

油面上における多成分液滴の拡散挙動

diffusion behavior of binary droplet on oil pool

萬崎 勇貴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

キーワード：液滴，マランゴニ対流，表面張力，拡散，蒸発

1. 緒言

物体上に付着した液滴の挙動は、溶接や表面処理等様々な分野で重要な問題である。特に、多成分液体の蒸発は組成変化および濃度勾配を生じ、マランゴニ対流を発生させることが知られている⁽¹⁾。Keiser ら⁽²⁾は、非混和性流体上で駆動、分散する蒸発液体の検討を行った。この研究では、オイルプール上に滴下された IPA-水混合液体のうち、IPA が不均一に蒸発することで濃度勾配を生み出し、液滴外縁部へ向かうマランゴニ対流を生じることを示した。その結果として外縁部へ引き伸ばされた液滴が数百から数千の極小液滴へ分裂することを示唆した。このことは、単一液滴を落下させる操作のみによりオイルプール上に微小液滴の大量生成が可能であることを示すと同時に、動力を必要としない濃度マランゴニ効果を用いた非接触流体制御の可能性を示唆するものである。本研究では、オイルプール上に滴下された多成分液滴の伸展および分散挙動への理解を深めることを目的とする。本稿では、揮発性流体の物性、プール流体の物性、滴下量の影響などの検討とともに、液滴の蒸発量を定量的に把握するために放射温度計を用いて蒸発過程を可視化観察した結果を報告する。

2. 実験方法および実験装置

図 1 に本研究で用いた実験装置の概略図を示す。本実験装置はシャーレ中のオイルプール、液体注入用シリンジ、観測機器によって構成されている。実験手順として、シャーレ中のオイルプール上

にシリンジを用いて手動で流体試料を滴下する。滴下後の液滴の動的挙動はカメラおよび放射温度計によって可視化計測する。流体試料は濃度調整および可視化のため、青色食用色素による着色を施している。得られた画像群をコンピュータにて処理することで液滴の挙動を定量的に評価した。プールには先行研究で使用されたヒマワリ油を使用し、プール容器には用途に合わせて 2 種類のシャーレを用いた。

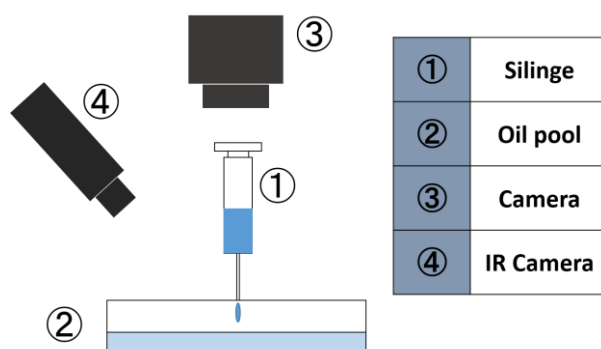


Fig.1 Schematic of experimental setup

Table1 Experimental condition

Oil pool height H [mm]	10
Mass fraction ϕ_0	0.6
Sample of evaporative fluid	Ethanol, IPA
Sample of pool	Sunflower oil
I.D. of petri dish D [mm]	85.7, 200
Temperature [deg. C]	25

3. 実験結果および考察

3.1 滴下量と拡散挙動の関係

滴下量と液滴の拡散挙動を検討するためヒマワリ油上において、IPA-水混合液を滴下量 0.1 mL, 0.2 mL, 0.3 mL の 3 パターンで滴下した。液滴拡散時の壁面の影響を排除するため容器は 200 mm のものを使用した。図 2 に 0.2 mL 時の拡散挙動を、図 3 に 1 秒ごとの液滴面積推移を示す。面積の算出は、液滴の水平、垂直方向の直径をそれぞれ計測し、これらの平均を直径とする円を仮定して算出した。図 3 より、0.1 mL, 0.3 mL の液滴の面積推移は近しく、特に 35 s 以降はよく近似しているといえる。一方で 0.2 mL は他 2 サンプルに比較して急激に拡散していることがわかる。滴下量と拡散速度の関係に着目した場合、この結果は不可解である。本実験では液滴注入にシリンジを用いているため、液滴に与える初期運動量が実験毎に変化するなど、外力が一定ではない。よって、0.2 mL 時のみは何らかの影響で大きな初期運動量を得たために拡散速度が大きくなったと考えられ、このスケールの滴下範囲においては、滴下量に関係なく拡散速度は一定であるという仮説が提案できる。

3.2 放射温度計による蒸発挙動の可視化

蒸発による温度変化観察のため、放射温度計による可視化を図った。プール全体を撮影するために容器は 85.7 mm のものを使用した。得られた熱画像を図 4 に示す。滴下液中、IPA は蒸気圧が低いいため急速に蒸発する。蒸発に伴いプール表面が冷却されるため、画像中温度の低い部分ほど急速な蒸発が発生していると考えられる。滴下後 10 秒までに液滴がプール全体に拡散することが確認できる。2-5 秒間の画像より、滴下された液滴は中央部と外縁部が特に低温化しているのがわかる。中央部では滴下直後に IPA 濃度が高かったことから早期に低温化した一方、外縁部では対流によって IPA 濃度が漸次増加したことで温度が低下したと考えられる。20 秒時にはプール全体の温度が低下している。これは対流で IPA が外縁部に集中したことにより円中央部の濃度が低下し、逆に中央へ引き

戻す対流が発生したためと考えられる。液滴が中央へ戻る過程でプール全体が冷却されたため、このような温度分布になると推察される。また、中央部へ引き戻す対流には濃度に起因するものだけでなく、高温部から低温部へ向かう、温度に起因した対流も寄与していると考えられる。放射温度計を用いることで、一連の蒸発プロセスを鮮明に可視化可能であることが確認された。液滴の蒸発に伴う温度勾配、それによって引き起こされる対流の時空間発展の複雑なプロセスを定量的に把握可能であることを示唆するものである。

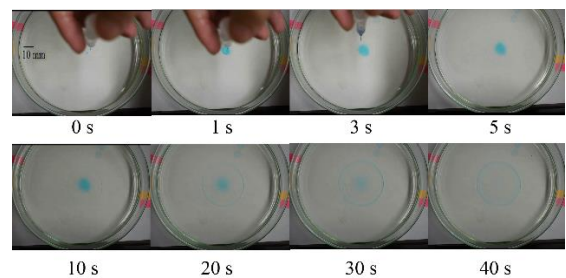


Fig. 2 Snapshot of droplet diffusion

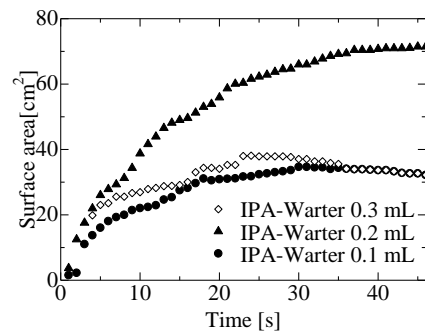


Fig. 3 Droplet behavior on oil pool

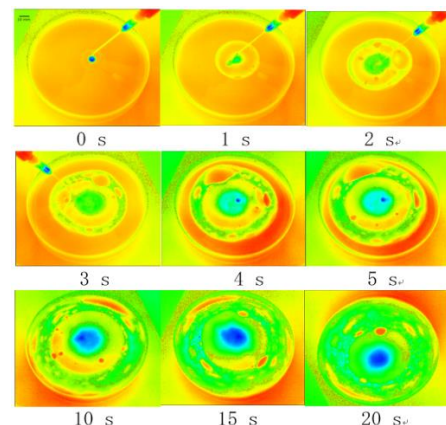


Fig. 4 Temperature field on oil pool

参考文献

- (1) 甲斐昌一, までりあ, 34(4) (1995), pp. 380-388.
- (2) Keiser, L, et al., *Phys. Rev. Lett.*, 118(7) (2017), 074504.