

高温固体面におけるライデンフロスト液滴の跳ね返り挙動

Bounce of Leidenfrost droplet on a heated solid surface

武藤一平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

高温固体面における液滴の衝突時の挙動は、噴霧冷却技術などの基礎現象として重要である。本研究では、高温固体面における単一液滴の衝突挙動を高速度カメラおよびIRカメラを用いて可視化観測し、評価を行った。本報では、流体物性および衝突 We 数、衝突面温度に着目し、各パラメータが高温固体面における液滴の衝突挙動に与える影響を実験的に検討した結果を報告する。

キーワード : Droplet impact, Bounce, Leidenfrost droplet, Vapor layer thickness

1. 緒言

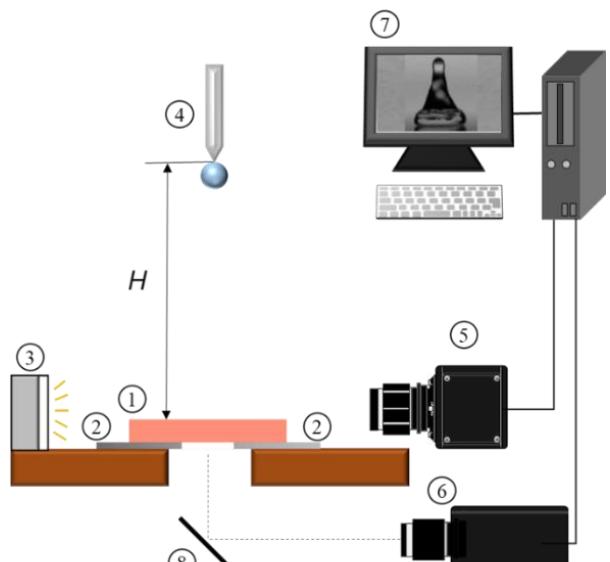
液体の加熱面衝突現象は製鋼時のスプレー冷却や噴霧冷却、燃焼機関の燃料噴射など幅広い分野において応用されている。これらの基礎的な現象となる液滴と固体面の衝突現象は、これまでにも様々な観点から研究が行われてきた[1-3]。しかしながら、加熱固体面に対する液滴の衝突挙動については、熱伝達現象や流体物性などが複雑に関与することから未解明な点が多い。

そこで本研究では高温固体面に液滴が衝突した際の液滴の跳ね返り挙動に着目し、衝突液滴の流体物性および衝突面温度が液滴の跳ね返り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概略図を示す。本実験装置は衝突面となる固体面をホットプレートで加熱し、固体面に対して垂直に設置されているシリンジから、液滴を自身の自重により衝突面へと落下させる。衝突液滴の挙動は、高速度カメラを用いてバックライト法により撮影を行い、得られた画像群に対してコンピュータを用いて画像解析を行った。また、高速度カメラでの観察とともに液滴衝突時の固体面の温度変化を放射温度計

を用いて衝突面下部より撮影した。試験流体として沸点の異なるエタノールおよびアセトンを用いた。液滴径 d に関しては、シリンジの針径を変えることで調整を行った。また、衝突速度 U は、シリンジを固定しているトラバース装置を上下へと移動させ、落下高さを変更することで調整した。また、衝突面温度 T_w は、ホットプレートの設定温度を変更することで調整した。



①Target Surface ②Hot Plate ③Led Light
④Syringe ⑤High Speed Camera ⑥IR Camera
⑦Computer ⑧Mirror

Fig. 1 Experimental setup.

3. 実験結果および考察

Fig. 2 に衝突面温度および衝突 We 数を用いて各液滴衝突挙動を整理した結果を示す。液滴衝突挙動は衝突面温度および衝突 We 数を用いることで Deposition 領域, Contact-splash 領域, Bounce 領域, Film-splash 領域の 4 領域に分類されることを確認した[3]。Fig. 3 には可視化観測結果の一例として Fig. 2 中の液滴の跳ね返り挙動の可視化観測結果を示す。加熱固体面に衝突した液滴は時間経過に伴い徐々に半径方向に広がったのち、一定の滞留時間を経て跳ね上がる挙動を示した。

Fig. 4 にエタノール液滴での異なる衝突 We 数、液滴径条件における蒸気膜厚さを算出した結果を示す。図中横軸は衝突 We 数を示し、縦軸は蒸気膜厚さを示している。蒸気膜厚さ δ_v は静的な液滴条件を仮定し、式(1)を用いて算出した[1]。

$$\delta_v \sim \left[\frac{\rho k_f \mu_f (T_w - T_{sat}) g}{h_{fg} \rho_v \sigma^2} \right]^{1/3} \left(\frac{d}{2} \right)^{4/3} \quad (1)$$

ここで、 ρ は液滴の密度、 k_f は蒸気の熱伝導率、 μ_f は蒸気の粘度、 T_w は衝突面温度、 T_{sat} は液滴の飽和温度、 g は重力加速度、 h_{fg} は蒸発潜熱、 ρ_v は蒸気の密度、 σ は液滴の表面張力、 d は液滴の直径である。プロット(■, ▲)は跳ね返り挙動を示し、プロット(□, △)は跳ね返り挙動以外を示す。この結果からエタノール液滴では低 We 数かつ蒸気膜の厚さが 13 μm 以上の条件で液滴が跳ね返ることが示唆された。エタノールは表面張力が比較的低く、 We 数が高い条件では表面張力より慣性力が支配的となるために液滴が飛散し、液滴の跳ね返り挙動が生じなかったと考えられる。また、衝突面温度が低い状態($T_w \leq 150^\circ\text{C}$, $\delta_v \leq 12 \mu\text{m}$)では、蒸気膜が十分に発生・発達しないために液滴の跳ね返りが確認されなかつたと考えられる。

現時点では蒸気膜厚さの直接計測ができるおらず、静的な液滴条件で算出した値での評価のみとなっている。今後は動的な条件での蒸気膜厚さの計測方法を確立し、動的な条件下での高温固体面への液滴衝突挙動を評価していく必要がある。

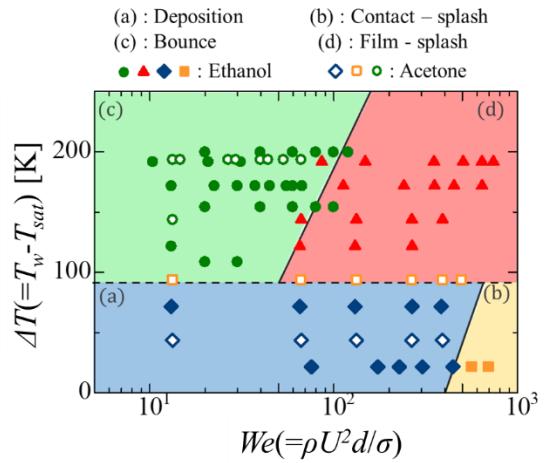
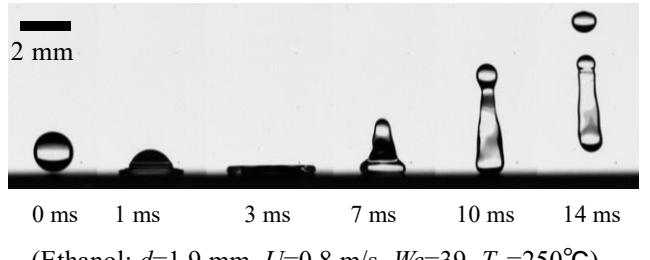


Fig. 2 Regime map of impact of ethanol and acetone droplet.



(Ethanol: $d=1.9 \text{ mm}$, $U=0.8 \text{ m/s}$, $We=39$, $T_w=250^\circ\text{C}$)

Fig. 3 Bouncing behavior of the ethanol droplet.

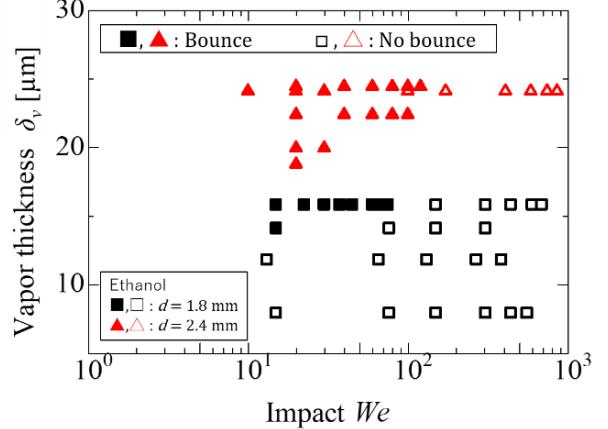


Fig. 4 The relationship between We and the vapor layer thickness.

参考文献

- [1] Liang, G. et al., *Int. J. Heat Mass Tran*, 106, 103-126 (2017).
- [2] Tran, T. et al., *Phys Rev Lett*, 108, 036101-1-5 (2012).
- [3] Staat, H. J. J. et al., *J. Fluid Mech*, 779, R3, 1-12 (2015).