

福岡工業大学 学術機関リポジトリ

ディーゼル燃料噴射ノズル噴孔近傍における超高密度液滴の分裂に関する研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2021-01-07 キーワード (Ja): キーワード (En): Diesel Engine, Fuel Spray, Droplet, Size, Velocity, Spray Width 作成者: 駒田, 佳介 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/11478/00001581

ディーゼル燃料噴射ノズル噴孔近傍における 超高密度液滴の分裂に関する研究

駒田 佳介 (工学部知能機械工学科)

Study of Droplet Breakup of Diesel Fuel Spray near Nozzle Exit

KOMADA Keisuke (Department of Intelligent Mechanical Engineering, Faculty of Engineering)

Abstract

A laser 2-focus velocimeter (L2F) was used for measurements of velocity and size of droplets inside diesel sprays intermittently injected into the atmosphere by using 8-hole injector nozzle. The diameter of the nozzle orifice was 0.125mm. The rail pressure was set at 60 MPa, and the injection quantity was set at 4mm³/injection. Measurement plane was located at 10 mm downstream from the nozzle exit. The spray image was taken by the high-speed camera, and the spray width was evaluated by using spray image. The spray width was large at the early period of injection duration. The size of droplets was small at the time when the spray width was large. It became clear that there was a negative correlation between the spray width and the size of droplets.

Keywords : Diesel Engine, Fuel Spray, Droplet, Size, Velocity, Spray Width

1. はじめに

ディーゼル機関は出力および熱効率が高いことから商業自動車や船舶、発電機などに搭載されており、さらなる熱効率の向上および排気物質の低減が求められている。それらの達成のためには燃焼の適切な制御が要となる。ここで、ディーゼル機関において、燃料はシリンダ内に直接噴射され、噴霧を形成する。そのため、噴霧と周辺空気との混合気形成の制御が燃焼の制御につながることから燃料噴霧特性の把握が求められている。燃料噴霧の基礎的な情報として、噴霧先端到達距離や噴霧角等の噴霧外観の挙動については多くの研究成果が報告されているものの、燃料噴霧は空間的に不均一であることから噴霧内部における噴霧液滴の挙動を把握する必要がある。噴霧下流においては、噴霧液滴が十分に拡散し、比較的、噴霧内部液滴の計測が容易であることから、PDPA(Phase Doppler Particle Anemometer)^(1, 2)やPIV(Particle Image Velocimetry)⁽³⁾により計測された液滴の速度分布や粒径分布が報告されている。噴孔近傍の噴霧については液滴が非常に密集しているため計測が容易ではないものの、長距離顕微鏡⁽⁴⁾により計測された噴孔近傍の噴霧外縁部の噴霧液滴の速度および粒径分布が報告されている。また X 線⁽⁵⁾を用いることで、噴孔のごく近傍の噴霧の画像を取得しており、その画像を解析することで噴霧の速度分布や粒径分布を報告しているものの、X 線はラインオブサイト特性を持つため、噴霧内部の液滴の情報を得ることが

難しい。

著者が独自に開発したレーザー2焦点流速計(L2F; Laser 2-focus Velocimeter)はマイクロスケールの測定体積を持つことから噴孔近傍における噴霧内部の液滴の速度とサイズを計測することが可能である。これまでに噴霧内部の液滴を計測した結果から質量流量や数密度の空間分布や時間変化を明らかにし、質量流量の空間分布の積分値が実噴射量とほぼ同じであること⁽⁶⁾を報告している。

本研究では噴霧の内部構造と外観との基本的な関係を把握するために、滴の速度・サイズと噴霧幅の相関を調査した結果について述べる。

2. 実験装置および実験方法

2.1 レーザー2焦点流速計 L2Fの測定体積を図1に示す。焦点直径 F は $3\ \mu\text{m}$ 、焦点長さ L は $20\ \mu\text{m}$ 、焦点間距離 S は $26\ \mu\text{m}$ である。液滴が上流焦点に到達してから下流焦点に到達するまでの時間、つまり飛行時間を t_1 、上流焦点における散乱時間を t_2 、下流焦点における散乱時間を t_3 とする。液滴の速度は2焦点間距離 S を飛行時間 t_1 で割ることにより求める。

$$u = \frac{S}{t_1} \quad (1)$$

また、液滴サイズは2焦点間距離 S と液滴サイズ dp + 焦点サイズ F の比が飛行時間 t_1 と散乱時間の比に対応するこ

とから次式より求める。

$$dp = u \cdot \frac{t_2 + t_3}{2} - F \quad (2)$$

ここで、散乱時間として上流散乱時間 t_2 と下流散乱時間 t_3 の平均値を用いた。

2・2 噴霧計測システム L2F の光学系では最大出力 200 mW, 波長 830 nm の半導体レーザーを光源とし、焦点距離が 8 mm, 開口数 0.5 の非球面レンズを収束レンズとして採用した。2 つの焦点における液滴からの後方散乱光を別個の APD (Avalanche Photodiode) に導いて電気信号に変換した。FPGA (Field Programmable Gate Array) で構成したデジタルカウンタを用い、一対の電気信号パルスから計数した飛行時間および散乱時間をパソコンに保存した。飛行時間および散乱時間は 700 MHz で計数される。信号処理系の最大データサンプリング周波数は 15 MHz ある。

図 2 は L2F による噴霧計測システムを示す。噴射圧を 60 MPa に設定したコモンレールにより供給される JIS2 号軽油を噴孔径 0.125 mm の 8 噴孔インジェクタを用いて大気中に噴射した。また噴射量が 4 mm³/inj. となるようインジェクタに噴射信号を印加し、噴射間隔を 333 ms とした。噴孔下流 10 mm の断面において計測を行った。噴霧半径方向の距離を x とし、計測点は噴霧中心である。2 つの焦点を噴霧軸

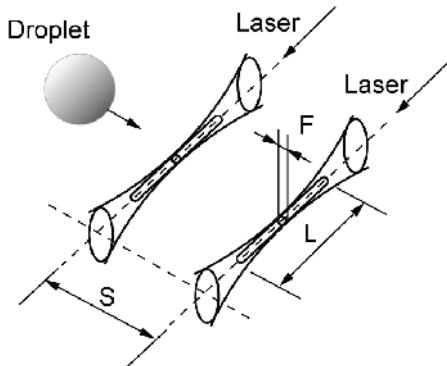


Fig. 1 Light probe of L2F

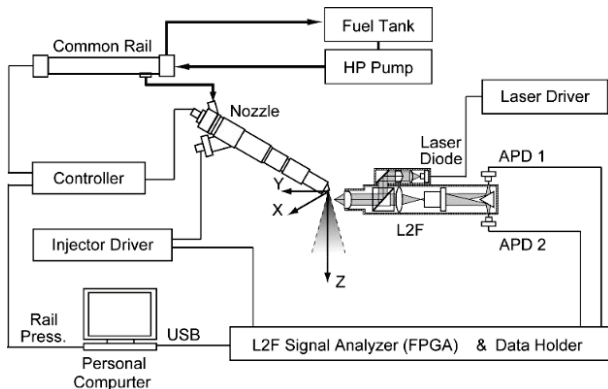


Fig. 2 Fuel spray measurement system

に平行に設置し、噴霧軸方向の速度を計測した。実験では複数の噴射によってデータを取得し、取得データ数は 20,000 点である。

図 3 は燃料噴射ノズル先端の構造を示す。針弁が上昇することで針弁とノズルの間に流路ができ、燃料はシート、サックを経由して、噴孔から外部へ噴射される。

2・3 画像計測システム 図 4 は高速度カメラによる噴霧計測システムを示す。ファンクションジェネレータから噴射開始信号を EDU およびインジェクタに同時に送ることで射開始時刻と高速度カメラの撮影時刻を同期させた。高速度カメラには Photron 社製 NOVA S-9 を、光源にはハロゲンランプを用いて燃料噴霧画像を取得した。高速度カメラの撮影速度は 50000 fps である。

図 5 は高速度カメラを用いて撮影した噴霧画像を示す。噴射開始信号を印加してからの経過時間を T とし、撮影は $T=0.6$ ms で行った。噴霧は画像の上から下に向かって噴射され、背面光撮影であるため噴霧が黒く映っている。噴孔近傍では噴霧の内部に液柱が存在しており、下流では液柱が確認されず、液滴に分裂していることがわかる。

画像の白黒を反転したのち輝度を 0 から 255 までの値で表した。図 6 は $z=10$ mm 断面における輝度の空間分布を示す。外縁に比べて噴霧中心近傍の輝度は高い。輝度の最大値の 20 % の値を示した点を噴霧外縁と定義し噴霧幅を評価した。

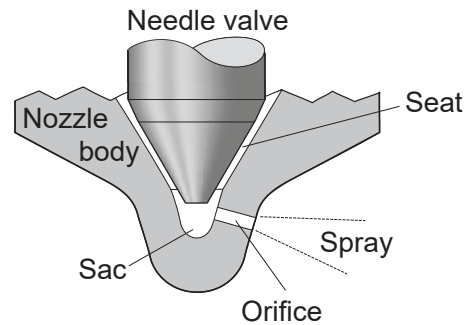


Fig.3 Schematic of injector nozzle

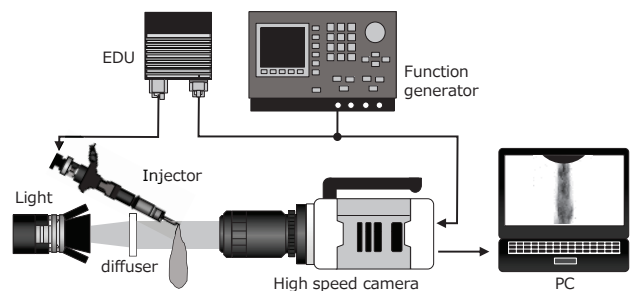


Fig. 4 Measurement system for high speed camera

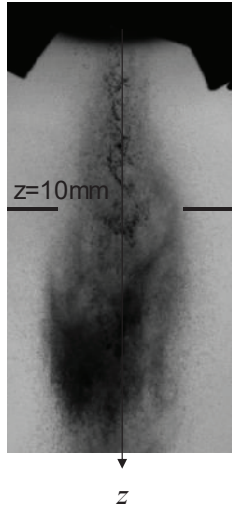


Fig. 5 Spray image

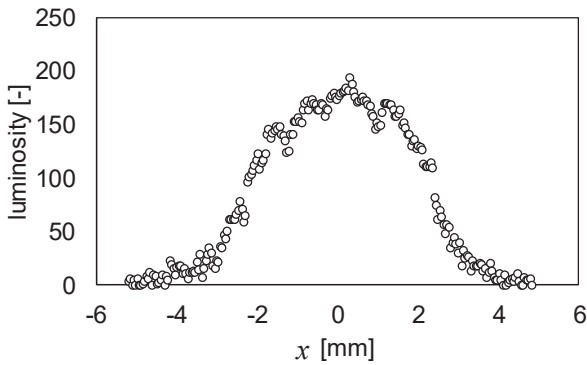


Fig. 6 Spatial distribution of luminosity at $z = 10 \text{ mm}$

3. 結果および考察

図 7 は高速度カメラ画像から算出した噴霧幅の時間変化を示す。横軸は噴射開始信号印加からの経過時間である。噴霧幅は 20 回の噴射により得られた平均値を示す。噴霧幅は $T=0.5$ から 0.6 ms の間で急激に増加したのち、 $T=0.6$ から 1.0 ms の間で減少し、 $T=1.0$ から 1.6 ms の間で変化が小さく、その後減少した。

図 8(a)は時間窓 0.1 ms 毎の平均液滴速度の時間変化を示す。液滴速度は $T=0.5$ から 0.7 ms の間で増加し、 $T=0.7$ から 1.5 ms の間で緩やかに増加したのち減少し、 $T=1.5 \text{ ms}$ 以降において急激に減少した。燃料はインジェクタ内部の針弁が開閉することでインジェクタより噴射される。開弁度の増加および減少に伴い燃料の流量が増加および減少したことが液滴速度の時間変化に現れたと考えられる。図 8(b)は平均液滴サイズの時間変化を示す。液滴サイズは $T=0.5$ から 0.6 ms の間で急激に減少した。ノズル内部において針弁リフトが小さいとき、シート部からサックへの流路の急拡大によって流れが乱され、噴霧角が広がることが報告されている^(7,8)。この乱れのために液滴サイズが減少したものと

考えられる。その後、噴射中期に液滴サイズは増加し、噴射終期に減少した。

図 9 は噴霧幅と噴霧中心における液滴サイズの相関を示す。噴霧幅が大きな時刻において、噴霧中心における液滴サイズが小さく、両者の間には負の相関がある。噴射初期は針弁の開度が小さく、サック内の流れに生じる乱れが大きいいため、噴霧幅が増加し、液滴サイズが減少したと考えられる。

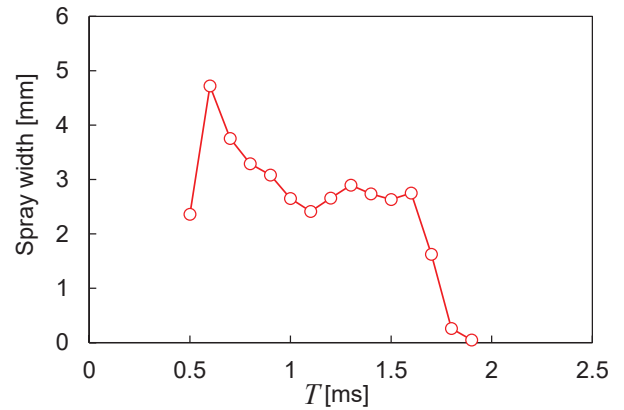
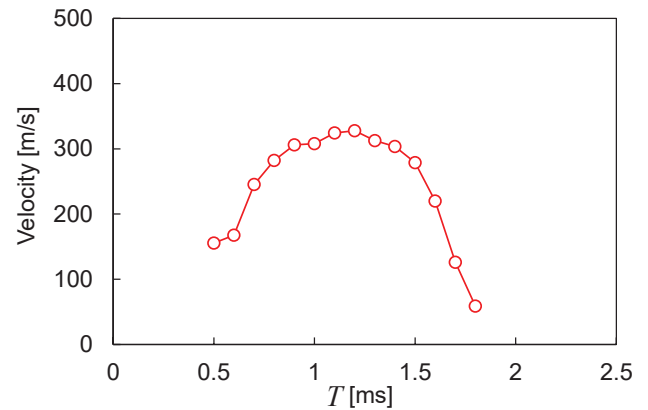
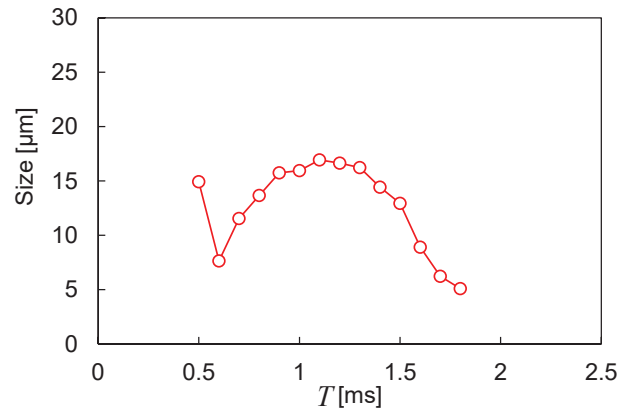


Fig. 7 Time variations of spray width



(a) Velocity



(b) Size

Fig. 8 Time variations of velocity and size of droplets

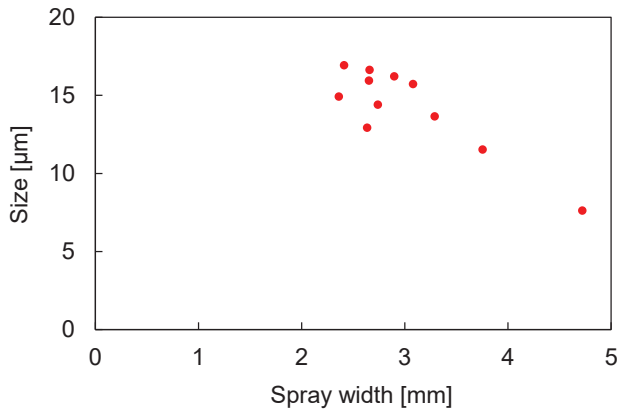


Fig. 9 Correlation between spray width and size of droplets

4. まとめ

レール圧を 60 MPa に設定した噴孔径 0.125 mm の 6 噴孔インジェクタから大気中に噴射された燃料噴霧を対象に、L2F を用いて噴孔から 10 mm 下流の噴霧中心において液滴の速度とサイズを計測した。また、高速度カメラを用いることで噴霧幅を評価した。噴霧幅と噴霧中心の液滴サイズの間に明確な負の相関が確認された。

謝 辞

本研究は福岡工業大学総合研究機構エレクトロニクス研究所の研究支援制度により実施したものである。

文 献

- (1) Lacoste, J., Crua, C., Heikal, M., Kennaird, D. and Gold, M., PDA characterisation of dense diesel sprays using a common-rail injection system, SAE Paper 2003-01-3085. (2003)
- (2) Pribicevic, I. and Sattelmayer, T., Investigation of the diesel spray atomization process with use of Phase Doppler Anemometry at high injection pressures and at engine-like gas density, Proceedings of 16th Int Symp on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics, pp.1-12. (2012)
- (3) Zama, Y., Ochiai, W., Furuhashi, T. and Arai, M., Velocity measurement inside a diesel spray by using time-resolved PIV under high ambient density condition, Proceedings of 12th Triennial International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, pp. 1-8(2012).
- (4) Crua, C., Heikal, M. R. and Gold, M. R., Microscopic imaging of the initial stage of diesel spray formation, Fuel, Vol. 157, pp. 140-150(2015).
- (5) Moon, S., Gao, Y., Wang, J., Fezzaa, K. and Tsujimura, T., Near-field dynamics of high-speed diesel sprays: Effects of orifice inlet geometry and injection pressure, Fuel, Vol. 133, pp. 299-309(2014).
- (6) 駒田佳介, 坂口大作, 植木弘信, 石田正弘, L2F を用いたディーゼル燃料噴霧高数密度領域の液滴質量分布の評価, 日本機械学会論文集中 B 編, Vol.77, No.774, pp. 274-281(2011).
- (7) Huang, W., Moon, S., and Ohsawa, K., Near-nozzle dynamics of diesel spray under varied needle lifts and its prediction using analytical model, Fuel, Vol. 180, pp. 292-300(2016)
- (8) Moon, S., Huang, W., and Wang, J., First observation and characterization of vortex flow in steel micronozzles for high-pressure diesel injection, Journal of experimental thermal and fluid science, Vol. 105, pp. 342-348(2019)