

転落する液滴の内部流動の可視化

酒井宗寿・鈴木俊介

1. はじめに

液滴が撥水性固体表面上を転落する際には、「回転」しながら転落するとされていたが¹⁻²⁾、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評価することが求められた。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：Particle Image Velocimetry）法（広義：流体の中にトレーサーを混入することで流れを可視化し、デジタル画像処理技術により、流れ場の多点の速度情報を抽出するもの³⁾）の開発を行った。

2. 粒子画像流速測定法と液滴転落時の内部流動解析への利用

PIV法は、流体の流れを可視化するために、航空工学・自動車・建築物・マイクロマシンというように、流体が関連する各種工学分野で広く用いられている³⁻⁴⁾。粒子数密度と画像処理方法の違いから、高密度PIV（相関PIV法：高密度の粒子群により形成された濃度パターンの変位を追跡して流速を算出）と低密度PIV（PTV（Particle Tracking Velocimetry）法：流れに投入されたこの粒子を追跡して流速を算出）の二つに分けられる³⁾。相関PIV法とPTV法は、そ

れぞれ、「高密度速度データの取得が可能」、「高精度速度データの取得が可能」という特徴をもつ³⁾。従って、液滴転落時の内部流動を測定するに当っては、回転成分を計測するにはPTV法が、固液界面（撥水性固体表面と液滴底部）の速度勾配を計測するには相関PIV法が適していると思われる。

3. 液滴転落時の内部流動の計測

3. 1 PTV法を用いた内部流動の計測

評価サンプルは、超撥水表面（1種）と平滑性表面（2種）合計3種を用いた。超撥水表面は、NTTアドバンテック社の超撥水剤（HIREC 450）を用い、スプレーコーティングにより、ガラス上に添付して作製した。また、平滑性撥水表面は、オクタデシルトリメトキシシラン（ODS： $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17}\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$ ）とトリフロロポリピルトリメトキシシラン（FAS： $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$ ）をCVD法（ 150°C （for ODS） or 175°C （for FAS））によりシリコン基板にコーティングして作製した。これらの評価サンプルを傾斜角 θ に設置した。転落させる液滴（ $30\ \mu\text{l}$ ）の中に、トレーサー粒子としてポリスチレン粒子を（直径： $222\ \mu\text{m}$ ，密度： $1.05\ \text{g}/\text{cm}^3$ ，濃度： $1.0\ \text{wt}\%$ in water）混入し、転落する様子を高速度カメラで撮影した。この時、同一評価サンプル上で、粒子を含む液滴と水みの液滴の転落性には、優位な差は認められなかった。粒子により液滴の内部流動を可視化された映像は、PTV法により解析することにより、内部流動（ V_p ：粒子移動速度）を計測した。

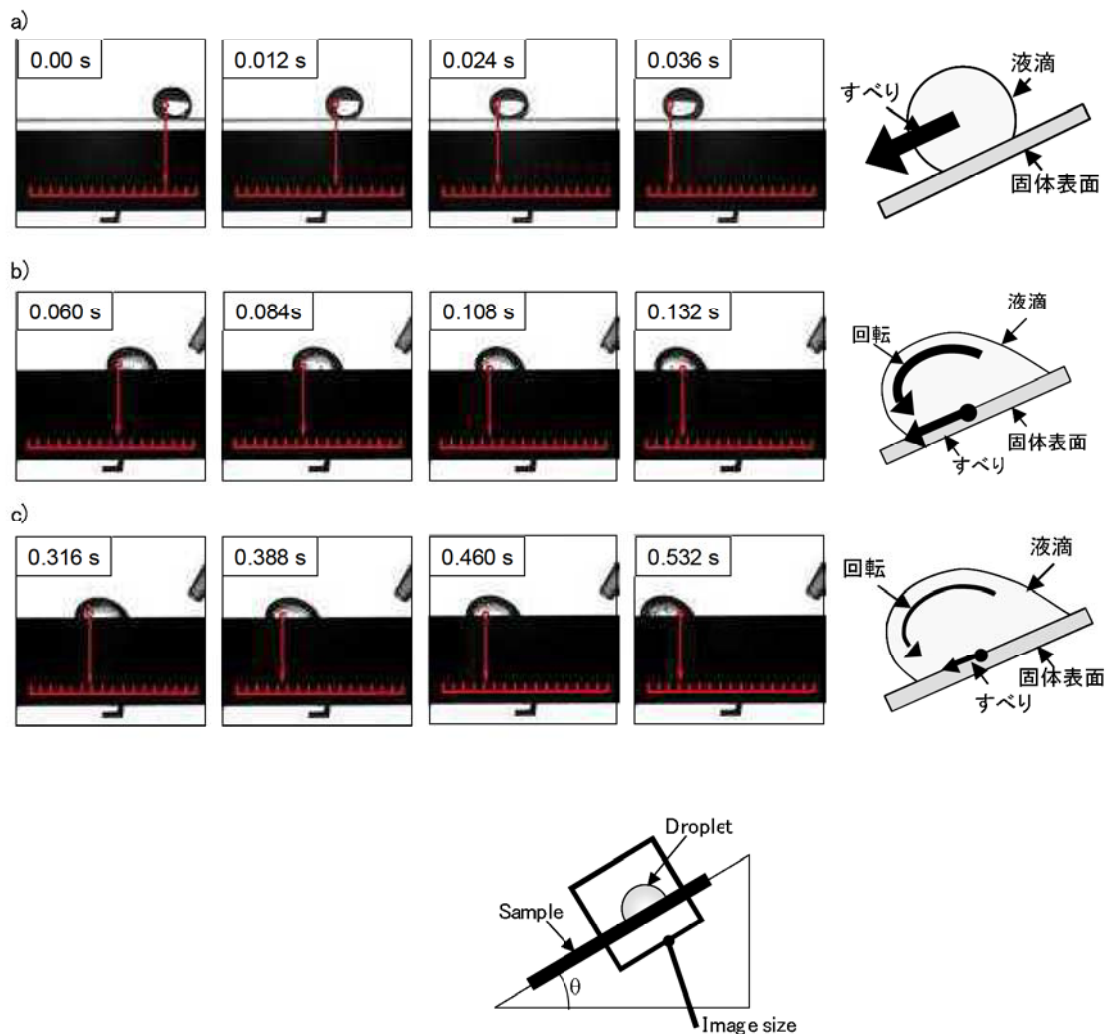


図 1：液滴が転落する様子

a) 超撥水性表 b) 平滑性撥水表面 (ODS) c) 平滑性撥水表面 (FAS)

3. 2 液滴転落時のすべりと回転の存在

図 1 から明らかなように、超撥水表面上での液滴の転落は、「すべり」成分だけで転落することが観察された(図 1)⁴⁾。液滴とトレーサー粒子の経過時間あたりの移動距離はほぼ同一で、等加速度的運動をした(図 2)。一方、ODS 処理による撥水表面では液滴が転落するとき、液滴内は、キャタピラーのように「回転」運動をした。これが完全にキャタピラのような回転ならば、固-液界面に達したトレーサーは外部座標に対して移動しない

はずであるが、図 1 から明らかなように 0.084-0.132s の間、トレーサーは移動している。これは「回転」と同時に、液滴転落時に「すべり」の成分が存在していることを意味している。また、液滴の転落挙動は転落初期は加速度を持つが、0.08 (s) 以降は等速運動した(図 2)。同様に、FAS 処理の撥水表面でも、回転現象が見受けられた。図 3 は、経過時間と移動距離の関係の回帰式から、経過時間における移動速度を算出したものである。液滴底部にある粒

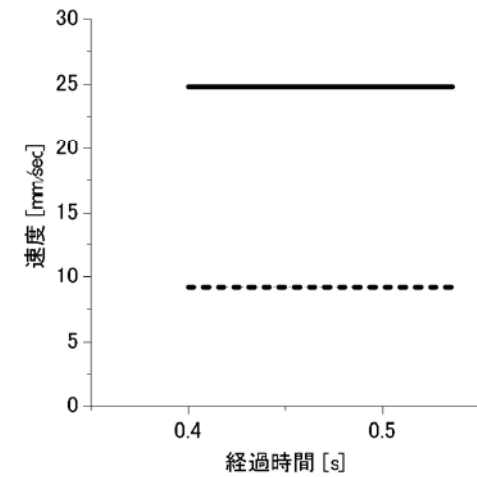
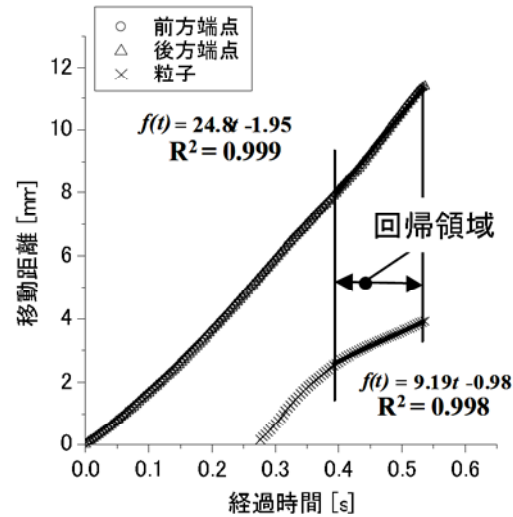
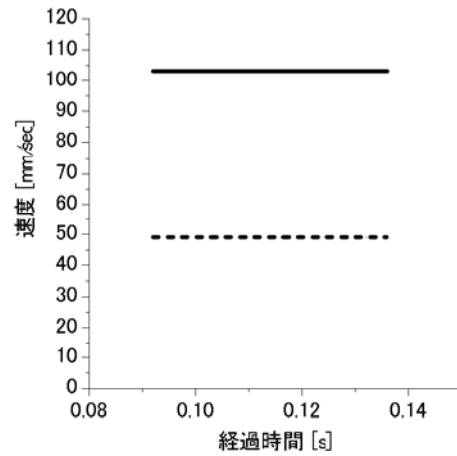
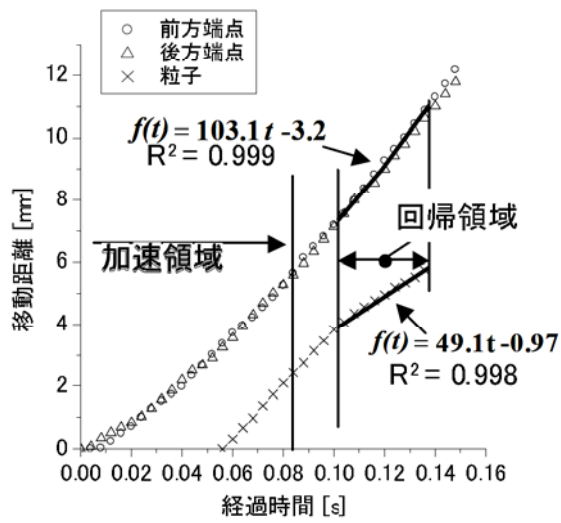
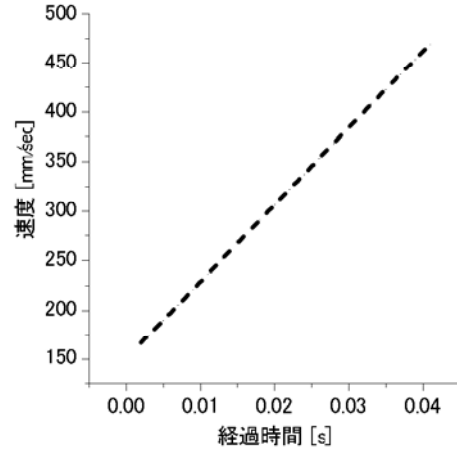
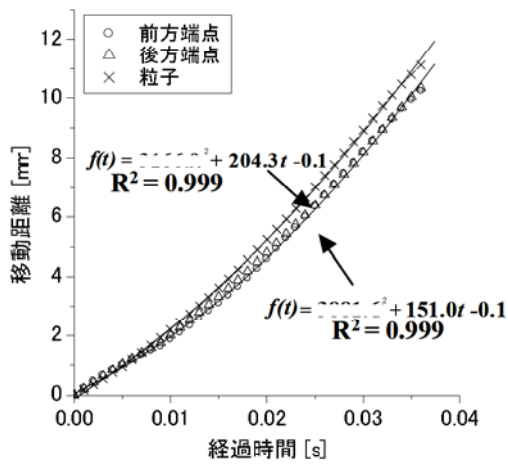


図2. 液滴の転落時における液滴とトレーサー粒子の経過時間あたりの移動

- a) 超撥水性表面
- b) 平滑性撥水表面 (ODS)
- c) 平滑性撥水表面 (FAS)

図3. 液滴の転落時における液滴とトレーサー粒子の経過時間あたりの移動速度 a) 超撥水性表面 b) 平滑性撥水表面 (ODS) c) 平滑性撥水表面 (FAS)

破線：粒子の速度 (すべり速度)
 実線：液滴前方端点の速度