

平成 21 年 6 月 16 日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2007 ~ 2008
 課題番号：19760146
 研究課題名 (和文) 微小重力実験と非定常数値解析の併用による部分予蒸発液滴火炎の局所構造の解明
 研究課題名 (英文) Investigation on local flame structure of partially prevaporized droplet by using microgravity experiment and numerical simulation
 研究代表者
 菊池 政雄 (KIKUCHI MASAO)
 独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部・研究員
 研究者番号：80371144

研究成果の概要：部分予蒸発液滴の燃焼過程において発現する Triple Flame 状の火炎構造の基礎特性を明らかにするため、3 秒級落下塔を利用した微小重力実験と非定常数値解析による研究を行った。数値解析の結果、予蒸発の進行に伴い Triple Flame 状の火炎構造が顕著になること、弓形の予混合火炎部と後方の拡散火炎部が交差する点の液滴からの距離 (Stand-off distance) が長くなることが分かった。また、落下塔実験用の実験装置を設計・製作し、微小重力実験を行った。実験結果によれば、予蒸発に伴う Triple Flame 状火炎構造の変化について、数値解析と定性的に一致する結果を得た。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,900,000	0	1,900,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	390,000	3,590,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：燃焼

1. 研究開始当初の背景

研究代表者らは、噴霧における火炎伝播メカニズムの解明を目指した基礎研究として、直線上に等間隔配置した燃料液滴による液滴列の火炎燃え広がりメカニズムに関する研究をこれまで進めてきた。その中で、液滴の予蒸発が進行した際の燃え広がりにおいては、火炎先端部に Triple Flame 状の火炎構造が発現することが見出された。ただ、これまでの研究においては、主に液滴列に沿った火炎の燃え広がり速度の変化に着目して

いたため、火炎先端部の詳細な火炎構造の変化は十分捉えきれなかった。そこで本研究では、部分予蒸発液滴の燃焼過程において発現する Triple Flame 状の火炎構造の解明を行うことを意図した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、部分予蒸発液滴の燃焼過程において発現する Triple Flame 状の火炎構造の基礎特性を明らかにすることである。

3. 研究の方法

本研究においては、微小重力実験と非定常数値解析の併用による部分予蒸発液滴火炎の局所構造解明を試みた。

微小重力実験の手段としては、北海道大学および株式会社植松電機が北海道赤平市に建設し、NPO 法人北海道宇宙科学技術創成センター (HASTIC) が利用者窓口となっている 3 秒級落下塔 (コスモトローレ) を使用した。

一方、数値解析の手段としては、研究代表者がこれまで使用してきた非定常数値解析コードを用いた。

なお、本研究においては、これまでの研究で使用してきた n-デカンを使用した。

4. 研究成果

本研究では、コスモトローレ実験用の実験装置の設計・製作を行った。実験装置は、研究代表者がこれまで行ってきた MGLAB (日本無重量総合研究所) の 4.5 秒落下塔における液滴列火炎伝播実験で使用した装置をベースに、コスモトローレの落下カプセルに適合するように新たに設計した。実験装置は、燃焼容器、液滴列生成装置、液滴移動装置、着火装置、観察装置、制御装置などで構成される。製作した実験装置の外観を図 1 に示す。



図 1 落下実験装置外観

燃料である n-デカン液滴は、直径約 $14\ \mu\text{m}$ の極細 SiC ファイバの交点上に生成・保持される。本研究は、液滴列の燃え広がり現象の観察を目的にしたものではないが、複数の液滴から成る液滴列を用いることにより、1 回の落下実験において液滴周囲の火炎構造観察を繰り返し行う意図で、3 個程度の液滴から成る液滴列を実験に使用した。落下実験において SiC ファイバ交点上に生成・保持された液滴の写真を図 2 に示す。図中、左側で明るく発光しているのが着火用電熱線である。

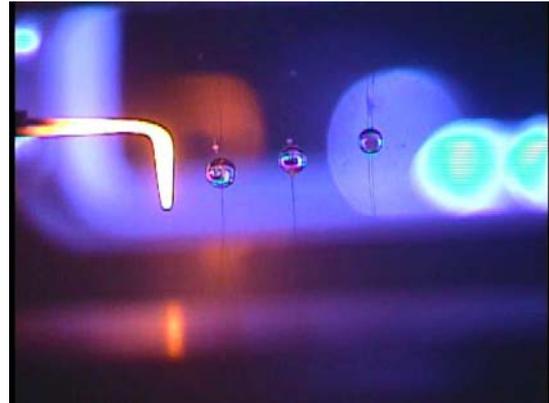


図 2 SiC ファイバ上の液滴列の様子

実験時には、まず予熱された燃焼容器の外部で液滴列を生成する。カプセルの落下 (通常重力環境から微小重力環境への移行) とほぼ同時に、燃焼容器底面にあるシャッターを開き、液滴列を燃焼容器内部に挿入する。そして、燃焼容器内部の高温空気の中で液滴列を 1 秒から 1.5 秒程度蒸発させた後、液滴列の一端に設置された電熱線により液滴に着火させる。燃焼容器内部における着火までの待ち時間を変化させることにより、着火に先立つ液滴の予蒸発の程度を変化させることができる。

着火後の燃焼挙動は、可視光による通常観察に加え、実験装置に搭載した特殊光学系による OH ラジカル発光観察も行った。OH ラジカルは、燃焼反応において重要な役割を果たす活性化学種であり、液滴周囲に形成される火炎構造を調べるためにも重要である。CCD カメラにより撮影した通常画像と OH 光学系により撮影した OH ラジカル発光像の例を図 3 および 4 に示す。

コスモトローレにはユーザマニュアル等が整備されておらず、落下カプセルと実験装置のインターフェース整合性の確保に想像以上の時間を費やしたこと、また実験作業環境が屋外のため、特に冬季における実験時には液滴列移動部潤滑剤の固化やバッテリーの激しい消耗などの不具合が生じたこと等により、取得できた実験データは当初予定してい

たうちの一部にとどまった。しかしながら、本研究によりコスモトールを利用する実験技術の基盤構築がなされたことから、今後、実験装置の改良なども行いつつ、引き続き研究を進めていきたいと考えている。



図3 液滴列を燃え広がる火炎

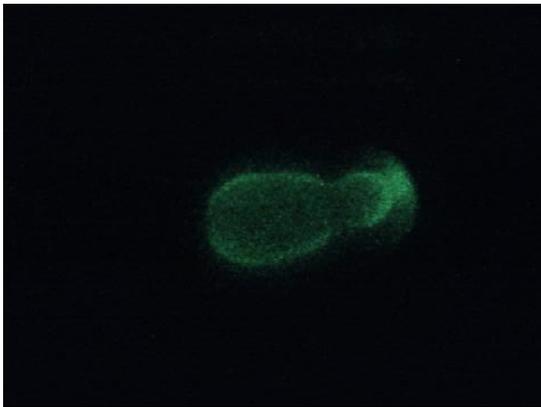


図4 火炎のOHラジカル像

一方、本研究において実施した数値解析結果の一例を図5に示す。液滴の初期直径 $d_0 = 0.5$ mm、液滴間隔 $S = 3$ mm、雰囲気温度 $T = 600$ K で、液滴列が高温空気に曝されてから液滴列の一端の液滴に着火させるまでの予蒸発時間 t_{pv} を変化させている。計算結果より、液滴の予蒸発の進行に伴い、液滴列の中心軸周囲に可燃混合気層（n-デカンの下可燃限界は当量比 $\phi = 0.5$ 程度）が発達して形成されていくことが分かる。また、予蒸発の進行に伴い、燃え広がる火炎先端の火炎構造も大きく変化していくことが分かる。予蒸発の進行につれ、火炎先端部の Triple Flame 構造は顕著になっている。また、弓形の予混合火炎部と後方の拡散火炎部が交差する点の液滴からの距離（Stand-off distance）は、予蒸発の進行に伴って液滴から遠ざかっている。

このように、液滴の予蒸発の進行に伴い、Stand-off distance が大きくなることが本研究における数値解析から示唆された。また、微小重力実験結果により得られた OH ラジカ

ル発光像と数値解析における火炎構造は、定性的に一致することが確認された。

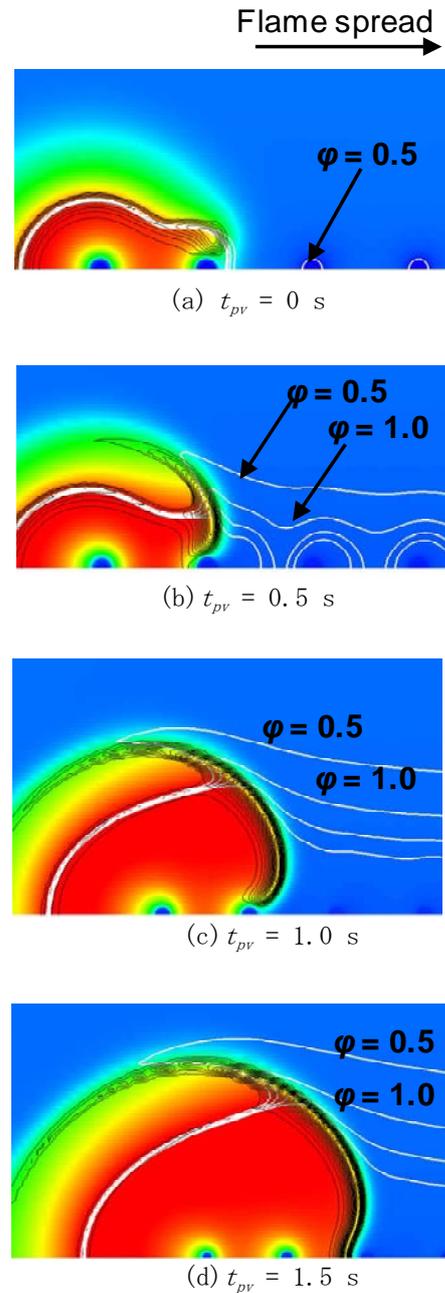


図5 n-デカン液滴列に沿って燃え広がる火炎の数値解析結果 ($d_0 = 0.5$ mm, $S = 3$ mm, $T = 600$ K)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 1 件)

- ① M. Kikuchi, N. Sugano, S. Yoda, M. Mikami, “Experimental and Numerical Study on Flame Spread of Partially Prevaporized n-decane Droplet Array”, 32nd International Symposium on Combustion, August 8, 2008, Montreal, Canada.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

取得年月日 :

国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菊池 政雄 (KIKUCHI MASAO)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙
科学研究本部・研究員

研究者番号 : 80371144

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし