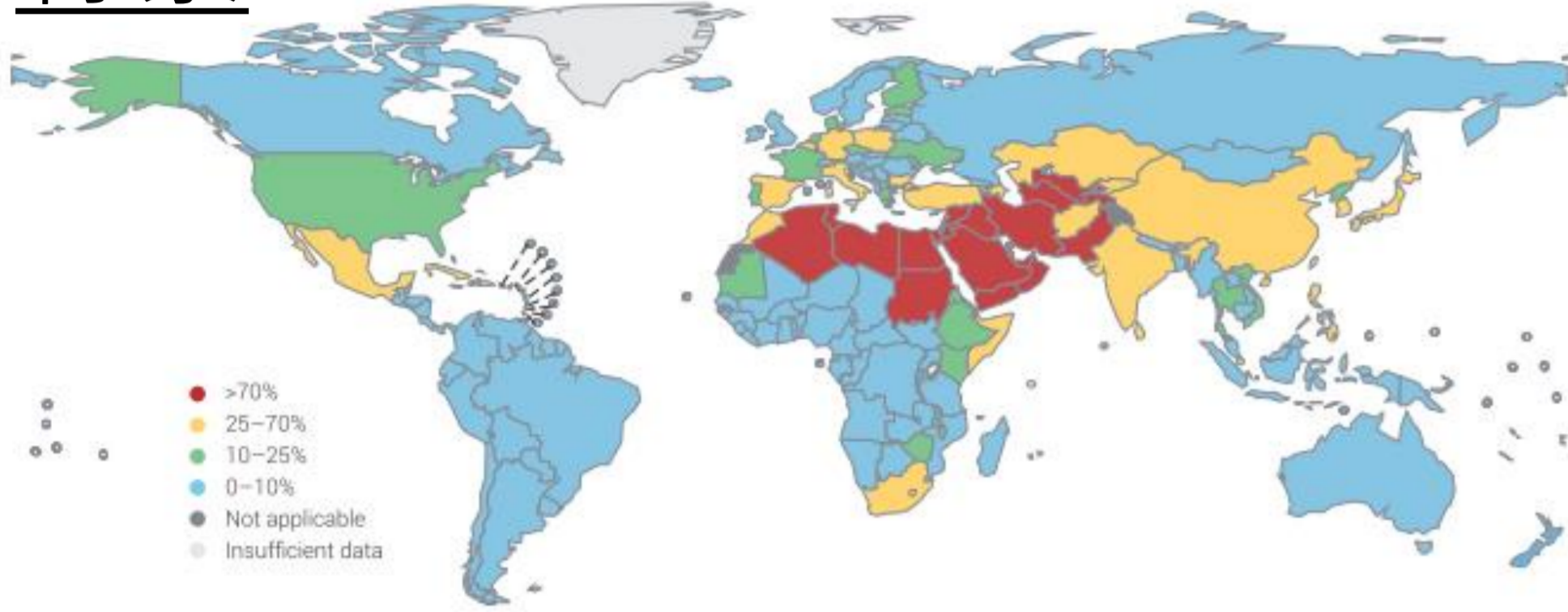
○山田 寛, 堀部 明彦, 磯部 和真
岡山大学学術研究院 環境生命自然科学学域



Abstract

Water is one of the important resources not only for agricultural and industrial use, but also for human life. However, more than 2 billion people live under environments with high water stress. In addition, water demand has increased over past 40 years, and is expected continuous growth until 2050. To overcome these severe water scarcity, fog harvesting has attracted great attention as a technology to obtain fresh water from a foggy air stream without energy input. Drainage of captured droplets from fog harvesters is necessary to maintain the permeability of harvester to prevent the blockage of the stream. In the present study, we report unidirectional droplet transport between wire structures in a harp-shaped fog harvester. This droplet motion prevented to decrease the projected area to collect fog droplets and enhanced fog harvesting capability. In addition, scaled-up and multilayered fog harvesters are developed to enhance harvesting performance. We showed certain enhancements under multilayered harvesters and captured 15.99 g/30 min as the maximum amount, which corresponds to 13.3% of the liquid contained in the foggy stream.

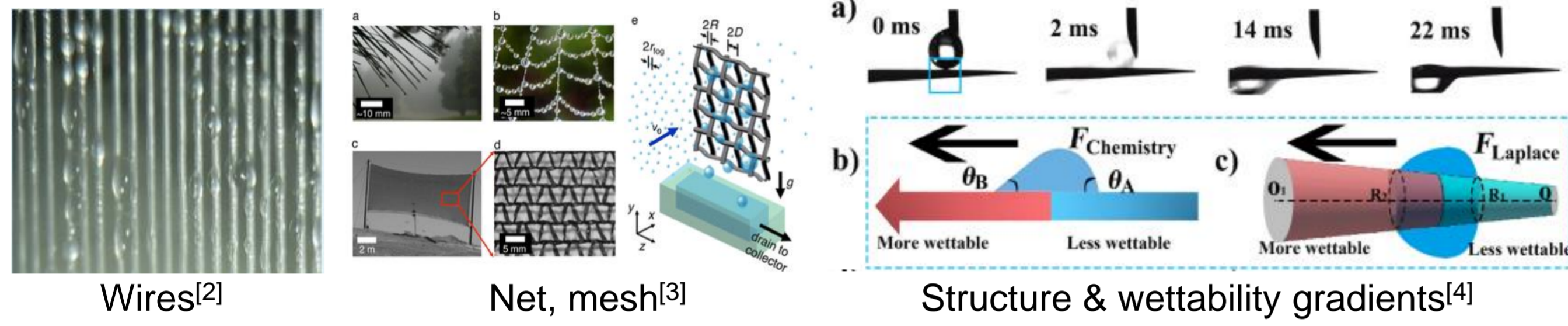
背景



世界で20億人以上が水不足を経験している。 [1]

- 淡水の製造法
 - ✓ 脱塩処理
 - ✓ 逆浸透膜によるろ過
 - ✓ 霧からの水回収
- 霧回収の利点
 - ✓ 低コスト
 - ✓ 水源から遠方でも適用可能

先行研究



課題：液滴が落下・輸送されることで、回収に寄与する断面積が減少する。

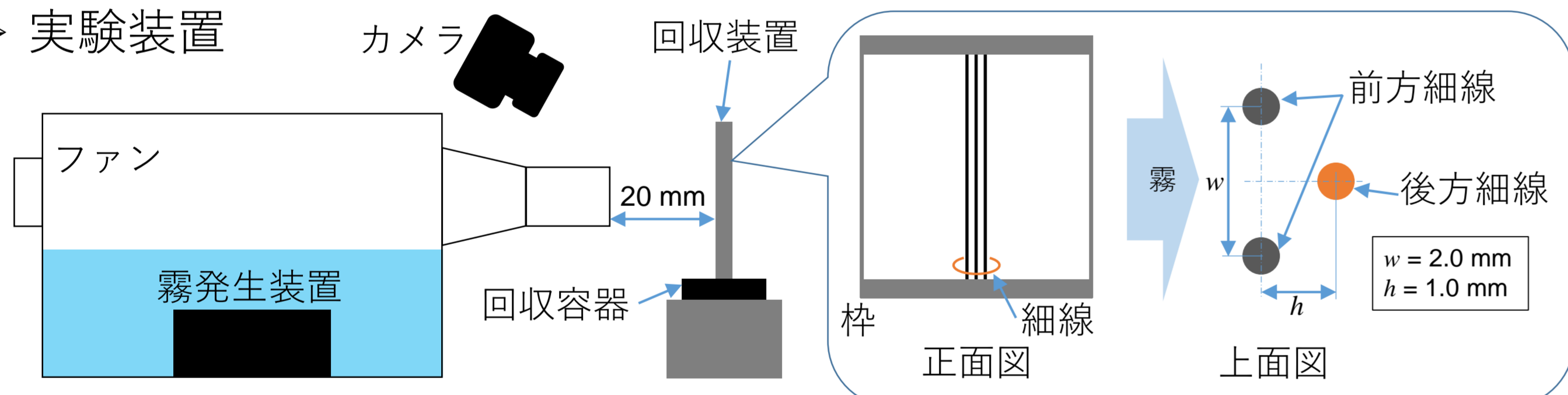
➡ 霧への投影面積を減らさずに、液体回収量を増やすことはできないか？

試料の作製と実験装置

試料作製方法

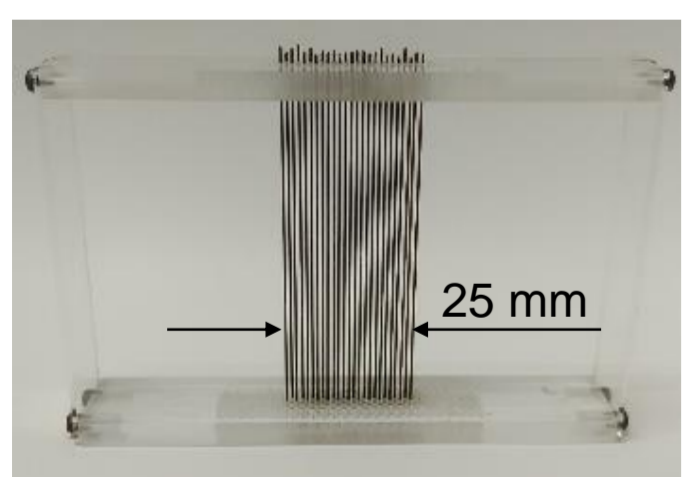
試料名	SHL	HL	HB	SHB	P
Structure:	Dip into NaOH + (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ aq.	Structure: -	Structure: -	Dip into NaOH + (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ aq.	Dip into NaHCO ₃ + (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ aq.
Wettability:	Dip into C ₆ H ₁₄ OS + EtOH sol.	Dip into C ₆ H ₁₄ OS + EtOH sol.	Dip into Teflon + FC-770 sol.	Dip into Teflon + FC-770 sol.	Dip into Teflon + FC-770 sol.
接触角 θ [°]	<3°	57° ± 2	118° ± 1	156° ± 1	154° ± 2
前進接触角 θ _a [°]	-	63 ± 1	122 ± 2	160 ± 1	161 ± 1
後退接触角 θ _r [°]	-	16 ± 3	110 ± 2	154 ± 1	107 ± 3
表面構造 (SEM像)					

実験装置

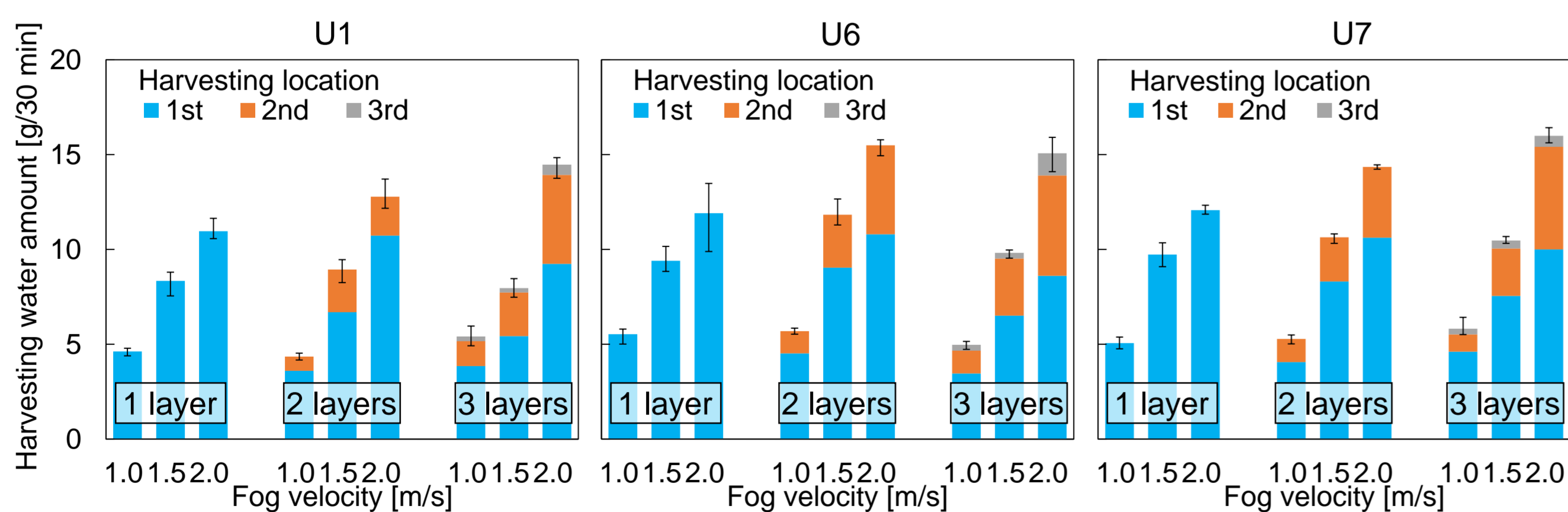


スケールアップした回収装置での評価

(質量流量: 240 ± 8 g)



- 回収部の幅を25 mmにスケールアップ
- ➡ 1 layerとする。
- 霧の流れ方向に1~3 layerで積層 (各layer間の距離は1.0 mm)

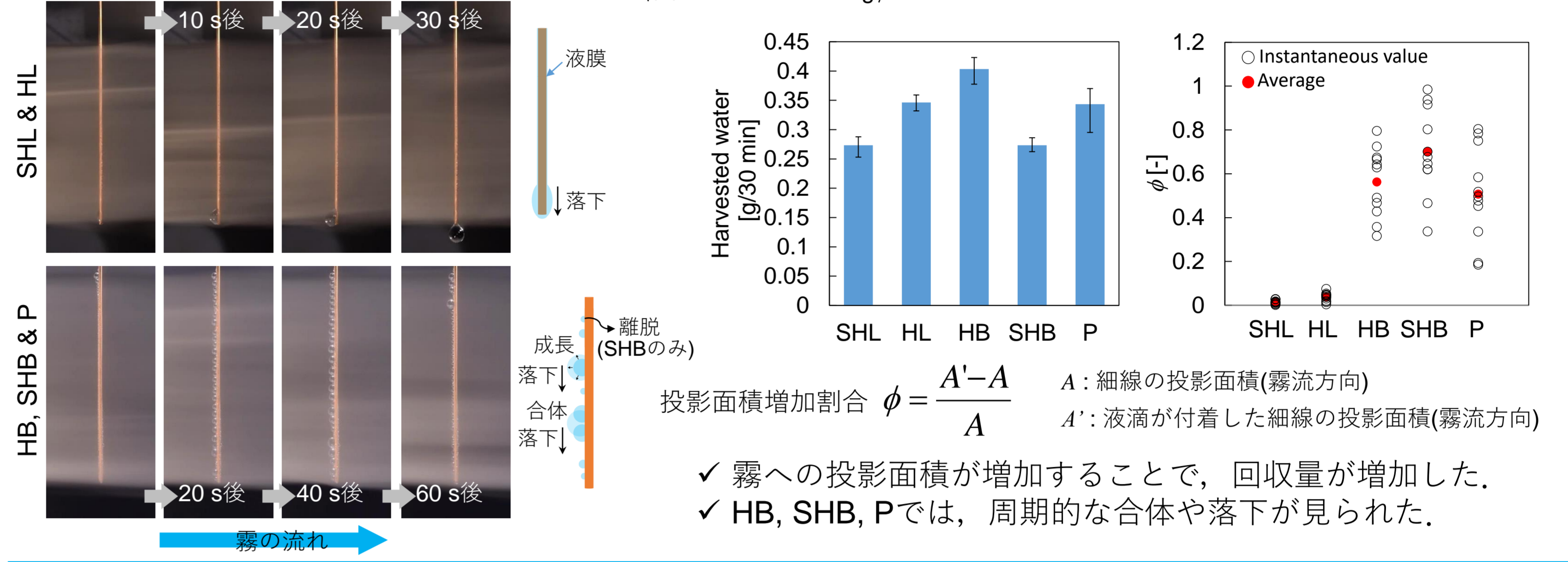


- ✓ 液滴輸送があることで、10%程度回収量が増加した。
- ✓ 霧の質量流量に対する回収割合: 13.3%

実験結果および考察 [5,6]

細線1本での回収量評価

(霧流速: 1.5 m/s
質量流量: 255 ± 8 g)



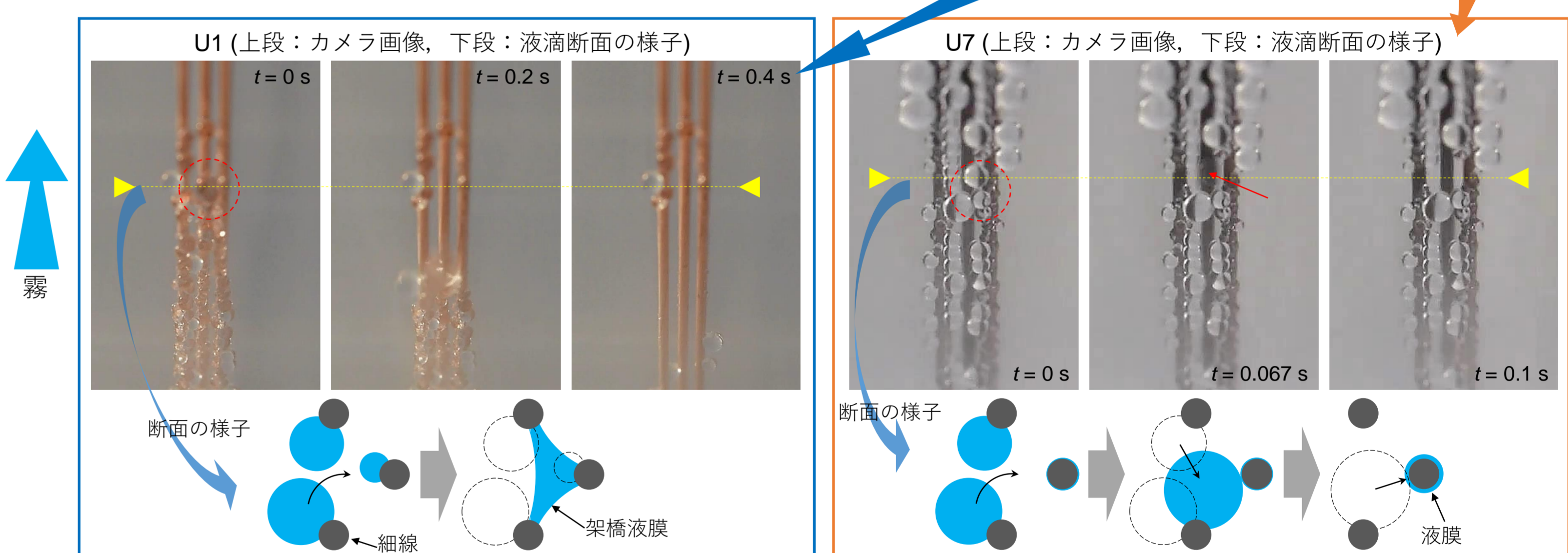
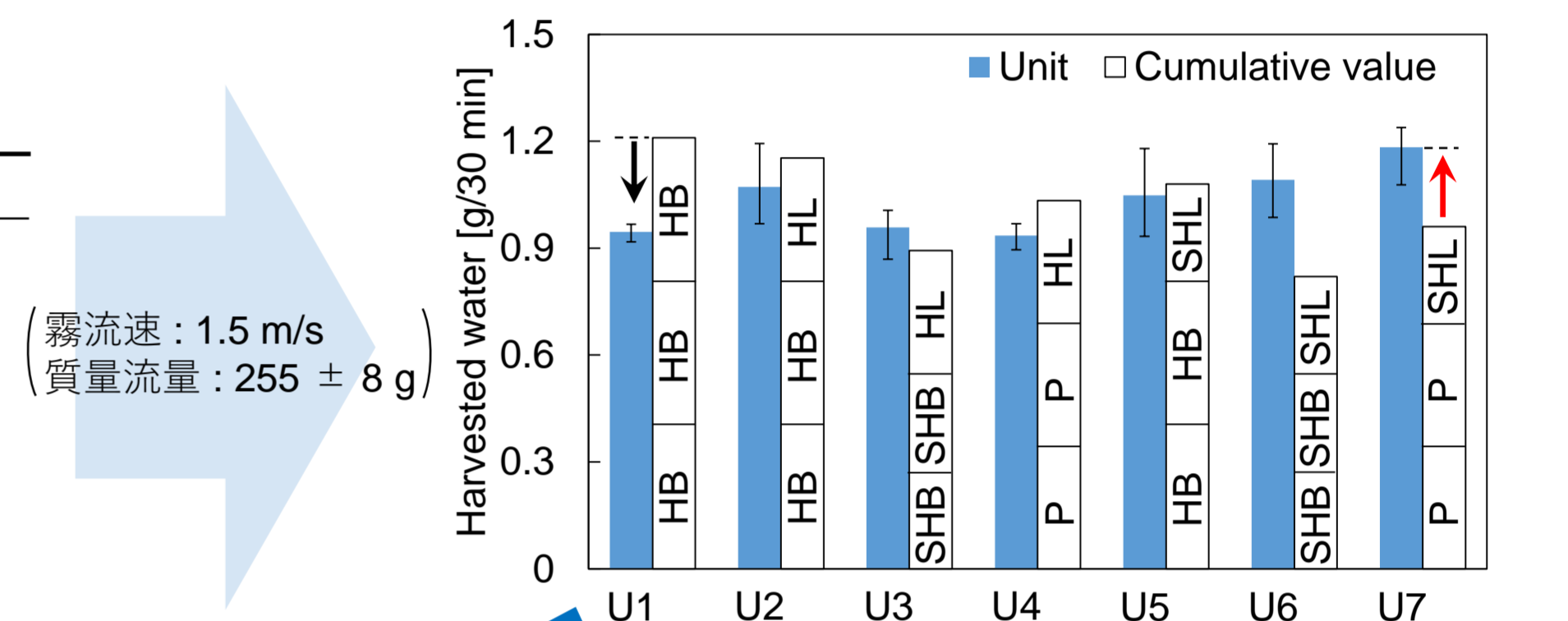
$$\phi = \frac{A' - A}{A} \quad A: \text{細線の投影面積(霧流方向)} \quad A': \text{液滴が付着した細線の投影面積(霧流方向)}$$

- ✓ 霧への投影面積が増加することで、回収量が増加した。
- ✓ HB, SHB, Pでは、周期的な合体や落下が見られた。

細線3本での回収量評価

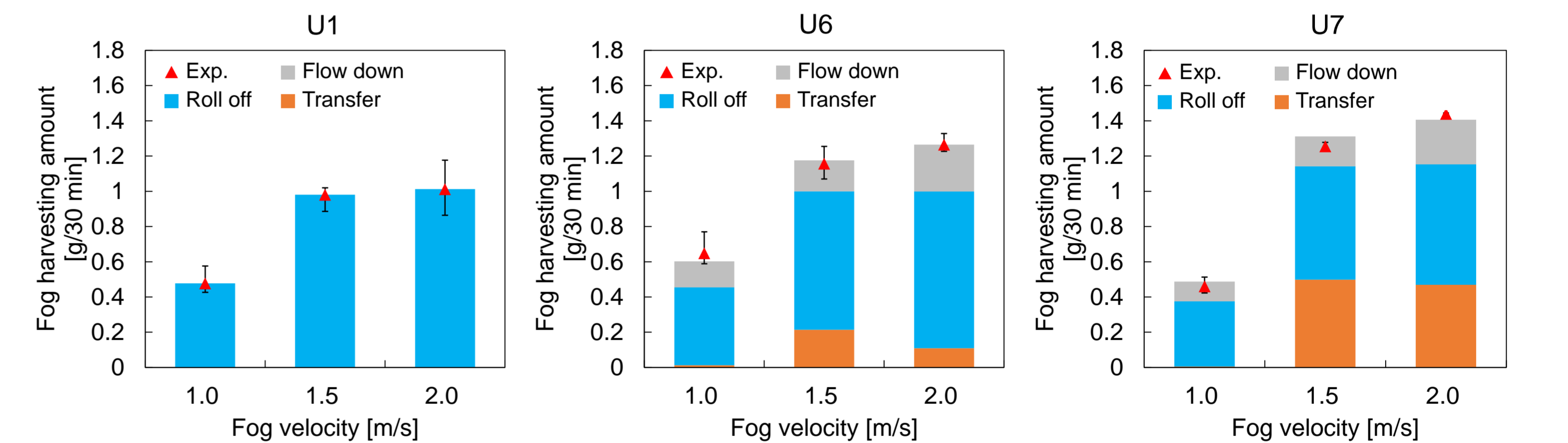
細線配置と効果

Unit no.	前方細線	後方細線
U1	HB	HB
U2	HB	HL
U3	SHB	HL
U4	P	HL
U5	HB	SHL
U6	SHB	SHL
U7	P	SHL



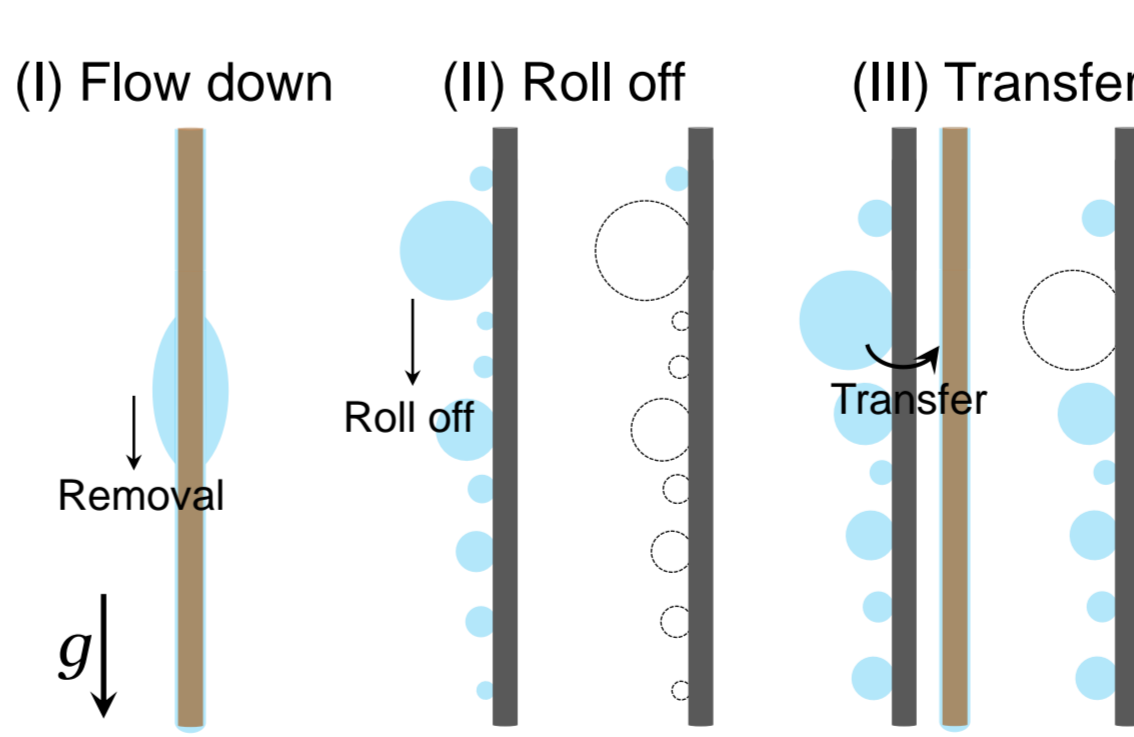
- ✓ U1では、液滴同士が合体することで液膜が形成され、落下することで下方の液滴が除去された。
- ✓ U7では、前方細線に付着している液滴が後方のSHL細線に輸送されるため、下方の液滴が残った。

流速による影響と離脱メカニズム

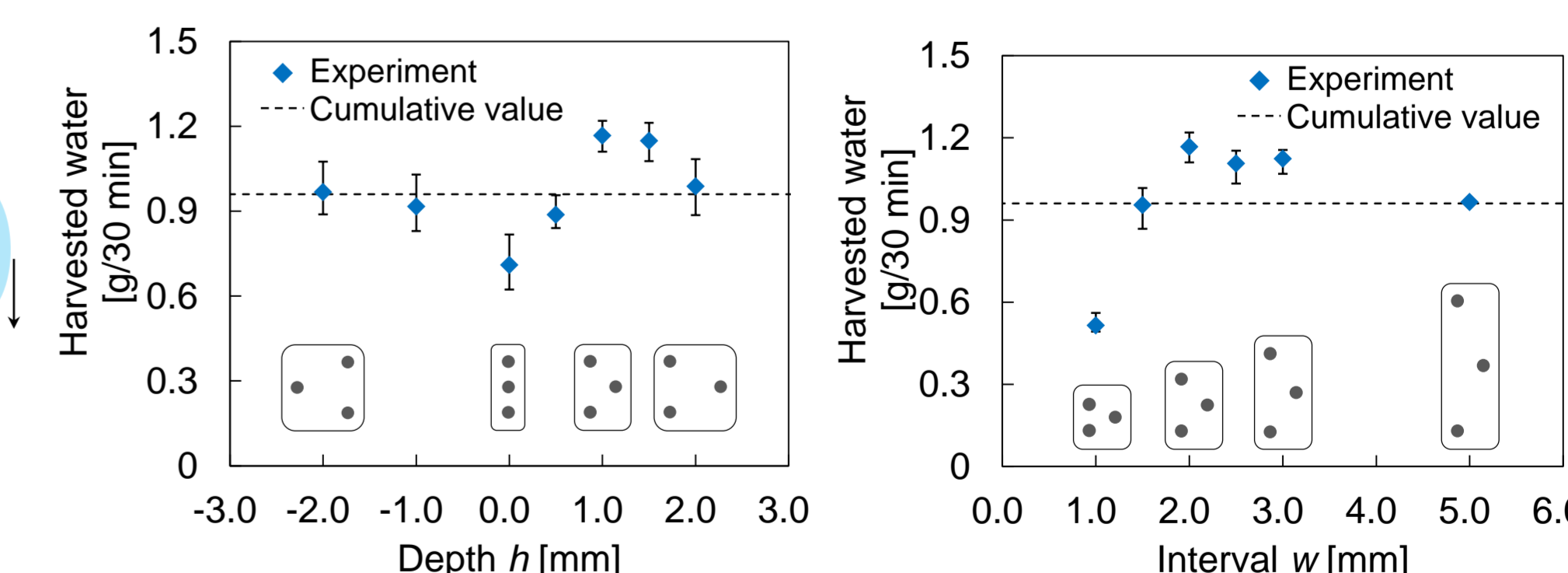


- ✓ 流速が増加すると回収量も増加した。しかし、細線から離脱するものの後方の細線に付着しない液滴が増加するため、回収量の増加率は減少した。

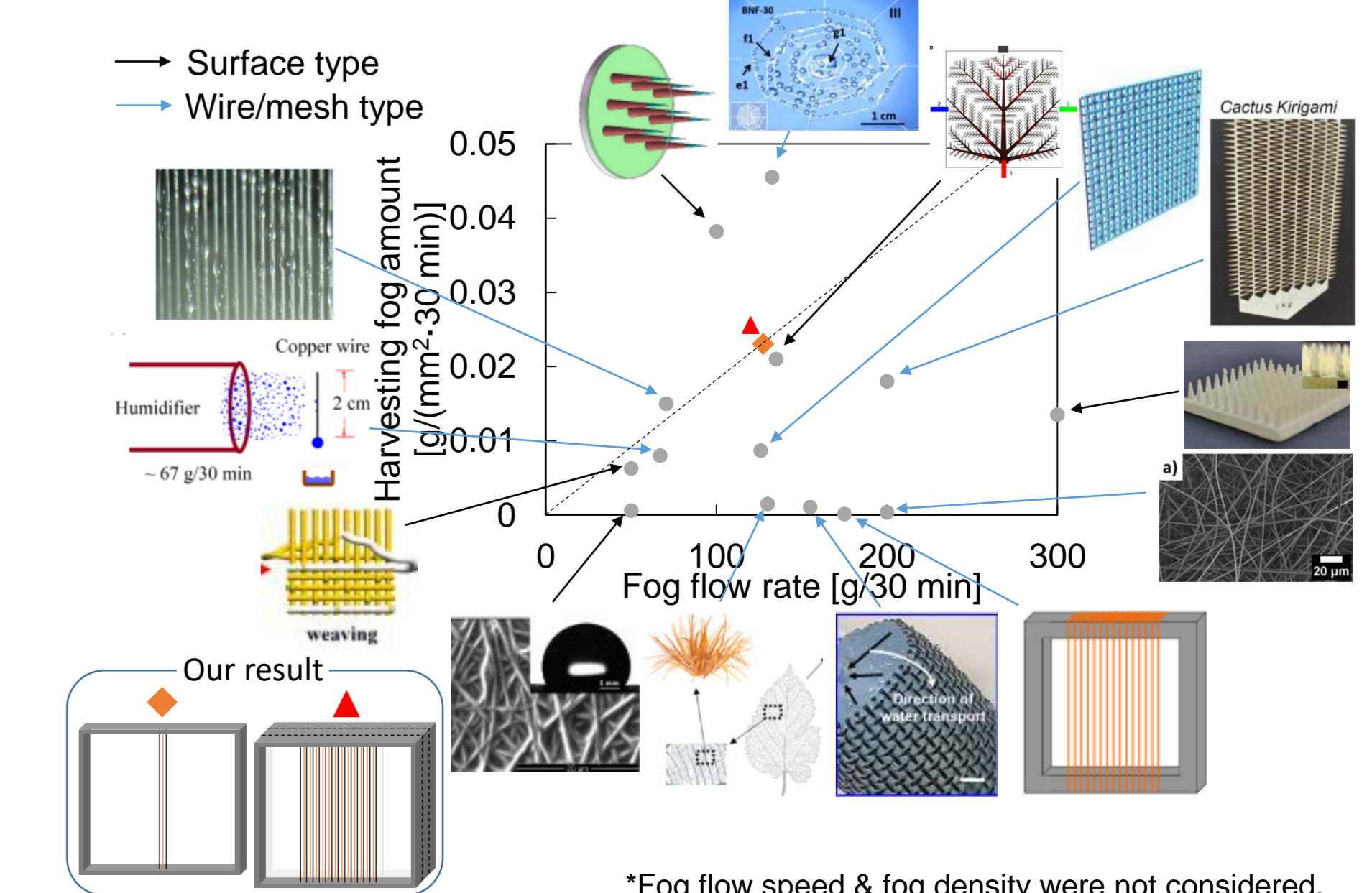
離脱メカニズムの分類



U7における細線位置の影響



先行研究との比較



謝辞

本研究の一部は、公益財団法人クリタ水・環境科学振興財団 2021年度国内研究助成、2022年度継続助成および公益財団法人JKA 2024年度若手研究時補助事業の助成を受けたものである。ここに感謝いたします。

本研究の実施に協力いただいた佐方瑛士氏および岡隼矢氏に感謝申し上げます。

結言

本研究では、濡れ性を制御した金属細線を利用して霧からの液体回収実験を行った。前方には水性、後方に超親水性の細線を設置することで細線間の液滴輸送が発生し、回収量が増加した。スケールアップした回収装置での検討では、霧の質量流量の13%程度を回収できることを示した。

Reference

- [1] United Nations, World Water Development Report 2019.
- [2] W. Shi et al, ACS Appl. Mater. Interfaces, 10, 11979-11986 (2018).
- [3] K.-C. Park et al, Langmuir, 29, 13269-13277 (2013).
- [4] H. Zhou, et al, Langmuir, 36, 6801-6810 (2020).
- [5] Y. Yamada, et al, ACS Appl. Mater. Interfaces, 13, 35079-35085 (2021).
- [6] Y. Yamada, et al, Langmuir, 40, 16994-17000 (2024).

