

側方から高速気流を受ける液体噴流の構造

(液滴の直径, 速度と分裂挙動の関係)

BREAKUP OF LIQUID JET ACROSS A HIGH-SPEED AIRSTREAM

(Relationship between Drop Diameter and Velocity with Breakup Behavior of Liquid Jet)

小田 哲也, 廣安 博之, 西田 恵哉

(Tetsuya ODA) (Hiroyuki HIROYASU) (Keiya NISHIDA)

広島大学 広島大学 広島大学

(Univ. of Hiroshima) (Univ. of Hiroshima) (Univ. of Hiroshima)

Liquid jet across a high-speed airstream was investigated using laser sheet method, laser diffraction technique and LDV to elucidate the relation between drop diameter and velocity with breakup behavior of liquid jet near the injector. The Sauter mean diameter increases gradually with height from the injector, and above the height where the liquid column is broken it increases suddenly. Drop velocity decreases with the height and after reaching minimum increases. This height of minimum drop velocity corresponds to the height where the width of the liquid column is maximum. At the height of the breakup of the liquid column drop velocity reaches maximum, and decreases after this height. Drop velocity is minimum at the centerline of the spray behind the liquid column. From the centerline to the periphery drop velocity increases and reaches maximum at a certain width, and out of this width it decreases. This width is out of which a number density of drops is maximum.

Key words: Atomization, Jet Engine, Jet of Liquid Fuel, Liquid Column, Cross Airstream, Laser Sheet Tomography, Sauter Mean Diameter, Drop Velocity

1. 緒 言

ラムジェットエンジンやターボジェットエンジンなどに取り付けられるアフターバーナの内部には高速な気流が多量に流れており, この気流中に燃料液体を比較的低下圧力で噴射することで噴霧液滴とする。しかも, インジェクタ噴孔から短い距離内で均一にするために, 気流に対して燃料液体を垂直に噴射する方式をとっている。円形噴孔から噴射された液体は液柱, すなわち連続した液体の柱となっており, この液柱からすべての噴霧液滴が形成される。したがって液柱の変形, 分裂過程や液滴の形成過程の解明が望まれている。

液柱が側方から気流を受けると3次元的に変形するとともに, 液柱の周囲には液滴が高数密度で存在する。このような理由で, 液柱の構造については概略が

知られているに過ぎなかった⁽¹⁾。そこで著者らは噴霧を可視化するためにレーザーシート法を開発し⁽²⁾, 断面写真を撮影した⁽³⁾。その結果, 高速気流中における液体噴流の構造についての知見を得るとともに, 高速気流中における液柱の連続長さや液柱の幅の測定を行った。

一方, Lessら⁽⁴⁾は液柱の先端において液滴が周期的に形成されることを見出すとともに, 液柱の分裂による液滴の形成周波数が液柱の表面における波の周波数に関係することを示唆した。そこで著者らは液柱の振動モデルによって液柱の連続長さを求めた⁽⁵⁾。しかし, 液滴の形成過程についての詳細は不明であり, 今後, 液柱の分裂と噴霧液滴の分散を関連づけて考えてゆくためには形成される初期液滴に注目せざるを得ない。

本論文では, まずレーザーシート法による断面写真を用いて高速気流を受ける液柱の分裂過程, および初

原稿受付: 1996年1月6日

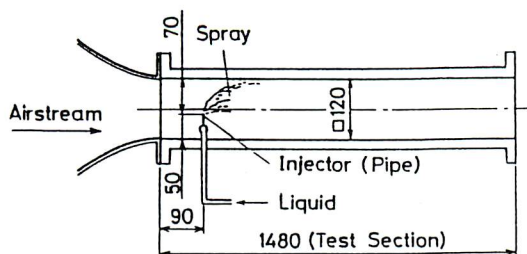
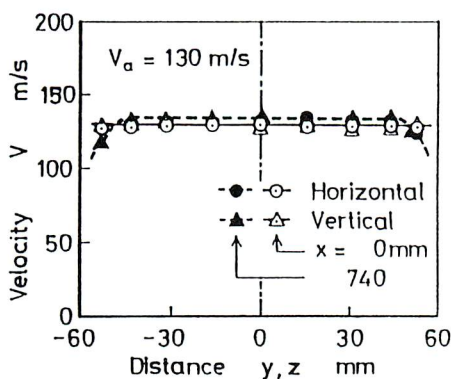
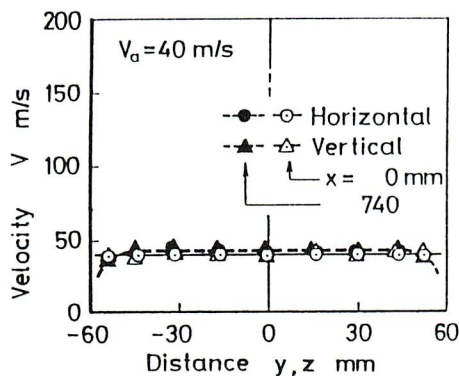


Fig. 1 Schematic diagram of test section of wind tunnel



(a) $V_a = 130$ m/s



(b) $V_a = 40$ m/s

Fig. 2 Velocity Profile of airstream in the wind tunnel

期液滴の形成や再分裂，分散過程を定性的に述べる。つぎに液柱近傍における噴霧のザウタ平均粒径を測定することで，形成される液滴と液柱の関係について明らかにする。最後に液柱近傍における液滴の速度を測

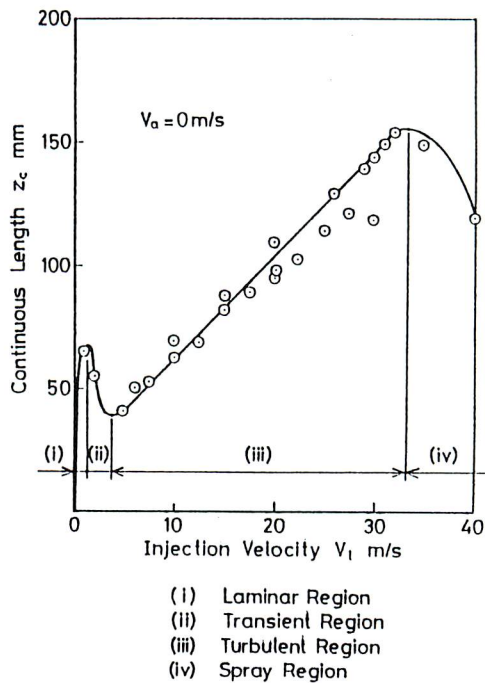


Fig. 3 Continuous length of liquid column ($V_a = 0$ m/s)

定し，その結果をもとに液柱およびインジェクタ噴孔のごく近傍における噴霧の構造について考察する。

2. 実験装置および方法

2.1 風洞および噴射系

図1に本実験で用いた風洞の測定部概略を示す。この測定部は，内寸法が $\square 120 \times 120$ mmの正方形断面である透明なアクリル製ダクトである。図2に測定部における気流速度 V の測定結果を示す⁽⁶⁾。(a)，(b)はそれぞれ測定部入口の中央における気流速度 V が130 m/s，40 m/sのときの風洞断面内速度分布である。(a)，(b)とも測定部入口では少なくとも 110×110 mmの範囲，測定部出口では 90×90 mmの範囲で一様な速度分布が得られている。そこで，測定部入口における気流速度 V が一様である部分の速度を単に気流速度 V_a と呼ぶことにする。インジェクタ噴孔は図1のように測定部入口の壁面上部から下に70 mmの位置にあり，ここから液体を高さ z 方向に噴射した。図2(a)，(b)をみると，この付近では気流速度が一様となっている。なお本風洞で得られる最大の気流速度は140 m/s，すなわちマッハ数で約0.4であった。

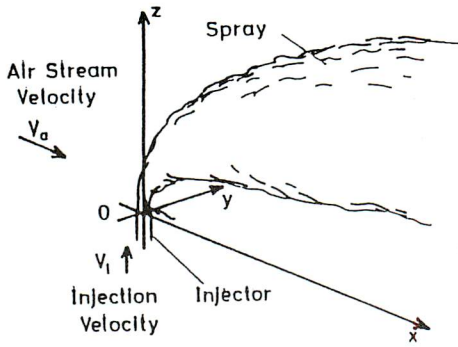


Fig. 4 Symbols and coordinates

インジェクタの噴孔は内径 $\phi 0.9\text{mm}$ のステンレスパイプであり、測定部入口の様な気流に対して液体を垂直に噴射した。なお噴射液体には水を用いた。図3に気流速度が $V_a = 0\text{m/s}$ の場合における液体の噴射速度 V_i が液柱の連続長さ z_c に及ぼす影響を示す⁽³⁾。この液柱の連続長さとは、インジェクタ噴孔から伸びる液体の長さであり、この長さよりも大きくなると液柱は完全に途切れて液滴となる。図3は噴射速度の増加に伴う液柱の連続長さの増加、減少の傾向から順番に、層流域、遷移域、乱流域、噴霧流域に分類できる。本研究では噴射速度 V_i を 20m/s 、すなわちレイノルズ数 Re を 1.8×10^4 と一定にした。なお、この噴射条件は乱流域に属することがわかっている⁽³⁾。乱流域に属する液柱の表面には前述のように無数の凹凸が存在しているが、液柱全体の形状としては波長の比較的大きい螺旋形をなしており、下流にゆくにつれて次第に波の振幅が大きくなる。そして液柱の先端において比較的大きな液滴が形成される⁽⁷⁾。

図4に主な記号と座標系を示す。原点をインジェクタ噴孔とし、気流速度 V_a の方向を x 、噴霧の幅の方向を y 、液体の噴射速度 V_i の方向を z とした。

2.2 レーザーシート法の概略

図5にレーザーシート法の光学系概略を示す。波長 532nm 、発光時間 20ns の Nd:YAG レーザ光を凸レンズとシリンドリカルレンズにより厚さ $200\mu\text{m}$ のレーザーシートにした。このレーザーシートを噴霧に照射し、レーザーシートに対し正面に固定したカメラで撮影した。噴射液体の水には蛍光色素のエオシン Y ($\text{C}_{20}\text{H}_6\text{Br}_4\text{Na}_2\text{O}$) を 10g/l の割合で溶解した。この蛍光色素を溶解しない場合には、多重散乱した光の影響が大きくレーザーシートの周囲の液滴も照明するため、噴霧を透過するにつれてシート光厚さが厚くなるが、

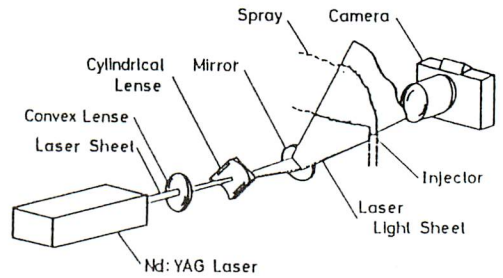


Fig. 5 Optical arrangement of laser sheet method

光色素を溶解することで散乱光の影響を適度に抑えることができた。また、この蛍光色素により、レーザーシートの位置における緑色の散乱光に加えて黄色の蛍光が発生し、噴霧の断面像を明瞭に観察できた。

2.3 ザウタ平均粒径の測定装置

噴霧のザウタ平均粒径を液滴によるレーザー光の回折に関する理論、すなわちフランホーフ回折理論に基づいた装置によって測定した⁽⁶⁾。この装置では、直径 $\phi 10\text{mm}$ 、波長 633nm 、出力 2mW の He-Ne レーザを噴霧に照射し、レーザー光の通過範囲における液滴によって回折した光の強度分布をディテクタで測定するようになっている。さらに回折光の強度分布をコンピュータ解析することによって噴霧のザウタ平均粒径を求めた。本研究ではレーザー光の照射方向を y 方向としており、この光路上における全液滴のザウタ平均粒径を測定することとなる。すなわち、ザウタ平均粒径の測定位置は x 、 z 座標が決れば決定される。本実験では液柱から形成された直後における液滴径について知るために、液柱近傍である $x=10\text{mm}$ の位置において高さ z ごとのザウタ平均粒径を測定した。なお測定されるザウタ平均粒径は、ディテクタで回折光の強度分布を100回測定し、この回折光の強度分布を平均することで求めたザウタ平均粒径である。

2.4 液滴速度の測定装置

液滴速度の測定にはLDVを用いた。LDVの光源は出力 10mW の He-Ne レーザであり、光学系は差動型前方散乱方式をとっている。そして液滴による散乱光を、2本のレーザーによってつくられる平面に対して 30° の角度で固定されたフォトマルチプライアで測定し、カウンタ方式のプロセッサで処理することで液滴の気流方向の速度 V_x を求めた。

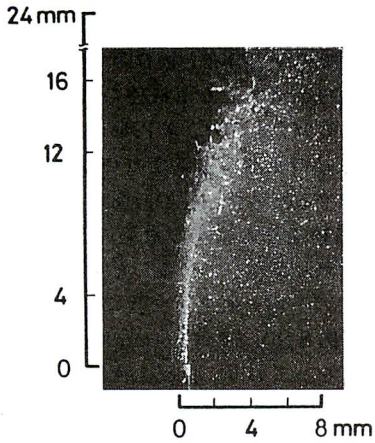


Fig. 6 Vertical tomogram of spray ($V_a = 70 \text{ m/s}$, $V_l = 20 \text{ m/s}$)

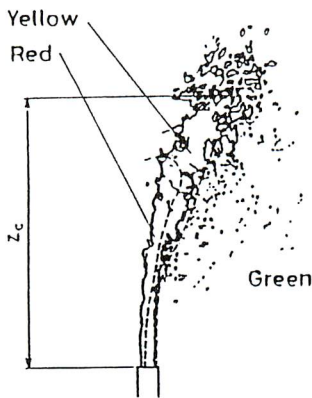


Fig. 7 Schematic diagram of vertical tomogram (Fig. 4)

3. 実験結果と考察

3.1 液柱の構造と分裂機構

まず、図6に $V_a=70\text{m/s}$ の気流に対して $V_l=20\text{m/s}$ で液体を噴射した場合の噴霧の垂直断面を、レーザーシート法によって撮影した写真を示す。また図7は図6の説明図である。この図7には、カラー写真撮影した場合の色彩分布も示している。図6では液体は写真

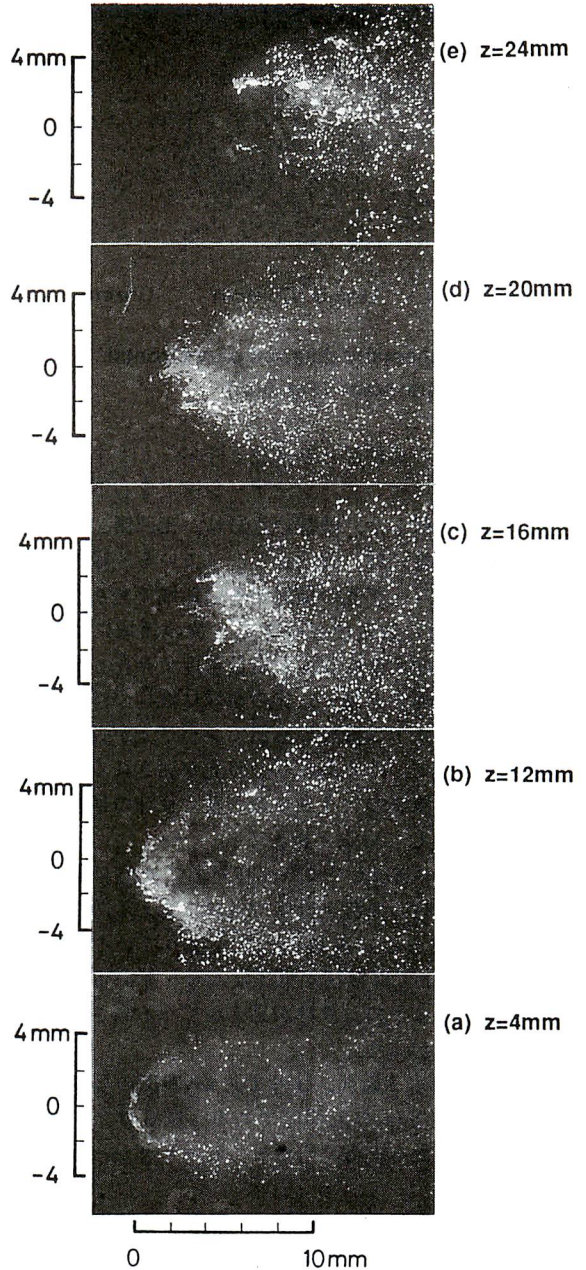


Fig. 8 Horizontal tomograms of spray ($V_a = 70 \text{ m/s}$, $V_l = 20 \text{ m/s}$)

左下のインジェクタから噴射され、気流は左から右へ流れている。噴霧の左上の境界を外縁、インジェクタ

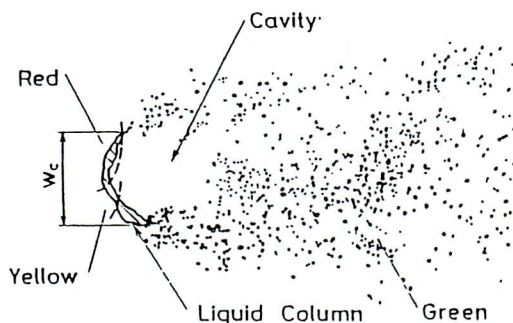


Fig. 9 Schematic diagram of horizontal tomogram (Fig. 8(a))

から伸びる液体の連続部分を液柱と呼ぶこととする。このような噴霧に対して、レーザーシートを右下から左上に向けて照射した。噴霧の色彩は、光源側、すなわち右下から順番に緑、黄、赤となっている。緑の領域は液滴によるレーザー光の反射が多い領域であり、液滴が小さく液滴の数密度が小さい。黄の領域には液柱、および比較的大きな液滴が高数密度で存在しており、蛍光色素の発光が強い。赤の領域は液柱の外縁側となっており、すでに液柱の右側でレーザー光が吸収されて蛍光となっているためにレーザー光が届きにくい。以上のことから液滴の大きさや数密度、液柱の存在状態と色彩が対応していると言える。

液柱は高さ $z=4\text{mm}$ までは気流に対して垂直に伸びている。この液柱の気流上流側の外縁に見える凹凸は高さの増加にともない振幅が大きくなっている。また、 $z=16\text{mm}$ 以上では液柱が見えなくなっている。そこで図7に示すように、液柱が見えなくなる高さを液柱の連続長さ z_c とした。

図8は図6の水平断面、すなわち x - y 断面の写真であり、図9は図8(a)の説明図である。図8は、いずれも写真の下方から上方に向かってレーザーシートを照射した。

$z=4\text{mm}$ (図8(a)および図9) の写真の気流上流側(写真の左側、すなわち外縁)には液柱がみえており、この液柱の断面形状は弓状に変形している。液柱の下流側では液滴の存在しない部分、すなわち空洞が見える。この空洞周辺における微細な液滴は、弓状に変形した液柱の側端から発生している。そこで図9のように側端間の距離を液柱の幅 w_c とすると、 $z=4\text{mm}$ では $w_c=3.5\text{mm}$ となっている。このことは、高さ $z=4\text{mm}$ での液柱の幅 w_c が高さ $z=0\text{mm}$ での液柱の幅 w_c 、すなわちインジェクタ噴孔径の $\phi 0.9\text{mm}$ より大きくなっていることを示している。このような液柱断面

の変形の原因には次のようなことが考えられる。インジェクタ直上で円形断面であった液柱周囲の圧力分布は円柱の周囲での圧力分布と同様と考えられる。そのため、気流速度が最大となる液柱の側端において y 軸の正負方向の吸引力を受け、楕円形に変形する。さらに変形した液柱の側端部は気流のせん断力により x 軸正方向に変形するために液柱の断面が弓形になる。それに対して噴霧後部の微細な液滴の存在する領域では、カルマン渦が存在していることを示しているような液滴数密度の不均一が上下交互に見えている。

$z=12\text{mm}$ (図8(b)) では $z=4\text{mm}$ に比べ液柱の幅と空洞が小さくなっており、気流上流側の液柱表面に凹凸が多くなっている。また、液柱側端からは $z=4\text{mm}$ の場合よりも大きい液滴が多数形成されている。

$z=16\text{mm}$ (図8(c)) では液柱と空洞が消滅し液滴のみとなっている。従って $z=12\text{mm}\sim 16\text{mm}$ に液柱の後端があるといえる。これは x - z 断面の写真(図6)の説明において述べた液柱の連続長さ z_c が 16mm であることと一致している。噴霧の気流下流側では液滴径が小さくなっている。また、気流方向位置 $x=5\text{mm}$ の噴霧中央部では液滴の数密度が小さく、かつ液滴径も小さくなっている。それに対して、気流上流側近傍には分裂途中の液塊が集中している。

$z=20\text{mm}$ (図8(d)) においても、分裂途中の大きな液塊が気流上流側近傍に集中している。ところが、 $z=16\text{mm}$ に比べると液滴の数密度は小さくなっている。一方、気流下流側の液滴径は上流側に比べると小さいが、 $z=16\text{mm}$ 以下における気流下流側の液滴に比べると直径が大きくなっている。特に、位置 $x=10\text{mm}$ の噴霧中央部では液滴の数密度が小さいとはいえ、液滴の数密度も液滴径も大きくなっている。

$z=24\text{mm}$ (図8(e)) では噴霧の断面形状が中心軸に対して対称でなく、多くの液滴が写真の上方に偏在している。すなわち低い位置、特に液柱の近傍における噴霧形状の対称性と著しく相違している。この高さにおいても $z=16\text{mm}$ 、および 20mm と同様に分裂途中の液滴が気流上流側近傍に多く存在している。しかし、比較的小さな液滴も見えている。これは気流上流側の大きな液塊が分裂して形成されたものと考えられる。噴霧中央部では液滴の数密度の小さい領域が見えていない。噴霧中央部では気流上流側に比べると液滴径は小さいが、大きな液滴も混在している。大きな液塊には気流 x 方向に引き伸ばされているものがみられる。また、比較的小さな液滴にも x 方向に列んだものがみられる。このように大きな液塊が x 方向に引っ張られて分裂することによって形成された小さい液滴は、噴

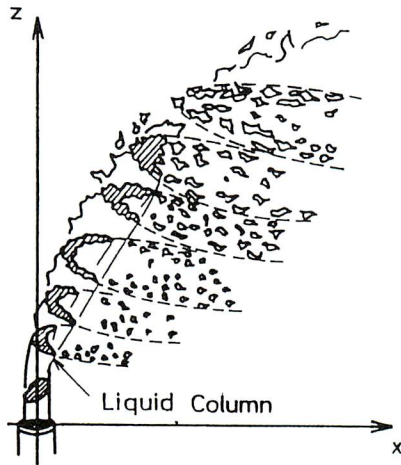


Fig. 10 Schematic diagram of structure of liquid jet across a high-speed airstream

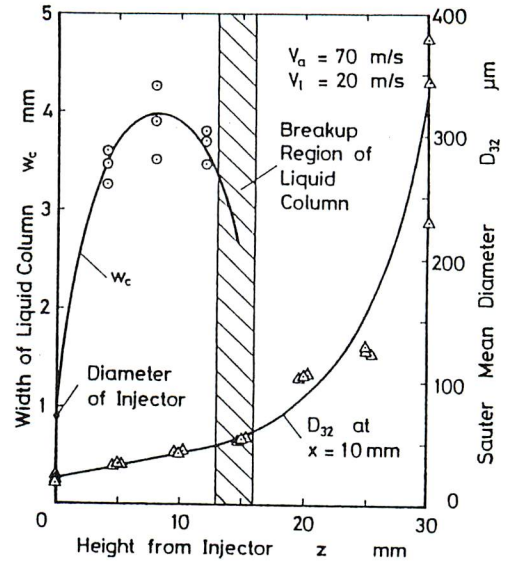


Fig. 11 Width of liquid column and Sauter mean diameter

霧内に流入した気流のためにx方向の速度成分がさらに大きくなり噴霧内部に進入したといえる。以上のように、高さが大きくなるにつれて液塊、あるいは液滴の分裂が次第に進行し、分裂した液滴が噴霧内部へ浸入することで混合が進んでゆくといえる。

図6および図8の結果から予想される液柱の変形と分裂過程は図10のようになる。液柱の幅 w_c は最初、インジェクタから高さ z の増加とともに大きくなる。液柱の断面形状は弓形であり、液柱の背後において空洞が形成される。微細な液滴の形成が始まると w_c の増加割合が小さくなる。さらに高さ z が増加すると液柱から比較的大きな液滴が次第に多く分離するようになり、 w_c が減少する。一方、気流上流側では高さとともに凹凸が増加して液柱が分裂し、背後の空洞も消滅する。

なお、図8のような水平断面の写真の場合にも、図6と同様に液滴の密度や液柱の存在状態、液滴の寸法と、色彩が対応していた。例えば図8(a)および図9では、右側の液滴の直径と数密度が小さい領域ではレーザー光の緑となっているのに対して、左側における液柱の下側の側端および液柱近くの液滴の数密度が大きい部分では比較的黄に近くなっている。液柱の左上では、液柱の下方でレーザー光が十分に吸収されてしまっているために、赤くなっている。

3.2 液柱近傍における液滴の粒径と速度

次に、多くの水平断面の写真撮影することで液柱の幅 w_c を測定すると図11のようになった。 w_c は一度増加した後には減少している。これは前述のように比較的低い位置では気流による $\pm y$ 方向の吸引力のために液柱の幅の増加割合が大きく、高い位置ではこの吸引力による液柱の幅の増加割合を液滴の形成による液柱の幅の減少割合が上回るためである。

この図11はレーザー回折法から求めたザウタ平均粒径の変化も示している。 $z=16\text{mm}$ 以下では液滴径が徐々に増加している。これは図8(a)、(b)からわかるように、 $z=16\text{mm}$ 以下では液柱の側端から微細な液滴が形成されることによる。これらの断面写真では、液柱の気流上流側に見える凹凸が高さの増加とともに大きくなっている。凹凸の振幅は液柱の側面を流れる気流を受けて大きくなるとともに、x方向にも流されるために次第に大きな液滴となると考えられる。一方、 16mm 以上では液滴径が急増している。これは液柱後端の分裂により大きな液塊が生じ、これを測定したためである。

液柱が気流の影響を受けて変形すると、この液柱の変形に応じて気流も液柱の表面に沿って流れることとなる。一方、液滴は液柱の側端や後端において形成されるため、液柱近傍を流れる気流の影響を受けているものと考えられる。すなわち、液柱の近傍における液滴の速度は液柱の構造に関係していると思われる。そ

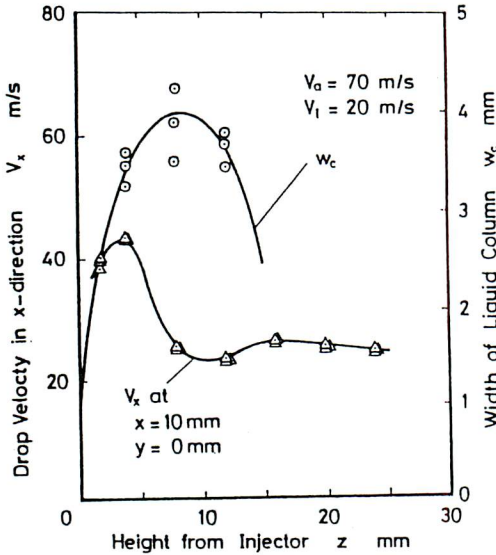


Fig. 12 Velocity profile of drops

ここで液滴速度のx方向成分 V_x と液柱の幅 w_c のz方向の変化を図12に示す。この図の測定結果はインジェクタ噴孔から下流へ $x=10\text{mm}$ の位置における液柱背後、すなわち、 $y=0\text{mm}$ の幅方向位置で測定したものである。この図では V_x は約 $z=10\text{mm}$ で最小となっている。前に述べたように液柱が気流を受けると断面形状は弓形に変形する。したがって液柱の背後において気流の逆流する領域が存在し、液柱や逆流領域の両側を流れる気流は逆流領域の背後で合流するものと思われる。液柱の幅 w_c が大きくなると逆流領域が大きくなり、逆流領域の背後における気流速度は小さくなると考えられる。この図では高さ約 $z=8\text{mm}$ において液柱の幅 w_c が最大となっている。ところが図6からわかるように液柱は湾曲しており、高さとともに液滴速度 V_x の測定位置($x=10\text{mm}$)と液柱の外縁との距離が小さくなっている。さらに図11からわかるように液滴のザウタ平均粒径は高さとともに大きくなっている。つまり液滴径が大きいほど気流によって加速されにくい。これらの理由から液柱の幅 w_c が最大となる約 $z=8\text{mm}$ よりも高い約 $z=10\text{mm}$ において液滴速度 V_x が最小になったと考えられる。 $z=16\text{mm}$ では V_x が極大となっており、 $z=16\text{mm}$ 以上では V_x が減少している。これは液柱の連続長さ z_c が約 16mm であることに対応しており、約 16mm 以上では噴霧の内部に気流が流入することを示している。液柱の後端では大きな液滴が形成されるとともに小さな液滴も形成されると考えられる。この小さい液滴は気流を受けると比較的 V_x が増加しやす

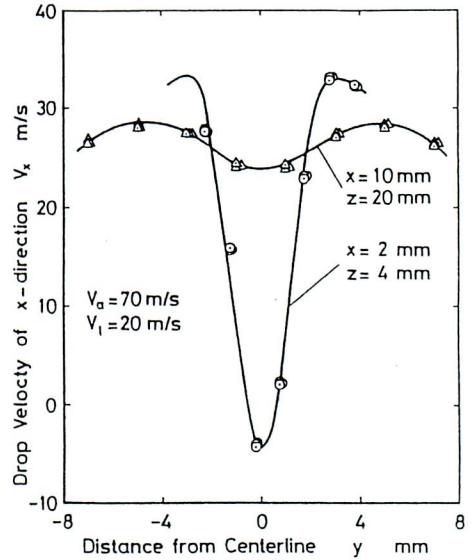


Fig. 13 Velocity profile of drops

いため風下に流される。一方、大きな液滴は気流により加速されにくいと同時に噴射方向の速度成分も減衰しにくいいため、高い位置に到達すると考えられる。したがって、高さが大きくなると V_x が小さくなる。

上記のことから液柱の分裂位置より低い位置では噴霧内に気流が流入しにくく、高い位置では流入しやすいと考えられる。そこで高さ z_c よりも低い位置、および高さ z_c よりも高い位置における液滴速度 V_x のy方向分布を図13のように比較してみた。高さ z_c よりも低い位置に対応する測定位置としてインジェクタから後方に $x=2\text{mm}$ 、高さ $z=4\text{mm}$ を選び、液滴速度 V_x のy方向分布を測定した。それに対して、高さ z_c よりも高い位置に対応する測定位置にはインジェクタから後方に $x=10\text{mm}$ 、高さ $z=20\text{mm}$ を選んで液滴速度 V_x のy方向分布を測定した。これら2つの高さにおける測定位置は、図8(a)、および(d)からわかるように噴霧の外縁に近い。しかも噴霧の中央、すなわち $y=0\text{mm}$ 付近で液滴の数密度が小さくなっている。

まず低い位置では、 $y=0\text{mm}$ において速度が負になっている。これは液柱が気流をせき止めたために液柱直後で気流が逆流し、微細な液滴がこの逆流に巻き込まれていることを意味している。図8(a)を見るとわかるように液柱背後の流れに巻き込まれる液滴は少ない。それに対して、液滴が多く存在しているのは、噴霧中心から約 $y=\pm 2\text{mm}$ の位置である。しかし、液滴の速度は最大ではなく、その外側の約 $y=\pm 3\text{mm}$ において最大となっている。さらに約 $y=\pm 3\text{mm}$ よりも外

側では液滴速度 V_x が減少している。この傾向は高さ z_c よりも高い位置の場合と同様である。すなわち高い位置において液滴が多数存在しているのは約 $y=\pm 3\text{mm}$ であり、液滴速度が最大となるのは外側の約 $y=\pm 5\text{mm}$ 、さらに外側では液滴速度は減少している。この理由はそれぞれの高さにおいて液滴の大きさに差があるためといえる。気流上流側には液柱、あるいは寸法と数密度が大きい液塊群が存在しているため、気流は液柱や液塊を避けるように外側、すなわち $\pm y$ 方向の速度成分を持つようになり、それに伴って液滴も同じ方向の初速度を持つものと考えられる。ところが気流が進むにつれて $\pm y$ 方向の速度成分が小さくなる。したがって気流は噴霧内部に浸入するようになる。しかし、液滴は気流の速度や方向の変化に対する追従性が大きさによって異なる。すると小さい液滴は噴霧内部、大きな液滴は噴霧外部というように分級されるものと考えられる。このように液滴の分級が起こると、それに伴って噴霧内部で液滴の速度分布ができると思われる。すなわち、噴霧内部の液滴密度が小さい領域では、さらに気流上流側における液柱や寸法と数密度の大きい液塊群のために気流速度が小さい。その外側の液滴の数密度が大きいところでは液滴1個当たりが気流から獲得する運動量が小さい。よって液滴密度の大きい領域の外で液滴の速度が最大となる。最も外側では大きな液滴が存在し、気流速度に対する追従性が悪いため速度が小さい。以上のことから噴霧の内部では比較的気流の影響を受けやすい小さい液滴、外部では比較的気流の影響を受けにくい大きな液滴が多く存在しているといえる。ただし、高さ z_c よりも高い位置の場合、噴霧の中央部に気流が流入しているところが低い位置の場合と異なっている。

4. 結 言

側方より高速な気流を受ける液柱の分裂過程、初期液滴の形成や再分裂、分散過程についての知見を得るため、レーザーシート法を用いて噴霧断面の瞬間写真撮影を行った。さらに、インジェクタ近傍における噴霧の構造について明らかにするために噴霧のザウタ平均粒径、および液滴の速度を測定した。その結果、次のことがわかった。

- (1) 液柱背後のザウタ平均粒径は、インジェクタからの高さの増加とともに徐々に増加し、液柱の分裂位置よりも高くなると急激に増大する。
- (2) 液滴の速度は、液柱の幅に対応する。すなわち液柱の幅が最大となる高さまで液滴速度は減少傾向

を示し、最小値となった後に増加する。さらに液柱の分裂する高さにおいて液滴速度が極大となった後に再び減少する。

- (3) 噴霧の内部では液滴の速度が小さい。特に液柱の直後には、液滴が気流方向に対して逆流する領域が存在する。噴霧の中心から幅方向の距離が大きくなると、液滴の速度が増加して最大となった後に減少する。しかし、液滴の数密度が最大となる位置は液滴速度が最大となる位置の内側であった。

文 献

- (1) Thomas, R. and Schetz, J.A.: Mass Distribution in the Plume of a Transverse Slurry Jet in Supersonic Flow, AIAA J., 23-12 (1985), 1892-1901.
- (2) 小田哲也, 廣安博之, 西田恵哉: レーザーライトシートによる燃料噴霧の断面写真撮影法, 日本航空宇宙学会西部支部講演会(1992)講演集, (1992), 141-144.
- (3) 小田哲也, 廣安博之, 新井雅隆, 西田恵哉: 高速気流中における液体噴流の微粒化特性 (第3報, 液体噴流の分裂過程と噴霧の内部構造), 日本機械学会論文集 (B編), 59-560 (1993), 1408-1413.
- (4) Less, D. and Schetz, J.A.: Quantitative Study of Time Dependent Character of Spray Plumes, AIAA J., 24-12 (1991), 1974-1986.
- (5) 小田哲也, 廣安博之: 高速気流中における液体噴流の分裂モデル, 日本航空宇宙学会西部支部講演会(1995)講演集, (1995), 42-45.
- (6) 小田哲也, 廣安博之, 新井雅隆, 西田恵哉: 高速気流中における液体噴流の微粒化特性 (第1報, 噴射液体の局所質量流量, 液滴径の変化と軌跡の計算), 日本機械学会論文集 (B編), 58-552 (1992), 2595-2601.
- (7) 廣安博之: わかる内燃機関, 日新出版 (1973), 139.



小田 哲也
広島大学 工学部 第1類
助手
〒739 東広島市鏡山1-4-1
Tel. 0824-24-7562
Fax. 0824-24-7193
略歴：1990年 広島大学大学
学院工学研究科博士課程前
期修了主に気流を受ける噴
霧の微粒化，気流中におけ
る噴霧燃焼，液滴径の測定
法に従事。



廣安 博之
広島大学 工学部 第1類
教授
〒739 東広島市鏡山1-4-1
Tel. 0824-24-7563
Fax. 0824-22-7193
略歴：1962年 東北大学大学
院博士課程修了後，(株)豊
田中央研究所を経て，1969年
より広島大学教授。
燃焼工学担当。



西田 恵哉
広島大学 工学部 第1類
助教授
〒739 東広島市鏡山1-4-1
Tel. 0824-24-7562
Fax. 0824-24-7193
略歴：1980年 広島大学大学
学院工学研究科博士課程前期修
了噴霧のレーザ応用・画像計
測微粒化機構，ディーゼル噴
霧，エンジン内混合気形成に
関する研究に従事。