

# 燃料蒸気形成に要する時間が冷炎燃え広がり速度に及ぼす影響

日大生産工(院) ○藤枝 佑毅 日大生産工(院) 齋藤 郁  
日大生産工 菅沼 祐介 日大生産工 野村 浩司

## 1. 緒言

内燃機関には、炭化水素系燃料が多く用いられている。この燃料は高温、高圧環境で、低温酸化反応である冷炎に続いて高温酸化反応である熱炎が発生する二段階燃焼が起こる場合がある。この冷炎反応は、後に発生する熱炎に影響を及ぼすことが分かっている。そのため、冷炎の燃焼特性を明らかにすることは、燃焼現象の詳細を把握するために重要である。

田辺らの研究<sup>1)</sup>により燃料液滴を用いた実験において冷炎の発生が確認された。そこで本研究では、冷炎の燃え広がり現象に着目し、冷炎の燃焼特性を明らかにするため燃料液滴列を用いた。過去に行われた研究<sup>2)</sup>において、任意の雰囲気温度下に燃料液滴を挿入し、液滴を強制点火することで冷炎の燃え広がりを発生させる装置を用いた実験が行われた。この実験より、燃料蒸気形成の時間が冷炎燃え広がり速度に影響を及ぼしていることが確認された。そこで本研究では、燃料蒸気の形成に要する時間が冷炎燃え広がり速度に及ぼす影響を調べるため、過去の実験条件に加えて新たに条件を追加し実験を行った。

## 2. 実験装置及び方法

本研究で使用している実験装置を Fig.1 に示す。実験装置は、点火装置、燃焼容器、液滴列支持装置、液滴生成装置、液滴列移動装置、温度制御装置、光学系、無線 LAN インターフェース、電源系統から構成されている。本研究では、燃料液滴列を強制点火させるため、熱線流速計の原理を応用した点火回路を使用した。点火装置は、直径 0.10 mm のニッケル線を用いた点火線と自動出力調整が可能な点火回路から構成されている。点火回路は、ホイトストンブリッジ、差動増幅器、トランジスタ、その他の構成部品により構成されている。この回路は、温度調節機能を有しており、冷炎の強制点火と発生した冷炎の維持を行うことが可能になっている。液滴列支持装置は、直径 1.0, 1.6 mm の SUS 管により構成され交点は銀ロウ付けし

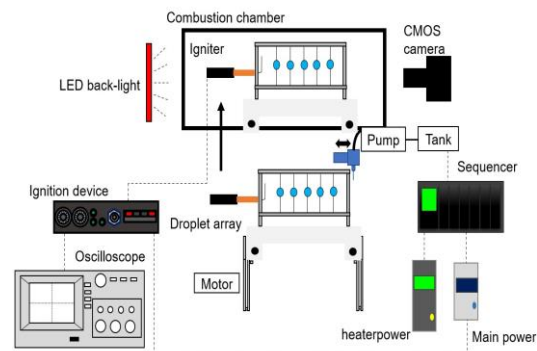


Fig.1 Experimental apparatus.

固定している。支持枠の固定用のプレートには熱伝導率の小さいマシナブルセラミックスを使用している。

冷炎の燃え広がり実験は、燃焼容器内の雰囲気温度を 473, 498, 523 K の 3 条件とし行った。液滴を 5 つ液滴支持装置に懸垂させ、点火線が第 1 液滴を取り囲むように設置した。支持枠が燃焼容器内の測定位置に上昇しきった時刻から 1.2, 2.7 及び 3.4 秒後に点火装置を作動させることにより燃料蒸気形成の時間を調節した。熱線温度は約 1015 K とした。燃料には、他研究者の実験結果と比較ができるよう正デカンを使用した。点火源となる第 1 液滴は初期液滴直径  $d_0$  を 1.0 mm, 第 2 ~ 5 液滴の初期液滴直径  $d_0$  は 0.75 mm とし、点火線と第 1 液滴の間隔を 1 mm, 液滴間隔は 2 mm とした。実験は 5 回ずつ行い、点火装置の電流波形をオシロスコープにより記録した。液滴生成部における液滴蒸発の条件に違いが生じるのを防ぐため、雰囲気温度は、20 ~ 25 °C とした。液滴直径の計測には、液滴の背後からバックライトを当てるバックリット法を用い、液滴の輪郭を CMOS カメラで撮影した。撮影した液滴の画像から、自作のプログラムを用いて液滴直径を解析した。その後、燃料蒸気形成に要する時間が燃料液滴列の冷炎燃え広がり速度に及ぼす影響について調べた。

## 3. 実験結果及び考察

燃焼容器内の雰囲気温度 473, 498, 523 K に於いて点火作動待ち時間  $t_{igw}$  を 1.2, 2.7 及び 3.4 秒として実験を行った。Fig.2 に点火作動待ち

時間 1.2 秒における各雰囲気温度での液滴直径履歴を示す。雰囲気温度 473 K の第 2 液滴の履歴から、約 2.2 秒において傾きが大きく変化していることが分かる。過去の研究<sup>2)</sup>においても、2.2 秒で傾きが大きく変化し冷炎点火しているため同様に約 2.2 秒で冷炎点火したと考えられる。全ての点火作動待ち時間において雰囲気温度 473 K の場合、第 3 液滴以降に明確な直径履歴の変化が表れていない。このことから、第 2 液滴まで冷炎燃え広がりが発生したと考えられる。同じく雰囲気温度 498 K ではいずれの作動待ち時間でも第 3 液滴まで冷炎燃え広がりの発生が確認できた。また、523 K ではいずれの作動待ち時間でも第 4 液滴または第 5 液滴まで冷炎燃え広がりが発生していると考えられる。雰囲気温度 473 K、498 K においていずれの作動待ち時間においても第 5 液滴には傾きに大きな変化が見られなかった。これは、雰囲気温度が低い条件では、十分な燃料蒸気が発生せず燃え広がらなかったためと考えられる。そこで第 5 液滴は除外し、点火源である第 1 液滴も除いた 2 液滴から第 4 液滴までの結果を用いて燃え広がり速度の算出を行った。点火作動待ち時間 3.4 秒の場合は、523 K において第 5 液滴の傾きに変化がみられたため、第 5 液滴も含めて計算した。

Fig3 は、点火作動待ち時間が平均冷炎燃え広がり速度に及ぼす影響についてのグラフである。平均冷炎燃え広がり速度は、第 4、5 液滴まで燃え広がりが発生していない条件が存在するため、第 2 液滴から第 4、5 液滴及び第 2 液滴から第 3 液滴の点火時刻から最小 2 乗法により傾きを求めた。次に、各雰囲気温度で 5 回実験を行ったうちの 3 回の冷炎燃え広がり速度を平均し求めた。新たに追加した点火作動待ち時間の増大に伴い、平均冷炎燃え広がり速度は増大した。このことから、燃料蒸気形成に要する時間の増大が、燃え広がり速度の増大に影響を及ぼしていることが明らかとなった。

#### 4. 結言

燃料蒸気の形成に要する時間が冷炎燃え広がり速度に及ぼす影響を調べるため、過去の実験条件に加えて新たに条件を追加し実験を行った。得られた知見を以下に示す。

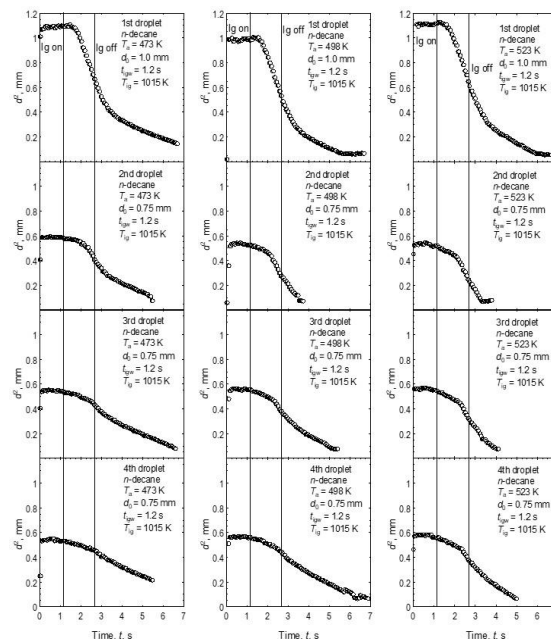


Fig.2 Droplet diameter history at various ambient temperatures ( $t_{\text{igw}}=1.2$  s).

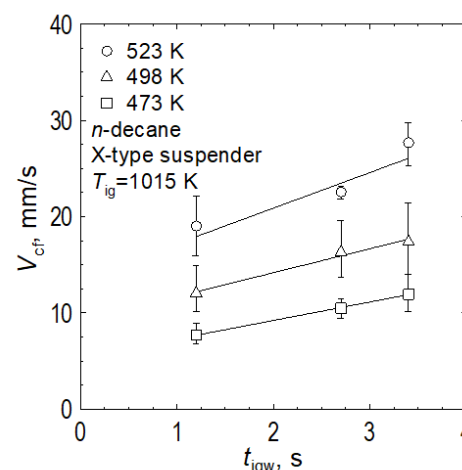


Fig.3 Effect of ignition waiting time on the cool flame spread speed.

- (1) 冷炎燃え広がり現象の観察を行い、過去の実験データとの比較を行った。
- (2) 点火作動待ち時間の上昇に伴い、燃料蒸気の形成が促進され冷炎燃え広がり速度が増加することが確認された。

#### 参考文献

- 1) 田辺 光昭, 青木 清, 微小重力場を用いた燃料液滴の自発点火特性の評価, 日本マイクロ重力ビティ応用学会誌vol.14, No.1, (1997) pp10-16
- 2) 新海祥吾, 燃料液滴列の冷炎燃え広がりに及ぼす雰囲気温度の影響, 令和 3 年度修士論文