

冷炎燃え広がり現象観察のための点火装置の開発

日大生産工(院) ○新海 祥悟 日大生産工 野村 浩司

日大生産工 菅沼 祐介 日大生産工(院) 齋藤 郁

1. 緒言

噴霧燃焼はディーゼル機関やジェットエンジンなどの内燃機関に広く採用されている燃焼方式である。しかしながら、その燃焼メカニズムは非常に複雑であり、いまだに完全には解明されていない。炭化水素燃料では冷炎と呼ばれる低温酸化反応が存在し、この冷炎が後の熱炎における熱発生などに影響を及ぼすことが明らかになっている。冷炎の発生条件や燃焼挙動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。これまで、冷炎をターゲットとした燃料液滴の自発点火実験は数多く実施されているが、冷炎の燃え広がり挙動については調べられていない。燃え広がり速度が熱炎の燃え広がり速度と同程度であれば、逆火や保炎に冷炎の燃え広がり大きな影響を及ぼしていることになるため、工学的に重要な知見となる。

本研究では、冷炎の燃え広がり挙動を明らかにするため、冷炎の自発点火限界以下の雰囲気条件において液滴列の燃焼実験を行う。液滴を熱面点火方式で点火させるが、点火装置の出力を制御しない場合、液滴は冷炎ではなく熱炎を発生させてしまう。そこで本研究では、雰囲気温度に合わせて点火線の温度を制御可能な新たな点火装置の開発を行った。本報では点火装置の詳細と初期検証結果について述べる。

2. 実験装置及び方法

点火装置は、点火部と回路部および電源から構成されている。点火部は電熱線と胴部から構成されている。電熱線には直径 0.10 mm のニッケル線を使用し、液滴を均等に加熱することを目的として螺旋型とした。ニッケル線は冷間抵抗値 0.4 Ω となるように長さを調整した。胴部は直径 1.0 mm、長さ 150 mm の銅の単芯線を使用した。昨年まで同部は電気抵抗の小さいシース型の T 種熱電対を使用していたが、実験装置への搭載性や剛性を考慮して銅の単芯線に変更を行った。ニッケル線と銅線はハンダによって固定した。点火回路は昨年度に和賀らが開発した装置を用いた 1)。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、その他構成部品により構成されている。作動原理は、ブリッジ内の可変抵抗の値を変化させ、あらかじめ調べておいた、熱線が目標温度となるとき電気抵抗の値をねらって、ブリッジの抵抗値の比を変化させる。次に電流を流し、点火用電熱線を加熱する。ホイートストンブリッジからの不平衡電圧が差動増幅器へ入力される。さらにトランジスタによって電流が増幅され、加熱に必要な電流を生み出す。ブリッジからの不平衡電圧を、差動増幅器によって 0 V にするようなフィードバック回路になっており、熱線を瞬時に赤熱させ、これを一定温度に保つことができる。

冷炎の燃え広がり実験を行うために設計した新たな滴列支持装置を図 1 に示す。液滴支持棒は 1.6 mm の SUS 管 8 本と 1.0 mm の SUS 管 4 本で構成し SUS 管の交点を銀ロウ付けする。液滴支持棒固定プレートには液滴支持装置が燃焼容器内に挿入された際に、燃焼容器内の温度低下を避けるため、熱伝導率の小さいセラミックスを使用した。

点火用電熱線に流れる電流に対する温度の変化を調

べるため、本試験を行った。装置の概略を図 2 に示す。電流を直接測定するのは困難なため、装置製作段階でホイートストンブリッジ内の 1 Ω に並列に測定用端子を設けた。ここにオシロスコープのプロープを接続して電圧を測定し、抵抗値の 1 Ω を乗じることによって電流を測定することができる。つまり、電圧と電流の値が同じ値となる。加えて、点火用電熱線に自作の極細熱電対を設置し、定電圧装置を用いて直流 24 V を点火装置に印可した。その後ブリッジ内の可変抵抗の値を 1 から 7 kΩ まで、0.2 kΩ ごとに変化させて、温度と電流を記録した。実験結果への影響を抑えるために、雰囲気温度は 20~25 °C に設置した。

点火用電熱線の抵抗値の変化を調べるため本試験を行った。直流分極測定とは、作用電極-カウンター電極間に電圧を印加し、作用電極-参照電極間の電位を設定したい値にコントロールする、もしくは作用電極-カウンター電極間の電流を制御し、作用電極-参照電極間の電位を計測することで生じる反応を電氣的に検出する手法である。装置の概略を図 3 に示す。点火用電熱線のハンダ部分にポテンショ・ガルバノスタット電圧端子、点火用電熱線の端子部分にポテンショ・ガルバノスタット電流端子を接続し、0 から 1.4 A までを 10 秒間で掃引した。実験結果への影響を抑えるために、雰囲気温度は 20~25 °C に設置した。

冷炎の観測のために点火装置の動作確認試験を行った。液滴列支持装置に 1 つの液滴を懸垂し、液滴が熱線の螺旋部中心に位置するように置いた。その後、あらかじめ設定しておいた温度で点火装置を作動させ、このときの電圧をオシロスコープで記録した。

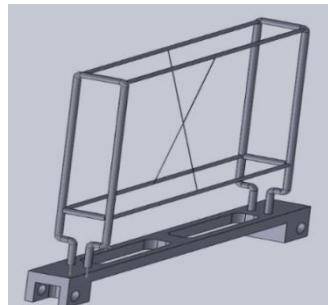


Fig. 1 Droplet suspension system.

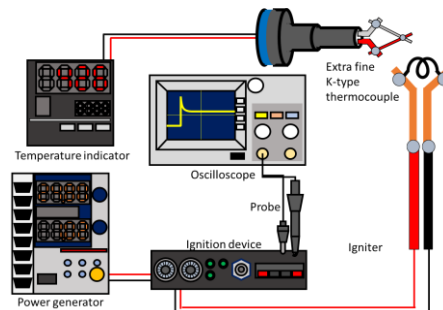


Fig. 2 Temperature and current experiment.

Development of ignition device for observing the behavior of cold flames

Shogo SHINKAI, Hiroshi NOMURA, Yusuke SUGAMUMA, Iku SAITO

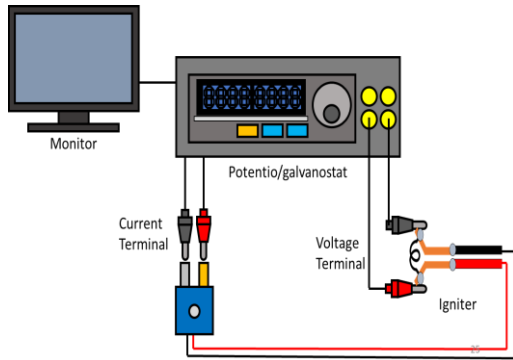


Fig. 3 DC polarization experiment.

3. 実験結果および考察

3.1 温度・電流測定

試験結果を図4に示す。図より、電流が0から0.9 Aまで曲線的に温度が上昇し、そこから先は一次関数的に上昇していることがわかる。冷炎点火で使用する温度域は400 °C前後のため、この線形部分のみを使用して、電流を温度に容易に変換することができる。

3.2 直流分極測定

試験結果を図5に示す。図より、電流が0から0.9 Aまでは曲線的に温度が上昇し、そこから先は一次関数的に上昇していることがわかる。よって、線形域では抵抗値の上昇量は一定だとわかる。また、短時間の使用であれば実験回数を重ねた場合であってもグラフの線形域の傾きはほぼ変化しない。

3.3 炎観測実験

冷炎時のオシロスコープの波形を図6の(a)に示す。また比較用に、液滴がない状態で点火した時の波形を図6の(b)に示す。図6(a)より、 $t = 0$ sで室温の熱線を加熱するため一時的に電流値が急激に上昇し、すぐに下がっていることがわかる。 $t = 0.1 \sim 1.5$ sで電流値に緩やかな谷が見られた。これは、熱線が加熱され、回路中の作動増幅器が初期設定値に戻そうと、出力を下げたことを示している。また、このとき目視で熱炎を確認できなかった。よって冷炎が発生していると考えられる。また図4と比較し、温度は700 °Cだとわかった。

4. 結言

以下に得られた知見を示す。

- 1) 冷炎点火を目的とした、新たな点火装置を完成させた。
- 2) 冷炎の燃え広がり実験を行うための液滴支持装置を設計した。
- 3) 点火用電熱線に流れる電流に対する温度の変化がわかった。
- 4) 点火用電熱線の抵抗値の変化がわかった。
- 5) 室温での強制点火による冷炎点火発生を確認した。

参考文献

- 1) 和賀正太, 小林瑞季, 成瀬翔, 燃料液滴列燃え広がり速度に及ぼす圧力の影響調査と冷炎燃え広がり現象観察のための点火装置の開発, 日本大学大学生産工学部機械工学科卒業論文, (2020)

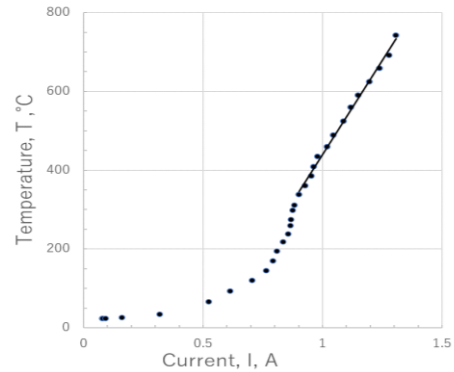


Fig. 4 Temperature and current experiment results.

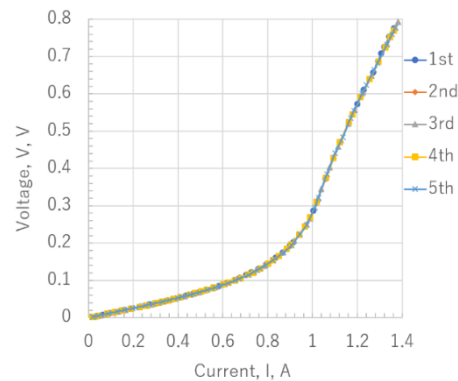
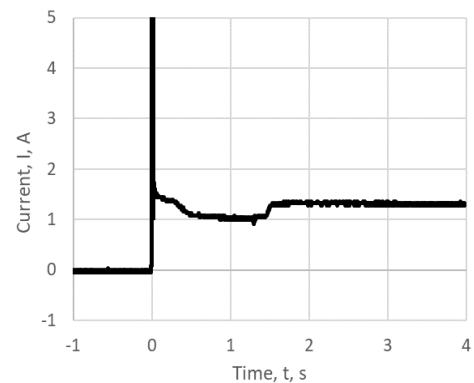
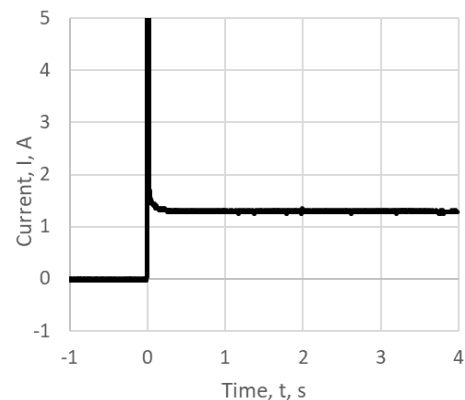


Fig. 5 DC polarization experiment results.



(a)



(b)

Fig. 6 Signal waveform during cold flame.