

平板に衝突した滴の濡れ面積が新理論で予測可能に！

（概要説明）

熊本大学大学院先導機構の米本幸弘 助教と京都大学の功刀資彰 教授の研究グループは、平らな固体物質の表面上に衝突した液滴の濡れ拡がり面積を、定量的に予測する理論式を導き出すことに成功しました。固体表面上に衝突する液滴の挙動は一見単純そうですが、固体表面の粗さや液体の流体運動、固体と液体表面間の濡れ性（液体の付着しやすさ）等といった様々な要素が影響し合い、複雑な様相を呈します。これまで世界中の研究者が実験、理論や数値解析的観点から濡れ拡がり面積の定量予測に挑んできましたが、衝突速度が遅い領域の予測は実現できていませんでした。

本研究成果は、イギリスのオープン・アクセス・ジャーナルScientific Reportsに日本時間平成29年5月24日18時（UK時間平成29年5月24日午前10時）掲載されました。

（説明）

- 固体表面への液滴の衝突（図1）は、インクジェット、自動車エンジンのインジェクターやスプレー冷却など数多くの工業分野で見られる現象であり、衝突後の液滴の最大濡れ拡がり面積は、製品の質や装置の効率を大きく左右する重要なパラメーターです。
- 液滴の最大濡れ拡がり面積は、液滴の性質や、液滴がぶつかる速度、固体の性質でも異なります。例えばぶつかる先がガラスかテフロン加工の素材かでも最大濡れ広がり面積が異なってきます。濡れやすいか、はじきやすいかといった液体の付着しやすさを「濡れ性」と言います。
- 固体表面上に付着した液滴の濡れ性は、簡単には、接触線^{*1}での水平方向の力学的バランス式（ヤングの式^{*2}）により特徴づけられます（図2）が、垂直方向に関しては固体との反力により釣り合うとされ無視されます。
- 従来の衝突液滴の最大濡れ拡がりに関する理論検討では、主に接触線の水平方向のバランス式のみを考慮したものが多く、広範囲の衝突速度条件での液滴最大濡れ拡がり面積を予測する関係式はありませんでした。特に衝突速度が遅い場合の最大濡れ広がり面積は誤差が大きく、また、速度が遅い場合について正確に予測する別の式では、速度が上がると誤差が生じるといった欠点がありました。

- 熊本大学・米本助教と京都大学・功刀教授らは、今まであまり検討されてこなかった接触線での垂直方向の表面張力に着目し、固体表面上に衝突する液滴のエネルギーバランスを検討しました。その際、衝突時の液滴内部で生じる流体運動によるエネルギーの粘性散逸^{*3}に関する従来法の取り扱いの欠点を見直すことで、新しい理論式を導出しました。
- 新しく導かれた理論式は、シリコンゴムや超撥水基板といった様々な種類の固体基板と液滴間の衝突時の最大濡れ拡がり面積を定量的に予測できる可能性を示しました（図3）。さらに、ミリサイズの液滴だけでなくマイクロサイズの液滴へも適用できることも確認しました。
- 近年、インクジェット技術を用いた半導体基板のナノスケールの回路作成技術が注目を浴びていますが、ナノスケールの現象の観察には高額な実験装置が必要になり、また、数値解析による予測では専門的な技術が必要とします。本研究の成果は、簡易的な方法で衝突後の液滴の最大濡れ拡がり面積を予測できるため、効率的な回路設計等の実現が期待できます。

（発表雑誌）

雑誌名：Scientific Reports（オンライン版：5月24日18時掲載）

論文タイトル：Analytical consideration of liquid droplet impingement on solid surfaces

著者：Yukihiko Yonemoto, Tomoaki Kunugi

DOI 番号：10.1038/s41598-017-02450-4

（用語解説）

（*1）接触線：

気体、液体、固体の三つの相が接している線。固体表面上に付着した静止液滴では、接触している面積の外周がそれに当たる。（図2左図参照）

（*2）ヤングの式：

接触線を起点として液体表面の接線方向に掛かる表面張力と、固体表面に沿う、液体内部側と外部側に掛かる表面張力の釣り合い式。（図2右図参照）

（*3）粘性散逸：

流れの運動エネルギーが流体分子の衝突等（分子粘性）により熱エネルギーに変換され消失すること。

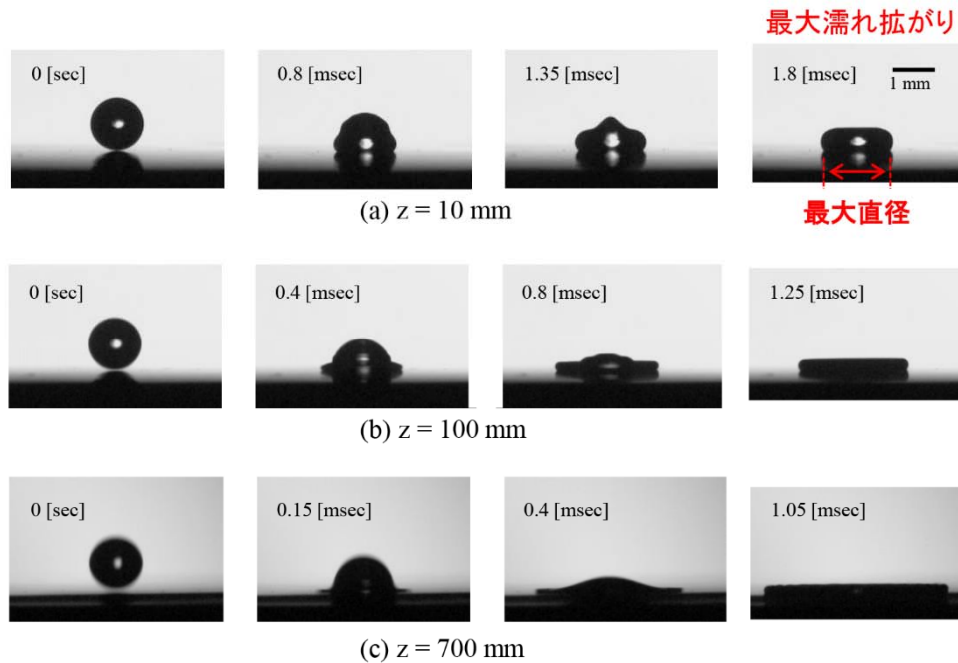


図1. シリコンゴム基板上に衝突する液滴の撮影画像

それぞれの落下開始地点の高さは、(a) $z=10$ mm, (b) $z=100$ mm, (c) $z=700$ mm. 高さが高いほど(速度が大きい)最大濡れ広がり面積は大きくなる。

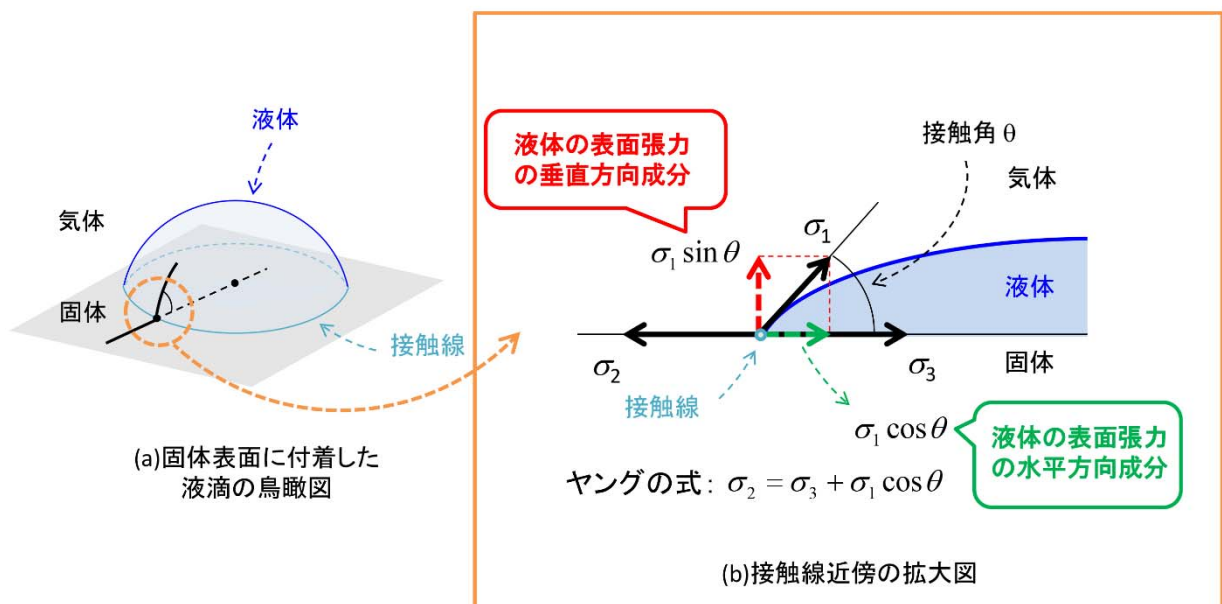
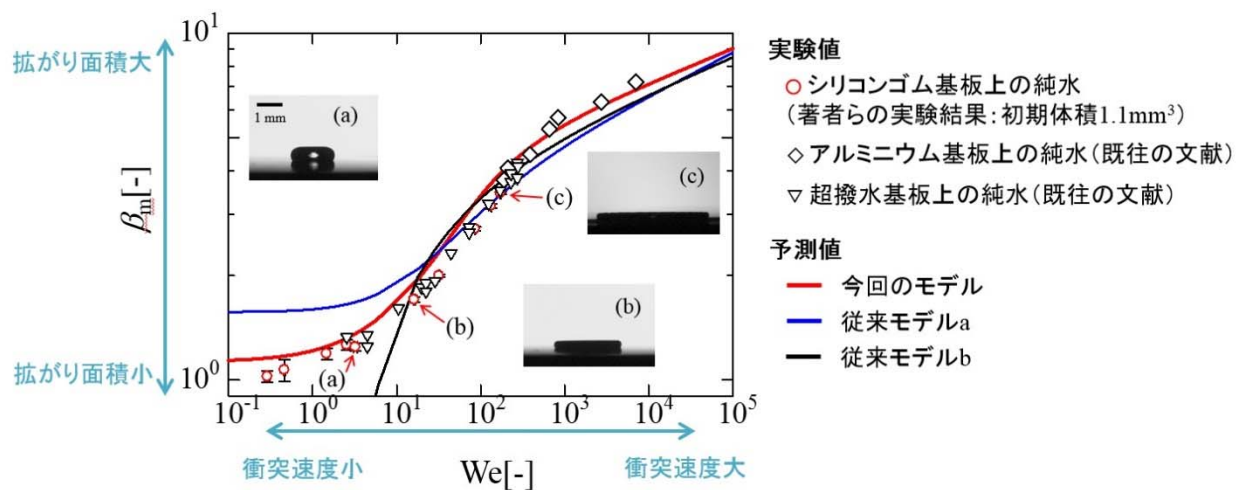


図2. 液滴接触線での表面張力の釣り合いに関する概念図

ヤングの式に現れる液体の表面張力の水平方向成分だけでなく、従来無視されてきた垂直方向成分を考慮した理論検討を今回実施した。



無次元最大直径: $\beta_m = d_m/d_0$ 無次元数 $We = \rho u^2 d_0 / \sigma_1$
 d_m : 最大濡れ拡がり直径 ρ : 液体の密度 σ_1 : 液体の表面張力
 d_0 : 落下液滴の直径 u : 液滴落下速度

図3. 液滴最大濡れ拡がり直径 (β_m) vs 液滴の衝突速度に関するパラメーター (We)

従来の予測モデルでは衝突速度が小さい場合に正確に予測することができなかったが、今回のモデルでは速度の大小にかかわらず、ほぼ実験値に沿った数値を予測できている。