

卒業論文要旨

高温鋸歯面上におけるライデンフロスト液滴の移動性能についての検討

システム工学群

材料革新サステイナブルテクノロジー研究室 1210019 市川 怜司

1. 背景

我々人類の発展において電気、熱等のエネルギーの存在は大変偉大なもので現代ではなくてはならないものとなっている。しかし、人類の発展とともにエネルギー消費量の増大が問題視されており、化石燃料を主に使用してエネルギーを生産しているため、近い未来化石燃料が枯渇するのではないかとされている。そのためエネルギー効率化に関する様々な研究がなされている。本研究室では、工場排熱を利用した動力源開発のためライデンフロスト現象に着目し、液滴挙動の観察や、メカニズムの解明などを行っている。ところが先行研究において液滴が予想に反する挙動を示した。本研究ではその予想せぬ挙動を解明し、液滴の移動に関する物理メカニズムの解明を目指す。

2. ライデンフロスト現象

ライデンフロスト現象は液滴が沸点よりも遥かに高い温度の物体に接触、または近づくことにより発生した蒸気が温度の高い物体表面との間に蒸気膜を作ること、蒸発時間が飛躍的に増加する現象のことである。図1にライデンフロスト現象の模式図を示す。この現象は1756年にドイツの医師であるヨハン・ライデンフロストの論文^[1]で論じられているため本人の名前からライデンフロスト現象と名付けられた。

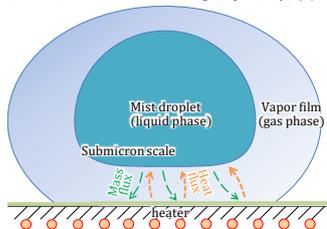


Fig.1 Schematic diagram of LeidenFrost effect

ライデンフロスト現象の特性として鋸歯面に液滴を導入すると一定方向に移動する特性がある。平坦な表面の場合、高温な面に接して発生した蒸気が均一に流れていくが、鋸歯面上の場合、蒸気が熱膨張を起し、鋸歯面を押す作用反作用の結果として斜面左側に進行することが考えられる。先行研究^[2]^[3]では、この特性の挙動観測が行われてきたがある条件下では予想に反して逆方向に進む現象が確認された。

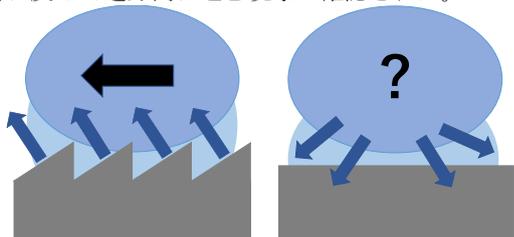


Fig.2 Principle of droplet movement

3. 実験方法

初めに先行研究で予想せぬ挙動を示した実験の追実験を行い、問題点を洗い出した。先行研究での問題は液滴を包むライデンフロスト現象で発生した蒸気膜の厚さが十分でないため滴下時の沸騰の衝撃、基板の状態に依存してしまい理論通りの結果に結びつかなかったのではないかと推測した。そこで本研究では先行研究で用いられていた電子ピペットをより熱耐性のあるものに変更し、基板上に液滴を数秒間固定することで液滴周りに蒸気膜が十分に形成されるような観測方法に変更して実験を行った。

実験手順を以下に示す。角度計を用いてヒーターが水平になっていることを確認して基板を設置した。その後、特定の温度にヒーターを熱し、基板が設定温度に達したことを温度計で確認した。次に電子ピペットを使い超純水を滴下しデジタルカメラの8倍スローモーション機能を使って液滴の挙動を撮影した。その映像をWindows Media Playerで1/16秒ごとに液滴の移動距離を測り、中央差分法で速度を算出した。図3に実験系の概略と変更したピペットを示す。また表1に実験で使用する液滴のパラメータを示す。

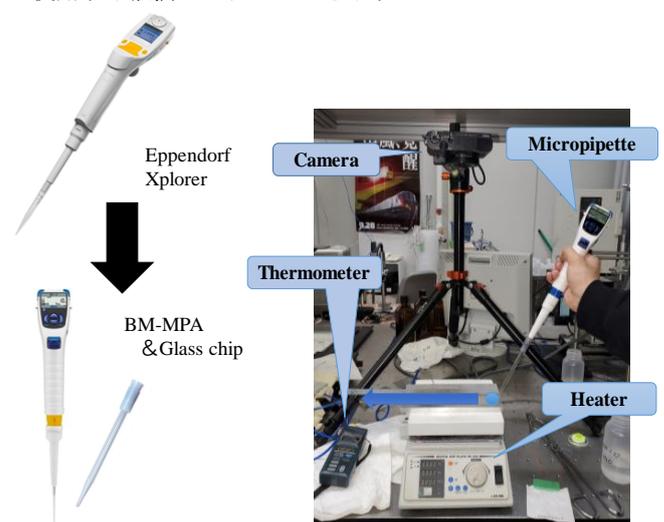


Fig.3 Overall view of the experiment and selecting a pipette

Table.1 Experimental conditions

Liquid type	D.I. water
Liquid volume[μ L]	34
Droplet diameter[mm]	4
Substrate surface temperature[$^{\circ}$ C]	300~400
Measurement temperature interval[$^{\circ}$ C]	25
Numbers of measurement[Times]	5

図5に使用する基板について示す。本研究では液滴と接する面が直角になっているB形状、底面と側面のどちらか一方

のなす角が直角になっている C 形状のものを用意し、鋸歯の横幅 w , 角度 θ を変化させて実験を行った. 表 2 に各基板のパラメータを示す.

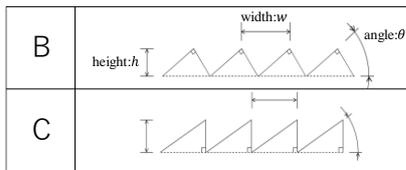


Fig.4 Corrugated sheet shape

Table.2 parameters

	θ : angle[$^{\circ}$]	w : width[mm]	h : height[mm]	
			B	C
1	20	0.5	0.161	0.182
2		0.75	0.241	0.28
3		1	0.321	0.364
4	30	0.5	0.217	0.289
5		0.75	0.325	0.433
6		1	0.433	0.577

4. 結果

図 5 に C1~3 の実験結果を示す. この 3 つの基板では共通して温度が高くなるにつれ速度が減少している傾向が見られた. またどの基板でも低温度帯では速度が一定に収束していく傾向がみられるのに対して, 高温帯では最後まで加速しているような傾向が見られた. C1 の低温度帯では液滴を滴下し移動を始め, 時間が経過すると速度が減少している傾向が見て取れた. この時, 液滴がパチパチと音を出し, 弾けるような挙動を示していた.

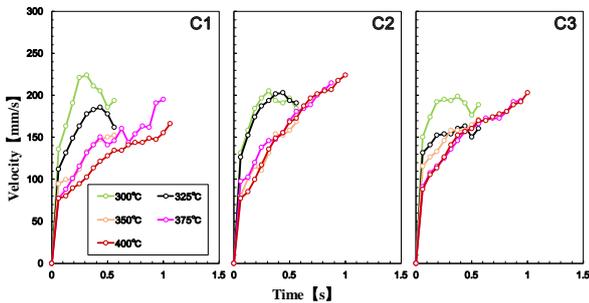


Fig.5 Experimental results of C1 to C3

図 6 に B1~3 の実験結果を示す. B 基板では B1 のように温度が高くなるにつれて速度が減少している傾向が見られたが, B2, B3 のように温度による変化が少なく, 同じような速度が観測された. C 基板と比較すると基板による違いが大きく, どの温度帯でも速度が収束せず, 増加していた.

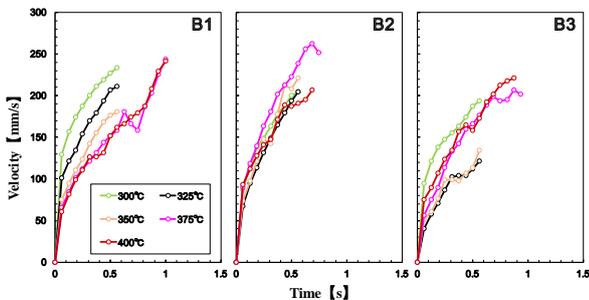


Fig.6 Experimental results of B1 to B3

最後に基板形状の角度 θ を変えて比較するために C1, C4 と B2, B5 の実験結果を図 7 に示す. C1, C4 を比較すると低温では速度が収束するところは変わらないが角度 θ が 30° である C4

では速度の増加が大きく, 温度に対する速度変化が少ない. 一方 B 基板では角度 θ による速度のばらつきが見られ, B2 は小さく B5 は大きい. そして B2, B5 のような歯幅 w が 0.75 mm の際には速度が大きくなる結果を得られた.

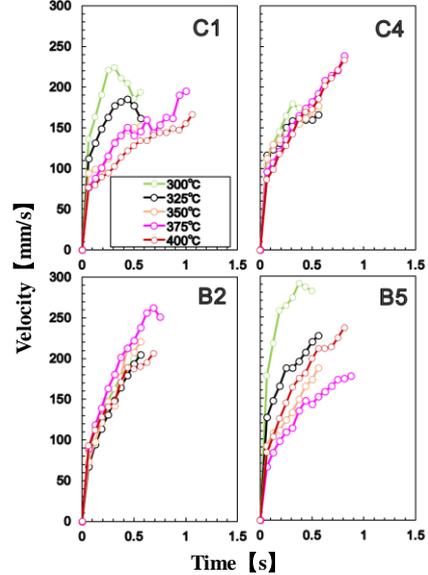


Fig.7 Experimental results of C1, C4 and B2, B5

5. 考察

ライデンフロスト現象と鋸歯面の関係について実験結果から考察する. 高温になるにつれ速度が遅くなる要因として基板の温度が上がるにつれて蒸気膜が厚くなり, 鋸歯面の影響を受けづらくなるため速度が増加しなくなると考えられる. C 基板で見られた低温度帯で時間経過とともに速度が減少していく現象も, 蒸気膜が薄いのが故に基板形状の影響を受けやすくなり速度が減少してしまったと考えられる. また, 蒸気膜が薄いため基板と液滴が接触し, 液滴が蒸発する音が聞こえてきたと考えられる. B 基板でどの角度 θ でも, 歯幅 w が 0.75 mm での結果で速度が大きくなった点, また C 基板でも C2 が比較的速度が大きい点については液滴量によって最適な歯幅 w , 高さ h があると考えられる. 最後に基板によって速度にばらつきが見られた点, 速度の加減速が急であった点は基板の保存状態が良くないことや, 本研究の特性上手動での実験になるため, 誤差が生じたと考えられる.

6. 結言

本研究では先行研究で観測された問題点の改善, 新たな実験法での液滴観測を行った. しかし, 実験法に関して蒸気膜が十分に形成されているかは主観で判断しており, 液滴の保持にも手動で行っているため, 今後は実験方法の見直しを含め, 改善を行いさらに高い精度のデータ取得を目指し研究を行う必要がある.

文献

- 【1】 J.G. Leidenfrost “ De Aquae Communis Nonnullis Qualitatibus Tractatus “ translation of portions to appear in Intern J Heat Mass Transfer (1756)
- 【2】 宮田翔生 “高温鋸歯面上におけるライデンフロスト液滴の挙動観測” 高知工科大学 卒業論文 (2020)
- 【3】 秦暦 “高温壁面近傍における液滴挙動と液滴消滅時間に関する研究” 高知工科大学 修士論文 (2020)