マイクロプローブ L2F による噴霧の不均一構造の研究

Study of heterogeneous structure in sprays by micro-probe L2F

○正 坂口大作 (長崎大)
正 植木弘信 (長崎大)正 山本昌平 (長崎大院)
正 石田正弘 (長崎大)Daisaku Sakaguchi, Nagasaki University, 1-14 Bunkyo-machi Nagasaki 852-8521
Shohei Yamamoto, Nagasaki University, 1-14 Bunkyo-machi Nagasaki 852-8521
Hironobu Ueki, Nagasaki University, 1-14 Bunkyo-machi Nagasaki 852-8521
Masahiro Ishida, Nagasaki University, 1-14 Bunkyo-machi Nagasaki 852-8521

A laser 2-focus velocimeter (L2F) with a micro-scale probe was used for measurements of velocity, size, and vortex scale in diesel sprays. The focal diameter of the laser probe was about $3\ \mu\text{m}$, and the distance between two foci was $17\ \mu\text{m}$. The data sampling rate of the L2F system has been increased to 15 MHz. Investigated were diesel fuel sprays injected intermittently into the atmosphere from the injector with a nozzle orifice $0.113\ \text{mm}$ in diameter. The injection pressure was set at 40 MPa by using a common rail system. Measurement position was located at 25 mm from the nozzle exit. It was found that the vortex scale estimated by the L2F was close to the one observed by image measurement.

Key Words: Diesel Engine, Optical Diagnostics, Vortex, Droplet

1. まえがき

ディーゼル機関はガソリン機関に比べて熱効率が高く二酸化炭素排出率が低いという特徴を有する。しかし、有害物質の排出率が高いため、その低減が課題である。燃料噴霧特性がディーゼル機関の燃焼を支配する重要な因子であることから、ディーゼル機関の性能および排気特性を改善するには燃料噴霧特性を適切に制御することが必要である。燃料噴霧には速度・サイズが異なる多数の液滴が存在し、液滴の分裂・合体ならびに渦構造を伴う周囲空気を取り込みによって液滴の不均一性は時間とともに変化する。これまでに、画像計測による噴霧内渦構造の研究⁽¹⁾がなされているものの、噴霧の不均一構造に関する十分な知見は得られていない。

著者らは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2焦点流速計 (L2F; Laser 2-Focus velocimeter) に散乱時間計測機能を付加することによって速度とサイズの同時計測が可能であることを示した⁽²⁾。本研究では、マイクロスケールの測定体積を有する L2F を用いてレール圧 40MPa で大気中に間欠噴射されるディーゼル噴霧の高データレート計測を行い、液滴の速度および出現時刻から渦スケールを評価した。また、この渦スケールと噴霧画像の輝度分布から求められる渦スケールとの関係を調査した。

2. 実験装置および実験方法

L2F の測定体積は2つの焦点で構成されており、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、2焦点間の距離 S は $17\ \mu\text{m}$ である。飛行時間 t_f および散乱時間 t_s が周波数 160MHz のクロックで計数される。速度 u は2焦点間距離 S を計測される飛行時間 t_f で割ることにより求める。すなわち、 $u = S/t_f$ 。また、液滴サイズ d_p は、2焦点間距離 S と液滴サイズ d_p + 焦点サイズ F の比が飛行時間 t_f と散乱時間 t_s の比に対応することから、 $d_p = u \cdot t_s - F$ より求める。

図1はL2Fによる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 の半導体レーザを光源とし、収束レンズとして焦点距離が 8 mm の非球面レンズを採用した。光学系の全長は 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アバランシェフォトダイオードに導き、FPGA (Field Programmable Gate Array) により飛行時間および散乱時間を計数しパソコンに転送した。信号処理系のデータサンプリング周波数は 15MHz ある。

コモンレールにより供給される軽油を噴孔径 0.113 mm の 5 噴孔インジェクタを用いて大気中に間欠噴射した。レール圧を 40MPa に設定し、1 回当たりの噴射量を 1.3 mg とした。インジェクタに印加した噴射信号の期間は 1.0ms、実噴射期間は 0.87ms であり、噴射間隔は 330 ms であった。L2F のデータ取得に同期してインジェクタに噴射開始信号を印加してからの経過時間を 6 MHz のクロックで計数した。測定点の標記のために、噴霧軸に z 軸、L2F のレーザ光軸に y 軸をとり、 yz 軸に垂直に x 軸を取った。 x 座標は噴霧中心から半径外向きの距離を表す。測定位置を $(x, y, z) = (0.4, 0, 25)$ とした。また、 $z = 0 \sim 50\text{mm}$ の噴霧を発光時間 2.4 μs のストロボスコープで照明し、600 万画素の CCD カメラで撮影した。

3. 結果および考察

L2F の上流焦点を通過する液滴の数を 10,000 に設定した。図2は22回の噴射によって取得された速度データを示す。横軸 T はインジェクタのソレノイドに噴射開始信号を印加してからの経過時間である。噴霧先端の液滴は 1.1ms に現れており、この時刻より前に液滴は検出されていない。

図3は0.1msの時間窓毎に求められた平均液滴速度および

Fig. 1 Fuel spray measurement system

算術平均液滴サイズを示す。図2に示されたように液滴速度には大きなばらつきが見られるものの、その平均値は測定点に噴霧が到達してから約0.5msの期間でほぼ一定である。液滴サイズは時間経過とともに減少していることから、噴霧先端に大きいサイズの液滴が集まっており後から測定点に達する液滴のサイズは相対的に小さいものと判断される。

図4は第1回目の噴射において0.01msの時間窓毎に得られたデータ数の時間変化を示す。また、データ数が比較的多い時刻の差を図中に記載しており、その値は0.06から0.13msであった。

図5はストロボスコープを用いて撮影された $T=1.34\text{ms}$ における噴霧画像を示す。図中の数値は噴孔からの距離を示す。噴霧画像には濃淡が確認され、液滴が分散していると判断される淡部をA, B, ..., Eの記号を付した矢印の先端部で示す。

図6において、図3で示された平均速度に図4で示された時間差を乗じることによって得られた距離、すなわちL2Fデータから評価される液滴密集部の間隔 L_f を黒丸で示しており、その値は10から18mm程度である。また、丸印、三角印、および四角印は、図5においてそれぞれAとC, BとD, およびAとDの距離を示し、7.8, 7.5, および12.0mmであった。これらの値はL2Fによって評価された液滴密集部の間隔に近い。

液滴数密度が正弦波で空間的に変化すると仮定すれば、自己相関 $C(z)$ は空間に対して余弦波となる。積分空間スケール L_z を

$$L_z = \int_0^{\pi/2} C(z) dz = \int_0^{\pi/2} \cos z dz \quad (1)$$

で評価すると、 $L_z=1$ となり、周期に対して $1/2\pi$ 倍となる。

Fig.2 Time dependent velocity; $x=0.4\text{mm}$, $z=25\text{mm}$

Fig.3 Time variation of mean velocity and mean size ; $x=0.4\text{mm}$, $z=25\text{mm}$, time window=0.1ms

正弦波の周期を12mmとすれば、積分空間スケールは1.9mmと評価される。

4. まとめ

2焦点間距離が $17\mu\text{m}$ 、データサンプリングレートが15MHzのL2Fを用いて、噴孔径0.113mmのインジェクタから噴射される噴霧を噴孔から25mmの位置で計測した。液滴の速度および出現時刻から評価される噴霧内の渦スケールが噴霧画像に見られる濃淡と対応することを明らかにした。

引用文献

- (1)Fujimoto, H., Hori, T., Senda, J., Nakagawa, H., Kamata, S., Katsut, K., Visualization of Micro Structure in a Diesel Spray by Use of Photography with High Spatial Resolution, SAE Power Train & Fluid Dynamics, Paper No.2008-01-2465, pp.1-9(2008)
- (2)Ueki, H., Ishida, M., Sakaguchi, D., Simultaneous Measurement of Particle Size and Velocity by Laser 2-Focus Particle Analyzer, Proc. ICLASS94, pp.483-490 (1994-7)

Fig. 4 Time variation of number of data; time window=0.01ms, $x=0.4\text{mm}$, $z=25\text{mm}$

Fig.5 Image of Spray; $T=1.34\text{ms}$

Fig.6 Vortex scale evaluated by L2F and spray image