

加熱液面におけるライデンフロスト液滴の可視化計測

Visualization measurement of Leidenfrost droplet on heated liquid surface

松本 潤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，加熱液面，マランゴニ対流，非接触流体制御

1. 緒言

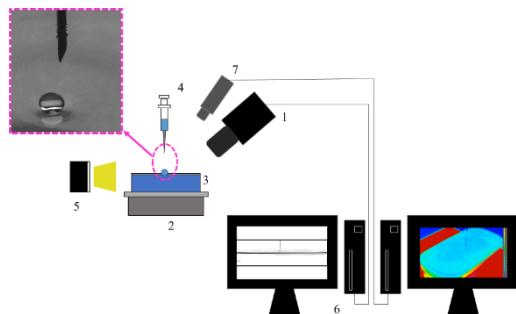
近年、無容器プロセッシングの活用を目的として分析化学分野や生物・医学分野、さらには燃焼科学分野をはじめとした幅広い分野において、非接触流体制御技術が注目されている。最近ではライデンフロスト効果を用いた流体輸送にも目を向かれているものの、工業プロセスへの応用や理論の完全な定着にはまだ至っていない。先行研究では、低沸点流体を液面に滴下すると、液滴が液面を浮遊した後、自己推進運動を開始することが確認されている⁽¹⁾。また、液滴下部に発生する蒸気膜の非対称性が推進運動に影響することが確認されている⁽²⁾。しかし、液滴の浮遊条件、推進中の液滴の制御法や液滴と液面間に生じる蒸気膜の厚さが浮遊の可否に与える影響に関しての知見が十分とは言い難い。

本研究は、試験液滴にアセトン、液面プールにグリセリンを用いて液滴浮遊のための支配パラメータの特定および各パラメータが浮遊・自己推進条件および液滴挙動に与える影響を実験的に検討することを目的とした。具体的には、加熱液面温度を能動的に変化させることで、液滴の自己推進運動、液滴下部に発生する蒸気膜の厚さを評価する。

2. 実験装置概要および実験方法

Fig.1に本研究で用いた実験装置の概要図を示す。試験流体であるグリセリン(液面)およびアセトン(液滴)の沸点は、それぞれ大気圧下において290°C, 56.6°Cである。液滴の浮遊(ライデンフロ

スト効果)には、滴下液滴の下部に十分な蒸気層を形成する必要があるため、滴下液滴が加熱液面近傍で飽和温度を超える必要がある。そのため本実験では液面温度 T_p を87, 107, 117, 130°Cとし、アセトン液滴の飽和温度を超えるよう設定した。液面温度が定常状態に達していることを温度計で確認し、シリンジを用いて手動でアセトン液滴を液面に滴下した。液滴の挙動は、高速度カメラを用い、バックライト法により撮影を行うとともに、液滴および加熱液面の温度を放射温度計によって計測した。得られた画像群をコンピュータにて処理し、実験データを解析した。



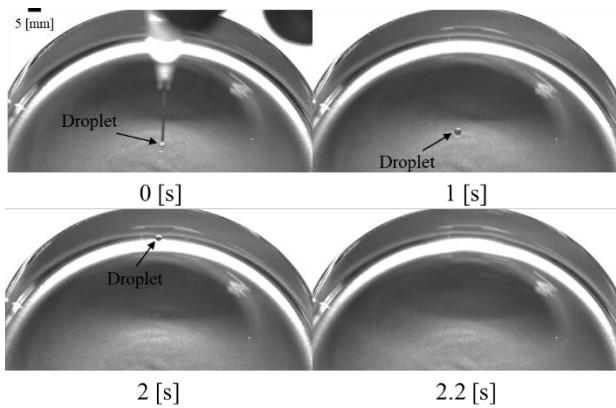
1	High-speed video camera
2	Heater
3	Glass container
4	Syringe
5	LED light
6	Computer
7	Radiation thermometer

Fig.1 Schematic of experimental setup.

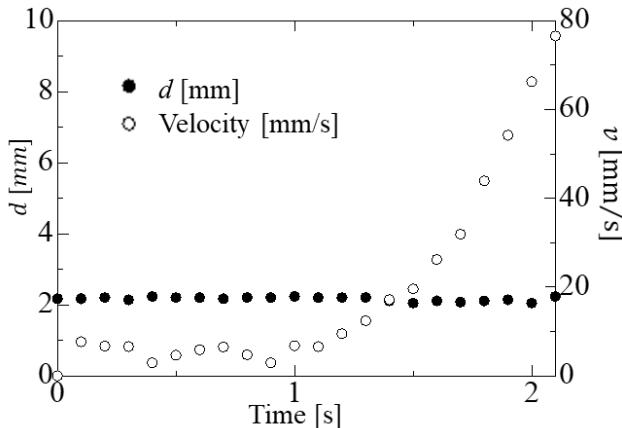
3. 実験結果および考察

3.1 ライデンフロスト液滴の可視化

Fig.2 に $T_p = 87^\circ\text{C}$ の実験結果を示す。Fig.2 (a) は液滴を滴下し、液面浮遊後の自己推進運動までの過程を示しており、Fig.2 (b) は得られた画像データから液滴径(d)、推進速度(v)を算出した結果を示している。 $T_p = 87^\circ\text{C}$ の条件で液滴は液面で浮遊した後、容器壁面に向かって自己推進運動を行った。液滴径の変化は微少であるものの、推進速度は時間経過とともに増加する傾向が確認された。



(a) Visualized image of Leidenfrost droplet.



(b) Calculation of droplet diameter and velocity.

Fig.2 Experimental results at $T_p = 87^\circ\text{C}$.

3.2 蒸気膜厚の推定

本項では、液滴を滴下した後の浮遊条件を明らかにするために発生する蒸気層厚さの推定を行う。加熱液面によって温められた液滴の蒸発により、液滴下部に蒸気膜が形成されることが考えられる。

そのため、蒸気膜の厚さは、液滴と液面との温度差に依存している。蒸気膜厚は式(1)⁽³⁾で表すことができる。

$$b = \sqrt{\frac{3\sigma_T \mu_d}{16\rho_d g \mu_p} (T_p - T_d)} \quad (1)$$

ここで、 b :蒸気膜厚 [m], σ_T :液滴の界面張力勾配 [N/m・K], g :重力加速度 [m/s²], ρ_d :液滴の密度 [kg/m³], μ_p :液面の粘性係数 [Pa・s], μ_d :蒸気の粘性係数 [Pa・s], T_p :液面の温度 [°C], T_d :液滴の温度 [°C]である。本研究で用いたグリセリン(液面)、アセトン(液滴)の物性値と実験で設定した温度を式(1)に代入することで液滴の実験時における蒸気膜厚が推定できる。グリセリン液面が 87°C , 107°C , 117°C , 130°C の場合の推定結果を Fig.4 に示す。ここでは、 T_d の最大温度をアセトンの沸点 (56.6°C) と仮定している。 $T_p - T_d$ の差が大きいほど膜厚は厚くなることから、液面がより高温なほど液滴の蒸気膜厚は厚くなることが推定される。

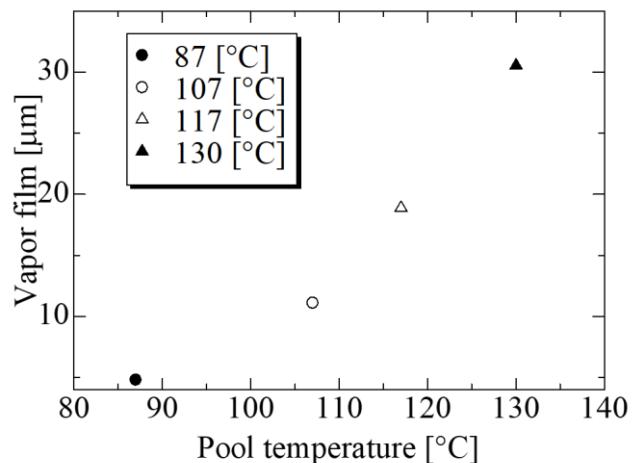


Fig.4 Estimated vapor film thickness.

参考文献

- (1) Janssens, S. D., Koizumi, S., Fried, E., *Physics of Fluids*, 29(3), 032103, (2017).
- (2) Gauthier, Anaïs, et al., *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(4), 1174-1179, (2019).
- (3) Davanlou, A., *Langmuir*, 32(38), 9736-9742, (2016).