

## 列方向移動可能浮遊液滴を用いた燃料液滴列燃え広がり微小重力実験

日大生産工 (院) ○平賀 翔季      日大生産工 野村 浩司      日大生産工 菅沼 祐介  
 山口大・理工 (院) 三上 真人    JAXA 菊池 政雄      NASA DIETRICH Daniel

## 1. 緒言

噴霧燃焼は工業的に広く使われているが、液滴分布の不均一性、液滴直径の不均一性、ランダムな相対運動など、現象を複雑にする要素が多数有り、詳細なメカニズムが完全には解明されていない。このため数多くの噴霧燃焼研究が行われている。噴霧を単純化した単一液滴、液滴列、液滴格子などの実験モデルを用いて噴霧燃焼の基礎研究が行われているが、その多くは空間に固定された液滴を用いており、火炎燃え広がりや液滴運動の相互作用についての報告が見られなかった。そこで、Nomura らは直径  $78\ \mu\text{m}$  の SiC ファイバを軸方向に用い、ファイバ上に直接液滴を生成した、固定-固定-列方向移動可能液滴の正ヘプタン 3 液滴列モデルにて、火炎燃え広がり実験を通常重力環境下で行った。しかしながら、移動可能液滴をファイバに直接生成していることから、ファイバの熱的影響、抗力、およびマランゴニ対流の影響を考慮する必要があった。

本報では、微小重力環境下でファイバに対して浮遊する軸方向のみの運動が可能な移動可能液滴を用い、ファイバの熱的影響、抗力、およびマランゴニ対流が液滴運動に及ぼす影響を排除した火炎燃え広がり実験を行うための新たな実験装置を紹介する。得られる結果は、ファイバに直接移動可能液滴を生成した実験の考察に利用する予定である。

## 2. 実験装置および方法

実験装置概略を図 1 に示す。実験モジュールは、液滴列支持器、液滴列生成装置、液滴列移動装置、点火装置、および燃料供給系から構成される。現象観察装置は、ブリッキングライト、レンズ、ミラー、高速度ビデオカメラ (ノビテック社製 Phantom Miro 3) からなる。制御装置にはシーケンサを用いた。液滴列支持器詳細を図 2 に示す。軸方向および軸垂直方向に直径  $8.5\ \mu\text{m}$  の SiC ファイバ (宇部興産社製 チラノ繊維 TY-S1H16PX) を使用し、交点は液滴を保持しやすくするために焼結したガラスビーズによって接着されている。ガラスビーズ上に生成された液滴が固定液滴となる。固定液滴は点火時の擾乱が移動可能液滴の挙動に与える影響を抑制するために使用している。軸方向ファイバの一端は、弓状の直径  $78\ \mu\text{m}$  の SiC ファイバ (Specialty Materials 社製 SCS-9A) と接続されており、張力がかかった状態で固定されている。これによって火炎燃え広がり時の軸方向ファイバの熱膨張によるたわみを抑制している。液滴の軸方向移動を実現するため、セラミックビーズを付着させた黄銅パイプ (外直径  $0.2\ \text{mm}$ , 内直径  $0.13\ \text{mm}$ , 長さ  $1.5\ \text{mm}$ ) を、軸方向ファイバを通して設置した。移動可能液滴は

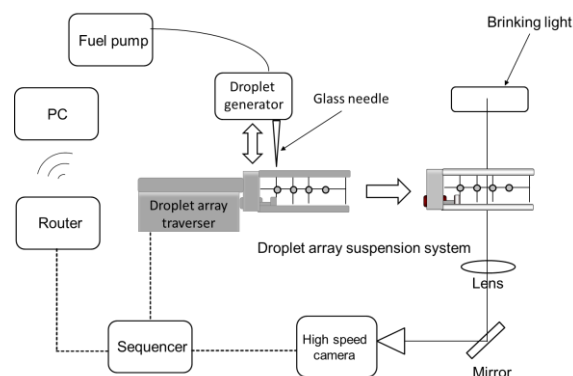


Fig.1 Experimental apparatus.

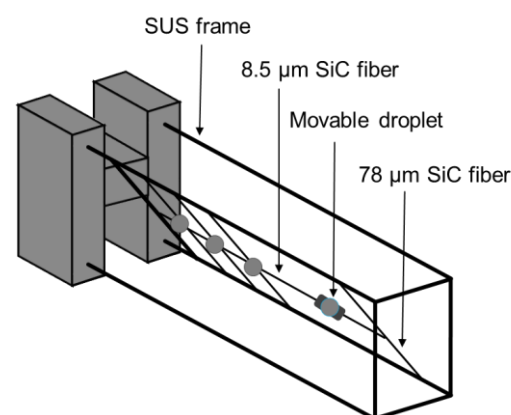


Fig.2 Droplet array suspension system.

黄銅パイプに付着させた。微小重力環境下では黄銅パイプがファイバに対して浮遊する。黄銅パイプに付着させたセラミックビーズは、液滴を黄銅パイプ上に拘束しておく役割がある。黄銅パイプとセラミックビーズを含めて移動可能液滴の質量は、直径  $1\ \text{mm}$  の液滴の質量に対して約  $160\%$  である。図 3 に使用した液滴列モデルを示す。固定液滴は 3 個、移動可能液滴は 1 個とした。固定-固定液滴間隔  $S_F$  は  $4.4\ \text{mm} \pm 5\%$ , 初期固定-移動可能液滴間隔  $S_{0F-M1}$  は  $3.44\ \text{mm}$  とした。初期液滴直径  $d_0$  は  $1.0\ \text{mm} \pm 10\%$  とした。移動可能液滴の初期位置からの変位量は、 $\Delta X$  で表した。

実験は微小重力環境で行った。微小重力環境の実現には学内の小型落下棟 (微小重力時間  $1.1\ \text{s}$ ) を使用した。液滴列支持器を液滴列移動装置によってガラス針のある位置に移動させる。液滴列生成装置でガラス針を下降させ、ピエゾポンプにて燃料を針先端から吐出する。燃料には正ヘプタンを用いた。第 1 固定液滴点火時に設定の液滴直径となるように

Microgravity experiments of flame spread along a fuel droplet array including a floating droplet movable in the array direction

Shoki HIRAGA, Hiroshi NOMURA, Yusuke SUGANUMA, Masato MIKAMI,  
 Masao KIKUCHI and Daniel DIETRICH

ポンプの吐出量を調整した。液滴列の移動と液滴の生成を複数回繰り返すことによって、液滴列を生成する。液滴列生成後、液滴列支持器を実験部に移動させる。蒸気層を準定常化させるため、液滴列を実験部に移動させてから 30 s 後に実験を開始した。実験装置が微小重力状態になったことをマイクロ G センサで検知し、点火と現象の録画を開始した。点火装置には直径 0.29 mm の鉄クロム線を使用した。高速度ビデオカメラ(撮影速度 2000 fps, 露光時間 498  $\mu$ s)で撮影した画像から、自作の解析プログラムを用いて、液滴直径および液滴中心位置の履歴を計測した。第 3 固定液滴の点火時刻は、軸に対して垂直に張られた SiC ファイバが発光した時刻とし、移動可能液滴の点火時刻は負方向の軸方向ファイバが発光した時刻と正方向の軸ファイバが発光した時刻の 2 分の 1 とした。

### 3. 実験結果および考察

図 4 は、 $t = 0.4455$  s の第 3 固定液滴および移動可能液滴を写したバックリット画像である。白色の破線は移動可能液滴の初期位置を示している。移動可能液滴が初期位置から正方向に移動していることがわかる。図 5 に、図 4 の移動可能液滴の変位履歴を示す。時刻の原点はマイクロ G センサが作動した瞬間である。 $t = 0.159$  s で第 3 固定液滴が点火し、 $t = 0.165$  s で移動可能液滴が点火した。移動可能液滴は微小重力環境に遷移した時点から移動しており、これは落下カプセルの切り離し時の振動が原因であると考えられる。また、第 3 固定液滴点火直前から移動可能液滴は急激に正方向に移動を開始している。これは、固定液滴が形成する群燃焼火炎による熱が移動可能液滴まで伝わったことにより、移動可能液滴の負方向が局部的に加熱されて蒸発が活発になり、正方向と負方向の蒸発にアンバランスが生じて移動可能液滴に正方向推力が生じたためと考えられる。移動可能液滴が点火した後は、蒸発のバランスが保たれるようになるため、移動可能液滴の変形により遅れて移動を開始した黄銅パイプに液滴が引き戻される様子が観察された。その後振動しながら負方向に移動したことより、移動可能液滴の正方向で初期火炎が閉じた際の擾乱で移動可能液滴に負方向の力が加わったと考えられる。負方向に移動したのち、 $t = 0.2505$  s で移動可能液滴は再び正方向へと移動を開始した。この正方向移動平均移動速度は 1.13 mm/s であった。この時点で移動可能液滴が群燃焼火炎に取り込まれていたことより、第 3 固定液滴と移動可能液滴の蒸気流がぶつかり合って斥力が発生したと考えられる。 $t = 0.4455$  s で移動可能液滴は再び負方向へと移動を開始した。負方向移動平均移動速度は -0.13 mm/s であった。これは、群燃焼火炎が収縮するのに伴って移動可能液滴に火炎先端が近づき、負方向推力が発生したためと考えられる。

今後、液滴間隔を幅広く変化させて実験を行って知見を蓄積し、移動可能液滴の運動と燃え広がり火炎の干渉のメカニズムを解明する。得られた知見は、複数移動可能液滴の実験が容易なファイバに直接移動可能液滴を生成する実験の考察に利用する。最終的には、噴霧中の燃料液滴の運動と火炎の干渉の簡易モデルを構築する。

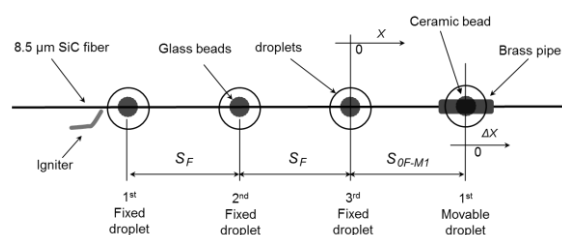


Fig.3 Droplet array model.

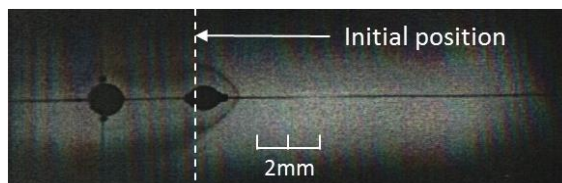


Fig.4 Backlit image of burning movable droplet and third fixed droplet at  $t = 0.4455$  s under microgravity condition.  $d_0 = 1.0$  mm,  $S_F = 4.4$  mm,  $S_{OF-M} = 3.44$  mm.

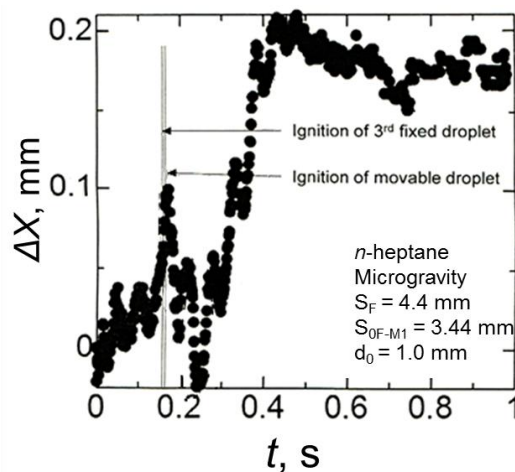


Fig.5 Displacement history of movable droplet.

### 4. 結言

微小重力環境下で、列方向に張られたファイバに対して浮遊する列方向移動可能液滴を用いて火炎燃え広がり実験を行った。以下に得られた知見を示す。

- (1) 燃え広がり火炎との干渉により運動する液滴を観察することができた。
- (2) 第 3 固定液滴点火直前より、移動可能液滴は正方向に移動を開始する。移動可能液滴点火後、移動可能液滴は負方向に移動したのち、再び正方向に移動し始めた。
- (3) 燃焼後期において、移動可能液滴は負方向へと移動する。

### 「参考文献」

1. Nomura, H., et al., Proc.Combust.Inst.32 : 2163-2169.
2. 法華津祥太, 野村浩司, 三上真人, 菊池政雄 第 52 回燃焼シンポジウム講演論文集, (2014).