

# TFP 法を用いた燃料液滴列火炎燃え広がりにおける 火炎温度の推定

日大生産工(院) ○藤田 航輝

日大生産工 菅沼 祐介 日大生産工 野村 浩司

## 1. 緒言

近年、地球温暖化の影響は顕著であり、この問題に起因する様々な問題が発生している。各国では地球温暖化の主要な原因である温室効果ガス、特に二酸化炭素の排出量を削減するため、様々な政策が実施されている。日本政府も2020年10月に「2050年カーボンニュートラル宣言」を提唱した。カーボンニュートラルとは、特定の活動やプロセスにおいて排出される二酸化炭素などの温室効果ガスの排出量を削減し、排出量から吸収量を差し引いてゼロにすることである。日本政府はこのカーボンニュートラルを2050年までに達成することを目指している。また、近年では排気ガスを排出しない環境に配慮した車としてEVの開発が行われている。しかしながら、EVには複数の課題がある。EVで使用される電気を得るための発電方法について、日本では二酸化炭素を発生させる火力発電が70%以上を占めているため、EV化が必ずしもカーボンニュートラルに寄与するわけではない。さらに、充電時間やバッテリーの劣化といった性能面での問題もあるため、現時点では既存の内燃機関にすぐにとって代わることは難しい。一方、カーボンニュートラル燃料を使用することで既存の内燃機関やインフラを有効活用しつつ、カーボンニュートラルの実現を図ることが可能である。そのためには、内燃機関のさらなる高効率化が求められる。したがって、内燃機関はこれからも重要であると考えた。本研究では、ディーゼルエンジンやジェットエンジンに使用される噴霧燃焼に着目し、研究を行う。噴霧燃焼は、液滴の微粒化、熱伝達、蒸発、拡散、点火、火炎伝播といった複数の現象が同時多発的に進行する複雑な現象であるため、そのメカニズムは完全には解明されていない。そこで、噴霧燃焼をモデル化した液滴列を対象とした燃焼実験を行う。実機の燃焼器の内部では、数 $\mu\text{m}$ から数十 $\mu\text{m}$ の液滴が燃焼している。一方、実験では現象観察における時間的・空間的分解能を上げるため、1 mm程度

の液滴の燃焼実験を行ってきた。実機と実験のスケールの差異は初期液滴直径で無次元化することで相似則が成り立ち、実験結果から実機での現象を推定できるとされてきた。しかしながら、先行研究において液滴列に沿った火炎燃え広がり相似則が成立しないことが明らかとなった。燃え広がる火炎の直径で整理することなどが試みられているが、いまだ実験結果から小さなスケールを推定するには至っていない。そこで、火炎の温度に着目することで新たに相似則を整理できないかと考えた。実験装置の制約の都合上、温度計測システムを導入することが難しく、時々刻々と変化する火炎温度を測定することが困難であった。そこで、TFP (Thin Filament Pyrometry) 法を用いて火炎温度を測定する手法を採用した。TFP法とは、細いフィラメントを高温のガス中に設置し、その発光輝度を光学的に測定することによって温度を求める手法である。本報では、この手法を適用するために専用の実験装置を新たに製作し、得られた輝度値と温度の関係を整理して近似式を導出する校正実験の結果を報告する。

## 2. 実験装置及び実験方法

燃料液滴列の燃焼実験では、SiCファイバ上に付着させ、燃焼の様子を高速度カメラで撮影する。そこで、光学系は液滴列燃焼実験と同一とし、TFP法の構成実験用にSiCファイバと加熱装置を用意した。SiCファイバ加熱部の詳細をFig.1に、実験装置の外殻部をFig.2に示す。この実験装置は熱電対、SiCファイバ（線径14  $\mu\text{m}$ ）、バーナー、ミラー、および高速度カメラで構成されている。バーナーはラボジャッキにより高さを調節できる構造とした。SiCファイバの片側には重りを取り付けて吊り下げることで、火炎の影響によるたわみが生じないようにした。加熱部は外部からの風を抑制するため、アルミニウム製の支持構造と薄膜で覆った。実験方法は、バーナーで下部からSiCファイバを加熱し、熱電対で温度を測定する。同時に、

Estimation of Flame Temperature in the Flame Propagation of Fuel  
Droplet Arrays Using the TFP Method

Koki FUJITA, Yusuke SUGANUMA and Hiroshi NOMURA

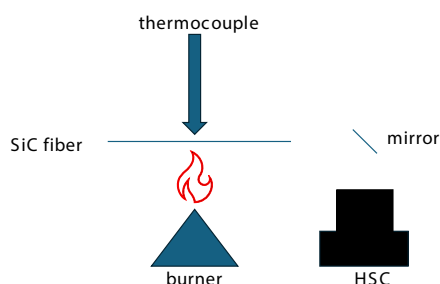


Fig.1 Schematic diagram of the experimental apparatus



Fig.2 Experimental device outer shell

SiCファイバが赤熱している様子をミラーを介して高速度カメラで撮影する。高速度カメラで撮影した画像は画像解析ソフトImageJに取り込み、輝度を取得した。SiCファイバの輝度は熱電対中央下部から取得した。バーナーの位置を変え実験を行い、温度と輝度の関係のデータを取得した。近似式の作成にあたっては、黒体放射からのエネルギーは温度の4乗に比例するステファン・ボルツマンの法則を参考とした。得られたデータを最小二乗法で近似を行い、この実験系における放射率を導出した。実験は大気圧、室温で行った。

### 3. 実験結果および考察

実験の様子をFig.3に、実験結果をFig.4に示す。Fig.3において赤熱化しているのがSiCファイバで僅かに発光しているのが熱電対である。本実験は約700～1000 Kの温度範囲で実施した。輝度は0から255の256段階で表される。ステファン・ボルツマンの法則により、発光輝度と温度の関係は以下の式で示される。

$$I = \varepsilon \sigma T^4 \quad (1)$$

ここで、 $I$ は輝度、 $\varepsilon$ は放射率と実験の光学系に依存する係数の和、 $T$ が温度である。 $I$ と $T$ に実

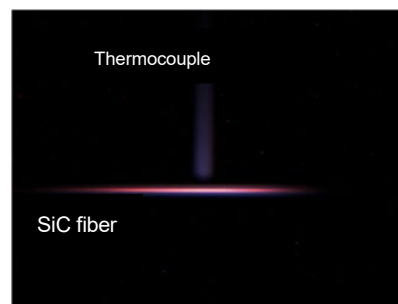


Fig.3 SiC fiber light emission

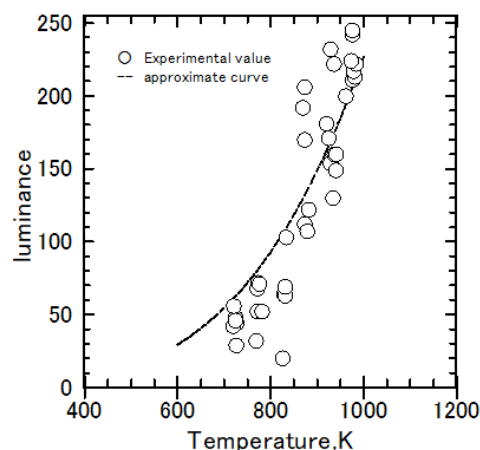


Fig.4 Relationship between luminance and temperature

測値であり、Fig.4に示した通りであり、 $\sigma$ はステファン・ボルツマン定数 $5.67 \times 10^{-8}$ である。最小二乗法により、 $\varepsilon$ を求めた結果 $4.00 \times 10^{-3}$ の数値が得られた。

### 4. 結言

今回の実験において輝度と温度について近似式を求めることができた。今後は、燃焼実験の画像データから火炎温度を推定し、相似則が火炎の温度で整理できるかどうか試みる。

### 参考文献

- 1) B. Ma, G. Wang, G. Magnotti, R. S. Barlow and M. B. Long, Intensity-ratio and color-ratio thin-filament pyrometry: Uncertainties and accuracy., Combustion and Flame, Vol. 161, No. 4, (2014), pp. 908-916.
- 2) 高橋 智, 正デカン燃料液滴列の火炎燃え広がりモードに及ぼす初期液滴直径の影響, 日本大学大学院生産工学部研究科 2025 年度修士論文.