

福岡工業大学 機関リポジトリ

FITREPO

Title	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を評価可能な分析計の開発
Author(s)	駒田 佳介
Citation	福岡工業大学総合研究機構研究所所報 第2巻 P27-P30
Issue Date	2020-2
URI	http://hdl.handle.net/11478/1525
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	Publisher

Fukuoka Institute of Technology

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を 評価可能な分析計の開発

駒田 佳介 (工学部知能機械工学科)

Development of Analyzer that can Evaluate Breakup of Droplet of Diesel Fuel Spray near Nozzle Exit

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

Abstract

The high-pressure fuel generator was developed for the generation of high-pressure fuel spray. When the target pressures of common rail at the high-pressure fuel generator were set at 60, 80, 100 and 120 MPa, and the mean pressures of actual pressure of common rail were 60.04, 80.04, 100.10 and 119.85MPa respectively. Moreover, the measurement system, that is, a laser 2-focus velocimeter (L2F) was developed for the evaluation of breakup of droplet inside the diesel fuel spray. The L2F has a micro-scale measuring volume which consisted of two foci. The focal diameter was about 3 μm , and the distance between two foci was 20 μm . The velocity and size of droplets inside the spray can be measured by using L2F. The maximum data sampling rate of the L2F system was markedly high as 15 MHz.

Keywords : Diesel, Droplets, Laser measurement.

1. はじめに

ディーゼル機関は自動車用などの高回転数で運転するものから船舶用や産業用の低回転数で運転するものにいたるまで、広く使用されており、さらなる高効率化および排気の改善が求められている。そのためには燃焼を適切に制御する必要がある。燃料は微細な噴孔から高速で噴射され、燃焼を制御するためには燃料の噴霧特性を把握する必要がある。特に噴孔近傍における噴霧液滴の微粒化過程は下流における噴霧液滴の挙動を左右するため重要である。しかし、噴霧内部、特に噴孔近傍は高数密度であるため、噴霧液滴の挙動は十分に理解されていると言えない。

噴霧液滴を測定する方法としていくつかの提案がなされている。Hiroyasu ら⁽¹⁾はフラウンホーヘル回折法を用いて噴射圧 90MPa で噴射された燃料液滴を噴孔下流 70mm において計測した結果を報告している。また、葉ら⁽²⁾は蛍光・散乱光法を用いて噴射圧 135MPa で噴射された燃料の液滴サイズの空間分布を報告し、柳ら⁽³⁾は干渉画像法を用いて計測された燃料液滴サイズの空間分布を報告している。この他にレーザーホログラフィ法などの計測方法があり、噴霧にレーザー光を照射し液滴の画像を取得できるが、液滴が高数密度で存在する微粒化過程における液滴サイズの計測は難しい。

液滴の速度とサイズの同時計測が可能である位相ドップラー法 (Phase Doppler Particle Analyzer; PDPA) を用いた噴霧計測が多くの研究者により報告されている。PDPA を用いて燃料噴霧液滴を計測した例を報告している文献⁽⁴⁻¹¹⁾を抽出した。図 1 はこれらの文献の計測条件における、噴射圧力と噴孔から測定断面までの距離の関係を示す。図中の濃い灰色は噴射期間中の液滴サイズが計測された条件を示した。たとえば、2003 年の Lacoste ら⁽⁶⁾の例では、噴射圧 160MPa で噴射された燃料噴霧を噴孔下流 30 から 60mm の間で計測した結果が報告されており、その中でも、噴孔下流 40 から 60mm 断面においては噴射期間中の液滴サイズが報告されて

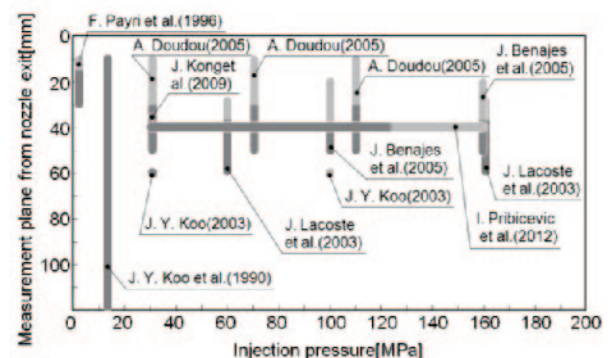


Fig.1 他研究者が行った実験の実験条件

いる。図1より、いずれの噴射圧においても噴孔下流 10mm より上流の断面では PDPA を用いた液滴の計測例はない。また、噴射期間中の液滴については、120MPa 以下の噴射圧においては噴孔下流 30mm より上流の断面、120MPa 以上の噴射圧においては噴孔下流 40mm より上流の断面では PDPA を用いた液滴の計測例はない。なお、それぞれの計測において噴孔数、ノズルタイプ等のノズル諸元は異なる。

そこで本研究では実機のディーゼル機関と同程度の噴射圧で燃料の噴射を可能にする高圧燃料発生装置を作成し、さらにディーゼル燃料噴霧内部の個々の液滴を計測可能な計測装置を開発した。

2. 実験装置

〈2・1〉 燃料噴射装置

図2に高圧燃料発生装置のシステム図を示す。燃料タンクに貯蔵された燃料は燃料フィルターを通り高圧燃料ポンプ (DENSO 5-294070-253) で加圧される。燃料は高圧燃料ポンプからコモンレールに送られ、高圧管を通りインジェクタに送られる。噴射圧は圧力調整弁 (Haskel 15700-60) で調節する。高圧燃料ポンプ、コモンレールおよびインジェクタで生じたリターン燃料は燃料タンクに戻される。高圧燃料ポンプの動力源はモーター (MITSUBISHI SUPER LINE SF-JR) であり、モーターの回転数はインバータ (TOSHIBA VF-S15) により制御した。図3は高圧燃料発生装置の CAD 図を示す。高圧燃料発生装置はアルミ製の柱および板で製作したフレーム内に収められており、持ち運びが可能である。

作製した高圧燃料発生装置の安定性を評価するため

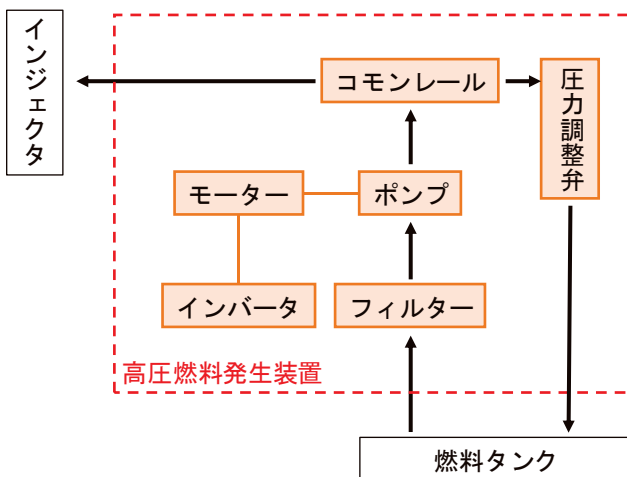


Fig.2 高圧燃料発生装置のシステム図

コモンレール内圧力を記録した。コモンレールを 60, 80, 100 および 120MPa に設定し、1.5 秒ごとにコモンレール内圧力を記録した結果を図4に示す。横軸が時間、縦軸がコモンレール内圧力である。コモンレール内平均圧力はそれぞれ 60.04, 80.04, 100.10 および 119.85MPa であり、製作した高圧燃料発生装置は安定して高圧燃料を供給する能力を持つと判断される。

〈2・2〉 レーザー2焦点流速計

2つの焦点の間を液滴が飛行する時間を計測して速度を求めるレーザー2焦点流速計 (L2F; Laser 2-Focus velocimeter) は光学的 SN 比が高く、液滴数密度の高い噴霧計測において多重散乱の影響を受けにくいという特徴を有している。L2F の測定体積を図5に示す。焦点直径 F は約 $3\mu\text{m}$ 、焦点長さ L は約 $20\mu\text{m}$ であり、焦点間距離 S は $20\mu\text{m}$ である。

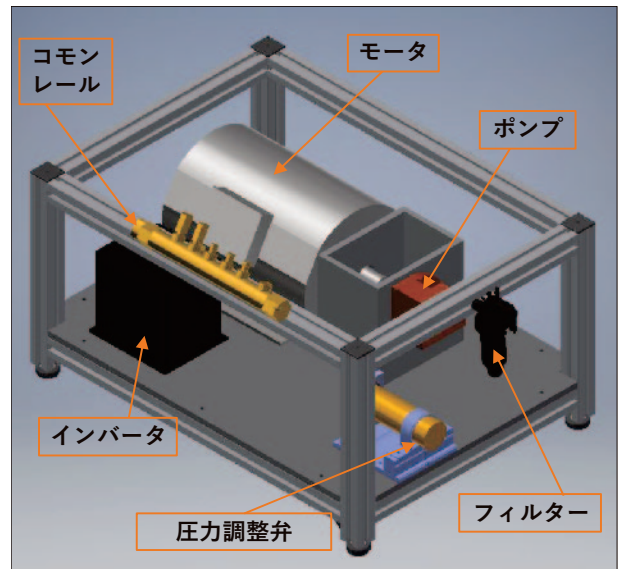


Fig. 3 高圧燃料発生装置の CAD 図

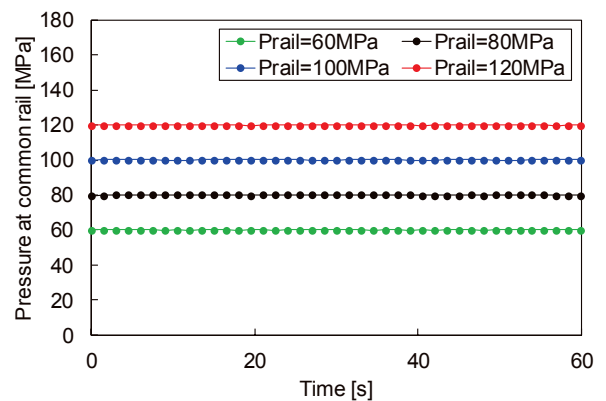


Fig. 4 コモンレール内圧力の時間変化

図6は液滴の飛行時間および散乱時間の測定原理を示している。液滴が2つの焦点を通過する際の飛行時間 t_1 、上流散乱時間 t_2 および下流散乱時間 t_3 を周波数 480MHz のクロックで計数する。液滴速度は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。その際、散乱時間は上流散乱時間 t_2 と下流散乱時間 t_3 の平均値を用いる。

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

この測定原理は、1個の液滴が上流側および下流側の2つの焦点を通過する場合に有効である。液滴数密度が

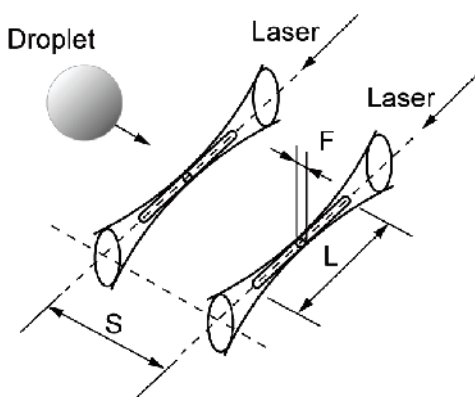


Fig. 5 L2F の測定体積

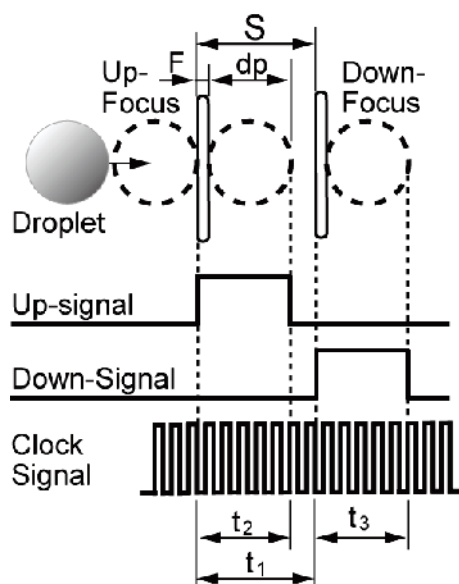


Fig. 6 飛行時間と散乱時間の測定原理

高い場合には局所的な液滴間距離が2焦点間距離より短くなり、上流焦点を通過した液滴が下流焦点を通過する前に、別の液滴が上流側あるいは下流側の焦点を通過することが考えられる。このとき、異なる液滴が両焦点を通過するため飛行時間は正しく測定されない。また、液滴の飛行方向が時間的に変動している場合、あるいは液滴の飛行方向と2焦点を連ねる方向が一致していない場合にも同様の現象は起こりうる。これらのことを考慮して有効な飛行時間および散乱時間を測定するフローチャートを図7に示す。クロックの計数は上流焦点信号の検出によって開始され下流焦点信号の検出によって停止し、計数値とともに上流・下流フラグが保存される。また、上流信号が下流信号の検知前に検知される場合、計数値とともに上流・上流フラグが保存される。取得データ数 $N0$ は上流焦点を通過した液滴の数であり、測定開始時にセットされる。有効データは取得データの内、上流・下流フラグを持つ液滴で、測定終了後に抽出される。

図8はL2Fの光学系および信号処理系を示す。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。全長 350mm の光学系により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。一対の電気信号パルスから FPGA(Field Programmable Gate Array) で構成したデジタルカウンタにより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

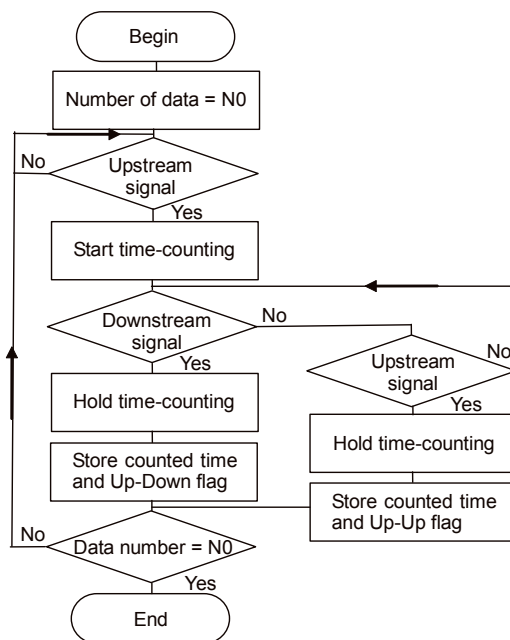


Fig. 7 飛行時間および散乱時間の測定フローチャート

の最大データサンプリング周波数は 15MHz ある。図 9 に製作した L2F を示す。

3. まとめ

ディーゼル燃料噴霧内部の個々の液滴を計測するため、本研究ではまず実機と同程度の圧力で燃料を噴射するシステムである高圧燃料発生装置を製作した。燃料の圧力を 40MPa に設定したとき、平均コモンレール内圧力は 1% 以内の精度で設定可能であること、またその圧力の標準偏差は平均値の 2% 以内であることを確認した。また、液滴の速度とサイズを同時に計測可能であるレーザー2 焦点流速計を製作した。今後はこれらの装置を用いて、超音速で飛行する液滴を計測し、その分裂過程を明らかにすることを旨とする。

謝 辞

本研究は福岡工業大学総合研究機構の研究支援制度により実施したものである。

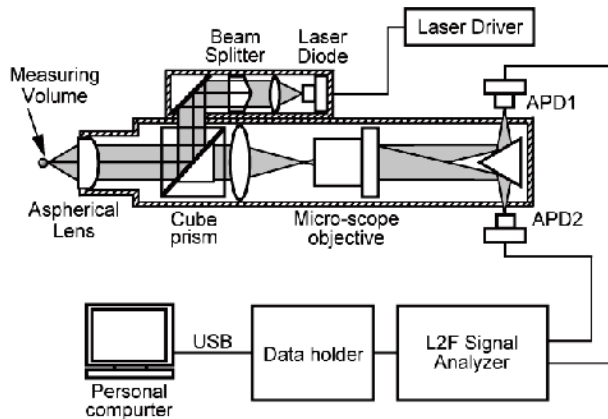


Fig. 8 L2F の光学系

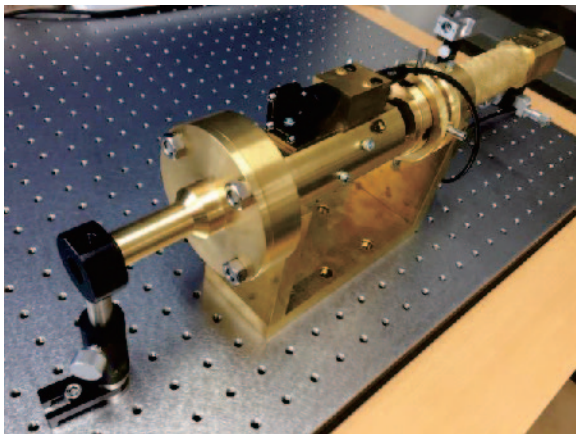


Fig. 9 製作した L2F

文 献

- (1) H. Hiroyasu and M. Arai, Structures of fuel sprays in diesel engines, SAE Paper 900475. (1990)
- (2) 葉 啓南, 小酒 英範, 神本 武征, 蛍光・散乱光法による非蒸発噴霧のザウタ平均粒径測定に関する研究, 日本機械学会論文集. B 編 59(568), 4008-4013(1993)
- (3) 柳昌成, 森吉泰生, 青柳友三, 改良型干渉画像法を用いたディーゼル噴霧の二次元粒度分布・速度分布の同時計測, 日本機械学会論文集. B 編 73(725), pp.380-386 (2007)
- (4) I. Pribicevic and T. Sattelmayer, 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)
- (5) J. Kong and C. Bae, Effect of Tapered Nozzle Hole on Spray Characteristics of High Pressure Diesel Injection, Proceedings of ICLASS2009, pp.1-6. (2009)
- (6) A. Doudou, Turbulent flow study of an isothermal diesel spray injected by a common rail system, Fuel, vol. 84, No. 2-3, pp. 287-298. (2005)
- (7) J. Benajes, R. Payri, S. Molina and V. Soare, Investigation of the influence of injection rate shaping on the spray characteristics in a diesel common rail system equipped with a piston amplifier, Journal of Fluids Engineering, Volume 127, Issue 6, pp. 1102-1110. (2005)
- (8) J. Lacoste, C. Crua, M. Heikal, D. Kennaird, M. Gold, PDA characterisation of dense diesel sprays using a common-rail injection system, SAE Paper 2003-01-3085. (2003)
- (9) J. Y. Koo and J. K. Martin, Droplet Sizes and Velocities in a Transient Diesel Fuel Spray, SAE Paper 900397.(1990)
- (10) F. Payri, J. M. Desantes, and J. Arrègle, Characterisation of D.I. diesel sprays in high density conditions, SAE Paper 960774. (1996)
- (11) Ja Ye Koo, The effects of injector nozzle geometry and operating pressure conditions on the transient fuel spray behavior, KSME International Journal, Volume 17, Issue 4, pp 617-625. (2003)

(2019年9月30日受付)