

卒業論文要旨

流れ場内における微小液滴蒸発挙動の定常的観測を目的としたシステム開発

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 1210063 草下 圭太

1. 背景

液滴は身近な存在でありながら、その挙動は特異な性質を示す流体である。液滴の中でも私たちが目視で認識することが難しいマイクロオーダー程度の液滴は“微小液滴”と呼称され、加湿器やインクジェットプリンター、エンジンの燃料噴霧など、身近に利用されている。微小液滴は、雨粒のようなミリオーダー程度の液滴と比べ、外乱などによって挙動が大きく変化することがあり、様々な環境、分野での微小液滴挙動に関する研究が盛んに行われている。これらは、今日の工業製品の小型化、高性能化に寄与しており、私たちが目視では観測することができないミクロな観点での研究開発が進められたことが要因の一つでもある。今後の技術開発においても、よりミクロな分野での詳細の解明が鍵を握っていると考えている。

2. ライデンフロスト現象

ライデンフロスト現象とは、ある液滴がその沸点よりも遥かに高温な固体表面に接触した際に形成される薄い蒸気膜が熱伝達を阻害することで高温壁面上に浮遊し、結果として液滴の蒸発時間が大幅に上昇する現象である。この現象は1756年にJ.G.Leidenfrostによって報告⁽¹⁾され、現在では様々な研究者がその挙動を追っている。ライデンフロスト現象の模式図を図1に示す。

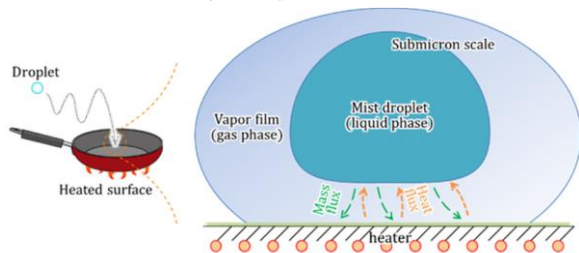


Figure1. Leidenfrost diagram

3. 研究目的

B.S.Gottfried らの研究⁽²⁾において、ライデンフロスト状態における蒸発時間を予測するモデル式が提唱された。しかしながら、このモデル式はミリオーダーの液滴で提唱されており、マイクロオーダーである微小液滴に適用可能かは明らかになっていない。この点について先行研究では、微小液滴の蒸発挙動に関して研究が重ねられてきた。⁽³⁾主な研究内容として、液滴の蒸発挙動観測に必要な装置群と計測プログラムの開発が行われたが、定常的な観測にはまだ問題が残された。そのため、本研究では特殊な装置群の改良と計測プログラムの開発を行い、従来の問題を解消し、微小液滴の定常的な観測を実現し、微小液滴蒸発挙動の解明を目指した。

4. 研究内容

本研究では以下の項目について開発、実験等を行った。(i)は、噴霧流を定常的に観測するために主に流路装置等の改良を行った。実験は100°C~200°Cの温度で、25 mm 間隔で噴霧流を観測している。その他の研究内容については卒業論文にて詳しく述べる。

- (i) 微小液滴の定常的な観測に必要な観測装置群の改良
- (ii) 微小液滴の定常的な計測のためのプログラム開発

4.1. 先行研究の計測プログラム

先行研究では、MATLAB による液滴径計測プログラムが開発された。しかしながら、このプログラムでは液滴径の誤認識を発生させていた。主な原因として、光源装置による照度が不均一な点や撮影装置内のゴミの認識が考えられた。連続撮影した2枚の画像の照度分布図を図2、液滴径認識画像を図3に示す。光源装置は雷発光で発光しているため、発光位置が毎回変わり、照度の差が発生していた。またゴミを除去するため4 μm 以下の領域は削除しており、小さな液滴は観測できずにいた。

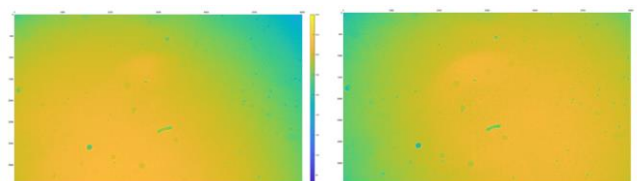


Figure2. Illuminance distribution diagram

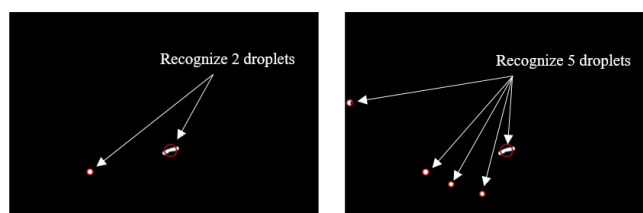


Figure3. Droplet diameter recognition diagram

4.2. 液滴径計測プログラムの開発

液滴径の定常的な計測を実現するために新たな計測プログラムの開発を行った。開発環境は Python を選択した。理由として、Python はオープンソースソフトウェアであり、拡張性の面で MATLAB より優れているからである。また OpenCV を用いた画像解析を利用することを考慮した。

先行研究で明らかになったゴミの誤認識を改善するために、背景差分法を利用した。背景差分法は、背景画像を予め用意しておき、液滴が写った前景画像との差分を取ることで、前景領域のみの画

像を取得する手法である。これにより、背景であるゴミが除去でき液滴径の誤認識を改善できる。光源装置の照度が不均一である点については、ガンマ補正を応用した。ガンマ値は明るさの指標であり、各画素ごとにガンマ値を指定の値に変更することで、画像の照度差を補正し一定化する。本プログラムではガンマ値を0.5に指定した。液滴径の取得は、ハフ変換を用いて円のオブジェクトを検出し、液滴直径を計測、算出した。液滴の蒸発では、液滴の表面積と体積の関係が重要であるため、それを考慮できるザウター平均粒径をExcelにて算出した。算出する際に背景差分法でも完全に除去できなかったゴミを省くために、検出円の中心座標が一致する円は除去した。上述した処理を行うプログラムの流れを図4に示す。

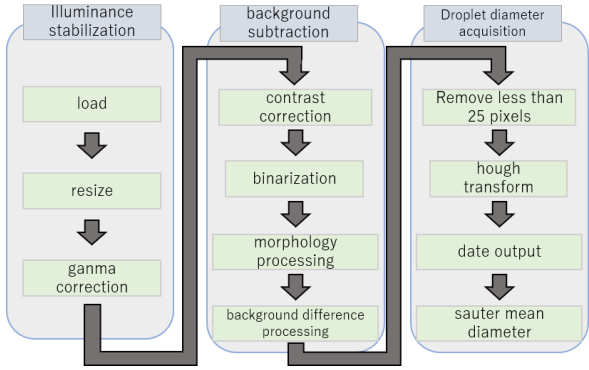


Figure4. Program flow

5. 結果・考察

本プログラムにより、画像の照度の一定化に成功した。補正前、補正後の画像、またそれぞれのMATLABによる照度分布図を図5に示す。これにより、照度差によって発生していた液滴の誤認識を改善できた。

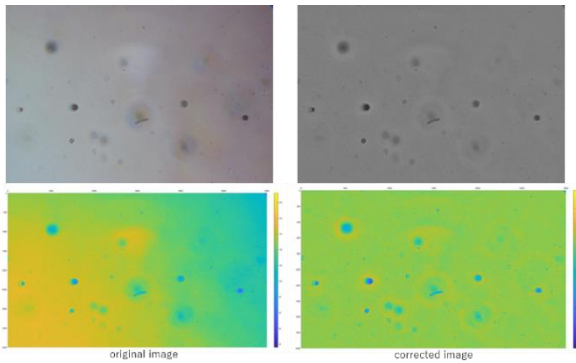


Figure5. Corrected illuminance distribution diagram

また、背景差分法によって多くのゴミの除去ができ、液滴径のみの計測に成功した。背景画像、前景画像、背景差分法によって出力された画像を図6に示す。

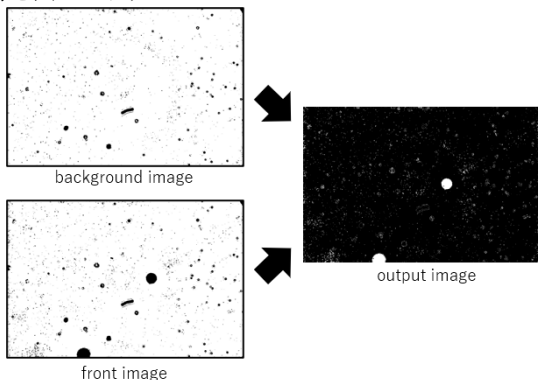


Figure6. background difference processing

背景差分後に正確な液滴径計測を実現するためノイズ除去として2 μm以下の領域の削除を行ったが、噴霧装置で発生する液滴サイズは理論値が2 μmであるため問題ない。

計測結果の一例として200°C、100 mm、150 mm、200 mm、250 mmの液滴分布ヒストグラムと各ザウター平均粒径を図7に示す。ザウター平均粒径、粒径分布より、下流域ほど液滴径は小さくなる傾向があることが分かった。これにより液滴が蒸発しながら流路内を流れていることが分かる。また、200°C以下の条件ではザウター平均粒径は下流域ほど大きくなる傾向があった。150°Cでは下流域のザウター平均粒径は9.4 μmであり、流入地点の液滴のザウター平均粒径である6.71 μmの液滴2個以上の体積に相当した。これは流れ場内の温度が低いため、蒸発せず、液滴表面に蒸気膜が形成しにくいいため、液滴同士が流れ場内で合体し、液滴径が大きくなり計測されたのではないかと考えられる。また、どの温度域でも11 μm付近に多くの液滴が計測された。これは撮影装置の被写界深度が浅いことにより、大きくボケた不鮮明な液滴を計測したためである。流入地点の液滴をレーザー回折を用いて測定するSpraytecで計測したザウター平均粒径は6.71 μmであり、本プログラムの計測結果は7.67 μmであった。これもボケた液滴を計測していることが原因と考えられる。

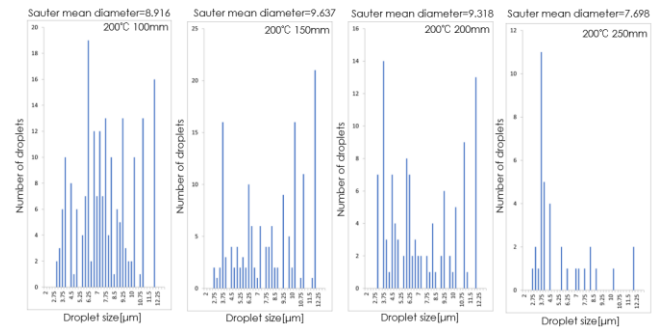


Figure7 Particle size distribution

6. 結言

本研究では、微小液滴の蒸発挙動を定常的に観測、計測するために必要な観測装置、計測プログラムを開発した。液滴径のみを正確に認識するために、背景差分法を用いたゴミの大幅な除去、ガンマ補正を応用した照度補正により照度の一定化を実現した。また液滴サイズの制限も除去したため、定常的で正確な液滴径計測が可能となった。しかし、被写界深度の問題により、ボケた不鮮明な液滴も同時に計測しているため、正確なザウター平均粒径の算出は困難であることが判明した。今後は二値化の閾値調整などを厳密に行い、液滴のボケ量に左右されない計測プログラムの開発を目指し、最終目標である微小液滴の蒸発挙動の解明に取り組みたい。

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, "流れ場内の微小液滴挙動の観測とそのシステム開発", 高知工科大学修士論文 (2020)