

論 文

ディーゼル噴霧内の液滴速度

(第2報, 噴霧内の乱れの減衰過程) *¹

新井雅隆*² 廣安博之*³

DROPLET VELOCITIES IN A DIESEL SPRAY

(2nd Report, Decelation Process of Turbulence)

Masataka ARAI and Hiroyuki HIROYASU

Droplet velocities and their flucturations in a diesel spray injected into a high pressure test chamber were measured and deceleration process of the fluctuation was discussed. The spray was injected continuously from a single hole type diesel nozzle into the chamber and the velocity in a steady state condition was measured by a counter type LDV system. The turbulent intensities delivated from the turbulent fluctuations showed different decelation processes, according the break - up process of the jet. When a spray was injected into high pressure chamber and its break - up process was promoted smoothly, the axial velocity in the spray decreased quickly, however their fluctuation did not decay so far as the spray released its injection momentum. The spray width decided by photographs or radial distribution of the velocity were compared with the peak position of the intensities of the fluctuation. As a result, it showed that the position of its peak was outside of the spray half width decided by the velocity.

Key Words; Spray, Diesel Spray, Velocity Distribution, Turbulence, Spray Width

1. まえがき

ディーゼル機関での燃焼過程を支配するディーゼル噴霧の挙動に関する研究は、噴霧の平均粒径¹⁾、噴霧先端の到達距離、噴霧角等の巨視的項目^{2),3)}だけでなく、最近は分裂長さ⁴⁾や粒子径の濃度の噴霧内空間分布⁵⁾や速度分布⁶⁾などの微視的項目についても研究が進み、噴霧性状と混合過程の関係^{7,8,9)}が解明されつつある。本研究においては前報に続き¹⁰⁾、ディーゼル噴霧内の液滴速度と

その乱れ強さをLDVで計測し、噴霧噴流内の分布の状態を明らかにしたのでここに報告する。

2. 実験装置

噴孔径0.25mm(ノズル長さ/噴口径: L/D = 5)の単孔ホールノズルを観測窓の付いた内径190mmの高圧容器内に組み込みカウンタータイプのLDVで噴霧内の液滴速度の計測を行った。供試液体としては水を使用しアキュムレータで圧力変動を取り除いた後ノズルから連続的に噴射した。図1は測定部の位置と測定体積を示したものである。交差角0.0365 radのレーザ光の交差部の大きさは0.96×0.25mmであり測定体積の外径はノズルの出口付近の噴流の外径とほ

* 1 平成5年8月17日 原稿受付

* 2 群馬大学工学部機械システム工学科・助教授
〒376 桐生市天神町1-5-1

TEL 0277-30-1522 FAX 0277-30-1599

* 3 広島大学工学部第一類・教授

〒724 東広島市鏡山1-4-1

TEL 0824-24-7563 FAX 0824-22-7193

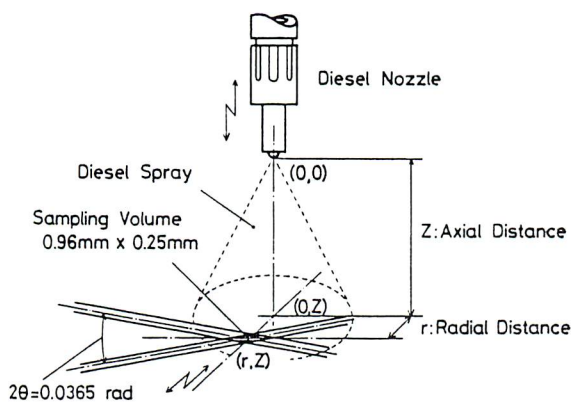


Fig. 1 Measurement location and sampling volume

ほぼ等しいことから、ノズル近くの測定では噴流全体の液滴の平均速度を、ノズルから充分離れた位置では噴流内の各測定位置での液滴速度を測定しているものと思われる。測定は差動型前方散乱方式の光学系で行い、定常に噴射されているディーゼル噴霧の中心軸 Z 上の液滴速度の変化や半径 r 方向の液滴速度の分布を高圧雰囲気下で求めた。

3. 噴霧中心軸上の速度分布

雰囲気圧力1.0 MPa の高圧下に噴射された噴霧内の液滴速度の測定位置 $Z = 50\text{mm}$ の所の測定結果を図2に示す。ここで P_a は雰囲気圧力、 P_i は噴射圧力、 D はノズル径、 Z は測定位置、 v 、 V はLDVにより測定された速度及びその平均である。測定された液滴速度は図に示すように広範囲に分布するが、ここでは測定された速度の平均値を平均速度とし、その値からの測定値の分布の広がり一般的な乱れ強さとして表現し、結果を整理することとした。ただし本報告では測定された約500個のデータから算術的に平均速度と変動成分を求めていて、速度バイアスの補正等を行っていない。ま

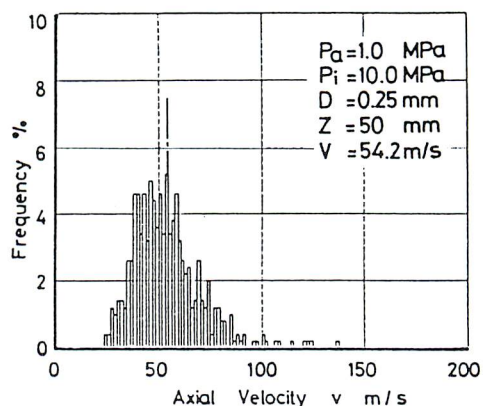


Fig. 2 Frequency of axial velocities

た、粗大粒子からと思われる信号等や特別なフィルターによる信号の後処理は行っていない。噴霧中心軸上の速度と乱れ強さの変化を雰囲気圧力を変えて測定した結果を図3から5に示す。ここで ΔP_i は有効噴射差圧 $P_i - P_a$ である大気圧下に噴出した場合には微粒化の進行は遅く、観測した $Z = 100\text{mm}$ の範囲では微粒化は完了せず、その結果として速度の減衰もあまり起こらなかった。また分裂してできた液滴も軸方向に飛行するだけであり、その速度の変動も小さく、乱れ強さとして表現した変動成分もすくなくかつその軸方向の変化も小さかった。雰囲気圧力の増大に伴い速度の減衰は図4に示すように急激に行われるようになる。さらに雰囲気圧力が3 MPa の場合にはノズルから40mm離れると図5に示すように速度は噴出時の半分以下となる。噴出度の乱れの強さは高圧下の場合に大きく、雰囲気が噴霧に与える影響は雰囲気圧力の増加とともに増大していることがわかる。さらに乱れ強さの軸方向の変化をみると大気圧下の噴霧では速度の平均値とともにほとんど変化しないが、高圧になると乱れ強さは

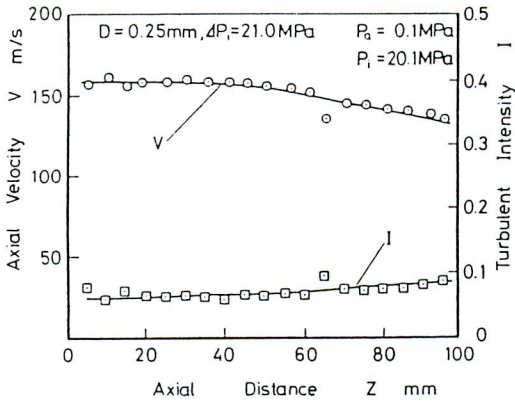


Fig. 3 Axial distributions of velocity and turbulent intensity ($P_a = 0.1 \text{ MPa}$)

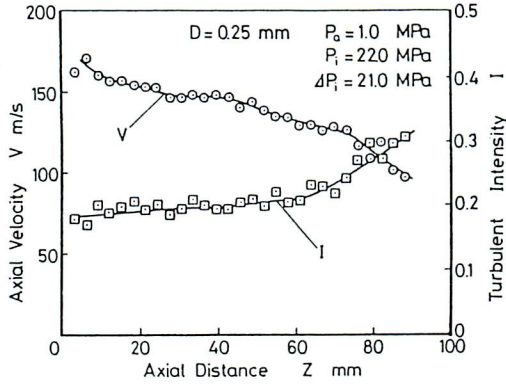


Fig. 4 Axial distributions of velocity and turbulent intensity ($P_a = 1.0 \text{ MPa}$)

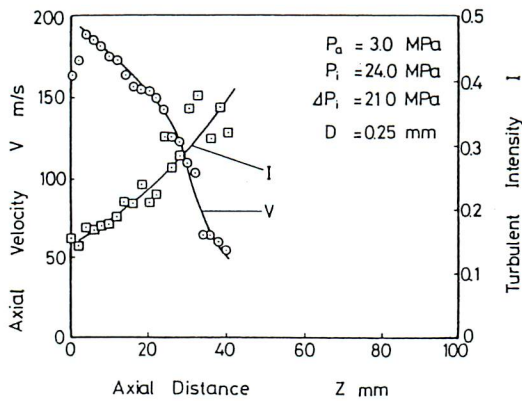


Fig. 5 Axial distributions of velocity and turbulent intensity ($P_a = 3.0 \text{ MPa}$)

噴霧の下流に行くにつれ増加するようになる。これは雰囲気圧力が高くなるに従い、生成した液滴群と周囲の雰囲気との混合が進み、その結果、噴出時に持っていた運動量が乱れとして急速に拡散していくためと考えられる。

4. 変動成分の絶対値の変化

図6から8に変動成分の絶対値の軸方向の変化を示す。それぞれの図は雰囲気圧力を変えた場合の結果である。図の煩雑さをさけるため測定値は省略してあり、図中の ΔP_i は噴射圧力と雰囲気圧力の差で噴射の有効差圧である。

大気圧下の図6の結果ではノズルから離れるほど、また ΔP_i が増加するほど変動成分の絶対値は増加している。これは大気圧下では噴出した噴流は波状流状態であり、ノズルの相当下流でないと微粒化が完了しないこと、微粒化が完了する前後で乱れ成分が増加していること、またその完了する位置が ΔP_i の増加とともにノズルに近づく傾向にあることなどによる。

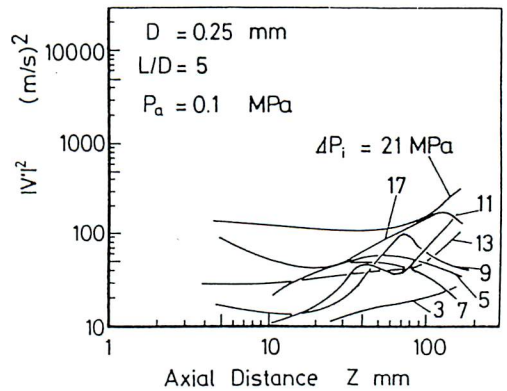


Fig. 6 Axial distributions of turbulent fluctuation ($P_a = 0.1 \text{ MPa}$)

図7は雰囲気気圧力を1.0 MPaにした場合であり、前図と比較してノズルに近い部分での変動成分の絶対値が高く、その値はノズルから離れるに従って減少していることが明らかになった。

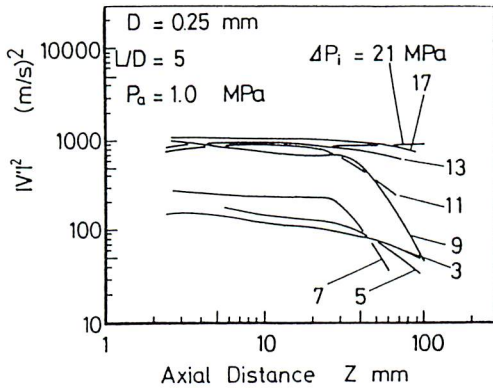


Fig. 7 Axial distributions of turbulent fluctuation ($P_a = 1.0 \text{ MPa}$)

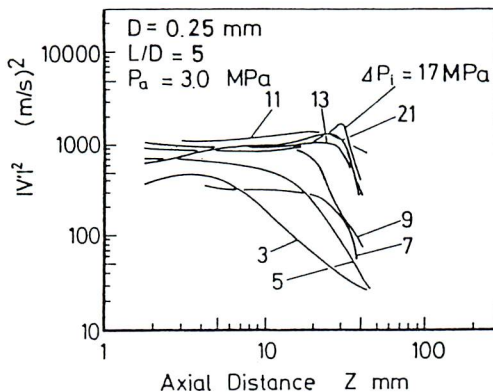


Fig. 8 Axial distributions of turbulent fluctuation ($P_a = 3.0 \text{ MPa}$)

図8は雰囲気気圧力が3.0 MPaのときの結果である。ΔP_iが5 MPa以下では、噴射された燃料は噴霧とならず波状流の状態での微粒化が進行していく。この場合乱れの絶対値はさほど大きくなくかつ噴霧軸方向に徐々に減衰して行くことが明らかになった。ΔP_iが7 MPaと9 MPaの場合は微粒化

状態が波状流から噴霧流に遷移する不完全噴霧の状態¹⁾であり、波状流の状態より幾分乱れが強くなっている。

ΔP_iが11 MPa以上の噴射条件は完全な噴霧となる有効噴射圧の場合である。この場合ノズルから20mm付近までは乱れの絶対値は不変であり、速度自身の減衰に伴う乱れの生成と乱れの減衰が釣り合っていると考えられる。20mm付近から下流では乱れの絶対値が一度僅かに増加した後急激に減衰するようになり、噴霧噴流の内部構造が20mm付近を境にして異なっていると見られた。ディーゼル噴霧の分裂長さ⁴⁾や速度の減衰¹⁰⁾に関する今までの研究結果と併せて考察すると、ノズル近傍では微粒化のための乱れの生成が大きく、このため乱れの絶対値の減衰が見られず、微粒化の終了した20mm前後のところからは通常の気体噴流と同じように速度とその乱れが減衰して行くものと思われる。言い換えれば、分裂が終了するまでは噴霧のコアの部分から運動量の供給がなされているが、分裂が終了したのちには運動量の供給がなく、乱れの運動量もそこから減少するだけと言える。またこの傾向は噴射圧が高く噴霧が完全噴霧になるほど明瞭に現れていることから、高圧下での噴射圧の高い噴霧ほど、微粒化の行われている部分と単に乱れが減衰していく部分とでその領域の区分が明瞭であり、さらに両者の内部構造が異なったものになっていると解釈できる。

5. 半径方向の分布

雰囲気気圧力が1.0 MPaの場合の変動成分の絶対値の半径方向の分布を図9に示す。

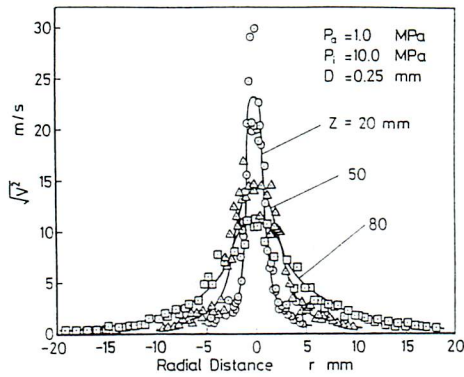


Fig. 9 Radial distributions of velocity fluctuation

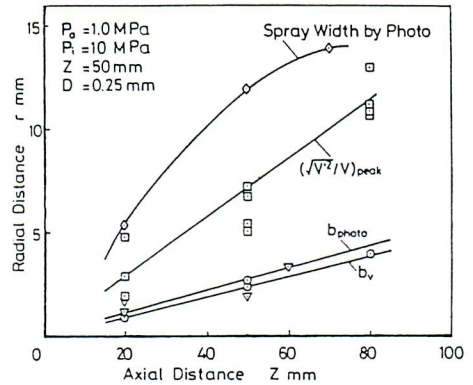


Fig. 11 Characteristic half widths of a diesel spray

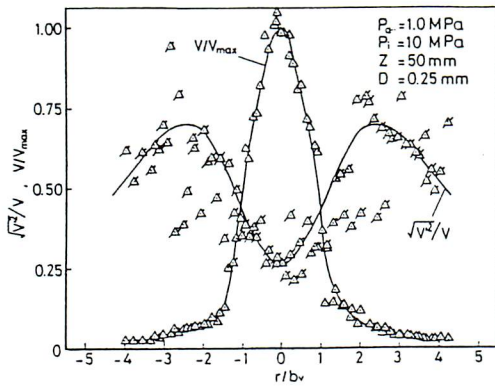


Fig. 10 Radial distributions of normalized velocity and turbulent intensity

分布のパターンは前報に述べた速度分布のパターンに類似した中心軸上にピークを持つパターンである。おなじ雰囲気圧力のデータである図7の結果からも明らかなようにそのピーク値はノズルから離れるに従って減少する。また半径方向には下流に行くに従い広がる傾向にある。

半径方向の速度の半値幅で規格化した速度と乱れ強さの半径方向の分布の一例を図10に示す。測定位置がノズルから50mm離れた所の結果であるため、速度分布はガウス

分布の形にほぼ一致している。一方乱れ強さのピーク位置は噴霧噴流の周辺の速度の遅い部分に現れる。図9の結果より変動成分の絶対値は噴霧中心軸上で最大となっている点を考慮すると、液滴速度の乱れそのものは噴流中心軸上で最大となるが、ここでは液滴の平均速度そのものも大きいため乱れ強さとしては小さな値になっていると解釈できる。さらに周辺部では乱れと平均流速の差が小さくなり、図10のような結果になったものと判断された。

噴霧の状態をシャドウグラフとして写真撮影し、画像濃度としての半値幅を求め、速度分布の半値幅や乱れ強さのピーク位置との関係を明らかにした。図11はその結果であり、画像濃度の半値幅と速度の半値幅はほぼ一致し、乱れ強さのピークはその外側に位置することが明らかになった。

噴霧角の測定基準となるいわゆる噴霧の縁としてはシャドウグラフの最外郭が一般に採用されているが、その値は図中に示すように乱れ強さのピーク位置のさらに外側に位置している。したがって、噴霧は中心

部の高速で乱れ強さが大きくかつ濃度の高い部分と、周辺部の濃度が低くかつ乱れ強さのみ大きな二つの領域に分けられることが明らかになった。シャドウグラフによる最外郭の付近では一般に噴霧と周囲雰囲気交互に測定部を通過していく状態と考えられる。ここで区分した二つの領域は図10における乱れのピーク位置と図11の関係から判るように、上述したいわゆる噴霧の周辺部より内部の領域である。いかえれば噴霧の内部が二つの領域に分けられることを示している。

6. まとめ

ディーゼル噴霧内の液滴速度をLDVで測定し、その結果をもとに噴霧噴流の構造を解析した。その結果以下のことが明らかになった。

- (1) 大気圧下と高圧下の噴霧噴流では速度やその変動成分の減衰状態が異なる。
- (2) 高圧下の噴霧噴流ではいわゆる噴霧の分裂長さの部分を通じたあたりから変動成分の減衰が急激に行われるようになり、ノズル近くと下流とで噴霧噴流の流動状態は異なる。
- (3) 噴霧噴流の中心部と周辺部では速度変動から見て構造が異なり、周辺部にはその平均速度と同等の乱れが存在している。

謝辞 本報告の内容となる計測結果は広島大学大学院学生であった渋谷誠司君によって得られたこと、またデータの解析は広島大学の西田助教授の援助によって行われたことを記し、感謝の意を表す。

参考文献

- 1) Hiroyasu, H., Arai, M. and Tabata, M., SAE Paper No. 890464, SP 774 (1989), 97.
- 2) 廣安, 新井, 自技会論文集 No.21(1980), 5.
- 3) 許, 廣安, 機論 B, 55-512(1989), 1258.
- 4) Arai, M. and Hiroyasu, H., ICLASS-88 (1988), 177.
- 5) Kamimoto, T., Yokota, H., and Kobayashi, H., SAE Paper No. 890316 (1989), 1.
- 6) 小保方, 高橋, 稲葉, 自技会論文集 No. 39 (1988), 18.
- 7) Kato, T., Tsujimura, M., Shintani, T., Minami, T. and Yamaguchi, I. SAE Paper No.890265, SP 774(1989), 15.
- 8) Katsura, N., Saito, M., Senda, J. and Fujimoto, H., SAE Paper No. 890464, SP 774 (1989), 97.
- 9) Matsuoka, S. and Yoshizaki, T., SAE Paper No. 890440 (1989), 1.
- 10) 新井, 廣安, 微粒化, Vol.1-2, No. 2, (1992), 40.