



ISSN 1349-1113  
JAXA-RR-06-038

# 宇宙航空研究開発機構研究開発報告

## JAXA Research and Development Report

---

液滴間火炎伝播メカニズム研究

菊池 政雄, 菅野 互泰, 依田 眞一

2007年 3 月

宇宙航空研究開発機構  
Japan Aerospace Exploration Agency



# 液滴間火炎伝播メカニズム研究

菊池 政雄\*, 菅野 互泰\*, 依田 眞一\*

## Research on Flame Spread Mechanism of Fuel Droplets

By

Masao KIKUCHI\*, Nobuhiro SUGANO\*, and Shinichi YODA\*

**Abstract:** This paper reports annual result of “Research on Flame Spread Mechanism of Fuel Droplets” in JFY18, performed by a combustion research team in ISS Science Project Office of JAXA. In this study, flame spread mechanism of fuel droplet array was investigated based on the past research results. Especially, the effects of pre-vaporization of fuel droplets were investigated through numerical simulation and microgravity experiments employing a drop shaft.

**Key words:** Combustion, Flame Spread, Fuel Droplet Array, Pre-vaporization, Microgravity

### 概要

本論文は、ISS 科学プロジェクト室が実施した「液滴間火炎伝播メカニズム研究」に関する平成 18 年度の研究成果を纏めたものである。本研究では、昨年度までの研究成果を踏まえ、燃料液滴列の火炎燃え広がりメカニズムに関する研究を引き続き実施した。落下塔を利用した微小重力実験および数値シミュレーションにより、主に液滴列の予蒸発が火炎伝播挙動あるいは火炎伝播速度に与える影響について検討を行った。

### 1. はじめに

燃焼現象は物質移動、熱移動、相変化、さらに化学反応が関係する複雑な非線形現象であり、そのメカニズム解明が十分進んでいるとは言えない。地球温暖化や大気汚染等の環境問題の解決には、より高効率で環境負荷の少ない燃焼技術の開発が必要となるが、そのためには燃焼現象の本質的な解明が極めて重要である。

燃焼メカニズム解明のための研究手段として、レーザーによる非接触計測および大型計算機による数値シミュレーションと並び、微小重力環境の利用が注目されている。微小重力環境下では、自然対流の抑制等により現象の単純化、あるいは観察に関する時空間スケールの拡大等が可能になり、理論モデルあるいは数値シミュレーションとの比較が容易になる。燃焼研究の中でも、様々な燃焼機器で使用されている噴霧燃焼メカニズムの解明を目指した基礎研究は、微小重力環境を利用して特に多く行われている。ただし、これまでの研究の多くは噴霧を構成する単一液滴の燃焼あるいは数個の液滴の定常的な燃焼を対象としたものが多く、複数液滴間の火炎の伝播過程を対象とする体系的な研究は少ない。

\* 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部 ISS 科学プロジェクト室

\* ISS Science Project Office, ISAS/JAXA

このような背景に基づき、ISS 科学プロジェクト室における「液滴間火炎伝播メカニズム研究」では、噴霧における火炎伝播メカニズムの解明を目指し、燃料液滴列を対象とする研究活動を行っている。本論文は、「液滴間火炎伝播メカニズム研究」の平成 18 年度の研究成果の概要を纏めたものである。昨年度までの研究成果の概要を第 2 章に示したうえで、今年度の研究成果を第 3 章に示す。第 4 章では、今年度の成果を総括した。

## 2. 昨年度までの研究成果

本研究においては、液滴を直線上に等間隔配置した燃料液滴列（図 2-1）の火炎伝播メカニズム解明を主な目的として研究を進めてきた。梅村の理論検討[1]を踏まえつつ、数値シミュレーションおよび微小重力実験による検討を行った。数値シミュレーションについては、液滴列の火炎伝播に関する非定常解析を行うための液滴列火炎伝播解析コードを構築し、解析を行った。この解析コードについては、参考文献[2]に詳しい。また、岐阜県土岐市にある(株)日本無重量総合研究所（MGLAB）の 4.5 s 落下塔を利用した微小重力実験を実施し、数値シミュレーション結果の検証を進めてきた。実験手法の概略を図 2-2 に示す。実験では、直径約  $14\ \mu\text{m}$  の極細 SiC ファイバの交点上に n-デカン液滴を生成・支持する。まずステップモータ #1 で駆動される液滴生成用ステージが液滴列支持部の交点に近づく。このステージ上には直径約  $40\ \mu\text{m}$  の極細ガラス管が液滴間隔  $S$  で接続された燃料溜り部がある。次に、ステップモータ 2 で駆動される燃料吐出ステージの移動によりシリンジ内の燃料が押し出される。シリンジと燃料溜り部はテフロンチューブで接続されており、吐出ステージの移動量に応じた量の燃料がガラス管先端から押し出される仕組みとなっている。押し出された燃料は SiC ファイバ交点に付着する。最後に液滴生成ステージが後退し、液滴列の生成・支持が完了する。この後、モータ駆動の液滴列移動機構により液滴列支持部を燃焼容器の中に挿入する。燃焼容器は電熱線ヒータと開閉シャッタを有し、内部の空気は予め所定温度まで加熱保持されている。燃焼容器内に挿入された液滴列は、電熱線により一端の液滴に着火させ、火炎の燃え広がり過程を観察する。燃焼現象の観察は、直接像のほか OH ラジカル自発光の観察も行った。実験の詳細な手法および結果については、参考文献[3]を参照されたい。

昨年度までの研究により、微小重力実験結果に基づく火炎伝播モードマップが得られたほか、雰囲気温度が火炎燃え広がり速度に与える影響（図 2-3）などが明らかとなっている。さらに、液滴の予蒸発が火炎伝播に与える影響についても、基礎的な検討が行われている。これらの詳細については、昨年度の研究報告[4]を参照されたい。

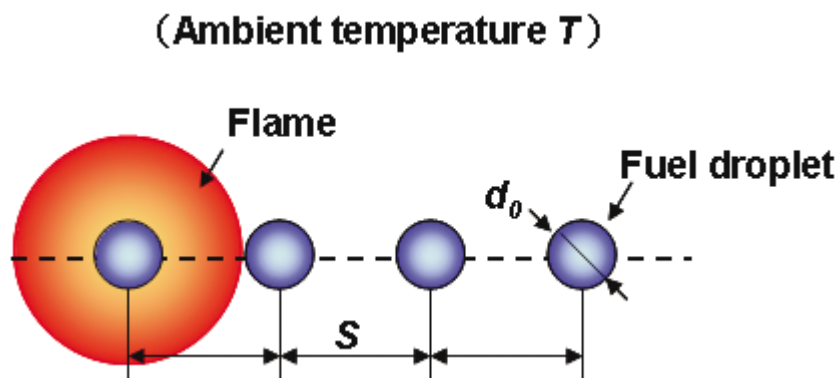


図 2-1 燃料液滴列の模式図

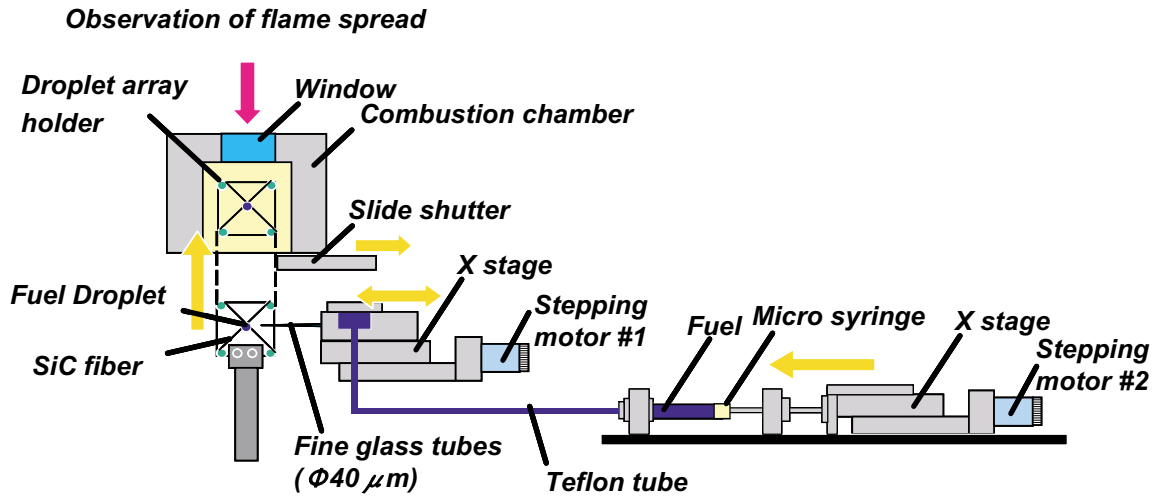


図 2-2 実験手法の模式図

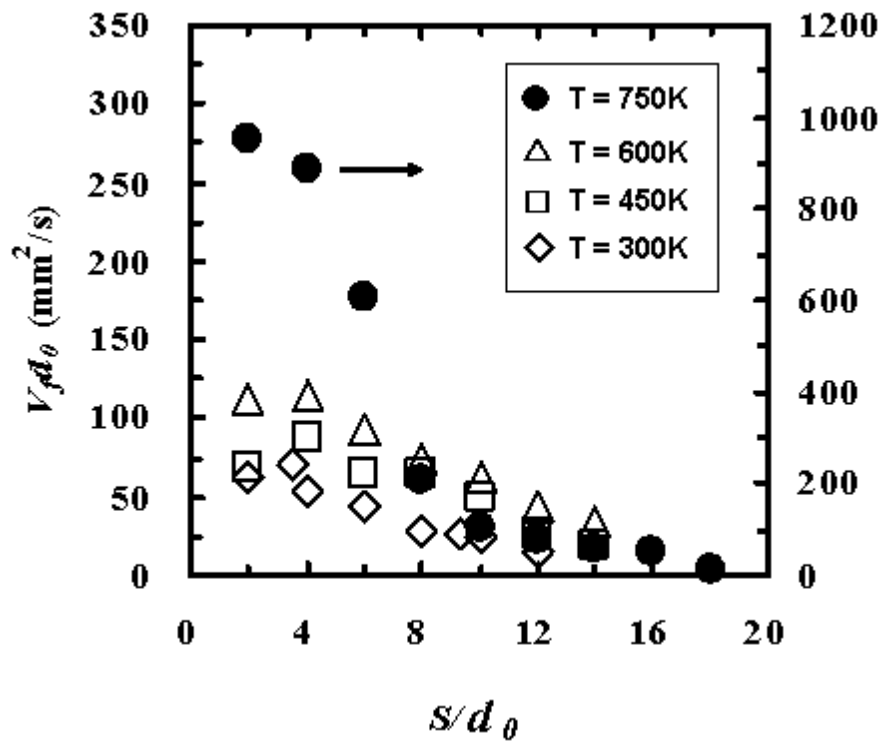


図 2-3 微小重力実験における火炎燃え広がり速度  $V_f$  に与える雰囲気温度  $T$  の影響

### 3. 今年度の研究成果

#### 3.1. 液滴の予蒸発が火炎伝播に与える影響

平成 16 年度から引き続き、火炎の燃え広がり先に先立つ液滴の蒸発（予蒸発）がその後の火炎燃え広がりを与える影響に関する研究を行った。今年度においては、主に以下の検討を行った。

- ① 昨年度までの微小重力実験に対応する条件での数値シミュレーション
- ② 微小重力実験による新規実験データ取得

##### 3.1.1. 数値シミュレーション

数値シミュレーション手法は平成 16 年度に実施したものと同様であり、液滴列火炎伝播解析コードを使用した。計算領域は、予蒸発を伴わない場合と同一である。計算では、液滴列を所定の高温雰囲気（温度  $T$ ）に投入後、液滴列の一端に着火用熱源を設置するまでの時間（ $t_w$ ）を変えることにより、着火に先立つ液滴予蒸発の進行度を変化させた。

今回実施した数値シミュレーションの条件を表 3-1 に示す。

表 3-1 数値シミュレーション実施条件一覧

No.	液滴直径 $d$ (mm)	液滴中心間隔 $S$ (mm)	雰囲気温度 $T$ (K)	着火待ち時間 $t_w$ (s)	着火時における液滴列周囲での 燃料蒸気層形成状態
1	0.5	3	600	0	可燃混合気が各液滴周囲に独立して存在
2	0.5	3	600	0.5	可燃混合気が液滴列を取り囲み連続的に存在
3	0.5	3	600	1.0	〃
4	0.5	3	600	1.2	〃
5	0.5	3	600	1.5	〃
6	1.0	6	600	0	可燃混合気が各液滴周囲に独立して存在
7	1.0	6	600	0.5	〃
8	1.0	6	600	1.0	可燃混合気が液滴列を取り囲み連続的に存在
9	1.0	6	600	1.7	〃

着火用熱源設置時点（高温空气中で  $t_w$  経過後）における液滴列周囲の燃料蒸気濃度分布を、No.1～5 について図 3-1 (a)～(e)に、また No.6～9 について図 3-2(a)～(d)に示す。これらの図においては、当量比  $\phi = 0.5$  から 2.0 まで 0.5 間隔の等値線により燃料蒸気の濃度分布を示している。N-デカンと空気混合気の下可燃限界は、ほぼ  $\phi = 0.5$  であることから、 $\phi = 0.5$  の等値線が可燃混合気の外縁と見なすことができる。それぞれの図において、液滴列の左端の液滴の近傍に着火用熱源が設定されている。

図 3-1 によれば、 $t_w = 0.5$  s である (b) において  $\phi = 0.5$  および  $\phi = 1.0$  の等値線が液滴列を取り囲んでいることから、化学量論比の可燃混合気が液滴周囲に連続的に形成されていることが分かる。 $t_w = 1.0$  s である (c) 以降においては、 $\phi = 2.0$  まで全ての等値線が液滴列を取り囲んでおり、高濃度の燃料蒸気層が液滴周囲に連続的に形成されていることが分かる。また、液滴列周囲に形成された可燃混合気層は、液滴列中心軸方向およびそれと直交する方向のいずれについても、時間の経過とともにその大きさを増していくことが分かる。

また、図 3-2 によれば、 $t_w = 0.5$  s である (b) までは  $\phi = 0.5$  の等値線が各液滴を取り囲んでいることから、可燃混合気が各液滴周囲に独立して形成されていることが分かる。 $t_w = 1.0$  s である (c) 以降においては、可燃混合気層は液滴列を取り囲み連続的に形成されている。

液滴列左端の液滴に着火後の火炎燃え広がり挙動を、No.1～5 について図 3-3(a)～(e)に、また No.6～9 について図 3-4(a)～(d)に示す。図 3-3 において、予蒸発による液滴周囲での可燃混合気層形成が無い (a) では、未燃液滴周囲に形成された可燃混合気が進行してきた拡散火炎先端の直前にて着火することにより火炎の燃え広がりが進行していくこと

が分かる。これは、予蒸発を考慮しない従来の研究において得られた火炎伝播モードマップにおけるモード2の火炎燃え広がり形態に相当する。これに対し、予蒸発により液滴列周囲に可燃混合気層が連続的に形成されている(b)~(e)では、円弧状の火炎が可燃混合気中を進行することにより火炎の燃え広がりが起こっている。また、円弧状火炎の後方には液滴列を取り囲む形の火炎が形成されている。その結果、燃え広がる火炎先端部はT字状の構造を持っていることが分かる。以前、 $S = 12 \text{ mm}$  について行った数値シミュレーションでも確認されたこの特異的な構造は、円弧状の予混合火炎の後方に拡散火炎が形成される Triple Flame 構造と考えられる。円弧状の予混合火炎部は、予蒸発の進行に伴う可燃混合気層の発達に対応して長くなっている。また、予混合火炎の後方に形成される拡散火炎の液滴列中心軸からの距離も、予蒸発が進行している場合ほど大きくなっている。これは、拡散火炎が形成される  $\phi = 1.0$  の位置が、予蒸発が進行している場合ほど中心軸から離れるためである。

図3-4においても、予蒸発の進行に伴い図3-3と同様の Triple Flame 構造が顕著となることが分かる。

これらの数値シミュレーション結果から算出された火炎先端の燃え広がり速度  $V_f$  の着火待ち時間  $t_w$  による変化を図3-5に示す。また、比較のため昨年度までの微小重力実験により得られた火炎先端の燃え広がり速度  $V_f$  の着火待ち時間  $t_w$  による変化を図3-6に示す。

数値シミュレーション結果は、微小重力実験で得られた  $t_w$  の増大に伴う  $V_f$  の変化を良く捉えており、定性的のみならず定量的にも実験結果とかなり一致していることが分かる。ただし、 $S = 12 \text{ mm}$  の場合については、微小重力実験結果では  $t_w$  が増大しても  $V_f$  はほとんど変化しなかったのに対し、数値シミュレーションでは他の条件と同様に  $V_f$  が大きくなっており、若干異なる結果となっている。この点については、詳しい検討を現在実施中である。

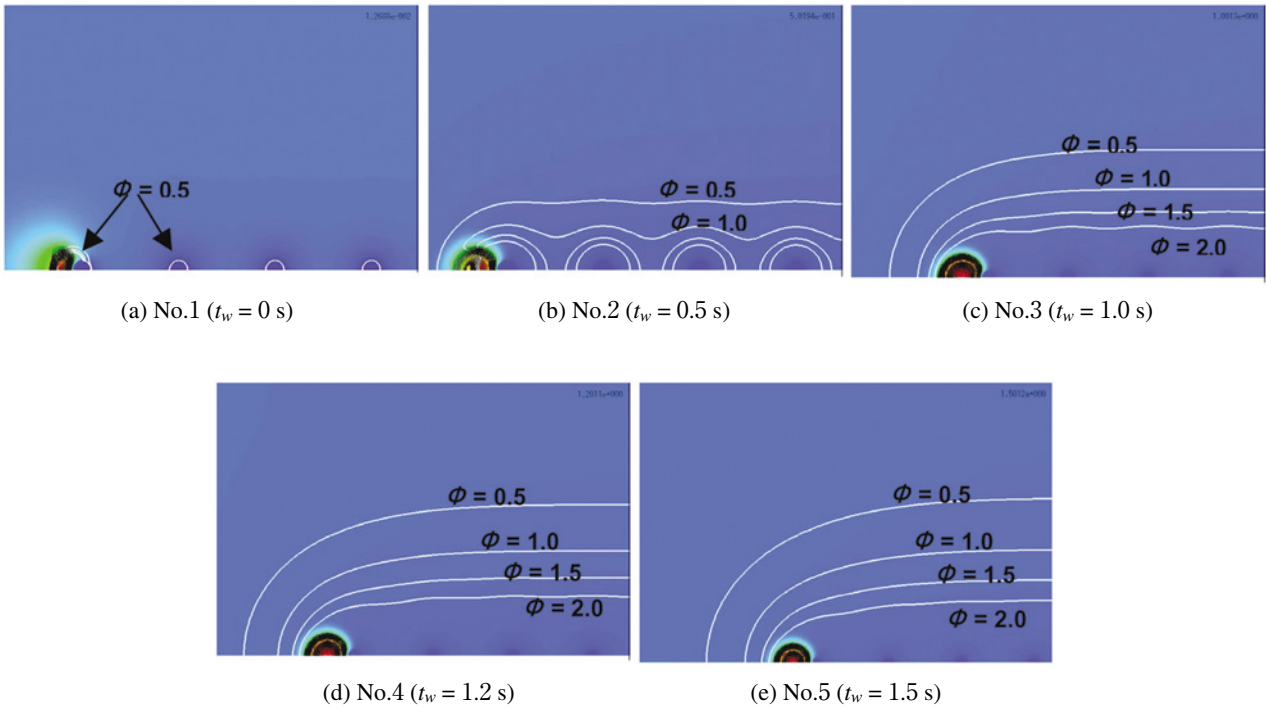


図 3-1 着火用加熱源設定時における燃料蒸気層の形成状態  
( $d = 0.5$  mm,  $S = 3$  mm,  $T = 600$  K)

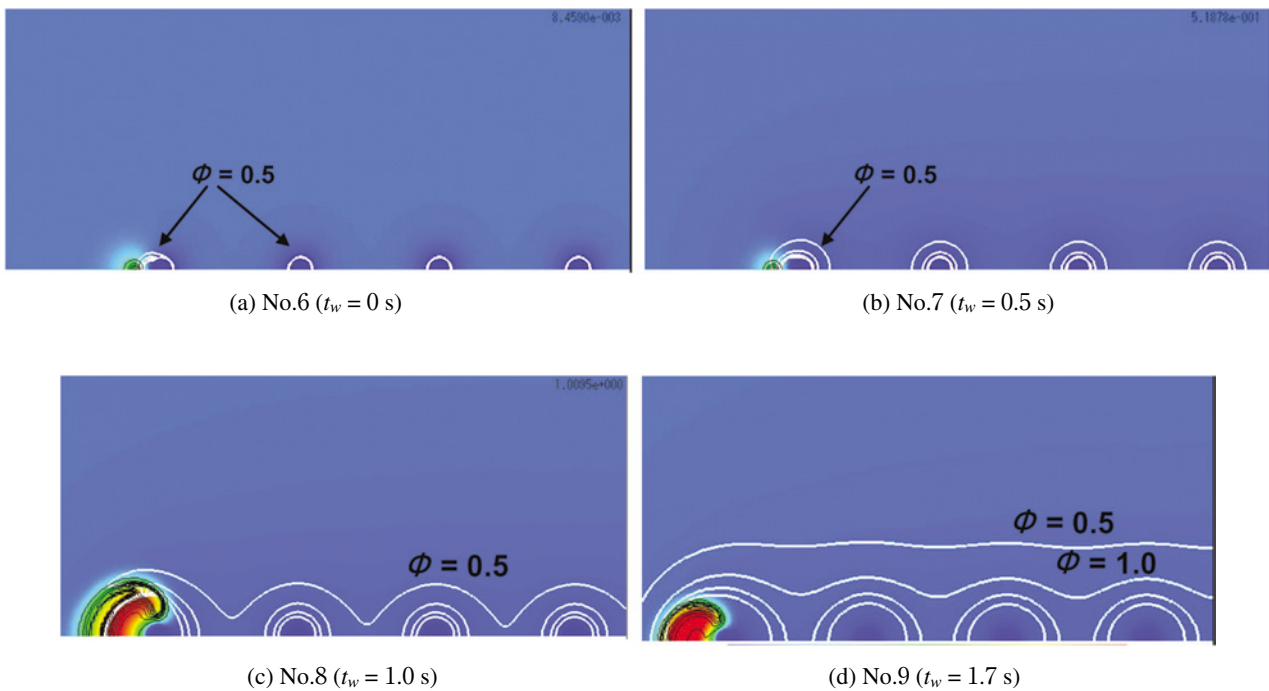


図 3-2 着火用加熱源設定時における燃料蒸気層の形成状態  
( $d = 1.0$  mm,  $S = 6$  mm,  $T = 600$  K)



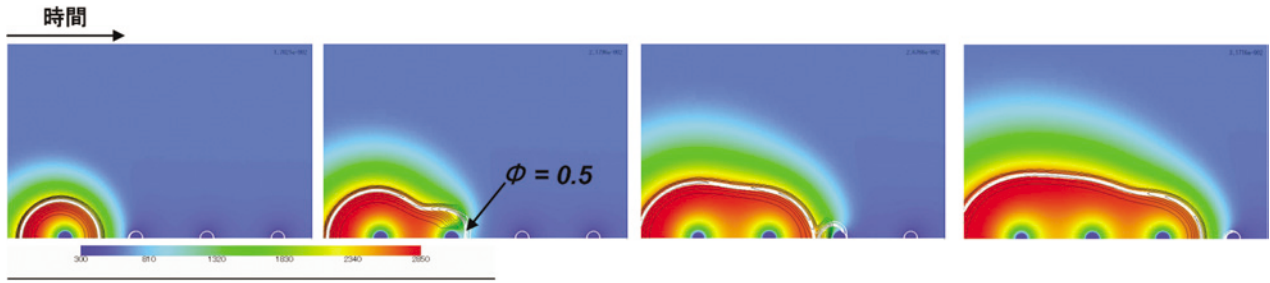
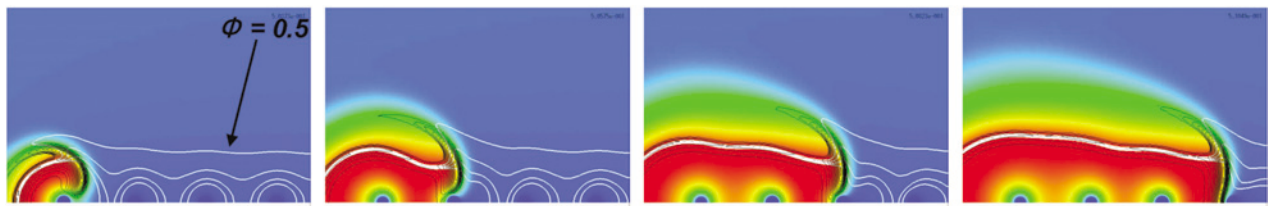
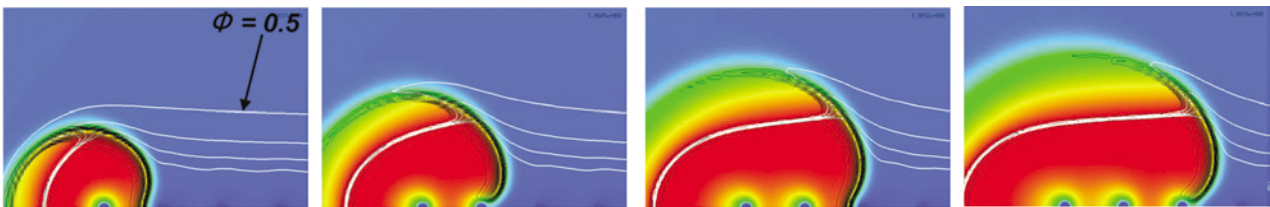
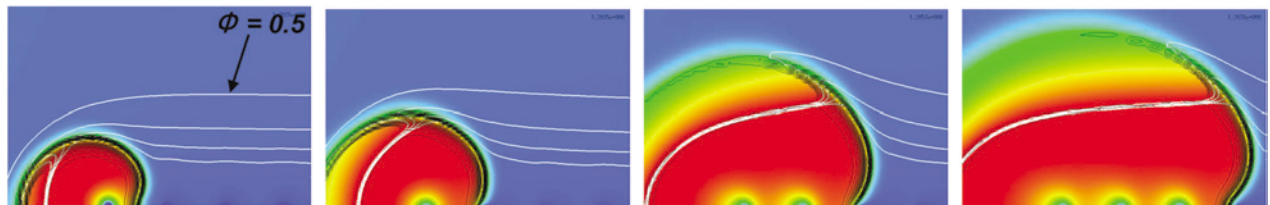
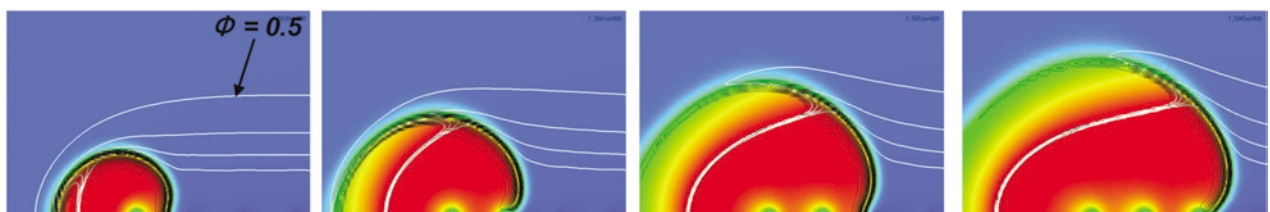
(a) No.1 ( $t_w = 0$  s)(b) No.2 ( $t_w = 0.5$  s)(c) No.3 ( $t_w = 1.0$  s)(d) No.4 ( $t_w = 1.2$  s)(e) No.5 ( $t_w = 1.5$  s)

図 3-3 火炎燃え広がり挙動の状態  
( $d = 0.5$  mm,  $S = 3$  mm,  $T = 600$  K)

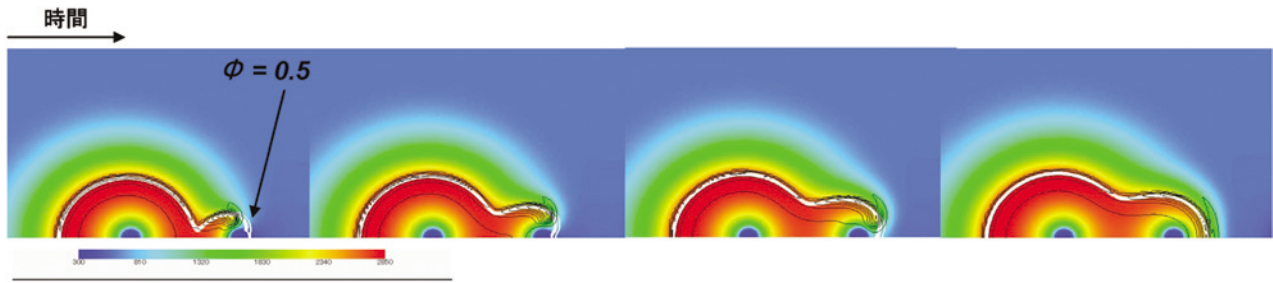
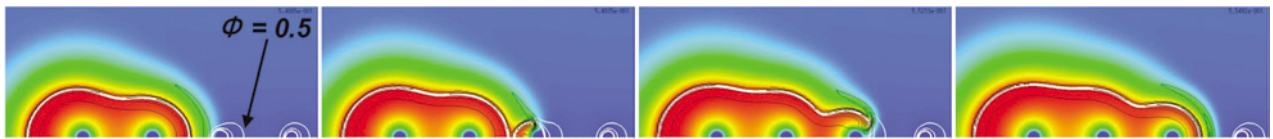
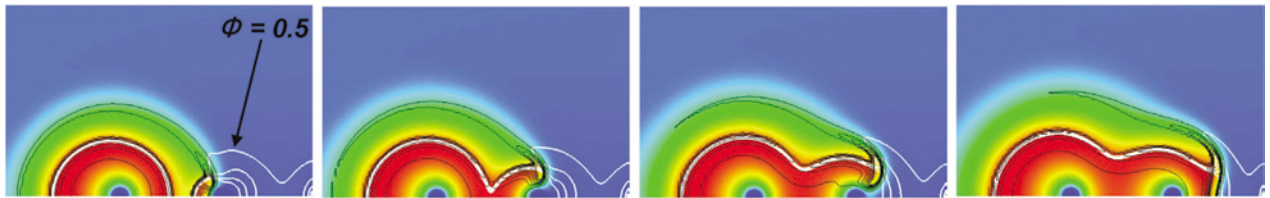
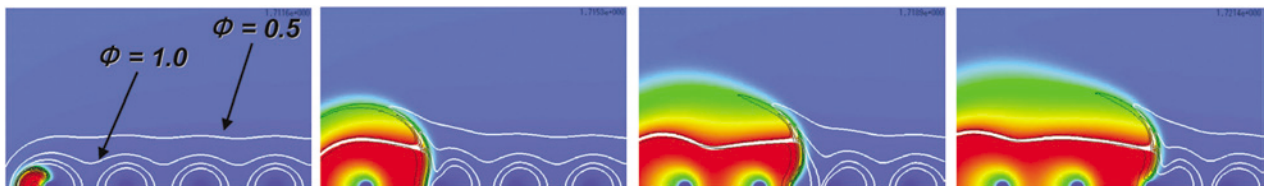
(a) No.6 ( $t_w = 0$  s)(b) No.7 ( $t_w = 0.5$  s)(c) No.8 ( $t_w = 1.0$  s)(d) No.9 ( $t_w = 1.7$  s)

図 3-4 火炎燃え広がり挙動の状態  
( $d = 1.0$  mm,  $S = 6$  mm,  $T = 600$  K)

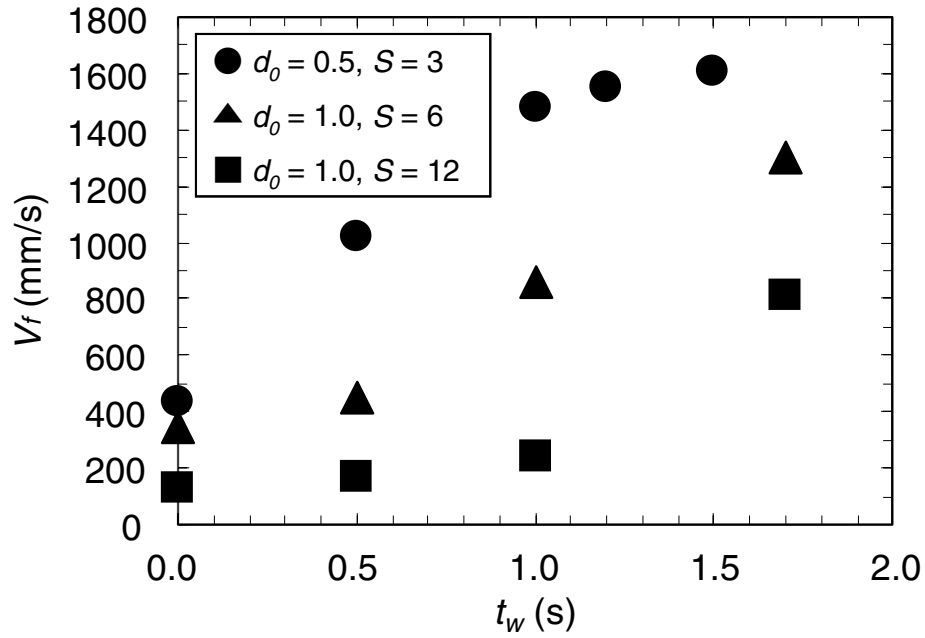


図 3-5 数値シミュレーションにおける火炎燃え広がり速度  $V_f$  の着火待ち時間  $t_w$  による変化 ( $T = 600$  K)

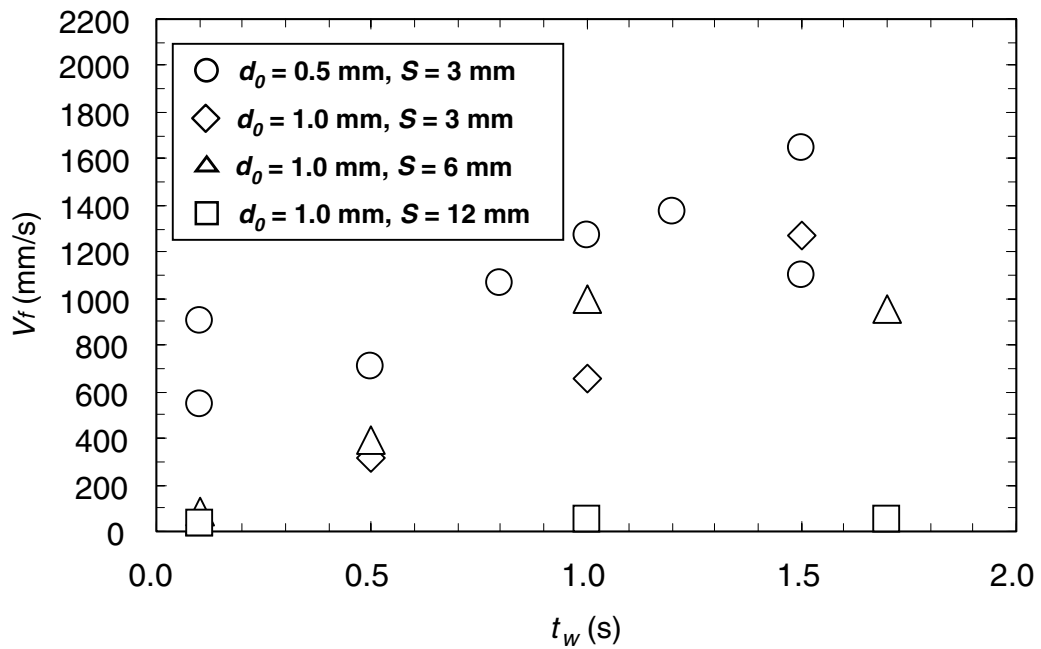


図 3-6 昨年度までの微小重力実験における火炎燃え広がり速度  $V_f$  の着火待ち時間  $t_w$  による変化 ( $T = 600$  K)

### 3.1.2. 微小重力実験

平成 17 年度までの落下塔実験により取得された実験データによれば、液滴列の予蒸発が火炎燃え広がり速度  $V_f$  に与える影響について、 $S = 6 \text{ mm}$  と  $S = 12 \text{ mm}$  の間では大きな差が認められていた。図 3-6 に示した通り、 $d = 1 \text{ mm}$ 、 $T = 600 \text{ K}$  の場合、 $S = 6 \text{ mm}$  以下の液滴間隔においては、 $t_w$  の増大に伴う液滴予蒸発の進行に伴い、 $V_f$  は増加していく。一方、 $S = 12 \text{ mm}$  においては、 $t_w$  が増大しても  $V_f$  の顕著な増加は認められない。そこで、 $t_w$  の増大に伴う  $V_f$  の顕著な増加がどの程度の液滴間隔から発現するのか明らかにするため、 $S = 10 \text{ mm}$  における微小重力実験を今年度新規に行った。また、異なる雰囲気温度  $T$  における  $t_w$  の  $V_f$  に対する影響を調べるため、 $d = 1 \text{ mm}$ 、 $S = 10 \text{ mm}$ 、 $T = 500 \text{ K}$  において  $t_w$  を変化させた実験も併せて行った。

今年度取得した実験データを表 3-2 に示す。

表 3-2 平成 18 年度に新規取得した実験データ

No.	液滴直径 $d$ (mm)	液滴中心間隔 $S$ (mm)	無次元液滴間隔 $S/d$	雰囲気温度 $T$ (K)	着火待ち時間 $t_w$ (s)
1	1.0	10	10	600	0.5
2	1.0	10	10	600	1.0
3	1.0	10	10	600	1.5
4	1.0	10	10	600	1.7
5	1.0	10	10	500	0.5
6	1.0	10	10	500	1.5

最初に、 $d = 1 \text{ mm}$ 、 $S = 10 \text{ mm}$ 、 $T = 600 \text{ K}$  において  $t_w$  が異なる場合の火炎伝播挙動を図 3-7 から 3-11 にそれぞれ示す。 $t_w$  が最も短い  $0.1 \text{ s}$  である図 3-7 は、昨年度以前の実験結果であるが、比較のためここに載せている。これらは、30 コマ/秒の DV カメラにより撮影されたものであり、右端の第 1 液滴に電熱線により着火した時刻を  $t = 0 \text{ s}$  としている。

図 3-7 から 3-11 に示した条件においては、いずれの場合においても、未燃液滴の着火が燃え広がる火炎先端から離れた前方で起こっており、火炎伝播モードマップにおけるモード 3 の火炎燃え広がり形態に相当する。

次に、 $d = 1 \text{ mm}$ 、 $S = 10 \text{ mm}$ 、 $T = 500 \text{ K}$  において  $t_w$  が異なる場合の火炎伝播挙動を図 3-12 から 3-14 にそれぞれ示す。図 3-7 と同様に、図 3-12 は昨年度以前の結果である。 $T = 500 \text{ K}$  においても、 $T = 600 \text{ K}$  の場合と同じく、全ての場合においてモード 3 の火炎燃え広がり形態となっていることが分かる。

また、これらの実験映像から算出された火炎先端の燃え広がり速度  $V_f$  の着火待ち時間  $t_w$  による変化を、 $T = 600 \text{ K}$  の場合について図 3-15 に示す。図 3-15 においては、 $d = 1 \text{ mm}$ 、 $S = 10 \text{ mm}$  の結果に加え、昨年度までに得られていたその他の実験条件における結果も併せて示してある。これより、 $S = 12 \text{ mm}$  の場合と同様に、 $S = 10 \text{ mm}$  の場合においても、 $t_w$  の増大に伴う  $V_f$  の増加は  $S = 6 \text{ mm}$  以下の場合と比べてかなり小さいことが分かる。 $t_w$  の増大に伴う  $V_f$  の増加は、主に液滴周囲の可燃混合気層が結合し、予混合火炎の伝播が発現することによる。ここで、 $S = 10 \text{ mm}$  および  $S = 12 \text{ mm}$  のいずれについても、実験を行った  $t_w$  の範囲内においてはモード 3 の火炎伝播形態であり、予混合火炎伝播は発現していないため、 $t_w$  の増大に伴う  $V_f$  の増加は顕著でないものと考えられる。

次に、500K から 600K の範囲での  $T$  における  $V_f$  の  $t_w$  に対する変化を、 $S = 10 \text{ mm}$  および  $S = 12 \text{ mm}$  について図 3-16 に示す。 $T = 600 \text{ K}$  においては、 $S = 10 \text{ mm}$  のほうが  $S = 12 \text{ mm}$  に比べ  $t_w$  の増大に伴う  $V_f$  の増加が顕著になっている。一方、 $T = 500 \text{ K}$  においては、 $S = 10 \text{ mm}$  および  $S = 12 \text{ mm}$  のいずれについても、 $t_w$  の増大に伴う  $V_f$  の増加はほとんど認められない。この結果から、液滴列の予蒸発が火炎燃え広がりに与える影響は、 $d$ 、 $S$ 、 $t_w$  のみならず  $T$  によっても変化することが改めて認識される。

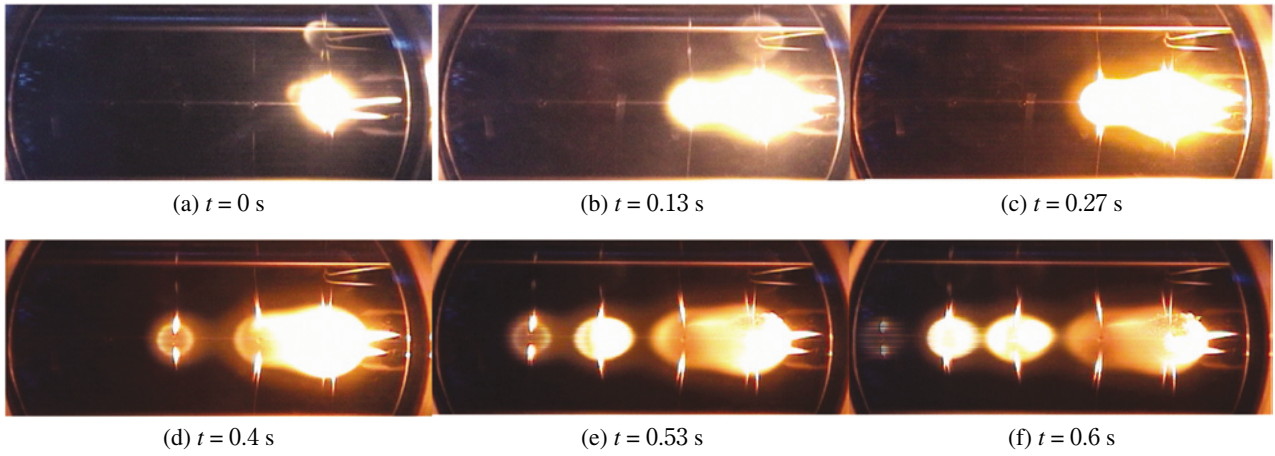


図 3-7  $d = 1.0$  mm,  $S = 10$  mm,  $S/d = 10$ ,  $T = 600$  K,  $t_w = 0.1$  s

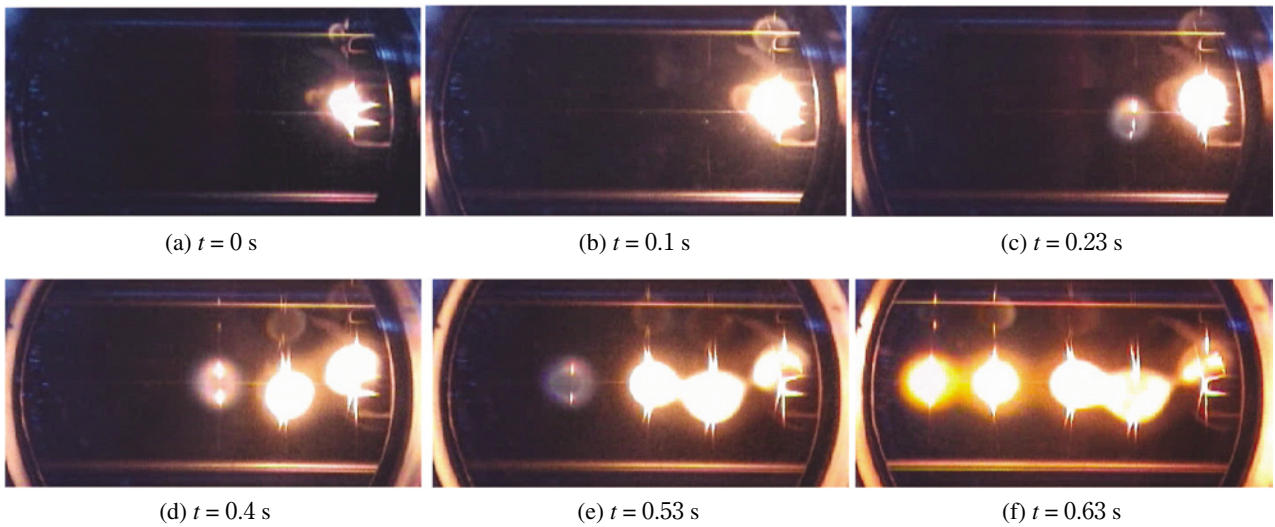


図 3-8  $d = 1.0$  mm,  $S = 10$  mm,  $S/d = 10$ ,  $T = 600$  K,  $t_w = 0.5$  s

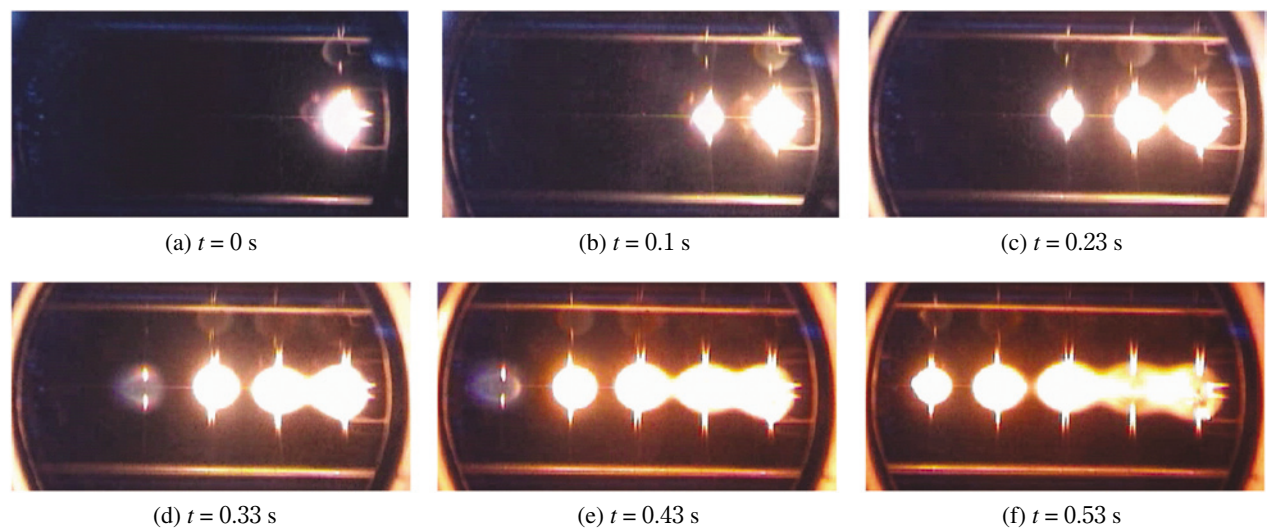


図 3-9  $d = 1.0$  mm,  $S = 10$  mm,  $S/d = 10$ ,  $T = 600$  K,  $t_w = 1.0$  s

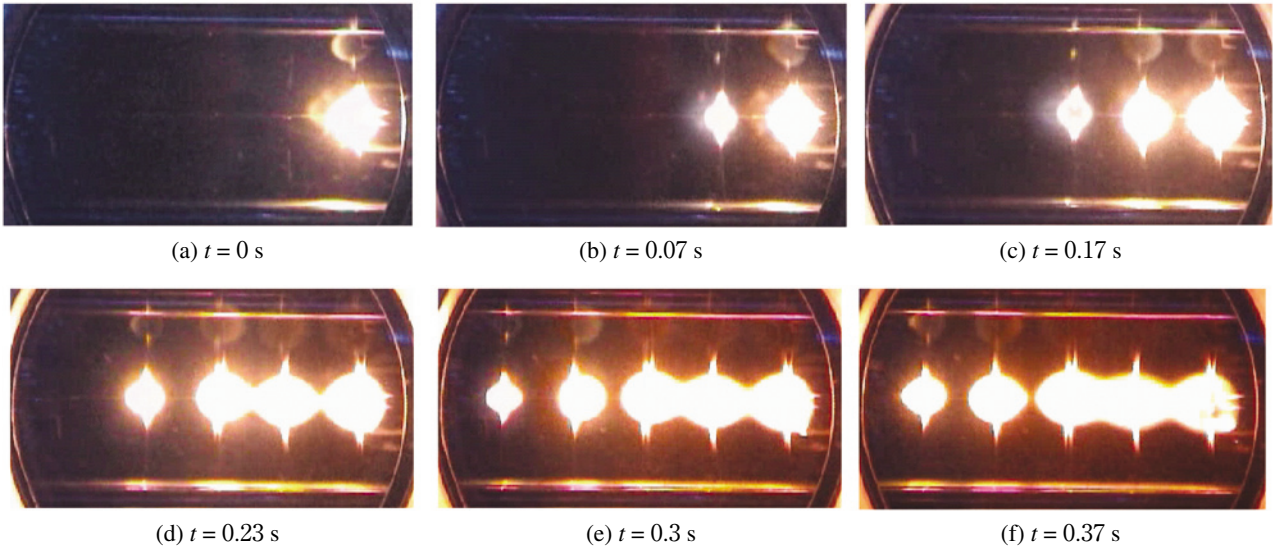


図 3-10  $d = 1.0$  mm,  $S = 10$  mm,  $S/d = 10$ ,  $T = 600$  K,  $t_w = 1.5$  s

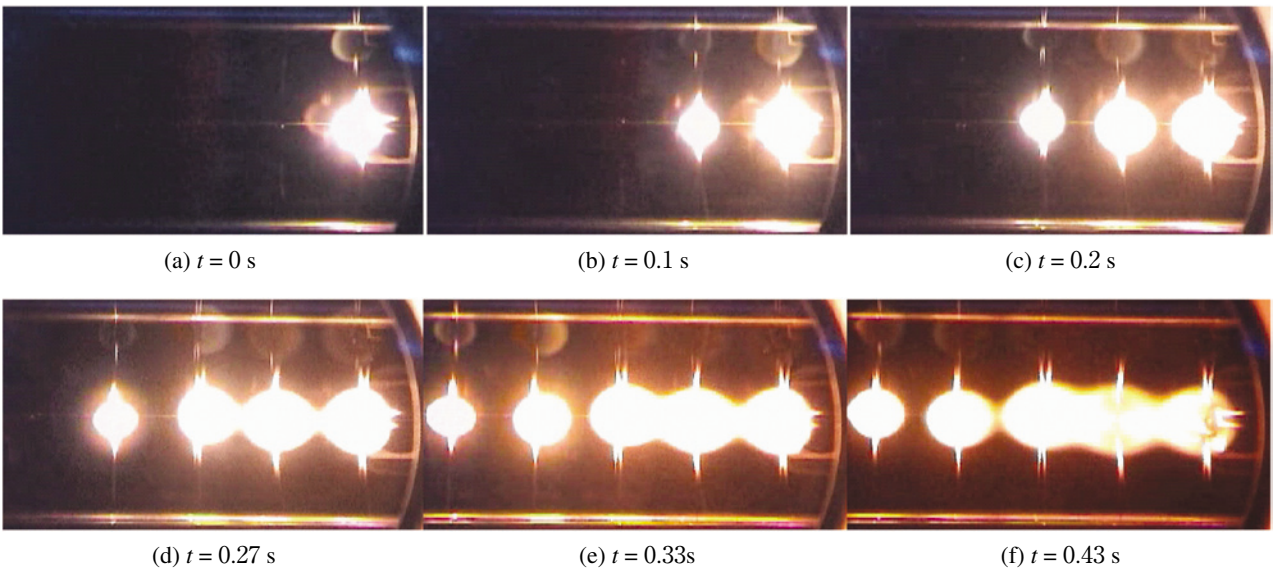
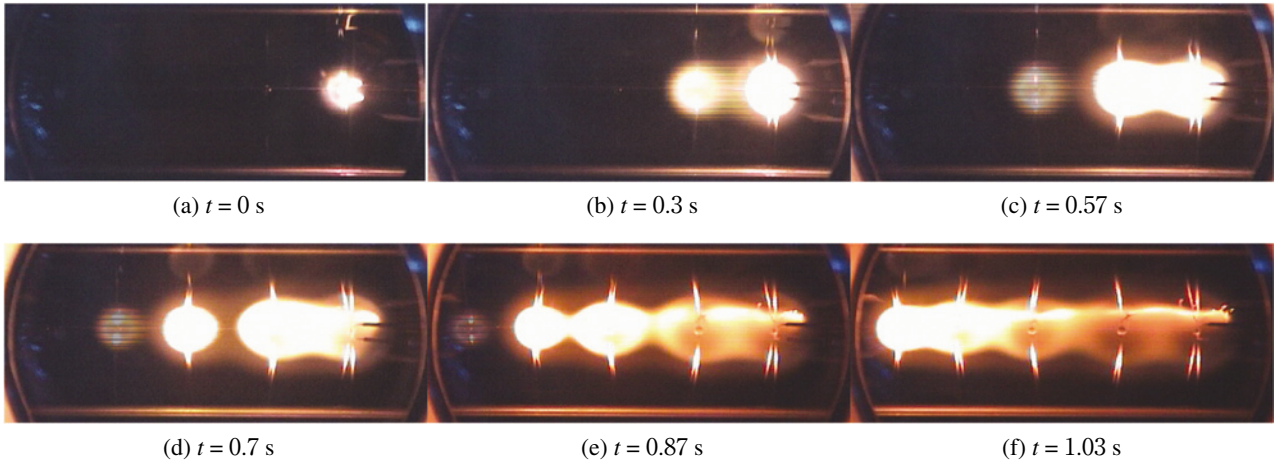
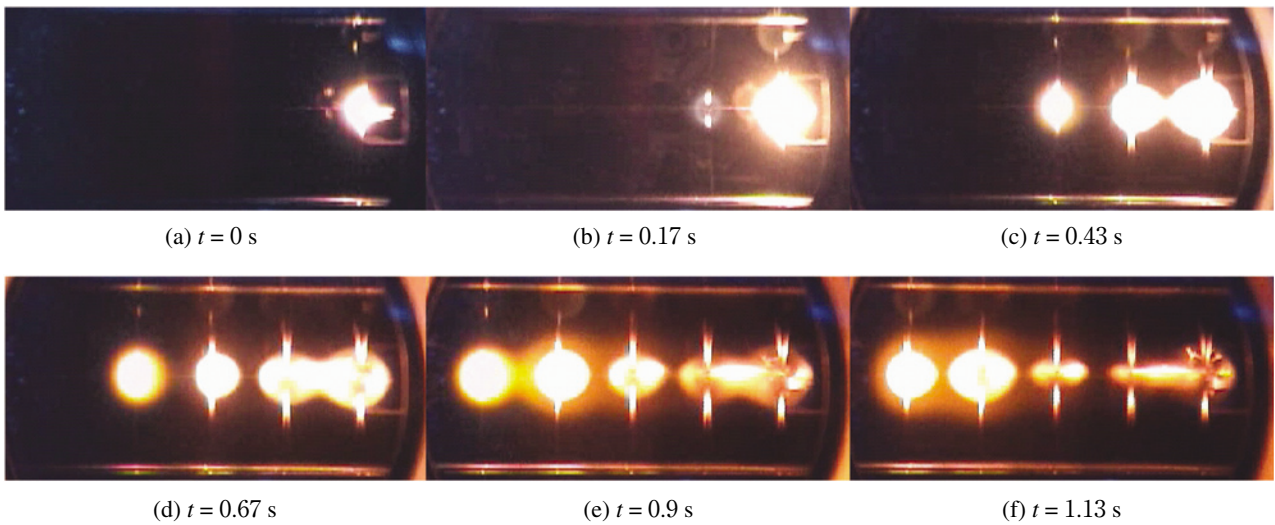


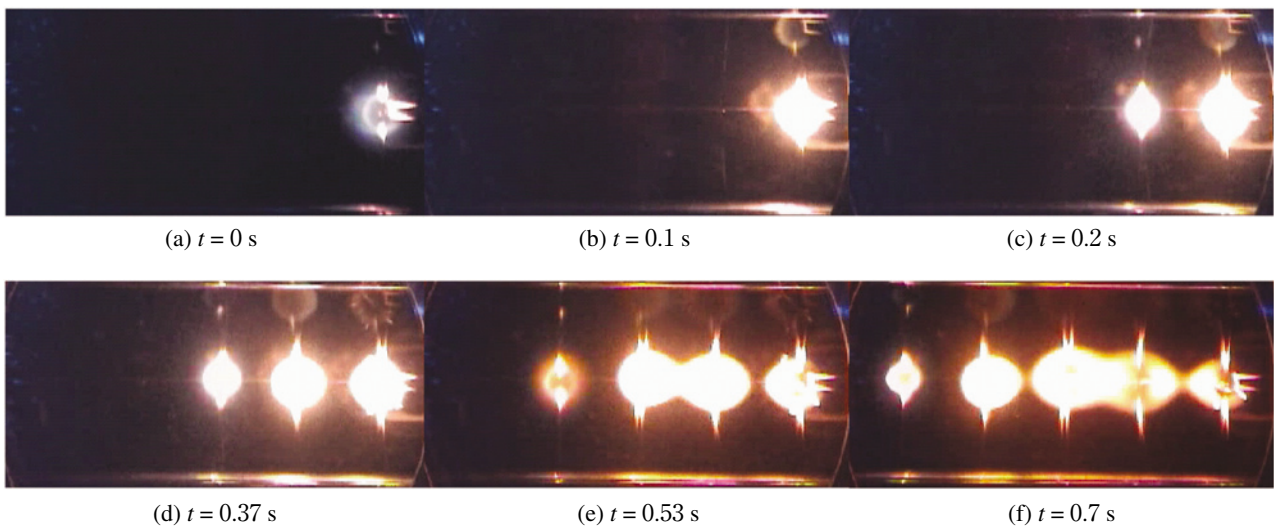
図 3-11  $d = 1.0$  mm,  $S = 10$  mm,  $S/d = 10$ ,  $T = 600$  K,  $t_w = 1.7$  s



☒ 3-12  $d = 1.0$  mm,  $S = 10$  mm,  $S/d = 10$ ,  $T = 500$  K,  $t_w = 0.1$  s



☒ 3-13  $d = 1.0$  mm,  $S = 10$  mm,  $S/d = 10$ ,  $T = 500$  K,  $t_w = 0.5$  s



☒ 3-14  $d = 1.0$  mm,  $S = 10$  mm,  $S/d = 10$ ,  $T = 500$  K,  $t_w = 1.5$  s

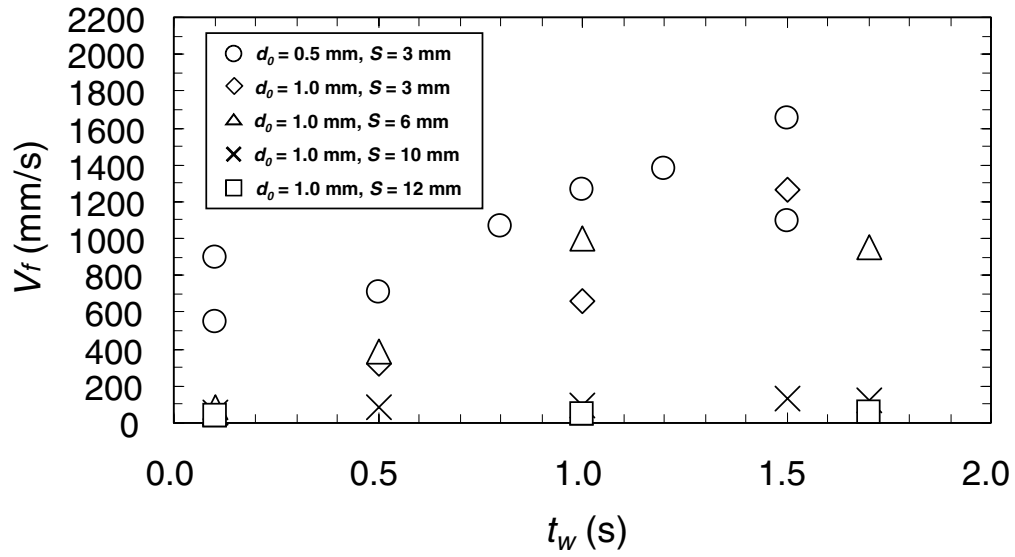


図 3-15 微小重力実験における火炎燃え広がり速度  $V_f$  の着火待ち時間  $t_w$  による変化 ( $T = 600$  K, 今年度取得データを含む)

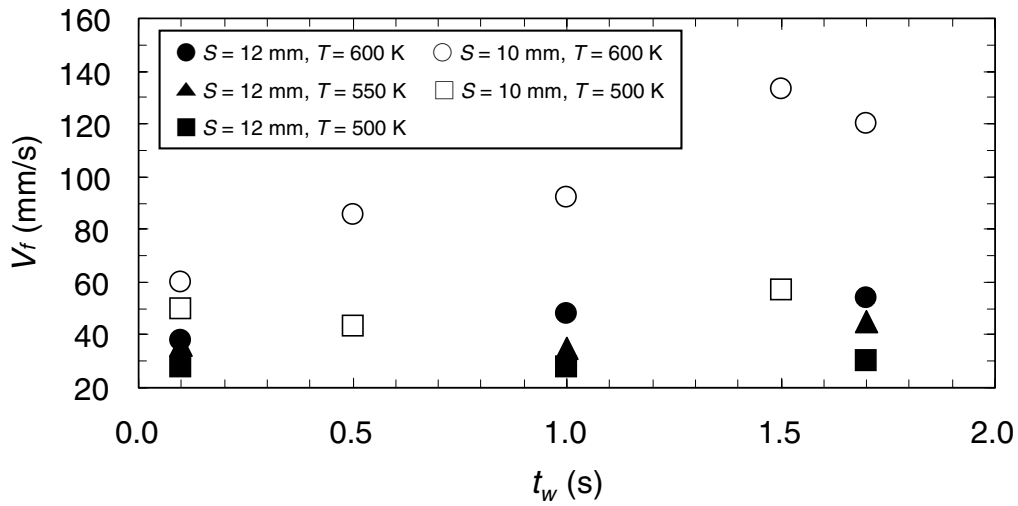


図 3-16 微小重力実験における火炎燃え広がり速度  $V_f$  の着火待ち時間  $t_w$  による変化 ( $d = 1$  mm)



### 3.2. 液滴群燃焼数値シミュレーションプログラムの開発

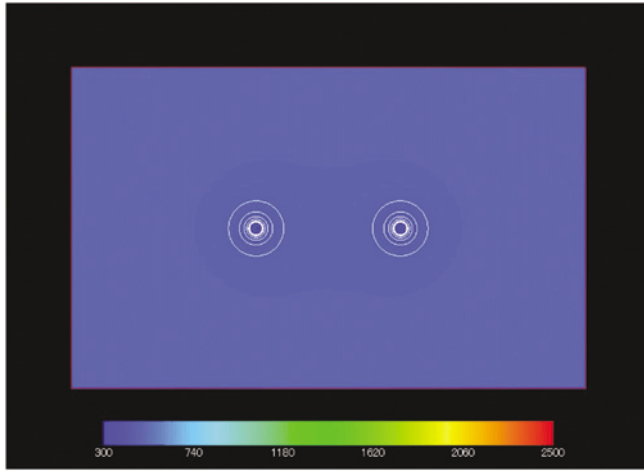
液滴列のみならず様々な液滴分散モデルの燃焼シミュレーションを可能とするために、液滴群燃焼数値シミュレーションプログラム（以下、「液滴群プログラム」）の開発を昨年度に引き続き進めた。今年度は主に、微小重力実験結果と計算結果との比較を通じた計算パラメータ調整作業を行った。表 3-3 に液滴群プログラムの機能概要を示す。

表 3-3 液滴群プログラム機能概要

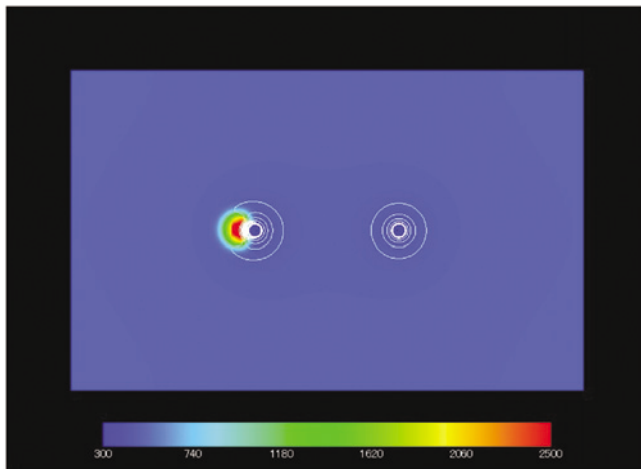
項 目		内 容
流れ場の状態		密度変化を伴う多成分低 Mach 数流れ
座標系		3次元 Descartes 座標系および球座標系
基礎方程式		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 混合気体の質量保存方程式</li> <li>・ 混合気体の運動量保存方程式</li> <li>・ 混合気体のエネルギー方程式</li> <li>・ 化学種の質量保存方程式</li> </ul>
境界条件	流速	流入境界, 自由流境界
	温度	Dirichlet 境界または Neumann 境界
	濃度	Dirichlet 境界または Neumann 境界
離散化		有限差分法
時間積分		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ SIMPLE 法</li> <li>・ SMAC 法</li> </ul>
移流項スキーム		1次風上差分
行列解法		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ICCG 法</li> <li>・ Bi-CGSTAB 法</li> </ul>
化学反応		総括反応モデル 素反応モデル
オーバーセット法		背景格子（3次元 Descartes 座標系）内に球座標系格子を imbed させる
並列化		並列処理は MPI（Message Passing Interface standard）で記述

計算結果の実験結果との比較においては、液滴の予蒸発が進んだ状態での両者の整合性を調べるため、平成 18 年 3 月に実施した航空機実験による実験結果を用いた。これまで実施してきた MGLAB 落下塔実験においては、実験時間の制約上、設定可能な着火待ち時間  $t_w$  は約 2 s が限界である。航空機実験においては、 $t_w$  を 3 s とした実験が可能であったため、この条件における計算結果と実験結果の比較を行った。

計算結果の例として、初期直径  $d=1.5$  mm、液滴中心間隔  $S=18$  mm の液滴列を  $T=500$  K の高温雰囲気中に投入し、着火源の設定開始時刻（ $=t_w$ ）を 3 秒後に設定した数値シミュレーション結果を図 3-17 に示す。図の左側がシミュレーション結果を示し、右側が航空機実験の高速度カメラ映像である。シミュレーション結果の各液滴周囲の白線は当量比を表し、N-デカン-空気混合気の下可燃限界である当量比 0.5 ごとに示している。カラーマップは温度を示しており、1800 K 以上が火炎領域にほぼ相当している。時間  $t$  は第 1 液滴着火時間を 0 s としている。またその時の解析モデルと解析条件を図 3-18 と表 3-4 に示す。

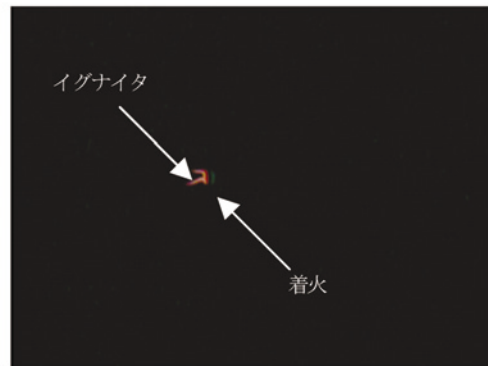


着火待ち状態

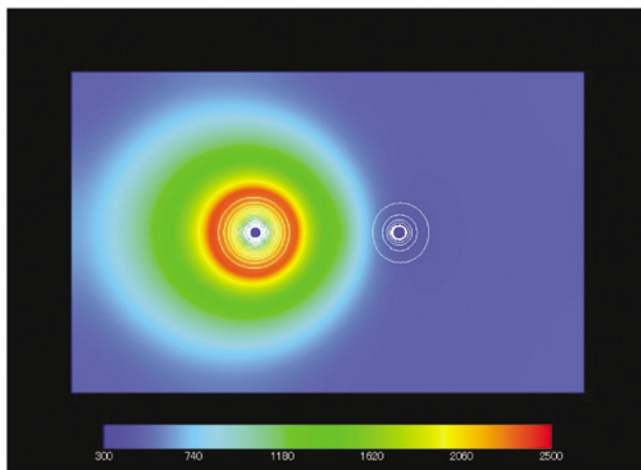


$t = 0 \text{ s}$

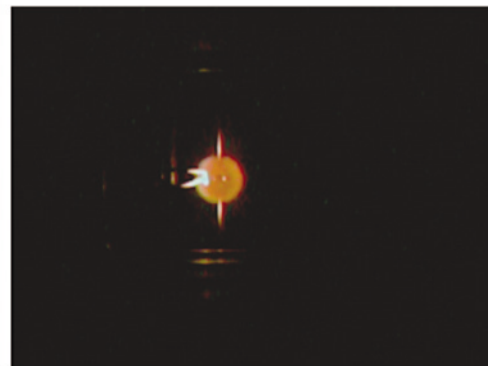
第1液滴に着火



$t = 0 \text{ s}$

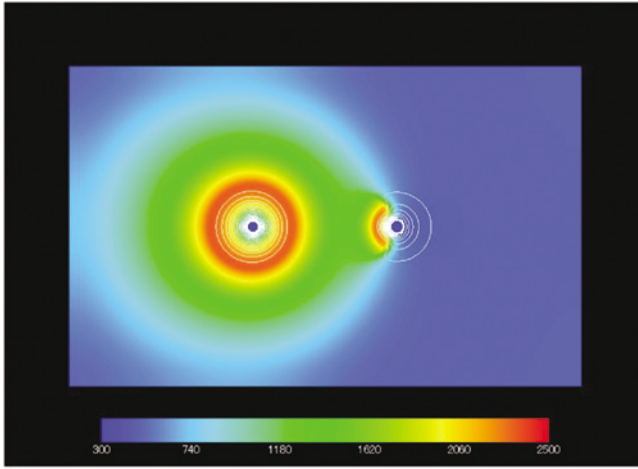


$t = 0.262 \text{ s}$



$t = 0.262 \text{ s}$

図 3-17 数値シミュレーション結果と航空機実験結果との比較 (1 / 2)

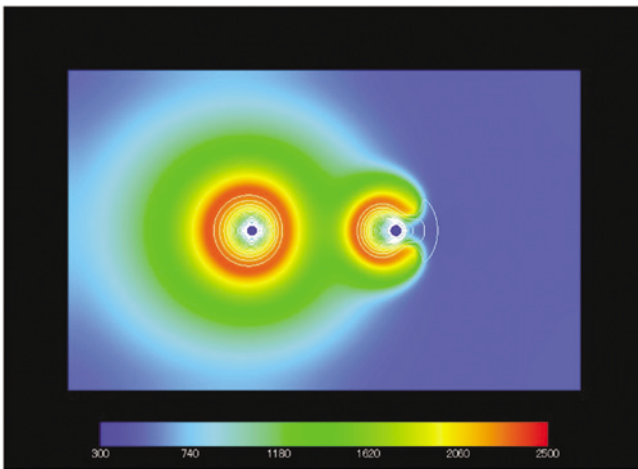


$t = 0.3801 \text{ s}$

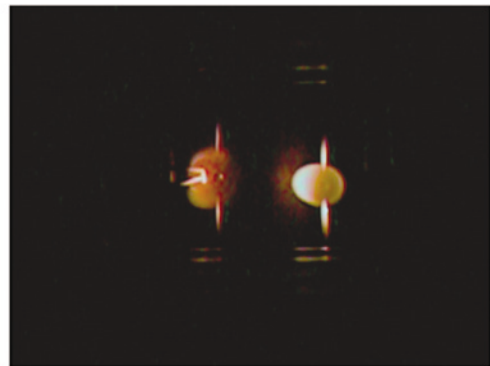


$t = 0.574 \text{ s}$

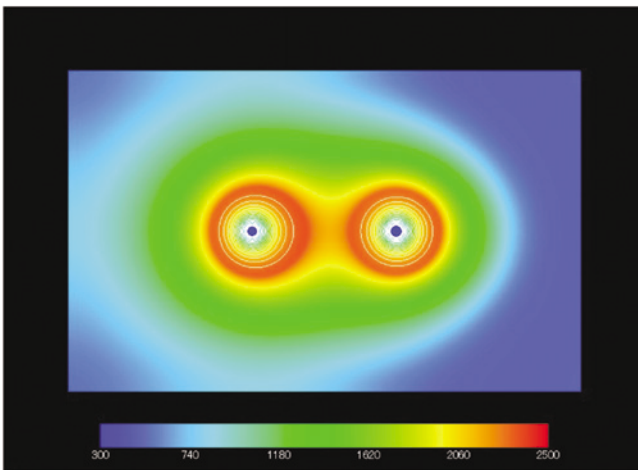
第2液滴着火



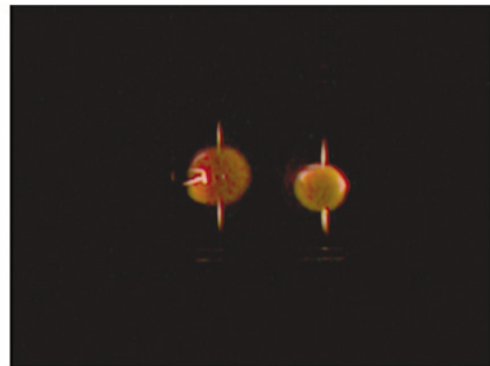
$t = 0.3948 \text{ s}$  (第2液滴着火 0.0147 s 後)



$t = 0.588 \text{ s}$  (第2液滴着火 0.0147 s 後)



$t = 0.5078 \text{ s}$  (第2液滴着火 0.1277 s 後)



$t = 0.70 \text{ s}$  (第2液滴着火 0.1277 s 後)

図 3-17 数値シミュレーション結果と航空機実験結果との比較 (2 / 2)

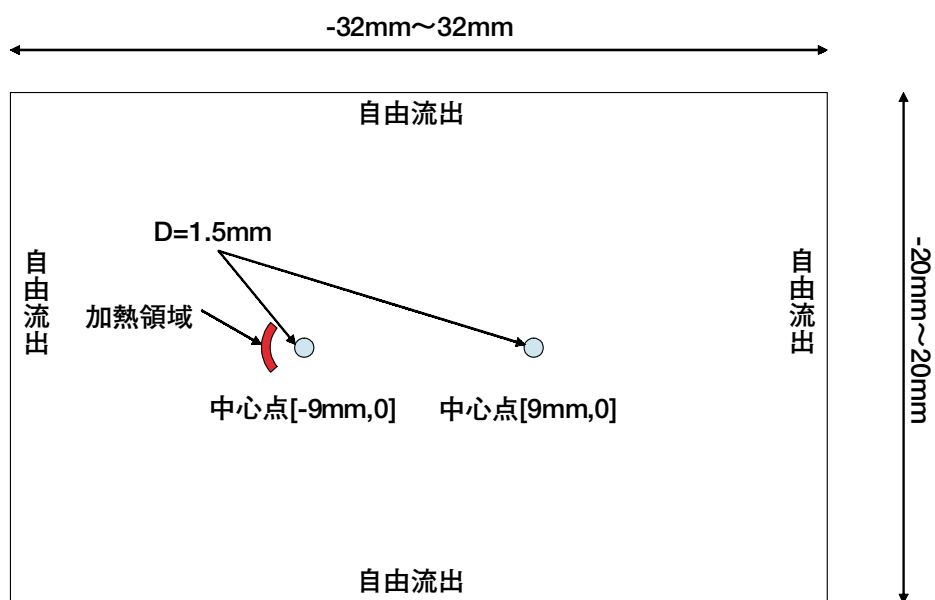


図 3-18 解析モデル

表 3-4 計算条件

項目	内容
計算領域	背景格子：[-32 mm, 32 mm] × [-20 mm, 20 mm] × [-20 mm, 20 mm] 球座標格子：半径 3 mm
液滴配置	液滴個数：2 個 液滴中心位置 第 1 液滴：(-9 mm, 0 mm, 0 mm) 第 2 液滴：(9 mm, 0 mm, 0 mm)
化学種成分	5 成分 (n デカン, 酸素, 二酸化炭素, 水, 窒素)
初期値	・ 雰囲気ガス 流速：静止 温度：500 K, 圧力：101325 Pa 質量分率：O <sub>2</sub> =0.2315, N <sub>2</sub> =0.7685, その他ゼロ ・ 液滴 半径：0.75 mm 温度：300 K
化学反応モデル	総括反応モデル
その他	重力：無重力場 マランゴニ対流：なし 輻射損失計算：なし 加熱領域：着火遅れ時間 3 s

シミュレーション結果では、第1液滴着火0.3801秒後に第2液滴に火炎が伝播した。微小重力下の実験結果では第1液滴着火後に第2液滴に火炎が伝播するまでの時間は0.574秒であるため、シミュレーション結果は実験に比べ火炎伝播速度が速い結果となっている。一方、シミュレーション結果の火炎伝播形態はモード3であり、実験結果と同様の結果を示している。

現在の計算パラメータでは火炎伝播速度が速く、また化学反応が速く進行する。そのため実験結果では第2液滴に伝播する条件の場合でも、シミュレーション結果では第2液滴に伝播する前に第1液滴が燃え尽きてしまい、伝播しない場合がある。このため、現在も計算パラメータの検討を継続中であり、来年度以降も検証を続ける必要がある。その後、本格的な数値解析を進める予定である。

#### 4. まとめ

今年度の研究により、液滴列の予蒸発が火炎伝播に与える影響に関する理解がさらに進んだ。来年度も引き続き数値シミュレーションおよび微小重力実験による検討を行う予定である。また、液滴群燃焼数値シミュレーションプログラムによる本格的な数値解析が早期に可能となるよう、計算パラメータの調整作業を加速させる。

#### References

- [1] A. Umemura, *Trans. Jpn. Soc. Mech. Eng.(in Japanese)*, Vol.68, No. 672B, 2422-2428, (2002).
- [2] M. Kikuchi, Y. Wakashima, S. Yoda, and M. Mikami, *Proc. Combust. Inst.* 30, pp. 2001-2009, (2005).
- [3] M. Mikami, H. Oyagi, N. Kojima, M. Kikuchi, Y. Wakashima, and S. Yoda, *Combust. Flame*, Vol. 141, pp. 241-252, (2005).
- [4] 菊池政雄, 山本信, 依田眞一, 宇宙航空研究開発機構研究開発報告, JAXA-RR-05-026, (2006).



宇宙航空研究開発機構研究開発報告 JAXA-RR-06-038

---

発行 平成 19 年 3 月 30 日

編集・発行 宇宙航空研究開発機構

〒182-8522 東京都調布市深大寺東町7-44-1

URL:<http://www.jaxa.jp/>

印刷・製本 プリントオフィスゼロ

---

本書及び内容についてのお問い合わせは、下記にお願いいたします。

宇宙航空研究開発機構 情報システム部 研究開発情報センター

〒305-8505 茨城県つくば市千現2-1-1

TEL:029-868-2079 FAX:029-868-2956

---

© 2007 宇宙航空研究開発機構

※本書の一部または全部を無断複写、転載、電子媒体に加工すること禁じます。

