

加熱液面に浮遊する液滴の挙動観察

Behavior observation of droplet floating on heated liquid pool

松本涼¹⁾

指導教員 長谷川浩司¹⁾

1) 工学院大学 工学部 機械工学科 混相流工学研究室

化学・薬学分野などでの非接触流体制御への応用を目的とし、液滴の輸送に関する研究は現在までに数多く行われてきている。しかし、その多くは非加熱液面や加熱・非加熱固体面への衝突を対象としており、加熱液面での液滴輸送の研究は十分とは言い難い。液滴と液面に十分な温度差を付与することで、液滴は液面上を浮遊・自己推進することが確認されているものの、その液滴を精密に制御する技術は未確立である。本報では加熱液面上での液滴の制御に焦点をあて、その律速因子を実験的に検討した結果を報告する。

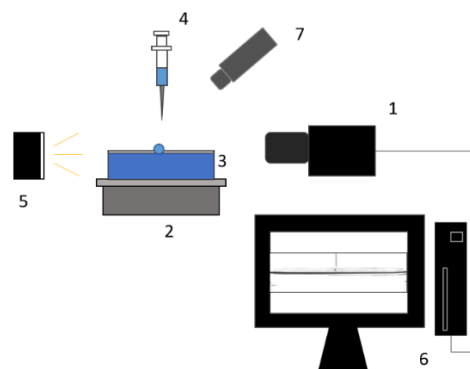
キーワード：液滴，加熱液面，マランゴニ対流，非接触流体制御

1. 緒言

異なる沸点の液体を利用し、一方を加熱した液面、一方を液滴とすることにより、液滴は液面上で浮遊および自己推進（輸送）することが知られている^[1,2]。この液滴輸送法はサンプル輸送，化学反応などへの応用が期待されている^[3]。しかし、現在では液滴の浮遊および自己推進運動は確認されているものの、その移動方向を制御する上で重要となる温度勾配によるプール液面の対流や浮遊液滴周りの対流の影響への知見は十分とは言い難い。

本研究では液滴の浮遊・輸送方向に影響すると律速因子を特定し、液滴の輸送制御を行うこと目的とする。本報では、液滴と液面に付与する温度差に着目し、液面の輸送特性および浮遊に必要な液滴下部の蒸気層の厚さを推定した結果を報告する。

ものの、アセトン液滴は加熱液面近傍で飽和温度を超えるために液滴下部に蒸気層が形成されることで液滴はライデンフロスト状態となることが予想される。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。



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全体概要図を示す。本実験では液面温度 T_p を 56, 66, 76, 86 [°C]とし、液滴径 d を 2.2 mm, 落下高さ h を 3.5 mm とした。加熱後に温度が定常状態を温度計により確認し、シリンジを用いてアセトン液滴を液面に滴下・浮遊させた。大気圧下での純水の沸点は 100 [°C], アセトンの沸点は 56.6 [°C]であるため、本研究での液面の設定温度では純水は沸騰しない

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 加熱純水液面に浮遊する液滴の可視化

Fig.2 に液滴を滴下し、液面浮遊後の自己推進運動までの過程を示す。Fig.2 (a)では、液滴は液面で浮遊せずに液面に沈降した。液滴が浮遊するには液滴自体の蒸気膜形成の必要があるが、液面が 56 [°C]ではアセトンの沸点である 56.6 [°C]に近いため、蒸気膜を形成する前に沈降したと考えられる。Fig.2 (b)では、液滴が液面上で浮遊することを確認したものの、液滴の浮遊時間は短時間であった。これは液滴と液面の温度差が小さく、浮遊するだけの蒸気膜が十分に形成されなかったためと考えられる。Fig.2 (c)では、液滴が液面上を浮遊した後に自己推進運動することを確認した。Fig.2 (d)では、Fig.2 (c)と同様に浮遊した後、自己推進運動することを確認した。76 [°C]の場合と比較して運動の距離が長く、液面の温度が上昇することでより多くの蒸気が生成されることで自己推進運動は生じやすいと考えられる。

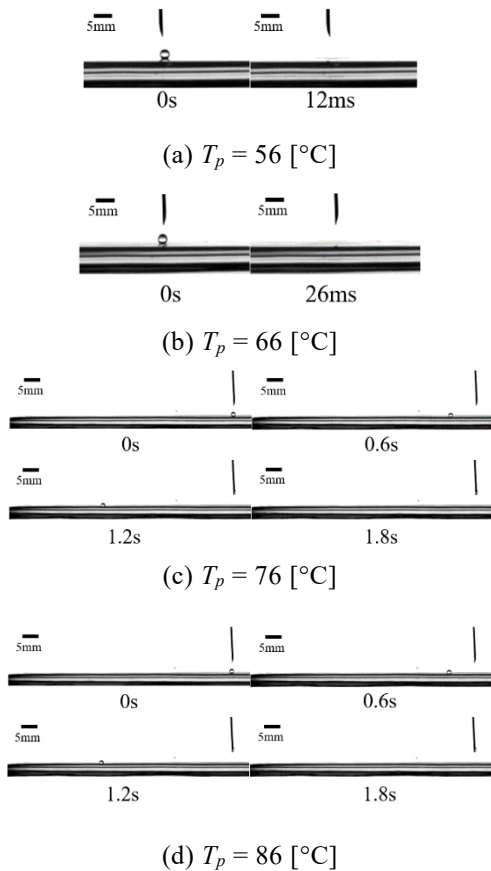


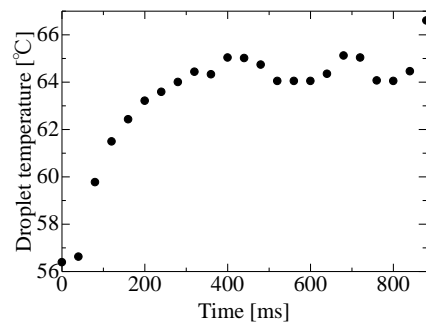
Fig.2 Experimental result of droplet behavior on water pool with different temperature.

3.2 液滴下部の蒸気膜厚さの推定

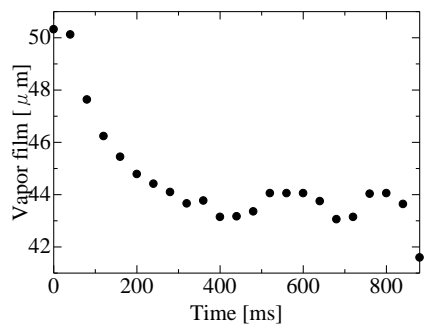
Fig.3 に放射温度計によって取得した液滴および蒸気膜厚さを推定した結果を示す。蒸気膜厚は式 (1)で予測できる^[2]。

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

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_a :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。液滴の温度は時間経過とともに上昇していくことが確認できる。すなわち液面と液滴の温度差($T_p - T_d$)の減少に伴い、蒸気膜厚は薄膜化すると予想される。このことから、Fig.2の結果と合わせ、液面と液滴の温度差が増加することで蒸気膜厚は厚くなることで液滴は安定して浮遊することが示唆された。



(a) Droplet temperature on water pool of 86 [°C]



(b) Estimation of vapor film by eq. (1)

Fig.3 Droplet temperature and estimated vapor film.

参考文献

- [1] Janssens, S.D., Koizumi, S., Fried, E., Physics of Fluids, 29(3), 032103, (2017).
- [2] Ashkan, D., Langmuir, 32(38), 9736–9742 (2016).
- [3] Davanlou, A., Kumar, R., Scientific reports, 5, 9531, (2015).