

# 通常重力環境における燃料液滴列に沿った冷炎燃え広がり実験

日大生産工(院) ○木暮 優成

日大生産工 菅沼 祐介 日大生産工 野村 浩司

## 1. 緒言

近年, カーボンニュートラルと言う言葉を耳にする機会が増えている. これは温室効果ガスの排出量を実質ゼロにすることであり, 日本では 2050 年を目安にカーボンニュートラルの実現を宣言した. また, SDGs, 持続可能な開発目標を達成することが挙げられている<sup>1)</sup>. 環境負荷の低い化石燃料技術の研究開発及びその技術へのアクセスを円滑に行えるようにする国際的な取り組みや気候変動の緩和, 対策, 影響の軽減を考慮した技術開発やものづくりを目指す. これを達成するためにはより効率が良く, 環境に配慮された内燃機関が必要となる. ディーゼル機関やガスタービンエンジンには, 噴霧燃焼が採用されている. 噴霧燃焼とは, 液体燃料をインジェクターから霧状に噴射することで空気との接触面を増やし燃焼を促進させる燃焼方式である. 内燃機関に使用される炭化水素系燃料では, 運転条項によって冷炎から熱炎へと二段階燃焼が発生する場合がある. この熱炎の発生には冷炎が大きく関わっていると考えられるが, 噴霧燃焼には, 微粒化, 拡散, 蒸発, 点火, 火炎の形成, 熱伝達といった複数の現象が同時多発的に進行しており燃焼機構を詳細に把握することが難しく未だ完全には解明されていない. そこで, 内燃機関に多く用いられている噴霧燃焼において燃焼メカニズムを解明するために熱炎に影響を与えている冷炎現象に着目した.

田辺らは, 単一燃料液滴を用いた自発点火実験において液滴周囲に冷炎が発生することを明らかにした<sup>2)</sup>. 以降, 単一もしくは複数液滴の冷炎研究は多く行われており, 自発点火の特性について明らかになっている. 一方, 噴霧火炎基部で起こる液滴間の火炎燃え広がり挙動について, 熱炎に関する成果は数多くあるものの, 冷炎の燃え広がりについての知見は未だ無い. そこで本研究では, 冷炎の燃え広がり現象に着目し, 燃料液滴列を用いた強制点火による燃え広がり実験を行ってきた<sup>3)</sup>. 先行研究では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開

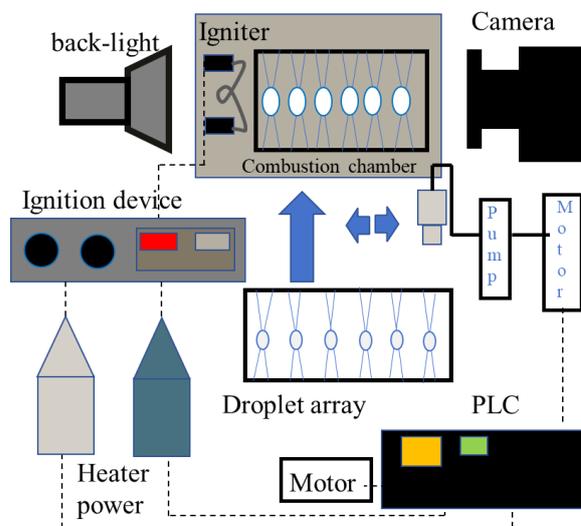


Fig.1 Experimental apparatus.

始させた. 冷炎は中間生成物であるホルムアルデヒドの自発光を高感度の近紫外カメラにより撮影することで観察した. 実験は自然対流を抑制することが可能な微小重力環境で実施することが望ましいが, 近紫外カメラの設置制約の都合で通常重力環境で行われた. 燃料蒸気が重力の影響を受け液滴下部へと流れてしまうことが確認され, 水平方向に配置した液滴列を燃え広がる冷炎は軸対称の現象では無く, 燃え広がり挙動の把握が困難であった. そこで, 液滴列を垂直に配置し重力方向と一致させることで, 燃焼現象が軸対称になるよう変更し, 下方火炎燃え広がり実験を行う. 本報では, 下方火炎燃え広がり実験に向けて, 実験準備状況を報告する.

## 2. 実験装置

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, ホイートストンブリッジ, 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, ステンレス製のフレームとSiCファイバから構成される. SiCファイバは直径 $14\ \mu\text{m}$ であり, 治具を用いてX字型に張り, その交点に液滴保持用のガラスビーズを設けている. X字型のファイバを複数等間隔に設置することで燃料液滴を空間上に一列に固定する. 液滴直径は $0.75\sim 1.0\ \text{mm}$ であり, 液滴間隔は $2\sim 8\ \text{mm}$ である. 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する. 液滴列支持装置に点火装置を固定し, 液滴列移動装置により燃焼容器内に素早く移動させ, 移動完了後に液滴を点火させて燃え広がりを開始させる. 実験は, 燃焼容器内の雰囲気温度を $523\ \text{K}$ として実験を行い, 点火線の表面温度は約 $1015\ \text{K}$ とする. 実験は複数回行い, 点火装置の電流波形をオシロスコープにより記録する. 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,  $20\sim 25^\circ\text{C}$ とする. 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カメラで撮影する. 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の解析を行う. 冷炎燃焼時は反応生成物としてホルムアルデヒドが発生する. この自発光を高感度近紫外カメラを用いて観察することで, 冷炎の二次元分布を取得する.

### 3. 実験装置準備状況

液滴列支持装置については, 旧支持枠からFig2の新支持枠に改良を行う. 旧支持枠とFig2の新支持枠の違いとしては, 交点の接続部分である. 旧支持枠は, 銀ロウ付けによる接着で接合しているのに対し, Fig2の新支持枠は銀ロウ付けを行わず, 両側面の銀色の部品に穴が開いており, その穴に黄色のステンレス管を通すことによって接合が行われる仕組みとなっている.

液滴列支持装置に関する治具について, 従来の治具の場合, 支持枠にSiCファイバを張る際に, 高い精度を出すことができず, 実験の進捗や精度の影響による実験結果の妥当性を考慮することが多くなっていた. そこで, Fig.3のような液滴列支持装置に関する治具の改良を行った. 従来の治具は, 直立する支持枠に対しSiCファイバをX字型に張っていた. これに対

し, Fig3の治具では, SiCファイバを直線状に

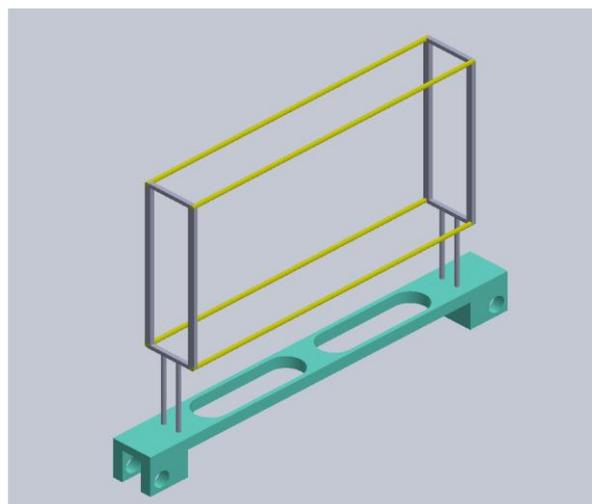


Fig.2 New support frame

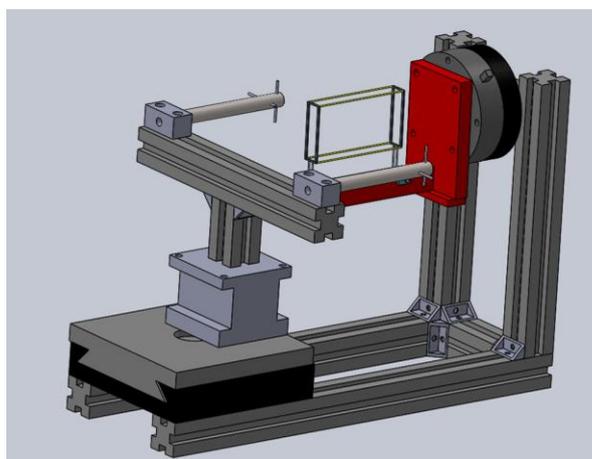


Fig.3 Jig for support frame

配置し, 支持枠を回転させることでX字型にファイバを張る. これにより, 従来の支持枠と比較して, 大きく精度が向上すると考えられる.

これらの装置, 治具を改良することによって実験の効率化と実験精度の向上に繋がると考えられる.

#### 参考文献

- 1) 外務省, 持続可能な開発目標 SDGs とは
- 2) M. Tanabe, M. Kono, J. Sato, J. Koenig, C. Eigenbrod and H. J. Rath, Symposium (International) on Combustion/The Combustion Institute, 25 (1994)pp.455-461.
- 3) 藤枝佑毅, 微小・通常重力場における燃料液滴列の冷炎燃え広がり, 令和5年度修士論文