

# 燃料液滴および燃料液滴群の自発点火・燃焼特性に関する研究

九州大学 森上 修

宇宙航空研究開発機構 菊池 政雄

九州大学 村瀬 英一

## Spontaneous-Ignition and Combustion Characteristics of a Fuel Droplet and Fuel Droplet Clouds

Osamu Morie<sup>1</sup>, Masao Kikuchi<sup>2</sup> and Eiichi Murase<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kyushu University, Motooka 744, Nishi-ku, Fukuoka 8190395

<sup>2</sup> Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)

Abstract: Spontaneous ignition of an isolated fuel droplet and a droplet pair was experimentally studied as the simplest model of spray ignition. Large droplets with a diameter of 1 mm were employed to realize high spatial and temporal resolutions in observation. Experiments were performed in microgravity so that the results on large droplets may be compared to fine droplets in a spray in a practical use. Ignition delays and temperatures of cool flame were measured, and their dependences on ambient condition and inter-droplet distance were examined.

Key words; Fuel droplet, Ignition, Microgravity, Droplet interaction, Cool flame

### 1. 研究背景と目的

高温雰囲気中の燃料噴霧の蒸発・自発点火・燃焼現象の機構解明のための基礎研究として噴霧の構成要素としての単一燃料液滴を対象とした研究が多く行われてきた。実際の噴霧では液滴は多数存在し、液滴間に相互干渉作用がある。本研究では、まず単一燃料液滴の自発点火について実験的に調査した。次に液滴間の干渉効果を検証するため、二液滴の自発点火について実験的に調査した。噴霧を構成する直径数 $\mu\text{m}$  から数十 $\mu\text{m}$  程度の微小な液滴に対しては自然対流はほとんど影響を与えないが、本研究では観測において十分な空間・時間分解能を確保するため直径 1mm の粗大液滴を用いている。粗大液滴に対する自然対流の影響は無視できないため、微小重力実験によりその影響を排した。自発点火遅れ、火炎温度、蒸発速度が計測された。多くの炭化水素系燃料の自発点火を支配する低温酸化反応に注目し、低温酸化反応によって誘起される冷炎を主に観測した。

### 2. 実験方法

室温状態で懸垂線上に生成された単一液滴もしくは二液滴を所定の高温に保たれた電気炉内に瞬時に挿入し、自発点火させる。液滴の近傍には線径 25 $\mu\text{m}$  の K 型熱電対の温接点が 3 点配置されており、液滴とともに電気炉内に挿入される。熱電対により冷炎の点火遅れ、火炎温度が計測される。また、電気炉に取り付けられた観測窓を通して、背光に照らされた液滴が動画として 30Hz で撮影され、これより液滴径の時間変化が求められる。単一液滴の場合は、水平に保持された直径 125 $\mu\text{m}$  の石英製懸垂線の先端に燃料液滴が生成される。二液滴の場合は、それぞれの液滴について直径 14 $\mu\text{m}$  の SiC ファイバ

を交差させ、その交点上に液滴が生成された。燃料は正デカンであり、液滴直径は 1mm である。過去の研究より、多くの炭化水素系燃料については、実際の燃焼器内のような高温高圧の条件では低温酸化反応により誘起された冷炎が発生したのち高温酸化反応により誘起された熱炎が発生するという二段点火が生じることが分かっている。このため、自発点火については冷炎の挙動が重要である。大気圧下では冷炎の発生する雰囲気温度領域と熱炎の発生する雰囲気温度領域が異なることが分かっている。本研究では冷炎の挙動にのみ注目するため、大気圧下で冷炎のみが発生する雰囲気温度領域にて実験が行われた。微小重力場を得る施設として日本無重量総合研究所の無重量研究センターが使用された。

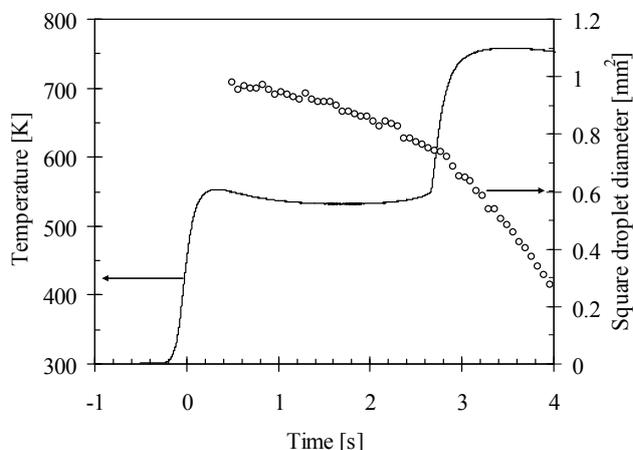


Fig.1 Histories of temperature 2 mm over the droplet center and square of droplet diameter (air temperature: 600 K)

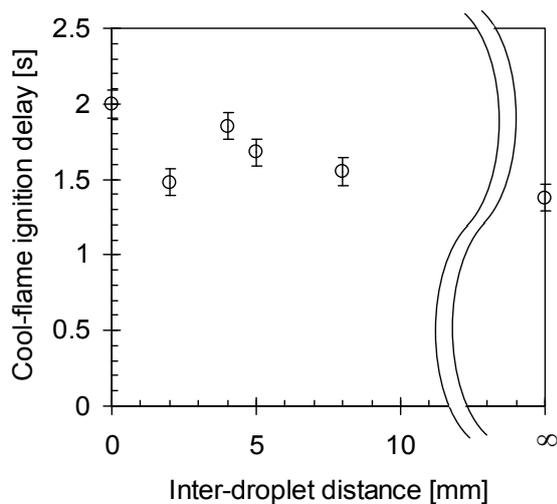


Fig.2 Relation between cool-flame ignition delay and inter-droplet distance (air temperature: 600 K)

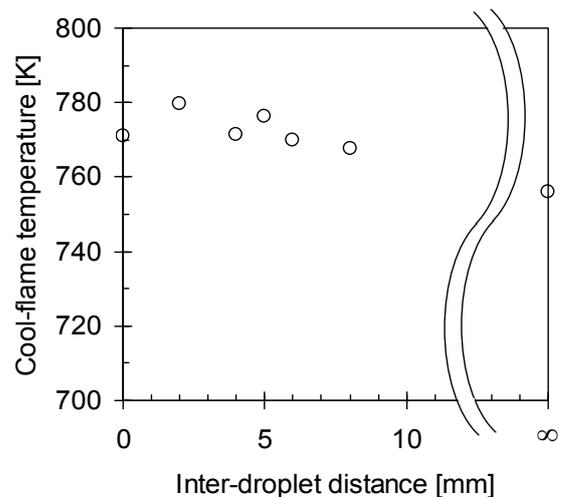


Fig.3 Relation between cool-flame temperature and inter-droplet distance (air temperature: 600 K)

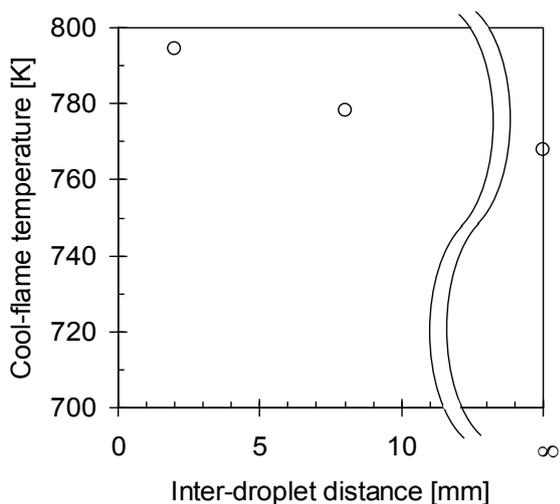


Fig.4 Relation between cool-flame temperature and inter-droplet distance (air temperature: 720 K)

### 3. 実験結果

図1に600Kの空気に正デカン単一液滴を挿入した際の液滴中心より2mmの位置の温度と液滴径の二乗の履歴を示す。時間0は液滴が移動を終了した瞬間であり、時間2.7sほどで冷炎の発生が検出されている。時間0から冷炎による熱発生が観測されるまでの時間を冷炎の点火遅れと定義し、観測される最高温度を冷炎温度と定義した。なお、以降全ての条件について最高温度は液滴に最も近い温接点(液滴中心より2mmの位置)において得られた。液滴径の二乗の履歴をみると、冷炎の発生を境に蒸発速度が大きくなっていることが分かる。二段点火が起こるような雰囲気条件においては、冷炎の発生

は反応域の温度を上げることにより高温酸化反応を活発にするだけでなく、蒸発を活発にすることによっても熱炎の発生を促進させると思われる。

図2に二液滴の場合について、雰囲気温度600Kにおける液滴間隔と冷炎の点火遅れの関係を示す。液滴間隔とは両液滴の中心の間隔であり、液滴間隔「0」は二液滴分の体積の単一液滴、「∞」は一液滴分の体積の単一液滴を指す。液滴間隔2mmにおいて極小値が得られているが、その原因は不明である。その他については液滴間隔が小さくなるほど冷炎の点火遅れが大きくなる傾向がみられ、両液滴の相互冷却効果により液滴の加熱期間が長くなったためではないかと思われる。

図3と図4にそれぞれ雰囲気温度600Kと720Kにおける液滴間隔と冷炎温度の関係を示す。予混合気についての数値計算より、燃料濃度が高いほど冷炎温度は高くなることが確認されているが、各液滴周囲の燃料蒸気層の干渉により、両雰囲気温度において液滴間隔が小さいほど高い燃料濃度が得られ、冷炎温度が高くなったのではないかと推測される。

### 4. まとめ

単一燃料液滴および二液滴の高温空気中における自発点火が実験的に調査された。冷炎の発生による蒸発の促進が確認された。二液滴の液滴間隔を変ずることにより、冷炎の点火遅れならびに冷炎温度への影響が確認された。

本研究は平成20年度宇宙環境利用科学委員会「液滴群燃焼ダイナミクス研究班ワーキンググループ」の研究の一環として行われた。