

## 光ピンセットを用いた燃料液滴の懸垂と液滴径計測の実験

日大生産工(院) ○山崎 卓人 日大生産工 今村 宰  
日大生産工 山崎 博司

### 1 まえがき

実用熱機関であるディーゼルエンジンやジェットエンジン、火力発電所などでは噴霧燃焼が用いられている。噴霧燃焼とは、液体燃料を霧状にしてから燃やす方法である。噴霧燃焼では、点火や火炎の形成の解明は完全には出来ていない。その原因の一つは、噴霧は数  $\mu\text{m}$  から数十  $\mu\text{m}$  の燃料液滴群となるため、光の分散、相変化や気液混合などの現象が起こり、これを解明することが困難な点である。そのため、簡易的に単一液滴のみを調べる方法が求められてきている。その方法の一つに、懸垂線を用いた単一液滴燃焼がある。しかしながら、単一液滴燃焼は噴霧燃焼よりも現象の解明などに関して問題点がある。この方法では懸垂線が用いられているため、液滴と懸垂線が接触状態にあり、液滴に及ぶ現象などの結果に影響が出ることがある。具体的な影響として、懸垂線からの熱流入がある。そのため、非接触で液滴の現象の解明が出来る光ピンセット技術を用いて液滴を単一燃焼させる方法が有用な研究手段になると考えた。

Fig.1 は光ピンセットの模式図である。YAG Laser から a と b の光がレンズを通り、液滴に入射してから屈折していく光の様子が表されている。屈折による運動量保存則から、a からは  $F_a$ 、b からは  $F_b$  という力が働き、これら 2 つの力から  $F$  という力が発生し液滴を懸垂することが出来る。今回の研究では、水、エタノールまたオレイン酸メチルエステルを懸垂し、蒸発や燃焼させることで噴霧燃焼の現象解明をしていく

ことを研究の目的とする。

本報告では、非接触の液滴懸垂に有用とされる光ピンセットを用いて、水、エタノール、オレイン酸メチルエステルの懸垂および粒径測定の結果について報告する。

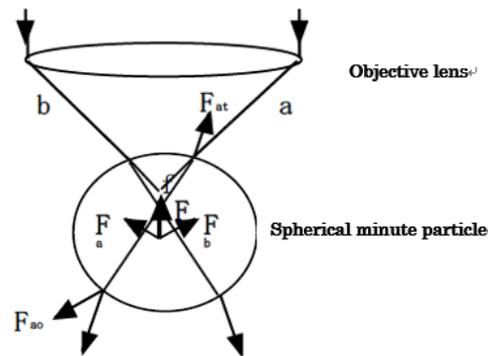


Fig.1 Pattern diagram of Optical Tweezers

### 2 実験方法および測定方法

Fig.2 は実験装置の概要である。この実験方法は単一对物レンズ方式と呼ばれ、ピンポイントを合わせやすいという利点がある一方、利用可能な倍率の幅が狭いという欠点もある。

使用する実験装置について概説する。まず初めに、液滴を懸垂させるために用いる Nd:YAG レーザ (波長 532nm, Elforlight 社, HPG 5000) について説明する。このレーザの最大出力は 8W である。使用方法として、レーザを PC に接続、ソフトウェア TeraTerm を使用することで、出力レベルの調整やレーザの開閉等の操作をする。長作動距離対物レンズ (倍率 50 倍、開口数 0.42) は液滴の捕捉位置がレンズから比較的離れた位置になるため、従来用いてき

## A Study on Fuel Droplet Suspension and Measurement of the Size Using Optical Tweezers Technique

Takuto YAMAZAKI, Osamu IMAMURA, Hiroshi YAMASAKI

た対物レンズよりも観察しやすいため使用した。

噴霧器（噴霧粒子径約  $5\mu\text{m}$ ）は液体を容易に微粒化することができる。しかし、オレイン酸メチルエステルの噴霧に関しては液滴の粘度が高いため、エアブラシ MJ724（口径サイズ  $0.3\text{mm}$ ）を用いて噴霧した。

CCD カメラは受光量が大きく画質がきれいで高感度化に対応しやすいといった特徴があるので使用。

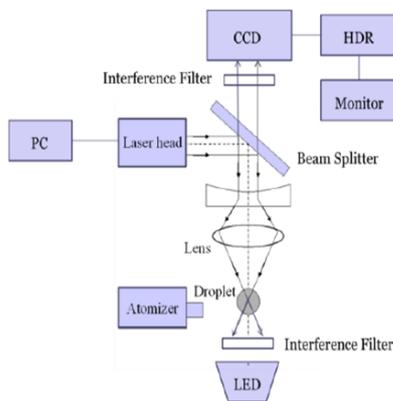


Fig.2 Schematic of experimental devices

実験方法について概説する。Nd:YAG レーザから発射された光を、鏡を用いて屈折させる。対物レンズを通過することで光を集め、屈折させたレーザー光を噴霧器によって形成された噴霧の液滴にあて、その際に懸垂された単一液滴をカメラを用い懸垂の様子や原理を調べる。

#### 4 実験結果および検討

実験により水とエタノール、オレイン酸メチルエステルでは、懸垂することに成功した。また、水、エタノールに関しては粒径計測に成功した。Fig.3 オレイン酸メチルエステルがの懸垂のされた様子である。粒径の計測をした結果、水とエタノールともに粒径が  $10\mu\text{m}$  という結果が得られた。

この粒径について考察する。Fig.4 は光ピンセット技術を用いて懸垂された自由液滴の液滴径の観察にてまとめられたグラフである。このグラフでは、水の QP 値が点線以下となると、粒径結果が妥当であることを表している。グラフで必要となる QP の値は式 1 から求められる。

$$(\pi g \rho d^3)/6 = QnP/c \quad \dots \text{式 1}$$

光学系に依存するパラメータ  $Q$ 、液滴の屈折率、光源の出力  $P$ 、円周率  $\pi$ 、光速  $c$ 、円周率  $\pi$ 、重力加速度  $g$ 、液滴の密度  $\rho$ 、粒径  $d$

式 1 に今回の水、エタノールの粒径結果を当てはめると、それぞれの QP の値がグラフ上では点線の下にプロットされる。

以上より、粒径計測に成功した。

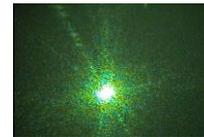


Fig.3 Typical interferometry images of droplet suspended by optical tweezers

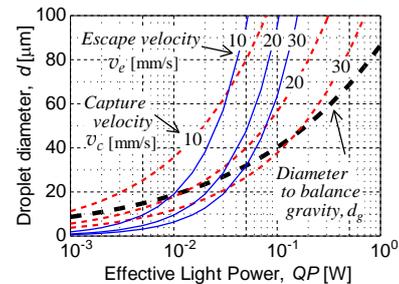


Fig.4 Estimated droplet diameter to balance gravity, to be captured and to escape as a function of effective light power

#### 5 まとめ

本研究では光ピンセット技術を用いた BDF 燃料の懸垂技術の確立を目指して、水やエタノール、オレイン酸メチルエステルの 3 種類の懸垂を行い成功した。また水とエタノールでは粒径計測においても成功した。

「参考文献」

- 1) 光ピンセットの理論解析 (5) 浮田宏生
- 2) <技術ノート>光ピンセット 西山雅祥;岡本 憲二
- 3) 今村 幸 他, 光ピンセット技術を用いて懸垂された自由液滴の液滴径の観察, p2