

# 卒業論文要旨

## 加熱面上における液滴量と蒸発時間に関する研究

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 1230008 荒木 穂孝

### 1. 背景

近年、地球温暖化や化石燃料の枯渇が問題視されており、太陽光や水力など自然エネルギーを利用した発電が改めて注目されだし、また様々な電力発電システムの効率の向上や、廃熱などを利用する新たなエネルギー利用法を模索していく必要にせまられている。未利用熱エネルギー革新的技術研究組合技術開発センターの産業分野の廃熱実態調査報告書<sup>(1)</sup>によると、全国の多様な産業において様々な温度帯の廃熱が再利用されず廃棄されていることが報告されている。本研究室ではこの廃熱に着目し、ライデンフロスト効果を用いた新たなエネルギー利用法の開発を目標に、研究を行っている。ところで、このライデンフロスト効果についてはいまだ解明されていない点があり、本研究室でも様々なパラメータを変更しその蒸発挙動の解明に努めている。

### 2. ライデンフロスト効果

ライデンフロスト効果とは、液滴が沸点より高温の物体に接触、もしくは近づくことで、高温物体表面と液滴との間に蒸気の膜が形成され液滴が浮遊し、熱伝達が阻害されることで液滴の蒸発時間が増加するという効果のことである。図1にライデンフロスト効果の模式図を示す。この効果は1756年にJohann Gottlob Leidenfrost<sup>(2)</sup>が報告したため、ライデンフロスト効果と呼ばれている。

ところで、基板表面を鋸歯状に加工することにより、液滴の移動方向を操作することができる。本研究室では、この特性を利用した動力源開発に取り組んでおり、鋸歯基板上における液滴挙動に関する研究なども展開している。<sup>(3)</sup>

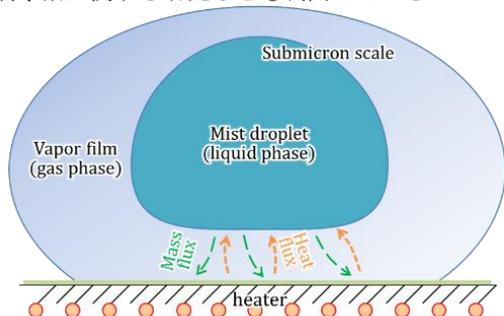


Fig.1 Schematic image of Leidenfrost effect droplet on a heater.

### 3. 目的

本研究室では、蒸発実験において蒸気膜厚さ<sup>(4)</sup>、混合溶液<sup>(4)</sup>、表面形状、表面特性<sup>(5)</sup>など様々なパラメータに着目し、実験を行ってきた。しかし、液量というパラメータに着目し、液滴の蒸発挙動を観測する実験は行われていなかった。そこで本研究室では、高温基板上に滴下した液滴の液量に伴い液滴の蒸発時間や蒸発挙動がどのように変化するかなどの基礎研

究を行い、ライデンフロスト効果の現象解明の手掛かりをつかむことを目指した。また、基板の表面劣化に伴う蒸発時間の変化についても調査した。

### 4. 超純水(H<sub>2</sub>O)の液滴量と蒸発時間の関係

温度を上昇させたヒーターの上にアルミニウム基板を乗せ、電子ピペットで各液量の液滴を滴下し蒸発させ、液滴が滴下されてから消滅するまでの時間をストップウォッチで計測した。基板表面温度は110℃から400℃まで10℃ずつ上昇させ、計測回数は各温度で10回ずつ行った。滴下した液滴の液量は14.1 μl, 21.2 μl, 28.2 μlの3条件である。14.1 μlは直径3.0 mmに相当し、21.2 μl, 28.2 μlはその液量の1.5倍、2倍である。測定に際し、蒸発時間や挙動があまりにも違ったものは結果から排除した。

実験条件の詳細を表1に示す。

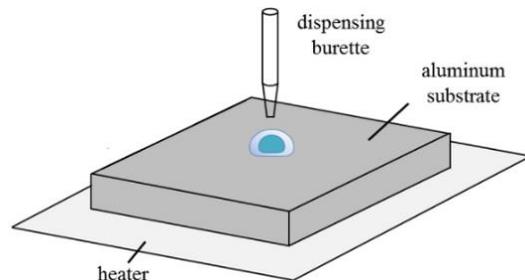


Fig.2 Schematic of evaporation time measurement system.

Table.1 Experimental conditions.

Solvent	H <sub>2</sub> O		
Liquid volume (μl)	14.1	21.2	28.2
Droplet radius (mm)	1.5	1.7	1.9
Substrate surface temperature (°C)	110 ~ 400		
Measurement temperature interval (°C)	10		
Number of measurements	10		
Substrate material	aluminum		

### 5. 実験結果・考察

超純水を用いた際における基板上における基板表面温度に対する液滴の蒸発時間の各平均値をプロットした結果を図3示す。色の違いは、滴下液量の差を表している。どの液量の場合においても、140℃~170℃を堺に蒸発時間が激変していることが確認され、ライデンフロスト点(本研究ではライデンフロスト効果により蒸発時間が最大となる温度をライデンフロスト点と呼ぶ)が明確に確認された。このライデンフロスト点は、液量が増えると低下するといった結果となった。一方、この非連続性は、滴下する液滴の量が多いほど明確に表れているように見える。これは、液量が多いほど液滴

重量が重く、基板に接触する確率が高くなるため、遷移沸騰に遷移して液滴が分裂、分散し蒸発時間が低下しやすくなるからであると考えられる。ここで、先行研究の秦暦氏の修士論文<sup>(4)</sup>を参照すると液滴径が増加するほど、すなわち液量が多くなるほど、液滴と基板表面の間に発生する蒸気膜の厚さは増加することが報告されている。つまり、この蒸気膜厚さが液滴サイズに依存しているのではないかと考えることができ、滴下した液滴のサイズが大きくなるほどライデンフロスト点が低下するのは、液滴サイズが小さい液滴よりも大きい液滴のほうが低温になっても蒸気膜厚さを厚く保て、液滴が安定して浮遊するからであると考えられる。

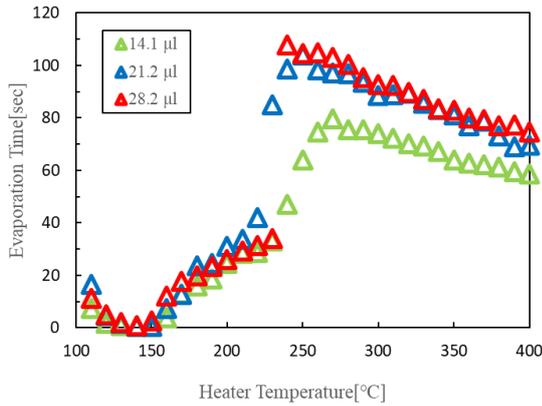


Fig.3 Dependence of evaporation time on volume of H<sub>2</sub>O droplet.

### 6. メタノール (CH<sub>3</sub>OH) での液量と蒸発時間の関係

実験は4節と同様に行い、液種をメタノールに変更し、超純水を用いた場合と液滴蒸発時間、挙動がどのように違うのかを比較した。実験条件の詳細を表2に示す。

Table.2 Experimental conditions.

Solvent	CH <sub>4</sub> O
Liquid volume (µl)	14.1 21.2 28.2
Droplet radius (mm)	1.5 1.7 1.9
Substrate surface temperature (°C)	60 ~ 350
Measurement temperature interval (°C)	10
Number of measurements	5
Substrate material	aluminum

### 7. 実験結果・考察

メタノールを用いた際における基板上における基板表面温度に対する液滴の蒸発時間をプロットした結果を図4示す。色の違いは、滴下液量の差を表している。液量が 14.1 µl, 21.2 µl, 28.2 µl でのライデンフロスト点はそれぞれ 180°C, 170°C, 180°C となった。しかしながら超純水とは異なり、非連続性は明確には見られずライデンフロスト点前後の温度でもあまり蒸発時間は変わらなかった。ただし、通常の沸騰状態よりも蒸発時間の増加が認められるものの、ライデンフロスト効果が発起している際の蒸発時間の理論値には届かなかった。この時の液滴は、初めライデンフロスト効果が見られ基板表面を滑っていたが、小さくなると液滴が分裂し跳ねるような挙動をしていた。ここで先行研究の実験結果<sup>(4)</sup>より、液滴直径が 5 mm での超純水とメタノールの温度比(基板表面温度を溶液の沸点で除した値)ごとの蒸気膜厚さをプロットしたグラフを図5に示す。ここから、温度比が小さくなるほど、メタノールのほうが蒸気膜が厚くなるのが分かる。すなわち、ライデンフロスト点直前では水に比べメタノールを用いた時のほうが膜沸騰状態を保ちやすく、滴下して

から直径が小さくなるまでライデンフロスト状態を保っているからであると考えられる。

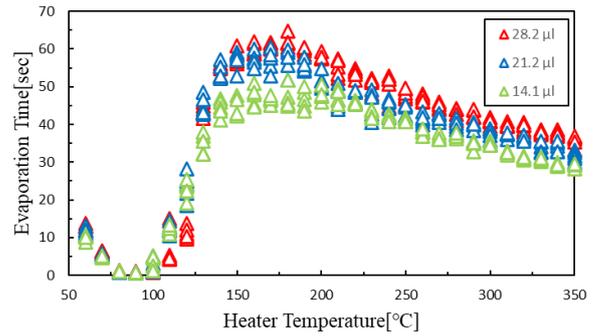


Fig.4 Dependence of evaporation time on volume of CH<sub>4</sub>O droplet.

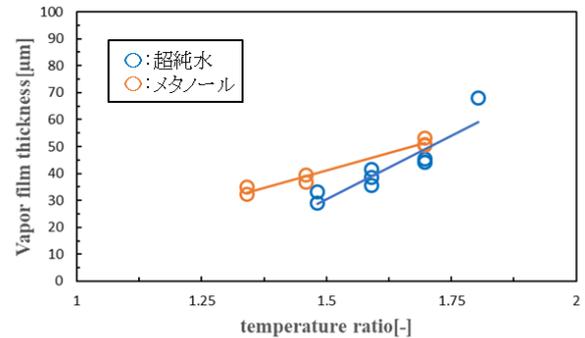


Fig.5 Comparison of vapor film thickness

### 8. 結言

本研究では、滴下液量を変化させたときにおける液滴の蒸発挙動に関して、超純水とメタノールの2種類の溶液を用いて調査を行った。超純水では液量を増やすとライデンフロスト点が低下することが判明した。一方、メタノールでは滴下液量に伴うライデンフロスト点の低下傾向は確認できなかった。

本研究で基板劣化による蒸発時間への影響を調査する実験を行ったが、今後蒸発実験において蒸発時間に作用した他要因の可能性についても調査していく必要がある。

また、蒸気膜厚さが蒸発時間やその蒸発挙動に大きく関係していることが考えられるため、大学院ではライデンフロスト状液滴の蒸気膜厚さについて調査し、更なるライデンフロスト効果の解明に取り組みたいと思う。

### 文献

- (1) 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合技術開発センター, “産業分野の廃熱実態調査報告書”
- (2) J.G. Leidenfrost, “De Aquae Communis Nonnullis Qualitatibus Tractatus”, translation of portions to appear in Intern J Heat Mass Transfer (1756)
- (3) 岡田雄哉, “液滴のライデンフロスト挙動を利用した新動力源の開発に関する基礎研究”, 高知工科大学 修士論文 (2020)
- (4) 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)
- (5) 小林俊介, “動力源開発に向けたライデンフロスト効果と基板表面状態の関係に関する研究”, 高知工科大学 学士論文 (2022)