

加熱固体面に衝突する液滴の動的挙動

Dynamic behavior of droplet impacting a heated solid surface

橋爪 瞳月¹⁾

指導教員 長谷川 浩司²⁾

- 1) 工学院大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 混相流工学研究室
- 2) 工学院大学 工学部 機械工学科 混相流工学研究室

キーワード：液滴衝突，加熱固体面，ライデンフロスト液滴，温度分布，界面不安定性

1. 緒言

液滴の加熱固体面衝突現象は製鋼の冷却や燃料噴射装置など幅広い分野で応用されており、加熱された表面への衝突時における液滴の挙動の変化について把握することは重要である。液滴の加熱固体面衝突現象はこれまでに様々な側面で研究が行われてきた^[1,2,3]。しかしながら、液滴が加熱固体面衝突した際の挙動について、流体物性が複雑に関与するため実験的知見は十分とは言い難い。

本研究では、加熱固体面に液滴が衝突した際、液滴の挙動について、衝突面温度、液滴内温度および衝突 We 数が液滴の衝突挙動に与える影響を明らかにすることを目的とし、実験的に検討した結果を報告する。

2. 実験方法および実験条件

Fig. 1 に本研究で用いた実験装置の全体概要図を示す。本実験装置はヒーターで加熱された 2 枚のホットプレートを用いて加熱した固体面に対して、トラバース装置に固定されたシリンジを用いて液滴を落下させる。このとき、衝突面温度が定常状態であることを、温度計を用いて確認し、液滴を滴下させた。液滴の衝突挙動について、バックライト法を用いて高速度カメラで撮影を行うとともに、液滴の温度変化を放射温度計によって計測を行った。得られた画像群に対してコンピュータを用いて処理し、実験データの解析を行った。なお、試験流体としてエタノールおよび純水を使用した。

滴下液体の温度を変化させた。衝突速度は、トラバース装置を上下に移動させることで落下高さを調節し、制御するとともに、衝突面温度はヒーターの温度を変更することで調整した。

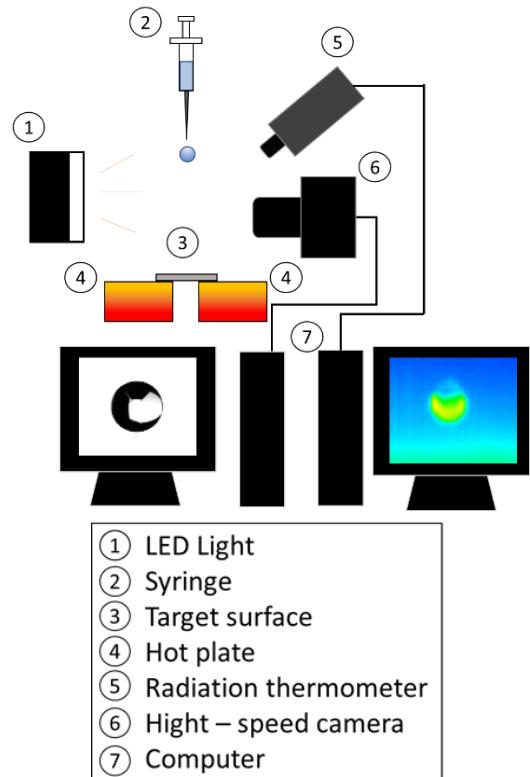


Fig. 1 Experimental setup.

3. 実験結果および考察

Fig. 2 に過熱度および衝突 We 数を用いて各液滴衝突挙動を整理した結果を示す。これまでの研究と同様に、過熱度および衝突 We 数の範囲に応じ

て Deposition 領域, Contact-Splash 領域, Bounce 領域, Film-Splash 領域の 4 領域に分類できることを確認した^[1]. ただし, 水液滴については, 直接 Bounce 挙動は確認できなかったものの, Deposition 挙動からの Bounce 挙動への遷移を確認することができた.

Fig. 3 に衝突後の飽和液滴の挙動の変化について示す. Fig. 3(a)では, 液滴は加熱固体面に衝突後, 時間経過に伴い半径方向に広がり, 一定時間経過後に跳ね上がる挙動を示した. 一方, Fig. 3(b)では, 液滴は加熱固体面に衝突後, 時間経過に伴い半径方向に広がった後, 一定時間経過後に跳ね上がり, 再び加熱固体面上に接触する挙動を示した. これらの挙動の違いは, 固液間に生成される蒸気膜の厚さの違いであると考えられる. また, 加熱面温度 $T_w=250[^\circ\text{C}]$ において, 液滴と固体面との接触がないことから, 本研究では飽和液滴における動的ライデンフロスト温度を $250[^\circ\text{C}]$ とした.

Fig. 4 にライデンフロスト状態での液滴と加熱面の間に形成される蒸気膜厚さを推定した結果を示す. なお推定式は, Park ら^[2]によって提案されている動的ライデンフロスト温度の予測式を変形して導いた式(1)を用いた.

$$\delta_v = \sqrt{\frac{(T_{LF} - T_{sat})\mu_v k_v}{\rho_v \rho_l h_{lv} U_0^2}} \quad (1)$$

ここで, δ_v は蒸気膜厚さ[m], T_{LF} は動的ライデンフロスト温度[K], T_{sat} は飽和温度[K], μ_v は蒸気の粘度[Pa·s], k_v は蒸気の熱伝導率[W/(m·K)], ρ_v は蒸気の密度[kg/m³], ρ_l は液滴の密度[kg/m³], h_{lv} は蒸発潜熱[J/kg], U_0 は衝突速度[m/s]である. なお, 使用液滴は純水とし, 動的ライデンフロスト温度を飽和液滴は $300[^\circ\text{C}]$, サブクール液滴は $250[^\circ\text{C}]$ とした. この推定結果から, 衝突 We 数の増加に伴い, 蒸気膜厚さは $1\ \mu\text{m}$ 以下まで薄膜化することができるものの, 液滴内温度の違いによる蒸気膜厚さの差は小さいことが示唆された.

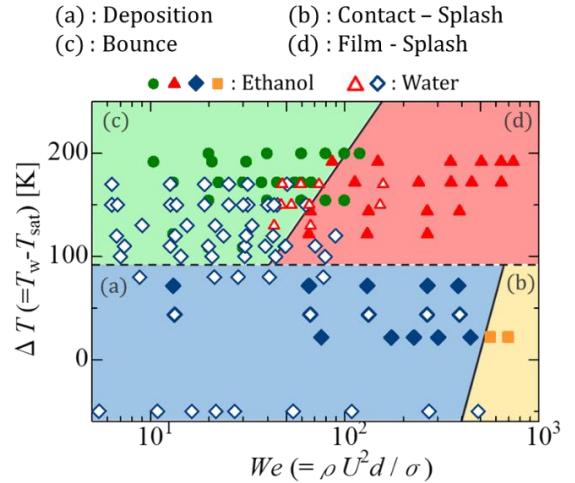


Fig. 2 Regime map of droplet impact.

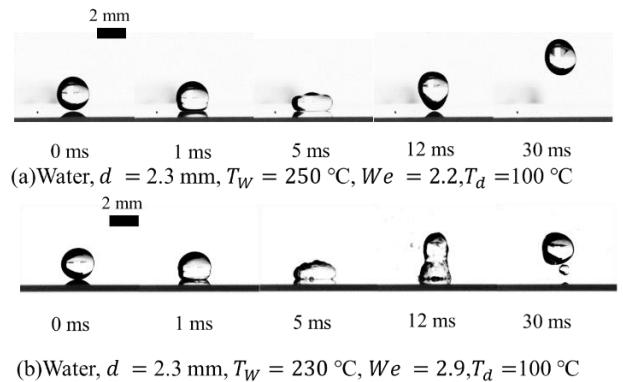


Fig. 3 Behavior of the water droplet.

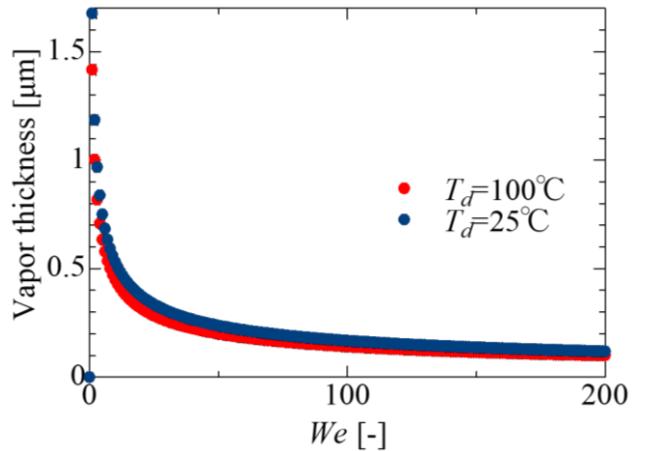


Fig. 4 Calculation of vapor film thickness

参考文献

- [1] H. J. J. Staat et al., *J Fluid Mech.*, 779, R3 (2015).
- [2] J. Park et al., *Phys. fluids*, 31, 021904 (2019).
- [3] T. Tran et al., *Phys. Rev. Lett.*, 109, 264501 (2012).