

# 流れ場内の微小液滴挙動の観測とそのシステム開発

## Development of a experimental system and direct observation of micro droplets behavior in flow field

知能機械システム工学コース

川原村研究室 1225053 宮地 啓太

### 1. 緒言

液滴が高温壁面に接触した時、液滴と高温壁面との間に発生した蒸気膜が熱伝達を阻害することによって蒸発時間が長くなるのは、ライデンフロスト現象<sup>(1)</sup>が要因であるとされる。図1に示すのはライデンフロスト現象のモデル図である。ライデンフロスト状態の数 mm サイズの液滴蒸発時間は B.S.Gottfried らが提唱した式で求められるとされているが<sup>(2)</sup>、その式が数  $\mu\text{m}$  サイズの微小液滴でも適用可能かは明らかにされていない。そこで我々は、数  $\mu\text{m}$  サイズの微小液滴の高温壁面近傍における挙動を直接観測し、理論化を目指して、観測装置の開発とデータ処理技術の開発を行っている。

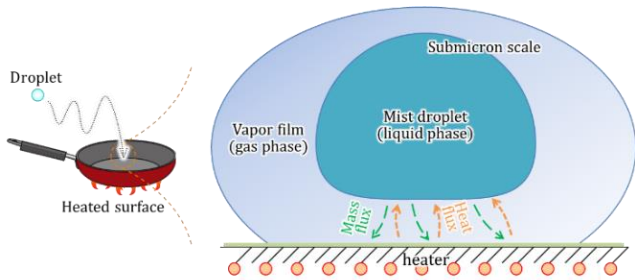


Fig. 1 Leidenfrost effect

### 2. 微小液滴の挙動観測実験

ライデンフロスト状態の微小液滴は、大気圧下において熱等による外乱により動いてしまうため、特殊な観測装置群の開発が必要である。先行研究では、開発した観測装置群を使用して、加熱された状態の微小液滴の撮像に成功している<sup>(3)</sup>。装置群内の流路装置は顕微鏡視野と熱伝導を考慮して設計する必要があり、1 mm 程度の細い流路にミスト流を導入しなければならない。当初試作したシステムからは、構造上の理由により流れ場からのガス漏れが発生しており、そこから微小液滴が流出していることが判明している<sup>(3)</sup>。そこでガス漏れのない新たな流路装置の開発に取り組み、観測時の定常観測実現と一度に撮像される液滴数の増加を目指した。

図3に示した新流路装置を設計・試作し、表1の実験条件にて微小液滴の観測実験を行った。各温度、各観測位置において流れ場からの漏れを確認することなく観測を行うことに成功した。その他の効果として従来の流路装置に比べてアルミ合金が占める容積が増加し、装置全体が持つ熱容量が大きくなったことで流れ場への熱伝達が向上していると考えられる。

しかし、新流路装置を導入したことで、新たな問題も発生している。一つは流路装置加熱時の温度ムラである。前述のように全体の熱容量は向上したと考えられるが、流路装置のヒーターから離れた上部とヒーター近くの下部で温度差が生じており、80  $^{\circ}\text{C}$ 時で約 5  $^{\circ}\text{C}$ 、130  $^{\circ}\text{C}$ 時で約 10  $^{\circ}\text{C}$ の差が生じている。今後、流路装置上部へのヒーター増設の検討などを考えている。

もう一つは流出口が  $\Phi 1$  mm 程度と細く、圧力損失が大きいため大流量のガスを流すことができないことである。霧化器への流入ガス量に比べ新流路装置への流出ガス量が極端に少なくなり、霧化器内の圧力が高くなり、超音波伝播のために利用している PE フィルム部が耐え切れず膨らんだ。結果として流路全体の密閉が不可能であった。そのため、流れる微小液滴の全量が減少したと考えられ、流路装置下流域での観測を行うことができなかった。

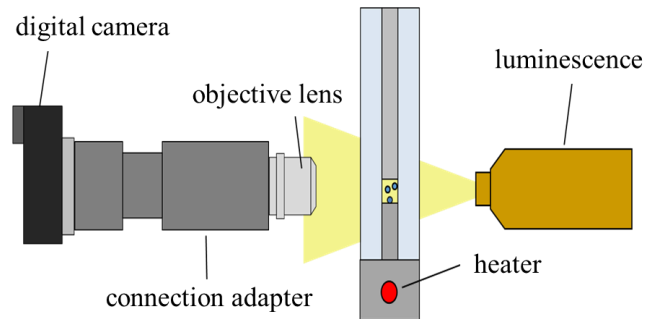
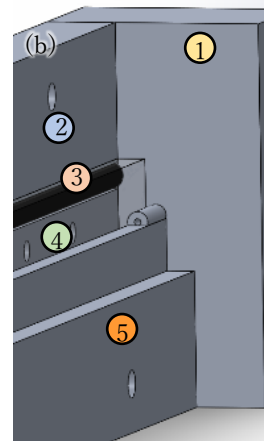


Fig. 2 Schematic for micro droplet photography system



- ① : Inlet part
- ② : Side cover (with window)
- ③ : Sealing rubber
- ④ : Glass
- ⑤ : Channel part

Fig. 3 New micro chanel system  
(a) Front of view (b) System components

Table.1 Experimental conditions

Sub.temp. [ $^{\circ}\text{C}$ ]	80	ISO sensitivity	12800
Wid.of chan. [mm]	3	Power [V:A]	24:1.8
Hei.of chan. [mm]	1	Samp. time [ns]	18
Pos. from inlet [mm]	25,50,75,100	Flow rate [L/min]	1.0

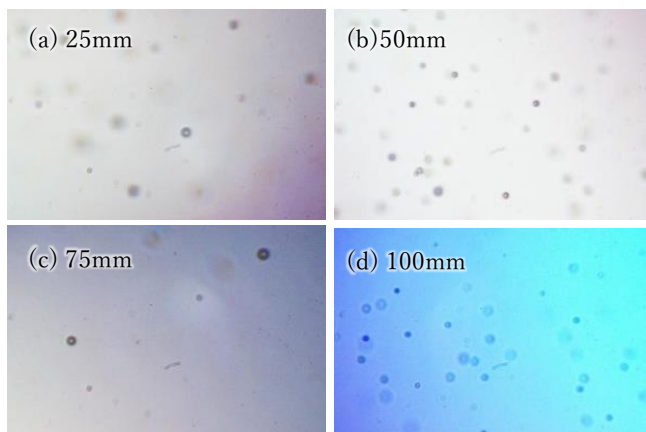


Fig. 4 Observational result (80°C)

### 3. MATLABによる液滴径測定プログラムの開発

前項で行う観測実験では、1枚の画像データに多くて数十個程度の液滴像が映りこむ。過去、手作業で液滴径変化の評価を行っていたが、測定毎に液滴像の選択誤差が生じる恐れがあった。また、数十個の液滴像を選択する作業を1つの実験条件に対し最低でも100枚分行う必要があった。仮に1枚に10個の液滴像があるとすると、約33時間で実験一回分の液滴径を測定することになり、作業時間短縮が望まれる。そこでMATLABによる液滴径の高精度測定プログラムの開発に取り組み、液滴像の平均径の算出から測定データを記録する一連の流れの自動化に挑戦した。

測定データに対し、必要な画像処理を全て施した状態の画像データを図5に示す。この白黒図から、白い領域を構成するピクセル数から半径を求め、Excelファイルにそれらのデータを保存した。ところで図5を見てもらえば分かるが、明らかにレンズなどに付着しているゴミがカウントされていることが分かる。ゴミは画像間で位置変化をしないため、データ整理の際に間引いた。その結果得られた、噴霧装置から10cmに位置するN1地点での粒度分布を図6に示す。粒径分布から得られたザウター平均粒径は6.74 $\mu\text{m}$ であった。以前、レーザーを用いて散乱の回折パターンを解析するSpraytec (Malvern社)で測定した際に得られたザウター平均粒径は6.71 $\mu\text{m}$ である。よって、誤差は0.03 $\mu\text{m}$ の精度で測定できていることが分かり、今回の測定プログラムの信頼性の高さが証明できたことが示される。

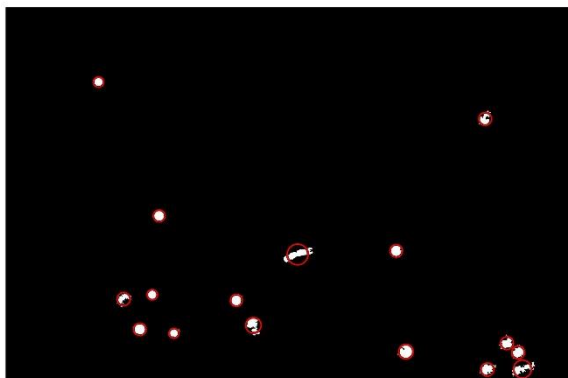


Fig. 5 Image processing (measure phase)

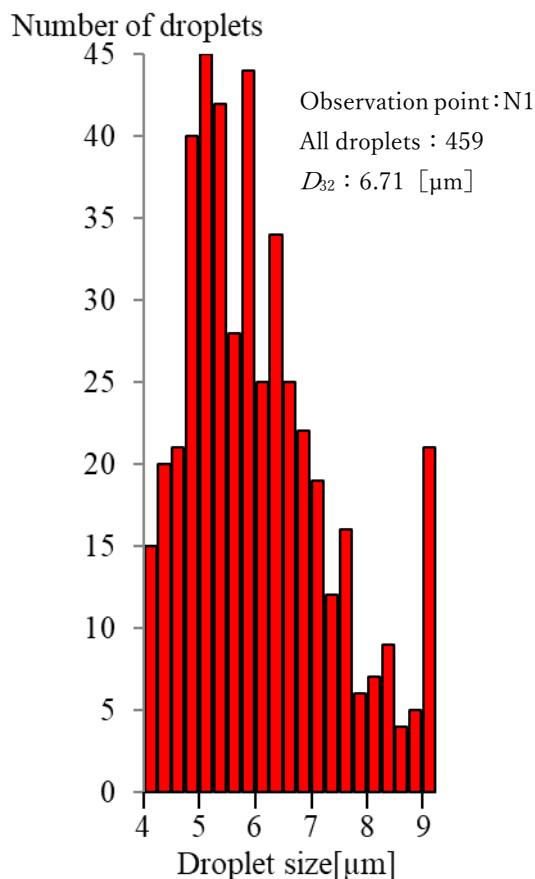


Fig. 6 Particle size distribution (N1)

### 4. 微小液滴の蒸発時間予測

微小液滴の蒸発時間予測を行うため、各観測地点での観測データを加えて蒸発時間の予測を行った。それぞれの地点におけるザウター平均粒径を表2に示す。温度別の蒸発時間予想の推移を図7に示す。また、観測データから得られた部分の蒸発時間予想の推移を図8に示す。

80°Cと130°Cのデータでは上流から下流にかけて順当に蒸発している様子が読み取れる。しかし、超純水のライデンフロスト温度より高い180°Cと200°Cのデータでは観測位置50mm付近から傾きが急に緩やかになっている。また、破線部に示す蒸発時間の予想部分(実測値の最終区間の傾きを延長したもの)を確認するとライデンフロスト温度を超えると蒸発時間が伸びるような予測を示した。

今後、より精度の高い蒸発時間の予測を行うためには、観測実験における125mmから510mmまでの下流域の撮影と、各観測地点のデータ蓄積をさらに行う事が重要である。

Table.2 Sauter average droplets

	N0	N1	25mm	50mm	75mm	100mm
80°C	7.33	6.74	6.85	6.49	6.63	6.35
130°C			6.17	6.45	5.81	6.29
180°C			5.73	5.74	5.91	5.67
200°C			5.75	5.67	5.84	5.64

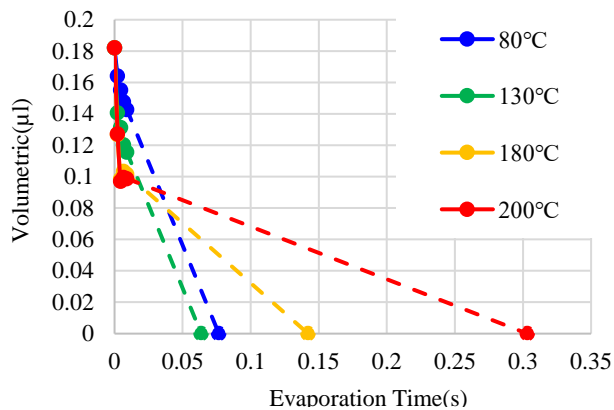


Fig. 7 Prediction of evaporation time

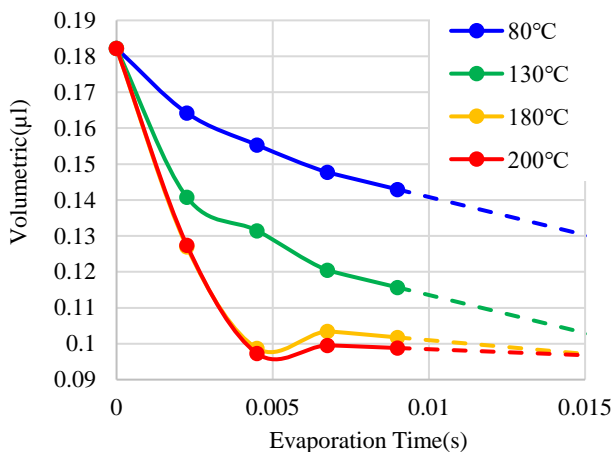


Fig. 8 Prediction of evaporation time (0[s] ~ 0.015[s])

## 5. 結言

本研究では、微小液滴挙動の観測を問題なく行うための実験装置群の改良とその結果を高精度かつ自動に測定するためのプログラム開発を行い、実験から結果取得までを円滑に行えるシステムの開発を行った。微小液滴の挙動観測実験では、流路装置を改良し、定常観測に近づいたが新たな問題も発生した。液滴径測定プログラムの開発では、市販の測定機器から得た測定結果と比較を行い、開発したプログラムの信頼性を示すことができた。また、現在のシステムで得られた結果から微小液滴の蒸発時間に関する予測を行い、ライデンフロスト現象の存在を示す可能性がある結果を得た。

今後は観測装置群のさらなる改良、液滴径測定プログラムにおける他の処理プロセスの検討、蒸発時間予測に必要な観測データの蓄積が必要である。

## 参考文献

- (1) J.G.Leidenfrost, “ De Aquae Communis Nonnullis Qualitatibus Tractatus “,(A Tract about Some Qualities of Common Water),translation of portions to appear in Intern J Heat Mass Transfer (1756)
- (2) B.S.Gottfried, K.J.Bell “FILM BOILING OF SPHEROIDAL DROPLETS” I & EC Fundamentals 5, 561 (1966)
- (3) 宮地 啓太, ”気相中を流動する微小液滴の挙動観測”, 高知工科大学卒業論文 (2018)