

微小重力環境下の懸垂液滴の運動解析に向けた燃料液滴に作用する抗力測定

日大生産工(院) ○菅原 啓祐 日大生産工 野村 浩司
日大生産工 菅沼 祐介

1. 緒言

噴霧燃焼は自動車や、船舶、航空機の内燃機関をはじめ、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、高性能製品の開発などに役立つ。

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⁽¹⁾。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生成装置と、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、懸垂液滴が移動するとき生じる抗力の測定を試みる。本報では、液柱の不安定性を利用して液滴を生成する液滴生成装置の開発について記述する。特に、液滴生成装置に設定するノズル出口直径、燃料流量、振動周波数、および印加電圧を決定するために行った予備実験の液柱分裂挙動観察の結果について記述する。

2. 実験装置および実験方法

実験装置の概略をFig.1に示す。実験装置は主に液滴生成装置、液滴生成回路、シリンジポンプ、オシロスコープ、液滴観測用の光速度カメラ等光学機器、電源系統で構成されている。液滴生成装置の概略をFig.2に示す。液滴生成

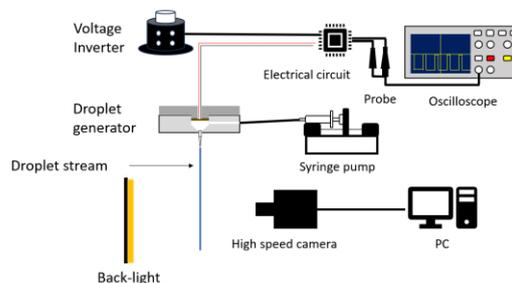


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus.

装置はインクジェット方式によって射出される。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。上部は透明なアクリル材を使用し内部の泡を視認しやすくした。ノズルには、外径3.0 mm、内径2.0 mmのガラス管を、熱を加えて引き伸ばして先端を細くし、更に先端を加熱して形状を整えることにより液滴射出部の燃料流速を高め、液滴が射出されやすいようにした。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。

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。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。

燃料は液滴生成装置から吐出し、液柱ができる条件下のもと行った。燃料流量はシリンジポンプを用いて制御し、360 ml/hの条件下で一定とした。液柱の観測はバックライトを用いて、液柱のシルエットを撮影して液滴のバックリット画像を取得し、自作の画像解析ソフトを用いて液滴直径を計測した。現象の記録には、高速度ビデオカメラ(ナックイメージテクノロジー社のMEMRECAM FX Rx-3 V-332)を使

Measurement of drag force acting on fuel droplet for the analysis of suspended droplet motion in a microgravity environment

Keisuke SUGAWARA, Hiroshi NOMURA and Yusuke SUGANUMA

用した。コマスピードは2000 fps, 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。シリンジポンプにより液柱が生成されているのを確認し, 電圧を印加して Piezo素子のパルスを発生させた状態で5秒間撮影した。実験終了後, バックリット画像から液滴直径を計測・記録し, Piezoへの印加パルスの電圧および周波数が液滴生成に及ぼす影響を調べた。

ノズル吐出孔直径を0.26 mm, パルス周波数 f を2.7および5.4 Hz, パルスデューティ比を0.1, 燃料流量 Q を0.10 mL/s として液柱を生成し, Piezoへの印加電圧を0, 60, 70, 80, および90Vに変化させた。燃料の吐出速度は平均で1.88 m/sである。本報の予備実験では, 実験の安全性を考慮し, 燃料として水を使用した。

3. 実験結果および考察

Fig. 3は液滴列の画像である。液柱流量に Piezo素子でパルス状の振動を付加することにより, 液柱が液滴列に変化した。パルスとパルスの間の期間でも液柱に戻ることはなく, 液滴列の状態のままであった。燃料流量にパルス状の擾乱を周期的加えるのを止めてからどれくらいでもとの液柱に戻るのかあるいは戻らないのかは, 今後調べる予定である。Piezo素子への印加電圧が異なる(a)から(d)の画像を比較しても, 大きな違いは観察できない。動画を確認ところ, Piezo素子に電圧を印加する周期で液滴列の液滴が密になり, 小さな液滴が混じり, 軌道が乱れる挙動が観察された。

Fig. 4は, 液滴直径と印加電圧の関係性を表したものである。液滴直径は, 液滴列が定常的な期間で連続する5枚の画像からそれぞれ5個の焦点が合った液滴を選び, 平均して求めた。パルス印加電圧の増大に伴って平均液滴直径は増大した。また, パルス周波数が高い条件の方が液滴直径が大きいこともわかった。Piezo素子の振動が液柱の分断に影響を及ぼしたことはわかったが, その機構について現在継続して考察を行っている。

4. 結言

開発した液滴生成装置を用いて液滴列を生成することができた。しかしながら, 本研究の目的でこの液滴生成装置を使用するためには, 1秒に1個程度に液滴生成間隔を長くする必要がある。今後更に液滴生成過程を観察し, 目的を達成するための液滴生成パラメータを探索する予定である。

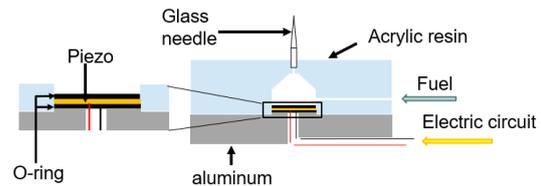


Fig.2 Droplet generator.

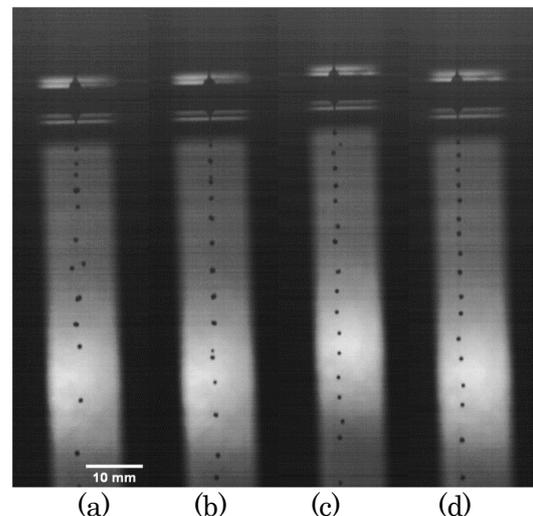


Fig. 3 Images of droplet stream when a voltage is applied to the droplet launcher at a frequency of 2.7 Hz. (a)60 V, (b)70 V, (c)80 V, (d)90 V.

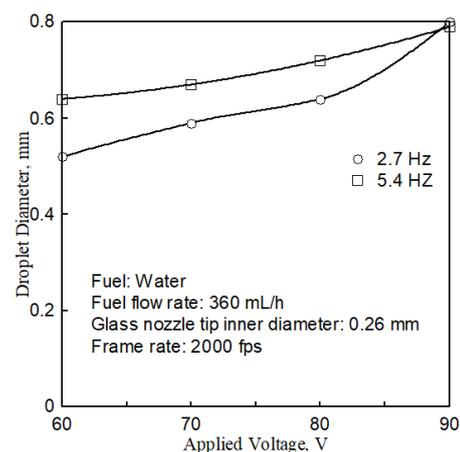


Fig. 4 Effect of pulse frequency on relationship between applied voltage and and droplet diameter.

参考文献

- 1) 三上真人, 「きぼう」における液滴群燃焼実験「Group Combustion」, 日本燃焼学会誌, 第56(176), (2014), pp. 101-108.
- 2) 西野耕一, et al. "非定常マランゴニ対流の三次元流動と液柱表面温度の同時観測." 日本マイクログラフィティ応用学会誌, 15.3, (1998): 158.