C205

PIV法を用いた撥水表面上における 液滴転落時の内部流動の可視化

酒井 宗寿^{1○}・橋本 綾子¹・鈴木 俊介^{1,3}・吉田 直哉^{1,2}・亀島 欣一¹
杉淵 美穂¹・中島 章^{1,3}

(1 神奈川県科学技術アカデミー 中島「ナノウエティング」プロジェクト

2 東京大学 国際・産学共同研究センター

3 東京工業大学大学院 理工学研究科 材料工学専攻)

Visualization of the internal fluidity in the droplet downfall on the hydrophobic surface by PIV

SAKAI, Munetoshi^{1○}; HASHIMOTO, Ayako¹; SUZUKI, Shunsuke^{1,3};
Yoshida, Naoya^{1,2}; KAMESHIMA, Yoshikazu^{1,3}; SUGIBUCHI, Miho¹; Nakajima, Akira^{1,3}.

(1 Kanagawa Academy of Science and Technology, Super Hydrophilic/phobic Surface Project,

2 The University of Tokyo, Research Center for Advanced Science and Technology,

3 Tokyo Institute of Technology, Department of Metallurgy & Ceramic Science)

ABSTRACT

To characterize sliding behavior of water droplets with dynamic contact angles on hydrophobic, the instrument was developed. Sliding action of the droplet was classified into three motion categories: constant accelerated motion, constant velocity and stasis. The action of the sliding droplet was controlled by the interaction between solid and liquid surface. This interaction was expressed by the internal fluidity of the sliding droplet. The device with PIV facilitated the measurement of the sliding acceleration, shape variation and internal fluidity in the sliding droplet.

Keywords: Particle image velocimetry, Sliding droplet, Internal fluidity.

1. はじめに

従来、固体表面の濡れ性は、接触角で特徴付けられてきた。しかし、今日では、動的な濡れ性の重要性が認識されてきている。これまでは、動的な濡れ性は、転落角（傾斜角が何度で転落するか？）が広く用いられてきた。しかしながら、実際の工業材料では大きさや機能、デザインなどから表面の傾斜角度が決まっている場合がほとんどであることから、転落（加）速度（一定の傾斜角でどれくらいの速さで転落するか？）の重要性が認識されてきており、いくつかの測定事例が見られる。

Miwaらは、超撥水面上での水について、等加速度運動で転落することを報告している¹⁾。また超撥水表面上でのグリセロールの転落は、粘性抵抗のために等速度運動で転落することが報告されている²⁾。超撥水とは異なる一般の撥水表面上においても、水の転落加速度の傾向が変化する場合があること³⁾、等が報告されている。

また、これまでに、液滴が「回転」しながら転落すると、転落速度が速いとされていたが^{3,4)}、これまでに、

実際に液滴内部流動の可視化を行い、実証された報告例はない。従って、液滴の転落挙動は転落（加）速度の測定と液滴の形状変化も同時に評価することに加えて、固体から液体への相互作用を直接観察するために、液滴転落時の内部流動を計測することが求められた。

固体表面の種類や形状と液滴の種類には様々な組み合わせがあり、更には液滴の固体表面での加速度は液滴の大きさや傾斜角度、固体表面の材質により変化することが知られている。液滴の転落挙動は、特定の表面では前進・後退接触角の周期的な変化が存在する場合も報告されていることから⁴⁾、加速度の測定と合わせて、液滴の形状変化も同時に評価しないと総合的な検討ができない。転落角の測定装置や計測原理については様々なものが知られているが、液滴の転落挙動を総合的に計測・評価する手法や装置は、未だ確立されていない。

従って、液滴の転落挙動を迅速且つ総合的に評価するシステムを検討した。加えて、質量の小さい液滴本来の流動を阻害せず、液滴転落時における液滴内部流動の可視化方法の確立を行い、画像解析により液滴の内部流動

の計測を可能にする独自の粒子画像流速測定 (PIV) 法の開発を行った。

2. 液滴転落挙動解析システム

2.1 計測項目とアセンブリ

傾斜した固体表面において液滴が転落する際に、高速度カメラを用いて側方から液滴の転落挙動を撮影し、動画処理を行なうことで、① 基板上の液滴の転落 (加) 速度計測 (前方 V_s ・後方 V_r) ② 動的接触角計測 (前方 θ_s ・後方 θ_r) ③ 液滴の高さ h ④ 液滴端点間の距離 d の計測を実現した (Fig. 1)。

Fig. 2 に、液滴転落挙動解析システムの配置図を示す。毎秒 2000 フレームまで撮影が可能な高速度カメラ (Photron, 512 PCI) を用い、側方から、液滴の転落挙動を撮影する。この連続画像を、動画解析 (DITECT, DIPP MACRO-KAST) することにより、Fig. 1 に記した項目を測定する。照明は、評価サンプルの温度上昇を防止し、照度を安定化させるために、熱線カットフィルター付メタルハライド照明を設置し、一様拡散を得るためにオパール拡散板を利用した。バックライトでは、傾斜角を $0\sim 360^\circ$ でバックライト照明を用いることができる試料台を配置した。同時に、画格を水平に保つ目的で、試料の傾斜角 ($0\sim 360^\circ$) に対応させることが可能な、カメラ台も設置した。高速度カメラを用いて計測する、液滴転落挙動の評価方法により、様々な液滴と固体表面の組み合わせに対し、効果的に液滴の転落挙動の評価を行なうことを初めて完成した。

2.2 内部流動の可視化

航空工学・自動車・建築物・マイクロマシンなど、流体が関連する各種研究・開発現場で広く用いられている、粒子画像流速測定 (PIV : Particle image velocimetry) 法を⁵⁻⁶⁾、液滴転落時の内部流動の可視化・測定のために、「液滴転落挙動解析システム」に組み込ませた。Fig. 3 にオクタデシルトリメトキシシランをコーティングしたシリコン上で、各粒子濃度 $30\mu\text{l}$ の液滴を、傾斜角 35° で転落させた計測例を示す。トレーサーとして液滴に混入する粒子は、ポリスチレン標準粒子 (Duke Scientific Corp. 7510A, 粒子サイズ 222, 密度 1.05 g/cm^3) を用いた。画像解析方法は、PTV (2 値化相関法) を用いた。

この方法により、液滴が固体表面上を転落する時、転落速度は「すべり」と「回転」の成分で表現され、「すべり」の割合が大きいほど転落速度が大きいことが明らかにされた⁷⁾。また、液滴の転落時に中央断面にレーザーシート光があたるようにし、相関 PIV 法 (相互相関法) により解析することで、固液界面 (撥水固体表面と液滴底部) の速度勾配の計測も可能である。

3. まとめ

本研究の成果により、動的な濡れ性の評価が、迅速・

高精度且つ容易になった。今後、濡れ性機能表面の設計に役立つことが期待される。

謝辞

本研究の実施に当たり、財団法人日本科学協会及び三豊科学技術振興協会から助成を頂いた。ここに、感謝申し上げる。

Fig. 1 Measurement parameter by the droplet behavior analysis system

Fig. 2 Schematic diagram of Analysis system of droplet sliding behavior.

Fig. 3 The sequential captures of the droplet sliding.

参考文献

- 1) Miwa, M., Nakajima, A., Fujishima, A., Hashimoto, K. and Watanabe, T., Langmuir, Vol 16, pp. 5754-5760 (2000).
- 2) Richard, D. and Quere, D., Europhys. Lett., Vol. 48, pp. 286-291 (1999).
- 3) Nakajima, A., Suzuki, S., Kameshima, Y., Yoshida, N., Watanabe, T. and Okada, K., Chem. Lett., Vol. 32, pp. 1148-1149 (2003).
- 4) Suzuki, S., Kameshima, Y., Nakajima, A. and Okada, K., Surf. Sci., Vol. 557/1-3, pp. L163-L168 (2004).
- 5) PIVの要点, (社) 可視化情報学会 (1999).
- 6) 流れの可視化基礎技術, (社) 可視化情報学会 (2001).
- 7) Munetoshi Sakai, Jeong-Hwan Song, Naoya Yoshida, Shunsuke Suzuki, Yoshikazu Kameshima, and Akira Nakajima, Langmuir, 11, (2006) pp. 4906-4909.