

Team Spray 燃料噴霧の微粒化効率に関する体系的研究

担当者

西浦 宏亮 (M1), 草川 銀次郎 (B4)

2017 年度班紹介資料

1. 研究背景および目的

エネルギー資源として主に化石燃料が用いられてから、化石燃料の枯渇が懸念されている。さらに、発展途上国における自動車の需要が今後増加することで、さらなる化石資源の大量消費が示唆されている。そのため、限りある資源を有効に活用するためには内燃機関の熱効率を向上させることが急務である。また、化石燃料を用いた際に排出される有害物質は、現代において大きな問題となっている。以上より、今後の地球環境を保全していくためには、熱効率の向上および低エミッション化が求められている。

内燃機関では噴霧の微粒化が混合気形成や蒸発過程に深く影響すると言われており、熱発生率や排気物質を左右する一つの要因となっている。よって、噴霧の微粒化は熱効率の向上において重要な要素となる。また内燃機関における燃焼は、噴霧の影響を大きく受け、混合気特性に依存する。そのため、噴霧に依存する燃焼速度や燃焼温度等を制御することができれば、理想的な燃焼の実現につながり、熱効率を高めることが可能になる。以上より、微粒化過程および混合気形成における詳細な噴霧特性を把握する必要がある。

そこで本研究の目的は、あらゆる噴霧の微粒化過程における微粒化効率を体系的に調査し、噴霧構造の詳細を把握することである。本研究では、微粒化限界や微粒化効率を検証するため、直径 $5\mu\text{m}$ の液滴まで計測できる高い空間分解能で噴霧全域を撮影でき、時系列計測が可能である二波長分光型超高解像度撮影法 (SHSRP : Super High Special Resolution Photography), また、噴霧形状の時間変化を把握するため、シャドウグラフ法および散乱光撮影法を用いて自由噴霧を撮影し、微粒化過程の現象把握を行なう。

2. 微粒化効率

微粒化効率とは、燃料の圧力上昇に用いられたエネルギーに対する微粒化の度合いを示すパラメータである。本報では、生成噴霧の表面エネルギー E_o と運動

エネルギー E_v の和を、投入した微粒化動力 W によって除したものを微粒化効率と定義する。よって、微粒化効率は以下の式により表される。

$$\eta_{atomize} = \frac{E_o + E_v}{W} = \frac{\sigma \times \pi \sum_i D_i^2 + \frac{1}{2} \times \frac{\pi}{6} \rho \sum_i D_i^3 |V_{liq} - V_a|^2}{\Delta P_{liq} \times \frac{\pi}{6} \sum_i D_i^3} \quad (1)$$

$\eta_{atomize}$: 微粒化効率[-], σ : 気液界面の表面張力[N/m], ΔP_{liq} : 噴射差圧と外部圧力の差[Pa], D_i : 粒子径[m], ρ : 燃料密度[kg/m³], V_{liq} : 液滴速度[m/s], V_a : 雰囲気場速度[m/s]

3. 実験装置および実験条件

3.1 撮影光学系

図1に本実験で用いる撮影光学系の概略図を示す。光源には第一露光として Nd:YAG レーザの第2高調波(Spectra Physics : PRO200, 波長 λ_1 : 532 nm, 発光半値幅: 8ns/pulse)および第二露光として Nd:YAG レーザの第3高調波(Spectra Physics : PIV400, 波長 λ_2 : 355 nm, 発光半値幅: 8 ns/pulse)を使用する。第二露光に用いたレーザ光は波長変換素子(Spectra physics : OPO システム basiScan/240BB)により、波長 λ_2' : 640 nm へと変換される。二つのレーザ光はピンホールを介してレーザ光により生じるスペckルノイズと呼ばれる斑点模様を低減させるスペckル低減装置(ナノフォトン: スペckルキラー, SK-11, ϕ =10 mm)に入射する。スペckル低減装置より出射されたレーザ光は平凸レンズ(f =200mm), 両凸レンズ(f =300mm)および平凸レンズ(f =1000mm)の順に通過

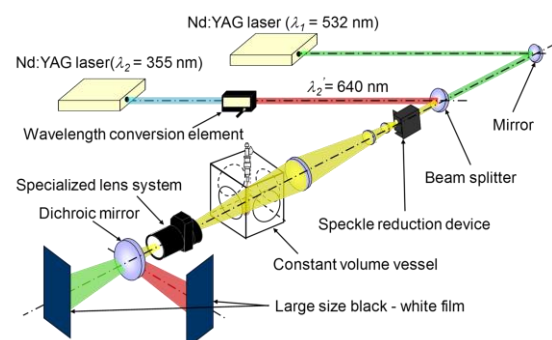


Fig.1 Schematic diagram of transmitted light photography

し、集光されながら噴霧に照射される。噴霧を透過したレーザ光は超高解像度レンズ系により捉えられ、ダイクロミックミラーにより二波長に分光される。分光されたレーザ光はそれぞれの波長に対応した受光面上に拡大結像される。なお、本撮影系は受光面に8×10 inchの大判フィルム(富士フィルム：ネオパン ACROS100, 線解像度：200 本/mm)を用いる。

3.2 超高解像度レンズ系

図2に超高解像度レンズ系(オブセル： $\phi=100$ mm)の概略図および光路図を示す。本レンズ系の撮影倍率は2.7倍、空間分解能は $1.85\mu\text{m}$ 、被写界深度が $100\mu\text{m}$ である。本レンズ系は形状の異なる複数枚のレンズにより構成されており、被写体を透過したレーザ光を大判フィルム上に拡大結像させる。レンズ系内にはレンズ外縁部を通る収差の影響が大きいレーザ光を除去するため虹彩絞りを設置した。また、アクロマートレンズを内蔵しており、波長の違いにより起因する色収差を低減することが可能である。なお、本レンズ系に用いたレンズには全波長対応のレンズコーティングを施した。

3.3 シャドウグラフ撮影

図3にシャドウグラフ撮影系で用いる実験装置の概略図を示す。まず、混合容器内においてアセチレン、酸素および窒素を組成とする可燃予混合気を作製し、定容燃焼容器内に充填する。その後、スパークプラグを用いて可燃予混合気を点火・燃焼させ霧

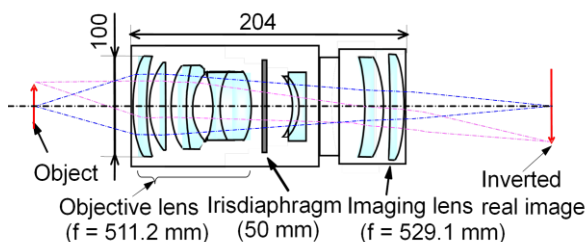


Fig.2 Schematic diagram of Lens system

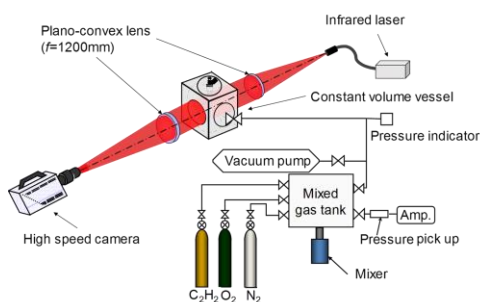


Fig.3 Schematic diagram of shadowgraph photography

囲気場を高温・高圧にし、雰囲気圧力が任意の圧力まで低下した際に燃料を噴射する。燃焼後における定容燃焼容器内の温度および雰囲気圧力を任意の値にするため、可燃予混合気のアセチレン、酸素および窒素の割合を調整し、非燃焼場での自由噴霧を撮影する。光源には、可視化用レーザ照明(Cavitar Ltd. : CAVILUX Smart, 波長 $\lambda_L=640\text{nm}$)を用いる。レーザ光は片凸レンズ($f=1200\text{mm}$)によって並行光となり噴霧に照射され、片凸レンズ($f=1200\text{mm}$)を通過し集光され、カメラのレンズ上に像を結像する。撮影にはハイスピードビデオカメラ(Vision Research Inc. : Phantom v2011)を用い、撮影速度は20,000fpsとする。

4. 今後の予定

図4に噴霧において燃焼に寄与する要因の概略図を示す。昨年度まで用いていた微粒化効率、生成噴霧の表面エネルギーと運動エネルギーのみを考慮していたが、今後は概略図に示す各噴霧指標も考慮した微粒化効率の構築を行なう。

供試ノズルは、ディーゼル噴霧においてはあらゆる噴孔数のソレノイド式およびピエゾ式インジェクタ、ガソリン噴霧においてはあらゆるポート噴射用および直接噴射用インジェクタを用い、微粒化効率および各噴霧指標の比較を行なう。実験条件においては、各供試ノズルが実際に使用されている条件を考慮し設定する。

また、SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)「革新的燃焼技術」(管理法人：JST)ディーゼル部門・熱損失低減チームおよび微粒化研究会におけるディーゼル噴霧解析を担当する予定である。

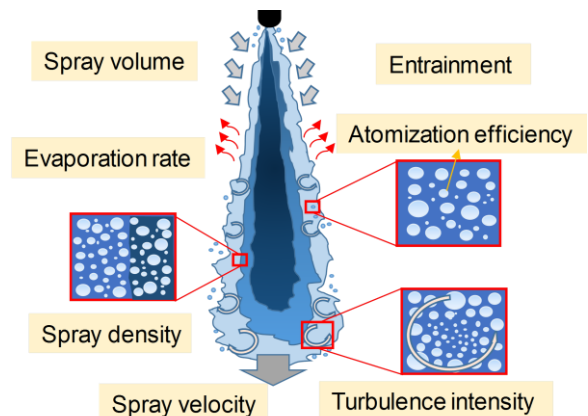


Fig.4 Schematic diagram of factors contributing to combustion