

液滴の運動解析のために必要な懸垂線・液滴間抗力の測定装置開発

日大生産工(院) ○竹島 慧 日大生産工 野村 浩司
日大生産工 菅沼 祐介

1. まえがき

噴霧燃焼は自動車や、船舶、航空機の内燃機関をはじめ、発電用ガスタービンなど工業的に広く用いられている。この燃焼方式は液体燃料を霧状に微細化させ、表面積を大きくすることで空気との混合が促進し、燃焼効率が良いという特徴を持つ。噴霧燃焼を詳細に観察すると、液体燃料の微粒化、蒸発、拡散、点火、火炎の形成、消炎といった多数の現象が同時多発的に生じている。また、噴霧に注目すると、噴霧粒径の不均一性、噴霧の空間的偏在、噴霧の不規則な運動が伴っていることから詳細な燃焼メカニズムが完全には解明されているわけではない。噴霧燃焼メカニズムが解明されることによって、実機設計時に使用する数値シミュレーションの精度向上が見込まれ、高性能製品の開発や環境問題対策に役立つ。

本研究は、噴霧燃焼における液滴の運動と火炎の干渉を調べることを目的とする。既に、国際宇宙ステーションで列方向移動可能液滴と燃え広がり火炎の干渉を観察する実験が行われた。その実験から得られたデータを解析するためには、液滴と液滴を列方向に拘束する懸垂線の抗力を求める必要がある。そこで、地上で抗力を測定するための液滴打上装置と高速度カメラを利用した液滴位置履歴計測装置を組み合わせた実験装置を開発し、抗力測定を行う。

本報告では、計測装置の開発と開発した計測装置の特性測定結果について報告する。

2. 実験装置

開発した液滴生成用の液滴打上装置をFig.1に示す。液滴打上装置にはインクジェット方式を用いた。ノズル部は、燃料充填部、上部のノズルおよび底面のピエゾ素子からなる。生成される液滴の打ち上げのための圧力が内部の気泡によって吸収され、打ち上げに影響を与えるのを防ぐために、燃料充填部は気泡が抜けやすい円錐型にした。また、気泡の残留を確認しやすくするために、上部は透明なアクリル材を使

用し観察しやすくした。ノズルには、外径1 mm 内径0.75 mmのガラス管を、熱を加えて引き伸ばして切断し、用いた。先端を加熱して細く絞ることにより所定の直径の液滴が得られるようにした。自由液滴の打ち上げはピエゾ素子にパルス状の電圧を加え、燃料充填部の圧力を瞬間的に高めることにより行われる。これは、逆圧電効果を利用している。

液滴打上装置を制御する電子回路をFig.2に示す。ピエゾ素子に電圧を印加する回路は、電圧調整用の可変トランスを含めた半波整流回路とタイマーNE555Pからなるパルス生成回路、それらを繋ぐフォトカプラTLP785を組み合わせた回路である。

また図中の抵抗 R_a [Ω]と R_b [Ω]、コンデンサーの C [F]の値を変化させることで生成されるパルス周波数を変化させることが可能となっている。周波数は下記式で表すことができる。

$$f[\text{Hz}] = \frac{1.44}{(R_a + 2R_b)C} \quad (1)$$

電源には、半端整流回路用のAC100 V商用電源と、パルス発生用の5 Vの定圧電源を用いた。

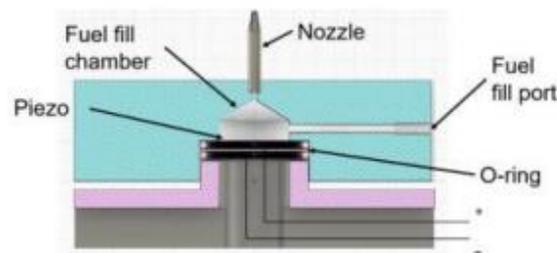


Fig.1 液滴打上装置

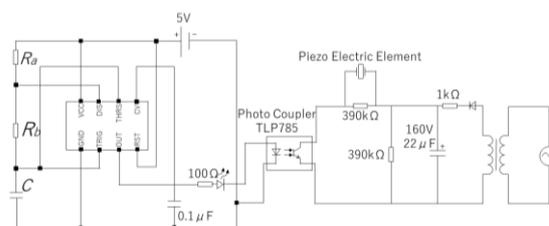


Fig.2 液滴生成回路

Development of measurement system of drag between a droplet and a droplet suspender for analyzing droplet motion

Kei TAKESHIMA, Hiroshi NOMURA and Yusuke SUGANUMA

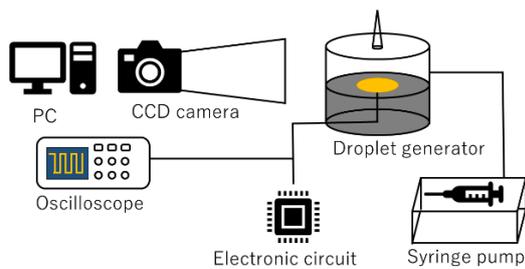


Fig.3 実験装置概略

3. 液滴打上実験の方法および測定方法

実験装置の概略をFig.3に示す。実験手順は、初めにPCの電源を入れ、カメラの焦点をガラス管先端に調整する。製作したガラスノズル管は電子顕微鏡で出口内径を計測する。次に、5Vの定電圧電源を作動させ、パルス発生回路の動作を確認する。確認方法として、回路内に設置したLEDライトの点滅を参考にする。液滴打上装置の燃料充填部に燃料を充填する。この際、燃料充填部に気泡が入っていないことを確認する。最後に、変圧器の電圧を既定の電圧に設定し、オシロスコープを確認しながらピエゾ素子に流れるパルスと電圧を確認する。

カメラはAllied Vision Technologies社のFirewire IEEE1394のPike F-100CというCCDカメラを使用した。コマスピードは120fps、露光時間はopenに設定し、撮影した。空間分解能は44 pix/mmであった。液滴の観測はバックライトを用いて、液滴のシルエットを撮影する。液滴の打ち上げ開始から安定して生成されているのを確認してから5秒間撮影し、デジタル画像から液滴の到達高ささと直径を計測・記録した。開発した液滴打上装置の特性を明らかにするために、先端内直径0.26 mmおよび0.33 mmの2つのガラスノズルを使用して実験を行った。ピエゾ素子への印加電圧、ガラス管先端内直径、および燃料流量が、液滴打上高さおよび液滴直径に及ぼす影響を調べた。

4. 実験結果および考察

Fig.4にガラス管の先端内径0.33 mmを使用し、電圧を40, 50および60 Vに変化させた時の打ち上げられた液滴の最高到達高ささと液滴直径の関係性を表したものを示す。電圧が高くなるのに伴って、打ち上げられた液滴の高さも高くなり、生成される液滴の直径は小さくなる傾向がわかる。このことからピエゾ素子に印加される電圧が高くなるほど、ピエゾ素子の振幅

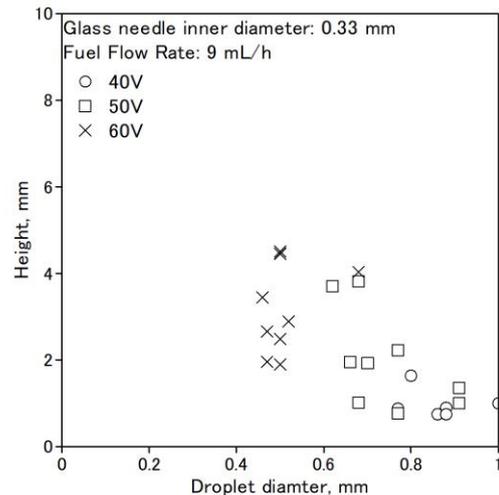


Fig.4 電圧と液滴直径と高さの関係。

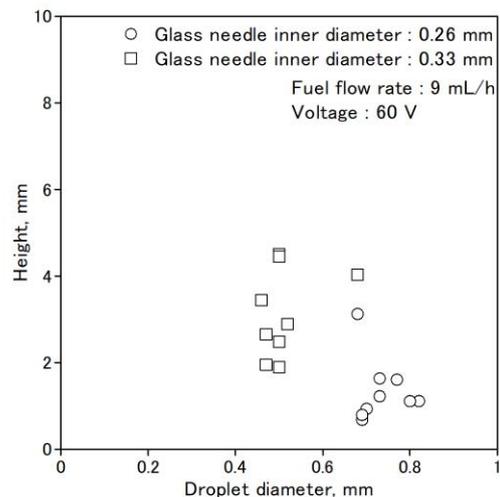


Fig.5 ガラス管先端内直径と液滴直径と高さの関係。

は大きくなり燃料充填部の内圧が高くなることで打ち上げられる高さがより高くなると考えられる。生成され打ち上げられる液滴は1秒間に5個である。ピエゾ素子に印加される電圧が低いほど液滴の直径が大きくなる傾向の理由として、ピエゾ素子の振幅による燃料充填部の内圧が足りず、液滴が打ち上げられない場合が生じる。打ち上げられなかった液滴の体積は、次に打ち上げられる液滴と合わさって打ち上げられる。2つの液滴が合わさってしまうことで、より大きい液滴が打ち上げられることが発生されたと考えられる。

Fig.5に、ガラスノズルの先端内直径が0.33 mmと0.26 mmにおける打ち上げられた液滴の最高到達高ささと液滴直径に及ぼす影響を表したものを示す。ガラス管の先端内直径が小さいと、生成される液滴の直径も小さくなる傾向

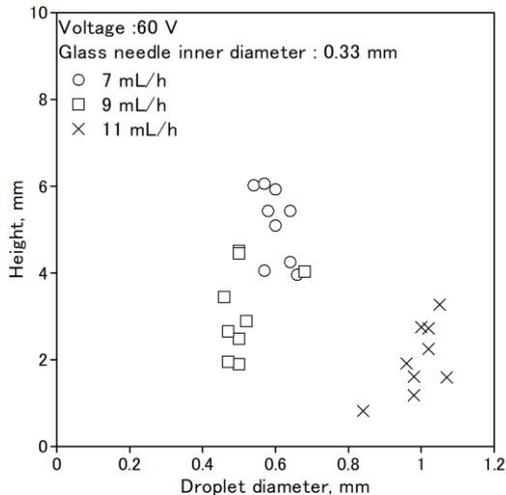


Fig.6 燃料流量と液滴直径と高さの関係.

がわかる. 燃料流量が多いほど打ち上げられる液滴の体積も大きくなると同時に液滴直径も大きくことがわかった.

Fig.6に, 先端内直径が0.33 mmのガラスノズルを使用し, 燃料流量を変化させたときの打ち上げられた液滴の最高到達高さや液滴直径の関係を示す. 燃料流量が多いほど生成される液滴直径は大きくなると同時に, 高さも低くなる. 燃料流量が少なくなるほど高くなることがわかる. 燃料流量の増大に伴って, 液滴直径も大きくなり, 最高到達高さが減少することがわかる. 燃料流量が増大することによって液滴直径が大きくなる. 液滴質量が増大したことで打ち上げ高さが減少したと考えられる.

5. まとめ

実験により, 電圧と生成される液滴直径と高さの関係は明らかになった. 得られた知見を以下に示す.

1. ピエゾ素子に印加する電圧が高いほど, 打ち上げられた液滴の到達高さは高くなる.
2. ガラス管先端内直径が小さくなると生成される液滴も小さくなる.
3. 燃料流量が増大すると, 生成される液滴直径が増大し, 打ち上げ到達高さが減少する.

今後, 懸垂線抗力測定に向けてピエゾ素子印加電圧, 燃料流量, ガラス管先端内直径の条件を抗力測定実験に適した値に調整し, 地上において燃料液滴と懸垂線の間働く抗力を測定する.

参考文献

- 1) 三上真人, 「きぼう」における液滴軍燃焼実験「Group Combustion」, 日本燃焼学会誌, 第56(176), (2014), pp. 101-108
- 2) 三上真人, 「ランダム分散液滴群の燃え広がりや群燃焼発現メカニズムの解明」ISS・きぼう利用ミッション, 研究成果報告書, (2019).
- 3) 平賀翔季, 列方向移動可能な液滴を含む正デカン燃料液滴列の燃え広がり微小重量実験用の装置開発, 修士論文, (2017).
- 4) 大谷雅俊, 懸垂線及び自由燃料液滴を用いた蒸発に関する研究, 修士論文, (2000).