355 PDAによる単噴孔気中噴霧の解析

An Analysis of Single-Hole Spray into Air by PDA

○三浦 雄祐 (東北学院大学院)

正 鈴木 利夫 (東北学院大学)

Yusuke Miura, Tohoku Gakuin University Graduate School, Toshio Suzuki, Tohoku Gakuin University,
13-1 Chuo-1 Tagajyo Miyagi

Key Words: Spray structure, Single hole-nozzle, Velocity

1. まえがき

ディーゼルエンジン等の燃焼改善のためには、燃焼室内に噴射される燃料粒子の粒径、空間分布およびそれらの移動方向等の特性を把握する必要がある、しかもそれらはノズル特性に大きく依存している。これらの特性を把握する方法として、粒子速度と粒径の同時測定を可能とするレーザ計測技術(PDA: Particle Dynamics Analyzer)を用いた測定方法⁽¹⁾が発展している。

本研究はこの測定方法を用いて単噴孔ノズルから大気中に噴射される噴霧の空間的な粒子速度と粒径について測定を行い、その噴霧構造の解析を行ったものである。

2. 実験装置および方法

Fig.1に噴霧の発生装置を示す。噴霧は交流電源で駆動されるプランジャーポンプによって加圧された噴射液体をノズルに供給し、大気中への連続噴射によって形成されるようになっている。なお、脈動を抑えるために液体流路中に空気室を持ったサージタンクが組み込まれている。また、噴射圧力を一定に保つために交流電源にはスライダックを組み込みプランジャーポンプの回転数を抑制し、さらにレギュレータを取り付け任意に設定できるようにしている。使用したノズルは市販のセラミックス製ノズルであり、噴孔径は0.3mmで噴孔長さとの比は5.2:1となっている。なお、このノズルの出入り口にはテーパが付いており実質的な噴孔長はこの比より短くなっている。また、噴射された噴霧はプロアによって吸引され、周囲への飛散を防ぐようにしている。なお、吸引空気速度は噴霧への影響を少なくするため、約0.30m/sに設定している。なお、噴射液体として水を使用し、噴射差圧は0.2MPa, 0.4MPa および0.6MPaについて測定を行った。

測定は気中噴霧の空間的な粒子速度と粒径について、PDAを用いて行った。なお、測定位置は噴射方向距離と噴霧の半径方向距離に対する各座標としている。本研究で使用した

Fig.1 Schematic of experimental apparatus

PDAは、アルゴンレーザを投光器から照射し、測定エリアを通過する粒子によって散乱する光を受光器で受光し、光電子倍增管によって処理するようになっている。従って、計測システムを座標にあわせて移動させるには困難が生じるので、ノズル自体を移動して測定位置を相対的に変化させている。

3. 実験結果

Fig.2に噴射方向無次元速度分布を示す。噴射差圧0.4MPaでの測定結果であり、各噴孔からの距離(x)で得られた中心速度を基に無次元化(V_x)して示している。また、半径方向の座標も噴孔出口からの距離で無次元化(R)している。なお、測定位置を半径方向に広げると、噴霧の粒子数が減少し精度が低下するため、粒子数が少ない領域は省いて示している。これは噴霧が円筒状に拡散していくと考えると、粒子個数は半径方向に進むに従って減少するが、この関係よりも著しく粒子個数が減少した領域では連続的な噴霧の拡散ではないと考えられるので解析からは省いている。従って、無次元値で約0.6以下の粒子速度は示されていない。これらの結果より、噴射方向距離が50mm以下と70mm以上の2種類のグループに別れることがわかる。ゆえに、ノズル近傍では半径方向に進んでも速度は落ちにくく、その傾きは緩やかであるが、ノズルより離れると半径方向に進むにつれて速度の急激な低下が見られる。また、噴射差圧が異なってもその傾向は概ね同様であった。

Fig.3に半径方向無次元速度分布を示す。噴射差圧は先と同様に0.4MPaであり、各噴孔からの距離(x)で得られた最大値を基に無次元化(V_r)して示している。また、半径方向の無次元化(R)は先と同様である。なお、上記のように粒子数が少なく精度の低い領域は省いて示している。これらの結果は、先の結果とは異なり各噴孔からの距離(x)に関係なく概ね同様であることがわかる。この分布より噴霧中心付近では

Fig.2 Non-dimensional velocity (Direction of jet)

Fig.3 Non-dimensional velocity
(Direction of radial)

半径方向の速度が低く噴射方向への速度依存性が高く、ノズル中心より離れるに従って半径方向速度が増加して外周にいく程拡散が増していることがわかる。また、分布が一樣であることから、噴霧粒子の広がる角度は概ね一樣であるとがわかる。また、噴射差圧が違ってもその傾向は概ね同様であった。

Fig. 4 にザウタ平均粒径の無次元粒径分布を示す。噴射差圧は先と同様 0.4MPa であり、各噴孔からの距離 (x) で得られた中心での値を基に無次元化 (D32) して示している。また、半径方向の無次元化 (R) は先と同様であり、粒子数が少なく精度の低い領域も先と同様に省いて示している。これらの結果では、粒子径は概ね一樣となっているが、噴孔近くにおいて噴霧軸中心から少し離れた領域では粒子径が幾分大きく、それより更に外側にいくに従って小さくなっていることがわかる。また、噴霧下流では半径方向に広がるに従って粒径が幾分大きくなっていく傾向が見られる。なお、精度的に省いた粒径の値を見ると、噴孔近くでは周辺で急激に粒径が小さくなっているが、下流ではその傾向は見られない。また、先と同様にこの測定項目においても噴射差圧の違いによる傾向の変化は殆ど見られなかった。

Fig.4 Non-dimensional Sauter mean diameter

Fig.5 Spray tip penetration

Fig. 5 に噴霧軸中心における時間経過に対する粒子到達距離の関係を示す。本測定方法では定常噴霧であるので時間経過に対する粒子到達距離を直接求めることはできない。そこで、各測定位置における速度よりそれぞれの測定位置間を通過する時間を求め、その時間を積分することにより仮定された特定の粒子の到達時間を求めている。なお、この結果は噴射差圧 0.4MPa であり、両対数表示としている。この結果より、粒子到達距離が 60mm 付近において勾配が変化していることがわかる。これは噴孔から噴射された噴霧粒子が時間経過に対し一定の速度で進み、ある程度進んだ後には時間に経過に対して次第に減速していることを示している。この現象は、噴霧初期において噴霧中心に芯となる部分が存在しその後芯がなくなり粒子群となる分裂現象⁽²⁾が定常噴霧でも生じていることを示しており、これは噴射方向への速度分布 (Fig. 2) に見られた 2 つの傾向にも関連していると思われる。また、この時間経過に対する速度低下による到達距離は約 0.67 乗の関係になっており、非定常噴霧において見られる 0.5 乗⁽³⁾よりも速度低下が少なくなっていることがわかる。しかも、噴孔からの自由落下による速度増加とフロアによる吸引速度を考慮してもその影響は本測定範囲においては最大でも約 6% 未満であり、この傾向は変わらない。これは定常噴霧により噴霧周囲の空気が巻き込まれ、周囲に噴射方向への定常的な流れ場が形成されているためと考えられ、これにより分裂後の速度の低下が非定常噴霧より緩やかになっていると考えられる。

4. まとめ

単噴孔ノズルから、大気中に連続的に噴射される定常噴霧の空間的な粒子速度と粒径について PDA により測定を行い、その噴霧構造の解析を行った。

その結果本測定の範囲および条件では、分裂後の噴霧においては噴孔から離れるに従って噴射方向速度は低下するが、ザウタ平均粒径は概ね同様であることがわかった。また、噴射方向の各点における構造は、無次元化により分裂前と分裂後の 2 種類に大別されることがわかった。なお、噴射差圧を変化させてもその傾向は概ね同様であった。

参考文献

- (1) Paul A. Williams et al: SAE Paper 2001-01-1974
- (2) 清水・他 2 名: 機論(B), 49-448, (1983), 2886
- (3) 廣安・新井: 自技論, No. 21 (1980), 5