

燃料液滴列を燃え広がる火炎の速度に及ぼす雰囲気圧力の影響に関する 短時間微小重力実験

日大生産工(院) ○金 豊 日大生産工 野村 浩司

日大生産工 菅沼 祐介 日大生産工 氏家 康成

1. 緒言

噴霧燃焼はディーゼルエンジンやガスタービンなどのような内燃機関に広く使われている。噴霧燃焼のメカニズムが解明されれば、内燃機関の燃焼室を設計する際のシミュレーションの精度を改善でき、また燃焼制御にも役に立つと考えられる。噴霧中の液滴間の火炎燃え広がり速度は噴霧火炎の安定性に重要な役割を果たしているため、本研究では、等間隔液滴列を用いて火炎燃え広がり速度を調べた。また火炎燃え広がりに対する自然対流の影響を抑制するため、微小重力環境で実験を行った。

本報では雰囲気圧力 $P_a = 0.1$ MPa より低圧の条件での実験を行い、雰囲気圧力が火炎燃え広がり速度に及ぼす影響について調べた結果と過去のデータ¹⁾を合わせて報告する。

2. 実験装置及び方法

図 1 に実験装置の概略を示す。実験装置は主に燃焼容器、液滴列支持器、液滴列移動装置、液滴生成装置、圧力容器、光学観察系、および制御装置から構成されている。燃焼容器は石英製の光学セルであり、燃料はピエゾポンプによりガラス針先端から吐出される。液滴の大きさは CCD カメラを用いて測定した。液滴列移動装置はステッピングモータを動力源とし、液滴列をスライダに沿って燃焼容器へ移動させる。微小重力が感知された瞬間、第 1 液滴（燃焼容器の入口側）が鉄クロム製の電熱線により点火され、液滴列に沿って火炎が燃え広がる。その火炎燃え広がり速度が高速カメラを用いて録画した。またすべての実験は本学内の小型落下塔で行った。

初期液滴直径 d_0 は、 0.48 mm ($\pm 5\%$) とした。液滴は直径 $14\ \mu\text{m}$ の SiC ファイバの midpoint に付着された微

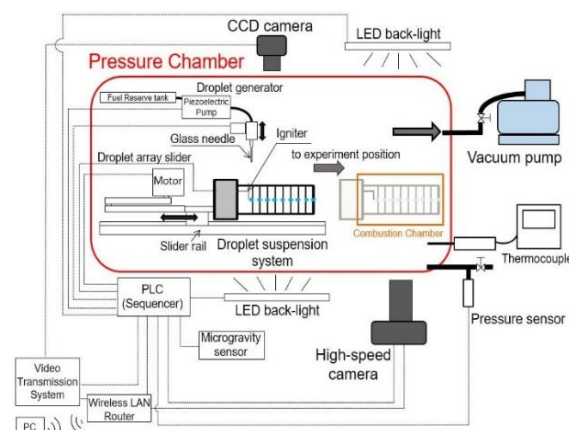


Fig. 1 Experiment apparatus.

小ガラスビーズに懸垂される。無次元液滴間隔 S/d_0 は 2 から 12.5, 雰囲気圧力 P_a は 0.04 から 0.6 MPa, 実験の雰囲気温度は室温とし、燃料には正デカンを使用した。一条件に対して 3 回の実験を行った。 $14\ \mu\text{m}$ の SiC ファイバが火炎により加熱されて発光するまでの反応時間は約 $1\ \text{ms}$ ²⁾であるので、ファイバ発光時刻を懸垂されている液滴の点火時刻とした。計算された燃え広がり速度と初期液滴直径を乗じた値を正規化燃え広がり速度と定義した。

3. 実験結果および考察

3.1 圧力が正規化燃え広がり速度に及ぼす影響

図 2 に無次元液滴間隔が正規化燃え広がり速度に及ぼす影響を両軸対数グラフで示す。全ての無次元液滴間隔において、正規化燃え広がり速度が雰囲気圧力の増大に伴って減少した。また図中のラインの傾きが無次元液滴間隔の増大に伴ってマイナス 1 に近づいた。空気の温度伝導率は圧力にほぼ反比例する関係を持つ。液滴間隔の増大に伴って、燃え広がり速度は温度伝導率に強く依存すると考えられる。

Short-duration microgravity experiments on the effect of ambient pressure on spread speed of a flame spreading along a fuel droplet array

Hou KIN, Hiroshi NOMURA, Yusuke SUGAMUMA, Yasushige UJIIE

3.2 圧力が初期火炎半径に及ぼす影響

図 3 に雰囲気圧力が初期火炎半径に及ぼす影響を示す。第 6 液滴の初期火炎半径を代表値とした。すべての無次元液滴間隔において、雰囲気圧力の増大に伴って、初期火炎半径が小さくなる傾向が見られる。雰囲気圧力が高くなると、燃料蒸気の拡散が妨げられ、液滴に近いところに火炎が存在することで、初期火炎半径が減少していると考えられる。正規化燃え広がり速度が圧力の増大に伴って低下する要因だと考えられる。

3.3 液滴間隔が正規化燃え広がり速度に及ぼす影響

図 4 に P_a が 0.04 から 0.6 MPa の範囲における無次元液滴間隔と正規化燃え広がり速度の関係を示す。雰囲気圧力 0.1 MPa 以上の条件では、無次元液滴間隔の増大に伴って正規化燃え広がり速度が増大し、 $S/d_0=3.75$ 付近で最大値をとり、それ以上の無次元液滴間隔では正規化燃え広がり速度は減少した。雰囲気圧力 0.1 MPa を下回る雰囲気では、正規化燃え広がり速度が最大値をとる無次元液滴間隔は 3.75 より大きい方に移動し、雰囲気圧力 0.04 MPa の場合には、無次元液滴間隔が 5 付近で正規化燃え広がり速度は最大値をとった。これは、雰囲気圧力の減少に伴って点火直後の火炎半径が増大したことにより、最も燃え広がり速度が最も速くなる初期火炎が未燃次液滴に接触する条件が無次元液滴間隔の広い側に移動したためと考えられる。

4. 結言

微小重力環境で燃料液滴列を燃え広がる火炎の速度を測定した。無次元液滴間隔と雰囲気圧力が正規化燃え広がり速度に及ぼす影響を調べた。得られた知見を下記にまとめた。

- (1) 雰囲気圧力の増大に伴って正規化燃え広がり速度は減少する。
- (2) 雰囲気圧力の増大に伴って初期火炎半径は減少する。
- (3) 無次元液滴間隔の増大に伴って正規化燃え広がり速度は増大し、最大値をとった後、減少した。正規化燃え広がり速度が最大値をとる無次元液滴間隔は、雰囲気圧力の減少に伴って増大する傾向が見られた。

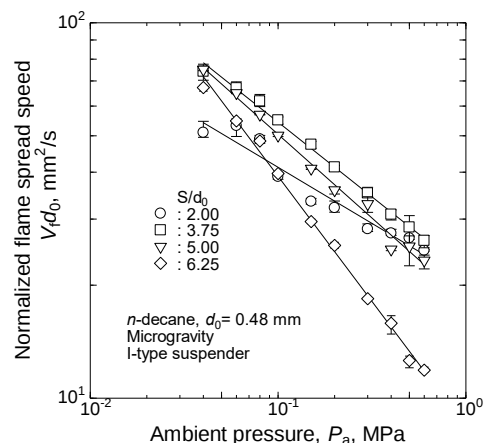


Fig. 2 Relationship between ambient pressure and normalized flame spread speed.

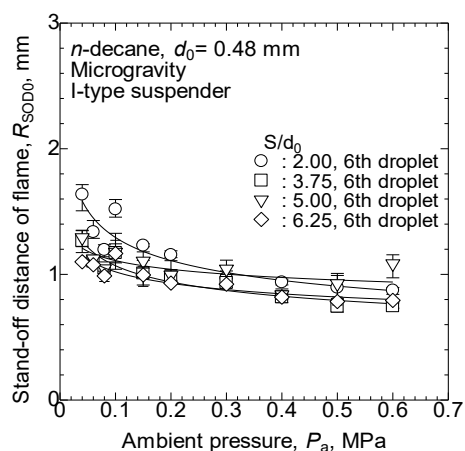


Fig. 3 Effect of ambient pressure on initial flame stand-off distance.

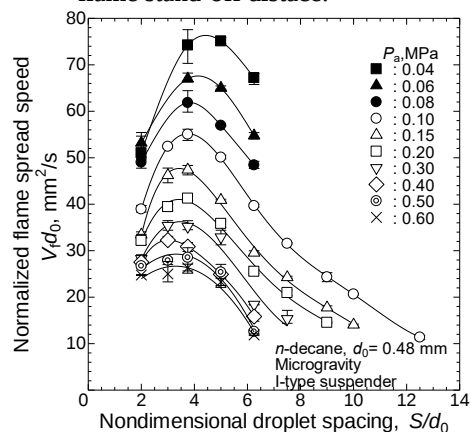


Fig.4 Effect of ambient pressure on relationship between normalized flame spread speed and nondimensional droplet spacing.

参考文献

- 1) S. Kitta, Y. Suganuma, H. NOMURA, Y. UJIIE: Proc. the Fifty-Fourth symp. (Japanese) on combust., Sendai, Japan, Nov. 2016, B231.
- 2) N. SANO, N. MOTOMATSU, H. SAPUTRO, T. SEO and M. MIKAMI: Int. J. Microgravity Sci. Appl., 33(1)(2016)330108.