

# 福岡工業大学 学術機関リポジトリ

## Study of Needle Lift Behavior of Diesel Injector

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2022-12-20 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 駒田, 佳介 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/11478/00001738">http://hdl.handle.net/11478/00001738</a>

# ディーゼルインジェクタにおける針弁リフト挙動の研究

駒田 佳介 (工学部知能機械工学科)

## Study of Needle Lift Behavior of Diesel Injector

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

### Abstract

Using an injector with a lift sensor, the needle valve openings during injection were measured. Injection with different maximum needle valve openings was achieved by varying the injection signal to injector. 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 40 MPa. Measurement plane was located at 7 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 at low maximum needle valve opening was wider than those at high maximum needle valve opening. Droplet velocity is lower and droplet size is smaller at low than at high maximum needle valve opening. Radial distances of measurement position were nondimensionalized by maximum spray width. The effect of the maximum needle valve opening on droplet velocity and size were small at the spray periphery.

**Keywords** : Diesel engine, Fuel spray, Droplet, Needle lift

### 1. はじめに

ディーゼル機関は熱効率が高いことから自動車や船舶など幅広く利用されている。一方、粒子状物質や窒素酸化物などの有害物質の排出が問題となっている。そのためディーゼル機関には更なる高効率化と有害物質の排出低減が求められており、それらの実現には燃焼の適切な制御が必要である。燃料噴霧特性は燃焼を支配する要因の一つである。燃料はインジェクタ内部の針弁が開くことによりサック内に流入し、ノズルから噴射されることで噴霧を形成する(図1)。これまで低針弁時にノズル内部の乱れが増加すること<sup>(1)</sup>や噴射の初期と終期に噴霧幅が増加すること<sup>(2)</sup>、噴孔近傍の噴霧流動が針弁開度の影響を受けること<sup>(3)</sup>が報告されている。しかし針弁の開度を変更したときの噴霧液滴の分裂過程についてはほとんど報告されておらず、噴霧液滴の分裂領域における液滴の計測が求められている。

噴霧内部液滴挙動を把握する方法として位相ドップラー流速計が適用されており、Lacosteらは噴孔下流30から58mmの噴霧内部液滴の速度やサイズ、データレートが報告している<sup>(4)</sup>。しかし、噴孔下流30mmの噴霧中心においてはデータレートが低い。これは位相ドップラー流速計の測定体積が大きいこと、液滴が密集している領域において個々の液滴を計測できないためと考えられる。噴射中の針弁開度と噴孔近傍の流動を計測する方法としてX線が用いられている。Moonらは噴孔数が異なるインジェクタにおいて針

弁開度と噴孔から噴射された直後の燃料流動を比較し、針弁開度が低い場合に噴霧幅が広いことを報告している<sup>(5)</sup>。しかし、X線はラインオブサイト特性を持つことから噴霧の手前から奥までの情報を同時に取得してしまうため、噴霧内部の液滴を評価することができない。

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<sup>(6)</sup>を報告している。

本研究では、リフトセンサ付きインジェクタを用いることで噴射中の針弁開度を計測した。また、計測体積が微小であり、高数密度領域で液滴の速度とサイズを同時に計測可

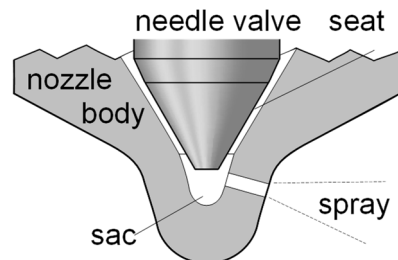


図1 ノズルの内部構造

Fig. 1 Schematic of injector nozzle

能なL2Fを用いることで噴孔近傍の噴霧内部液滴を計測し、針弁開度が噴霧内部液滴の速度とサイズにおよぼす影響について調査した。

## 2. 針弁挙動の計測

図2に針弁リフトセンサ付きインジェクタを用いた計測システムを示す。噴射圧を40MPaに設定したコモンレールより供給される軽油を噴孔径0.125mmの8噴孔リフトセンサ付きインジェクタから大気中に噴射した。噴孔を原点とし、噴射の向きをz軸、インジェクタの中心軸とz軸を通る断面上でz軸に垂直な向きをy軸、yz平面に対して垂直にx軸をとった。リフトセンサから出力される電圧は針弁開度に比例しており、燃料噴射中の出力電圧、すなわち針弁開度を計測すると同時に高速度カメラを用いて噴霧画像を取得した。

インジェクタに印加する噴射信号の電流値を変化させることで最大針弁開度が異なる噴射を実現した。最大針弁開度が高い場合をHigh、最大針弁開度が低い場合をLowとした。図3は針弁開度の時間変化を示す。横軸は噴射信号印加からの経過時間である。Highの場合、針弁がT=0から0.25ms

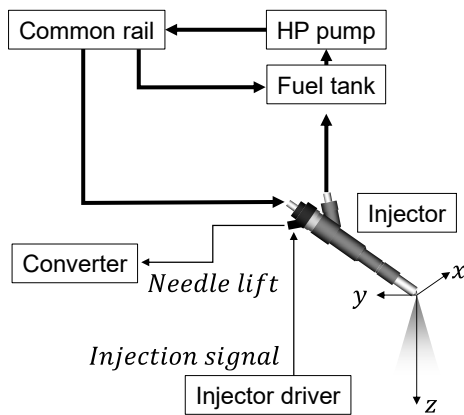


図2 針弁開度の計測システム

Fig. 2 Fuel spray measurement system for needle lift

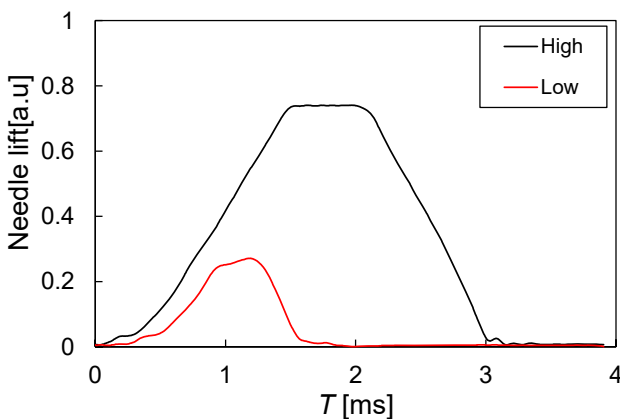


図3 針弁開度の時間変化

Fig. 3 Time variations of needle lift

の間で一度増加している。これは針弁の弾性変形をとらえたものである。針弁開度はT=0.25から1.5msの間で増加し、T=1.5から2.0msの間で変化が小さく、T=2.0ms以降で減少した。また、Lowの針弁開度はT=0.5から0.95msの間で増加し、T=0.95から1.15msの間で変化が小さく、T=1.15ms以降で減少した。最大針弁開度を維持する期間を準定常期間とする。

図4は噴孔下流7mmの断面における噴霧幅の時間変化を示す。横軸は噴射信号印加からの経過時間である。Highの場合、噴霧幅はT=0.75から1.9msの間で増加した後減少し、T=1.9から2.4msの間で変化が小さく、T=2.4から3.0msの間で増加した後減少する傾向を示した。Lowの場合、噴霧幅はT=1.0から1.4msの間で増加した後減少し、T=1.4から1.6msの間で減少し、T=1.6ms以降で増加し減少する傾向を示した。準定常期間に噴射された燃料が計測断面に現れた期間はHighの場合はT=2.0から2.5msの間、Lowの場合はT=1.4から1.6msの間と判断される。準定常期間における平均噴霧幅はHighの場合は2.02mmであり、Lowの場合は2.55mmであった。

## 3. 噴霧液滴の計測

L2Fの測定体積を図5に示す。焦点直径Fは3μm、焦点長さLは20μm、焦点間距離Sは26.8μmである。図6は2焦点の構造と液滴の飛行時間・散乱時間との関係を示す。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<sub>1</sub>、上流焦点における散乱時間をt<sub>2</sub>、下流焦点における散乱時間をt<sub>3</sub>とする。液滴の速度は2焦点間距離Sを飛行時間t<sub>1</sub>で割ることにより求める。

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

また、液滴サイズは2焦点間距離Sと液滴サイズd<sub>p</sub>+焦点サイズFの比が飛行時間t<sub>1</sub>と散乱時間の比に対応することから次式より求める。

$$D_p = V_p \frac{t_2 + t_3}{2} - F \quad (2)$$

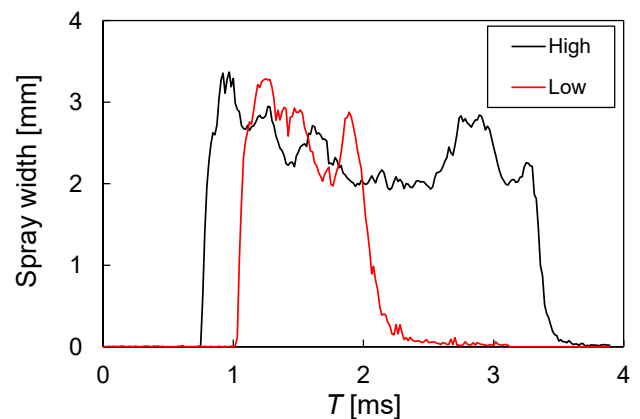


図4 噴霧幅の時間変化；z=7mm

Fig. 4 Time variations of spray width at z = 7mm

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。

図7はL2Fを用いた噴霧計測システムを示す。L2Fの光学系では最大出力100mW、波長830nmの半導体レーザーを光源とし、収束レンズとして焦点距離が8mmの非球面レンズを採用した。

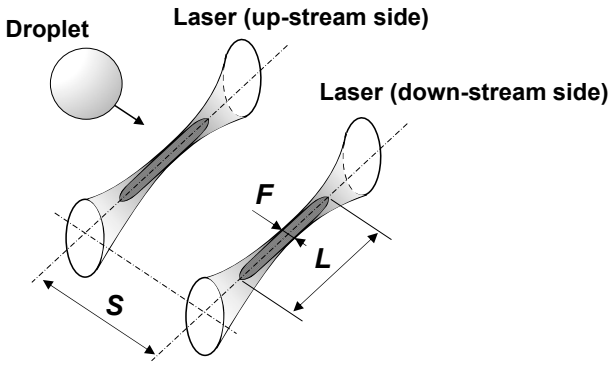


図5 L2Fの測定体積

Fig.5 Measurement probe of L2F

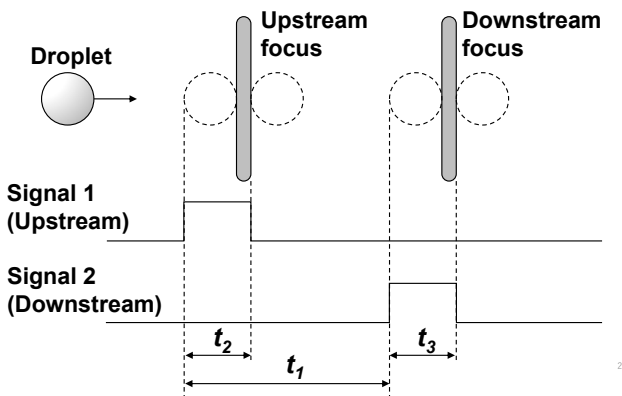


図6 L2Fにおける飛行時間と散乱時間

Fig.6 Time-of-flight and time-of-scattering of L2F

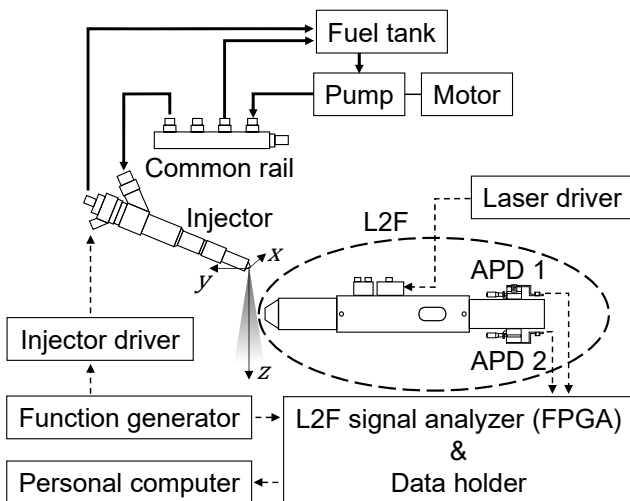
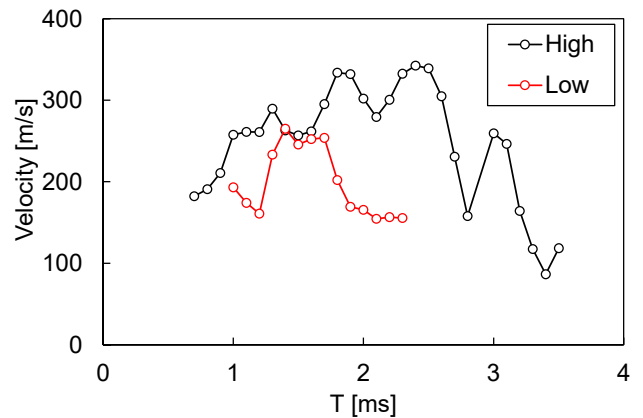


図7 L2Fを用いた計測システム

Fig. 7 Fuel spray measurement system for L2F

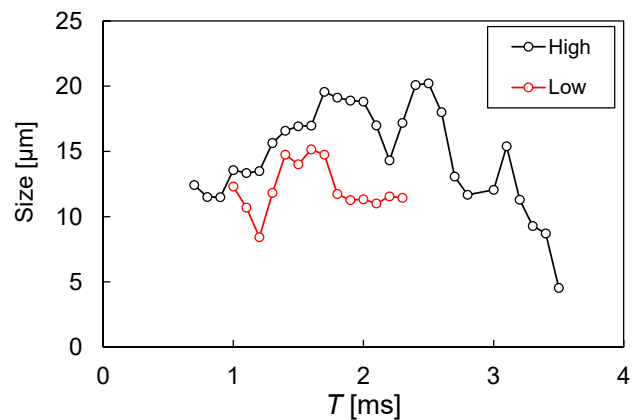
光学系の全長は約350mmである。2つの焦点における液滴からの後方散乱光を別個のAPD(Avalanche Photodiode)に導きFPGA(Field Programmable Gate Array)を用いて計数した飛行時間および散乱時間をパソコンに保存した。信号処理系のデータサンプリング周波数は15MHzある。インジェクタに噴射開始信号を印加してからL2Fのデータ取得までの経過時間を6MHzのクロックで計数した。インジェクタの噴孔数は8、噴孔径は0.125mmである。噴射周期を3Hz、雰囲気圧力を0.1MPa、噴射圧力を40MPaに設定し、L2Fのサンプルデータ数を20000点とした。計測点は $z=7\text{mm}$ の断面における $y=0.14, 0.42, 0.7, 0.98, 1.26, 1.54, 1.82$ および $2.1\text{mm}$ の8点である。なお、針弁開度の計測噴霧画像の取得およびL2Fによる噴霧計測は同時ではない。

図8(a)は $y=0.14\text{mm}$ における液滴速度の時間変化を示す。時間窓は0.1msである。Highの場合、液滴速度は $T=0.7$ から1.8msの間で増加し、 $T=1.8$ から2.5msの間で一度減少した後増加し、 $T=2.5\text{ms}$ 以降で減少する傾向を示した。Lowの場合、液滴速度は $T=1.0$ から1.3msの間で減少したのち増加し、 $T=1.3$ から1.7msの間で変化が小さく、 $T=1.7\text{ms}$ 以降で



(a) 速度

(a) Velocity



(b) サイズ

(b) Size

図8 液滴の速度とサイズの時間変化； $y=0.14\text{mm}$

Fig. 8 Time variations of velocity and size of droplets at  $y=0.14\text{mm}$

減少した。図 8(b)は液滴サイズの時間変化を示す。High の場合、液滴サイズは  $T=0.7$  から  $0.9\text{ms}$  の間で減少した。Moon らは針弁リフトが低いときにサック内の渦強度が増加することを報告しており<sup>(7)</sup>、このため液滴サイズが減少したと考えられる。その後、液滴サイズは  $T=0.9$  から  $1.8\text{ms}$  の間で増加する傾向を示し、 $T=1.8$  から  $2.5\text{ms}$  の間で一度減少した後増加し、 $T=2.5\text{ms}$  以降で減少する傾向を示した。Low の場合、液滴サイズは  $T=1.0$  から  $1.4\text{ms}$  の間で減少したのち増加し、 $T=1.4$  から  $1.7\text{ms}$  の間で変化が小さく、 $T=1.7\text{ms}$  以降で減少する傾向を示した。

準定常期間における平均液滴速度と平均液滴サイズを算出し、それぞれの空間分布を求めた。図 9(a)は噴霧中心からの距離を最大噴霧幅で無次元化した距離を横軸とした時の平均液滴速度の変化を示す。いずれの信号においても噴霧周辺部に比べて噴霧中心近傍の液滴速度が高い。噴霧中心近傍において、High の場合に比べて Low の場合の液滴速度が低い。一方、噴霧周辺部においては両信号における液滴速度は近い。図 9(b)は液滴サイズの空間分布を示す。横軸は噴霧中心からの距離を最大噴霧幅で無次元化した距離である。噴霧中心近傍において、High の場合に比べて Low の場

合の液滴サイズは小さく、噴霧周辺部においては両信号における液滴サイズは近い。針弁開度が低い場合、ノズル内部の乱れ増加に伴い、噴霧中心近傍において液滴の分裂過程が活発となり、液滴の速度およびサイズが減少したと考えられる。一方、噴霧周辺部の液滴の飛行方向がより外向きに変化することで噴霧幅が広がるものの、液滴の分裂過程におよぼす影響は小さいと判断される。

#### 4. まとめ

噴射圧を  $40\text{MPa}$  に設定したリフトセンサ付きインジェクタから燃料を大気中に噴射した。噴射信号を変化させることで最大針弁開度が異なる噴射を実現した。噴射中の針弁の開度と噴霧画像を同時に取得した。また、燃料噴霧の液滴の速度およびサイズを噴孔下流  $7\text{mm}$  の位置においてレーザー-2 焦点流速計を用いて計測を行った。得られた結果は以下の通りである。

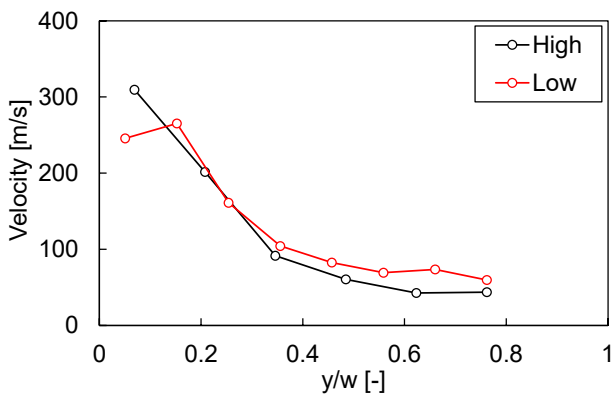
- (1) 最大針弁開度が高い場合に比べて低い場合の噴霧幅は広い。
- (2) 半径位置を最大噴霧幅で無次元化した。噴霧中心近傍において、最大針弁開度が高い場合に比べて低い場合の液滴の速度は低く、サイズは小さい。一方、噴霧周辺部において針弁開度の最大値が液滴の速度とサイズにおよぼす影響は小さい。

#### 謝 辞

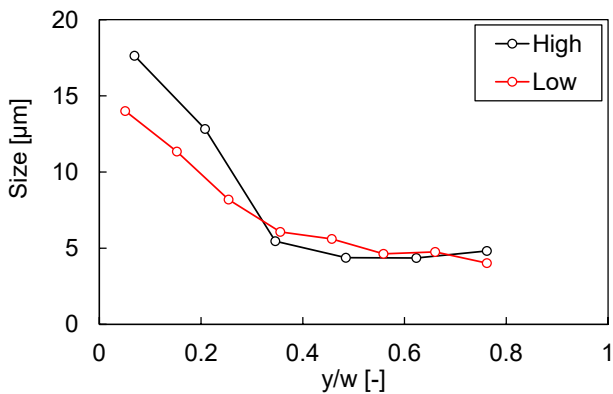
本研究は福岡工業大学総合研究機構のエレクトロニクス研究所 2021 年度科研費リトライ支援制度により実施したものである。

#### 文 献

- (1) Salvador, F. J., Martínez-López, J., Caballer, M. and Alfonso, C. D., Study of the influence of the needle lift on the internal flow and cavitation phenomenon in diesel injector nozzles by CFD using RANS methods, *Journal of Energy Conversion and Management*, Vol. 66, pp.246-256(2013).
- (2) Moon S., Gao Y., Park S., Wang J., Kurimoto N. and Nishijima Y., Effect of the number and position of nozzle holes on in- and near-nozzle dynamic characteristics of diesel injection, *Fuel*, Vol. 150, No. 15, pp. 112-122(2015).
- (3) 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).
- (4) Lacoste, J., Crua, C., Heikal, M., Kennaird, D. and Gold, M., PDA Characterisation of Dense Diesel Sprays Using a Common-Rail Injection System, *SAE Technical Paper*, 2003-01-3085(2003).
- (5) Moon, S., Zhang, X., Gao, J., Fezzaa, K., Dufresne, E. M., Wang, J., Xie, X., Wang, F. and Lai, M. C., Morphological exploration of emerging jet flows from multi-hole diesel injectors at different needle lifts, *Atomization and Sprays*, Vol. 25, pp. 375-396 (2015).
- (6) Komada, K., Kawaharada, N., Sakaguchi, D., Ueki, H. and Ishida, M., Evaluation of mass flow rate distribution in diesel fuel spray by L2F, *Proceedings of the ASME 2011, ICEF2011-60093* (2011)
- (7) 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).



(a) 速度  
(a) Velocity



(b) サイズ  
(b) Size

図 9 液滴の速度とサイズの空間分布

Fig. 9 Spatial distributions of velocity and size of droplets